

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

**FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ SERAMİK PARTİKÜL  
TAKVİYELİ AI2124 KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Semih CÖMERT**

**Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatih ÇALIŞKAN**

**Nisan 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

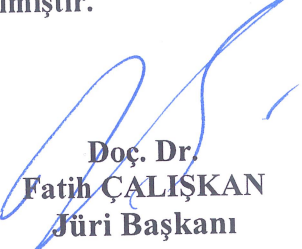
FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ SERAMİK PARTİKÜL  
TAKVİYELİ Al2124 KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

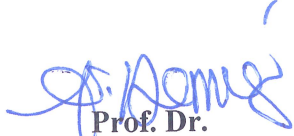
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Semih CÖMERT

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 06/04/18 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr.  
Fatih ÇALIŞKAN  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Adem DEMİR  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
Ömer SAVAS  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Semih CÖMERT

06.04.2018

## TEŞEKKÜR

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

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Adem DEMİR'e ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım bir çok konuda fikir alışverişinde bulunduğum deneysel çalışmalarım da yardımcı olan Emre SAKA'ya teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca maddi manevi her türlü desteği esirgemeyen aileme, özellikle moral ve motivasyonumu artıran her zaman desteğini yanımda hissettiğim bitanecik eşime ve canım oğluma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI .....	4
2.1. Alüminyum Alaşimleri.....	6
2.1.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	6
2.1.2. Alüminyum mangan alaşımları.....	9
2.1.3. Alüminyum magnezyum alaşımları.....	10
2.1.4. Alüminyum-bakır alaşımları.....	11
2.1.5. Alüminyum bakır magnezyum alaşımları.....	13
2.1.6. Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları.....	13
2.1.7. Alüminyum döküm alaşımları.....	14
2.1.8. Alüminyum-lityum alaşımları.....	18
BÖLÜM 3.	
TOZ METALURJİSİ .....	20

3.1. Toz Metalurjisi Proses Adımları.....	21
3.1.1. Mekanik Yöntemler.....	21
3.1.1.1. Öğütme.....	21
3.1.1.2. Mekanik alaşımlama.....	22
3.1.1.3. Talaşlı üretim.....	23
3.1.2. Kimyasal Yöntemler.....	23
3.1.3. Elektrolitik Yöntemler.....	23
3.1.4. Atomizasyon Yöntemi.....	24
3.2. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları.....	25
3.2.1. Toz metalurjisinin avantajları.....	25
3.2.2. Toz metalurjisinin dezavantajları.....	26
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>KOMPOZİT MALZEMELER.....</b>	<b>27</b>
4.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Türleri .....	28
4.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	28
4.1.2. Polimer matrisli kompozitler.....	28
4.1.3. Seramik matrisli kompozitler.....	29
4.2. Takviye Edici Malzemeye Göre Kompozit Türleri.....	29
4.2.1. Fiber takviyeli kompozitler.....	29
4.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler.....	31
4.2.3. Tabakalı kompozitler.....	32
4.2.4. Karma kompozitler.....	32
4.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	32
4.3.1. Sıvı faz üretim yöntemleri.....	33
4.3.1.1. Sıvı metal karıştırma yöntemi.....	33
4.3.1.2. Sıkıştırma döküm yöntemi.....	34
4.3.1.3. Plazma püskürtme (metal püskürtme) yöntemi.....	35
4.3.1.4. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi.....	35
4.3.2. Katı faz üretim yöntemleri.....	36
4.3.2.1. Reaksiyon (in-situ) kompozit üretim teknikleri .....	36
4.3.2.2. Toz metalürjisi yöntemi.....	36

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	37
5.1. Numune Hazırlama.....	37
5.2. Presleme.....	40
5.3. Soğuk İzostatik Presleme (CIP).....	42
5.4. Sinterleme.....	43
5.5. Metalografik İşlemler .....	47
5.6. Mikroyapı İncelemesi .....	50
5.7. Mikrosertlik Ölçümü .....	50
5.8. Karakterizasyon.....	51
5.8.1. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri (SEM-EDS).....	51
5.8.2. X-ışınları difraksiyonu (XRD) analizi.....	52
5.8.3. Toz boyut analizi.....	53
5.8.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi....	54
5.8.5. Atomik absorpsiyon spektroskopisi.....	55
5.8.6. Spektral analiz.....	56

## BÖLÜM 6.

SONUÇLAR .....	57
6.1. Giriş.....	57
6.2. Başlangıç Karışımlarında Kullanılan Tozlarının Karakterizasyonu...	57
6.3. Alüminyum Metalinin Spektral Analiz Neticeleri.....	62
6.4. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Takviyeli T/M Al Metal Matris Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları.....	64
6.5. SiC Takviyeli T/M Al Metal Matris Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları.....	75
6.6. Sıcaklığın, Sürenin, Koruyucu Gazların ve Katkı Oranın Yoğunlaşmaya Etkileri.....	85
6.7. Alüminyum Metal Matris Kompozitlerin Sertlik Sonuçları.....	97
6.8. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Takviyeli Al2124 Matrisli Kompozitlerin Yoğunluk, Mikroyapı ve Sertlik İncelemesi.....	100

6.9. Fonksiyonel Derecelendirilmiş SiC Takviyeli Al2124 Matrisli Kompozitlerin Yoğunluk, Mikroyapı ve Sertlik İncelemesi.....	105
--	-----

## BÖLÜM 7.

DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	109
--------------------------------	-----

7.1. Değerlendirme.....	109
-------------------------	-----

7.2. Öneriler.....	109
--------------------	-----

KAYNAKLAR .....	111
-----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ .....	115
----------------	-----





## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alümina
Al <sub>2</sub> 124	: Alüminyum Alaşım
AR	: Argon
BSD	: Brinell Sertlik Değeri
C	: Karbon
CIP	: Soğuk İzostatik Presleme
EDS	: Enerji Dispersiyon X-Işını Analizi
FDM	: Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler
HIP	: Sıcak İzostatik Presleme
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
MPa	: Megapaskal
O <sub>2</sub>	: Oksijen
OM	: Optik Mikroskop
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SİC	: Silisyum Karbür
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
TM	: Toz Metalürjisi
XRD	: X Işımları difraksiyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yıllık primer alüminyum üretiminin ülkelere göre dağılımı.....	6
Şekil 2.2. Alüminyum-Magnezyum faz diyagramının alüminyumca zengin ucu.....	10
Şekil 2.3. Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin ucu.....	12
Şekil 2.4. Alüminyum silisyum faz diyagramı.....	17
Şekil 3.1. Bilyalı değirmende öğütme.....	22
Şekil 3.2. Mekanik alaşımlama yöntemi.....	23
Şekil 3.3. Elektrolitik yöntemle toz üretimi.....	24
Şekil 3.4. Atomizasyon yönteminin ana safhaları.....	25
Şekil 4.1. Fiber takviyeli kompozitler için temel yapı blokları.....	30
Şekil 5.1. Hazırlanan tozlar.....	38
Şekil 5.2. Hassas terazide ölçüm (a) Halkalı öğütücü (b).....	39
Şekil 5.3. Değirmen.....	40
Şekil 5.4. Numune kalıplama şematik gösterim.....	41
Şekil 5.5. Tek yönlü presleme cihazı.....	42
Şekil 5.6. CIP cihazı.....	43
Şekil 5.7. Yatay tüp fırın.....	44
Şekil 5.8. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 630°C de 1 saat sinterlenmiş numune örneği.....	44
Şekil 5.9. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> numunesinin 650°C de 1 saat sinterlenmiş numune örneği.....	45
Şekil 5.10. 645°C de sinterlenmiş fakat uygun olmayan sinterleme şartları sonucu kırılmış numune örneği.....	47
Şekil 5.11. Bakalit cihazı.....	48
Şekil 5.12. Bakalite alınmış numune örneği (1) kusurlu yüzey, (2) düzgün yüzey.....	48

Şekil 5.13. Zımparalama cihazı.....	49
Şekil 5.14. (1) Optik mikroskop (2) Stereo mikroskop.....	50
Şekil 5.15. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....	51
Şekil 5.16. Taramalı elektron mikroskobu.....	52
Şekil 5.17.X-Işınları difraksiyonu (XRD) analizi.....	53
Şekil 5.18. Toz boyut analiz cihazı.....	54
Şekil 5.19. FTIR analiz cihazı.....	55
Şekil 5.20. Atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı.....	55
Şekil 5.21. Spectral analiz cihazı.....	56
Şekil 6.1. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> XRD analizi.....	58
Şekil 6.2. Silisyum tozunun XRD analizi sonucu.....	59
Şekil 6.3. Alüminyum tozunun XRD analizi sonucu.....	60
Şekil 6.4. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tozunun XRD analizi sonucu.....	61
Şekil 6.5. Alümina tozunun XRD analizi sonucu.....	62
Şekil 6.6. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al kompozitlerin partikül artışına göre yoğunluk değişimi.....	67
Şekil 6.7. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al kompozitlerin partikül artışına göre relatif yoğunluk değişimi.....	67
Şekil 6.8. 600 MPa basınçta sıkıştırılmış ve 640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş numunelerin ağırlıkça farklı partikül oranlarındaki optik mikroskop görüntüleri.....	68
Şekil 6.9. 45 dakika 630 <sup>0</sup> C de N <sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü.....	69
Şekil 6.10. 1 saat 630 <sup>0</sup> C de N <sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü (1).....	70
Şekil 6.11. 1.15 saat 630 <sup>0</sup> C de N <sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü.....	70
Şekil 6.12. 1 saat 630 <sup>0</sup> C de N <sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü (2).....	71
Şekil 6.13. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 625-6500C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (1).....	72
Şekil 6.14. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 625-6500C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (2).....	72

Şekil 6.15. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (3).....	73
Şekil 6.16. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (4).....	73
Şekil 6.17. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (5).....	74
Şekil 6.18. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124 kompozitinin mekanik özellikleri.....	75
Şekil 6.19. Al2124 ve SiC %10 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (1).....	77
Şekil 6.20. Al2124 ve SiC %10 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (2).....	77
Şekil 6.21. Al2124 ve SiC %10 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (3).....	78
Şekil 6.22. Al2124 ve SiC %10 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (4).....	78
Şekil 6.23. Al2124 ve SiC %10 625-6500C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (5).....	79
Şekil 6.24. Al2124 - SiC %10 mekanik özellikleri.....	80
Şekil 6.25. Sıkıştırma basıncı artışına göre SiC - Al2124 kompozitlerin yoğunluk değişimi.....	82
Şekil 6.26. Sıkıştırma basıncı artışına göre SiC - Al2124 kompozitlerin relatif yoğunluk değişimi.....	82
Şekil 6.27. 640°C de Argon gazı altında sinterlenmiş %10 SiC /Al2124 kompozitlerinde sıkıştırma basıncının mikro yapıya etkisi.....	83
Şekil 6.28. Argon gazı kontrollü sinterlenen numunelerin Arşimet ve geometrik yoğunluğu.....	87
Şekil 6.29. Al2124-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (1).....	88
Şekil 6.30. Al2124-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (2).....	88
Şekil 6.31. Al2124-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (3).....	89

Şekil 6.32. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (4).....	89
Şekil 6.33. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (5).....	90
Şekil 6.34. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin SEM mikroyapı fotoğrafı (6).....	91
Şekil 6.35. 220MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1).....	91
Şekil 6.36. 220MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2).....	92
Şekil 6.37. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1).....	92
Şekil 6.38. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2).....	93
Şekil 6.39. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3).....	93
Şekil 6.40. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1).....	94
Şekil 6.41. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2).....	94
Şekil 6.42. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3).....	95
Şekil 6.43. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1).....	95
Şekil 6.44. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2).....	96
Şekil 6.45. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3).....	96
Şekil 6.46. Sıkıştırma basıncı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki.....	99
Şekil 6.47. Matris içindeki yüzde alümina oranı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki.....	99
Şekil 6.48. Tek eksenli kalıp ile presleme işleminin şeması.....	100

Şekil 6.49. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit için fraksiyon gradyanı.....	101
Şekil 6.50. Matris fazı olarak Al <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 'ün XRD görüntüsü.....	101
Şekil 6.51. Ağırlıkça % 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tabakalı fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları.....	102
Şekil 6.52. Ağırlıkça % 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tabakalı fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları.....	103
Şekil 6.53. (a) ağırlıkça% 10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> takviyeli sınıftan (b) Al <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> alaşımına geçiş bölgesi.....	104
Şekil 6.54.EDS element çözümlemesi.....	105
Şekil 6.55. Her bir fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin numunesi için Brinell sertlik sonuçları.....	106
Şekil 6.56. Katmanlı preslenmiş numune örneği.....	107
Şekil 6.57. Ağırlıkça % 5 SiC takviyeli sınıftan Al <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> alaşımına geçiş bölgesi.....	107
Şekil 6.58. Ağırlıkça % 10 SiC takviyeli sınıftan Al <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> alaşımına geçiş bölgesi.....	108

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı.....	4
Tablo 2.2. Alüminyumun mekanik özellikleri.....	5
Tablo 2.3. Dövme alüminyum alaşım grupları.....	7
Tablo 2.4. Döküm alüminyum alaşım grupları.....	8
Tablo 2.5. Alüminyum-Mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulamaları.....	9
Tablo 2.6. Al-Mg alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları.....	11
Tablo 2.7. Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	13
Tablo 2.8. Alüminyum döküm alaşımları için kimyasal kompozisyon ve tipik uygulamaları.....	14
Tablo 2.9. Yaygın olarak kullanılan Alüminyum-Silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.....	18
Tablo 5.1. Gramaj hesaplama.....	38
Tablo 5.2. Sıcaklık, ağırlık, çap ve yükseklik açısından numulerinin ölçüm tablosu.....	45
Tablo 6.1. Sentezlenen Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit tozlara ait kütle ölçüm sonuçları.....	58
Tablo 6.2. Saf alüminyum metalinin spektral analiz neticeleri.....	62
Tablo 6.3. Kullanılan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> alaşımının kimyasal bileşimi.....	64
Tablo 6.4. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al T/M kompozitlerin yoğunluk basınca ve bileşime bağlı değişimleri.....	66
Tablo 6.5. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitinin mekanik özellikleri.....	75
Tablo 6.6. SiC'ün mekanik özellikleri.....	76
Tablo 6.7. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - SiC%10 mekanik özellikleri.....	80
Tablo 6.8. Karışım tozuna ait kütle ölçüm sonuçları.....	85

Tablo 6.9. Argon gazı kontrollü 630 °C’de 1.15 dak. sinterlenen numunelerin yoğunlukları.....	86
Tablo 6.10. Mikrosertlik sonuçları (650 °C).....	97
Tablo 6.11. Katmanlı numunelerin presleme basınçına göre sertlikleri.....	106
Tablo 6.12. Üç-nokta eğme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar.....	108





## ÖZET

Anahtar kelimeler: Metal esaslı kompozit, FDM, Toz metalürjisi, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC

Toz metalürjisi ile üretilen kompozit malzemeler, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve sertlik gibi mükemmel özelliklerinden sebebiyle çoğunlukla endüstride kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik partikül takviye ile güçlendirilmiş yaşlandırılabilir Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> matrisli metal matris kompozit üretmektir. Havacılık ve savunma sanayiinde kullanılan 2100 serisi alüminyum alaşımları bu çalışma kapsamında hem tek katmanlı hem çok katmanlı fonksiyonel derecelendirilerek üretilerek özellikleri geliştirilecektir. Kullanılan takviye malzemeleri ve toz formunda tedarik edilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımı ile homojen karıştırılarak toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Toz karışımları optimum bileşimi belirlemek için altı farklı molar oranda hazırlanmış, daha sonra karışımın dağılımının etkinliğinin artırılması ve Al parçacık boyutunun azaltılmasını sağlamak için yüksek öğütme etkili atritör değirmende öğütülmüştür. Presleme sonucu elde edilen ham numuneler 575-650°C arasındaki sıcaklıklarda 45-150dk sürelerde koruyucu gaz atmosferinde (Ar, N<sub>2</sub>, hava) sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler metalografik hazırlanıp yoğunlaşma davranışı, takviye fazının dağılımı, porozite şekli ve dağılımı, katmanlararası geçiş bölgesinin mikro yapı değişimi, fazların tanımlanması açısından optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ham maddelerin ve ürünlerin kimyasal karakterizasyonları X-ışınları analizi (XRD), X ışını floresans analizi (XRF), spektral analiz, atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) kullanılarak karakterize edilmiştir. Nihai ürünlerin mekanik özellikleri mikrovickers sertlik testi ve 3 nokta eğme testi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak, tek katmanlı ve fonksiyonel derecelendirilmiş çok katmanlı (FDM) olarak SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzeme üretimi başarılmıştır. Yüksek yoğunluklu (>%97 R.D.) ürünler elde edilmiştir.

# **PRODUCTION OF FUNCTIONAL GRADED CERAMIC PARTICLE-REINFORCED Al2124 COMPOSITES AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES**

## **SUMMARY**

Keywords: Metal matrix composite, FGM, Powder metallurgy, Al2124, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC

Composite materials produced by powder metallurgy are mostly used industrially due to their excellent properties such as low density, high strength and hardness. The aim of this work is to produce metal matrix composites of Al2124, which can be aged, reinforced with SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particle reinforcement. Properties of the 2100 series aluminum alloys used in the aerospace and defense industry will be improved by producing both single layer and multi-layer functional grades within the scope of this study. The composite was produced by powder metallurgy method with the use of Al2124 alloy and the reinforcements in particulate form. Powder mixtures were prepared in six different molar ratios to determine the optimum composition, then the mixture was milled in attritor mill that has high grinding efficiency to obtain a well-distributed microstructure and to reduce the Al particle size. The green samples obtained were sintered under shielding gas atmosphere (Ar, N<sub>2</sub>, air) for 45-150 minutes at temperatures between 575-650°C. Optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) were used to determine densification behavior, reinforcement phase distribution, porosity shape and distribution, microstructural change of interstitial transition zone and phases in the sintered samples. The chemical characterizations of starting materials and products were carried out by using X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence analysis (XRF), spectral analysis, atomic absorption spectroscopy (AAS) and energy dispersive spectroscopy (EDS). The mechanical properties of the final products were measured by the microVickers hardness test and the 3 point bending test. As a result, high dense (> 97% R.D.) SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced Al2124 composite materials were produced as single-layered and functional graded material (FGM).

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler ve daha pahalı enerji nedeniyle, üstün özelliklere sahip olan ve alternatif olabilecek materyallere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu ihtiyaçlara paralel olarak, bilim insanları yeni ve spesifik materyal üretmek için çeşitli çabalar sarf ediyorlar. Teknolojinin son dönem gelişimiyle birlikte yeni tür bazı ihtiyaçların karşılanabilmesi için malzemelerde de homojen olmayan kademeli veya devamlı değişen yapıya talep duyulmuştur. FDM'lerde (Fonsiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler) buna benzer olarak birbirleri ile birleştirilmiş olan, fiziksel ve kimyasal olarak birbirlerinden farklı özellikler taşıyan iki madde arasındaki farklı ısıl genleşme katsayılarından sebep oluşan ısıl gerilmeleri derecelendirilmiş yapılarıyla azaltır, iki madde arasındaki, fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki ani değişimlerden mütevellit meydana gelebilecek diğer olumsuzlukları da minimuma indirirler. Özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları, uzay araçları, mikroelektronik ve piyasa uygulamaları FDM kullanımının yaygınlaşmaya başladığı alanlardır [1].

Bu çalışmalara uygun olarak kompozit malzemeler üstün özelliklerle imaledilmektedir. Bu üstün özellikler yüksek elastik modül, yüksek mukavemet ve düşük termal genleşme içerir [2].

MMK metal matris kompozitler sıvı metal infiltrasyon ve toz metalürjisi yöntemleri oldukça başarılı bir şekilde üretilmektedir. Kompozitlerin optimal matris malzemesi olarak hafif metaller ve alaşımlarıdır. Özellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır. Bununla birlikte, Alüminyum ve bunların alaşımları Ti ve Mg'den daha yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Geleneksel metaller ve alaşımları düşük mekanik özellikleri sebebiyle devam eden araştırma ve gelişme faaliyetleriyle oluşacak yeni sistemlerin ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanacaklardır. Dünyada enerji, iletişim, ulaşım, havacılık, mikroelektronik, uzay gibi sivil ve askeri amaçlı sektörlerde halen çalışılan veya planlanan sistemlerdeki yeni teknolojiler, güvenilirlik ve ekonomik zorunluluklar nedeni ile yeni malzemelere olan gereksinimi arttırmaktadırlar. Kompozit malzemelerin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler sonucunda önemi her zaman gittikçe artmaktadır. Artık tek yönlü malzemeler teknolojinin ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacılar kompozitlerin üretim yöntemleri ve özelliklerinin geliştirilmesi konusunda yoğun çabalar sarf edilmektedir. Kompozitler polimer matris, metal matris ve seramik matris olmak üzere üç ana daldan oluşmaktadır. Polimer matris kompozitler düşük sıcaklık uygulamaları için uygun olurken, seramik matris kompozitler yüksek sıcaklık uygulamaları için tasarlanmıştır. Ancak seramik matris kompozitlerle henüz yeterli seviyede kırılma tokluğu değerleri elde edilemediğinden metal matris kompozitler (MMK), klasik malzemelerin yerini alabilecek en önemli kompozit dalıdır. MMK' ler, yüksek akma mukavemeti, yüksek elastik modülü, yüksek basma gerilmesi, yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi genel olarak pek çok özelliklere sahip olduklarından oldukça ilgi çekicidirler [1].

Seramik takviyeli metal matris kompozit (MMK) malzemeler, metallerin yüksek süneklik ve tokluk, seramiklerin ise yüksek elastik modül ve mukavemetlerini birleştirdikleri için ileriki yılların vazgeçilmez malzemeleri olarak görülmektedirler. Metal ve alaşımlarının özellikleri hakkındaki detaylı bilgiler, bilim adamlarını ve malzeme mühendislerini bu malzemeler üzerinde çalışmaya zorlamaktadır.

Hafif, mukavim ve katı (rijit) malzemelere genel olan gereksinim metal matrisli kompozitlere (MMK) olan ilgiyi arttırmakta, endüstride ve teknolojik gelişmelerle birlikte büyük ölçekte MMK kullanımı ve talepleri artmaktadır. MMK' lerde alüminyum, magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar matris olarak kullanılırken, sürekli fiber, kısa fiber, whisker veya partikül biçiminde üretilen, örneğin; bor, karbon, silisyum karbür ve alümina gibi seramikler veya çelik,

tungsten gibi bazı teller katkı (takviye) malzemesi olarak kullanılmaktadır. MMK'lerde tüm kompozit özellikleri, katkı ve matris alaşımlarının özelliklerine, üretim zamanlarına, katkı/matris ara yüzeyi ve mikro yapı özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlıdır [2].

Bu çalışmanın amacı, özellikle otomotiv sanayinde aranılan özelliklere sahip yüksek elastik modüllü, yüksek çekme dayanımlı, hafif, aşınma direnci yüksek, işlenebilir ve ucuz MMK bir malzeme üretmek ve bu malzemenin özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla çalışmanın ilk aşamasında, üretim ve özellik avantajları sunan toz metalürjisi yöntemi kullanılarak matris olarak seçilen alüminyum metal tozu, takviye malzemesi olarak silisyum karbür (SiC) ve alüminyum oksit ( $Al_2O_3$  ve Al) alümina tozu ball mill yöntemiyle karıştırılarak hidrolik pres ile sıkıştırılıp yatay tüp fırında  $Ar+H_2$  inert gaz atmosferde sinterleme işlemleri gerçekleştirilecektir. Üretilen Al, SiC/ $Al_2O_3$  ve  $Al_2O_3/Al$  kompozit malzemeye sertlik ölçümü, eğme deneyi uygulanacaktır. Bunun yanında teorik ve deneysel yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Metalografik incelemelerde optik mikroskop kullanılmıştır ve morfolojik yapı incelemesi taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak, oluşan fazların tanımlanması X ışını kırınımı (XRD) kullanılarak ve numunelerde kullanılan tozların elementel kompozisyonunu tanımlamak için enerji dağılımlı X ışınları analizi (EDS) kullanılarak yapılmıştır.

## BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Günümüz dünyasında metal piyasasında alüminyum metal sektöründe demir çelikten sonra dünyada ikinci sırada yerini almaktadır. Genellikle tabiatta boksit cevheri halinde bulunmaktadır. Oksidasyona karşı yüksek bir direnci vardır. Bu direncin temelinde genel olarak pasivasyon özelliği yatar endüstrinin pek çok kolunda hatta milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup ve dünyada endüstride çok önemli bir yere sahiptir. Alüminyumdan üretilmiş genel yapı olarak bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Özellikle Hafiflik, yüksek dayanım ve pasivasyon direnç özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde kendine geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [1].

Tablo 2.1. Yer Kabuğunda Genel Olarak Önemli metallerin oranı

Element	Al	Cu	Mg	Ti	Zn	Ni	Fe	Pb
% Oran	7,5	0,01	1,9	0,58	0,02	0,018	4,7	0,002

Alüminyum demir ve çelikten sonraki sırada gelmektedir. Buna rağmen Tablo 2.1.'den görüldüğü gibi yer kabuğunda en fazla bulunan elementtir. Bundan dolayı bu sebeplere rağmen alüminyum, demirin ifade ettiği gerçek sektördeki istenen değere ulaşamamıştır. Bunun sebeplerinide maddeler halinde şöyle sıralayabiliriz:

- Alüminyum parçalanması mümkün olmayan yer kabuğunda bulunan bir araya gelmesiyle oluşan birçok mineralin bileşiminde vardır.
- Alüminyum elementi sertleştirilemez; bu sebepten dolayına takım malzemesi olarak kullanılabilmesi imkânsızdır.
- Günümüze kadar Alüminyumun tarihçesi 180 yıl önce bulundu ve ilk olarak 120 sene önce teknik olarak üretilebilmeye başlandı ve demir ise, ilk çağlardan itibaren ilk tanınan metaldir.

Yer kabuğunda Demir Dışı Metaller daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Demir Dışı Metallerin imal edilişi, demir ve çelik üretiminin yanı sıra çok çok düşüktür. Kısmen yüksek olabilen fiyatlarının aslen be sebepten dolayı oluşmaktadır. Alüminyum günümüz endüstrisindeki yeri hızlı büyümesi ve bu metalin muazzam ve eşsiz özellikleri içerisindeki kombinasyonuna değinilmektedir. Bu karakteristik yapısı ve özellikleri alüminyumu diğer malzemelere oranla çok yönlü yapıya sahip mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyumun en önemli özelliklerinden olan ağırlıkça hafiftir ve alaşımları endüstrideki yapı çeliklerinden daha fazla mukavemete sahiptir. Alüminyum piyasada iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe ve yüksek bir ısı ve ışık yansıtmasının her ikisine de sahiptir. Genelde çok hizmet şartlarında korozyon direnci oldukça iyi ve sağlık bozucu yanı yoktur. Alüminyum döküm olarak dökülebilir ve pek çok şekilde getirilebilir ve geniş bir aralıkta hassas bir yüzey kalitesi verir. Alüminyumun bu üstün özellikleriyle günümüzde mühendislik malzemesi olaraktan büyük önem arz etmeside bununla alakalıdır [\*].

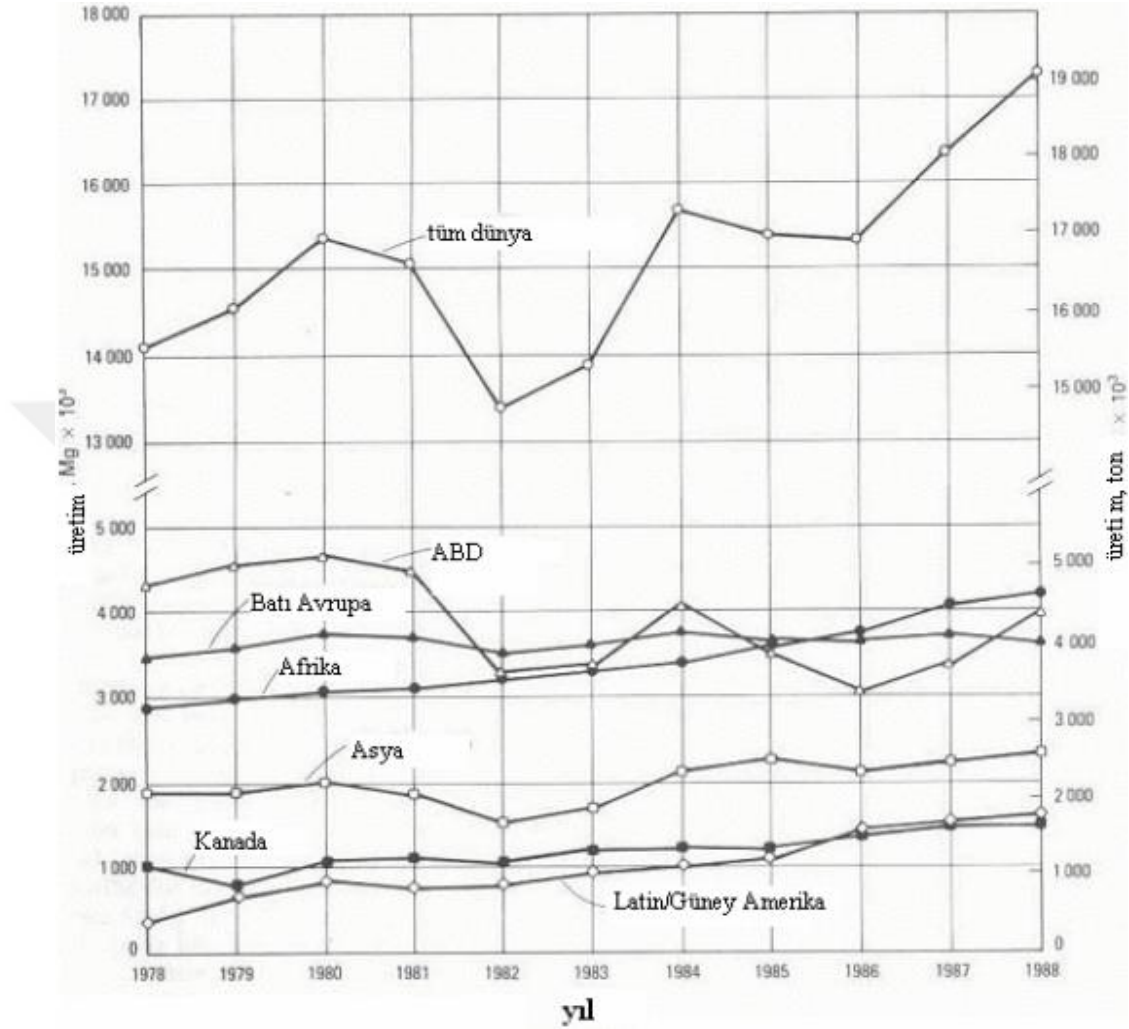
Aşağıdaki Tablo 2.2.' de alüminyumun mekanik özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.2. Alüminyumun mekanik özellikleri

Akma Sınırı( $\sigma_s$ )	10–30 MPa (*)
Sertlik(HB 2,5)	12–20
Elastiklik Modülü(E)	$7,1 \times 10^5$ MPa
Kayma Modülü(G)	$2,7 \times 10^5$ MPa
Çentik Darbe Sünekliği( $\alpha_k$ )	110 MPa
Kopma Uzaması	30–39 % (*)
Ergime Noktası	660°C
Dövülme Sıcaklığı	300–500°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	250–300°C
Yoğunluk ( $\delta$ )	$2,7 \text{ g/cm}^3$
Kristal Yapı	Yüzey merkezli kübik (YMK)

Alüminyumun oksijene olan ilgisi yüksek olması nedeni ile yüzeyde havanın teması sonucu ince fakat yoğun bir oksit tabakası( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) teşekkül eder. Bu yüzeyde oluşan

oksit tabakası alüminyumı diğer etkilerden korur; ancak bazılar, asitler ve tuzlar tabakayı çözerler[4].



Şekil 2.1. Yıllık primer alüminyum üretiminin ülkelere göre dağılımı [5].

## 2.1. Alüminyum Alaşımları

### 2.1.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Dövme alüminyum ve dövme alüminyum alaşımlarının içeriğini belirlemek için dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi kullanılır. Son iki basamaklar ise alüminyum alaşımını veya alüminyumun saflığını gösterir. Dövülmüş alüminyum alaşımları Tablo 2.3.'te verilmiştir.



Tablo 2.3. Dövme alüminyum alaşım gruplar[3].

Dövme alüminyum alaşım gruplar	
Alüminyum % minumum ve daha büyük	1 xxxx
Bakır	2 xxxx
Silisyum ilave edilmiş bakır ve/veya magnezyumlu	3 xxxx
Silisyum	4 xxxx
Magnezyum	5 xxxx
Çinko	7 xxxx
Kalay	8 xxxx
Diğer elementler	9 xxxx
Kullanılmamış seriler	6 xxxx

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının dökülmüş olan ve dökümhane ingotu şeklinde belirlemede, dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi kullanılır. İlk basamaklar ise alaşım grubunu gösterir. Bir kesir işaretiyle diğerlerinden ayrılan son basamak ürünün biçimini gösterir örneğin dökümler veya ingotu gösterir. Orijinal alaşım veya empirüte sınırlarının bir modifikasyonu sayısal olarak tasarımdan önce bir seri harfle gösterilir.

Bununla beraber ise alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak üç basamakla tanımlanır. Döküm alüminyumun alaşımlarının gruplandırılması Tablo 2.4.'te gösterilmektedir[3]. 1909 yılında Film adında bir araştırmacı %3.5 bakır %0.5 magnezyum içerikli alüminyum alaşımın yaşlandırarak yüksek mukavemetli alüminyum alaşımı üretmiştir. Yapısal malzeme olarak bu alaşımların önemi hemen algılanmıştır [6]. Alaşım elementlerinin ilk görevi ise yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özelliklerini kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliğini kazandıran elementler: Mangnezyum, maganez, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaşlamamaktadır. Kübik yüzey merkezli(KYM)alüminyum kristal kafes yapısı, ancak çok küçük oranlarda bu elementlerden alabilir. Yabancı atomlar arasında kristal kafesi içerisinde kaymaya karşı direnci arttırırlar; yani akma sınırını yükseltirler, şekil değiştirme kabiliyeti ise tesiretmez.

Bu elementlerin genel olarak oranlarının daha yüksek olması halinde alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünemeyen kısımlarında sert, kırılğan intermetalik bileşikler oluşur. Böylelikle ise mukavemet daha da yükselir ancak şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur. Bu nedenlerle dövme alaşımları, az alaşım ihtiva ederler. Alüminyum-Silisyum alaşımı ise istisnai bir durum teşkil eder. %12.6 silisyumda bir ötektik noktaya sahip olan bu alaşım en çok tanınan alüminyum döküm alaşımıdır.

Saf alüminyumun bilinen en önemli ise korozyona karşı olan yüksek dayanımı daha soy olan bakır elementi tarafından azaltılır. Bu etkiyi sağlayabilmek için 0.1% Cu bile yeterlidir. Hurdaların tekrardan metal haline getirilebilmesi için ergitilmesi sırasında bakır uzaklaştırılmaz. Şayet bu sıvı metalden dökme alaşımları üretiliyorsa, %1 oranında bakır yapıda kalabilir. Bu dökme alaşımları korozyona dayanıklı değildir.

Tablo 2.4. Döküm alüminyum alaşım grupları [5].

%99+Al	1XXX
Bakır	2XXX
Mangan	3XXX
Silisyum	4XXX
Magnezyum	5XXX
Magnezyum+Silisyum	6XXX
Çinko	7XXX
Lityum	8XXX

Ticari saflıkta alüminyum yaklaşık %99,3 Al'dan minimum %99,7'ye değişir. Yüksek saflıkta bulunan alüminyum elektriksel iletken alaşımlar ve reflektör levhalar gibi uygulamalar için seçilir. Ticari olarak saf alüminyum alaşımı olan 1100 alaşımını üretmek için demir ve bakır ilaveli düşük saflıkta bulunan metal kullanılır.

Bu alaşım Őekillendirebilirlik ve kaynaklanabilirlikle beraber diğerine göre yumuşak ve sünektir. Ticari saf alüminyum mükemmel korozyon direnci gösterir. Alaşımsız alüminyumun içeriği(1XXX serileri) nispeten saf bir alüminyum matrisle karakterize edilebilir. Tavlanmış %99,99 Al ’un çekme dayanımı yaklaşık 45 MPa, akma dayanımı 10MPa ve uzaması % 50’dir [3].

### 2.1.2. Alüminyum mangan alaşımları

Ticari saf alüminyuma yaklaşık %1.2 Mn ilavesi orta düzeyde dayanımlı ısıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretir. Mangan ilavesi alüminyumu katı eriyik mukavemetleşmesi ve ince bir dağılım okelmesi ile mukavemet kazandırılır. Bu alaşımlar genel amaçlar için kullanılır. Burada orta düzeyde dayanım ve iyi Őekillendirilebilirlik gereklidir. Alüminyum-mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulama alanları Tablo 2.5.’te verilmiştir.

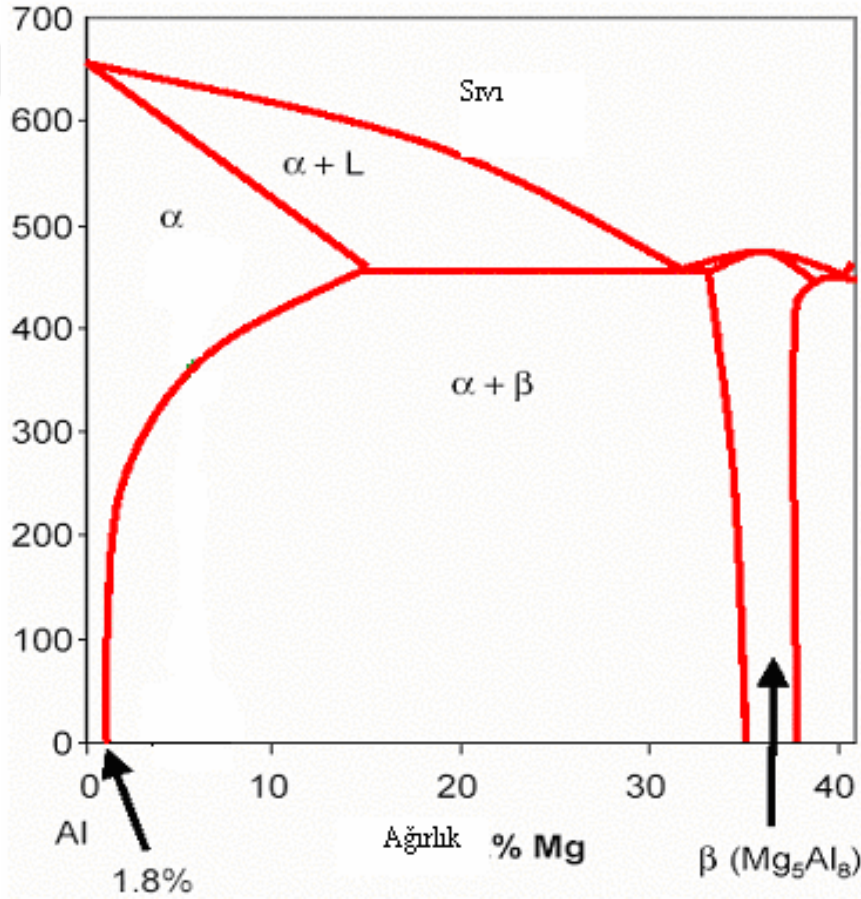
Tablo 2.5. Alüminyum-Mangan alaşımlarının kimyasal kompozisyonu ve uygulamaları [3].

Alaşım	%Mn	%Mg	%Cu	Uygulamalar
3003	1.2		0.12	Pişirme kapları, kimyasal ekipmanlar, basınç kapları
3004	1.2	1.0		Levha metal, depo tankları,basin kaplar
3005	1.2	0.40		İnşaat rnleri-bölmeler, oluklar
3006	0.5	0.50		İnşaat rnleri-bölmeler, oluklar

Alüminyum-mangan alaşımlarının dayanımı 1100 alaşımından 20-25MPa daha yüksektir. Bu alaşımlar inşaat ve özel ürün alanlarında uygulamalar için arzu edilen dayanım Őekillendirilebilirlik ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir [3].

### 2.1.3. Alüminyum magnezyum alaşımları

İkili olarak alüminyum-magnezyum alaşımları ise ısıtım işlem uygulanamayan 5000 serileri için esas olarak oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir özelliğe eriyebilirliğe sahip olmakla birlikte katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe düşer (Şekil 2.2.), alüminyum magnezyum alaşımları % 7 Mg 'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer şekilde çökeltme sertleşmesi göstermezler. Bununla birlikte magnezyum katı eriyik mukavemetleşmesi ile birlikte ve yüksek sertleştirme özelliği sağlar.



Şekil 2.2. Alüminyum-Magnezyum faz diyagramının alüminyumca zengin ucu [5].

Alüminyum-magnezyum alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları Tablo 2.6.'da verilmiştir. Pek çok alüminyum-magnezyum alaşımın yüzey kalitesi ve dekoratif amaçlı olarak geliştirilmiştir. Örnek olarak 5053, 5252 gibi.

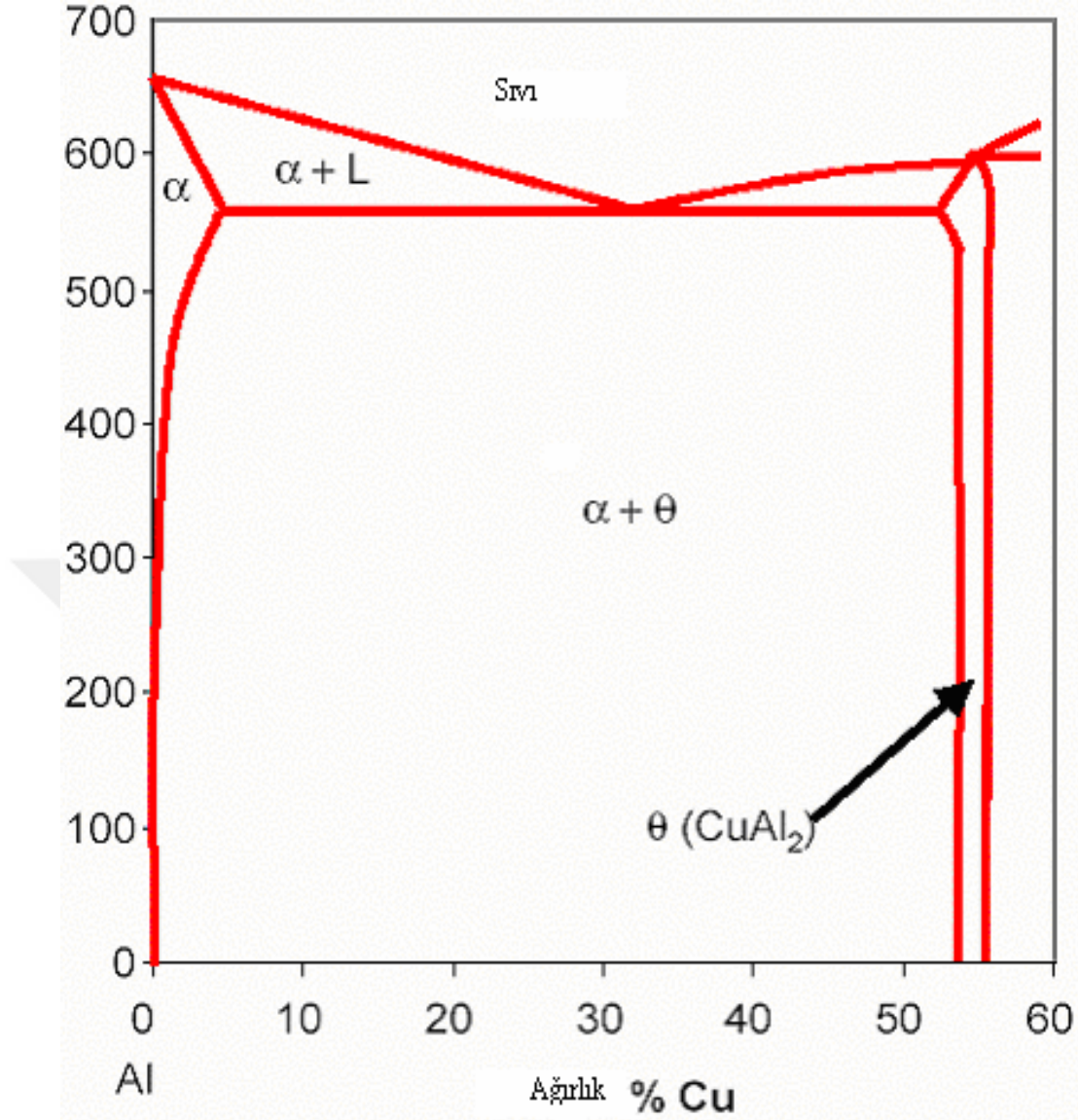
Tablo 2.6. Al-Mg alaşımların kimyasal kompozisyon ve uygulamaları [3].

Alaşım	% kompozisyonu	Uygulamalar
5005	0.8 Mg	Mimari süsler, elektriksel iletkenler
5050	1.4 Mg	Dayanıklı tüketim yapı malzemeleri
5056	0.12Mo,5.1Mg,0.12Cr	Kablo kılıfı, magnezyum için perçin
5652	2.5Mg, 0.25Cr	Hidrojen peroksit ve kimyasal depo tankları.

Magnezyum, genelde Al-Mg alaşımlarında katı olarak eriyik haldedir. Buna karşın magnezyum içeriği yaklaşık %3.5 'i aştığında  $Mg_2Al_3$ , düşük sıcaklık ısıl işlem veya yüksek sıcaklıklardan yavaş soğuma ile keltilebilir.

#### 2.1.4. Alüminyum-bakır alaşımları

İlk olarak dövülmüş alüminyum bakır alaşımı ABD'de AR-GE alışmaları ile geliştirilen yaklaşık %5,5 Cu içeren 2025 alaşımı yaklaşık 1926 'da ortaya konmakla beraber halen sınırlı olarak kullanılmaktadır. Bakır ise alüminyum için oldukça önemli bir alaşımdır, çünkü bakır için iyi bir katı eriyik oluşturur ve uygun olarak ısıl işleme oldukça yüksek dayanım sağlar. Alüminyumda bakırın eriyebilirliği, sıcaklığı düşürmekle hızlı bir Şekilde %5.65' den oda sıcaklığında yaklaşık %0.1' e düşer (Şekil 2.3.)[3,5].



Şekil 2.3. Al-Cu faz diyagramının alüminyumca zengin ucu [5].

Alüminyum bakır alaşımlarının maksimum çökeltme mukavemet artırması etkisini başarmak amacı ile alüminyum bakır alaşımları için aşağıdakiler yerine getirilebilmektedir.

- α katı eriyik faz alanında çözündürme ısı işlemi yapılmalıdır.
- Oda sıcaklığına veya daha aşağı hızlı su verilmelidir.
- -130–190°C aralığında yapay yaşlandırılmalıdır.

### 2.1.5. Alüminyum - bakır magnezyum alaşımları

Alüminyum – bakır-magnezyum alaşımları için genel olarak keşfedilen ilk çökeltme ile sertleştirilebilen alaşımlardır. Çökelti sertleştirilmiş için ilk alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşım kimyasal kompozisyonu %4 Cu, %0.6 Mg ve %0.7 Mn Nominal kompozisyonuna sahiptir. En yaygın dövme alüminyum – bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 2.7.’de verilmiştir. 2014 alaşımının çekme dayanımı tavllanmış şartlarda 186MPa’ dan T6 ısıtma işlemi ile 483MPa’ a değişir [5]. Çözündürme ısıtma işlem sıcaklığı çok düşükse sertleşen fazlar su verme öncesi tamamen çözünmez ve bu nedenle düşük çekme dayanımları elde edilecektir. Çünkü çökelti yoğunluğu az olacaktır. Çözündürme ısıtma işlem sıcaklığı çok yüksekse düşük ergime sıcaklıklı bazı fazlar eriyecektir. Bu da dayanım ve süneklikte azalma sonucunu doğuracaktır [3].

Tablo 2.7. Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri [3].

Alaşım	%Cu	%Mg	%Mn	%Si	%Ni	% Diğerleri	Uygulamalar
2014	4.4	0.5	0.8	0.8			Kamyon iskeleti, uçak yapıları
2017	4.0	0.6	0.7	0.5			Vida makinesi ürünleri
2018	4.0	0.7			0.2		Uçak motor silindir başlıkları ve pistonlar
2024	4.0	1.5	0.6				Kamyon direksiyonları, vida makinesi ürünleri uçak parçaları
2218	4.0	1.5			2.0	0.18 Si, 1.0 Ni	Jet motoru pervaneleri ve kompresör yüzükleri, uçak motor silindir kafaları
2618	2.3	1.6				1.1 Fe, 0.07 Ti	Uçak motorları, 238° C ye kadar.

### 2.1.6. Alüminyum magnezyum silisyum alaşımları

Alüminyumda magnezyum ve silisyumun kombinasyonu dövülmüş çökelti sertleştirilebilen alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları 6000 seriler için temelini oluşturur. Çoğu durumlarda, magnezyum ve silisyum birleşerek metaller arasında Mg<sub>2</sub>Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturabilmesi için alaşımlarda nominal

miktarlarda bulunur ancak silisyum  $Mg_2Si$  için gerekli olan miktardan fazla silisyum kullanılabilir.

Magnezyum ve krom, çoğu 6000 serisi için alaşımlarına göre yükseltilmiş dayanım ve tane boyutu kontrolü için ilave edilebilir. Al – Mg - Si sisteminde çökelti sertleşmesi için sıcaklık azaldığında metaller arasında oluşan bileşik  $Mg_2Si$  'un katı olarak eriyebilirliğinde azalma olması ile birlikte mümkün hale gelebilmektedir [3].

### 2.1.7. Alüminyum döküm alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları için akıcılık, süreklilik ve besleme yeteneği; dayanım, süneklik ve korozyon direnci gibi özellikleri döküm sınıfları için geliştirilmişlerdir. Bu sebeple bunların kimyasal kompozisyonlarının dövme alüminyum alaşımlarından farklılık göstermektedir. Kum- kalıcı kalıp ve pres döküm alüminyum ve alaşımlarının tipik uygulamaları ve kimyasal kompozisyonları Tablo 2.8.'de verilmiştir. Bunlar alüminyum birliği numara sistemine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.8. Alüminyum döküm alaşımları için kimyasal kompozisyon ve tipik uygulamaları [3].

Kum ve kalıcı kalıp döküm alaşımları					
Alüminyum bakır döküm alaşımları					Tipik uygulamalar
Alaşım tasarımı	%Cu	%Si	%Mg	%Diğer	
208	4	3			Genel amaçlı kum dökümler manifold ve valf gövdeleri
213	7	2			Çamaşır makinası çalkalayıcısı, otomotiv silindir kafaları
232	10	-	0.25		Öncelikle bir piston alaşımıdır ve de hava silindir kafaları için kullanılır.



Tablo 2.8. (Devamı)

Kum ve kalıcı kalıp döküm alaşımları					
Alüminyum bakır döküm alaşımları					Tipik uygulamalar
Alaşım tasarımı	%Cu	%Si	%Mg	%Diğer	
242	4	-		2 Ni	Hava soğutma silindir kafaları, yüksek performanslı dizel motorların pistonları
295	4.5	1.1			Yüksek dayanım ve darbe direnç gerektiren genel yapısal dökümler
B 295	4.5	2.5			295'in kalıcı kalıp versiyonu, uçak donanımı
Alüminyum-silisyum-bakır alaşımları					
	%Si	%Cu	%Mg		
308	5.5	4.5			Genel amaçlı kalıcı kalıp dökümler ve süslü parmaklıklar
319	6.3	3.5			Genel amaçlı alaşımlar, motor parçaları, otomobil silindir kafaları
333	9	3.5	0.25		Motor parçaları için kullanıcıdan gelen genel amaçlı alaşımlar
354	9	1.8	0.5		Yüksek dayanım döküm gerektiren uçak füze ve diğer uygulamalar
Alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımları					
	%Si	%Cu	%Mg	%Diğer	
F 332	9.5	3	1		Otomotiv pistonları, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren parçalar
355	5	1.2	0.5		Pompa gövdeleri, sıvı soğutma silindir kafaları, motor karteri, aksesuarlar ve uçak donanımları

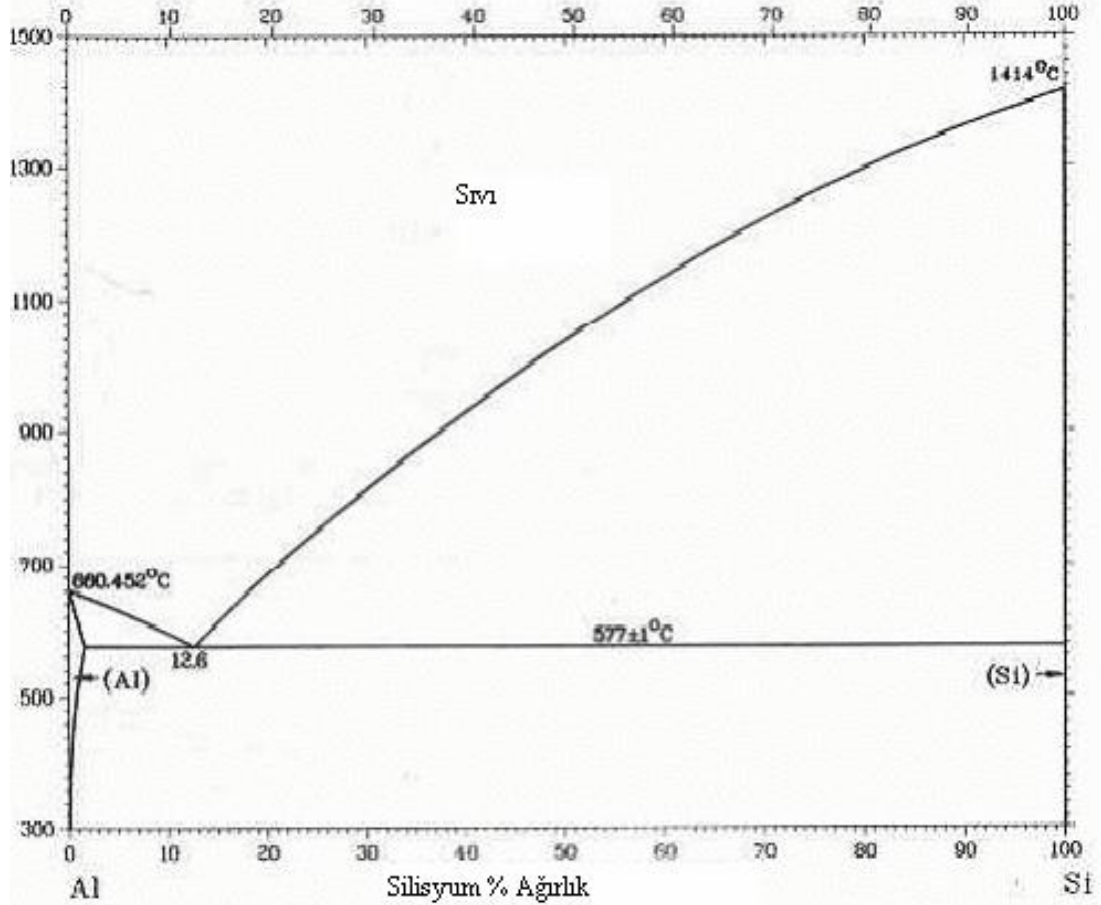
Tablo 2.8. (Devamı)

Kum ve kalıcı kalıp döküm alaşımları					
Alüminyum bakır döküm alaşımları					Tipik uygulamalar
Alaşım tasarımı	%Cu	%Si	%Mg	%Diğer	
C 355	5	1.2	0.5	0.2 max Fe	355'e benzer ancak daha güçlü ve sünek uçak, füze ve yüksek dayanımı gerektiren diğer uygulamalar
356	7		0.3		İyi dayanım ve süneklik gerektiren karmaşık dökümler, transmisyon kutuları, kamyon aks muhafazaları, silindir blokları, tren tankları
A 356	7		0.3	0.2 max Fe	356'ya benzer ancak daha güçlü ve sünek dayanım, süneklik ve korozyon dayanımı gerektiren uçak ve füze parçaları
357	7		0.5		Mükemmel korozyon direnci gerektiren yüksek gerilimli dökümler, uçak ve füze parçaları, yüksek hızlı fon bıçakları
A 357	7		0.5	0.05 Be	Uçak ve füze parçaları
359	9		0.6		Yüksek dayanım, uçak füze ve diğer uygulamalar

Alüminyum-silisyum döküm alaşımları için göstermiş olduğu üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli döküm alaşımlarıdır. Alüminyum-silisyum alaşımları sıvı durumda nispeten daha yüksek akıcılık ve katılma sırasında mükemmel akışkanlık ve sıcak yırtılmadan bağımsızdır. Silisyum genelde saf alüminyumun korozyon direncini azaltmaz. Bazı durumlarda orta asidik ortamlarda korozyon direncini arttırabilmektedir[3].

Al-Si alaşımları için ısıtım işlemi uygulanabilir olarak düşünülmez. Bu sebepten sadece az bir miktar silisyum (%1.65 silisyum maksimum) alüminyum içerisinde çözünebilir ve silisyum katı eriyikte çökelmez, çok az miktarda sertleşmeye neden olur. Al-Si sistemi, % 12,6 Si 'da ötektik kompozisyonlu basit bir ötektik

tiptir(Şekil2.4.)[5]. Önem arz eden ticari ikili alüminyum silisyum alaşımları %5,3 Si (nominal) içeren A443 ve %12 Si (nominal) içeren A413'dür. Alaşım A443 esas olarak kum ve kalıcı kalıp döküm için kullanılırken alaşım A413 esas olarak kum ve kalıcı kalıp döküm için kullanılır. A443 'ün (Al-%5 Si) katılaşması sırasında hemen hemen saf alüminyumun dendritleri ilk olarak katılaşır. Bu dendritler arasındaki yerler sonra alüminyum-silisyum ötektiği ile doldurulur. Ötektik katılaşığında hemen saf alüminyum ve silisyuma ayrılır. Katılaşma hızı arttırıldığında, dendrit hücreleri küçülür. Kuma döküm Al-Si alaşımının ötektik yapısı, dökümden hemen önce küçük miktarda sodyumun (%0.025) metalik veya tuz olarak ilavesi ile oldukça inceltilir.



Şekil 2.4. Alüminyum silisyum faz diyagramı [5].

Döküm olarak alüminyum-silisyum ikili alaşımlarının dayanım özellikleri, az miktarda (yaklaşık %0.35) magnezyum ilavesi ile iyileştirilebilir. Bu tip için en

önemli alüminyum döküm alaşımı A356'dır. Tablo 2.9.'da bazı alüminyum-silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Alüminyum-silisyum döküm alaşımlarında iyi bir üretim için çok fazla parametre vardır, özellikle mikro yapı ve alaşım bileşenleri optimum mekanik özellikleri elde etmek için gerekli, kritik mikro yapı özelliklerinden bazıları tane boyutu, dentrit kol aralıkları, ötektik fazdaki silisyum morfolojisidir [7]. Titanyum, boron ve fosfor tane inceltici ve modifikasyon için katılma öncesi kullanılır.

Tablo 2.9.Yaygın olarak kullanılan Alüminyum-Silisyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu [7].

Alaşım	Üretim Metodu	Element (W%)					
		Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Diğer
350 Serisi	S/PM	5-7	<0.2-1.25	0.35-0.55	<0.06- <0.2	<0.1- <0.35	-
380 Serisi	D	8.5-11.0	2.0-3.5	<0.1- <0.3	<1.3	<3.0	<0.3 Sn
390 Serisi	D	<7.5	4.5	0<55	<1.3	<0.1	<0.1 Mg
400 Serisi	S/PM/D	5.25-12.0	<0.1- <0.3	<0.05- <0.1	<0.8- <2.0	<0.5	-

S=kuma döküm; PM=sürekli döküm; D=basınçlı döküm

Al-Si denge diyagramında, ötektik veya ötektik altı alaşımlar korozyon direnci ve iyi dökülebilirlik olarak karakterize edilir. Ötektik üstü alaşımlar ise, örneğin; 390 ve 393 %15–25 silisyum ihtiva ederler ve mükemmel aşınma direnci ve düşük termal genişleme katsayısı, işlenebilirlik sağlamaktadır. Mukavemet kazandırıcı elementler olarak magnezyum, bakır ve nikel düşük oranlarda ilave edilebilir. Diğer özellikleri de iyileştirebilir. Örneğin, ötektik altı alaşımlarda silisyum iyi dökülebilirliği sağlarken, bakır ise çekme mukavemetini, işlenebilirliği ve termal iletkenlik sağlar fakat korozyon direncini düşürür [1,7].

### 2.1.8. Alüminyum-lityum alaşımları

Alüminyum-Lityum alaşımları 1980'li yıllarda öncelikle uzay ve uçak yapılarının hafifletmek için üretilmiştir. Bunlar aynı zamanda soğuk uygulamalar içinde örneğin

sıvı oksijen ve uzay araçları için hidrojen yakıt tankları için projelendirilmiş ve incelenmiştir. Bununla beraber Al-Li alaşımlarının bedeli, lityumun yüksek maliyeti ve işlem için özel ekipman ve cihazlar gerektirmesinden dolayı geleneksel alüminyum alaşımlarından üç beş kat daha fazladır. Bu sebeple bu alaşımların uygulanması ağırlığın öncelikli olduğu yerlerle sınırlanmıştır.

İkili Al-Li alaşımları için düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip olmak eğiliminde ve alüminyum lityum alaşımları veya mukavemet kazandırma için daha ince veya daha homojen çökelti sağlamak amacı ile bakır veya bakır ve magnezyum içerirler [3].



### **BÖLÜM 3. TOZ METALURJİSİ**

Metal tozları için ve bu tozlardan kütleli malzeme veya şekillendirilmiş parça üretme yöntemi toz metalurjisi (TM) olarak isimlendirilmektedir. TM, boyut ve şekil özelliğine sahip metal tozlarını basınç ve sıcaklık yardımıyla dayanıklı ve yüksek performanslı parçalar haline getirilmesi işlemidir. TM teknolojisi ile metal tozlarının üretimi, tozların karıştırılması ve preslenerek şekillendirilmesi, sinterlenmesini kapsayan bir süreçtir. TSE toz metalurjisini “metalurjinin metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterlenmesiyle ilgili bölümü” olarak tanımlanabilmektedir. [8,9].

TM birçok yerde geleneksel olmayan üretim yöntemleri arasında gösterilse de, 5000 yıldır kullanılmakta ve yöntem kullanılarak yapılmış çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır. Mısırlıların alet yapımında demir oksitten köklerle hava üfleme ve taş kömürü yardımıyla ısıtmak suretiyle "sünger demir" üretimi en eski TM yöntemi olarak literatüre geçmiştir. Wollaston tarafından 1829 yılında sıvı çözeltilerde amonyak-platin klorür çökmesi ile başlayıp, platin sünger tozundan son ürün olarak kompakt platin üretiminin yapılması ise modern TM başlangıcı olarak kabul edilmektedir [10]. Özellikle I. ve II. Dünya Savaşları'nın sebep olduğu daha fazla üretim gereksinimleri ve otomotiv sektöründeki olağanüstü büyüme, bu yöntemin geliştirilmesi yönündeki çalışmaları hızlandırmaktadır. 1950 ve 1960'lı yıllardan günümüze, TM ile yapılan yoğun çalışmalar sonucu; düşük enerji tüketimine yönelik ve yüksek malzeme kullanımına veya düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemler düzenli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu özellikler sayesinde de verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüzde ki üretim kaygıları ortadan kalkmaktadır [11,12].

Toz metalurjisinin uygulama alanları oldukça geniştir. Otomotiv güç aktarma dişlileri, tungsten lamba filamentleri, diş dolguları, elektrik kontaktları, implantlar, yeniden şarj edilebilir piller, kendinden yağlamalı yataklar, akü elemanları, ortopedik gereçler gibi spesifik parçalar örnek verilebilir [12].

### **3.1. Toz Metalurjisi Proses Adımları**

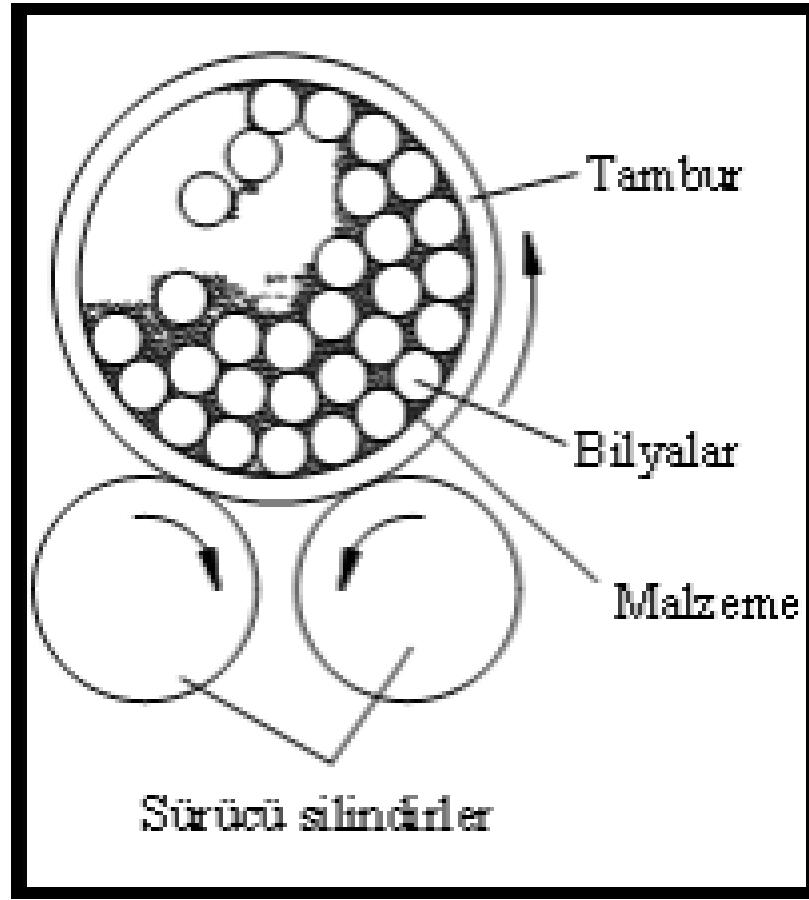
Metal tozlarının üretiminde başlıca kullanılan yöntemler; mekanik yöntemler, kimyasal yöntemler, elektrolitik yöntemler ve atomizasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerden geçmişte en çok kullanılanları mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemlerdi. Günümüzde ise metal tozların genel olarak % 60' dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilebilmektedir [13].

#### **3.1.1. Mekanik yöntemler**

Mekanik yöntemler, öğütme ve mekanik alaşımlama veya talaşlı üretim olmak üzere üç grupta incelenir [14].

##### **3.1.1.1. Öğütme**

Mekanik yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntem, öğütmedir. Talaş kaldırma yöntemi ile diğer darbe yöntemleri ve elde edilen tozlar, genellikle pul şeklinde, köşeli veya karmaşık şekle sahip olduğundan öğütme işlemi ile daha ince hale getirilirler. Öğütme işleminde Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, genellikle bilyalı değirmenler de yapılmaktadır [15,16]. Öğütme işleminde öğütücü bilye çapı, parçacık çapının yaklaşık 30 katı olmalıdır. İdeal bir öğütme ortamında bilyeler, buldukları kap hacminin  $\frac{1}{2}$ 'sini geçmemeli ve öğütülecek tozlarda kap hacminin  $\frac{1}{4}$ 'ü kadar olmalıdır [10].

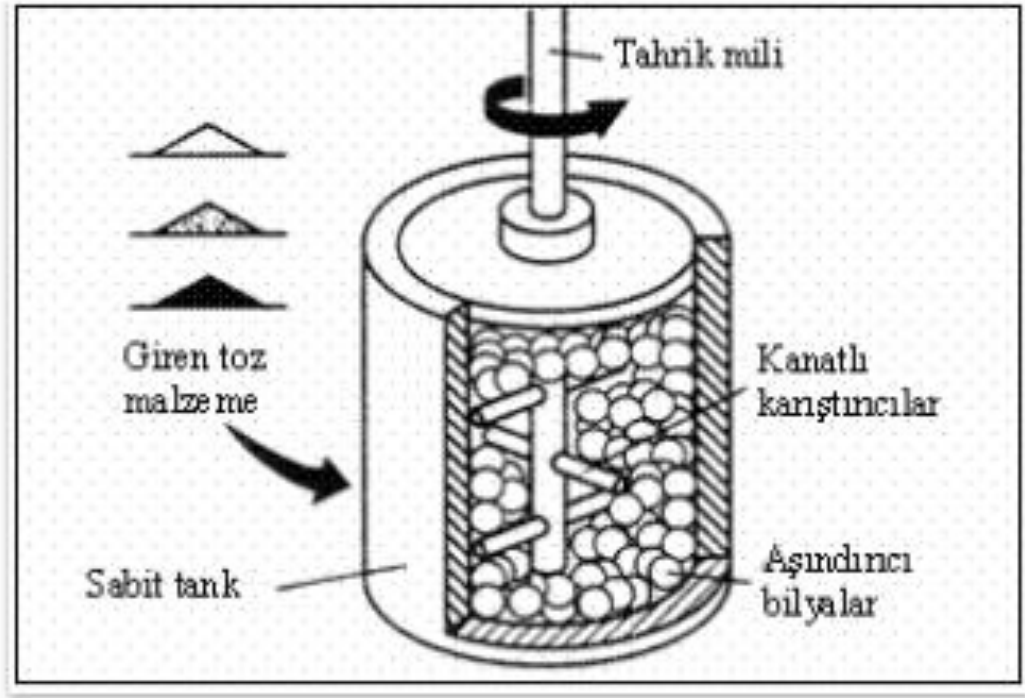


Şekil 3.1. Bilyalı değirmende öğütme

### 3.1.1.2. Mekanik alaşımlama

Mekanik alaşımlama (M.A.) yönteminde kuru veyakalı haldeki tozlar birbirleri ile periyodik olarak kaynaklanır ve daha sonra bu kaynakların kırılması sağlanır. Böylelikle aşırı miktarda deforme olmuş daha ince veya homojen bir hale, mikroyapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzeme elde edilir [17,18]. Mekanik alaşımlama yönteminde Şekil 3.2.'deki gibi tozlar kapalı bir kap içerisine konulur. Bu aşamadan sonra şaft döndürülür. Şaft kolları ve bilyalar yardımı ile tozlar vasıtası ile deforme edilir ve bu tozlarda kırılmalar oluşur ve soğuk kaynaklaşmalar meydana gelir.





Şekil 3.2. Mekanik alıştırma yöntemi

### 3.1.1.3. Talaşlı üretim

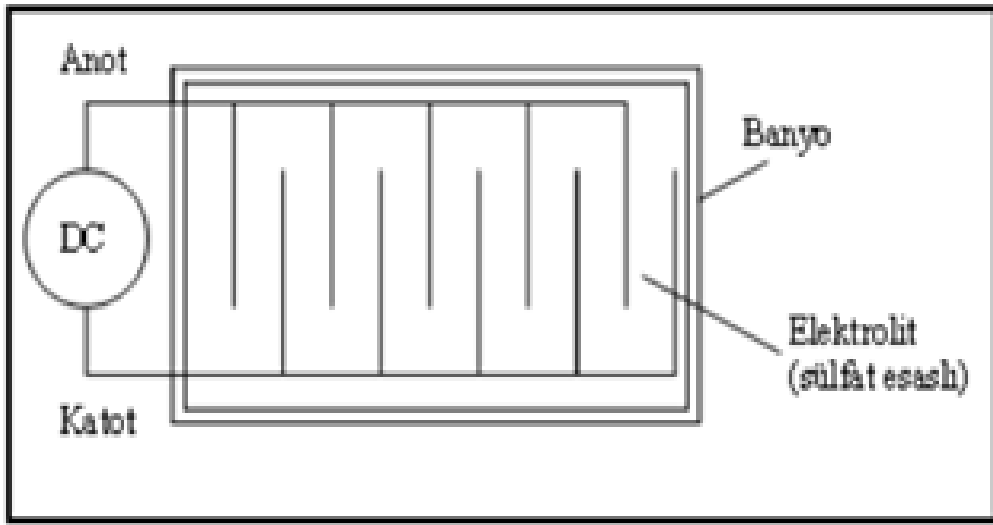
Metal işleme sonucu ortaya çıkan çok miktarda metal talaşı öğütme işlemine tabi tutularak ince tozlar haline getirilebilir. Yeterli gevrekliğe ulaşmayan metal parçaların içerisine katkı maddesi eklenerek gevrekleştirilir ve bu nedenle kırılabilirlik sağlanır. Bu yöntemde oksitlenme, yağlanma ve kir tutma gibi problemlerle karşılaşılabilir. Bu nedenlerden dolayı verimi düşük ve yavaş bir yöntemdir [19,20].

### 3.1.2. Kimyasal Yöntemler

Genellikle çoğu metalin tozları kimyasal yöntemler uygulanarak üretilebilmektedir. Toz üretimi, çeşitli kimyasal yöntemler olmasına rağmen genel olarak katı, sıvı ve gaz tepkimeleriyle gerçekleştirilirler [21].

### 3.1.3. Elektrolitik Yöntemler

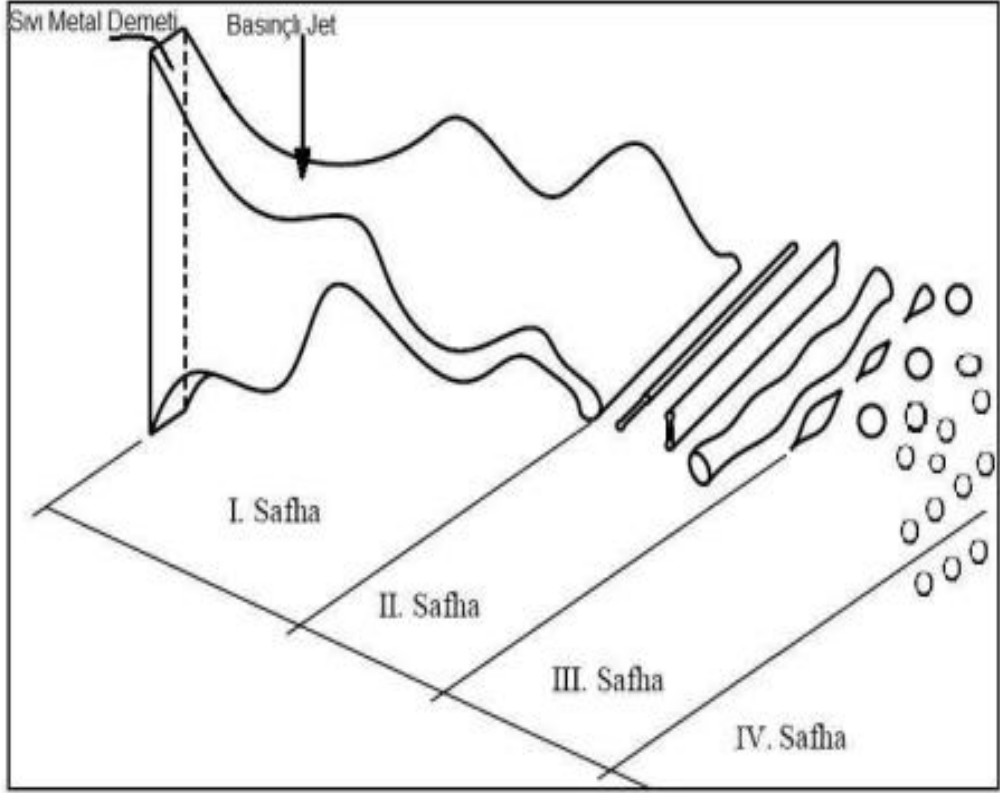
Elektrolitik yöntemler demir, bakır, çinko, krom tozlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde malzeme anot olarak elektrolitik banyosunun içerisinde çökertilerek katot üzerine toplanır. Elektroliz işlemi aşağıdaki Şekil 3.3.'te gösterilmiştir. Bu yöntemde elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfirik asit kullanılır. Daha sonra elde edilen metal parçacıklar yıkanır, kurutulur, indirgenir ve tavlama işleminden geçirilerek değirmende öğütülür ve ince tozlar haline getirilir [22].



Şekil 3.3. Elektrolitik yöntemle toz üretimi

### 3.1.4. Atomizasyon yöntemi

Atomizasyon yöntemi, sıvı metalin, genel olarak yüksek hızlara sahip gaz akışının etkisi ile çok sayıda damlacıklara ayrılıp katılaşması işlemidir. Toz boyutunun kontrol edilebilmesi, takip edilebilmesi, üretimin çok hızlı olması ve elde edilen tozların mikro yapısı, diğer yöntemlerle elde edilen tozlara göre daha üstün olması bu yöntemin avantajlarıdır. Bu nedenle çoğu alaşım sistemi için uygulanabilmektedir. Atomizasyon yönteminin 4 ana safhası vardır. Bunlar Şekil 3.4.' te gösterildiği gibi tabakalaşma, ligament oluşumu, damlacık oluşumu ve katlaşmadır.



Şekil 3.4. Atomizasyon yönteminin ana safhaları

Atomizasyon yöntemlerini ise beşe ayırabiliriz. Bunlar; döner disk, döner elektrot, vakum atomizasyon, gaz atomizasyon yöntemi ve su atomizasyon yöntemidir [23].

### 3.2. Toz Metalurjisinin Avantaj ve Dezavantajları

#### 3.2.1. Toz metalurjisinin avantajları

- Malzemeler üretilirken oluşan hammadde kaybı çok azdır.
- Birçok alaşım, daha iyi özelliklere sahip olarak üretilmektedir.
- Üretilen parçalar uzun süreli ve güvenilir bir performansa sahiptir.
- Ekonomiktir ve üretim sürecinin kontrolü kolaydır.
- Gözenekli yapı malzemelerin üretimi için elverişlidir.
- Ergime kayıpları ve hataları yoktur.
- Talaşlı işleme gerek yoktur, sinterleme işleminden sonra parça kullanıma hazırdır.

### 3.2.2. Toz metalurjisinin dezavantajları

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Seri olmayan üretimlerde diğer üretim yöntemlerine göre amortisman değerleri yüksektir.
- Tozların kalıp içindeki akışkanlığı sınırlı olduğundan dolayı yapılacak parçanın şeklisınırlayıcı bir faktör olabilir.
- Metal tozları, ingot halindeki malzemelerden daha pahalıdır.
- Büyük malzemelerin preslenmesi için çok büyük basınç değerlerine ihtiyaçduyulmaktadır [12,24].



## **BÖLÜM 4. KOMPOZİT MALZEMELER**

Kompozit malzemeler aynı veya farklı gruptaki birbiri içerisinde genelde pratik olarak çözünmeyen iki ve daha fazla sayıdaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni veya tek bir malzemede toplamak amacı ile makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler olarak tanımlanabilir [25].

Kompozit malzemeler takviye edici malzeme ve matris malzeme olmak üzere iki bileşen grubundan oluşmaktadır. Takviye edici malzeme, kompozitin süreksiz, daha sert ve daha yüksek dayanım göstermesini sağlamaktadır. Matris malzeme ise takviye edici malzemelerin yüzeylerini dış veya çevresel etkilere karşı koruyup dirençlerini arttırabilmekte ve kompozit üzerine gelen yükün takviye elemanı ile homojen olarak dağıtmakta ve böylece plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerinin önleyip kompozit malzemenin kopmasını geciktirebilmektedir [26,27,28].

Kompozit malzemelerin bileşenlerinin her birinin en iyi özelliklerine sahip olmalıdırlar. Bundan dolayı kompozit malzemeler birçok avantaja sahiptir. Bunlar; kolay şekillendirme, hafiflik, yüksek dayanım, ekonomiklik, bükülmezlik, yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlik şeklinde sıralanabilir [29].

Kompozit malzemelerin birçok avantajının yanında Hammaddesinin pahalı olması, malzemelerinin sınırlı raf ömürlerinin olması, malzemelerinin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı olması, üretimi esnasındaki zorluk gibi birçok dezavantajı da bulunmaktadır [30].

## **4.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Türleri**

### **4.1.1. Metal matrisli kompozitler**

Bilimin gelişmesiyle hem düşük maliyetli hemde kalite, performans ve kullanım kolaylığı açısından uygun malzemeler üretme arayışı ortaya çıkmıştır. Bu arayış ile birlikte metal matrisli kompozit malzeme üretilmeye başlanmıştır.

Metal matrisli kompozitler genel olarak iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri ise metal matris diğeri ise takviye edici malzemedir. Kompozit malzemelerde metal matrislerin kullanılmasının, yüksek çekme dayanımı, yüksek elektrik iletkenliği, aşınmaya karşı yüksek dayanım gibi üstünlükleri bulunmaktadır [30].

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak Al, Mg, Ti, ve bazı süper alaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviye edici malzeme olarak ise SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiB<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, bor ve grafit yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kompozitler yaygın olarak otomotiv, havacılık, savunma sanayinde ve endüstride kullanılmaktadır [31].

### **4.1.2. Polimer matrisli kompozitler**

Polimerler, metal veya seramiklere göre çok daha karmaşık yapıya sahiptir. Polimer kompozitler yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü nedeniyle diğer malzemelerden üstün yapıdalardır [31].

Polimer matrisli kompozitler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılırlar ve genelde sürekli fiberler ile kullanılırlar. Bunlardan en önemlileri sürekli fiberlerle takviye edilen polyester veya epoksi reçine matrisli olanlarıdır. Kullanılan takviye edici malzemelerden en önemlileri ise cam fiber, bor fiber, kevlar fiber ve karbon fiberlerdir [32].

Polimer matrisli kompozitler denizcilik otomotiv ve havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

#### **4.1.3.Seramik matrisli kompozitler**

Seramikler çok sert ve kırılğan yapıya sahiptirler. Bununla birlikte yüksek sıcaklığa veya zor çevre koşullarına karşı dayanıklı olduklarından dolayı birçok alanda tercih edilmektedirler. Fakat seramikler ısıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir bu nedenle kullanılmaları sırasında ani hasarlar oluşabilmektedir.

Seramik matrisli kompozitler, takviye edici ve matris malzemeyi bir araya getirerek tokluğu arttırmak amacıyla üretilmektedirler. Seramik malzemelerin seramik fiberlerle takviye edildiğinde ani kırılmalara karşı dayanımları artarken toklukta artmaktadır.

Seramik matrisli kompozitler, roket başlığı ve uzay aracı gibi uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır [29].

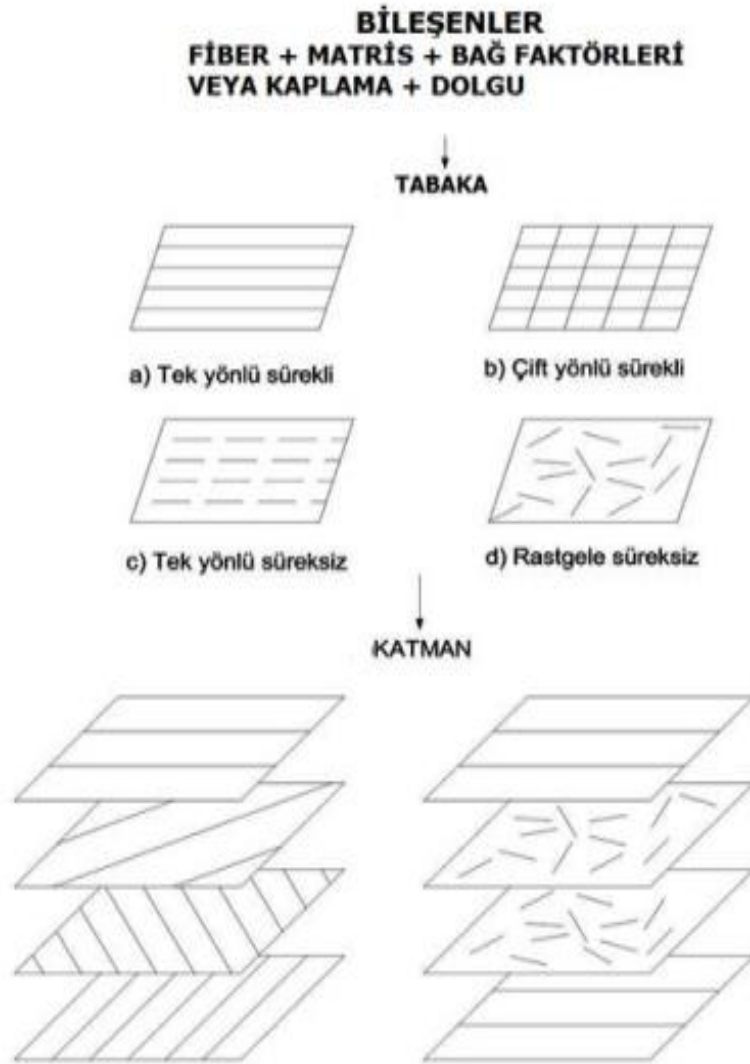
### **4.2. Takviye Edici Malzemeye Göre Kompozit Türleri**

#### **4.2.1.Fiber takviyeli kompozitler**

Fiber takviyeli olan seramik kompozit malzemeler yüksek gerilme ve modüle sahip fiberlerden meydana gelir. Bu formda fiber ve matrisler kendi fiziksel ve kimyasal özelliklerini korurlar. Ayrıca bu özelliklerin kombinasyonu meydana gelir. Genel olarak fiberler yük taşırlar, matris malzeme ise istenen yönlenme ve yerleşmeyi ve bunları bir arada tutmayı sağlar. Ayrıca matris nem, sıcaklık gibi çevresel faktörlerden matrisi ve fiberi korur. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin Kevlar 49 olarak bilinen cam ve karbon fiber çeşitleri mevcuttur. Bunun dışında sınırlı sayılarda kullanılan borani silikon karbit ve alüminyum oksit fiberlerde mevcuttur. Matris malzeme olarak metal, seramik veya polimer malzemeler kullanılır [30].

Birçok fiber takviyeli kompozit malzemeler bilinen metalik malzemelerin gerilme ve modüllerinden daha iyi özellik gösterirler. Bu durum fiber takviyeli kompozit malzemelerin düşük özgül ağırlık, gerilme-ağırlık oranı ve parçaağırlık oranı gibi üstün özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin düşük ağırlıkta olması uzay, otomotiv gibi endüstrilerde yaygın kullanım alanı bulmasına yol açmıştır.

Fiber takviyeli kompozit malzeme için temel yapı blokları Şekil 4.1.'de verilmiştir [33].



Şekil 4.1.Fiber takviyeli kompozitler için temel yapı blokları [33].



Fiberler, fiber takviyeli kompozit malzemeler için temel bileşenlerdendir. Fiber malzemeler kompozit yapısına gelen yükü taşırlar. Uygun fiber seçimi, fiber oranı ve fiberlerin yönlmesi kompozit malzemenin özgül ağırlığı, çekme dayanımı ve yorulma hasar mekanizması, elektrik ve termal iletkenliği ile fiyatını etkilediği için önemlidir. Fiber çeşitleri cam fiber, karbon fiber, kevlar 49 fiber, seramik fiber ve boron fiberler olmak üzere sınıflandırılabilir. Fiber çeşitleri içinde en yaygın olarak kullanılan cam fiberlerdir. Cam fiberlerin düşük maliyet, yüksek çekme dayanımı, yüksek kimyasal direnç gibi bilinen avantajları mevcuttur [5].

Matris malzemenin kompozit üretimindeki rolü: Fiberler arasında gerilmeyi iletme, fiber yüzeyini mekanik abrazyona karşı korumak ve zıt çevreye karşı bariyer görevi görmek olarak sayılabilir. Matris malzemeler; polimer, Termoset polimerler (Epoksi, polyetervinyester, polimide), Termoplastik polimerler (Naylon, termoplastik, polyester, polikarbonat), Metalik (Alüminyum ve alaşımları, titanyum alaşımları, magnezyum alaşımları, bakır alaşımları, nikel alaşımları, paslanmaz çelik) ve Seramik (Alüminyum oksit, karbon, silikon karbit, silikon nitrit)'dir [29].

#### **4.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler**

Parçacık takviyeli kompozitler, tek veya iki boyutlu partiküllerin matris malzemesi içinde bulunması ile elde edilirler. Parçacık takviyesi malzemenin izotropikliğini bozmadan mekanik özelliklerini geliştirmektedir. En yaygın olan polimer matris içerisinde yer alan metal parçacıklardır. Parçacık takviyeli kompozitlerde partikül boyutu 1 nm'den büyüktür.

Metal parçacıklar ısı ve elektrik iletkenliği sağlamaktadır. Seramik parçacık takviyeli metal matrsili kompozit malzemelerin sertlikleri, aşınma direnci ve sıcaklık mukavemeti yüksektir [34,35].

### 4.2.3. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozitler farklı özelliklere sahip olarak en az iki tabakanın birleşiminden oluşurlar. Bu tip kompozitler en eski ve yaygın olarak kullanım alanına sahip olan kompozit çeşididir. Matrisiçerisine düzensiz şekilde yönlendirilmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar ve farklı elyaflar takviyeli tabakadan oluşabilir. Böyle farklı elyaflar yönlendirilmesine sahip tabakaların bileşimiyle çok yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir.

Tabakalaşma ve daha kullanışlı bir malzemeye ulaşmak için içeriğini oluşturacak katmanlar ve ona bağlanan malzemelerin en iyi durumlarını birleştirir. Tabakalaşma ile dayanım, elastiklik, korozyon direnci, sertlik ve aşınma direnci, yalıtım, çok yönlü yük taşıma gibi özellikler geliştirilmektedir. Tabakalı kompozit malzemeler; metaller üzerine uygulanan çeşitli kaplamalar, bimetaller, cam-plastik-cam tabakalardan oluşan kompozitler ve plastik bazlı kompozitlerdir [36].

### 4.2.4. Karma kompozitler

Aynı yapıda kompozit iki veya daha fazla elyaf çeşitliliğinin bulunmasının olası olduğu kompozitlere karma (hibrid) kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesi için uygundur.

Örneğin, kevlar bezi ucuz veya tok fakat basma mukavemeti oldukça düşük olan bir elyaftır. Grafit ise pahalı ve düşük tokluğa sahiptir, ancak yüksek basma mukavemetine sahip bir elyaftır. Bu iki kompozitin birleştirilmesiyle elde edilen karma kompozitin tokluğu grafit kompozitden daha iyi, maliyeti düşük veya basma mukavemetinde kevlar elyaflı kompozitden daha yüksektir [37].

## 4.3. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Günümüzde kompozit malzemeler geleneksel malzemelerden daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğundan dolayı son yıllarda kompozitlerin üretim teknikleri

olaraküzerinde çokça yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Buna rağmen halende kompozitlerin üretim maliyeti hala yüksektir.

Kompozit malzemelerin üretim yöntemi; üretilecek olan kompozitin şekline, istenilen özelliklere, matrise ve takviye edici malzemeye göre belirlenir. Her yöntemin kendisine özel bakımından avantajları veya dezavantajları mevcuttur. Ancak kompozitler için bütün üretim yöntemleri olarak geleneksel malzeme üretim yöntemlerine göre matris ve takviye edici malzeme arasındaki birbiri ile etkileşimleri nedeniyle daha karmaşıktır. Kompozit malzemelerin üretimindeki en önemli parametre takviye edici malzeme ile matris malzemesi arasında kuvvetli bir ara yüzey bağımlı oluşturmaktır. Aksi halde matris malzemedeki takviye edici malzemeye yük transfer edilmez [5].

Üretim yöntemleri açısından sıvı faz üretim yöntemi ve ya katı faz üretim yöntemi olarakta sınıflandırılabiliriz.

#### **4.3.1. Sıvı faz üretim yöntemleri**

Mevcutta sıvı faz olarak üretim yöntemleri, basit ve ucuz olmasıdır, karmaşık üç boyutlu parçaların üretilmesine kolaylık sağlamaları açısından tercihte caziptir Bu yöntemlerin başlıcaları; sıvı metal karıştırma yöntemi, sıkıştırma döküm yöntemi, plazma püskürtme (metal püskürtme) yöntemi, sıvı metal infiltrasyon yöntemidir [32].

##### **4.3.1.1. Sıvı metal karıştırma yöntemi**

Bu metot olarak sıvı faz üretim yöntemlerinden sebep olarakta tercihen kolay ve en ucuz olanıdır. Yöntem olarak kolay olması veya ucuz olmasına mahsuben çökme ve topaklanma oluşumu için, istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarının elde edilmesi oluşumu, takviye edici olan malzemenin karıştırma esnasında hasar meydana gelmesi gibi dezavantajlarının da olduğu literatürde belirtilmektedir [5].

Matrisi güçlendirmek amacı için kullanılmakta olan takviye edici malzeme parçacıkla ve viskers veya küçük levhacıklar halinde katılabilir. [38]. Takviye malzemesini sıvı metal olarak içine karıştırmak için geliştirilen yöntemlerden bazıları ise aşağıdaki gibidir:

- Bir enjeksiyon tabancası vasıtası ile takviye edici malzemenin enjeksiyonu
- Sıvı metal kalıbana dökülürken seramik parçacıkların ilavesi,
- Mekanik bir hareket olan vorteks ile oluşturma ve vorteks içerisinde kalan parçacıkların sıvı metale ilavesi,
- Karşılıklı olarak hareket eden çubuklar kullanılacak ve parçacıkların sıvı metal içine itilmesi,
- Merkezkaç kuvveti ile etki ince parçacıkların sıvı metal içerisine dağıtılması,
- Uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ile birlikte ortaya çıkan sıfır yer çekimi etkisiyle karışımın sağlanmasıdır [39,41].

#### **4.3.1.2. Sıkıştırma döküm yöntemi**

Sıkıştırma döküm yöntemi ile takviye edici malzeme metal bir kalıp içerisine yerleştirilmekte ve belirli döküm sıcaklığına çıkarılmış olan sıvı metal belli ön ısıtma yapılmış şekilde seramik fiber veyahutta başka bir takviye malzemesinin üzerine dökülmektedir [29].

Bu kompozit üretim yönteminin üstün döküm kalitesi ve yüksek üretim kapasitesi gibi avantajları bulunmaktadır. Dezavantajları ise; yüksek basınca ihtiyaç duyulduğu için parçanın boyutunun sınırlayıcı bir faktör olması ve yüksek basınçtan sebep takviye edici malzemelere mekanik bir hasar oluşmasının ihtimalinin bulunmasıdır [41].

70-100 MPa'lık basınçların normal şartlarda uygulanmasıyla, katılma süresi çok kısa tutulmakta ve bu nedenle, takviye edici malzeme ile matrisin ara yüzeyinde reaksiyon meydana gelmemektedir ve böylece mukavemeti yüksek kompozitlerin

edilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntemle kolaylıkla üretilebilen kompozitler  $Al_2O_3$ - Al, C- Mg ve SiC- Al'dir [42].

#### 4.3.1.3. Plazma püskürtme (metal püskürtme) yöntemi

Plazma püskürtme ile atomize edilmiş olan sıvı metal parçacıkları ile takviye edici malzeme arasında istenilen kalınlığı verecek şekilde püskürtülmesi işlemine denir. Püskürtülen sıvı metal parçacıkları ile takviye elemanlarına yapışmakta olan hızlı bir şekilde katılaşmaya başlamaktadır. Bu nedenle bu tip üretim yöntemi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanmaktadır. Örneğin; alüminyum-bor kompozitleri ve Al-SiC partikül takviyeli kompozitler sıkça üretilmektedir [29].

Bu üretim yönteminde, takviyeler arasındaki mesafenin kontrolü olması ve takviyelerin dahada rahat yönlendirilebilmesi için bu gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, üretim esnasında oluşabilecek sıvı metal tanecikler için takviye edici malzemeye temas eder etmez hızlı bir şekilde katılaşır. Böylece, sıvı haldeki üretim tekniğinin dezavantajlarından biri olan takviye edici malzeme ve matris malzeme arasında oluşabilen ara yüzey reaksiyonu problemleri en aza indirilmiş olur [38].

#### 4.3.1.4. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi

Bu yöntem, metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntemde esas prensipler, bir kap veyahutta tüp içerisine yerleştirilmiş olan fiberler arasına sıvı şeklindeki metal matrisin emdirilmesidir. Bu yöntemde genel olarak bağlayıcı ile hazırlanmış olan ön şekildeki gibi bir kalıba yerleştirilir ve daha sonra basınçlı bir gaz ile bu kalıba sıvı metal emdirilir ve bundan sonra katılaşmaya bırakılır. Bu yöntem ile en yaygın üretilen kompozitler Al- $Al_2O_3$ , Mg-C, Al-SiC'dir [40].

Bu yöntemde ilk işle şu şekilde veya istenilen profilde ön şekillendirme yapılması olabilir. Fiberlerin yönlendirilmesi amacı ile hacimsel oranı şu aşamada ayarlanmaktadır. Daha sonra, ön şekiller kalıba bağlayıcı ile tutturulur, kalıp içerisine

sıvı metal emdirilmekte bu aşamasından sonra katılaşılmaya bırakılmaktadır. Ergimiş olan metalin emdirilmesi için fiber hacim oranının en yüksek olduğu durumlarda biraz daha zor olmaktadır. Fiberler arasındaki mesafenin az olduğu bu gibi durumlarda ergimiş metal basınç altında veyahutta vakumla emdirilmektedir [38].

#### **4.3.2. Katı faz üretim yöntemleri**

Katı faz üretim yöntemlerinin başlıcaları; Reaksiyon olarak kompozit üretim yöntemi ve toz metalürjisidir [40].

##### **4.3.2.1. Reaksiyon (in-situ) kompozit üretim teknikleri**

Bu teknikte Ötektiğin yönlendirilmiş olarak katılaştırılması için iki fazlı bir yapı sahip olmasıdır. Fazlardan birisi için matris diğeri içinse matris içine dağıtılmış lamel, plaka olarak veya fiber şeklinde faz olarak bulunur. Uygulamaların çoğunda alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak yapılmıştır.[29].

Bu yöntemler; ekonomik ve teknik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin; partikül miktarının veya şeklinin kontrol edilmesi mümkün mertebede sağlanmaktadır. Bu durum için ise kompozit malzemenin özelliklerinin iyileşmesine olanak tanır. Diğer üretim yöntemlerinde ise görülen ıslatılabilirlik problemi ise matris veya takviye faz ile arasındaki arayüz uyumsuzluğu, bu yöntemde rahatlıkla görülmemektedir [39].

##### **4.3.2.2. Toz metalürjisi yöntemi**

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde katı faz üretim yöntemleri içinde kullanılmakta olan en yaygın yöntemlerden biride toz metalürjisi tekniğidir. Seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki en önemli sebep olması nedeniyle toz metalürjisi ile kompozit üretimi ilk olarak geliştirilmiş tekniklerden birisidir. Yaygın olarak endüstride kullanılan takviye elemanları şu şekilde SiC, Grafit ve TiC'dir. En çok kullanılan olarak matris malzemeleri ise Al ve Ti'dir [43].

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Yapılan bu çalışmada; ağırlıkça %5, %10, %15, %20 %25 oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC takviyeli Al2124 matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Hem tek katmanlı hemde çok katmanlı fonksiyonel (FDM) Al2124 kompozitleri üretilmiştir. FDM üretimlerde 2, 3 ve 4 katmanlı olacak şekilde çeşitli katman tasarımları yapılmıştır. Katmanların üretimi tek katmanlı üretimlerde optimum olarak elde edilen parametrelere göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler ve sonrası system optimizasyonu toplamda 1200'ün üzerinde numune üretilerek gerçekleştirilmiştir. Farklı basınçlarda (100-600 MPa) preslenmiş bazı numunelere ilave olarak 250MPa basınçta soğuk izostatik presleme işleminden geçirilerek yoğunluk artışı gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan ham numuneler 580°C, 610°C, 625°C ve 650°C'de açık havada, Ar gazı akışında, azot gazı akışında atmosfer kontrollü tüp fırında farklı süreler sinterlenerek TM yöntemi ile üretilmiş, üretilen AMK malzemenin kimyasal analizleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Alüminyum tanelerinin yüzeylerinde oluşan oksit filminin sinterlemeyi zorlaştırıcı etkilerini kırmak için çeşitli katkı sistemleride ilave edilerek genel verimliliğe etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

### **5.1. Numune Hazırlama**

Hassas terazi kullanılarak istenilen oranlarda tozlar tartılıp pet şişeye alındı. Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi 4 farklı oran olduğundan 4 ayrı şişe hazırlandı. Yapılan hesaplamalar Tablo 5.1.'de gösterilmiştir (Hesaplamalar 50 gr üzerinden yapılmıştır.).

Tablo 5.1. Gramaj hesaplama

Katman No	%Al2124	Ağırlık (gr)	%SiC	Ağırlık (gr)
1	%80	40 gr	%20	10 gr
2	%85	42,5 gr	%15	7,5 gr
3	%90	45 gr	%10	5 gr
4	%95	47,5 gr	%5	2,5 gr



Şekil 5.1. Hazırlanan tozlar

Deneysel çalışmalar sırasında, tozların hazırlanması ve tavlama sonrası kütle ölçümleri Precisa markasının XB 220A modeli 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 5.2.) Numuneler totalde 3er gr olup 4 katmanlı hazırlandığı için her katman 0,75 gr olacaktır. Şekil 5.2. a'da görüldüğü gibi tozlar hassas terazide sırasıyla tartılıp kalıba dökülmeye hazırlandı.





Şekil 5.2. Hassas terazide ölçüm (a) Halkalı öğütücü (b)

Şekil 5.2. b’de Belli oranlara karıştırılan tozlar öncelikle sertleştirilmiş çelik halkalara sahip halkalı değirmen de 3\*5dk süreyle öğütülmüştür

Hazırlanan şişeler sırayla 1er saat süre ile değirmende karıştırıldı (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Değirmen

## 5.2. Presleme

Numuneler totalde 3er gr olup 4 katmanlı hazırlandığı için her katman 0,75 gr olacaktır. Şekil 5.2. a'da görüldüğü gibi tozlar hassas terazide sırasıyla tartılıp kalıba döküldü.

Numunenin kalıplanması ve kalıba konup preslenme işlemi Şekil 5.4.'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Numune kalıplama şematik gösterim

Presleme işlemi her defasında farklı sıkalalar için oluşturulan kompozit kombinasyonunda en az 1200 numune ayrı hazırlanıp yapılmıştır. 4 farklı basınç kullanılmış her basınçta 4er numune preslenmiştir. Kullanılan basınçlar 150 bar, 200 bar, 250 bar ve 300 bardır. Presleme işleminde tek yönlü presleme cihazı kullanılmıştır(Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Tek yönlü presleme cihazı

### 5.3. Soğuk İzostatik Presleme (CIP)

Numuneler balon içerisine konularak vakumlama işlemi sonrası 250 MPa basınç altında 5er dakika süre ile CIP'lendi (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. CIP cihazı

#### 5.4. Sinterleme

Hazırlanan hassas terazide tartılarak homojen şekilde karıştırılıp preslenen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numuneler fırının reaksiyon bölgesi adı verilen orta noktasına yerleştirilmiş ve fırının her iki ağzı gaz giriş ve çıkışına olanak veren contalı metal flanşlar ile kapatılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Her sinterleme işlemi için ayrı ayrı, ortama 2lt/dk akış hızında 15 dakika süre ile N<sub>2</sub> ve Ar gazı verilerek içerideki istenmeyen atmosferik ortam sistemden süpürülmüştür. Reaksiyon başlangıç sıcaklığına gelmeden (100-150 °C) sisteme 0,6-1,8 lt/dk akış hızında gaz verilmiş ve reaksiyon sonrası aynı sıcaklığa geldiğinde gaz kesilmiştir. Fırın ısıtma ve soğutma hızları her iki proses için aynı olup 5 °C/dk dır.



Şekil 5.7. Tüp fırın



Şekil 5.8. Al<sub>2</sub>124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 630°C de 1 saat sinterlenmiş numune örneği

Şekil 5.7.'deki yatay tüp fırında 150, 200, 250 ve 300 bar basınçta Ar ve N<sub>2</sub> gazı atmosferinde 630°C'de 1 saat süre ile sinterlenmiş numuneler Şekil 5.8.'de gösterilmiştir. Presleme işlemi biten numunelerin ağırlık, çap ve yükseklik değerleri kumpasla ölçülerek not edilmiştir. Şekil 5.9.'da ise 4 farklı basınçta 650°C'de preslenmiş numune örnekleri gösterilmiştir. Sinterleme işlemi 4 kez yapılmış, her seferinde farklı sıcaklık kullanılmıştır. Kullanılan sinter sıcaklıkları 575°C, 600°C, 625°C ve 650°C'dir.



Şekil 5.9. Al<sub>2</sub>124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesinin 650°C de 1 saat sinterlenmiş numune örneği

Şekil 5.9.'da sinter sonrası numuneler görülmektedir. 4 farklı sıcaklıkta sinterlenmiş 16 adet numunenin değişim hakkında yorum yapılabilmesi için tekrar ağırlık, çap ve yükseklik değerleri kumpas ile ölçülerek not edilmiştir. Yapılan tüm ölçümler Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Sıcaklık, ağırlık, çap ve yükseklik açısından numulerinin ölçüm tablosu

Preslenmiş Numune				
Sıcaklık (°C)	Pres basıncı (bar)	Ağırlık (gr)	Çap (D)	Yükseklik (h)
575	150	2,9926	15,55	8,40
	200	3,0111	15,55	8,05
	250	3,0116	15,55	7,70
	300	3,0190	15,55	7,55
Sinterlenmiş Numune				
575	150	2,9764	14,85	8,10
	200	3,0024	15	7,80
	250	3,0114	15,25	7,50
	300	3,0182	15,20	7,55

Tablo 5.2. (Devamı)

Preslenmiş Numune				
Sıcaklık (°C)	Pres basıncı (bar)	Ağırlık (gr)	Çap (D)	Yükseklik (h)
600	150	3,0161	15,55	8,50
	200	3,0240	15,55	8,10
	250	3,0203	15,55	7,75
	300	3,0257	15,55	7,70
Sinterlenmiş Numune				
600	150	2,9798	14,95	8,05
	200	3,0167	15,25	7,50
	250	2,9988	15,15	7,75
	300	3,0083	15,20	7,60
Preslenmiş Numune				
625	150	3,0086	15,55	8,50
	200	3,0123	15,55	8,10
	250	3,0190	15,55	7,90
	300	2,9822	15,55	7,40
Sinterlenmiş Numune				
625	150	2,9788	15	8,35
	200	2,9861	15,35	8
	250	2,9958	15,35	8,05
	300	2,9685	15,50	7,65



Tablo 5.2. (Devamı)

Preslenmiş Numune				
Sıcaklık (°C)	Pres basıncı (bar)	Ağırlık (gr)	Çap (D)	Yükseklik (h)
650	150	3,0161	15,55	8,45
	200	3,0182	15,55	8
	250	3,0292	15,55	7,80
	300	3,0372	15,55	7,60
Sinterlenmiş Numune				
650	150	2,9742	14,80	8,30
	200	2,9826	15	8,10
	250	3,0040	15,25	7,85
	300	3,0128	15,35	7,90

### 5.5. Metalografik İşlemler

Mikroyapı incelemesinin yapılabilmesi için malzeme yüzeylerinin hazırlanması gerekmektedir. 16 adet numunenin yan yüzeyleri sırasıyla hazırlanmalıdır. Yapılan bu çalışmada 575, 600 ve 625 °C’de sinterlenmiş numuneler zımparalama işlemi sırasında kırılmış, sinterleme işlemi başarısız olmuştur. Kırılmış numune örneği Şekil 5.10.’da görülmektedir.



Şekil 5.10. 645°C de sinterlenmiş fakat uygun olmayan sinterleme şartları sonucu kırılmış numune örneği

650 °C’de sinterlenmiş 4 adet numune zımparalama esnasında kırılma göstermediğinden sinterleme başarılı sonuçlanmıştır.

4 adet numune 2şerli şekilde zımparalama işleminde kolay tutulabilmesi açısından bakalite alındı (Şekil 5.11.).



Şekil 5.11. Bakalit cihazı



Şekil 5.12. Bakalite alınmış numune örneği (1) kusurlu yüzey, (2) düzgün yüzey

Şekil 5.12.’de görülen numune yüzeyi Şekil 5.13.’te görülen zımparalama cihazında sırasıyla 180, 240, 360, 400, 800, 1000, 1200, 1500 ve 2500’lük zımparalarla her

zımparada 90 derece döndürülerek zımparalandı. Yine Şekil 5.13.'te görülen zımparalama cihazında cihaza keçe yerleştirilerek parlatma işlemi yapıldı. Parlatıcı olarak alümina kullanıldı.



Şekil 5.13. Zımparalama cihazı

## 5.6. Mikroyapı İncelemesi



Şekil 5.14. (1) Optik mikroskop (2) Stereo mikroskop

Şekil 5.14.'te görüldüğü gibi iki farklı mikroskopta görüntüler alındı. Optik mikroskopta üç büyütmede (50X, 100X, 200X) çalışıldı. Stereo mikroskopta katmanların geçişinin görüntüsü alındı.

## 5.7. Mikrosertlik Ölçümü

Şekil 5.12. (2)'de görülen düzgün yüzeyli numunelerin mikrosertliklerine Vickers cinsinden Şekil 5.15.'de görülen mikrosertlik cihazında bakılmıştır.



Şekil 5.15. Mikrosertlik ölçüm cihazı

Numune yüzeyinde 4 farklı takviye oranı bulunmasından dolayı farklı sertlik değerleri okunabileceğinden optimum sonuçlar için her numune yüzeyinden 0,5 mm aralıklarla ölçüm yapılmış, değerlerin ortalaması alınmıştır.

## **5.8. Karakterizasyon**

Sinterleme prosesleri ile elde edilen ürünler çeşitli yöntemler ile karakterize edilmiştir. Karakterizasyon için X-ışınları Difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışınları spektroskopisi (EDS) kullanılmıştır.

### **5.8.1. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri (SEM-EDS)**

SEM malzemelerin yüzey özelliklerinin morfolojisini yüksek büyütme de (50 000X) görebilmemizi sağlayan cihazdır. SEM ile herhangi bir metalografik işlem

görmemiş numuneler ve parlatılmış dağlanmış numuneler incelenebilir. Bu cihaza bağlanan aparat ile kimyasal analiz (EDS) yapılabilir hale gelmektedir. SEM cihazı ile yüzey ve kesitte bulunan hatalar, kimyasal analizler, faz haritalaması, renkli kompozisyon görüntülemesi ve benzer analizler yapılabilir. Bu çalışmada SEM morfolojik yapı incelemesi ve EDS analizleri için Jeol Jsm-6060LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 5.16.).



Şekil 5.16. Taramalı elektron mikroskobu

### 5.8.2. X-ışınları difraksiyonu (XRD) analizi

XRD analizi seramik ve kompozit malzemelerin bünyesinden bulunan mineral bileşiklerinin ve kalitatif ve yarı kantitatif ölçümleri için kullanılmaktadır. X-ışınları difraksiyonun da karakteristik X-ışını metal bir hedefe (Cu gibi) yüksek hızdaki elektronların çarptırılması sonucu elde edilir. Bu ışınlar kristal yapılı bir malzemeye çarptığı zaman, kristal düzeleminde bulunan atomlar tarafından kırınıma uğrayarak belli açılarda yansır ve bu yansıyan açılardan bileşimi belli standart paternler ile karşılaştırılması sonucu, maddenin kristal özellikleri ve bileşimi saptanmış olur. Deneysel çalışmalar için kimyasal kompozisyon ölçümleri  $10^{\circ} < 2\theta < 90^{\circ}$  tarama

aralığında (Shimadzu XRD-6000 cihazı ile  $\text{Cu/K}\alpha$  (  $\lambda:1.54056\text{\AA}$ ) ışınımı ) kullanılarak tespit edilmiştir (Şekil 5.17.).



Şekil 5.17.X-Işınları difraksiyonu (XRD) analizi

### 5.8.3. Toz boyut analizi

Numunelerin ve ilk kullanılan tozların, toz boyut dağılımı histogramını veren tane boyut dağılım analizi yapılmıştır. Tane boyut dağılım analizi Mastersizer Hydro 2000G (Şekil 5.18.) marka toz boyut analiz cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 5.18. Toz boyut analiz cihazı

#### 5.8.4. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi

Kızılötesi (IR) spektroskopisi, organik veya inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde kullanılan bir araçtır. IR spektrumu, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile örneğin parmak izini göstermektedir. Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır. Bunun tek istisnası optik izomerlerdir. Organik madde spektrumlarının özellikle de 2000  $\text{cm}^{-1}$ den sonra gelen kısmı daha ayrıntılıdır. Bu bölgeye parmak izi bölgesi denir ve spektrumu iki kat genişleterek alınır. Böylece madde hakkında daha ayrıntılı bilgi elde edilmektedir. Veri, farklı moleküler bağlardan kaynaklanan farklı titreşim frekanslarını temsil eder. FTIR analiz cihazı Şekil 5.19.'da gösterilmiştir.





Şekil 5.19. FTIR analiz cihazı

### 5.8.5. Atomik absorpsiyon spektroskopisi

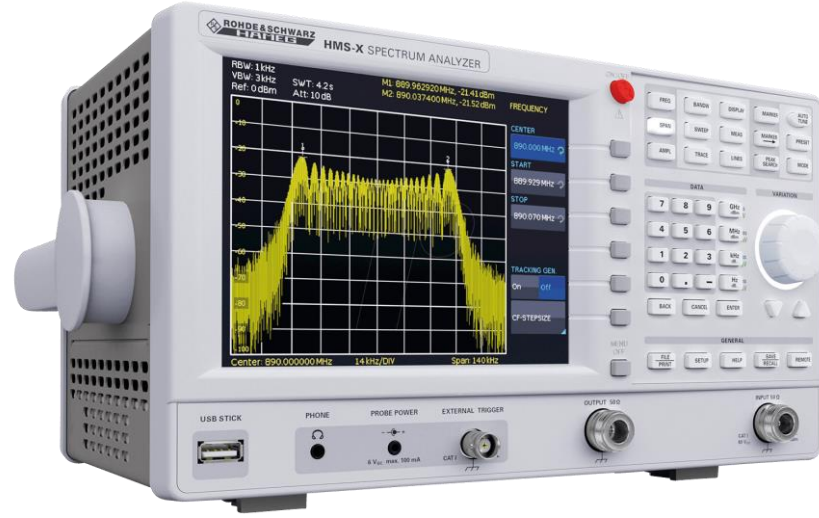
Atomik absorpsiyon spektroskopisinde analit, elementel haledönüştürüldükten sonra buharlaştırılır ve kaynaktan gelen ışın demetine maruz bırakılır. Atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı Şekil 5.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Atomik absorpsiyon spektroskopisi cihazı

### 5.8.6. Spektral analiz

Işıklarını inceleyerek yıldızların özelliklerini incelemektir. Görünen ışıkla ilgilenir. Ayrıca diğer elektromanyetik radyasyonun dalga uzunluğu, parçacıklar arasındaki enerji dağılımının ölçümlerini de içine alır. Spektral analiz cihazı Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Spektral analiz cihazı

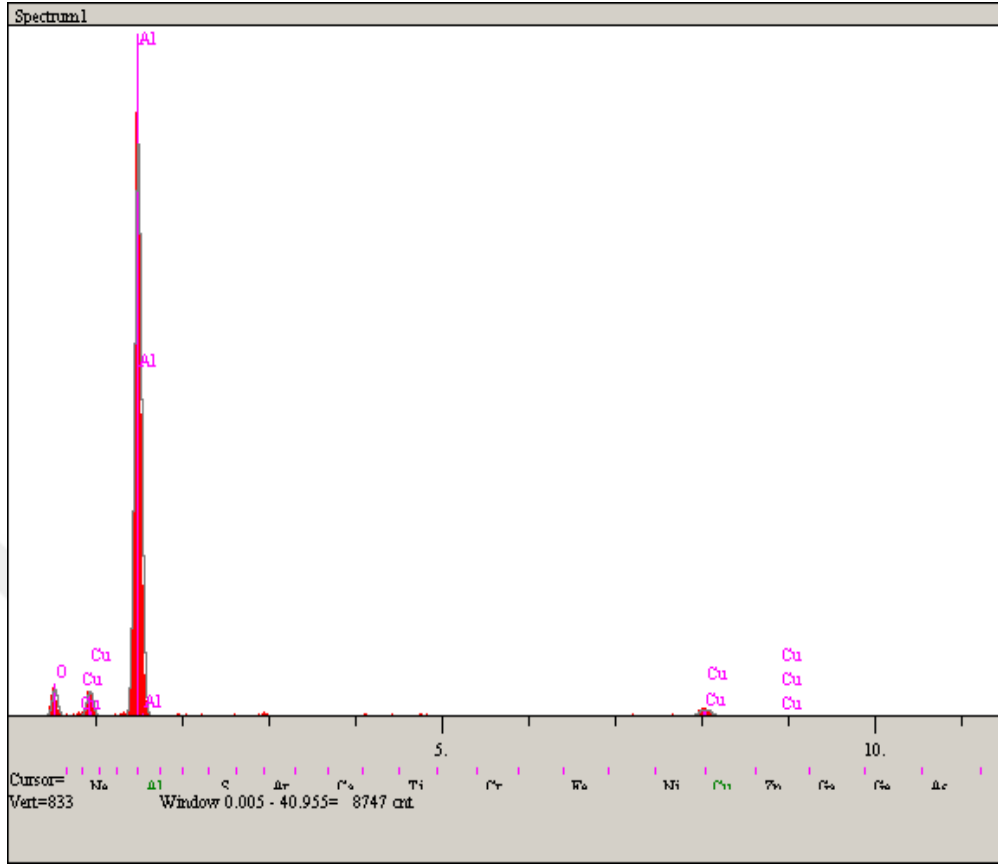
## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR**

### **6.1. Giriş**

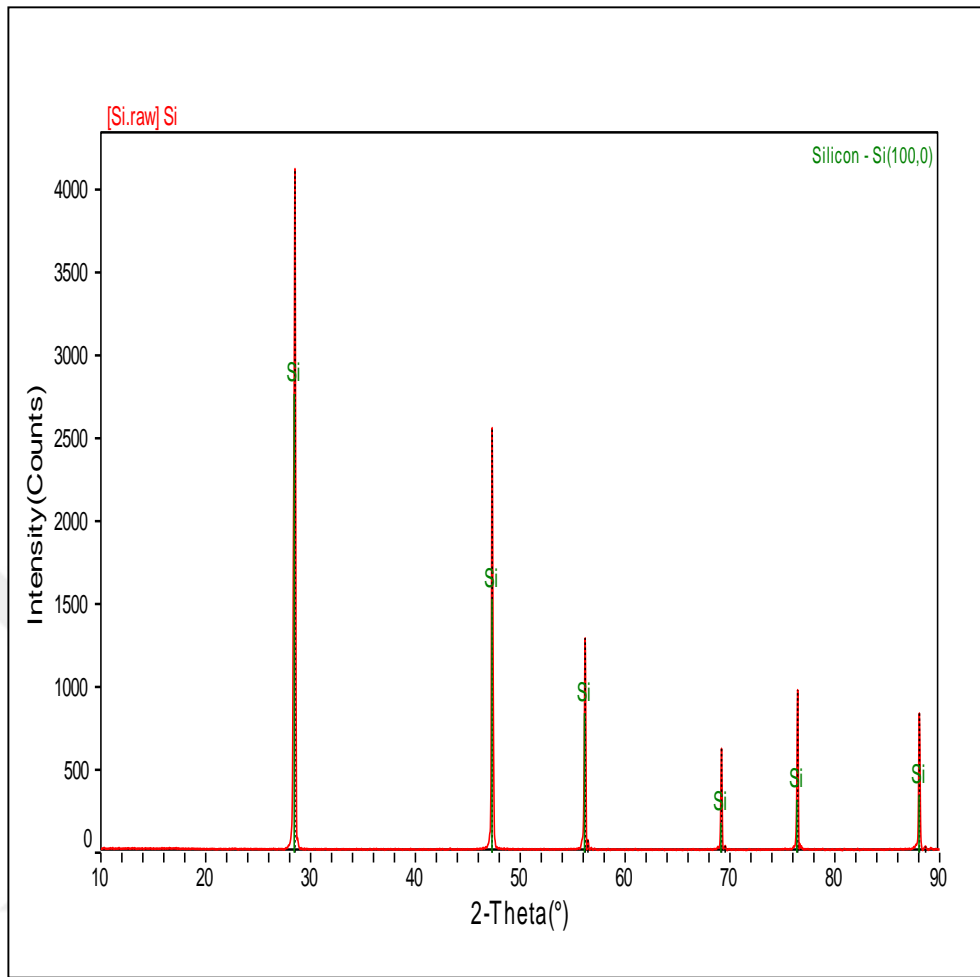
Toz metalürjisi yöntemiyle yapılan bu çalışmada Al2124 matrisli, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC partikül takviyeli metal matris kompozit üretilmiştir. Bunun için Al tozlarının içerisine %0, 5, 10, 15, 20, 25 oranlarında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC ilave edilmiş ve yine alümina bilyalar ile bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Hem tek katmanlı hemde çok katmanlı fonksiyonel (FDM) Al2124 kompozitleri üretilmiştir. FDM üretimlerde 2, 3 ve 4 katmanlı olacak şekilde çeşitli katman tasarımları yapılmıştır. Katmanların üretimi tek katmanlı üretimlerde optimum olarak elde edilen parameterlere göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu karışımlar 200, 300, 400, 500, 600 MPa basınçları altında preslenmiştir. Deneyler ve sonrası system optimizasyonu toplamda 1200'ün üzerinde numune üretilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu numuneler sinterleme amacıyla atmosfer kontrollü (Ar ve N<sub>2</sub>atmosferi) yatay tüp fırınlardafarklı sürelerde TM yöntemi ile 580°C, 610°C, 625°C ve 650°C'de sıcaklığında sinterlenmiştir. Elde edilen bu son ürünlerin geometrik yoğunlukları ve Arşimet prensibine göre yoğunlukları ölçülmüştür. Numunelerimiz daha sonra yüzey zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutularak optik mikroskopta incelenebilecek hale getirilmiştir. Optik mikroskopta iç yapısı (partikül dağılımı, gözenekler vs.) incelenmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla önce Brinell sertlik deneyi ardından da basma deneyi yapılmıştır.

### **6.2. Başlangıç Karışımlarında Kullanılan Tozlarının Karakterizasyonu**

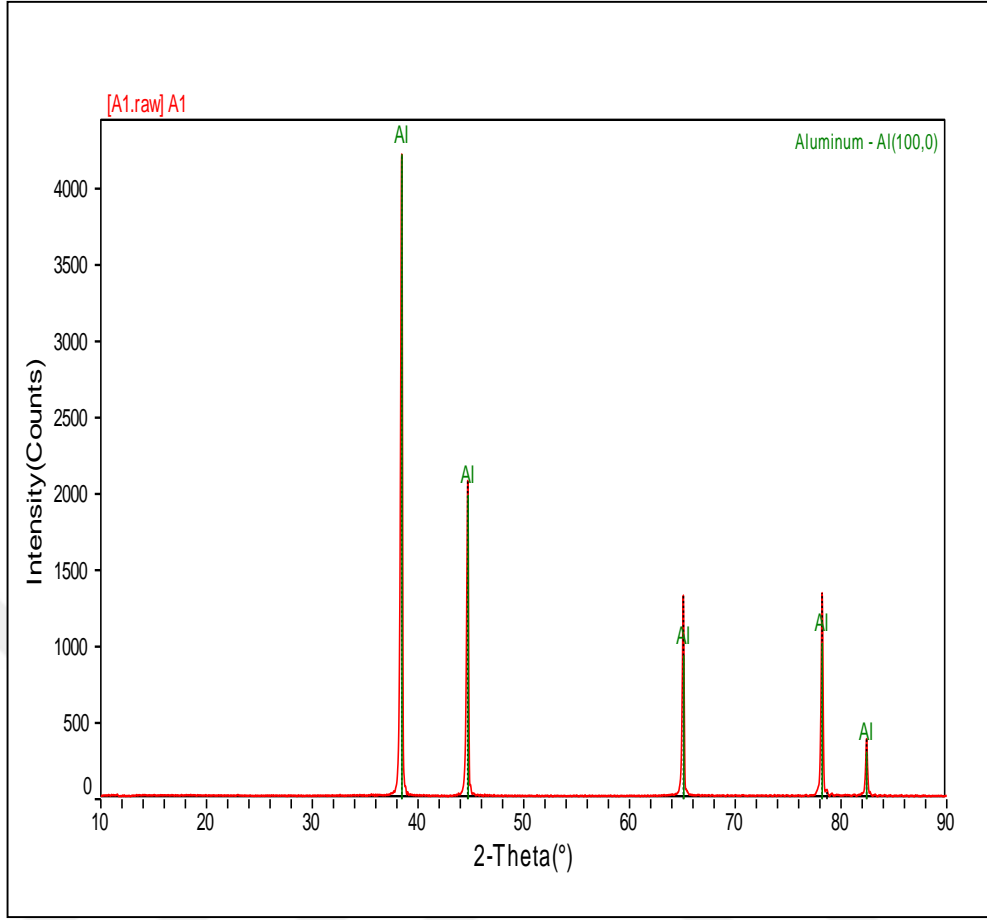
Deneyisel çalışmalarda kullanılan tozların kimyasal özellikleri bir önceki bölümde verilmiştir. Başlangıç karışımlarında kullanılan tozların XRD analizi sonuçları aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmektedir.

Şekil 6.1. Al<sub>2</sub>124 XRD analiziTablo 6.1. Sentezlenen Al<sub>2</sub>124 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit tozlara ait kütle ölçüm sonuçları

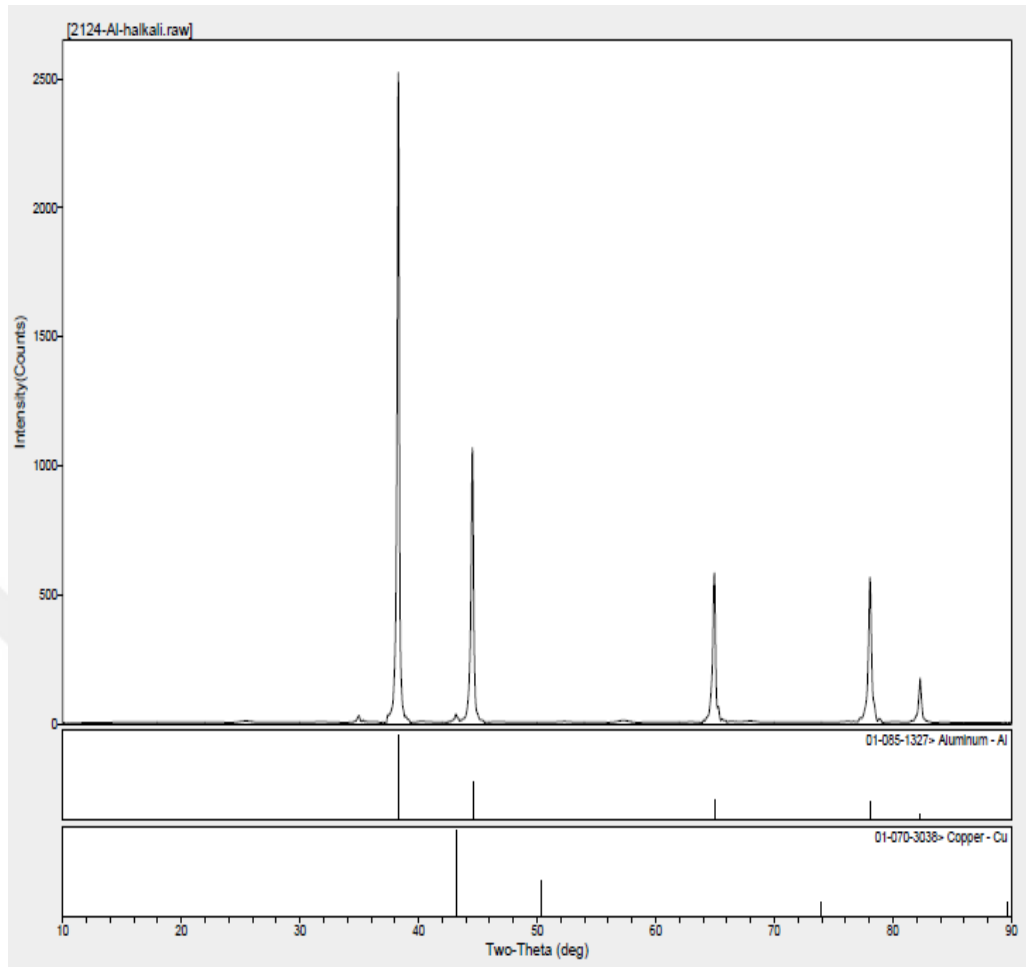
Elt	Line	Intensity (c/s)	hata 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	28.16	3.356	14.564	wt.%	
Al	Ka	689.22	16.603	78.364	wt.%	
Cu	Ka	15.66	2.503	7.071	wt.%	
				100.000	wt.%	Total



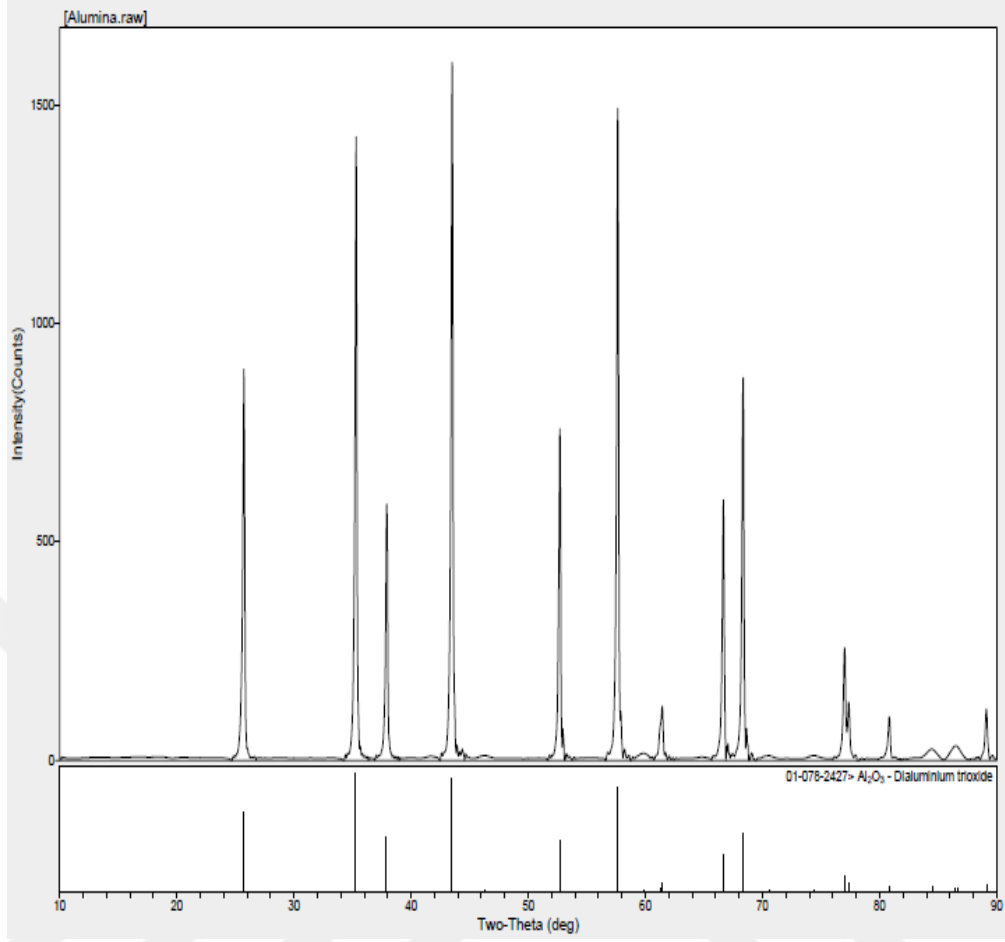
Şekil 6.2. Silisyum tozunun XRD analizi sonucu



Şekil 6.3. Alüminyum tozunun XRD analizi sonucu



Şekil 6.4. Al<sub>2</sub>124 tozunun XRD analizi sonucu



Şekil 6.5. Alümina tozunun XRD analizi sonucu

Yapılan XRD analizleri incelendiğinde oluşan piklerden de anlaşılacağı gibi başlangıç karışımlarında kullanılan tozların saf olduğu görülmektedir.

### 6.3. Alüminyum Metalinin Spektral Analiz Neticeleri

Tablo 6.2. Saf alüminyum metalinin spektral analiz neticeleri

Alüminyumun Spektral Analizi	% Oranları
Alüminyum	95.2
Fe	0,29
Si	0,11
Ti	0,009
Mn	0,003
Zn	0,007
Cu	<0,01
Mg	<0,01



Alüminyum metalinin safsızlıklarını belirlemek için numunenin 1.Ana Bakım Fabrika Müdürlüğünde atomik absorpsiyon spektrometresi aracılığı ile elementel analizi yapılmıştır. Tablo 6.2.'de sonuçları verilmiştir.

Son zamanlarda MMK malzemelerin üzerine yapılan Ar-Ge bilimsel çalışmalar ve değişik uygulamalarla bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Geleneksel üretim yöntemleri ile ilgili üretilebilmeleri ve işlenebilmeleri için bu malzemelerin maliyetlerini makul düzeye çekmiş ve uygulama alanlarını arttırmış olmasıdır.

Özellikle Al veya Mg esaslı kompozitler için oldukça hafif olmaları büyük bir üstün mekaniksel özellikleri nedeniyle ve demir esaslı malzemelere alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır. Endüstride en belirgin örnekleri yakıt tasarrufunun önemli olduğu, savunma, uçak ve otomotiv sanayindeki uygulamalardır. Bu uygulamalarda genellikle kompozit malzemenin kompozisyonu ve takviye elemanı yüzdesi veya tipi, uygulanan ısıl işlem türü şeklinde parametrelerin değiştirilmesiyle, mekanik özellikler istenilen değerlere ayarlanabilmektedir.

Kompozit malzemelerde genel olarak mekaniksel özelliklerin artışı için ve matris metalinin maruz kalacağı yük için daha dayanıklı olan takviye elemanına iletmesine bağlıdır. Bu durum olmadığı takdirde ara faz zayıf ise, etkili yük takviye elemanına iletilmeden matris metalde mikro çatlaklar oluşacaktır ve uygun değer dayanım elde edilemeyecektir. Bu sebepten ötürü, en uygun mekaniksel değerlerin elde edilebilmesi için şu an literatürde sıklıkla uygulanan takviye eleman boyutlarını yarı yarıya düşürülmesi ile alakalı mümkün olabilecektir. Bir başka deyişle ortalama parçacık büyüklüğü 2-3  $\mu\text{m}$  küçük olmalıdır. Karışım modeli ile hesaplanan mekaniksel özellik değerleri için deneylerden elde edilecek sonuçlarla karşılaştırıldığında: kılcal kristal (whisker) veya parçacık takviye lif kompozitlerde daha düşük çıktığı görülmektedir. Bunun da nedeni ise aksel yüklerin kedi bıyığı veya parçacıklar tarafından etkili bir şekilde taşınamamasıdır. Diğer bir sebep ise kompozit malzeme içerisinde bulunan daha büyük boyutlu takviye parçacıklarının, gerek üretim esnasında, gerekse çalışma esnasında kırılarak, yüksek gerilim

konsantrasyonlarına sebep olmalarıdır. Bu bölgeler için potansiyel çatlak oluşma ve büyüme alanlarıdır. kaliteli şekilde üretilmiş uzun lif takviyeli kompozitlerde, söz konusu modelsel veya deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara yakın değerler verebilir. Bu araştırmada kullanılan alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 6.3.'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Kullanılan Al2124 alaşımın kimyasal bileşimi

Elementler	%oranı
Cu	4.29
Mg	1.59
Mn	0.78
Si	0.12
Fe	0.15
Cr	0.023
Ti	0.080
Zn	0.011

#### 6.4. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli T/M Al2124 Metal Matris Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları

Bu çalışmada kompozit üretim tekniklerinden toz metalürjisi (T/M) yöntemi seçilmiştir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, partikülün matris toz metali ile istenen oranda karıştırılabilmesidir. Daha da önemlisi partiküllerin matris içerisinde homojen dağılımını sağlamak diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları ve düşük ergime derecelerinden dolayı endüstride çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak Al2124 alaşımlarının mekanik ve aşınma özellikleri istenen düzeyde değildir. Bu özelliklerini geliştirmek için Al2124 matris içerisine sert seramik partiküller katarak başta sertlik ve aşınma özelliği olmak üzere çekme-basma ve eğme mukavemetleri geliştirilebilir.

Sert ve ülkemizde kolay temin edilebilen ortalama çapı 25 µm olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (alümina) partikülleri ortalama çapları 30 µm Al2124 tozlarına katıldı ve alümina bilyeler yardımıyla karıştırıldı. Karıştırılan tozlar, presleme basıncının yoğunlaşmaya etkisini incelemek için farklı basınçlarda (200-600 MPa) sıkıştırıldı. Sıkıştırılmış numuneler

atmosfer kontrollü fırında %8 hidrojen içeren argon atmosferinde 630°C de 1 saat süreyle sinterlendi. Sinterleme sonucu elde edilen kompozit numunelerin yoğunlukları ile relatif yoğunlukları Tablo 6.4.'te birlikte verilmiştir. Tablo 6.4.'te görüldüğü üzere sıkıştırma basıncı ile ilgili ve partikül oranı artışı ile Al2124 kompozitlerin yoğunluklarını artmaktadır. Alüminanın yoğunluğunun alüminyumdan yüksek olması partikül artışındaki yoğunluk artışına sebep olurken toz karışımların sıkıştırma basıncı ile daha sıkı paketlenmesi yoğunluk artışına sebep olmuştur. Gerçek yoğunluklara bakıldığında ise % 80 - % 96 arasında değişen yoğunlukta bir dağılım elde edilmiştir. Takviyesiz malzemede % 96 RD ile nispeten yüksek bir yoğunluk elde edilirken % 25 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi relatif yoğunluk değerlerini % 80'lere düşürmüştür. Bu durumda ise sisteme giren partiküller ve alüminyum tozlarının sıkıştırma veya sinterlemesini engelleyerek azaltmasından kaynaklanmaktadır.

Sistemdeki partikül artışının gerçek yoğunlukları düşürmesi için partikül teması ile açıklanabilmektedir. İdeal olarak içerisine katılan partiküllerin hiç biri birbirine değmemesi hep aralarında matris metalini bulundurmalarındandır. Partiküllerin birbirlerine temas ihtimalleri ile içine katılan takviye malzemesi oranına ve partikül metal toz tane boyutu ve oranına bağlanmaktadır. Yüksek partikül oranı ise partikül temas ihtimalini artırırken bir yandanda büyük partikül boyutları için partikül teması azaltır. Bu durumdan sebeple hangi tanelerin hangi tanenin yüzeyini çevrelediği ile ilişkili bir durumdur. Bu sebeple yumuşak metal tanelerinin sert partikülleri ile çevrenmesi her zaman T/M kompozitlerde istenen bir durumdur. Bu da şu şekilde ancak küçük metal toz taneleri ile ve az partikül oranı ile sağlanabilmektedir. Partiküller sıkıştırma sırasındaki plastik deformasyon göstermeyeceklerinden dolayı partikül ile partikül temas artışı hem kalıntı gözenek olarak oranını artıracak hem de sıkıştırma oranın yükünü matris metaline transferini önleyecektir. Bir başka söylemlerle uygulanan yüke birbirleriyle bir karmaşık ağ şeklinde temas halinde bulunan sert partiküller ile karşılık vererek ve Al2124 metal tozlarının plastik deformasyonunu düşüreceğinden gözeneklerin yeterince kapanmasını önlemektedirler.

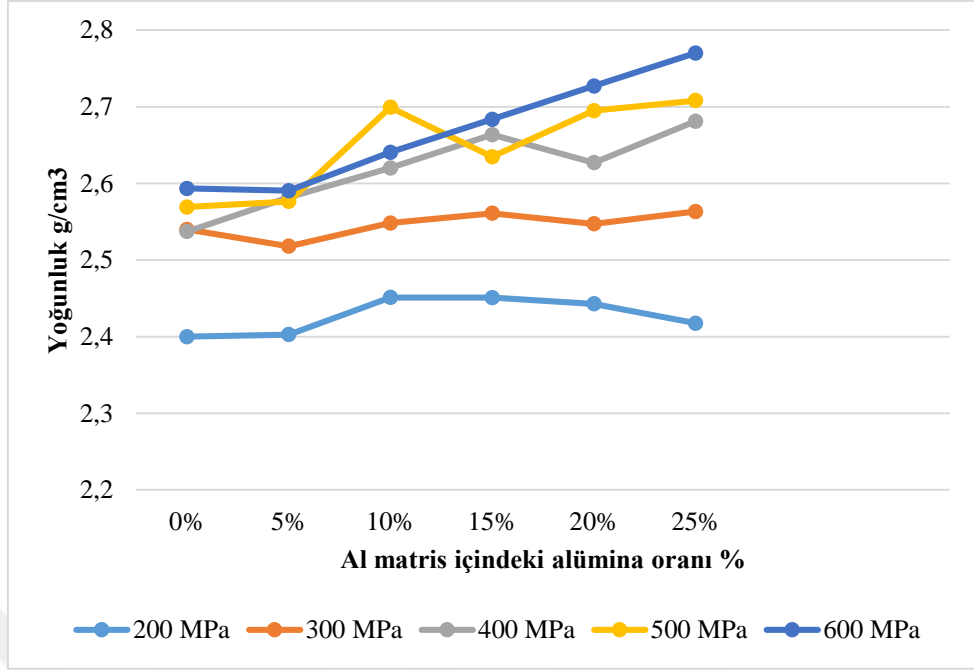
Tablo 6.4. Al<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> T/M kompozitlerin yoğunluk basınca ve bileşime bağlı değişimleri

	%0		%5		%10		%15		%20		%25	
	d	R.D	d	R.D	d	R.D	D	R.D	d	R.D	d	R.D
<b>200MPa</b>	2,4	88,88	2,4028	87,14	2,4512	87,08	2,451	84,84	2,4428	82,75	2,4175	80,18
<b>300MPa</b>	2,54	94,07	2,518	91,31	2,5483	90,53	2,561	88,65	2,5472	86,29	2,5633	85,02
<b>400MPa</b>	2,5372	93,97	2,5818	93,63	2,6201	93,08	2,6636	92,20	2,6271	88,99	2,6811	88,82
<b>500MPa</b>	2,5693	95,16	2,5765	93,44	2,6594	94,47	2,6349	91,2	2,6949	91,29	2,7081	89,85
<b>600MPa</b>	2,5935	96,06	2,5905	93,94	2,6407	93,81	2,6838	92,9	2,7271	92,38	2,7701	91,88

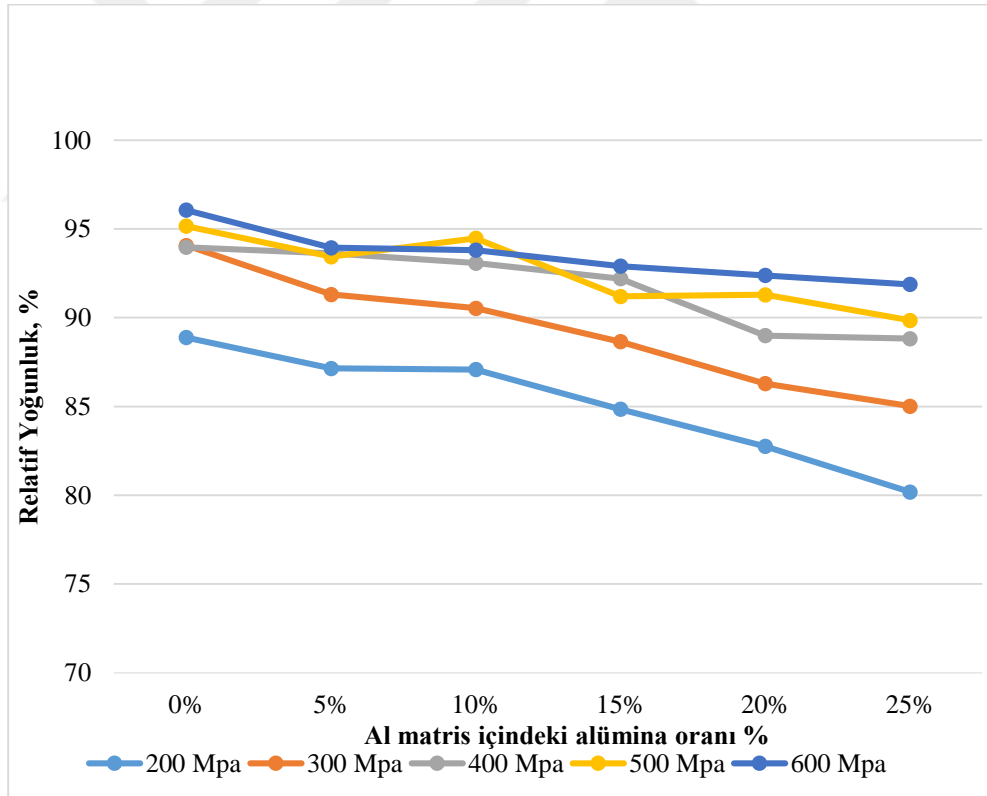
d: yoğunluk R.D: Relatif yoğunluk

Düşük yoğunlukları ve düşük ergime derecelerinden dolayı piyasada çok çeşitli alanları bulan alüminyum alaşımlarının, mekanik özellikleri ve aşınma davranışları istenen düzeyde olmadığından dolayı bu özelliklerini geliştirmek için matris içerisine yüksek mekanik özellikli alümina partikülleri toz metalürjisi yöntemiyle ilave ederek başta sertlik ve aşınma, çekme-basma gibi mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

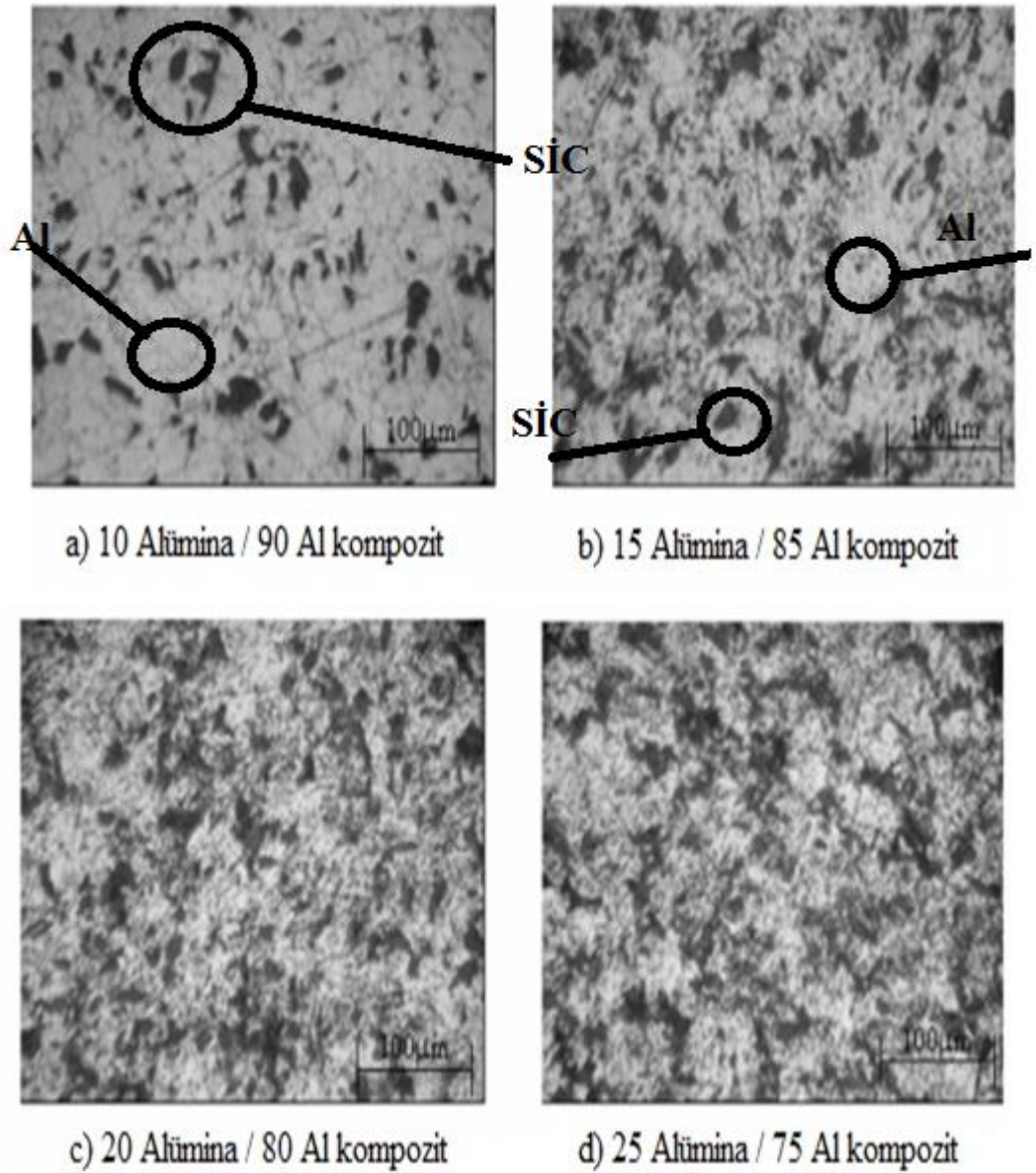
Benzer durum Şekil 6.6. ve 6.7.'de görülmektedir. Şekil 6.6.'da görüldüğü gibi kompozit içerisindeki takviye oranı arttıkça alüminanın yoğunluğuna bağlı olarak her sıkıştırma oranı için artmaktadır. Bununla birlikte Şekil 6.6.'da görüldüğü gibi kompozitlerin relatif yoğunlukları takviye oranı arttıkça azalmaktadır. T/M malzemelerde % 90'nın üzerinde yoğunlaşma gösteren malzemeler mühendislik tasarımlarda uygulama alanı bulabilir. Bu nedenle Şekil 6.7.'de görüldüğü gibi 200 ve 300 MPa sıkıştırılmalarda elde edilen numunelerin yoğunlukları uygulama için yetersizdir. Geri kalan diğer yüksek basınçlarda üretilen kompozitlerin yoğunlukları her partikül oranında % 90'dan yüksek olduğu için uygulama alanı bulabilir.



Şekil 6.6. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al kompozitlerin partikül artışına göre yoğunluk değişimi



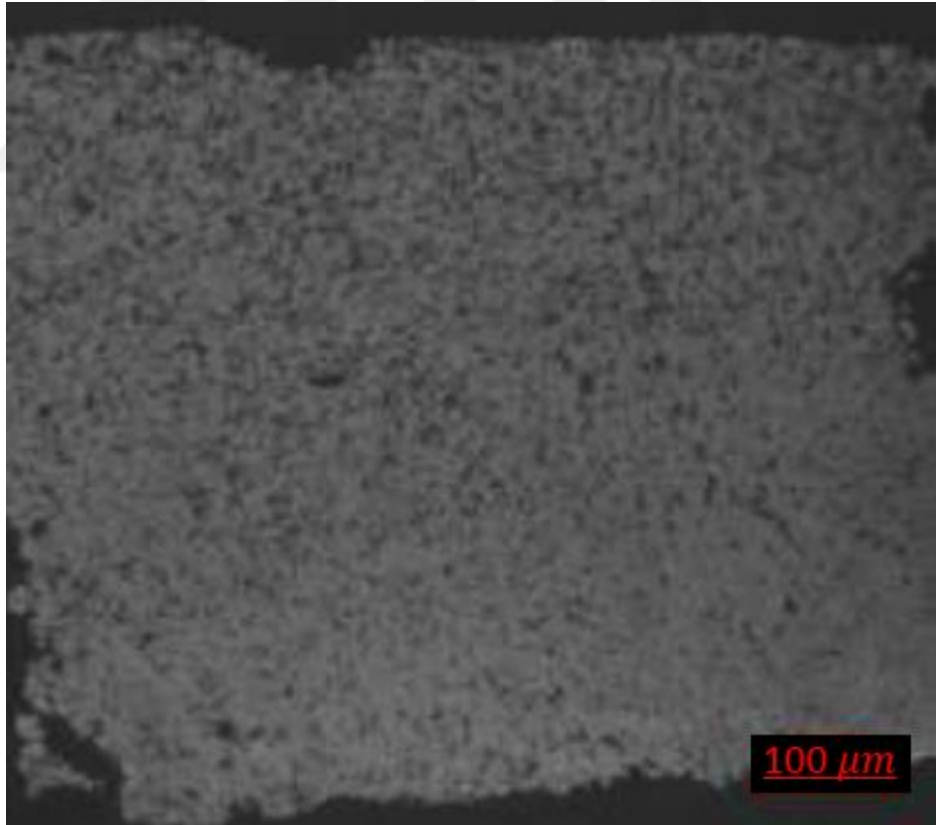
Şekil 6.7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al kompozitlerin partikül artışına göre relatif yoğunluk değişimi



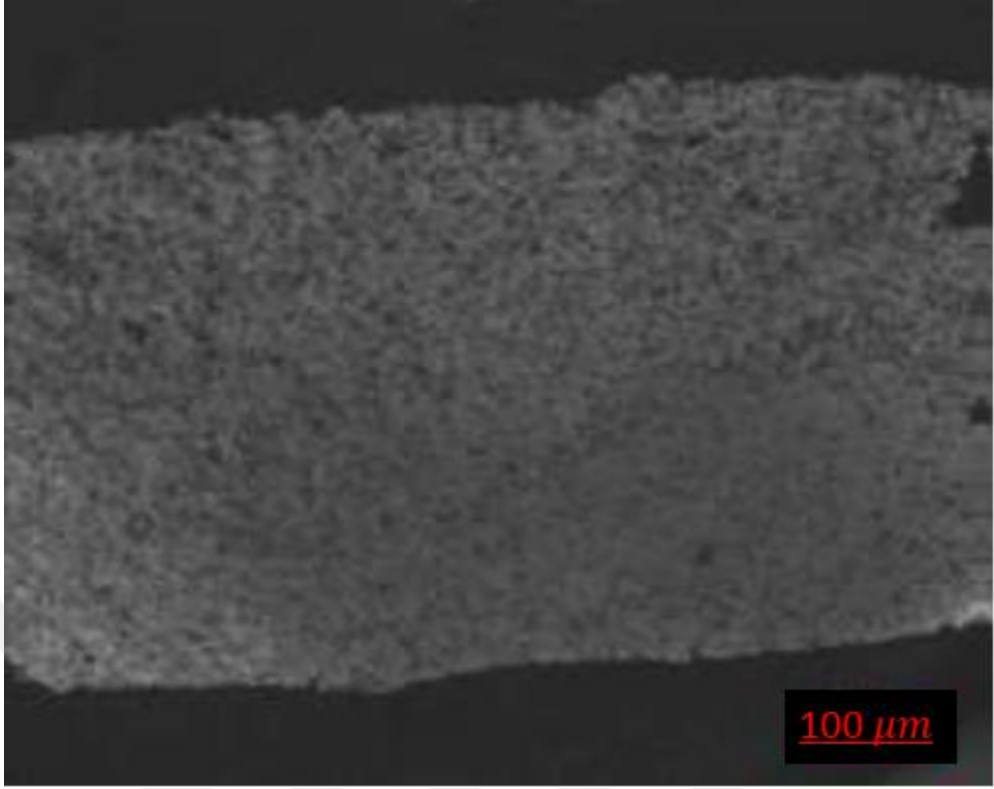
Şekil 6.8. 600 MPa basınçta sıkıştırılmış ve 640°C de %8 H içeren Argon gazı altında sinterlenmiş numunelerin ağırlıkça farklı partikül oranlarındaki optik mikroskop görüntüleri

Şekil 6.8.a-d' de farklı partikül oranlarında üretilmiş  $Al_2O_3/Al$  kompozitlerinin optik mikroskopta çekilmiş mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Tablo 6.1.' de belirtildiği şekilde artan olarak partikül oranı ile Al kompozitlerinin yoğunluk değerleri azalmaktadır. Şekil 6.8.'de takviyesiz T/M alüminyumun içyapısı görülmektedir. Dağlama yapılmamasına karşın sinterlenmiş numunede tane sınırları belirgin olarak görülmektedir. Bu durum alüminyum tanelerinin üretim sırasında gelen yüzey oksitlerinden kaynaklanmaktadır. Yüzey oksitlerine rağmen kısmen indirgeyici atmosfer sayesinde sinterleme başarıyla gerçekleştirilmiş ve % 96 relatif

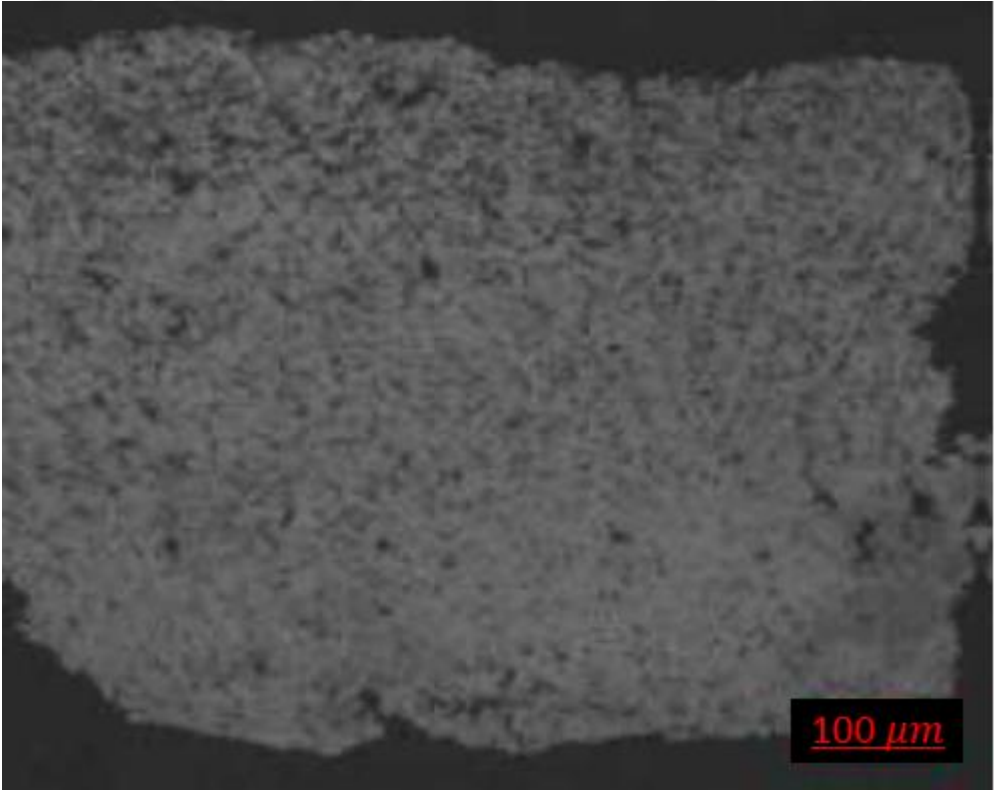
yoğunluk elde edilmiştir. İhmal edilebilir düzeyde gözenek kalmıştır. Partikül oranı yükseldikçe gerçek yoğunluk düşmekte ve dolayısı ile gözeneklilik artmaktadır. Dikkat çeken bir başka durum alümina tanelerinin sinterleme sonrası formunu koruyamadığı küçük tanelere ayrıldığı tespit edilmiştir. Özellikle yüksek partikül oranlarında (Şekil 6.8. c ve d) küçük tanecikler daha belirgin olarak gözlenmektedir. Alümina tanelerinin karıştırma sırasında sürtünme ve darbe, sıkıştırma sırasında mekanik zorlama ve sürtünme sinterleme sırasında termal şok ve kimyasal reaksiyon alümina seramik partiküllerini parçalamış olabilir. Özellikle alümina partiküllerinin içyapısında muhtemel safsızlıkların bulunması ve yüksek sinterleme sıcaklığında alüminyum metali bu safsızlıkları çözerek partikülleri parçaladığı düşünülmektedir. Ayrıca plastik deformasyona uğrayan Al taneleri yeniden kristalleşirken ve aynı zamanda difüzyon mekanizmaları yoluyla birbirlerine bağlanırken bu parçalanmış tanecikleri tane sınırlarından içeri aldığı gözlenmektedir.



Şekil 6.9. 45 dakika 630°C de N<sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü

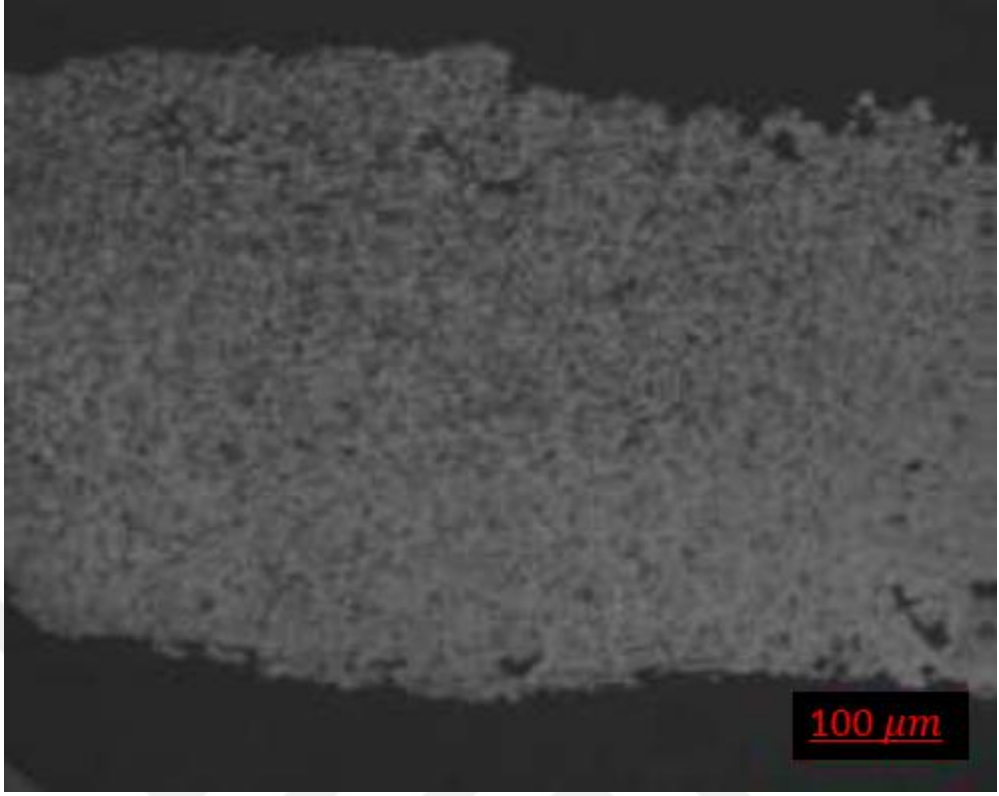


Şekil 6.10. 1 saat 630°C de N<sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü (1)



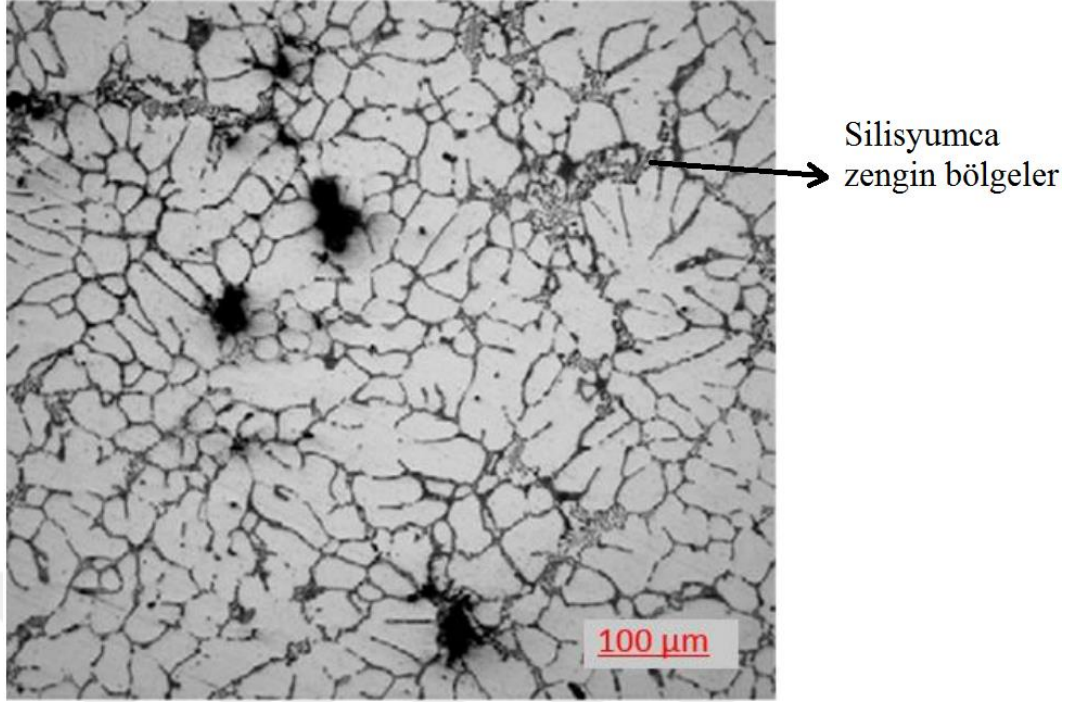
Şekil 6.11. 1.15 saat 630°C de N<sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü



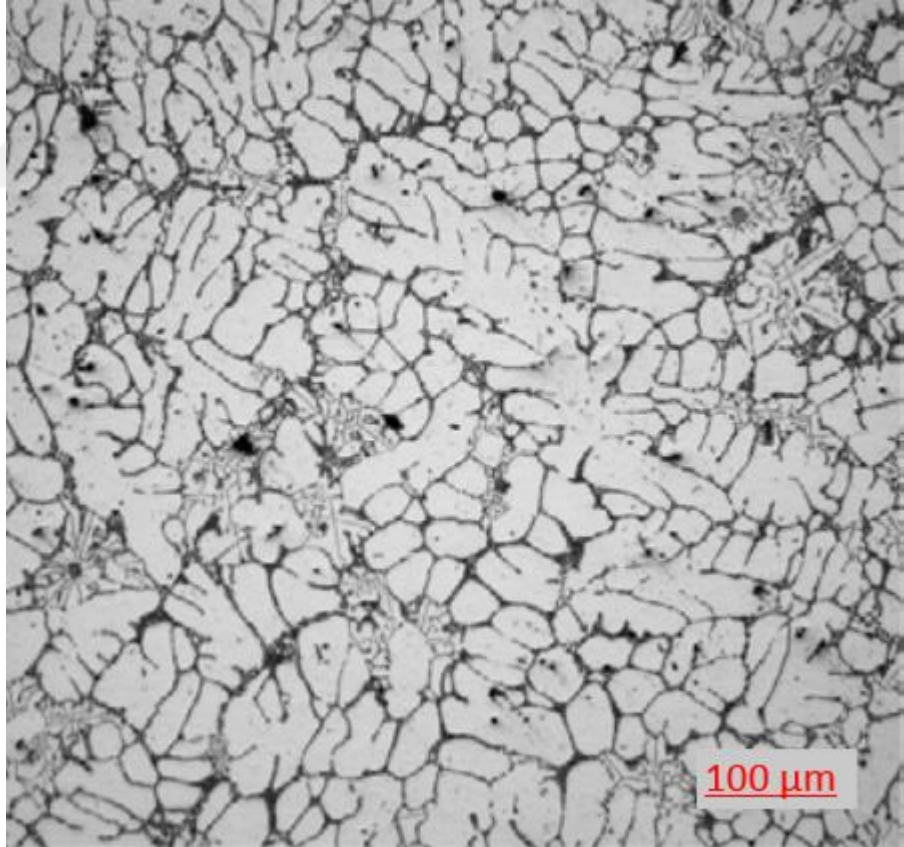


Şekil 6.12. 1 saat 630°C de N<sub>2</sub> gazında sinterlenmiş numunenin mikroskop görüntüsü (2)

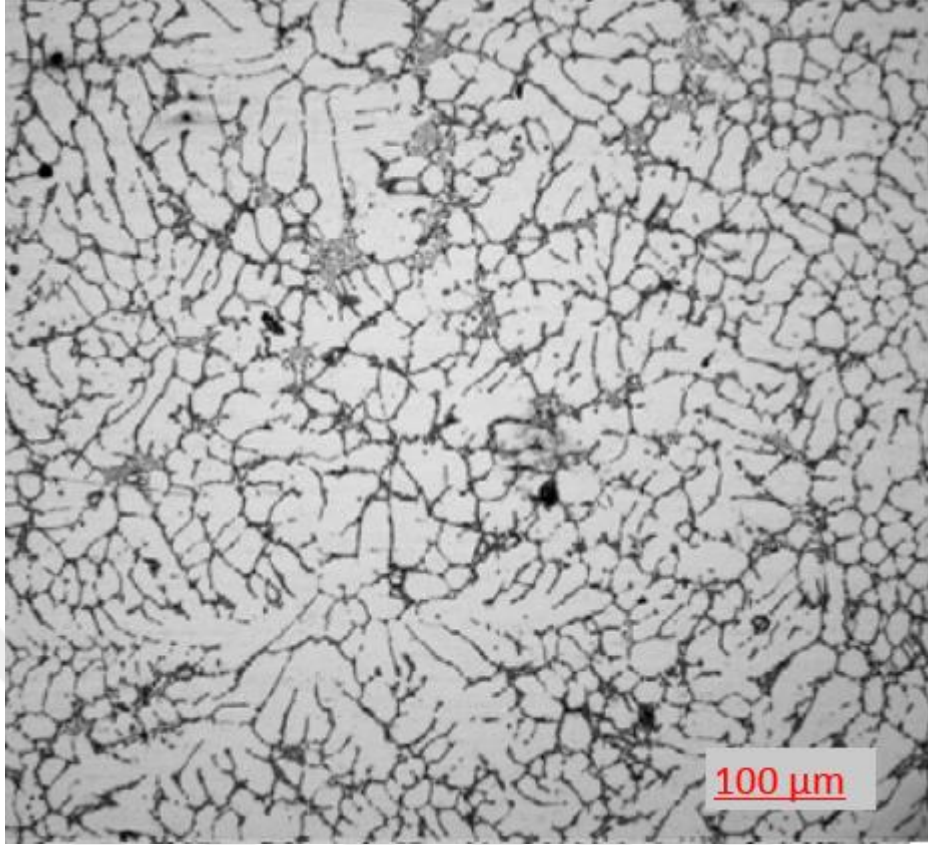
Yukarıdaki Şekil 6.9.,6.10.,6.11. ve 6.12.'de numunelerin stereo mikroskop görüntüleri görülmektedir. Şekil 6.9.;150 barda preslenmiş numuneye, Şekil 6.10.; 200 barda preslenmiş numuneye, Şekil 6.11.; 250 barda preslenmiş numuneye ve Şekil 6.12.; 300 barda preslenmiş numuneye aittir. Görüntülerde de görüldüğü gibi yukarıdan aşağıya inildikçe numunedeki takviye oranının azaldığı gözlemlenmiştir.



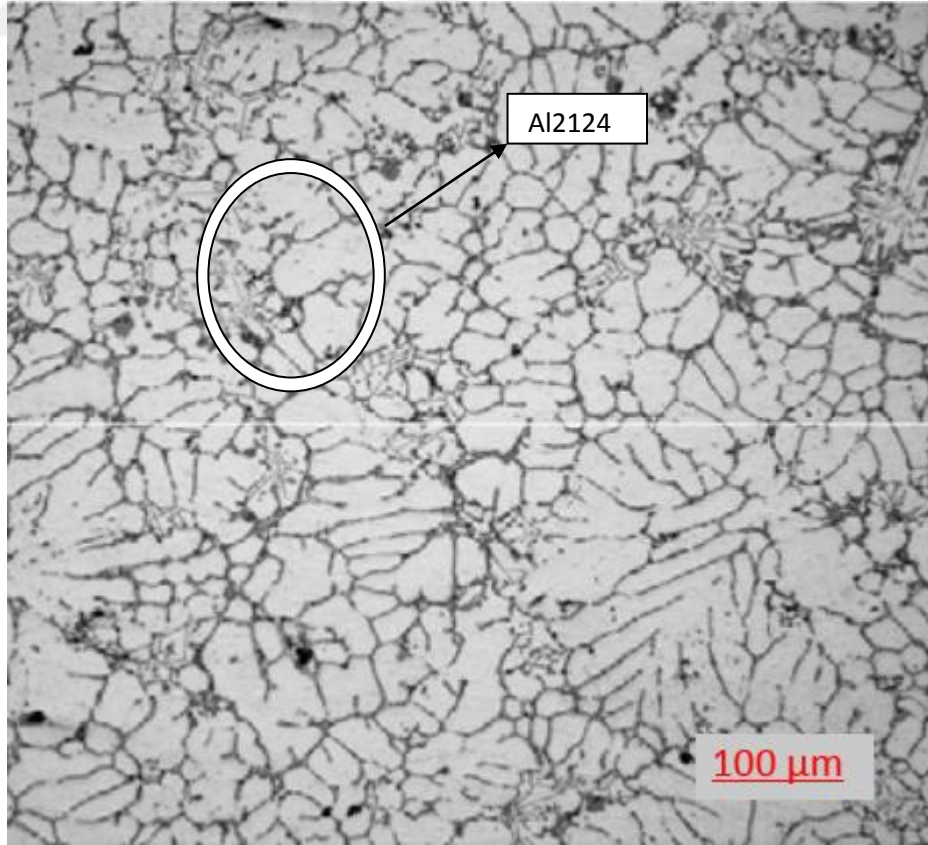
Şekil 6.13.  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}_{2124}$  625-650 $^{\circ}\text{C}$ 'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (1)



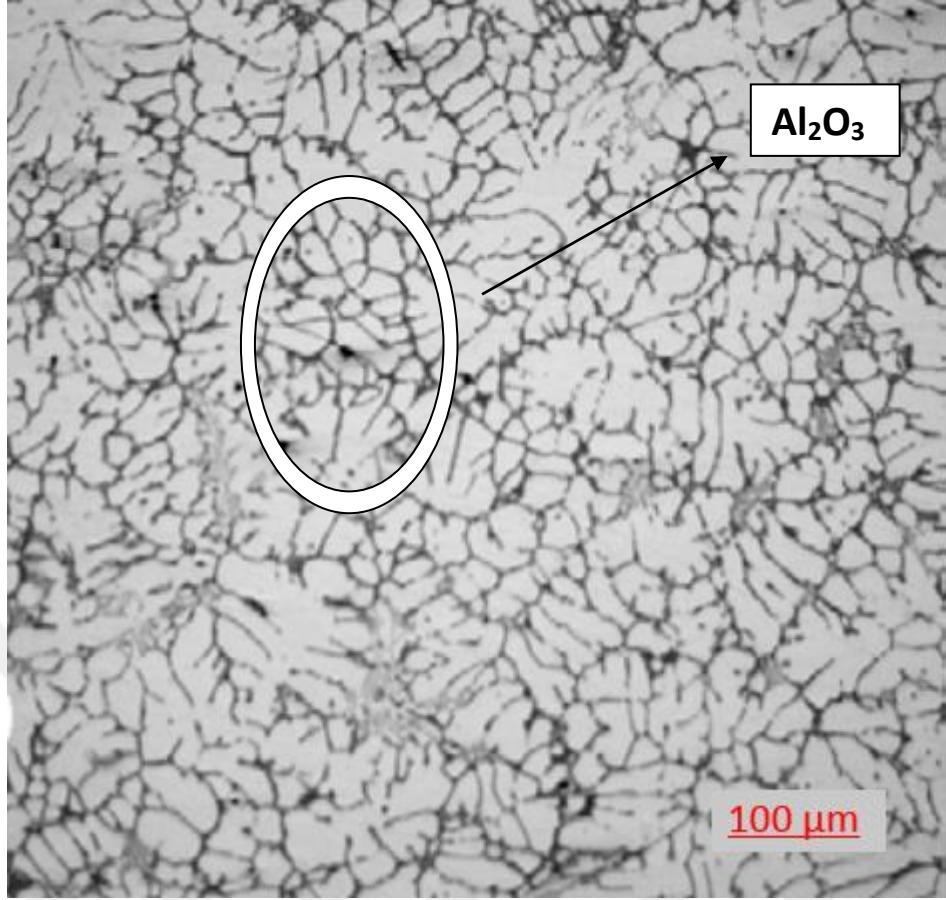
Şekil 6.14.  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}_{2124}$  625-650 $^{\circ}\text{C}$ 'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (2)



Şekil 6.15. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>124 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (3)



Şekil 6.16. Al<sub>2</sub>124 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (4)



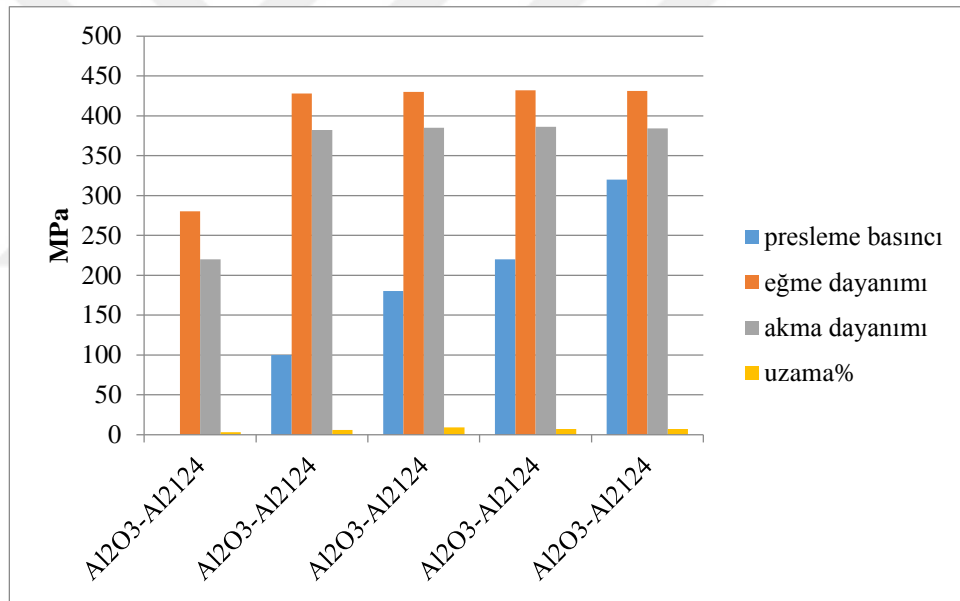
Şekil 6.17.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Al2124 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (5)

Daha küçük tanelerin homojen dağılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada monolitikpartikül ilavesi ile bi-model parçacık dağılımı sağlanabilmiştir. Büyük partiküller kompozitin aşınmasını geciktirirken küçük partiküller matris aşınmasını geciktirmektedir. Dolayısıyla matris aşınması geciken kompozitin partiküllerinin yoğun bir abrasif aşınmaya maruz kalması önlenmiş olur. Aşınma şartlarında aşınma kaybı azalarak malzemenin kullanım ömrü artmaktadır. Tablo 6.5.'te Al2124 alaşımının mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al2124 kompozitinin mekanik özellikleri

Malzeme	Presleme Basıncı	Eğme Dayanımı	Akma Dayanımı	Uzama%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124	0	280	220	3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124	100	428	382	6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124	180	430	385	9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124	220	432	386	7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Al2124	320	431	384	7

Şekil 6.18.'teki grafikte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al2124 kompozitinin mekanik özellikler gösterilmiştir.

Şekil 6.18. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al2124 kompozitinin mekanik özellikleri

### 6.5. SiC Takviyeli T/M Al2124 Metal Matris Kompozitlerinin Yoğunlaşma Davranışları

Bu çalışmada kompozit üretim tekniklerinden toz metalürjisi (T/M) yöntemi seçilmiştir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, partikülün matris toz metali ile istenen oranda karıştırılabilmesi homojenize olmasıdır. Daha da önemlisi partiküllerin matris içerisinde homojen dağılımını sağlamak diğer yöntemlere göre daha kolaydır.

Al2124 alaşımları düşük yoğunlukları ve düşük ergime derecelerinden dolayı endüstride çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak SiC alaşımlarının mekanik ve aşınma özellikleri istenen düzeyde değildir. Bu özelliklerini geliştirmek için SiC matris içerisine sert seramik partiküller katarak başta sertlik ve aşınma özelliği olmak üzere çekme-basma ve eğme mukavemetleri geliştirilebilir.

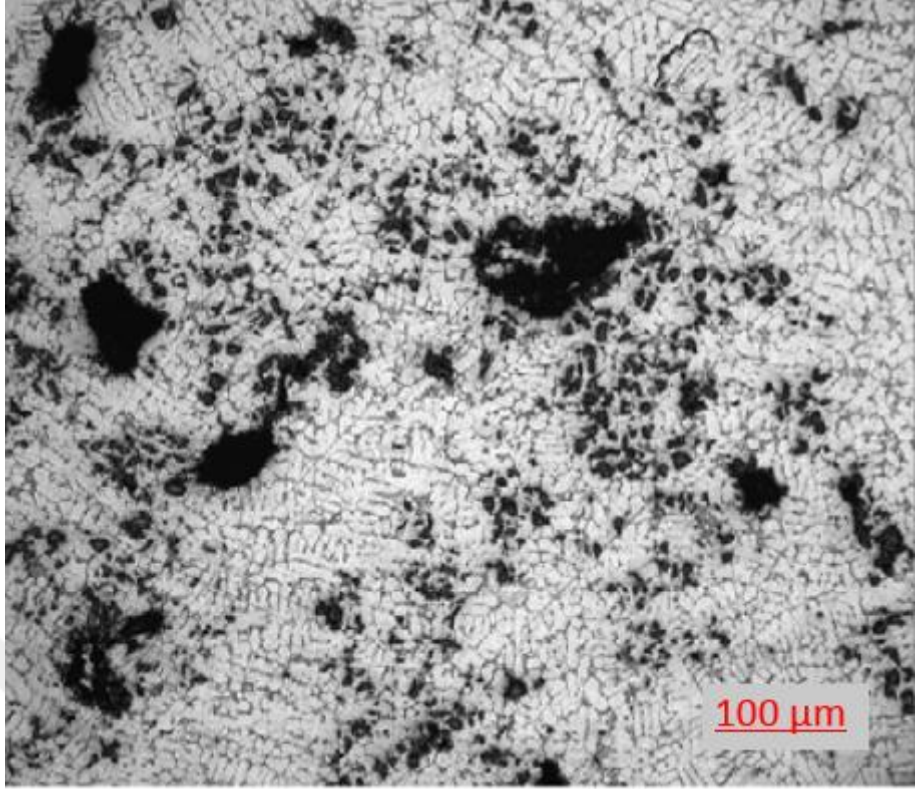
Takviye elemanı olarak son zamanlarda SiC'e ilgi öncelikle ekonomikliği nedeniyle artmaktadır. Ancak bunlar daha yüksek sıcaklıklarda MMK uygulamalarında alternatif olarak sağlanmaktadır. SiC'in; parçacık, elyaf ve kaplama yanında Whisker türleride üretilmektedir. Whiskerle üretilen kompozitlerde ikinci bir operasyon ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin mekaniksel bir hasar oluşturmaksızın uygulanabilmesi önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Toz metalürjisi tekniği yardımıyla da metalik matrisler içerisine SiC ile takviyelendirme yapılabilmektedir. Ancak karmaşık şekilli parçaların, sıcak izostatik presleme tekniği ile üretimi daha ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir. Çünkü preslenen parçalarda bitirme operasyonu için az zaman sarf edilir. SiC ile güçlendirilen alüminyum kompozitlerin işlenebilirliği diğer takviye elemanlı kompozitlere göre daha iyidir. SiC 'ün mekanik özellikleri Tablo 6.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. SiC'ün mekanik özellikleri

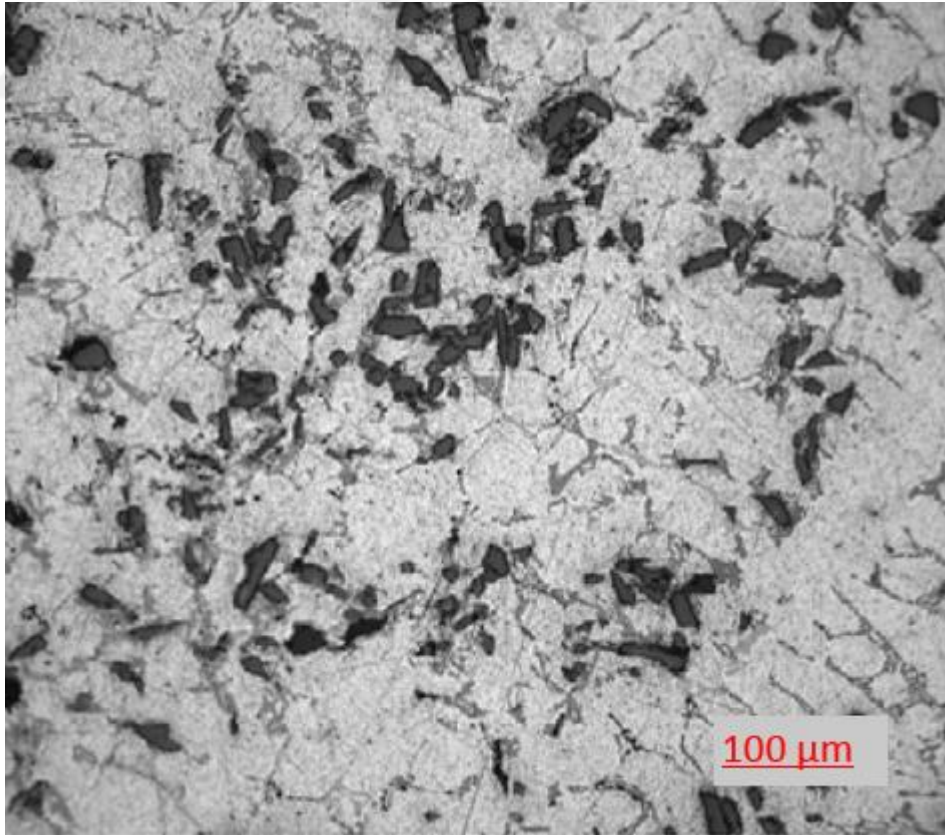
Özellikler	Değer
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3,58
Silisyum Karbür Safılık (%)	97,6
Isıl iletkenlik (W/mK)	125
Sertlik (kgf/mm <sup>2</sup> ) Vickers	3110

SiC genel olarak özelliklerini şu şekildedir;

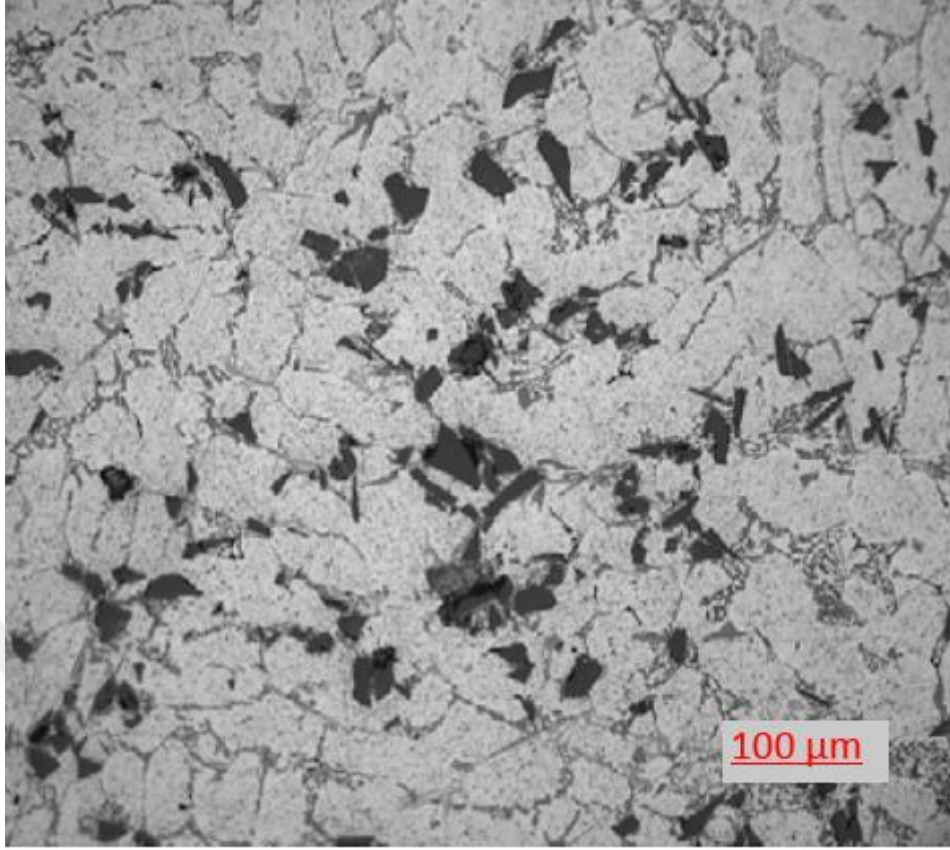
- Yüksek aşınma direnci ve dayanımı
- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek sürünme mukavemeti
- Düşük ısıl genleşme katsayısı
- Yüksek ısıl iletkenlik



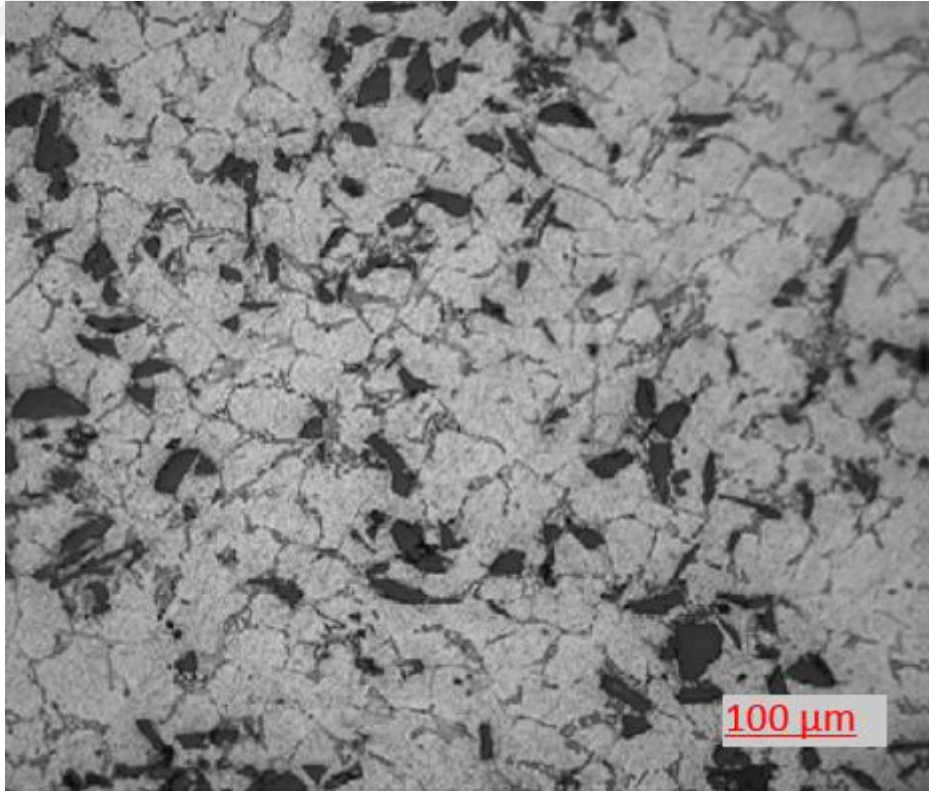
Şekil 6.19. Al<sub>2</sub>124 ve SiC %10 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (1)



Şekil 6.20. Al<sub>2</sub>124 ve SiC %10 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (2)

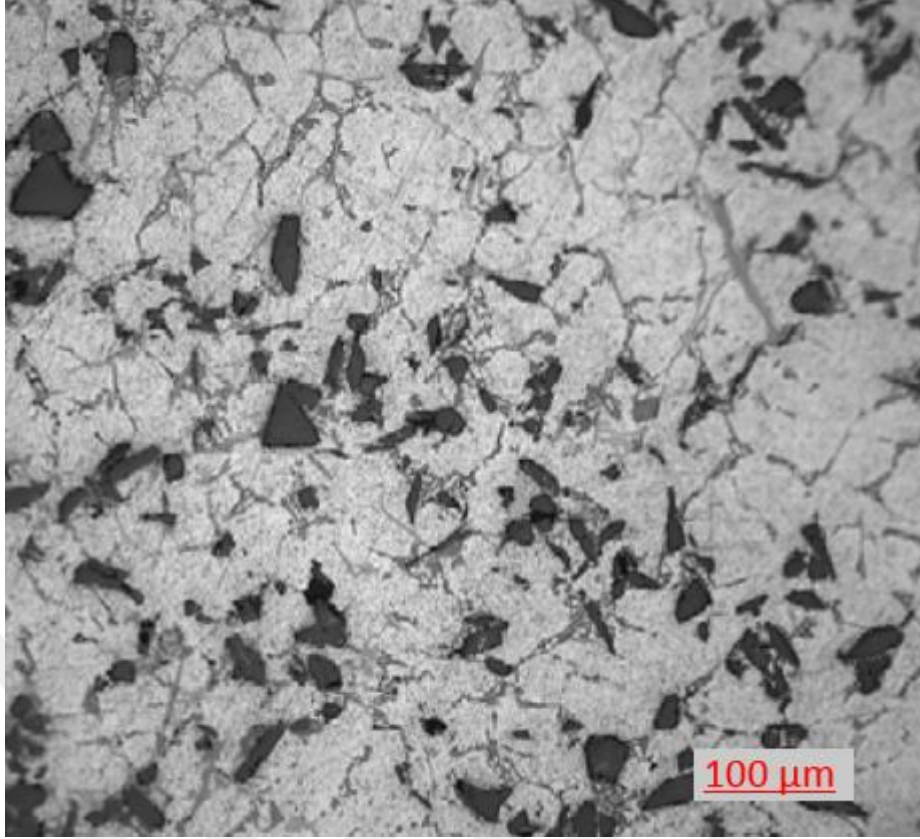


Şekil 6.21. Al2124 ve SiC %10 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (3)



Şekil 6.22. Al2124 ve SiC %10 625-650°C'de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (4)





Şekil 6.23. Al<sub>2</sub>124 ve SiC %10 625-650<sup>0</sup>C’de arasında ve 1.15 dakika sinterlenmiş numuneler (5)

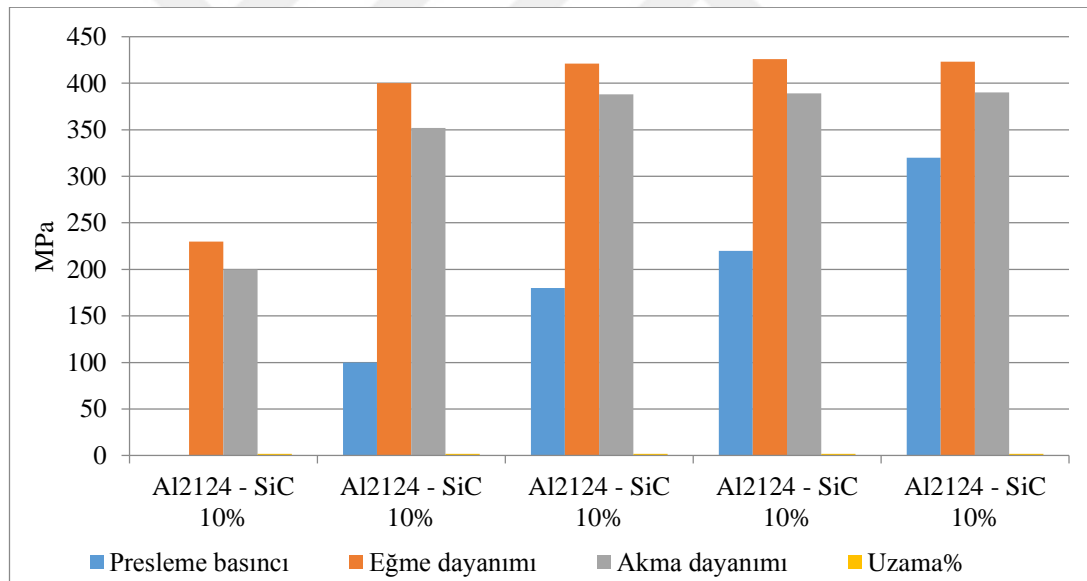
Farklı sıcaklıklarda ve basınçlarda sinterlenmiş Al<sub>2</sub>124 alaşım ve Al<sub>2</sub>124-10 SiC. farklı MPA'daki numunelerin optik görüntülerinde gözlemlenen partiküllerin dağılımları ve tane sınırındaki yapıları görülmektedir. Partiküllerin tane sınırlarında bir şekilde parçalanıp tane içlerine hareketi aslında avantajlı bir durumdur.

SiC bu özelliklerin sonucunda muazzam bir ısıl şok dayanımı sergiler. Isıl iletkenlik kristal yapıda çözünen safsızlıkların varlığından etkilenir. Yüksek saflıkta ticari SiC elde etmek zordur. Çünkü sinterleme içine eklenen safsızlıklar veya reaksiyon bağlamada kullanılan silisyumda bulunan safsızlıklar bunu engeller. Tablo 6.7.’de Al<sub>2</sub>124 - SiC%10 alaşımının mekanik özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Al2124 - SiC%10 mekanik özellikleri

Malzeme	Presleme Basıncı	Eğme Dayanımı	Akma Dayanımı	Uzama%
Al2124 - SiC %10	0	230	200	2
Al2124 - SiC %10	100	400	352	2
Al2124 - SiC %10	180	421	388	2
Al2124- SiC %10	220	426	389	2
Al2124 - SiC %10	320	423	388	2

Şekil 6.24.'teki grafikte Al2124 – SiC %10 mekanik özellikleri gösterilmiş tiralaşımının mekanik özellikleri gösterilmiştir.

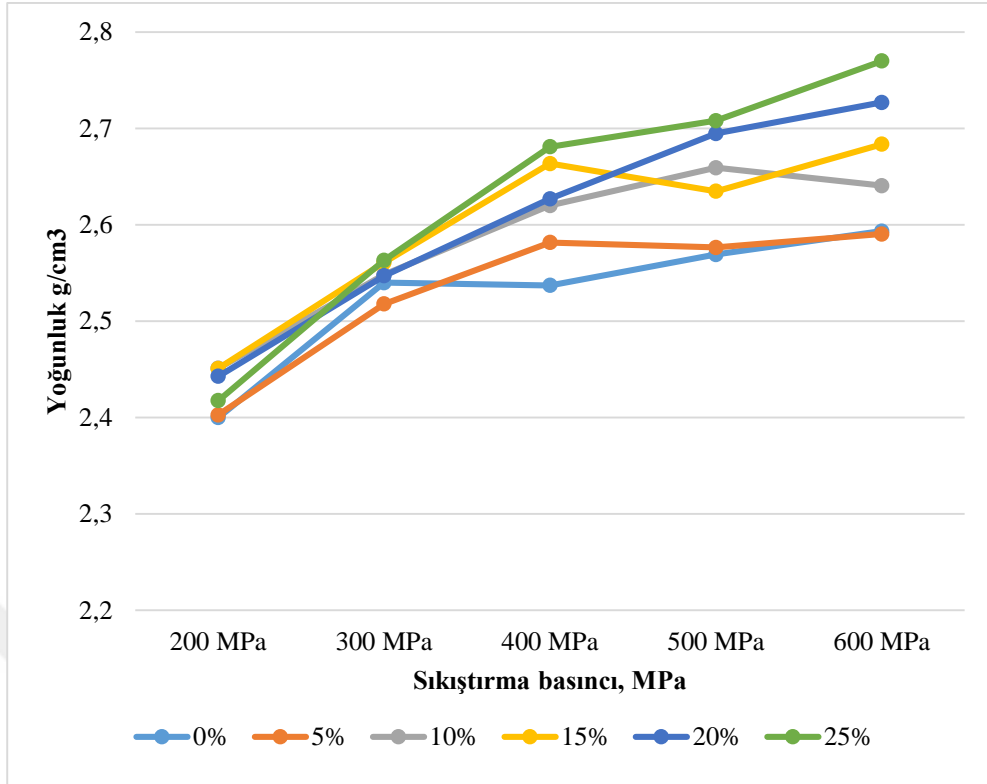


Şekil 6.24. Al2124 - SiC %10 mekanik özellikleri

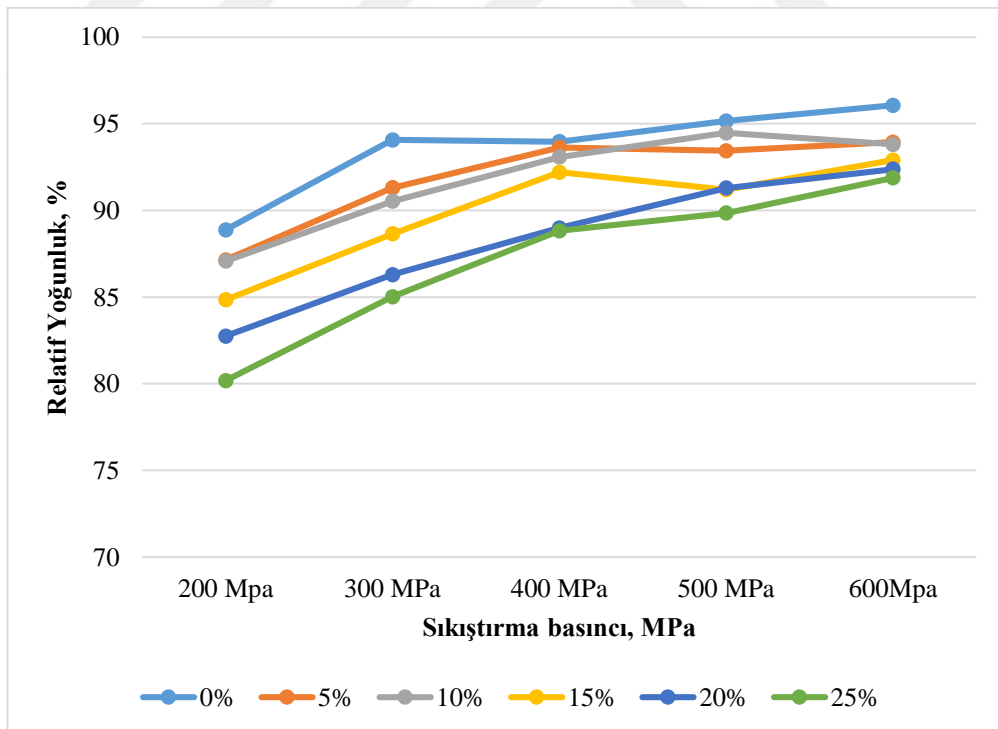
Şekil 6.25.–6.27.'de üretilen kompozitlerin sıkıştırma basıncına bağlı yoğunlaşma davranışları gözlenmektedir. Şekil 6.25.'teki grafik incelendiğinde tüm numuneler yoğunluk artışının ve sıkıştırma basıncı artışı ile dolaylı olarak yükseldiği açıkça gözlenmektedir. 400 MPa sıkıştırma basıncına kadar uygulanan basınçlar hızlı bir yoğunlaşma etkisi gösterirken 400-600 MPa arası basıncın yoğunlaşmaya etkisi azalmıştır. Bu durum özellikle Şekil 6.26.'daki sıkıştırma basıncı-relatif yoğunluk

grafiğinde daha belirgin olarak görülmektedir. Dolayısıyla yüksek basınçlar yoğunlaşmaya etkisi olmakla birlikte basıncın daha fazla artırılması çok fazla yoğunlaşmaya katkı sağlamayacağı söylenebilir. Ancak % 95 yoğunlukların üzerindeki yoğunluklarda az bir artış veya gözeneklilikteki az bir azalma mekanik özellikleri fazlasıyla iyileştirmektedir.

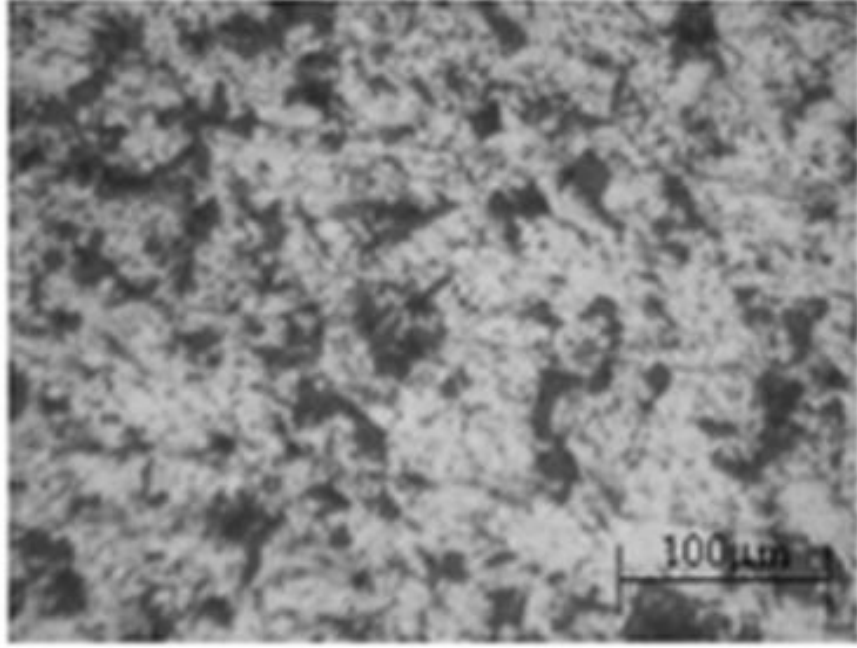
Şekil 6.27.'de %10 SiC içeren Al2124 matris kompozitlerin mikro yapı görüntüleri basınç artışına göre sıralanmıştır. Bu içyapı görüntülerinde, parçacık dağılımının yanı sıra gözenek dağılımının da basınç artışına göre incelenmesi düşünülmüştür. Ancak beklenen gözeneklilik değişimi bu mikro yapı görüntülerinde gözlenememiştir. Tablo 6.1. ve Şekil 6.26.'daki relatif yoğunluk değerleri sıkıştırma basıncına göre hissedilir şekilde artmasına karşın, mikro yapı görüntülerinde artan basıncın azalan gözeneklilik olarak yansımaları tam olarak tespit edilememiştir. Sadece 200 ve 300 MPa basınçta sıkıştırılan numunelerde gözeneklere rastlanırken daha yüksek basınçlarda sıkıştırılan numunelerde gözeneklilik tam olarak gözlenmemiştir. Bu durum mikro ve makro gözeneklerin oluşmasıyla veya partiküller arası matris bulunmayan bölgelerin bulunmasıyla açıklanabilir. Az sayıda bulunan makro gözenekler 300x büyütme karesinin dışında bulunurken, mikro gözeneklerin bu büyütme oranında görüntülenemediği düşünülmektedir. Diğer dikkat çeken bir durum takviyesiz alaşımlarda tane sınırları çok belirgin iken takviyeli alaşımlarda tane sınırlarının azaldığı ve belirsizleştiği gözlenmiştir. Takviye malzemelerinin sıkıştırma sırasında partikül yüzeylerini tahrip ederek oksitsiz temiz yüzeylerinin açığa çıkmasını sağlayarak tanelerin hacim difüzyonuna engel olan yüzey oksitlerini azaltır ve sinterleme sırasında partikülleri taneler içine alarak sintelenirler.



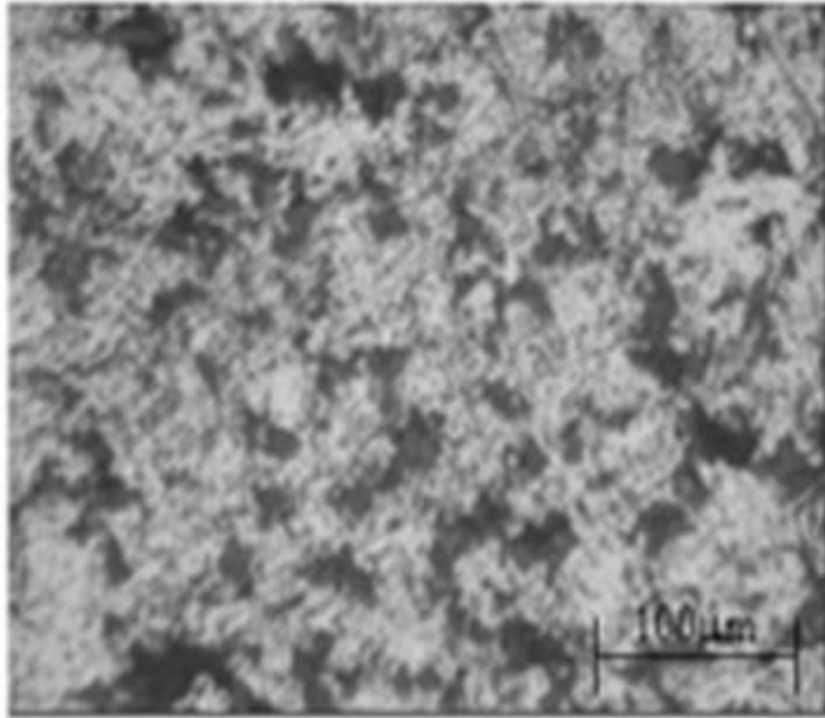
Şekil 6.25. Sıkıştırma basıncı artışına göre SiC - Al2124 kompozitlerin yoğunluk değişimi



Şekil 6.26. Sıkıştırma basıncı artışına göre SiC - Al2124 kompozitlerin relatif yoğunluk değişimi

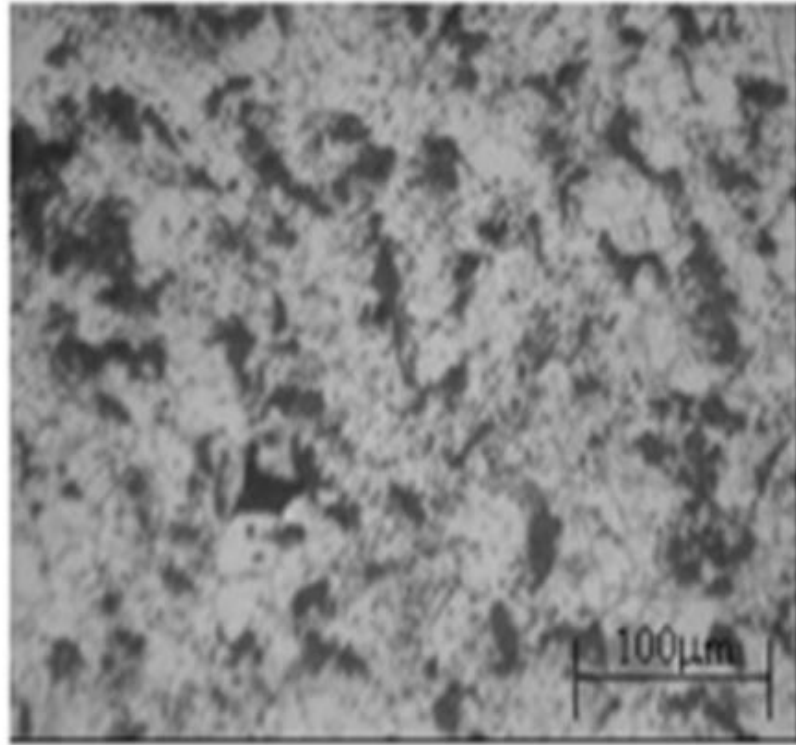


**a) 200 MPa**

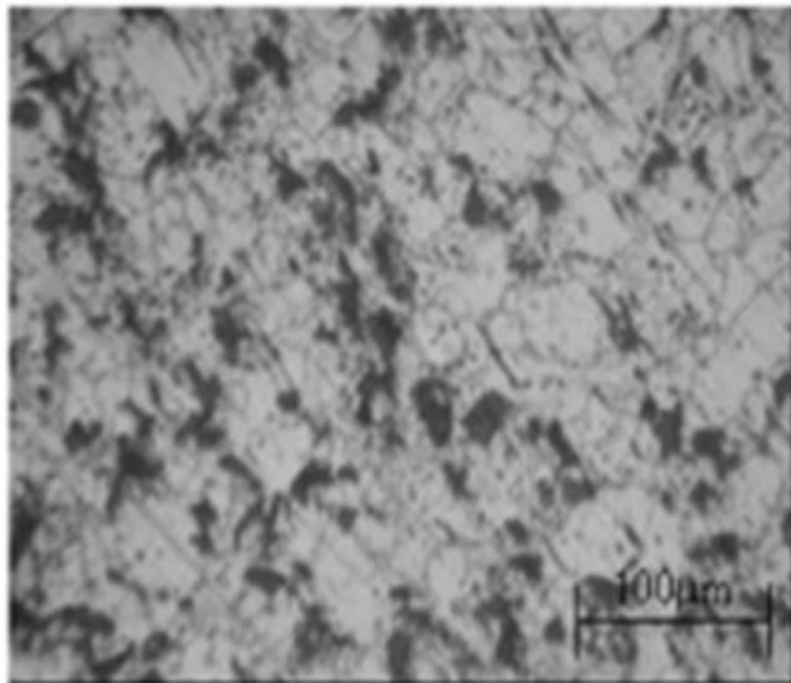


**b) 300 MPa**

Şekil 6.27. 640°C de Argon gazı altında sinterlenmiş %10 SiC /Al2124 kompozitlerinde sıkıştırma basıncının mikro yapıya etkisi

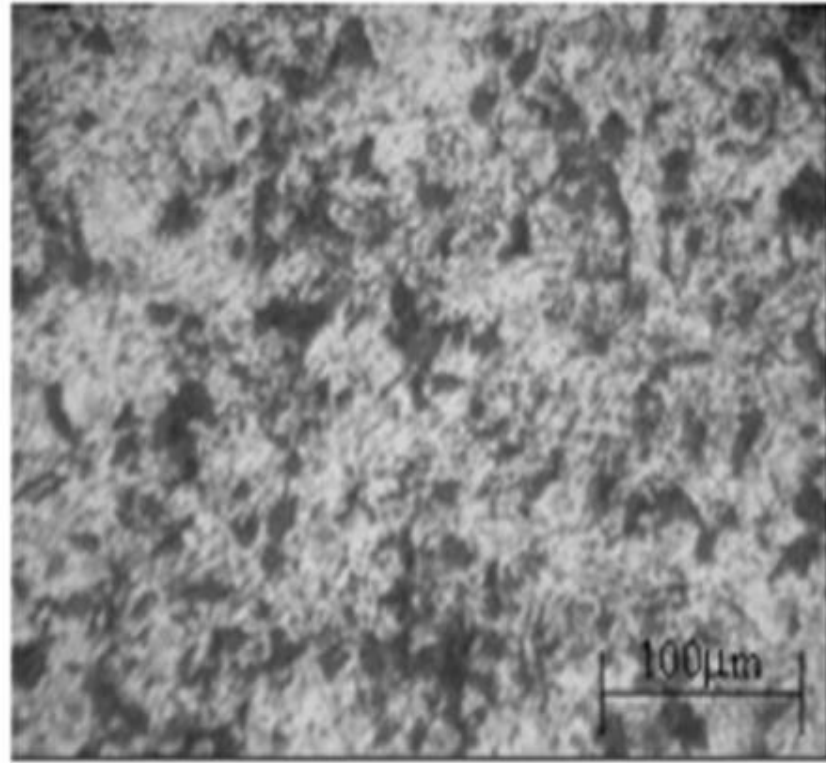


c) 400 MPa



d) 500 MPa

Şekil 6.27.(Devamı)



e) 600 MPa

Şekil 6.27. (Devamı)

### 6.6. Sıcaklığın, Sürenin, Koruyucu Gazların ve Katkı Oranın Yoğunlaşmaya Etkileri

Tablo 6.8. Karışım tozuna ait kütle ölçüm sonuçları

Sıcaklık (°C)	Süre (sa.)	Atmosfer	Giriş	Reaksiyon	Fark
625	1	Ar	5	4,15	0,85
625	1	N <sub>2</sub>	5	4,26	0,74
630	1.15	Ar	5	3.59	1,41
630	1.15	N <sub>2</sub>	5	3,53	1,47

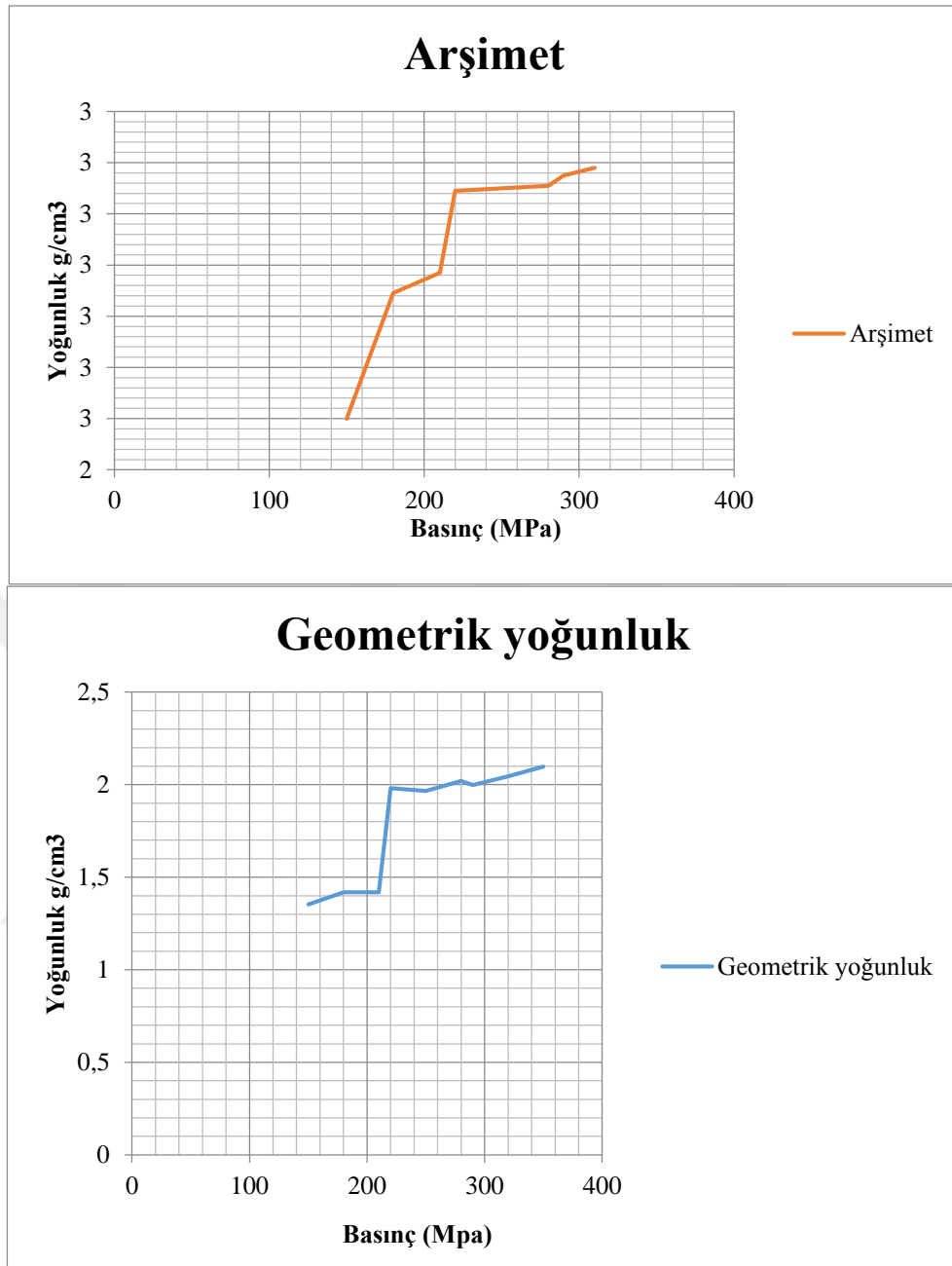
Tablo 6.8. (Devamı)

Sıcaklık (°C)	Süre (sa.)	Atmosfer	Giriş	Reaksiyon	Fark
635	0.45	Ar	5	4,19	0,81
635	0.45	N <sub>2</sub>	5	4,26	0,74

Tablo 6.9. Argon gazı kontrollü 630 °C'de 1.15 dak. sinterlenen numunelerin yoğunlukları

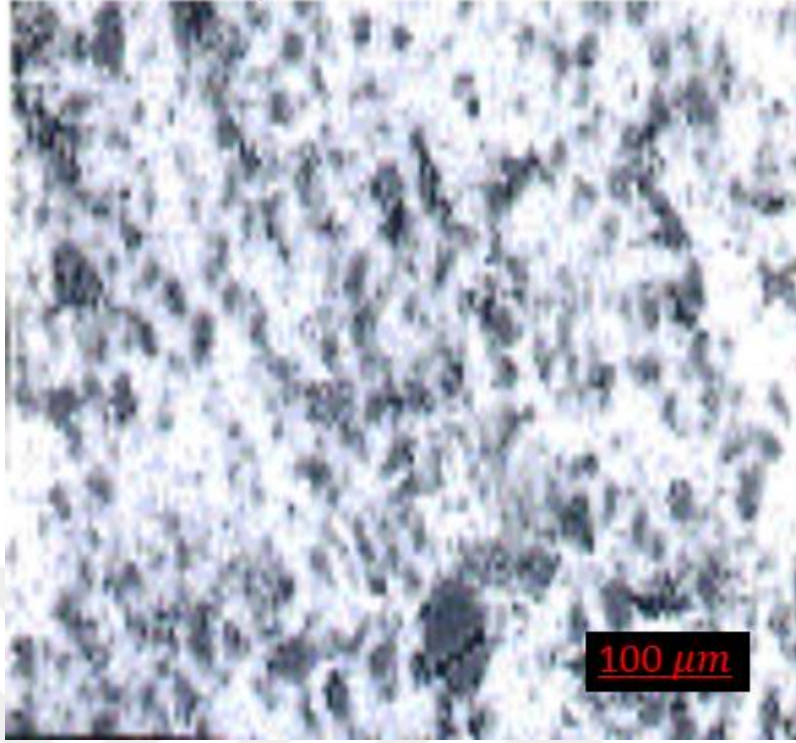
P (MPa)	R(çap)	H(gr)	M(farkgr)	Geometrik yoğunluk	Arşimet
150	15,5	4,2	1,5682	1,978786239	2,633
180	15,5	3,8	1,3592	1,89559909	2,483
210	15,7	3,9	1,4034	1,858778665	2,514
220	15,45	3,65	1,3144	1,920825166	2,487
250	15,5	3,9	1,5518	2,108714881	2,641
280	15,5	3,8	1,4145	1,972722861	2,557
290	15,5	3,7	1,4159	2,028044966	2,56
320	15,6	3,55	1,395	2,055922675	2,538
350	15,55	3,5	1,3963	2,100680604	2,574



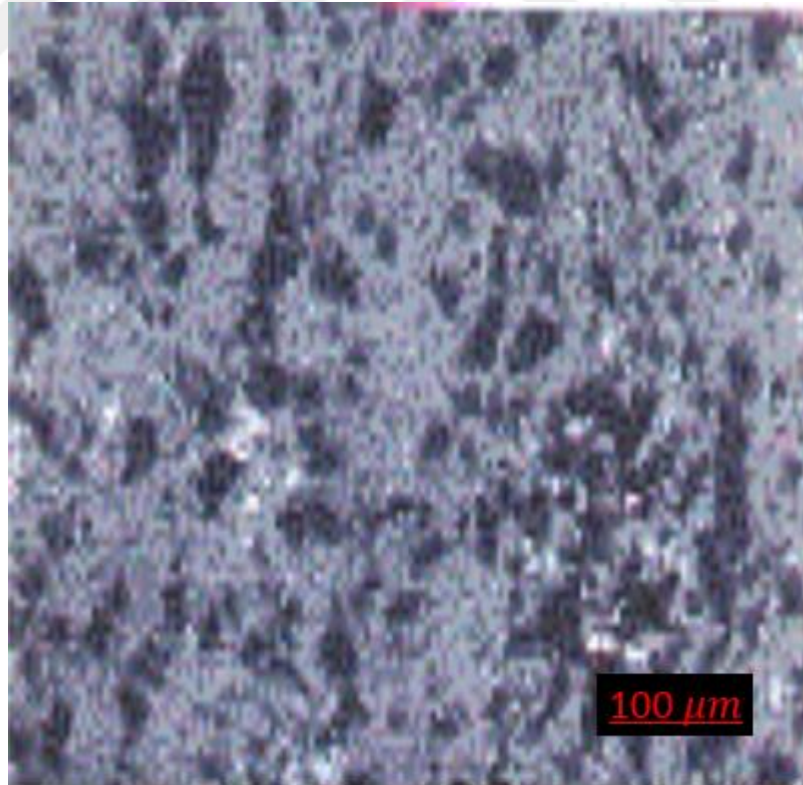


Şekil 6.28. Argon gazı kontrollü sinterlenen numunelerin Arşimet ve geometrik yoğunluğu

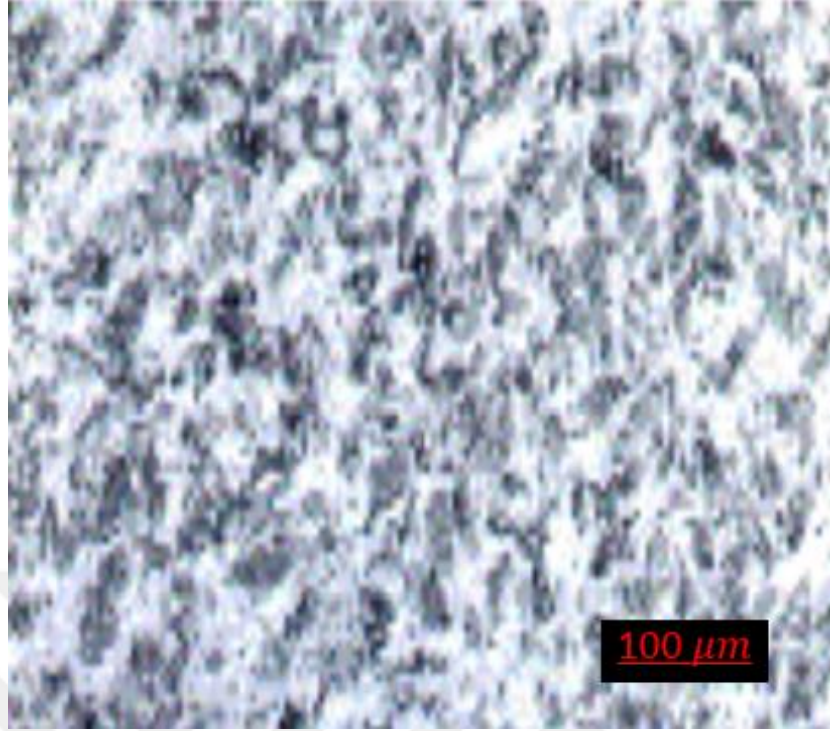
Bu uygulamalardaki seramik kompozit malzemenin kompozisyonu, yüzde takviye elemanı yüzdesi olarak ve tipi vede uygulanan ısıl işlem türü gibi parametrelerin değiştirilmesi ile mekanik özellikler istenilen değere göre ayarlanabilmektedir.



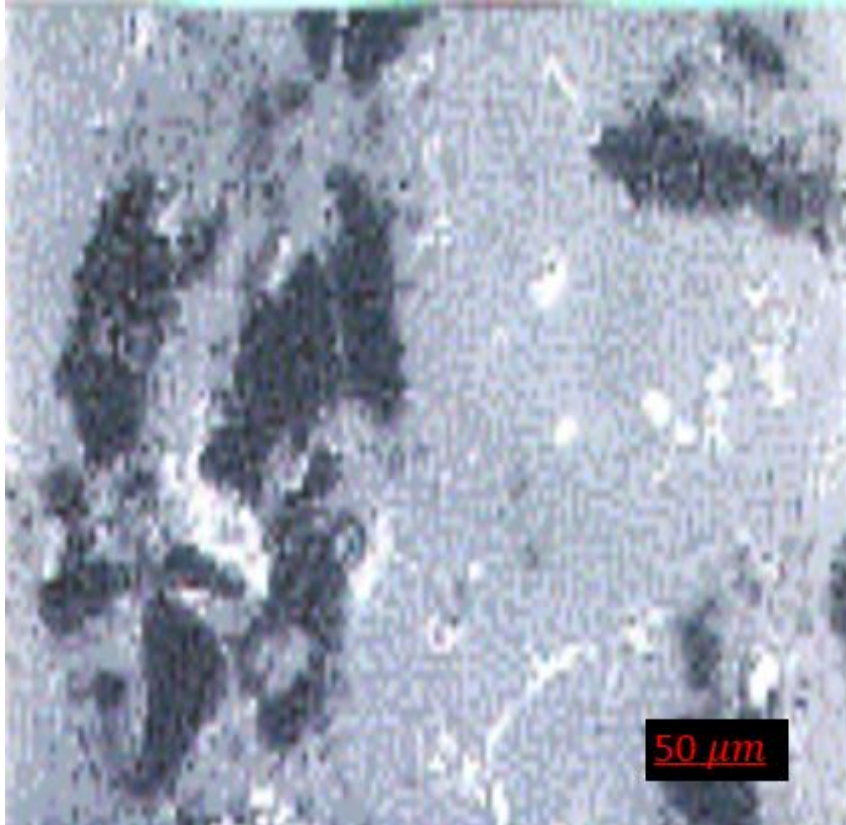
Şekil 6.29. Al2124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (1)



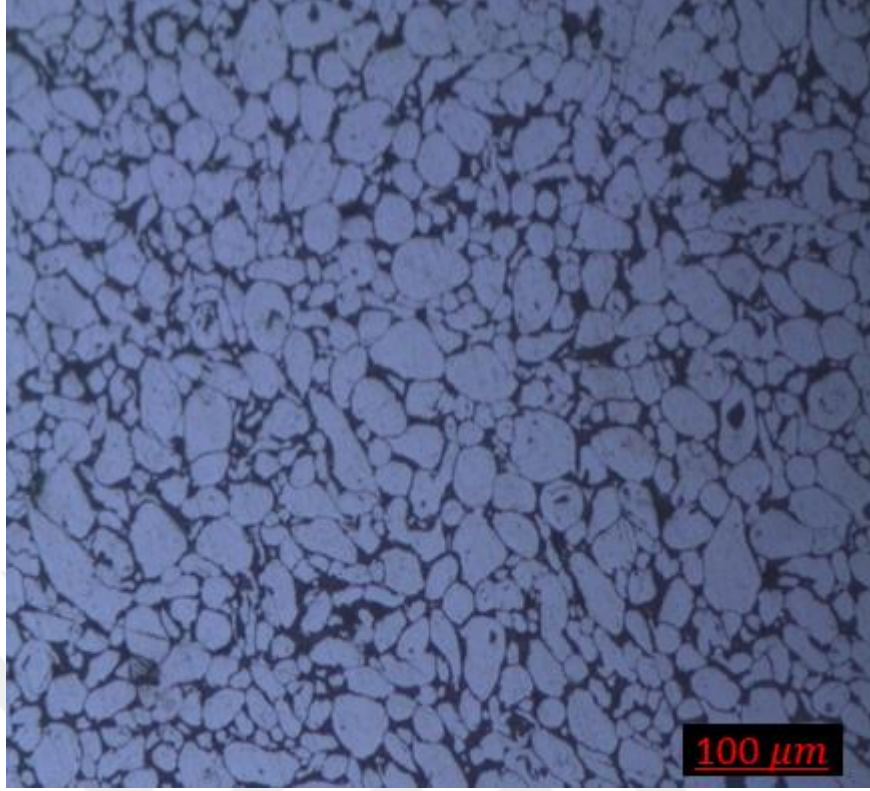
Şekil 6.30. Al2124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (2)



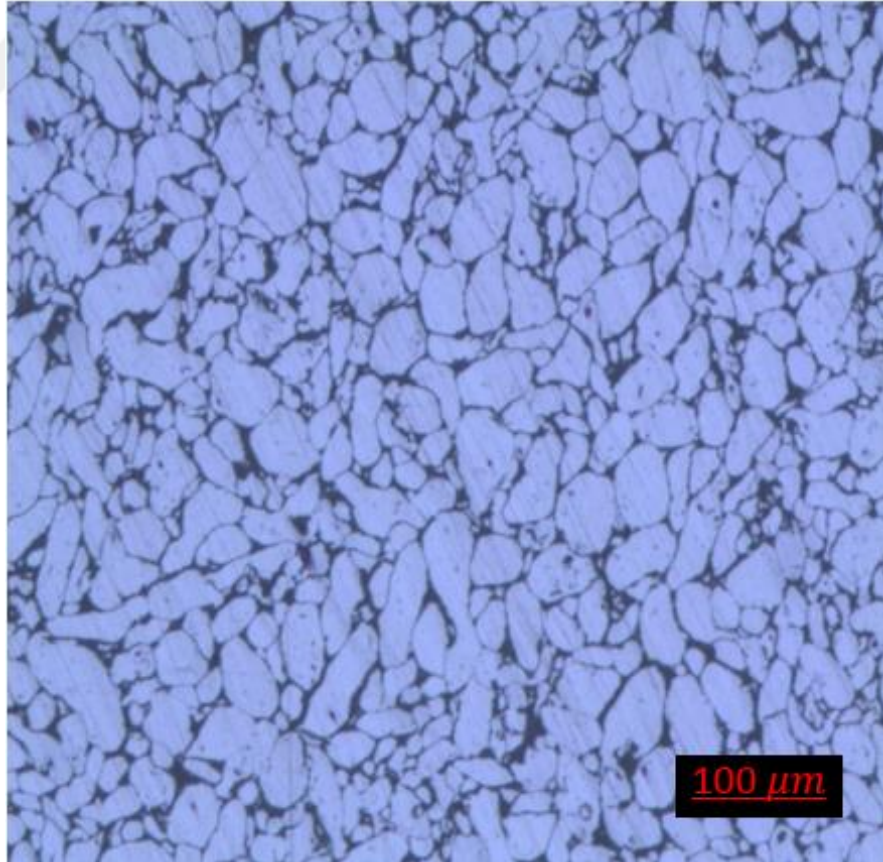
Şekil 6.31. Al<sub>2124</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (3)



Şekil 6.32. Al<sub>2124</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (4)

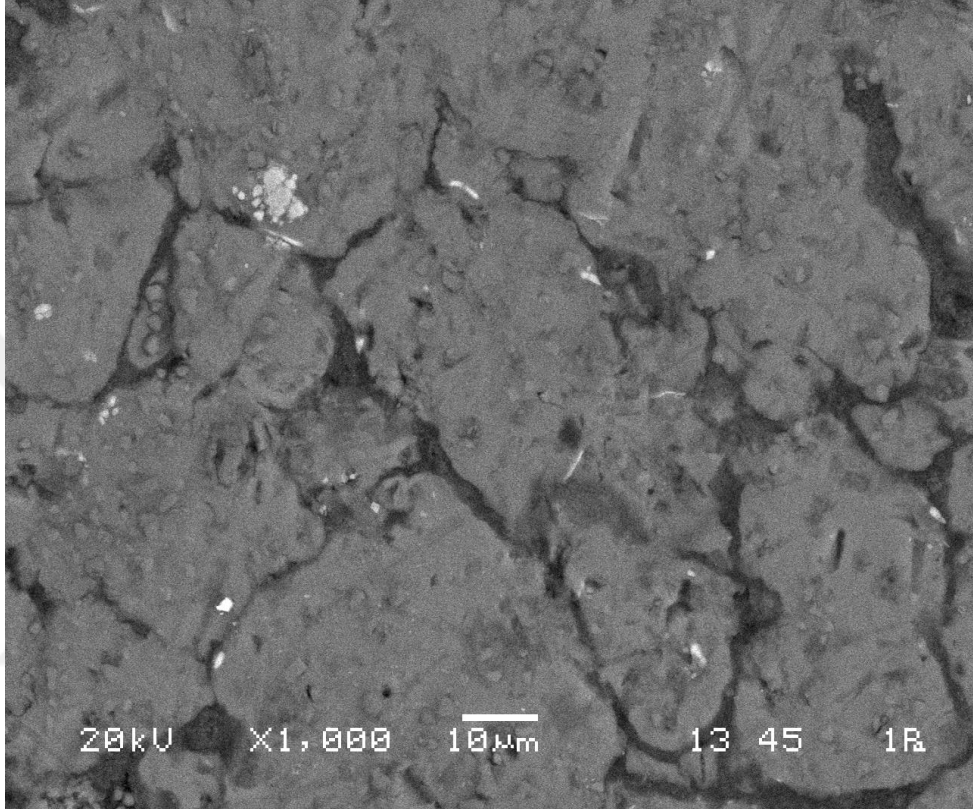


Şekil 6.33. Al<sub>2</sub>124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (5)

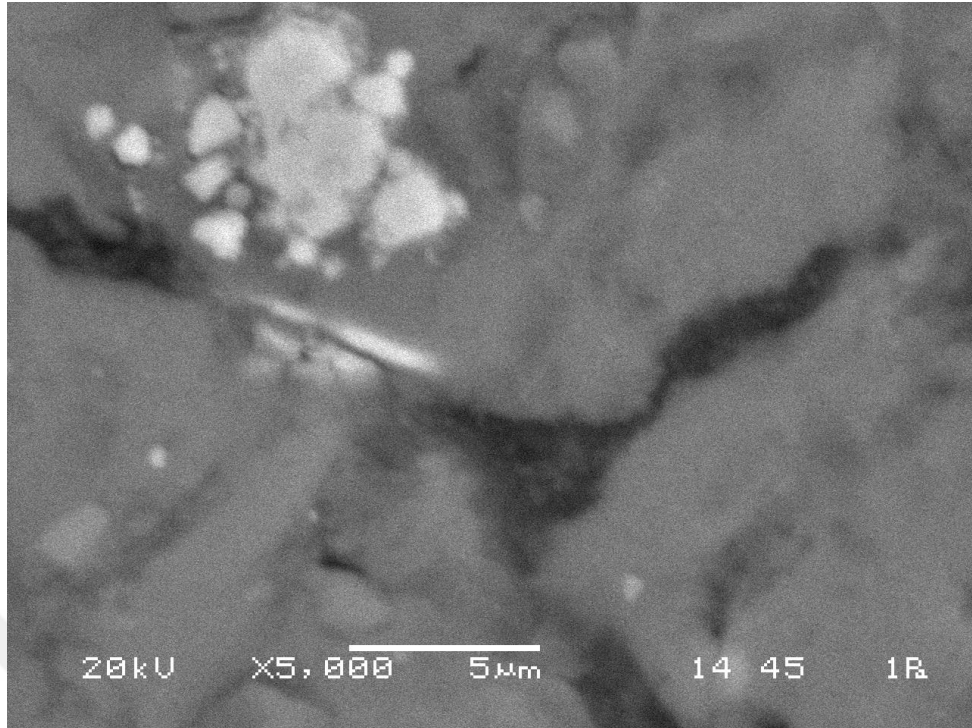


Şekil 6.34. Al<sub>2</sub>124-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozitlerin optik mikroyapı fotoğrafı (6)

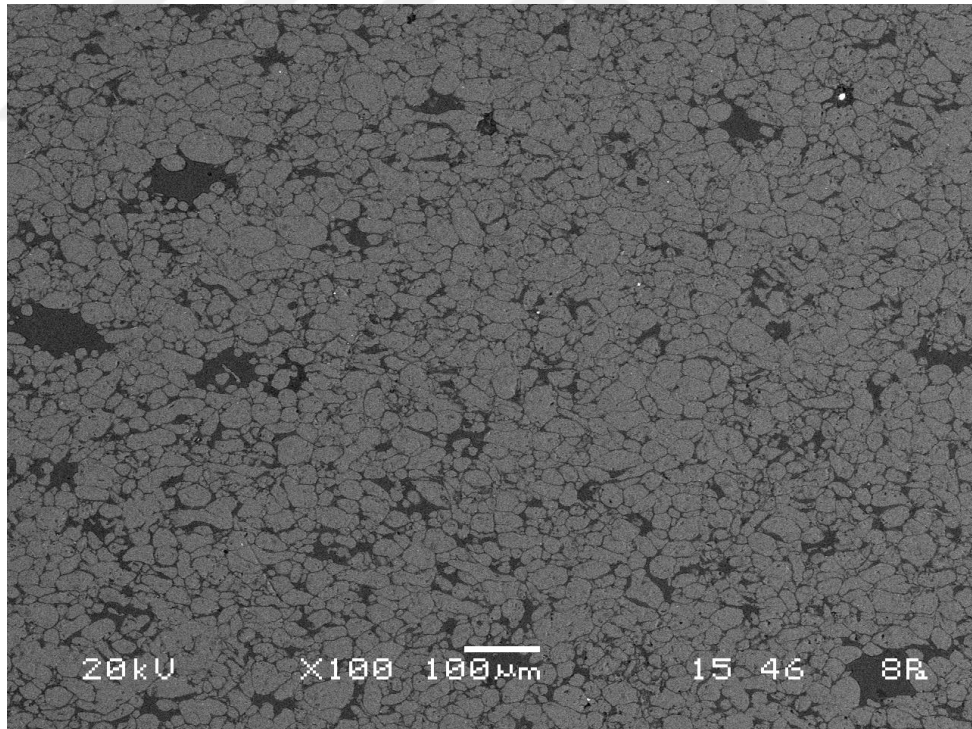
Yapılan deneylerin sonucunda SEM görüntüleri ve mikro sertlik değerlerine göre bu deney sonuçları tespit edilmiştir. Şekil 6.29., 6.30., 6.31., 6.32., 6.33. ve 6.34.'te görüldüğü üzere Al2124 matris içindeki takviye durumundaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oldukça homojen bir şekilde tam anlamıyla dağılım gösterdiği izlenmiştir.



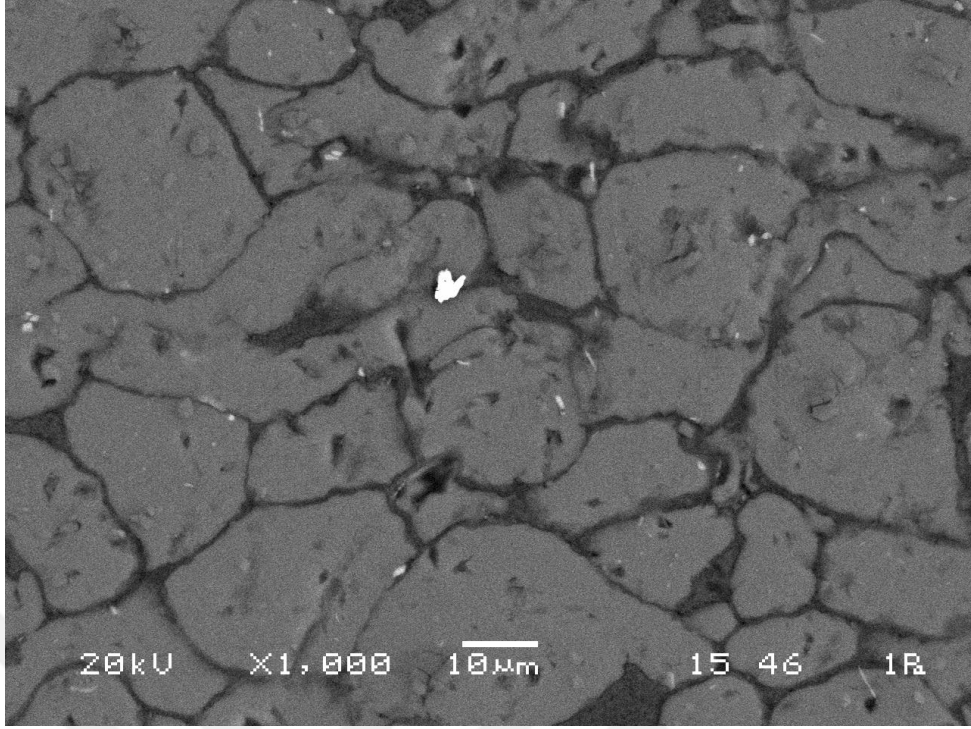
Şekil6.35. 220MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1)



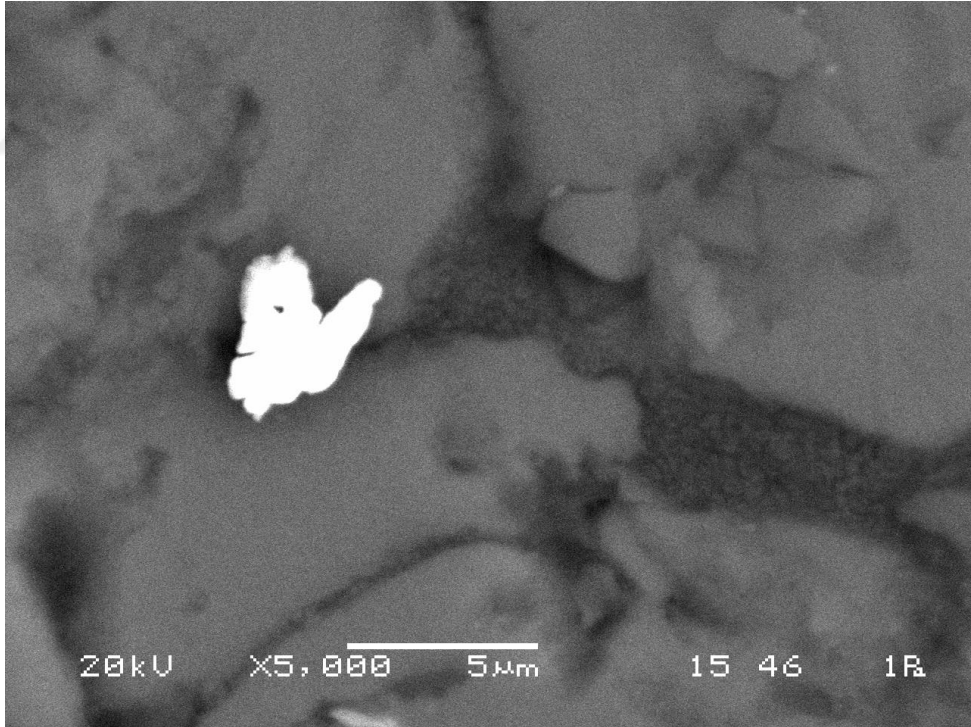
Şekil 6.36. 220MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2)



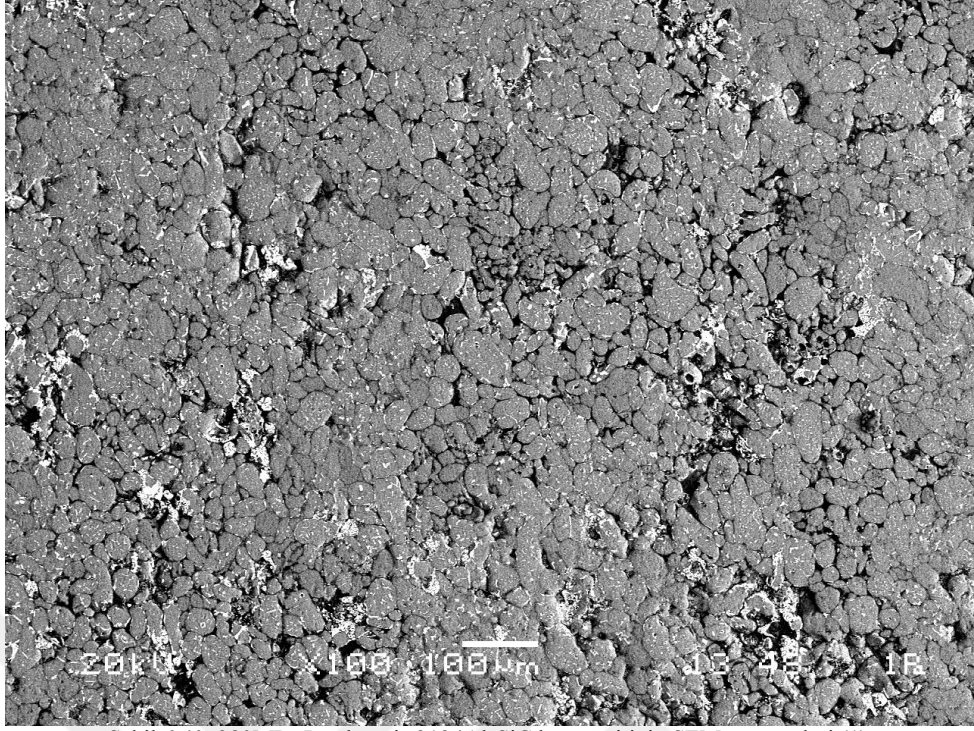
Şekil 6.37. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1)



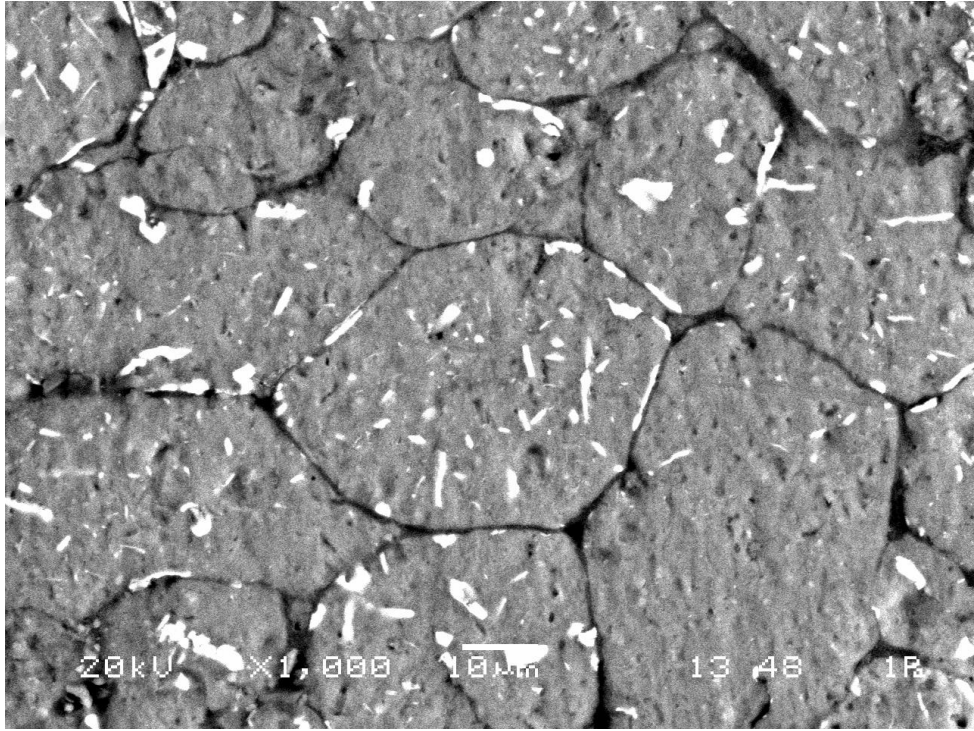
Şekil 6.38. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2)



Şekil 6.39. 250MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3)

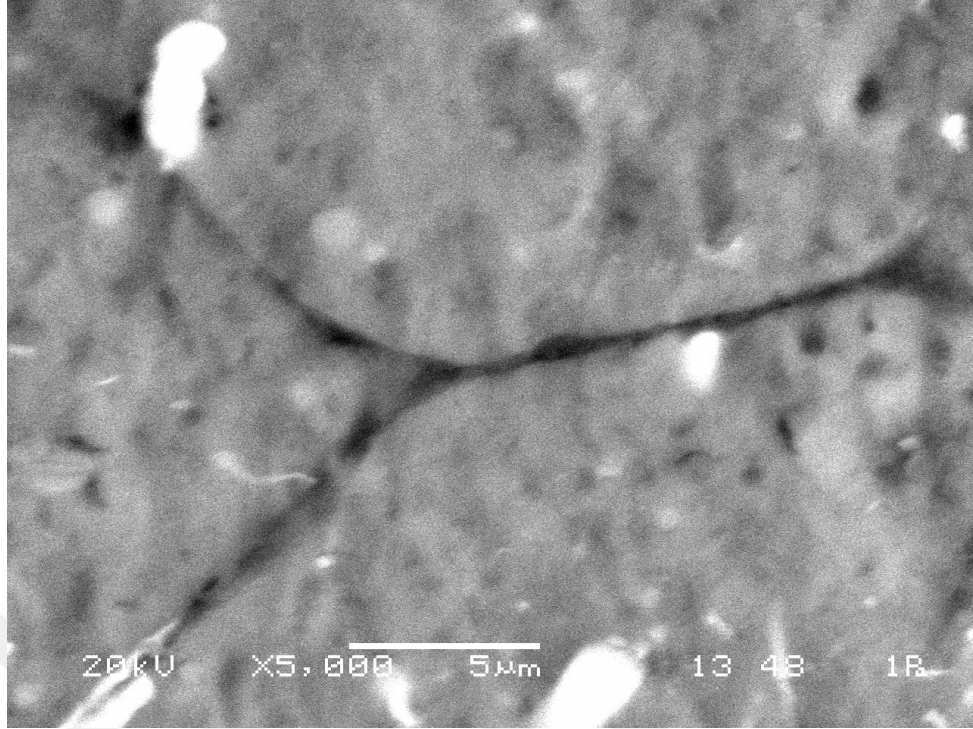


Şekil 6.40. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1)

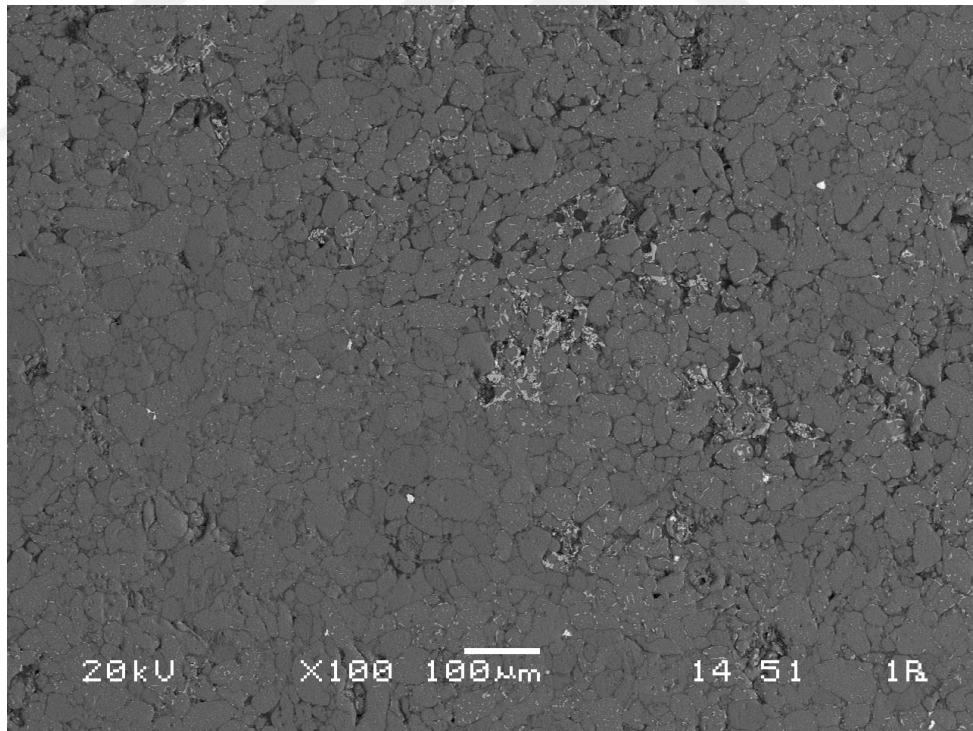


Şekil 6.41. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2)

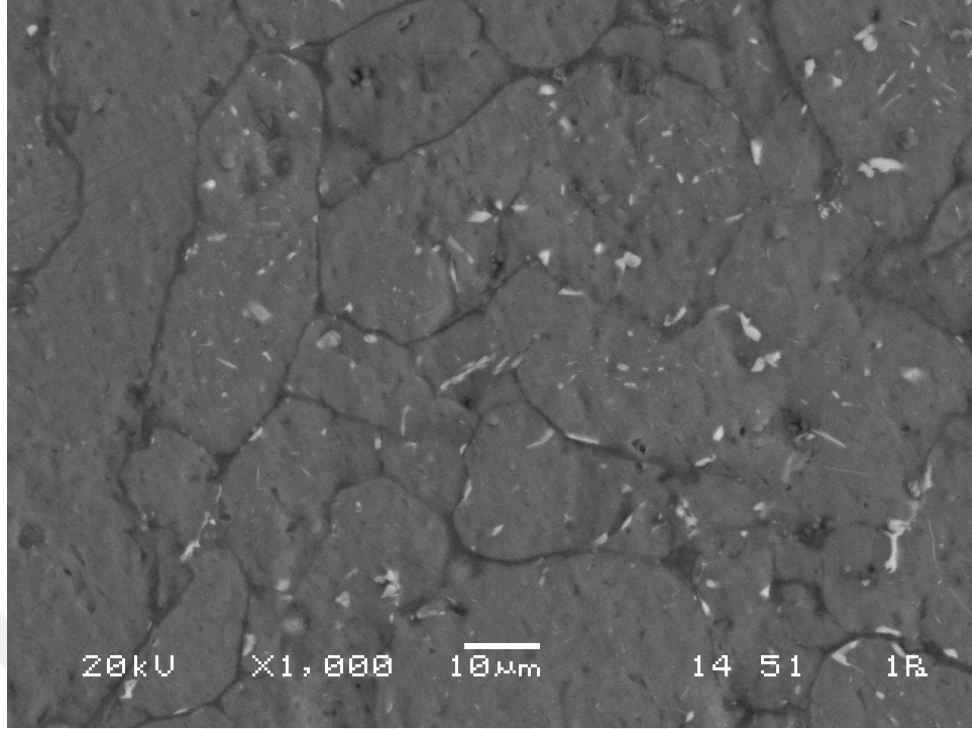




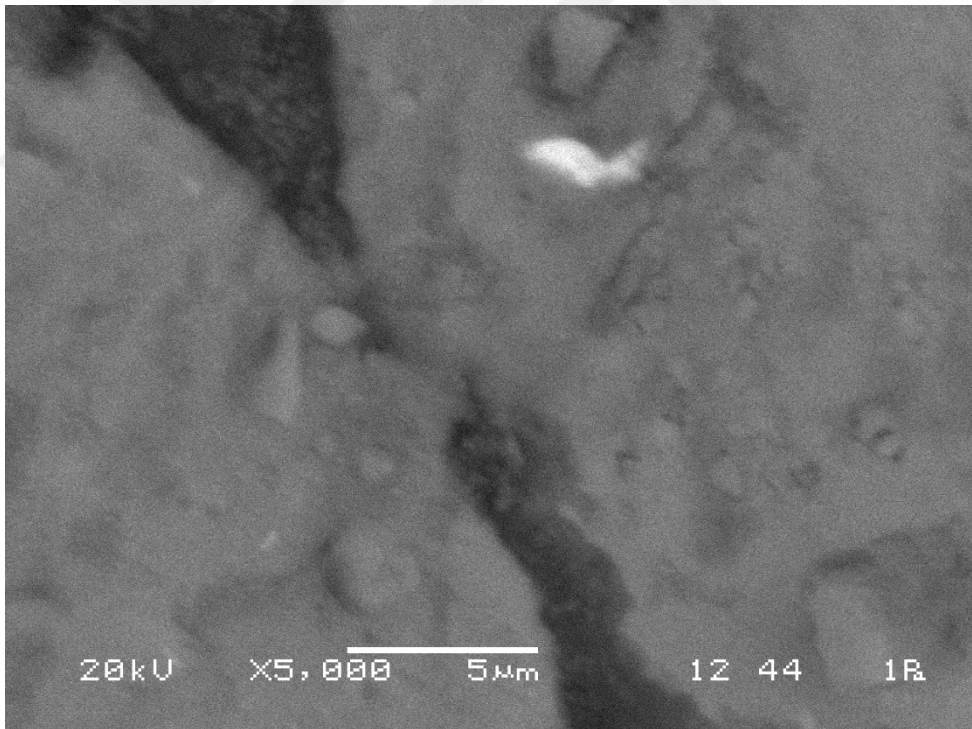
Şekil 6.42. 280MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3)



Şekil 6.43. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (1)



Şekil 6.44. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (2)



Şekil 6.45. 300MPa Preslenmiş 2124Al-SiC kompozitinin SEM görüntüleri (3)

Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri sıkıştırma basıncı ve partikül oranı artışı Al kompozitlerin yoğunluklarını yükseltmektedir. Alüminanın yoğunluğunun alüminyumdan yüksek olması partikül artışındaki yoğunluk artışına sebep olurken

tozkarışımların sıkıştırma basıncı ile daha sıkı paketlenmesi yoğunluk artışına sebep olmuştur. Sistemdeki partikül artışının relatif yoğunlukları düşürmesi partikül temasından kaynaklanmaktadır. Partiküller sıkıştırma sırasındaki plastik deformasyon göstermeyeceklerinden sebeple partikül-partikül temas artışı hem kalıntı gözenek olarak artışına sebep olmakta hem de sıkıştırma ve basma yükünün matris metaline transferini önlemektedir.

### 6.7. Alüminyum Metal Matris Kompozitlerin Sertlik Sonuçları

Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri Brinell sertlik cihazı ile 62 kg yük altında 2.5 mm bilye ile ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.46.'da basınç artışına göre Şekil 6.47.'de ise partikül artışına göre Brinell sertlik değerinde ki değişimler görülmektedir. Her iki parametre de sertlik değerini önemli ölçüde artırırken basıncını sertlik değerine etkisi daha dominanttır. 200 MPa sıkıştırma basıncında üretilen hiçbir numune önemli brinell sertlik değeri göstermemiş ve bütün partikül oranları için 50 BSD nin altında sonuç elde edilmiştir Basıncın 200 MPa dan 300 MPa çıkması ile düşük partikül oranlarında az bir artış gözlenirken % 25 partikül içeren kompozitte sertlik değeri adeta sıçrama göstermiş ve 138 BSD değerine ulaşmıştır. % 10 alümina partikül içeren Al kompozitte 600 MPa basınçta 150 BSD değerine ulaşılırken, % 25 alümina partikül içeren Al kompozitte aynı basınçta 230 BSD değerine ulaşılmıştır. Bu değer bilinen alüminyum alaşımlarının en az iki katı değerinde bir sertlik artışıdır.

Tablo 6.10. Mikrosertlik sonuçları (650 °C)

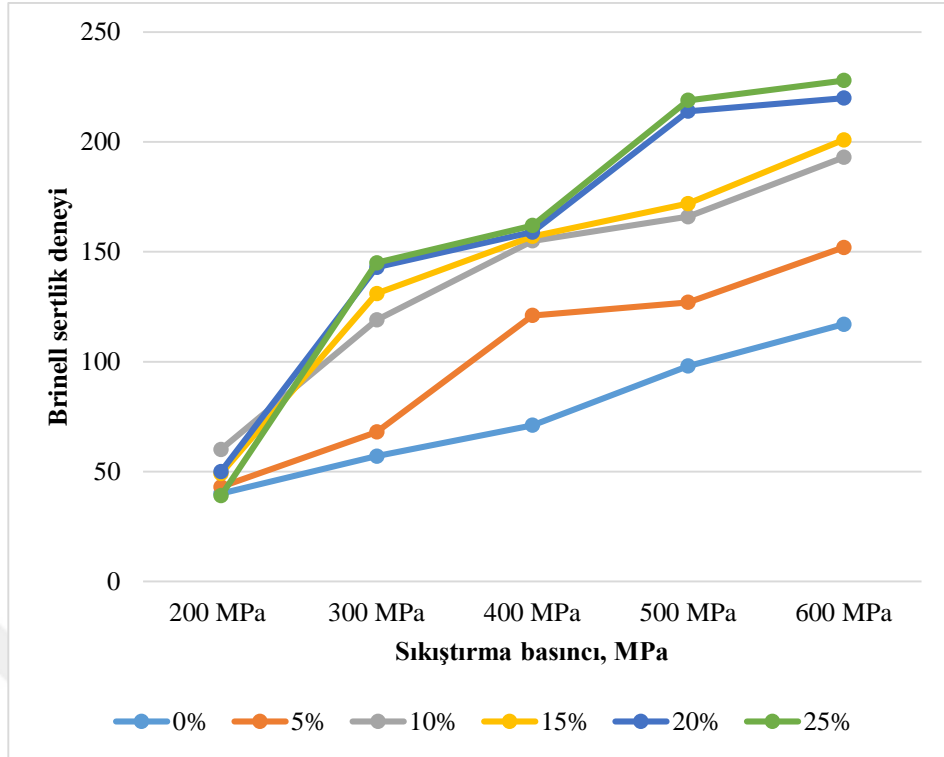
Pres Basıncı (bar)	Katman No.	Sertlik (HV 0.1)
150	1	62.4
	2	61.1
	3	60.2
	4	59.6
200	1	62.6
	2	61.3
	3	60.5
	4	59.8

Tablo 6.10. (Devamı)

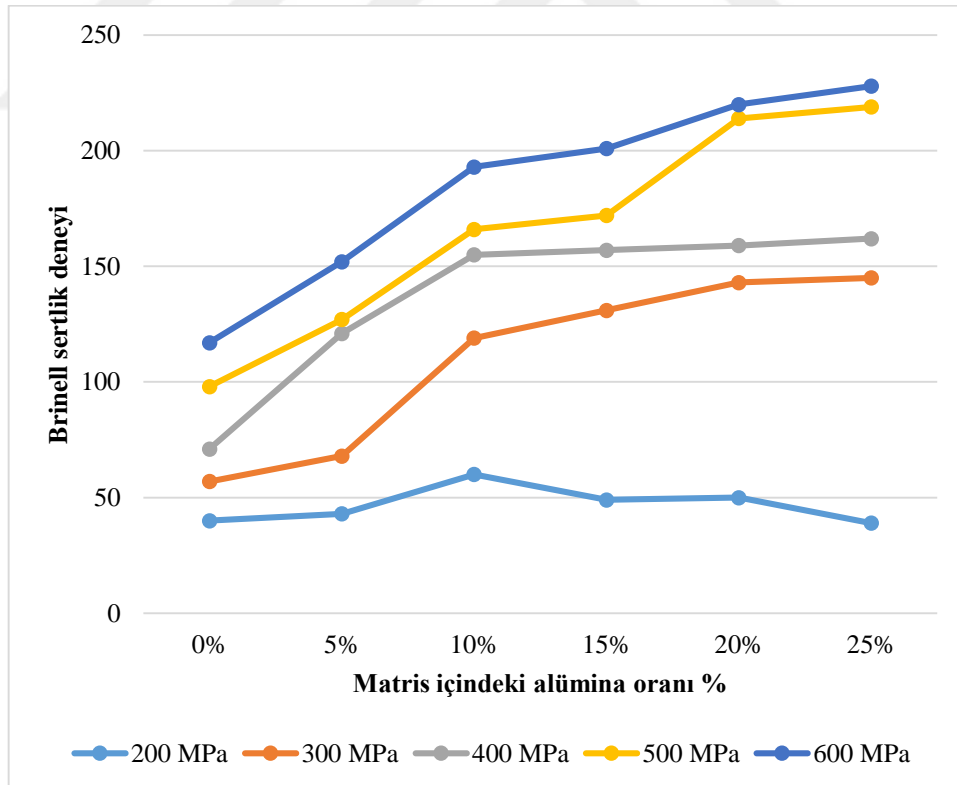
Pres Basıncı (bar)	Katman No.	Sertlik (HV 0.1)
250	1	63.2
	2	62.3
	3	61.2
	4	60.4
300	1	63.7
	2	63
	3	61.5
	4	60.9

Tablo 6.10. incelendiğinde takviye elemanı yüzdesi ve pres basıncı arttıkça mikrosertlik sonucunun da arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni matris malzemesine göre çok daha sert olan takviye tozlarının kompozit malzeme içerisindeki miktarının artmasıdır.

Bu nedenle bu çalışmada partikül ilavesiyle gözenekliliğe rağmen beklenenin üzerinde bir sertlik artışı elde edilmesi başarılıdır. Şekil 6.27.'de de benzer sonuçlar sergilenmektedir. Her basınçta partikül oranında artış paralel olarak sertlik değerlerinde de artış gözlenmesine rağmen 200 MPa basınç değerlerinde düşüş gözlenmektedir. Bu sonuca göre de 200 MPa sıkıştırma basıncı çok fazla gözenek bırakıp yoğunluk ve buna bağlı sertlik değerlerini düşürmesinden dolayı T/M kompozitlerin üretiminde kullanılamaz. Tüm sonuçlar 400 MPa ve üzeri sıkıştırma basınçlarında % 15 partikül oranında üretilen Al metal matris kompozitlerin parça imalatında kullanılabileceği söylenebilir.



Şekil 6.46. Sıkıştırma basıncı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki



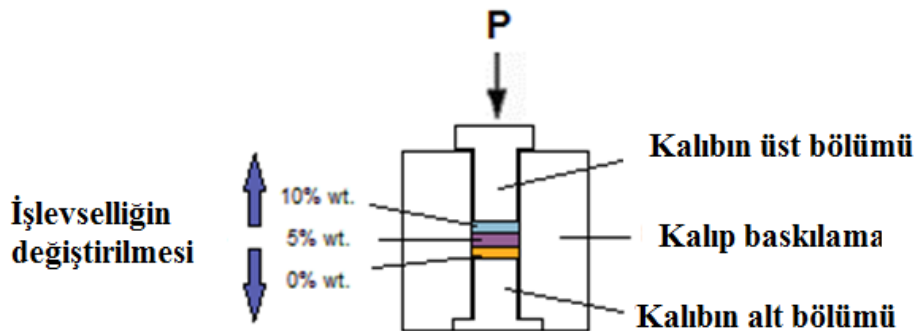
Şekil 6.47. Matris içindeki yüzde alümina oranı ile brinell sertlik değeri arasındaki ilişki

### 6.8. Fonksiyonel Derecelendirilmiş $Al_2O_3$ Takviyeli $Al_{12}Si_2O_{22}$ Matrisli Kompozitlerin Yoğunluk, Mikroyapı ve Sertlik İncelemesi

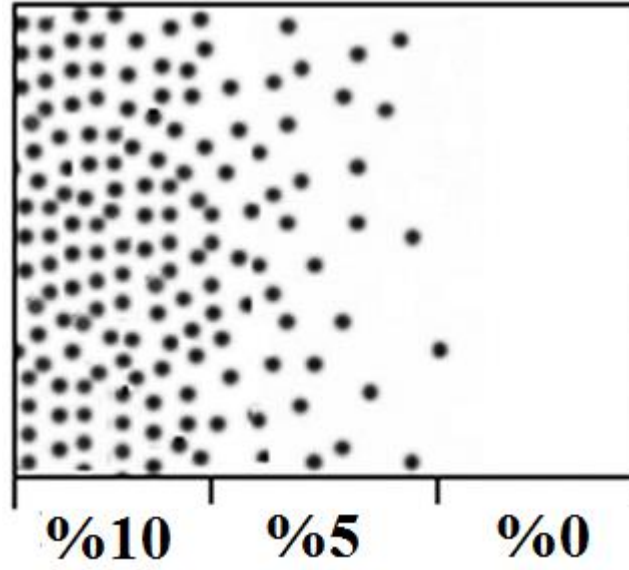
Bu çalışma, bir toz metalurjisi üretim prosesi kullanılarak % 0, % 5, % 10 ve % 15 oranında çeşitli takviye tabakaları içeren fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Al /  $Al_2O_3$ 'ün imalatını ve karakterizasyonunu göstermektedir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş tek eksenli kalıp ile presleme işleminin şematik gösterimi Şekil 6.48.'de verilmiştir. Şekil 6.49. ise fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit için fraksiyon gradyanını göstermektedir.

Optimum bileşimi belirlemek için dört farklı molar oranda toz karışımları hazırlandı, daha sonra, dağılımın etkinliğinin ve Al partikül boyutunun azalmasının sağlanması için karışım öğütücüyle öğütüldü. Yeşil örnekler 400 MPa'nın altında presleme ve  $630^{\circ}C$ 'de akışkan Ar ile elde edildi. Ara katman geçiş bölgesinin mikroyapısını incelemek için, tüm örnekler sırasıyla bakalit içine gömülmüş, öğütülmüş ve cilalanmıştır.

Kimyasal bileşimi ortaya çıkarmak için XRD (RigakuDimaks 2200) kullanılmıştır. Sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları, damıtılmış suda Arşimet prensibi kullanılarak ölçülmüştür. Yoğunlaştırma ve parçacık dağılımını incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL-5600) yapıldı.

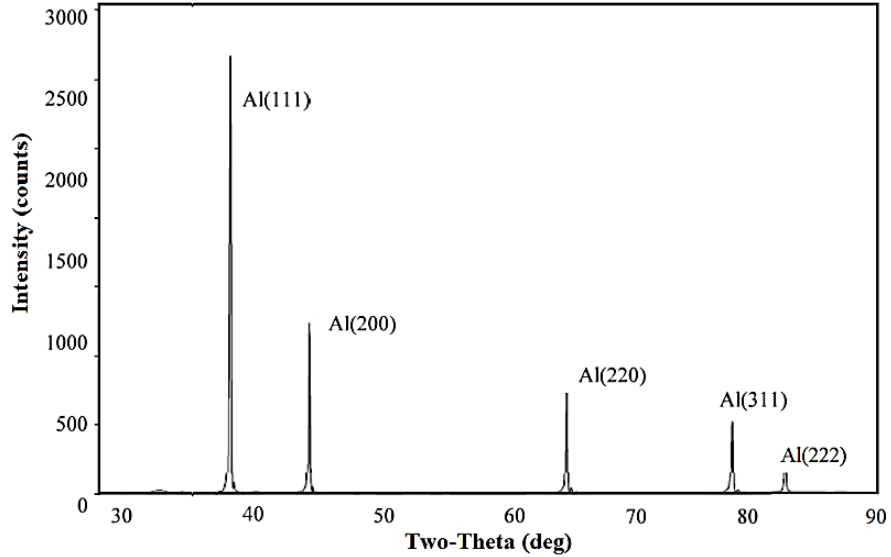


Şekil 6.48. Tek eksenli kalıp ile presleme işleminin şeması



Şekil 6.49. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit için fraksiyon gradyanı

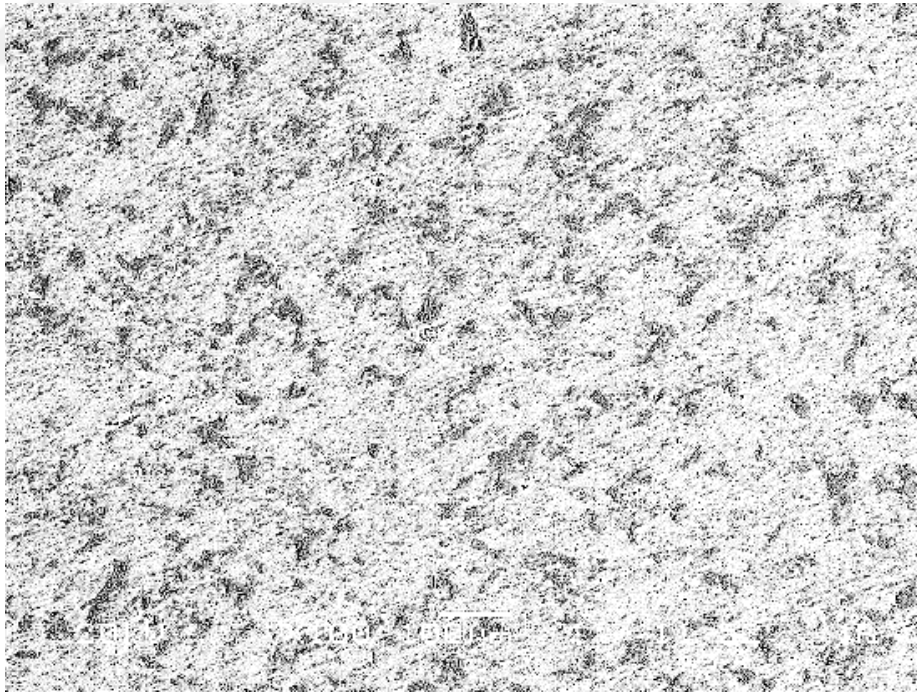
Toz Al'nin (ICDD 01-071-4622) kırınım görüntüleri, Şekil 6.52.'de sunulmuştur. Şekil 6.50.'deki başlangıç Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozunun XRD görüntüsü, tüm piklerin normal bir Al fazına ait olduğunu göstermiştir. Zirveler önceki çalışmalarla elverişliydi. Al alaşımı ısı işlem görmediğinden, Şekil 6.50.'de herhangi bir ikincil faz görülmemiştir. Sonuç olarak, ortaya çıkan ürün bir tek fazlı metaldir.



Şekil 6.50. Matris fazı olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün XRD görüntüsü

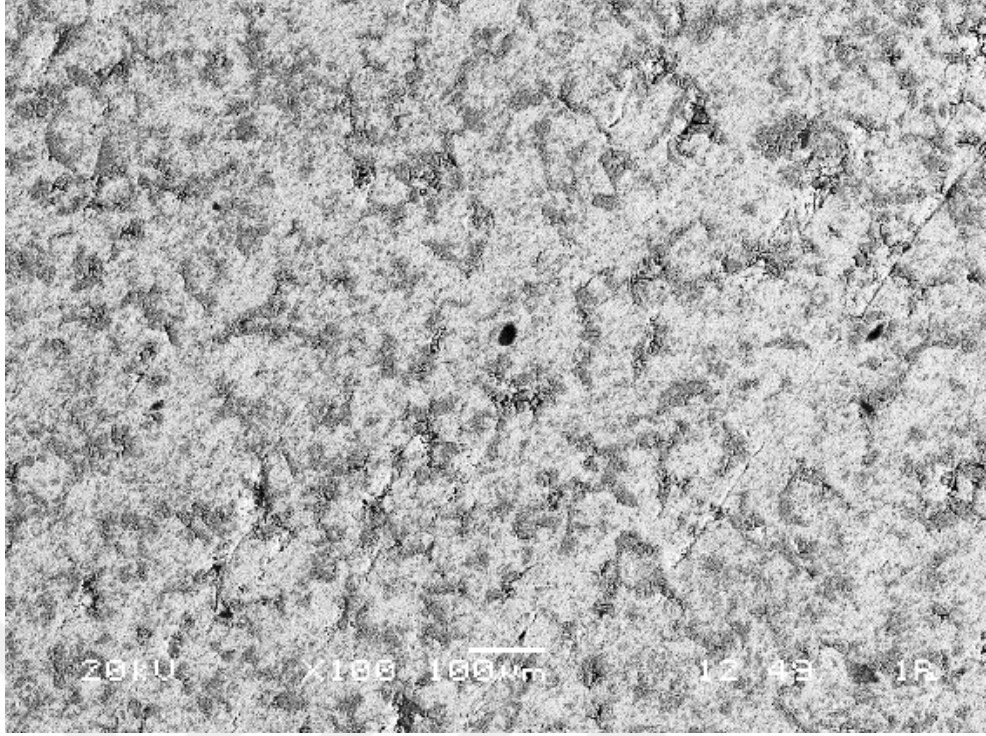
Ağırlıkça % 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ağırlıkça % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakalı sinterlenmiş fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları Şekil 6.51. ve Şekil 6.52.'de

verilmiştir. Mikroyapısal çalışmalar, tüm sinterlenmiş fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemelerin oldukça homojen bir alümina partikül dağılımına sahip olduğunu ve matriks içindeki partiküller arasında hiçbir temasın olmadığını doğrulamıştır. Yüksek seramik parçacık oranlarını içeren numunelerde tam yoğunluk gözlemlenmemiştir. Bu davranış, mikro gözeneklerin oluşumu ve temas nedeniyle parçacıklar arasındaki matriste gözenek bölgesinin mevcudiyeti ile açıklanabilir. Mikroyapı içinde yayılan küçük seramik parçacıkların miktarı, takviye  $Al_2O_3$  parçacıklarının miktarının artırılması ile artmıştır. Bu olgu, Şekil 6.51. ve Şekil 6.52. arasındaki farkta görülmüştür. Bu matris erozyonunun geciktirilmesinden dolayı bir avantaj olarak kabul edilir. Bu fenomenin diğer göstergesi SEM resimlerinde renk değiştirmektir. Renkleri artan takviye oranıyla beyazdan karanlığa kadar değişmiştir (Şekil 6.51. ve Şekil 6.52.). Bir başka bulgu ise, takviyelerin soğuk presleme sırasında tane sınırlarını yok eden taze oksitsiz yüzeylere evrim sağlamasıdır. Bu nedenle, alümina miktarındaki artış matriks alaşımında daha görünür halde olan tane sınırının ortadan kalkmasına neden olmuştur.



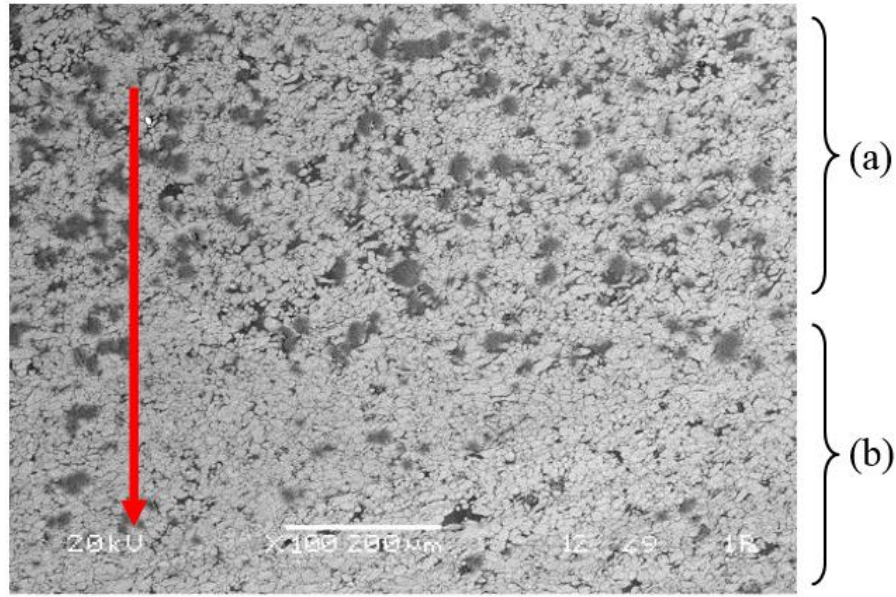
Şekil 6.51. Ağırlıkça % 5  $Al_2O_3$  tabakalı fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları



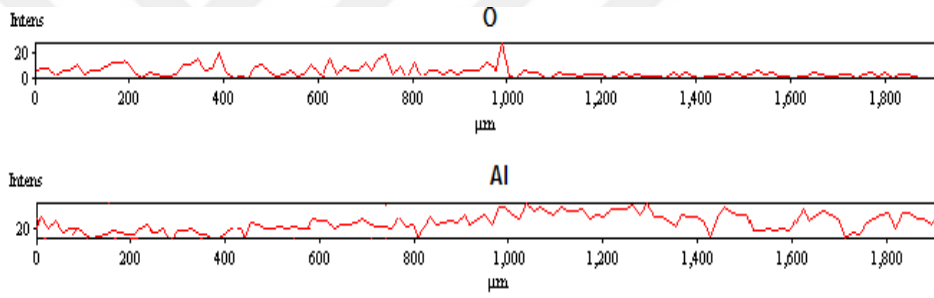


Şekil 6.52. Ağırlıkça % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakalı fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları

Fonksiyonel olarak derecelendirilme işlemindeki bir kritik faktör, toz metalürjisi yöntemindeki katmandan katmana olan keskin bir geçiştir. Şekil 6.53.'te gösterildiği gibi, bu çalışmada hafif bir geçişin elde edilmesi sağlanmıştır. Şekil 6.53. (a) bölgesi ağırlıkça % 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli tabaka, Şekil 6.53. (b) bölgesi Al<sub>2</sub>124 matris alaşımıdır. EDS analizi, Şekil 6.53.'ün üzerinde, ok yönü gibi gerçekleştirilmiştir. EDS analizi sonucu Şekil 6.54.'te verilmiştir. Bu geçişi ortaya koymak için, alümina ve alüminyumda oksijen, EDS analizlerini sıralamak için kullanıldı. EDS çizgisinin (a) bölgesi Alümina partikülleri açısından nispeten yoğun olmasına rağmen, (b) bölgesinin neredeyse hiç alümina partikülü içermediğini göstermiştir. (a) bölgesinden sonra, oksijen zirveleri azalırken, Al doruklarındaki eşzamanlı artış açıkça görülmektedir.

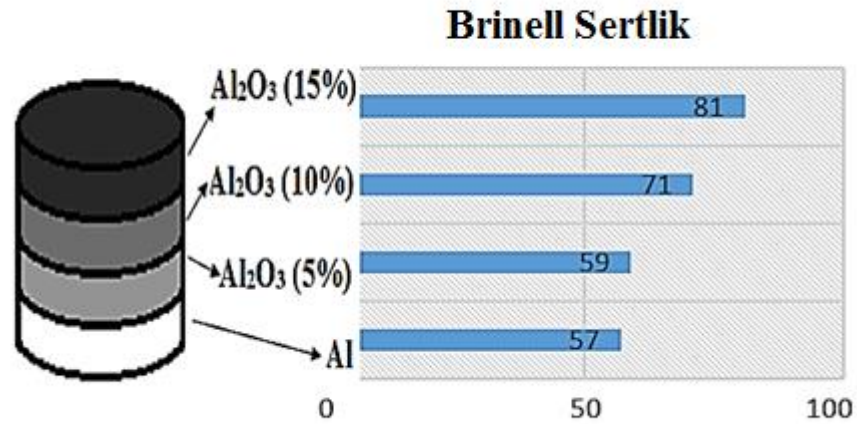


Şekil 6.53. (a) ağırlıkça% 10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli sınıftan (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımına geçiş bölgesi



Şekil 6.54.EDS element çözümü

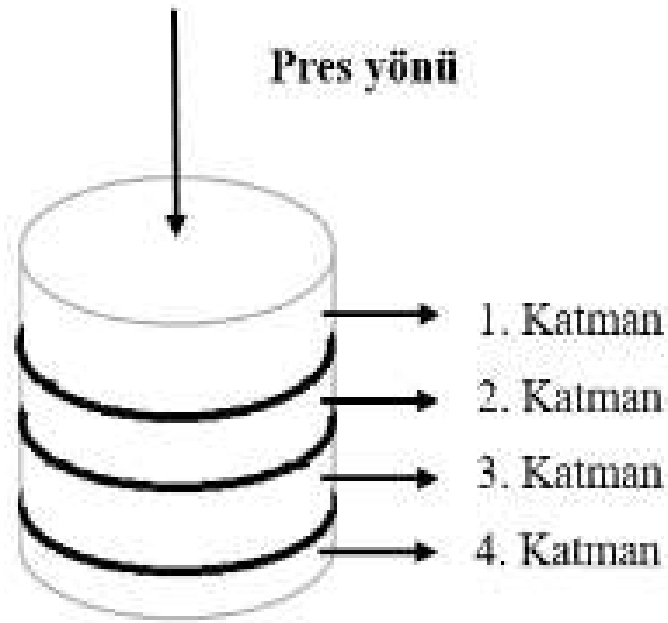
Şekil 6.55.'te, her bir fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin tabakası için Brinell sertlik sonuçları verilmiştir. Her tabaka farklı sertlik değerleri sergilemiştir. Seramik parçacıkların matris içindeki oranı arttığında, sertlik değeri de artmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımının sertliği üretilen fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitten daha düşüktür. Yürütülen çalışma % 15 ağırlığında alümina içeriğine sahip bir fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin, daha büyük bir sertlik (81 HB) ile karakterize edildiğini göstermiştir (81 HB).



Şekil 6.55. Her bir fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin numunesi için Brinell sertlik sonuçları

### 6.9. Fonksiyonel Derecelendirilmiş SiC Takviyeli Al<sub>2</sub>124 Matrisli Kompozitlerin Yoğunluk, Mikroyapı ve Sertlik İncelemesi

Bu çalışma, bir toz metalurjisi üretim prosesi kullanılarak % 0, % 5, % 10 ve % 15 oranında çeşitli takviye tabakaları içeren fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Al<sub>2</sub>124 ve SiC'ün imalatını ve karakterizasyonunu göstermektedir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş tek eksenli kalıp ile presleme işleminin şematik gösterimi Şekil 6.56.'da verilmiştir. Tablo 6.11. ise fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit için katmanlı numunelerin presleme basıncına göre sertlikleri göstermektedir.



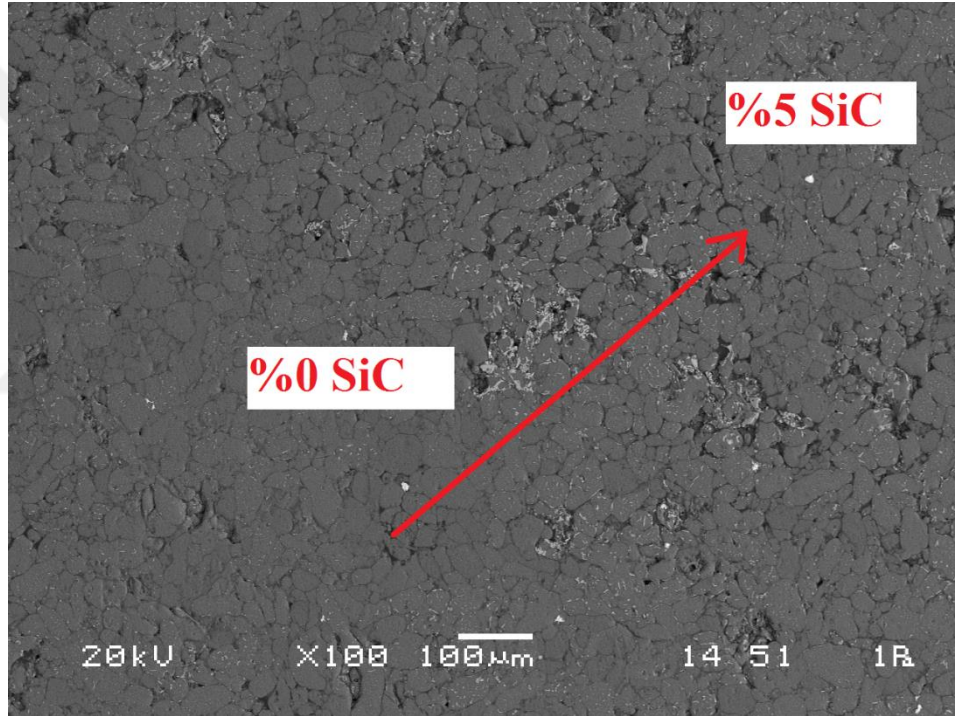
Şekil 6.56. Katmanlı preslenmiş numune örneği

Tablo 6.11. Katmanlı numunelerin presleme basıncına göre sertlikleri

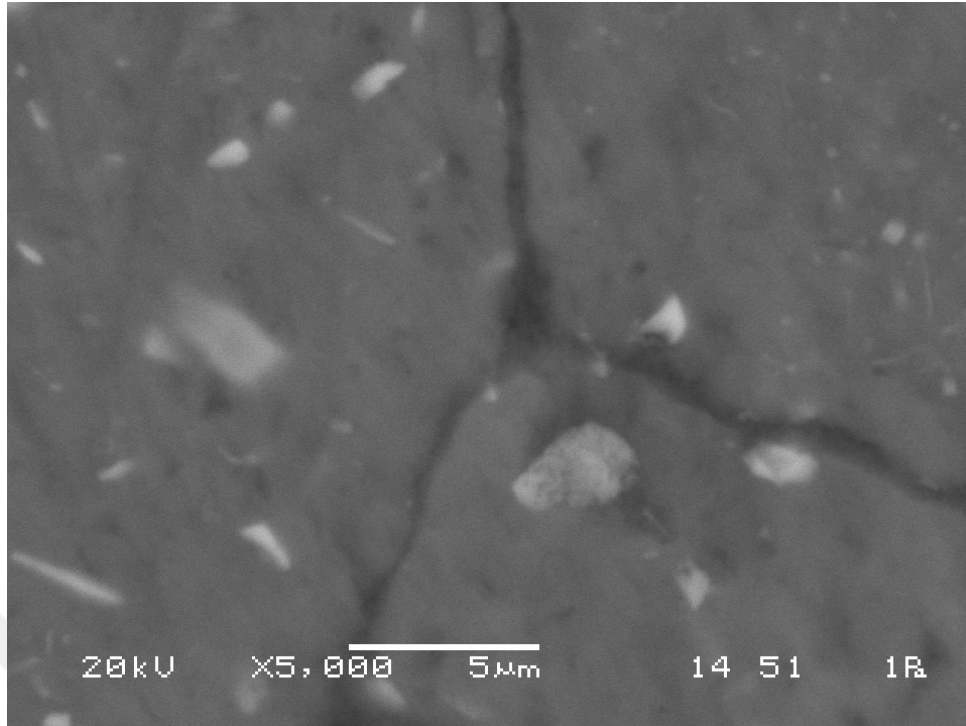
Pres Basıncı (bar)	Katman No.	Sertlik (HV 0.1)
150	1	62
	2	61.7
	3	60.5
	4	59.9
200	1	62.8
	2	61.5
	3	60.7
	4	59.6
250	1	63.1
	2	62.2
	3	61.1
	4	60.8
300	1	63.4
	2	63
	3	61.6
	4	60.6

Ağırlıkça% 5 SiC ve ağırlıkça % 10 SiC tabakalı sinterlenmiş fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozitlerin SEM mikrografları Şekil 6.57. ve Şekil 6.58.'de verilmiştir. Mikroyapısal çalışmalar, tüm sinterlenmiş fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemelerin oldukça homojen bir silisyum karbon partikül

dağılımına sahip olduğunu ve matris içindeki partiküller arasında hiçbir temas olmadığını doğrulamıştır. Yüksek kompozit parçacık oranlarını içeren numunelerde tam yoğunluk gözlemlenmemiştir. Bu davranış, mikro gözeneklerin oluşumu ve temas nedeniyle parçacıklar arasındaki matriste gözenek bölgesinin mevcudiyeti ile açıklanabilir. Mikroyapı içinde yayılan küçük Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit parçacıkların miktarı, takviye SiC parçacıklarının miktarının artırılması ile artmıştır. Bu olgu, Şekil 6.57. ve Şekil 6.58. arasındaki farkta görülmüştür. Bir başka bulgu ise, takviyelerin soğuk presleme sırasında tane sınırlarını yok eden taze oksitsiz yüzeylere evrim sağlamasıdır.



Şekil 6.57. Ağırlıkça % 5 SiC takviyeli sınıftan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımına geçiş bölgesi



Şekil 6.58. Ağırlıkça % 10 SiC takviyeli sınıftan Al2124 alaşımına geçiş bölgesi

Saf Al + %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı içeren numunelerle belirtilen biçimde standart numuneler hazırlanarak 3-nokta eğme deneyi yapılmış ve sonuçlar aşağıda Tablo 6.12.'de verilmiştir.

Tablo 6.12. Üç-nokta eğme deneyinde kullanılan numuneler ve elde edilen sonuçlar (±10)

Numune	F eğme, MPa ( SiC )	F eğme, MPa ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Saf Al	80	80
% 5	130	90
% 10	140	92
% 15	135	70
% 20	120	60
% 25	110	50

Takviye elemanı olarak SiC yüzdesi ve pres basıncı arttıkça mikrosertlik sonucunun da arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni matris malzemesine (Al<sub>2</sub>124) göre çok daha sert olan SiC tozlarının kompozit malzeme içerisindeki miktarının artmasıdır.

## **BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER**

### **7.1. Değerlendirme**

Bu çalışmada yapılan denemeler sonucunda en iyi veriler 300-360 barda preslenip 650°C’de sinterlenmiş numunede elde edilebilmiştir. Bu çalışmada farklı seramik katkı oranları, farklı katman oluşturma hazırlık aşamaları, farklı sinter sıcaklıkları ve sinterleme süreleri gibi parametrelerde en iyi veriler tespit edilmiştir. Üretilen tek katmanlı kompozitin için optimizasyonundan sonra iki, üç ve dört katmanlı AMK üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sürecinin tamamı ele alınarak her adım optimize edilmiş ve 4 katmanlı SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı Al<sub>2</sub>124 kompozit sistemleri başarıyla üretilmiştir. Malzeme yapısı homojen şekilde dağılmış, eğme mukavemeti yüksek, porozite oranı düşük, sertliği yüksek, aşınmaya karşı dirençli bir kompozit üretimi gerçekleşmiştir.

Metalografik çalışmalar sonrası SEM ve optik mikroskop ile iç yapıdaki fonksiyonel geçiş net bir şekilde ortaya çıkarılmış ve yeni tip bu malzeme gurubunun üretimin başarıyla gerçekleştirildiği ortaya konmuştur.

### **7.2. Öneriler**

İleride yapılacak çalışmalarda daha detaylı değerlendirmelerin yapılabilmesi için mekanik incelemeler çeşitlendirilebilir. FDM malzemelerin aşınma mekanizmaları modifiye aşınma sistemleri geliştirilerek test edilebilir. Seramik-seramik takviyeli metal-metal şeklinde kompleks FDM üretimi çalışılabilir. Ayrıca, nano boyutlu ve mikro boyutlu farklı katkı sistemleriyle aşamalı özellikleri kazandırılabilir. Kullanılan pres basınçları arasındaki yakınlık nedeniyle çok farklı değerlendirmeler

yapılamadığından daha yüksek basınçlarda numuneler preslenerek basıncın yoğunlaşma ve mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.





## KAYNAKLAR

- [1] Erkalfa, H., Baykara, T., Özkan, O.T. 2000. Silicon Carbide and Alumina Composite Ceramics for Ceramic Foam Filters, High performances Ceramics. *Inter ceramics*, 49(3): 170-173.
- [2] Çöçen, Ü., Önel, K.Ç. 1996. Metal matriks kompozitler. *Metaller Dergisi*, 104.
- [3] Smith, F.W. 2001. Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşım, 2. Cilt. Nobel Yayınları, Ankara.
- [4] Weissbach, W. 2000. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul Birsen Yayınevi.
- [5] Ekerer F. A. 2007. Alumina-SiC partikül destekli T/M Al- matriksli kompozitlerin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] Stubbington C.A. 1988. Materials trends in military airframes. *Metals and Materials*, 4(7):424-431.
- [7] Ejiöfor J.U., Reddy R.G. 1997. Developments in the processing and properties of particulate Al-Si composites. *JOM*, 49(11):31-37.
- [8] Muhammad, E.F. 1997. Handbook of Powder Science & Technology, Chapman & Hall Yayıncılık, New York.
- [9] Velidandla, V.B. 1991. P/M processing of Al-SiC composites. *Int. J. Powder Metall.*, 27:227-235.
- [10] German, R.M. 1994. Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey.
- [11] Öveçoğlu, L.M. 1997. Toz Metalurjisi: Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları ve Son Eğilimler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul.
- [12] Söyler, M. 2007. Toz metalurjisi ve uygulamaları. Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [13] Yalçın, Ö.F. 2015. Toz metalurjisi üretim parametrelerinin gözeneklilik, mikrosertlik ve ısıl genleşme katsayısına etkileri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [14] Sarıtaş, S. 1994. Makine Müh. El Kitabı, 2. Baskı. MMO, Ankara.

- [15] Lu, L., Lai, M.O., Ng, C.W. 1998. Enhanced mechanical properties of an Al based metal matrix composite prepared using mechanical alloying. *Mater. Sci. Eng. A.*, 2:203–211.
- [16] Nielsen, P., Liu, Y. L., Hansen, N. 1993. Manufacturing of Aluminium Composites with High Purity Matrix. *Powder Metallurgy World Congress, Japonya*, 58-61.
- [17] Sankar, R., Singh, P. 1998. Synthesis of 7075 Al/SiC particulate composite powders by mechanical alloying. *Mater. Lett.*, 36:201–205.
- [18] Lewandowski, J.J. 2000. Fracture and fatigue of particulate MMCs. *İçinde: Comprehensive Composite Materials, Metal Matrix Composites, Elsevier*, 151–187.
- [19] Arık, H., Sarıtaş, S. 1996. Silisyum Nitrür Tipi Seramiklerin Üretilmesi ve Mekanik Özellikleri. 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 247-253.
- [20] Lu, L., Lai, M.O., Ng, C.W. 1998. Enhanced mechanical properties of an Al based metal matrix composite prepared using mechanical alloying. *Mater. Sci. Eng. A.*, 2:203–211.
- [21] Sipahi, M.L. 2016. Toz metalurjisi yöntemi ile AISi12-CuAl<sub>2</sub> metal matrisli kompozit üretimi ve CuAl<sub>2</sub> oranının özelliklere etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [22] Aydın, M. 2005. Gaz atomizasyon yöntemi ile metal tozu üretiminde yeni bir nozul tasarımı ve toz üretimi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [23] Tanış, N.A. Bakır ve titanyum ilaveli NiTi şekil bellekli alaşımların toz metalurjisi yöntemi ile üretilebilirliğinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [24] Palavar, O. 2014. Toz metalurjisi ile üretilen inconel süper alaşımlarda yaşlanma parametrelerinin aşınma davranışlarına etkisi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [25] Demirkesen, E. 1991. Kompozit Malzemeler, 1. Baskı. İ. T. Ü. Kimya Fakültesi, 1-5.
- [26] Eserci, D. 2007. Alümina, zirkonya ve alümina-zirkonya kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve etkin difüzyon sabitinin bulunması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [27] Şen, O. 2005. TiO<sub>2</sub> partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [28] Uygur, İ., Saruhan, H. 2004. Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 167-174.

- [29] Kurt, H. 2010. Alüminyum-alümina kompozit malzeme üretiminde karıştırma tekniğinin kompozitin aşınma davranışı üzerine etkilerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [30] Özkavak, H. 2014. Dikdörtgen kesitli kompozit malzemeler için eğilme yorulması test cihazının tasarımı ve örnek uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [31] Erden, İ.O. 2005. Alüminyum-silisyum nitrür kompozit malzemenin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [32] Ekinci, V.Ş. 2007. Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [33] Mallick, P.K. 1993. Fiber- Reinforced Composites, Materials, Manufacturing, and Design, Spring Design, New York.
- [34] Özdin, K. 2006. Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [35] Muratoğlu, M., Demirel, M. 2009. Cu/Ni<sub>3</sub>Al metal matrisli kompozitin kurukayma aşınma davranışlarının araştırılması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 759-764.
- [36] Güçlü, Ö. 2001. Çelik tel katkılı alüminyum kompozitlerin üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [37] Cabioğlu, A.M. 2012. Farklı sıcaklık ortamlarında pim bağlantılı kompozit plakaların yatak dayanımlarının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [38] Bahçeci, E. 2006. Al matrisli  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [39] Toptan, F. 2006. Alüminyum matrisli B<sub>4</sub>C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [40] Mertgenç, E. 2004. Savurma döküm yöntemiyle metal matrisli kompozit malzeme üretiminin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [41] Mindivan, H., Kayalı, E. S. 2007. SiC takviyeli 2618 Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı. İTÜ Dergisi, 6 (2): 63-70.
- [42] Şahin, Y. 2000. Kompozit malzemelere giriş, Gazi Kitabevi, Ankara, 91-113.

- [43] Köksal, F. 2004. Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B<sub>4</sub>C kompozitlerin sıcak presleme yöntemiile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.



## ÖZGEÇMİŞ

Semih CÖMERT, 25.12.1988'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2005 yılında Sakarya 1.Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metal Öğretmenliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksekisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir.