T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM/POMZA KOMPOZİTLERİNE MAGNEZYUM İLAVESİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Gülsüm ANARAN
DANIŞMAN: Prof. Dr.Tarık AYDOĞMUŞ
II. DANIŞMAN: Dr. Ögr. Üyesi Fevzi KELEN

VAN-2023

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ALÜMİNYUM/POMZA KOMPOZİTLERİNE MAGNEZYUM İLAVESİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Gülsüm ANARAN

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021- 9738 No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Tarık AYDOĞMUŞ ve Dr. Ögr. Üyesi Fevzi KELEN danışmanlığında, Gülsüm Anaran tarafından sunulan **"Alüminyum/Pomza Kompozitlerine Magnezyum İlavesinin Etkisi''** isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 26/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK İmza:

Üye: Prof. Dr. Tarık AYDOĞMUŞ İmza:

Üye: Dr. Ögr. Üyesi Ertan KÖSEDAĞ İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …./..../…... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

……..……..

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gülsüm ANARAN

ÖZET

ALÜMİNYUM/POMZA KOMPOZİTLERİNE MAGNEZYUM İLAVESİNİN ETKİSİ

ANARAN, Gülsüm
Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tarık AYDOĞMUŞ
Ocak 2023, 109 sayfa

Yapılan bu çalışma kapsamında toz metalürjisi yöntemini kullanarak Al matrisli pomza takviyeli ve Mg alaşım elementli kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu çalışmanın esas amacı Al matrisli pomza takviyeli kompozit malzemelerine Mg ilavesinin etkisini incelemek ve Mg ile pomza içerisindeki SiO_2'nin tepkimeye girmesini sağlayıp in-sitü yapıdaki Mg_2Si ve MgO fazların oluşmasını sağlamaktır. Kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş olup sıcak presleme süresi 1 saat, sıcaklık 600 °C olarak optimize edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucu üretilen kompozit malzemelerin XRD ve SEM çalışmaları ile mikroyapı özellikleri elde edilmiştir. Kompozit numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için basma testleri yapılmıştır. Ayrıca 4x4x6 mm boyutlarında tel erezyon metodu ile kesilen numunelerin yoğunluk ve gözeneklilik değerleri Arşimet metodu ile belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre üretimi gerçekleştirilmiş olan kompozitlerin, içyapılarında Mg_2Si, MgO, Saf Si, Al_3Mg_2 ve $MgAl_2O_4$ fazları oluşmuş takviye malzemesinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan basma testi sonucunda Mg ilavesi ile birlikte basma mukavemeti % 9 Mg' a kadar artmış sonrasında azalma göstermiştir. Akma dayanımı ise farklı oranlarda Mg ilavesi için sabit kalmıştır. Diğer taraftan kırılma birim şekil değişimi artan Mg içeriğiyle azalma göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Al matrisli kompozit, İn-sitü, Mg, Mg_2Si, MgO, Pomza, Sıcak presleme.

ABSTRACT

EFFECT OF MAGNESIUM ADDITION ON ALUMINUM/PUMICE COMPOSITES

ANARAN, Gülsüm
M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering
Suppervisor : Prof. Dr. Tarik AYDOGMUS
January 2023, 109 pages

Within the scope of this study, Al -matrix pumice reinforced composite materials alloyed with Mg were produced by using powder metallurgy method. The main purpose of this study is to investigate the effect of the addition of Mg on the the pumice reinforced composite materials and to ensure that the SiO_2 in pumice and the to react with Mg and the formation of in situ phases such as Mg_2Si and MgO. The composite materials have been produced by hot pressing technique and the hot pressing time and temperature optimized as 1 hour and 600 °C, respectively. Microstructure of the samples were revealed via XRD and SEM analysis. Compression test were amployed to determine the test measurements were made to detect the mechanical properties of composite and reference samples. In addition, the density and porosity of the samples produced and cutt with dimension wire erosion method of 4x4x6 mm were measured by Archimedes' method.

According to the results obtained, the microstructure of the composites produced were consisting of Al, Mg_2Si, MgO, pure Si, Al_3Mg_2 and $MgAl_2O_4$, unreacted oxide phases present in pumice powders. It has been observed that, the distribution of reinforcement was homogeneous. The yield strength increased as a result of Mg addition and ıt was almost the same for different amount of Mg addition. Compression strength increased up to % 9 Mg addition and then decreased. Fracture strain on the other hand decreased with increasing Mg content.

Keywords: Al matrix composite, In-situ, Mg, Mg_2Si, MgO, Pumice, Hot pressing.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Tarık AYDOĞMUŞ' a ve tez çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen ikinci danışmanım Dr. Ögr. Üyesi Fevzi KELEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her evresinde benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

2023

Gülsüm ANARAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT iii

ÖN SÖZ v

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELER LİSTESİ xi

ŞEKİLLER LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ 9

2.1. Alüminyum 9

2.1.1. Alüminyum alaşımları 10

2.1.2. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları 20

2.2. Pomza 26

2.2.1. Pomzanın oluşumu 27

2.2.2. Pomzanın kullanım alanları 28

2.2.3. Pomza sektörünün dünya ve Türkiye'deki yeri 29

2.3. Kompozit Malzemeler 31

2.3.1. Matris malzeme türüne göre kompozit malzemeler 32

2.3.1.1. Polimer matrisli kompozitler 32

2.3.1.2. Seramik matrisli kompozitler 32

2.3.1.3. Metal matrisli kompozitler 33

Sayfa

2.3.2. Takviye malzeme türüne göre kompozit malzemeler 33
2.3.2.1. Parçacık takviyeli kompozitler 33
2.3.2.2. Süreksiz fiber takviyeli kompozitler 33
2.3.2.3. Sürekli fiber takviyeli kompozitler 34
2.3.3. Alüminyum matrisli kompozitler 34
2.3.3.1. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri 37
2.3.3.1.1. Toz metalürjisi yöntemi 37
2.3.3.1.2. Döküm 42
2.3.3.1.3. Difüzyonla birleştirme yöntemi 46
2.3.3.1.4. İn-sitü üretim yöntemi 47
2.4. Literatür Bildirişleri 48
3. MATERYAL VE YÖNTEM 57
3.1. Kullanılan Tozlar ve Yöntem 57
3.2. Numune Üretimi 61
3.3. Karakterizasyon 67
3.3.1. Yoğunluk deneyleri 67
3.3.2. X Işını Kırınımı (XRD) 68
3.3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 68
3.3.4. Mekanik basma testi 69
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 71
4.1. Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu 73
4.2. Yoğunluk 72
4.3. Mikroyapı 75

Sayfa

4.4. Mekanik Analizler 92

5. SONUÇ 97

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 109

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Tarım esaslı takviyelerin kimyasal bileşimi 4

Çizelge 1.2. Al matrisli kompozitler için yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerin özellikleri 5

Çizelge 1.3. Mg_2Si bileşiğinin fiziksel özellikleri 7

Çizelge 2.1. Alüminyumun genel özellikleri 10

Çizelge 2.2. Alüminyuma takviye edilen element ve etkileri 11

Çizelge 2.3. Alüminyum alaşımlarının element içeriği ve mekanik özellikleri 12

Çizelge 2.4. Çeşitli metallerin alüminyuma göre izafi ağırlıkları 19

Çizelge 2.5. Alaşım elemanlarının alüminyuma etkileri 19

Çizelge 2.6. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları 20

Çizelge 2.7. Pomzanın kimyasal bileşimi % değerleri 27

Çizelge 2.8. Türkiyedeki pomza dağılımı 30

Çizelge 2.9. Dünya pomza üretimi 31

Çizelge 2.10. Al matrisli kompozitler de yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerin özelliklerine göre uygulama alanları 36

Çizelge 2.11. Tarımsal atıklarla güçlendirilmiş Al matrisli kompozitlerin özellikleri. 37

Çizelge 2.12. Deneyde kullanılan toz miktarları 54

Çizelge 3.1. Numune üretiminde kullanılan toz miktarları 63

Çizelge 3.2. Dağlama karışımı için kullanılan miktarlar. 68

Çizelge 4.1. Saf alüminyum ve kompozit numunelere ait yoğunluk değerleri 74

Çizelge 4.2. Üretilen numunelerin basma testi sonuçları. 96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Taşıt ağırlığı ile yakıt tüketimi arasındaki ilişki.....2

Şekil 2.1. Al-Si ikili faz diyagramı.....15

Şekil 2.2. Al-Mg ikili faz diyagramı.....16

Şekil 2.3. Mg-Si ikili faz diyagramı 17

Şekil 2.4. Araç başına alüminyum kullanım değerleri 23

Şekil 2.5. Bir araçta Al ve kompozitlerinin kullanımı.....23

Şekil 2.6. Pomza madenine ait bir görüntü.....26

Şekil 2.7. Asidik pomza ve bazik pomza örneği 27

Şekil 2.8. Kompozit malzemelerin matris malzemesine göre sınıflandırılması 31

Şekil 2.9. a) Sürekli fiber, b) süreksiz fiber ve c) parçacık takviyeli kompozit 34

Şekil 2.10. Toz metalürjisi imalat yöntemi 38

Şekil 2.11. a)Toz metalurjisi ile üretilmiş dişli Parçalar
b) Toz metalürjisi ile alüminyumdan üretilmiş kam kasnağı mili.....39

Şekil 2.12. Toz sıkıştırma basamağı 40

Şekil 2.13. a) Tozlar temas halindeyken b) X yarıçapında bir boyun ile
küresel yapıdaki tozların sinterleme kesiti 41

Şekil 2.14. Sıkıştırmalı döküm metodu a) doğrudan b) dolaylı.....43

Şekil 2.15. Karıştırmalı döküm yöntemi 44

Şekil 2.16. Basınçlı döküm infiltrasyon yöntemi 45

Şekil 2.17. Difüzyonla birleştirme metodunun şematik görünümü.....46

Şekil 2.18. İn-sitü üretim yöntemi.....47

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.19. Kompozitlerin (a) değiştirilmemiş ve (b) K2TiF6 ile değiştirilmiş optik mikroskop mikro yapıları; kompozitlerin ötektik yapısı (c) değiştirilmemiş (d) K2TiF6 ile değiştirilmiş. 48

Şekil 2.20. A360 alüminyum alaşımına ait sem görüntüler 50

Şekil 2.21. A360 alüminyum alaşımına %0.2 Mg ve %0.4 Mg ilave edilmesiyle oluşan mikro yapının SEM görüntüsü 51

Şekil 2.22. A360 alüminyum alaşımına %0.8 Mg ilave edilmesiyle oluşan mikro yapının SEM görüntüsü 51

Şekil 2.23. Mg ilavesinin alaşım sertliğine etkisi 52

Şekil 2.24. XRD analizi 52

Şekil 2.25. SEM analizi 53

Şekil 3.1. Saf Al tozu XRD analizi. 58

Şekil 3.2. Saf Al tozu SEM görüntüleri. 58

Şekil 3.3. Saf Mg tozu XRD analizi. 58

Şekil 3.4. Saf Mg tozu SEM görüntüsü. 59

Şekil 3.5. Pomza tozunun XRD analizi 60

Şekil 3.6. Pomza tozunun SEM görüntüsü 60

Şekil 3.7. Numune üretimi için kullanılan sıcak pres cihazı. 60

Şekil 3.8. Tozların muhafaza edildiği eldivenli kabin. 61

Şekil 3.9. Tozların hassas terazide tartılması. 62

Şekil 3.10. Tozların karıştırma işlemi. 63

Şekil 3.11. Toz üretiminde kullanılan kalıp takımı. 64

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.12. a) Sıcak pres cihazına yerleştirilmiş kalıp takımı
b) Üretilmiş numune....64

Şekil 3.13. Sıcaklık-Zaman grafiği....65

Şekil 3.14. Tel erezyon ile kesilmiş numuneler....65

Şekil 3.15. Zımparalama cihazı....66

Şekil 3.16. Numunelerin yoğunluk ölçümü....67

Şekil 3.17. Zeis marka sigma 300 modeli SEM ölçüm cihazı....68

Şekil 3.18. Deney çalışmalarında kullanılan universal test cihazı....69

Şekil 4.1. Al-Mg faz diyagramı....72

Şekil 4.2. Al-20 P-12 Mg kompozitin SEM analizi....74

Şekil 4.3. Saf Al XRD analizi....76

Şekil 4.4 Al-20P XRD analizi....77

Şekil 4.5. Al-20P-3 Mg XRD analizi....77

Şekil 4.6. Al-20P- 6 Mg XRD analizi....78

Şekil 4.7. Al-20P-9 Mg XRD analizi....78

Şekil 4.8. Al-20P-12 Mg XRD analizi....79

Şekil 4.9. a) Saf Al b) Al-20 Pomza c) Al-20Pomza-3Mg d) Al-20Pomza-6Mg
d) Al-20 Pomza-9 Mg e) Al-20Pomza-12 Mg....80

Şekil 4.10. Saf Al SEM görüntüleri....81

Şekil 4.11. Al-20 P SEM görüntüleri....82

Şekil 4.12. Al-20P-3 Mg pomza SEM görüntüleri....82

Şekil 4.13. Al-20P- 6 Mg pomza SEM görüntüleri....82

Şekil 4.14. Al-20P- 9 Mg pomza SEM görüntüleri....83

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.15. Al-20P- 12 Mg pomza SEM görüntüleri 83

Şekil 4.16. Al- 20P 1.noktadan alınan noktasal analiz sonucu.....85

Şekil 4.17. Al- 20P 2.noktadan alınan noktasal EDS analiz sonucu 85

Şekil 4.18. Al- 20P numunesinden seçilen 1.alan EDS analiz sonucu.....86

Şekil 4.19. Al- 20P numunesinden seçilen 2.alan EDS analiz sonucu.....86

Şekil 4.20. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 1.nokta EDS analiz sonucu. 87

Şekil 4.21. Al-20P-9 Mg numunesinden alınan 2.nokta EDS analiz sonucu. 87

Şekil 4.22. Al-20P-9 Mg numunesinden alınan 3.nokta EDS analiz sonucu. 88

Şekil 4.23. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 4.nokta EDS analiz sonucu 88

Şekil 4.24. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 5.nokta EDS analiz sonucu 89

Şekil 4.25. Al-20P-12 Mg bölgesinden alınan EDS analiz sonucu 89

Şekil 4.26. Reaksiyon bölgesinden alınan haritalama EDX analiz sonucu 90

Şekil 4.27. Reaksiyon bölgesinden alınan haritalama EDX analiz sonucu 91

Şekil 4.28. Basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri a) Saf Al, b) Al-%20 pomza, c) Al-20P-3Mg, d) Al-20P-6 Mg e) Al-20P- 9 Mg f) Al-20 P- 12Mg kompozitleri.....92

Şekil 4.29. Saf Al ve kompozitlerin basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri 93

Şekil 4.30. Saf Al ve kompozitlerin basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri 94

Şekil 4.31. Mg içeriğinin a) akma dayanımı, b) basma dayanımı, c) Kırılma birim şekil değişimi üzerindeki etkisi 95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

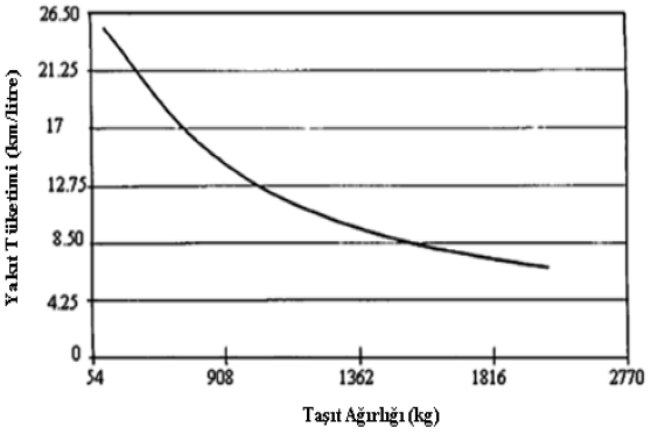
Simgeler	**Açıklama**
µm	Mikrometre
GPa	Ciga paskal
g	Gram
K	Kelvin
kg	Kilogram
ml	Mililitre
MPa	Mega paskal
nm	Nanometre
V	Hacim
wt	Ağırlık

Kısaltmalar	**Açıklama**
Al	Alüminyum
EDX	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
HB	Brinell sertlik
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
TM	Toz metalürjisi
XRD	X-ışını kırınımı

1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşmenin artması ve teknolojideki gelişmenin hızlı bir şekilde ilerlemesi ile birlikte birçok sektörde yaygın olarak kullanılan malzemeler daha zor servis şartlarında beklenen gereksinimleri (daha yüksek çalışma sıcaklıkları, daha yüksek gerilmeler, daha korozif ortamlar vb.) karşılayamamaktadır. Bu durum geleneksel malzemelerin yerine daha iyi özellik sergileyebilen yeni nesil materyallerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenden dolayı üreticiler ve bilim insanları, başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok alanda kullanılmak üzere yeni malzemelerin geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapmaktadır. Yapılan araştırmalara göre günümüzde kullanılan araç sayısının 800 milyonun üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Dargay ve ark., 2007). Bu da dünya nüfusunun yaklaşık % 12 sinin araç sahibi olduğunu göstermektedir. Dünya çapında, artan araç sayısı ile birlikte petrol kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu durum sadece doğal kaynak stokunu tüketmekle sınırlı kalmayıp aynı zamanda hava kirliliğine sebebiyet vererek ekolojik dengeyi bozmaktadır (Başer, 2012). Fosil yakıt sonucunda ortaya çıkan karbondioksit (CO_2) gazı ve diğer zararlı gazların yayılımından dolayı ortaya çıkan çevresel kaygılar ve yakıt ekonomisinden kaynaklanan endişeler araç üreticilerini yeni çalışmalara yöneltmiştir. Yaptıkları çalışmalar sonucu yakıt tasarrufunu; motor gücünü artırarak ve hafif malzeme kullanarak elde edebileceklerini tespit etmişlerdir (Dhingra ve Das, 2014). Yakıt tüketiminin ortalama %75 gibi önemli bir oranının araç kütlesiyle bağlantılı olduğu ve yakıt ekonomisinde %8'lik bir iyileşme için %10'luk ağırlık azaltılması gerektiğinin sonucuna varmışlardır. Taşıt ağırlığındaki düşüş yakıt tüketiminin azaltılmasının yanı sıra CO_2 salınımını da asgari düzeye indirmektedir (Kuo, 2010). Şekil 1.1, araçtaki kütlenin azalması ile birlikte yakıt tüketiminin azaldığını göstermektedir. Bu bağlamda otomotiv sektöründeki araştırmacılar güvenlikten ödün vermeden enerji tasarrufu sağlayabilen hafif, yüksek dayanımlı, iyi korozyon dayanımı gösteren ve çevre dostu yeni bir malzeme arayışına girmişlerdir.

Bu belirtilen önemli özellikler alüminyum (Al) metalinde mevcuttur. Al'nin düşük yoğunluğa sahip olması, iyi bir korozyon direnci sergilemesi, ısı ve elektriği iyi iletmesi, şekillendirilebilme ve mekanik özelliklerinin iyi olması gibi karakteristik özellikleri ona olan ilgiyi arttırmaktadır (Musfırah ve Jaharah, 2012). Otomotiv sektöründe Al'nin kullanımı son 25 yıldır sürekli artış göstermektedir (Miller ve ark., 2000). 1970 li yılların başında Al malzemesinden üretilen parçalar % 2 kullanım oranına sahip iken günümüzde otomotiv alanında motor blokları, şaftlar, tekerlekler ve araç gövdeleri gibi 100 den fazla parça Al malzemesinden üretilmektedir (Gallo, 2010).



Şekil 1.1. Taşıt ağırlığı ile yakıt tüketimi arasındaki ilişki (Eliezer ve ark., 1998).

Otomotiv endüstrisinde Al'ye duyulan ilgiye paralel olarak kullanılacak Al malzemesinin daha az maliyetli ve kaliteli olması beklenmektedir. Son yıllarda beklentileri karşılamak ve özelliklerini iyileştirmek için çok fazla çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar iyi sonuç verdiğinden dolayı Porsche, Audi, Toyota vb. araç modellerinde kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Bu araçlarda kullanılan 50 kg Al alaşımı ile birlikte 100 kg çelik tasarrufu sağlanabilmektedir. Aynı şekilde yapılan araştırmalara göre Al malzemesinden üretilen bir araç ile Al kullanılmayan bir araç karşılaştırıldığında kullanım ömürleri süresince yakıt tüketiminin 1500 litre daha az olduğu tespit edilmiştir (Roth, 2001).

Al elementini eşsiz kılan en önemli başka bir özelliği ise enerjiyi absorbe etme yeteneğine sahip olmasıdır (Kim, 2002). Bu özellik sayesinde araçta oluşabilecek herhangi bir çarpma sonucu ortaya çıkan enerji, sistem tarafından absorbe edilir ve bu sayede yolcuların güvenliği sağlanmış olur. Al malzemesinden üretilen Audi A8 modeli ile aynı modelden çelikten üretilen aracı teste tabi tutmuşlardır. Çarpma sonucunda iki araç karşılaştırıldığında yolcular için Al malzemesinden üretilen aracın çok daha güvenli olduğu sonucuna varılmıştır (Carle ve Blount, 1999).

Al metalinin saf halde göstermiş olduğu bazı zayıf mekanik özelliklerinden dolayı başka metallerle alaşımlandırılarak veya kompozit oluşturularak kullanılmaktadır (Butt ve ark., 2016). Al ve alaşımları mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılacak takviye güçlendiricisinin kolay temin edilebilir olması, yanında kullanılacakları matris malzemeleri ile uyumluluk, elastiklik modülü, çekme mukavemeti, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, kristal yapı gibi özellikler göz önünde tutularak seçilmektedir (Casati ve Vedani, 2014). Bu malzemeler arasında, yüksek ergime sıcaklıkları, sertlikleri ve düşük kimyasal reaktivitelerinden dolayı karbürler, oksitler, karbon nanotüpler, nitrürler, silikatlar ve borürler gibi seramik malzemeler ön plana çıkmaktadırlar. Al matrisli kompozitlerde takviye malzemesi olarak genellikle Al_2O_3, SiC, C, SiO_2, BN, AlN, B_4C ve grafen kullanılmaktadır (Garg ve ark., 2016). Bu tür seramik nano malzemeler Çizelge 1.2’ de verilen iyi mekanik özellikler sergilese de pahalı olmaları ve matris malzeme içerisinde homojen bir şekilde dağıtımının zor olması üreticileri hafif, daha uygun maliyetli ve yüksek dayanıklı takviye malzeme arayışına yöneltmiştir. (Parveez ve ark., 2021).

Yapılan literatür araştırmaları sonucu son yıllarda kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak doğrudan seramik veya metalik malzeme kullanmak yerine organik, inorganik, endüstriyel ve tarımsal atık türevlerinin kullanımı dikkat çekmektedir. Tarımsal atıkların eklenmesi sadece endüstriyel açıdan fayda sağlamaz aynı zamanda hava kirliliğini azaltarak çevreye de katkı sağlamaktadır (Joseph ve Babaremu, 2019).

Ayrıca yapılan araştırmalara göre tarıma dayalı takviyelerin, seramik takviyeli kompozitlerde olduğu gibi kırılgan kompozitler oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, tarıma dayalı kompozitlerin özellikle daha yüksek mukavemet-ağırlık oranı, daha düşük maliyet talep eden çeşitli otomotiv uygulamalarında kullanılabilen, maliyetli ve çevreye zararlı seramik takviyeli kompozitler yerini alma konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varmaktadır (Parveez ve ark., 2021). Tarımsal esaslı takviyelerin Çizelge 1.1' de kimyasal bileşimi verilmiştir. Al, silisyum ve magnezyum (Mg) oksit bileşenleri açısından zengin olduğunu bulmuşlardır.

Çizelge 1.1. Tarımsal esaslı takviyelerin kimyasal bileşimi.

Tarımsal atık	SiO2 (wt%)	Al_2O_3 (wt%)	MgO (wt%)	Fe2O3 (wt%)	CaO (wt%)	K2O (wt%)	SO3 (wt%)	P_2O_5 (wt%)	Referans
RHA-Pirinç kabuğu külü	97.09	1.135	0.825	0.31	-	-	-	-	(De ve Khosrow, 2010; Usman ve ark., 2014)
CSA-Hindistan Cevizi Kabuğu Külü	45.05	15.6	16.2	12.4	-	-	-	-	(Madakson ve ark., 2012)
BLA-Bambu yaprak külü	75.9	3.5	-	1.22	7.47	-	-	-	(Amu ve Adetuberu, 2010)
POFA-Palm Yağı Yakıt Kül	49.20	35.45	3.93	-	7.5	5.3	1.73	6.41	(Zainudin ve ark., 2005)
POC-Palm Yağı Klinkerleri	81.8	3.5	1.24	5.18	2.3	4.66	-	0.76	(Robani ve Chan, 2009)

Pirinç kabuğu külü, hindistan cevizi kabuğu külü, bambu yaprak külü, uçucu kül içeriğinde yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermeleri ve seramik, metal takviyelere göre daha maliyetli olmalarından dolayı çok fazla tercih edilmektedirler (Parveez ve ark., 2021). Aynı şekilde pomza madeninin % 70 oranında SiO_2 , % 14 Al_2O_3 içermesi ve daha önce Al matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak kullanılmamış olması dikkatleri üzerine çekmektedir. Ayrıca pomzanın Türkiye'de fazla bulunması ve bu miktarın %50'sinin Doğu Anadolu bölgesinde bulunması, bölgenin ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynayacağı ön görülmektedir.

Çizelge 1.2. Al matrisli kompozitler için yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerin özellikleri (Samal ve ark., 2020).

Özellikler	TiB_2	Al_2O_3	ZrB_2	SiC	TiC	B_4C	AlN
Yoğunluk ($g\ cm^{-3}$)	4.52	3.99	6.09	3.16	4.93	2.52	3.26
Erime sıcaklığı (℃)	3225	2043	3000	1955	3067	2763	2200
Sertlik, Vickers (GPa)	25-35	18-21	22-26	35-45	24-32	38	11.8
Elastiklik modülü (GPa)	560	400	350	448	400	460	331
Termal iletkenlik ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)	60-120	30	23	16-20	17-32	17-42	285
Basma mukavemeti (MPa)	2400	2000	311-433	588-4116	320-360	2600	1500-4000

Yapılan literatür araştırmasında bahsedilen amaçlar çerçevesinde in-sitü sentezlemesinin toz metalürjisi yöntemi ile Al ve pomza madeninin tepkimeye girmesini ve otomotiv sektöründe otomobil güç aktarma organlarında kullanabilme potansiyeli olan Al-pomza esaslı kompozitlerin etkin olarak kullanımını sağlamaktır.

$$4Al + 3S\dot{I}O_2 \rightarrow 3Si + 2Al_2O_3 \quad (1.1)$$

$$\Delta G°T = 2\Delta G°_{Al_2O_3}, 600°C + 3\Delta G°_{Si}, 600\ °C - 4\Delta G°_{Al}, 600°C - \Delta G°_{SiO_2}, 600°C \quad (1.2)$$

(Knacke, 1991; Ye ve Hu, 2002).

$$\Delta G°T = 2(-335 \cdot 14) - 4(0) - 3(-178 \cdot 218) = -135 \cdot 65 KCal/mol$$

Daha önce yapılan Al matrisli perlit takviyeli lisans tezi çalışmasında toz metalurji yöntemini kullanarak Al ile perlitin yapısındaki SiO_2'nin kimyasal tepkimeye girmesini sağlayıp hafif ve dayanıklı kompozit malzeme üretimi amaçlanmıştır. yapılan hesaplamalara göre termodinamik olarak her ne kadar Al ile SiO_2 tepkimeye girmesi beklenen bir durum olsa da kinetik olarak gerçekleşmemiştir. Bu yüzden yapılan bu çalışmada ürünün mekanik değerlerini ve dayanımını arttırmak için Mg ilavesi yapılacaktır. İlave edilen Mg'nin büyük bir kısmının aşağıda verilen termodinamik hesaplamasına göre silisyumla reaksiyona girmesi beklenmektedir. Mg-Si faz diyagramını incelediğimizde silisyum, Mg içerisinde maksimum olarak %0.003 kadar çözünmektedir dolayısıyla geri kalan Si, Mg ile reaksiyona girip Mg_2Si oluşturma eğiliminde olacaktır.

$$2Mg + S\dot{I}O_2 \rightarrow 2MgO + Si \quad (1.3)$$

$$2Mg + Si \rightarrow Mg_2Si \quad (1.4)$$

$$4Mg + S\dot{I}O_2 \rightarrow 2MgO + Mg_2Si \quad (1.5)$$

$$\Delta G°T = 2\Delta G°_{MgO}, 600°C + \Delta G°_{Mg_2Si}, 600\ °C - 4\Delta G°_{Mg}, 600°C - \Delta G°_{SiO_2}, 600°C$$

(Nadiradze ve ark., 2009).

$$\Delta G°T = -242645. - 16936.83 + 179793.11 = -79.78\ KCal/mol$$

Mg_2Si fazı yüksek sertlik , yüksek elastiklik modülü, düşük yoğunluk, yüksek erime sıcaklığı, iyi mekanik, elektrokimyasal ve tribolojik özellikler sergilemektedir (Seth ve ark., 2020). Mg mikro yapıdaki silisyum ile tepkimeye girerek Mg_2Si bileşiğini oluşturması ve oluşan bu bileşiğin Çizelge 1.3' de verilen fiziksel özellikleri ile birlikte mukavemet kazanması hedeflenmektedir.

Çizelge 1.3. Mg_2Si bileşiğinin fiziksel özellikleri (Zhu ve ark., 2019).

Ergime sıcaklığı	1085 °C
Yoğunluk	1.99×10^3 kg m^{-3}
Sertlik	4.5×10^3 Nm^{-2}
Elastisite katsayısı	120 GPa
Genleşme katsayısı	7.59×10^{-6} K^{-1}

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Alüminyum

Yer kürede silisyumdan sonra en çok ikinci element olarak bulunan Al son zamanlarda kullanımı artmış metallerdendir. Doğada elementel halinde bulunmayıp kimyasal bileşen halinde bulunduğu için değeri 19. yüzyıla kadar bilinmemiş,1807 yılında Sir Humpherey Davy tarafından fark edilmiştir. Henry bu bileşende Al'nin varlığını tahmin etmiş olmasına rağmen 1825 yıllında Christian Oersted tarafından ilk metallik Al üretilmiştir (Green, 1973). Daha sonra Friedrich Wöhler potasyumu susuz Al klorür ile tepkimeye koyarak düşük yoğunluktaki Al' yi üretmiştir (Fedorov ve Samoylov, 2019). Wöhler'in başlattığı bu süreç 1854 yılında Henri Sain Deville tarafından geliştirilmiştir. Al ticari olarak 1886 yılında üretilmeye başlamış olsa da çok yüksek maliyetli olduğundan ötürü kullanımları deniz gözlemleri ve denge kirişlerinin üretiminde sınırlı kalmıştır. 1879 yıllında yemek kaşığı gibi farklı pahalı ürünler üretilmiş ancak bu metalin verimli kullanımı 1895 yıllarına dayanmaktadır. Bu metalin otomotiv sektöründe kullanımı 1903'te Wright flyer 1'in motorunda kullanılmaya başlanmış ve bu sektörde kullanımı son 25 yıldır sürekli artış göstermektedir (Williams ve Starke, 2003). 1906 yılında Alfred Wilm Al metalinin belirli bir süre sonra yaşlanarak sertleşen duralüminyumu keşfetmiştir. Al, 1910 yılından itibaren gıda sektöründe folyo, yiyeceklerin ambalajlanması için kullanılmaktadır (Cutter, 2002). Daha sonra 1930 yılından bu yana ekstrüzyon yöntemiyle gıda sektöründen inşaat sektörüne kadar birçok alanda geniş yelpazeye sahiptir. Al ülkemiz ile 1950 yıllarda tanışmış ve kısa süre içerisinde en önemli endüstriyel alanlardan biri haline gelmiştir. Bütün bu yaşanan gelişmeler sonucunda mat gümüş renginde olan Al günümüzde en çok kullanılan mühendislik malzemelerinde biri olmuştur. Al'nin genel özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. Nötr ve asitli ortamlarda mükemmel korozyon direnci, yüksek elektrik iletkenliği, şekillendirilebilir, geri dönüştürülebilme ve ısıl iletkenlik özelliklerinin iyi olması Al elementine büyük bir avantaj sağlamaktadır (Schropp ve ark., 1990).

Çizelge 2.1. Alüminyumun genel özellikleri (Fenton, 1996; Ay ve ark., 1999).

Atom numarası	13
Yoğunluk (20°C'de)	2.6989 g/cm^3
Özgül ağırlık	2.7 g / cm^3
Ergime sıcaklığı	660 ºC
Ergime ısısı	386 kj / kg
Elastiklik modülü	65 GPa
Özgül ısı	0.90 kj / kg. K (18 ºC)
Isı iletme katsayısı	0.94 kj / kg. K (100 ºC)
Elektrik iletme kabiliyeti	39 m / Ω . mm^2
Çekme mukavemeti	44.8 MPa
Akma sınırı	17.2 MPa
Kopma uzaması	% 30 – 38
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	250 – 300 ºC
Kristal yapısı	YMK
Sertlik (HB)	21
Poisson Oranı	0.34
Lineer Genleşme Katsayısı (10^{-6} /K)	23.86

2.1.1. Alüminyum alaşımları

Başlıca elementi Al olan malzemelerde özelliklerine göre Mg, Si, Zn, Cu vb. önemli alaşım elementleri katılarak Al alaşımları elde edilir. Alaşım seçim aralığının geniş olması ona büyük bir avantaj sağlamaktadır. Kullanılacak takviye güçlendiricisinin kolay temin edilebilir olması, yanında kullanılacakları matris malzemeleri ile uyumluluk gibi özellikler dikkate alınarak seçilmektedir (Casati ve Vedani, 2014). Çizelge 2.2'de Al metaline ilave edilen elementler ve etkileri verilmiştir. Al alaşımları hafif, geri dönüştürülebilir, yüksek ısı ve elektrik iletkenlik özellikleri gösteren alaşımlardır. Al alaşımlarının sergilemiş oldukları bu önemli özelliklerinden dolayı sanayi yönünden çok ilgi çekmektedir (Miller ve ark., 2000). Alaşım elementleri, tek başlarına veya birkaç tanesi beraber ilave edilerek kullanılmaktadır. Al alaşımları sınıflandırılırken dört basamaklı sayılar kullanılır (Dwight, 1999). Çizelge 2.3'de Al alaşımlarının içeriği ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Alüminyuma takviye edilen elementler ve etkileri (Das ve ark., 2012).

Element	Etki
Çinko	Çinko oranının yüksek olduğu alaşımlar soğuma çekmesi ve sıcak çekme etkisi yaratırlar ve bu oran % 10' u aştığında zayıf gerilmeli korozyon dayanımı gösterirler
Bakır	Bakır ve Al; sertlik, mukavemet, dökülebilme özelliği ve kolay işlenebilme özellikleri sağlar. Bakır %33 oranında Al ile ötektik bileşim verir.
Silisyum	Al'nin içinde çözünebilme oranı çok azdır (%1-1.5). %12 Silisyum miktarında Al ile ötektik bileşim yapar. Kristalleri inceltir iyi özellikler kazandırır. Ergime noktası düşer (565 ºC), mekanik özellikleri ve sıcaklık dirençleri yükselir, dökülebilirliği artar ve bu oran artınca işlenmeye karşı direnç oluşur.
Manganez	Manganez Al içerisinde çok az (%0.3) miktarda çözünür. Alaşımın ergime noktasını tokluk ve süneklik özelliklerini arttırır. Akışkan Özelliğini arttırmak için demir ile birlikte kullanılmaktadır.
Magnezyum	Mg oranının % 33 olduğu durumlarda Al ile ötektik bileşim verir. Yoğunluk değeri Al'ye göre düşük olduğu için ilave edilen alaşımın özgül ağırlığını düşürür ve ilave edilen Mg miktarı % 6 oranını aştığında alaşımda çökelme sertleşmesi görülmektedir.
Demir	İğneli yapı şeklinde kristallenme meydana gelir ve oluşan doku kristalleri, mekanik özellikleri zayıflatıcı yönde etki yaratır.
Nikel	Korozyon dirençlerini iyileştirir ve oluşan malzemeye kalıcı parlaklık sağlamaktadır.

Çizelge 2.3. Alüminyum alaşımlarının element içeriği ve mekanik özellikleri (Kikani ve Thakkar, 2017).

Alüminyum Alaşımları	Alaşım Kompozisyonu	Sertleşme Metodu	Çekme Mukavemeti Aralığı (MPa)	Çekme Mukavemeti Aralığı (ksi)	Kimyasal kompozisyon
1xxx	Al	Soğuk işlem	70-175	10-25	
2xxx	Al-Cu-Mg	Isıl işlem	170-310	25-45	%4.6 Cu %0.35 Mn %0,35 Mg %0.25 Ti
2xxx	Al-Cu-Mg-Si	Isıl işlem	380-520	55-75	% 0.4 Si %4 Cu
3xxx	Al-Mn-Mg	Soğuk işlem	140-280	20-40	%9 Si %0.35Mg % 3.5 Cu % 0.4 Mn
4xxx	Al-Si	Soğuk işlem	105-350	15-50	%12 Si

Çizelge 2.3. Alüminyum alaşımlarının element içeriği ve mekanik özellikleri (devam) (Kikani ve Thakkar, 2017).

Alüminyum Alaşımları	Alaşım Kompozisyonu	Sertleşme Metodu	Çekme Mukavemeti Aralığı (MPa)	Çekme Mukavemeti Aralığı (ksi)	Kimyasal kompozisyon
5xxx	Al-Mg	Soğuk işlem	140-280	20-40	%10 Mg
5xxx	Al-Mg-Mn	Soğuk işlem	280-380	40-55	1% 18 Mn % 6.80 Mg
6xxx	Al-Mg-Si	Isıl işlem	150-380	22-55	% 0.4 Si % 0.1 Cu % 0.35 Mg
7xxx	Al-Zn-Mg	Isıl işlem	380-520	55-75	% 6.0 Zn % 0.58 Mg % 0.5 Cr
7xxx	Al-Zn-Mg-Cu	Isıl işlem	520-620	75-90	% 6.5 Zn % 0.35 Mg % 0.5 Cu
8xxx	Al-Ni-Cu-Mg	Isıl işlem	280-560	40-80	% 1.2 Ni % 0.75 Mg % 2.0 Cu

1xxx serisi

1xxx serisi %99 ve daha yüksek oranda Al içermektedir (Kaufman, 2000). Bu tür alaşımlar katılaşma aralığına sahip değildirler. Korozyon direnci, ısıl ve elektrik iletkenliği iyidir (Davis, 1999). Kaynak yapımında, mutfak eşyalarında ve kimya sektörlerinde kullanılmaktadır.
Alaşımlar:1050, 1060, 110, 1145, 1200, 1230, 1350 vs.

2xxx serisi

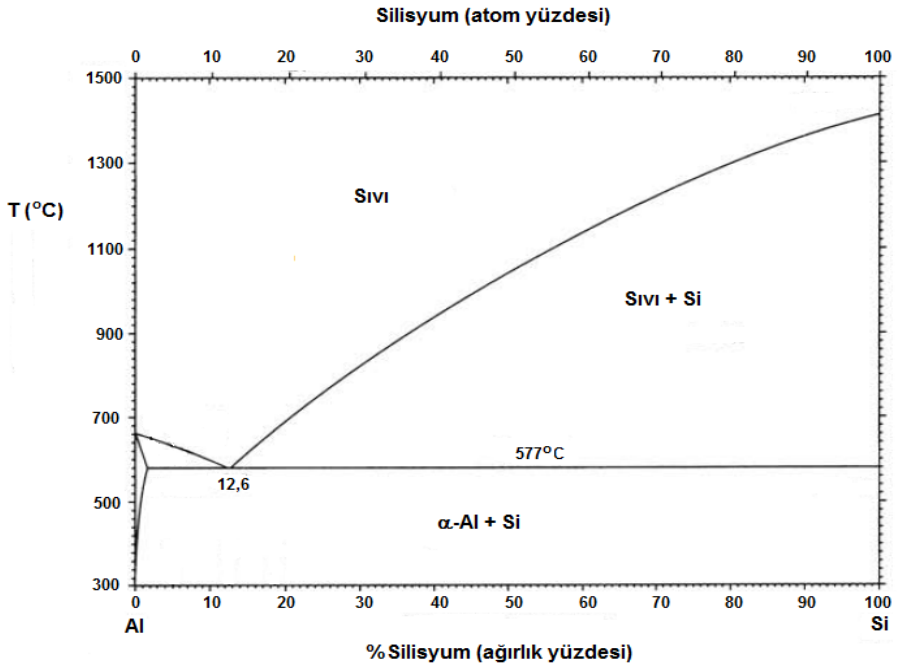
Bu serinin ana alaşımını bakır oluşturmaktadır (% 6.3'e kadar bakır içerir). Önemli derecede mukavemet artışı sağlar (Shriwas ve Kale, 2016). Mg ve diğer alaşım elementleri ile birlikte bulunabilir. Bu alaşımlarının en önemli özelliği 50 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda iyi bir mukavemet göstermeleridir. Dayanımları iyi olduğu için uçak ve araç gövde panelleri gibi ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. 2024 bu serilerin arasında en yaygın kullanılan serisidir (Norman ve ark., 2003). Alaşımlar: 2010, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 2010, 2030, 2060, 2240, 2420 vs.

3xxx serisi

Alaşımı oluşturan başlıca element mangandır. Al metalinin soğuk işlem uygulanabilirliğini geliştirir. Saf Al'ye göre daha fazla sıcak çatlak riskine sahiptir. En önemli özelliği iyi şekil değiştirme, kaynak kabiliyetinin iyi olması ve iyi korozyon direncine sahip olmasıdır. Genelde ısıl işlem göremezler ve akma dayanımları 250 MPa kadardır. Otomobil gövdelerinde, boru sıvı tanklarında ve mimaride genellikle çatı kaplamalarında kullanılmaktadır (Epstein ve ark., 1994). Alaşımlar: 3003, 3004, 3105, 3830, 3850, 3900 vs.

4xxx serisi

Alaşımı oluşturan başlıca element silisyumdur. Alaşım iyi bir mukavemet özelliğinin yanında süneklik artışı sağlamakta ve alaşımın içerisinde bakır varsa çökeltme sertleşmesi gerçekleşmektedir (Singh ve ark., 1996). En iyi özellikleri aşınma direnci ve korozyon dayanımının yüksek olmasıdır. İyi bir dekoratif gruba sahip olduklarından daha çok mimari alanlarda ve yüksek dayanıklı parçaların imalatında kullanılmaktadır (Davis, 1999). Alaşımlar: 4032, 4043, 4145, 4643 vs. Şekil 2.1'de Al-Si faz diyagramı verilmiştir. Bu ikili denge diyagramını incelediğimizde Al içerisinde Si çok az miktarda çözünmektedir. 577 ℃'de ve %12.6 Si içeriğinde ötektik dönüşüm gerçekleşmektedir (Makhlouf ve Guthy, 2001). Sıcaklık α fazı içerisinde silisyumun olduğu Al esaslı katı eriyik, içerisinde yok denecek kadar az Al barındıran silisyum esaslı β fazı diyagramda verilmiştir.

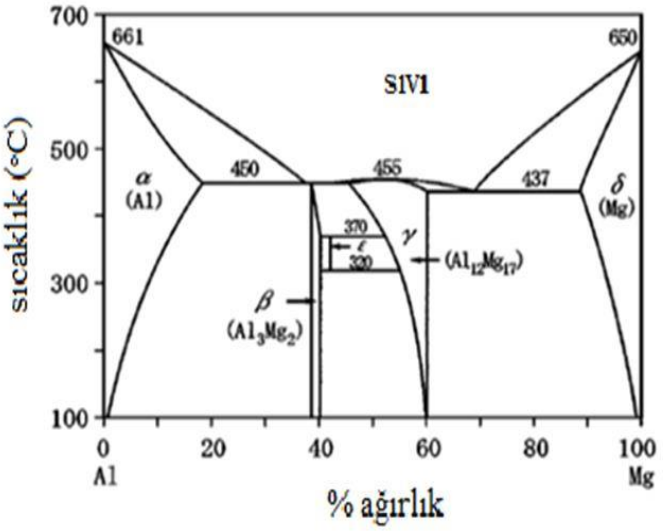


Şekil 2.1. Al-Si ikili faz diyagramı (Gruzleski ve Closset, 1990).

5xxx serisi

Alaşımı oluşturan başlıca element Mg'dir. Alaşımdaki Mg miktarı arttırıldığında malzemede sertlik ve dayanım artarken süneklik özelliğinde azalma görülür (Zuo ve ark., 2018). Akma dayanımı 263 MPa kadardır. En iyi özellikleri olarak yüksek kaynak kabiliyeti ve orta dayanımına sahip olmalarıdır. Alaşımlar: 5005, 5045, 5052, 5083, 5754 vs.

Şekil 2.2'de verilen Al-Mg ikili faz diyagramından görülebileceği üzere 450 °C'de %17.4 Mg çözebilmektedir. İntermetalik yapı oluşumları söz konusu olup çözünürlük sınırının aşılması durumunda Al_3Mg_2 metaller arası bileşiğin de oluşabileceği görülmektedir. Bu bileşik sertleşme özelliğini arttırdığından dolayı mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirmektedir (Hu ve ark., 2013).



Şekil 2.2. Al-Mg ikili faz diyagramı (Gruzleski ve Closset, 1990).

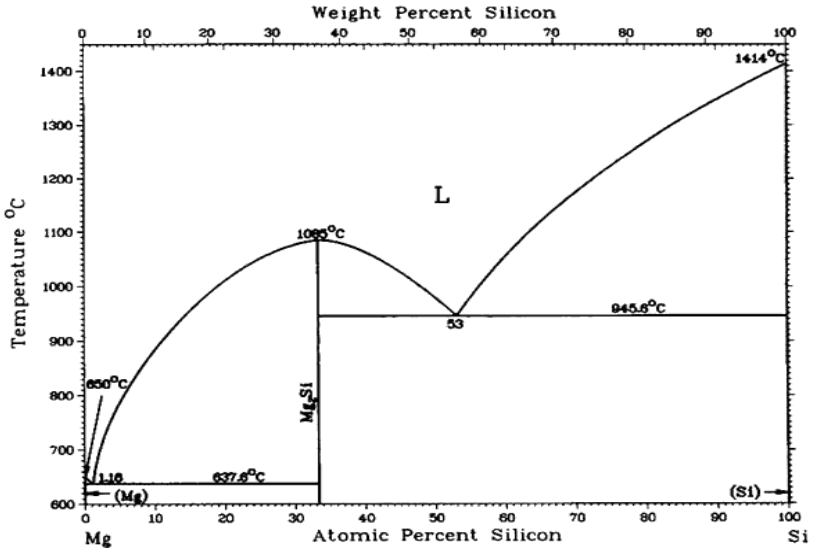
6xxx serisi

Alaşımı oluşturan başlıca elementler Mg, Si' dir. Şekillendirebilme, kaynak kabiliyeti, korozyon direnci ve dayanım özellikleri iyidir. 6000 serisi ısıl işlem uygulanılabilen panel alaşımlarıdır (Burger ve ark., 1995). Bu alaşım levha, sac, otomobil gövde panelleri ve ekstrüzyon ürünü olarak daha çok kullanılır. Al-Si

alaşımlarının farklı sıcaklıklarda malzemenin özelliklerini önemli derecede iyileştirmek için alaşıma Mg ve Cu gibi elementler ilave edilerek Al_2Cu, Mg_2Si gibi önemli intermetaliklerin oluşumu sağlanabilmektedir (Stadler ve ark., 2012). Al-Mg-Si alaşımı otomobil gövde panellerinde sağladığı dayanım özelliklerinden dolayı büyük bir ilgi odağı olmuşlardır. 6xxx Al levhalar damgalama işleminden sonra araba parçalarında şekillendirilir ve böylece Al araca yeterli derecede mukavemet sağlamış olur.

Alaşımlar: 6013,6052, 6061 vs.

Şekil 2.3'de verilen Mg-Si faz diyagramını incelediğimizde silisyum Mg içerisinde maksimum olarak % 0,003 kadar çözünmektedir dolayısıyla geri kalan Si, Mg ile reaksiyona girip Mg_2Si oluşturma eğiliminde olacaktır.



Şekil 2.3. Magnezyum-silisyum faz diyagramı (Nayeb-Hashemi ve Clark, 1984).

7xxx serisi

Ana alaşım elementi çinkodur. Yüksek sertlikleri, yüksek toklukları, mükemmel işlenmeleri ve kaynak performansları nedeniyle uçak gövdesi, direkler ve kirişlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhou ve ark., 2021). 7xxx alaşımlarının atmosferik korozyon direnci yüksek değildir, bu nedenle kaplanılarak kullanılırlar (Bouzekova ve Miteva, 2022). Alaşımlar: 7075, 7050, 7049, 7100, 7110 vs.

8xxx serisi

Alaşımı oluşturan esas element lityumdur. Yoğunluğu düşürdüklerinden dolayı genellikle uçak ve uzay araçlarının yapımında kullanılmaktadır. En önemli özellikleri mukavemetinin ve tokluk özelliklerinin iyi olmasıdır (Williams ve Starke, 2003). Bu alaşımlarının dezavantajları maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Alaşımlar: 8006, 8111, 8079, 8500, 8510, 8520 vs.

Alüminyum alaşımlarının özellikleri

- Al alaşımlarının özellikleri takviye malzemelerine bağlı olarak geniş bir aralıkta değiştirilebilir.
- Al alaşımlarının üretilmesi kolaydır.
- Al alaşımları korozyona karşı dayanıklıdırlar bu özelliğinden dolayı kaplamaya ihtiyaç duymazlar.
- Al alaşımlarının özellikleri, alaşımı oluşturan elementler ve onların mikro yapısına bağlı olarak değişim gösterirler.
- Sıvı halde akıcılıkları iyidir.
- Ergime sıcaklıkları düşüktür.
- Hacimsel çekmeleri azdır.
- Kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır.
- Isıl işlemlere karşı elverişlidir.
- Spesifik dayanımları yüksektir. Çizelge 2.4’ de Al alaşımlarının diğer metalik alaşımlar ile özgül ağırlıkları, Çizelge 2.5’ de alaşım elemanlarının Al’ye etkileri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Çeşitli metallerin alüminyuma göre izafi ağırlıkları (Eren, 2007).

Metaller	Özgül Ağırlık	İzafi Ağırlık
Mg-Alaşımları	1.8	0.64
Al-Alaşımları	2.8	1.00
Çinko	7.1	2.60
Pik	7.2	2.64
Kalay	7.3	2.66
Çelik	7.9	2.82
Pirinç	8.5	3.03
Bronz	8.8	3.14
Nikel	8.9	3.18
Bakır	8.9	3.18
Kurşun	11.3	4.03

Çizelge 2.5. Alaşım elemanlarının alüminyuma etkileri (Degarmo, 1984).

	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Tİ	Cr	Ni	Li	Zr	V	Sn	B	Bi	Pb
Yoğunluk	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Akışkanlık	↓	↑	↑	↓	↓	-	↓		-	-		-		-	-	
Sertleşme	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑	↑	-	↓		-	↓	-	-	↓
Mukavemet Sürtünme Mukavemeti	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	-	↑↑	-	-	-	↑↑	↑	-	-
Elektrik iletkenliği	↓	↓↓	↓↓	↓↓↓	↓↓	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	-	↓↓	↓↓	-	↑↑↑	-	-
Korozyon Mukavemeti	-	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓	-	-	↓	-	-	-	↓	-	↓	↓
Isıl Genleşme katsayısı	-	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	-	-	↓	-	-	-	-

2.1.1.1. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları

Al 19. yüzyıla kadar değeri anlaşılmamış ve 19. yüzyıldan sonra endüstride kendisine oldukça yer bulan bir malzemedir. Bunlardan başlıca kullanım alanları; ulaşım, inşaat, sanayi, otomotiv, gıda endüstrileri, kimya, mutfak eşyalarının yapımı ve elektrik iletimi örnek olarak gösterilebilir (Davis, 1999). Çizelge 2.6'da alüminyum alaşımlarının sektörlerdeki kullanım alanı verilmiştir.

Çizelge 2.6. Al alaşımlarının kullanım alanları (Davis, 1999).

Sektörler	Oran (%)
İnşaat	25
Ulaşım	24
Ambalaj	15
Elektronik	10
Genel Mühendislik	9
Mobilya Ofis Eşyaları	6
Demir Çelik Metalurji	3
Kimya ve Tarım Ürünleri Sanayi	1
Diğer	7
Toplam	100

Elektrik sanayinde kullanımı

1930 yılından beri Al iletken ve düşük yoğunluk özellikleri nedeni ile enerji iletim hatlarında kullanılmaktadır. Al elementin hafif, bakıra göre iki kat iletkenlik göstermesi ve iyi korozyon dayanımı sergilemesi özelliklerinden dolayı elektrik sanayisinde çok fazla tercih edilmektedir (Kaufman, 2000). Türkiye'de enerji iletim hatlarında Al malzemelerinden yapılan borular tercih edilmektedir. Bu sektörde araba şaseleri, transistor soğutucular, yongalar, veri kayıt diskleri ve elektronik cihazların kasaları da bulunmaktadır.

Uçak endüstrisinde kullanımı

Günümüzde kullanılan hava araçlarının gövdeleri Al malzemelerinden imal edilmiştir (Williams ve Starke, 2003). Uçağın ömrü ilerledikçe korozyon çeşitlenmekte ve çoğalmaktadır. Al ve alaşımlarının korozyona dayanımı iyi olmasından dolayı 1930'larda uçak endüstrisine girmiştir. O günden günümüze kadar hem Al sektörü hem de uçak sektöründe çok önemli gelişmeler yaşanmıştır (Davis, 1999). Al alaşımları uçak endüstrisinin demirbaş malzemesi haline gelmiş ve Al yüksek kalite işçiliğinden dolayı uçak yapımında kullanımı giderek artış göstermiştir.

Gemi sanayinde kullanımı

Gemi inşaatında kullanılan Al alaşımları genellikle hızları fazla olan askeri teknelerde kullanılmaktadır. Deniz korozif etkisine mukavim olan Al alaşımları (% 2.5-6 Mg az miktarda Mn, Cr, Be ve Ti elementleri) yapılmıştır. Bu elementlerin çekme mukavemetlerinin yüksek süneklik ve işlenebilme özelliklerinin iyi olması nedeni ile gemi sanayi sektöründe kullanılmaktadır (Siegrist, 1997).

Ambalaj ve konserve sanayinde kullanımı

Al mutfakta folyo olarak paketleme, gıdaların sarma işleminde ve ilaç muhafaza edilmesinde kullanılmaktadır (Marsh ve Bugusu, 2007). Günümüzde Al malzemesinden üretilen kutular hafif olduklarından dolayı çok fazla tercih edilmektedir.

Demiryolu sanayinde kullanımı

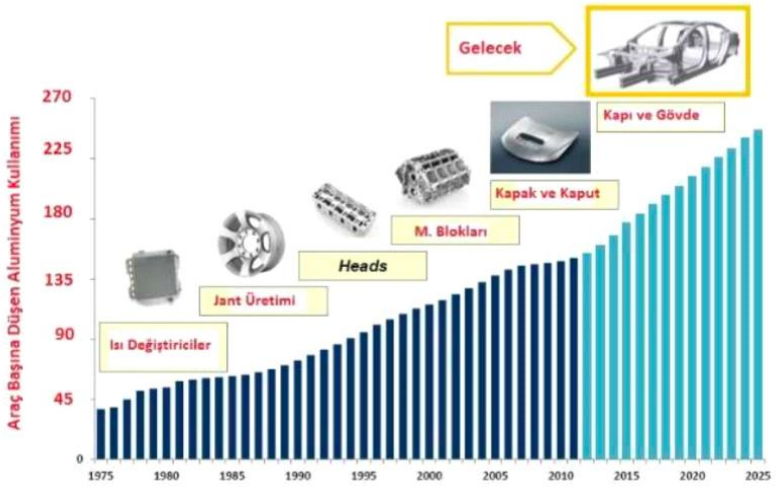
Al'nin ekonomik ve özgül ağırlıklarının düşük olması nedeni ile Al alaşımları son on yıldır demir yolu araçlarında kullanılmaktadır (Sun ve ark., 2021).

İnşaat sanayinde kullanımı

Al düşük maliyetli, dayanıklı ve iyi görünüme sahip olduğundan dolayı inşaat sektöründe kapı, çerçeve gibi iç ve dış kısımlarda kullanılmaktadır (Miller ve ark., 2000).

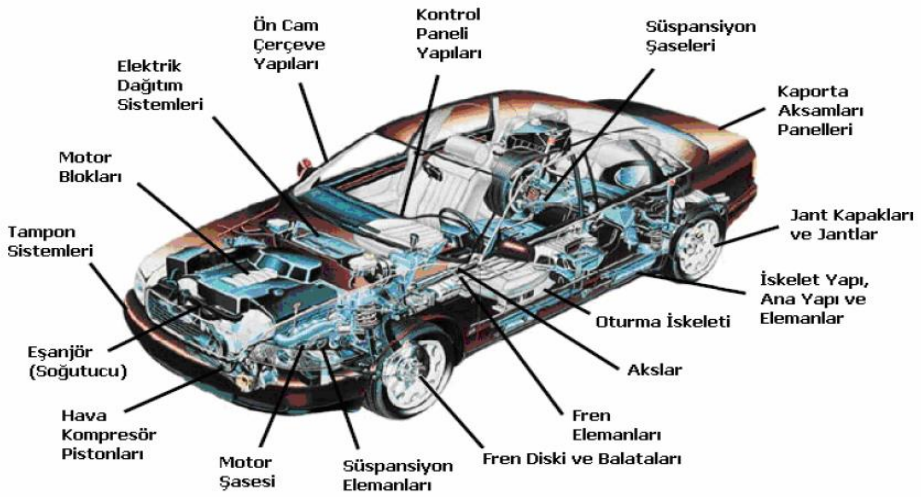
Otomotiv endüstrisinde alüminyum alaşımları

Yakıt tüketimini ve hava kirliliğini azaltmak için daha az yakıt yakan verimli araçlara yönelik artan talep, otomotiv endüstrisi için bir meydan okumadır. Otomotiv endüstrisinde yakıt tüketimini ve hava kirliliğini azaltmak için üreticiler kullanacakları malzemenin düşük maliyetli, hafif olmasını istemektedir. Al, çelik ve demire göre ortalama üç kat daha hafiftir. Bu özellikler otomotivdeki ağırlık azaltma talebine yanıt vermek ve otomobildeki daha ağır malzemelerin (çelik veya bakır) yerini almak için Al'nin ideal bir aday olmasını sağlamaktadır (Musfırah ve jaharah, 2012). Al ve alaşımları yüksek mukavemetli sertlik-ağırlık oranı, iyi şekillendirilebilirlik, iyi korozyon direnci ve geri dönüşüm potansiyeline sahiptir. Al alaşımları güçlü, dayanıklı ve hafif olduklarından dolayı otomotiv endüstrisine girmiştir (Cole ve Sherman, 1995). Daha az yakıt kullanımına sebep olacağı için çevre dostudur diyebiliriz. Gerçekleşen trafik kazalarında can kaybını en aza indirmek için oluşacak çarpışma enerjisinin araçtaki sürücü ve yolcular tarafından değil, darbe emiciler tarafından absorbe edilmesi istenmektedir. Bu amaçla kullanılan en uygun malzemeler yüksek darbe sönümleme kapasiteleri nedeniyle Al alaşımlarıdır. Araçlarda döküm yöntemiyle Al'den imal edilmiş dişli kutusu gövdeleri, silindir kafaları, jantlar; ekstrüzyon yöntemi ile Al malzemesinden üretilmiş radyatörler, koltuk kızakları darbe çubukları vb. kullanılmaktadır. Bunların kullanım değerleri Şekil 2.4' de verilmiştir.



Şekil 2.4. Araç başına alüminyum kullanım değerleri (Modaresi, 2015).

Al alaşımlarından üretilmiş parçalar kullanılacak araçların toplam ağırlığının yaklaşık % 6'sını oluşturmaktadır ve kullanılan bu alaşımların %95'i hurdanın geri dönüşümü ile imal edilmektedir. Şekil 2.5'de bir araçta kullanılan Al ve Al matrisli kompozit malzemelerin şematik görüntüsü verilmiştir ve bu kullanımının giderek artması öngörülmektedir.



Şekil 2.5. Bir araçta Al ve kompozitlerinin kullanımı (Soy, 2009).

Akslar

Al malzemesinin akslarda kullanımı son zamanlarda olmuştur. Yüksek dayanım, hafiflik ve korozyon dirençlerinin iyi olmasından dolayı çok zor koşullarda işlev gören aks parçalarda kullanılmaktadır (Hirsch, 2011).

Jantlar

Al jantlar direksiyon hâkimiyetini ve araç dengesini artırmaktadır (Komjaty ve ark., 2019). İlk olarak dış görünüşlerinden dolayı jantlarda Al kullanılırken günümüzde yüksek balans tutma kabiliyetine sahip olması, hafif olması, aracın lastik ve fren kısmında meydana gelen ısıyı hızlı bir şekilde aktararak lastiklerin ve balataların kullanabilme süresini uzatma vb. özellikleri sebebi ile tercih edilmektedir.

Alüminyum gövde

Çoğunlukla pahalı olan tır, otobüs gibi araçların gövdelerinde kullanılır. Bu araçlarda Al'nin kullanım nedeni araç ömrünün uzatmasından kaynaklanmaktadır. (Man, 2016). Genellikle Al-Mg–Si, Al-Mg ve Al-Cu alaşımları araç gövde uygulamalarında kullanılmaktadır.

Süspansiyon

Son zamanlarda birçok araç üreticisi süspansiyon bileşenlerinde Al kullanarak yaysız ağırlığı azaltmış ve böylelikle aracın ömrünü uzatmıştır.

Alüminyumun otomotiv sektöründe kullanılmasını sağlayan özellikler

Al otomotiv sektörünün birçok ihtiyacına karşılık verebilecek özelliklere sahiptir. Bu özellikleri aşağıda verilen başlıklar altında genelleyebiliriz.

Korozyon dayanımı

Al saf haldeyken yüzeyinde oluşturduğu koruyucu film sayesinde çelik gibi oksitlenerek kaybolmaz. Korozyona uğrama riskini doğru bir alaşım seçimi ile en aza indirgenebilir (Yıldırım, 2006).

Hafiflik

Otomotiv sektöründe hafiflik ve dayanıklılık gibi özellikler önemlidir. Otomotiv endüstrisindeki ağırlık azaltma talebine yanıt vermek için otomobildeki daha ağır malzemeleri (çelik veya bakır) değiştirmek için Al ideal bir malzemedir (Miller ve ark., 2000).

Mukavemet

Otomotiv sektörü bir ülkenin ekonomisini belirleyici role sahiptir (Tisza ve ark., 2005). Üretilen malzemelerin dayanıklı olması istenir. Bazı Al alaşımları çeliklerin mukavemet değerini geçmektedir.

Yüksek mukavemet ağırlık oranı

Al'nin çeliğe göre mukavemet-ağırlık oranı iki kattan daha fazladır. Bu özelliği sayesinde Al havacılık sektöründe önemli role sahiptir (Jawalkar ve ark., 2017).

Esneklik

Al şeklini koruyarak esneyip geri yaylanır. Araçlarda herhangi bir kaza esnasında çarpma enerjisinin emilmesinde üstün özelliklere sahiptir (Miller ve ark., 2000).

2.2. Pomza

Volkanik camsı bir kayaç olan pomza içerisinde barındığı mikro boyutlardan gözle görülebilecek makro boyutlara kadar farklı boyutlarda gözeneklere sahiptir. Pomzanın en önemli özelliklerinden biri bu gözeneklerin birbirlerinden camsı bir zarla ayrılmış olmasıdır (Özün ve Sivrikaya, 2018). Pomza, beyaz-açık gri, sarımsı gibi çeşitli renklere sahiptir.



Şekil 2.6. Pomza madenine ait bir görüntü (Dinçer ve ark., 2015).

Çizelge 2.7' de pomzanın kimyasal bileşim aralıkları verilmiştir. Kimyasal bileşiminde; fazlaca miktarda silika bulundururken Al, demir, kalsiyum, Mg, sodyum, kükürt vb. elementlerin oksitlerini içermektedir. İçerisinde bulundurduğu SiO_2 bileşiği abrasif özellik kazandırırken Al_2O_3 ise ısıya dayanıklılık özelliği sağlar.

Çizelge 2.7. Pomzanın kimyasal bileşiminin % değerleri (Gündüz ve ark., 2001).

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
SiO_2	70	45
Al_2O_3	14	21
Fe_2O_3	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
Na_2O+K_2O	9	8
TiO_2	<1	<1
SO_3	<1	<1

2.2.1. Pomzanın oluşumu

Pomza volkanik faaliyetler sonucu oluşan bir kayaçtır. Asidik ve bazik pomza olmak üzere iki çeşittir. Şekil 2.7'de verilen asidik pomza açık renge sahipken bazik pomza koyu renge sahiptir. Viskozitesi daha yüksek olan asidik magma katı hal gösterdiği sıcaklıklarda bazik magma sıvı özellik gösterir. Basıncın artış göstermesiyle asidik malzeme ile birlikte çözünmüş durumda olan gazlar patlama ile birlikte bacadan püskürtür ve ardından ani basınç sertleşmesi beraberinde ani genleşme meydana gelir. Böylelikle içerisinde hapsolmuş uçucu malzemelerin hızlı bir şekilde kaçmasına sebep olur (Dinçer ve ark., 2017). Bu olaydan sonra içerisinde kalan erimiş küresel parçalar atmosfer ile temas haline geçer geçmez hızlı bir şekilde soğur ve böylece pomza oluşur.



Şekil 2.7. Asidik pomza ve bazik pomza örneği (Eroğlu ve Şahiner, 2020).

2.2.2. Pomzanın kullanım alanları

Son yıllarda farklı endüstri alanlarında kimyasal bileşim ve yapısal özelliklerinden dolayı kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Başlıca aşağıdaki sektörlerde kullanılmaktadır.

- İnşaat
- Tarım
- Tekstil
- Kimya
- Diğer endüstri ve teknolojik sektörlerde

İnşaat sektöründe pomza kullanımı

Pomza maddenin hafif özeliğe sahip olmasından dolayı en fazla kullanıldıkları alan inşaat sektörüdür. Prefabrikler, sıva, harç üretiminde, asmolenler ve panellerde kullanılır. İnşaat alanında fazla miktarda ısı ve ses yalıtımı sağlar (Tuncer ve Özkan, 2000).

Tarım sektöründe pomza kullanımı

Pomza içerisine emdiği suyu belirli bir süre boyunca içerisinde barındırdığı için devamlı olarak ıslak bir ortamın oluşmasını sağlar**.** Toprağın su tutma özelliği su kıtlığı görülen yerlerde önem arz etmektedir (Eroğlu ve Şahiner, 2020).

Tekstil sektöründe pomza kullanımı

Pomzanın aşındırıcılık özelliği tekstil sektörünün dikkatini çekmiştir. Bu özelliğini kullanarak kot taşlama ve kumaşın yumuşatılması sağlanmaktadır.

Kimya sektöründe kullanımı

Günümüzde pomzanın kimya sektöründe kullanıldığı alanlar aşağıda verilmiştir.

- Sağlıklı bir ortamda yiyeceklerin saklanması için, ambalajların ve saklama kaplarının üretiminde
- Diş macunlarında ve dişçilikte
- Silikon dioksit imalinde
- Tarım ilaçlarında taşıyıcı olarak
- Otomotiv sektöründe ısı ve ses izolasyonunda dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

2.2.3. Pomza sektörünün dünya ve Türkiye'deki yeri

Dünyanın çoğu ülkesinde farklı özellik gösteren pomza oluşumları bulunmaktadır. En büyük rezerv de ABD'de bulunmaktadır. Çizelge 2.8' de Türkiye'de ki pomza dağılımı verilmiştir. Türkiye de pomza kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Maden ve petrol işleri genel müdürlüğünden (MAPEG) alınan bilgilere göre 2.2 milyar ton pomza rezervi (dünya rezervin % 17'si) bulunmaktadır. Pomza rezervi ülkemizde en çok İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır. Çizelge 2.9' da dünyadaki pomza üretimi gösterilmektedir.

Çizelge 2.8. Türkiye'deki pomza dağılımı (m^3) (Gündüz ve ark., 2001).

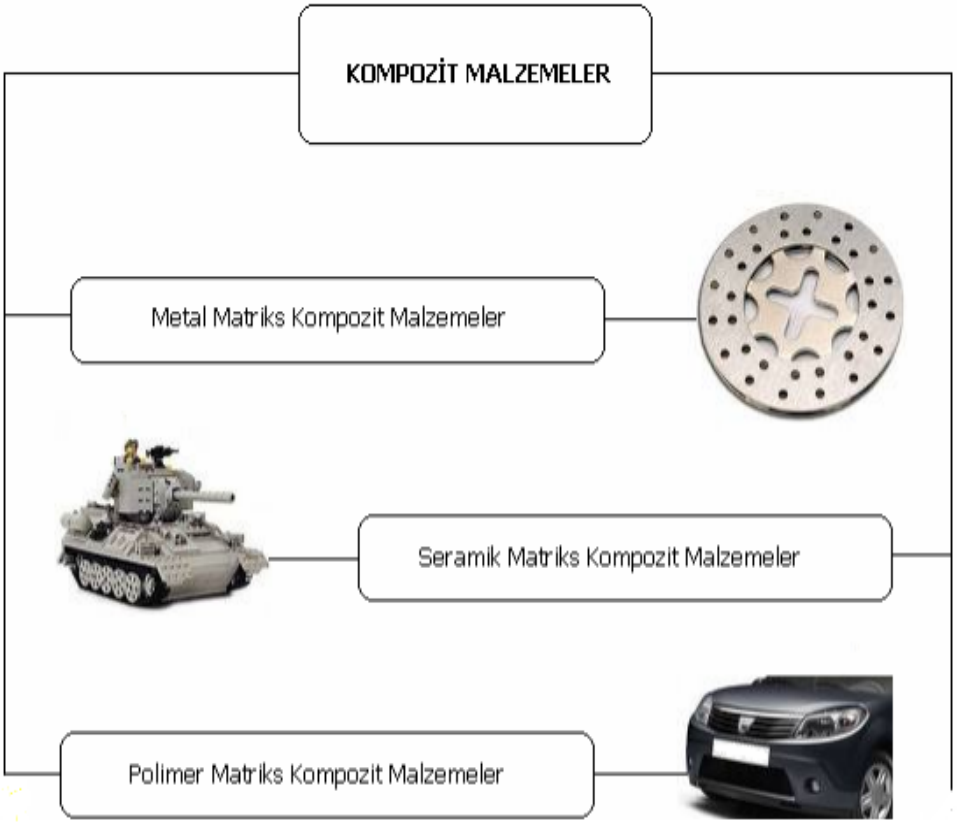
YERİ	REZERV MİKTARI	REZERV KATAGORİSİ
Nevşehir-Avanos-Urgüp	404.412.834	A+B
Derinkuyu	48.660.500	C
Kayseri-Gömeç	13.250.000	A+B
Kayseri-Develi	58.500.000	A+B
Kayseri-Talas-Tomarza	241.000.000	A
Kayseri-Talas-Tomarza	284.000.000	B
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	B
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	A+B
Van-Molakasım	5.950.000	A+B
Ağrı-Patnos	27.812.000	A+B
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000	A+B
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250	B
Kars-Dıgor	11.718.750	B
Kars-Sarıkamış	1.875.000	B
Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000	A+B
Isparta-Gölcük	30.983.250	A+B+C

Çizelge 2.9. Dünya pomza üretimi (Eroğlu ve Şahiner, 2020).

ÜLKELER	ÜRETİM (Ton)				
	2015	2016	2017	2018	2019*
Türkiye	6.700.000	5.700.000	5.600.000	7.800.000	7.800.000
İtalya	4.000.000	4.000.000	4.000.000	-	-
Yunanistan	720.000	870.000	950.000	1.130.000	1.100.000
Cezayir	350.000	350.000	350.000	900.000	900.000
İsrail	-	-	-	900.000	900.000
Şili	830.000	800.000	840.000	840.000	800.000
Etiyopya	600.000	600.000	800.000	800.000	800.000
Uganda	742.000	740.000	720.000	790.000	800.000
Endonezya	-	-	-	770.000	770.000
Ekvator	175.000	180.000	830.000	630.000	600.000
Guatemala	-	-	570.000	570.000	600.000
Suudi Arabistan	480.000	480.000	480.000	530.000	550.000
ABD	310.000	374.000	383.000	496.000	510.000
Kamerun	360.000	360.000	360.000	300.000	300.000
Fransa	276.000	280.000	280.000	280.000	280.000
İspanya	195.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Diğer Ülkeler	5.170.000	6.170.000	5.240.000	1.160.000	1.090.000
Toplam	**16.900.000**	**17.100.000**	**17.600.000**	**18.100.000**	**18.000.000**

2.3. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, birbiri içerisinde çözünmeyen farklı özelliklere sahip en az iki malzemenin bileşiminden meydana gelmektedir. Kompozit malzeme en az bir güçlendirici takviye ve matris materyalinden meydana gelmektedir (Matthews, Rawlings, 1999). Matris malzemesi, takviye elemanını yapı içerisinde belirli bir düzen içerisinde tutmakta ve malzemeye gelen yükleri takviye elemanına göndermektedir. Kompozit malzemeler matris malzemesinin (metal, seramik ve polimer) türüne göre Şekil 2.8'de gösterildiği gibi üç grupta sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.9'da ise kompozit malzemelerin takviye malzemelerine göre sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.8. Kompozit malzemelerin kullanılan matris malzemesinin cinsine göre sınıflandırılması (Soy, 2009).

2.3.1. Matris malzeme türüne göre kompozit malzemeler

2.3.1.1. Polimer matrisli kompozitler

Günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemelerdendir. Metal ve seramik matrisli kompozitlere göre karmaşık bir yapıya sahip ve daha ucuzdurlar. Polimer matrisli kompozitler; korozyona karşı dirençli, hafif ve kolay şekillendirilebilir olduğu için başta petrokimya esaslı ürünler olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır (Olhan ve ark., 2021).

2.3.1.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve yoğunluk değerleri düşük malzemelerdir. Ancak kırılgan ve sert bir yapıya sahip olmaları, süneklik ve tokluk değerlerinin düşük olması bu tür malzemelere büyük bir dezavantaj sağlamaktadır. Düşük süneklik ve tokluk, yüksek sıcaklığa dayanım kapasitesi, hafiflik, kimyasal kararlılık ve iyi sürünme direnci gibi önemli özellikler arka planda bırakmış bu yüzden seramik malzemeleri savunma sanayi ve havacılık alanlarda kullanılmaları sınırlı kalmıştır. Seramik matrisli kompozit malzemeler daha çok çatlağa karşı az hassasiyet gösterilen alanlarda tercih edilmektedir.

2.3.1.3. Metal matrisli kompozitler

Ana malzemelerini metal ve metal alaşımları oluşturmaktadır. Bazı uygulamalarda tek başlarına yeterli özellik sergilemezken, takviye ilavesi ile üstün özellik sergilerler. MMK'larda takviye elamanı olarak genellikle fiber ya da partiküller kullanılmaktadır (Surappa, 2003). SiO_2, Al_2O_3, SiC, B_4C, TiC, TiN en çok tercih edilen takviye elemanlarıdır. MMK'larda matris malzemesi olarak ise hafif ve ergime sıcaklığı düşük olan Al, Mg ve bakır malzemeleri çoğunlukla tercih edilmektedir. Hafifliğin önemli bir etken olduğu otomotiv sektöründe Al en çok kullanılan matris malzemeleri arasındadır (Srivyas ve Charoo, 2019).

2.3.2. Takviye malzeme türüne göre kompozit malzemeler

2.3.2.1. Parçacık takviyeli kompozitler

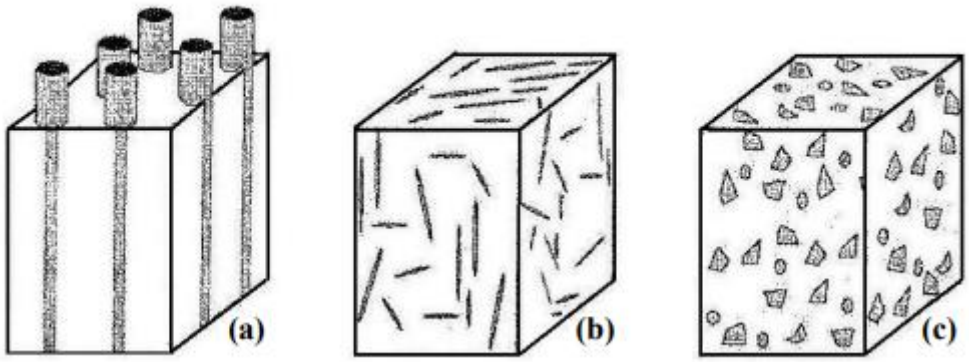
Parçacık takviyeli kompozitler genel olarak homojen büyüklükteki seramik parçacıklarını içermektedir. Parçacıklar malzemenin sertlik değerini arttırmada önemli bir faktördür (Jayalakshmi ve ark., 2014). Genel olarak iyi dayanım, sertlik ve iyi korozyon direnci sergilemektedirler. Kırılma toklukları düşük olduğundan dolayı herhangi bir gerilme altında şekil bozukluğu gösterebilirler. Bu tür kompozitler de istenilen mekanik ve fiziksel özellikler için takviye malzemesinin hacim oranı ve şekli değiştirilebilmektedir. Matris malzemesi olarak genellikle Al, Mg, Fe ve Ti kullanılmaktadır. Al matrisli kompozitler genellikle seramik takviyeler içermekte ve seramik takviyeli Al matrisli kompozitler, düşük maliyetleri ve kendine has özellikleri nedeniyle mühendislik uygulamalarında çok fazla tercih edilmektedir (Das ve ark., 2014). En çok kullanılan seramik takviyeler oksitler boridler ve karbürlerdir. Parçacık takviyeli Al matrisli kompozitler sürekli fiber takviyeli Al matrisli kompozit malzemelere göre daha ucuzdur. Bu kompozitler doğaları gereği izotopiktir (Surappa, 2003). 'Mikro/nano parçacık takviyeli Al matris kompozitlerin hafifliği, üstün mukavemet-ağırlık oranı, daha iyi kırılma tokluğu, geliştirilmiş yorulma, gerilme özelliği ve gelişmiş korozyon özellikleri nedeniyle imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.2.2. Süreksiz fiber takviyeli kompozitler

Ana yapı içerisinde süreksiz fiberlerin yer aldığı kompozitlerdir (Bijelic-Donova ve ark., 2016). Mekanik özellikleri genellikle iyi olduklarından dolayı pistonlarda çok fazla tercih edilmektedir

2.3.2.3. Sürekli fiber takviyeli kompozitler

Bu kompozitteki takviyeler alümina, SiC veya sürekli karbon fiber formundadırlar (Surappa, 2003). Çapları genelde 20 μm'dan daha küçüktür. Çekme mukavemeti 1500 MPa ve elastik modülü 240 GPa seviyelerindedir.



Şekil 2.9. a) Sürekli fiber, b) süreksiz fiber ve c) parçacık takviyeli kompozit (Nishida, 2001).

2.3.3. Alüminyum matrisli kompozitler

Al ve alaşımlarının sergilediği yetersiz özelliklerden dolayı Al matrisli kompozitlere olan talep son yıllarda giderek artmaktadır. Otomotiv ve havacılık sektörü gibi yüksek performans gerektiren uygulamalarda genellikle kullanılmaktadır. Al matrisli kompozit malzemelerin avantajları aşağıda verilmiştir.

- Hafif bir yapıya sahiptir.
- Kolay şekillendirilebilir.
- Nispeten ekonomiktir.
- İyi mukavemet özellik sergilerler.
- Estetik olup güzel bir görünüm sağlar
- Geri dönüşümlü bir yapıya sahip olduğu için çevre dostudur.

- Titreşimleri absorbe eder.
- Yorulma dirençleri yüksektir.
- Takviye elemanı olarak kullanılan çoğu seramik malzemeyi kolay ıslatabilme özelliğine sahiptirler.
- Korozyon problemleri yoktur, ancak takviye malzemeleri düzgün seçilmelidir. Diğer türlü temas halinde olan malzemeler galvanik korozyona uğrayabilirler (Surappa, 2003).

Takviye fazı olarak metal karbürler (SiC, TaC, WC, B_4C) , metal nitrürler (TaN, ZrN, Si_3N_4,TiN), metal boritler (TaB,ZrB_2, TiB_2, WB) ve metal oksitler (ZrO, ThO_2, SiO_2, Al_2O_3) kullanılmaktadır. Malzeme üretiminde kullanılan takviye fazı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen önemli parametrelerdendir (Sandıkoğlu, 2021). Çizelge 2.10'da Al matrisli kompozitler de yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerin özelliklerine göre uygulama alanları verilmiştir. Bu kullanılan malzemeler yanı sıra son yıllarda tarıma dayalı takviyelerin kullanımı dikkat çekmektedir. Çizelge 2.11' de tarımsal atıklarla güçlendirilmiş Al matrisli kompozitlerin bazı mekanik özellikleri verilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda takviye malzemesi olarak tarıma dayalı takviye malzemelerin kullanımı ile birlikte malzemenin mekanik özelliklerinin önemli bir oranda arttığı tespit etmişlerdir.

Çizelge 2.10. Al matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerin özelliklerine göre uygulama alanları.

Takviye	Özellikler	Uygulama	Referans
SiC	Yüksek sertlik, İyi termal özellikler ve refrakterlik	Bağlantı çubuğu, piston, mil, rotorlar ve fren diski	(Prasad ve Asthana, 2006; Kamrani ve ark., 2010)
B_4C	Ağırlığa karşı yüksek mukavemet oran, sertlik, kimyasal direnç ve iyi nükleer özellikler	Aşındırıcılar, balistik zırh	(Mazahery ve ark., 2012)
TiC	Yüksek aşınma direnci	Fren diski, rotor ve kesici aletler	(Samal ve ark., 2019)
Al_2O_3	Yüksek sertlik ve özgül güç	Refrakter malzeme, aşındırıcılar	(Mazahery ve Ostadshabani, 2011)
TiO_2	Yüksek çekme mukavemeti, darbe gücü ve sertlik	Otomotiv Uygulamalar	(Kumar ve ark., 2019)
ZrO_2	Aşınma ve korozyon direnç ve yüksek kırılma tokluğu	Seramik borular, silindir gömleği, bağlantı çubukları ve ısı yalıtımı	(Ramachana ve ark., 2016; Parveen ve ark., 2019)
TiB_2	Aşınma direnci ve yüksek kuvvet	Havacılıkta ve Otomobilde yapısal uygulama	(He ve ark., 2019)
ZrB_2	Termal kararlılık ve aşınma direnci	Yapısal parçalar	(Dinaharan ve Murugan, 2012)
CNT	Düşük yoğunluklu, yüksek ağırlık oranı, süneklik ve korozyon direnç	Dişliler, silindir gömlekleri ve spor araçları	Ko ve ark., 2013.
Grafen	Ağırlığa karşı yüksek mukavemet Oranı	Biyomedikal uygulama ve enerji depolama	(Prashantha ve Anthony, 2017)
Kırmızı çamur	Çekme mukavemeti, sertlik ve ekonomik	Tahrik mili, bisiklet, frenler	(Samal ve ark., 2020)
Grafit	Düşük yoğunluklu, yüksek termal iletkenlik, iyi mekanik mukavemet	Isı alıcılar, fren diski ve piston	(Omrani ve ark., 2016)

Çizelge 2.11. Tarımsal atıklarla güçlendirilmiş Al matrisli kompozitlerin özellikleri.

Matris	Takviye (% wt)	Çekme dayanımı (MPa)	Basma dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Sertlik	Üretim yöntemi	Referans
A356	%2,4,8 RHA (Pirinç kabuk külü)	239	261	-	83 (BHN)	Döküm yöntemi	(Haque ve ark., 2016)
Al-Si-Mg	8Sic/%1,2,3,4CCA (Mısır koçanı külü)	174	-	136	90 (VHN)	Karıştırmalı döküm yöntemi	(Fatile ve ark., 2014)
Al-Si-Mg	3SiC/3GSA (Yer fıstığı kabuğu külü)	125	100	-	53 (HRA)	Döküm yöntemi	(Alaneme ve ark., 2018)
Al7075	%3,6,9,12B_4C/%3CSFA (Hindistan cevizi kabuğu uçucu külü)	155	-	-	142 (HRA)	Karıştırmalı döküm yöntemi	(Subramaniam ve ark., 2018)
AA6061	0.75SiC/BLA (Bambo yaprağı külü)	154	-	128	185(VHN)	Karıştırmalı döküm metodu	(Natrayan ve ark., 2018)

2.3.3.1. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

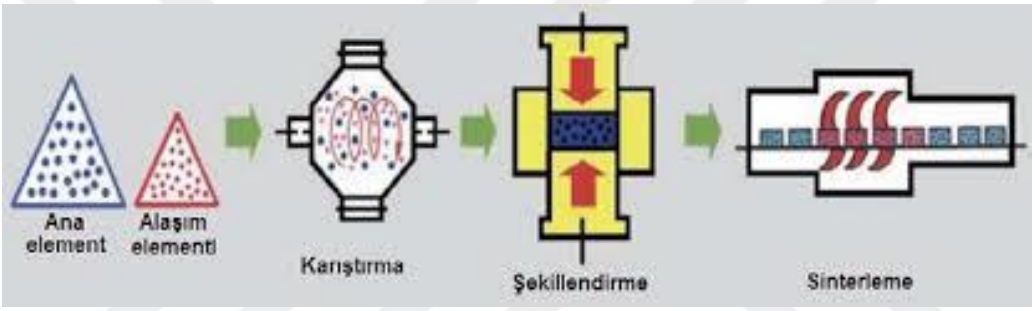
2.3.3.1.1. Toz metalürjisi yöntemi

Çok küçük boyuttaki metal veya seramik tozların birbirlerine kenetlenerek ergime sıcaklığı altındaki sıcaklıkta mukavemet kazandırılması sonucu elde edilen bir üretim yöntemidir (Seth ve ark., 2020). Şekil 2.10'da verilen toz metalurji yönteminde, ilk olarak kullanılacak tozlar homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılır. Daha sonra tozlar kalıplara yerleştirilerek preslenip sıkıştırılır ve ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulur. Presleme, sıcak ve soğuk presleme işlemi olarak gerçekleştirilebilmektedir.

Sıcak presleme prosesi, üretimde kullanılan tozların sıcaklık ve basınç yardımıyla tam yoğunluğa ulaşarak numunelerin üretilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde genellikle grafit kalıplar ısıl iletkenlikleri yüksek olduğundan dolayı tercih edilmektedir.

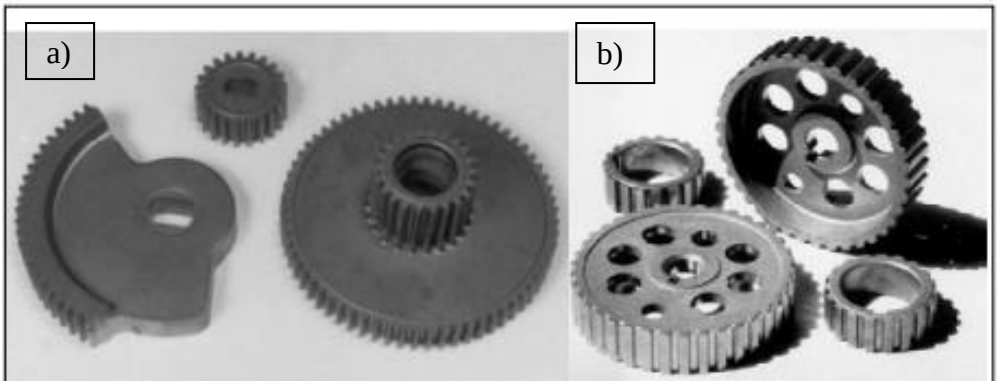
Sıcak presleme yönteminin avantajları

- ✓ Tek bir işlem ile presleme işleminin gerçekleşmesi
- ✓ Daha az gözenek oluşumu
- ✓ Ucuz olması
- ✓ Sinterleme ve presleme uygulamalarının eş zamanlı olması



Şekil 2.10.Toz metalürjisi imalat yöntemi (Korucu ve Soy, 2019).

Al'nin toz metalürjisi yöntemi ile üretimi 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi Al alaşımlarının özelliklerinin iyileştirilmesi için uygulanılan bir yöntemdir. Al matrisli kompozitlerin bu üretim metodunda işlem sırasında diğer yöntemlere göre yüksek sıcaklık değerlerine gereksiniminin olmaması, üretilen malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi ve bu durumu kontrol altına alabilme özelliklerine sahip olması yönünden oldukça avantajlıdır (Froyen ve Verlinden, 1994; Kerti, 1998). Bu yöntem sayesinde daha az maliyetli, daha homojen bir malzememe elde edilebilmektedir (Torralba ve ark., 2003). Şekil 2.11'de TM yöntemiyle üretilmiş malzemeye örnek verilmiştir.



Şekil 2.11. a) TM ile üretilmiş dişli parçalar b) TM Alüminyumdan üretilmiş kam kasnağı mili (Gökçe ve ark., 2017).

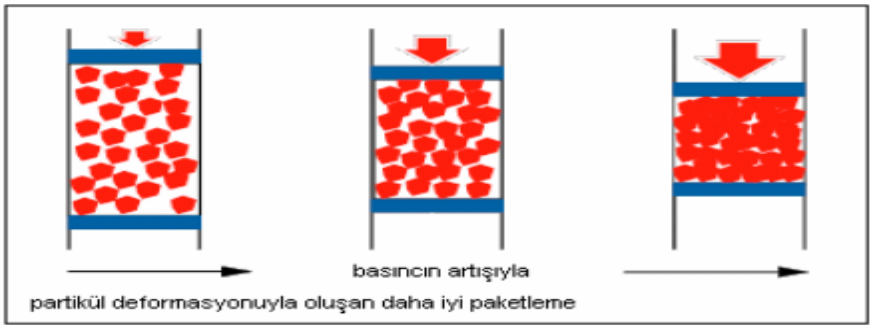
Toz metalürjisi üretim süreci

Tozların karıştırma işlemi

Farklı bileşime sahip tozların önceden belirlenmiş miktarlarda birbiri içerisinde homojen bir karışım elde etmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir (Newkirk ve Kohser, 2004). Homojen bir toz karışımı elde etmek için, tozların topaklaşmasına izin vermeyecek şekilde belirli bir zaman aralığında karıştırma işlemine tabi tutulur. Çoğunlukla karışım içerisine sürtünmeyi önlemek ve presleme sırasında kaymanın rahat gerçekleşebilmesi için yağlayıcı eklenmektedir.

Tozların sıkıştırılma işlemi

Presleme, tozları şekillendirmek için en çok uygulanılan yöntemdir. Kalıp içerisine doldurulan tozların teorik yoğunluğa ulaşması istenir. Bu işlem sırasında daha iyi bir sonuç alabilmek için kullanılan kalıp ve zımbalar hatasız olmalıdır. Şekil 2.12' de toz sıkıştırma aşaması gösterilmektedir (Liu ve ark., 1994; Keçeli, 2007).



Şekil 2.12. Toz sıkıştırma basamağı (German, 1989).

Tek yönlü sıkıştırma

Sıkıştırma işlemi tek bir tarafta uygulanır. Bu sıkıştırma işleminde tozlar ile kalıp yüzeyi arasında düzensiz bir basınç oluşumuna sebep olur (Liu ve ark., 1994; Keçeli, 2007). Numuneye uygulanılan sıkıştırma kuvveti düzensiz olarak uygulandığından dolayı numunedeki yoğunluk üniform dağılım oluşturmamaktadır. Tek yönlü sıkıştırma işleminde presleme basıncını artırarak daha az gözenek oluşumu elde edebiliriz.

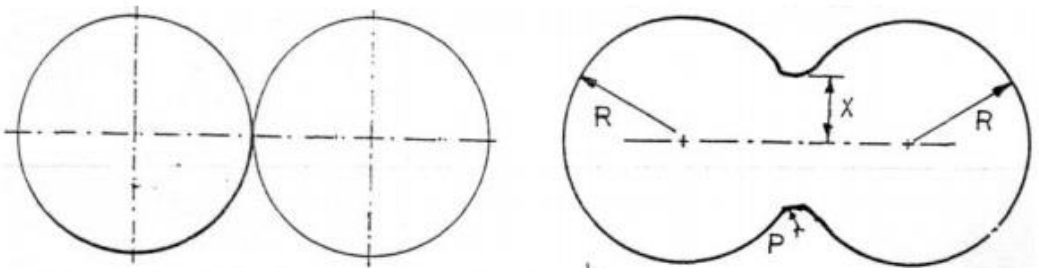
Çift yönlü sıkıştırma

Bu sıkıştırma işleminde tozlar her iki yönden sıkıştırılmaktadır. Her iki taraftaki zımba eşit veya farklı basınç uygulayabilir. Bu sıkıştırma metodunda uniform bir ham yoğunluk sonucuna ulaşılamaz (Liu ve ark., 1994; Keçeli, 2007).

Sinterleme

Sinterleme, temas halindeki tozların ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta ısıtılıp aralarında bağ oluşturarak yüksek mukavemet ve mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu olayda toz partikülleri birleşerek atomların difüzyon hareketi ile yüksek sıcaklıkta, yüzey enerjisinin azaltılması sonucunda meydana gelir. Sinterleme süresi ve sıcaklığı üretilecek numunenin özelliğine göre seçilmektedir.

Sinterleme başlangıç safhasında parçasının herhangi birkaç noktasında boyun oluşumu meydana gelerek birbirlerinden bağımsız şekilde büyür ve küresel şeklindeki tozlar arasında bir bağ oluşmaktadır. Bu durum Şekil 2.13' de verilmiştir.



Şekil 2.13. a)Tozlar temas halindeyken b) X yarıçapında bir boyun ile iki küresel yapıdaki tozların sinterleme kesiti (Ulutaş, 2014).

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen malzemelerin özellikleri

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen malzemelerin özellikleri; esas olarak tozların boyutuna, bileşimine ve şekline bağlıdır (Fathy ve ark., 2015). Kullanılan kalıp takımı, yağlayıcılar, presleme basıncı, gözeneklilik miktarı, sinterleme süresi ve sıcaklığı üretilen parçaları etkileyen diğer parametrelerdendir. Bu parametreler üretilen parçaların mekanik özelliğini önemli derecede etkilemektedir. Örneğin gözeneklilik miktarının azaltılması, üretilen malzemenin tokluk ve mukavemet değerlerinde iyileşmeler göstermektedir. Aynı şekilde üretimde kullanılan presleme basıncının yüksek olması, plastik deformasyon sonucunda toz taneciklerinin arasındaki temas alanını artırarak malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmektedir. Bu üretim metodu ile elde edilen malzemelerin yoğunlukları, çok önemli bir oranda değişmektedir (Daninger ve ark., 2017). Yoğunluk değeri yüksek olan malzemeler daha az gözenek miktarına sahip olup mukavemet özellikleri daha yüksektir.

2.3.3.1.2. Döküm

Döküm, çeşitli parçalar üretmek için en fazla uygulanan yöntemlerden biridir. Döküm yönteminin çok fazla tercih edilmesinin başlıca sebebi diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntem ile üretilen parçaların korozyon dirençleri yüksektir (Zhu ve Zanella, 2019). Döküm yönteminin başka bir avantajı ise uyumluluğun ve üretkenliğinin yüksek olmasıdır. Al parçalarının neredeyse % 30'u dökümden üretilmektedir. Döküm Al alaşımları yüksek mukavemet, süneklik ve yüksek akışkanlık özelliklerine sahiptir. Al döküm alaşımları içerisinde otomotiv sanayisinde en yaygın kullanılanlar Al-Si alaşımlarıdır. Al birçok döküm metoduyla üretilebilmektedir (Collot, 2001). Bu döküm yöntemleri sıkıştırmalı döküm, basınçlı döküm, karıştırmalı döküm, kum kalıba döküm ve hassas döküm şeklinde sınıflara ayrılmaktadır. Kullanılacak döküm yöntemi seçilirken boyut ve tasarım özellikleri dikkate alınmalıdır.

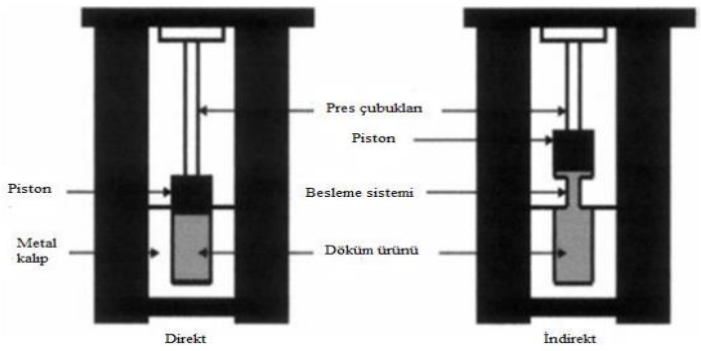
Al döküm yönteminin avantajları;

- Üretilmesi zor parçaların dökümüne uygundur.
- Yüksek hızda imal edilir.
- Üretilen parçaların yüzey kalitesi iyi olduğundan ek bir ikincil işleme gerek duyulmaz.
- Üretim sonucunda meydana gelen parçaların mekanik özellikleri iyidir (Kaufman ve Rooy, 2004).

Sıkıştırmalı döküm

Katılaşma esnasında daha önce kalıba ilave edilmiş sıvı metali sıkıştırarak hem porozite tarzı kusurları yok edip hem de parçaların hatasız bir şekilde imal edilmesini sağlamaktadır. Bu döküm yönteminde genelde yüzey kalitesi iyidir ve çeşitli şekil ve boyutlarda parçalar imal edilebilir. Al matrisli kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir.

Bu yöntem ile üretilen malzemelerin mekanik özellikleri büyük bir oranda iyileşme göstermektedir. Ancak kullanılan kalıp ömrünün az olması ve karmaşık şekilli malzemelerin üretiminin zor olması bu üretim yöntemine büyük bir dezavantaj sağlamaktadır (Ghomashchi ve Vikhrov, 2000). Doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki tip sıkıştırma yöntemi vardır (Şekil 2.14). Doğrudan sıkıştırma yöntemi önceden ısıtılmış bir kalıba ilave edilen eriyik metalin katılaşması sonucu meydana gelir (Yıldız, 2019). Dolaylı sıkıştırma yönteminde eriyik metalin kalıp içerisindeki katılaşma işlemi yüksek basınç altında gerçekleşmektedir.



Şekil 2.14. Sıkıştırmalı döküm metodu a) doğrudan b) dolaylı (Ghomashchi ve vikhrov, 2000).

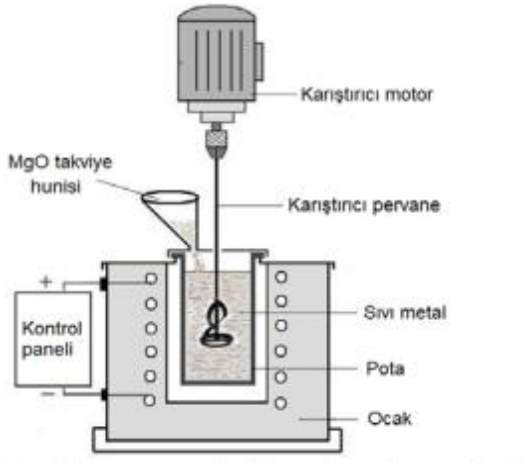
Basınçlı döküm

Basınçlı döküm yöntemi, ergime sıcaklığı düşük olan metal ve alaşımlarında yüksek hızda üretilen bir yöntemdir (Niu ve ark., 2000; Aslan, 2007). Bu yöntemle eriyik metal, kalıplara ilave edilerek yüksek basınç altında katılaşmaya uğrar. Kalıba yapışmayı önlemek için kalıba yağlayıcı püskürtülmelidir ki sonraki işlemlerde hata oranı aza indirgenebilsin. Katılaşma süresi, küçük parçaların dökümleri için birkaç saniye sürerken büyük parça üretiminde ise yalnızca birkaç dakika sürmektedir. Bu üretimde kullanılan makinaların kapasitesi 100-2000 ton aralığında değişmektedir. Al, bakır ve Mg alaşımları bu yöntemle dökülebilmektedir (Işık, 2021).

Avantajlar	Dezavantajlar
➢ Yüzey kalitesinin iyi olması ➢ Karmaşık parçaların üretilebilmesi ➢ Hassasiyet ve verimliliğinin yüksek olması	➢ Parçada gözeneklerin oluşması ➢ Sınırlı sayıda parça üretimi ➢ Parçaya ısıl işlem yapılamaması

Karıştırmalı döküm

Karıştırılmalı döküm yöntemi, en çok kullanılan yöntemlerden biri olup homojen bir şekilde takviye elemanı eriyik metal içerisine eklenerek dağıtılıp karıştırılır (Hashim ve ark., 1999). Daha sonra kalıba ilave edilen karışım katılaşmaya bırakılır. Takviye elemanının sıvı metal içerisinde homojen bir şekilde dağıtılırken yapıdaki gözenek ve istenmeyen tepkimelerin oluşumu büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem Al gibi ergime noktası düşük olan malzemelere uygulanmaktadır (Ye ve ark., 2004). Karıştırmalı döküm yönteminde ergimiş malzemede takviye elemanının homojen bir şekilde dağılımının zorluğu, malzemenin yapısında oluşan gözenekler önemli dezavantajlara sebep olmaktadır. Şekil 2.15'de karıştırmalı döküme ait görüntü verilmiştir.



Şekil 2.15. Karıştırmalı döküm yöntemi (Pul, 2019).

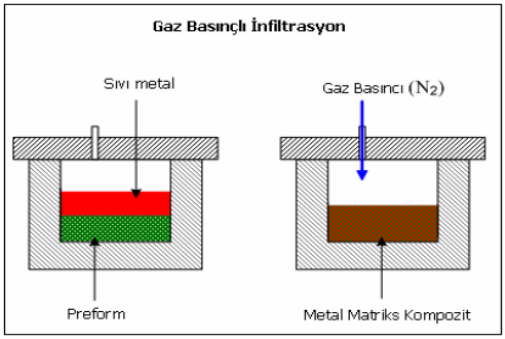
Hassas döküm

Erime sıcaklığı düşük olan mum gibi malzemelerin seramik kalıp içerisinde döküme uğramasıdır (Yang ve ark., 2009). Mukavemet değerini arttırmak için kalıp sinterlenme işlemine tabi tutulur. Nihai malzemeyi üretebilmek için kalıplar yapılmaktadır.

Mum kalıba enjekte edilerek ağaç modelleri oluşturulmaktadır (Coşkun, 2021). Parça döküldükten sonra kalıp kırılır ve yolluklar kesilir. Bu yöntemle üretilen parçaların yüzey kalitesi son derece yüksektir. Al alaşımları, çelik alaşımları ve süper alaşımlar hassas döküm yöntemi ile uzay araçları, pompa, otomotiv parçalar imal edilebilir ve üretilen parçalarda ağırlık düşüşü gerçekleştirilebilmektedir. Döküm sonucu üretilen parçalarda genellikle ikincil bir işlem gerekmez.

İnfiltrasyon yöntemi

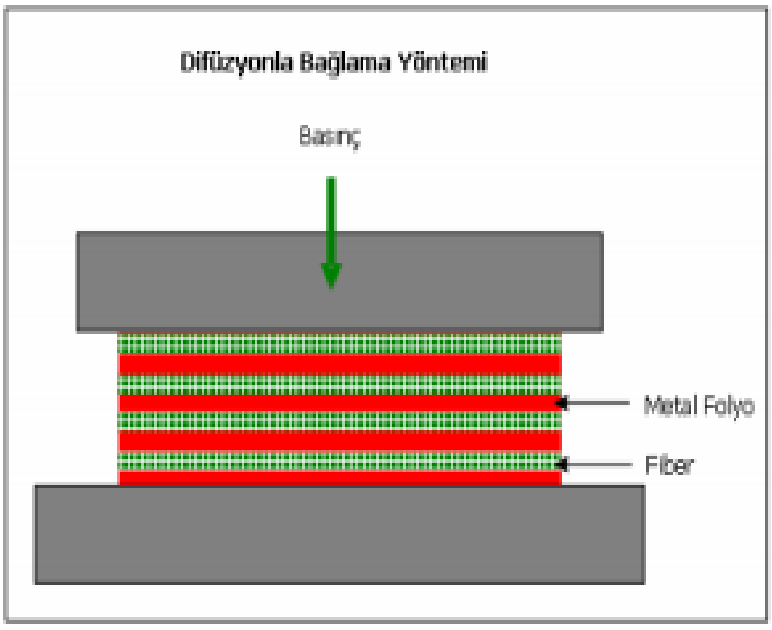
Erimiş metalin daha önce şekillendirilmiş kalıplara basınçlı, basınçsız veya vakumlama ile doldurma işlemine tabi tutulmasıdır (Etemadi ve ark., 2015). Şekil 2.16'da gaz basınçlı infiltrasyon üretimine ait görüntü verilmiştir. Genellikle bu yöntem ile Al ve Mg matrisli kompozitler üretilebilmektedir. Bu metotla üretilen metal matrisli kompozitler çeşitli uygulamalar için geliştirilmiştir. Düşük maliyetli olan bu üretim yönteminde eriyik metalin takviye elemanının ıslatılabilirliği, yüzeyde oluşan kimyasal tepkimeler ve gözenek oluşumu bu metodun en büyük dezavantajlarındandır.



Şekil 2.16. Basınçlı döküm infiltrasyon yöntemi (Kopeliovich, 2007).

2.3.3.1.3. Difüzyonla birleştirme yöntemi

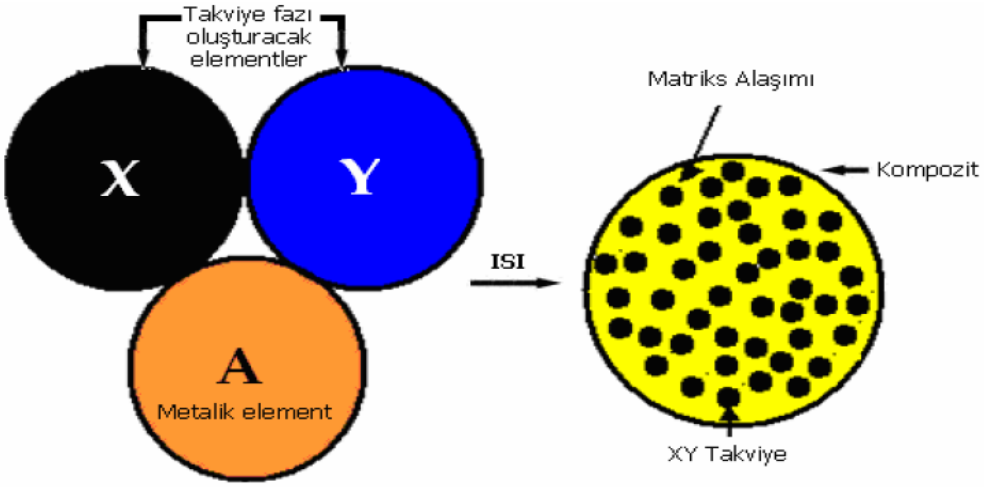
Difüzyon ile birleştirme yöntemi genellikle fiber ile güçlendirilmiş matris malzemelerinin imalatında kullanılan bir yöntemdir. Bu metotta levha ya da fiber takviye elemanları belirlenmiş şekilde üst üste hizalanıp erime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklık, basınç ve sürenin etkisi ile preslenmektedir. Uygulanılacak bu işlemde hata payının az olması için yayınımla birleşecek yüzeyin oksijenden arınmış ve temiz olması gerekmektedir. Difüzyonla bağlama metodunun uygulanış yöntemi Şekil 2.17'da verilmiştir. Takviye malzemesine iyon ya da sprey ile kaplama yaparak matris malzemesiyle arasındaki bağlantı iyice güçlendirilebilir. Difüzyon ile birleştirme, diğer yöntemlere göre yüksek maliyetli olması ve karmaşık malzemelerin üretiminin zor olması ona büyük bir dezavantaj sağlamaktadır (Nishida, 2001).



Şekil 2.17. Difüzyonla birleştirme metodu (Kopeliovich, 2007).

2.3.3.1.4. İn-sitü üretim yöntemi

Takviye malzemesi katı ya da ergimiş matris içerisinde tepkimeye girerek sünek ve korozyon direnci iyi olan kompozit malzemeler üretilebilmektedir. İmalat yönteminin kolay olması ve oluşan malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle bu üretim yönteminin kullanımı son yıllarda gittikçe artmaktadır (Tjong ve Ma, 2000). Malzemelerin üretim aşamasında tepkimeye girecek elementler matris malzemesi içerisine dağıtılmaktadır. Diğer metotlara göre matris içerisinde takviye malzemeleri daha homojen bir dağılım sergiler ve matris ve takviye elemanların arasında oluşan bağ diğer metotlara göre daha iyidir. Bu üretim metodunda istenilen sonucu elde etmek için termodinamik reaksiyon sonucuna bakılmalıdır. Şekil 2.18'de in-sitü yöntemine ait görüntü verilmiştir.



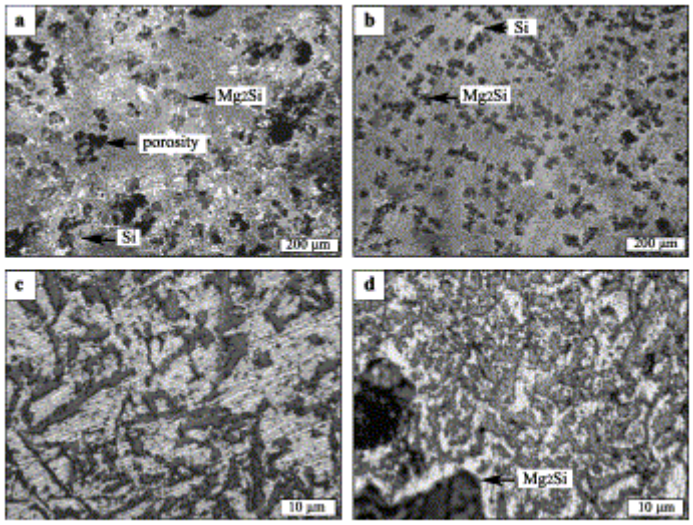
Şekil 2.18. İn-sitü üretim yöntemi (Peng, 2002).

İn-sitü yöntemi ile Al matrisli kompozit malzeme üretimi son yıllarda en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Al–Mg–Si, Mg-Si, alaşımlarında in-sitü yöntemi ile Mg_2Si fazı oluşmaktadır. Mg_2Si fazı içeren alaşımların yerinde üretimi için genellikle döküm ve toz metalurjisi yöntemleri kullanılmaktadır (Seth ve ark., 2020).

2.4. Literatür Bildirişleri

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda mevcut çalışmalara ve sonuçlarına bu başlık altında yer verilmiştir.

Zhao ve ark., (2004), K2TiF6 ile modifikasyonu ile yerinde oluşturulmuş Al matrisli Mg_2Si takviyeli kompozit malzemenin bu yöntem ile yapılabilirliğini incelemişlerdir. Başlangıç malzemeleri olarak saf Mg ve Al-20Si alaşımından yararlanılmıştır. 680-700 °C'de yaklaşık 1 kg olan Al-Si alaşımına 150 gram Mg ilave edilmiştir. Daha sonra 300 °C'de 35 gram K2TiF6 ilave edilmiştir. Sonuçlar, Mg_2Si ve birincil Si partikül boyutlarının sırasıyla 80'den 30 μm'ye ve 100'den 50 μm'ye düştüğünü gösterdi. Şekil 2.19'da sırasıyla K2TiF6 ile modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş kompozitlerin mikro yapıları verilmiştir. Her iki durumda da Mg_2Si oluşumu gözlemlenmiştir. Ancak K2TiF6 eklenmesi ile birlikte silisyum fazının boyutlarının küçüldüğünü fark etmişlerdir.



Şekil 2.19. Kompozitlerin (a) değiştirilmemiş ve (b) K2TiF6 ile değiştirilmiş optik mikroskop mikro yapıları; kompozitlerin ötektik yapısı (c) değiştirilmemiş (d) K2TiF6 ile değiştirilmiş (Zhao ve ark., 2004).

Guobin ve ark., (2005), toz metalürjisi basınçlı sinterleme yöntemiyle 610°C ‘de 865 MPa basınçta ve 30 dakika boyunca cam parçacıkları ve Al-Mg matrisi arasındaki ara yüzey reaksiyonlarını incelemişlerdir.

Yaptıkları deney sonucunda, cam parçacıkları ve Al-Mg kompozitleri arasında aşağıda verilen tepkimeler gerçekleşmiştir.

$$2Mg + SiO_2 \rightarrow 2MgO + Si$$

$$2SiO_2 + 2Al + Mg \rightarrow MgAl_2O_4 + 2Si$$

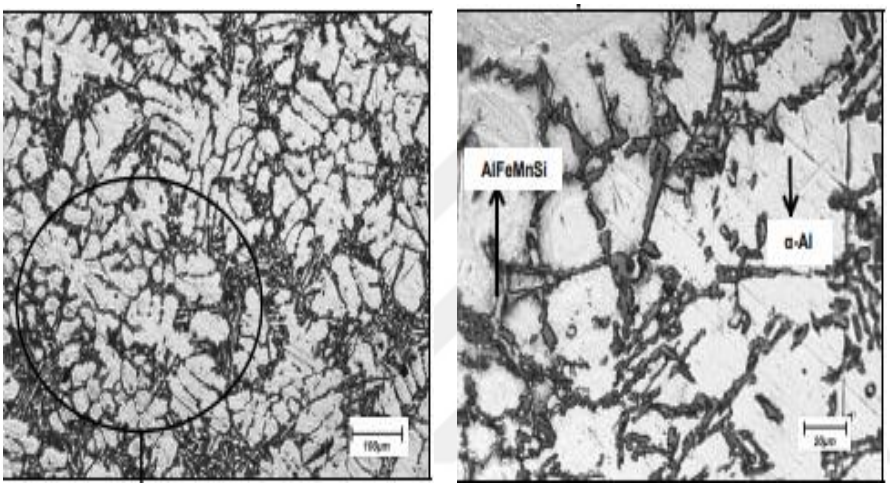
$$2Mg + Si \rightarrow Mg_2Si$$

Oluşan ana reaksiyon ürünü MgO, $MgAl_2O_4$ ve Mg_2Si'dir.

Güven, (2005), döküm prosesinde en çok kullanılan A356.0 (AlSi7Mg) alaşımının ısıl işlem ve tane inceltme prosesiyle mekanik özelliğini incelemiştir. Alaşıma hiçbir eklemenin yapılmadığı durum ile tane incelticilerin ekledikten sonraki durumu karşılaştırdığında başlangıçta iri şeklinde bulunan taneler ilave işleminden sonra hızlıca incelmeye başladığını ve ilave miktarının artışı ile birlikte tanelerin daha da inceldiğini fark etmiştir. Ancak bu ilave oranının bir sınırı olduğunu ve bu sınırı geçtikten sonra herhangi bir incelme işleminin olmadığını ve aynı şekilde akma mukavemeti yüzde uzaması ilave miktarının artışı ile birlikte azaldığını ve belirli bir limitten sonra ortalama değere geri geldiğinin sonucuna varmıştır.

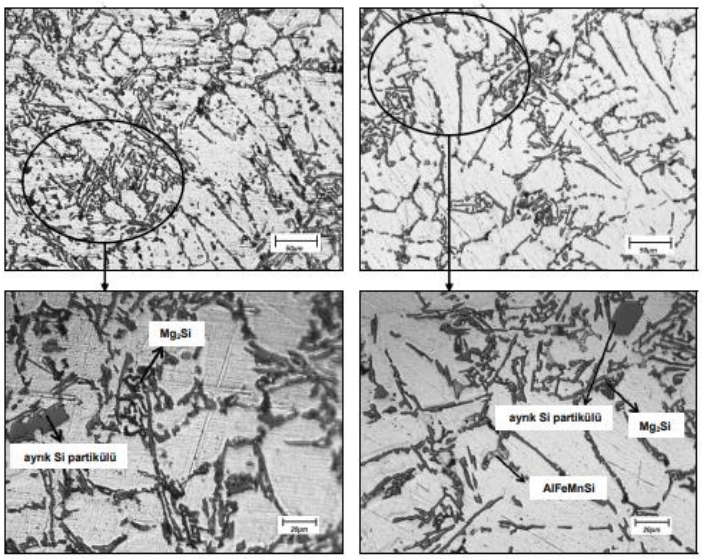
Palta, (2009), döküm yöntemiyle üretilen Al-12Si-20 Mg matrisli in-sitü Mg_2Si parçacık takviyeli kompozitlerin mikro yapı, korozyon davranışı ve sertlik özelliklerini incelemiştir Alaşıma ağırlıkça %1, %2 ve %4 oranlarında Ti ve Cu ekleyerek Al-12Si-20Mg-XMn ve Al-12Si-20Mg-XPb kompozitlerini üretmiştir. Sonuç olarak ilave edilen Cu ve Ti miktarının artışıyla meydana gelen Mg_2Si parçacıklarının hacim ve boyutlarının aynı oranda azaldığını tespit etmiştir. Al_3Ti, Al_2Cu intermetaliklerinin oluştuğunu ve ayrıca ilave edilen bu elementlerin miktarının artışıyla birlikte sertliğin artığını fark etmiştir.

Gençalp İrizalp ve ark., (2011), yaptıkları çalışmada döküm prosesiyle A360 Al alaşımına Mg ilave ederek malzemede oluşan sertlik dağılımının etkisine bakmışlardır. A360 Al alaşımına ağırlıkça % 0.2, % 0.4 ve % 0.8 Mg eklenmiştir. Alaşım 650°C sıcaklıkta dökülmüş ve daha sonra soğutulmaya bırakılmıştır. Elde edilen numuneler Ø 30x15 mm boyutlarında kesilmiştir. Vickers mikro sertlik cihazını kullanarak 10 gf yük ve 10 s süre altında sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Şekil 2.20'de A360 Al alaşımına ait SEM görüntüsü verilmiştir.

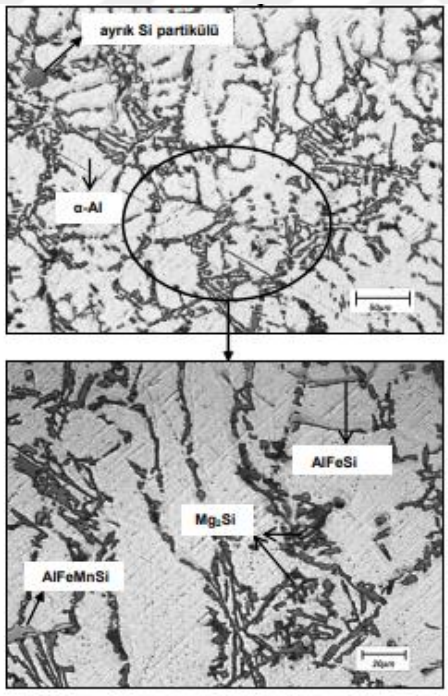


Şekil 2.20. A360 alüminyum alaşımına ait SEM görüntüler (Gençalp İrizalp ve ark., 2011).

A360 alaşımının SEM görüntüsünü incelediğimizde α-Al dendritleri, Si parçacıkları, AlFeMnSi ve AlFeSi intermetalikleri fazlarından oluştuğunu görmekteyiz. Demir içeren intermetalik yapılar sertliği olumsuz yönden etkilediğinden istenmeyen bir durumdur (İrizalp, 2011).

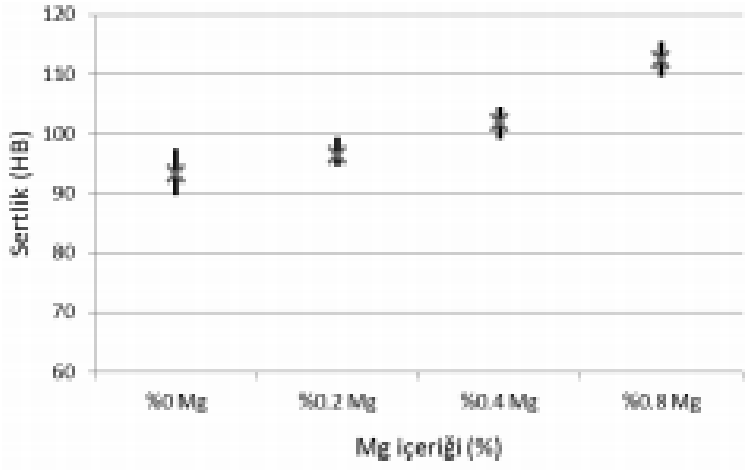


Şekil 2.21. A360 alüminyum alaşımına %0.2 Mg ve %0.4 Mg ilave edilmesiyle oluşan mikro yapının SEM görüntüsü (İrizalp ve ark., 2011).



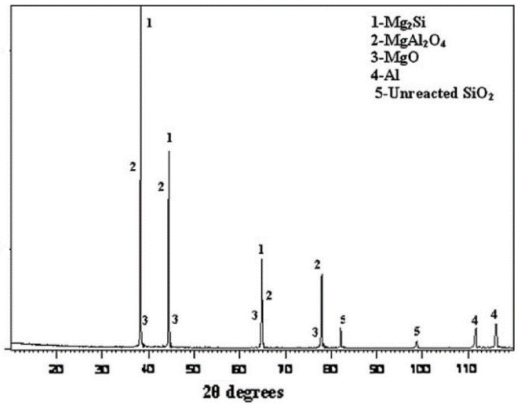
Şekil 2.22. A360 alüminyum alaşımına %0.8 Mg ilave edilmesiyle oluşan mikro yapının SEM görüntüsü (İrizalp ve ark., 2011).

Alaşıma Mg ilave edilmesi sonucunda Mg_2Si fazı oluşmuştur. Mg miktarının artmasına paralel olarak sertlik değeri de artış göstermiştir. Şekil 2.23'ü incelediğimizde en yüksek sertlik değerinin %0.8 Mg ilavesi ile gerçekleştiği tespit edilmiştir (İrizalp ve ark., 2011).

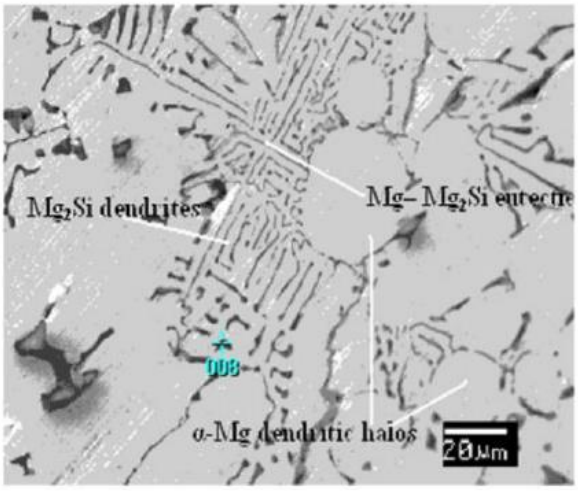


Şekil 2.23. Mg ilavesinin alaşım sertliğine etkisi (İrizalp ve ark., 2011).

Desmukh ve ark., (2011), döküm yöntemini kullanarak ağırlıkça % 5 Al-Mg alaşımına pirinç kabuğundaki amorf yapıdaki SiO_2 ağırlıkça ilave etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada nano boyuttaki (35-55nm) SiO_2 kullanılarak ürettikleri Al-Mg-SiO_2 kompozitindeki $MgAl_2O_4$, Mg_2Si ve MgO fazlarının oluşumunu incelemeyi amaçlamışlardır. Şekil 2.24 ve 2.25'de verilen XRD ve SEM analizi sonucunda bu fazların oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.24. XRD analizi (Desmukh ve ark., 2011).



Şekil 2.25. SEM analizi (Desmukh ve ark., 2011).

Deshmukh ve Pathak, (2012), döküm yöntemi ile Al-Mg matrisine ağırlıkça %0.5, 1.0, 2.5 ve 5 oranında Mg ve ağırlıkça % 0.0, 2.0, 5.0, 10.0 oranında SiO_2 kaynağı olan RHA ilave etmişlerdir. Alaşımdaki % Mg ve % SiO_2 oranını değiştirerek mekanik özellikler üzerindeki etkiyi incelemek istemişlerdir. Islanabilirliği iyileştirmek için Mg ilavesi için optimum değer, mikro sertlik ve aşınma kaybı değerleri ile desteklenen SEM mikro yapısı ve XRD verilerinden belirlenmiştir. EDS analizi, değişen %Mg'li Al-Mg alaşımında değişen SiO_2 ilavesiyle geliştirilen çeşitli fazları analiz etmek için gerçekleştirilmiştir SiO_2 % 2.5 Mg'de maksimum çözünürlüğe sahip olduğu için Mg_2Si, $MgAl_20_4$ fazları belirlenmiş ve en yüksek mikro sertlik değeri Mg (%2.5) ve SiO_2 (%5.0) olduğu kompozit de elde edilmiştir.

Alaneme ve ark., (2013), karıştırmalı döküm yöntemi ile Al-Mg-Si alaşım matrisine Ağırlıkça % 0:10, 2:8, 3:7 ve 4:6 RHA ve Al_2O_3 ilave ederek üretecekleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada düşük maliyetli ve yüksek performans sergileyen kompozit malzeme üretmeyi amaçlamışlardır. Üretilen kompozitleri karakterize etmek için SEM analizi, yoğunluk ve gözeneklilik hesabı, sertlik ölçümü ve çekme testi yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre düşük yoğunluklu Al-Mg-Si/RHA/Al_2O_3 kompozitlerinde (<%2,3 gözenek) düşük gözeneklilik ölçülmüştür. RHA ilavesinin artışı ile birlikte çok az miktarda sertlik, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin düştüğü süneklik ve kırılma tokluğu değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir.

Boopathi ve ark., (2013), Çizelge 2.12' de verilen miktarları kullanarak Al-Mg-SiC-uçucu kül, Al-SiC-Mg, Al-uçucu kül- Mg kompozitlerini karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak üretmişlerdir. Takviye içeriğinin artmasıyla yoğunluk ve uzama değerinde azalma meydana gelmiştir. Çekme ve akma mukavemeti ise takviye oranıyla artığı tespit edildi.

Çizelge 2.12. Deneyde kullanılan toz miktarları (Boopathi ve ark., 2013).

Al (%) Gram	Mg	SiC	Uçucu kül
100	1.5	0	0 0 0 5
100	1.5	5	10 5 10
100	1.5	10	5 10
100	1.5	0	
100	1.5	0	
100	1.5	5	
100	1.5	5	
100	1.5	10	
	1.5	10	

Zhu, (2014), takviye hacim oranı % 30 olan Al matrisli kompozitleri, ağırlıkça % 78. 5 Al ve % 21.5 SiO_2 toz karışımlarını XD (ekzotermik dispersiyon) yöntemini kullanarak kompozitlerin üretimini gerçekleştirmiştir. Yaptığı bu çalışmada reaksiyon mekanizması ve mekanik özelliklerini incelemek istemiştir. Ağırlıkça % 78. 5 Al ve % 21.5 SiO_2' den oluşan ham maddeler oda sıcaklığında 677 ℃' ye ısıtıldığında aşağıdaki reaksiyon gerçekleşmiştir.

$$4Al + 3SiO_2 \rightarrow 3Si + 2Al_2O_3$$

Kompozitin mikroyapı görüntüleri için XRD ve SEM analizleri yapılmış ve yapılan analizler sonucu kompozitte Al, Si ve Al_2O_3 fazları tespit edilmiştir. Üretilen kompozitler çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme dayanımı ve kopma uzama değerleri sırasıyla 165 MPa ve % 3.95 bulmuştur

Xiangzhen ve ark., (2019), döküm yöntemiyle Al-Mg-Si alaşımında Mg ve Si miktarının değişmesiyle yapıdaki homojensizlik ve Mg_2Si yapısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre hem Si hem de Mg ilavesi ile birlikte yapıdaki homojensizliğinin azaldığını fark etmişlerdir. Mg miktarının artışıyla Mg_2Si morfolojisinin çubuk veya lamelden daha büyük ötektik aralığı olan kavisli pula dönüşürken, Si miktarlarının artmasıyla daha küçük çubuk benzeri ötektik Mg_2Si oluşturduğunu ve yaptıkları çekme testine göre hem Si hem de Mg ilavesinin artışıyla mukavemet değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Muni ve ark., (2019), matris malzemesi olarak Al6061 alaşımına takviye malzemesi olarak; önemli bir SiO_2 kaynağı olan pirinç kabuğu külü (RHA), bakır ve Mg kullanarak Al matrisli hibrit kompozitlerin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak Al6061 alaşımına ağırlıkça % 6, 8, 10 oranlarında RHA, ağırlıkça % 3 bakır ve ağırlıkça % 1 Mg ilave edilmiştir. RHA miktarının artmasına paralel olarak kompozitin sertlik ve çekme mukavemetinde bir artış meydana gelirken darbe dayanımı ve uzama yüzdesinde bir azalma meydana gelmiştir.

Daneshifar ve ark., (2021), sürtünme ve karıştırma işlemini (FSP) kullanarak Al/Mg_2Si in-sitü kompozit malzemelerini üretmişlerdir. Bu yöntem ile ilgili daha önce yapılan bir çalışma bulunmadığından dolayı bu çalışma ile birlikte FSP metodunun malzeme üzerinde nasıl bir etki yarattığını incelemişlerdir. Başlıca malzeme olarak Al-13 wt. % Si ötektik alaşımını kullanmışlardır. Bir indiksiyon fırını yardımı A356 (Al-7Si-0.5 Mg) alaşımını eritmişlerdir. Daha sonra elde edilmek istenen sonuca ulaşmak için yeterli ölçüde eriyik Al-70Si alaşımını kalıplara döküp Mg ilaveli ve ilavesiz farklı numuneler üretmişlerdir. Üretilen kompozit numunede Mg_2Si bileşiğinin oluşması FSP metodunun kullanılabilirliğini kanıtlamış ve Mg ilavesi ile birlikte numunenin sertliğinin arttığını tespit etmişlerdir.

Yapılan literatür çalışmalar incelendiğinde Al matrisli kompozit malzemelerinde Mg ve SiO_2 takviye malzemeleri kullanılarak yapılan çalışmalar iyi sonuç verdiğinden dolayı son yıllarda kullanımları gittikçe artmaktadır. Araştırmacılar tarafından, Al matrisli kompozitlerde küçük yüzdelerde seramik takviyelerin tarımsal atık parçacıkları ile değiştirildiğinde, özelliklerinde önemli bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden genellikle yapılan çalışmalarda doğrudan SiO_2 kullanımı yerine içeriğinde yüksek miktarda SiO_2 barındıran cam parçaları, pirinç kabukları ve uçucu kül gibi düşük maliyetli takviye malzemeleri tercih edilmiştir.

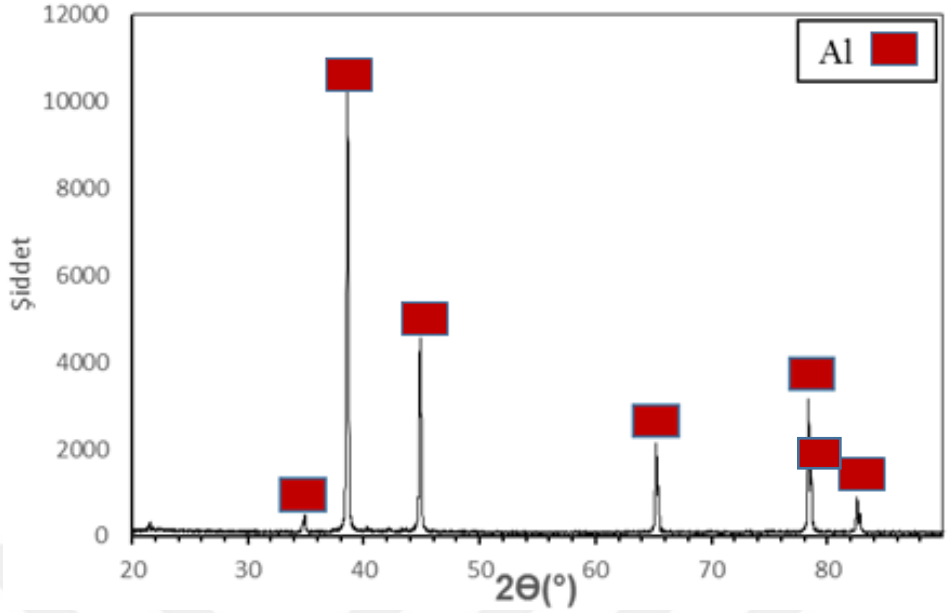
Pomza madeninin içeriğinde yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 barındırması ve ülkemizde yüksek miktarda rezervinin bulunması dikkatleri üzerine çekmektedir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda daha önce Al matrisli pomza takviyeli kompozit malzeme üretimi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

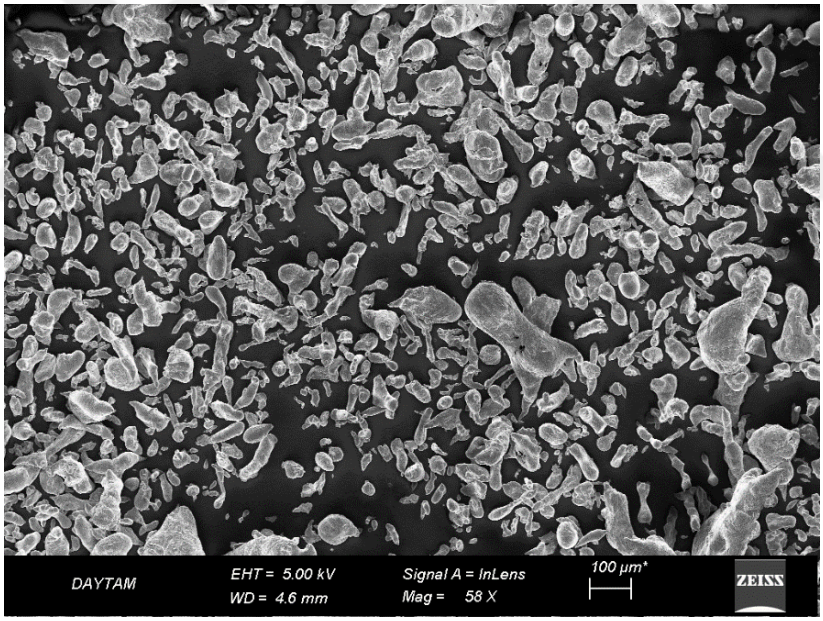
3.1. Kullanılan Tozlar ve Yöntem

Tez çalışması kapsamında referans ve kompozit numunelerin üretimi için Al, asidik pomza ve Mg tozlarından yararlanılmıştır. Kullandığımız Al tozunu, Nanokar Kimyevi Maddeler San. ve Tic. Ltd. Şti., pomza tozunu Aksaray Pomza San. ve Tic. Ltd. Şti. Mg tozu ise Magnezyum Nanografi Nano Teknoloji A.Ş. firmasından tedarik edilmiştir. Üretimde kullanılan Mg tozunun boyutu 45 μm, Al ve pomza tozlarının boyutları ise 45 μm'den küçük olacak şekilde seçilmiştir. Al ve Mg tozlarının saflık derecelerinin % 99 olduğu satın alınan firmalar tarafından belirtilmiştir. Bu tozlara ait XRD analiz sonuçları, Şekil 3.1' de verilmiştir. Al tozunda sadece Al pikleri gözlenirken herhangi bir oksit vb. istenilmeyen faza rastlanılmamıştır. Şekil 3.2' de verilen SEM mikrograflarından görülebileceği üzere Al tozunun temiz bir yüzeye sahip olduğu ve oksit içermediği SEM ile de doğrulanmıştır. Mg tozuna ait SEM görüntüleri ve XRD analiz sonuçları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. Mg tozunda mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilecek herhangi bir istenmeyen faza rastlanılmamış ve SEM görüntüleri incelendiğinde küresel bir şekle sahip olduğu saptanmıştır. Pomza tozunun amorf (kristalin olmayan) ve keskin köşeli bir yapıda olduğunu Şekil 3.5'de verilen XRD ve Şekil 3.6' da verilen SEM görüntüleri ile belirlenmiştir.

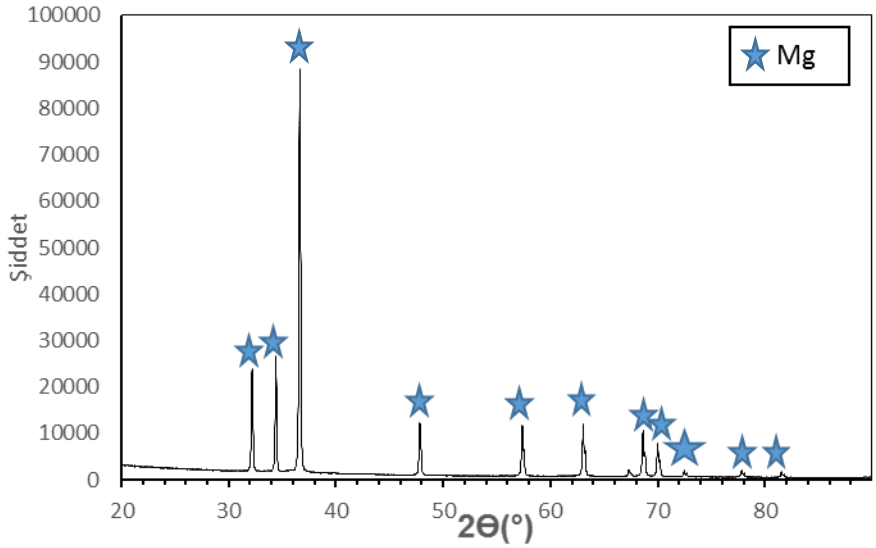
Kompozit üretiminde pomza miktarı hacimce % 20 miktarında sabit tutulmuş Al matrisine ağırlıkça % 3, 6, 9, 12 oranında Mg alaşım elementi ilave edilmiştir. Kompozit ve referans numuneler 40 mm çapında grafit kalıplar içerisinde 6mm yüksekliğinde üretilmiştir. Numunelerin üretimi için sinterleme sıcaklığı 600 °C, sinterleme süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. Isıtma hızı 10 °C/dk olup sinterleme sıcaklığına ulaşıldıktan sonra bir saat boyunca 50 MPa basınç altında sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



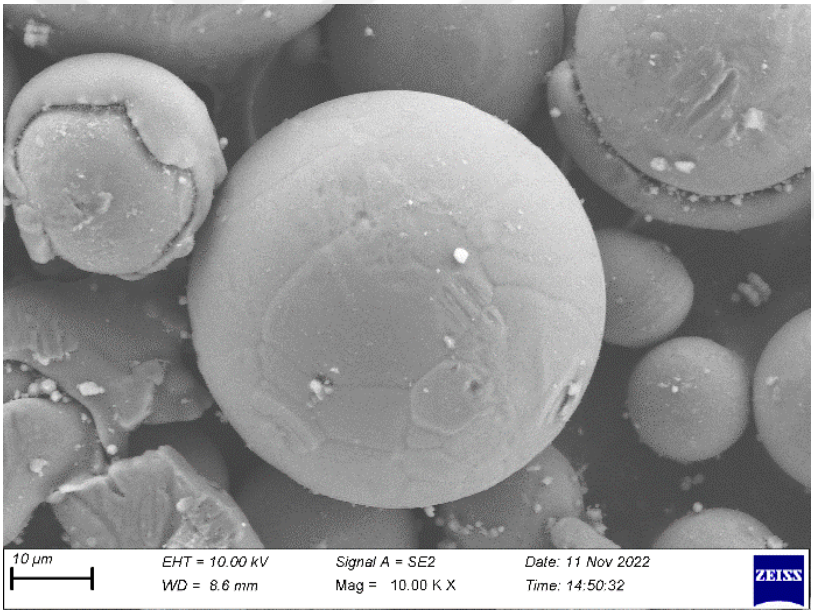
Şekil 3.1. Saf Al tozu XRD analizi.



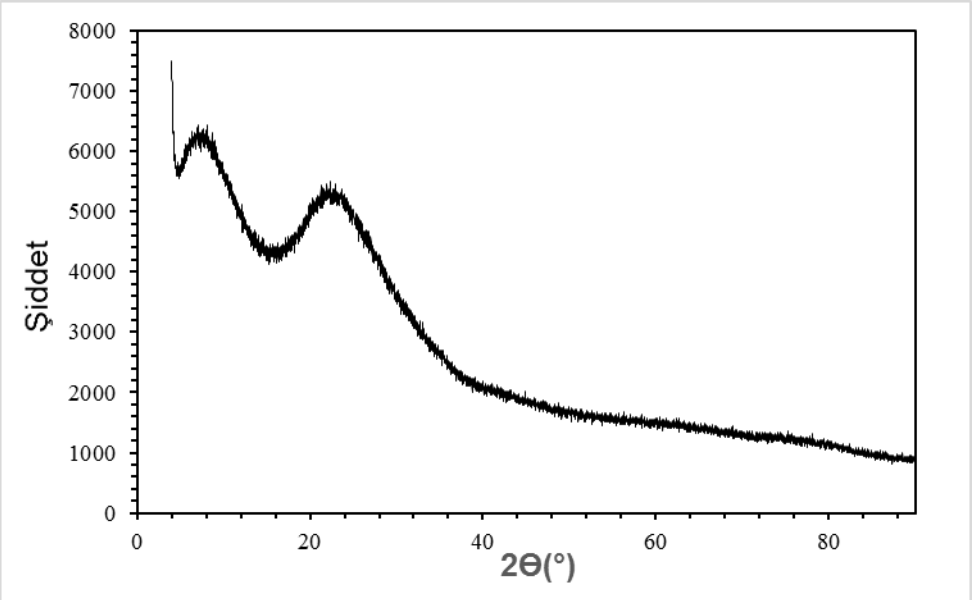
Şekil 3.2. Saf Al tozu SEM görüntüleri.



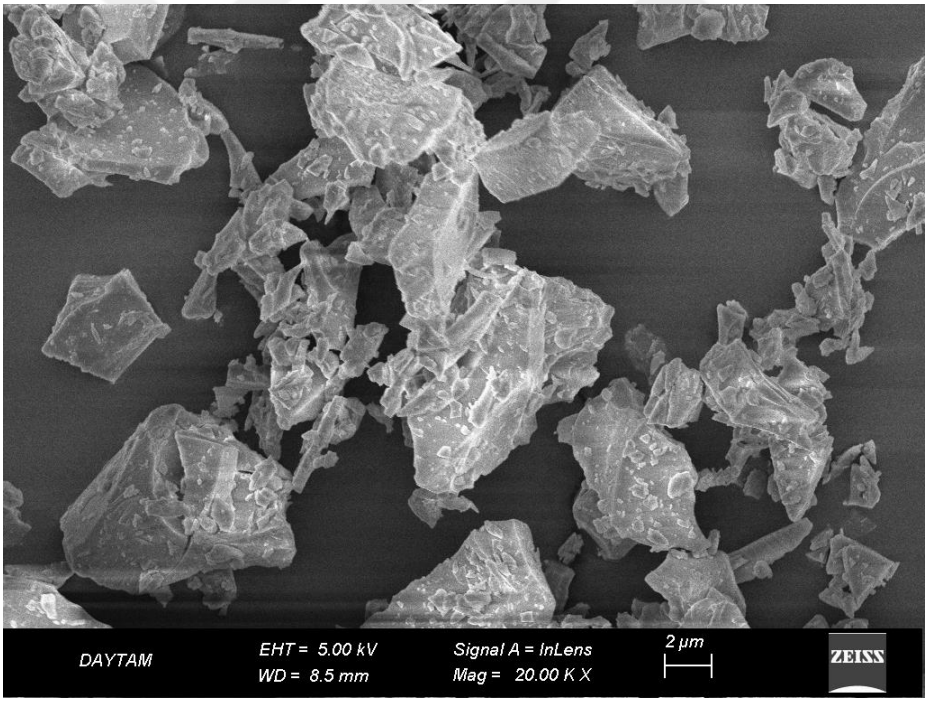
Şekil 3.3. Saf Mg tozu XRD analizi.



Şekil 3.4. Saf Mg tozu SEM görüntüsü.



Şekil 3.5. Pomza tozunun XRD analizi.



Şekil 3.6. Pomza tozu SEM görüntüsü.

3.2. Numune Üretimi

Referans ve kompozit malzemeler toz metalürjisi yöntemlerinden biri olan sıcak presleme yöntemi (Şekil 3.7) ile üretilmiştir. Bu yöntemin klasik sinterlemeye göre farkı basınç ve sıcaklığın eş zamanlı olarak uygulanmasıdır. Kullanılan MSE_M_HP_1300 model sıcak presleme cihazı 1200°C maksimum çalışma sıcaklığı ve 10 tonluk kapasiteye sahiptir. Sıcaklık parametresi PID ünitesi tarafından kontrol edilirken basınç ayarlaması manuel yapılmaktadır.



1)Baskı koçları arası mesafe göstergesi
2)Vakum göstergesi (Analog)
3)Yük göstergesi (Dijital)
4) Vakum göstergesi (Dijital)
5) Koruyucu iç kapak
6)Üretim haznesi
7)Koruyucu dış kapak
8)Yük uygulama kolu (Manuel)
9)Acil stop butonu
10)PID ünite
11)Akış ölçer (Gaz)
12)Kompresör

Şekil 3.7. Numune üretimi için kullanılan sıcak pres cihazı.

Referans ve kompozit malzemelerin üretim prosesi aşağıda verilmiştir.

1.Argon gazı ortamında eldivenli kabinde muhafaza edilen tozlar (Şekil 3.8) istenilen ölçüde kabinin ön kısmına alınmıştır. Kabin ile ön bölme arasındaki kapak iyice kapatılarak eksilen argon gazı eklenmiş ve kabin güvenli hale getirilmiştir.



Şekil 3.8. Tozların muhafaza edildiği eldivenli kabin.

2. Çizelge 3.1'de verilen toz miktarlarını baz alarak yeterli miktarda tozlar alınıp seramik kaba eklenir ve Şekil 3.9'da verilen hassas terazi yardımıyla ölçümü yapılır.



Şekil 3.9.Tozların hassas terazide tartılması.

Çizelge 3.1. Numunelerin üretiminde kullanılan toz miktarları.

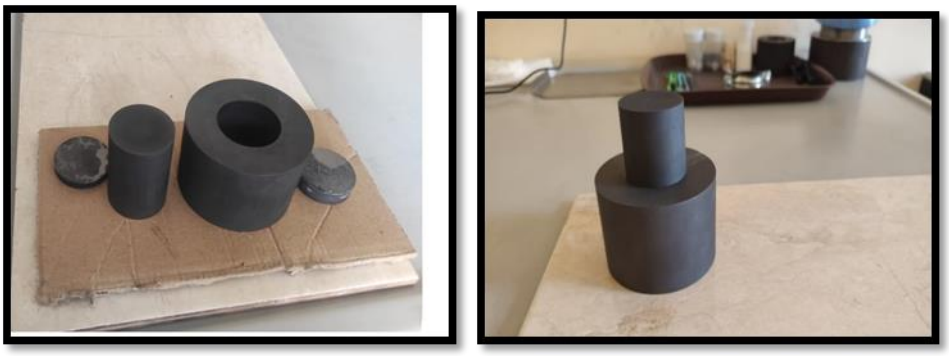
Hacimce Yüzde (%) Takviye oranı (Al-20 pomza+Mg)	Al (g)	Pomza (g)	Mg (g)
Saf Al	20.3472	0	0
Al-20P-0 Mg	16,28	3,54	0
Al-20P- 3 Mg	15,53977	3,54	0,480611
Al-20P- 6 Mg	14,81713	3,54	0,945774
Al-20P- 9 Mg	14,11736	3,54	1,396222
Al-20P- 12Mg	13,43937	3,54	1,832642

3. Homojen bir karışım elde etmek için bağlayıcı olarak etil alkol kullanılmış ve 5 dakika boyunca karıştırma işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tozların karıştırma işlemi.

4.Şekil 3.11'de verilen grafit kalıp ve pançlar iyice temizlendikten sonra alt panç kalıbın alt kısmına yerleştirilmiştir. Daha sonra tozları kalıbın içine döküp iyice yerleşimi sağlandıktan sonra üst panç takılmıştır.



Şekil 3.11. Toz üretiminde kullanılan kalıp takımı.

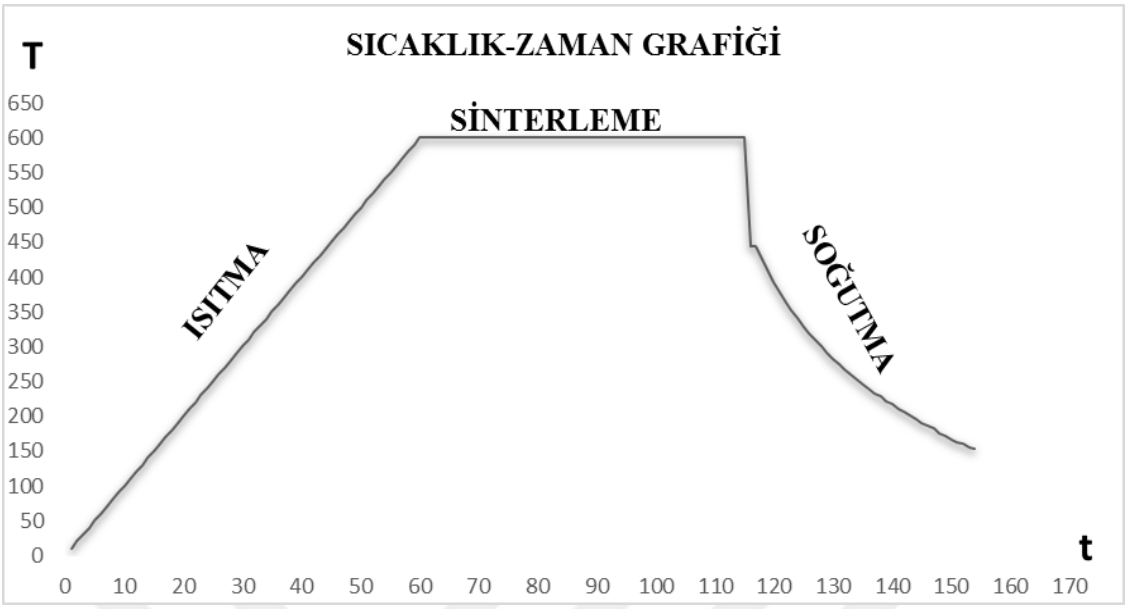
5. Numunenin dış ortamla bağlantısı tamamen kesilerek sıcak pres cihazına yerleştirilir (Şekil 3.12). Cihaz içerisindeki hava vakumlanıp 3 defa argon gazı ile süpürülme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. a) Sıcak pres cihazına yerleştirilmiş kalıp takımı b) Üretilmiş numune.

6.Süpürme işleminden sonra 50 MPa basınç uygulanılarak tozlar preslenmiştir. Şekil 3.13'de sıcaklık zaman grafiği verilmiştir. Isıtma hızı 10 ℃/dakika olarak uygulanmış ve 600 ℃ olan sinterleme sıcaklığına ulaşıldığında 1 saat süreyle sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

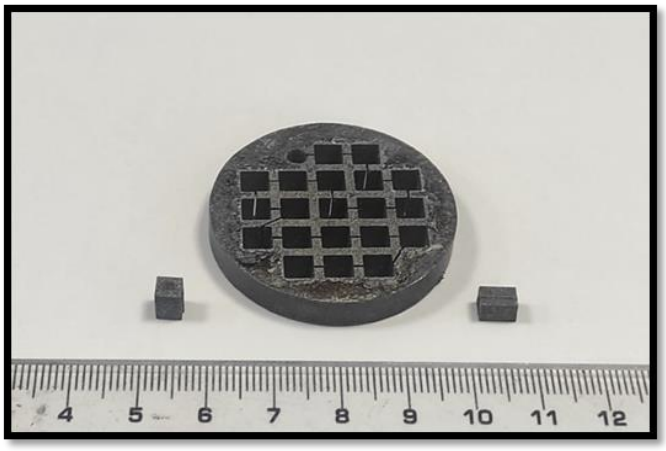
7. Daha sonra referans ve kompozit malzemeler saf argon gazı koşullarında basınç altında soğutma işlemi gerçekleştirilmiş ve sıcaklık 150°C'ye indiğinde sıcak presleme cihazından çıkarılmıştır.



Şekil 3.13. Sıcaklık-Zaman grafiği.

8. Soğuma işlemi bittikten sonra gaz akışı durdurulur ve sıcak pres cihazından kalıp alınıp soğuması için belirli bir süre dışarda bırakılır. Numune tamamen soğuduktan sonra kalıptan çıkartılır.

9. Üretilen numuneler tel erezyon yöntemi ile 4x4x6 mm boyutlarında kesilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Tel erezyon ile kesilmiş numuneler.

10. Numunelerin üzerindeki grafit kalıplardan gelen karbon tabakasının giderilmesi için numuneler sırası ile 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımpara kâğıtları ile Şekil 3.15'de verilen Struers markalı zımparalama cihazıyla zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.15. Zımparalama cihazı.

11. Zımparalama işlemi bittikten sonra 3 mikronluk elmas solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi yapılırken 5 dakikalık arayla numune etil alkol ile yıkanıp kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Parlatma işleminin yeterli olup ve çiziklerin gidip gitmediğini anlamak için AOB_XJL17 model dijital optik mikroskop yardımı ile numunelerin yüzeyleri kontrol edilmiştir.

12. Numunelerin içyapı özelliklerini ortaya çıkarmak için parlatma işlemi sonrasında numune yüzeyleri bileşimi Çizelge 3.2' de verilen Keller solüsyonu yardımıyla saf Al, 2 dakika kompozit numuneler 1.5 dakika süre ile dağlanmıştır

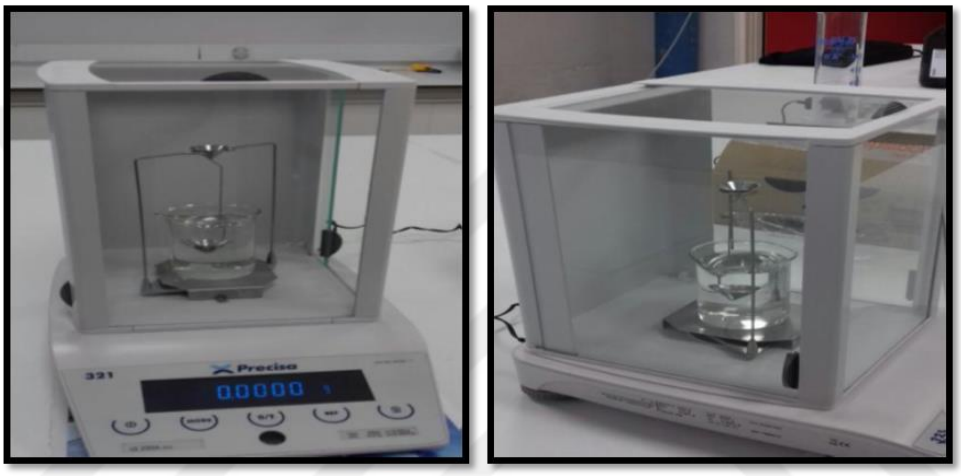
Çizelge 3.2. Dağlama karışımı için kullanılan miktarlar.

Keller	
H_2O	190 ml
HNO_3	5 ml
HCI	3 ml
HF	2 ml

3.3. Karakterizasyon

3.3.1. Yoğunluk deneyleri

Üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri için Şekil 3.16’ da verilen Precisa LS 220 A model, 220 g kapasiteli 0.0001 hassasiyetine sahip terazi ve yoğunluk kitinden yararlanılmıştır. Bu ölçümde Arşimet metodu kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Numunelerin yoğunluk ölçümü.

Yoğunluk ve gözeneklilik sırasıyla aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_g = \frac{W_a \cdot \rho_{su}}{W_a - W_b}$$

$$P = 1 - \frac{\rho_g}{\rho_t}$$

ρ_g : görünür yoğunluk, sadece kapalı gözenekler olduğunda yığınsal yoğunluğa eşittir.

W_a : kuru numunenin havadaki ağırlığı

W_b : numunenin su içindeki asılı ağırlığı

ρ_{su} : saf suyun yoğunluğu

P : gözeneklilik

ρ_t : teorik yoğunluk

3.3.2. X ışını kırınımı (XRD)

Üretilen kompozitlerde yer alan fazları belirlemek ve kullanılacak tozların teyidi için Erzurum Doğu Anadolu İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Zeis marka sigma 300 model cihaz ile 20-90° 2θ açılarında, 2°/dk. tarama hızı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.3.Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

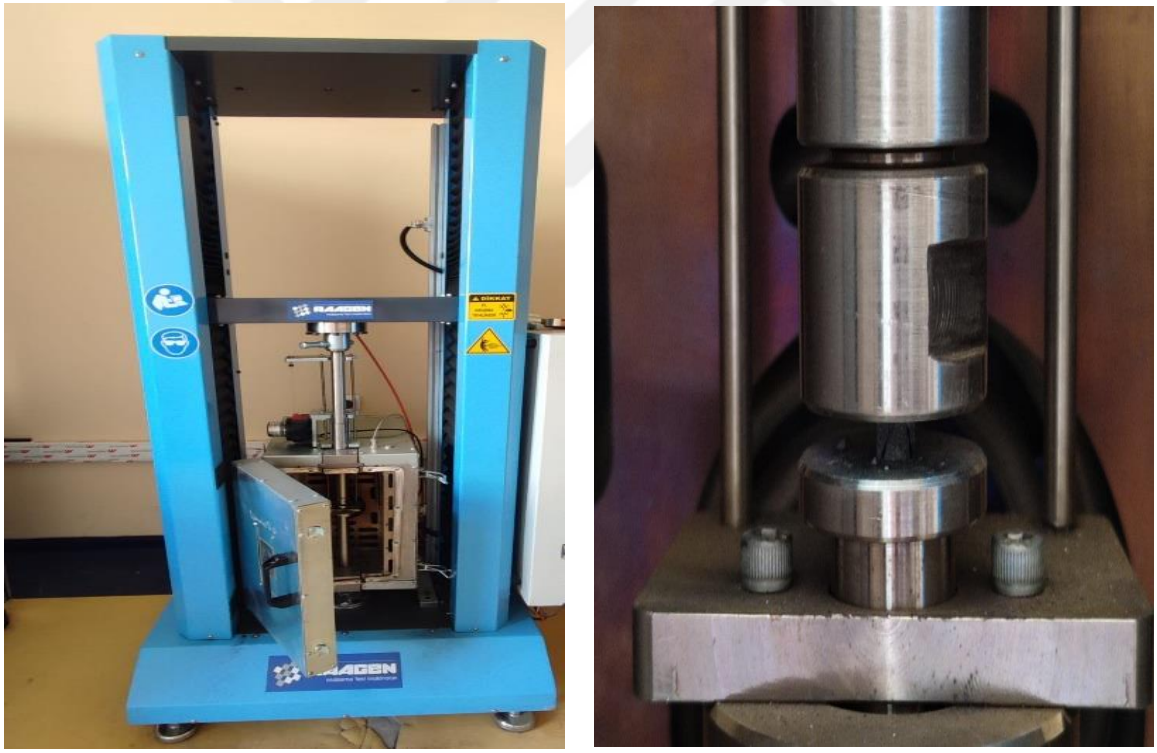
Yapılan tez çalışması için başlangıçta kullanılan tozların ve üretilen kompozit malzemelerin içyapı ve morfoloji karakterizasyonu için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde bulunan Şekil 3.17' de verilen Zeis marka sigma 300 model cihaz ile çeşitli büyütmelerde SEM analizleri yapılmıştır. Ayrıca enerji dağılımlı X ışını ile çeşitli analizler yapılarak belirlenen bölgelerdeki element içerikleri tayin edilmiştir.



Şekil 3.17. Zeis marka sigma 300 modeli SEM ölçüm cihazı.

3.3.4. Mekanik basma testi

Sıcak presleme yöntemiyle üretilen kompozit numunelerin mekanik testleri için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinde bulunan 30 kN yük kapasiteli, 750 Watt gücünde ve 0.2-500 mm/dakika test hızı aralığına sahip, Şekil 3.18'de verilen Raagen marka üniversal mekanik basma cihazı kullanılmıştır. Basma mukavemeti, akma dayanımı ve kırılma birim şekil değişimi mekanik değerler basma deneyi sonucunda oluşturulan eğrilerden hesaplanmıştır. Akma dayanımı % 0.2 öteleme yöntemi ile basma dayanımı maximum gerilme değeri ve kırılma birim şekil değişimi kırılmanın gerçekleştiği birim şekil değişimi esas alınarak belirlenmiştir. Numuneler 3-5 aralığında basma testine tabi tutulmuş ve standart sapmaları hesaplanarak ortalama değerleri alınmıştır. Basma testleri yalnızca oda sıcaklığında ve 0.5 mm/dk test hızında yapılmıştır.



Şekil 3.18. Deney çalışmalarında kullanılan universal test cihazı.

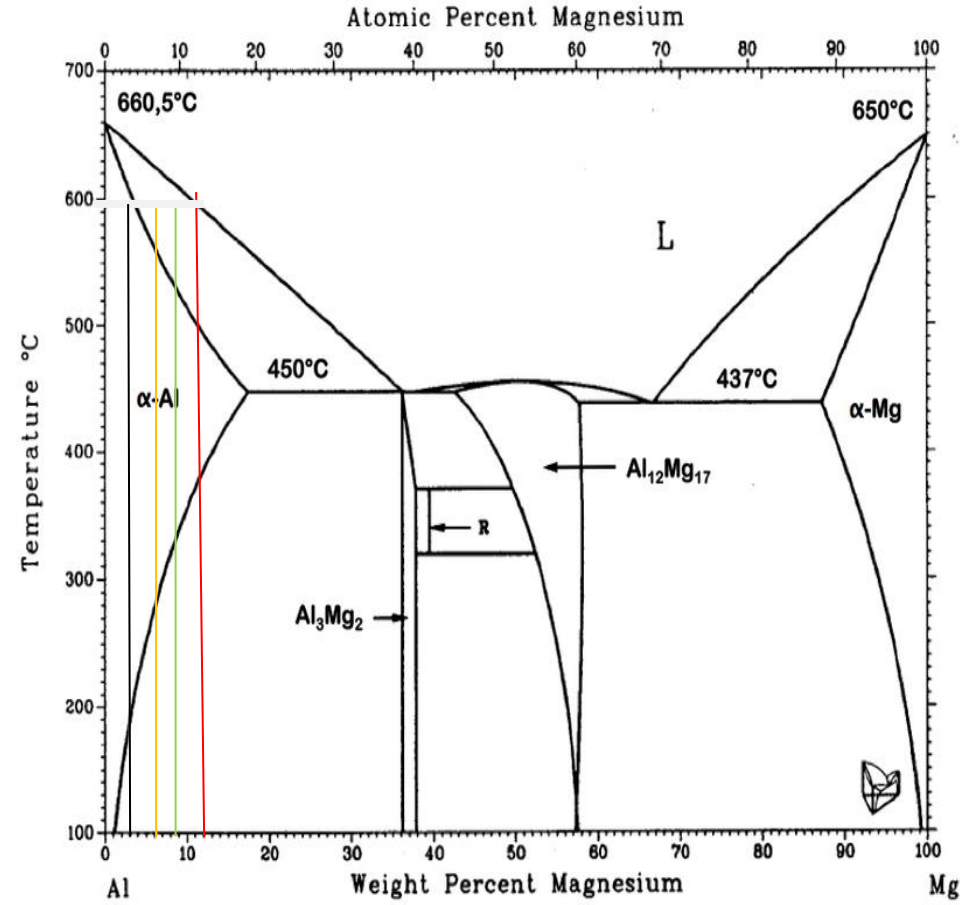
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Üretim Parametrelerinin Optimizasyonu

Yaptığımız bu tez çalışmamızdaki esas amaç, daha önce de belirtildiği gibi otomobil güç aktarma organları uygulamaları için yeterli olan Al matrisli kompozitlerin üretilmesidir. İn-sitü yöntemi ile Al ile pomza madeninin reaksiyona girmesini sağlamak ve magnezyum ilavesi ile Mg_2Si oluşumu hedeflenmektedir. Bunun tespiti için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. İlk aşamada sıcak presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıcak presleme yöntemi ile üretim gerçekleştirilirken basınç, süre ve sıcaklık olmak üzere kontrol edilebilen üç önemli parametre mevcuttur. Üretilen numunelerin tam yoğunluğa ulaşması için basınç 50 MPa sabit tutulmuş ve sıcak presleme süresi 1 saat olarak optimize edilmiştir. Kompozit ve referans numune üretiminde kullanılan presleme sıcaklığı ise 600 °C olarak belirlenmiştir. Sıcak presleme üretim esnasında grafit kalıp kullanılmış ve kullanılan grafit kalıplardan karbon difüzyonu sadece numune üzerinde görülmüş, bu tabaka zımparalama ile kolayca uzaklaştırılmıştır.

Al matrisli pomza takviyeli kompozit malzemenin üretiminde Al matrisine hacimce % 20 oranında pomza ilave edilmiştir. Bu kompozitin üretimindeki amaç Al ve pomza içeriğindeki SiO_2'nin tepkimeye girmesini sağlayarak saf Si ve Al_2O_3 ürünlerinin oluşmasıdır. Fakat ileride açıklandığı üzere reaksiyon gerçekleşmemiş ve insitü Si ve Al_2O_3 fazları oluşmamıştır.

Şekil 4.1' de verilen Al-Mg faz diyagramı baz alınıp Al matrise ağırlıkça % 3, 6, 9, 12 oranında Mg ilave ederek kompozitler başarılı bir şekilde üretilmiştir. Ağırlıkça %3 Mg oranını, üretimde kullanılan 600°C sıcaklık ile çakıştırıldığında katı faz bölgesi aralığına denk gelmektedir. Ağırlıkça % 6 ve % 9 Mg oranında sıvı + katı bölgesine, % 12 Mg sıvı faz bölgesine denk gelmesine rağmen herhangi bir kısmi erime meydana gelmemiştir. Bu durum Mg ve pomzanın reaksiyona girdiğine işaret etmektedir.



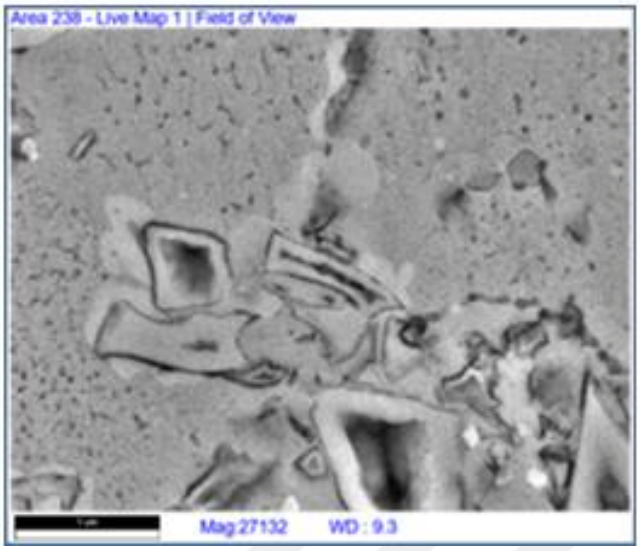
Şekil 4.1. Al-Mg faz diyagramı.

4.2. Yoğunluk

Üretilmiş kompozit numunelere ait yoğunluk değerleri ve gözenek miktarları Çizelge 4. 1' de verilmiştir. Al, Mg ve pomza madeni sırasıyla 2.7, 1.738 ve 2.35 g/cm^3 yoğunluk değerlerine sahiptir. Matris malzemesinin yoğunluk değeri takviye ve alaşım elementinin yoğunluk değerinden yüksek olması nedeniyle, takviye oranın artışı ile birlikte kompozitlerin yoğunluk değerlerinde beklenildiği gibi bir düşüş meydana gelmiştir. Kompozit numunelerin teorik yoğunluk değerleri karışım kuralı ile hesaplanmıştır.

Sıcak presleme ile üretilen saf Al' nin ölçülen yoğunluk değeri teorik yoğunluk değerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçtan saf Al'nin gözenek içermediği sonucuna ulaşılabilir, nitekim SEM çalışmalarında da herhangi bir gözeneğe rastlanılmamıştır.

Alüminyuma % 20 hacimce pomza ilave edildiğinde % 0.59'luk bir gözenekliliğin oluştuğu gözlenmiştir. Mg ilavesi ile birlikte Mg ve SiO_2'nin tepkimeye girmesi sonucu Si, MgO ve Mg_2Si fazları oluşmuştur. Aynı şekilde Al_3Mg_2 ve $MgAl_2O_4$ fazların oluşumu da XRD analiz sonucunda doğrulanmıştır. Al_3Mg_2 (2.2), $MgAl_2O_4$ (3.58), saf Si (2.329), MgO (3.58 g/cm^3) ve Mg_2Si (1.99 g/cm^3) yoğunluk değerleri saf Mg yoğunluk değerinden büyük olduğu için Mg içeren kompozitlerin yoğunluk değerleri teorik yoğunluk değerinden daha büyük çıkmıştır. Bu da hesaplanan gözenekliliğin negatif olmasına neden olmuştur. Fakat SEM mikrografları ile de doğrulandığı üzere Mg ilave edilen kompozitlerde az da olsa gözenek oluşumuna rastlanmıştır. Şekil 4.2' de verilen Al-pomza- 12 Mg kompozine ait SEM görüntüsünde, oluşan gözenekler gösterilmiştir. Literatürü incelediğimizde Al matrisinde çeşitli takviye malzemeler kullanılarak üretilmiş kompozitleride ölçülen yoğunluk değerleri Çizelge 1.2' de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde TiB_2 (4.52), Al_2O_3 (3.99), ZrB_2 (6.09), SiC (3.16), TiC (4.93), B_4C (2.52) AlN (3.26) takviye malzemelerinin yoğunluk değerleri kompozit üretiminde kullanılan pomza (2.35) takviye malzemesinin yoğunluk değerinden yüksektir. Bu yüzden bu takviye malzemeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelere oranla daha hafif bir malzeme ürettiğimizi söyleyebiliriz.



Şekil 4.2. Al-20 P-% 12 Mg kompozitin SEM analizi.

Çizelge 4.1. Saf alüminyum ve kompozit numunelere ait yoğunluk değerleri.

Numuneler	Teorik Yoğunluk (g/cm^3)	Yoğunluk, (g/cm^3)	Gözenek (%)
Saf Al	2.700	2.71±0.0180	-0.49382716
Al-20P-0 Mg	2.63	2.6145±0.0175	0.589353612
Al-20P-3 Mg	2.5947	2.605±0.0162	-0.31988283
Al-20 P- 6 Mg	2.5605	2.578±0.0511	-0.69322398
Al-20 P-9 Mg	2.5275	2.558±0.0506	-1.20672601
Al-20 P-12 Mg	2.4954	2.526±0.0821	-1.25631161

4.3. Mikroyapı

Al ve kompozit numunelerin içyapılarında bulunan fazlar XRD analizleri yardımıyla belirlenmiştir. Grafit kalıplardan karbon difüzyonu sadece numune üzerinde ince tabaka halinde görülmüş numune iç kısımlarında herhangi bir karbon ve karbür oluşumuna rastlanılmamıştır. Yüzeyde oluşan karbon tabakası zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra arındırılmış ve temiz yüzeyler elde edilmiştir. Şekil 6.1 de verilen saf Al tozu ve Şekil 4.3' de verilen sıcak presleme ile üretilmiş Al'ye ait XRD deseni karşılaştırıldığında, elde edilen piklerin hepsinin Al'ye ait olduğu görülmektedir. Sıcak presleme ile üretilen saf Al numunede herhangi bir oksit, karbür gibi kırılgan fazların olmaması üretim sırasında kullanılan yüksek saflıktaki argon gazının koruyucu ortamı başarılı bir şekilde oluşturduğunu göstermektedir. Aynı şekilde kompozit malzemelerde de dışarıdan kaynaklanan bir oksitlenme ve karbürlenme olmadığı sonucuna varılmıştır. Şekil 4.4'de pomza ile güçlendirilmiş kompozite ait XRD sonuçları incelendiğinde, sadece Al piklerinin olması pomza bünyesinde bulunan SiO_2 ile Al'nin reaksiyona girmediğini göstermektedir. Al pikleri dışında başka pikin gözlenmemiş olması sıcak presleme sırasında pomzanın amorf yapısını koruduğunu göstermektedir. Mg ile alaşımlandırılmış kompozitlere ait XRD analiz sonuçları (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) incelendiğinde, Mg ve pomzanın içerisinde bulunan bileşenlerin tepkimeye girdiği ve tepkime sonucunda MgO, Mg_2Si ve saf Si fazların oluştuğu görülmektedir. XRD analizinde Al_3Mg_2 ve $MgAl_2O_4$ piklerine de rastlanılmıştır. Konuyla ilgili literatür incelendiğinde toz metalujisi yöntemiyle 610 °C'de elde ettiğimiz XRD analiz sonuçlarını teyit eder nitelikteki $MgAl_2O_4$ ve saf Si fazlarının oluştuğu sonuçlara rastlamak mümkündür (Guobin ve ark., 2005). Yapılan 600 °C'deki termodinamik hesaplamalarına göre $MgAl_2O_4$ ve saf Si fazlarının aşağıda verilen tepkimeler sonucu oluştuğu söylenilebilir.

$$3Mg + 4Al_2Ol_3 \rightarrow 3MgAl_2O_4 + 2Al \quad (4.1)$$

$$\Delta G°T = 3\Delta G°_{MgAl2O4}, 600°C - 4\Delta G°Al_2O_3, 600°C$$

$$\Delta G°T = -1396{,}587 + 13420.59 = -55.99KCal/mol$$

(Mcleod ve Gabryel, 1992; Robie ve ark., 1968)

$$2SiO_2 + 2Al + Mg \rightarrow MgAl_2O_4 + 2Si \quad (4.2)$$

$$\Delta G°T = \Delta G°_{MgAl_2O_4}, 600\ °C - 2\Delta G°_{SiO_2}, 600\ °C$$

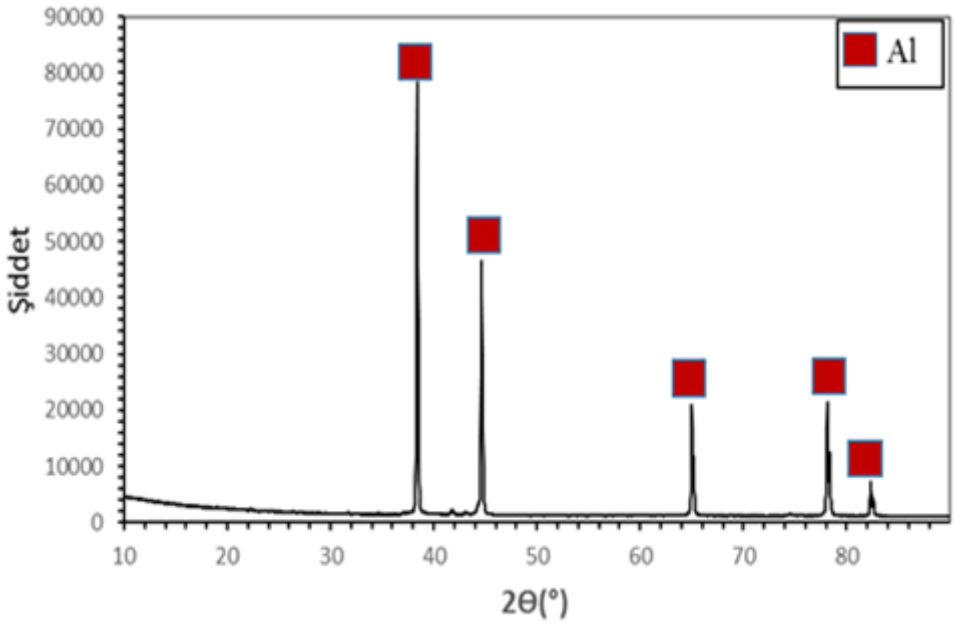
ΔG°T =-465529+178218= -287.31 KCal/mol (Robie ve ark., 1968; Shi ve ark., 2002)

$$2Mg + SiO_2 \rightarrow 2MgO + Si \quad (4.3)$$

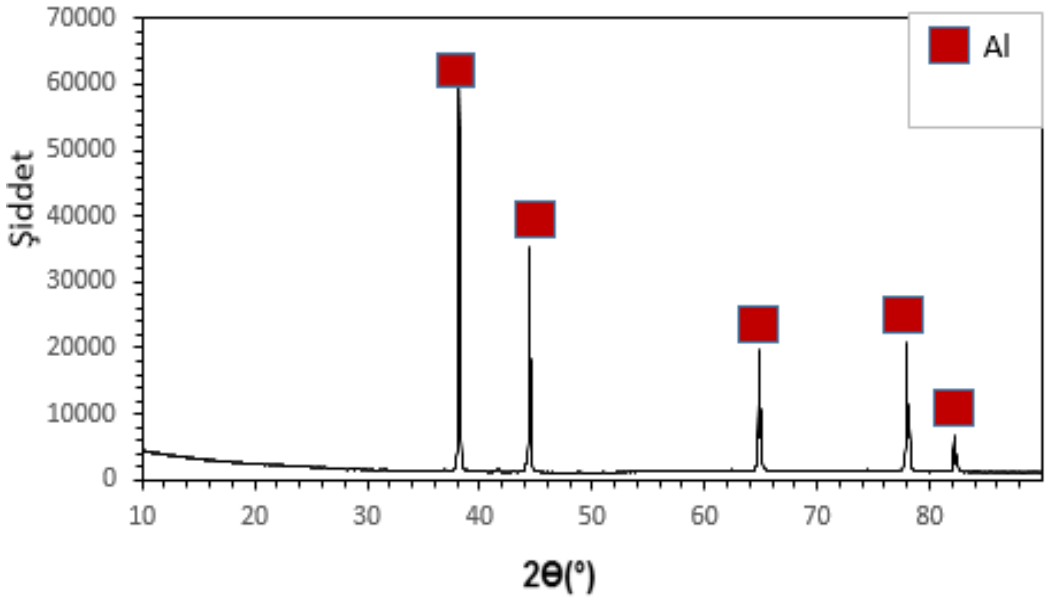
$\Delta G°T = 2\Delta G°_{MgO}$,600℃-$\Delta G°_{SiO2}$, 600℃

ΔG°T =-242645+179793= -62.852 KCal/mol (Robie ve ark., 1968; Shi ve ark., 2002)

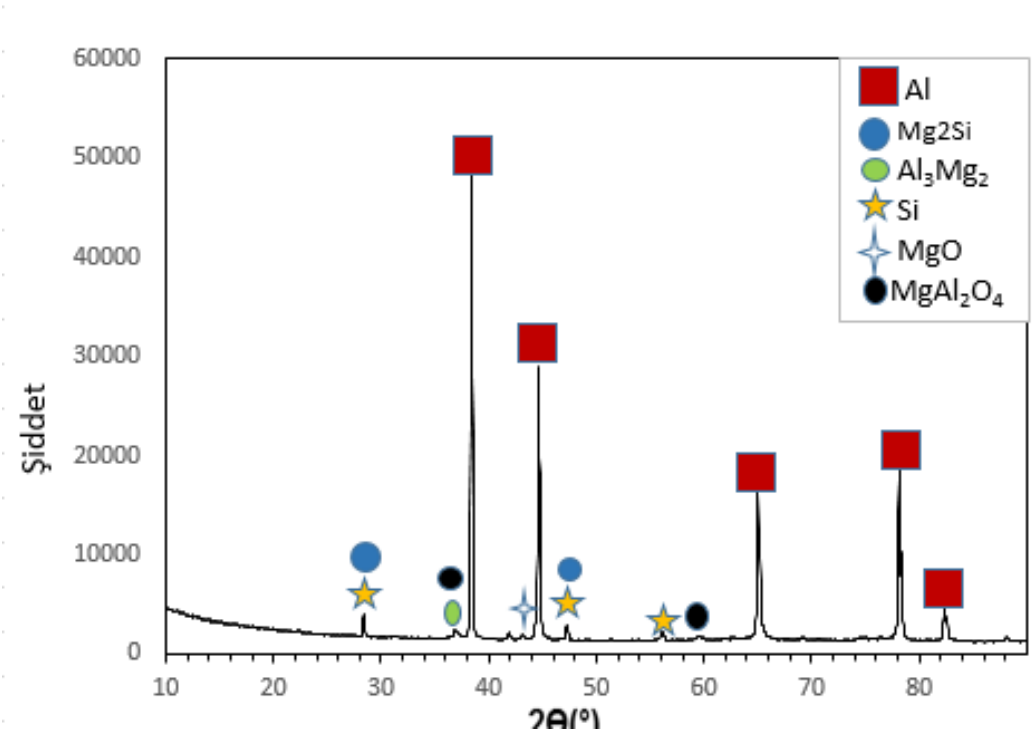
Al_3Mg_2 metaller arası bileşiği ise Al-Mg ikili faz diyagramından görülebileceği üzere 450 °C'de % 17.4 Mg çözebilmektedir. İntermetalik yapı oluşumları söz konusu olup çözünürlük sınırının aşılması durumunda oluşabileceği görülmektedir. Mg_2Si (47.43:28.069) ve Si (47.30:28.44) ve Al_3Mg_2 (36.7) ile $MgAl_2O_4$ (36.848) açı şiddetlerinin çok yakın olması aynı pik üzerinde çakışmasına sebep olmuştur.



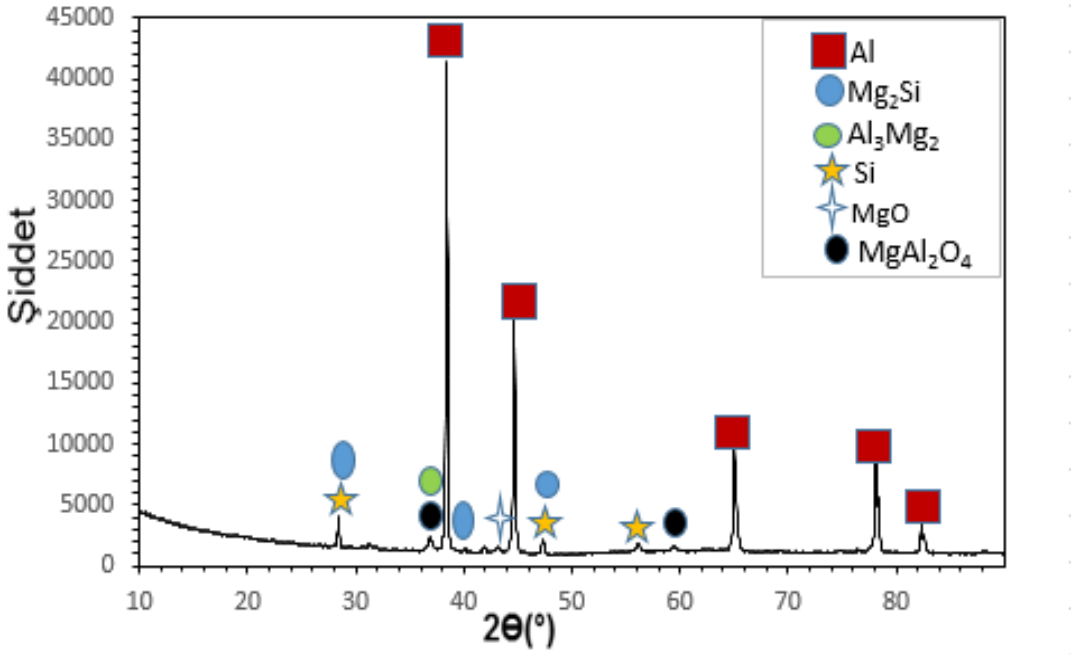
Şekil 4.3. Saf Al XRD analizi.



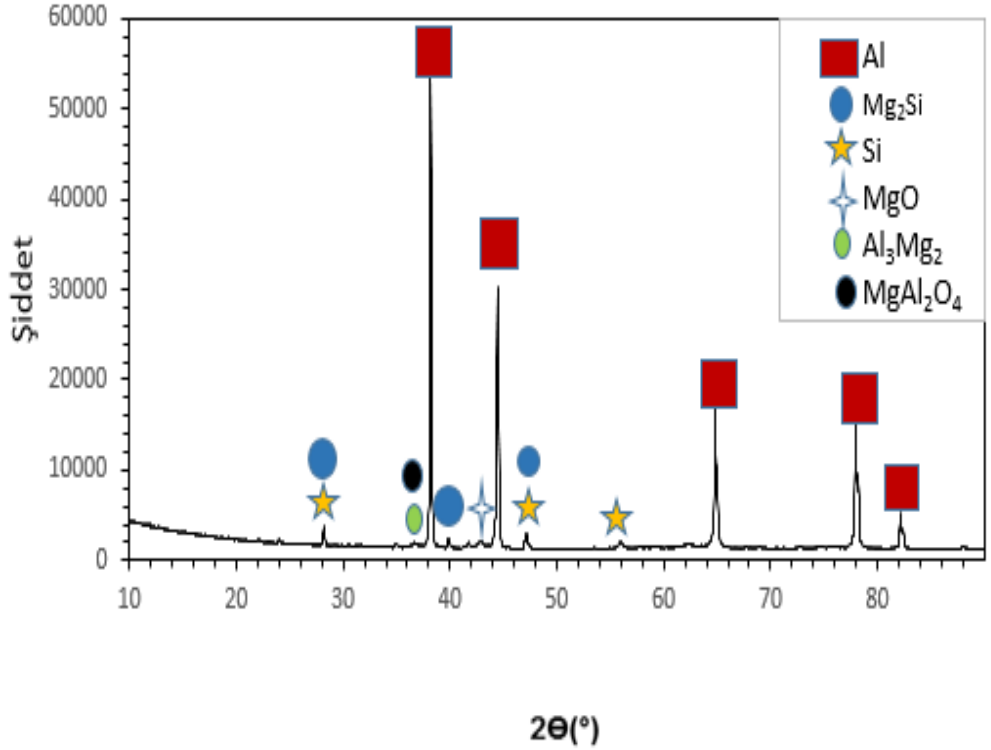
Şekil 4.4. Al-pomza XRD analizi.



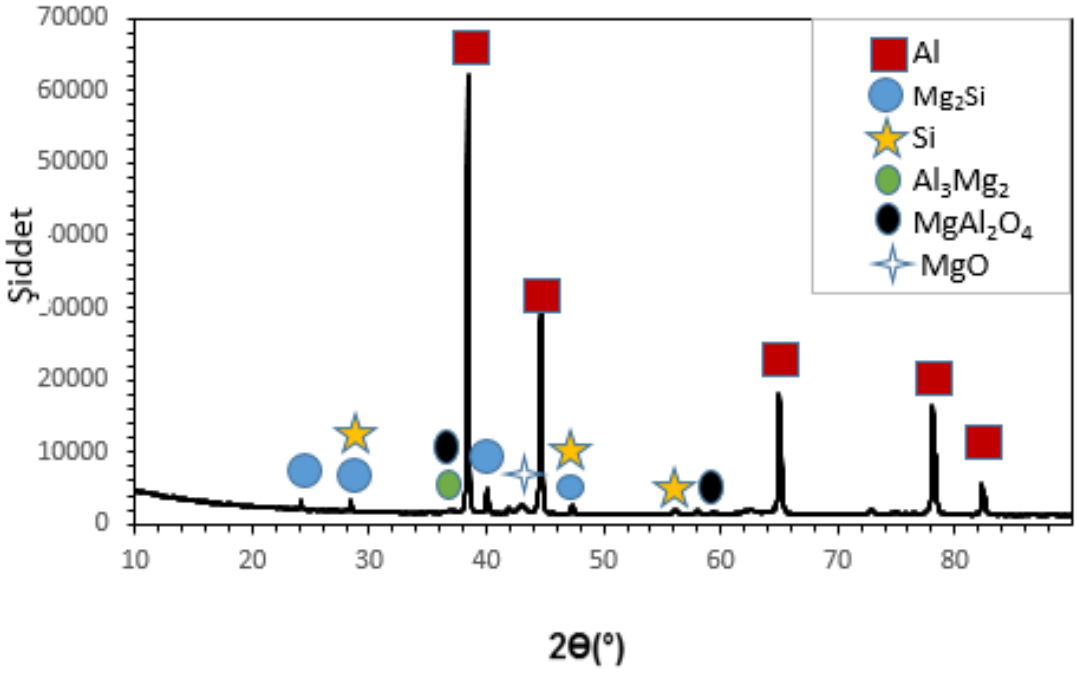
Şekil 4.5. Al-20 P- 3 Mg XRD analizi.



Şekil 4.6. Al-20 P- 6 Mg XRD analizi.

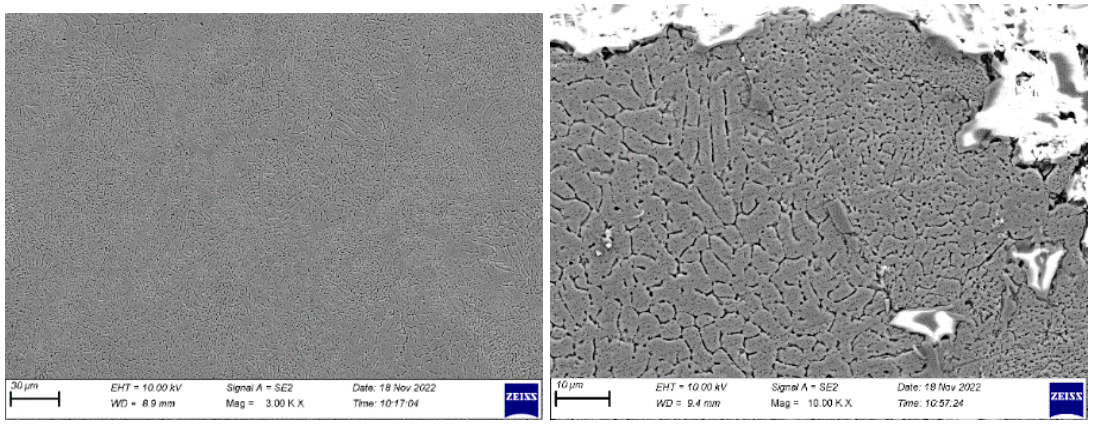


Şekil 4.7. Al-20P-9 Mg XRD analizi.

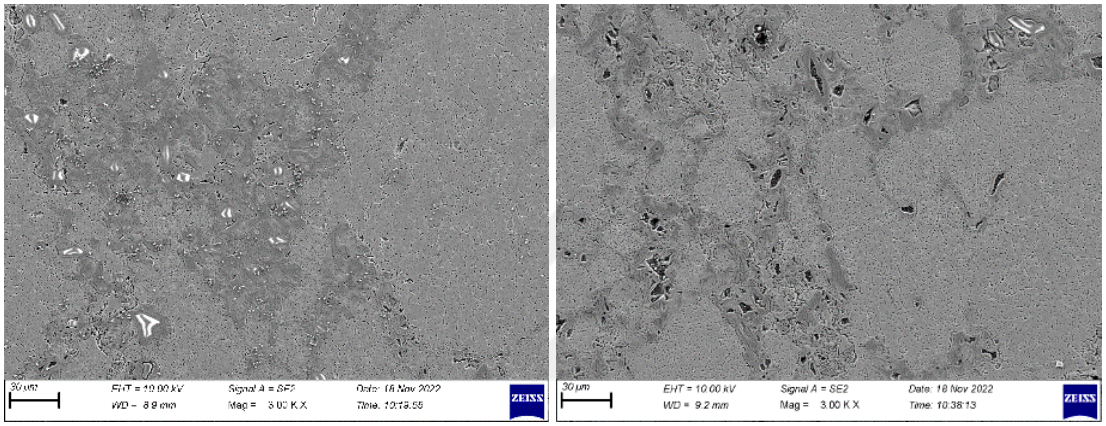


Şekil 4.8. Al-20P- 12 Mg XRD analizi.

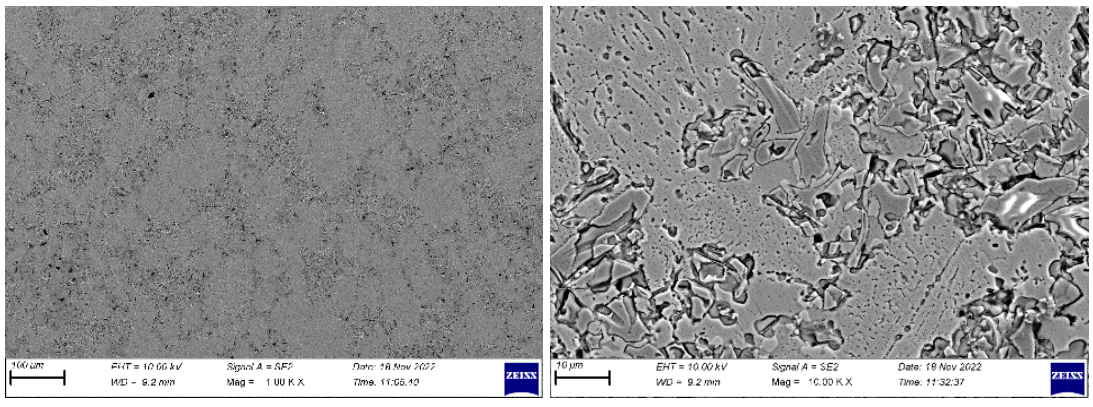
Şekil 4.9'da verilen SEM görüntüleri XRD ve yoğunluk sonuçlarını desteklemektedir. SEM incelemeleri sırasında Saf Al'de istenmeyen gözenek, oksit karbür vb. herhangi bir faza rastlanılmamıştır. Pomza mikro partiküllerinin Al tozları arasında oldukça homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Üretilen kompozit numunelerde kullanılan pomza miktarı aynı olduğundan dolayı SEM görüntülerinde çok fazla bir değişim gözlemlenmemiştir.



a) **b)**



c) **d)**



e) **f)**

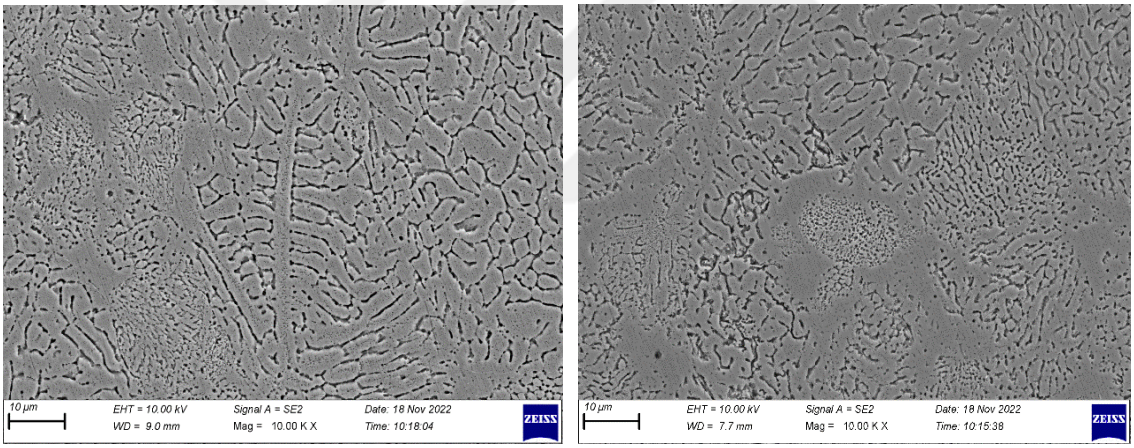
Şekil 4.9. a) Saf Al b) Al-20 P c) Al-20 P-3 Mg d) Al-20 P- 6 Mg d) Al-20 9 Mg e) Al-20 P-12 Mg.

Saf Al, % 0, % 3, % 6, % 9, % 12 oranlarında Mg içeren kompozit numunelere ait çeşitli büyütmelerdeki SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir.

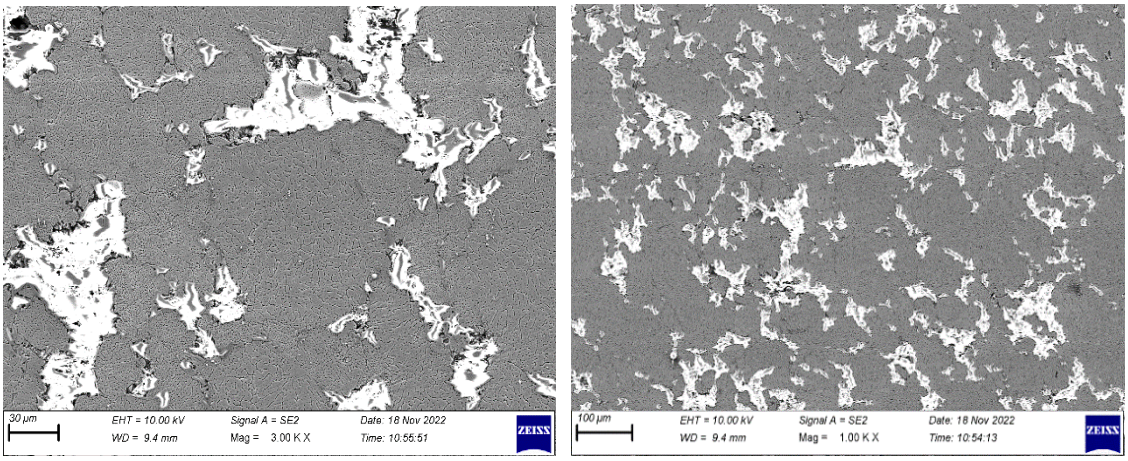
Saf Al'ye ait verilen SEM görüntüleri incelendiğinde saf Al'nin dendritik bir içyapıya sahip olduğunu ve kompozitlerin matrisini oluşturan Al'nin da dendritik içyapısını koruduğu belirlenmiştir.

Al-20 pomza kompozitine ait SEM görüntüsünde pomzanın matris içerisinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Fakat Al toz boyutu ve şeklinin sabit olmamasından dolayı ara ara bazı yerlerde pomzanın topaklaştığı bölgelere rastlanılmıştır.

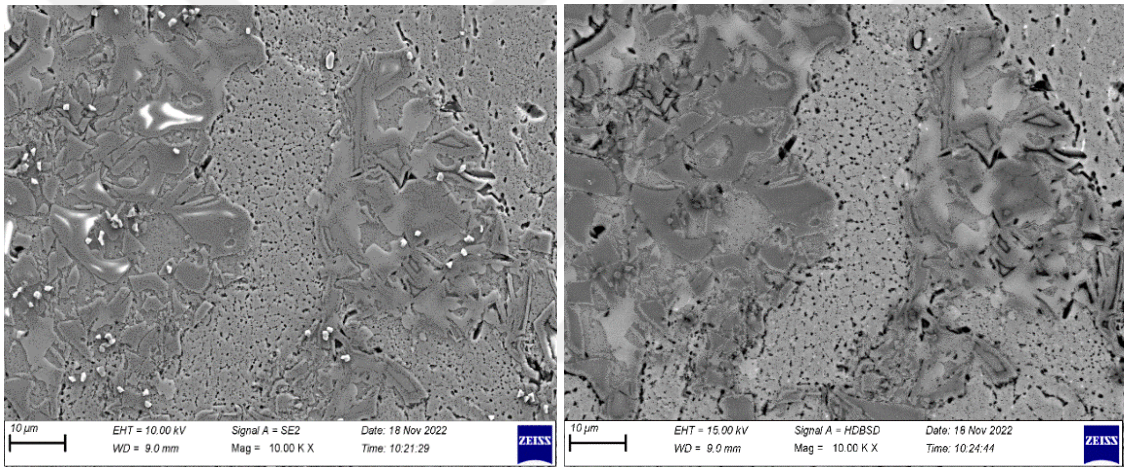
% 3, 6, 9, 12 Mg içeren kompozitlerin görüntüleri incelendiğinde mikroyapı içerisinde farklı renkler ile belirginleşen farklı fazların yer aldığı gözlemlenmiştir.



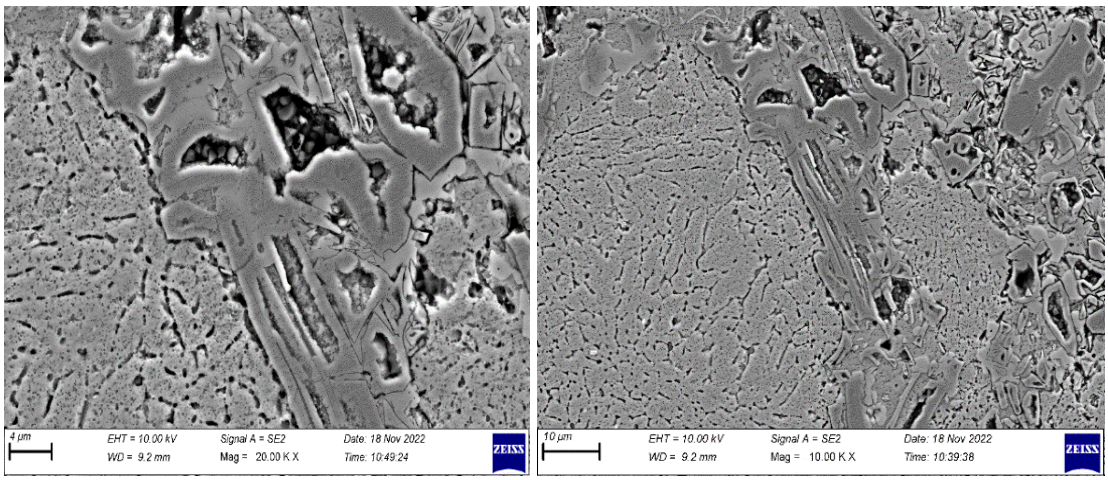
Şekil 4.10. Saf Al SEM görüntüleri.



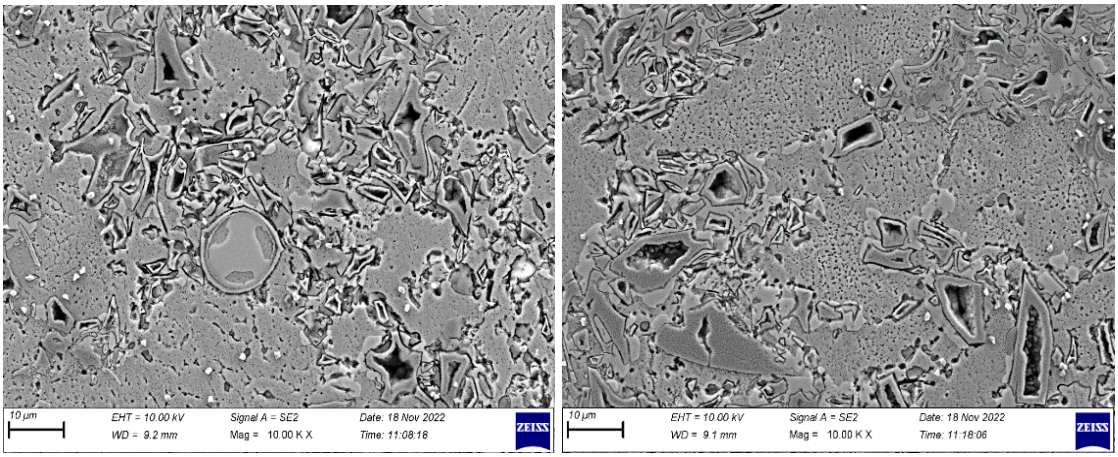
Şekil 4.11. Al-20P SEM görüntüleri.



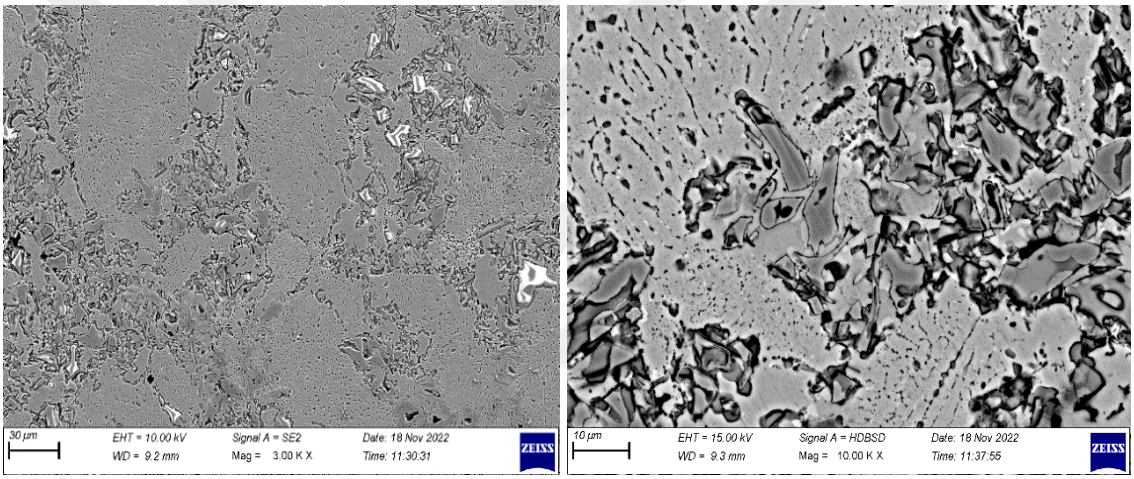
Şekil 4.12. Al-20P- 3 Mg SEM görüntüleri.



Şekil 4.13. Al-20P- 6 Mg SEM görüntüleri.



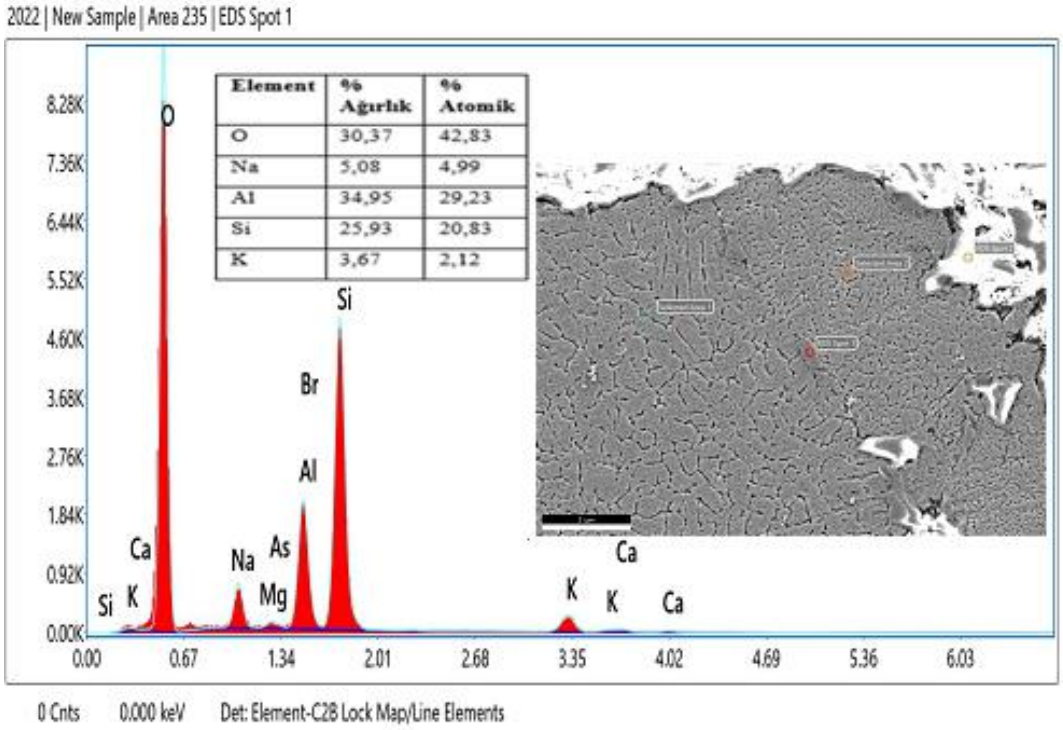
Şekil 4.14. Al-20P-9 Mg SEM görüntüleri.



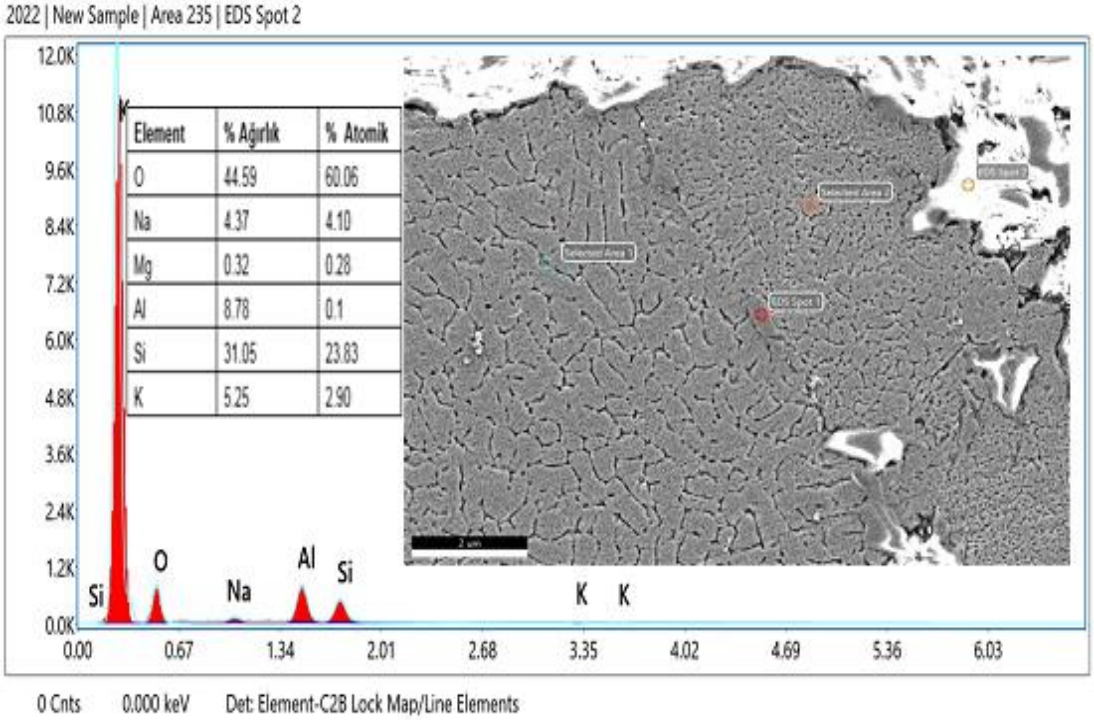
Şekil 4.15. Al-20P-12 Mg SEM görüntüleri.

Al-20 P kompozitine ait iki ayrı seçili alandan ve iki ayrı noktadan alınmış EDS sonucun içeriklerin yüzdesel oranları verilmiştir. Seçilen 1. ve 2. alan EDS analiz sonucuna göre yalnızca Al bulgularına rastlanılmıştır. 1. noktasal analizlerde elde edilen sonuçlara göre bu bölgede yüksek oranda O, Si ve 2. noktasal analiz sonucuna göre ise pomza içeriğinde bulunan oksitlere rastlanılmıştır. Al- 20 P- 9 Mg kompozitine ait 5 farklı noktadan alınmış EDS noktasal sonucun içeriklerinin yüzdesel oranları verilmiştir. Al'nin azaldığı kısımlarda Mg, Si ve O miktarlarında bir artış meydana gelmiştir. Oluşan bu durum yeni fazların olabileceğine işarettir. 1. noktadan alınan EDS analiz sonucuna göre Si oranının fazla olması Mg ve SiO_2 tepkimesi sonucu saf Si oluşabileceğine işarettir.

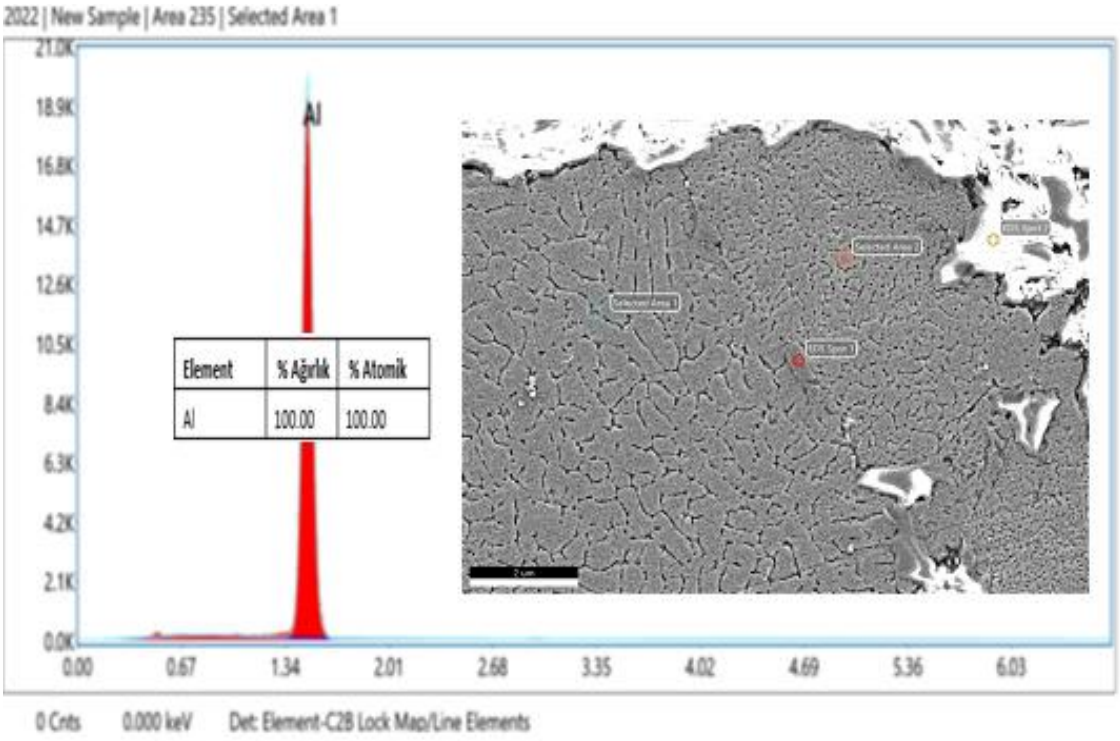
2.nokta analizinde Al, Mg ve O miktarının fazla olması ve XRD sonuçları da göz önünde bulundurularak $MgAl_2O_4$ fazın oluştuğu düşünülmektedir. Bu fazın oluşabilmesi için atomik oranlarını dikkate aldığımızda 2. noktada saptanan % 14 Mg atomik oranına karşılık % 28 Al ve % 56 O atomik oranına sahip olması gerekmektedir. 2. noktadaki atomik oranlarına baktığımızda ise Mg atomik oranın % 14, % 25.69 Al, % 47.78 O değerlerinin olması ve bu değerlerin yakın olması $MgAl_2O_4$ fazın oluşmuş olabileceğine işaret etmektedir. Aynı şekilde 4. noktada % 16.9 Mg oranına karşılık yaklaşık iki katına sahip Al (31.44) ve yaklaşık dört katına sahip O (49.88) atomik oranının olması $MgAl_2O_4$ fazının oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir. 3. ve 5. noktada ise yüksek miktarda Al bulgularına rastlanılmıştır. Al-20P-%12 Mg bölgesinden alınan EDS analiz sonucu ve içerik yüzdeleri Şekil 7.25' de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yüksek miktarda Al düşük miktarda Si, Mg, O, K ve Na bulgularına rastlanılmıştır. Şekil 4.26 ve 4.27, reaksiyon bölgesinde X-ışını haritalaması sonucu elde edilen element dağılımlarını göstermektedir. Bu görüntülerden de anlaşılacağı üzere Mg ve pomza arasında reaksiyonun gerçekleştiğine işaret etmektedir. Mg ve O miktarının yoğun olduğu yerlerde MgO, Mg ve Si oranın fazla olduğu yerlerde ise Mg_2Si fazların oluştuğu söylenilebilir.



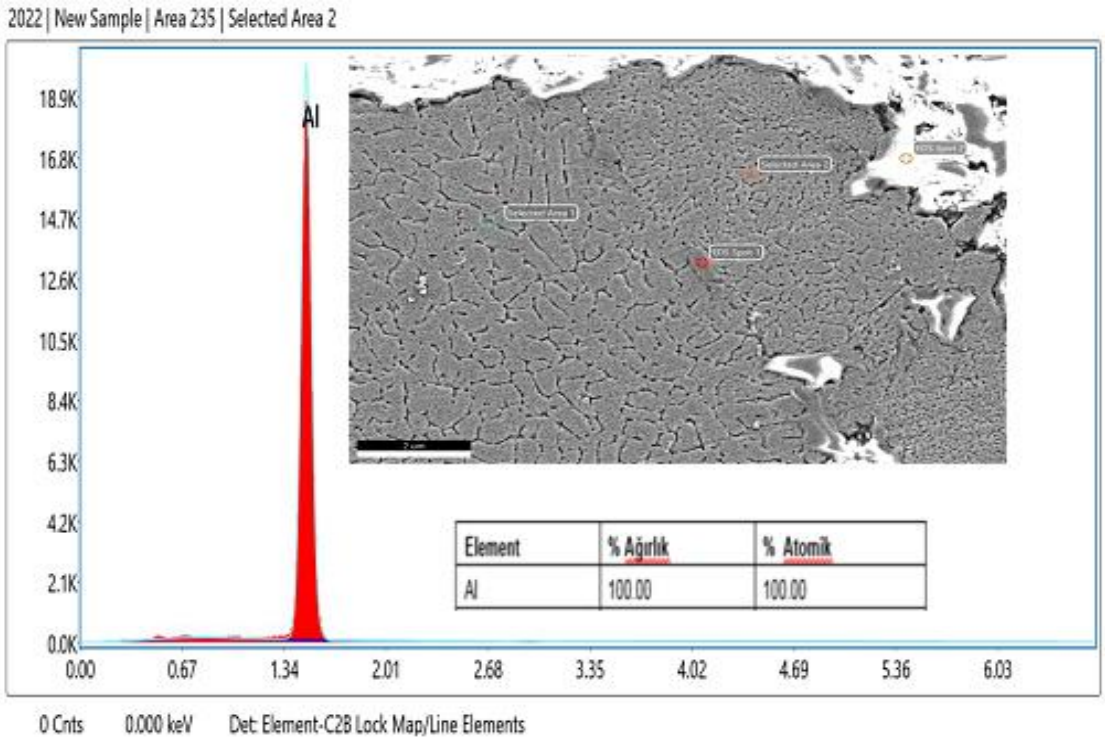
Şekil 4.16. Al- 20P 1.noktadan alınan noktasal EDS analiz sonucu.



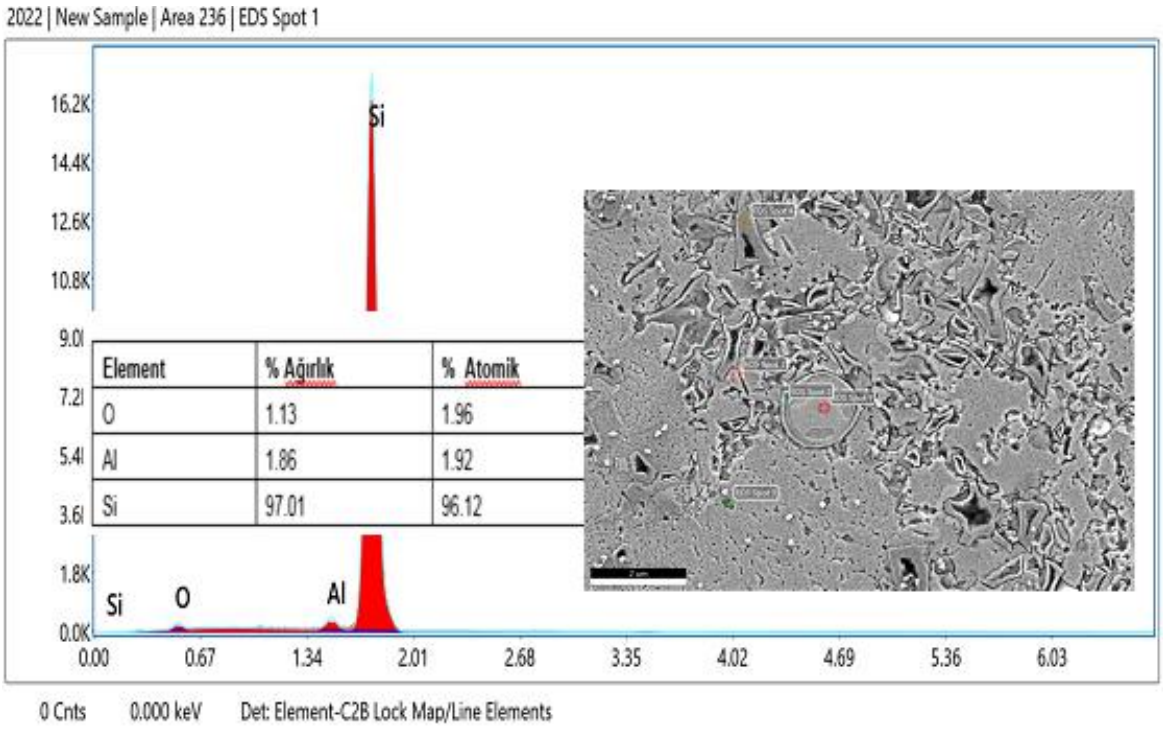
Şekil 4.17. Al- 20P numunesinden alınan 2.nokta EDS analiz sonucu.



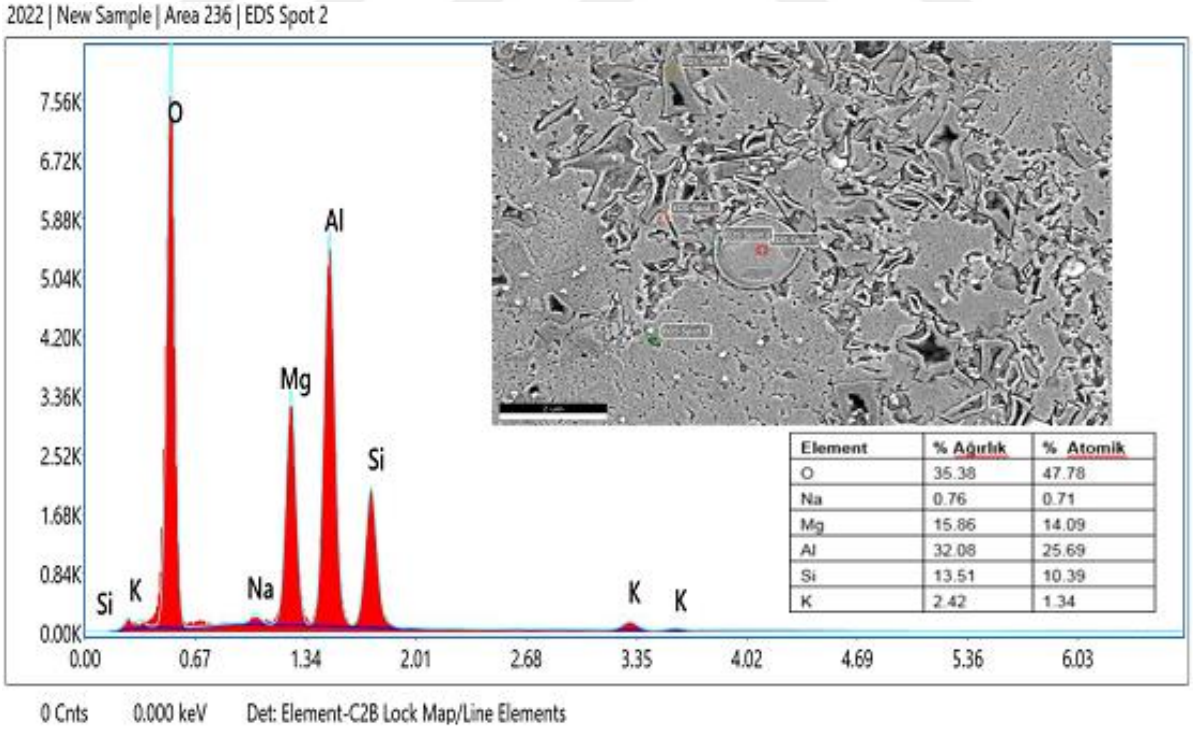
Şekil 4.18. Al- 20P numunesinden seçilen 1.alan EDS analiz sonucu.



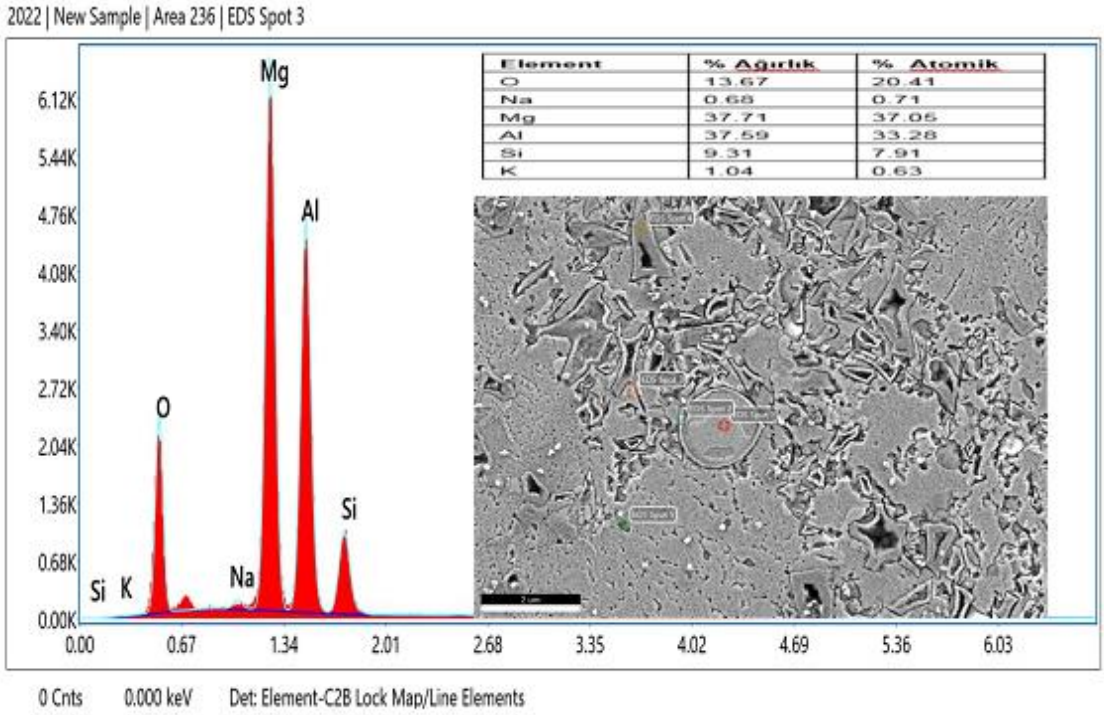
Şekil 4.19. Al- 20P numunesinden seçilen 2.alan EDS analiz sonucu.



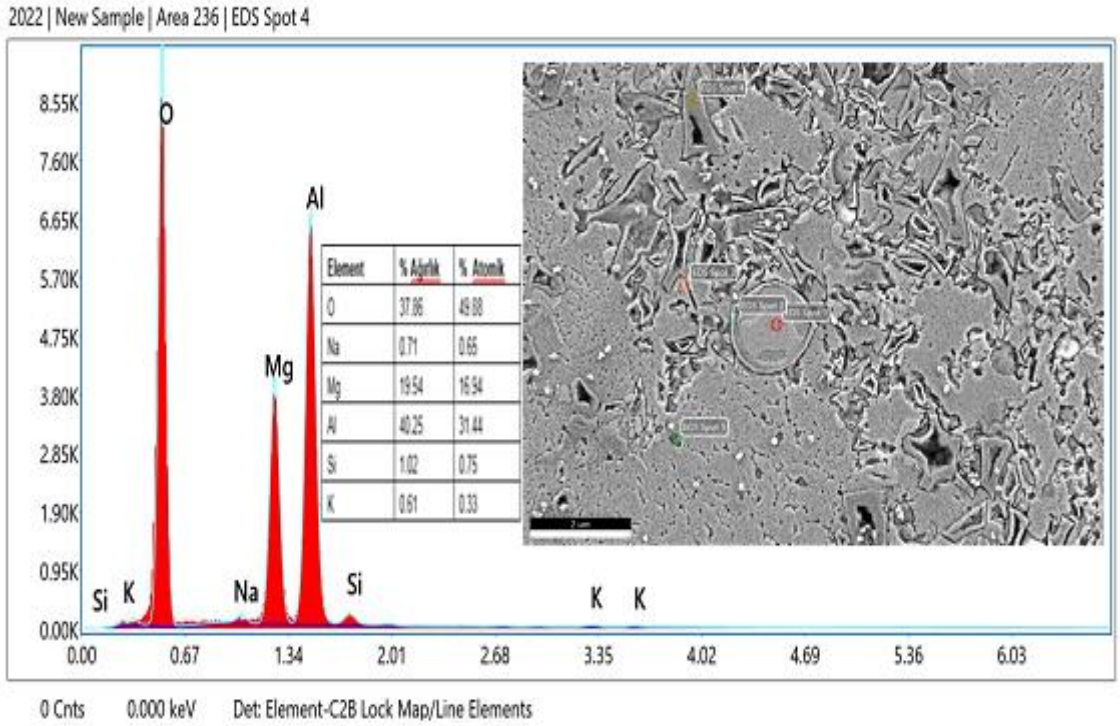
Şekil 4.20. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 1.nokta EDS analiz sonucu.



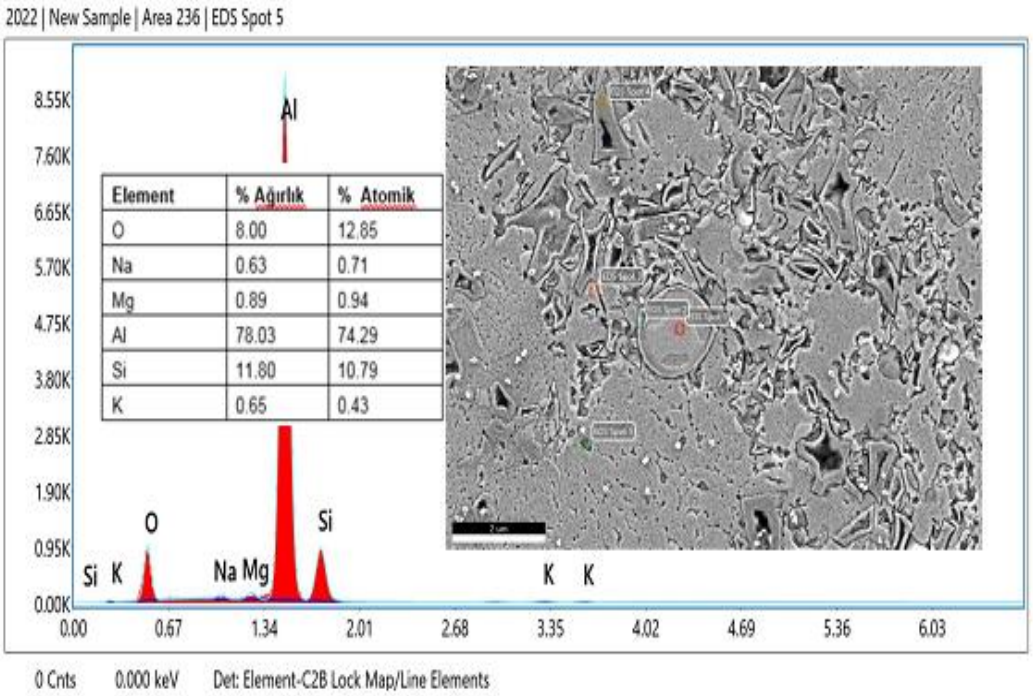
Şekil 4.21. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 2.nokta EDS analiz sonucu.



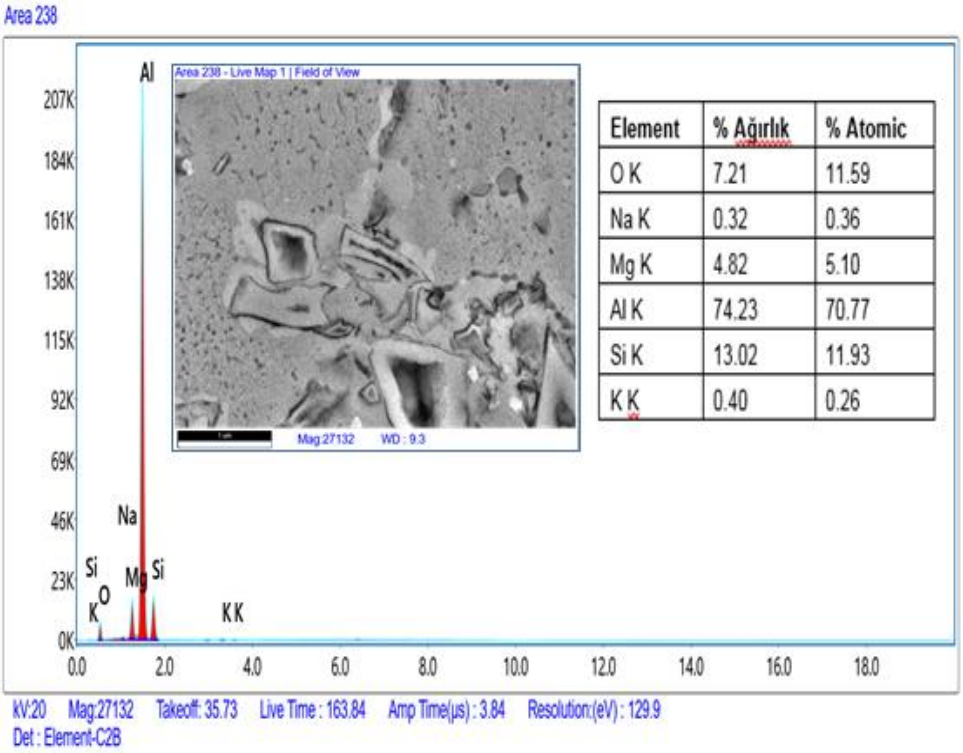
Şekil 4.22. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 3.nokta EDS analiz sonucu.



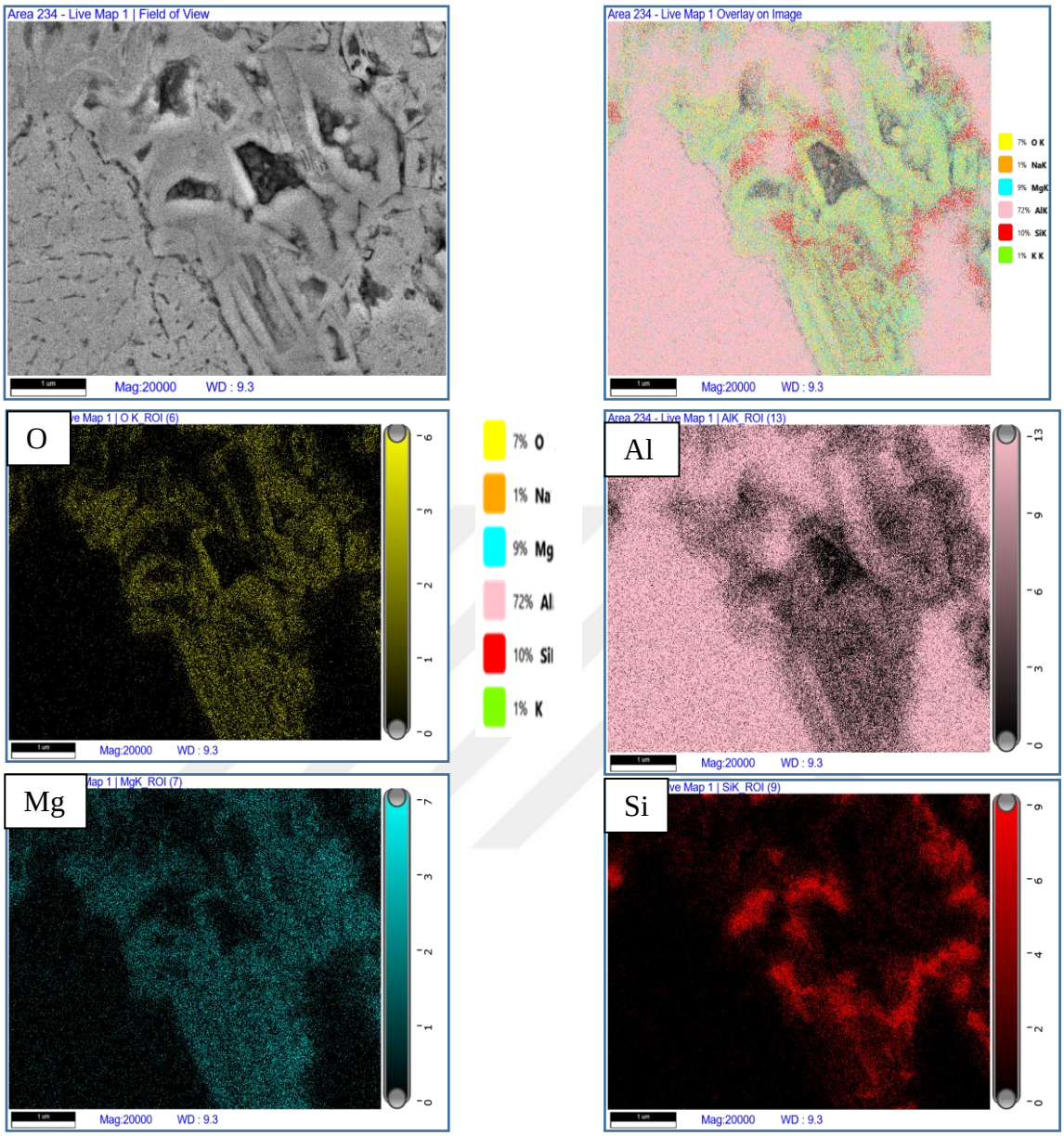
Şekil 4.23. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 4.nokta EDS analiz sonucu.



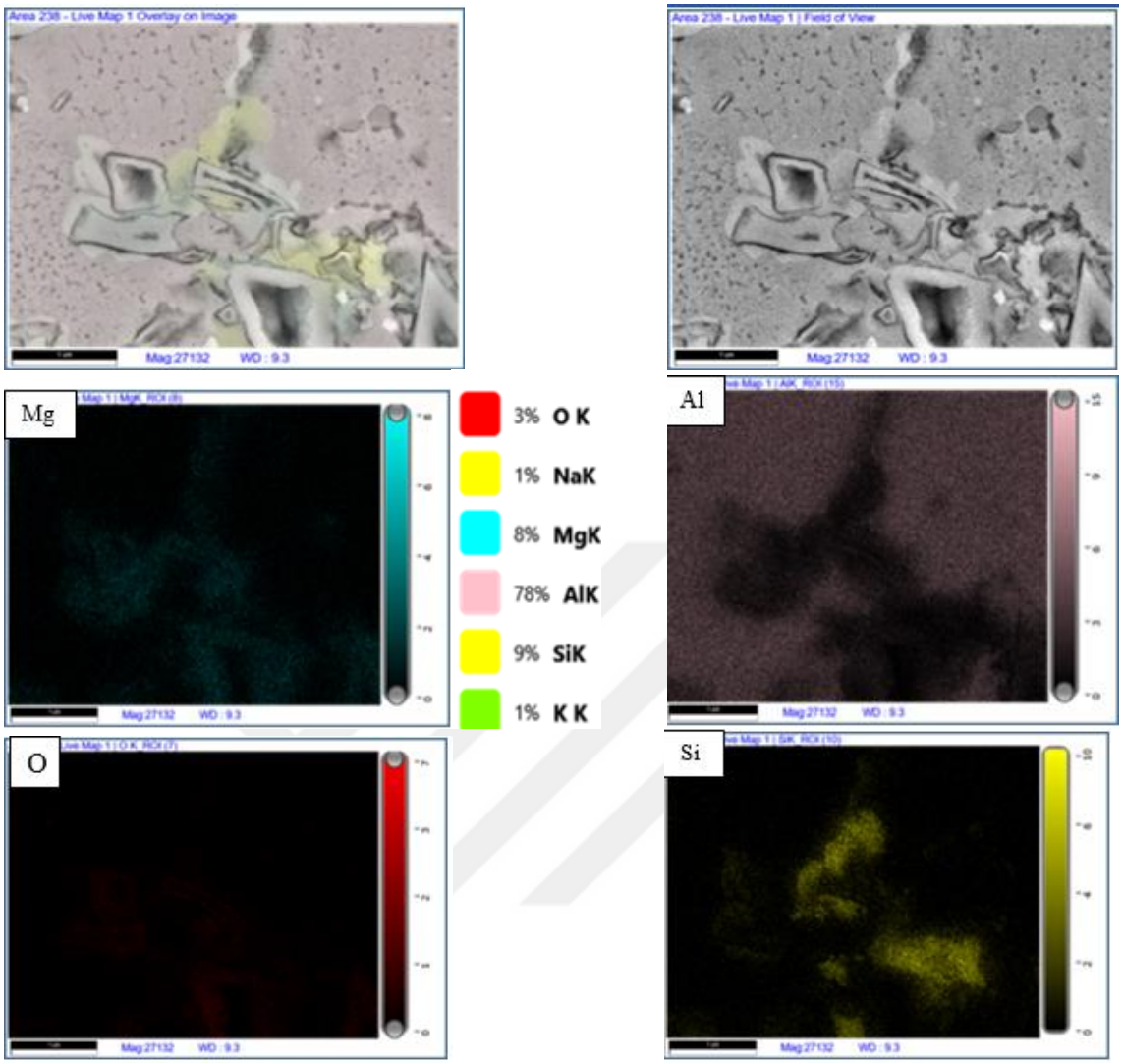
Şekil 4.24. Al-20P- 9 Mg numunesinden alınan 5.nokta EDS analiz sonucu.



Şekil 4.25. Al-20P-12 Mg bölgesinden alınan EDS analiz sonucu.



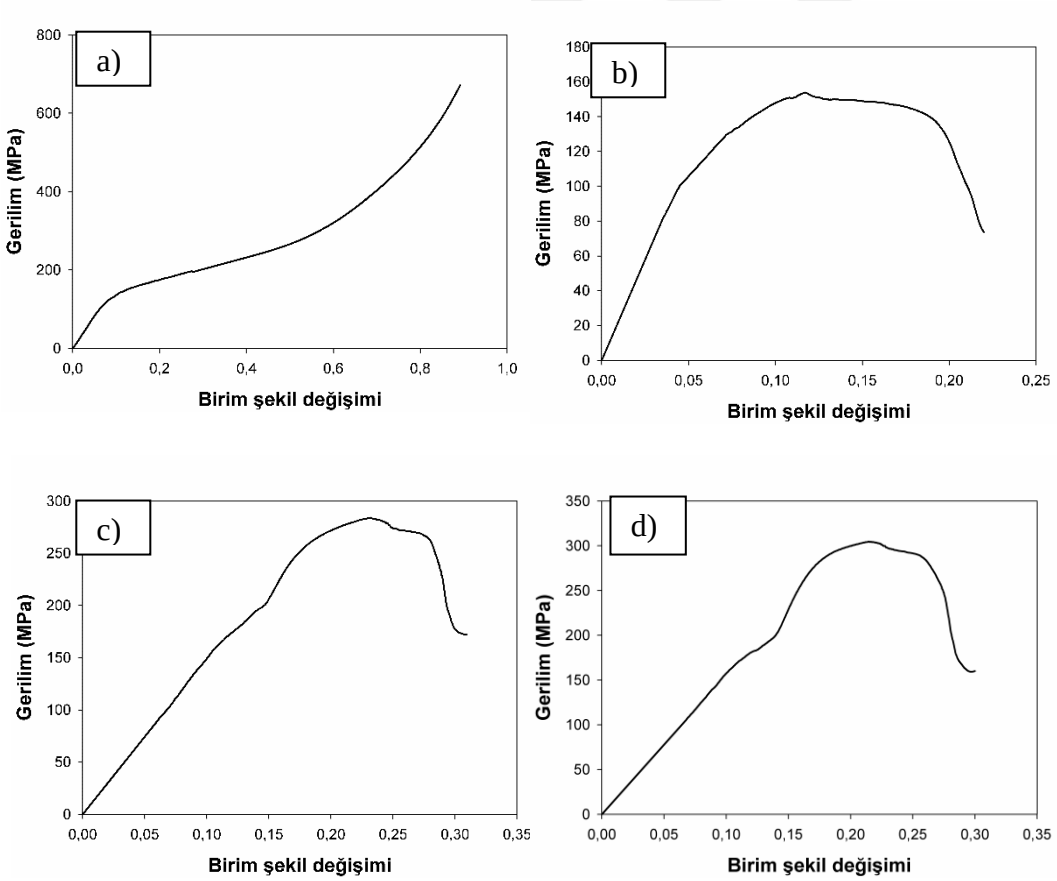
Şekil 4.26. Reaksiyon bölgesinden alınan haritalama EDX analiz sonucu.

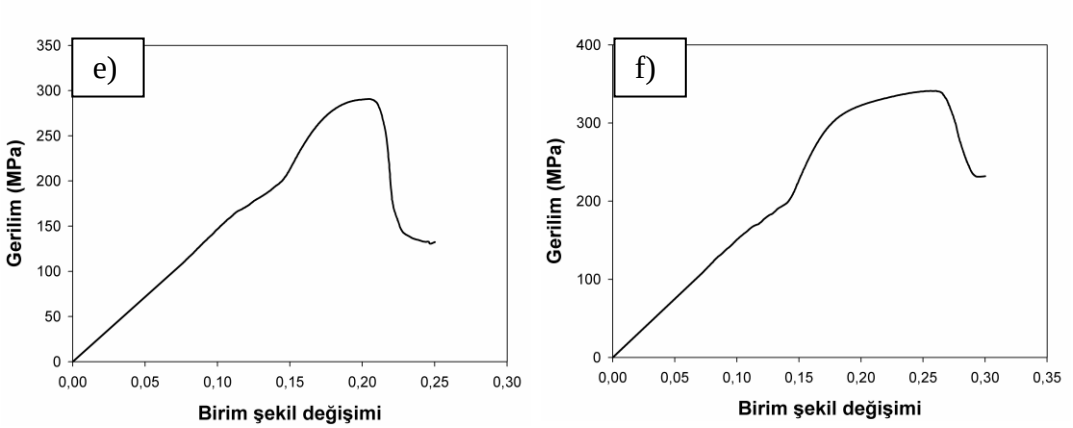


Şekil 4.27. Reaksiyon bölgesinden alınan haritalama EDX analiz sonucu.

4.4. Mekanik Analizler

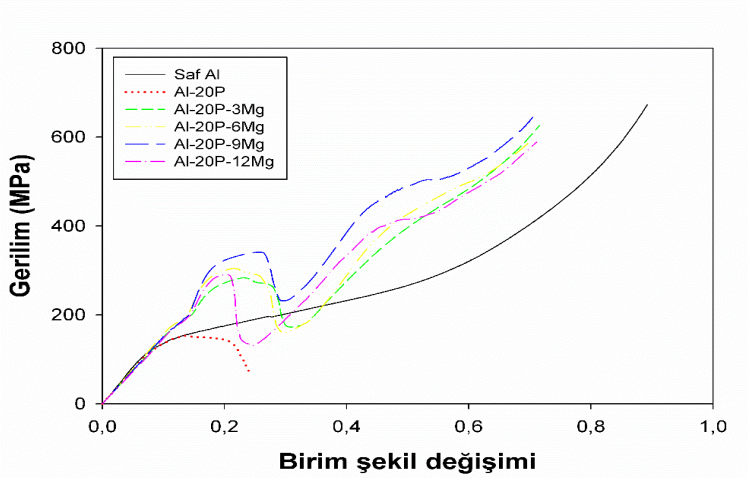
Basma testine tabi tutulmuş saf Al ve Al matrisli kompozitlerin gerilme birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.28’ de verilmiştir. Bu grafik eğrilerinden elde edilen mekanik sonuçlar (Akma dayanımı, basma dayanımı ve kırılma birim şekil değişimi) Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Kompozit numunelere uygulanan kuvvet sonucu ilk olarak elastik değişim ve yük artımı ile birlikte plastik deformasyon başlamıştır. Uygulanan yükün artması ile birlikte en yüksek gerilme değeri olan basma dayanımına ulaşılmış ve çatlak oluşumu bu noktada başlamıştır. Saf Al ‘de ise çatlak oluşumu meydana gelmemiştir.





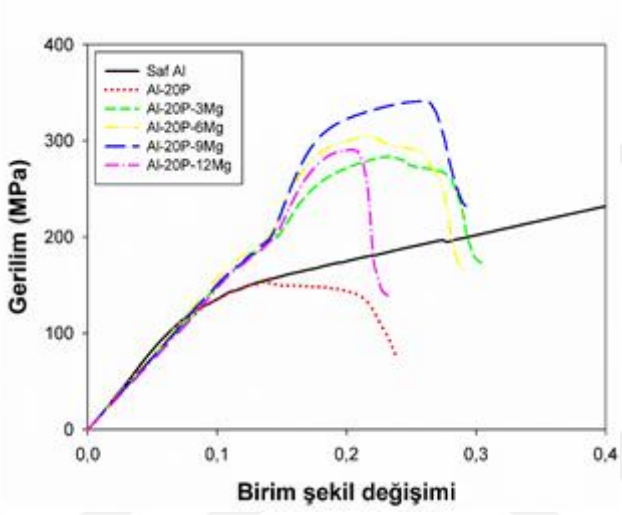
Şekil 4.28. Basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri a) Saf Al, b) Al-20P-% 0 Mg c) Al-20P-%3 Mg, d) Al- 20P-% 6 Mg e) Al-20P-% 9 Mg f) Al-20P-%12 Mg kompozitleri.

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da görülebileceği üzere saf Al dışındaki numunelerde uygulanan yük miktarıyla çatlak oluşumu başlamış ancak herhangi bir kırılma olayı meydana gelmemiştir. Numune kalınlığı 1mm kalmasına rağmen herhangi bir kopma meydana gelmemiştir. Bu davranışın sebebi oluşan çatlakların basma yükü altında kapanmaya zorlamasıdır. Çatlak oluşumunun başlayıp yükün önemli ölçüde düştüğü birim şekil değişim değeri numunenin kırılma birim şekil değişimi olarak kabul edilmiştir. Saf Al' de çatlak oluşumu ve kopma gözlenmediği için basma dayanımı ve kırılma şekil değişim değerleri belirlenememiştir.

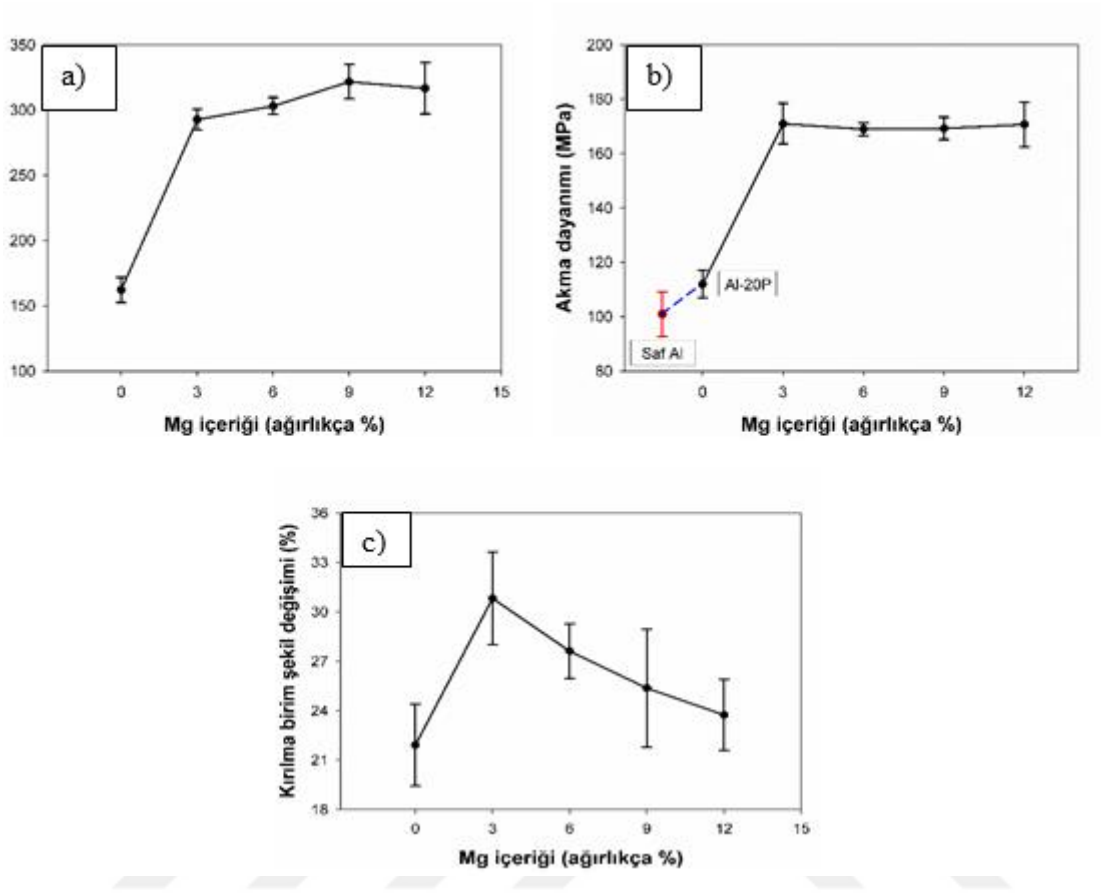


Şekil 4.29. Saf Al ve kompozitlerin basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri.

Aynı şekilde Al-20 pomza kompozitinde basma mukavemet değeri 162 MPa değerine sahipken % 12 Mg ilavesiyle 316.72 MPa değerine yükselmiş ve kırılma birim şekil değişim miktarında bir düşüş meydana gelmiştir. Basma mukavemetinin artmasının muhtemel sebebi oluşan insitü fazlar ve pomza içeriğindeki fazlardan kaynaklanmaktadır. Kırılma birim şekil değişim değerindeki azalış tane sınırlarında bulunan pomzanın çatlak oluşumu ve ilerlemesini hızlandırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.30. Saf Al ve kompozitlerin basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri.



Şekil 4.31. Mg içeriğinin a) akma dayanımı, b) basma dayanımı, c) kırılma birim şekil değişimi üzerindeki etkisi.

Şekil 4.31'de Mg içeriğinin akma dayanımı, basma dayanımı ve kırılma birim şekil değiştirme değerleri üzerindeki etkisini vermiştir. Şekil 4.31 (b) sıcak presleme yöntemi ile üretilmiş Al' nin ortalama akma dayanımı 101 MPa değerine sahipken pomza ilavesi ile birlikte 112 MPa değerine ve Mg ilavesi ile birlikte ortalama 170 MPa değerine yükselmiştir. Bu değer saf Al'ye göre % 68.3, Al-%20 pomza kompozitine göre ise % 51.78 oranında artış göstermiştir. Basma mukavemet değeri Mg ilavesi ile birlikte yükselmiş ve % 9 Mg ilavesi ile birlikte Al-20 pomza kompozitinin basma dayanımına göre % 98.36 oranında bir artış göstermiştir. Kırılma birim şekil değişim değerinde ise % 3 (30.82) Mg ile birlikte artarken % 6 (27.62), % 9 (25.375) ve % 12 (23.75) Mg ile birlikte bir düşüş gerçekleşmiştir.

Kısacası Mg oranın artışıyla birlikte dayanım değerlerinde önemli oranda artışlar meydana gelirken kırılma birim şekil değişimi ağırlıkça %3 Mg ilavesi ile birim şekil değişiminde artış gözlenirken daha fazla Mg ilavesi ile birim şekil değişiminde azalma gözlenmiştir.

Çizelge 4.2. Üretilen numunelerin basma testi sonuçları.

Numune	Akma Dayanımı (MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kırılma birim şekil değişimi (%)
Saf Al	101±8.1854	Kırılmadı	Kırılmadı
Al-20P-0 Mg	112±5.099	162.2±9.6021	21.92± 2.49
Al-20P-3 Mg	171±7.4498	292.8± 7.7589	30.82±2.82
Al-20P-6 Mg	169±2.3452	303.2±6.5345	27.62±1.65
Al-20P-9 Mg	169.25±4.113	321.75±13.1498	25.375±3.57
Al-20P-12 Mg	170.75±8.1803	316.75±19.6363	23.75±2.15

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada sıcak presleme yöntemine başvurularak in sitü formdaki Al matrisli pomza takviyeli kompozitin üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmayı farklı kılan özelliği pomzanın içerisinde yüksek miktarda bulunan SiO_2 bileşiğinden faydalanarak Mg ve bu bileşik arasında bir reaksiyon gerçekleşmesidir. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Referans ve kompozit numunelerin üretimi için optimum, presleme süresinin 1 saat, basıncın 50 MPa ve sıcaklığının 600 °C olduğu ortaya konulmuştur. Optimize edilen bu parametreler kullanılarak üretilen saf Al'nin tam yoğunluğa ulaştığı tespit edilmiştir.
- Yapılan SEM ve XRD analiz sonuçlarına göre referans numunede oksit ya da karbür gibi istenilmeyen kırılgan fazlara rastlanılmamıştır. Mg ilavesi ile birlikte saf Si, Al_3Mg_2, $MgAl_2O_4$, Mg_2Si ve MgO fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir.
- Hesaplanan yoğunluk ve gözenek miktarı incelendiğinde Mg oranın artışı ile birlikte yoğunluk miktarında bir azalma meydana gelmiş ve düşük miktarda gözenek tespit edilmiştir.
- Yapılan basma testine göre pomza takviyesiyle kompozitin akma mukavemeti artış göstermiştir. Aynı şekilde Mg ilavesi ile birlikte kompozit numunelerin akma ve basma mukavemetleri artış göstermiştir. Kırılma birim şekil değişimi % 3 Mg oranı ile birlikte artarken % 6, % 9 ve % 12 Mg ile birlikte bir düşüş gerçekleşmiştir
- Üretimi gerçekleştirilen Al matrisli kompozit malzemelerin düşük yoğunluklu, dayanıklı ve düşük maliyetli olmaları dikkate alındığında güç aktarma organlarında kullanılabileceği ön görülmüştür.

KAYNAKLAR

Alaneme, K. K., Akintunde, I. B., Olubambi, P., Adewale, T., 2013. Fabrication Characteristics And Mechanical Behaviour Of Rice Husk Ash- Al-Mg-Si Alloy Matrix Hybrid Composites. ***Journal of Materials Research and Technology***, **2** (1):60-67.

Alaneme, K. K., Bodunrin, M.O., Awe, A., 2018. Microstructure, mechanical and fracture properties of groundnut shell ash and silicon carbide dispersion strengthened aluminium matrix composites. ***Journal of King Saud University - Engineering Sciences***, **30** (1):96–103.

Amu, O. O., Adetuberu, A. A., 2010. Characteristics of bambooleaf ash stabilization on lateritic soil in highway construction. ***International Journal of Engineering and Technology,*** **2** (4):212–219.

Aslan, B. O., 2007. ***Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ay, İ., Çelik, S., Çelik, İ., 1999. Comparison of Properities of Friction and Diffusion Welded Joints Made Between The Aluminium And Copper Bars. ***Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** **2** (1): 88-102.

Başer, T., 2012. Alüminyum Alaşımları Ve Otomotiv Endüstrüsinde Kullanımı. ***Mühendis ve Makina,*** **53**:51-58.

Bedir, F., 2006. Alüminyum kompozitlerin üretimi,karakteristik özellikleri ve endüstriyel uygulamaları. ***Mühendis ve Makina,*** **47** (554):28-35.

Beytekin, D., 2020. ***Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretilen Al 6061 Matrisli Cüruf Takviyeli Kompozitin Kuru Kayma Aşınma Davranışının İncelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın.

Bijelic-Donova, J., Garoushi, S., Lassila, L. V., Keulemans, F., Vallittu, P. K., 2016. Mechanical and structural characterization of discontinuous fiber-reinforced dental resin composite. ***Journal of dentistry,*** **52**: 70-78.

Boopathi, M. M., Arulshri, K. P., Iyandurai, N., 2013. Evaluation of mechanical properties of aluminium alloy 2024 reinforced with silicon carbide and fly ash hybrid metal matrix composites. ***American journal of applied sciences***, **10** (3): 219-229.

Bouzekova-Penkova, A., Miteva, A., 2022. Some Aerospace Applications of 7075 (B95) Aluminium Alloy. ***Aerospace Research in Bulgaria,*** **34**:165-179.

Burger, G. B., Gupta, A. K., Jeffrey, P. W., Lloyd, D. J., 1995. Microstructural control of aluminum sheet used in automotive applications. ***Materials Characterization,*** **35** (1):23-39.

Butt, J., Mebrahtu, H., Shirvani, H., 2016. Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper foil/1050 aluminium composites made with composite metal foil manufacturing. ***Journal of Materials Processing Technology,*** **238**: 96-107.

Carle, D., Blount, G., 1999. The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies. ***Materials & design***, **20** (5):267-272.

Casati, R., Vedani, M., 2014. Metal matrix composites reinforced by nano-particles—a review. ***Metals,* 4** (1):65-83.

Cole, G. S., Sherman, A. M., 1995. Light weight materials for automotive applications. ***Materials characterization***, **35** (1):3-9.

Coşkun, M., 2021. ***A356, A357 Ve F357 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Hassas Döküm Tekniği İle Üretimi ve Karakterizasyonu*** (yüksek lisans tezi, basılmış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Cutter, C. N., 2002. Microbial control by packaging: a review. ***Critical reviews in food science and nutrition,* 42** (2):151-161.

Dargay, J., Gately, D., Sommer, M., 2007. Vehicle Ownership and Income Growth Worldwide: 1960-2030. ***The Energy Journal,* 28** (4):1-32.

Das, D. K., Mishra, P. C., Singh, S., Pattanaik, S., 2014. Fabrication and heat treatment of ceramic-reinforced aluminium matrix composites-a review. ***International Journal of Mechanical and Materials Engineering,* 9** (1):1-15.

Das, S., Purohit, R., Rana, R. S., 2012. Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites. ***International Journal of Scientific and research publications,* 2** (6):1-7.

Davis, J., R., 1999. ***Corrosion of aluminum and aluminum alloys***. Asm International, America. 287.

De, SC., Khosrow, R., 2010. Rice Husk Ash as a supplementary raw material for the production of cellulosecement composites with improved performance. ***Waste Biomass Valor,* 1**:241–249.

Degarmo, E. P., Black, J. T., Ronald, A. K., 1984. ***Materials and process in manufacturing.*** sixth edition. Collier macmillan publishers, London, 967.

Deshmukh, P., Pathak, S., 2012. Influence of varying SiO_2 % on the mechanical properties of Al based MMC. ***Transactions of the Indian Institute of Metals,* 65** (6): 741-745.

Deshmukh, P. Y., Peshwe, D. R., Bhatt, J., Pathak, S. U., 2011. Synthesis and characterization of Al–Mg–SiO_2 particulate composite using amorphous SiO_2 from rice husk ash. ***Transactions of the Indian Institute of Metals,* 64** (6), 575-581.

Dinaharan, I., Balakrishnan, M., Selvam, J. D. R., Akinlabi E. T., 2019. Microstructural characterization and tensile behavior of friction stir processed AA6061/Al2Cu cast aluminum matrix composites. ***Journal of Alloys anf Compounds***, **781**:270–279.

Dinaharan, I., Murugan, N., 2012. Optimization of friction stir welding process to maximize tensile strength of AA6061/ZrB 2 in-situ composite butt joints. ***Metals and Materials Internatıonal***, 1**8** (1):135–42.

Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban, S., 2015. ***Pomza araştırma ve uygulama merkezi fizibilite raporu.*** Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Nevşehir. 109.

Dhingra, R., Das, S., 2014. Life cycle energy and environmental evaluation of downsized vs. lightweight material automotive engines. ***Journal of Cleaner Production***, **85**: 347-358.

Doege, E., Elend, L. E., Meiners, F., 2000. ***Comparative Study of Massive and Sheet Light Weight Components Formed of Different Light Weight Alloys for Automobile Applications***, In: Proceedings of the ISATA, Dublin, 25–27 Şubat 2000. 87–94.

Dwight, J., 1999. ***"Aluminium Design And Construction",*** University Of Cambridge And Fellow Of Magdalene College, Cambridge, İngiltere. 320.

Eliezer, D., Aghion, E., Froes, F. S., 1998. Magnesium science, technology and applications. ***Advanced Performance Materials***, **5** (3): 201-212.

Epstein, S. G., Kaufman, J. G., Pollak, P., 1994. ***Aluminum and its Alloys.*** Washington, DC: Aluminum Association. 45-57.

Eren, H., 2007. ***Al-Si Alaşımının Mekanik Özelliklerine Magnezyum Elementinin Etkileri*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Eroğlu, G., Şahiner, M., 2020. Dünyada ve Türkiye'de pomza. ***Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı***.1-32.

Ertuğ, B., Kumruoğlu, L. C., 2015. 5083 type Al-Mg and 6082 type Al-Mg-Si alloys for ship building. ***American Journal of Engineering Research,*** **4**:146-150.

Etemadi, R., Pillai, K. M., Rohatgi, P. K., Hamidi, S. A., 2015. On porosity formation in metal matrix composites made with dual-scale fiber reinforcements using pressure infiltration process. ***Metallurgical and Materials Transactions A,*** **46** (5): 2119-2133.

Fathy, A., Omyma, E. K., Mohammed, M. M., 2015. Effect of iron addition on microstructure, mechanical and magnetic properties of Al-matrix composite produced by powder metallurgy route. ***Transactions of Nonferrous Metals Society of China,*** **25** (1):46-53.

Fatile, O. B., Akinruli, J. I., Amori A. A., 2014. Microstructure and mechanical behaviour of stir-cast Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composite reinforced with corn cob ash and silicon carbide. ***Internatıonal Journal of Engineering and Technology Innovation,*** **4** (4):251–259.

Fedorov, P. P., Samoylov, A. M., 2019. Ancient Roman technology of aluminum production: Process reconstruction. ***Fine Chemical Technologies,*** **14** (6): 31-38.

Fenton, G., 1996***. Development of Numerical Tools to Model Plasticity in Aluminum due to Electromagnetic Forces***. The Ohio State University, America. 1-2001.

Froyen, L., Verlinden, B., 1994. ***Aluminium Matrix Composites Materials***, Talat Lecture 1402, European Aluminium Association, Belgium. 28.

Gallo, R., 2010. ***Circumstances of th Automotive ındustry ımpacton Aluminium foundries.*** Proceedings, American Foundry Society, Schaumburg, Il USA. 1-17.

Garg, P., Gupta, P., Kumar, D., Parkash, O., 2016. Structural and mechanical properties of graphene reinforced aluminum matrix composites. ***Journal of Materials Environmental Science,*** **7**(5):1461-1473.

German, R. M., 1989. **Powder Metallurgy Science.** ***MPIF,*** **360**:203-335.

Ghomashchi, M. R., Vikhrov, A., 2000. Squeeze casting: an overview, ***Journal of Materials Processing Technology***, **101**:1-9.

Gökçe, A., Fındık, F., Kurt, A., 2017. Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri. ***Mühendis ve Makine,*** **58**:21-47.

Green, H. E., 1973. Aluminium in the electrical industry. ***Electronics and Power***, **19** (19): 473-475.

Gruzleski, J. E., Closset, B. M., 1990. ***The treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys***. The American Foundrymen's Society. Inc. Des Plaines, Illinois, USA, 19.

Guobin, L., Jibing, S., Quanmei, G.,Yuhui, W., 2005. Interfacial reactions in glass/Al–Mg composite fabricated by powder metallurgy process. ***Journal of Materials ProcessingTechnology,*** **161** (3):445-448.

Gündüz, L., Rota, A., Hüseyin, A., 2001.Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. ***Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu***. 18-19 Ekim 2001, İzmir. 175-188.

Güven, O., 2005. ***Alüminyum Silisyum Magnezyum Döküm Alaşımlarının Yapı İncelemesi*** (yüksek lisans tezi, basılmış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Haque, H., Ahmed, R., Khan, M., Shahriar, S., 2016. Fabrication, Reinforcement and Characterization of Metal Matrix Composites (MMCs) using Rice Husk Ash and Aluminium Alloy (A-356.2). ***Internatıonal Journal of Scientific and Engineering Research***, **7** (3):28–35.

Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M. S. J., 1999. Metal matrix composites: production by the stir casting method. ***Journal of materials processing technology,*** **92**: 1-7.

He, N., Zhang, J., Jin, Y., Han, F., Zhang, X., Chen, G., 2019. Preparation, microstructures and mechanical properties of in-situ TiB2/Al composites by mechanical stirring and subsequent ultrasonic treatment. ***Materials Research Express***, **6** (11):116553.

Hirsch, J., 2011. Aluminium in innovative light-weight car design. ***Materials Transactions,*** **52** (5), 818-824.

Hu, Z.,Wan, L., Wu, S., Wu, H., Liu, X., 2013. Microstructure and mechanical properties of high strength die-casting Al–Mg–Si–Mn alloy. ***Materials & Design,*** **46**:451-456.

Işık, S. B., 2021. ***Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımlı Otomobil Jant Üretiminin Modellenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Gençalp İrizalp, S., Aksoy, U., Ersenbil, E., Saklakoölu, N., 2011. A360 alüminyum alaşımına Mg ilavesinin malzeme yapısındaki sertlik dağılımına etkisinin incelenmesi. ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi,*** **2** (2):87-93.

Jayalakshmi, S., Sahu, S., Sankaranarayanan, S., Gupta, S., Gupta, M., 2014. Development of novel Mg–Ni60Nb40 amorphous particle reinforced composites with enhanced hardness and compressive response. ***Materials & Design***, **53**:849-855.

Jawalkar, C. S., Verma, A. S., Suri, N. M., 2017. Fabrication of aluminium metal matrix composites with particulate reinforcement: a review**.** ***Materials Today: Proceedings,*** **4** (2):2927-2936.

Joseph, O. O., Babaremu, K. O., 2019. Agricultural waste as a reinforcement particulate for aluminum metal matrix composite (AMMCs): A review. ***Fibers,*** **7** (4):1-33.

Kamrani, S., Riedel, R., Reihani, S., Kleebe, H., 2010. Effect of reinforcement volume fraction on the mechanical properties of Al-SiC nanocomposites produced by mechanical alloying and consolidation. ***Journal of Composite Materials,*** **44** (3):313–326.

Kang, C., Y., Chan, S., 2004. Tensile properties of nanometric Al_2O_3 particulate-reinforced aluminum matrix composites. ***Materials Chemistry and Physics,*** **85**:438-443.

Kaufman, J. G., 2000. ***Introduction to aluminum alloys and tempers***. ASM international, America. 257.

Kaufman, J. G., Rooy, E. L., 2004. ***Aluminum alloy castings. Properties, Processes and Applications.*** ASM International. America. 325.

Kelen, F., 2014. Motorlu Taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü dergisi,*** **19** (1-2):80-87.

Kerti, I. Ç., 1998. ***Gaz Enjeksiyon ve Elementel Karbon İlavesi Yöntemleri ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi*** (doktora tezi, basılmış), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kikani, P., Thakkar, H. R., 2017. Study of cracking susceptibility in Al alloys welds**.** **In** ***2nd International Conference on emerging Trends in Mechanical Engineering.*** 24-25 February 2017, Indıa. 50-55.

Kim, H. S., 2002. New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorption and weight efficiency. ***Thin-Walled Structures***, **40** (4): 311-327.

Knacke, O., 1991. ***Thermochemical Properties of Inorganic Substances.*** Springer-Verlag, Berlin. 30–223.

Ko, S. Y., Kim, B. Y., Kim, Y. I., Kim, T. Y., Kim, K. T., McKay, B. J., Shin, J. S., 2013. Manufacture of CNTs-Al powder precursors for casting of CNTs-Al matrix composites. ***In Materials Science Forum***, **765**: 353-357.

Komjaty, A., Muncut, E. S., Erdodi, G. M., 2019. Flexıble Robotıc Lıne For The Processıng Of Car Rıms And Product Improvement Usıng Fınıte Element Sımulatıon. ***Revista de Tehnologii Neconventionale,*** **23** (4): 62-66.

Kopelıovıch, D., 2007. Materials Engineering, ***www.substech.com***, Substances & Technologies, Erişim tarihi:10.05.2022.

Korucu, S., Soy, G., 2019. Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Tungsten Karbür ve Grafen Takviyelerinin Mekanik Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma, ***Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi,*** **7**: 1466-1487.

Kosedag, E., 2017. ***Pomza Takviyeli Magnezyum Matrisli Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu*** **(** yüksek lisans tezi, basılmış), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Kubaş, A., Saral, M., 2017. Alüminyum Sektör Analizi. ***Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi***, **3**:82-87.

Kumar, K. A., Natarajan, S., Duraiselvam, M., Ramachandra, S., 2019. Synthesis characterization and mechanical behavior of Al 3003 - TiO 2 surface composites through friction stir processing. ***Materials and Manufacturing Processes,*** **34** (2):183-191.

Kuo, Y., 2010. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. ***Computers & Industrial Engineering,*** **59** (1): 157-165.

Lloyd, D. J., 1994. Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites. ***International Materials Reviews***, **39** (1):1-23.

Madakson, P. B., Yawas, D. S., Apasi, A., 2012. Characterization of coconut shell ash for potential utilization in metal matrix composites for automotive applications. ***Internatıonal Journal of Engineering Science and Technology***, **4** (3):1190–1198.

Makhlouf, M. M., Guthy, H. V., 2001. The aluminum–silicon eutectic reaction: mechanisms and crystallography. ***Journal of light metals,*** **1** (4):199-218.

Marsh, K., Bugusu, B., 2007. Food Packaging – Roles, Materials, and Environmental Issues. ***Journal of Food Science***, **72** (3): 39-55.

Matthews, F. L., Rawlings, R. D., 1999. ***Composite materials: engineering and science.*** Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK. Cambridge. England. 339.

Mazahery, A., Ostadshabani., M., 2011. Investigation on mechanical properties of Nano- Al_2O_3-reinforced aluminum matrix composites. ***Journal of Composite Materials***, **45** (24): 2579–2586.

Mazahery, A., Shabani, M. O., Salahi, E., Rahimipour, M. R., Tofigh, A.A., Razavi, M., 2012. Hardness and tensile strength study on Al356–B4C composites. ***Materials Science and Technology,*** **28** (5):634–638.

McLeod, A. D., Gabryel, C. M., 1992. Kinetics of the growth of spinel, $MgAl_2O_4$, on alumina particulate in aluminum alloys containing magnesium. ***Metallurgical Transactions A,*** **23** (4):1279-1283.

Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A., De Smet, P., Haszler, A., Vieregge, A. J. M. S., 2000. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. ***Materials Science and Engineering: A***, **280** (1): 37-49.

Modaresi, R., 2015. ***Dynamics of aluminum use in the global passenger car system: challenges and solutions of recycling and material substitution*** (Doctoral dissertation, Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden)). Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Science, Norwegian.

Muni, R. N., Singh, J., Kumar, V., Sharma, S., 2019. Influence of rice husk ash, Cu, Mg on the mechanical behaviour of Aluminium Matrix hybrid composites. ***International Journal of Applied Engineering Research***, **14** (8):1828-1834.

Musfırah, A. H., Jaharah, A. G., 2012. Magnesium and Aluminum Alloys in Automotive Industry. ***Journal of Applied Sciences Research***, **8** (9): 4865-4875.

Nadiradze, A., Baratashvili, I., Pulariani, I., Ukleba, K., 2009. Thermodynamic probability of realization of the process of silicon dioxide reduction by magnesium at high temperatures. ***Bulletin Of The Georgıan Natıonal Academy Of Sciences,*** **3**(2):95-99.

Nas, E., Gökkaya, H., Sur, G., 2013. Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme. ***Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi,*** **3** (2): 56-65.

Natrayan, L., Sivaprakash, V., Santhosh, M. S., 2018. Mechanical, Microstructure and wear behavior of the material AA6061 reinforced SiC with different leaf ashesusing advanced stir casting method. ***Internatıonal Journal of Engineering and Technology,*** **8**:366–371.

Nayeb-Hashemi, A. A., Clark, J. B., 1984. The Mg-Si (magnesium-silicon) system. ***Bulletin of Alloy Phase Diagrams***, **5** (6): 584-592.

Nishida, Y., 2001. ***Introduction to Metal Matrix Composites***, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Nagoya, Japan. 202.

Niu, X. P., Hu, B. H., Pinwill, I., Li, H., 2000. Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys. ***Journal of Materials Processing Technology,*** **105** (1-2): 119-127.

Norman, A. F., Hyde, K., Costello, F., Thompson, S., Birley, S., Prangnell, P. B., 2003. Examination of the effect of Sc on 2000 and 7000 series aluminium alloy castings: for improvements in fusion welding. ***Materials Science and Engineering***, **354** (1-2): 188-198.

Olhan, S., Khatkar, V., Behera, B. K., 2021. Textile-based natural fibre-reinforced polymeric composites in automotive lightweighting. ***Journal of Materials Science,*** **56 (**34): 18867-18910.

Omrani, E., Moghadam, A. D., Menezes, P. L., Rohatgi, P. K., 2016. Influences of graphite reinforcement on the tribological properties of self-lubricating aluminum matrix composites for green tribology, sustainability, and energy efficiency—a review. ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, **83** (1):325-346.

Özün, S., Sivrikaya, O., 2018. Endüstriyel Hammadde Olarak Pomza: Önemi, Özellikleri ve Kullanım Alanları. ***International Mediterranean Science and Engineering Congress.*** 24-26 Ekim 2018. Adana.1471-1476.

Palta, A., 2009. ***Yerinde Oluşturulmuş Magnezyum S_L_S_T Partikül Takviyeli Alüminyum-Magnezyum-Silisyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Ve Korozyon Davranışlarına Titanyum Ve Bakırın Etkisinin incelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Parveen, A., Chauhan, N. R., Suhaib, M., 2019. Mechanical and tribological behaviour of Al-ZrO 2 composites: a review. ***Advances in engineering design,*** 217-229.

Parveez, B., Maleque, M. A., Jamal, N. A., 2021. Influence of agro-based reinforcements on the properties of aluminum matrix composites: a systematic review. ***Journal of Materials Science,*** **56** (29): 16195-16222.

Peng, H. X., Fan, Z., Mudher, D. S., Evans, J. R. G., 2002. Microstructures and mechanical properties of engineered short fibre reinforced aluminium matrix composites. ***Materials Science and Engineering A,*** **335**: 207–216.

Prasad, S. V., Asthana, R., 2004. Aluminum metal-matrix composites for automotive applicatpions: tribological considerations. ***Tribology Letters***, **17** (3):445–453.

Prashantha, Kumar, H. G., Anthony, Xavior, M., 2017. Effect of graphene addition and tribological performance of Al 6061/graphene flake composite. ***Tribology - Materials Surfaces Interfaces,*** **11** (2):88–97.

Pul, M., 2019. Farklı Yöntemler ile Üretilen MgO Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Mekanik Davranışların Karşılaştırılması. ***Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** **34** (2):255-265.

Ramachandra, M., Dilip, M.G., Rashmi, R.., 2016. Evaluation of Corrosion Proeprty Od Aluminium Zirconium Dioxide (AlZrO2) Nanocomposites. ***Internatıonal Journal of Materials and Metallurgical Engineering,*** **10** (10):1321–1326.

Robani, R., Chan, C. M., 2009. Reusing soft soils with cement-palm oil clinker (POC) stabilisation. ***In Internatıonal Conference on Engineering Education in the 21st Century,*** **2009**:1–4.

Robie, R. A., Waldbaum, D. R., 1968. ***Thermodynamic Properties of Miner als and Related Substances at 298.15 K (25.0 C) and One Atmosphere (1.013 bars) Pressure and at Higher Temperatures.*** USGS Bulletin, DC: United States Government Printing Office**,** Washington. 1259.

Roth, R., Clark, J., Kelkar, A., 2001. Automobile bodies: can aluminum be an economical alternative to steel?. ***Jom,*** **53** (8):8-32.

Samal, P., Mandava, R. K., Vundavilli, P. R., 2020. Dry sliding wear behavior of Al 6082 metal matrix composites reinforced withred mud particles. ***SN Applied Sciences,*** **2** (2): 1-11.

Samal, P., Vundavilli, P. R., Meher, A., Mahapatra, M. M., 2019. Influence of TiC on dry sliding wear and mechanical properties of in situ synthesized AA5052 metal matrix composites. ***Journal of Composite Materials, 53*** (28-30):4323-4336.

Samal, P., Vundavilli, P. R., Meher, A., Mahapatra, M. M., 2020. Recent progress in aluminum metal matrix composites: A review on processing, mechanical and wear properties. ***Journal of Manufacturing Processes***, **59:**131-152.

Sandıkoğlu, A., 2021. ***Alüminyum matrisli ikincil faz ve seramik partikül takviyeli kompozit malzemenin üretimi ve karekterizasyonu*** (yüksek lisans tezi, basılmış), Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Seth, P., P., Parkash, O., Kumar, D., 2020. Structure and mechanical behavior of in situ developed Mg_2Si phase in magnesium and aluminum alloys – a review. ***Royal Socıet Of Chemistry,*** **10** (61): 37327–37345.

Schropp, S. J., Graham Lewis, F., Windom, H. L., Ryan, J. D., Calder, F. D., Burney, L. C., 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. ***Estuaries,*** **13** (3): 227-235.

Shi, Z., Ochiai, S., Gu, M., Hojo, M., Lee, J. C., 2002. The formation and thermostability of MgO and $MgAl_2O_4$ nanoparticles in oxidized SiC particle-reinforced Al-Mg composites. ***Applied Physics A,*** **74** (1): 97-104.

Shriwas, A. K., Kale, V. C., 2016. Impact of aluminum alloys and microstructures on engineering propertiesreview. ***IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering,*** **13** (3): 16-22.

Siegrist, M., 1997. "***Aluminum Extrusions for Shipbuilding***", Proceedings of Alumitech 97, Atlanta, 20-23 May, 1997. 367.

Singh, B. N., Edwards, D. J., Toft, P., 1996. Effects of neutron irradiation on mechanical properties and microstructures of dispersion and precipitation hardened copper alloys. ***Journal of nuclear materials,*** **238 (**2-3):244-259.

Soy, U., 2009. ***SiC/B4C Takviyeli Metal Matriks Kompozit Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.*** (doktora tezi, basılmış). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Srivyas, P. D., Charoo, M. S., 2019. Application of hybrid aluminum matrix composite in automotive industry. ***Materials Today: Proceedings,*** **18**: 3189-3200.

Stadler, F., Antrekowitsch, H., Fragner, W., Kaufmann, H., Uggowitzer, P. J., 2012. Effect of main alloying elements on strength of Al–Si foundry alloys at elevated temperatures. ***International Journal of Cast Metals Research***, **25** (4): 215-224.

Subramaniam, B., Natarajan, B., Kaliyaperumal, B., Chelladurai, S. J. S., 2018. Investigation on mechanical properties of aluminium 7075-boron carbide-coconut shell fly ash reinforced hybrid metal matrix composites. ***China Foundry,*** **15** (6): 449-456.

Sun, X. G., Han, X. H., Dong, C. F., Li, X. G., 2021. Applications of aluminum alloys in rail transportation. ***Advanced Aluminum Composites and Alloys,*** **9**: 251-268.

Surappa, M. K., 2003. Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities. **Sadhana, 28** (1):319-334.

Tjong, S. C., Ma, Z. Y., 2000. Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites. ***Materials Science and Engineering: R: Reports,*** **29** (3-4), 49-113.

Torralba, J. M., Costa, C. E., Velasco, F., 2003. P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview, ***Journal of Metarials Processing Technology,*** **133**: 203-206.

Tuncer, G., Özkan, Ş. G., 2001. Pomza madenciliğine genel bir bakış. ***Mühendislik Bilimleri Dergisi,*** **7** (2): 269-276.

Ulutaş, A., 2014. ***Bor Takviyeli Bakır Kompozitinin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi Ve Mekanik-Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*** **(**doktora tezi, basılmış) Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Usman, A. M., Raji, A., Waziri, N., Hassan, M. A., 2014. Aluminium alloy - rice husk ash composites production and analysis. ***Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies,*** **25**:84–98.

Williams, J. C., Starke, E. A., 2003. Progress in structural materials for aerospace systems. ***Acta materialia,*** **51** (19): 5775-5799.

Xiangzhen, Z., Yang, H., Dong, X., Ji, S., 2019. The effects of varying Mg and Si levels on the microstructural inhomogeneity and eutectic Mg_2Si morphology in die-cast Al–Mg–Si alloys. ***Journal of Materials Science,*** **54** (7):5773-5787.

Yang, J., Shi, Y., Shen, Q., Yan, C., 2009. Selective laser sintering of HIPS and investment casting technology. ***Journal of Materials Processing Technology,*** **209** (4):1901-1908.

Ye, D. R., Hu, J. H., 2002. ***Handbook of Thermodynamics Data for Inorganic Substance, Metallurgy Industry Press***. Metallurgical Industry Press Beijing. 27–929.

Yıldırım, H., 2006. ***Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründeki Uygulamaları*** (yüksek lisans tezi, basılmış). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldız, E., 2019. ***Sıkıştırma Döküm Yönteminin AlSi5Mg Alaşımının Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*** (yüksek lisans tezi, basılmış). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Yurdakul, M., Özbay, O., İç, Y., 2002. Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi. ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,*** **17** (2):1-23.

Zainudin, N. F., Lee, K. T., Kamaruddin, A. H., Bhatia, S., Mohamed, A. R., 2005. Study of adsorbent prepared from oil palm ash (OPA) for flue gas desulfurization. ***Separation and Purification Technology,*** **45** (1):50–60.

Zhang, C., Zhu, H., Qi, Y. Z. X., 2019. The Effect of Annealing on Microstructure and Mechanical Properties of Selective Laser Melting AlSi10Mg. ***Materials Science and Engineering,*** **538**:1-5.

Zhao, Y., G., Qin, Q., D., Zhao, Y., Q, Liang, Y. H., Jian, Q. C., 2004. In situ Mg_2Si/Al–Si composite modified by K_2TiF_6. ***Materials Letters***, **325**: 2192-2194**.**

Zhou, B., Liu, B., Zhang, S., 2021. The advancement of 7xxx series aluminum alloys for aircraft structures: A review. ***Metals,*** **11** (5):1-11.

Zhu, B., Zanella, C., 2019. Hardness and corrosion behaviour of anodised Al-Si produced by rheocasting. ***Materials & Design,*** **173:** 107764.

Zhu, H., Dong, K., Huang, j., Li, J., Wang, G., Xie, Z., 2014. Reaction mechanism and mechanical properties of an aluminum based composite fabricated in-situ from Al-SiO_2 system. ***Materials Chemistry and Physics,*** **145** (3):334-341.

Zhu, H., Guo, G., Cui, T., Huang, J., Li, j., Xie, Z., 2015. Influences of carbon additions on reaction mechanisms and tensile properties of Al-based composites synthesized *in-situ* by Al–SiO_2 powder system, ***Materials Science and Engineering,*** **623**:78-82.

Zhu, X., Yang, H., Dong, X., Ji, S., 2018. The effects of varying Mg and Si levels on the microstructural inhomogeneity and eutectic Mg_2Si morphology in die-cast Al–Mg–Si alloys, ***Journal of Materials Science,*** **54**: 5773–5787.

Zuo, W., Ma, L., Lu, Y., Li, S. Y., Ji, Z., Ding, M., 2018. Effects of solution treatment temperatures on microstructure and mechanical properties of TIG–MIG hybrid arc additive manufactured 5356 aluminum alloy. ***Metals and Materials International***, **24** (6):1346-1358.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. Lisans eğitimini Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek lisans öğrenimine başladı.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 09/01/2023

Tez Başlığı / Konusu:

ALÜMİNYUM/POMZA KOMPOZİTLERİNE MAGNEZYUM İLAVESİNİN ETKİSİ

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerindenen oluşan toplam 100 sayfalık kısmına ilişkin, 09/01/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %13 (on üç)'dür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

09.01.2023

Adı Soyadı: Gülsüm ANARAN

Öğrenci No: 19910001133

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Konstrüksiyon ve imalat

Statüsü: Y. Lisans ☐ Doktora ☐

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Tarık AYDOĞMUŞ

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR