



**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN
UÇUCU KÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Simge SOLAKOĞLU

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Musa YILDIRIM**

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN UÇUCU KÜL TAKVİYELİ
ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Simge SOLAKOĞLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Musa YILDIRIM**

KARABÜK

Ocak 2021

Simge SOLAKOĞLU tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN UÇUCU KÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Musa YILDIRIM

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğretim Üyesi Hatice AKGÜL EVLEN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Ali KALYON (YÜ)

.....

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Musa YILDIRIM (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Simge SOLAKOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN UÇUCU KÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Simge SOLAKOĞLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Musa YILDIRIM

Ocak 2021 83 sayfa

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi, karakterizasyonu ve aşınma davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında ticari olarak temin edilen A356 Alüminyum alaşımına ağırlıkça dört farklı oranda (%0,5, %1, %2 ve %4) uçucu kül ilave edilerek 1 saat süre ile 400 dev/dk dönme hızında mekanik alaşımlama/mekanik öğütme yöntemiyle kompozit tozlar üretilmiştir. Üretilen bu kompozit tozlar ve ilavesiz matris malzemesi 800 MPa basınç altında preslenerek Ø 12x7 mm boyutlarında ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilen numuneler 590 °C'de 1 saat vakum altında sinterlenerek kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin metalografik işlemler sonrası mikro yapı incelemeleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Ayrıca takviye fazının kimyasal bileşiminin tespiti için

XRD ve XRF incelemeleri yapılmıştır. Üretilen kompozitlerin sertlik yoğunluk ölçümleri yapılarak numuneler karakterize edilmiştir. Aşınma davranışlarının tespiti amacıyla üretilen numuneler pin-on disk tipi aşınma cihazında 1 m/s kayma hızda 30 N yük altında dört farklı kayma mesafesi kullanılarak (500-2000m) aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda %2 ye kadar uçucu kül miktarı arttıkça sertlik değerinin arttığı ölçülmüştür. En yüksek sertlik değeri %2 uçucu kül takviye ilave edilen kompozitte ölçülürken %2 den sonra ilave edilen kompozitde sertlik düşüşü meydana gelmiştir. Matris malzemesine göre %2 uçucu kül ilave edilen kompozitin sertlik değeri %21,2 oranında artmıştır. Aşınma testleri sonucunda da en düşük ağırlık kaybı %2 uçucu kül ilave edilen kompozitlerde görülürken en yüksek ağırlık kaybı %4 uçucu kül ilave edilen kompozitte görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Alüminyum matrisli kompozit, uçucu kül, aşınma davranışı.

Bilim Kodu: 91417

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE ABRASION BEHAVIOR OF FLY ASH REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD

Simge SOLAKOĞLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor

Assist. Prof. Dr. Musa YILDIRIM

January 2021 83 pages

In this study, the production, characterization, and wear behaviour of fly ash reinforced aluminium matrix composites by powder metallurgy method were investigated. Within the scope of the study, composite powders were produced by mechanical alloying / mechanical milling method by adding fly ash in four different amounts (0.5%, 1%, 2%, and 4%) to commercially supplied A356 aluminium alloy. These composite powders and matrix powders were pre-formed with cold press under 800 MPa in Ø 12x7 mm dimensions. The pre-formed samples were sintered at 590 °C under vacuum for 1 hour and composites were produced. Microstructure examinations of the produced samples were carried out after metallographic processes with optical microscope and scanning electron microscope. In addition, XRD and XRF examinations were carried out to determine the chemical composition of the reinforcement phase. The samples were characterized by measuring the hardness

Values and density of the produced composites. To determine wear behaviours, produced samples were carried out using four different sliding distances (500-2000m) under 30 N load at 1 m /s sliding speed in a pin-on disc type wear device. As a result of the studies, the hardness values were increased by increasing to fly ash content up to 2%, the highest hardness values were measured in the composite with 2% fly ash reinforcement, while hardness values were decreased in the composites added after 2%. As a result of the wear tests, the lowest weight loss was observed in the composites with 2% fly ash added, while the highest weight loss was observed in the composite with 4% fly ash added.

Key Words: Aluminum matrix composite, fly ash, wear behavior.

Science Code: 91417

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Musa YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kompozit numunelerin üretilmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni her konuda destekleyen sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	5
KOMPOZİT MALZEMELER.....	5
2.1. TAKVİYE ÇEŞİDİNE GÖRE KOMPOZİT TÜRLERİ.....	7
2.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	7
2.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler.....	7
2.1.3. Tabakalı Kompozitler.....	8
2.1.4. Karma Kompozitler.....	8
2.2. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT TÜRLERİ.....	9
2.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	9
2.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler.....	9
2.2.3. Metal Matrisli Kompozitler.....	10
2.2.3.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları.....	11
2.2.3.2. Metal Matris Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	11
2.3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI.....	14

	<u>Sayfa</u>
2.3.1. Alümina	14
2.3.2. Silisyum karbür.....	14
2.3.3. Bor karbür.....	15
2.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI	16
BÖLÜM 3	19
ALÜMİNYUM	19
3.1. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ.....	19
3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	20
3.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları	20
3.2.1.1 Alüminyum Bakır Alaşımları (2XXX Serisi).....	21
3.2.1.2. Alüminyum Mangan Alaşımları (3XXX Serisi).....	22
3.2.1.3. Alüminyum Silisyum Alaşımları (4xxx Serisi).....	22
3.2.1.4. Alüminyum Magnezyum Alaşımları (5xxx Serisi).....	22
3.2.1.5 Alüminyum Magnezyum Silisyum Alaşımları (6xxx Serisi).....	22
3.2.1.6 Alüminyum Çinko Alaşımları (7xxx Serisi).....	22
3.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımları	23
3.2.2.1 Alüminyum Bakır Alaşımları (2xx.x Serisi).....	24
3.2.2.2 Alüminyum Silisyum Magnezyum Alaşımları (3xx.x Serisi).....	24
3.2.2.3 Alüminyum Silisyum Alaşımları (4xx.x Serisi).....	24
3.2.2.4 Alüminyum Magnezyum Alaşımları (5xx.x Serisi).....	25
3.2.2.5 Alüminyum Çinko Magnezyum Alaşımları (7xx.x Serisi).....	25
3.3. AA 356 ALAŞIMI.....	25
3.4. A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE A356 ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	26
BÖLÜM 4	29
UÇUCU KÜL	29
4.1. UÇUCU KÜLÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	30
4.2. UÇUCU KÜLÜN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	31

4.3. UÇUCU KÜL TAKVİYELİ METAL MATRİS KOMPOZİTLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
BÖLÜM 5	34
TOZ METALURJİSİ	34
5.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM AŞAMALARI	35
5.1.1. Tozların Hazırlaması	36
5.1.2. Mekanik toz üretimi.....	37
5.1.3. Presleme İşlemi.....	37
5.1.4. Sinterleme İşlemi	38
5.1.5. İkincil İşlemler.....	39
5.2. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI	39
5.3. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI	39
5.4. MEKANİK ALAŞIMLAMA/MEKANİK ÖĞÜTME (MA/MÖ)	40
BÖLÜM 6	43
AŞINMA.....	43
6.1. AŞINMA TİPLERİ	43
6.1.1. Adhesiv Aşınma.....	44
6.1.2. Abrasiv Aşınma	45
6.1.3. Yorulma Aşınması	46
6.1.4. Korozyon Aşınması	47
6.1.5. Erozyon Aşınması.....	48
BÖLÜM 7	49
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
7.1. TOZLARIN HAZIRLANMASI.....	49
7.1.1.Kompozit Tozların Öğütülmesi	49
7.2. ÖN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMLERİ	50
7.3. SİNTERLEME İŞLEMİ.....	51
7.4. METALOGRAFİK İNCELEMER İÇİN NUMUNE HAZIRLANMASI	52
7.5 OPTİK MİKROSKOP İNCELEMESİ	53

	<u>Sayfa</u>
7.6. SEM XRD VE EDS İNCELEMELERİ	53
7.7. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ	54
7.8. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	54
7.9. AŞINMA TESTLERİ	55
BÖLÜM 8	57
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	57
8.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	57
8.2. SEM ve EDS İNCELEMELERİ	61
8.3. XRD SONUÇLARI	65
8.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ	66
8.5. SERTLİK İNCELEMELERİ	67
8.6. AŞINMA TESTİ ÖLÇÜMLERİ	69
8.6.1. Aşınma Yüzey Görüntülerinin İncelenmesi	71
BÖLÜM 9	73
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.1. Parçacık şekilleri.....	35
Şekil 5.2. Toz metalürjisi üretim aşamaları	36
Şekil 5.3. Presleme basamakları.....	38
Şekil 5.4. Mekanik alaşımlama hazne ve bilye.....	41
Şekil 5.5. Öğütme kabında ki bilyeler.....	41
Şekil 6.1. Aşınma tipleri.....	44
Şekil 6.2. Adhesiv aşınma.....	45
Şekil 6.3. Abrasiv aşınma.....	46
Şekil 6.4. Yorulma aşınması.....	47
Şekil 6.5. Korozyon aşınması.....	47
Şekil 6.6. Erozyon aşınması.....	48
Şekil 7.1. Mekanik alaşımlama cihazı.....	50
Şekil 7.2. Presleme işleminde kullanılan kalıp.....	51
Şekil 7.3. Presleme işleminin yapıldığı hidrolik pres.....	51
Şekil 7.4. Sinterleme işleminin yapıldığı fırın.....	52
Şekil 7.5. Polisaj cihazı.....	52
Şekil 7.6. Optik mikroskop görüntüleme cihazı.....	53
Şekil 7.7. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	54
Şekil 7.8. Mikro sertlik cihazı.....	55
Şekil 7.9. Aşınma cihazının şematik görüntüsü.....	56
Şekil 8.1. Sinterlenme sonrası A356 Al matrisi ve bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 20X optik mikroskop görüntüsü.....	58
Şekil 8.2. Sinterleme sonrası A356 Al matrisi ve bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 50X optik görüntüsü.....	59
Şekil 8.3. Sinterleme sonrası A356 Al matrisive bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 100X optik görüntüsü.....	60
Şekil 8.4. A356 matrisi ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitin 6 kx büyütme ile SEM görüntüleri.....	62

Sayfa

Şekil 8.5. %4 uçucu kül ilave edilen A356 matrisli kompozitin EDS mapping görüntüsü.....	63
Şekil 8.6. %4 uçucu kül içeren kompozitin 4 farklı noktasında ki EDS point sonuçları.....	64
Şekil 8.7. XRD sonuçları.....	65
Şekil 8.8. %4 Uçucu kül içeren kompozitin XRD sonuçları.....	66
Şekil 8.9. Farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen A1356 matrisli kompozitlerin yoğunluk grafiği.....	67
Şekil 8.10. Farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen A1356 matrisli kompozitlerin sertlik ölçümleri.....	68
Şekil 8.11. Farklı oranlarda uçucu kül ve ilave edilen A1356 matrisli kompozitlerin aşınma oranı grafiği.....	69
Şekil 8.12. Farklı oranlarda uçucu kül ve ilave edilen A1356 matrisli kompozitlerin ağırlık kaybı ve kayma mesafesi grafiği.....	70
Şekil 8.13. A356 (%0.5, %1, %2, %4) uçucu kül takviyeli AMK'lerin 2000 m kayma mesafesi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Saf alüminyum özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Dövme alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi.....	21
Çizelge 3.3. Döküm alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi.....	23
Çizelge 3.4. AA356.0-T6 fiziksel ve kimyasal özellikleri	26
Çizelge 7.1. Ticari olarak elde edilen A356 Al alaşım tozlarının kimyasal bileşimi	49
Çizelge 8.1. Ticari olarak elde edilen uçucu kül tozlarının kimyasal bileşimi.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Si	: silisyum
Mg	: magnezyum
Zn	: çinko
Al	: alüminyum
Ti	: titanyum
Ni	: nikel
Cu	: bakır
SiC	: silisyum karbür
B ₄ C	: bor karbür
Al ₂ O ₃	: alümina
TiC	: titanyum karbür
MgO	: magnezyum oksit
Fe	: demir
UK	: uçucu kül
SEM	: scanning electron microscope (taramalı elektron mikroskobu)
XRD	: x-ray diffraction (x-ışını difraksiyonu)
XRF	: x-ray fluorescence spectrometer (x-ışını floresan spektrometresi)
EDS	: energy dispersive spectroscopy (enerji dağılım spektrometresi)
TM	: toz metalurjisi
AMK	: alüminyum matris kompozitleri
MA	: mekanik alaşımlama
MÖ	: mekanik öğütme
SMK	: seramik matris kompozitler
PMK	: polimer matris kompozitler

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmesinin artması sonucunda maliyeti düşük, dayanımı yüksek malzemelerin önemi artmaktadır. Gelişen teknoloji ve sanayileşmeden kaynaklanan malzeme ihtiyacı doğrultusunda kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin kullanım sahası artmasından dolayı üzerinde çokça çalışmalar yapılan bir malzeme grubudur (Kalemtaş, 2014). Genel olarak farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşen arasındaki farklı sınırlardan oluşan bir malzemeye kompozit malzeme denilebilir. Kompozit oluştururken iki ana bileşen vardır. Bunlar takviye elemanı ve matristir. Kompozitin ana yapısı matris elemanıdır ve genellikle sünekliği yüksektir. Kompozit içinde daha dayanımı yüksek olan kısım ise takviye elemanı olarak adlandırılır (Odabaşı, 2017).

Kompozitler, matris malzemesine göre sınıflandırıldığında; polimer matrisli kompozitler (PMK), metal matrisli kompozitler (MMK) ve seramik matrisli kompozitler (SMK) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Takviye malzemesinin yapısına göre elyafli kompozitler, parçacıklı kompozitler, tabakalı kompozitler ve karma kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Mutlu, 2019).

Tek bileşenli malzemelerle istenilen özelliklerin sağlanamamasından dolayı metal matris kompozitler elde edilmektedir. Metal matris kompozitler en az biri metal (genelde metal alaşımı) diğeri takviye elemanı (sürekli fiber, kılcal kristal ve partikül şeklinde genel olarak metaller arası bileşik, oksit, karbür veya nitrür bileşikleri gibi) olan iki veya daha fazla farklı sistemin birleşimi ile elde edilen malzeme grubudur. Matris ve takviye elemanı seçimi, kompozitten beklenen yoğunluk, mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci, yorulma direnci, yüksek sıcaklık direnci, termal kararlılık, termal iletkenlik, elektrik iletkenliği, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak yapılır. Bu özellikler birlikte elde edilemez ve bir kısmı

kötüleşirken diğerleri iyileşebilir. Çeşitli hacimsel oranlarda matris malzemesi ve takviye elemanı kullanarak yukarıda bahsedilen özelliklere sahip kompozitler elde edilebilir. MMK'ler yüksek mukavemet, rijitlik, yüksek aşınma dayanımının olması ve elastikiyet modülü gibi birçok olumlu yönlerinden dolayı, otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, uzay alanında elektronik ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Daniel, 2000).

Metal matris kompozitlerin üretiminde başta alüminyum (Al) olmak üzere magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu) gibi metallerin alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Matris malzemesi takviye elemanının düzenli bir şekilde bir arada durmasını sağlamaktadır. Metal matrisli kompozitlerin kullandığı alana göre takviye elemanından şu özellikleri göstermesi beklenmektedir; yüksek dayanım, matris malzemesi ile kimyasal uyumluluk, imal edilebilirliğin kolaylığı gibi özellikler olması beklenir (Mutlu, 2018; Özer, 2019).

Alüminyum ve alaşımları, yoğunluğunun düşük olması, işlenebilirliğinin ve şekillendirilmesinin kolay olması, elektrik iletkenliğinin yüksek olması, korozyon dayanımının yüksek olması iyi termal iletkenliğine sahip olması gibi birçok üstün özelliğe sahiptir. Alüminyum ve alaşımları bu üstün özelliklerinden dolayı metal matrisli kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan matris malzemesidir (Kalemtaş, 2016; Krishnan, 2017).

Alüminyum matris kompozitleri (AMK) oluştururken matris malzemesi olarak daha çok yaşlandırılabilen Al alaşımları tercih edilmektedir (2XXX, 6XXX, 7XXX...) Ayrıca A356 alüminyum alaşımının (Al-7Si-Mg) yaygın ve üretim yollarının fazla olmasında dolayı kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılabilirliği üst düzey alaşımlardan bir tanesidir. Bu yüzden kompozit oluşturmaya oldukça elverişlidir (Shiyukvar,1989).

Alüminyum matrisli kompozitlerde (AMK) takviye fazı olarak SiC, B₄C, Al₂O₃, Si₃N₄, TiC, MgO, TiB₂, ve in-situ TiAl₃, gibi karbürler, oksitler ve nitrürler kullanılmaktadır (Özyürek, 2002). Kullanılan bu takviye elemanının maliyeti yüksek olduğu için, alternatif ve daha ucuz takviye elemanlarına ihtiyaç vardır.

Uçucu kül termik elektrik santrallerinin bacalarından ortaya çıkan bir atık üründür. Uçucu kül üretimini; işletim biçimi, santral tipi, yakılan kömürün cinsi, yanma farklılıkları gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taş kömürünün %10-15'ini, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonrasında elde edilen külün %75-85 'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanır (Yakınlr, 2011).

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün karakteristik özelliği, jeolojik durumu ve külün oluşma koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama gibi) bağlıdır. Uçucu külün atık madde olmasından dolayı takviye elemanı olarak kullanılıp geri dönüşümle kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Uçucu külde genel olarak bulunan önemli bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , MgO ve alkali oksitlerdir. Uçucu külün maliyetinin düşük olması takviye elemanı olarak onu öne çıkarmıştır. Alüminyum matrisli kompozitlerde uçucu kül takviye elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Topuz, 2010; Prasada, 2018).

Metal matris kompozitlerin üretim yöntemleri belirli özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Bunlar parçanın şekli, mekanik ve fiziksel özellikleri, matris, takviye elamanın şekline ve türüne bağlıdır. MMK üretiminde sıvı hal işlemleri, katı hal işlemleri, in-situ işlemleri, döküm yöntemi, infiltrasyon, termal sprey, elektrokimyasal kaplama gibi yöntemler kullanılmaktadır (Kalemtaş, 2014).

Toz metalürjisi(T/M), tozların kombinasyonlarının istenilen şekilde, türde ayarlandığı üretim yöntemidir. Toz metalürjisi metal tozlarının bir kalıp içerisinde belirli bir kuvvet uygulandıktan sonra sıkışması ve toz parçacıklarının birbiri ile birleşip homojen bağ kurması için ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterleme işlemlerini içeren bir üretim tekniğidir. Döküm veya talaşlı üretim gibi geleneksel üretim yöntemlerine göre alternatif olarak çok küçük ve karmaşık parçaların üretilmesini mümkün olduğunu göstermiştir. Toz metalürjisi tekniği ergime sıcaklığı yüksek metal ve alaşımlarının üretilmesinde, gaz absorpsiyonu, oksidasyon gibi döküm yönteminde görülen sorunların giderilmesi ile diğer üretim tekniklerine göre çeşitli avantajlar sunmaktadır (Özgürlük, 2010; Naransimha, 2001).

Bu alışmada A356 alüminyum alaşımına farklı oranlarda uçucu kül ilave edilerek toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozitlerin mikro yapı, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. Uçucu kül takviyeli kompozitler üretilirken genellikle döküm yöntemi veya farklı üretim teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise toz metalürjisi yöntemi kullanılması, bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayrı kılmaktadır.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, 20. yüzyılın ortalarında, modern teknoloji için yeni umutlar vaat eden yeni tip bir mühendislik malzemesi sınıfı olarak ortaya çıkmıştır (Kalemtaş, 2014). Kompozit malzemeler mühendislik problemlerinin çözümlenmesinde farklı bir boyut kazandırmıştır. Dahası, birkaç malzemeyi farklı yöntemlerle birleştirerek malzemeye üstün özellik kazandırma fikri binlerce yıldır insanlar tarafından kullanılmıştır. Genel olarak farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenden oluşan herhangi bir malzemeye kompozit malzeme denmektedir. Buna bağlı olarak, çeşitli seramikler, polimerler, metal ve türleri bir araya getirilmesiyle kompozit malzemeler oluşturulur. Kompozit malzemeler iki temel malzemedен meydana gelir bunlar “takviye elemanı ve matris elemanıdır (Daniel, 2000).

Matris ve takviye elemanı, kompozitte üstün özellikler sağlamak için bir arada çalışır. Kompozit içerisinde, bu farklı malzemeler birbirine homojen dağılmadığı için kolayca ayırt edilebilir. Matris metal, seramik veya polimer olabilir ve takviye genellikle matristen farklı bir malzeme türüdür. Kompozit bir yapıda matris ve takviye elemanının çeşitli görevleri vardır; matris, takviye elemanlarının yüzeylerini çevresel sorunlara karşı koruyup dirençlerini artırır ve malzemenin sünekliğini arttırmakla görevlidir. Takviye elemanının temel görevi ise gelen yükü matrise bırakmadan taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır (Abrate, 1998).

Modern olarak ilk elde edilen kompozit malzeme fiberglastır. Günümüzde araçların ve teknelerin gövdelerinde kullanımında, spor malzemelerinin kullanımında

mevcuttur. Fiberglasın yapısında matris elemanı plastiktir ve takviye elemanı olarak ince ipliklerden oluşan kumaş gibi dokunulmuş camsı malzemedir (Şahin, 2006).

Kompozit malzemelerin en büyük avantajlarından bazıları yüksek mekanik özellikleri ve düşük kütleleridir. Çelik bileşenlerin kompozitlerle değiştirilmesi sonucunda kütlede % 75'e kadar bir azalma anlamına gelebilir (Rawal, 2001).

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre diğer bir üstünlükleri de istenilen yorulma özelliklerinin çok iyi karşılayabilmesidir. Klasik malzemelere göre kompozit yapı malzemelerinin özelliği, daha uzun zamanda daha yüksek oranlara direnç sağlayabilmeleridir. Kompozit malzemelerin yorulma özelliklerinin iyi oluşu yapısal özelliğinden kaynaklanmaktadır. Klasik malzemelerde yüke binmiş parçada oluşacak bir bozulma-kırılma vb. durumlar hızla oluşur ve sonuçta malzeme kopar. Kompozit malzemelerde bu bozulmalar daha az meydana gelmektedir (Edwards, 2014).

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması şu şekildedir;

Matris malzemesine göre;

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler

Takviye elemanına göre;

- Elyaf takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- Karma kompozitler (Şahin, 2000).

2.1. TAKVİYE ÇEŞİDİNE GÖRE KOMPOZİT TÜRLERİ

2.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bu kompozitlerin matrisleri yumuşak ve sünek yapıdadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır (Eskizeybek, 2006). Matris malzemesinin görevi malzemenin içinde yer alan elyaf takviyesi sistemin daha dayanıklı olmasını sağlar. Matris ve takviye elemanının arasındaki bağlanma kuvvetini elyaflara transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken elyaf uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır (Zor, 2018). Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kullanımı özellikle uzay, havacılık, otomotiv, spor ürünleri ve denizcilik sektöründe büyük oranda artmaktadır.

2.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Bu tip kompozitler; tek boyutlu veya iki boyutlu mikroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik ölçütteki partiküllerin matris ile bütünlük oluşturdukları malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde metal matris içerisinde, takviye elemanı farklı geometriye sahiptirler. Genellikle seramik takviye elemanlarının dağıtılması ile elde edilen kompozit malzeme türüne partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler denir.

Metalik tabanlı partikül takviyeli metal matrisli kompozitler düşük yoğunluklar, yüksek özgül mukavemetler, düşük korozyon oranları ve esas olarak düşük maliyetli fabrikasyon teknikleri nedeniyle kullanılır (İbrahim,1991).

Parçacık takviyeli kompozitler kolay şekillendirilebilme, daha düşük maliyet olmaları gibi özelliklerinden dolayı, diğer kompozitlere göre ön plana çıkmaktadır. Metal matris kompozit üretiminde kullanılan parçacık takviye elemanları, sert ve yüksek sıcaklıklara dayanım gibi özelliklere sahiptir (Askeland, 2000).

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin diğerlerinden farkı, fiber takviyelilerin aksine izotropik mekanik özelliklere sahip olmalarıdır. Kullanılacak olan ham madde maliyetinin düşük olması, yüksek özgül modülleri, rijitlikleri ve mukavemetleri, mükemmel aşınma dayanıklılığı, daha düşük ısıl genleşme katsayısı, izotropik özellikleri partikül takviyeli metal matris kompozitleri performans ve maliyeti bakımından hassas uygulamalarda tercih edildiği için önemli bir kompozit türü haline gelmektedir (Loyd, 1994).

MMK' de mukavemet artışını tetikleyen temel iki etken vardır bunlar; seramik partiküllerin mekanik özellikleri ve matris ile partikül ara yüzeyinde meydana gelen etkileşimdir. Bunun yanı sıra, partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini, partiküllerin boyutları, şekilleri, matris içerisindeki hacimsel oranları ve matris içerisindeki dağılımları da etkilemektedir. Partikül takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri genellikle karbürler (SiC, B₄C), oksitler (Al₂O₃, SiO₂), nitrürler (Si₃N₄) ve Si, C, gibi elementlerden meydana gelmektedir (Kösedağ, 2017).

2.1.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler (Abrate, 1998).

2.1.4. Karma Kompozitler

İki ya da daha fazla aynı kompozit yapıda elyaf çeşidinin bulunması durumudur. Bu yapılara hibrit kompozit denilmektedir. Bu tür karma kompozit türü, yeni kompozitlerin oluşturulmasında ve geliştirilmesinde olanak sağlar (Mutlu, 2019).

2.2. MATRİS MALZEMESİNE GÖRE KOMPOZİT TÜRLERİ

2.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matris kompozitler (PMK'ler) en yaygın kullanılan kompozit tipini oluşturur. Polimer matris kompozitler , matrislerden çok daha güçlü ve sert olan liflerle takviye edilmiş termoset veya termoplastik matris reçinelerinden oluşur. Polimer matris kompozitler yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülünün olması tercih edilmesinin en önemli nedenlerindedir. Çünkü geleneksel metallerden daha hafif, daha güçlü ve daha serttir. Bu özelliklerinin olması, istenilen gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanabilmesi avantajına sahiptir. Polimer malzemelerde yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleri cam, bor ve karbon fiberlerdir. Polimer matrisli kompozitlerin ısı dayanımları düşük olduğundan dolayı, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılamazlar (Kaya, 2019).

2.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik kompozitler (SMK'ler) genellikle seramik bir matristeki seramik liflerinden oluşur. Seramik matrisli kompozitler, yüksek sıcaklıklarda çalışması gereken parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Basma dayanımları oldukça yüksektir (Eckold, 1994).

Seramik matris kompozitlerin mükemmel termo-mekanik özellikleri, havacılık jet motorlarında kullanımları ile ilgili birçok gelişmeye sebep olmuştur. Kırılgan bileşenlerden yapılan bu kompozitlerin kırılgan olmayan mekanik davranışı, topluca hasar olarak adlandırılan, matris mikro-çatlama ve buna eşlik eden bağ açma ve kayma gibi çeşitli enerji dağıtma mekanizmaları tarafından sağlanır.

Seramik matris kompozitler (SMK) takviye malzemeye göre iki grupta toplanabilir:

- Süreksiz takviyeli SMK'ler
- Sürekli fiber takviyeli SMK'ler (Şeker, 2013;Kalemtaş, 2014)

2.2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Günümüzde MMK üretim rekabetinin artmasıyla ürünlerin daha kaliteli ve daha düşük maliyetli olması gerekmektedir. Endüstrideki birçok mühendislik uygulamalarında daha düşük yoğunluklu, rijit ve yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu metal matris kompozitlerle sağlayabiliriz. Metal matris kompozitler, esneyebilir bir metal matris ile takviye malzemelerden oluşan kompozitlerdir. Metal matris kompozitlerin geniş ölçüde uygulanabilirlik sıcaklığına sahiptir. Yüksek sıcaklığa dayanımı oldukça iyidir bundan dolayı geniş bir alanda kullanıma uygundur (Uygur, 2004).

Metal matris kompozitler (MMK'ler), üstün mekanik özellikleri olan bir malzeme elde etmek için iki farklı malzemenin özelliklerini alır ve birleştirir. MMK'ler, otomotiv, havacılık endüstrisi ve diğer hafif ve ağır endüstriler gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Hafif alaşım kompozitler, otomotiv endüstrisinde valf dizileri, piston çubukları, piston ve piston pimleri, silindir kafası, krank mili ana yatağı ve kısmen güçlendirilmiş silindir bloklarının imalatında hali hazırda kullanılmaktadır (Şenel, 2005).

Metal matris kompozitler, yüksek sıcaklık yetenekleri, yüksek ısı iletkenliği, yüksek mukavemet ve sertlik, yüksek mukavemet/yoğunluk oranı ve düşük termal genleşme katsayısı kombinasyonlarına sahiptir (Rawal, 2001).

MMK'lerin diğer kompozitlerden üstün özellikleri;

- Metal matris yüksek tokluk ve dayanımı kuvvetlidir.
- Yüksek sıcaklık özellikleri ve ısıl kararlılıkları çok daha iyidir.
- Korozyon dayanımları birçok ortamda yüksektir.
- Biçimlendirilebilmeye oldukça açıktır.
- Kaynak veya diğer yöntemlerle kolaylıkla birleştirilebilirler.

Metal matris kompozitler (MMK'ler), metal matris, güçlendirme tipi ve güçlendirme geometrisi ile birlikte tanımlanan, oldukça geniş bir malzeme yelpazesini içerir. Metal

matris kompozitlerde hemen hemen tüm metaller matris malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak genellikle düşük yoğunluğa sahip alaşımlar tercih edilmektedir. Yapılan literatür taramalarında matris malzemesi olarak başta alüminyum olmak üzere titanyum, magnezyum, bakır gibi metaller kullanılmaktadır (Daniel, 2000).

Ticari olarak kullanılan önemli metal matris malzemeleri:

- Alüminyum alaşımları
- Magnezyum alaşımları
- Titanyum alaşımları
- Nikel esaslı alaşımlar
- Bakır alaşımları Tungsten / Molibden gibi refrakter metaller
- İntermetalikler (Şenel, 2005).

2.2.3.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları

Metal içerisindeki takviye, yüksek sertlik ve yüksek dayanım oluşturan faz elemanı olarak adlandırılmaktadır. Metal matris kompozitlerde takviye elemanının görevi, kompozit malzemenin dayanımını arttırmaktır. Metal matris kompozitlerin üretiminde takviye elemanı olarak fiberler, viskerler ve parçacıklar kullanılmaktadır. Genelde takviye elemanı olarak kullanılan seramik malzemeler; oksitler (Al_2O_3 -Alümina, SiO_2 -Silisyum dioksit), nitritler ve karbürler (SiC - Silisyum Karbür, TiC - Titanyum Karbür) dir. Kompozitlerin içinde ilave olan takviye elemanı, sürekli lif, plaka veya düzensiz şekilli olabilir. Takviye elemanının dağılımı, sistemin homojen olmasını sağlamaktadır. Bu homojenlik, malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemli bir faktördür (Trinh, 2016).

2.2.3.2. Metal Matris Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal matris kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak için birçok üretim tekniği geliştirilmiştir. Metal matris kompozitlerin üretim teknikleri uygulanabilen sıcaklıklara göre sınıflandırılabilir. Metal matris kompozitlerde matris ile takviye elemanının birbiri ile sağlam bir bağ kurması için aralarındaki yapısal

uygunluğun kuvvetli olması gerekir. Metal matris kompozitlerde üretim yöntemleri 3 grupta incelenir (Trinhe, 2016).

- Sıvı faz işlemleri
- Katı faz işlemleri
- İn-situ işlemleri'dir

1- Sıvı Hal İşlemleri

MMK' larda sıvı faz işlemlerinde, seramik partiküller farklı tekniklerle ergitilmiş metalik matrisle karıştırılır. Oluşturulan kompozit karışımı katılaşma işleminden sonra istenilen şeklin imal edilmesi için diğer süreçlere gönderilir.

Sıvı faz işlemlerinde matris malzemesi ve takviye elemanının istenilen özellikleri karşılaması için malzeme seçimleri çok önemlidir; takviye elemanının matris içinde uyumlu olması gerekir. Kompozitin yüksek mekanik özelliklerde olabilmesi için takviye faz ve sıvı matris ile birlikte iyi bir ara yüzey bağı oluşturmalıdır (Uygur, 2004).

Yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim yöntemleri:

İnfiltrasyon (Infiltration)

Sıkıştırırmalı döküm (Squeeze casting)

Karıştırırmalı döküm (Stir casting) (Şahin, 2000).

2- Katı Hal İşlemleri

Katı faz prosesleri, toz malzemelerin (matris ve takviye) birbirleriyle karıştırılıp çeşitli işlemlerden geçirilmesiyle, istenilen şekilde elde edilmiş olan partikül, kısa fiberli, sürekli fiberli ve monofilament takviyeli MMK'lerin üretilmesinde uygulanan proseslerdir.

Metal matris kompozitlerin katı hal proseslerle üretiminde metal matris ve takviye faz birbirleriyle, aralarında oluşan ortak difüzyonla bağlanırlar. Bu bağlanma işlemi katı halde, uygun olan sıcaklıklarda ve basınç altında yapılır. Uygulanan sıcaklığın fazla

yüksek olmaması (sıvı hal MMK'ler üretimleriyle kıyaslandığında), matris malzemesi ve takviye fazlar arasındaki bağlanma sonucunda istenmeyen reaksiyonların oluşmasını azaltır veya engeller. Bu yüzden dolayı metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde kullanılan en yaygın işlemler katı hal işlemleridir (Rawal, 2001).

3- İn-situ İşlemi

Bu alandaki kompozit üretim tekniğinde malzeme içerisinde farklı türde fazların oluşturulması ve bu fazlardan bazılarının matris; geri kalanlarında takviye elemanı olarak davranması ile kompozit üretilir.

In-situ işlemini kullanırken ve metal matris kompozit üretimi yapılırken takviye malzemenin faz veya şekli değişmektedir. Örneğin, TiB_2 , bazı metallerin içinde C ilave edildiğinde reaksiyona girerek TiC 'e dönüşür. Bileşenler takviye ve matris özelliklerini korur (Şahin, 2000).

MMK üretiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şöyledir;

- 1- Takviye malzemesi
- 2- Matris malzemesi ile takviye elemanı arasındaki uyumu,
- 3- Matris malzemesi ve takviye elemanının ilave işlem gereksinimi,
- 4- Takviyenin matris malzemesi içerisinde homojen bir dağılım olması,
- 5- Matris ve takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesidir (Kalemtaş, 2014).

2.3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI

2.3.1. Alümina

Alümina oksijen ile tepkimeye girerek oluşur ve aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Yoğunluğu $3,95 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Ergime sıcaklığı $2071 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Yüksek sertliği, aşınma direnci, düşük yoğunluğu, iyi termal iletkenliği, yüksek elastikiyet modülü ve rijit olması nedeniyle Alüminyum matrisli kompozitler (AMK) de ki takviye malzemeleri için istenilen özellikleri karşılamaktadır. Alüminanın yalıtkan olmasından dolayı elektriksel kullanım alanlarına da uygundur. Bu özelliklerinden dolayı en popüler takviye elemanlarından birisidir (Karabulut, 2001).

Ünlü yaptığı bir çalışmada saf Al içerisine farklı oranlarda Alümina ilave ederek hem toz metalürjisi hem de yarı katı döküm yoluyla üretilerek bu kompozitlerin mekanik özellikleri ve aşınma davranışına etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonunda döküm yöntemi ile üretilen Al-Al₂O₃ kompozitlerin aşınma testleri sonrasındaki ağırlık kaybının azaldığını belirtmiştir (Ünlü, 2008).

Çanakçı vd. yaptığı bir çalışmada Al içerisine %5, %10, ve %15 olmak üzere üç farklı oranda Al₂O₃ ilave edilerek farklı sürelerde mekanik alaşımlama yöntemi ile kompozitler üretmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda mekanik alaşımlama yönteminin çeşitli sistemlerde kompozit oluşturmak için ideal bir teknik olduğunu, işlem parametrelerinin optimizasyonu ile homojen bir dağılımın sağlanabildiğini vurgulamışlardır. Ayrıca ilave edilen takviye elemanı ile sertlik değerlerinde monolitik alaşıma göre artış olduğunu belirtmişlerdir (Canakci vd., 2012).

2.3.2. Silisyum karbür

Silisyum dioksit kok kömürü ile birlikte elektrik fırınında redüksiyon sonucu gerçekleşir ve saf olarak silisyum oluşumu sırasında fazla karbon kullanımı sırasında oluşan bileşiktir. Ergime sıcaklığı $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ dolayındadır ve yoğunluğu 3.21 g/cm^3 ' tür. SiC' nin takviye elemanı olarak tercih edilmesinin sebebi yüksek sıcaklıklara maruz

kaldığında özelliklerini kaybetmemesidir. SiC'nin düşük maliyeti, kullanılabilirliği, üstün mekanik (yüksek mukavemet, sertlik) ve mükemmel termal iletkenliği, araştırmacıları AMK'leri üretmek için Al matrisinde takviye olarak SiC'yi kullanmaya çeker.

Soundararajan vd yaptıkları bir çalışmada A356 Al alaşımına % 20 oranında SiC ilavesi yaparak üç farklı döküm metoduyla kompozitler üreterek mekanik özellikler ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda sıkıştırma döküm yöntemi ile %20 SiC içeren kompozitin matris ve diğer döküm metodlarına göre daha az aşınma oranı gösterdiğini belirtmişlerdir (Soundararajan vd., 2020).

Rahman vd yaptığı bir çalışmada saf Al içerisine üç farklı oranda SiC ilave ederek karıştırmalı döküm yöntemi ile kompozitler üreterek bu Kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda SiC miktarı arttıkça kompozitin sertlik ve çekme dayanımını arttırdığını, bunun yanında Al içerisine ilave edilen SiC sayesinde aşınma direncinin arttığını vurgulamışlardır (Rahman vd., 2014).

Özyürek vd. yaptıkları bir çalışmada, A356 Alüminyum alaşımına farklı oranlarda %5, %10, %15, %20 SiC takviye edilerek 590 °C ve 600 °C de farklı sıcaklıklarda tikso kalıplama tekniği ile kompozit malzeme üretilmiştir. Alüminyum matriste SiC parçacıkların homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzemede SiC oranı arttıkça aşınma kaybında azalma meydana gelmiştir. 590 °C'de üretilen kompozitin sertliğinde ve aşınma direncinde, 600 °C'de üretilen kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Özyürek vd., 2012).

2.3.3. Bor karbür

Çok yüksek sertliği ve düşük yoğunluğu ile bilinen B₄C, aynı zamanda AMK'lerin imalatında en çok kullanılan takviye malzemelerinden biridir. Yüksek korozyona karşı direnci oldukça fazladır. Ergime sıcaklığı 2445 °C' dir. Savunma sanayisinde çok fazla kullanılmaktadır. Literatürde kompozit oluşturulurken B₄C'nin eklenmesinden dolayı geliştirilmiş AMK'lerin özelliklerinin iyileştirilmesinde yararlı olduğu kanıtlanmıştır (Arslan, 2014).

Rao yaptığı bir çalışmada Al- Si (LM6) alaşımına %2.5, %5 ve % 7.5 olmak üzere üç farklı oranda B₄C ilave ederek karıştırmalı döküm yöntemi ile kompozitler üretmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda Al alaşımına ilave edilen B₄C miktarının artması ile kompozitin sertlik ve basma dayanımı gibi mekanik özelliklerini arttırdığı vurgulanmıştır (Rao, 2012).

Şenel vd. yaptığı bir çalışmada saf Al içerisine farklı oranlarda ve iki farklı toz boyutuna sahip B₄C ilave ederek toz metalürjisi yöntemi ile kompozitler üreterek bu Kompozitlerin sertlik ve basma dayanımı gibi mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda düşük toz boyutuna sahip B₄C ilave edilen Kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha yüksek olduğunu, %30 B₄C ilave edilen kompozitin matrise göre sertlik ve basma dayanımının % 129 ve % 165 oranında arttığını belirtmektedirler (Şenel vd., 2020).

Alüminyum matrisli kompozitlerde yukarıda verilen takviye elemanları dışında SiO₂, ZrO₂, gibi oksitler, TiN, Si₃N₄, TaN, ZrN, nitritler, WC vb. gibi karbürler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda grafen, fulleren ve karbon nanotüp gibi karbon bazlı takviyeler kullanılarak da alüminyum matrisli nano kompozit malzemeler üretilmektedir (Şenel vd., 2020).

2.4. ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Alüminyum matrisli kompozitler, düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, spesifik sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı ve aşınma direncinin yüksek olmasından dolayı otomotiv, uzay/uçak, savunma, elektronik, spor endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Karabulut, 2001).

- Otomobil Endüstrisi;

Düşük ağırlıklı malzemeler grubundan olan Al matrisli kompozit malzemeler sahip oldukları gelişmiş özelliklere ve performansa bağlı olarak çeşitli otomotiv parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. AMK motor pistonu, motor gömleği, fren diski gibi uygulamalarda kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. AMK' lerin parça üretimlerinde

istenilen teknolojik seviyeye ulaşması ile otomotiv endüstrisi alanında ticari kullanımları mümkün hale gelmiştir (Kumru, 2007).

Otomotiv endüstrisinde başta Al/SiC ve Al/Al₂O₃ olmak üzere Al matrisli kompozit malzemeler başarıyla üretilmektedir. AMK malzemelerde otomotiv endüstrisinde verilebilecek en iyi örnek, Honda şirketi tarafından 90'ların başında AMK'de oluşan motor bloklarını geliştirmesidir (Kumru, 2007;İnternet, 2021).

- Uzay/Uçak Endüstrisi;

Uzay/uçak endüstrisinde maliyetten çok ağırlık ön plandadır. Kullanılacak malzemelerde ağırlık kazancı, istenen en önemli özelliktir. Bunu AMK' ler karşılamaktadır. Ayrıca malzemelerin daha yüksek dayanım, yüksek sıcaklık kabiliyeti, hasar toleransı (süneklik, kırılma tokluğu ve yorulma dayanımı) ve korozyon dayanımına sahip olmasından dolayı uzay/uçak endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Uçak endüstrisinde AMK malzemelerin uygulama alanları, uçak arka dikey kanatları, çeşitli kanat parçaları, kapılar, tekerlekler, hız kesiciler vb. uçak parçalarıdır. Alüminyum bazlı MMK malzemeler uçak motorunun çeşitli parçalarının yapımında da kullanılmaktadır.

Uzay uygulamalarında ise AMK'ler Hubble Uzay Teleskobunda kullanılmıştır (İnternet, 2021).

- Savunma Endüstrisi;

Savunma endüstrisinde AMK malzemelerin balistik alanında kullanılmaktadır. Balistik alanında kullanılan AMK' ler yüksek sertlik ve aşınma direnci, yüksek elastik modülü ve yüksek mukavemet, hafiflik gibi özelliklerinden dolayı, kendilerine çarpan mermiyi kırma, aşındırma ve söndürme özelliklerine sahiptir. AMK malzemeler üst seviye askeri tanklarda ayak paleti olarak kullanılmakta ve üretilmektedir. Bu şekilde tankın ağırlığını azaltmada önemli rol kat edilmiştir (İnternet, 2021).

- Diğer Uygulamalar;

Alüminyum matrisli kompozit malzemeler, düşük termal genişleme katsayısı, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik katsayısı gibi özelliklere sahip olduğundan, elektrik parça uygulamalarında tercih edilmektedir. Bunun dışında spor ve hobi alanlarında tenis raketleri, bisiklet çatısı, tekerlek jantları ve golf sopası gibi malzemelerin üretiminde de AMK' ler kullanılmaktadır (Ak, 2012).

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM

3.1. ALÜMİNYUM VE ÖZELLİKLERİ

Alüminyum (Al) atom numarası 13, yoğunluğu $2,70 \text{ gr/cm}^3$ olan gümüş renkli hafif bir metaldir. Yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra yaklaşık %8 olarak en bol bulunan üçüncü element olan alüminyum doğada saf olarak bulunmaz, oksit ve silikat bileşikler halindedir. Periyodik cetvelde III. periyot III A gurubunda bulunan alüminyumun ergime sıcaklığı $658-660 \text{ }^\circ\text{C}$, +3 değerlikli, yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısına sahiptir Çizelge 3.1'de saf alüminyumun özellikleri verilmektedir (Fakıoğlu, 2012;İnternet, 2020).

Çizelge 3.1. Saf alüminyum özellikleri (Fakıoğlu, 2012).

Atom numarası	13
Yoğunluğu	$2,7 \text{ g/cm}^3$
Ergime noktası	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Atom ağırlığı	26,97 g/mol

Düşük ağırlık, üstün işlenebilirlik, mükemmel korozyon direnci, iyi ısı ve elektrik iletkenliği alüminyumun en önemli özellikleri arasındadır. Bu üstün özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun geri dönüşümü çok kolaydır. Alüminyum düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini korumaktadır. Endüstriyel alanında birçok uygulamada alüminyum alaşımlarından üretimi yapılan parçalar, farklı yüklerde ve sıcaklıklarda aşınma şartlarında görev yapmaktadır. Bu nedenle, aşınma direnci bu alaşımlarda istenilen bir özelliktir ve bu alaşımlardan

üretileen parçaların servis ömrünü artırmak için gereklidir (Lumley, 2010; Krishnan, 2017).Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerinin yapısına ve mikro yapısına bağılı olarak değişkenlik göstermektedir. Alüminyum içeren kompozitlerden yapılan bileşenler, monolitik malzemelere kıyasla yüksek mukavemet / ağırlık oranı, sertlik ve tribolojik davranış gibi üstün özellikler sunar. Alüminyum matris kompozitlerin özellikleri, alüminyum matrisine, takviye malzemesinin uygun seçimine ve imalatı için üretim yöntemine büyük ölçüde bağılıdır (Rooy, 1995).

3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımları hem üretim hem de tüketim açısından demir dışı malzemeler arasında ilk sırayı almaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, birçok uygulama için ekonomik ve uygulanabilir kılan özelliklerin başında; görünümü, hafif olması, işlenebilirliğinin kolay olması, fiziksel ve mekanik özellikleri gelir (Fakıoğlu, 2012). Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler (Lumley, 2010).

1. Dövme tipi alaşımları
2. Döküm tipi alaşımları

Dövme alaşım tipi dört rakam ile gösterilmektedir. Döküm alaşım tipi ise dört rakam ve bir nokta ile gösterilmektedir (Kumru, 2007).

3.2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları

Dört rakamlı gösterimde, ilk rakamı hangi temel alaşım elementine sahip olduğunu belirtir. 1xxx dizisi saf alüminyumu (%99.00) belirtir. Son iki rakam %99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. İkinci basamak ise özel olarak denetlenen saf olmayan elementlerin sayısını belirtir ve 1'den 9 a kadar değişebilir. 2xxx'den 8xxx'e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler. Son iki rakamın özel bir anlamı yoktur (Değirmencioğlu,

2002). Dövmе alüminyum alaşımları Çizelge 3.2 ‘ de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Dövmе alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi (Savaş, 2005).

Alaşım Elementi	Tanımlama
Alüminyum>%99	1xxx
Bakır	2xxx
Mangan	3xxx
Silisyum	4xxx
Magnezyum	5xxx
Magnezyum ve silisyum	6xxx
Çinko	7xxx
Diğer elementler	8xxx
Kullanılmayan elementer	9xxx

1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi dövmе alüminyum alaşımlarında ısı işlem uygulanamamaktadır. Sadece şekil değiştirme ile sertleştirilir.

2xxx, 6xxx, 7xxx serisi dövmе alüminyum alaşımları ısı işlem kabiliyetleri yüksektir. 4xxx serisi alaşımlar ise ısı işlem gerekle duyulmayan gruba girmektedir (Savaş, 2005).

3.2.1.1. Alüminyum Bakır Alaşımları (2XXX Serisi)

Ana alaşım elemanı bakır olan bu alaşımın optimum özellikleri için ısı işlem uygulanır. Korozyon direnci diğer alaşım grupları kadar iyi değildir ve kaynak kabiliyeti sınırlıdır. Çoğunlukla araç ve uçak tekerlerinde, araçların süspansiyon parçalarında, uçak gövdelerinde ve 150 °C’ye kadar olan sıcaklıklarda dayanım gerektiren parçalarda kullanılır (Kumru, 2007).

3.2.1.2. Alüminyum Mangan Alaşımları (3XXX Serisi)

Genellikle 3XXX serisi alaşımlar, orta seviyede dayanımla birlikte çok iyi korozyon direnci gerektiği yerlerde tercih edilmektedir. Bu gruptaki alaşımlar içecek kutuları, mutfak gereçleri, ısı değiştiricileri, depolama tankları, mobilya, çatı ve kenar kaplamalar ile diğer mimari alanlarda kullanılmaktadır (Taban, 2005).

3.2.1.3. Alüminyum Silisyum Alaşımları (4xxx Serisi)

4xxx serisi Al alaşımlarında temel alaşım elemanı silisyumdur. Si alüminyuma % 13'e kadar ilave yapılarak alaşımı gevrekleştirmeden ergime derecesinin azalmasına neden olur. Bu gruptaki alaşımların çoğuna ısı işlem uygulanmaz. 4032 alaşımı düşük ısı genleşme katsayısı ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu özelliklerden dolayı alaşım dövme motor pistonlarının üretilmesinde uygundur (ASM handbook, 1979).

3.2.1.4. Alüminyum Magnezyum Alaşımları (5xxx Serisi)

Al içinde Mg oranı % 0,7'den % 3,6'e kadar değişkenlik gösteren oranlarda kullanılır. Al-Mg alaşımları kaynaklı uygulamalar, damperli kamyon gövdeleri, petrol, geniş tanklar ve özellikle düşük sıcaklığa sahip depolama gerektiren basınçlı tanklar başlıca kullanım alanlarıdır (Yıldırım, 2012).

3.2.1.5 Alüminyum Magnezyum Silisyum Alaşımları (6xxx Serisi)

Al-Mg-Si alaşımları orta seviyede dayanımlı olmasının yanı sıra iyi kaynak yapabilme, korozyona dirençli olması ve gerilim korozyon çatlamasına dayanımlı olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Mimari alanda, ulaşım, köprüler ve kaynaklı yapılar bu alaşımların uygulama alanlarıdır (Kumru, 2007).

3.2.1.6 Alüminyum Çinko Alaşımları (7xxx Serisi)

Çinko 7xxx grubundaki Al alaşımlarında önemli bir alaşım elemanıdır. Magnezyum ile birlikte kullanıldığında yüksek dayanıma sahip ısı işlem uygulanabilen alaşımlar

elde edilir. Çoğunlukla Cu ve Cr gibi diğer elementlerde az miktarlarda ilave edilir. 7xxx alaşımları uçak gövde yapılarında, yüksek gerilme altında çalışan ürünler başlıca kullanım alanlarıdır (Demir, 2008).

3.2.2. Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları düşük özgül ağırlıkları, düşük ergime sıcaklıkları, mükemmel dökülebilirlik özelliği, işlenebilirliğin kolaylığı, yüzey kalitesi ve korozyon direncinden dolayı alüminyum döküm alaşımlarının temel karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Döküm anında katılma %3.5- %8.5 arasında hacimsel çekme oranları alüminyum dökümlerin başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır. Dökülecek alüminyum parçaların boyutsal doğrulukta olması için, sıcak kırılmaların, gözeneklerin engellenebilmesi için kalıp tasarımı sırasında hacimsel çekme oranları göz önünde bulundurulmalıdır (Ak, 2012). Döküm alüminyum alaşımları Çizelge 3.3 ' te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Döküm alüminyum alaşımları için sınıflandırma sistemi (Yıldırım, 2012).

Alaşım Elemanı	Tanımlama
Alaşımsız alüminyum > %99	1xx.x
Bakır	2xx.x
Silisyum+magnezyum/bakır	3xx.x
Silisyum(ikili alüminyum-silikon)	4xx.x
Magnezyum	5xx.x
Çinko	7xx.x
Kalay	8xx.x
Diğer elementler	9xx.x

Döküm alüminyum alaşımlarında üç haneli rakamdan sonra nokta konur ve noktadan sonra sayı parçanın döküm mü ingot mu olduğunu belirtir. 0 sayısı dökümü, 1 ve 2 ise ingotu temsil eder. Örneğin 356.0 kokile dökülmüş parçayı ifade ederken 356.1 ve 356.2 ingotları belirtir.

2xxx, 3xxx, 4xxx ve 7xxx serisi döküm alaşımları ısı işleme tabi tutulabilen alaşımlardır. Alüminyum döküm alaşımları genellikle şekil değiştirme işlemi ile sertleştirilemezler (Demir, 2008). Önemli alüminyum döküm alaşımları aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.2.1. Alüminyum Bakır Alaşımları (2xx.x Serisi)

Grup olarak bu alaşımlar, sıcak yırtılma gibi döküm problemlerinin yanı sıra akıcılık (düşük döküm kabiliyeti) problemi de göstermektedir. Bu alaşımlar genellikle kum döküm yöntemi ile üretilmektedir. Metal kalıplara döküldüklerinde akıcılığın olmasını sağlamak için Si ilave edilmelidir. Diğer alaşım gruplarına göre korozyona olan direnç daha düşüktür. Kaynak yapılma kabiliyeti ise sınırlıdır (Kumru, 2007).

3.2.2.2 Alüminyum Silisyum Magnezyum Alaşımları (3xx.x Serisi)

Al-Si alaşımları hafif olması, yüksek mukavemet özelliği, yüksek ısı iletkenliği ve düşük ısı genleşme özelliklerine sahip olmasından ötürü otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu alaşımın içerisinde, Silisyum iyi bir döküm özelliğini desteklerken, magnezyum akma ve kopma mukavemetleri üzerinde rol oynamaktadır. Bu serinin en önemli alaşımı A356'dır. A356 alaşımının içerisinde %7 oranında Si bulunduğundan dolayı dökülebilirlik özelliği yüksek bir malzemedir (Yıldırım, 2012).

3.2.2.3. Alüminyum Silisyum Alaşımları (4xx.x Serisi)

Temel alaşım elementi olarak yapısında Si içeren döküm alaşımları, döküm kabiliyetinin yüksek olmasından dolayı yaygın olarak kullanılan ticari döküm alaşımıdır. Yüksek akıcılığa sahiptir. Silisyum alüminyum'un genleşme katsayısını

düşürür, sertliğini artırır. İkili alüminyum silisyum alaşımlarına ısıl işlem uygulanamaz (Demir, 2008).

3.2.2.4. Alüminyum Magnezyum Alaşımları (5xx.x Serisi)

Al-Mg döküm alaşımlarının en önemli özelliği deniz suyuna karşı yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Al-Mg alaşımlarının düşük döküm kabiliyeti ve magnezyumun oksitlenmeye eğilimi üretim maliyetini artırır. Kum kalıba dökülme işleminde, alaşım yüzeyinin pürüzlenip kararmasına neden olan kalıp nemi, MgO ve hidrojen reaksiyonunun önlenmesi için bazı ek önlemler almak gerekir (Kumru, 2007).

3.2.2.5. Alüminyum Çinko Magnezyum Alaşımları (7xx.x Serisi)

Al-Zn-Mg alaşımlarının bileşimlerinde % 1-7 Zn ve % 3,4 Mg yer almaktadır. Cr ve Cu dayanımı arttırmak amacıyla alaşıma ilave edilebilmektedir. Dayanımı en yüksek alaşım grubu olmasından dolayı uzay ve havacılık sektöründe yapısal malzemeler olarak kullanılmaktadır (Demir,2008).

3.3. AA 356 ALAŞIMI

A356 (Al-Si-Mg) Alüminyum alaşımları %6.5-%7.5 Si, %0.25- %0.45 arası Mg, %0.20' den daha az Cu ve Fe içerir. A356 alüminyum alaşımının tercih edilme sebeplerinin başında mekanik özellikleri gelmektedir. Bu alaşımların çekme dayanımı, darbe dayanımı ve yorulma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanı sıra aşınma direnci de büyük önem taşımaktadır. Malzemelerin mekanik özellikleri, tane boyutu ve şekli, intermetalik fazların oluşumu ve oluşan fazların boyut ve dağılımları gibi mikro yapısal faktörlere bağlıdır (Shivukmar,1990). Mekanik özelliklerinin iyileştirilebildiğinden dolayı, birçok endüstride olduğu gibi otomotiv sektöründe de yaygın olarak kullanılan alaşımlardır (Kalahdooz vd, 2019). Çizelge 3.4' de bu alaşıma ait fiziksel ve mekanik özellikler verilmektedir

Çizelge 3.4. AA356.0-T6 fiziksel ve mekanik özellikleri (Matweb, 2020).

Al-A356 Özellikleri	Değer	Birim
A356'nın yoğunluğu	2,67	g/cm ³
A356'nın özgül ısı kapasitesi	0,963	J/g
A356 döküm sıcaklığı	677-788	°C
A356'nın viskozitesi	1,13 x 10 ⁻³	kg m ⁻¹ s ⁻¹
A356 kayma modülü	27.2	GPa
A356 çekme dayanımı	234	MPa
A356 elastite modülü	72,2	GPa

A356 alaşımının kullanılan alanları; Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde, manifold, jant ve koruyucu bar vb. üretiminde, transmisyon kutusu, silindir başlığı gibi döküm parçalarında, uçak yapılarında ve motor kontrollerinde, nükleer enerji kurulumunda ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır (Pio, 2011). 3xx.x serisinde bulunan alaşımların yaşlandırma ısıl işlemi uygulanabilen alaşımlardır. A356 Alüminyum alaşımının bileşiminde bulunan Mg ile yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında Mg₂Si fazlarının çökelmeleri sayesinde alaşımın mukavemeti artmaktadır.

3.4. A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE A356 ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

A356 Al alaşımının yukarıda belirtilen üstün özellikleri ve yaşlandırılabilme kabiliyetleri sayesinde birçok çalışmada hem alaşım olarak hemde kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlar kullanılarak yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Yıldırım vd yaptıkları bir çalışmada, A356 alüminyum alaşımına farklı oranlarda (0.43, 0.67 ve 0.86) magnezyum (Mg) ilave edilerek döküm yöntemiyle alaşımlar üreterek bu alaşımlara T6 ısıl işlemi uygulamışlardır. Üretilen alaşımların mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda, alaşıma ilave edilen

Mg miktarının artması ile alaşımın sertlik ve çekme dayanımının arttığını vurgulamışlardır. Ayrıca alaşıma ilave edilen Mg miktarı ile mikro yapıda demirce zengin intermetalik bileşiklerin çeşitli şekil ve formlarda oluştuğunu belirtmişlerdir (Yıldırım, 2012).

Santhanam vd. yaptığı bir çalışmada A356 Al alaşımına farklı sürelerde uyguladığı yapay yaşlandırma işleminin mekanik ve korozyon davranışına etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda yapay yaşlandırma işleminin A356 Al alaşımının mukavemetlenmesinde belirgin rol oynadığı belirtilmektedir. Ayrıca farklı sürelerde yapay yaşlandırma işleminin alaşımın sertlik, basma ve korozyon davranışlarına etkisinin olduğunu, belirtmektedirler (Santhanam, 2017)

Tunçay yaptığı bir çalışmada, A356 alaşımına farklı oranda (%0.1-%0.4 Ağ.) Cu ilave edilerek döküm yöntemi ile alaşım üretilmiştir. Üretilen alaşımın mikro yapı ve aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, A356 alaşımına ilave edilen Cu miktarı arttıkça Al-Si ötektiği yapıda homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. A356 alaşımına ilave edilen Cu miktarının artmasıyla, mikro yapıda oluşan Al_2Cu çökeltilerinin (yaşlandırma nedeniyle) miktarı ve alaşımların sertlik değeri artmaktadır. Aşınma testleri sonucunda 10 ve 20 N yük altında en düşük aşınma oranları %0.2 ve %0.4 Cu ilaveli A356 alaşımında, 40 N yük altında %0.4 Cu ilaveli A356 alaşımında elde edilmiştir (Tunçay, 2016).

Şimşek vd. yaptıkları bir çalışmada, A356 matrisine, 4 farklı miktarda (%5, %10, %15 ve %20) SiC ilave edilerek yarı-katı işlem yöntemi ile Al-SiC kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen kompozit parçaların mikro yapı, sertlik ve sabit yük altında aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozit malzemede SiC miktarı arttıkça sertlik artmıştır. Aşınma testleri sonucunda, en yüksek ağırlık kaybı, %5 SiC' de görülürken, en düşük ağırlık kaybı ise %20 SiC ilave edilen kompozit malzemede görülmüştür. Bununla birlikte en düşük sürtünme katsayısı ise %20 SiC ilave edilen kompozit malzemede olduğu belirlenmiştir (Şimşek vd., 2019).

Matik vd. yaptıkları bir çalışmada, toz metalürjisi ve sıcak ekstrüzyon prosesleri ile üretilen, A356 (7Si-0.3Mg) matrisine farklı oranlarda (5, 10 ve 15 wt.%)

WC partiküller ile takviye edilmiş kompozitler üretilmiştir. Üretilen alaşım ve kompozit parçaların analiz, karakterizasyon testleri, mikroyapı ve mekanik testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kompozit parçalarda takviye miktarının artması ile sertlik değerleri artarken, takviye elemanın da aglomeraya bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalma gözlemlenmiştir (Matik vd., 2018).

Pio yaptığı bir çalışmada, A356 alüminyum alaşımına üç farklı oranda (%0.1, %0.2 ve %0.3) skandiyum (Sc) ilave ederek döküm yöntemi ile imal edilen numunelerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Yaptığı çalışma sonunda alaşıma ilave edilen Sc ile çekme dayanımını, sertlik dayanımını ve çentik darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırmıştır. A356 alaşımına ağırlıkça % 0.2 Sc ilavesinin, Sc içermeyen numune ile karşılaştırıldığında maksimum gerilme mukavemetine ulaşabildiği bulunmuştur (Pio, 2011).

BÖLÜM 4

UÇUCU KÜL

Uçucu kül (UK), termik santrallerin fırınlarında toz haline getirilmiş kömürün (linyit) yakılmasından kaynaklanan kalıntıdır ve kömürün tamamen yanmamış hali ile mineral bileşenlerinden oluşur. Termik santrallerde kullanılmakta olan kömürün %11-16'sı, linyit kömürünün %22-27'si kül olarak meydana gelmektedir. Külün yanma sonucunda %75-85'i sıcaklık etkisiyle bacadaki gazlar vasıtasıyla dışarı doğru uçuşur ve bu uçuşan atıklara uçucu kül denir (Kadioğlu, 2005).

Termik santrallerde ekonomi ve çevre için kazanç elde etmek amacıyla atık uçucu külleri değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Uçucu külün küçük bir kısmı çimento ve tuğla üretiminde kullanılmaktadır (Prasada, 2018).

Uçucu külün maliyet olarak düşük olması, takviye malzemeleri arasında sık kullanılmasına neden olmuştur. Bu yönünden dolayı alüminyum matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Farklı oranlarda uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerde, uçucu kül oranının artmasıyla mekanik özelliklerde iyileşme görülürken, korozyon direncinde azalma ve yoğunluğunu düşürme gibi özellikler sayesinde hem daha dayanıklı hem daha hafif malzemelerin üretilmesi sağlanmıştır (Kolukısa, 1999; Vatansever, 2011).

Uçucu külün bir yapı ve dolgu malzemesi olarak kabul edilebilmesi için şu şartların vurgulanması gerekmektedir : (1) Külün özellikleri değişkenlik gösteren durumlarda bir yan üründür. Düzensiz yapıları bilinmeli buna göre tedbirler alınmalıdır. (2) Külün kullanımı için yapılabilecek tasarımlarda ölçütleri yerinde olmalıdır. Kalite kontrol adımları eksiksiz uygulanmalı, kalite kontrol işlemleri için proselere uyulmalıdır (Yakınlar, 2011).

4.1. UÇUCU KÜLÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Uçucu kül, koyu gri renge sahip ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyu veya açık olması, elde edildiği kömüre ve yanma özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam gerçekleşmediği durumda uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucunda oluşan uçucu kül diğerine göre daha açıktır. Uçucu külün fiziksel özellikleri kömür tipine, kazan tipine, kömürdeki kül içeriğine ve yakma yöntemine göre farklılıklar göstermektedir. Uçucu külün ince olmasının nedeni ilk olarak kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. İnceliğe etki eden ikinci faktör ise, küllerin olabildiğince bacadan çıkmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan çıkan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı baca gazları ile dışarıya doğru çıkan ve hava ile temas etmesi sonucunda ani bir soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin tanecik boyutları, yaklaşık olarak 1-100 µm değer aralığında farklılık göstermektedir. Genel anlamda tanecikler, ergime sonucundan kaynaklı olarak küresel bir yapıya sahip olurlar (Güler vd., 2005; Yakınlar, 2011).

Uçucu kül yoğunluğu, kömürün inceliğine ve içerdiği bileşen yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Uçucu külün parçacıklarının mutlak yoğunluğu yaklaşık 2,1-2.3 gr / cm³ aralığındadır (Rajan vd., 2007).

Uçucu kül, fiziksel özellikleri ve ürettiği yüksek hacimler nedeniyle bazı sorunlar oluşturmaktadır. Sorunun bazı yönleri şunlardır;

- 1- Yoğun bertaraf nedeniyle hem kuru kül hem de havuz külü olarak uçucu kül partikülleri, elektrik santrali civarında birçok hektarlık araziye işgal eder.
- 2- İnce olduğu için, kuru halde uçucu külü işlemek çok zordur. Uçan ince kül parçacıkları yapısal yüzeyleri aşındırır.
- 3- Toprak, hava ve su kirliliği ile ekolojiyi bozar.
- 4- Uçucu kül bir malzeme olduğu için iyi bir şekilde yönetilmezse çevre ve birçok sağlık problemlerine neden olabilmektedir. (Fan, 2016; Eroğan, 2019).

4.2. UÇUCU KÜLÜN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Uçucu küldeki fiziksel özellikleri etkileyen faktörler aynı zamanda uçucu külün kimyasal faktörlerinden de sorumludur. Kimyasal açısından bakıldığında, uçucu kül inert bir malzemedir ve yapı malzemesi olarak oldukça uygundur. Uçucu külün ana bileşeni SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve SO_4 'tür. Aslında uçucu kül, organik karbon ve nitrojenin dışında toprakta bulunan hemen hemen bütün elementlerden meydana gelmektedir (Çana vd., 1997).

Uçucu külün kimyasal özellikleri, içerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklik göstermektedir. Büyük ölçüde yakılan kömürün kimyasal içeriğinden (yani antrasit, bitümlü ve linyit) etkilenir. Uçucu külün kömür tipi olarak; Antrasit, yüksek parlaklığa sahip sert, kompakt bir mineral kömür çeşididir. En yüksek karbon sayısına sahiptir ve düşük kalori içeriğine rağmen tüm kömürler arasında en az safsızlığı içerir. Linyit, aynı zamanda kahverengi kömür olarak da anılır, kömürün en alt seviyesidir ve neredeyse sadece buhar-elektrik enerjisi üretimi için yakıt olarak kullanılır (Morrison, 1970). 400–1500 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta öğütülmüş kömürün yanması sırasında tesisin daha soğuk kısımlarında inorganik bileşiklerin büyük bir kısmı buharlaşır ve uçucu kül partikülleri üzerinde yoğunlaşır (Özdemir, 2001).

4.3. UÇUCU KÜL TAKVİYELİ METAL MATRİS KOMPOZİTLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Surappa tarafından yapılan bir çalışmada karıştırmalı döküm yöntemi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile A356 A alaşımına %6 ve %12 oranında uçucu kül ilave edilerek kompozitler üretilmiştir. Üretilen Kompozitlerin mikroyapı sertlik çekme ve basma dayanımlarına etkisi incelenmiştir yapılan çalışma sonunda uçucu külün yapıda homojene yakın bir dağılım sergilediği ancak bazı bölgelerde aglomerasyonun olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca takviye ilave edilen kompozitlerin sertlik ve akma dayanım değerlerinin takviye ilave edilmeyen alaşıma kıyasla arttığını vurgulamıştır (Surappa, 2008).

Mahendra ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Al-4.5 Cu alaşımına üç farklı oranda (%5, %10, %15) uçucu kül ilave edilerek geleneksel döküm metoduyla kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin sertlik, çekme dayanımı, yoğunluk aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonrasında alaşıma ilave edilen uçucu külün sertlik ve çekme dayanımını arttırdığı, uçucu kül miktarı arttıkça yoğunluğun azaldığı, kuru aşınma direncinin takviye elemanının artması ile arttığı belirlenmiştir (Mahendra vd., 2007).

Lokesh ve diğerlerini yaptığı bir çalışmada Al-%4.5 Cu alaşımına %3-%9 arasında üç farklı miktarda uçucu kül ilave edilerek hem karıştırmalı hem de sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile kompozitler üretilmişlerdir. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda uçucu kül miktarı arttıkça sertlik çekme ve basma dayanımının arttığı belirlenmiştir (Lokesh vd., 2013).

Balamurugan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada saf Cu malzemesi içerisine iki farklı oranda (%5 ve %10) uçucu kül ilave ederek farklı sıkıştırma oranları ve farklı sinterleme sıcaklığında malzemenin yoğunluk, sertlik ve aşınma direncine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonunda sertlik yoğunluk ve aşınma direncinin sıkıştırma ve sinterleme parametreleri değiştiğinde bu özelliklerin değiştiği tespit edilmiştir (Balamurugan vd., 2015).

Raghu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, matris elemanı olan saf Mg içerisine dört farklı oranda (%0,5, %1, %1.5, %2) uçucu kül ilave edilerek, toz metalürjisi yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin sertlik değeri ölçüldüğünde %1,5 'e kadar uçucu kül takviye edilen kompozitin sertlik değerinin arttığı, %2 uçucu kül takviye edilen kompozitin sertlik değerinin düştüğü tespit edilmiştir (Raghu vd.,2019).

Kanth ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada döküm yolu kullanarak Al-Zn / uçucu kül / SiC ile güçlendirilmiş kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin yapıları incelendiğinde uçucu kül ve SiC partiküllerinin matris boyunca homojen olarak dağıldığını bulmuşlardır. Uçucu kül partiküllerinin kompozite dahil edilmesi

, sertlik ve gerilme özelliklerini artırmıştır. SiC partiküllerinin kompozite eklenmesiyle akma mukavemetini iyileştirdiğini saptamışlardır (Kanth vd., 2019).

Patil ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, matris malzemesi olan A6063 alaşımına farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) uçucu kül ilave edilerek döküm yoluyla metal matris kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitin mekanik yapısındaki değişimleri incelenmiştir. %15 uçucu kül içeren kompozitin, matris elamanı A6063 ile kıyaslandığında çekme mukavemetinde yaklaşık %58 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen kompozit malzemeler, matris malzemesi A6063 göre kıyaslandığında aşınma direncinde ve mekanik özelliklerinde artış olduğu belirlenmiştir (Patil vd., 2020).

Liang ve arkadaşları yapılan bir çalışmada, Al – 3Mg ağırlıkça takviye elemanı olarak % 5 uçucu kül kullanılarak, çeşitli sürelerde (0, 10, 20, 30 ve 40 saat) 850 ° C'de döküm yöntemi ile kompozit üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikro yapısı ve sertliği incelenmiştir. Mikro yapısal gözlemler sonucunda uçucu kül partiküllerinin çeperi çatladıktan sonra erimiş metal, katı olmayan uçucu küldeki gözeneklere ve çatlaklara sızmıştır. Reaksiyon süresinin arttırılması, alüminyum matris kompozitlerdeki gözenekliliği azaltırken, yoğunluğu artmıştır. 40 saatlik reaksiyon sonucunda kompozitlerin sertlik değeri maksimum 70.74'e ulaşmıştır. Bu matris malzemesine göre % 46,7'lik bir gelişme olduğu ölçülmüştür (Liang vd., 2016).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde hem Al hem de diğer metal alaşımlarına ilave edilen uçucu külün yapı içerisinde homojen dağıtılabildiği takdirde mekanik özellikleri arttırdığı vurgulanmaktadır.

BÖLÜM 5

TOZ METALURJİSİ

Toz metalürjisi (TM), saf metal ve alaşım tozları homojen duruma gelene kadar karıştırılıp, metal veya seramik tozların kalıpta şekillendirme işleminden sonra ergime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklıkta pişirilme (sinterlenmesi) süreçlerini içeren yöntemdir. Geniş uygulama alanı olan bu yöntem kompozit oluşturmak amacı ile birbiri içerisinde çözünmeyen tozları çeşitli oranlarda karıştırarak fazların boyut, şekil ve miktarları bakımından malzemede istenilen özellikleri sağlayabilmektedir. Toz metalürjisi, imal edilmesi zor olan parçaların toz halinde bulunan hammaddelerden başlayarak ekonomik, yüksek dayanım ve minimum toleransla diğer üretim teknikleriyle karşılaştırıldığında daha avantajlı üretimi sağlamaktadır. (Ayata, 2014).

Toz metalürjisi (T/M) yöntemi ilk olarak bazı üretim tekniklerine ek olarak geliştirilmiştir. Bu üretim teknikleri geleneksel döküm, presleme ve talaş kaldırmadır. Toz metalürjisi yönteminde, diğer üretim tekniklerinde mümkün olmayan malzemelerin karmaşık geometrilere dönüştürülmesi daha kolaydır. Net şekil yeteneğinin olması, ikincil işlemleri doğrudan azaltır (Özer, 2019).

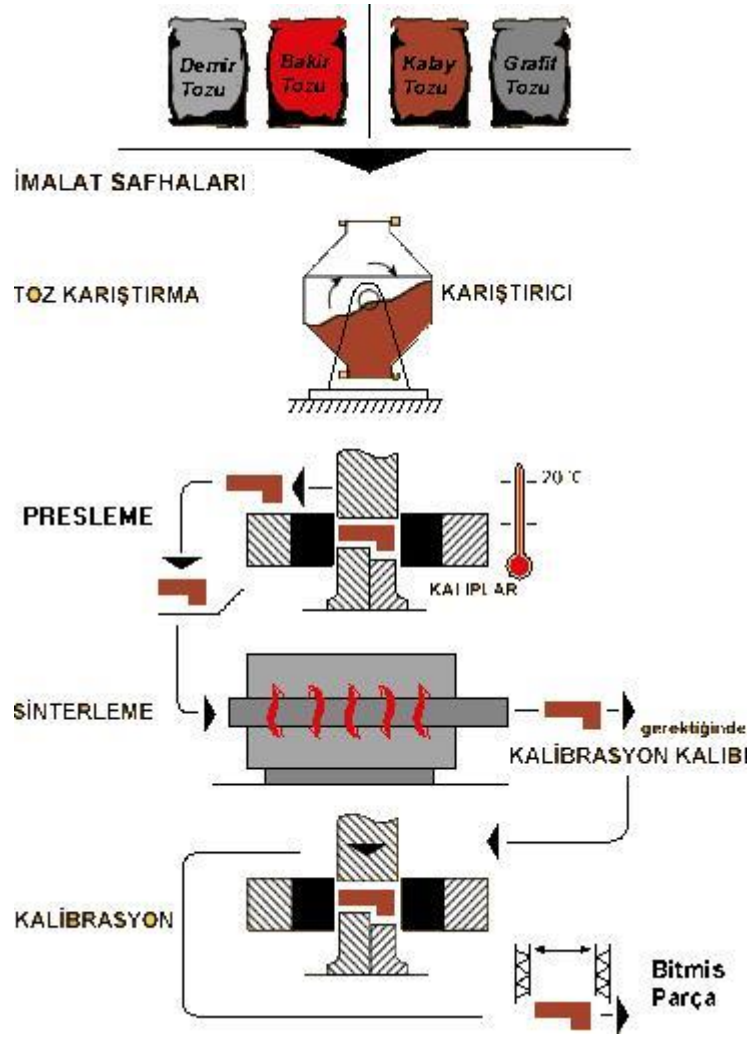
Tozların parçacık boyutu bir nanometreden yüz mikrometreye kadar geniş aralıkta değişkenlik gösterir. Toz metalürjisi parçacık boyutuna göre, hemen hemen her şekle sahip malzemelerin üretilmesine izin verir (İnternet, 2020). Toz metalürjisinde toz parçacık şekilleri Şekil 5.1 ' de verilmektedir.



Şekil 5.1. Parçacık şekilleri (Sarıtaş, 2007).

5.1. TOZ METALURJİSİ ÜRETİM AŞAMALARI

1. Toz hazırlama
2. Metal tozun üretimi
3. Tozları sıkıştırma
4. Sinterleme
5. İkincil işlemler (Leander vd., 2002).



Şekil 5.2. Toz metalurjisi üretim aşamaları (Kalaycıoğlu, 2010).

5.1.1. Tozların Hazırlaması

Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilir ama önemli olan hangi yöntemi kullanacağımızdır. Metalik tozlar, yağlayıcılar ve alaşım elementleri ile homojen bir toz elde etmek için karıştırılır. Yağlayıcı kullanmanın amacı, toz kütleleri ile kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve tozların sıkıştırma anında kaymalarını sağlamaktır. Toz üretilmesinde kullanılan en temel yöntemler; mekanik öğütme/mekanik alaşımlama, kimyasal tepkime, elektrolitik biriktirme, yoğunlaşmış buhar işlemi ve sıvı atomizasyondur (İçin, 2005).

5.1.2. Mekanik toz üretimi

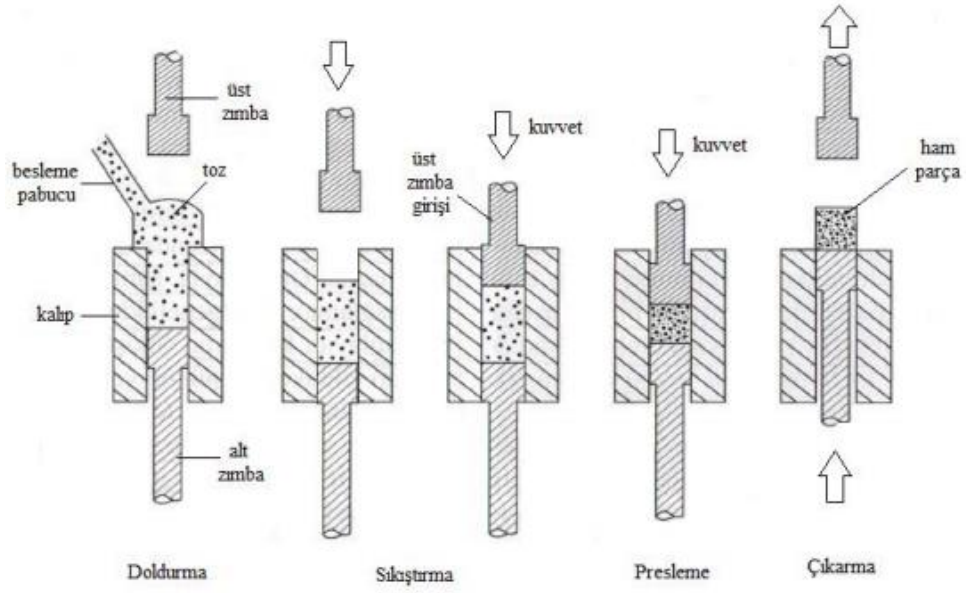
Mekanik toz üretiminde dört ana mekanik öğütme vardır.

- 1- Darbe ile toz haline getirmek
- 2- Öğütmek (kabın içerisinde küçük bilyelerin olduğu dönen bir sistem ile homojen karışması)
- 3- Kesme ile toz haline getirme işlemi
- 4- Ezme ile toz haline getirme işlemi

Darbe ile; darbe malzemeye çekiçe vurma gibi çok hızlı ve anlık uygulamaları kapsar dolayısıyla malzeme daha küçük parçalara kadar ayrılır. Öğütmek ile; toz haline getirilecek olan malzemenin cinsine göre bilyeler seçilir, toz ve bilyeler dönen sistem içindeki silindirik kabın içine konulur. Yüksek enerjili olan bu sistemde birbirlerine tozlar çarpışarak homojen haline gelir. Öğütme sırasında boyut küçüldükçe istenilen gerilme değeri artar. Parçacık boyutunda küçülme oldukça daha yavaş öğütme gerekir. En uygun öğütme için bilye çapı toz çapının 30 katıdır. Doğru bir öğütme için bilyeler kavanoz hacminin $\frac{1}{2}$ si kadar olmalıdır. Kesme ile; bu kesme işlemi sonucunda tozların büyük olma olasılığı vardır. Ezme ile; bir malzemenin maksimum kırılma noktasına kadar deformasyona uğratıldığında toz haline getirme işlemidir (Özgürlük, 2010) .

5.1.3. Presleme İşlemi

Öğütülen metal tozlar, istenilen geometrik şekle sahip olması için kalıbın içine boşaltılır. Zımbaya belirli bir kuvvet uygulayarak, zımba kalıbın içine iner ve tozların sıkıştırılmasıyla ürünün ön şekillendirilmesi yapılır. Tozların aynı zamanda yoğunluğu artar. Toz yapısı ve parçacıkların küçüklüğü, sıkıştırma basıncını etkilemektedir. Presleme işlemi genel olarak hidrolik veya mekanik pres ile yapılır. Kalıp tasarımı çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır, ürünün kalıptan çıkarımı kolay olmalıdır (Çalığül vd., 2008). Şekil 5.3 ' te presleme basamakları verilmektedir.



Şekil 5.3. Presleme basamakları (German, 2007).

5.1.4. Sinterleme İşlemi

Sinterleme, üretilen parçacıkların yüksek sıcaklıklarda, parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla birbirine bağlanması işlemidir. Sinterleme geri döndürülemez bir tekniktir. Sinterlemeden önce partiküller kolaylıkla akarken sinterlemeden sonra partiküller katı bir gövdeye bağlanır. Küçük parçacıklar daha fazla yüzey enerjisine sahiptir ve büyük parçacıklardan daha hızlı sinterlenir (Ayata, 2014).

Sinterleme süresi kullanılan malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça sinterleme süresi kısalmır. Daha kısa sinterleme sürelerinde, tane sınırlarında fazla gözenek bulunur. Yüksek sinterleme sıcaklıklarında ise, daha hızlı ve düzensiz tane büyümesi meydana gelir, bu da tane sınırı hareketini ve tane büyümesini engeller. Bu nedenle, sinterleme süresi ve sıcaklığı, önemli ölçüde difüzyon ve toplu taşıma meydana gelecek şekilde optimize edilmelidir. Parçacıklar arası mekanik bağlar kimyasal nitelik kazanır. Malzemenin mekanik özelliklerinin ve kalitenin iyileştirilmesi için sinterleme işlemi yapılmaktadır. Sinterleme sıcaklığı genellikle içerdiği metal ve alaşımın erime noktasından daha düşük olmalıdır. Sinterleme işleminden sonra ek bir işleme gerek duyulmaz (Naransimhan vd., 2001).

5.1.5. İkincil İşlemler

Sinterlenmiş parçalar ikincil işlemlere tabi tutulabilir. Bu ikincil işlemler genellikle yüzey kalitesini arttırmak için, boyutsal tolerans aralığını sağlamak için, korozyon direncini ve yoğunluk değerlerini arttırmak için kullanılır. Bu işlemler arasında taşlama, kaplama, baskılama ve zımparalama yer almaktadır (Hryha vd.,2008).

5.2. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI

- 1- Toz metalürjisinde yoğunluk ve ergime noktalarındaki farklılıklardan dolayı başka üretim teknikleriyle yapılamayan, karmaşık parçaların üretimi mümkündür.
- 2- Toz metalurjisi, yüksek malzeme kullanımını ve düşük malzeme kaybını sağlar.
- 3- Toz metalürjisinde, parça imalatının kolay olmasından dolayı malzeme açısından en verimli biçimlerinden biridir.
- 4- Toz metalürjisin de seri üretim yapılabilir.
- 5- Toz metalurjisi, karmaşık geometri, yüksek yüzey kalitesinin olmasından dolayı geleneksel dökümlere kıyasla daha az kusurlu parçalar üretir.
- 6- Isıl işlem uygulayarak mukavemeti veya aşınma direncini yükseltilebilen malzemeler sağlanabilir.
- 7- Net şekil yeteneğinin olması, işleme ve ikincil işlemleri doğrudan azaltır (İçin, 2005; Özgürlük, 2010).

5.3. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI

- 1- Tozların homojen bir düzeyde olmaması durumunda preslenen ürünün deforme olma ihtimali yüksektir.
- 2- TM üretim hatlarında tipik olarak yaklaşık % 5'lik bir hurda oranı olabilir. Mevcut çabalar, üretim kalitesini artırmak ve hurdayı mümkün olduğunca azaltmaktır.
- 3- TM ürününde, gözeneklilik istenmeyen bir durumdur. Ancak sıklıkla bu durumla karşılaşmaktadır.

- 4- Talaşlı üretime göre tolerans değerleri daha fazladır.
- 5- Metal tozları pahalı ve bazıları yanıcı olabilmektedir.
- 6- Toz kullanımı çok titiz olmalıdır, dış etkenler malzeme içine girip karışmamalı ve malzemenin temel halini bozup mekanik özelliğinde olumsuz bir etki oluşturmamalıdır (Diler, 2012).

5.4. MEKANİK ALAŞIMLAMA/MEKANİK ÖĞÜTME (MA/MÖ)

Mekanik alaşımlama (MA), bir bilyalı değirmende yüksek enerji ile toz parçacıklarının ısı ve kimyasal işlemlere gerek duymadan metallerin alaşımlanması işlemidir. MA tozları imal etmek için, bu işlem homojen toz üretimini sağlayan, etkili bir yöntemdir. İşleme parametreleri, ürünlerin nihai bileşimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Sago vd., 1997).

Mekanik alaşımlama tekniğinin de yüksek enerjili öğütme sırasında, kabın içindeki toz parçacıkları tekrar tekrar düzleşir, kırılır ve yeniden kaynaklanır. Ne zaman iki çelik bilye çarpışsa, aralarında bir miktar toz kalır. Bu toz partiküllerini plastik olarak deforme eder ve yeni yüzeyler oluşturur. Mekanik alaşımlamayla elde edilen malzemelerde, matris içerisindeki parçacıkların arasındaki mesafenin azalması sonucunda malzemenin mukavemetinde artış olmaktadır (Demir, 2014).

Öğütmenin ilk aşamalarında, parçacıklar yumuşaktır (sünek-sünek veya sünek-kırılgan malzeme) ve birbirlerine kaynak yapma ve büyük parçacıklar oluşturma istekleri yüksektir (Boston, 2008).



Şekil 5.4. Mekanik alaşımlama hazne ve bilye (Milli, 2017).

Şekil 5.5' te görüldüğü gibi alaşımlanacak tozlar kapalı hazneye konur şaft döndürülmeye başlanır. Öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerinin hazne içerisinde serbest dolaşıp karşı duvara çarpmasıyla darbe etkisi yapar MA işlemi bu şekilde gerçekleşir (Suryanarayana, 2001).



Şekil 5.5. Öğütme kabında ki bilyeler (Milli, 2017).

Mekanik alaşımlama yönteminde elde edilen tozun yapısında etkili önemli parametreler vardır. Bunlar;

- 1- Öğütülen malzemenin tipi
- 2- Değirmen tipi
- 3- Öğütücü kap
- 4- Öğütme için gerekli olan süre
- 5- Kabın doluluk derecesi
- 6- Ek bağlayıcı kimyasallar
- 7- Öğütme devir turu
- 8- Bilye ve toz oranı
- 9- Öğütme atmosferi
- 10- Bilye apı (Milli,2017).

Mekanik alaşımlama yönteminin diğer imalat tiplerine göre üstün zellikleri;

- 1- Mekanik alaşımlama, homojen olarak dağılmış kompozit malzemeler üretmek için en iyi işleme tekniklerinden biridir.
- 2- MA' nın, döküm gibi geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan çok yüksek karbon konsantrasyonlu Fe-C alaşımları gibi metal alaşımlarını işlemek için etkili bir tekniktir.
- 3- Birbirinden çok farklı ergime sıcaklığına sahip malzemelerden olan intermetaliklerin elde edilmesine olanak sağlar.
- 4- Çok fazla miktarda tozun aynı anda alaşımlandırılmasını sağlar.
- 5- Mekanik alaşımlama yönteminde, kritik sıcaklık noktalarında ısıl işlem imkanı olması mekanik alaşımlamanın avantajları olarak özetlenebilir (zyrek, 2002).

Mekanik alaşımlama yönteminin dezavantajları ise;

- 1- Öğütme süresinin fazla olması
- 2- Maliyetinin fazla olması
- 3- İçerisinde oksijen barındıran yabancı maddelerin olabilme ihtimalini sayabiliriz (Demir, 2014).

BÖLÜM 6

AŞINMA

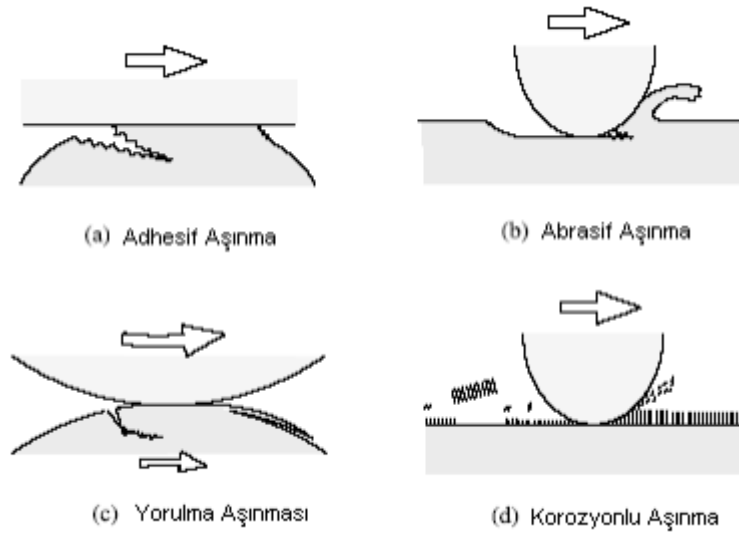
Aşınma; iki malzeme yüzeyinin birbirleri arasında oluşan sürtünme durumudur. Bu sürtünme sonucunda malzemede kayıplar olabilmektedir. Bunun sonucunda parçanın şekli ve ağırlığında değişimler olmaktadır. Oluşan bu sürtünme ve yıpranma işlemine triboloji denilmektedir. (Diler,2012). Aşınma üç ana unsura göre olmaktadır;

- Ana malzeme: Aşınan malzemenin üretim yöntemi, kimyasal bileşeni ve mekanik özellikleri önemli faktörlerdir. Bu faktörler malzemenin aşınmaya hangi ölçütte duyarlı olduğunu tespit etmemize yarar.
- Aşındırıcı: Malzeme üzerinde oluşan sertlik, hız, ağırlık gibi dış elemanları temsil eder.
- Aşınma ortamı: Çalışma koşulları sıcaklık, basınç, nem gibi faktörlerin stabil olması gerekir (Mindivan vd., 2008).

6.1. AŞINMA TIPLERİ

Aşınma tipleri şu şekildedir.

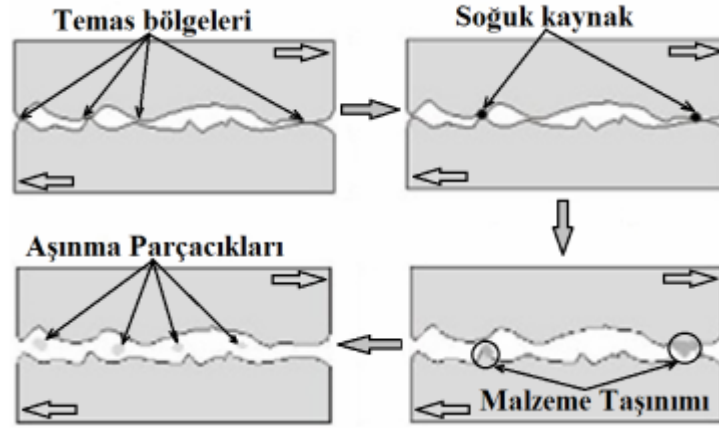
- Adhesiv aşınma
- Abrasiv aşınma
- Yorulma aşınması
- Korozyon aşınması
- Erozyon aşınması



Şekil 6.1. Aşınma tipleri (Mindivan vd., 2008).

6.1.1. Adhesiv Aşınma

Bu aşınma türü malzemenin üzerindeki düzensiz halleri göstermektedir. Adhesiv aşınma türü karşılıklı olarak etkileşim halinde olan iki yüzeyin, birinden aşınma sonucu parçacığın koparak diğer bir yüzeye basınç sonucu yapışmasıdır. Özetle bir yüzeyden koparak diğer malzemeye birleşmesi olarak tanımlanır. Oluşan bu basınç nedeni ile temas noktalarındaki malzemeler, akma sınırına ulaşır ve mikro kaynaklanmalar oluşur. Yöntem olarak hassas işlenmiş olan yüzeylerde oluşmaktadır (Dixit,2017). Şekil 6.2' de adhesiv aşınma mekanizması verilmektedir.



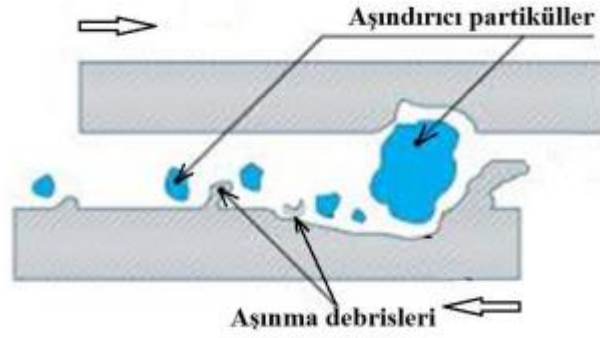
Şekil 6.2. Adhesiv aşınma(Varol, 2016).

Aşınmaya bağlı basınç veya yük, temas yüzeyi gibi durumlardan dolayı aşınmayı etkileyen önemli bir faktördür. Basıncın etkisiyle pürüzlülük yüzeyinin daha fazla deformasyona uğradığı ve bu sebepten malzemenin gerçek temas yüzeyinin arttığı tespit edilmiştir. Adhesiv aşınmayı şu ürünlerde görebiliriz: millerde ve makinalardaki ekstantrik millerinde, tornalamada, frezelemede, planya ve vargel, matkap uçları gibi birbiri ile temas halinde çalışan kızak ve dişlilerde, yataklarda görmek mümkündür.

Adhesiv aşınmayı en aza indirmek için şu faktörler önemlidir; temas yüzeyine uygulanan basınç etkisinin azalması ve birbirleriyle temas eden malzemelerin sertlik düzeyleri artırılmalıdır (Özdin, 2006).

6.1.2. Abrasiv Aşınma

Aşındırıcı aşınma, iki yüzey arasına giren, farklı derinliklere kadar delen ve yüzey katmanlarının deformasyonu sonucunda meydana gelir. Temas eden iki cisimden daha sert olanının, diğer cismi çizerek üzerinden mikron mertebesinde talaş kaldırma olayıdır. Aşınma işleminde, parçacıkların ayrılması nedeniyle yüzey tabakasında malzeme kaybı oluşmaktadır (Yıldız, 2006). Şekil 6.3' te abrasiv aşınma mekanizması verilmektedir.



Şekil 6.3. Abrasiv aşınma (Varol,2016) .

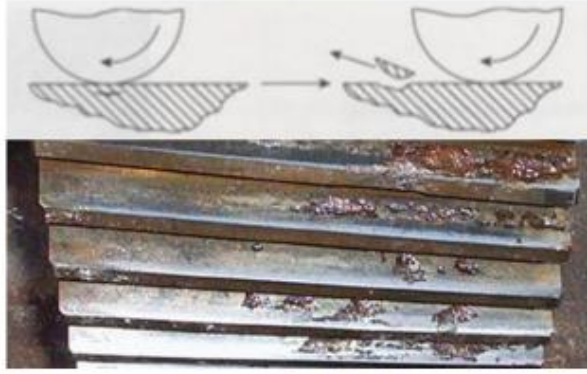
Abrasif aşınma çok yaygın ve aynı zamanda çok ciddi bir aşınma türüdür. Etkileşen iki yüzey doğrudan fiziksel temas halinde olduğunda ve bunlardan biri diğerinden önemli ölçüde daha sert olduğunda ortaya çıkar. Normal bir yükün etkisi altında, sert yüzeydeki pürüzler daha yumuşak yüzeye nüfuz ederek plastik deformasyonlar oluşturur.

Abrasiv aşınmanın en aza indirilmesi için şu işlemler uygulanabilir.

Yüzey sertliğini arttırmak; Bunun için yüzeyin ısıtılarak sertleştirilmesi gerekmektedir. Abrasiv parçalardan uzaklaşmak; abrasiv aşınmanın olduğu ortamlardan su, nem, yağ gibi partiküller uzaklaşması için filtrelenebilmektedir (Özkan, 2007).

6.1.3. Yorulma Aşınması

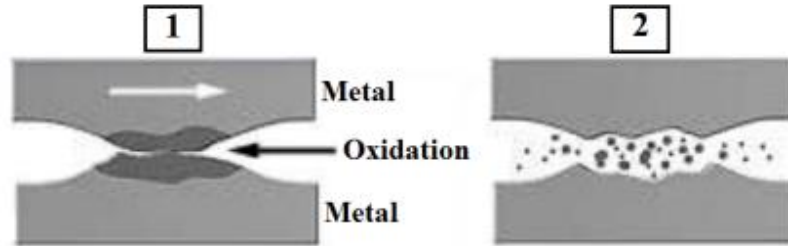
Yorulma aşınması iki yüzey birbirleri ile temas ederken içyapı yorulur, bu tip aşınmada basıncın etkisiyle malzeme yüzeyinde çukurlar ve boşluklar meydana gelmektedir. Basıncının etkisiyle malzeme yüzeyinin hemen altında kayma gerilmeleri oluşur. Yorulma aşınması yüzeyi sert olan malzemelerde görülmektedir (Sun, 1998). Şekil 6.4' te yorulma aşınmasına tabi tutulmuş malzemeler ve yorulma aşınması mekanizması verilmektedir.



Şekil 6.4. Yorulma aşınması (Varol, 2016).

6.1.4. Korozyon Aşınması

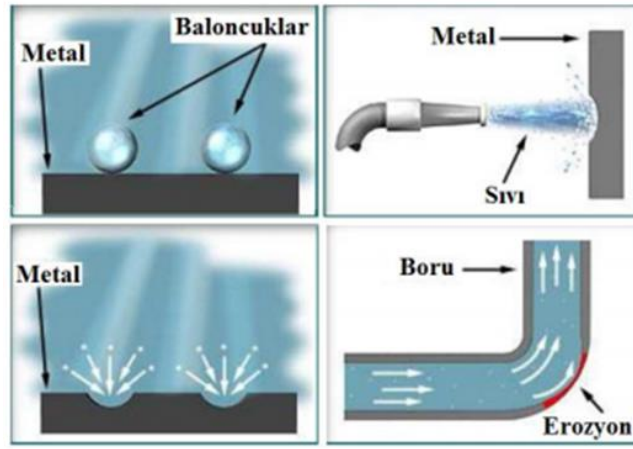
Malzeme yüzeyinin kimyasal etki altında ağırlığının azalması sonucunda oluşan aşınma biçimidir. Aşınma esnasında sürtünme, yüzeylerin korozyona uğrama hızını arttırmaktadır. Aşınma oluşurken malzemenin yüzeyinden kopan parçacıklar, abrasiv aşınma ile birlikte aşınma oluşumunu daha da arttırmaktadır. Aşınmış olan malzeme ile aşındırıcı ortam arasında kimyasal tepkimeler, aşınmanın ana sebebidir. Korozyon aşınmasını önlemek için yağlayıcılar kullanılmaktadır (Diler, 2012). Şekil 6.5' te korozyon aşınması mekanizması verilmektedir.



Şekil 6.5. Korozyon aşınması (Owsalou, 2012).

6.1.5. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, malzemenin yüzeyine katı veya sıvı formda parçacıkların çarpması sonucunda oluşmaktadır. Sürekli devam eden çarpma nedeniyle malzeme plastik deformasyona uğrar ve yüzeyde ki parçaları kopartmaktadır. Diğer aşınma türlerinde görüldüğü gibi mekanik dayanım aşınma direncini ve oluşan aşınmayı en düşük seviyeye ulaştırmak için malzeme karakteristiği önemlidir (Muratoğlu vd., 2009). Şekil 6.6' da erozyon aşınması sistemi verilmektedir.



Şekil 6.6. Erozyon aşınması (Şenol, 2018).

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. TOZLARIN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada matris malzemesi ticari olarak tedarik edilen ve kimyasal bileşimi Çizelge 7.1’ de verilen A356 Alüminyum (63 µm) alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak da Seyitömer termik santralinden (Kütahya) ticari olarak temin edilen ve kimyasal bileşimi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarı’nda bulunun XRF cihazında tespit edilen uçucu kül kullanılmıştır.

Çizelge 7.1. Ticari olarak elde edilen A356 Al alaşım tozlarının kimyasal bileşimi (Kolahdoz vd., 2019).

Element	Al	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Ti	N	Cu	Diğer
Ağırlık	%92.16	%6.63	%0.57	%0.32	%0.17	%0.09	%0.01	%0.01	%0.01	%0.02

Kompozit oluşturmak amacıyla matris malzemesi içerisine ağırlıkça dört farklı oranda (%0,5, %1, %2 ve %4) takviye elemanı olan uçucu kül ilave edilerek 1 saat mekanik alaşımlama/mekanik öğütme yöntemiyle kompozit tozlar üretilmiştir.

7.1.1. Kompozit Tozların Öğütülmesi

Uçucu kül takviyeli A356 Al matrisli alüminyum kompozitlerin üretiminde yapı için gerekli olan tozlar 1/10000 g olan hassas terazide tartılmıştır. Tartılan matris ve takviye toz karışımları Şekil 7.1’ de verilen 225 ml alım hacmine sahip olan Fritsch Pulverisette marka olan, öğütme hazneli planeter tipi mekanik öğütme makinesinde öğütülmüştür. İlk olarak matris alüminyum ile takviye malzemesi uçucu kül %0,5 %1, 2 ve %4 oranlarında 1 saat öğütülmüştür. Mekanik öğütme ve işleminde 8 mm çapında

paslanmaz çelik bilye, 10:1 bilye/toz oranı ve 400 rpm döndürme hızına sahip mekanik alaşımlama/öğütme cihazında yapılmıştır. Öğütme işlemi sırasında soğuk kaynaklanma ve aglomerasyonunu engellemek için işlem kontrol kimyasalı olarak ağırlıkça %1 stearik asit kullanılmıştır. Ayrıca mekanik alaşımlama işlemi sırasında tozların ısınmasını önlemek için, her 15 dakikalık öğütmeye tabi tutulduktan sonra cihaz durdurularak 15 dakika dinlenmeye alınmıştır.



Şekil 7.1. Mekanik alaşımlama cihazı.

7.2. ÖN ŞEKİLLENDİRME İŞLEMLERİ

Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen uçucu kül takviyeli alüminyum kompozit tozlar Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Üretim Metalurjisi Laboratuvarı'nda bulunan tek eksenli 50 ton yük kapasiteli “ Hidrolik San” marka cihazda preslenmiştir. Ön şekillendirme işleminde kullanılan kalıplar Şekil 7.2’de soğuk presleme işlemlerinde kullanılan pres görüntüsü Şekil 7.3’ te verilmektedir.



Şekil 7.2. Presleme işleminde kullanılan kalıp.



Şekil 7.3. Presleme işleminin yapıldığı hidrolik pres.

7.3. SİNERLEME İŞLEMİ

Ön şekillendirme işleminden sonra oluşan kompozitler, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Laboratuvarında bulunan vakumlu sinterleme fırınında sinterlenmiştir.

Sinterleme vakum altında ve 590 ° C' de 1 saat sinterlenmiştir. Sinterleme süresi dolduktan sonra sinterleme fırınının içinde soğuması beklenmiştir.



Şekil 7.4. Sinterleme işleminin yapıldığı fırın.

7.4. METALOGRAFİK İNCELEMER İÇİN NUMUNE HAZIRLANMASI

Sinterlenen uçucu kül takviyeli A356 alüminyum kompozitli numunelere standart kapsamlı metalografik işlemler uygulanmıştır. Üretilen numunenin zımparalama ve parlatma işlemleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Laboratuvarında bulunan ve görüntüsü Şekil 7.5’ de verilen PRESICA marka MECAPOL P 262 model polisaj cihazında yapılmıştır. İstenilen yüzey niteliğine gelen numuneler KELLER dağlayıcısı (95 ml saf su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCL, 1 ml HF) 10-20 saniye arasında dağlanmıştır.



Şekil 7.5. Polisaj cihazı.

7.5 OPTİK MİKROSKOP İNCELEMESİ

Numunelerin mikro yapı incelemeleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Nikon EPIPHOT 200 marka cihazla yapılmıştır. Her numunenin 3 farklı bölgesinden farklı büyütme oranlarında görüntü alınmıştır.



Şekil 7.6. Optik mikroskop görüntüleme cihazı.

7.6. SEM XRD VE EDS İNCELEMELERİ

Üretilen numunelerin mikro yapı ve EDS incelemeleri, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarı'nda yer alan Zeiss marka Ultra/Plus (FEG) model tarama elektron mikroskobunda yapılmıştır.

Hem ticari olarak temin edilen tozun hem de kompozit oluşturduktan sonra bileşen fazlarının belirlenmesi amacıyla, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarı'nda bulunan Rigaku marka XRD cihazında X-ışını kırınımı (XRD) incelemeleri yapılmıştır.

7.7. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

Sinterlenen uçucu kül takviyeli A356 alüminyum kompozitlerin yoğunluk testleri Archimedes prensibine göre, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan PRESICA marka XB200 h model, yoğunluk ölçüm cihazında yapılmıştır.



Şekil 7.7. Yoğunluk ölçüm cihazı.

7.8. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

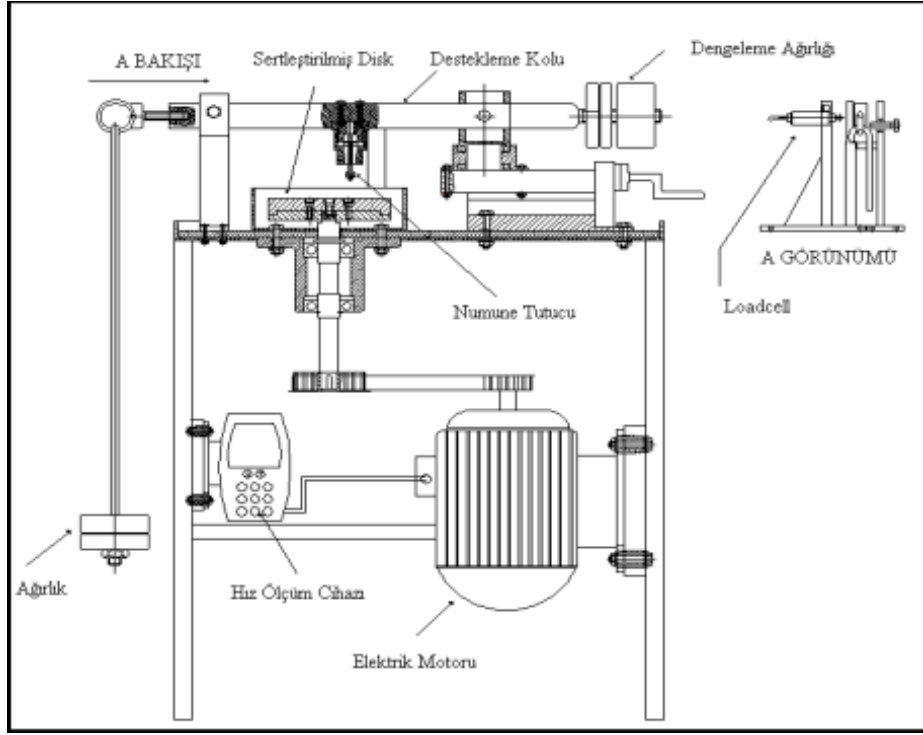
Sertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Üretim Metalurjisi Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 7.8' da gösterilen SHIMADZU mikro sertlik cihazında her bileşen için 2 ayrı numunenin 5 farklı bölgesinden ölçümler yapılarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 7.8. Mikro sertlik cihazı.

7.9. AŞINMA TESTLERİ

Aşınma ölçümleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Laboratuvarında bulunan pin-on disk türü aşınma cihazında yapılmıştır. Testlerde 1 ms^{-1} kayma hızı, 30 N yük ve dört farklı kayma mesafesi (500,1000,1500,2000) kullanılmıştır. Karşılık malzemesi olarak 230 mm çapında 20 mm kalınlığındaki (64 HRC sertliğinde) AISI 4140 çelik disk kullanılmıştır. Aşınma testleri ASTM-G99-05 standardına göre aşınmanın ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Oluşan ağırlık kayıplarının ölçülmesi için 1/10000 g hassasiyetindeki hassas terazi kullanılmıştır. Her test sonrasında diskin yüzeyinin temiz olması için zımparalanarak aseton ile temizlenmiştir. Aşınma testleri sırasında kullanılan cihazın şematik görüntüsü Şekil 7.9' da verilmektedir. Ayrıca aşınma oranının hesaplanmasında kullanılan formül eşitlik 7.1' de verilmektedir.



Şekil 7.9. Aşınma cihazının şematik görüntüsü (Yıldırım,2016).

$$Wa \frac{\Delta G}{d.P.S\left(\frac{g}{cm^3}.N.m\right)} \quad (7.1.)$$

Wa: Aşınma oranı

ΔG : Ağırlık kaybı

P: Yükleme ağırlığı (N)

S: Kayma yolu (m)

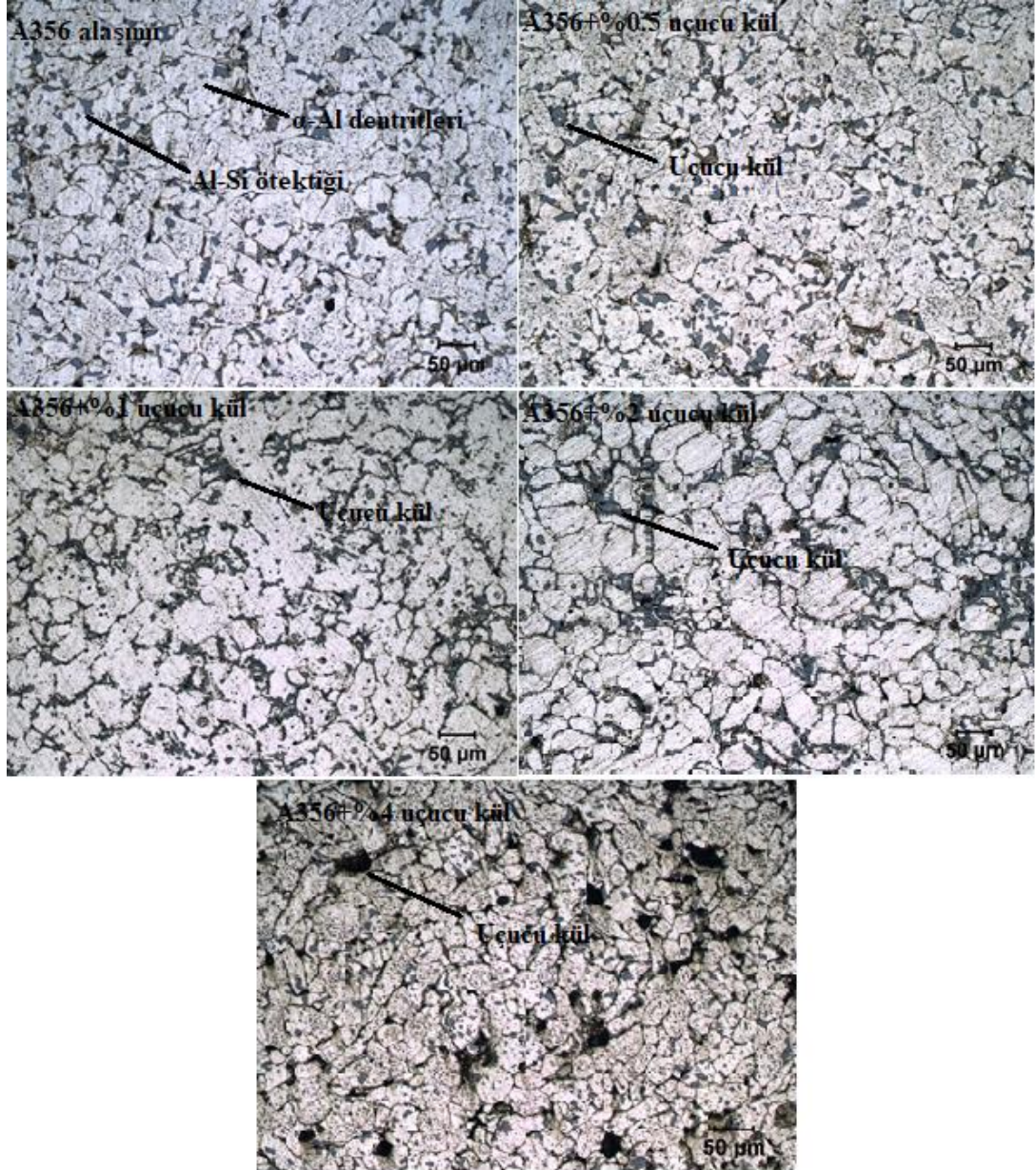
d: Yoğunluk (g/cm^3)

BÖLÜM 8

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

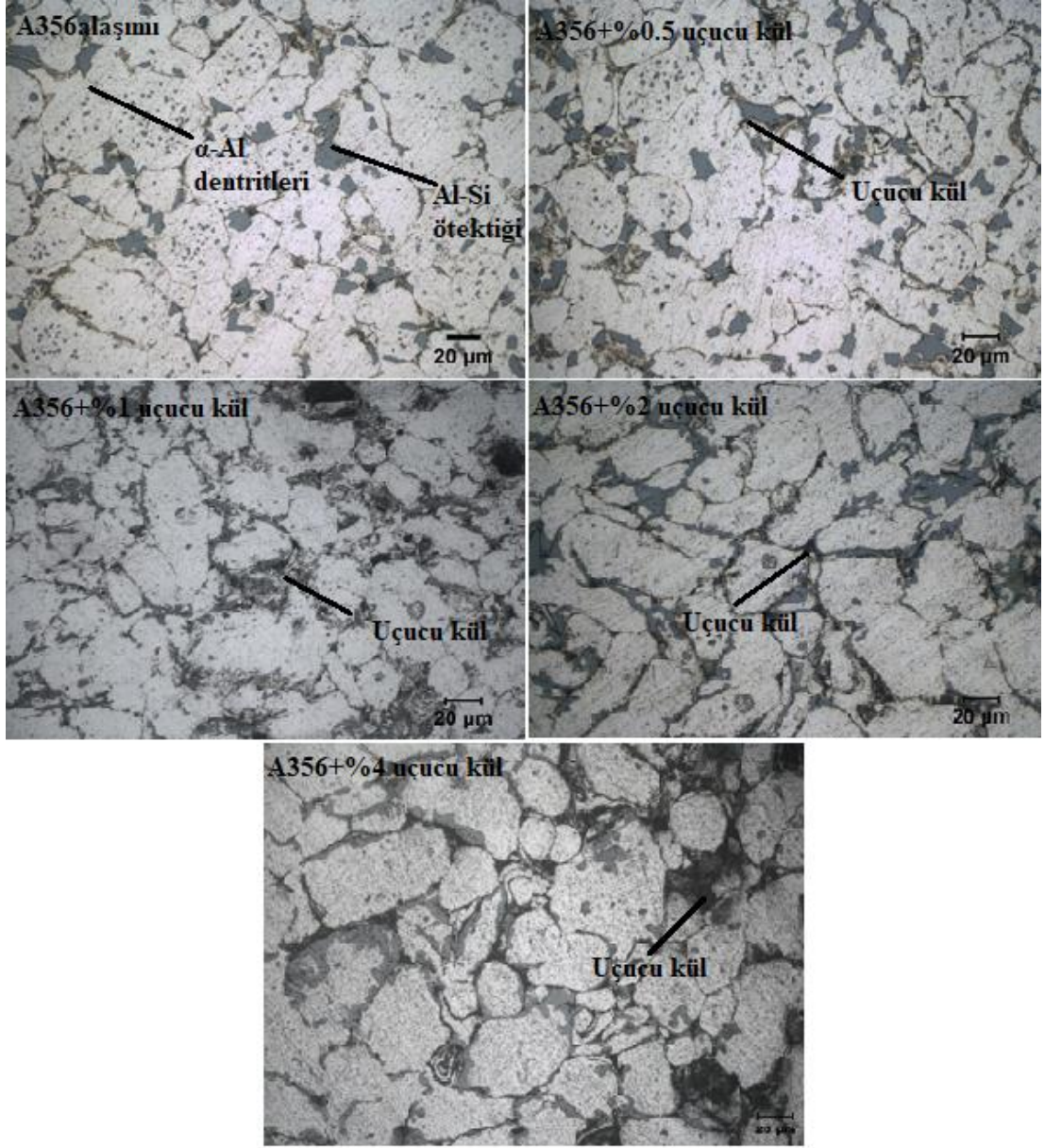
8.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Matris olarak kullanılan A356 alaşımı ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 8.1’de verilmektedir.



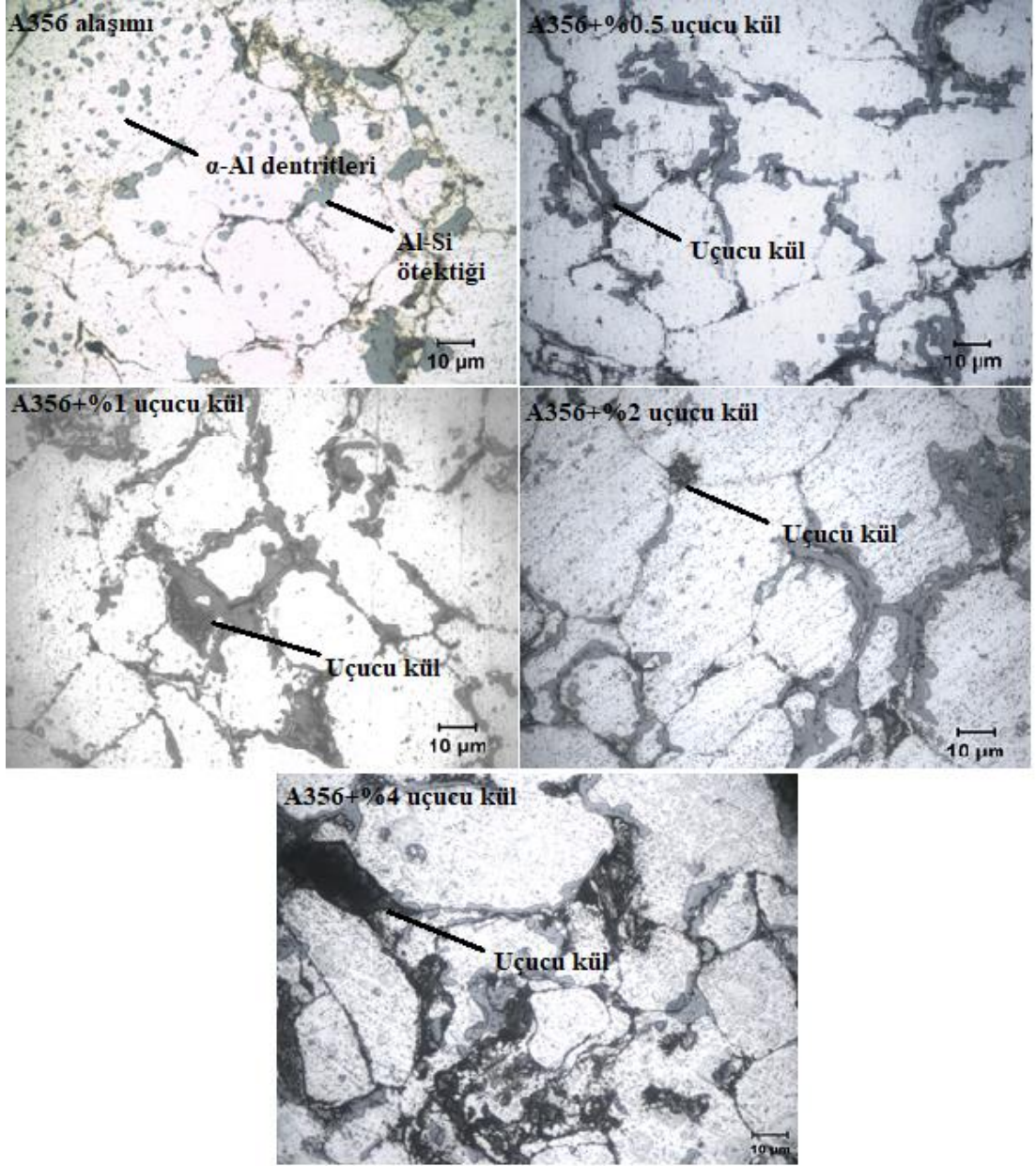
Şekil 8.1. Sinterleme sonrası A356 Al matrisi ve bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 20X optik mikroskop görüntüsü.

Matris olarak kullanılan A356 alaşımı ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitlerin daha net görülebilmesi amacıyla 50X optik mikroskop görüntüleri Şekil 8.2’de verilmektedir.



Şekil 8.2. Sinterleme sonrası A356 Al matrisi ve bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 50X optik görüntüsü.

Matris olarak kullanılan A356 alaşımı ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitlerin daha net görülebilmesi için 100X optik mikroskop görüntüleri Şekil 8.3' te verilmektedir.



Şekil 8.3. Sinterleme sonrası A356 Al matrisi ve bu matrise farklı oranlarda uçucu kül takviyesi olan malzemesinin 100X optik görüntüsü.

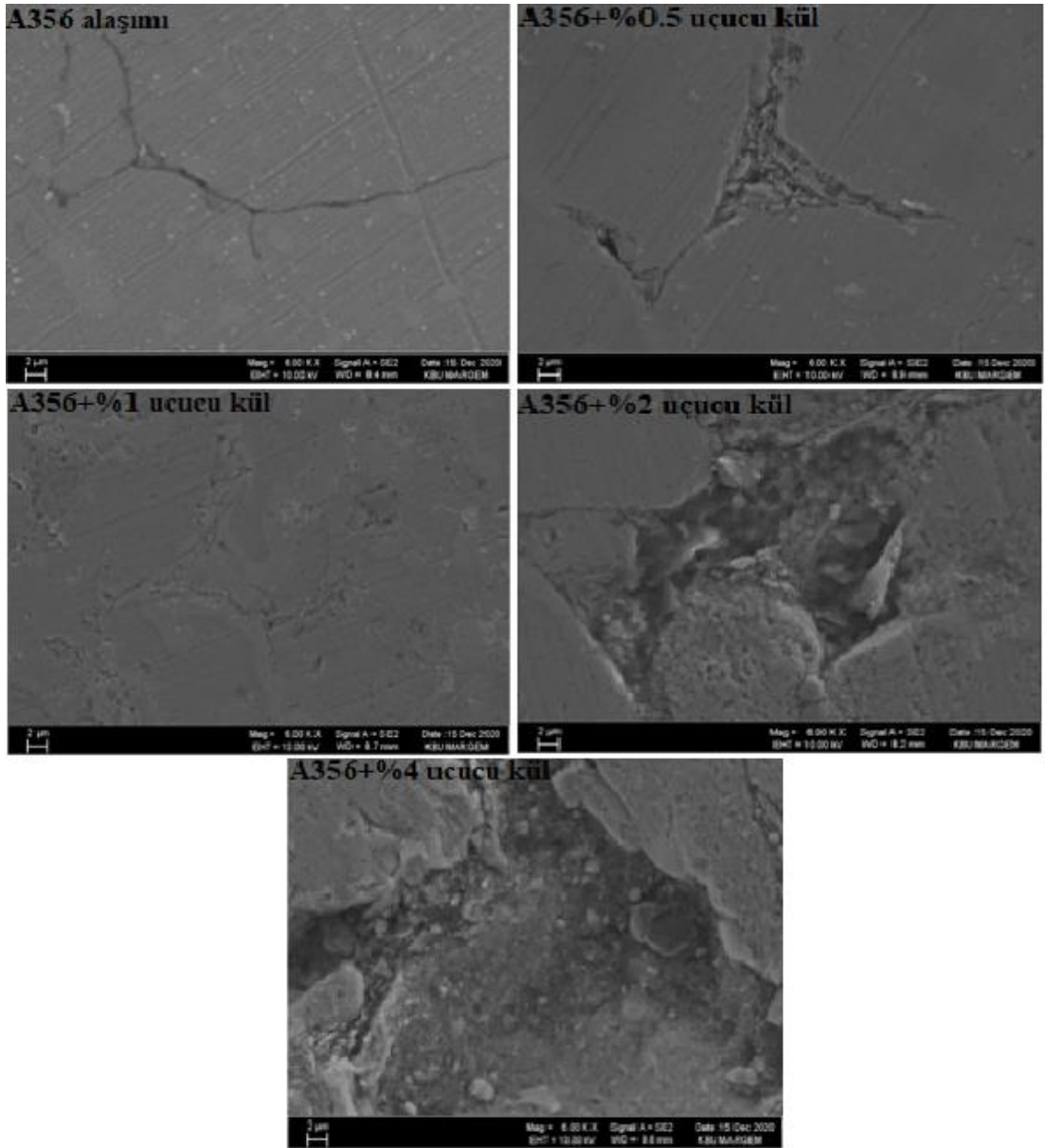
Yapılan mikro yapı incelemelerinde 20X, 50X, 100X büyütme ile α - alüminyum dentritleri yapıda net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca alaşımda bulunan Si elementlerinden dolayı Al-Si ötektik yapısı tane içi ve tane sınırları arasında çeşitli şekil ve formlarda bulunmaktadır.

Uçucu kül ilave edilen kompozitlerde ise takviye elemanı miktarı arttıkça taneler arası uçucu külün biriktiği bazı bölgelerde aglomere olduğu görülmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerde ilave edilen takviye elemanını tane sınırları arasına yerleşerek tane büyümesini kontrol ettiğini bu etkiye de zenner pinning denildiği önceki çalışmalarda belirtilmektedir (Humphreys vd.,1996).

Metal matrisli kompozitlerde ilave edilen takviye elemanının yapı içerisinde homojen bir dağılım göstermesi istenmektedir. Ancak bazı takviye elemanları (özellikle nano boyutlu olanlar) yüzey enerjilerinin fazla olmasından dolayı topaklanma eğilimindedirler. Bu topaklanmadan dolayı matris içerisinde heterojen bir dağılım görülür. Topaklanma olan bölgelerde bu matris ile takviye arasında ara yüzey bağı istenilen seviyede kurulamaz. Zayıf ara yüzey bağı kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler (Yıldırım,2016).

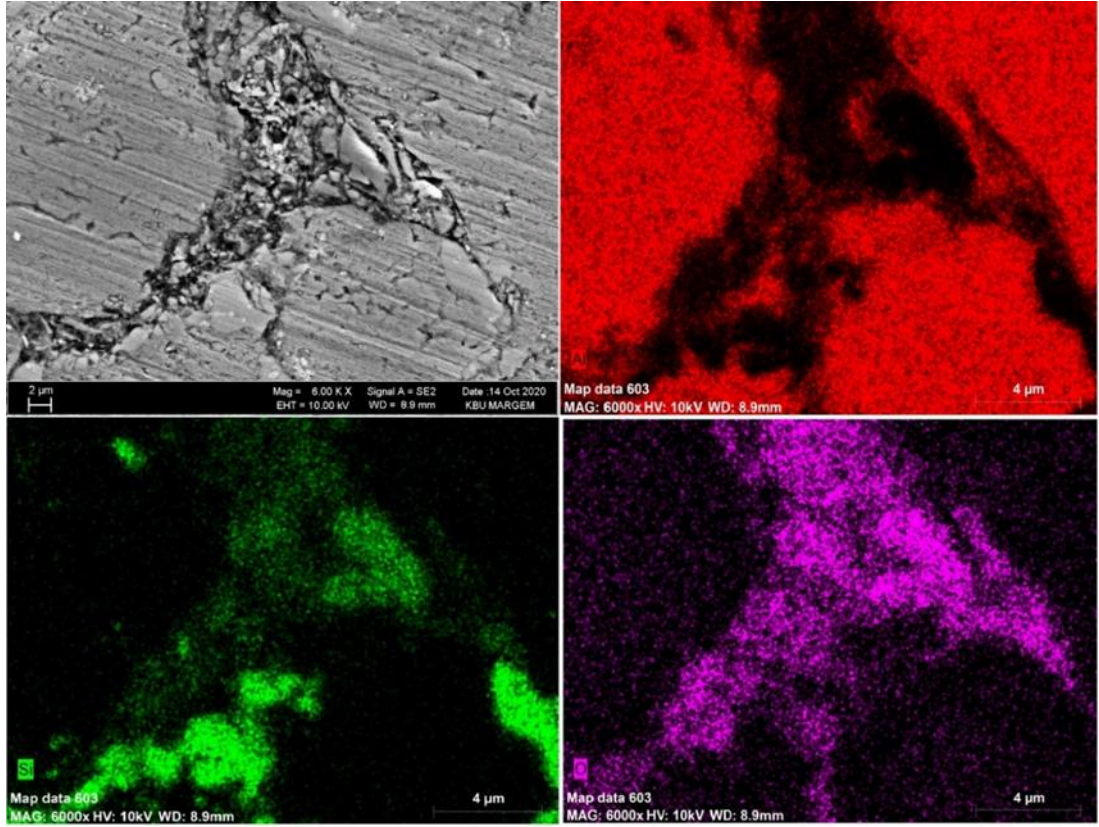
8.2. SEM ve EDS İNCELEMELERİ

Matris malzemesi olarak kullanılan A356 alaşımı ve takviye elemanı olarak farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitlerin SEM görüntüsü ve EDS sonuçları verilmektedir.



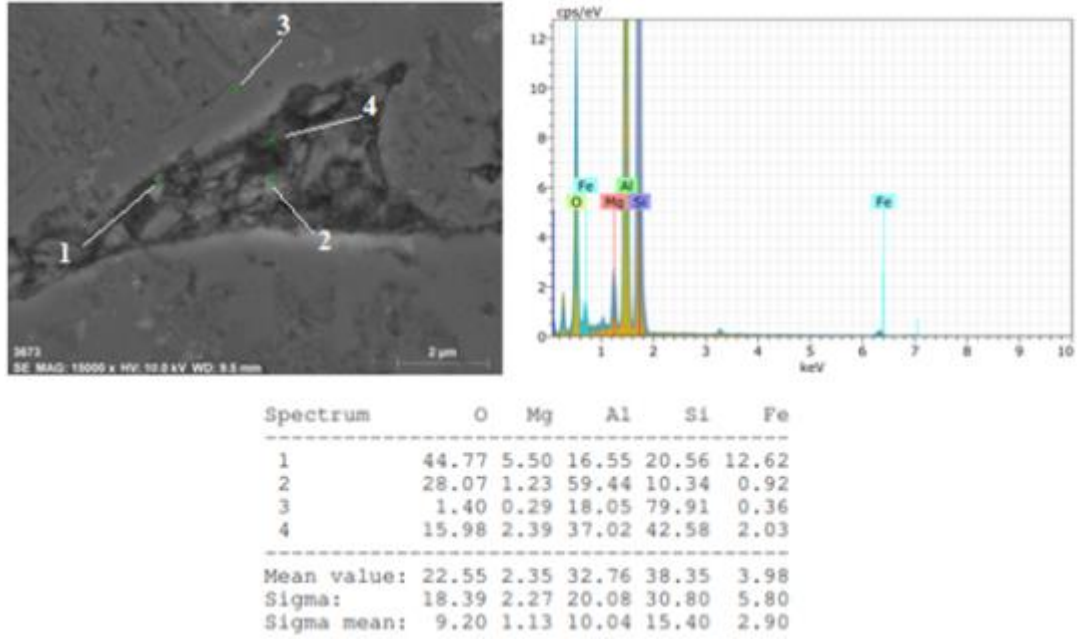
Şekil 8.4. A356 matrisi ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitin 6 kx büyütme ile SEM görüntüleri.

A356 Alüminyum alaşımına ilave edilen uçucu külün hem optik mikroskop hem de SEM görüntülerinde görülebileceği gibi daha çok tane sınırları arasında biriktiği görülmektedir. Tane sınırlarında olan bu birikmenin (uçucu külün) daha net anlaşılabilmesi amacıyla %4 ilave edilen kompozitin SEM EDS mapping görüntüleri Şekil 8.5'te verilmektedir.



Şekil 8.5. %4 uçucu kül ilave edilen A356 matrisli kompozitin EDS mapping görüntüsü.

Şekil 8.3'te verilen optik mikroskop görüntüsü ile tane sınırlarında aglomere olan uçucu külün daha net anlaşılması amacıyla Şekil 8.5'te verilen EDS mapping görüntüsüne bakıldığında matris malzemesi (kırmızı renk) olan alüminyum taneleri arasında Si (yeşil) ve O (mor) yoğunluğunun fazla olmasından dolayı bu bölgelerde bulunan yapının uçucu külün kimyasal bileşiminde en çok bulunan SiO_2 fazı olduğu görülmektedir. Ayrıca % 4 uçucu kül içeren kompozitin tane sınırlarında biriken takviye fazın farklı noktalardan alınan EDS point görüntüsü şekil 8.6'de verilmektedir.

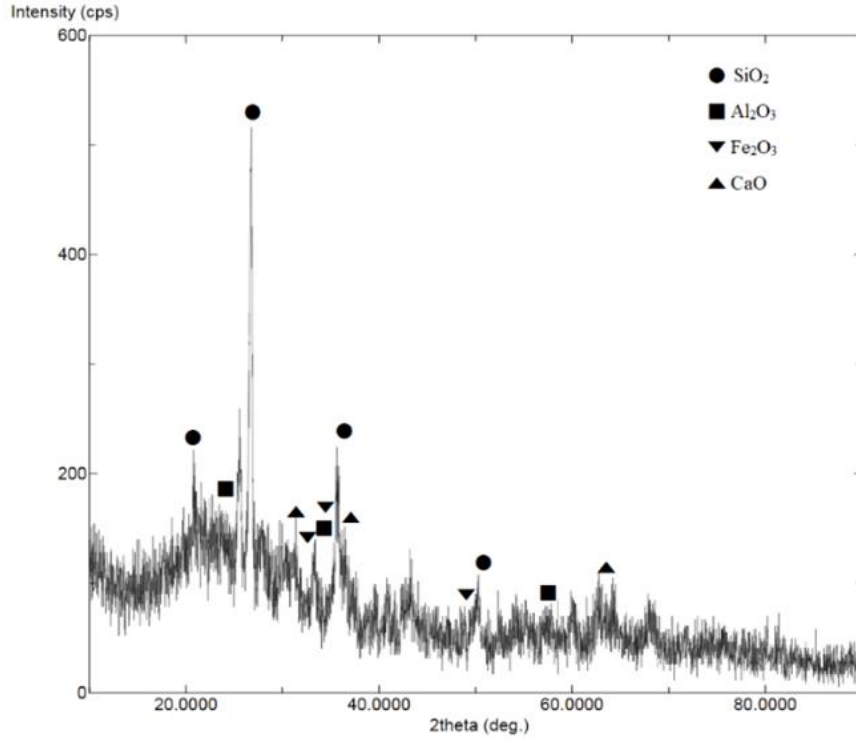


Şekil 8.6. %4 uçucu kül içeren kompozitin 4 farklı noktasındaki EDS point sonuçları.

Şekil 8.6’da verilen nokta EDS sonuçlarında 1,2, 3 ve 4 olmak üzere 4 farklı bölgeden alınan EDS sonuçlarına göre 1, 2 ve 4 noktaları tane sınırları arasında biriken takviye fazının bileşimlerine bakıldığında bu bölgelerde oksijenin yoğun olarak varlığı görülmektedir. Yine bu tane sınırları arasında kalan bölgelerde Al, Si ve Fe’nin olduğu görülmektedir. Takviye fazı olan uçucu külün yapısında bulunan SiO_2 , Al_2O_3 , ve Fe_2O_3 bileşenlerinden dolayı bu bölgelerden alınan EDS sonuçlarında da bu elementlerin yoğunluğu görülmektedir. 3 nolu bölgede ise ötektik silisyum varlığından dolayı bu element oranı yüksek miktarda çıkmaktadır. Yapılan hem EDS haritalama hem de EDS nokta sonuçlarında uçucu külün bu bölgelerde biriktiği net bir şekilde görülmektedir.

8.3. XRD SONUÇLARI

Ticari olarak temin edilen toz haldeki uçucu külün XRD ve XRF sonuçları ile %4 uçucu kül takviyeli üretilen A356 matrisli kompozitin XRD görüntüsü şekil 8.7’de ve Çizelge 8.1’de sırasıyla verilmektedir.

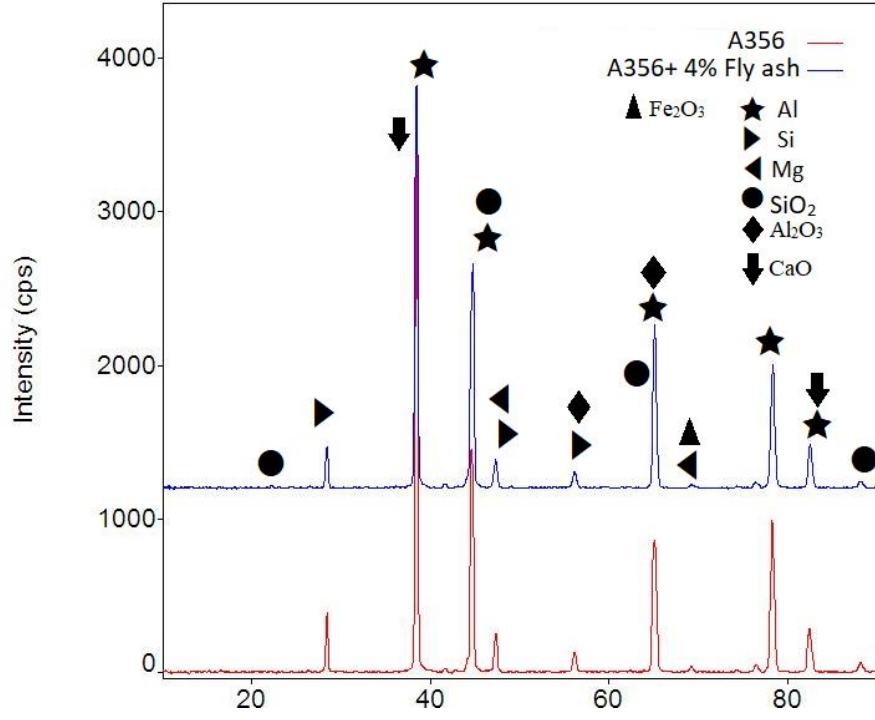


Şekil 8.7. XRD sonuçları.

Çizelge 8.1. Ticari olarak elde edilen uçucu kül tozlarının kimyasal bileşimi.

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO
%40,5	%22,5	%13,4	%10,5	%4,02	%3,71	%1,66

Şekil 8.7’de ticari olarak temin edilen uçucu külün XRD sonuçları verilmektedir. Yapılan XRD sonuçlarında temin edilen uçucu külün içerisinde SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ve CaO bileşenlerinin olduğu görülmektedir. Ayrıca XRF sonuçlarında bu uçucu külün yapısında bulunan bileşiklerin kimyasal kompozisyonu verilmektedir.

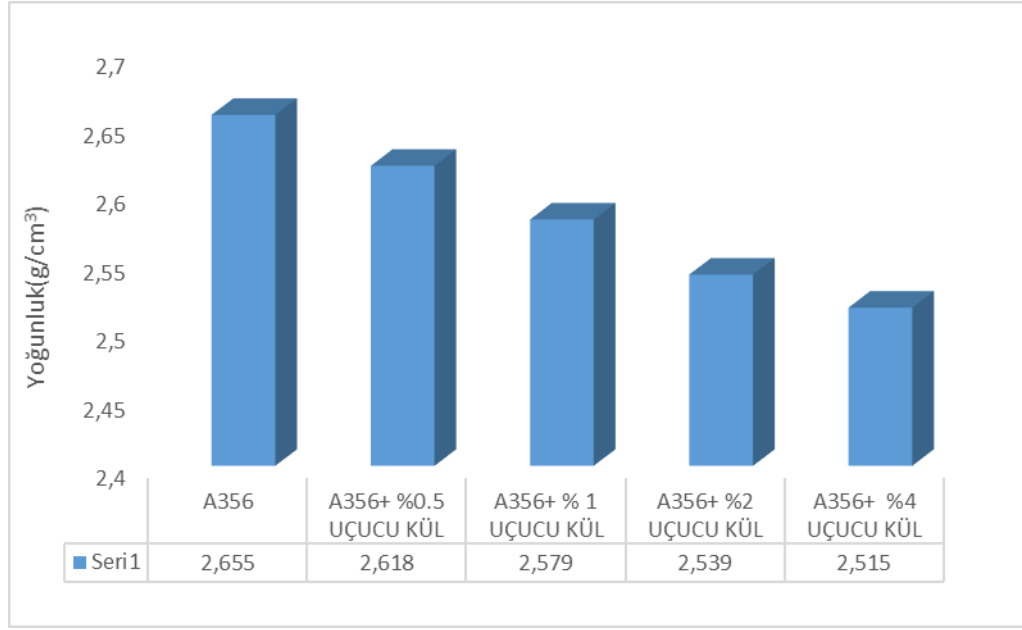


Şekil 8.8 % 4 Uçucu kül içeren kompozitin XRD sonuçları.

Yapılan XRD incelemelerinde matris olarak kullanılan A356 Al içerisinde bulunan baskın elementler olan Al-Si-Mg piklerinin yanı sıra Şekil 8.7’de verilen SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ uçucu külün yapısında bulunan bileşiklere rastlanmıştır. Ancak kompozitde miktar olarak az bulunması (maksimum %4 uçucu kül) hem de alaşımda bulunan majör element pikleri çakışması neticesinde pik şiddetleri yüksek görünmemektedir.

8.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

A356 alaşımına farklı oranlarda uçucu kül eklenmesi sonucunda yapıdaki yoğunluk değişimi Şekil 8.9’da verilmektedir.

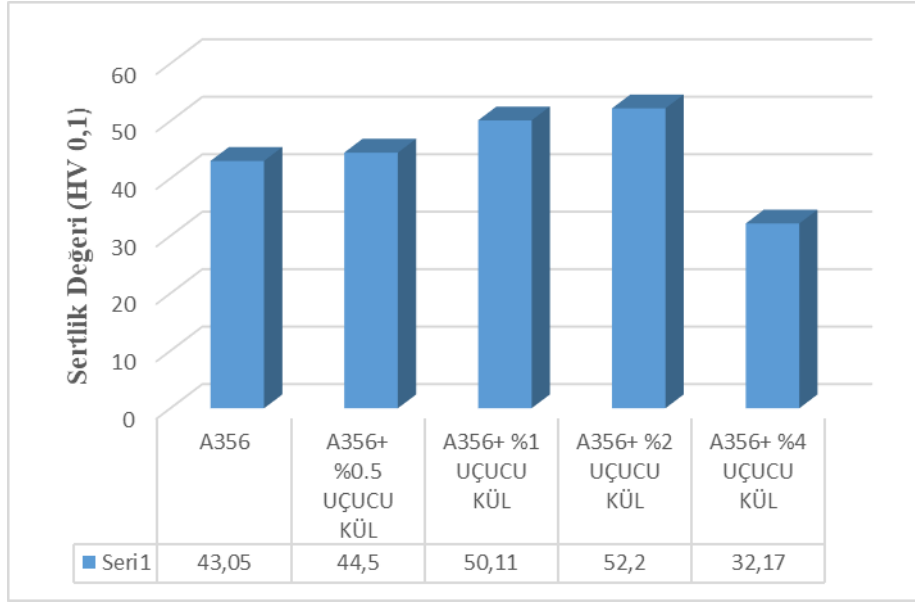


Şekil 8.9. Farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen Al356 matrisli kompozitlerin yoğunluk grafiği.

Yoğunluk sonuçları incelendiğinde en yüksek yoğunluk değerinin matris malzemesine ait olduğu ($2,65 \text{ g/cm}^3$) alaşıma ilave edilen uçucu kül miktarı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir. En düşük yoğunluk değeri %4 ilave edilen kompozitte ölçülmüştür ($2,515 \text{ g/cm}^3$). Matris malzemesine göre uçucu külün yoğunluğu içerdiği bileşim miktarlarına ve şekline bağlı olarak değişmekle beraber $2,1-2,3 \text{ g/cm}^3$ aralığında olmasından dolayı takviye elemanı miktarı arttıkça yoğunluğun düşmesi beklenmektedir. Bu düşüşün bir başka nedeni de tane sınırları boyunca biriken uçucu küllerin gözenekleri doldurması ve yeterli derece sinterlenememesinden dolayı gözeneklerin küçülememesi yoğunluk düşüşüne katkıda bulunur (Rajan vd., 2007).

8.5. SERTLİK İNCELEMELERİ

A356 alaşımına farklı oranlarda uçucu kül eklenmesi sonucunda yapıdaki sertlik değişimi Şekil 8.10'da verilmektedir.



Şekil 8.10. Farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen A1356 matrisli kompozitlerin sertlik ölçümleri.

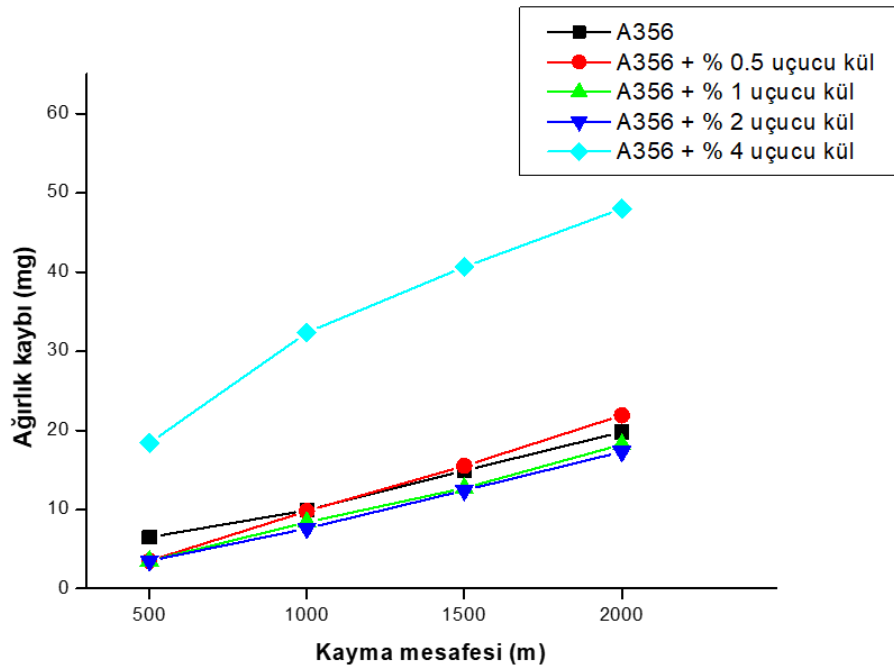
Yapılan sertlik ölçümleri sonucu matris malzemesinin ortalama sertlik değeri 43,05 iken %0.5 uçucu kül ilave edilen kompozitin ortalama sertlik değeri 44,5 olduğu %1 uçucu kül ilave edilerek üretilen kompozitlerin sertlik değeri 50,11, %2 uçucu kül ilave edilen kompozitlerin sertlik değerinin ise 52,2 ve %4 uçucu kül ilave edilen kompozitlerin sertlik değeri %32,17 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı üzere en yüksek sertlik değerinin %2 uçucu kül ilave edilen kompozitte elde edildiği görülmüştür. Ancak %4 uçucu kül ilave edilen kompozitte ise sertlik değeri düşmektedir.

Metal matrisli kompozitlerde kullanılan parçacık takviyeler dayanım ve sertlik artışı için önemli rol oynamaktadır. MMK yapılarında ilave edilen takviye fazları matris binen yükü üzerine alarak dayanım sağlamaktadır. Kompozitlerde, yükün matristen takviye elemanına iletilmesi, matris ile takviye fazının uyumluluğuna ve ara yüzey dayanımına bağlıdır. Matris ile takviye fazı arasında meydana gelen ara yüzey bağı kuvvetli ise, uygulanan yükün takviye elemanına iletilmesi daha kolay olmaktadır. Ayrıca ilave edilen takviye elemanları tane sınırlarına yerleşerek tanelerin büyümesini engellemesi, dolayısıyla tane sınır oranının artması ile dislokasyon hareketlerinin zorlaşması ile mukavemet ve sertlikte artış görülmektedir (Prasada,2008). %4 ilave

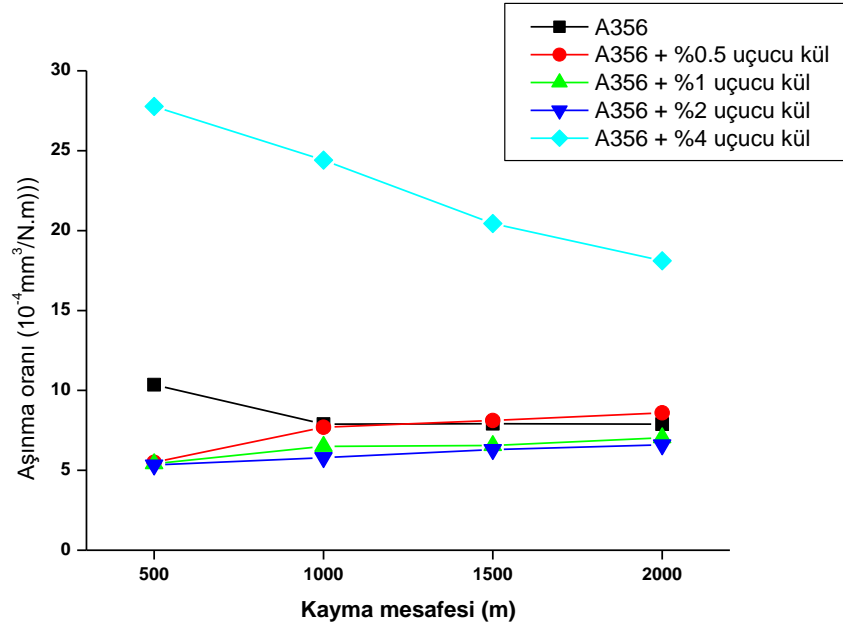
edilen kompozitin sertlik deęerindeki dūřūřun nedeni uęucu kūlün tane sınırlarında daha fazla aglomere olmasından kaynaklanmaktadır.

8.6. AŞINMA TESTİ ÖLÇÜMLERİ

Matris olarak kullanılan A356 alaşımı ve farklı oranlarda uğucu kūl ilave edilen kompozitlerin aőınma testleri sonrası ağırlık kaybı ve aőınma oranları Őekil 8.11’de ve Őekil 8.12’de sırasıyla verilmektedir.



Őekil 8.11. Farklı oranlarda uęucu kūl ilave edilen A356 matrisli kompozitlerin aęırlık kaybı ve kayma mesafesi grafięi.



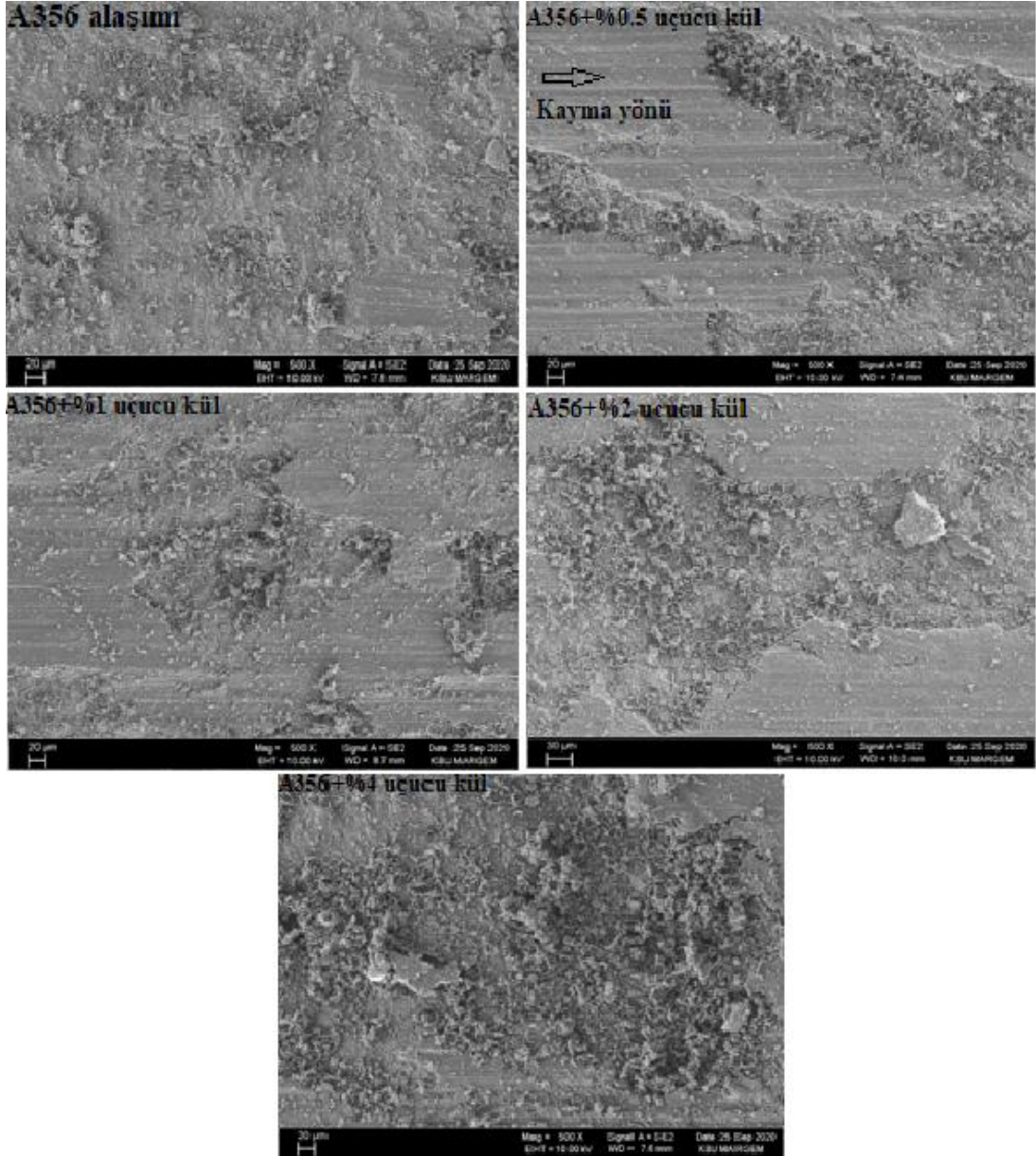
Şekil 8.12. Farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen A356 matrisli kompozitlerin aşınma oranı grafiği.

Şekil 8.11’de verilen ağırlık kaybı sonuçlarına göre en yüksek ağırlık kaybı %4 uçucu kül ilave edilen kompozitte görülmektedir. En düşük ağırlık kaybı ise %2 uçucu kül ilave edilen kompozitte görülmüştür. Şekil 8.12’de verilen aşınma oranlarına bakıldığında en yüksek aşınma oranına sahip % 4 ilave edilen kompozitte olduğu en düşük aşınma oranının ise ağırlık kaybı ile paralel olarak % 2 ilave edilen kompozitte olduğu görülmektedir. Ağırlık kaybı ve aşınma oranları sonuçları Şekil 8.10’da verilen sertlik sonuçları ile doğrudan ilişkilidir.

En yüksek ağırlık kaybının %4 ilave edilen kompozitte olmasının nedeni mikroyapı resimlerinde de görülebileceği gibi tane sınırları boyunca aglomere olan uçucu külün yeterli derecede sinterlenememesi sonucu aşınma testi sırasında sürtünme etkisiyle numuneden büyük miktarda kopmaların yaşanmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumun daha net tespit edilmesi için aşınma yüzey SEM görüntüleri alınmıştır.

8.6.1. Aşınma Yüzey Görüntülerinin İncelenmesi

Matris olarak kullanılan A356 alaşımı ve farklı oranlarda uçucu kül ilave edilen kompozitlerin aşınma testleri sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 8.13'te verilmektedir.



Şekil 8.13. A356 (%0.5, %1, %2,%4) uçucu kül takviyeli kompozitlerin 2000 m kayma mesafesi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

Şekil 8.13'te verilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma testi sonrası tüm numune yüzeylerinde sürtünmeye bağlı olarak aşınma çizgileri görülmektedir. Aşınma testi esnasında ısı ve sürtünmelerin yüzeye olan etkisiyle plastik deformasyon meydana gelmektedir. Aşınma çizgilerinin yanı sıra numune yüzeylerinde kütleli kopmalar net bir şekilde görülmektedir. Bu kopmalar incelendiğinde %4 uçucu kül içeren numunenin aşınma yüzeyinde meydana gelen deformasyon ve kütle kopmalarının daha fazla ve derin olduğu görülmektedir. Bu derin kopmaların hem mikro yapı resimlerinde (Şekil 8.3) hemde EDS mapping (Şekil 8.5) görüldüğü gibi tane sınırları arasında aglomere olan uçucu küllerin matris ile yeterli derecede ara yüzey bağı oluşturamamasından dolayı aşınma testi sırasında oluşan deformasyonla beraber kopmalar gerçekleşmiştir. Nitekim ağırlık kayıp sonuçlarına bakıldığında da en yüksek ağırlık kaybının bu numunede olduğu açıkça görülmektedir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen uçucu kül takviyeli Alüminyum matrisli kompozitlerin sertlik mikro yapı ve aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- A356 Al alaşımı içerisine farklı oranlarda uçucu kül ilave edilerek kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle başarılı şekilde üretilmiştir.
- Kompozite ilave edilen uçucu kül miktarının artması ile tane sınırları arasında aglomerasyonun arttığı mikroyapı incelemeleri ile gözlemlenmiştir.
- Yoğunluk sonuçlarına göre uçucu kül miktarı arttıkça kompozitin yoğunluğunun düştüğü tespit edilmiştir.
- %2 ye kadar ilave edilen takviye elemanı arttıkça sertliğin arttığı % 2 den daha fazla uçucu kül ilave edilen kompozitte sertlik değerinin azaldığı tespit edilmiştir. %2 uçucu kül içeren kompozitin sertlik değeri, matris malzemesinin sertlik değeri ile kıyaslandığında %21.2 artış göstermektedir.
- Aşınma testleri sonrası elde edilen veriler sertlik ile paralellik gösterdiği en yüksek ağırlık kaybının en düşük sertliğe sahip %4 ilave edilen kompozitte olduğu görülmüştür.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler;

- Takviye fazının yapıda daha homojen olarak dağıtılabilmesi ve oluşan aglomerasyonun engellenmesi amacıyla kompozit oluşturulmadan önce takvi-

ye elemanına farklı yüzey işlemleri uygulanabilir ve bu yüzey işlemlerinin hem mikro yapı hem de mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

- Mekanik alaşımlama mekanik öğütme işlemlerinde öğütme süresi, bilye toz oranı, farklı işlem kontrol kimyasalları gibi parametreler değiştirilerek bunların mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
- Farklı sinterleme sıcaklığı ve süreleri kullanılarak sinterleme sıcaklığı ve sürelerinin kompozitin mekanik özelliklere etkisi değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Abrate, S., "Impact on composite structures", *Cambridge University Press*, United Kingdom, 289 (1998).

Ak M., "AA206 alüminyum döküm alaşımında emprürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-20 (2012).

Arslan, D., Gürü, M . "Mekanokimyasal Yöntemle Bor Karbür Sentezi Ve Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemede Kullanılabilirliğinin İncelenmesi" . *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (2014) .

Askeland, D. R., "The Science and engineering of materials 2nd ed", Rolla, Ankara, 457-486 (2000).

ASM Handbook Committee, "Properties and selection: nonferrous alloys and pure metals 9th edition" 2: *American Society for Metals*, Ohio, 484-487 (1979).

Ayata, A., " Toz metal alüminyum malzemelerin mikrodalga enerjisi ile sinterlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-9 (2014).

Balamurugan, P., Uthayakumar, M.," Influence of Process Parameters on Cu–Fly Ash Composite by Powder Metallurgy Technique", *Materials and Manufacturing Processes*, 313-319 (2015).

Boston, B., " Mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al₄C₃ oluşumunun incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilişim Dergisi*, 23(2): 343-348 (2008).

Canakci, A., Varol, T., and Ertok, S., "The effect of mechanical alloying on Al₂O₃ distribution and properties of Al₂O₃ particle reinforced Al-MMCs" *Science and Engineering of Composite Materials*, 19(3): 227-235 (2012).

Chand R., Swamy, R.P.," Effect of fly ash on the mechanical properties of magnesium based composites using powder metallurgy", *International Journal of Innovative Trends in Engineering*, 75(51), (2019).

Çalgül, U., Taşkın, U., Kejanlı, H., "Soğuk presleme yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu kompozitlerin, TLP difüzyon kaynağında sıcaklığın birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi", *Engineering Sciences*, 3(4): 558-570 (2008).

Çana. B., Güleç. N., ve Erler. A., "Kömür yakıtlı termik santrallerdeki uçucu küllerin çevreye etkisi", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi 20. Yıl Jeoloji Semp.*, IS1 -187. Konya, (1997).

Daniel, B., "Metal matrix composites", *Comprehensive Composite Materials*, (6)3:741-778 (2000).

Değirmencioğlu, P., "Alüminyum alaşımlarının dökümünde gaz oluşumu ve gaz giderme tekniklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-22 (2002)

Demir, E., "Alüminyum alaşımlarda ısıl işlem etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 23-30 (2008).

Demir, F., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile FeCrC takviyeli Ni esaslı kompozit üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2014).

Diler, E.A., "Toz metalürjisiyle üretilen Al-SiC metal matrisli kompozitlerde faktör etkileşimlerinin partikül dağılımı, eğme dayanımı ve aşınma özelliklerine etkileri", Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 3-15 (2012).

Dixit G., "Comparative study on erosive wear response of SiC reinforced and fly ash reinforced aluminium based metal matrix composite", *Materials Today: Proceedings*, 4(9): 1093-1098 (2017).

Eckold G., "Metal and ceramic matrix composites", *Design and Manufacture of Composite Structures*, 305-327 (1994).

Edwards K.L., "Strategic substitution of new materials for old: Applications in automotive product development", *Materials and Design*, 25: 529-533 (2004).

Eroğan, İ., "Termik santral uçucu küllerinin seramik üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 2-3 (2019).

Eroğlu, G., Şahiner, M., "Dünya'da ve Türkiye'de Alüminyum", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, *Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı*, 1-30 (2018).

Eskizeybek, Z., "Paslanmaz çelik elyaf takviyeli alüminyum kompozitlerde yorulma çatlak ilerlemesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-26 (2006)

Fakıoğlu, A., "Yaşlandırılan AA7075 alüminyum alaşımlarının yorulma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 3-15 (2012).

Fan L. J., Shueiwan H., "Reaction of Fly ash with Al-3Mg melt microstructure and hardness of Al matrix composites", *Materials & Design*, (21)89: 941-949 (2016).

German, R.M, “ Powder metallurgy & Particulate materials processing 1 st ed.”, Çeviri Editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu. N., **Türk Toz Metalurjisi Derneği**, Ankara, 20-40 (2007).

Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., “Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları”, **Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı**, İzmir, (2005).

Hryha, E., Dudrova, E., Bengtsson, S., “Influence of powder properties on compressibility of prealloyed atomised powders”, **Powder Metallurgy**”, 51(4): 340-3 (2008).

İçin, K., “ Toz Metalurjisi Deneti”, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü**, Trabzon, 1-8, (2005).

İnternet: “2020 Alüminyum A356.0-T6, Kum Döküm, ”<https://www.matweb.com/>, (2020).

İnternet: “2020 Metalurji ve Malzeme Mühendisliği”, <https://www.metalurjik.com/>, (2020).

Kadıoğlu, A.S., “Yatağan termik santrali uçucu küllerindeki metallerin farklı çözelti ortamlarındaki davranışları.”, Yüksek Lisans Tezi, **Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Muğla, (2005).

İnternet: ”2021 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler”, <https://uslularhadde.com/aluminyum-matrisli-kompozit-malzemeler> (2021).

Kalahdooz A., and Dehkordi, S., “ Effects of important parameters in the production of Al-A356 Alloy by semi-solid forming process”, **Journal of Materials Research and Technology**, 8(1): 189-198 (2019).

Kalaycıoğlu, A., “SiC tane katkılı alüminyum kompozitlerin toz metalürjisi ile üretimi ve karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, (2010).

Kalemtaş, A., “Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış”, **Putech & Composites**, Ekim-Kasım-Aralık, 18-30 (2014).

Kantha, U., Rao, P., “Mechanical behaviour of fly ash/SiC particles reinforced Al-Zn alloy-based metal matrix composites fabricated by stir casting method” **Journal of Materials Research and Technology**, 8(1): 737-744 (2019).

Karacif, K., Karabulut, H., Çıtak, R., “Al₂O₃ takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerde mekanik alaşımlama süresinin korozyon davranışına etkilerinin incelenmesi”, **Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**, 11(2): (2019).

Kaya Ş., "Metalurji ve malzeme bilimi ile alakalı paylaşımlar ve gelişimler" mühendisliği <http://www.metalurjik.net/kompozit-malzemelerin-genel-ozelleri>, (2020).

Kolukisa, S., "Uçucu kül içeren alüminyum matrisli kompozit üretimi, özellikleri ve mikroyapı karakterizasyonu", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 19-55 (1999).

Kösedağ, E., "Pomza Takviyeli magnezyum matrisli kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu" Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, (2017).

Krishnan, K., and Sankaran, R., and Mishra, S., "Metallurgy and Design of Alloys with Hierarchical Microstructures", *Chapter 4 - Aluminum Alloys*, 57-82 (2017).

Kumru, N., "Etial-141, 145 ve 160 tipi döküm alüminyum ile plaka tipi alüminyum malzemeler için yorulma makinası tasarımı ve eğilmeli yorulma davranışlarının incelenmesi", Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13-26 (2007).

Leander F.P., West V.G., "Fundamentals of powder metalurgy", *MPIF Prinction*, (2002).

Liang-Jing F., Shueiwan H., "Reaction effect of fly ash with Al-3Mg melt on the microstructure and hardness of aluminum matrix composites", *Materials & Design*, 941-949 (2016).

Lokesh, G.N., Ramachandra M., Mahendra, K.V., Sreenith, T., "Characterization of Al-Cu alloy reinforced fly ash metal matrix composites by squeeze casting method", *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 5(4): 71-79 (2013).

Loyd, D.J., "Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites", *International Materials Reviews*, 39 (1): 1-21 (1994).

Lumley R., "Fundamentals of aluminium metallurgy 1 st editio, production, processing and application of modern aluminium alloys to aircraft", *Woodhead Publishing*, Cambridge, (2010).

Mahendra, K.V., "Fabrication of Al-4.5% Cu alloy with fly ash metal matrix composites and its characterization", *Materials Science Poland*, 25(1): 57-68 (2007).

Matik, U., Çıtak, R., "A356-WCp Kompozitlerin Toz Metalürjisi ve Sıcak Ekstrüzyon Prosesleri ile Üretilmesi ve Karakterizasyonu" *Ist International Symposium on Light Alloys and Composite Materials*, 221-222 (2018).

Milli, A., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile (B4C+FeTi) takviyeli Fe esaslı kompozit üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2017).

Mindivan, H., Kayalı, E.S., “ SiC takviyeli 2618 Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 6(2): 65-68 (2008).

Muratoğlu, M., Demirel, M., “Cu/Ni₃Al metal matrisli kompozitlerin kuru kayma aşınma davranışlarının araştırılması”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 759-764 (2009).

Mutlu, Y., “AA2024 matrisli B₄C SiC ve B₄C-Y₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 19-23 (2019).

Naransimhan K. S., Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy, *Mater. Chem. Phys.*, 56-65 (2001).

Odabaşı, Ç., “Toz metalürjisi ile üretilen Nb-V mikroalaşım çeliğine bakır ilavesinin mikroyapı mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 19-23 (2017).

Owsalou, R.,” Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2012).

Özdemir, O., “Tunçbilek termik santrali uçucu küllerinin karakterizasyonu ve yan ürünlerinin eldesi. “ Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).

Özdin, K., “ Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-22 (2006).

Özer, E.K., “ Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen sade karbonlu çeliklerin statik deformasyon yaşlanması davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-17 (2019).

Özgürlük Y., “ Toz Metalürjisi deneyi”, Mühendislik fakültesi ve malzeme mühendisliği bölümü, *Bartın Üniversitesi*, Bartın, (2010).

Özkan, S., “ Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara , 40-45 (2007).

Özyürek. D., “ Mekanik alaşımlama yöntem ile titanyum bazlı metal matris kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu “, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-50 (2002).

Patila, A., Banapurmath, N., Halladd, S.,” Enhancement of mechanical properties by the reinforcement of Fly ash in aluminium metal matrix composites”, *Materials Today: Proceedings* 1654–1659 (2020).

Pio, L. Y., “Effect of T6 heat treatment on the mechanical properties of gravity die cast A356 aluminium alloy”, *Journal of Applied Sciences*, 2048-2052 (2011).

Rajan, T.P.D., Pillai, R.M., Pai, B.C, Satyanarayana, K.G., Rohatgi P.K.,” Fabrication and characterisation of Al–7Si–0.35Mg/fly ash metal matrix composites processed by different stir casting routes”, *Composites Science and Technology*, 3369–3377 (2007).

Rahman, Md. H., , Rashed, M. A., “Characterization of Silicon Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composites”, *Procedia Engineering*, 103-109 (2014).

Rao, R. S., Padmanabhan, G.,” Fabrication and mechanical properties of aluminium-boron carbide composites”, *International Journal of Materials and Biomaterials Applications*, 2(3): 15-18 (2012).

Rawal, S., “Metal matrix composites for space applications”, *The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society*, (13)53: 3-7 (2001).

Rooy, E. L., “ Properties and selection non ferrous alloys and special-purpose Materials”, *Introduction to Aluminum and Alloys*, 2: 1-27 (1995).

Sago, A.S., Newkirk, J.W., Brasell G.M., “Rapid mechanical alloying for metal powder”, *Adv. In. PM.*, 3-11 (1997).

Santhanam, S. K. V., Manickam, D., “ Effect of Artificial Aging on Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of A356 Alloy” *Proceedings of the ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition* , November 3-9, USA, (2017).

Sarıtaş, S. Türker, M., Durlu, N., “Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, Ankara, (2007).

Savaş, Ö., “Alüminyum silisyum döküm alaşımlarında mikro porozite etki eden faktörlerin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 3-27 (2005).

Sayılgan, E., ve Kürklü, K., “ Uçucu kül örneğinden demir ve alüminyum gideriminde Taguchi yaklaşımı”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, (9)23: 133-139 (2018).

Shivukmar, S., Ricci, S., Steenhoff, B. and Sigworth, G., “An Experimental study to optimize the heat treatment of A356 alloy, 93rd AFS “ *Casting Congressi*, AFS, Texas, 13-14 (1989).

Soundararajan, R., Sivasankaran, S., Babu, “Appraisal of tribological properties of A356 with 20% SiC composites under dry sliding condition” *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 147 (2020).

Sudarshan, M., Surappa, K., "Synthesis of fly ash particle reinforced A356 Al composites and their characterization", *Materials Science and Engineering*, 117-124 (2008).

Sun, Y., "Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 89 (1998).

Suryanarayana, C., "Mechanical alloying and milling" *Progress in Materials Science*, 46(2): 1-184 (2001).

Ş. Karagöz, R. Yamanoglu, "PREP atomizasyonu ile üretilen tozların otomotiv endüstrisinde kullanımı", *4. Otomotiv Kongresi Bildiriler Kitabı*, Bursa, 587-592 (2008).

Şahin Y., "Kompozit malzemelere giriş", Editör: Keser A., *Seçkin Yayıncılık*, 27-41 (2006).

Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1-99 (2000).

Şeker, H., "Al₂O₃-SiC kompozitlerin fiziksel ve elektromanyetik özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 23-26 (2013).

Şenel, M. C., Gürbüz, M., ve Koç, E., "Grafen takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(8): 974-978 (2017).

Şenel, M.C. ve Gürbüz, M., "Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler", *Mühendislik ve Makine*, 56: 40-45 (2005).

Şenel M ,Gürbüz M . The Influence of Particle Size and Reinforcement Rate of B4C on Mechanical and Microstructure Properties of Al-B4C Composites. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*,8(3): 1864-1876 (2020).

Şenol, E., Ölüç, S., "Şeffaf camların erozyon karakteristiğinin deneysel olarak incelenmesi", *Bitirme Çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2018).

Taban, E.ve Kaluç, E., "Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının endüstriyel kullanım alanları" *Metal Dünyası*, 141: 107-114 (2005).

Topuz , A., "Uçucu kül dolgulu alüminyum matrisli kompozit malzemelerin otomotiv sektöründe kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-4 (2011).

Trinh, S. N., and Sstry S., " Processing and properties of metal matrix composites", *Washington University in St. Louis*, Missouri, (2016).

Tunçay, T., "A356 Alaşımında Cu Miktarının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi", *Politeknik Dergisi*, 19(4): 585-592 (2016).

Uygur, İ., Saruhan, H., “ Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 167-175 (2004).

Ünlü, B., S., “Investigation of tribological and mechanical properties Al₂O₃-SiC reinforced Al composites manufactured by casting or P/M method”, *Materials & Design*, 29(10): 2002-2008 (2008).

Varol, T.,”Aşınma deneyi”, *Metaller ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2016).

Vatansever, R., “Alüminyum talaşının geri kazanımı ve uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 39-50 (2011).

Yakınlar, O., “ Uçucu kül dolgululu alüminyum matrisli kompozit malzemelerin otomotiv sektöründe kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-23 (2011).

Yıldırım, M., “Al-Si-Mg alaşımlarında Mg oranının malzemenin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2012).

Yıldırım M., ” Mekanik alaşımlama yöntemi ile AA7075-Karbob nanotüp takviyeli metal matrisli kompozit üretimi karakterizasyonu ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2016).

Yıldız, T., Gür, A.K., “Aşınma sistemleri”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi*, (1), 86-91 (2006).

Zor, M., “Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler”, *Kompozit Malzeme Bilimi Ders Notları*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Simge SOLAKOĞLU 1994 yılında Adana’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Ahmet Kurttepelı Lisesi’nden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2018 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2018 yılında Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres :Şirinevler Mahallesi

İlhanlılar Altı Cad

Onurkent b blok

Merkez / KARABÜK

Tel : (535) 041 3311

E-posta:simge2711@gmail.com