



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÖĞÜTÜLMÜŞ ve ÖĞÜTÜLMEMİŞ PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ
(RHA) İLAVELİ AA7075 MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN TOZ
METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ**

ASLIHAN CEBECİ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep ÇALIN**

KIRIKKALE-2023



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ÖĞÜTÜLMÜŞ ve ÖĞÜTÜLMEMİŞ PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜ
(RHA) İLAVELİ AA7075 MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN TOZ
METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ**

ASLIHAN CEBECİ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Recep ÇALIN**

KIRIKKALE-2023

KABUL ONAY SAYFASI

Aslıhan CEBECİ tarafından hazırlanan “ÖĞÜTÜLMÜŞ ve ÖĞÜTÜLMEMİŞ RHA İLAVELİ AA7075 MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Hanifi ÇİNİCİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 01.03.2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aslıhan CEBECİ

23.01.2023

ÖĞÜTÜLMÜŞ ve ÖĞÜTÜLMEMİŞ RHA TAKVİYELİ AA7075 MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Aralık 2023, 60 sayfa

Günümüzde önemli bir parça olan toz metalurjisi (T/M) ürünleri endüstride birçok yerinde karşımıza çıkmaktadır. Endüstride kullanılan bu malzemelerin ömrünü uzatmak, maliyetlerini düşürmek ve mukavemetlerini artırmak için birçok araştırma yapılmaktadır. Fe, B₄C, paslanmaz çelik gibi yüksek maliyetli alaşım sistemleri, kimyasal bileşimli tozlardan standartlara uygun olarak toz metalurjisi metodu kullanılarak maliyetleri düşürmek amacıyla üretilmektedir. Bu çalışma kapsamında AA7075 tozlarına %0, %1, %2 ve %4 oranında öğütülmüş ve öğütülmemiş pirinç çeltiği külü (RHA) ilavesi eklenip karıştırılarak elde edilen kompozitlerin pres makinesi ile sıkıştırılıp, 575°C sıcaklıkta sinterlenmesiyle oluşturulan numuneler incelenmiş, bu konu ile ilgili daha önceden yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde ise malzemeler arasındaki sertlik oranları, gözeneklilik oranları ve ilave partikül dağılımları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Toz Metalurjisi, RHA İlaveli AA7075 Matris

ABSTRACT

PRODUCTION OF GROUND AND UNGROUND RHA REINFORCED AA7075 MATRIX COMPOSITES BY POWDER METTALURGY

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Defense Technologies, Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Recep CALIN

December 2023, 60 Page

Powder metallurgy (T/M) products, which are an important part, appear in many parts of the industry. Many researches are carried out to extend the life of these materials used in the industry, to reduce their costs and to increase their strength. High-cost alloy systems such as Fe, B₄C, stainless steel are produced from chemical compound powders in accordance with standards by using the powder metallurgy method to reduce costs. Within the scope of this study, the samples formed by adding 0%, 1%, 2% and 4% ground and unground rice husk ash (RHA) to AA7075 powders and mixing the composites obtained by pressing with a press machine and sintering at 575°C temperature were examined. studies have been reviewed. In the evaluations, the hardness ratios, porosity ratios and additional particle distributions between the materials were examined.

Keywords: Composite, Powder metallurgy, RHA reinforced AA7075 matrix

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam esnasında yönlendirici katkılarından, emeklerinden ve gösterdiği sabırdan dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Recep ÇALIN'a ayrıca deneyler süresinde bilgi ve deneyimlerini eksiksiz paylaşan danışmanım Arş. Gör. Dr. Naci Arda TANIŞ'a ve bu süreçte desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri.....	3
2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	6
2.3. Kompozit Malzemelerde Avantajlar ve Dezavantajlar.....	6
2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması	8
2.4.1. İlave Elemanlarına Göre Matrisler.....	9
2.4.2. Elyaf (Fiber) İlaveli Kompozitler	9
2.4.3. Partikül (Parçacık) İlaveli Kompozitler	9
2.4.4. Tabakalı Kompozitler	10
2.5. Matris Malzemesine Göre Kompozitler	10
2.5.1. Polimer Matrisli Kompozitler	11
2.5.2. Seramik Matrisli Kompozitler	11
2.6. Metal Matrisli Kompozitlerde Üretim Metotları	13
2.6.1. Katı Faz Olarak Üretim Metotları.....	13
2.6.2. Sıvı Faz Olarak Üretim Metotları	13
2.6.3. Diğer Metotlar.....	13
2.7. Toz Metalürjisi	14
2.7.1. Metal Toz Üretim Yöntemleri	14
2.7.2. Kimyasal Yöntemler	14
2.7.3. Elektrokimyasal Yöntemler	14
2.7.4. Atomizasyon Yöntemi	14
2.7.5. Mekanik Alaşımlama Yöntemi	15

3. TOZ METALURJİSİ.....	16
3.1. Toz Metalurjisi ve Karakterizasyonu	20
3.2. Karıştırma ve Harmanlama.....	22
3.3. Sıkıştırma (Presleme, Kalıplama).....	23
3.4. Sinterleme	27
3.5. Son İşlemler	30
3.6. RHA (Rice Husk Ash / Pirinç Çeltiği Külü)	30
4. MALZEME ve YÖNTEM	32
4.1. Giriş	32
4.2. Kompozit Üretimi.....	34
4.2.1. Tozların Öğütülmesi	34
4.2.2. Tozların Karıştırılması	35
4.2.3. Tozların Sıkıştırılması.....	35
4.2.4. Tozların Sinterlenmesi	36
4.3. Gözenek ve Yoğunluk Hesaplaması.....	37
4.4. Sertlik Analizi.....	38
4.5. Optik Mikroskop Karakterizasyonu	38
4.6. SEM ve EDS Analizleri.....	38
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
5.1. Gözeneklilik ve Yoğunluk İncelemeleri.....	40
5.2. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	42
5.3. SEM Mikroskop İncelemeleri	45
5.4. XRD İncelemeleri.....	50
5.5. Sertlik İncelemeleri.....	51
6. SONUÇLAR.....	53
KAYNAKÇA.....	55
ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1.	MMK’larda kullanılan çeşitli ilave malzemelerinin özellikleri	5
4.1.	AA7075 Fiziksel Özellikleri	32
4.2.	Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri	33
4.3.	AA7075 Kimyasal Özellikleri.....	33
4.4.	Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri	33
4.5.	Kompozitlerin Özellikleri.....	34
5.1.	Kompozitlerin gözeneklilik, hacim, teorik ve gerçek yoğunluk sonuçları	40
5.4.	1 Kompozitlerin Vickers (HV1) Sertlik Analizi Değerleri	52

RESİMLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri ve Sınıfları.....	3
2.2. İlave malzemesinin şekline göre kompozitler	4
2.3. Kısa fiber (a), Uzun fiber (b) ve Örgü fiber (c) örnekleri	9
2.4. Parçacık ilaveli kompozit malzeme bünyesinde oluşan ara yüzey ve ara fazlar	10
2.5. Tabakalı kompozit malzeme	10
2.6. Uzun mekiğinde kullanılan seramik matrisli kompozitler	12
2.7. Seramik matrisli kompozit malzeme görüntüsü.....	12
2.8. Gaz atomizasyonun ünitesi.....	15
3.1. Toz metalürjisi parçacık Resimleri	20
3.2. Metalik toz malzemesinin üretilmesi için kullanılan farklı atomizasyon yöntemleri.....	21
3.3. Toz metalürjisinde presleme aşamaları:	24
3.4. Sıkıştırma sırasında basıncın etkisi	25
3.5. Katı hal sinterlemesinin aşamaları	27
3.6. Mikroskobik ölçekte sinterleme	27
3.7. Sinterleme aşamalarına göre gözenek yapısındaki değişim	28
3.8. Sinterleme mekanizmasının SEM ile görünüşü	28
3.9. Sinterleme olurken nokta teması ile başlayan ve parçacıklar arası bağların gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli.	30
4.1. Öğütülmemiş RHA Partiküllerinin SEM Görüntüsü.....	34
4.2. Parlatılmış çelik yüzeyi üzerine konan RHA partiküllerinin optik mikroskop görüntüleri a) Öğütülmemiş, b) Öğütülmüş	35
4.3. Kalıplama ile kompozit üretimi.....	36
4.4. Hassas terazi	37
4.5. SEM ve EDS Cihazları.....	39
5.1. Hacimden-Kütle Yoğunluk Hesaplamalarıyla Bulunan Yoğunluk Değerleri.....	41
5.2. Arşimet Hesaplamalarıyla Bulunan Gözeneklilik Değerleri.....	41

5.3.	Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA	43
5.4.	Öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA Resim.....	44
5.5.	Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA.....	45
5.6.	Öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA.....	46
5.7.	%2 Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitin EDS analizi	48
5.8.	%1 Öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitin EDS analizi	50
5.9.	%2 Öğütülmemiş RHA ilaveli AA 7075 matrisli kompozitin XRD analizi	50
5.10.	%2 Öğütülmüş RHA ilaveli AA-7075 matrisli kompozitin XRD analizi	51
5.11.	Öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA içeren kompozitlerin Vickers (HV1) sertlik değerleri.....	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SiC	Silisyum Karbür
MgO	Magnezyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Dioksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
TiB ₂	Titanyum Diborür
B ₄ C	Bor Karbür
AA7075	Alüminyum Alaşım 7075
Al	Alüminyum
Zn	Çinko
Mg	Magnezyum
Cu	Bakır
RHA	Rusk Husk Ash- Pirinç Çeltiği Külü
MMC	Metal Matrix Composite- Metal Matrisli Kompozit
T/M	Toz Metalürjisi
SEM	Scanning Electron Microscobe-Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
XRD	X-Ray Diffraction-X-Işını Difraksiyonu
HV	Vickers Sertlik

1. GİRİŞ

Endüstrideki gelişmeler, bu gelişmelerle doğru oranda artan ekonomik ve kaliteli malzeme ihtiyacı bilim insanlarını bu alanda yeni arayışlara yönlendirmektedir. Özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru alışlagelmiş olan malzemeler ivedilikle gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayamamış, farklı özellik ve niteliklerde malzemeler üretmeye çalışılmıştır. İhtiyaçlara yönelik, yüksek özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Kompozit malzemeler karışım tozu olarak geçer. Kompozit malzemeler havacılık, otomotiv, uzay ve denizcilik sektörlerinde düşük yoğunluklu ve mukavemeti yüksek malzemelerin kullanılması isteği kompozit malzemelere olan ihtiyacı artırmıştır.

Kompozit imalatında tüm mühendislik malzemeleri kullanılır, ancak her geçen gün farklı ilave elemanları kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde; Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımları, esneklikleri ve hafiflikleri nedeniyle en yaygın kullanılan matris malzemeleridir. Metal matrisli kompozitler katı ve sıvı hal üretim yöntemleriyle üretilir. Çeşitli endüstriyel yöntemlerle katı, sıvı ve buhar fazlarından elde edilebilen metal matrisli kompozitler; sızma, toz metalurjisi, enjeksiyon ve karıştırmalı döküm yöntemleri kullanılmaktadır.

Alüminyum matrisli kompozitlerde ilave elemanı olarak SiC, MgO, C, SiO₂, Al₂O₃ ve TiB₂ gibi seramikler kullanılmaktadır. Havacılık ve uzay sanayii, elektrik malzemelerinin ve otomotiv parçalarının üretiminde tercih edilen alüminyum matris; sürekli lif ilaveli ve parçacık ilaveli olan kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır.

Alüminyum, hafif olması, dayanım/özellik ağırlık oranının yüksek olması, yüksek korozyon direncinin olması ve plastik deformasyon kabiliyetinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmektedir.

Haddelenmiş alüminyum grubuna ait olan 7075 alaşımı sünek bir malzeme olmakla birlikte diğer malzemelere göre çok daha hafiftir.

Bu çalışmada, tlmř ve tlmemiř RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitler toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve farklı ilave hacim oranlarında kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. tlmř ve tlmemiř RHA ilave elemanının, kompozitin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir.



2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemeler ve Genel Özellikleri

Kompozit malzemeler, birbirinden ayrı özellikleri olan iki veya daha fazla polimer, metal ya da seramik malzemenin mikro veya makro halde birleşmesinden oluşur. Bu oluşan malzeme, birleşen malzemelerden daha yüksek ve daha iyi özellik sergiler. Kompozit malzemeler, hafifliği, yüksek mukavemeti, ısı ve elektrik iletkenliği, Resimlendirme kolaylığı, korozyon ve kimyasal direnci, titreşimi bastırma ve geleneksel malzemelere göre düşük maliyeti nedeniyle sık sık tercih edilir (Chung, 2010; Callister ve Rethwisch, 2011; Erek, 2016).

Resim 1'de olan polimer, metal ve seramik ilaveli kompozitlere ek olan kompozitler, Resim 2.1'de gösterildiği gibi matris malzemesine mukavemet katan daha çok tercih edilen ilave malzemelerine göre de sınıflandırılabilir (Erek, 2016).



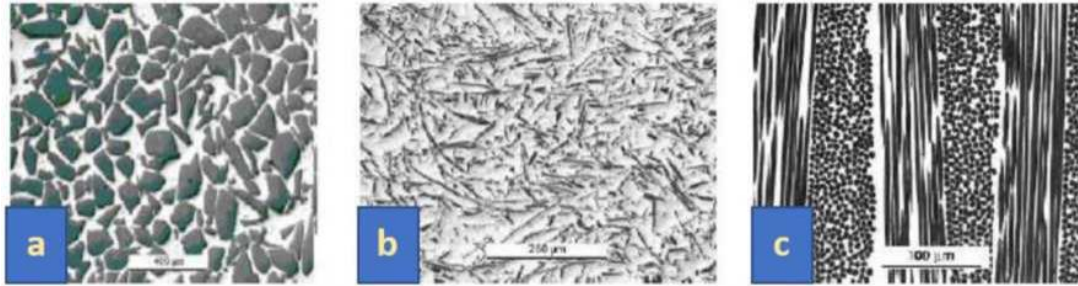
Resim 2.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri ve Sınıfları

Metal matrise sahip olan kompozitler, esas matris malzemesi olarak Ni, Mg, Ti, Fe ve Al gibi metalleri veya alaşımları, ilave elemanı olarak ise polimer veya seramik temelli olan malzemeleri kullanan bir kompozit türüdür. Bu kompozitler soğuk ve sıcak haddeleme, derin çekme, döküm, ekstrüzyon ve toz metalurjisinde kullanılabilir yöntemler türetilebilir. Matris malzemesi olarak kullanılan malzeme, verilen yükü ilave olan malzemeye aktarmaktır (da Silva ve ark., 2019; Gorbatyuk ve ark., 2019; Li ve ark., 2019).

Metal matrisli kompozitler, alaşım veya metallere oranla daha avantajlıdır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır;

- Aşınmaya ve sürtünmeye olan yüksek direnci,
- Yüksek olan ağırlık ve mukavemeti,
- Basma, eğme ve çekmeye karşı olan yüksek direnci,
- Korozyonun direncinin yüksek olması,
- Elektrik ve ısıyı iletimde daha üstün olması (Şenel, 2018).

Kompozitlerin özellikleri kullanılan donatı tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İlave malzemesinin özelliklerine bağlı olarak MMC 3 gruba ayrılır: parçacık ilaveli, kısa lif ilaveli ve sürekli lif ilaveli şeklindedir (Resim 2.2).



Resim 2.2. İlave malzemesinin şekline göre kompozitler

a) Parçacık ilavei b) Kısa fiber ilaveli c) Sürekli fiber ilaveli metal matrisli kompozitler (Nazik, 2013)

Günümüzde alüminyum matrise sahip kompozitler, aşınmaya karşı direnci, yüksek mukavemeti, yüksek sertliği, düşük ısı genleşme katsayısı ve hafifliği gibi birçok araştırmaya konu olmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlerin toz metalurjisi, kompozit döküm, basınçlı döküm, mekanik alaşım yöntemi gibi çeşitli yöntemler

kullanılarak üretim yapılabilmesi bu çalışmaların çeşitlenmesinde katkı sağlamıştır (Chandrashekar, ark., 2018; Selvam ve ark., 2018).

Çizelge 2.1. MMK'larda kullanılan çeşitli ilave malzemelerinin özellikleri (Yıldırım,2016)

İlave Malzemesi	Yoğunluk(g/cm³)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik (HV)	Ergime(°C)
TiC	4,930	440	2450	3160
B ₄ C	2,520	448	2800	2420
Al ₂ O ₃	3,980	379	2100	2100
SiO ₂	2,660	73	800	1710
SiC	3,210	324	2480	2750
WC	15,630	600	2100	2870
TiN	5,400	251	2000	2930

Alüminyum temelli matrislerden biri olan Alüminyum Alaşım 7075, Al- Zn- Mg- Cu alaşımıdır. AA7075 alaşımı yüksek Resimlendirilebilirlik, yüksek mukavemet, düşük korozyon ve yoğunluk direncine sahiptir. Bu nedenle genellikle otomobil, gemi, uçak parçaları, silahlar (savunma sanayii) ve spor ekipmanlarında kullanılır. Bu özelliklerine karşın kullanma alanına göre yeterli dayanım ve rijitliğe sahip değildirler. Bu nedenle mukavemetin ve sertliğin yüksek olması için AA7075 alaşımı kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1'de gösterilen nitrürler, karbürler veya oksitlerden oluşan ilavelerle kuvvetlendirilebilir (Giotti ve diğerleri, 2019; Wu ve diğerleri, 2019).

İlave malzemesi olarak yaygın olarak kullanılan karbür ilavelere kıyasla nispeten yüksek sertliğe, yüksek erime sıcaklığına, yüksek elastik modülüne ve düşük yoğunluktaki titanyum karbür (TiC) kullanılmaktadır (Yang vd., 2011; Azimi vd., 2015a; Azimi vd., 2015b; Prabha ve Dhas, 2017).

Kompozit, iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini tek bir malzemede birleştirerek, birbirlerinin zayıflıklarını telafi ederek yeni bir formda oluşturulan bir malzemedir. Kompozitleri oluşturan malzemeler, ayrı fiziksel özelliklere sahip ve mekanik olarak ayrılabilir malzemelerden oluşur. Kompozit bir malzemenin özellikleri, onu oluşturan malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Kompozit

malzemeler, ilave malzemelerinin matris malzemeler içinde dağılmasıyla oluşur (Çalın, 2006).

Kompozitler, yararlı, üstün performans ve hoş (estetik) ürünler sağlamak için bilinen malzemelerden elde edilemeyen bilinen malzemeleri kullanır. Bunun bir örneği, fiberglas ilavesi ile üretilen bir malzeme olan fiberglas olarak bilinen polyester bazlı reçinedir (Yunus, 2011).

Kompozitler; Kendi başlarına sergilenemeyen veya farklı özelliklere sahip seramik, polimer ve metalik malzemelerin çeşitli kombinasyonları kullanılarak inşa edilirler. Dolayısıyla kompozitlerin bu özelliklere bağlı olarak; Denizcilik, otomotiv, havacılık, uzay, petrol, spor gibi endüstrilerde kullanılmakta ve en önemli mühendislik malzemesi haline gelmektedir (Sönmez, 2009).

2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Otomobil sektöründe, kaporta parçaları, iç donanım, motor parçaları, tampon ve lastik üretiminde,
- Masalar, sandalyeler, saç kurutma makineleri, dikiş makineleri, TV dolapları, dekoratif ev aletleri,
- Kentsel gelişim alanında peyzaj çalışmaları için banklar, heykeller, elektrik direkleri,
- İnşaat sektöründe, dinlenme evleri, büfeler, cephe koruma, soğuk hava deposu, otogar vb.
- Tarım alanında sulama kanalları, borular, seralar, tahıl siloları yapımı,
- İş makineleri alanında, iş dolapları ve iş makinesi kapakları yapımında,
- Uçaklarda, planör gövdelerinde, helikopter parçalarında, uzay aracı ve uçak gövdelerinde ve iç dekorasyon gibi havacılık alanında;

Kompozit malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Yunus, 2011).

2.3. Kompozit Malzemelerde Avantajlar ve Dezavantajlar

Kompozitlerin düşük özgül ağırlığı, ağırlığın önemli olduğu çoğu yerde kompozitleri baskın hale getirir. Ayrıca kompozit malzemeler alanında korozyon direnci, ısı, ses ve

elektrik yalıtımı önemlidir. Bu nedenle, kompozitlerin özelliklerinin çoğu metal malzemeye göre değişir ve bu da onları metal konstrüksiyondan daha önemli hale getirir (Saraç, 2012).

Tüm bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda kompozit malzemelerin dezavantajları da bulunmaktadır.

Kompozit Malzemelerde Avantajlar;

Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemeler, mukavemetin yüksek olmasını sağlayan etkili malzemelerden biridir. Birçok metalik malzeme türüyle karşılaştırıldığında, kompozitler daha yüksek çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımlarına sahiptir. Kalıbın yapısına bağlı olarak kompozit malzemeye istenilen yön ve bölgede istenilen mukavemet verilebilmektedir. Bu nedenle, özel tasarım beklentilerine göre malzeme tasarrufu ve mukavemet sağlayarak daha ucuz ve daha hafif ürünler elde etmek mümkündür.

Hafiflik: Kompozitler, metallere veya ilavesiz plastiklere göre daha yüksek mukavemet-ağırlık değerleri sunar. Kompozitlerin etkin bir Resimde kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri, ürünlere sağladıkları yüksek mukavemet/hafiflik özellikleridir.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozit malzemeler korozyona, hava koşullarına, kimyasallara karşı dayanıklıdır. Bu özelliğinden dolayı termoset polimer kompozitler özellikle boru hatları, aspiratörler, tekneler ve diğer deniz taşıtları ve kimyasal tankların yapımında kullanım için güvenlidir.

Tasarım Esnekliği: Kompozitler, basit, küçük, büyük, estetik, dekoratif, yapısal ve fonksiyonel her türlü kompozit haline getirilebilir. Bu özelliğinden dolayı tasarımcılar sadece maliyetleri düşürmekle kalmaz, aynı zamanda prototip tasarım ürünlerinden seri üretime geçmek için yeni fikirler ve yöntemler geliştirirler.

Düşük Araç-Gereç Maliyeti: Polimer kompozitlerin üretimi için tercih edilen alet ve malzemelerin maliyeti, çelik, metal ve alüminyum alaşımlı malzemelerden daha uygun fiyatlıdır.

Isıya Dayanıklılığı: Düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerden oluşan kompozitlerin ısıya dayanıklı özelliklerinden dolayı kompozitler yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir (Bulut, 2014).

İmalat Kolaylığı: Yüksek miktarlarda kompozit malzemelerin üretiminde, yapıştırma ve yapıştırma ile tek seferde ürünler elde edilebilir. Bu, parça ve mekanik bağlantı elemanlarının sayısının azaltılmasının yanı sıra zamandan ve maliyetlerden tasarruf edilmesi anlamına gelir (Yıldızhan, 2008).

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçimi sonucunda mükemmel özelliği olan kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Kompozit malzemelerde, büyük enerji hatlarında çok iyi bir yalıtkan olarak ve diğer yapılarda ise çok iyi birer iletken olarak kullanılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Baskı işlemi sırasında reçineye eklenen pigmentler sayesinde kompozite istenilen renk verilebilmektedir. Bu işlem sırasında herhangi bir çalışmaya gerek yoktur, bu nedenle ek bir maliyet yoktur.

Titreşim Sönümleme: Esnekliği nedeniyle kompozitler doğal titreşim sönümleme ve şok emici özelliklere sahiptir. Bu nedenle malzemede çatlak oluşumu azalır (Campell, 2010).

Kompozit Malzemelerde Dezavantajlar;

- Kompozit malzemelerin üretilmesi anında oluşabilecek hava tanecikleri malzemenin yapısının zayıflamasına sebep olmaktadır.
- Bileşen olarak benzer olan kompozit malzeme için basınç, eğilme, çekme ve kesme dayanımı değerleri farklılık göstermektedir.
- Kompozitlerde hassas üretim mümkün değildir. Bunun nedeni, açık dişleri delme ve kesme gibi işlemlerdir.
- Kompozit malzemeler arasında polimer kompozitlerin maliyeti düşük, diğer kompozitlerin maliyeti ise yüksektir.
- Kompozitler farklı yönlerde farklı mekanik özellikler sergiler.

2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler genellikle matris malzemesinin şekline ve tipine ve ilave elemanlarına göre sınıflandırılabilir.

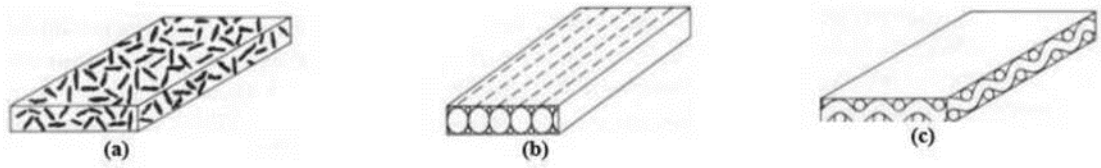
2.4.1. İlave Elemanlarına Göre Matrisler

Kompozit malzemeler içindeki ilave elemanının geometriksel durumlarına göre;

- Elyaf İlavesi Olan Kompozitler
- Partikül İlavesi Olan Kompozitler
- Tabakalı Yapıya Sahip Olan Kompozitler
- Karma Yapıda Olan Kompozitler olarak incelenir.

2.4.2. Elyaf (Fiber) İlaveli Kompozitler

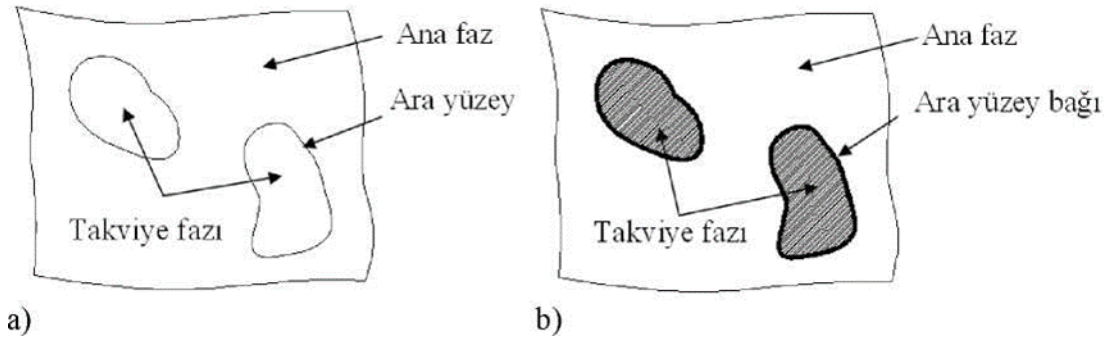
İlave olarak kullanılan malzeme camsıdır ve uygun olan matris malzemelerinde bulunabilir. Kompozitteki liflerin kısırlığı ve uzunluğu ile liflerin konumu ve yönü kompozitin mekanik özelliklerini etkiler. Bu tür kompozitler, elyaf yönünde daha fazla mukavemete sahiptir. Malzeme cam tarafı yönünde kuvvet taşımaya uygun olduğu için istenilen yönde mukavemet sağlayabilmektedir (Kahvecioğlu, 2016). Resim 2.3'te kısa, uzun fiber ve örgü fiber ilaveli kompozit örnekleri görülmektedir.



Resim 2.3. Kısa fiber (a), Uzun fiber (b) ve Örgü fiber (c) örnekleri (Kahvecioğlu, 2016)

2.4.3. Partikül (Parçacık) İlaveli Kompozitler

Bunlar, ilave malzemesinin matris fazında parçacıklar halinde dağıldığı kompozitlerdir. İzotropiktirler ve her yönde aynı malzeme davranışını sergilerler. Bu tip kompozit malzemede malzemenin sertliği taneciklerin sertliği ile belirlenir. Resim 2.4 parçacık ilaveli bir kompozitte oluşturulan ara yüzleri ve ara fazları göstermektedir.

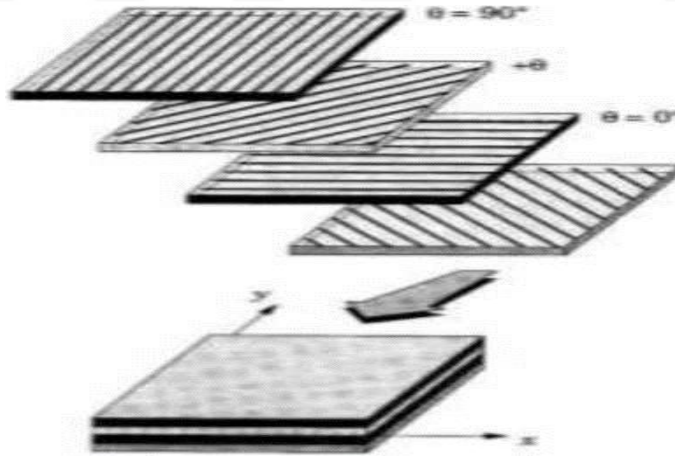


Resim 2.4. Parçacık ilaveli kompozit malzeme bünyesinde oluşan ara yüzey ve ara fazlar (Nazik, 2013)

- a) Direkt ara fazı olmayan birleşme
b) Kaplanmış halde ilave kullanımı

2.4.4. Tabakalı Kompozitler

Farklı lif yönelimlerine sahip farklı panellerin birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemelerdir. Bu tip kompozit malzeme, yapının tüm yönlerinde yüksek mukavemete sahiptir. Lamine kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Resim 2.3 katmanlı bir kompoziti göstermektedir.



Resim 2.5. Tabakalı kompozit malzeme (Kahvecioğlu, 2016)

2.5. Matris Malzemesine Göre Kompozitler

Kompozit malzeme tanımlanırken bileşiminde farklı malzemelerin olduğu belirtilir. Yani matris malzemesi de farklı bir malzeme olacaktır. Kompozitlerin matris

malzemeleri polimerler, seramikler ve metalik malzemelerden oluşur. Matris malzemesine göre kompozitler;

- Polimerler,
- Seramik ve
- Metal matrisli kompozit halinde üç grupta belirtilir.

2.5.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Matris malzemeleri olarak kullanılan polimerler, metal ve seramiklere göre daha karmaşık yapılara sahiptir. Polimer matris termosetler ve termoplastikler 2'ye ayrılır ve genellikle sürekli lifler için kullanılır. En önemlileri epoksi reçine ve polyester matristir. Polimer matrislerin kullanıldığı alanlarda sıcaklık ve nem en önemli faktörlerdir. Bahsedilen faktörlerin etkili olduğu bir ortamda polimer matrisli kompozitlerde mekanik özellikler daha azdır. Polimer malzemelerde kullanılan ilavelerden en önemlileri aşağıdaki gibidir (Kahvecioğlu, 2016);

- Cam fiber,
- Bor fiber,
- Kevlar fiber,

Polimer matrise sahip olan kompozit üretiminde ise kullanılan önemli metotlar aşağıdaki gibidir;

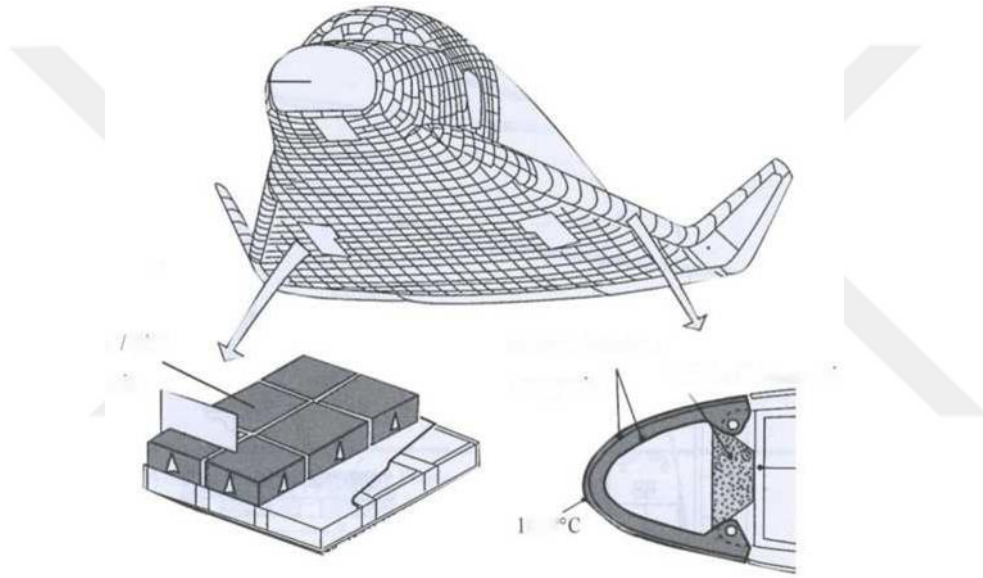
- Elle sıvama,
- Telle sarma,
- Kese kalıplama işlemi,
- Sıvı akış tekniği,
- Enjeksiyon kalıplama,
- Isıl oluşum,
- Ekstrüzyon (Önal, 2010).

2.5.2. Seramik Matrisli Kompozitler

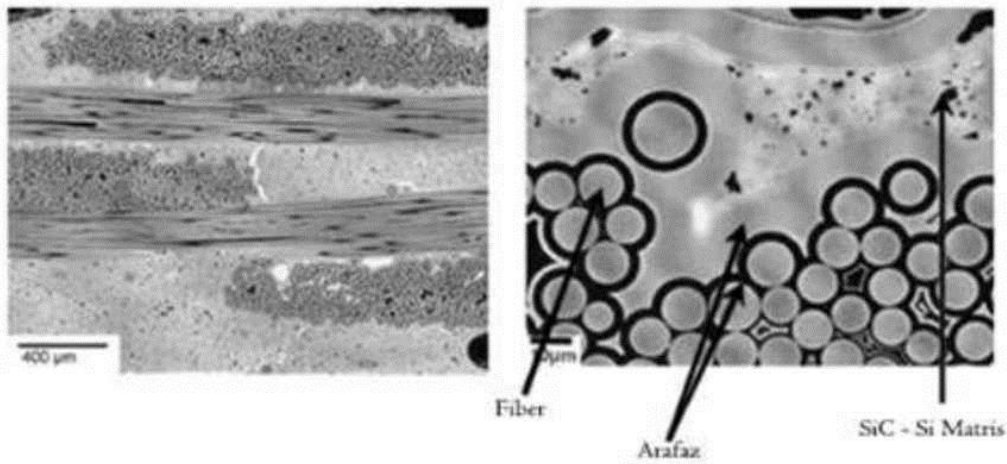
Bunlar matris malzemesi cinsinden seramik kullanan kompozitlerdir. Sıcaklık ve korozyona dayanıklı seramik malzemeler düşük yoğunluklarından dolayı hafiftir. Kırılgandırlar. Korozyon direncinin veya yüksek sıcaklık direncinin gerektiğinde kullanılması önemlidir. Kompozit malzemelerde seramik matris olarak genellikle;

- Silikon nitrit,
- Bor karbür,
- Silisyum karbür ve
- Alümina kullanılır.
- Al_2O_3 ve SiC gibi seramikler fiber form haline getirilip ilave malzemesi şeklinde kullanılır (Karabulut, 2011).

Resim 2.6’da uzay mekiğinde kullanılan seramik matrise sahip kompozitler, Resim 2.7’de ise belirtilen kompozitin görüntüsü gösterilmiştir.



Resim 2.6. Uzay mekiğinde kullanılan seramik matrisli kompozitler (Sönmez, 2009).



Resim 2.7. Seramik matrisli kompozit malzeme görüntüsü (Kahvecioğlu, 2016)

2.6. Metal Matrisli Kompozitlerde Üretim Metotları

2.6.1. Katı Faz Olarak Üretim Metotları

Katı faz olarak üretim metotları aşağıdaki gibidir;

- Toz metalürjisi (TM) ile üretim,
- Haddeleme ile üretim,
- Difüzyon ile bağlama şeklinde üretimdir.

Bu üretim yöntemlerinde, kompozitin üretilmesi için erime sıcaklığı matris malzemesine ait olan erime sıcaklığına göre düşük olmalıdır.

Toz metalürjisi üretim metodu, kompozit malzemelerdeki üretim için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Mekanik alaşımlama ekipmanlarında matris olarak kullanılan tozlar ve ilave malzemeleri karıştırılır. Karıştırılan toz bir kalıba yerleştirilebilir ve aynı anda Resimlendirilip öğütülebilir (Erek, 2016).

2.6.2. Sıvı Faz Olarak Üretim Metotları

Sıvı faz olarak üretim metotları;

- Sıvı ve Metal Karıştırma Metodu,
- Sıkıştırma Döküm Metodu,
- Yarı Katı Döküm Metodu,
- Basıncılı Döküm Metodu,
- İnfiltrasyon Metodu,
- Yarı-Katı Kaplama Metodudur.

Belirtilen üretim yöntemlerinde matris malzemesinin eritilmesinden sonra aralarına bir bağ oluşturacak Resimde ilave malzemesi eklenir (Erek, 2016).

2.6.3. Diğer Metotlar

- Rheocasting ve Compocasting Döküm Metotları,
- In-Situ Tekniği,
- Vidalı Ekstrüzyon Metodu (Erek, 2016).

2.7. Toz Metalürjisi

Toz metalürjisinin temel amacı, matris alaşımı ile toz halindeki ilave tozunun homojen bir Resimde karıştırılmasından sonra öğütme aşamasına kalıplanarak ve desteklenerek güçlü bir malzeme elde edilmesi ve tozlar arasındaki bağın sağlanmasıdır.

2.7.1. Metal Toz Üretim Yöntemleri

Nano-mikro boyut, küresel Resim, kompozit Resim vb üretilecek ürünlerin özelliklerini etkileyen farklı özelliklere sahip metal tozları, istenilen kaliteye göre farklı Resimlerde üretilebilmektedir. Bahsedilen üretim yöntemlerinden yaygın olarak dört tip üretim metodu kullanılmaktadır. Bu metotlar aşağıda verilmiştir;

- Kimyasal Resimde yapılan yöntemler,
- Elektrokimyasal Resimde yapılan yöntemler,
- Atomizasyon Resimde yapılan yöntem,
- Mekanik alaşımlama yöntemidir (Şimşek, 2017).

2.7.2. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal redüksiyon, oksitlenmiş demir, molibden, kobalt, bakır ve nikel oksitlerin karbon monoksit veya hidrojen gibi indirgemeye yatkın bir atmosferde uygun bir sıcaklıkta öğütülerek saf metallere indirgenmesi yöntemidir (Şimşek, 2017).

2.7.3. Elektrokimyasal Yöntemler

Elektroliz metodunda, oksitlenmiş metal tozunun sülfürik asit ve bakır sülfat içeren bir elektrolitik banyoda biriktirilmesi veya katotta toplanmasıyla yüksek saflığa sahip metal tozu elde edilir (Nazik, 2013).

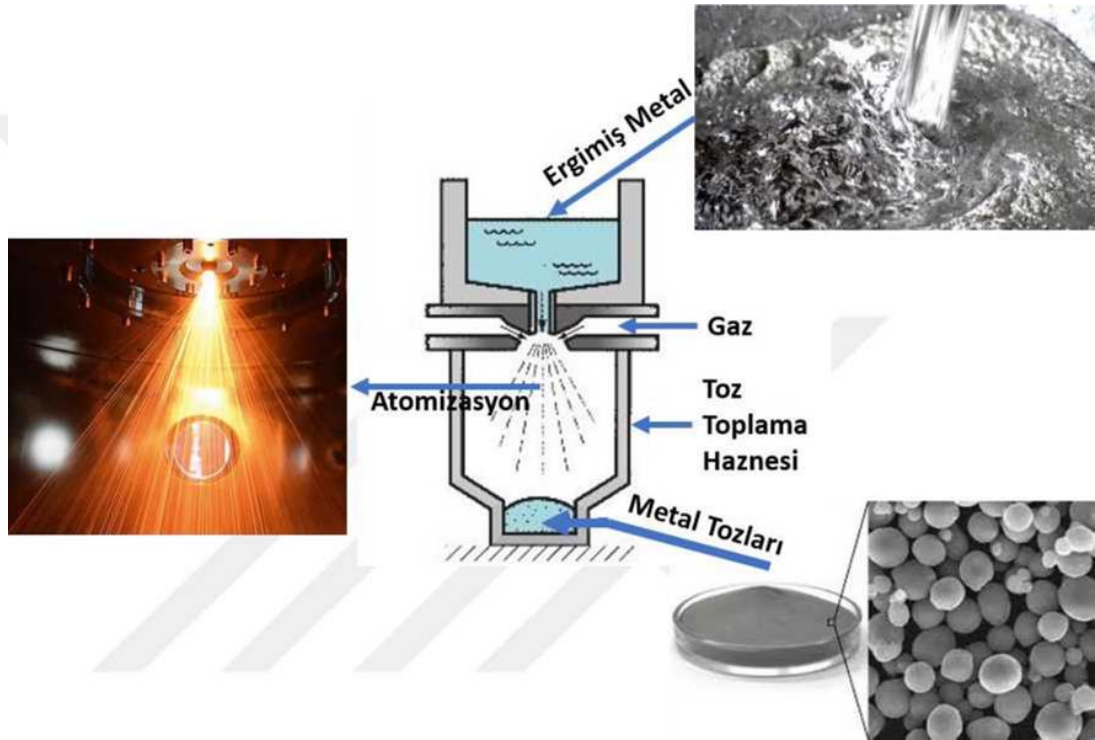
2.7.4. Atomizasyon Yöntemi

Atomizasyon, erimiş metalin çok küçük parçalara ayrılarak ince şeritler halinde kesilmesi ve su veya gaz jetleri ile soğutulması prensibine dayanan bir işlemdir. Argon, nitrojen veya hava, gaz atomizasyonu için en yaygın kullanılan gazlardır, atomize edici atmosfer ise su veya su atomizasyonu için en yaygın olarak kullanılan sıvı olan kerosen-parafin karışımıdır (Somunkıran ve Çelik, 2007).

Gaz atomizasyonu Resim 2.8’de gösterilen üniteye yapılmaktadır.

Atomizasyon şeklinde yapılan işlemin sonucunda elde edilecek tozun özelliklerini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlar;

- Erimiş metaldeki viskozite,
- Nozulun açısı,
- Gazın türü,
- Nozul ağzının genişliği ve
- Gazın debisidir.



Resim 2.8. Gaz atomizasyonun ünitesi

2.7.5. Mekanik Alaşımlama Yöntemi

Bu yüksek lisans çalışmasında, mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak TiC ilaveli AA7075 kompozit toz üretilmiştir. Bu nedenle mekanik alaşımlama ayrı bir başlık altında anlatılmaktadır.

3. TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi, tozların birçok işlemde geçirilerek faydalı mühendislik malzemelerine dönüştürülmesini sağlayan bir üretim yöntemidir. Parçacık üretim sistemlerinin çoğu eski kökenlere sahip olsa da tozların teknik ürünler için değerlendirilmesi ve kullanılması ancak 20. yüzyılın sonlarına doğru başlamıştır. Seramik kelimesi, kil bazlı kil anlamına gelen Yunanca "keramos" kelimesinden gelmektedir. Antik çağlardan beri porselen, gücünü elde etmek için fırınlanmıştır. Günümüzde bu teknik hala tuğla, beyaz seramik ve vitrifiye yapımında kullanılmaktadır. Tozdan metal parçaların üretimi ilk olarak İnkalar tarafından mücevher imalatında kullanılması için yapılmıştır. Başka bir tarihi örnek, Hindistan'da indirgenmiş demir tozu kullanılarak yapılan 6.5 tonluk Delhi Sütunu'dur. En yeni örnekler bakır, gümüş ve kurşun gibi tozlardan yapılan madeni paralardır. Ancak tozların kullanımında en önemli nokta kabul edilen bir uygulama alanı Coolidge tarafından tungsten tozu kullanılarak üretilen ve ısı dayanımı yüksek olan lamba filamanlarıdır (Alman, 2007).

Konvansiyonel toz metalurjisi, en sade anlatımla, katı metalleri, alaşımları veya kuru partikül formundaki seramikleri, önceden belirlenmiş Resim ve özelliklere sahip mühendislik bileşenlerine dönüştürmek için bir üretim sürecidir ve çoğu durumda daha fazla işlem yapılmadan kullanılmalarına izin verir. Bu yöntemin ana adımları; Toz üretimi, ham numuneyi ana bileşenin erime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa ısıtarak istenen özellikleri üreten tozun sıkıştırılması (kalıplanma, sıkıştırma) ve sinterleme adımlarından oluşur (Tummler ve Oberacker, 1993). Sinterleme, toz parçacıklarının birbirine yapışmasını sağlayan toza uygulanan bir ısı işlemidir. Dökümden önceki alana boşluk denir. Bu işlemde sonra sert ve kullanışlı bir katı form elde edilir. Sıkıştırma ve sıvılaştırma adımlarından sonra önemli bir nokta, elde edilen mikro yapının karakterizasyonudur. Toz metalurjisi yöntemlerinin en büyük avantajlarından biri mikroyapısal kontroldür. Bu avantaj, özellikle özel uygulama ihtiyaçları için üretim için önemlidir. Diğer üretim metotları, uygulama yaparken mikro yapıları sağlama konusunda toz metalurjisi ile rekabet edemez.

Toz metalurjisi, döküm yöntemlerine benzer Resimde kafes Resimli parçaların üretimine izin verir. Ancak toz tekniği, yalnızca düşük erime noktasına sahip metaller için kullanılabilen döküm yönteminin aksine hemen hemen her malzeme için kullanılabilir. Bu nedenle toz metalurjisi, yüksek sıcaklık seramikleri, bazı polimerler, bakır çeliği, refrakter metaller, çeşitli intermetalikler, sermetler ve karışık faz bileşimleri ile üretilen kompozitler döküm ile üretilemez. Toz metalurjisi, aynı ürünü birden çok kez kopyalamak için uygun halde olan kalıp boşluklarının sayesinde seri üretime olanak sağlar. Ayrıca, bu yöntemle karmaşık Resimleri nihai boyut ve şekle getirebilme özelliği, önemli ekonomik faydalar sağlar. Ayrıca yüksek malzeme kullanım oranları (düşük malzeme kaybı) ve nispeten düşük enerji tüketimi sağlayan otomasyon, ekonomik fayda sağlayan toz tekniklerinde kullanılabilir.

Toz metalurjisinin yaygın olarak kullanılan dallarından biri, kompozit üretmek için çözünmeyen tozların farklı oranlarda karıştırılmasıdır. Bu Resimde üretilen malzemelerde faz boyutu, şekli ve boyutu üzerinde mikroyapısal kontrol sağlanabilmekte ve isteğe bağlı olarak özellikler elde edilebilmektedir. Bu metotta kullanılmış olan toz parçacıklarının boyutuna en ideal olan birim 6-10 m olan mikrometredir (μm). Toz metalurjisi kapsamında kullanılan çoğu mühendislik partikülü 0,1 ile 200 μm aralığındadır. Bu parçacıklar sıvı ve katının arasında durum sergiler. Toz, yerçekimi sayesinde bir sıvı gibi akar, böylelikle mevcut kalıbı doldurur. Böylelikle, bütün toz malzemeler gaz malzemeler gibi sıkıştırılabilir ve uygulanan deformasyon neticesinde katılar gibi davranabilir. Toz malzemelerin sertlik oranı ne kadar yüksek olursa, sıkıştırma için gereken basınç da o kadar yüksek olur. Yumuşak tozlar tam yoğunluğa yakın sıkıştırılabilir, ancak sert toza polimerler eklenerek istenen Resim elde edilebilir.

Toz bazlı parçalar önceden sadece düşük maliyetleri nedeniyle seçilirken, bugünlerde homojenlik, verimlilik ve daha yüksek özellikler gibi nedenlerle daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu yöntem, düşük üretim maliyeti ve yüksek performansı nedeniyle birçok farklı alanda gelişme fırsatları bulabilmektedir. Son günlerde, bu yöntemle üretilmiş olan yeni bileşikler, jet motorlarından biyomedikal protezlere kadar çeşitli alanlarda istenilen özellikleri sağlamak için kullanılan kompozitlerdir (Alman, 2007).

Toz metalurjisi üretirken dikkate alınması gereken 6 temel tasarım faktörü vardır. Bunlar; toleranslar, Resim, miktar-maliyet, malzeme ve özellikler başlıkları ile verilmiştir.

Boyut; Üretim yönteminin fiziksel koşullarına ve ticari üretim ekipmanlarının fiziksel sınırlarına bağlı olarak, imal edilecek parçaların boyutlarının belirli kritik sınırları vardır. Örneğin, metal ekstrüzyon gibi toz teknikleri önemli ürün boyutu sınırlamalarına sahipken, sıcak izostatik ekstrüzyon gibi toz tekniklerinin önemli sınırlamaları yoktur.

Resim; Toz metalurjisi, sade yapıya sahip olmayan Resimlerin üretilmesine izin veren üretim yöntemidir. Bu yöntemde tozu kompakt (sıkıştırılmış ve katı) hale getirerek karmaşık Resimler oluşturmak için kullanılan yöntem çözümdür. Kalıplanma aşamasında toz Resimlendirilir ve sertleşen kısım kalıptır. Bu nedenle, kalıp üretiminin kolaylığı ve ham (denenmemiş) numunenin kalıptan kolayca çıkarılması gibi kriterler çoğu durumda üretilcek parçanın kabul edilebilir Resim karmaşıklığını belirler.

Toleranslar; Toz metalurjisinde, boyutsal toleransların kontrolü karmaşık bir problemdir ve tüm yarı kafes veya kafes imalat yöntemlerinin zor bir özelliğidir. Bu toleranslar, toz özellikleri, basınç değerleri ve sinterleme döngüleri gibi proses değerleri tarafından belirlenir. Toz metalurjisi ürünlerinin çoğunun boyutsal toleranslarını kontrol eden faktörler, büzülme sırasında meydana gelen yoğunlaşma miktarı ve büzülmenin homojenliğidir. Geleneksel toz metalurjisi parçaları, sinterleme işlemi sırasında boyut çok az değiştiği için en geniş aralığı gösteren sıcak izostatik sıkıştırma ile üretilen parçalara göre daha sıkı boyutsal toleranslara sahiptir.

Malzeme; Toz metalurjisindeki uygulamalar göz önüne alındığında tozun şekli, boyutu ve saflığı gibi faktörler önemlidir. Kalıplanma işlemleri veya adımları için, tozun pürüzsüz, küresel parçacıklara sahip olması istenirken, diğerleri daha düzensiz bir toz şekli ister. Hemen hemen tüm malzemeler ve alaşımlar toz halinde bulunabilir. Çimentolu karbürler, bakır-tungsten kompozitleri ve refrakter metaller (tungsten, molibden, tantal vb.) gibi malzemelerde, toz metalurjisi mevcut tek üretim yöntemidir.

Özellikler; Toz metalurjisi kapsamında, ürünün mekanik ve fiziksel özellikleri doğrudan yoğunluğa, hammaddenin (toz) doğasına ve üretim koşullarına (genellikle

sinterleme aşaması) bağlıdır. Toz metalurjik malzemeler tam yoğunluktan saptıkça özellikleri azalır.

Miktar-Maliyet; Toz metalurjisi yöntemlerinin ekonomik verimliliği genellikle üretilecek parça sayısına bağlıdır. Örneğin, ekipman yatırımını karşılamak için geleneksel pompa öğütme tozu tekniğinin üretim hacmi en az 1000-10000 birimdir. İzostatik bir işlem için ise 1 ila 10 parça gibi düşük hacimlerde ekonomik kullanım uygun olabilir (ASM Handbook, 1998).

Daha önce bahsedildiği üzere, toz metalurjisi, partikül ilaveli MMC'lerin üretimi için en yaygın kullanılan metottur (Liu ve diğerleri, 1994; Huda ve diğerleri, 1993a; Keçeli, 2007). Metal/alaşım tozlarını parçacık ilaveli malzemelerle karıştırmak, partikül ilaveli MMC'ler üretmek için farklı yönleri olan bir yöntemdir (Clyne, 2001). Temel olarak, bu yöntemde, bir ön alaşım veya karışık toz, istenilen Resimdeki kalıp boşluğuna sahip bir kalıba kalıplanır ve katılaştırılır. Oluşan boşluklar daha sonra mevcut mekanik bağı metalurjik bir bağa dönüştürmek için bir ısı işlem fırınına yerleştirilir, böylece tozu daha güçlü bir bağ ile bağlar (Newkirk ve Kohser, 2004).

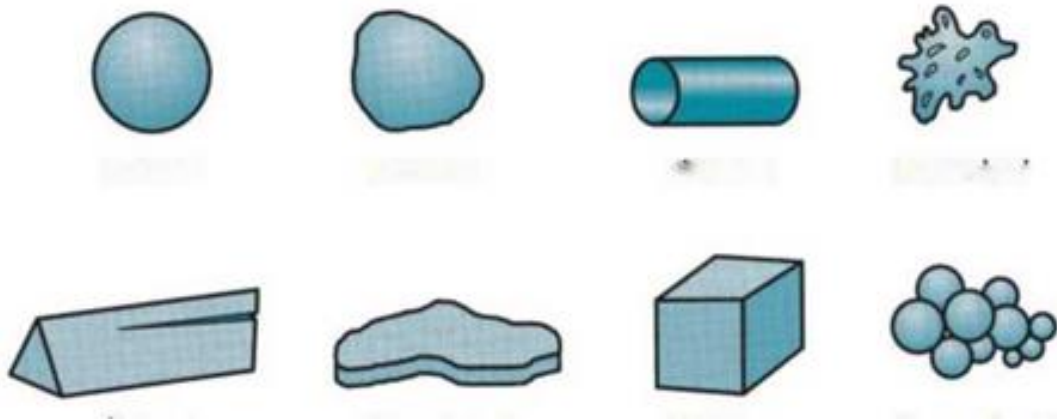
Toz metalurjisinin birçok avantajı vardır. Bu avantajların başında bu teknik eritme veya döküm gibi işlemler içermediği için bu Resimde üretim yapan diğer tekniklere göre daha uygun maliyetlidir (Huda vd., 1995). Yüksek ergime noktasına sahip metaller toz metalurjisi ile kolayca Resimlendirilebilir. Döküm gibi geleneksel üretim tekniklerinin neden olduğu yüksek yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan oksidasyon, segregasyon, gaz absorpsiyonu ve alaşım oluşturmama gibi problemler toz metalurjisi ile kolayca halledilebilmektedir (Baksan ve Gürler, 2003). Ayrıca, bu yöntemle sade olmayan yapılara ve Resimlere sahip parçalar, ek üretim sonrası işlemlere ihtiyaç duymadan kolayca üretilebilir. Aynı zamanda rulman, filtre gibi gözenekli parçalar da bu Resimde daha iyi özelliklerde üretilir. Toz metalurjisi teknikleri, havacılık alanı gibi kritik endüstrilerde kullanılan tam yoğunluklu ürünleri üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Keçeli, 2007).

Toz metalurjisi yönteminin avantajları göz önüne alındığında önümüzdeki yıllarda daha fazla kullanılacağı kesindir. Paslanmaz çelik, alüminyum, bakır ve bakır bazlı alaşımlar için toz endüstrisi son 25 yılda geniş yer kaplamaktadır. Alüminyum tozu, boyalar, kaplamalar, patlayıcılar, katı roketler, roket yakıtları, toz metal parçalar ve kompozitlerin üretiminde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Son zamanlarda toz metalurjisi ile üretilen alüminyum parçalar otomobil sektöründe ilgi çekici hale

gelmiştir. Avrupa'da toz metal parça üretimi gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu nedenle üreticiler bu alanda yeni üretim tesislerine yatırım yapmakla ilgilenmektedir. Ford, General Motors, Daimler-Chrysler, Honda, Toyota, BMW, Volkswagen gibi otomobil firmaları bu yönde önemli ve güçlü adımlar atıyor. Sonuç olarak bu alanda küresel gelişmelerin olacağı söylenebilir (Baksan ve Gürler, 2003).

3.1.Toz Metalurjisi ve Karakterizasyonu

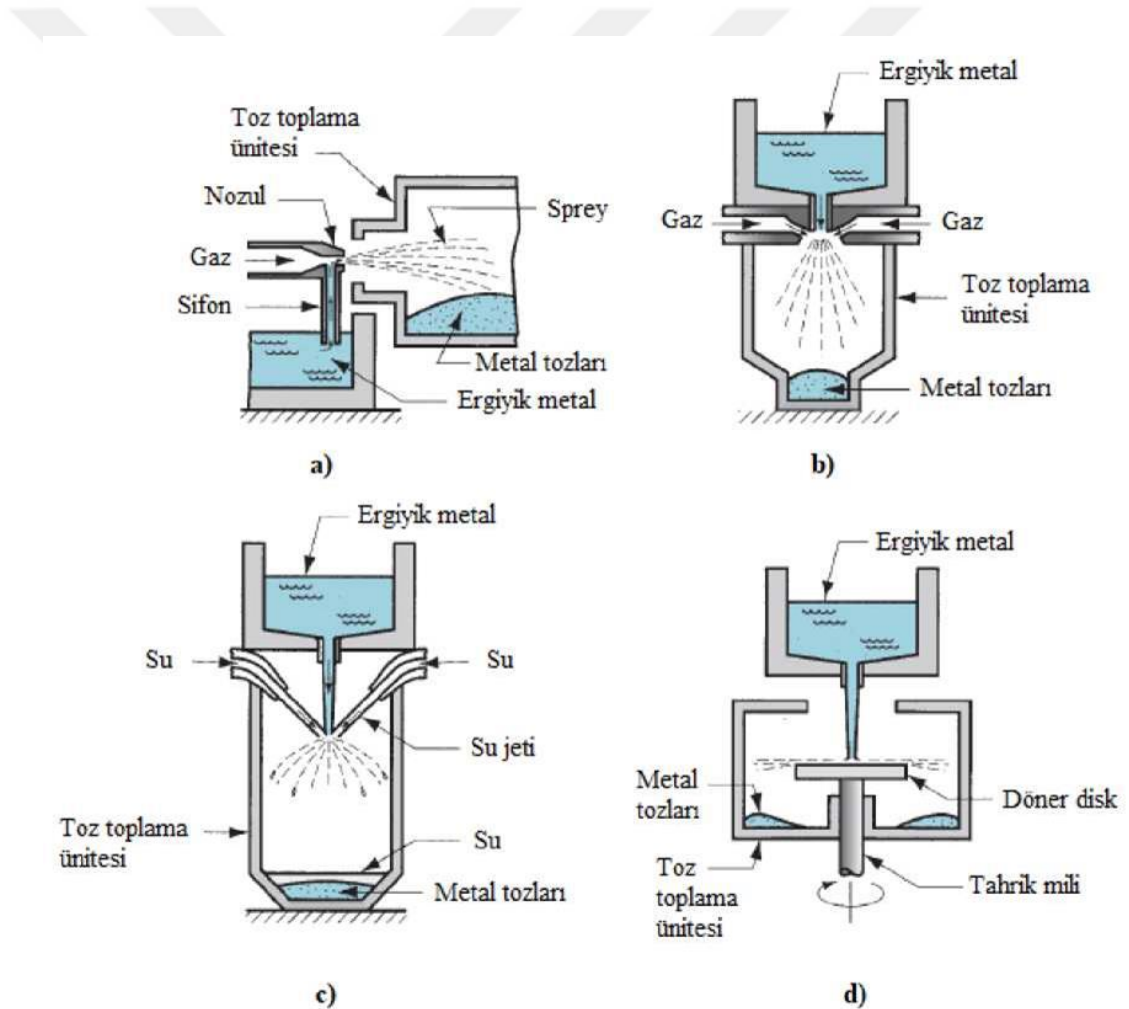
Toz metalurjisinde üretimde başlangıçta kullanılan tozların özellikleri işlemin başarısı için önemlidir. Bu tozların saflığı ve kimyasal yapısındaki özelliklerinin yanı sıra Resim, boyut, hacim ve yüzeyinin özellikleri de önemlidir (Sağırlı, 1990; Newkirk ve Kohser, 2004). İşleme adımlarından ayrı olarak, tüm toz metalurjisi bileşenindeki üretim hattı teknikleri, toz hammaddelerle başlar. Bu nedenle başlangıçtaki tozların özellikleri, üretilmiş olan parçanın özelliklerini doğrudan etkiler ve belirler. Toz çok ince bölünmüş bir katıdır. Tozların boyutu genellikle 1 mm'den küçüktür ve 0.1 ile 200 um arasında değişir. Toz formları küresel veya küresel olabilir. Toz parçacıklarının şekli; Tozların yüzey alanı, akışkanlık ve sıkıştırma sonrası yoğunluk gibi özelliklerine etkisi olduğu için çok önemlidir (Liu vd., 1994; Keçeli, 2007). Toz metalurjisinde kullanılan farklı toz taneleri Resim 3.9'da gösterilmiştir.



Resim 3.1. Toz metalürjisi parçacık Resimleri (Groover, 2010).

Metal tozu üretiminin 4 ana yöntemi vardır: mekanik, kimyasal, elektrolitik ve atomizasyon. Bunlar içinde yaygın olarak kullanılan metot atomizasyon ile üretilme yöntemidir. Atomizasyon metodu, en basit haliyle, erimiş metalin püskürtme ve saçılma yoluyla daha küçük parçacıklara ayrıldığı bir toz üretim metodudur. Bu yöntemi uygulamanın birkaç farklı yolu vardır. Bunlardan biri su atomizasyonu adı

verilen akan erimiş metalin üzerine basınçlı su püskürtme yöntemidir. Bu yöntemde sıvı metal çok hızlı bir Resimde soğur ve düzensiz Resimli bir toz elde edilir. Ayrıca bu Resimde kullanılan suyun bazı metaller üzerinde korozif etkisi vardır. Diğer bir atomizasyon yöntemi, akan erimiş metale basınçlı soy gaz göndererek yapılan ve genellikle daha iyi toz özellikleri sunan gaz atomizasyonudur. Bu yöntemde sıvı metal, su atomizasyon yöntemine göre daha yavaş soğur, böylece daha düzgün ve küresel parçacıklar elde edilir. Diğer bir atomizasyon yöntemi, erimiş metalin dönen bir disk üzerinden gönderildiği, sıvı metalin kabın duvarlarına çarptığı ve merkezkaç kuvveti ile soğutulduğu döner disk (santrifüj) atomizasyonudur (Kline, 2001). Metal tozlarının üretiminde kullanılan çeşitli atomizasyon yöntemleri Resim 3.10'da gösterilmiştir.



Resim 3.2. Metalik toz malzemesinin üretilmesi için kullanılan farklı atomizasyon yöntemleri (Groover, 2010).

a) ve b) İki farklı (yatay-dikey) gaz atomizasyon yöntemi, c) Su atomizasyon yöntemi, d) Döner disk atomizasyon yöntemi

Mekanik tozların üretimi, toz üretiminin 4 temel metodundan biridir. Bu metotta toz haline gelen malzeme kırma, dövülme, öğütme gibi işlemlerle mekanik olarak ezilerek toz üretimi gerçekleştirilir. Bu sebepten dolayı kullanılan cihazlar; kırıcı ve kaba öğütücü olarak sınıflandırılır. Cevher hazırlama için genellikle kırıcılar kullanılırken, toz üretimi birkaç mikrona kadar partikül içeren kaba ve ince öğütücüler ile gerçekleştirilmektedir (Baksan ve Gürler, 2003). Toz üretmek için kullanılan bir diğer önemli üretim yöntemi kimyasal indirgemedir. Bu yöntem, metalleri elementel tozlara indirgeyen çeşitli kimyasal reaksiyonlar yoluyla gerçekleştirilir. Elektrolitik toz üretimi, metalleri ayırmak için elektrik akımı kullanan bir elektroliz işlemi kullanır. Bu yöntemle çok ince ve yüksek saflıkta bir toz elde edilebilir. Bu yöntemde sistem, anot üretilen toza ait bir metalden yapılacak Resimde kurulur. Böylece elektrik akımının etkisi altında metal anottan ayrılarak katoda taşınır ve daha sonra kolayca yıkanıp kurutulan katot üzerinde ince bir film tabakası olarak birikir (Newkirk ve Kohser, 2004).

3.2. Karıştırma ve Harmanlama

Toz ile üretim yönteminde ideal olan malzeme seçildikten sonra karıştırma ve harmanlama işlemi gerçekleştirilir. Harmanlama, aynı kimyasal bileşime ve farklı boyutlara sahip tozların karıştırılması anlamına gelirken, harmanlama, farklı kimyasal bileşimlere sahip tozların karıştırılarak alaşım üretilmesi işlemidir (Newkirk ve Kohser, 2004; Keçeli, 2007). Üretimde kullanılan çeşitli tozların toz metalurjisi ile karıştırılması, homojen dağılım göstermesi için bu aşamada gerçekleştirilir. Bu nedenle bu aşamada mekanik özellikleri iyileştirmek için çeşitli elementlerin metal tozları ve katkı tozları karıştırılarak veya uygun bir karıştırıcı ile karıştırılarak homojen bir toz karışımı veya alaşımı elde edilir (Akin, 2006; Kumdalı, 2008). Başka bir söylemle, karıştırma sırasında ön alaşımlı toz kullanılmadan karıştırma sırasında alaşım yapmak mümkündür (Baksan ve Gürler, 2003). Bu işlemin ana nedeni, nakliye sırasında titreşimden kaynaklanan ayrılmayı (toplanma) ortadan kaldırmaktır. Bunun nedeni, ince parçacıkların ve üstte kalan büyük parçacıkların parçalanması ve çökmesi, sonraki sıkıştırma ve öğütme aşamalarında sorunlara neden olabilir (Tan ve Zhang, 1998; German, 2007; Kumdalı, 2008).

Karıştırıcının tipi ve karıştırma işleminin süresi, karıştırma sırasında karışımın kaliteli olmasını etkileyen önemli belirteçlerdir. Homojen bir karışım elde etmek için yeterli karıştırma süresi önemlidir. Ancak burada en uygun zamanı belirlemek önemlidir. Çünkü belirli bir süre sonra karıştırma işlemi hiçbir etki göstermeden devam eder (Sağırlı, 1990; Kumdalı, 2008). Mikser içindeki toz hacmi verimliliği etkiler. Karıştırıcı, tozların göreceli hareketini engelleyen tozla doldurulur. Genelde toz hacmi olarak mikser hacminin %20 veya %40'ının kullanılması uygun görülmektedir. Dönme hızı, karıştırma verimliliğini büyük ölçüde etkiler. Yavaş dönüş hızı, verimli karıştırma için gereken süreyi artırırken, hızlı dönüş hızı, merkezkaç kuvveti nedeniyle tozun akışını ve karışmasını engellemektedir (German, 2007).

3.3.Sıkıştırma (Presleme, Kalıplama)

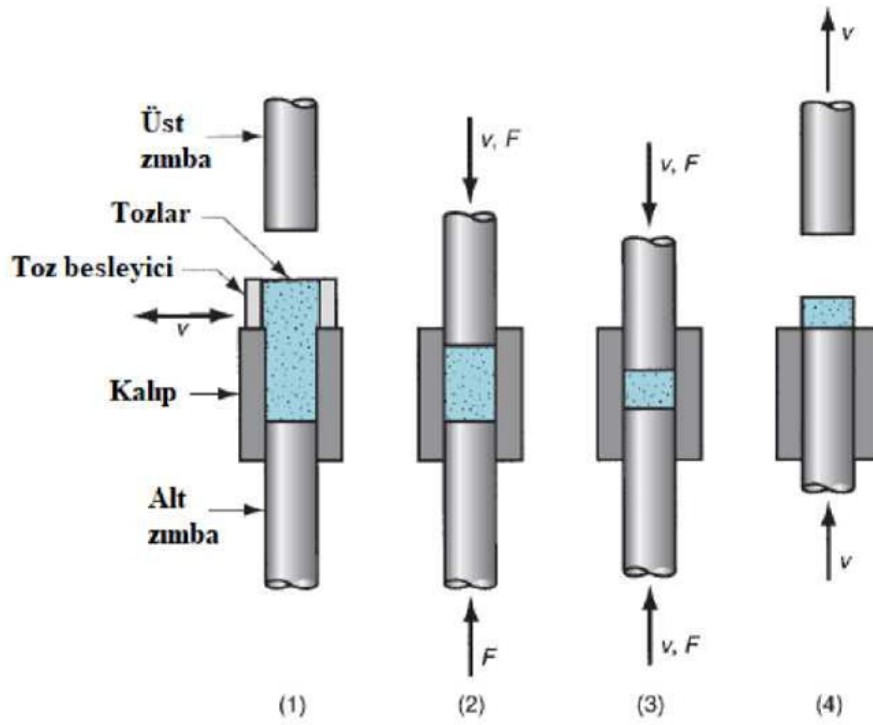
Toz metalurjisi yönteminde toz, karıştırma ve harmanlamadan oluşan sıkıştırma (presleme, kalıplama) işlemi ile ham parçaya dönüştürülür (Liu vd., 1994; Keçeli, 2007). Bu işlem toz metalurjisinde yöntem olarak çok önemli ve çok kritik aşamalardan biridir. Çünkü bu aşama toz malzemenin yoğunluğunu ve üretilen parçadaki yoğunluğun düzgün dağılımını belirler. Nihai ürünün özellikleri yoğunluğa büyük ölçüde bağlıdır, bu nedenle iyi olan özellikler sadece düzgün bir yoğunluğun dağılımı ile elde edilebilir (Newkirk ve Kohser, 2004; Keçeli, 2007). Sıkıştırma işleminin amaçları aşağıdadır:

- Toz malzemeleri istenilen biçimde katı şekle getirmek,
- Üretilen parçalara, montajdan sonra oluşabilecek ölçü değişikliklerini de dikkate alarak istenilen ölçüleri vermek,
- Parçaya istenilen düzeyde gözeneklilik kazandırmak
- Sonraki işlemlerde yeterince dayanıma sahip hammaddelerin oluşturulması (Upadhyaya, 1999; Keçeli, 2007).

Alışlagelmiş sıkıştırma yöntemlerinde, basınç çoğunlukla tek yönde uygulanır, bu da genellikle eşit olmayan yoğunluk ve basınç dağılımlarına neden olur (Liu ve diğerleri, 1994; Keçeli, 2007). Bu işlemde sıklıkla hidrolik ve mekanik presler ve rijit olan kalıplar kullanılmaktadır (Newkirk ve Kohser, 2004; Keçeli, 2007). Sıkıştırma esnasında metal tozları arasında yalnızca fiziksel (mekanik) temas oluşur. Sıkıştırılmış olan metal tozları boşluk olarak adlandırılır ve yüksek poroziteye sahiptir (Liu vd., 1994; Keçeli, 2007).

Sıkıştırma; İstenilen Resimdeki kalıp boşluğu ile kalıba serbest toz partiküllerinin yüklenmesi ile sıkıştırma ve katı boşluklara dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlemin temel amacı, toza ham yoğunluk ve mukavemet kazandırmaktır. Çeşitli sıkıştırma yöntemlerinin mevcut olması nedeniyle, sıkıştırma işlemi çoğunlukla katı (çelik-karbür) bir kalıpta 300-800 MPa aksel basınç altında gerçekleştirilir. Bu işlemden sonra toz, kalıptan çıkarılmak için yeterli dayanıma sahip olan bir hammadde haline gelir (Baksan ve Gürler, 2003; Kumdalı, 2008). Parçalar sıkıştırmadan sonra önemli bir mukavemet kazansa da, gerçek mukavemet büzülmeden sonra bulunur. Sıkıştırmadan sonra sıkıştırılan toza hammadde, yoğunluğa ham yoğunluk, mukavemete ise hammadde denir (Almanca, 2007).

Resim 3.11, toz metalürjisi ekstrüzyon prosesindeki adımları göstermektedir.



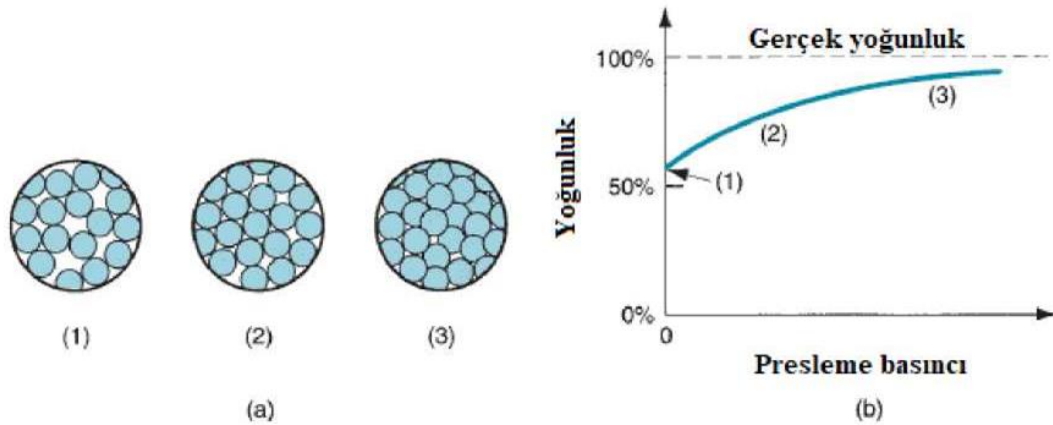
Resim 3.3. Toz metalürjisinde presleme aşamaları: (Groover, 2010).

- (1) kalıp boşluğunun tozla doldurulması, (2) başlangıç, (3) sıkıştırma sırasındaki üst ve alt zimbaların son konumları, (4) parçanın çıkarılması

Sıkıştırma işlemi yapılırken toz malzeme, kalıba doldurulduğunda belirli bir yoğunluğa sahiptir. Bahsedilen yoğunluğun adı görünür yoğunluktur. Tozun görünen yoğunluğu, tozun şekline, tozun boyutuna, dağılımına, katkı maddelerine ve bir dereceye kadar kalıbın şekline bağlıdır. Sıkıştırma basıncı arttıkça elde edilen

boşlukların yoğunluğu artar ve gözenekliliği azalır. Sıkıştırma sonucunda uygulanan yük nedeniyle deforme olan tozda ham yoğunluk elde edilir. Döküm işlemi yapılmadan önce elde edilen ham yoğunluk için parçalanmadan el yordamıyla hareket ettirilebilen yoğunluk miktar olarak yeterlidir (Ekshi ve Kurt, 1999; Kumdalı, 2008).

Sıkıştırma işleminde, toz malzeme, yerçekimi ile gevşek, düzenli olmayan yığınlar halinde kalıba doldurulur. Bu durumda, toz malzemeler arasında oldukça büyük bir boşluk vardır. Kalıbın titreşimi sonucunda bu tozlar kalıba daha yoğun ve daha sıkı bir sıra ile girerler. Bu ilk aşamaya paketleme aşaması denir. Bu aşamadan sonra, kalıbın ve presin hareketi ile tozun sıkıştırıldığı sıkıştırma aşaması gelir. Bu aşamada, belirli bir basınçtan sonra toz önce elastik hale gelir ve daha sonra plastik olarak deforme olur. Deforme olamayan veya çok zayıf olanlar kırılır. Bu deformasyonların bir sonucu olarak, tozlar birbirine bağlanır ve aglomeratlar oluşturur. Aynı zamanda oksit tabakaları kırılır. Bu periyoda elastik ve plastik deformasyon periyodu denir. Sıkıştırma sırasında birbirine bağlı tozların deformasyonu ve temas alanları da artar. Yani sıkıştırma sonucunda toz partikülleri arasındaki yapışmanın kuvveti artar. Bu nedenle sıkıştırma işlemi sürdükçe Resim değiştirilebilirliği gitgide azalan hatta yok olan toz malzemeler birbirine soğuk kaynak yapılarak sıkıştırma işlemi sona erer (Sağırlı, 1990; Palacı, 2001; Kumdalı, 2008). Resim 3.4 sıkıştırma esnasında basıncın etkisini ve toz malzemelerdeki yoğunluğun değişikliklerini göstermektedir.



Resim 3.4. sıkıştırma sırasında basıncın etkisi (Groover, 2010).

(a) Sıkıştırma esnasında uygulanmış olan basıncın etkisi:

(1) kalıba doldurulan ilk baştaki sıkı olmayan tozlar, (2) paketlenme, (3) parçacıklardaki deformasyon,
(b) Kalıplanırken oluşan basınca bağlı olarak toz malzemelerin yoğunluğunda olan değişim.

Bu ResimTe 1, 2 ve 3 adımları, (a)'daki 1, 2 ve 3 adımlarına karşılık gelmektedir.

Sıkıştırma işlemi tek veya çift etkili pres ile gerçekleştirilir. Tek etkili sıkıştırmada, üst zimbada hareket ve alt zimbada hareketsizlik istenir. Bu Resimde basıldığında kuvvet tek yönde uygulanır. Bu nedenle daha az gücün iletildiği orta kısımlarda daha az yoğunluk vardır. Maksimum yoğunluk, baskı tarafı olan üst zimbanın alt kısmında elde edilir. Bu durum, yani tekdüze olmayan yoğunluk dağılımı, tek etkili sıkıştırmanın bir dezavantajıdır. Bu nedenle bu tip sıkıştırma sadece ince parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Bu tip sıkıştırmanın kullanılması yüksek kalınlıktaki parçaların üretimi için uygun değildir (Sağırlı, 1990; Kumdalı, 2008).

Sıkıştırma işlemindeki bir diğer sıkıştırma tekniği çift etkili sıkıştırmadır. Bu tip sıkıştırmada, kalıp sabitken hem üst hem de alt zimbalar hareketlidir. Bu sıkıştırma genellikle yüksek kalınlıkta parçalar üretmek için kullanılır. Ancak bu sıkıştırma ile ince parçaların üretimi yapılabilmektedir. Çift etkili sıkıştırmanın avantajı, üretilen parçadaki yoğunluk dağılımının üniforma yakın olmasıdır.

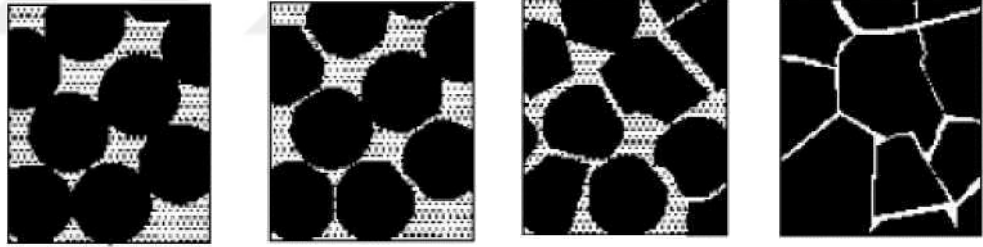
İzostatik Sıkıştırma: Bu sıkıştırmada parçaya her taraftan eşit olarak bir gaz veya sıvı bastırılır. Böylece her yöne eşit büzülme, eşit yoğunluk ve eşit mukavemet dağılımı sağlanır.

Sıcak Presleme: Toz presleme, presleme ve öğütme aynı anda yapılır. Bu yöntemle önceden hazırlanmış partiküller kalıplanarak toz haline getirilebilir (Sağırlı, 1990; Akın, 2006; Kumdalı, 2008).

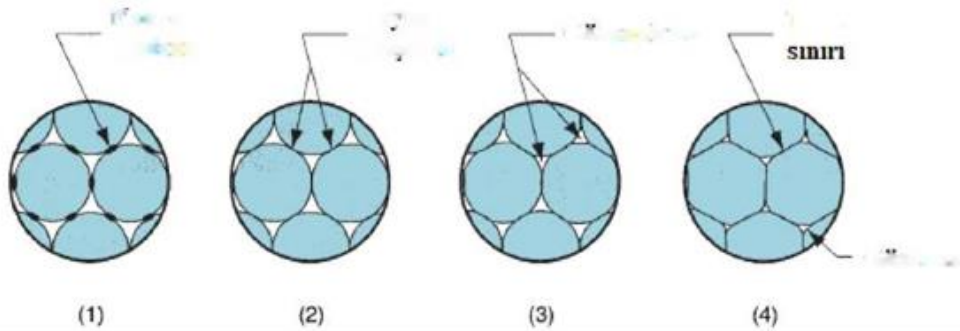
Sıkıştırma işlemleri yapılırken dikkate alınması gereken koşullardan biri de toz ile kalıp duvarı arasındaki sürtünmedir. Bunun nedeni, bu durumun toz üzerinde eşit olmayan bir basınç dağılımı oluşturması ve dolayısıyla üretilen parçanın homojen bir yoğunluk dağılımı gösterememesidir. Ayrıca sürtünme, işlenmemiş parçanın kalıptan kolayca çıkarılmasını engeller. Bu nedenle bu durumun önlenmesi, sürtünmenin azaltılması, sıkıştırmanın artırılması ve homojen bir yoğunluğun elde edilmesi için yağlayıcılar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan kayganlaştırıcılar çinko stearat, stearik asit ve asetondur. Ayrıca kalıp duvarının çizilmesini ve aşınmasını önlemek için çok sert olması gerekir. Bu nedenle ekstrüzyon sırasında genellikle çok sert metal veya karbür kalıplar kullanılır (Ekşi ve Kurt, 1999; German, 2007; Kumdalı, 2008).

3.4. Sinterleme

Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasına neden olan ve mukavemette önemli bir artış ve gelişmiş özellikler sağlayan bir ısıtma işlemidir. Sinterleme, atomların yüksek sıcaklıklarda difüzyonu yoluyla meydana gelir ve birbirleriyle temas halinde olan parçaların yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanmasına izin verir. Bu bağlantı, mikro yapı bakımından kontak parçaları arasındaki boyun vasıtasıyla gerçekleşir. Bu tasma, ham mukavemete göre mukavemeti artırır ve daha birçok faydalı özelliği geliştirir (Alman, 2007). Sinterleme, metal ve seramik tozlarından kontrol edilebilir yoğunluğa sahip malzeme ve parçalar üretmek için termal enerji kullanan bir ısıtma işlemidir (Kang, 2005). Bu işlemde belli bir sıcaklık ve süreden sonra önceden Resimlendirilmiş (kalıplanmış) tozlar arasındaki bağın kuvveti artmakta, böylece kalıplama sonrası elde edilen hammaddenin mukavemeti artmaktadır. Bu nedenle toz metalurjisi üretiminin en önemli aşamalarından biridir (Kumdalı, 2008). Resim 3.3., 3.4. ve 3.5., bkz. sinterleme aşamaları ve yapısal değişikliklerdir. Resim 3.3'de ise sinterleme mekanizmasının SEM ile görünüşü verilmiştir.

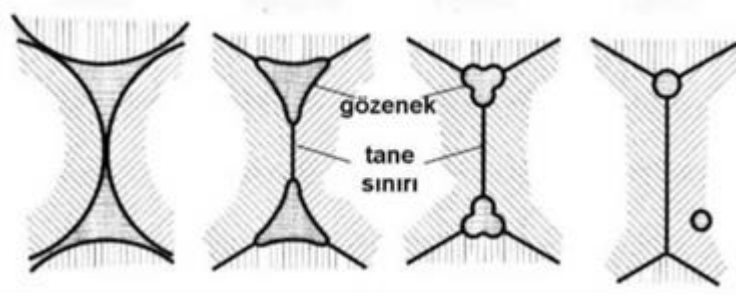


Resim 3.5. Katı hal sinterlemesinin aşamaları (Palacı, 2001).

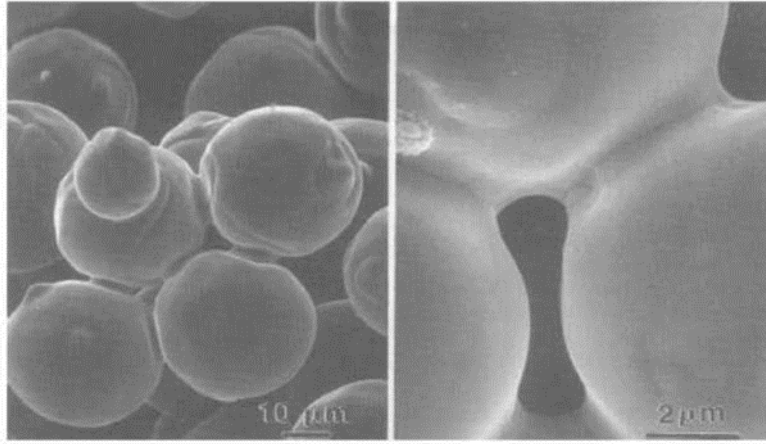


Resim 3.6. Mikroskobik ölçekte sinterleme (Groover, 2010).

(1) temas noktalarında partikül bağlanması başlar, (2) temas noktaları "boyunlara" dönüşür, (3) parçacıklar arasındaki gözeneklerin büyüklüğü azalır, (4) boyunlu bölgelerin yerinde parçacıklar arasında tane sınırları gelişir



Resim 3.7: Sinterleme aşamalarına göre gözenek yapısındaki değişim (ASM Handbook Vol. 7,1998)



Resim 3.8. Sinterleme mekanizmasının SEM ile görünüşü (Keçeli, 2007)

Sinterleme işlemi öncesinde tozlar sıkıştırılarak hammaddeye dönüştürülür ve belirli bir sıcaklıkta (genellikle $T > 0.5T_e$ (K)) ısıtılma tabi tutulur (Chen, 2000; Keçeli, 2007). Sinterlemenin temel amacı, sıkıştırma sonrası elde edilen boşluklardaki poroziteyi azaltmaktır (Upadhyaya, 1999). Sinterleme işlemi sırasında malzemede bazı değişiklikler meydana gelir. En büyük değişimler;

- Mukavemet ve elastiklik modülü
- Sertlik ve kırılma tokluğu
- Elektriksel ve ısı iletkenlik
- Ortalama gözenek boyutları ve şekli
- Sıvı ve gaz geçirgenliği
- Ortalama tane sayısı, boyutları ve şekli
- Tane boyutları ve şeklinin dağılımı
- Gözenek boyutları ve şeklinin dağılımı

- Kimyasal bileşim ve kristal yapı gibi özelliklerde meydana gelmektedir (Keçeli, 2007).

Elde edilen model testleri ve kalıplanmış tozların belirli sıcaklıklardaki davranışlarına göre;

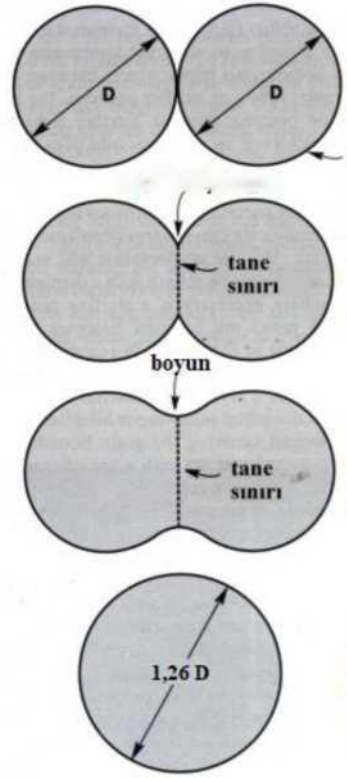
- Parçacıklar arasında temas etme alanının zamanla arttığı,
- Granüllerin keskin köşeleri ve temas noktaları yuvarlatılmıştır,
- Çoğu durumda, parçacık merkezleri birleşir ve toplam yoğunluk artar.
- Tanelerin birlikte büyüdüğüne ve gözenek büzülmesinin arttığına ve bunun da yapıdaki gözenek boyutunun küçülmesine neden olduğuna inanılmaktadır (Keçeli, 2007).

Resim 3.9 da sinterleme sırasında parçacıklar arası bağ gelişimi gösterilmiştir.

Döküm prosesleri temel olarak katı faz sinterleme ve sıvı faz sinterleme olarak ikiye ayrılır. Sinterleme sıcaklığı ana malzemenin erime sıcaklığından düşükse katı faz sinterleme, bileşenlerden en az biri erime sıcaklığının üzerindeyse sıvı faz sinterleme olarak adlandırılır (Kumdalı, 2008).

Başarılı bir sinterleme için sinterleme sıcaklığının doğru belirlenmesi çok önemlidir. Daha yüksek sıcaklıklar daha hızlı yoğunlaşmayı kolaylaştırır da pürüzlülüğü artırır. İrileşmedeki bir artış, gözeneklerin daha büyük tanelere çökmesine neden olarak anormal tane büyümesine neden olur. Bu durumun bir sonucu olarak konsantrasyon daha hızlı olmasına rağmen nihai yoğunluk hala sınırlıdır (Upadhyaya, 1999; Keçeli, 2007).

Özetle, sinterleme, toz metallerin üretiminde çok karmaşık bir adımdır ve birçok değişkene bağlıdır. Bu nedenle tüm bu değişkenler ve sonuçları dikkatli bir Resimde hesaplanmalıdır.



Resim 3.9. Sinterleme olurken nokta teması ile başlayan ve parçacıklar arası bağların gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli (German, 2007).

3.5. Son İşlemler

Toz metalurjisi ile üretilen parçaların sentezlenmesinden sonra isteğe bağlı olarak bazı bitim işlemleri yapılabilmektedir. Bu işlemler tipik olarak gözenek doldurma, yağdan arındırma, kalıplama ve/veya yeniden seyreltme, çapak alma, yüzey sertleştirme, yüzey kaplama, bitirme, ısıl işlem, montaj, talaş kaldırma ve yapıştırmayı içerir (Baksan ve Gürler, 2003; Akın, 2006; Kumdalı, 2008).

3.6. RHA (Rice Husk Ash / Pirinç Çeltiği Külü)

Pirinç kabuğu, tarım endüstrisinden kaynaklanan bir atıktır. Pirinç kabuğundaki ana inorganik elementin silika olduğu bulunmuştur. Pirinç kabuğu külü (RHA), dünya çapında geniş çapta incelenmiştir. Pirinç kabukları, pirinç tanelerinin öğütme işlemi sırasında tanelerden ayrılan sert koruyucu kaplamalardır. Pirinç kabuğu, pirinç üreten tüm ülkelerde bol miktarda bulunan bir atık malzemedir ve yaklaşık %30,5 oranında

organik karbon içerir. Pirinç kabuğu, pirincin ağırlığının yaklaşık %20'sini oluşturur ve bileşimi şu Resimdedir: selüloz (%50), lignin (%25,30), silis (%15,20) ve nem (%10,15). Pirinç kabuğunun yoğunluğu düşüktür ve 90-150 kg/m³ aralığındadır.



4. MALZEME ve YÖNTEM

4.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, öğütülmüş (30-40 μm) ve öğütülmemiş (100 μm) %0, %1, %2, %4 oranlarında RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitler geleneksel toz metalurjisi üretim yöntemiyle numune haline getirilmiştir.

Hazırlanan toz karışımları 100 MPa basınçta altında, 10 mm çapında silindirik kalıplarda kalıplanmıştır. Kalıplanan numuneler 575°C sıcaklıkta ve argon atmosfer ortamında 1 saat süre ile sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi bittikten sonra yoğunlukları hesaplanmış olup buna bağlı olarak gözenek oranları elde edilmiştir. Optik mikroskop ile kompozitlerin mikroyapısı ve gözenek yapısı karakterize edilmiştir. Kompozitlerden bakalite alınıp mikroyapı incelemeleri için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır ve oluşan kompozitlerin mikroyapıları incelenmiştir. Bu incelemelerden sonra dayanımları için ise Vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır. Belirtilen tüm deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Kompozit malzemenin üretilmesinde kullanılan alüminyum alaşım 7075 ısı iletkenlik, hafiflik ve düşük yoğunluktan dolayı tercih edilmiştir.

Aşağıdaki çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te AA7075'e ve RHA ilave malzemesine ait katalog değerleri verilmiştir. (Matweb Katalog)

Çizelge 4.1. AA7075 Fiziksel Özellikleri

AA7075 Fiziksel Özellikleri	
Yoğunluk	2.81 gr/cm ³
Erime Sıcaklığı	640°C
Elastisite Modülü	71 GPa
Elektrik İletkenliği	19-23 m/ Ω .mm ²
Isı İletkenliği	130-160 W/m.K
Özgül Isı Kapasitesi	870 J/kg-K
Sertlik (Vickers)	175 MPa
Çekme Mukavemeti	503 MPa

Çizelge 4.2. Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri

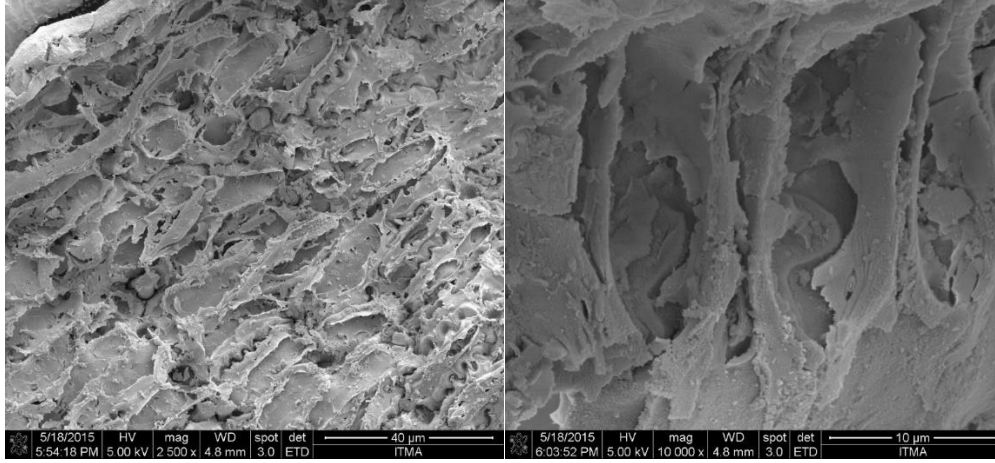
Pirinç Kabuğu Külünün Fiziksel Özellikleri	
Birim Hacim Ağırlığı	0.685 gr/cm ³
Özgül Ağırlığı	1.97 gr/cm ³

Çizelge 4.3. AA7075 Kimyasal Özellikleri

AA7075 Kimyasal Özellikleri	
Si	0.40
Fe	0.50
Cu	1.2-2.0
Mn	0.30
Mg	0.18-0.28
Cr	0.18-0.28
Ni	-
Zn	5.1-6.1
Ti	0.20
Ga	-
V	-
Diğer	0.15

Çizelge 4.4. Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri

Pirinç Kabuğu Külünün Kimyasal Özellikleri %'ce	
SiO ₂	86-97.3
CaO	0.20-1.5
MgO	0.12-1.96
Fe ₂ O ₃	eser-0.54
Na ₂ O	eser-1.75
K ₂ O	0.58-2.50
SO ₃	0.10-1.13
P ₂ O ₅	0.20-2.85
Cl	eser-0.42



Resim 4.1. Öğütülmemiş RHA Partiküllerinin SEM Görüntüsü

Çizelge 4.5'te elde edilen kompozitlerin çapı, boyu ve ağırlıkları verilmiştir. Verilen ağırlıklar kalıplanma sonrası için bulunan değerlerdir. Her bir kompozitin isimlendirilmesi parantez içinde belirtilmiş olup sonrasında o isimlendirmeler ile bahsedilecektir.

Çizelge 4.5. Kompozitlerin Özellikleri

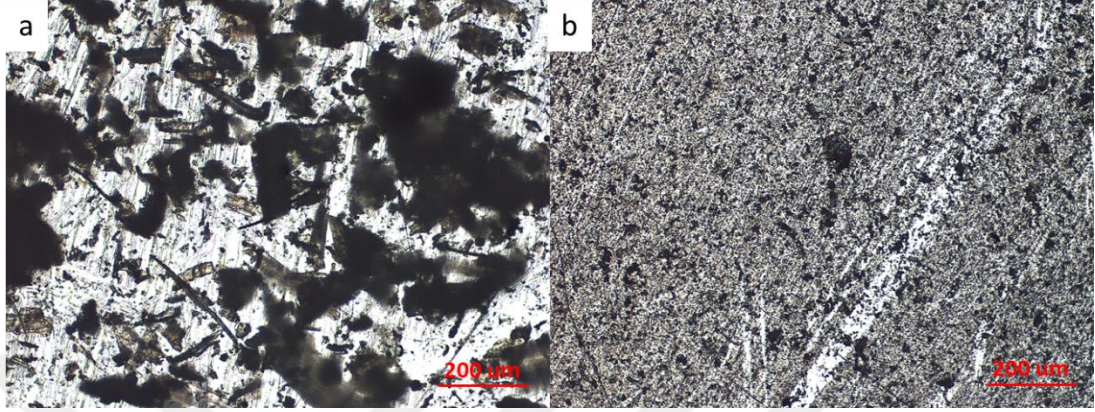
	Ağırlık (g)	Boy (mm)	Çap (mm)
İlavesiz (A)	1.7682	8.90	10
Öğütülmüş 1 (B)	2.4519	12.33	10
Öğütülmüş 2 (C)	2.4743	12.68	10
Öğütülmüş 4 (D)	2.4506	12.79	10
Öğütülmemiş 1 (E)	2.1038	11.35	10
Öğütülmemiş 2 (F)	2.4418	12.48	10
Öğütülmemiş 4 (G)	2.3761	13.21	10

4.2. Kompozit Üretimi

4.2.1. Tozların Öğütülmesi

Deneyisel çalışma için kullanılan AA7075 alaşımı için dört farklı (% 0, %1, %2 ve % 4 ağırlığında) oranda RHA eklenmiştir.

Bu RHA ilave malzemeleri Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü, Toz Metalurjisi Laboratuvarında Spex tipi karıştırıcıda 400 Rpm devir/dk'da 1/10 bilya oranı ile 2 saat karıştırılmıştır.



Resim 4.2. Parlatılmış çelik yüzeyi üzerine konan RHA partiküllerinin optik mikroskop görüntüleri a) Öğütülmemiş, b) Öğütülmüş

4.2.2. Tozların Karıştırılması

Toz haline getirilen RHA ilaveleri homojen olana kadar Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü, Toz Metalurjisi Laboratuvarında Turbula 3B karıştırıcı cihazda 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

4.2.3. Tozların Sıkıştırılması

Tozlar, karıştırma işleminden sonra pres makinasına aktarılması için çapı 10 mm olan kalıba dökülmüştür. Kalıba dökülmesiyle birlikte Resim 4.4'de verilen pres makinası içerisine konularak sıkıştırılmış ve Ø10 mm ebatlarında kompozit elde edilmiştir.

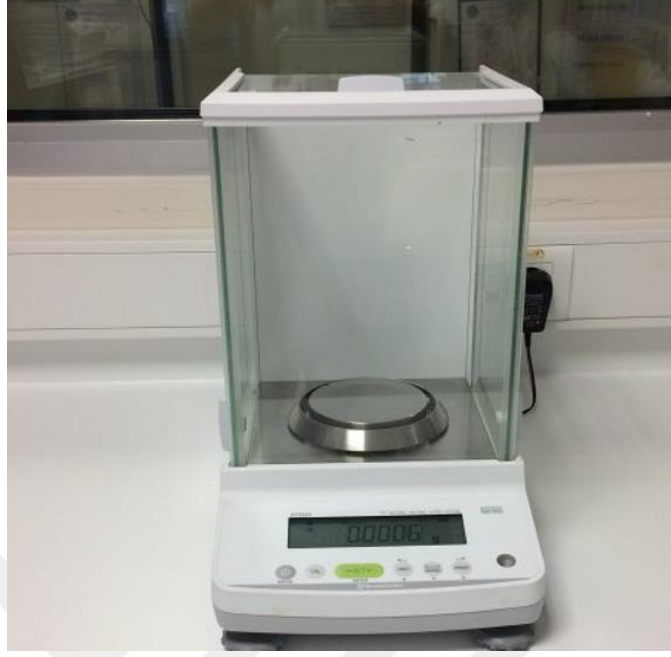


Resim 4.3. Kalıplama ile kompozit üretimi

4.2.4. Tozların Sinterlenmesi

Sıkıştırma işleminden sonra elde edilen kompozitler sinterleme işlemine tabii tutulmuştur. Belirtilen sinterleme işlemi 575°C sıcaklıkta ve argon atmosfer ortamında 1 saat sürmüştür. Sinterlemeden alınan kompozitler bakalite işlemine alınmış ve ardından parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra mikroyapıları incelenmek üzere SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

4.3. Gözenek ve Yoğunluk Hesaplaması



Resim 4.4. Hassas terazi

Öğütme, karıştırma, sinterleme işlemlerinden önce ve sonra tüm ağırlık ölçümleri yukarıda görseli verilmiş olan Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü, Toz Metalurjisi Laboratuvarında bulunan hassas terazi ile yapılmıştır.

Yoğunluğu ölçmek için Archimedes yöntemi kullanılmıştır.

Yukarıdaki bilgiler ve hacim hesabı yapılarak teorik yoğunlukları bulunmuştur.

$$\rho_{gerçek} = \frac{m}{v}$$

Bu denklemde:

$\rho_{gerçek}$ = kompozitin gerçek yoğunluğu,

m = kompozitin ağırlığı,

V = hacim

$$Hacim = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$\%gözeneklilik = \frac{\rho_{teorik} - \rho_{gerçek}}{\rho_{teorik}} \times 100$$

4.4. Sertlik Analizi

Sertlik, malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirençtir. Brinell sertlik ölçme yöntemi, üzerinde oluşturulan iz derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Rockwell sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzemeye batma miktarı esasına dayanan bir sertlik ölçme yöntemidir. Vickers sertlik ölçme yöntemi ise sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesi esasına dayanan bir ölçme yöntemidir.

Üretilmiş olan kompozitlerin sertlik ölçümleri Vickers (HV1) sertlik ölçme yöntemiyle yüzeyden üç nokta belirlenerek yapıldı. Bu incelemeler Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalografi Laboratuvarında bulunan Galileo marka cihazda yapıldı.

4.5. Optik Mikroskop Karakterizasyonu

Üretilmiş olan kompozitlerin gözenekli olan yapılarını incelemek için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Kompozitlerin gözenek ve sinterleme karakteristiklerinin incelendiği optik mikroskop incelemeleri Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Metalografi Laboratuvarında bulunan Leica marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

4.6. SEM ve EDS Analizleri

Kompozitlerin karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve kimyasal analizi için (EDS) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvarında bulunan EDS entegre cihazında gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.5. SEM ve EDS Cihazları

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Gözeneklilik ve Yoğunluk İncelemeleri

Geleneksel toz metalurjisi ile üretilen kompozitlerde formüllere göre hesaplamalar yapılarak gözeneklilik ölçülmüştür. Kullanılan malzemelerimiz sırasıyla İlavesiz AA7075 (A), Öğütülmüş %1 (B), %2 (C), %4 (D), Öğütülmemiş %1 (E), %2 (F), %4 (G) RHA ilavesi içeren AA 7075 matrisli kompozitler şeklindedir.

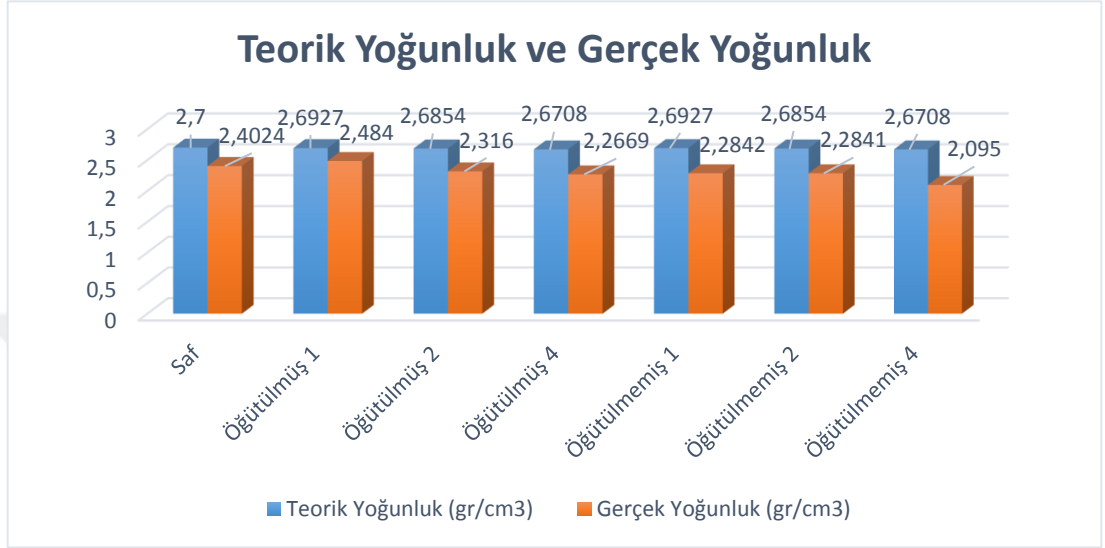
4.3 başlığı altında bulunan formüller ile gerekli hesaplamalar yapılmış olup Arşimet prensibine göre bulunan sonuçlar çizelge 5.1’de verilmiştir:

Çizelge 5.1. Kompozitlerin gözeneklilik, hacim, teorik ve gerçek yoğunluk sonuçları

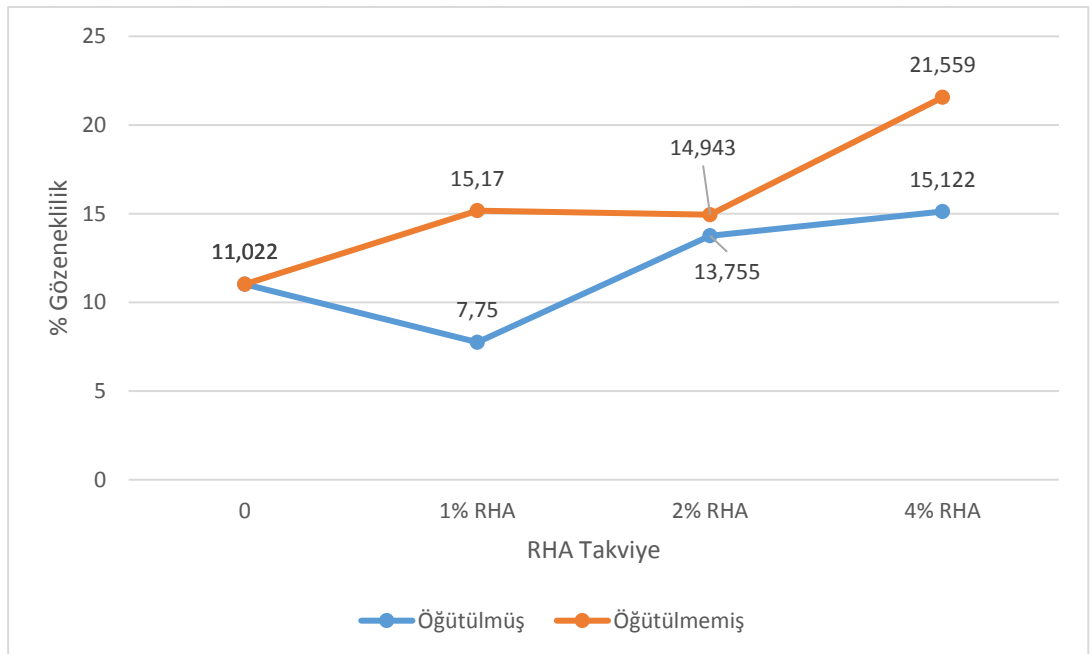
Numune Kodu	Hacim (cm ³)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneyisel/Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	%Gözeneklilik
A	0,736	2,7	2,4024	11,022
B	0,987	2,6927	2,484	7,750
C	1,068	2,6854	2,316	13,755
D	1,081	2,6708	2,2669	15,122
E	0,921	2,6927	2,2842	15,170
F	1,069	2,6854	2,2841	14,943
G	1,134	2,6708	2,095	21,559

Üretilen kompozitlerin gözeneklilik oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Gözeneklilik oranları incelendiğinde ilavesiz AA7075 kompozitinde gözenek oranı %11,022 öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerde sırasıyla %1, %2 ve %4 RHA ilave oranlarında %7,75, %13,755 ve 15,122 olarak hesaplanmıştır. Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin gözenek oranları sırasıyla %15,170, %14,943 ve %21,559 olarak ölçülmüştür. Öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerde artan ilave oranı ile gözeneklilik oranı artmıştır. Öğütülmemiş RHA ilaveli kompozitlerin gözenek oranı, öğütülmüş RHA ilaveli

kompozitlere göre her ilave oranında daha yüksek olmuştur. Bu durum öğütülmemiş RHA'ların gözenekli iç yapılarından kaynaklanmaktadır.



Resim 5.1. Hacimden-Kütle Yoğunluk Hesaplamalarıyla Bulunan Yoğunluk Değerleri

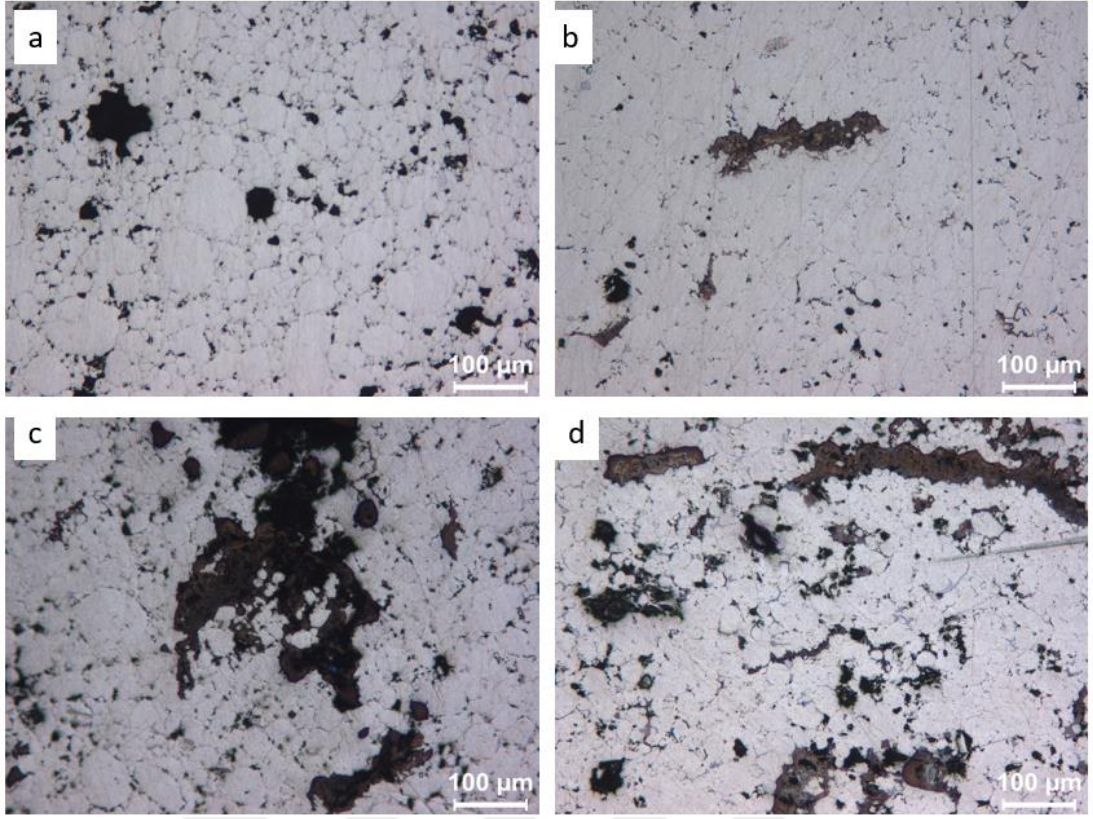


Resim 5.2. Arşimet Hesaplamalarıyla Bulunan Gözeneklilik Değerleri

Hesaplamalar yapıldığında çizelge 5.1’de bulunan değerlere ulaşılmıştır. Hacim olarak en yüksek değer Öğütülmemiş %4 RHA ilaveli AA7075’te ve en düşük değer ise saf alüminyumda gözlemlenmiştir. Teorik yoğunluk saf alüminyumda en fazla olup en düşük teorik yoğunluk Öğütülmüş ve Öğütülmemiş %4 RHA ilaveli AA7075 için hesaplanmıştır. Gerçek yoğunluk değerleri hesaplandığında ise en yüksek yoğunluk Öğütülmüş %1 RHA ilaveli AA7075 olup en düşük yoğunluk ise Öğütülmemiş %4 RHA ilaveli AA7075 te hesaplanmıştır. Tüm bu değerler göz önünde bulundurularak hesaplama yapıldığında gözeneklilik oranı en yüksek olan Öğütülmemiş %4 RHA ilaveli AA7075 olup en düşük olan ise Öğütülmüş %1 RHA ilaveli AA7075’tir.

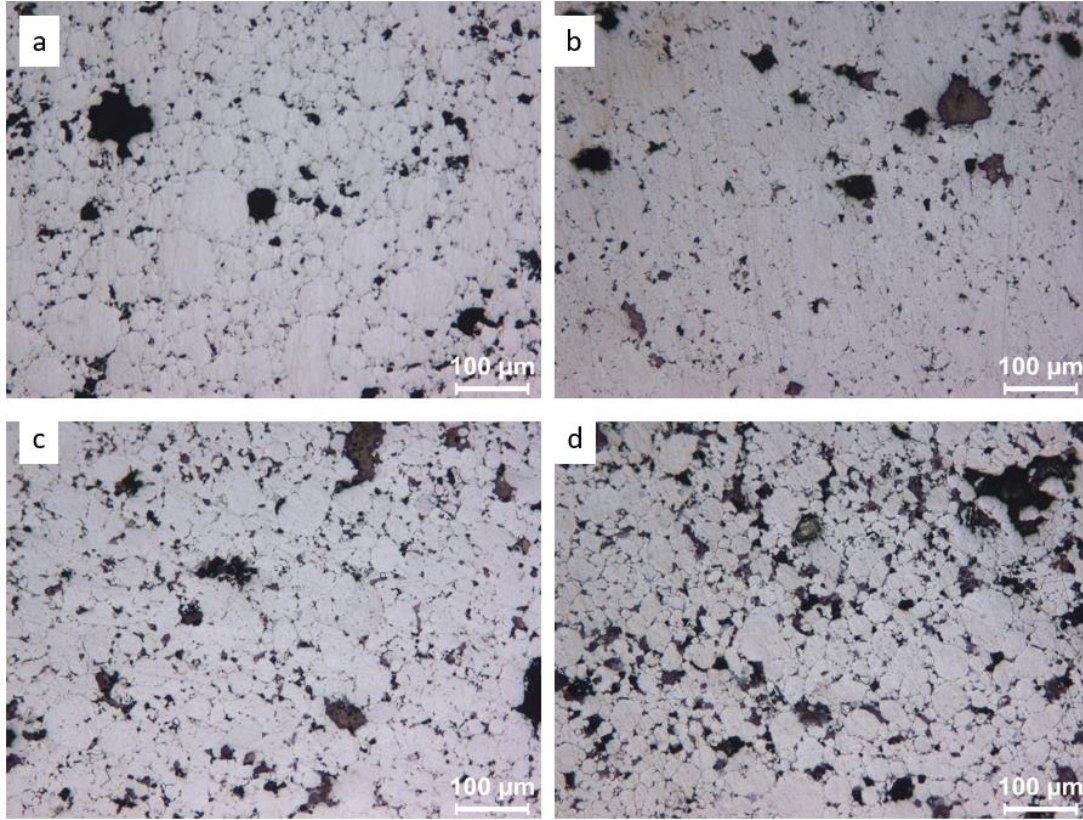
5.2. Optik Mikroskop İncelemeleri

Resim 5.3’de öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin 10x büyütmede optik mikroskop incelemeleri verilmiştir. İlavesiz AA75 kompozitin Resim 5-5.3.a’da verilen optik mikroskop görüntüsüne bakıldığında sinterleme bölgelerinde boyun vermenin olduğu ve sinterlemenin gerçekleştiği görülmektedir. Fakat siyah bölgeler olarak görünen gözeneklerinde ortaya çıktığı saptanmıştır. Resim 5.3.b’de verilen %1 RHA içeren kompozitin optik mikroskop görüntüsü incelendiğinde sinterleme sırasında AA7075 tozlarının etrafında sinterlendiği ve görüntüler incelendiğinde RHA tanesi ile de bağ kurdukları belirlenmiştir. RHA tanesi uzun ince yapısı ile görüntüde görülmektedir. Resim 5.3.c’de verilen %2 RHA içeren kompozitin optik mikroskop görüntüsü analiz edildiğinde ise lamel yapıdaki RHA tanelerinin bir araya geldiği bazı bölgelerde biriktiği ve homojen dağılmadıkları gözlemlenmiştir. RHA tanelerinin yapısı dolayısıyla tozların topaklanan ilave tanelerinin arasına giremediği ve bu alanlarda daha büyük gözeneklerin olduğu saptanmıştır. Resim 5.3.d’de verilen %4 RHA içeren kompozitin optik mikroskop görüntüsüne bakıldığında ilave dağılımının daha homojen olduğu ve mikroyapıdaki RHA sayısının arttığı görülmüştür.



Resim 5.3. Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA

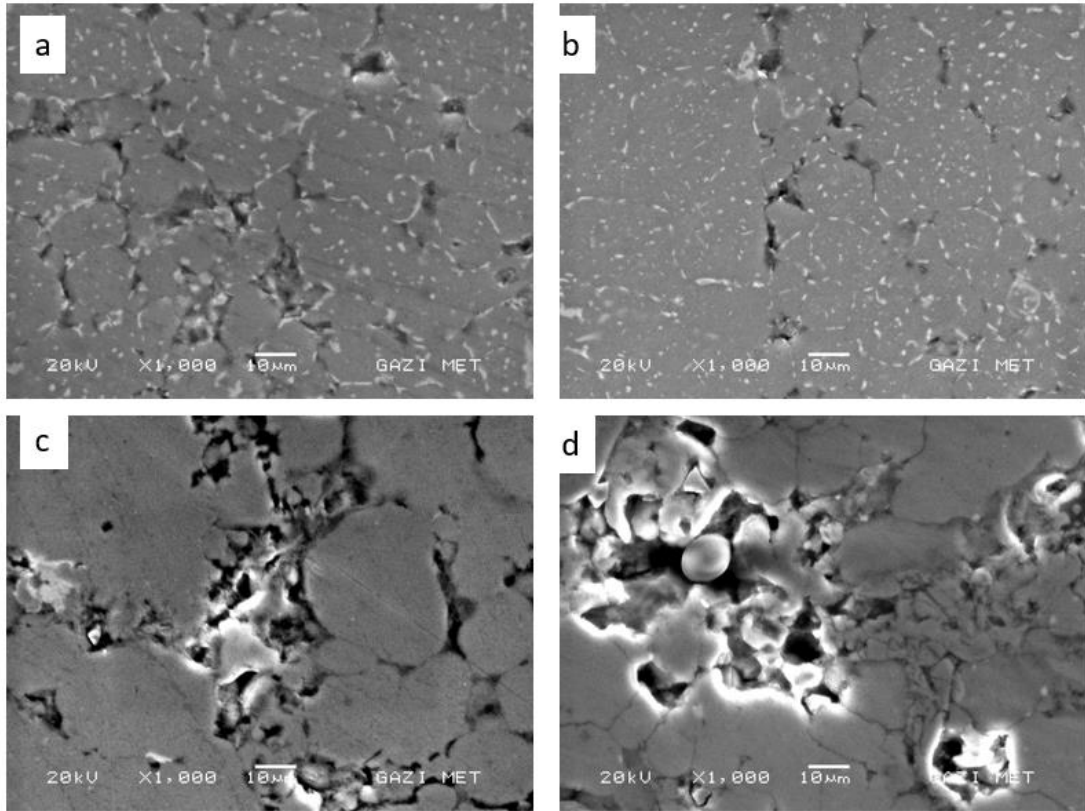
Öğütölmüş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntöleri Resim 5.4'de verilmiştir. Resim 5.4.a'da verilen %1 RHA içeren kompozitin mikroyapısı incelendiğinde öğütölmemiş RHA içeren kompozitlere göre RHA partiköllerinin boyunun azaldığı ve küreselleştiğı görölmektedir. RHA içerisinde görölen gözenekler burada görölmemektedir. Matris incelendiğinde de boyun verme bölgelerinin tam oluştuğı ve sinterlemenin gerçekleştiğı belirlenmiştir. Sırasıyla Resim 5.4.c ve d'de %2 ve %4 RHA içeren kompozitlerin mikroyapıları verilmiştir. Görüntöler incelendiğinde artan ilave oranı ile beraber RHA partiköllerinin mikroyapıda sayısının arttığı %4 RHA ilave oranında topaklanmalar meydana gelerek gözenekliliğinde arttığı görölmüşür.



Resim 5.4. Öğütölmüş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin optik mikroskop görüntöleri, a) İlavessiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA Resim

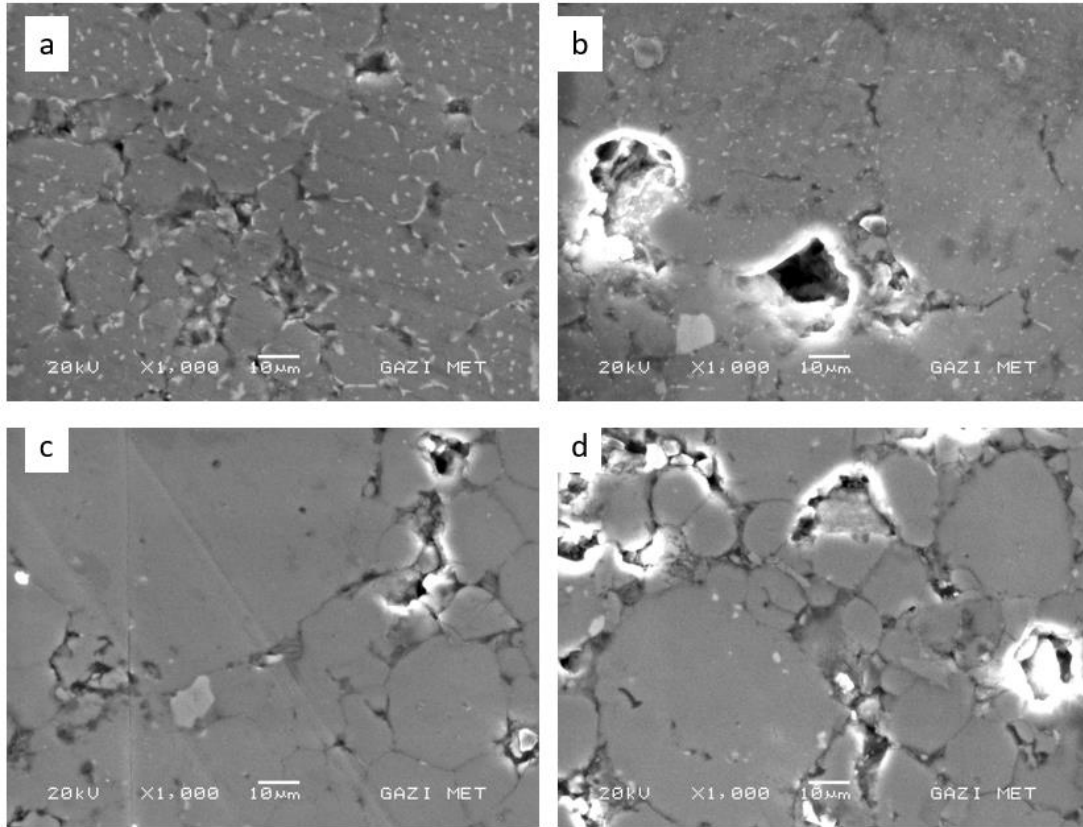
5.3. SEM Mikroskop İncelemeleri

Resim 5.5'te öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. 1000X büyütmede alınan SEM görüntüleri analiz edildiğinde Resim 5.5.a'da verilen ilavesiz AA7075 kompozitte sinterlemenin tam olarak olduğu fakat küresel taneler sinterlenirken etrafında gözeneklerinde oluştuğu görülmüştür. Resim 5.5.b'de verilen %1 RHA içeren kompozitin SEM görüntüsünde ise bazı bölgelerde tam yoğunlukta sinterleme olduğu görülmüştür, fakat diğer kısımlarda lamel ve gözenekli yapıda bulunan RHA tanelerinden oluşan gözeneklerin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Resim 5.5.c'de bu taneler daha belirgin ve bir arada görülmüş olup sinterlenen tanelerin ilave taneleri ile tam bağlanamadığı ve gözenekler meydana getirdiği saptanmıştır. İlave oranı arttıkça bu RHA tanelerinin yapısından dolayı oluşan gözeneklerin daha da büyüdüğü belirlenmiştir.



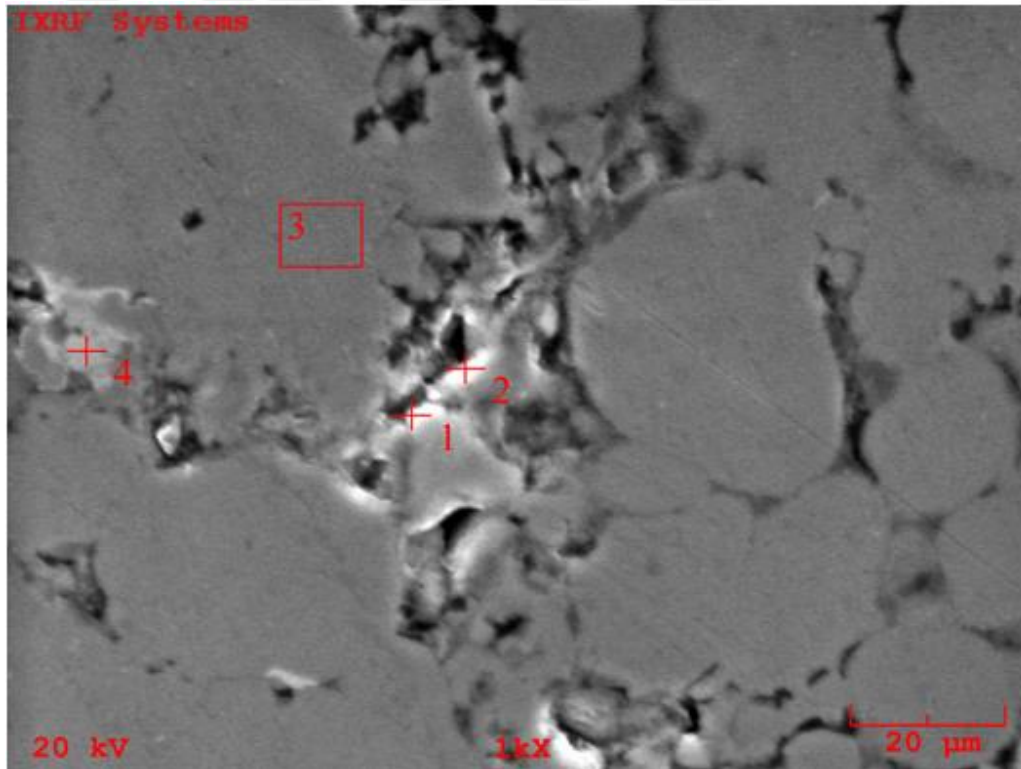
Resim 5.5. Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA

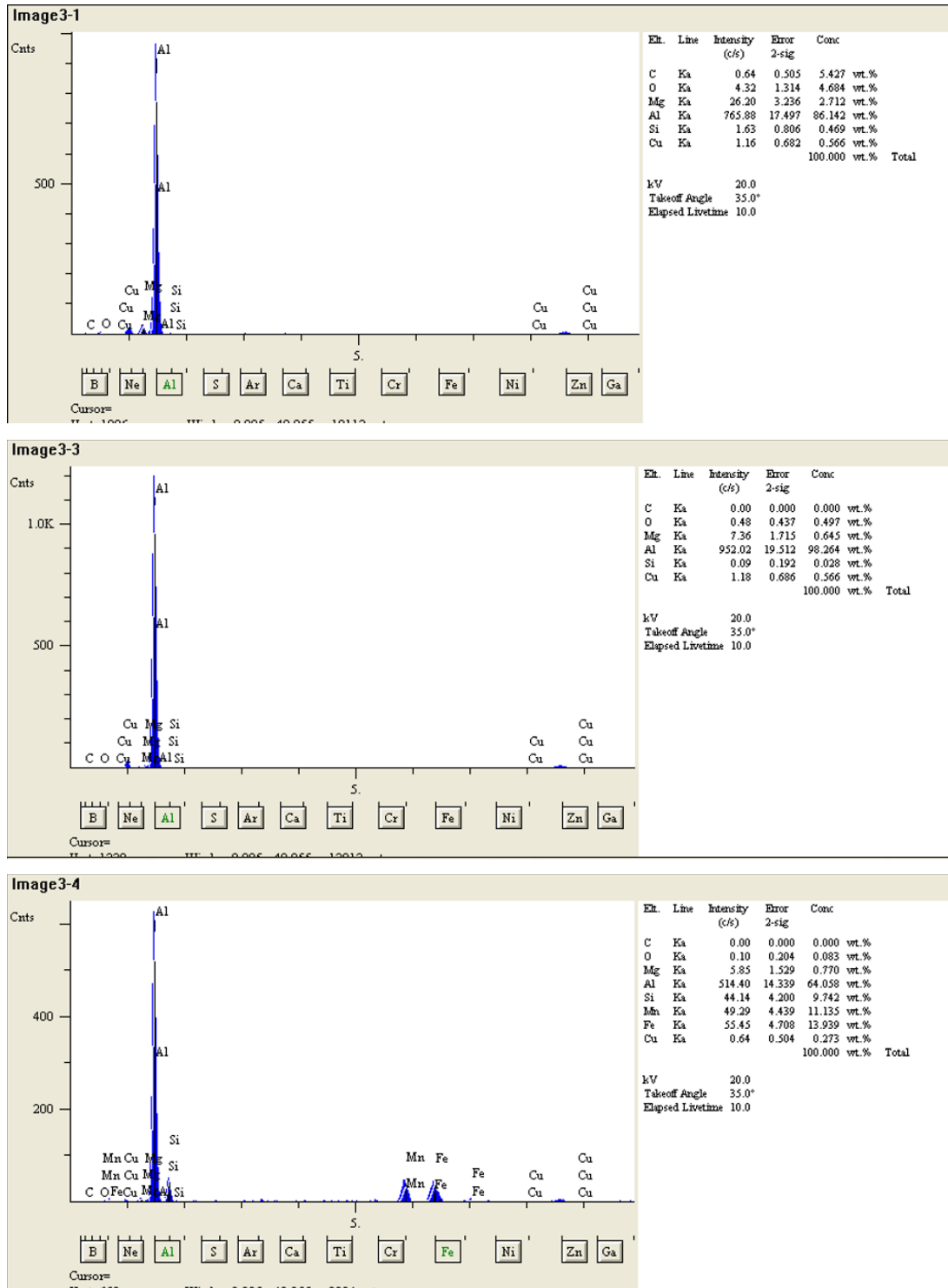
Resim 5.6'da öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin SEM analizleri verilmiştir. Resim 5.6.b'de verilen %1 RHA içeren kompozitin SEM analizine bakıldığında RHA tanelerinin öğütüldükten sonra boyutlarının kısaldığı daha net Resimde görülmüştür. Matris ile tanelerinin yaptığı bağın daha iyi olduğu belirlenmiştir. Sırasıyla %2 ve %4 RHA içeren ilavelerde ise tanelerden oluşan gözeneklerin sayısının arttığı ama matriste sinterlemenin daha iyi olduğu saptanmıştır.



Resim 5.6. Öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 Matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a) İlavesiz numune, b) %1 RHA, c) %2 RHA ve d) %4 RHA

Resim 5.7’de verilen %2 öğütülmemiş RHA içeren AA7075 matrisli kompozitin EDS analizlerine bakıldığında 1 noktasından alınan nokta EDS analizinde %80’e yakın oranda Al elementi saptanırken düşük oranlarda C, O ve Si elementlerine de rastlanmıştır. Bu bölgede daha önce RHA partikülünün bulunduğu fakat metalografi işlemleri sırasında matrise tam bağlanamadığı için düştüğü düşünülmektedir. Matristen alınan 3 numaralı alan analizinde ise AA7075’in kimyasal kompozisyonuna yakın element değerleri saptanmıştır. Matriste ayrıca farklı bir bölgeye rastlanmış bu bölgeden de EDS analizi alınmıştır. 4. Numaralı noktadan alınan analizde Fe ve Mn elementlerine rastlanmış fakat yüksek oranda Si ve O elementlerine de rastlanmıştır. Burada bulunan RHA tanesinin dışardan gelen Fe ve Mn alaşımını tuttuğu düşünülmektedir. Burada RHA tanesinin tam ıslanarak matristen kopmadığı görülmüştür.





Resim 5.7. %2 Öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitin EDS analizi

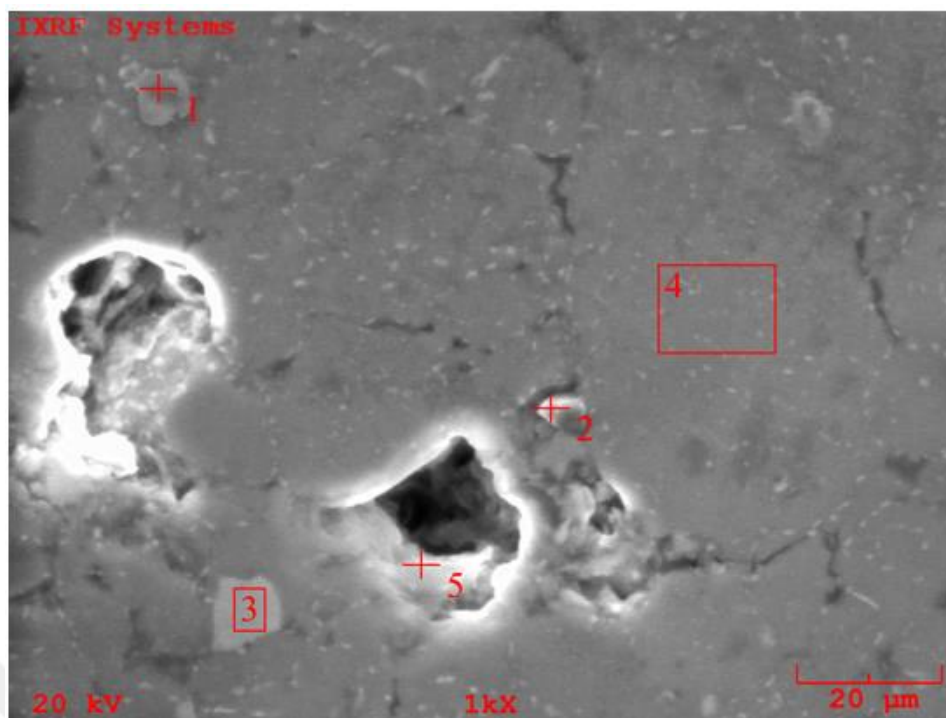


Image5-1

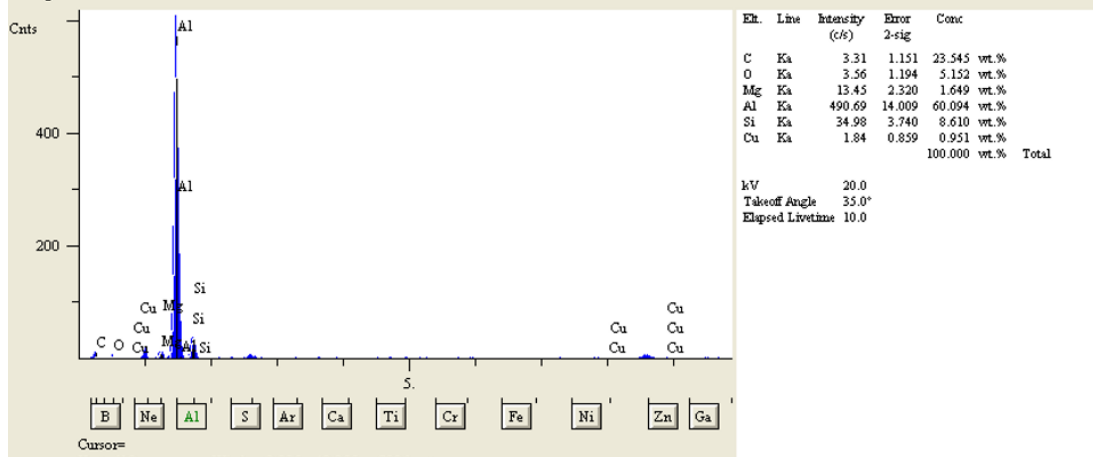
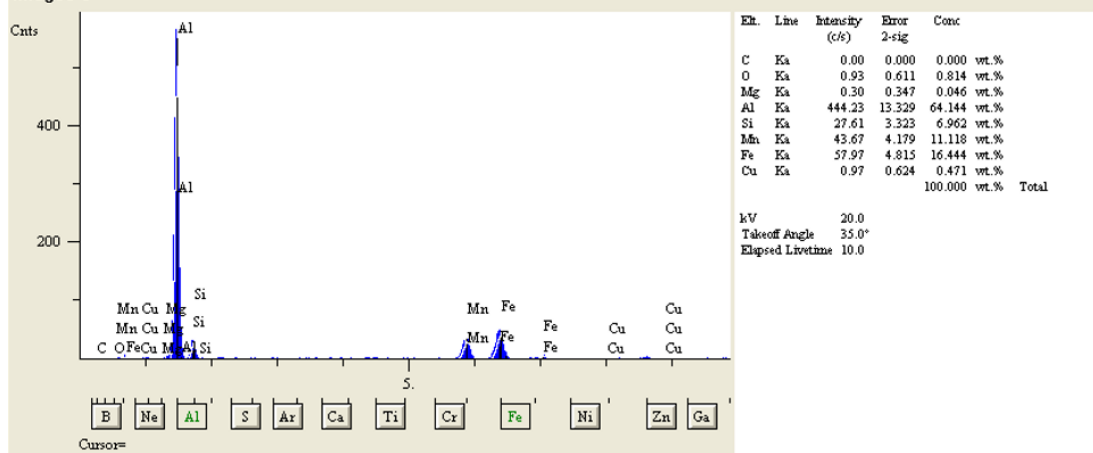
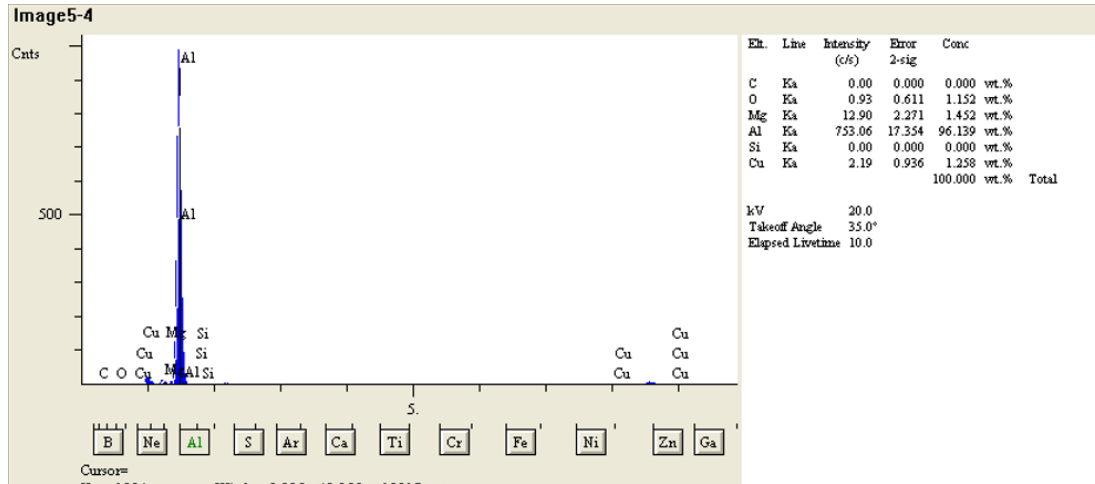


Image5-3



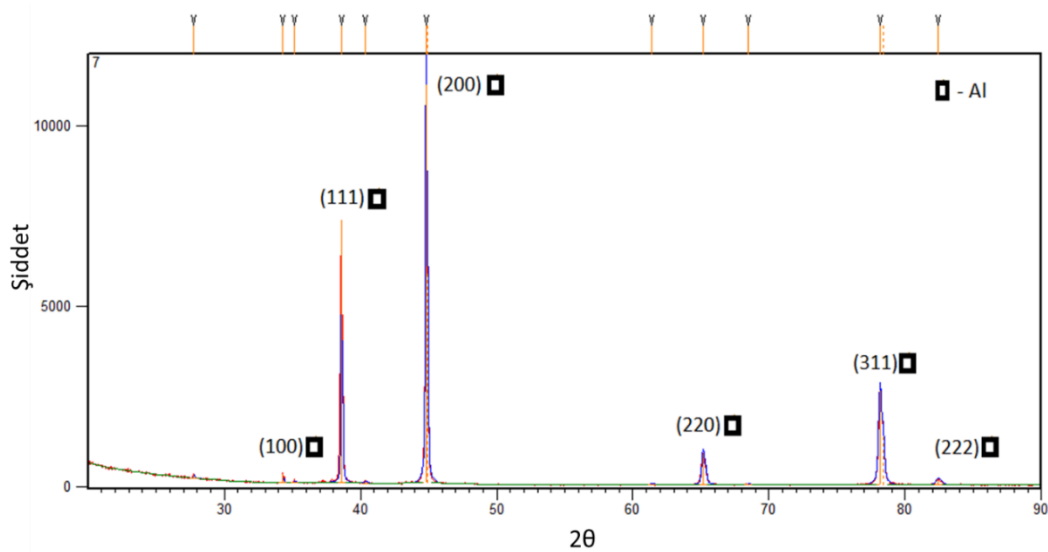


Resim 5.8. %1 Öğütülmüş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitin EDS analizi

5.4. XRD İncelemeleri

Resim 5.9’da verilen %2 öğütülmemiş RHA takviyeli AA 7075 matrisli kompozitin XRD analizi incelendiğinde matristen alınan XRD piklerinde sadece Al fazının pikleri saptanmıştır.

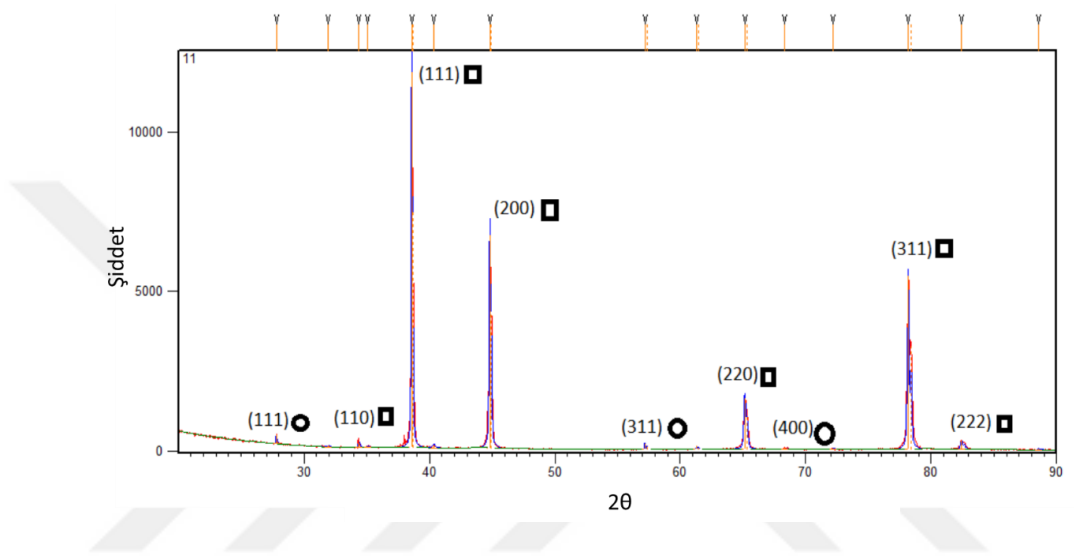
Bu pikler 2θ açılarına göre $35,17^\circ$ ’de (100), $38,59^\circ$ ’de (111), $44,81^\circ$ ’de (200), $65,15^\circ$ (220), $78,14^\circ$ ’de (311) ve $82,39^\circ$ ’de (222) düzlemlerinden elde edilmiştir. Matriste Si piklerinin oluşmamasının nedeni olarak öğütülmemiş RHA takviyesinin ıslanmasının zayıf olması, tane-matris arayüzeyinin belirgin bir Resimde oluşmaması gösterilebilir.



Resim 5.9. %2 Öğütülmemiş RHA ilaveli AA 7075 matrisli kompozitin XRD analizi

%2 öğütülmüş RHA takviyeli AA 7075 matrisli kompozitin XRD analizleri Resim 5.10'da verilmiştir. Analiz incelendiğinde aynı oranda öğütülmemiş RHA takviyesi içeren kompozitle aynı 2θ açılarında Al pikleri verildiği görülmüştür.

Fakat ek olarak bu numunede $27,80^\circ$ 'de (110), $57,33^\circ$ 'de (311) ve $72,16^\circ$ 'de (400) düzlemlerinde Si pikleri saptanmıştır. Öğütülmüş numunelerde takviye-matris arayüzeyinin daha kuvvetli bir Resimde olduğu SEM görüntülerinde de görülmüştür.



Resim 5.10. %2 Öğütülmüş RHA ilaveli AA-7075 matrisli kompozitin XRD analizi

5.5. Sertlik İncelemeleri

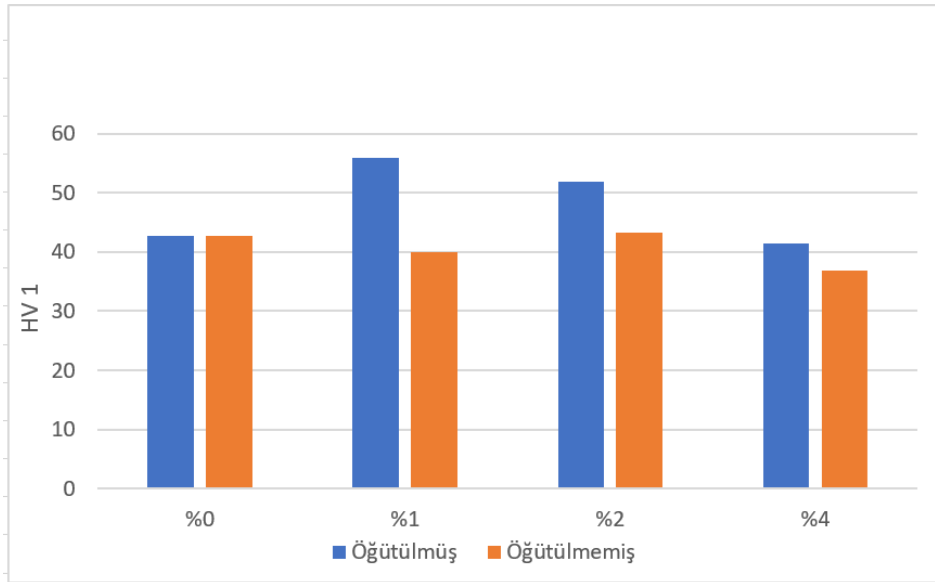
Resim 5.7 de öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA içeren kompozitlerin sertlik analizleri verilmiştir. Sertlik analizi 1 kg yük altında Vickers metodu ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerlerinin ortalaması alındığında ilavesiz kompozitin sertlik değeri $42,7 \text{ HV}$ olarak bulunmuştur. % 1 RHA içeren kompozitlerin sertlik değerleri incelendiğinde öğütülmüş RHA içeren kompozitin sertliğinde büyük bir artış meydana geldiği görülürken öğütülmemiş kompozitte sertlik değerinin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebinin homojen karışmayan tanelerin arasındaki gözeneklerden meydana geldiği düşünülmektedir. %2 RHA içeren kompozitlerin sertlik değerleri incelendiğinde ise öğütülmüş RHA içeren kompozitte sertliğin yüksek olduğu fakat %1 RHA içeren kompozitten daha düşük olduğu görülmüştür. Öğütülmemişte de topaklanma yüzünden gözenekliliğin arttığı düşünülmektedir. Fakat %1 RHA içeren kompozite

göre daha iyi karışmış olan %2 öğütülmemiş RHA içeren kompozitte ilavesiz kompozite göre az da olsa yükselme meydana geldiği belirlenmiştir. %4 RHA içeren kompozitlerde ise artan ilave oranına bağlı gözenekler yüzünden sertliğin ilavesiz kompozite göre düştüğü belirlenmiştir. Sertlik açısından en iyi performansı veren kompozitin %1 öğütülmüş RHA içeren kompozit olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.4. 1 Kompozitlerin Vickers (HV1) Sertlik Analizi Değerleri

No	A	B	C	D	E	F	G
1	42.5	52.9	54.7	36.9	36.5	31.4	36.9
2	42.4	56.6	49.6	43.2	42.5	40.1	36.7
3	43.2	58.5	51.1	44.5	40.7	58.6	36.9

Resim 5.11 incelendiğinde, öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA ilaveli kompozitler arasındaki fark fazlaştıkça kompozitin sertliği aynı oranda fazlalaşır. Yani bu durum göz önüne alınarak hesaplamalar yapıldığında en sert malzeme %1 RHA ilaveli kompozittir. En az sertliğe sahip olan kompozit ise ilavesiz AA7075 dışında, %4 RHA ilaveli kompozittir.



Resim 5.11. Öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA içeren kompozitlerin Vickers (HV1) sertlik değerleri

6. SONUÇLAR

Bulgular kısmında bulunan değerlerde;

- Öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerde artan ilave oranı ile gözeneklilik oranı artmıştır (Çizelge 5.1).
- Öğütülmemiş RHA ların gözenekli iç yapıları nedeniyle, ilaveli kompozitlerin gözenek oranı, öğütülmüş RHA ilaveli kompozitlere göre her ilave oranında daha yüksek olmuştur (Çizelge 5.1).
- Öğütülmemiş RHA ilaveli kompozitlerin optik mikroskop incelemelerinde artan ilave oranı ile ilavelerin dağılımında düzensizlikler meydana gelmiştir.
- RHA ilave partiküllerinin dağılımındaki düzensizliğin öğütülmüş RHA ilaveli kompozit kompozitlerde daha az olduğu belirlenmiştir.
- SEM incelemelerinde ilavesiz AA7075 kompozitinde ve öğütülmüş ve öğütülmemiş %1 RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerde Al-Fe-Mn-Si elementlerinden oluşan beyaz renkteki inklüzyonlar tespit edilmiştir. Artan ilave oranı ile her iki ilave grubunda bu inklüzyonlar kaybolmuştur.
- EDS incelemelerinde öğütülmüş ve öğütülmemiş RHA ilavelerle AA7075 matrisin arayüzeyinden alınan nokta analizlerinde öğütülmüş RHA ilavesi ile AA 7075 matrisi arasındaki difüzyonun öğütülmemiş RHA içerene göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Vickers sertlik analizlerinde en yüksek sertlik değeri %1 öğütülmüş RHA içeren kompozitte ölçülürken artan ilave oranı ile azalmıştır. Öğütülmemiş RHA içeren kompozitlerde en yüksek değer ise %2 RHA ilaveli kompozitte ölçülmüştür.
- XRD analizleri incelendiğinde %2 RHA takviyeli kompozitlerde öğütülmüş takviye elemanları kullanılan numunelerde Si difüzyonunun, öğütülmemiş numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yapılan tez çalışması sonuçları incelendiğinde öneriler;

- Farklı sinterleme sıcaklıkları ve farklı sinterleme süreleri de denenerek mekanik ve yapısal özellikleri incelenebilir.

- RHA ilavesinin öğütme işlemi parametreleri değiştirilerek, bu parametrelere göre kompozit özelliklerine etkisi üzerine çalışmalar genişletilebilir.
- Üretilen kompozit kompozitlere ısıt işlemlere uygulanarak, ısıt işlem parametrelerinin RHA ilaveli AA7075 matrisli kompozitlerin özellikleri üzerine etkileri çalışılabilir.



KAYNAKÇA

- Akbarpour, M. R., Najafi, M., Alipour, S. ve Kim, H. S., 2019, Hardness, wear and
- Akın, G. (2006). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür İlaveli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alaşımına Ti ve B₄C İlavesinin Korozyon ve Elektrik İletkenliğine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*.
- ASM Handbook: Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications. (1998). Ohio: ASM International.
- Ay, H., Özyürek, D., Yıldırım, M., ve Bostan, B. (2016). The Effects of B₄C Amount on Hardness and Wear Behaviours of 7075-B₄C Composites Produced by Powder Metallurgy Method. *Acta Physica Polonica, A.*, 129(4), 565-568.
- Azimi, A., Shokuhfar, A. ve Nejadseyfi, O., (2015), Mechanically alloyed Al7075-TiC nanocomposite: Powder processing, consolidation and mechanical strength, *Materials & Design*, 66, 137-141.
- Azimi, A., Shokuhfar, A., Nejadseyfi, O., Fallahdoost, H. ve Salehi, S., (2015), Optimizing consolidation behavior of Al 7068-TiC nanocomposites using Taguchi statistical analysis, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (8), 2499-2508.
- Baksan, B., Gürler, R. (2003). Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması. Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü, Eskişehir.
- Bulut, M.(2014), Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi Ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014
- Çalın, R. (2006), Magnezya Parçacık İlaveli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006
- Callister, W. D. ve Rethwisch, D. G., (2011), Materials Science and Engineering, New Jersey, Wiley, p.
- Campell, F.C. (2010), “Adhesive Bonding”, Structural Composite Materials, ASM International 2th, USA, 306-325, 2010
- Çanakçı, A., ve Varol, T. (2012). Production and microstructure of AA2024-B₄C metal matrix composites by mechanical alloying method. *Usak University Journal of Material Sciences*, 1(1), 15-22.

Çelik, Y. H., ve Seçilmiş, K. (2017). Investigation of wear behaviours of Al matrix composites reinforced with different B₄C rate produced by powder metallurgy method. *Advanced Powder Technology*, 28(9), 2218-2224.

Chandrashekar, A., Ajaykumar, B. S. ve Reddappa, H. N., (2018), Mechanical, Structural and Corrosion behaviour of AlMg4.5/Nano Al₂O₃ Metal Matrix Composites, *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 2811-2817.

characterization of Al-Ni-SiC metal matrix composites. In *AIP Conference Proceedings* (Vol.

Chen, I. W. (2000). Low temperature processing and kinetics of ceramics and ceramic matrix composites with large interfacial areas. Department of Energy, Basic Energy Sciences. Final Technical Report, Philadelphia, USA.

Chung, D. D. L., (2010), *Composite Materials: Science and Applications*, New York, Springer, p.

Clyne, T. W. (2001). Metal Matrix Composites: Matrices and Processing. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Composites: MMC, CMC, PMC (A. Mortensen, Ed.), New York: Elsevier, 1-14.

Composite Material Production Technology, *Materials Today: Proceedings*, 11, 31-35.

da Silva, C. C., Volpato, G. M., Fredel, M. C. ve Tetzlaff, U., (2019), Low-pressure processing and microstructural evaluation of unidirectional carbon fiber- reinforced aluminum-nickel matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 269, 10-15.

Ekşi, A., ve Kurt, A. (1999). Metal ve Seramik Tozların Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi. Ankara ODTÜ, II. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 557-565.

Erek, H. B., (2016), Toz Metarlurjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum

Fu, Y., Chen, X., Zhang, B., Gong, Y., Zhang, H. ve Li, H., 2018, Fabrication of

German, R. M. (2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri: İşlemler, Malzemeler, Ürünler, Özellikler ve Uygulamalar. Ankara: Türk Toz Metalurjisi Derneği.

Ghiotti, A., Simonetto, E. ve Bruschi, S., (2019), Influence of process parameters on tribological behaviour of AA7075 in hot stamping, *Wear*, 426-427, 348-356.

Gorbatyuk, S., Pashkov, A. ve Chichenev, N., (2019), Improved Copper-Molybdenum

Groover, M. P. (2010). Particulate Processing of Metals and Ceramics: Powder Metallurgy. In *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 344-368.

Güleryüz, L. F., Ozan, S., Uzunsoy, D., ve Ipek, R. (2012). An investigation of the microstructure and mechanical properties of B₄C reinforced PM magnesium matrix composites. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 51(7-8), 456-462

Huang, L., Wang, L., Qian, M. ve Zou, J., 2017, High tensile-strength and ductile

Huda, D., El Baradie, M. A., ve Hashmi, M. S. J. (1993). Metal-matrix composites: Manufacturing aspects. Part I. *Journal of materials processing technology*, 37(1-4), 513-528.

Işık, E. (2014). SiC İlaveli Al-12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Jeevan, V., Rao, C. S. P., ve Selvaraj, N. (2012). Compaction, sintering and mechanical properties of Al-SiCp composites. International Journal of Mechanical Engineering and Technology., 3(3), 565-573.

Jun, D., Yao-hui, L., Si-rong, Y., ve Wen-fang, L. (2004). Dry sliding friction and wear properties of Al₂O₃ and carbon short fibres reinforced Al-12Si alloy hybrid composites. Wear, 257(9-10), 930-940.

Kahvecioğlu, Y.E. (2016), Yapıştırma Bağlantılı Kompozit Malzemelerin Mekanik Performansı Üzerine Mekanik Bağlamanın Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2016

Kalaycıoğlu, A. S. (2010). SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kang, S. J. L. (2005). Sintering: Densification, Grain Growth, and Microstructure. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Karabulut, H. (2011), Toz Metalurjisi Yöntemiyle Al₂O₃, SiC, B₄C İlaveli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011

Karaman, Y. (2011). Toz Metalurjisi Yöntemi ile MgO İlaveli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Karamış, M. B., Cerit, A. A., Selçuk, B., ve Nair, F. (2012). The effects of different ceramics size and volume fraction on wear behavior of Al matrix composites (for automobile cam material). Wear, 289, 73-81.

Keçeli, Z. (2007). Characterization Investigations of Powder and Sintered Al-SiC and Al-B₄C Composites Developed via Mechanical Alloying. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kevenlik, O. F. (2013). Toz Metalurjisi Yöntemi ile SiC İlaveli Al 2014 Esaslı Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Kumdalı, F. (2008). Alüminyum Matrisli B₄C İlaveli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Li, J., Ni, J., Huang, B., Chen, J., Xu, Z., Liao, S., Wang, C. ve Luo, W., (2019), Longterm ball milling and hot pressing of in-situ nanoscale tungsten carbides reinforced copper composite and its characterization, *Materials Characterization*, 152, 134-140.

Liu, Y. B., Lim, S. C., Lu, L., ve Lai, M. O. (1994). Recent development in the fabrication of metal matrix-particulate composites using powder metallurgy techniques. Journal of Materials Science, 29(8).

Nazik, C. (2013), Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık İlaveli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2013

Nazik, C., (2013), Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık İlaveli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*

Newkirk, J. W. ve Kohser, R. A. (2004). Designing with Powder Metallurgy Alloys. In Handbook of Mechanical Alloy Design (G. E. Totten, L. Xie, K. Funatani, Eds.). New York: Marcel Dekker, 641-667.

Önal, M. (2010), AUO₃ ve TiC İçeren Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2010

Palacı, Y. (2001). Alüminanın Özelliklerine, Resimlendirme Yönteminin, Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Prabha, N. R. ve Dhas, J. E. R., (2017), Effect of Tic and Mos₂ Reinforced Aluminium Metal Matrix Composites on Microstructure and Thermogravimetric Analysis, *Rasayan Journal of Chemistry*, 30 (3).

Purohit, R., Rana, R. S., ve Verma, C. S. (2012). Fabrication of Al-SiCp composites through powder metallurgy process and testing of properties. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 420-437.

Raja, T., ve Sahu, O. P. (2014). Effects on Microstructure and Hardness of Al-B₄C Metal Matrix Composite Fabricated through Powder Metallurgy. *International Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 1-5.

Ravi Kumar, V., Dileep, B. P., ve Vital, H. R. (2017, July). Tribological and mechanical1859, No. 1, p. 020020). AIP Publishing.

Sağırlı, A. (1990). Mekanik Eksantrik Toz Metal Presi ve Toz Metal Teknolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Saraç, H. (2012), Metal Ve Kompozit Parçaların Yapıştırılmasında Yapılma Performansını Etkileyen Parametrelerin Deneyisel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2012

Selvakumar, V., Muruganandam, S., ve Senthilkumar, N. (2017). Evaluation of mechanical and tribological behavior of Al-4% Cu-x% SiC composites prepared through powder metallurgy technique. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70(5), 1305-1315.

Selvam, D. R., Dinaharan, I., Philip, S. V. ve Mashinini, P. M., (2018), Microstructure and mechanical characterization of in situ synthesized AA6061/(TiB₂ +Al₂O₃) hybrid aluminum matrix composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 529-535.

Şenel, M. C., (2018), Grafen-Seramik Tanecik İlaveli Alüminyum Matrisli Hibrit Kompozitlerin Toz Metalurjisi Metoduyla Üretimi, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*, Samsun.

Şimşek, İ., (2017), Toz Metalurjisi ile Üretilen Titanyum Alaşımı Biomalzemelerin Korozyon ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi

Somunkıran, İ. ve Çelik, H., (2007), T/M Yöntemiyle Üretilmiş Co Esaslı Co-Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Cr Oranının Etkisi, *Science and Engineering Journal of Fırat University*, 19 (2).

Sönmez, M. (2009), Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009

Tan, M. J., ve Zhang, X. (1998). Powder metal matrix composites: selection and processing. *Materials Science and Engineering: A*, 244(1), 80-85.

Thümmeler, F., ve Oberacker, R. (1993). *Introduction to Powder Metallurgy*. London: The Institute of Materials

Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N., ve Gulluoglu, A. N. (2009). Processing and mechanical properties of B4C reinforced Al matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 482(1-2), 516-521.

Upadhyaya, G. S. (1999). *Sintered Metallic and Ceramic Materials: Preparation, Properties, and Applications*. New York: Wiley.

Venkatesh, B., ve Harish, B. (2015). Mechanical properties of metal matrix composites (Al/SiCp) particles produced by powder metallurgy. *International journal of engineering research and general science*, 3(1), 1277-84.

Wu, C., Shi, R., Zhang, J., Luo, G., Shen, Q., Gan, Z., Liu, J. ve Zhang, L., (2019), Synthesis of functionally graded AA7075-B4C composite with multi-level gradient structure, *Ceramics International*, 45 (6), 7761-7766.

Yang, B., Gan, G., Yang, L., Sun, M., Zhang, H. ve Fang, Z. Z., (2011), Microstructural characterization and wear behavior of in situ TiC/7075 composites synthesized by displacement reactions and spray forming, *Materials Science and Engineering: A*, 528 (18), 5649-5655.

Yıldırım, M., (2016), Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile AA7075-Karbon Nanotüp İlaveli Metal Matrisli Kompozit Üretimi Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi*.

Yıldızhan, H. (2008), “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-4, 2008

Yunus, D.E. (2011), Karbon Fiber Destekli Polimer Kompozit Pasarella Tasarım ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslıhan CEBECİ

Doğum Tarihi :

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans :

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurumlar ve Yıllar :

Yayınlanan Bildiriler:

- İcomnas II. Uluslararası Multidisipliner Doğa Bilimleri ve Mühendislik Kongresi