

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**VAKUM İNFİLTASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PİRİNÇ ÇELTİĞİ
KÜLÜ VE ALÜMİNA TAKVİYELİ AA 7075 HİBRİT KOMPOZİTLERİN
MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

OSMAN DURAN

EYLÜL 2019

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında Osman DURAN tarafından hazırlanan VAKUM İNFİLTASYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PİRİNÇ ÇELTİĞİ VE ALÜMİNA TAKVİYELİ AA7075 HİBRİT KOMPOZİTLERİN MİKROYAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ayşegül Ülkü METİN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Dr.Öğr. Üyesi Hanifi ÇİNİCİ

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Recep ÇALIN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zühtü Onur PEHLİVANLI

24/09/2019

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Vakum İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Pirinç Çeltiği Külü ve Alümina Takviyeli AA 7075 Hibrit Kompozitlerin Mikroyapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

DURAN, Osman

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Eylül 2019

Bu çalışmada; vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen pirinç çeltiği külü (RHA) ve alümina (Al_2O_3) takviyeli AA7075 hibrit kompozitlerin, mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Mikroyapısal ve mekanik incelemelerin yapılabilmesi amacıyla RHA ilavesi edilmeden, farklı oranlarda olmak üzere RHA ve Al_2O_3 takviyeli AA7075 metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilmiş olan numuneler 8 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem öncesi ve yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin Vickers sertlik ölçme yöntemiyle, sertlik değerleri ölçülmüştür. Yoğunluk ve porozite, aşınma deneyleri yapılmış, SEM ve EDS incelemeleri yapılarak, numunelerin mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Isıl işlem öncesi ve 8 saat ısıl işlem görmüş olan numunelerin mikroyapısal ve mekanik özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. 8 saat yaşlandırma işlemi sonucunda gözeneklilik oranının azaldığı görülmüştür. RHA takviye elemanının olduğu bölgelerde ıslatmanın zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Belli orana kadar ısıl işlem öncesi sertlik artışı gözlenirken, 8 saat ısıl işlem görmüş numunelerde sertlik artışının olduğu görülmüştür. Takviye oranının

arttıkça, aşınma oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Mikroyapısal incelemelerde, RHA'nın yapısında bulunan Si ve O elementlerinin matris içine difüze olduğu belirlenmiştir.



Anahtar Kelimeler: AA7075, matris, kompozit, infiltrasyon, RHA, alümina.

ABSTRACT

Investigation of Microstructural and Mechanical Properties of Hybrid Brass Ashes and Alumina Reinforced AA 7075 Hybrid Composites Produced by Vacuum Infiltration

DURAN, Osman

Kırıkkale University

Graduate Scholl Of Natural And Applied Sciences

Department of Defense Technologies, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Recep ÇALIN

September 2019

In this study; the microstructural and mechanical properties of AA 7075 hybrid composites reinforced with rice husk ash (RHA) and alumina (Al_2O_3) produced by vacuum infiltration method were investigated. To make microstructural and mechanical investigations, RHA and Al_2O_3 reinforced AA 7075 metal matrix composite materials were produced without adding RHA. The mixtures in certain proportions were placed in steel tubes. The samples were aged for 8 hours. Vickers hardness tests were performed before the heat treatment and the hardened values were measured. Density and porosity, abrasion tests were performed and SEM and EDS analyses were performed and the microstructural properties of the samples were examined. The microstructural and mechanical properties of the samples which were heat-treated for 8 hours before the heat treatment were compared. After 8 hours of aging, the porosity rate decreased. Wetting was observed in areas with the RHA reinforcing element. Stiffness increase was observed before the heat treatment up to a certain extent, but the hardness increase was observed for 8 hours heat-treated samples. As the reinforcement rate increased, the wear

rate decreased. In the microstructural studies, it was determined that the Si and O elements in the structure of RHA were diffused into the matrix.



Keywords: AA 7075, matrix, composite, infiltration, RHA, alumina.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında bilgi ve deneyimleriyle bana yön veren, tez çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, çalışma süresince gerektiğinde kendi kişisel zamanlarından feragat ederek tezimin tamamlanmasını sağlayan, her dönem öğrencisi olmaktan büyük gurur duyduğum, tez danışmanım, saygıdeğer hocam sayın Prof. Dr. Recep ÇALIN'a teşekkürü bir borç bilir, saygılar sunarım. RHA temininde destek veren Malezya Putra Üniversitesi öğretim üyesi Assoc. Prof. Dr. Azmah Hanim Binti Mohamed ARIFF' e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın her safhasında yanımda olan ve çalışmalarım boyunca her zaman desteklerini gördüğüm Arş. Gör. Naci Arda TANIŞ'a ve Arş. Gör. Onur OKUR'a tez çalışmasına yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamın gerek ders döneminde gerekse tez çalışması döneminde her zaman yanımda olan ve çalışmalar sırasında her zaman bana moral veren ve motivasyonumu yüksek tutan eşim Dilek DURAN, kızım Fatma Mine DURAN ve oğlum Taha Atakan DURAN'a katkılarından dolayı teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1. Kompozitler	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	4
2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	5
2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması	8
2.4.1. Takviye Elemanına Göre Matrisler	8
2.4.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler	8
2.4.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler	9
2.4.1.3. Tabakalı Kompozitler	9
2.4.1.4. Karma (Hibrit) Kompozitler	10
2.4.2. Matris malzemesine göre kompozitler;	11
2.4.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler	11

2.4.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler	12
2.4.2.3. Metal Matrisli Kompozitler	14
2.5. MMK'ların Kullanım Alanları	15
2.6. MMK'larda Matris Elemanları ve Özellikleri	16
2.6.1. Alüminyum.....	16
2.6.2. Alüminyum Matris Alaşımları	17
2.6.3. Alüminyum MMK Malzemelerde Kullanılan Alaşım Elemanları.....	18
2.6.3.1. Magnezyum ve Alaşımları.....	19
2.6.3.2. Titanyum ve Alaşımları	19
2.7. 7075 Alüminyum Alaşımı	19
2.7.1. 7075 Alüminyum Alaşımının Uygulama Alanları	21
2.8. MMK'larda Takviye Elemanları ve Özellikleri	22
2.8.1. Alümina (Al ₂ O ₃).....	26
2.8.1.1. Alümina Özellikleri	26
2.8.1.2. Alüminanın Kullanım Alanları	26
2.8.1.3. Alümina Mineralleri	27
2.9. Pirinç Külü.....	28
2.9.1. Pirinç	28
2.9.2. Pirinç Kabuğu.....	29
2.9.2.1. Pirinç Kabuğu Kimyasal Bileşimi	30
2.9.2.2. Pirinç Kabuğunun Kullanım Alanları	33
2.9.2.3. Pirinç Kabuğu Külü (RHA).....	34
3. MMK'LARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	38
3.1. Difüzyonla Bağlama Yöntemi	39

3.2. Toz Metalürjisi.....	40
3.3. Sıcak Haddeleme	41
3.4. İnfiltrasyon Yöntemi.....	41
3.4.1. Vakum İnfiltrasyon	41
3.4.2. Basıncılı İnfiltrasyon	42
3.4.3. Basıncısız İnfiltrasyon.....	44
3.5. İnfiltrasyon Yöntemini Etkileyen Faktörler	45
3.5.1. Takviye Tane Boyutu	45
3.5.2. İnfiltrasyon Süresi	46
3.5.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı	46
3.5.4. Takviye-Hacim Oranı (T-H)	46
3.5.5. İnfiltrasyon Basıncı	48
3.5.6. Alaşım	49
3.5.7. Islatma	49
4. MATERYAL YÖNTEM	50
4.1. Kullanılan Malzemeler	50
4.1.1. Alüminyum 7075.....	50
4.1.2. Alümina.....	50
4.1.3. Pirinç Kabuğu Külü (RHA)	51
4.2. Deneysel Çalışmalar	51
4.2.1. Kurutma.....	51
4.2.2. Karışım	52
4.2.3. Metal Tüplere Doldurulması	52
4.2.4. Vakum İnfiltrasyon Düzeneği	53

4.2.5. Alüminyum Matrisin Ergitilmesi	54
4.2.6. İnfiltrasyon İşlemi	55
4.3.Kompozitlere Uygulanan Testler.....	55
4.3.1. Numunelerin Hazırlanması	56
4.3.2. Sertlik	57
4.3.3. Aşınma	57
4.3.4.Yoğunluk ve Gözeneklilik	58
4.3.5.Optik Mikroskobik İncelemeler	59
4.3.6. Elektron Mikroskobu ve EDS Analizi	59
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
5.1.Yoğunluk ve Porozite	60
5.2. SEM ve EDS Analizleri.....	61
5.3. Sertlik.....	74
5.4. Aşınma Testi.....	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKÇA	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3

SiC

SiO_2

B_4C

Açıklama

Alüminyum oksit

Silisyum karbür

Silisyumdioksit

Bor karbür

Kısaltmalar

MMK

RHA

T-H

TM

Açıklama

Metal Matrisli Kompozitler

Pirinç Kabuğu Külü

Takviye Hacim Oranı

Toz Metalürjisi

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	Sayfa
Çizelge 2. 1. Saf alüminyumun temel özellikleri	16
Çizelge 2. 2. Alüminyum MMK'lerde kullanılan matris alaşımları	17
Çizelge 2. 3. Al ₂ O ₃ ve SiC takviye partiküllerinin özellikleri	18
Çizelge 2. 4. 7075 Alüminyum alaşımının bazı fiziksel özellikleri	20
Çizelge 2. 5. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri	20
Çizelge 2. 6. 7075 alüminyum alaşımının T6 yapay yaşlandırma ısıl işlem şartları	21
Çizelge 2. 7. MMK'lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri	23
Çizelge 2. 8: MMK'larda kullanılan takviye malzemelerinin geometrileri	25
Çizelge 2. 9. Alüminyum Mineralleri	27
Çizelge 2. 10. Pirinç kabuğu bileşenleri	30
Çizelge 2. 11. 600°C' de 3 saat yakılan pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri	35
Çizelge 4. 1. Alüminyum 7075 alaşımının kimyasal özellikleri	50
Çizelge 4. 2. Alümina (Al ₂ O ₃) elemanın fiziksel özellikleri	51
Çizelge 4. 3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri.	51
Çizelge 5. 1: Vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerin gerçek yoğunlukları.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
Şekil 2. 1. Kısa fiber (a), uzun fiber (b) ve örgü fiber (c) takviyeli kompozit örnekleri..9	
Şekil 2. 2. Parçacık takviyeli kompozitin bünyesinde oluşan ara yüzey ve ara fazlara a) Doğrudan ara fazsız birleşme, b) Kaplanmış takviye kullanımı9	
Şekil 2. 3. Tabakalı kompozit malzeme 10	
Şekil 2. 4. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması 11	
Şekil 2. 5. Uzay mekiklerinde kullanılan seramik matrisli kompozit örnekleri 13	
Şekil 2. 6. Seramik matrisli kompozit malzeme görüntüsü 14	
Şekil 2. 7. Büyük uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımları 22	
Şekil 2. 8. Kübik ve hegzagonal SiC yapısı 24	
Şekil 2. 9. MMK takviye türleri sırasıyla kesintisiz uzun iplikçikler, sakalcıklar veya kısa iplikçikler, parçacıklar 25	
Şekil 2. 10. Pirinç kabuğunun doğal yetiştirme alanı 28	
Şekil 2. 11. Pirinç tanesi ve pirinç tanesi kabuğu kesiti 29	
Şekil 2. 12. Pirinç kabuğunun görüntüsü 30	
Şekil 2. 13. Pirinç çeltiği ekimi 31	
Şekil 2. 14. Pirinç Çeltiği 31	
Şekil 2. 15. Pirinç kabuğu kesitinin SEM görüntüsü 32	
Şekil 2. 16. Pirinç kabuğunun dış yüzeyinin SEM görüntüsü 32	
Şekil 2. 17. Pirinç tanelerini pirinç kabuğundan ayırımı 33	
Şekil 2. 18. Pirinç çeltiği kabuk yakma kazanları 34	
Şekil 2. 19. Pirinç çeltiği kabuğunun yakılması - yakın çekim 35	
Şekil 2. 20. Pirinç çeltiği kabuk yakma tesisi 36	

Şekil 2. 21. RHA'nın elektron mikroskobu ile alınan silis haritası	37
Şekil 2. 22. RHA'nın elektron mikroskobu ile görüntülenmesi	37
Şekil 3. 1. Difüzyonla bağlama yöntemi	39
Şekil 3. 2. Toz metalürjisi tekniğinin temel aşamaları	40
Şekil 3. 3. Vakum infiltrasyon yöntemi	42
Şekil 3. 4. Basınçlı İnfiltrasyon Tekniği	43
Şekil 3. 5. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi	44
Şekil 3. 6. Basınçsız İnfiltrasyon yöntemi	45
Şekil 3. 7. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler	47
Şekil 3. 8. Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı	49
Şekil 4. 1. RHA'nın kurutulduğu fırın	52
Şekil 4. 2. Vakum infiltrasyon deney düzeneği.	54
Şekil 4. 3. Vakum infiltrasyonun yapıldığı ergitme ocağı.....	55
Şekil 4. 4. Numunelerin zımparalanması	56
Şekil 4. 5. Vickers sertlik ölçme cihazı	57
Şekil 4. 6. Pin-on disk aşınma cihazı ve aşınma deneyi.....	58
Şekil 5. 1. Isıl İşlem Öncesi ve 8 saat yaşlandırılmış numunelerin gözeneklilik oranları...61	
Şekil 5. 2. Isıl işlem öncesi numunelerin SEM görüntüleri a) %0 RHA b) %0,5 RHA c) %1 RHA d) %1,5 RHA e) %2 RHA	64
Şekil 5. 3. a) RHA tanesinin SEM görüntüsü b) %2 RHA ve %5 Al ₂ O ₃ içeren numunenin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 5. 4. %1.5 RHA içeren numunenin EDS MAP analizi	66

Şekil 5. 5. %1 RHA içeren numunenin gözenekli bölgesinden alınan çizgisel EDS analizi	67
Şekil 5. 6. RHA tanelerinin TGA ve DTA analizleri	68
Şekil 5. 7. 8 saat yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri a) %0 RHA b) %0,5 RHA c) %1 RHA d)%1,5 RHA e) %2 RHA.....	71
Şekil 5. 8. %0 RHA ve %5 Al ₂ O ₃ takviye elemanı içeren numunenin SEM görüntüsü x5000	72
Şekil 5. 9. %0 RHA ve %5 Al ₂ O ₃ takviyesi içeren numunenin EDS analizi	73
Şekil 5. 10. Isıl işlem öncesi ve 8 saat yaşlandırılmış %0, %0,5, %1, %1,5, %2 RHA içeren numunelerin sertlik değerleri.....	74
Şekil 5. 11. Isıl İşlem görmemiş ve 8 saat yaşlandırılmış numunelerin aşınma sonuçları	76
Şekil 5. 12. 8 saat yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin aşınma testleri optik görüntüleri.a) %0 RHA, b) %0,5 RHA c) %1 RHA ve d) %1,5 RHA	77

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Endüstride meydana gelen hızlı gelişmeler, bu gelişmelere paralel olarak artan ucuz ve kaliteli malzeme ihtiyacı insanoğlunu bu alanda yeni arayışlara sevk etmektedir. Alışlagelmiş geleneksel malzemelere göre daha iyi kalitede, daha ekonomik ve daha ideal malzeme üretmek bilim insanlarının en önemli amacı olmuş ve bu alanda arayışlar içine girmişlerdir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra geleneksel malzemeler hızla gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayamamış, buna karşılık değişik özellikte ve kalitede malzemeler üretilme çalışmalarına gidilmiştir. Yeni ihtiyaçlar doğrultusunda üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretimi hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. Teknolojinin her alanında kompozit malzeme kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle havacılık, uzay, denizcilik ve otomotiv sektöründe hafif ve dayanıklı malzeme kullanma ihtiyacı, kompozit malzemelere gereksinimi daha da arttırmıştır. Dolayısıyla kompozit malzeme üretimi her geçen gün artmıştır.

Kompozit malzemelerin üretilmesinde bütün mühendislik malzemeleri kullanılmakla birlikte, her geçen gün de farklı takviye elemanları kullanılıp denenmektedir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde; sünek ve hafif olmalarından dolayı, alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımları en fazla kullanılan matris malzemeleridir. Metal matrisli kompozitler hem sıvı hal, hem de katı hal yöntemleri ile üretilmektedir. Katı, sıvı ve buhar fazından olmak üzere farklı üretim yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitler; toz metalürjisi, infiltrasyon, püskürtme döküm, karıştırmalı döküm yöntemleri kullanılır.

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak MgO, SiO₂, SiC, TiB₂, Al₂O₃ gibi seramikler ile C ve hibritler kullanılmaktadır. Uzay ve havacılık sanayi, elektrik malzemeleri, otomotiv sanayinde tercih edilen alüminyum matrisler; parçacık

takviyeli, sürekli fiber takviyeli, sürekli olmayan fiber takviyeli olarak güçlendirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Alüminyum özellikle düşük yoğunluğa sahip olmasının yanında, korozyon direnci, tokluk, yüksek mukavemet gibi özelliklerinden dolayı, özellikle savunma sanayinde öncelikle tercih edilmektedir. Kompozit malzemeyi oluşturacak takviye elemanı ile birlikte yüksek ergime sıcaklığı, termal kararlılık ve yüksek çekme dayanımı özelliklerini sağlar.

Haddelenen alüminyum alaşım grubunda yer alan 7075 alaşımı, dövülebilen bir malzemedir. 7075 alaşımı mekanik özelliklerinin yanı sıra diğer malzemelere nazaran çok hafif olmalarından dolayı; uzay mekiği, makine sanayi, uçaklarda tercih edilmektedir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gerek askeri, gerekse sivil uçaklarda gittikçe artan bir oranda kullanılmaktadır.

Çeltik üretiminin neticesinde, pirincin işlenmesi sırasında ortaya çıkan ve en önemli yan ürünlerden biri olan pirinç kabuğu, yüksek kül içeriği ile yaygın bir şekilde kullanılan lignoselülozik maddedir. Pirinç kabukları birçok ülkede endüstriyel olarak yakılmaktadır. Pirinç kabuklarının yakılması ile enerji sağlanmasının yanı sıra silis bakımından zengin ve endüstriyel açıdan kullanılan pirinç kabuğu külü de elde edilmektedir. Pirinç kabuğunun yakılması esnasında organik kısımlar yanmakta, fakat silisin kabukta var olan bitkisel hücrelerin zarında yoğunlaşmasından dolayı yapı kendini korumaktadır.

Pirinç kabuğu her ne kadar dolgu malzemesi, hayvan yemi olarak kullanılsa da, genellikle çeltik fabrikalarında yakılmak suretiyle değerlendirilmektedir. Pirinç kabuğunun yakılması sonucunda, yanmış olan pirinç kabuğu külü, yanma sıcaklığı ve yanma süresine bağlı olarak %60'ın üzerinde kristal veya amorf yapıda silis içermektedir.

Bu alışmada Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ile proje ortağı Malezya Putra niversitesi'nde üretilen pirinç kabağu külü ve alümina takviye malzemesi olarak kullanılarak AA7075 hibrit kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemiyle üretimi yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin sertlik, yoğunluk ve gözeneklilik, aşınma gibi özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapısal ve mekaniksel özellikleri incelenmiştir.



2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozitler

Kompozit malzeme birbirinin zayıf yönünü düzeltmek amacıyla iki ya da daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini bir araya getirip tek bir malzemede toplayarak, yeni bir formda oluşturulan malzemeye denir. Kompoziti oluşturan malzemeler, fiziksel özellikleri ayrı, mekaniksel olarak ayrılabilir malzemelerden teşekkül etmektedir. Kompozit malzemenin özelliği, kendisini meydana getiren malzemelerin özelliğinden farklıdır. Kompozit malzeme, takviye malzemesinin, matris malzeme içerisinde dağılmasıyla oluşur [1].

Kompozit malzemeler, bilinen malzemelerden elde edilemeyecek ama bilinen malzemeleri kullanarak kullanışlı, maksimum performansa sahip, göze hitap eden (estetik) ürün elde edilmesini sağlar. Buna örnek olarak, fiberglas diye bildiğimiz polyster esaslı reçinelerin cam elyaf takviyesi ile üretilen malzemelerdir [2].

Kompozitler; seramik, polimer ve metal malzemelerin farklı kombinasyonları kullanılarak oluşturulur ve bu malzemelerin kendi başlarına gösteremedikleri ve sahip olamadıkları özellikleri barındırmaktadırlar. Dolayısıyla kompozit malzemeler bu özelliklerinden dolayı; denizcilik, otomotiv, petrol, uzay sanayi, spor endüstrileri, havacılık gibi alanlarda kullanılarak, mühendislik alanında en önemli malzeme haline gelmiştir [3].

2.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin kullanıldığı alanlara bakıldığında;

- 1- Elektriksel izolasyon başta olmak üzere her türlü elektrik ve elektronik malzemelerin yapılmasında Elektronik ve Elektrik Sanayinde,

- 2- Otomobil kaportası parçaları, iç donanımları, motor parçaları, tamponlar ve oto lastik yapılmasında Otomotiv Sanayinde,
- 3- Masa, sandalye, saç kurutma makinesi, dikiş makinesi, televizyon kabini, dekoratif ev eşyaları gibi araçların yapılmasında Ev Aletleri Alanında,
- 4- Banklar, heykeller, elektrik direkleri gibi çevre güzelleştirme çalışmaları yapılmasında Şehircilik Alanında,
- 5- Tatil evleri, büfeler, cephe korumaları, soğuk hava depoları otobüs durakları gibi çalışmalarda İnşaat Sektöründe,
- 6- Sulama kanalları, borular, seralar, tahıl silolarının yapımında Tarım Sektöründe,
- 7- İş makinelerinin çalışma kabinleri ve iş makineleri kapaklarının yapımında İş Makineleri Alanında,
- 8- Uçak modelleri, planör gövdesi, helikopter parçaları, uzay araçları ve uçakların gövde ve iç dekorasyonu olmak üzere Havacılık Sanayinde,

Yoğun bir şekilde kompozit malzemelerden yararlanıldığı görülmektedir [2].

2.3. Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin özgül ağırlığının düşük olması, ağırlığın önemli olduğu birçok alanda kompozit malzemeyi ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca korozyon dayanımı, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da kompozitin kullanım alanları açısından oldukça önem kazanmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzemelerin birçok özelliğinin, metal malzemelere göre farklılık göstermesi sebebiyle, metal yapılara nazaran daha fazla önem kazanmışlardır [4].

Tüm bu özellikler sonucunda kompozit malzemelerin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır.

Kompozit Malzemelerin Avantajları

Yüksek Mukavemet: Yüksek mukavemet değerleri sağlayan malzemeler arasında en etkin olanlardan biri kompozit malzemelerdir. Birçok metalik malzemeye göre kompozit malzemelerin çekme, eğilme, darbe ve basınç dayanımı daha yüksektir. Kompozit malzemelere kalıplama özelliklerinden dolayı istenilen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Dolayısıyla, malzemedeki tasarruf yapılarak daha ucuz ve hafifi ürünler elde edilebildiği gibi, özel tasarım beklentilerine uygun mukavemet de sağlanmaktadır.

Hafiflik: Kompozitler hem metallere hem de takviyesiz plastiklere göre, birim alan ağırlığında daha yüksek mukavemet değerleri sunmaktadır. Kompozitler ürüne sağladığı yüksek mukavemet/ hafiflik özelliğinin etkin bir şekilde kullanılmasında en önemli nedenlerden biridir.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Kompozitler malzemeler korozyondan, hava etkilerinden ve kimyasal etkilerden zarar görmezler. Özellikle termoset polimer kompozit malzemeler bu özelliğinden dolayı, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları, kimyevi madde tanklarının yapımında güvenli bir şekilde kullanılmaktadır.

Tasarım Esnekliği: Kompozit malzemeler her türlü karmaşık, basit küçük, geniş, estetik, dekoratif, yapısal, fonksiyonel şekillere sokulabilirler. Bu özelliğinden dolayı maliyeti düşürmenin yanında, tasarımcılar prototip tasarım ürününden seri üretime geçme yönünde yeni fikir ve yaklaşımlar geliştirmektedir.

Düşük Araç-Gereç Maliyeti: Polimer kompozit malzeme üretimi için seçilen araç-gereçlerin maliyeti alüminyum, çelik ve metal alaşımlı malzemelere göre daha ucuzdur.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşan kompozit malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliğinden dolayı, kompozitler yüksek ısı altında kullanılabilirler [5].

İmalat Kolaylığı: Büyük hacimli kompozit malzeme üretiminde bağlantı ve yapışma yöntemleri ile tek seferde ürün elde edilebilmektedir. Bu ise, parça ve mekanik bağlayıcı sayısı azalmakta, ayrıca zamandan kazanma ve maliyetin azalması anlamı taşımaktadır [6].

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesi neticesinde çok üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir. Kompozit malzemeler büyük enerji nakil hatlarında iyi bir yalıtkan, başka bir yapıda da iyi bir iletken olarak kullanılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde, kompozit malzemeye istenilen renkler verilebilir. Bu işlem sırasında herhangi bir işçiliğe, dolayısıyla ek bir masrafa gerek kalmaz.

Titreşim Sönümlenme: Süneklik özelliğinden dolayı kompozit malzemelerde doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Malzemedeki çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiştir [7].

Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

1-)Kompozit malzeme üretimi sırasında oluşabilecek hava zerrecikleri yapının zayıflamasına neden olmaktadır.

2-)Aynı kompozit malzeme için basma, çekme, eğilme, kesme mukavemet değerleri farklılıklar göstermektedir.

3-)Kompozit malzemelerde hassas imalattan söz edilemez. Çünkü delik delme, kesme gibi işlemler liflerde açmaya neden olmaktadır.

4-)Kompozitler içerisinde polimer kompozitlerin maliyetinin düşük, diğer kompozitlerin maliyetinin yüksek olması.

5-)Kompozitlerin değişik doğrultularda, değişik mekanik özellikler göstermesi [5-6].

2.4. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozitler genellikle kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının şekline ve cinsine göre sınıflandırılır.

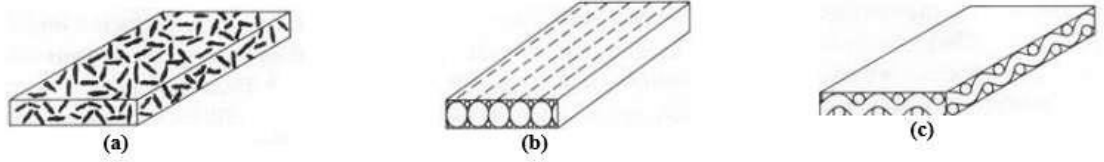
2.4.1. Takviye Elemana Göre Matrisler

Kompozit malzemeler bileşenindeki takviye elemanının geometrik şekil durumlarına göre;

- a) Fiber Takviyeli Kompozitler
- b) Parçacık Takviyeli Kompozitler
- c) Tabakalı Kompozitler
- d) Karma (Hibrit) Kompozitler olmak üzere dört gruba ayrılır.

2.4.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

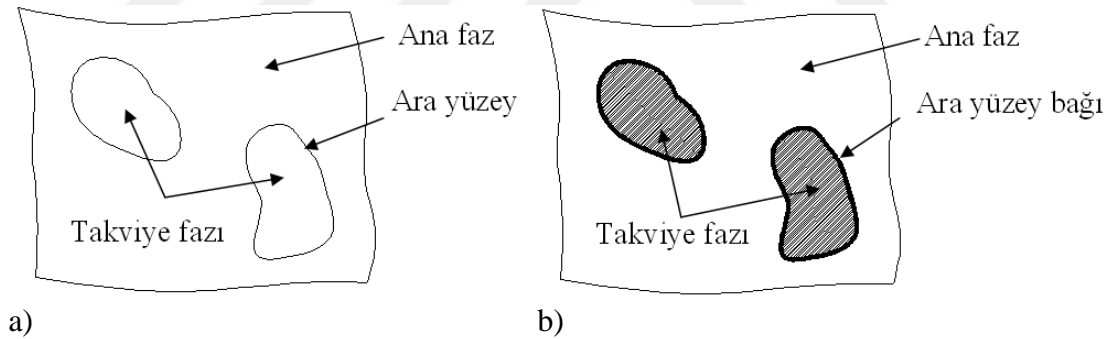
Takviye malzemesi fiber şeklinde olur ve uygun bir matris malzemesi ile bulunur. Kompozit malzemelerdeki elyafın liflerinin kısırlığı ve uzunluğu, elyaf liflerinin yerleşimleri ve doğrultuları kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu tür kompozit malzemelerin fiber doğrultusundaki mukavemetleri daha yüksektir. Kuvveti elyafın doğrultusunda taşımaya uygun olduğundan, malzeme istenilen yönde mukavemet sağlayacak şekilde üretilebilmektedir [8]. Şekil 2.1’de kısa, uzun ve örgü fiber takviyeli kompozit örnekleri görülmektedir.



Şekil 2. 1. Kısa fiber (a), uzun fiber (b) ve örgü fiber (c) takviyeli kompozit örnekleri [8]

2.4.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

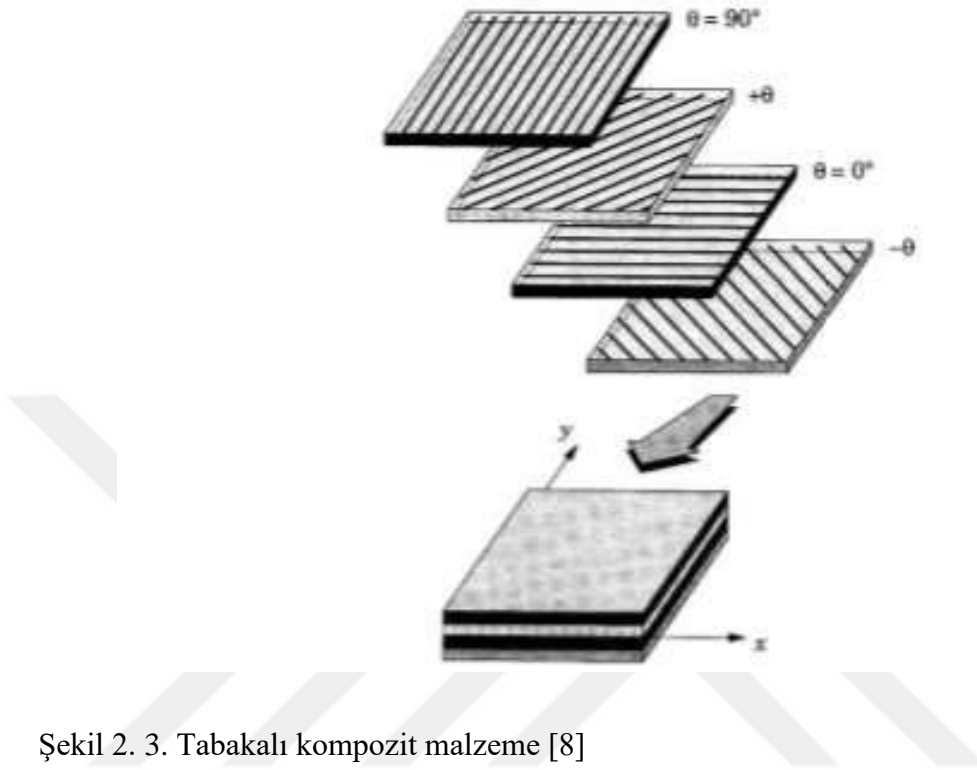
Takviye malzemesinin matris fazın içerisinde partiküller şeklinde dağıldığı kompozit malzemelerdir. İzotropik yapıdadırlar ve bütün yönlerde aynı malzeme davranışını gösterirler. Bu tip kompozitlerde, malzemenin sertliğini parçacıkların sertliği belirlemektedir. Şekil 2.2’de parçacık takviyeli kompozitin bünyesinde oluşan ara yüzey ve ara fazlar görülmektedir.



Şekil2.2.Parçacık takviyeli kompozitin bünyesinde oluşan ara yüzey ve ara fazlar a) Doğrudan ara fazsız birleşme, b) Kaplanmış takviye kullanımı [9]

2.4.1.3. Tabakalı Kompozitler

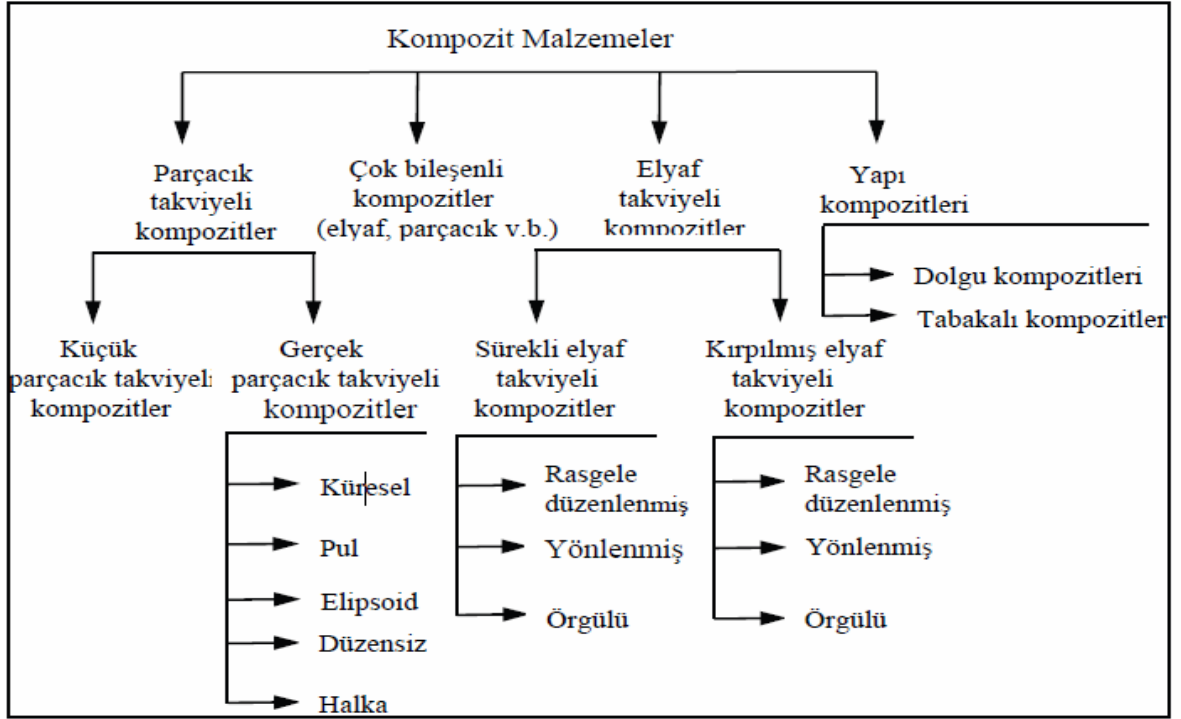
Farklı fiber yönlenmelerine sahip olan farklı plakaların bir araya gelmesiyle oluşan kompozitlerdir. Bu tip kompozitlerde yapının her yönünde yüksek mukavemet vardır. Tabakalı kompozit malzeme yaygın şekilde kullanım özelliğine sahiptir. Şekil 2.3’de tabakalı kompozit malzeme görülmektedir.



Şekil 2. 3. Tabakalı kompozit malzeme [8]

2.4.1.4. Karma (Hibrit) Kompozitler

Karma (hibrit) kompozit, aynı kompozit yapı içerisinde birden fazla fiber bulunması ile oluşan kompozitlerdir. Karbon ve cam fiber takviyeli polimerik reçine, bu tip kompozitlere örnektir. Daha tok olan cam-karbon hibritler, yüksek darbe mukavemetine sahiptirler. Grafit ile kevlar bir arada kullanılarak daha üstün özelliklere sahip bir malzeme elde edilebilir. Grafit ve kevları tek başına düşünüldüğünde biri ekonomik diğeri pahalı olurken, birinin basma mukavemeti yüksek iken diğerininki düşüktür. Şekil 2.4'de kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması [10]

2.4.2. Matris malzemesine göre kompozitler

Kompozit malzemeyi tanımlarken, bileşeninde farklı malzemelerin olduğu belirtilmişti. Dolayısıyla matris malzemesi de farklı bir malzeme olacaktır. Kompozit malzemelerin matris malzemeleri polimer, seramik ve metal malzemeden oluşmaktadır. Matris malzemesine göre kompozitler;

- a) Polimer matrisli kompozitler,
- b) Seramik matrisli kompozitler,
- c) Metal matrisli kompozitler, olarak sınıflandırılır.

2.4.2.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler, metal ve seramiklere nazaran daha çok karmaşık bir yapıya sahiptirler. Polimer matrisle termoset ve termoplastikler olarak ikiye

ayrılır ve genelde sürekli fiberlerle kullanılır. En önemli olanları epoksi reçine ve polyester matrislerdir. Sıcaklı ve nem polimer matrislerin kullanıldığı alanlardaki en önemli etkenlerdir. Çünkü bu iki faktörün etkin olduğu ortamlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde düşüşler olmaktadır. Polimerlerde kullanılan takviye malzemelerinden;

- Cam fiber,
- Bor fiber,
- Kevlar fiber,
- Karbon fiberler

en önemli olanlarıdır.

Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde;

- Telle sarma,
- Elle sıvama,
- Sıvı akış tekniği,
- Kese kalıplama işlemi,
- Takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama,
- Isıl oluşum,
- Ekstrüzyon,

en çok bilinen ve kullanılan metodlardır [11].

2.4.2.2. Seramik Matrisli Kompozitler

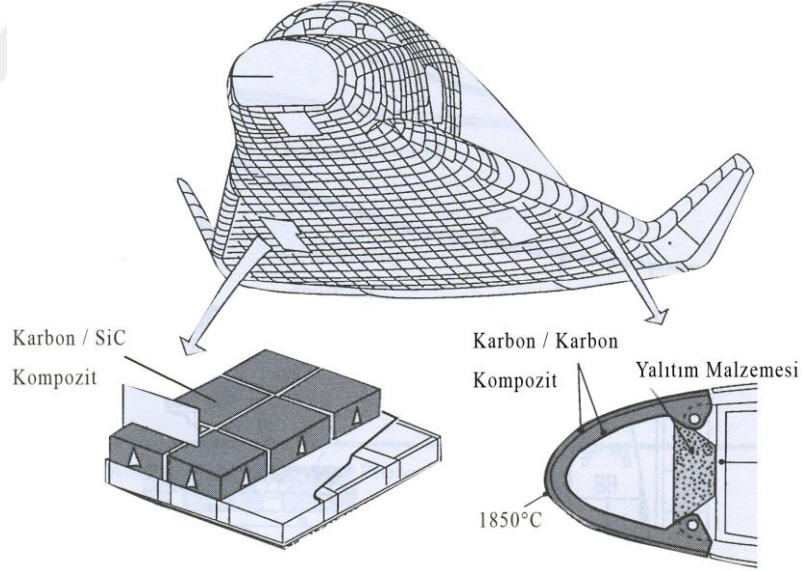
Matris malzemesi olarak seramik kullanılan kompozitlerdir. Sıcaklığa ve korozyona karşı yüksek direnci olan seramik malzemeler, yoğunlukları düşük olduğundan dolayı hafiftirler. Kırılganlığa ve yüksek sertliğe sahiptirler. Yüksek korozyon direnci veya yüksek sıcaklık dayanımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılır. Kompozit malzemelerde seramik matris olarak genellikle;

- Silisyum karbür,
- Alümina,
- Silikon nitrit ve
- Bor karbür kullanılır.

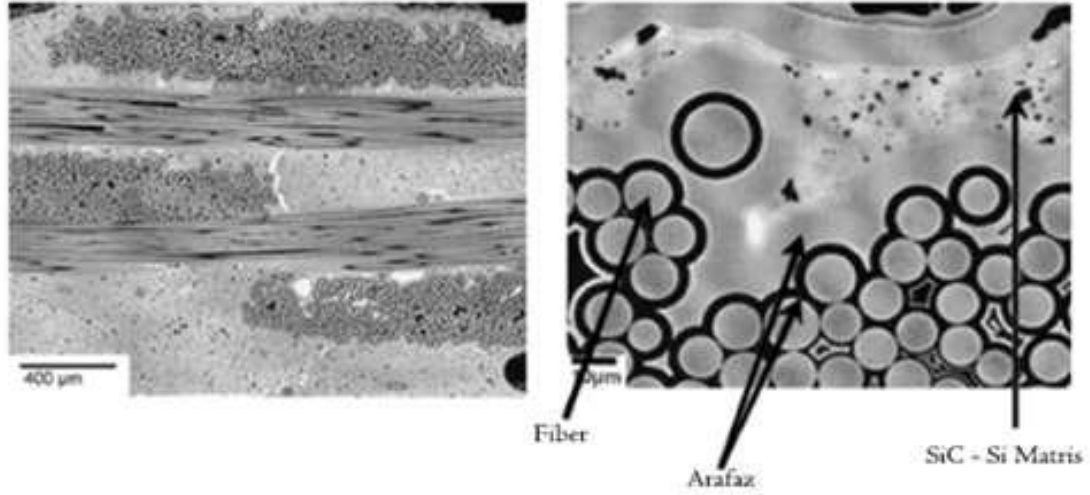
Genellikle;

- Al_2O_3 ve SiC seramik malzemeler fiber formuna getirilerek takviye elemanı olarak kullanılır [10-35].

Şekil 2.5’de uzay mekiklerinde kullanılan seramik matrisli kompozit örnekleri, şekil 2.6’da seramik matrisli kompozit malzemenin görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Uzay mekiklerinde kullanılan seramik matrisli kompozit örnekleri [3]



Şekil 2. 6. Seramik matrisli kompozit malzeme görüntüsü [8]

2.4.2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Ana yapıyı metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak refrakter veya seramik bir elemanın kullanıldığı kompozitlere Metal matrisli kompozitler (MMK) denir. MMK'larda genelde matrisler metaliktir ve tek parça şeklindedir. Takviye malzemeleri de çoğu zaman parçacık veya fiber formunda seramiktir. Son yarım asra bakıldığında MMK'lar ile ilgili pek çok araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır. MMK'lar ile ilgili malzeme seçiminde hiçbir sınırlama yoktur. Ancak en ideal kullanım şartlarının belirlenmesinde ve kullanılmasında belli şartların olması gerekir. MMK'larda aranan özellikleri;

- 1- Yüksek mukavemet,
- 2- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri
- 3- Yüksek elastikiyet modülü,
- 4- İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
- 5- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik,
- 6- Tasarım, üretim, birleştirme, biçimlendirme ve işleme bakımından mükemmel teknolojik özellik,

7- Isıl şoklar ve sıcaklık değışikliklerine karşı düşük hassasiyet olarak sıralayabiliriz [1].

MMK'ları sıradan malzemelerden farklı kılan özellikleri, metallerin tokluk ve sünekliliğini seramiklerin ise yüksek mukavemet ve elastiklik modülünü birleştirmeleridir. MMK üretiminde; atmosferik koşullardan etkilenmemesi, düşük ergime sıcaklığı ve hafif olması gibi özelliklerden dolayı alüminyum ayrı özellik ve öncelik teşkil etmektedir.

2.5. MMK'ların Kullanım Alanları

MMK'lar günümüzde her alanda kullanılmaktadır. Otomotivden uzay sanayine, havacılıktan tekstil sanayine, spordan tıba kadar geniş bir kullanım alanı mevcuttur. MMK'ların kullanım alanına göre çeşitlendirdiğimizde;

- Tıp alanında; protezler ve tekerlekli sandalyeler,
- Tekstil sanayinde; mekikler,
- Elektrikte; kablolar, elektrik kontakları, akü plakaları, ev aletleri, motor fırçaları,
- Sporda; kayaklar, kayak sopaları, oltalar, tenis raketleri, bisiklet çerçeveleri, golf sopaları,
- Havacılıkta; uçakların gövde ve iç donanım parçaları, helikopter parçaları, kompresör kanatları, süper alaşımlar, türbin kanatları,
- Otomotiv sanayinde; pistonlar, biyeler, motor blokları, akü plakaları,
- Uzay sanayinde; uzay yapıları, antenler,
- Kimyasal ekipmanlar, aşındırıcı takımlar ve kesici uçlarda MMK'lar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [5].

2.6. MMK'larda Matris Elemanları ve Özellikleri

Takviye elemanlarını bir arada tutarak birkaç kritik fonksiyonu yerine getiren matris malzemelerinin temel görevi, takviye elemanlarına yükü aktarmak ve dağıtmaktır. Bu aktarımı yaparken de takviye elemanlarını korozyona ve aşınmaya karşı korurlar.

Kompozit malzemelerde matris seçilirken; malzemenin yoğunluğuna, çekme dayanımına, sünekliliğine, yüksek sıcaklık özelliğine, hafifliğine, korozyon direncine ve takviye elemanı ile uyumluluğuna dikkat edilir. Hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri, MMK için matris olarak kullanılmaktadır. Al, Ti, Mg, Ni, Pb, Fe, Sn, Zn, Ag, ve Si matris malzemesi olarak kullanılır. Ancak genelde düşük yoğunluğa sahip oldukları için Al, Mg, Ti gibi malzemeler en sık kullanılanıdır ve bu matrislerle en iyi özellikler elde edilir [10].

2.6.1. Alüminyum

Dünya üzerinde demirden sonra en fazla kullanılan alüminyum yüksek korozyon direncine, iyi elektrik ve ısı iletkenliğe, şekil alabilme, hafifliği, takviye elemanı ile uyumluluğu gibi özelliklere sahip olmasına karşın; oldukça yumuşak, aşınma dayanımı ve direnci düşüktür. Ancak içerisine katılan seramik malzemelerle aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Çizelge 2.1'de saf alüminyumun temel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2. 1. Saf alüminyumun temel özellikleri [10]

Yoğunluk (20°C)	2,7 g/cm ³
Atom ağırlığı (20°C)	26, 97 atomik kütle birimi
Ergime sıcaklığı (°C)	660 °C
Atom çapı (°A)	1,430 °A
Kafes yapısı	YMK
Buharlaştırma sıcaklığı (°C)	2327 °C

MMK üretiminde matris metali olarak alüminyum yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni olarak; alüminyumun düşük yoğunluklu, korozyon direncinin iyi olması ve aynı zamanda titanyum ve magnezyum gibi düşük yoğunluklu alaşımlara göre daha

ucuz olmasıdır. Alüminyumun ergime noktası kompozit üretim işlemlerini mümkün kılacak şekilde düşüktür. Alüminyum Al_2O_3 , seramik partiküller, SiC ve grafit fiberler, kısa fiberler, süreksiz fiberler, sürekli bor fiberler gibi takviye elemanları ile birlikte olumlu bir şekilde kullanılabilir [12].

Sıradan malzemelere göre metal matrisli kompozitleri farklı kılan özellik; metal malzemelerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin ise yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülünü birleştirmeleridir. Alüminyum; düşük ergime sıcaklığı, atmosferik koşullardan etkilenmemesi ve diğer metallerden hafif olması MMK üretiminde ayrı yere sahiptir [13].

2.6.2. Alüminyum Matris Alaşımları

Çökelme sertleşmesine sahip alaşımlar içerisinde alüminyum-lityum alaşımları matris malzemesi olarak önemli bir yer edinmektedir. Alüminyum içerisine lityum katıldığı zaman yoğunluğu azaltırken, elastiklik modülünü de arttırmaktadır. Dolayısıyla bu malzemenin havacılık sanayinde kullanımı ilgi odağı haline gelmiştir. Alüminyum metal matrisli kompozitlerde kullanılan matris alaşımları çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2. 2. Alüminyum MMK’lerde kullanılan matris alaşımları [12]

Matris Alaşımı	Kimyasal bileşim
AA 2014	Al-%5,0Cu-%0,7 Mn-%0,7Si-%0,5Fe-%0,4Mg
AA 2124	Al-%4,0Cu-%1,5Mg-%0,5Mn-%0,3Fe
AA 6061	Al-%1,0Mg-%0,7Fe-%0,6Si-%0,25Zn
AA 7075	Al-%5,5Zn-%2,5Mg-%1,5Cu-%0,4Si-%0,3Cr
AA 8090	Al-%2,3Li-%1,2Cu-%0,7Mg-%0,1Cr

2.6.3. Alüminyum MMK Malzemelerde Kullanılan Alaşım Elemanları

Takviye partikülleri olarak, alüminyum matrisli kompozit malzemelerin içerisinde; metal nitürler (TaN, ZrN, Si₃N₄, TiN), metal karbürler (SiC, TiC, WC, B₄C), metal oksitler (Zr₂O₃, Al₂O₃, BeO) ve metal borürler (TiB, ZrB₂, TiB₂, WB) kullanılmaktadır.

SiC ve Al₂O₃ takviye elemanı olarak alüminyum alaşımları için en çok kullanılan partiküllerdir. Alüminyum metal matrisli kompozitlerin üretiminde seramik partiküller en fazla tercih edilen takviye elemanlarıdır. Çizelge 2.3'de Al₂O₃ ve SiC takviye partiküllerinin özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. 3. Al₂O₃ ve SiC takviye partiküllerinin özellikleri [12]

Özellik	Al ₂ O ₃	SiC
Elastisite modülü (GPa)	380-450	420-450
Yoğunluk (g/cm ³)	3,96	3,20
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	7,0.10 ⁻⁶	4,3. 10 ⁻⁶
Isıl iletkenlik (w/m.K)	5-10 (1273 K'de)	10-40 (1273 K'de)
Poisson oranı	0,25	0,17
Sertlik (HV)	2100	2400

Al₂O₃ ile SiC partiküllerine ait özellikler karşılaştırıldığında; Al₂O₃'ün sıcaklık dayanımı ve kimyasal kararlılığı daha yüksek iken, SiC daha düşük yoğunluk, daha yüksek elastiklik modülüne sahiptir.

Alüminyum matrisli partikül takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri;

- Takviye elemanının dağılımına,
- Takviye elemanının tipi ve şekline,

- Matris alaşımına,
- Takviye oranına,
- Malzemenin uğradığı termomekaniksel işlemlere bağlı olarak değişmektedir [12].

2.6.3.1. Magnezyum ve Alaşımları

Yoğunluğu 1.74 gr/cm^3 , ergime sıcaklığı 650°C olan Mg, yapısal uygulamalarda en hafif metaldir. Demirin dörtte biri, bakır ve nikelin beşte biri, alüminyumun üçte ikisi ağırlığına sahip olan Mg, iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Magnezyum yüksek sönümlenme kapasitesine, yüksek özgül dayanıma, iyi dökülebilirlik özelliğine sahip olmasına karşın; yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımının düşük olması, düşük elastik modülü ve yorulma direncinin düşük olması gibi sebepler kullanım alanının kısıtlanmasına sebep olmaktadır. %2,5-8 Al, %0,4-5 Zn alaşım elementi olarak katıldığında dayanımları artırılabilir [9].

2.6.3.2. Titanyum ve Alaşımları

MMK'larda matris malzemesi olarak en yaygın olarak kullanılan titanyum ve alaşımları, çok iyi mukavemet/özgül ağırlık oranına sahip olması nedeniyle özellikle uzay ve uçak sanayinde kullanılmaktadır. Yüzeylerinde ince bir TiO_2 oksit tabakası oluşturmasından dolayı bu tür malzemelerin korozyon dirençleri yüksektir. Ancak pahalı bir malzemedir. Bu malzemenin ısıl genleşme katsayısı düşük olması nedeniyle, yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda tercih edilmektedir [9]. Titanyum alaşımları özellikle helikopterlerde, uçaklarda, roketlerde ve uzay araçlarında hem gövde ve motorlarda kullanılmaktadır [14].

2.7. 7075 Alüminyum Alaşımı

7075 alüminyum alaşımı hafif olması ve ısıl işlem şartlarında eriştiği yüksek dayanım özellikleri nedeniyle, özellikle uçak ve uzay endüstrisinde çok yaygın olarak bir

malzemedir. 7075 alüminyum alaşımı 1940'larda geliştirilmiş olup, diğer 7000 serileri gibi çökeltme ile sertleştirilir. 7075 genellikle levha şeklinde üretilir. Diğer alüminyum alaşımlarına göre, 7075 alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri daha iyidir. T6 yapay yaşlandırma işlemi 7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla uygulanmaktadır [15]. Çizelge 2.4'de 7075 alüminyum alaşımının bazı fiziksel özellikleri, çizelge 2.5'de 7075 alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. 4. 7075 Alüminyum alaşımının bazı fiziksel özellikleri [15]

Özgül Ağırlık	2,81 gr / cm ³
Ergitme Aralığı	477 – 635 °C
Rijitlik Modülü	2750 kg / mm ²
Elastik Modülü	7300 kg / mm ²
Özgül Isı (0-100 0C arasında)	0,23 cal/gr °C
Özgül Elektrik Direnci (20 0C, T6 için)	0,058 Ohm.mm ² /m
Lineer Genleşme Katsayısı (20-100 0C, T6 için)	24-10-6 mm/°C

Çizelge 2. 5. 7075 Alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri [14]

Alaşım Elementi	Zn	Cu	Mg	Fe	Mn	Si	Cr	Ti	Al
% Ağ.	5,1-6,1	1,2-2,0	2,1-2,9	Max 0,5	Max 0,3	Max 0,4	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

T6 Isıl İşlemi

Alüminyum 7000 serisi alaşımlara, en yüksek dayanım sağlamak amacıyla ticari bir ısıl işlem olan T6 ısıl işlem uygulanır. 7075 alüminyum alaşımına uygun koşullarda uygulandığında, ısıl işlem sürelerine göre sertliği, akma dayanımı, çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinde iyileştirmeler sağlamaktadır [14].

Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi; önceden tayin edilen bir sıcaklığa kadar ısıtma (çözeltiyeye alma), belirlenen bir süre bu sıcaklıkta bekletme, düşük bir

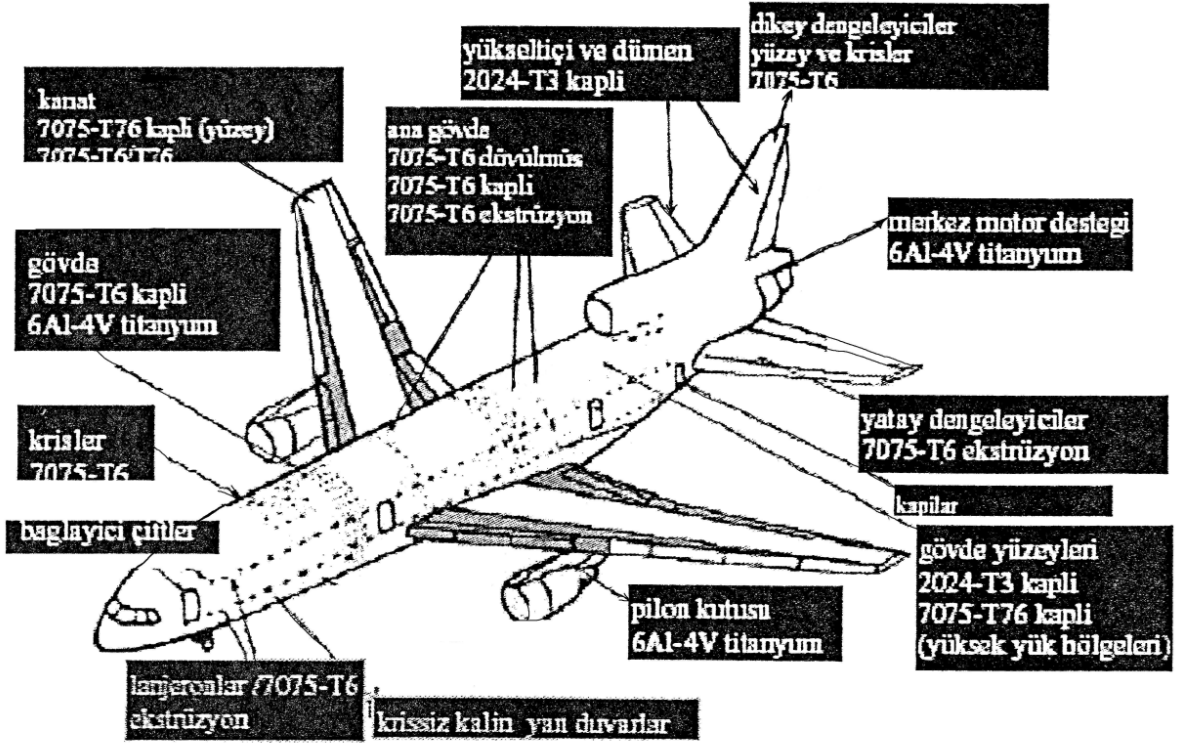
sıcaklığa hızla su verme ve su vermeyi takiben, yaşlandırma ve çökelme sertleştirilmesi olmak üzere dört aşamada gerçekleşmektedir [16]. 7075 alüminyum alaşımının T6 yapay yaşlandırma ısı işlem şartları çizelge 2.6’da görülmektedir.

Çizelge 2. 6. 7075 alüminyum alaşımının T6 yapay yaşlandırma ısı işlem şartları [14]

Isıl İşlem	Çözeltiye Alma Süresi	Çözeltiye Alma Sıcaklığı	Yaşlandırma Süresi	Yaşlandırma Sıcaklığı
T6	Değişik	480 ⁰ C	5-48 Saat	115-190 ⁰ C

2.7.1. 7075 Alüminyum Alaşımının Uygulama Alanları

7075 alüminyum alaşımı, alaşım elementlerinin çok az oranlarda katılmasıyla yoğunluğunun çok artmasına rağmen, mekanik özelliklerinde önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir. Otomotiv sanayinde radyatörlerin, motor parçalarının üretiminde alüminyum kullanılmaktadır. Hafifliği, yüksek mukavemeti ile uçak ve uzay sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Birçok askeri ve ticari uçakların alt yatay dengeleyici panellerinde, üst kanat panellerinde kullanılmaktadır. Ayrıca hafifliği nedeniyle motor gövdelerinde, piston ve piston kollarında kullanılmaktadır. Mermi yapımında, silah donanımlarında da kullanılmaktadır [17]. Şekil 2.7’de büyük uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımları gösterilmiştir.



Şekil 2. 7. Büyük uçaklarda kullanılan alüminyum alaşımları [14]

2.8. MMK'larda Takviye Elemanları ve Özellikleri

MMK'larda takviye elemanlarının seçimi ve özellikleri iyi bilinmelidir. Takviye elemanları, kompozit malzemelerin maruz kalınan yükün büyük bir kısmını taşımaktadırlar. Dolayısıyla yükün takviye elemanına iletilmesi gerekmektedir. Bu işe, takviye elemanı ile matris arasında iyi bir ara yüzey bağının oluşması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda takviye elemanı olarak SiC, Al₂O₃, SiO₂, B₄C, TiC, Si₃N₄ gibi seramik malzemelerin kullanıldığı görülmektedir.

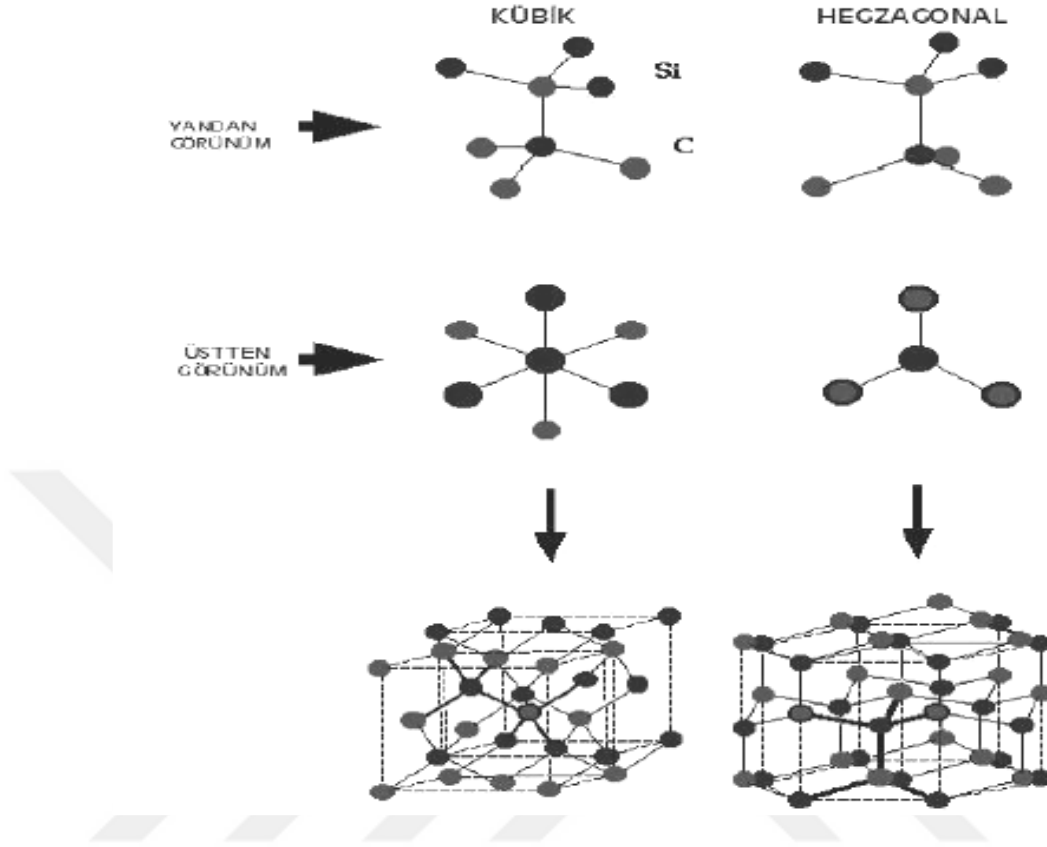
Al₂O₃: Ergime sıcaklığı 2050 °C, yoğunluğu 3,98 g/cm³ olan Al₂O₃; yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı ve düşük yoğunluğundan dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Meydana getirdiği kompozit malzemelerde iyi sürtünme ve aşınma dayanımı gösterir ve bu özelliğinden dolayı; piston, silindir gömleği, fren diski

gibi taşıt parçalarının üretimde kullanılır [11]. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri çizelge 2.7’de görülmektedir.

Çizelge 2. 7.MMK’lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri [18]

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 \text{kgm}^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı (10^{-6}C^{-1})	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3,98	7,92	2100	221 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
SiC	3,21	5,40	2750		379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
C	2,18	-1,44			690
SiO_2	2,66	<1,08	1710		73
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 $^{\circ}\text{C}$)	310 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
B_4C	2,52	6,08	2420	2759 (24 $^{\circ}\text{C}$)	448 (24 $^{\circ}\text{C}$)

SiC: Karbon ve Silisyumun oluşturduğu bir kimyasal bileşik olan SiC; 2730 $^{\circ}\text{C}$ ergime sıcaklığına, 3,2 g/cm^3 yoğunluğuna sahip olup, düşük yoğunluklu olması ve ucuz hammaddelerden elde edilmesi sebebiyle takviye elemanı olarak tercih edilmektedir. SiC iyi bir aşındırıcı olduğu için aşındırıcı çarklar ve diğer aşındırıcılarda taşlama işlemi için üretilirler [4]. Şekil 2.8’de kübik ve hegzagonal SiC yapısı görülmektedir.



Şekil 2. 8. Kübik ve hegzagonal SiC yapısı [4]

B₄C: Takviye elemanı olarak bilinen en sert malzemelerdendir. 2,52 g/cm³ yoğunluğa, 2445 °C ergime sıcaklığına sahip olan B₄C; yüksek darbe ve aşınma direnci, yüksek ergime noktası, düşük yoğunluk, yüksek kimyasal direnç, yüksek rijitlik ve sertlik özellikleriyle bir takviye elemanı olarak çok üstün özelliklere sahiptir [18]. B₄C; radyasyondan koruyucu kalkanlar, nükleer kontrol çubukları, balistik zırh uygulamaları, metal buharlaştırma kayıkçıkları, su jeti kesicileri gibi geniş bir alanda kullanılma özelliğine sahiptir [11].

MMK'larda takviye çeşidi ve takviye malzemeleri ne olursa olsun, takviye edilecek metalle takviye elamanının metal matrisiyle arasındaki kimyasal ve fiziksel bağın mutlaka iyi olması gerekir. Çünkü malzemeye gelen kuvvetler matris ve parçacık tarafından birlikte taşınır. Dolayısıyla parçacıkla matris malzemesi arasında oluşabilecek etkileşim, kompozit malzemenin mukavemet özelliklerine etki eden bir durumdur. Fiber

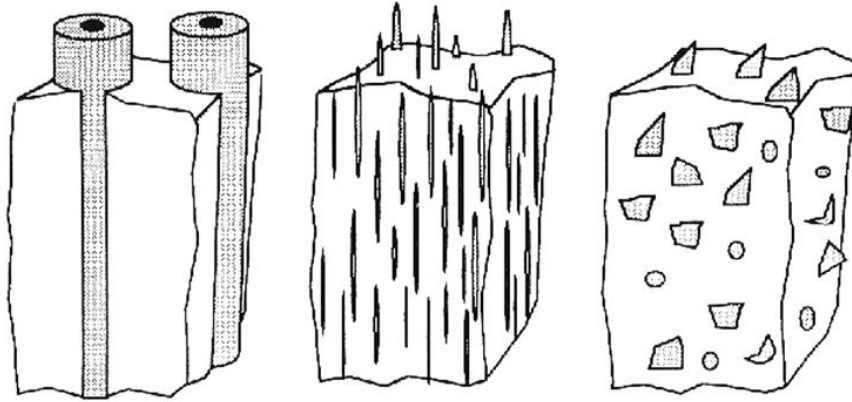
tipi uzun takviye elemanları kullanılıyorsa, fiziksel kuvvetin önemini ortaya çıkarır. Bu tür takviye elemanlarının yüzeyindeki pürüzler ve malzeme arasındaki ilişki, kompozitin mukavemetini etkiler. Çizelge 2.8’de metal matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemelerinin geometrileri görülmektedir.

Çizelge 2. 8: MMK’larda kullanılan takviye malzemelerinin geometrileri [13]

TİP	Boyut Oranı	Çap, μm	Örnekler
Parçacık	~1-4	1 – 25	SiC, Al ₂ O ₃ , BN, B ₄ C
Kısa İplikçik veya Sakalcık	~10-1000	0,1 – 25	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ + SiO ₂ , C
Kesintisiz İplikçik	>1000	3 - 150	SiC, Al ₂ O ₃ , C, B, W

Şekil 2,8’de farklı takviye güçlendirme tiplerine sahip kompozitler görülmektedir.

MMK takviye türleri kesintisiz uzun iplikçikler, sakalcıklar veya kısa iplikçikler ve parçacıklar şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2. 9. MMK takviye türleri sırasıyla kesintisiz uzun iplikçikler, sakalcıklar veya kısa iplikçikler, parçacıklar [13]

2.8.1. Alümina (Al₂O₃)

Dünyada çok yaygın kullanım alanına sahip olan alüminyum oksit (Al₂O₃) seramik olup, üretilenin yaklaşık olarak %93'ünü alüminyum metali üretiminde kullanılmaktadır. Geriye kalan oran ise; parlatici ve aşındırıcı malzeme, refrakter malzeme ve seramik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Al₂O₃ tozları; %99,99 saflıktaki tozlar haricindeki tüm tozlar Bayer Süreci ve Boksit mineralinden üretilmektedir.

Alüminyum oksit seramikler 1100 °C'nin üstündeki sıcaklıklardaki dayanıma sahip olduklarından çok yaygın kullanım alanına sahiptirler. Dolayısıyla;

- Aşındırıcılarda,
- Yüksek sıcaklıklarda çalışan yatak ve burçlarda,
- Kesme takımlarında ve
- Çeşitli mekaniksel parçalarda kullanım alanına sahiptir [18-19].

2.8.1.1. Alümina Özellikleri

Oksijen iyonlarının, alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzagonal sarılması şeklinde ifade edilen alümina, dış görünüş olarak bakıldığında beyaz bir tozdur. Yüksek sıcaklıklarda mekanik yüklere ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı refrakter bir malzeme olan alüminanın, ergime sıcaklığı 2050 °C, kaynama noktası 2080 °C'dir. Molekül ağırlığı 101,96 g/mol olan alüminanın serbest enerjisi -1582,4 kJ/mol, reaktif indeksi 1.765'dir. 1700-1800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda, flor gazı hariç tüm gazlara karşı direnç gösteren alümina, redükleyici ve oksitleyici atmosferde 1900 °C'ye kadar kullanılabilir [20-21].

2.8.1.2. Alüminanın Kullanım Alanları

%90'dan fazlası alüminyum üretiminde kullanılan alüminanın geri kalan kısmı ise, kimyasal ve refrakter malzemeler ile aşındırıcı malzemelerin yapımında

kullanılmaktadır. Sertliği ve mekanik dayanımı, aşınmaya karşı dirençli olması nedeniyle tekstil endüstrisinde kesici takımlarda, öğütücü değirmenlerin bilyelerinde, ısıtma sistemlerinin sirkülasyon pompalarının yataklarında, zırh malzemesi olarak, otomobillerin soğuma sistemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca aşındırıcı ve sertlik özellikleri açısından aşındırıcı toz olarak, termal genleşme ve yüksek mukavemet açısından buji izolatörleri olarak da kullanılmaktadır [18-22].

2.8.1.3. Alümina Mineralleri

%40'ını alüminyum silikatların oluşturduğu, doğada yaklaşık olarak 250 cins alüminyum mineralinin olduğu bilinmektedir. Alümina, gibsit, böhmit ve diaspor gibi hidroksit minerallerinin karışımı olan boksitten elde edilir [20]. Çizelge 2.9'da alüminyum mineralleri gösterilmiştir.

Çizelge 2. 9. Alüminyum Mineralleri [20]

Adı		Formülü	%Al	%Al ₂ O ₃
Boksit mineralleri	Gibsit	γ - Al ₂ O ₃ .3H ₂ O	34,6	65,4
	Diasporit	α - Al ₂ O ₃ .H ₂ O	45,0	85,0
	Böhmit	γ - Al ₂ O ₃ .H ₂ O	45,0	85,0
	Korund	α -Al ₂ O ₃	52,9	100,0
Alum Mineralleri	Alumojel	Al ₂ O ₃ .4SO ₃ .6H ₂ O	15,8	29,8
	Aluminit	Al ₂ O ₃ .SO ₃ .9H ₂ O	15,7	29,7
	Halotrikrit	FeSO ₄ .Al ₂ (SO ₄) ₃ .24H ₂ O	5,8	11,0
	Kalinit	K ₂ SO ₄ .Al ₂ (SO ₄) ₃ .24H ₂ O	5,7	10,8
Alunit		K ₂ O.3Al ₂ O ₃ .4SO ₃ .6H ₂ O	19,6	85,0
Diğer Mineraller	Andaluzit	Al ₂ SiO ₅	33,3	62,9
	Silimanit	Al ₂ SiO ₅	33,3	62,9
	Kaolinit	Al ₂ O ₃ .2SiO ₂ .H ₂ O	20,9	39,5
	Ortoklaz	K ₂ O. Al ₂ O ₃ .6SiO ₂	9,7	18,3
	Kriyolit	3NaF.AlF ₃	12,9	24,3
	Beril	BeAl ₂ (SiO ₃) ₆	10,4	19,7

2.9. Pirinç Külü

2.9.1. Pirinç

Dünya üzerinde yaşayan insan nüfusunun yüzde ellisinden fazlasının temel ihtiyacı olan pirinç, buğdaygiller familyasına ait olup, özellikle Asya ve Latin Amerika'da üretilen ve tahıl alanında dünya üzerinde buğday ve mısırdan sonra en fazla tüketilen bir bitki türüdür [23-24].

MÖ 3000'li yıllarda Hindistan bölgesinde yetiştirilmeye başlandığı, daha sonra batıya doğru yayılan pirinç, ülkemize 15-16. yüzyıllarda geldiği belirtilmektedir. Dünyada yaklaşık 2 milyar insanın besin maddesi açısından yarısını oluşturmaktadır. Asya kıtasında özellikle Uzakdoğu Asya devletleri açısından en önemli besin kaynağı olması nedeniyle, bu bölgelerde daha fazla üretimi yapılmaktadır [25]. Şekil 2.10'da pirinç kabuğunun doğal yetişme alanı görülmektedir.

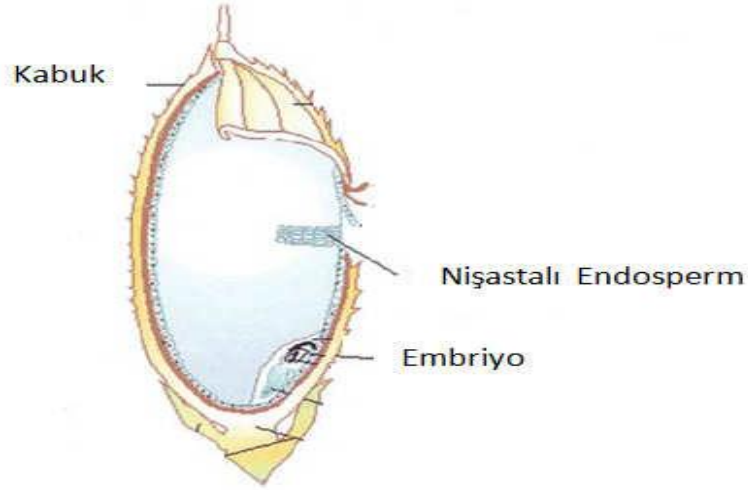


Şekil 2. 10. Pirinç kabuğunun doğal yetişme alanı [26]

Pirincin ekimi ilkbahar mevsiminde yapılırken, hasat dönemi genellikle sonbahar mevsimidir. Pirinç ılık iklimlerde ve su içinde yetiştirilir. Yurdumuzda pirinç üretimi özellikle Karadeniz ve Marmara Bölgelerinde yetiştirilmektedir. Türkiye pirinç üretimi açısından çeltik tarımına uygun olmasına rağmen, ülke insanının pirinç tüketimi ihtiyacını karşılayamamakta ve sonucunda ise pirinç ithalatı yapmak zorundadır [25].

2.9.2. Pirinç Kabuğu

Fabrikalarda ham pirinç üretiminde ortaya çıkan pirinç kabuğu, en önemli endüstriyel ve tarımsal bir yan üründür. Pirinç tarlalarda toplandığında kabukla birlikte. Diğer bir ifadeyle tarladan toplanan pirinç kabukla kaplanmış durumundadır. Pirinç kabuğu, pirinç tanesinin % 25'ini oluşturmaktadır. Tarlalarda toplanan pirinç, çeltik fabrikalarında kabuk ve saptan ayrılma işlemi yapılır. Çeltik fabrikalarında kabukların tanelerden ayrılması sonucunda iki kabuk meydana gelir. Bu kabuklardan biri; ince bir zar şeklinde pirinci saran ve besleyici özelliği olan kepektir. İkinci kabuk ise; dıştaki kabuktur ve içte kalan kabuğa göre daha sert bir özelliğe sahiptir. Karbon ve silis açısından zengin olan bu dıştaki kabuğa “kavuz” veya “kapçık” adı verilmektedir [27]. Pirinç tanesi ve pirinç tanesi kabuğu kesiti şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2. 11. Pirinç tanesi ve pirinç tanesi kabuğu kesiti [28]

Tahıl ürünleri atıkları içerisinde hacim olarak en az hacme sahip olan pirinç kabuğu, bu özelliğinden dolayı eşsiz bir öneme sahiptir. Isı geçişi ve nem geçişine izin vermediğinden dolayı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık %20 oranında opal silisyumun yanında bir polimer lignin içeren pirinç tanesi, bu özellikte doğada başka bitki türü yoktur. Lignin ve silisin birleşimi, bitkiye su geçirmezlik ve

mantardan korunma özelliği sağlamaktadır. Pirinç kabuğunun ısı iletkenlik katsayısı oldukça düşüktür [28]. Şekil 2.12’de pirinç kabuğunun görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2. 12. Pirinç kabuğunun görüntüsü [28]

2.9.2.1. Pirinç Kabuğu Kimyasal Bileşimi

Pirinç kabuğunun yetiştiği coğrafi özelliklerine ve yetiştirme uygulamalarına bağlı olarak pirinç kabuğu kimyasal bileşiminde değişiklikler göstermektedir. Ancak her ne kadar değişiklik gösterse de, kabuğun temel bileşenleri aynıdır. Kabuğun temel bileşenleri selüloz, lignin, hemiselüloz ve küldür. Pirinç kabuğunun gerçek bileşimi oldukça değişken olmakta birlikte, batıdaki ülkelerde ve Asya ülkelerindeki pirinç kabuklarının ortalama bileşimi genel bir kompozisyon olarak alındığında; lignin %22, selüloz %38, kül %20, pentosans %18, diğer organikler %2’dir. Silis, pirinç kabuğunun dış çeperlerinde toplanmıştır. Silis pirinç kabuğunda, kabuğun iskeletini oluşturur ve daha çok kabuğun dış epidermisteki tümsekliklerde ve amorf yapıda bulunur [24]. Çizelge 2.10’da pirinç kabuğunun bileşenleri görülmektedir.

Çizelge 2. 10. Pirinç kabuğu bileşenleri [29]

Ana Bileşenler	İçerik (ağ.%)
SiO ₂	18,8 – 22,3
Lignin	9,0 – 20,0
Selüloz	28,0 – 38,0
Yağ	0,3 – 0,8
Protein	1,9 – 3,0
Tüm parçalanmadan sonraki besin maddeleri	9,3 – 9,5

Şekil 2.13’de pirinç çeltiği ekimi ve şekil 2.14’de pirinç çeltiği görülmektedir.



Şekil 2. 13. Pirinç çeltiği ekimi [28]



Şekil 2. 14. Pirinç Çeltiği [28]

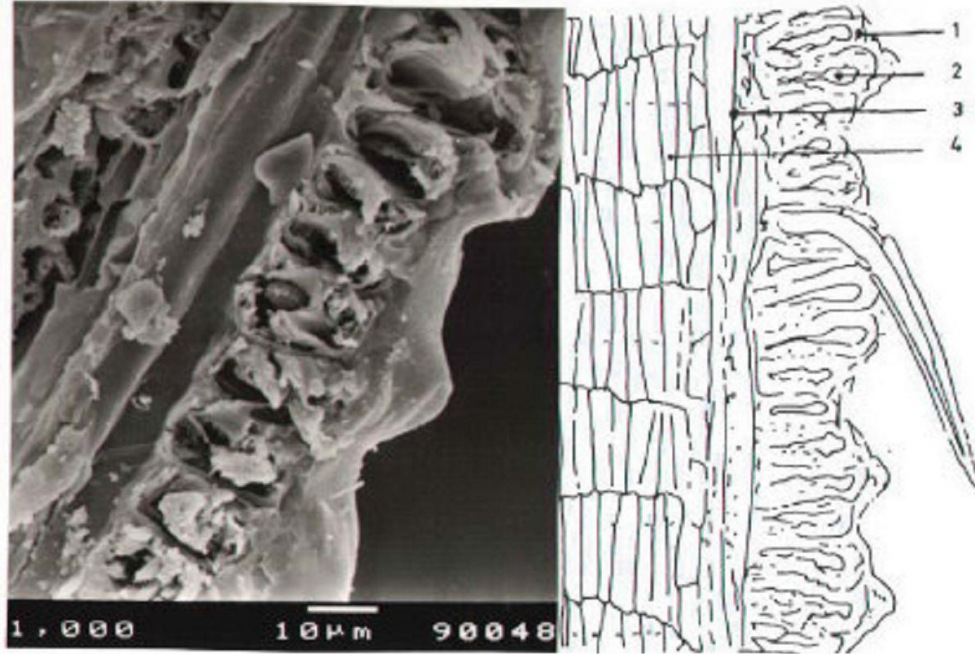
Şekilde pirinç kabuğu incelendiğinde 4 farklı tabaka yapısının olduğu görülmektedir.

Buna göre;

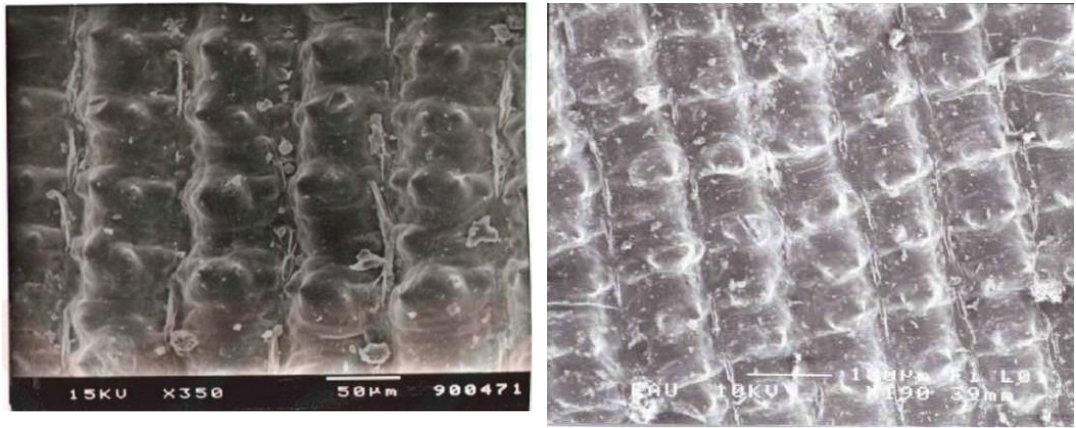
- 1- Aralarında yüzey saçlarının bulunduğu ve taşlaşmış bir yapıya sahip kalın bir tabaka

- 2- Bir kısmı odunlaşmış olan sert ve kalın bir tabaka
- 3- Lifli bölümleri oluşturan hücrel bir tabaka
- 4- Aynı boyuttaki hücrelerden oluşan iç tabaka

Şekil 2.15’de pirinç kabuğu kesitinin SEM görüntüsü, şekil 2.16’da ise pirinç kabuğunun dış yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2. 15. Pirinç kabuğu kesitinin SEM görüntüsü [30]



Şekil 2. 16. Pirinç kabuğunun dış yüzeyinin SEM görüntüsü [31]

2.9.2.2. Pirinç Kabuğunun Kullanım Alanları

Özellikle Uzakdoğu Asya ülkeleri ve ABD gibi pirinç üretimi yapan ülkelerde, pirinç kabuğunun değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışmalar yapılmış ve bu alanda geliştirilen projeler her zaman desteklenmiştir. Pirinç kabuğu;

- 1- Pirinç değirmenleri ve elektrik santrallerinde yakıt olarak kullanılır.
- 2- Refrakter malzemelerin ve izolasyon malzemelerinin üretiminde kullanılır.
- 3- Hemiselülozik kısmını oluşturan glukoksilan elde edilen kimyasallar çözücü ve ara ürün olarak kozmetik sektöründe, sentetik ip üretiminde, eczacılıkta, sentetik reçinelerde, ilaçlarda kullanılır.
- 4- Atık su akıntılarındaki ağır metalleri gidermek için kullanılır.
- 5- Pirinç kabuğundaki selülozdan elde edilen kimyasallar plastik endüstrisinde kullanılır.
- 6- Termoplastik doğal kauçuk plastiklerde inorganik dolgulara alternatif olarak kullanılır.
- 7- Ligninden elde edilen lignosülfanik asit deterjan üretiminde kullanılır.
- 8- Son 80 yıldan beri pirinç kabuğundaki silikanın varlığı anlaşılmış, dolayısıyla pirinç kabuğu silisyum nitrür, silisyum tetra klorür, silika jel, silikon karbür, saf silisyum içeren bileşiklerin üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır [24].

Pirinç tanelerinin pirinç kabuğundan ayrılması şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 17. Pirinç tanelerini pirinç kabuğundan ayırımı [28]

2.9.2.3. Pirinç Kabuğu Külü (RHA)

Pirinç kabuğu külü, pirinç tanelerinin kabuktan ayrıldıktan sonra ayrılan kabuğun yakılması sonucunda elde edilir. Pirinç tane ağırlığının %78'i pirinç ve kepek, % 22'si pirinç çeltiğidir. Bu çeltikler pirinç fabrikalarında yarı kaynatım işlemlerinde buhar elde etmek amacıyla yakıt olarak kullanılmaktadır. % 75'i uçucu maddelerden teşekkül eden bu çeltik, yanma neticesinde içindeki uçucu maddeler kaybolur ve geriye kalan %25'lik kısım pirinç çeltiği külü olarak fırınlardan çıkarılır. Çıkarılan bu külün %90'ı amorf yapıdaki silisyumdur. 13-15 Mj/kg ısıtma değerine sahiptir ve yakıldığında %18-22 arasında kül oluşmaktadır [24].



Şekil 2. 18. Pirinç çeltiği kabuk yakma kazanları [28]

Şekil 2.18'de pirinç çeltiği kabuk yakma kazanları görülmektedir. Pirinç çeltiği kabuğunun yakılması ile ilgili yakın çekim görüntüsü şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 19. Pirinç çeltiği kabuğunun yakılması- yakın çekim [28]

600 °C'de 3 saat süreyle yakılan pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 2.11'de görülmektedir.

Çizelge 2. 11. 600°C' de 3 saat yakılan pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri [24]

Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
91,15	3,84	1,87	0,81	0,59	---	0,71	0,17	0,21	0,65
Pirinç kabuğu külünün fiziksel özellikleri									
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)					Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)				
0,685					2,22				

Pirinç tarlasından hasat edilen 1000 kg'lık pirinç tahlından 220 kg pirinç çeltiği olarak elde edilirken; elde edilen 220 kg'lık pirinç çeltiği, fabrikadaki fırınlarda enerji üretmek için yakıldıktan sonra, geriye 55 kg pirinç külü kalmaktadır. Rakamlara bakıldığında

tarladan elde edilen pirincin %5,5'i kadar pirinç külü elde edilmektedir. Pirinç üretiminin yüksek olduğu ülkelerden biri olan Hindistan'da yıllık ortalama 4 milyon ton pirinç külü elde edilmektedir.

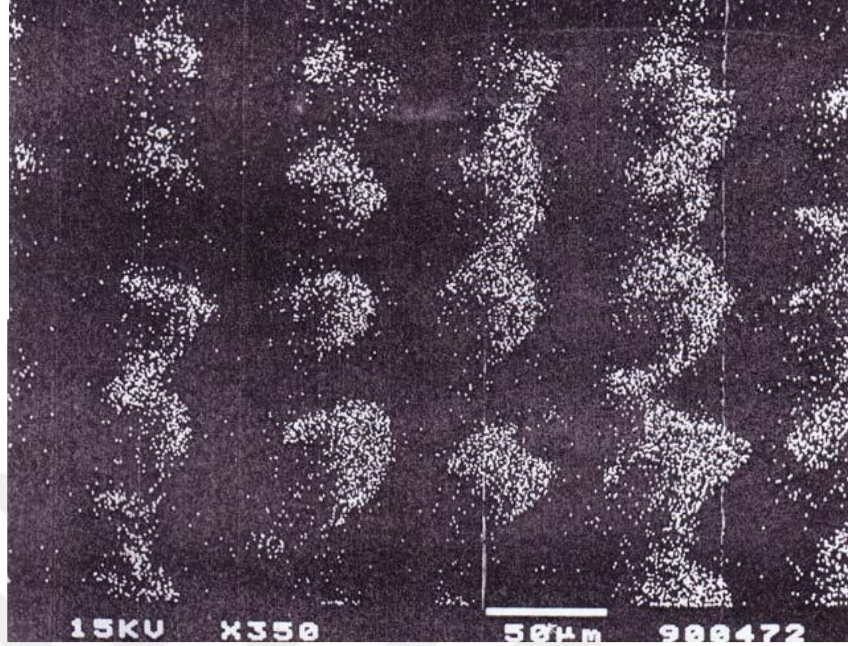
Pirinç çeltiği kabuğunun yakılması işleminin yapıldığı yakma tesisi şekil 2.20'de görülmektedir.



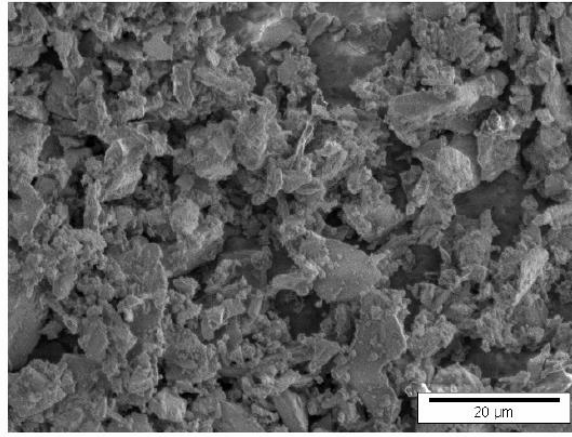
Şekil 2. 20. Pirinç çeltiği kabuk yakma tesisi [28]

Pirinç kabuğunda var olan bitkisel hücre yapısındaki organik kısımlar yanmasına rağmen, yapıdaki silisin hücre zarında yoğunlaşması neticesinde yapı kendini koruyabilmekte, küldeki silis kabuk kısmında yoğunlaşmaktadır. Normal şartlarda pirinç kabuğunda %18 SiO₂ mevcut iken, pirinç kabuğu yakıldıktan sonra bu değer % 95,8 olmaktadır. Orijinal kabukta amorf yapıda olan silis, yakılmış pirinç kabuğunda kristobalit yapıdadır [28].

Şekil 2.21'de RHA'nın elektron mikroskobu ile alınan silis haritası, şekil 2.22'de ise RHA'nın elektron mikroskobu ile görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2. 21.RHA'nın elektron mikroskobu ile alınan silis haritası [32]



Şekil 2. 22.RHA'nın elektron mikroskobu ile görüntülenmesi [28]

3. MMK'LARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

MMK'larda farklı takviye ve matris malzemeleri kullanılmaktadır. Dolayısıyla farklı matris ve takviye elemanının kullanılması sonucunda üretimde de farklı yöntemler ortaya çıkmıştır. Matris malzemesinin katı, sıvı veya buhar fazında olması durumlarına göre metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Buna göre;

A) Katı Faz Üretim Yöntemleri

- 1-) Difüzyonla Bağlama
- 2-) Toz Metalürjisi (TM)
- 3-) Sıcak Haddeleme

B) Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

- 1-) Sıvı Metal İnfiltrasyon
- 2-) Basıncılı İnfiltrasyon
- 3-) Basıncısız İnfiltrasyon
- 4-) Sıkıştırma Döküm
- 5-) Sıvı Metal Karıştırma
- 6-) Plazma Püskürtme

C) Diğer Yöntemler

- 1-) Rheocasting ve Compcasting Döküm Yöntemleri
- 2-) Vidalı Ekstrüzyon
- 3-) In-Situ Tekniği
- 4-) XD Tekniği

3.1. Difüzyonla Bağlama Yöntemi

Katı hal üretim yöntemi olan difüzyonla bağlamada; uzun fiberler şeklindeki takviye fazı ile folyo biçimindeki matris belirli bir düzende istiflenerek yüksek sıcaklıkta preslenir. Çoğunlukla basit şekilli parçaların üretiminde kullanılan bu yöntemde, preslenmiş kompozit malzemeler tabakalı bir yapıya sahiptir [12-33].

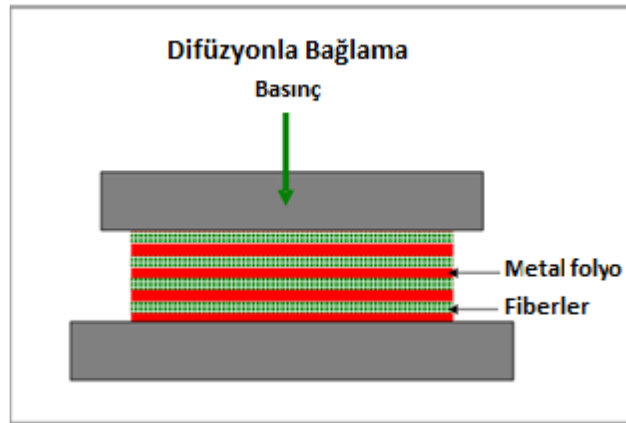
Bu yöntemin en büyük avantajı;

- Hacim oranının kontrol edilebilmesi,
- Farklı matris metallerin kullanılabilmesine imkân sağlamasıdır.

Ancak;

- Yüksek maliyet,
- Yüksek basınç ve sıcaklık gereksinimi,
- Yüksek proses süresi,
- Şekil sınırlamaları gibi dezavantajları vardır [12].

Şekil 3.1’de difüzyon bağlama yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3. 1. Difüzyonla bağlama yöntemi [12]

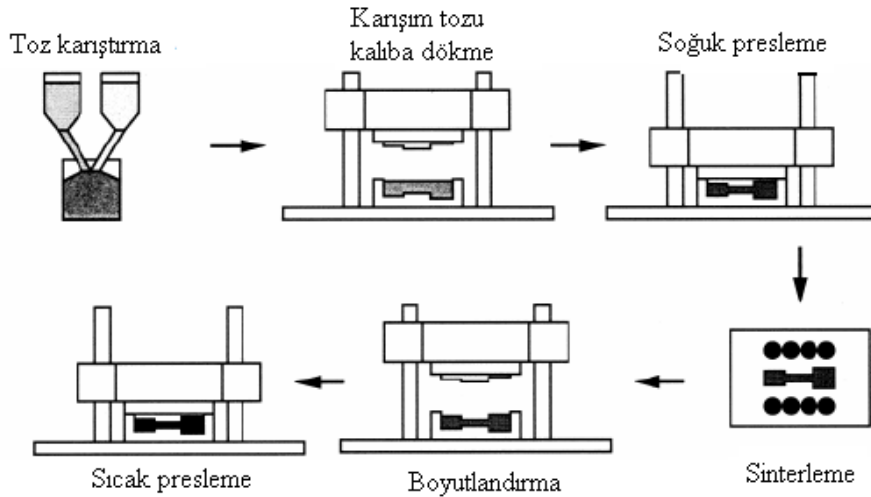
3.2. Toz Metalürjisi

Kompozit malzeme üretim yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem toz metalürjisi yöntemidir. Toz metalürjisi yönteminde; takviye elemanları ile toz halindeki matris mekanik olarak alaşımlanır, istenilen şekil için kalıba konulur ve preslenir. Presleme yapıldıktan sonra sinterleme yapılır. Malzemeye son şeklini vermek için haddeleme veya püskürtme gibi ikinci bir işlem gerekli olabilir [1].

Toz metalürjisi yönteminde seramik ve metalik malzemeler birleştirilebilir. Bu yöntemde genellikle matris malzemesi olarak Al, Co, Ni, metalik Cu, Ti esaslı alaşımlar ile takviye elemanı olarak Mo, Ni, Ti, grafit, silisyum karbür kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki presleme işlemi sıcak veya soğuk şeklinde yapılabilir. Ancak; partikül kırılmasını en aza indirmek, aynı zamanda ara yüzey bağını iyileştirmek için sıcak preslemede iyi netice alınmaktadır [34].

Toz metalürjisi yöntemi; kompozit malzeme üretim yöntemleri içerisinde düşük maliyet ile hassas boyut tolerans elde etme ve parçacıkların düzenli bir şekilde dağılımını sağladığı için en avantajlı yöntemdir [18].

Toz metalürjisi tekniğinin temel aşamaları şekil 3.2’de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3. 2. Toz metalürjisi tekniğinin temel aşamaları [13]

3.3. Sıcak Haddeleme

Difüzyonla birleştirme işlemine benzeyen sıcak haddeleme yönteminde; levha halinde olan matrisler ile bu matrislerin arasına konulan fiberler yüksek sıcaklıkta haddeleme işlemine tabi tutulur. Haddeleme işlemi yapıldıktan sonra basınç kaldırılır. Haddeleme esnasında sıcaklıktan meydana gelen termal uzamalardan dolayı oluşan kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, parça yavaş olarak soğumaya bırakılır [36].

3.4. İnfiltrasyon Yöntemi

İnfiltrasyon; alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemlerden biridir. Kısa fiber veya sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretilmesinde kullanılan bu yöntem aynı zamanda partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde de kullanılır. İnfiltrasyon yönteminin;

- Yüksek yüzey kalitesi vermesi,
- Nihai şekle yakın parça üretimine imkân vermesi,
- Yöntemin verimli olası gibi avantajları bulunmaktadır.

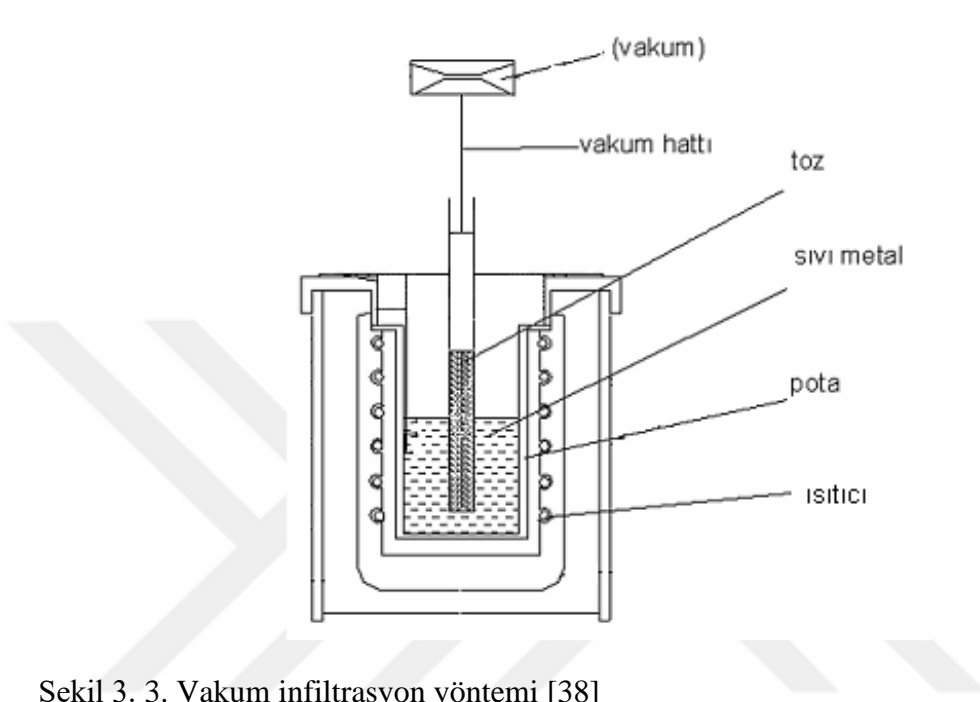
Bu avantajların yanında;

- Fiberlerin matris içerisinde homojen dağılımın bozulabilmesi,
- Metalin çok küçük boşluklara nüfuz edememesi gibi dezavantajları bulunmaktadır [37].

3.4.1. Vakum İnfiltrasyon

Bu yöntem oldukça basit ve ekonomiktir. Bu yöntemde sıvı matris, negatif bir basınç uygulanarak gözenekli olan takviye içerisine infiltre olmaktadır. Alüminyum alaşımlarında sıvı matrisin yüzeyinde oksit tabakasının meydana gelmesi, takviye malzemesinin ıslatılmasını zorlaştırdığından dolayı infiltrasyonu olumsuz şekilde etkilemektedir. Ancak sıvı matris içerisine, takviye malzemesini ıslatma kabiliyetini

arttırıcı elementler katılmasıyla bu tür sorunlar aşılmaktadır [1]. Şekil 3.3’de vakum infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi görülmektedir.



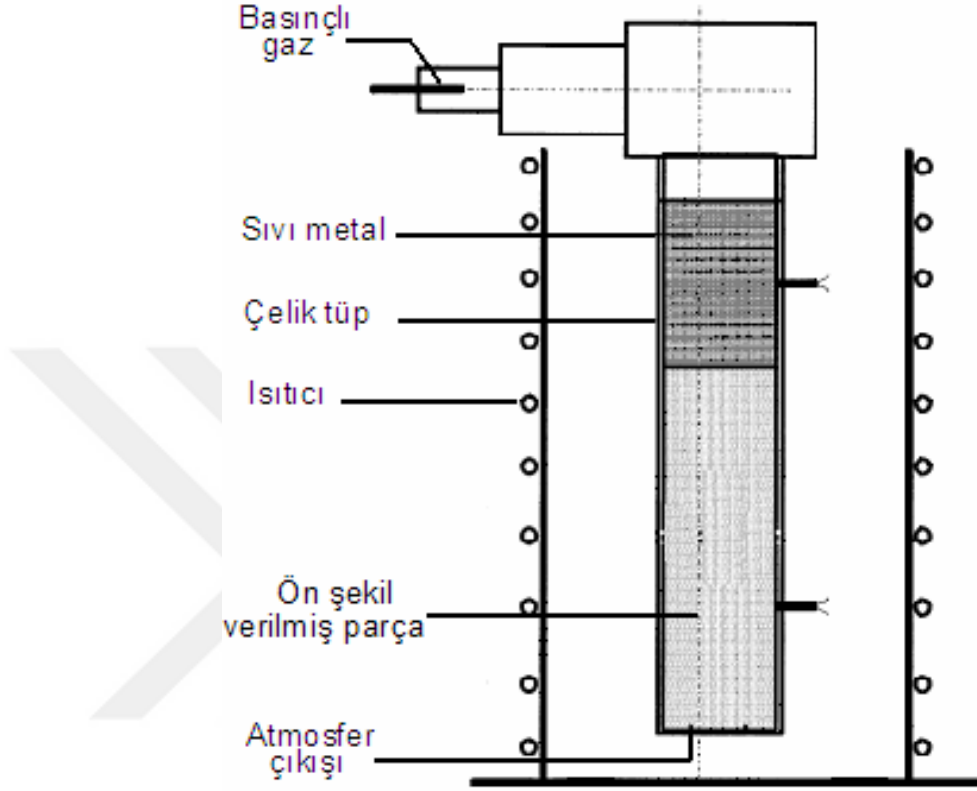
Şekil 3. 3. Vakum infiltrasyon yöntemi [38]

3.4.2. Basınçlı İnfiltrasyon

Bu yöntem; preform veya yatak içerisinde sıvının basınçlı soy gaz ile iletilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu teknikte; bir ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış olan ve içerisinde takviye malzemesi olan silindir ile diğer ucu ise, basınç ünitesi içerisinde yerleştirilmiş pota içerisinde bulunan sıvı metale daldırılmış olan silindirden oluşmaktadır [39]. Basınçlı infiltrasyon yönteminde işlem değişkenleri;

- Takviye parçacık boyutu,
- İnfiltrasyonun hızı,
- İnfiltrasyonun sıcaklığı,
- Sıvı metal sıcaklığı,
- Kalıp ön ısıtma sıcaklığı,
- Sıkıştırılmış takviye yoğunluğu olarak söylenebilir [33].

Şekil 3.4’de basınçlı infiltrasyon tekniği şematik olarak gösterilmiştir.

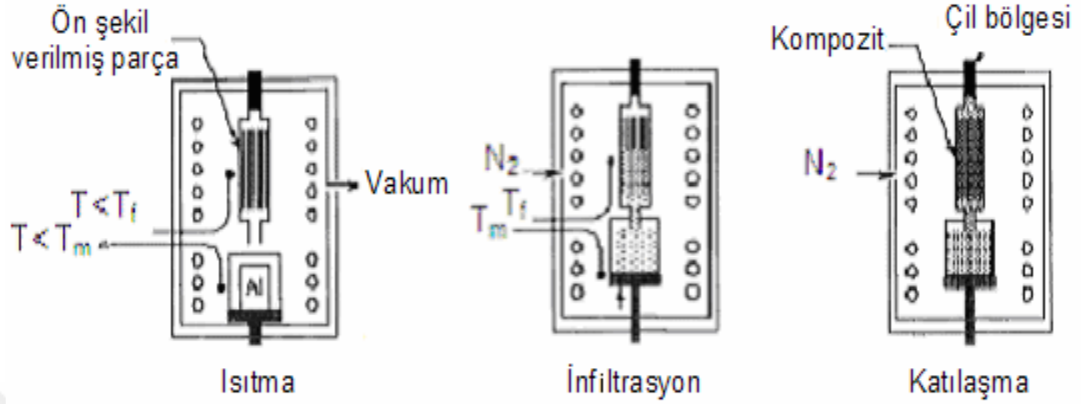


Şekil 3. 4. Basınçlı İnfiltrasyon Tekniği [40]

Yüksek basınç uygulamasının fiberlerde bazen deformasyona sebep olması nedeniyle, bu deformasyonu ortadan kaldırmak amacıyla orta basınçlı infiltrasyon tekniği geliştirilmiştir. Böylece sıvı alüminyum matris, fiber takviyelere başarılı bir şekilde infiltre edilmiştir. Orta basınçlı infiltrasyon tekniği üç aşamada gerçekleşmektedir.

- Birinci aşamada; fiber takviye, sıvı matris sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılmakta,
- İkinci aşamada; 10 bar basınçtaki azot gazı yardımıyla sıvı Al matris, alümina fiberlere infiltre olmakta,
- Üçüncü aşamada ise; gözeneklerin azaltılması amacıyla, 90 bar basınçtaki azot gazı verilmek suretiyle matrisin katılaşması sağlanmaktadır [41].

Orta basınçlı infiltrasyon yönteminin şematik gösterimi şekil 3.5’de görülmektedir.



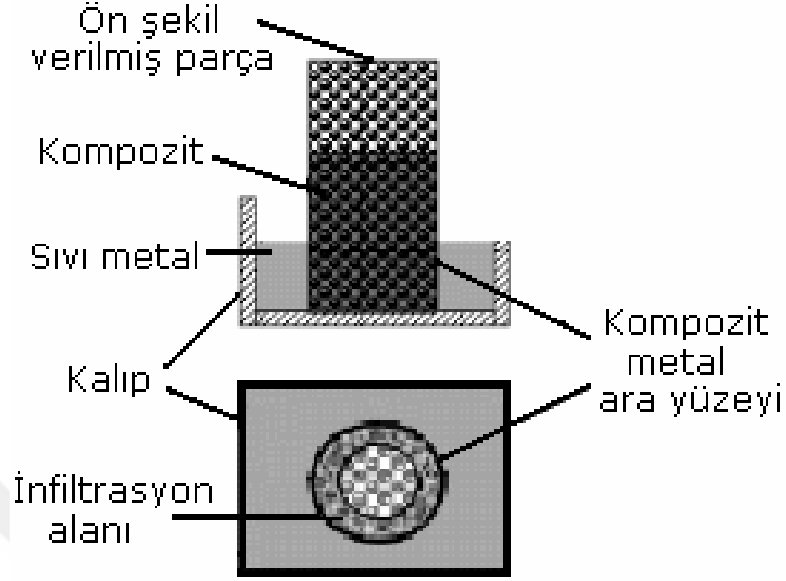
Şekil 3. 5. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi [41]

3.4.3. Basınçsız İnfiltasyon

Parçacık takviye içerisine, sıvı metalin basınç uygulanmadan kendi kendine infiltre edildiği yöntemdir. Sıvı alüminyumun seramik parçacıklarını ıslatmasını geliştirerek infiltrasyonu kolaylaştırmasından dolayı, basınçsız infiltrasyonda sıvı matrise Mg ilavesi yapılmaktadır. Basınçsız infiltrasyon yönteminde;

- Magnezyum içeriği,
- Takviye hacim oranı,
- Parçacık büyüklüğü,
- Sıcaklık,
- Seramik takviyenin kaplanması,
- Süre işlem parametreleri olarak söylenebilir [42].

Şekil 3.6’da basınçsız infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3. 6. Basınçsız İnfiltrasyon yöntemi [1]

3.5. İnfiltrasyon Yöntemini Etkileyen Faktörler

3.5.1. Takviye Tane Boyutu

İnfiltrasyon işleminden önce, kullanılan takviye parçacıkları arasında meydana gelen boşluklar, infiltrasyonu etkileyen bir faktördür. Takviye elemanlarının tane boyutunun büyük olması, infiltrasyon öncesinde boşlukların olması nedeniyle, sıvı matrisin bu boşluklara daha kolay infiltre olmasını kolaylaştırmaktadır [38].

Chong ve ark., SiC gözenekli bünyelere basınçlı infiltrasyon yöntemi uygulayarak 2014 Al alaşımı infiltrasyonunda artan tane boyutunun infiltrasyon için gerekli olan eşik basıncını azalttığını tespit etmişlerdir [43].

Candan ve ark., farklı tane boyutlarına sahip (12,8 μm –22,8 μm ve 36,7 μm) gözenekli SiC bünyelere 400–900 kPa basınç ile sıvı Al alaşımını infiltre ederek, infiltrasyon davranışını gözlemlemişlerdir. Sonuçta infiltrasyon süresinin, SiC tane boyutuyla azaldığını belirtmişlerdir [44].

3.5.2. İnfiltasyon Süresi

İnfiltasyonun gerçekleşebilmesi için, diğer bir süreç parametrelere bağlı olmakla birlikte bir kuluçka dönemine gerek duyulmaktadır. Acılar (2002), %55' e varan takviye hacim oranlarındaki SiC tozlara vakum infiltasyon yöntemi uygulamışlar. İnfiltasyon işlemi neticesinde; % 9,42 Si, % 0,36 Mg' lu alüminyum alaşımını başarı ile infiltre etmişlerdir [45-49].

Rodrigues-Reyes (2003), Al-Si-Mg/ SiC kompozit yapılı malzemeleri basınçsız infiltasyon yöntemiyle üretmişler. Bu çalışma neticesinde artan infiltasyon sıcaklıklarında kuluçka süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Rodrigues-Reyes (2003), kuluçka süresinin sıcaklığa bağlı bir periyot olduğunu, ancak zaman ve sıcaklık parametrelerinin ortak etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir [46].

3.5.3. İnfiltasyon Sıcaklığı

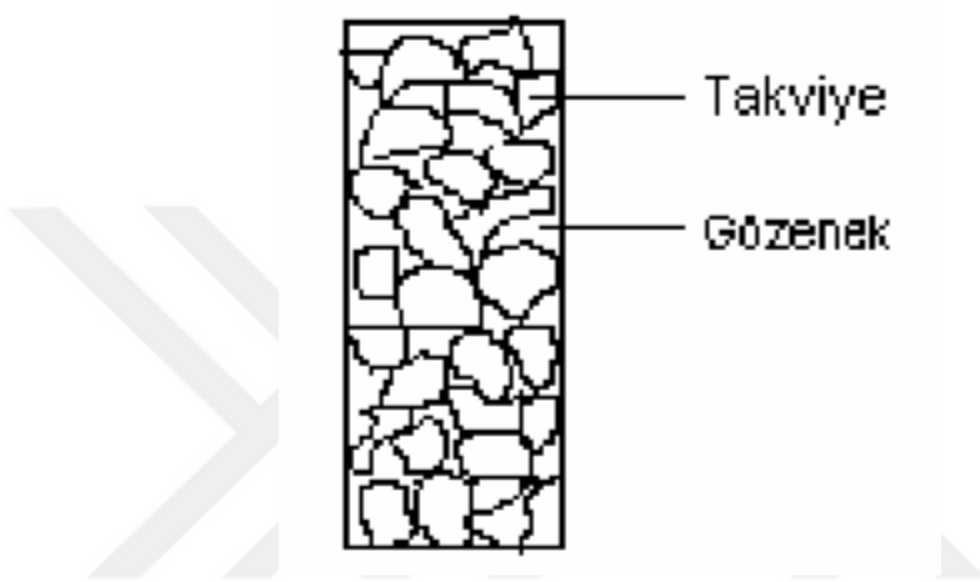
İnfiltasyon yöntemindeki en önemli değişkenlerden biri sıcaklıktır. İnfiltasyon sıcaklığının arttıkça, sıvı matrisin akıcılığı artar ve dolayısıyla takviye taneleri arasındaki gözeneklerden infiltre olması da kolaylaşmaktadır [38].

Acılar ve Gül (2002) düşük hacim oranında SiC/Al-10 Si kompozitlerinin vakum infiltasyon yönteminde, 660°C'de 180 saniyede ve 50mm infiltasyon elde ederken, buna karşılık sıcaklığın 600°C sıcaklığa düşürülmesi neticesinde infiltasyonun zorlaştığını, dolayısıyla zayıf infiltasyon meydana getirdiğini belirtmişlerdir [47].

3.5.4. Takviye-Hacim Oranı (T-H)

Takviye hacim oranı, kompozit malzeme içerisinde, takviye malzemesinin hacimce miktarıyla ifade edilmektedir. Matris malzemesi içerisinde, takviye malzemesinin dağılmasıyla kompozit malzeme meydana gelir. Takviye hacim oranı; kompozitin özelliklerini ve infiltasyonun davranışını belirleyen parametrelerdendir. Üretilecek olan

kompozitin; sertlik, gözeneklilik, aşınma, çekme dayanımı gibi özellikler takviye hacim oranı ile doğrudan ilgilidir [1]. Cam kap içerisinde takviye tozlarının oluşturduğu dolu hacim ve gözenekler Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3. 7. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler [1]

Şekil 3.7’deki gibi takviye tozları metal kap içerisine yerleştirildiği zaman, kap içerisinde meydana gelen hacim; gözenek hacmi ve takviye tozlarının hacmine eşittir. Kap içerisindeki hacim hesabı Eşitlik 3.1’de gösterilmiştir.

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (3.1)$$

Takviye tozlarının meydana getirdiği hacim ise; Eşitlik 3.2’deki gibi hesaplanmaktadır. Takviye tozlarının hacmi, takviye ağırlığının, özgül ağırlığa bölünmesi neticesinde bulunur.

$$V_{\text{takviye}} = m_{\text{takviye}} / d_{\text{takviye}} \quad (3.2)$$

Takviye hacim oranının, toplam hacme bölünmesiyle Takviye-Hacim (T-H) oranı bulunur ve Eşitlik 3.3’de gösterilmiştir.

$$\text{T-H oranı} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (3.3)$$

Kompozit içerisindeki takviye oranı Eşitlik 3.4’deki gibi hesaplanır.

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (3.4)$$

W_k :Kompozitlerin ağırlığı

W_f : Fiber ağırlığı

V_f : Fiber hacmi

W_m : Matris ağırlığı

V_m : Matris hacmi

m_{takviye} : Takviye kütlesi

d_{takviye} : Takviye yoğunluğu

3.5.5. İnfiltrasyon Basıncı

İnfiltrasyonda uygulanan basınç oranı, sıvı matrisin blok içerisinde boşluklardan ilerlemesini ve dolayısıyla gözenekleri doldurmasını etkilemektedir. İnfiltrasyon, bilindiği üzere takviye parçacıkları arasında matrisin kılcal basınçla ilerlemesiyle oluşmaktadır. Fakat bu işlemin gerçekleşebilmesinde, gözenek boyları ve takviye-matris uyumu etkili olmaktadır. Eğer matris-takviye uyumunun sağlanmadığı durumlarda, kılcal basınca yardımcı olmak için, infiltrasyona karşı kuvvetleri yenmek üzere, dışarıdan basınç uygulanmasına ihtiyaç duyulabilmektedir [38].

Demir ve Altınkok (2004) basınçlı infiltrasyon yöntemiyle Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri üretmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, artan basınç değerlerinde kompozitlerin dayanımları ve yoğunluklarının arttığını belirtmişlerdir [48].

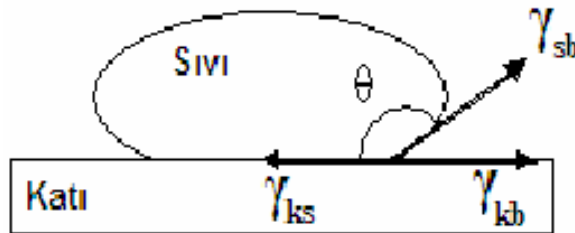
3.5.6. Alaşım

Matris ve takviye malzemesinin uyumu, kompozitlerin özelliklerini etkileyen önemli değişkenlerden biridir. İnfiltrasyon yönteminde; infiltrasyon mesafesini önemli oranda etkileyen parametre, sıvı metalin takviyeyi ıslatma kabiliyetidir. İnfiltrasyon yöntemiyle alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretildiği birçok araştırmada, sıvı matrisin Mg içeriğinin infiltrasyonu arttıran bir etki gösterdiği belirtilmiştir [49].

Matris malzemeleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan malzeme üstün özelliklerinden dolayı alüminyumdur. İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen MMK'larda en fazla tercih edilen alüminyum döküm alaşımlarıdır. Bu alaşım grubunda yer alan Al-Mg-Si alaşımlarının en fazla tercih edilmesinin nedeni, bu alaşımların ıslatma kabiliyetlerinin iyi olmasıdır [38].

3.5.7. Islatma

Katı bir yüzeyde bir sıvının yayılma kabiliyeti olarak tanımlanan ıslatabilirlikte, üç spesifik enerji vardır. Bu enerjiler; sıvı-buhar ara yüzey enerjisi, katı- sıvı ara yüzey enerjisi ve katı-buhar ara yüzey enerjisidir. Sıvının katı yüzeyini ıslatma kabiliyeti temas açısıyla belirlenir. Bu açı 90° 'ye eşit veya altında ise ıslatma gerçekleşir. Aksi takdirde 90° 'den büyük ise ıslatma gerçekleşmez [47]. Şekil 3.8'de bir sıvı damlasının katı bir yüzey ile teması esnasında oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı görülmektedir.



Şekil 3. 8. Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı [1]

4. MATERYAL YÖNTEM

4.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kompozit malzeme üretiminde; matris malzemesi olarak AA7075 alaşımı, takviye elemanı olarak Alümina (Al_2O_3) ve pirinç kabuğu külü(RHA) kullanılarak, vakum infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretilmiştir.

4.1.1. Alüminyum 7075

Matris malzemesi olarak deneylerde kullanılan AA7075 alaşımı, Konya Seydişehir Alüminyum'dan temin edilmiştir. Kullanılan AA7075 tozları <150 μm boyutlarındadır. Matris malzemesi olarak kullanılan alüminyum 7075 alaşımına ait kimyasal özellikler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. Alüminyum 7075 alaşımının kimyasal özellikleri [14]

Alaşım Elementi	Zn	Cu	Mg	Fe	Mn	Si	Cr	Ti	Al
% Ağ.	5,1-6,1	1,2-2,0	2,1-2,9	Max 0,5	Max 0,3	Max 0,4	0,18-0,28	Max 0,2	Kalan

4.1.2. Alümina

DeneySEL çalışmalarda 30-40 μm tane boyutuna sahip alümina tozları kullanılmıştır. DeneySEL çalışmalarda kullanılan Al_2O_3 malzemesinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2.Deneylerde kullanılan alüminanın (Al_2O_3) fiziksel özellikleri [12]

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 kgm^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-6}C^{-1}$)	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3,98	7,92	2100	221 (1090 $^{\circ}C$)	379 (1090 $^{\circ}C$)

4.1.3. Pirinç Kabuğu Külü (RHA)

Deneyisel çalışmalarda takviye malzemesi olarak kullanılan pirinç kabuğu külü Malezya Putra Üniversitesi'nden temin edilmiştir. Deneyisel çalışmalarda kullanılan RHA'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve kimyasal özellikleri [24]

Pirinç kabuğu külünün kimyasal özellikleri (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
91,15	3,84	1,87	0,81	0,59	---	0,71	0,17	0,21	0,65
Pirinç kabuğu külünün fiziksel özellikleri									
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)					Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)				
0,685					2,22				

4.2. Deneyisel Çalışmalar

4.2.1. Kurutma

Takviye elemanları pirinç kabuğu külü (RHA), Kırıkkale Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Seramik laboratuvarında bulunan Şekil 4,1'deki ETÜV fırınında kurutulmuştur. Tozlar 130 $^{\circ}C$ 'de 3 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulmadan önce

13,3644 gram olan pirinç kabuğu külünün kurutma sonrasındaki ağırlığı, 12,8137 gram olarak tespit edildi. Şekil 4.1’de RHA’nın kurutulduğu fırın görülmektedir.



Şekil 4. 1.Kurutma fırını

4.2.2. Karışım

Fırında kurutulan pirinç kabuğu külü (RHA) ve Alümina (Al_2O_3) tozları;

- % 5 Al_2O_3 + 0,5 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 1,0 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 1,5 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 2,0 oranında RHA,

karıştırılarak hazırlandı.

4.2.3.Metal Tüplere Doldurulması

İnfiltrasyon deneylerinde 8 mm çapında 300 mm yüksekliğinde çelik tüpler kullanılmıştır. Paslanmaz çelik bir filtre çelik tüpün alt kısmına konulurken, karıştırılan tozların çelik tüp içerisinde dökülmeden kalmasını sağlamak amacıyla çelik filtre üzerine alüminyum folyo konulmuştur.

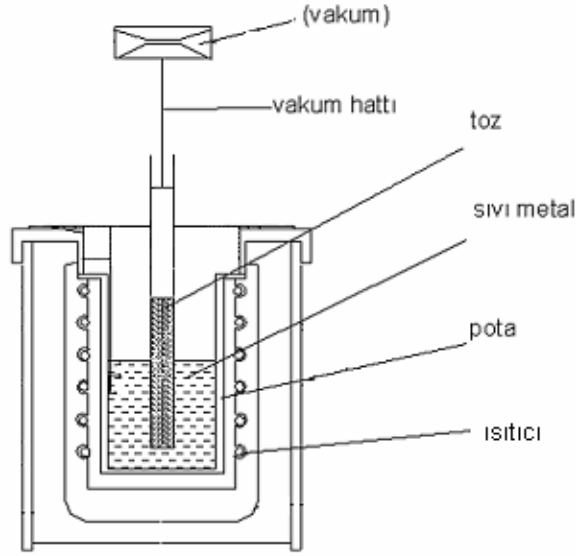
Alümina ve kurutulmuş pirinç kabuğu külü

- % 5 Al_2O_3 + 0 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 0,5 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 1,0 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 1,5 oranında RHA,
- % 5 Al_2O_3 + 2,0 oranında RHA,

Oranlarındaki toz karışımlar, 71,25 mm yükseklik oluşturacak şekilde çelik tüplere serbest halde doldurulmuştur. Tozların vakum hattına gitmesini engellemek için üst kısma çelik filtre ve alümina battaniye yerleştirilmiştir. Her karışım oranından 5'er çelik tüp numune hazırlanmıştır.

4.2.4. Vakum İnfiltasyon Düzenegi

Deneyisel çalışmalarda metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemlerinden biri olan vakum infiltasyon yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.2'de Kırıkkale Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği'nde bulunan ve Prof. Dr. Recep ÇALIN'ın tasarladığı vakum infiltasyon deney düzenegi görülmektedir. Vakum ünitesi, ergitme ocağı, metal kalıp ve diğer ekipmanlar, vakum infiltasyon düzenegini teşkil etmektedir.



Şekil 4. 2. Vakum infiltrasyon deney düzeneği. [1]

4.2.5. Alüminyum Matrisin Ergitilmesi

Ergitme ocağında kullanılan grafit pota içerisine sığabilecek şekilde deneysel çalışmalarda kullanılan AA7075 alaşımına ait külçe şeklindeki parçalar şekil 4.3’de görülen ergitme ocağına yerleştirilmiştir. İçerisine alüminyum alaşımı yerleştirilmiş olan grafit pota ergitme ocağı içerisine yerleştirilmiştir. Ergitme ocağının sıcaklığı 750 °C olarak ayarlanmıştır. Ergitme ocağındaki bu sıcaklık sabit tutularak matris malzemesinin ergitilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. 3. Vakum infiltrasyonun yapıldığı ergitme ocağı.

4.2.6. İnfiltrasyon İşlemi

Vakum infiltrasyon yönteminde, kompresörden vakum basıncı Ventury yöntemi ile elde edilmiştir. Bu sistemde elde edilen vakum değeri, akış-kontrol valfine bağlı manometre yardımı ile ölçülmüştür. Çalışma esnasında vakum ünitesinin meydana gelen sıcak havadan olumsuz etkilenmemesi için, çelik tüp ile vakum kaynağı arasına 6 mm çapındaki bakır boru yerleştirilmiştir. Çelik tüp ile bakır borunun bağlantı yerine sızdırmazlığı sağlamak amacıyla teflon conta yerleştirilmiştir. İnfiltrasyon işlemi sırasında vakum ünitesi yardımıyla 550 mmHg vakum uygulanmıştır.

Çelik tüp, pota içerisinde sıvı halde bulunan pota içerisine daldırılmış ve 550 mmHg (0,72368 atm) değerindeki vakum 3 dakika süre ile uygulanmıştır. 3 dakika sonunda metal kalıp sıvı içerisinden çıkarılmış ve soğuması için silis kumu içerisine bırakılmıştır. Aynı şekilde hazırlanan çelik tüplere aynı işlemler uygulanmıştır.

4.3.Kompozitlere Uygulanan Testler

Vakum infiltrasyon yöntemi uygulanarak üretilen kompozitlere; sertlik, aşınma, gözeneklilik ve mikroyapının incelenmesi alanlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.3.1. Numunelerin Hazırlanması

Vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan kompozit malzemeler, çelik tüp içerisinden tornalanarak çıkarılmıştır. Kompozit malzemeler eksene dik ve paralel olmak üzere kesilerek, testler için hazırlanmıştır.

Vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numuneler, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi Laboratuvarında bakalite alındı. Kompozitler ATM Opal 460 model bakalite alma cihazında, sıcak bakalite alma yöntemiyle kaplanmıştır. Bakalit içerisine alınmış olan numunelerin parlatılma ve zımparalanma işlemleri için, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalografi Laboratuvarında bulunan ve şekil 4.4'de gösterilen ATM Saphir 520 model otomatik parlatma ve zımparalama cihazı kullanılmıştır. Numunelerin zımparalanma işleminde sırasıyla 240, 400, 800 ve 1200 mesh zımparalar kullanılmıştır. Daha sonra parlatma keçeleri ile 6 ve 3 μm boyutlarında alümina aşındırıcı solüsyon yardımıyla parlatma işlemi yapılmıştır. % 94 saf su, % 6 hidroklorik asitten oluşan kimyasal bileşimle dağlama yapılmıştır.



Şekil 4. 4. Numunelerin zımparalanması

4.3.2. Sertlik

Üretilen malzemelerin sertlik deneyleri Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi Laboratuvarında Galileo Marka Mikrosertlik cihazında yapılmıştır. İnfiltrasyon yöntemiyle üretilmiş olan kompozit malzemelerin sertlik ölçümlerinde Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır.

Ölçüm yapılacak numuneler eksene paralel olarak kesilmek suretiyle sertlik ölçümleri yapıldı. Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136^0 elmas kare piramit uç kullanıldı. Ölçüm 200 gram yük altında 8-10 saniye süre zarfında yapılmıştır. Her numune için 5 ölçüm yapıldı ve ortalama sertlik değerleri alınmıştır. Şekil 4.5'de Vickers sertlik ölçme cihazı gösterilmiştir.

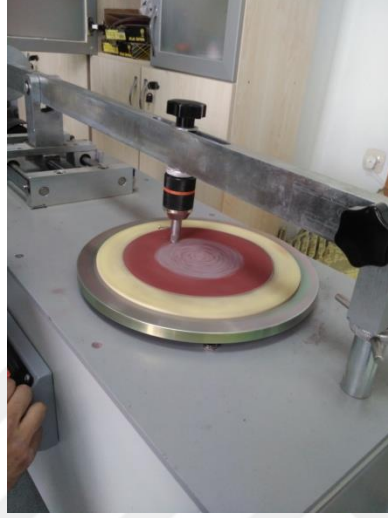


Şekil 4. 5.Vickers sertlik ölçme cihazı

4.3.3. Aşınma

İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozitlerin aşınma deneyleri Kırıkkale Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Döküm Laboratuvarında yapılmıştır. Kompozit malzemenin aşınma deneyleri; 40 metre yol, 240'lık zımparada, 20N'luk yükle

yapılmıştır. Şekil 4,6’da aşınma deneyinde kullanılan Pin-on disk aşınma deney düzeneği ve aşınma deneyinin yapılma anı görülmektedir.



Şekil 4. 6.Pin-on disk aşınma test düzeneği

4.3.4.Yoğunluk ve Gözeneklilik

İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk ve gözeneklilik değerleri Arşimet Prensibine göre hesaplanmıştır. Numunelerin tartımı yapılan terazi Sartorius marka ve 0,1 mg hassasiyetindedir. Kompozitlerin sudaki ve havadaki ağırlıkları ölçülmüş ve Eşitlik 4,1’deki formül yardımıyla deneysel yoğunlukları hesaplanmıştır. Üretilmiş olan numunelerin yoğunlukları Arşimet prensibine göre Eşitlik 4.1’deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\rho_{\text{deneysel}} = (G_{\text{havada}} / (G_{\text{havada}} - G_{\text{suda}})) \quad (4.1)$$

ρ_{deneysel} : Deneysel Yoğunluk

G_{havada} :Kompozitin havada tartılan ağırlığı

G_{suda} :Kompozitin suda tartılan ağırlığı

Üretilen numunelerin teorik yoğunlukları Eş.4.2’deki karışım kuralına göre hesaplanmıştır.

$$\rho_{\text{teorik}} = \rho_m \times \varphi_m + \rho_t \times \varphi_t \quad (4.2)$$

ρ_t = Takviye malzemenin yoğunluğu

ρ_m = Matris malzemenin yoğunluğu

φ_m = Matris malzemenin hacim oranı

φ_t = Takviye malzemenin hacim oranı

Teorik ve deneysel yoğunlukları belirlenmiş olan kompozit numunelerin gözenek miktarları ise, Eş.4.3'de verilmiş olan formülle hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Gözenek} = (\rho_t / (\rho_t - \rho_d)) \quad (4.3)$$

ρ_t : Teorik Yoğunluk

ρ_d : Deneysel Yoğunluk

4.3.5. Optik Mikroskopik İncelemeler

Metalografik hazırlama ve optik mikroskopik incelemeler; Kırıkkale Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarında parlatma, zımparalama ve dağlama yapıp, Nikon marka metal mikroskopunda incelenmiştir.

4.3.6. Elektron Mikroskobu ve EDS Analizi

Bakalit kaplamaya alınan numunelerin SEM görüntüleri QUANTA 400F model yüksek çözünürlüğe sahip olan taramalı elektron mikroskopunda alınmıştır. EDS analizleri ise, JEOL JEM 2100F model yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak alınmıştır. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen kompozitlerden alınan numunelerin EDS analizleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji Malzeme Laboratuvarında yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1.Yoğunluk ve Porozite

Isıl işlem öncesi ve 8 saat yaşlandırılmış numunelerin teorik ve deneysel yoğunlukları ile gözeneklilik oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

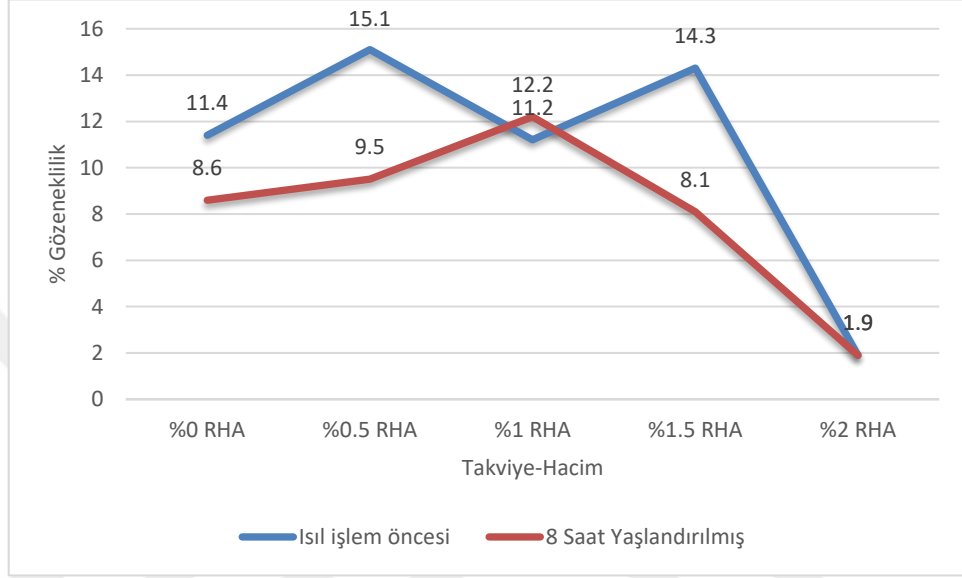
Çizelge 5. 1. Vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerin teorik ve gerçek yoğunlukları ile gözeneklilik oranları.

Takviye Oranı	Isıl İşlem Öncesi			Yaşlandırılmış (8 saat)		
	Teorik	Deneysel	Gözenek (%)	Teorik	Deneysel	Gözenek (%)
% 0	2,86 gr/cm ³	2,54 gr/cm ³	11,4	2,86 gr/cm ³	2,62 gr/cm ³	8,6
% 0,5	2,86 gr/cm ³	2,43 gr/cm ³	15,1	2,86 gr/cm ³	2,59 gr/cm ³	9,5
% 1	2,86 gr/cm ³	2,54 gr/cm ³	11,2	2,86 gr/cm ³	2,51 gr/cm ³	12,2
%1,5	2,85 gr/cm ³	2,44 gr/cm ³	14,3	2,85 gr/cm ³	2,76 gr/cm ³	3,4
% 2	2,85 gr/cm ³	2,80 gr/cm ³	1,9	2,85 gr/cm ³	2,80 gr/cm ³	1,9

Çizelge 5.1’de verilmiş olan değerlere bakıldığında; pirinç kabuğu külü (RHA) içermeyen numunenin ve %0,5 RHA %1,5 RHA içeren numunelerin yoğunluk değerlerinde artış meydana gelmiştir. Fakat %1 RHA içeren numune de artış olmamasının aksine yoğunluk değeri çok az oranda düşmüştür. Numunelerin hesaplanmış olan gerçek yoğunluk değerleri kullanılarak gözenek oranları hesaplanmıştır.

Gözeneklilik deney sonuçları Şekil 5,1’deki grafikte görülmektedir. RHA içermeyen numunede gözenek oranının düştüğü saptanmıştır. RHA içeren numunelerde ise; %0,5 RHA içeren numunede gözenek oranı %15,1 olarak hesaplanırken %1 oranında RHA içeren numune de gözeneklilik değerinin %11,2 değerine düştüğü %1,5 RHA içeren numunede ise tekrar %14,3 e yükseldiği belirlenmiştir. Üretilen %2’lik numunede

homojen takviye dağılımı olmadığı için değerin %1,9 a kadar düştüğü, bu durumun homojen olmayan takviye dağılımından kaynaklandığı görülmektedir.

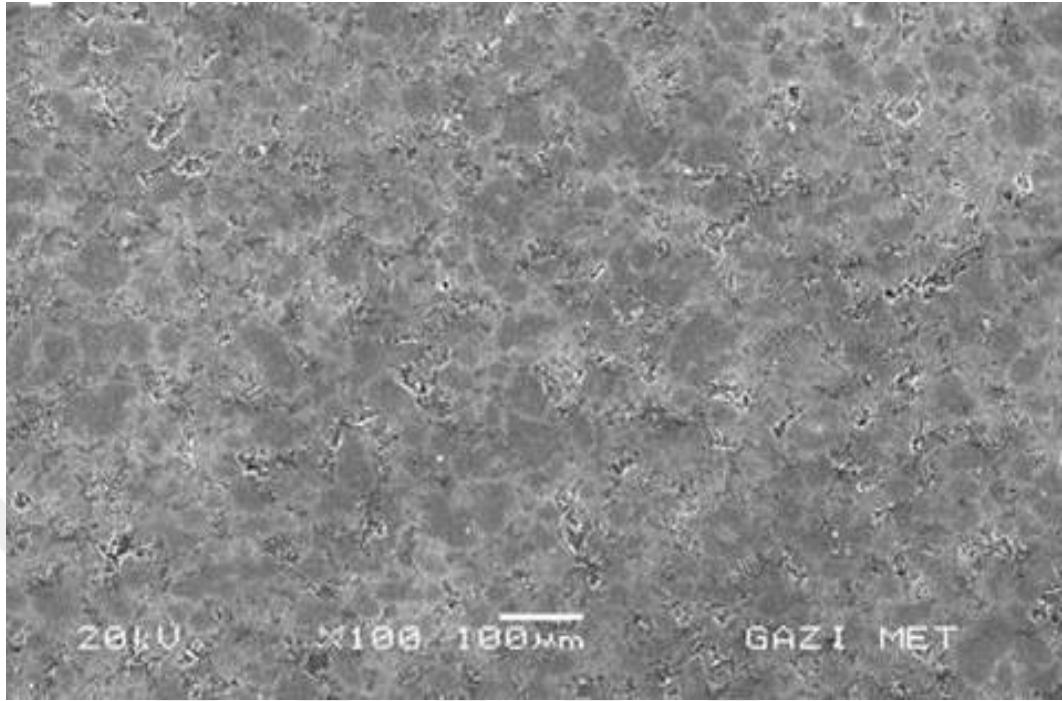


Şekil 5. 1. Isıl İşlem Öncesi ve 8 saat yaşlandırılmış numunelerin gözeneklilik oranları

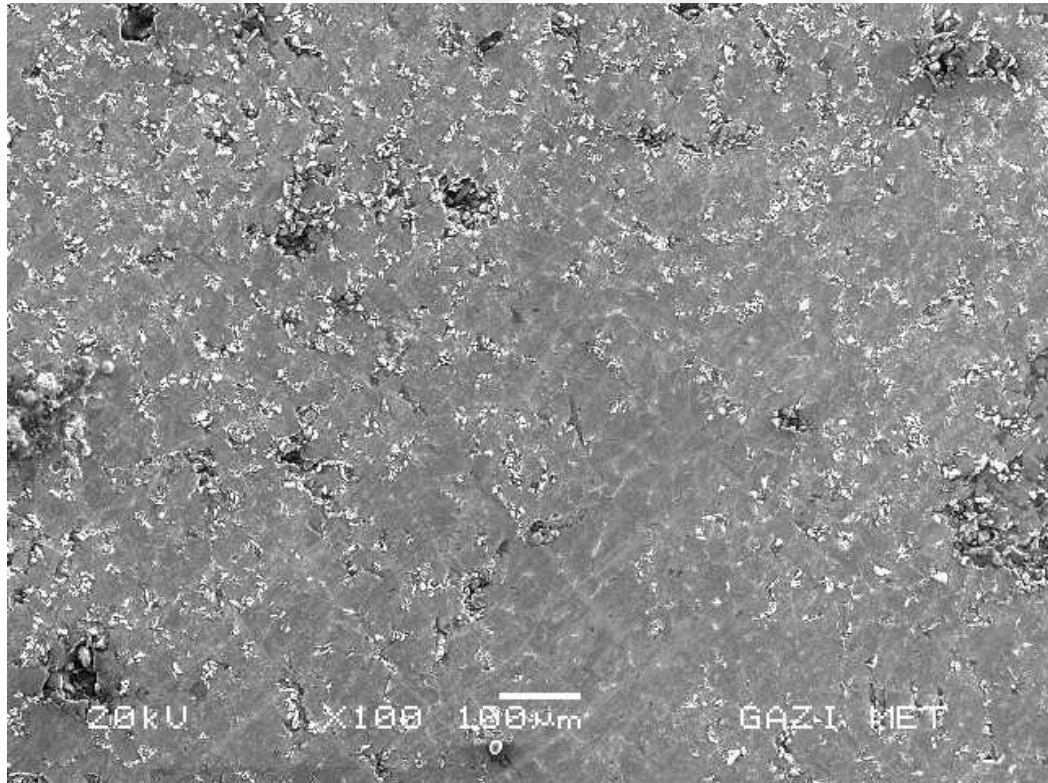
8 saat yaşlandırılmış olan numunelerde gözenek oranının %0 RHA içeren numune de %8,6 değerine, %0,5 RHA içeren numunede ise %9,5 değerine düştüğü saptanırken %1 RHA içeren numunenin gözenek oranında azda olsa artış meydana gelip %12,2 değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Burada görülen gözenek artışına, pirinç kabuğu külünün (RHA) gözenekli yapısı rol oynamaktadır.

5.2. SEM ve EDS Analizleri

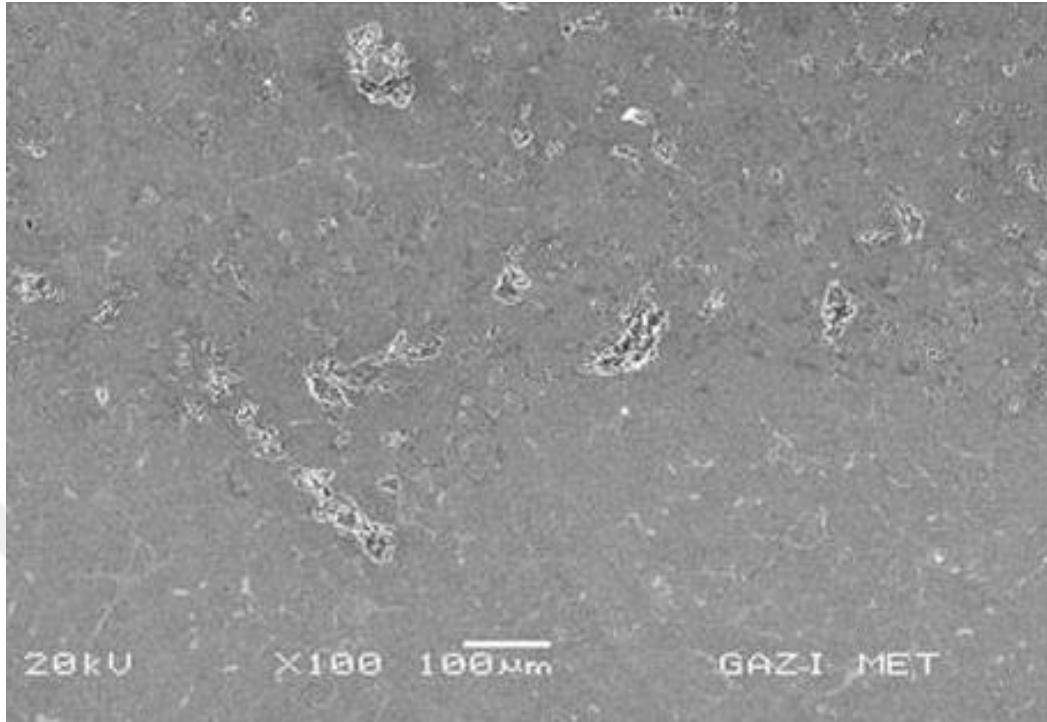
Vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilen numunelerin gözeneklilik ve yoğunlukları hesaplandıktan sonra, metalografi hazırlama teknikleri kullanılarak hazırlanmış ve mikroskop incelemesi için hazır hale getirilmiştir. İncelenen numunelerin SEM görüntülerine bakılmıştır.



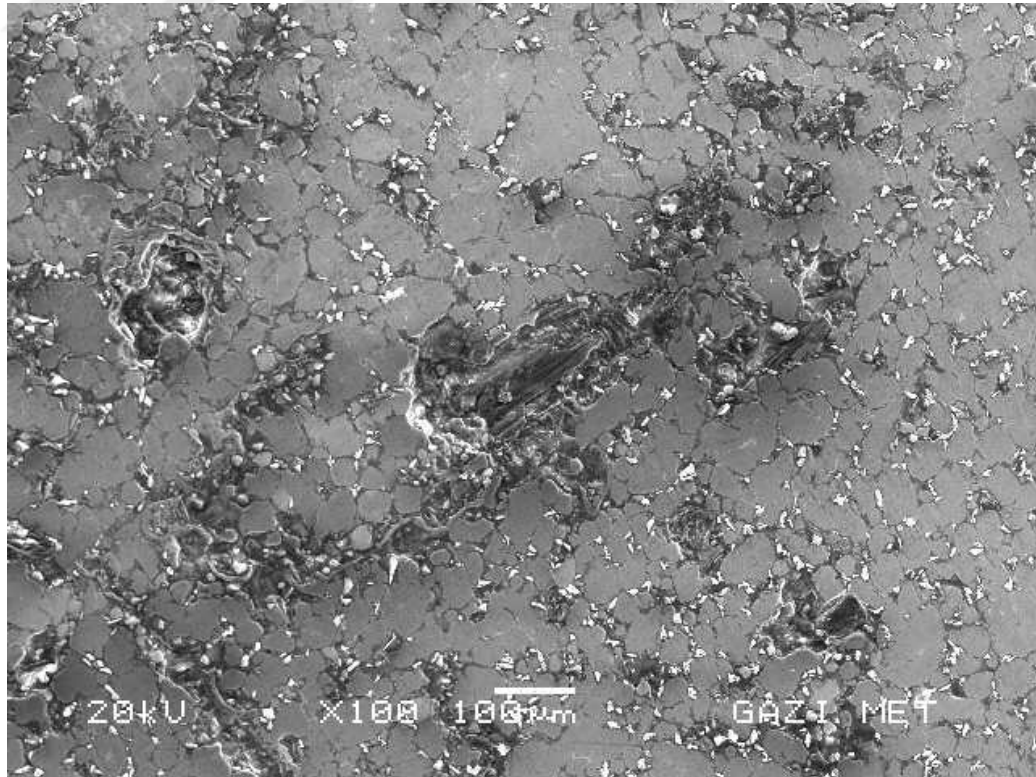
a)%0 RHA



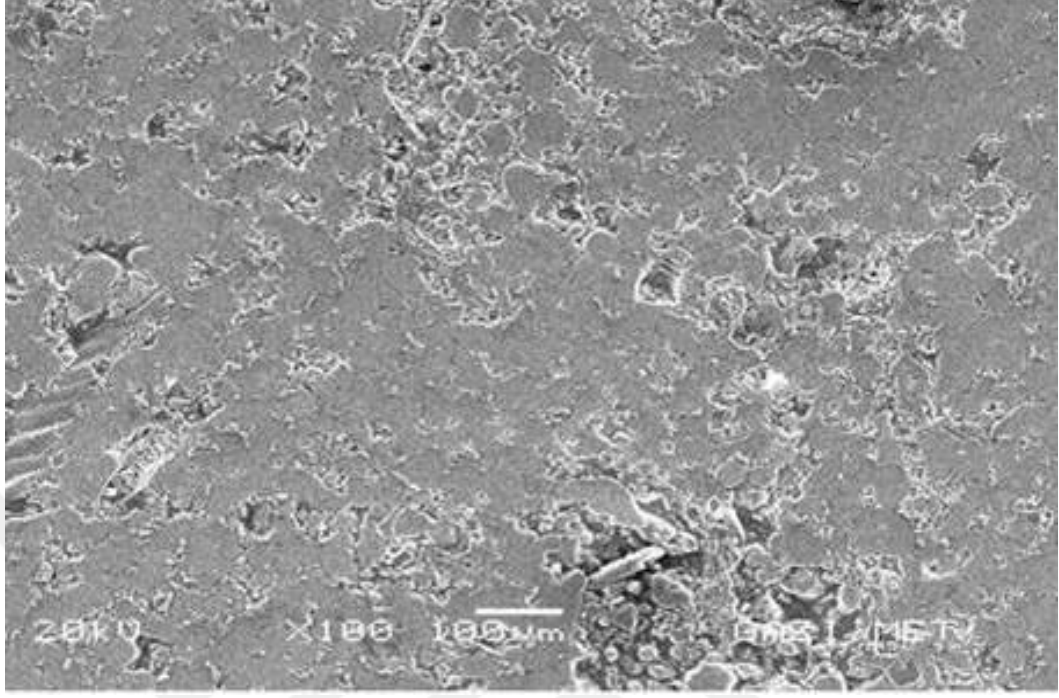
b)%0,5 RHA



c)%1 RHA



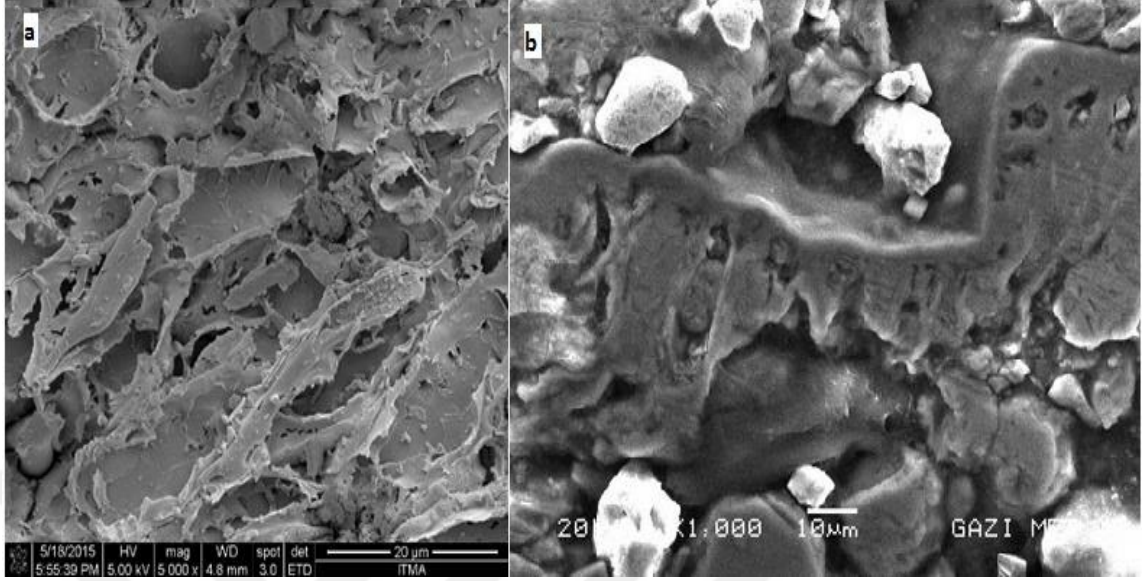
d)%1,5 RHA



e)%2 RHA

Şekil 5. 2. Isıl işlem öncesi numunelerin SEM görüntüleri a) %0 RHA b) %0,5 RHA c) %1 RHA d) %1,5 RHA e) %2 RHA

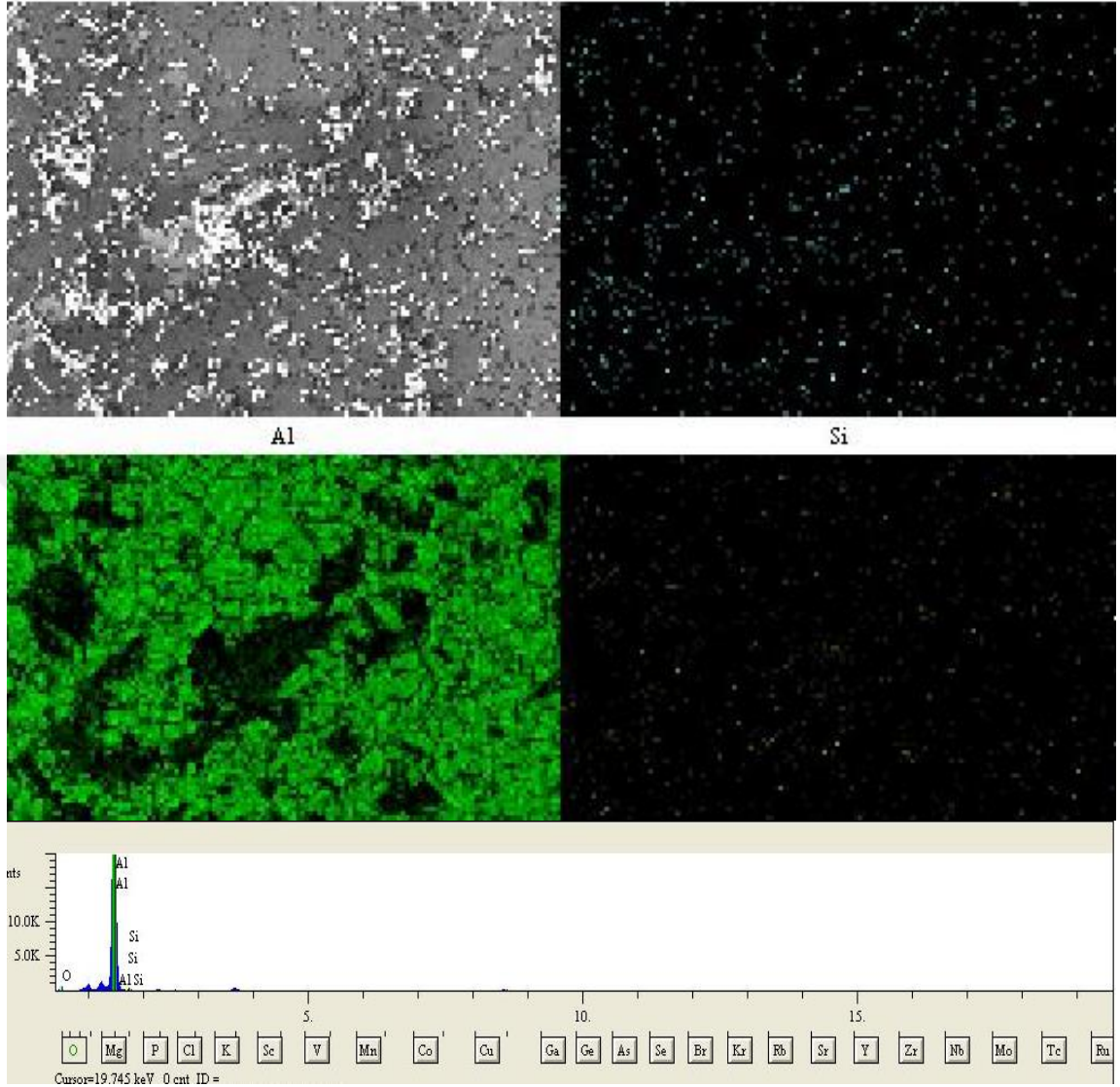
Şekil 5.2’de verilen ısıl işlem uygulanmamış numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında; %0, %0,5, %1, %1,5, %2 RHA, %5 Al_2O_3 takviyeli numunelerde, Al_2O_3 tanelerinin homojen dağıldıkları görülmüştür. Bununla birlikte takviye oranı arttıkça büyük gözeneklerin arttığı gözlemlenmektedir. Benzer bir çalışma Çalın ve ark.[52] 2015 yılında gözeneklerin takviye elamanının etrafında yoğunlaştığı sonucunu elde etmişlerdir. RHA tanelerinin bulunduğu kısımlarda ise, boşlukların meydana geldiği görülmektedir. RHA tanesinin SEM görüntüsüne bakıldığında, RHA takviyeli numunelerde bulunan gözenekler ile uyum içinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu gözeneklerin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için RHA tanelerinin SEM analizi de yapılmıştır. (Şekil.5.3.)



Şekil 5. 3. a) RHA tanesinin SEM görüntüsü b) %2 RHA ve %5 Al₂O₃ içeren numunenin SEM görüntüsü

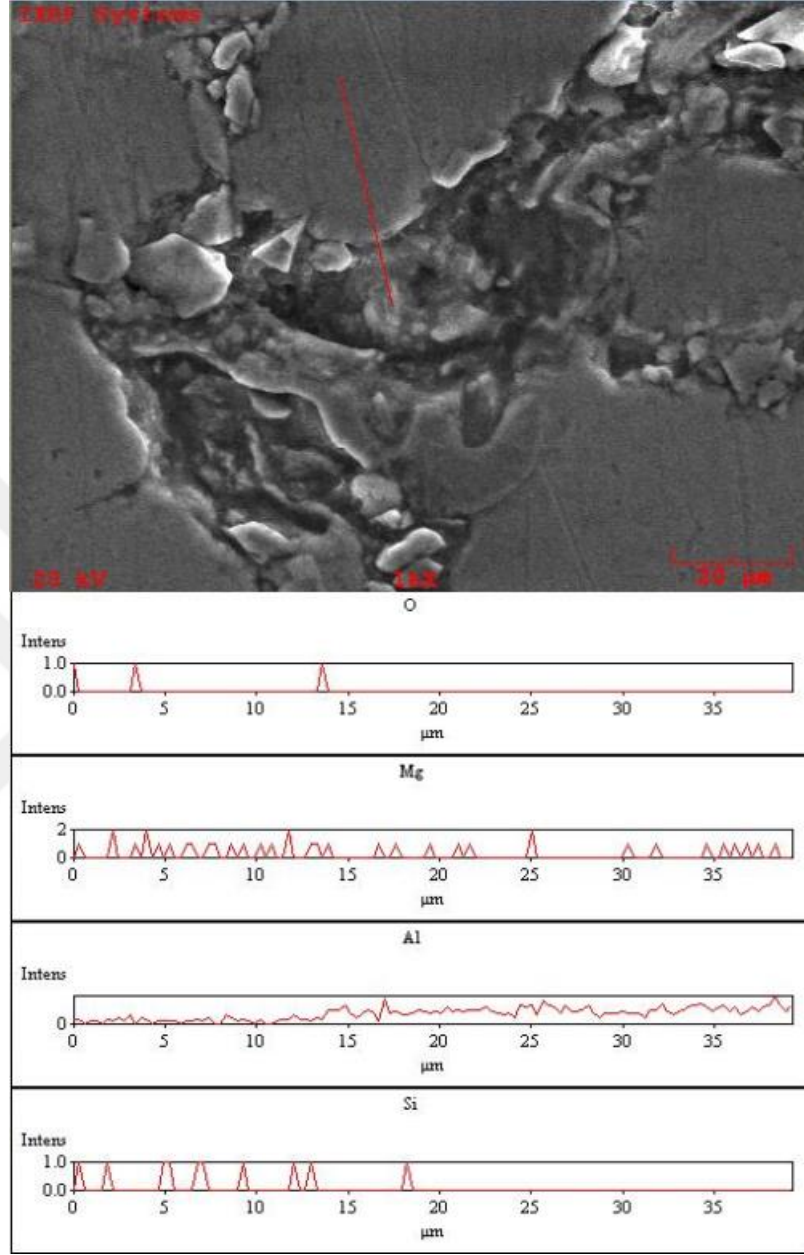
Şekil.5.3'te verilen görüntülerde Şekil5.3.(b)'de gözeneğin yapısı görülmektedir numunenin gözenek yapısı Şekil.5.3.(a)' da verilen RHA tanesinin görüntüsü ile eşleşmektedir. Gözenekler arasından giren ergimiş alüminyum metali gözenekli yapının şeklinde katılmıştır ve burada RHA tanesinin bulunduğunu göstermektedir.

Şekil.5.4'de %1.5 RHA içeren numunenin EDS MAP analizine bakıldığında, RHA'nın kopmasıyla oluşan gözenekte, yeşil renkte görülen alüminyum elementine rastlanmamaktadır. Fakat mavi renkte görünen O ve sarı renkte görünen Si elementlerinin bu gözenek içerisinde yoğun pik verdikleri görülmektedir.



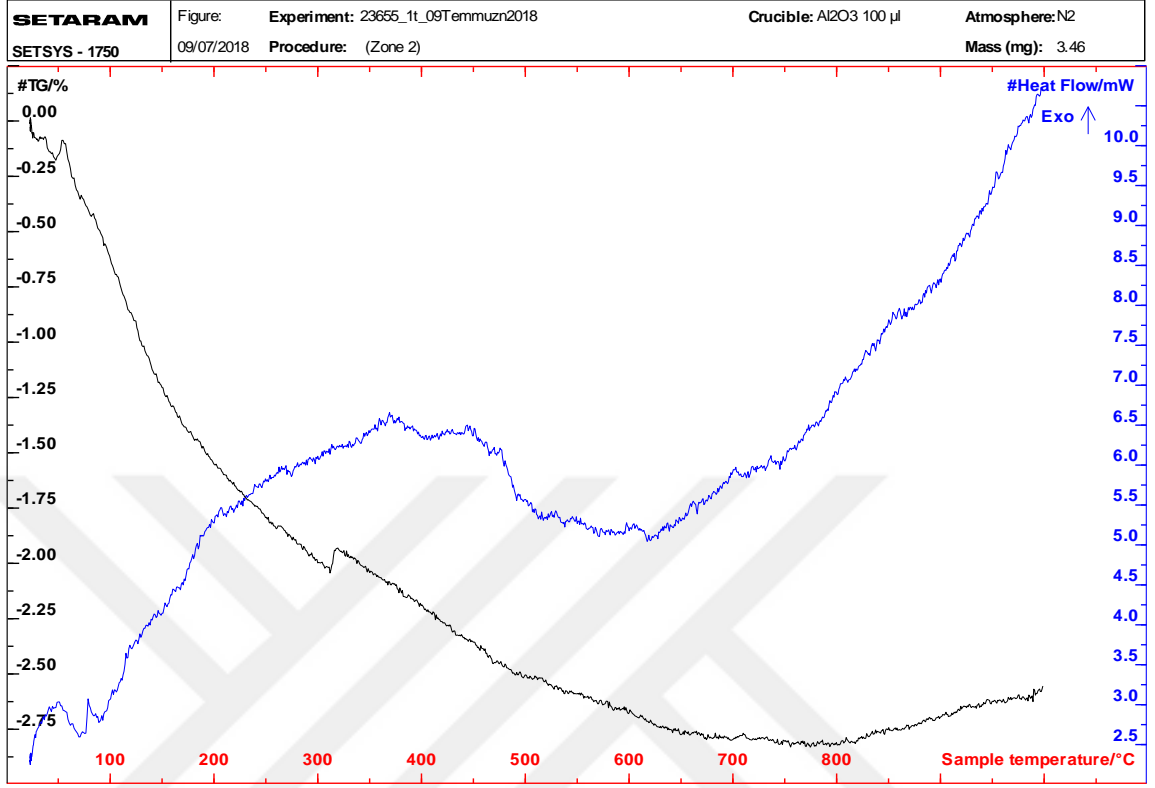
Şekil 5. 4: % 1.5 RHA içeren numunenin EDS MAP analizi

Şekil 5.5'te verilen EDS analizi bu bölgede RHA olduğu düşüncesini desteklemektedir. Şekil.5.5.'te verilen gözenekli bölgenin çizgisel analizi gözenegin orta kısmından başlayıp matriste sona ermektedir. Gözenek kısmında Si elementinin pikleri açık şekilde görülürken gözenek ve matris arasında bulunan bölgede azaldığı saptanmıştır ve matrise doğru ilerledikçe Si elementi pik vermemiştir.



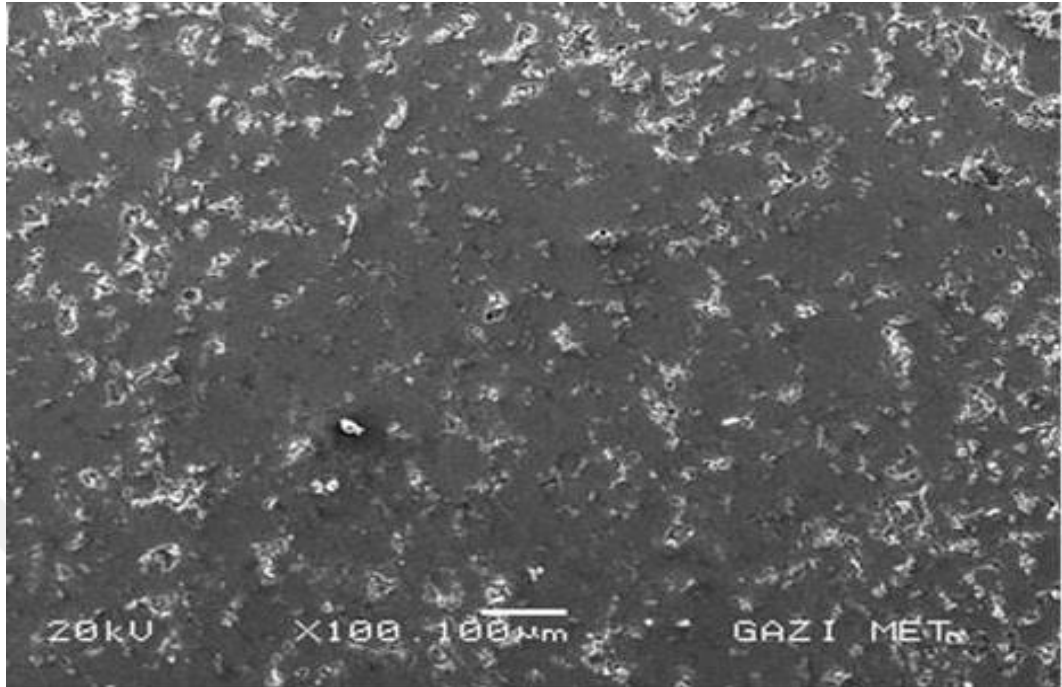
Şekil 5. 5: %1 RHA içeren numunenin gözenekli bölgesinden alınan çizgisel EDS analizi

Çalın ve ark. [50] 2018 yılında yaptığı çalışmada RHA tanelerinin DTA ve TGA analizlerinde yaparak RHA tanesinde 825°C'de kütle kaybı yaşadığını ve oluşan tepkimenin RHA tanesi ile matris tarafından ıslatılmasını zorlaştırdığını saptamışlardır ve yaptıkları çalışmada Al matris içerisine Si difüzyonunu tespit etmişlerdir. (Şekil.5.6)

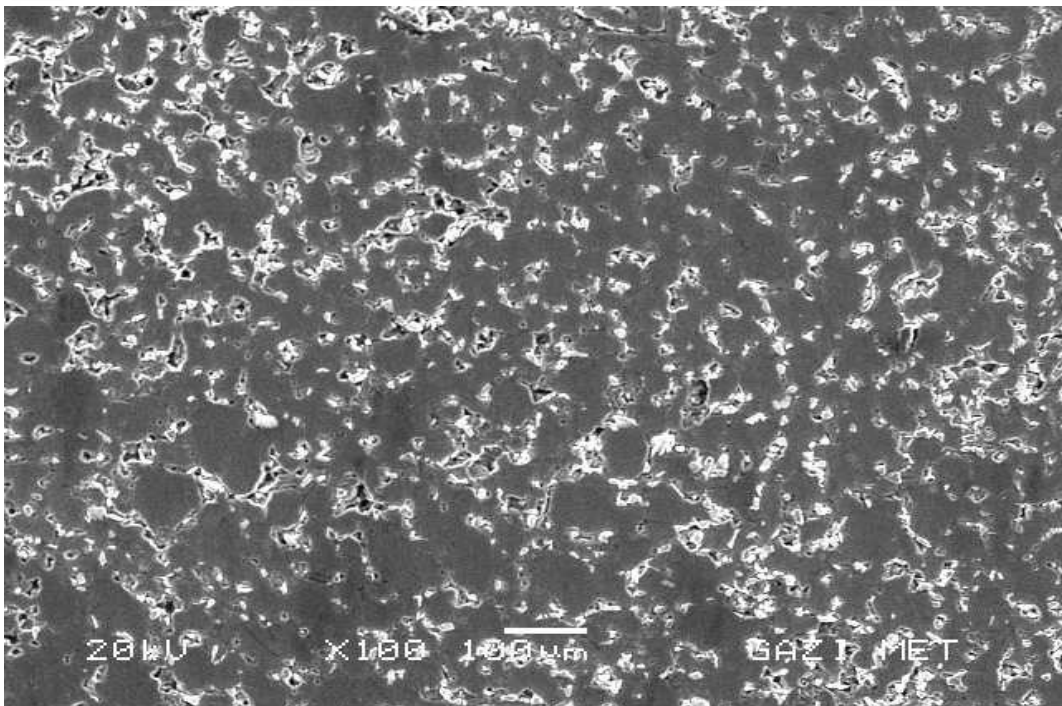


Şekil 5. 6: RHA tanelerinin TGA ve DTA analizleri

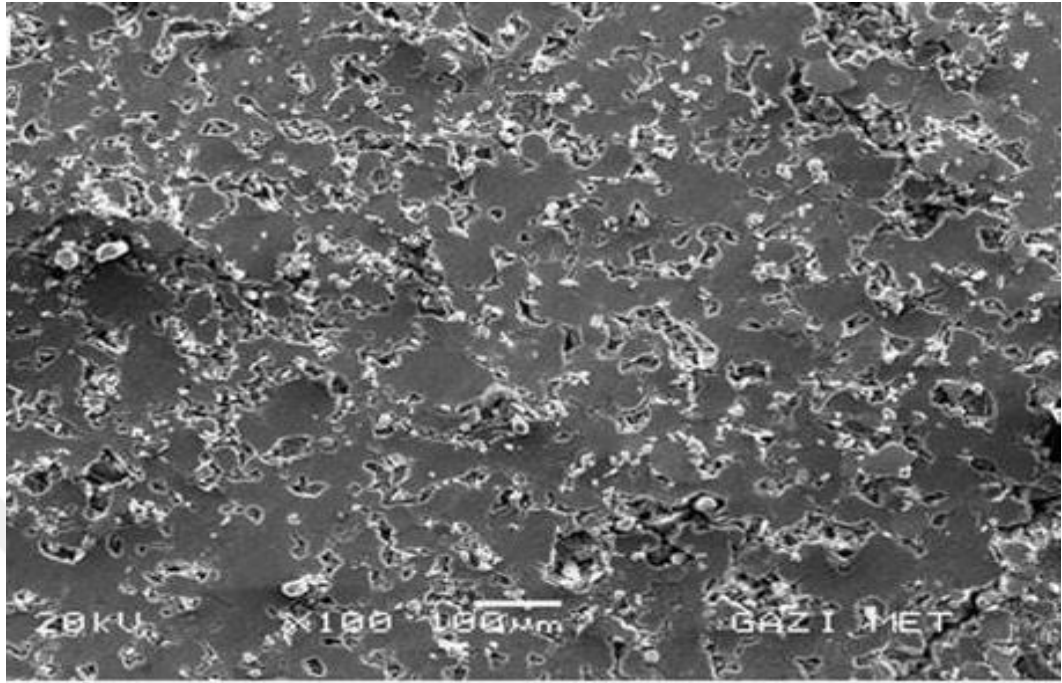
Şekil 5.7’de verilen yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında her numune de matris üzerinde beyaz noktasal bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Dağılımın bu numunelerde de homojen olduğu saptanmıştır. Şekil.5.8’de matrise daha da yaklaşmış ve tespit edilen çökeltilerin yakından incelemesi yapılmıştır.



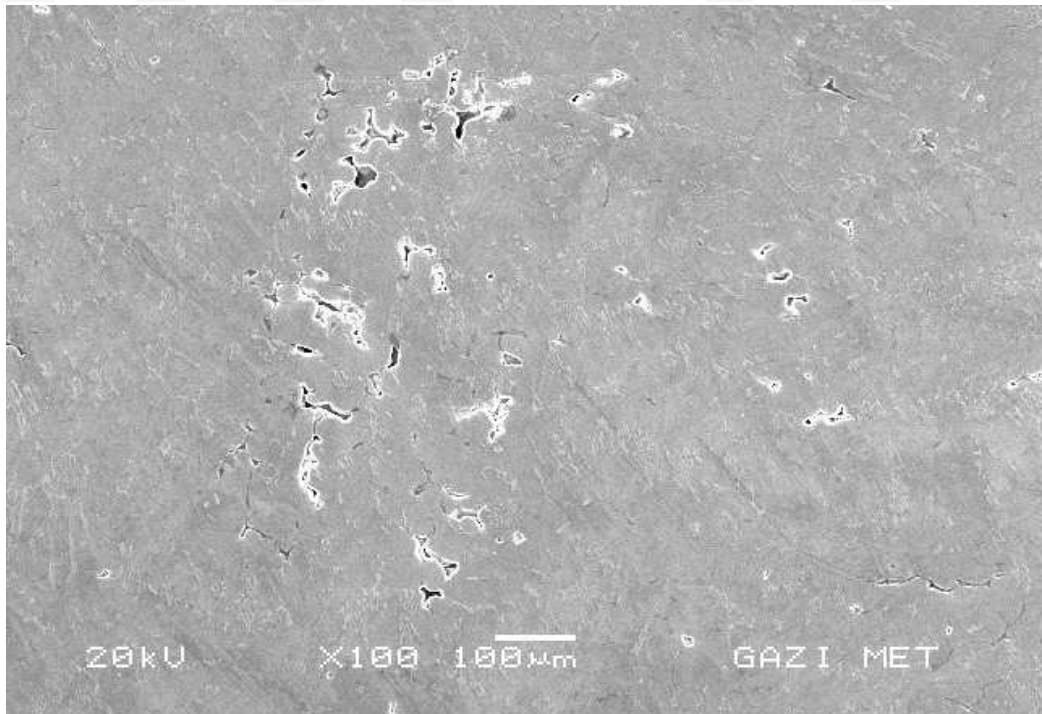
a)%0 RHA



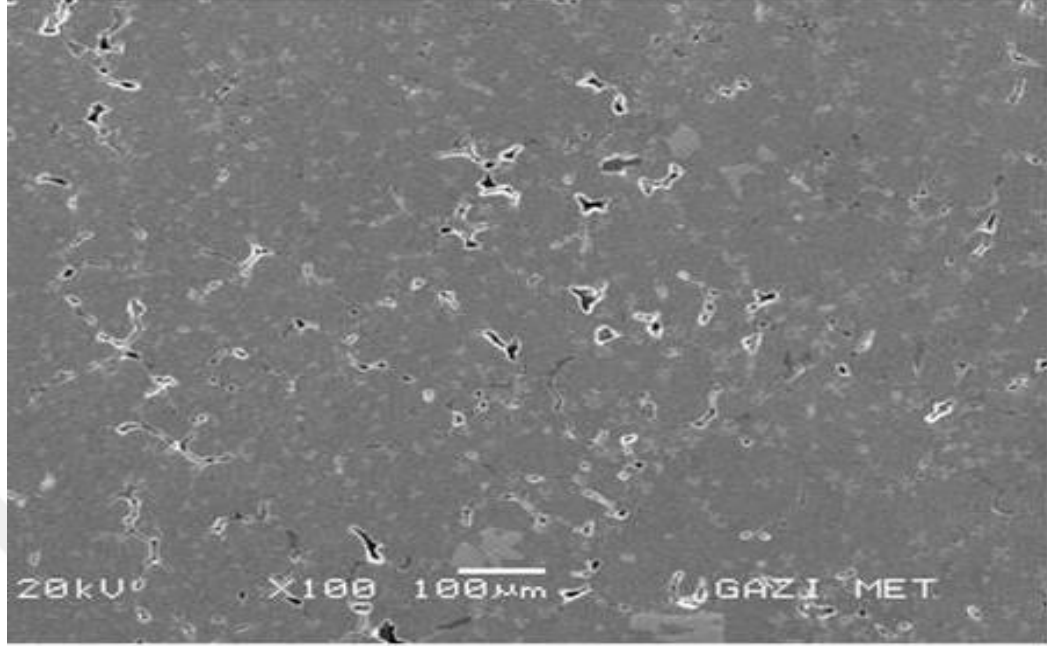
b)%0,5 RHA



c)%1 RHA

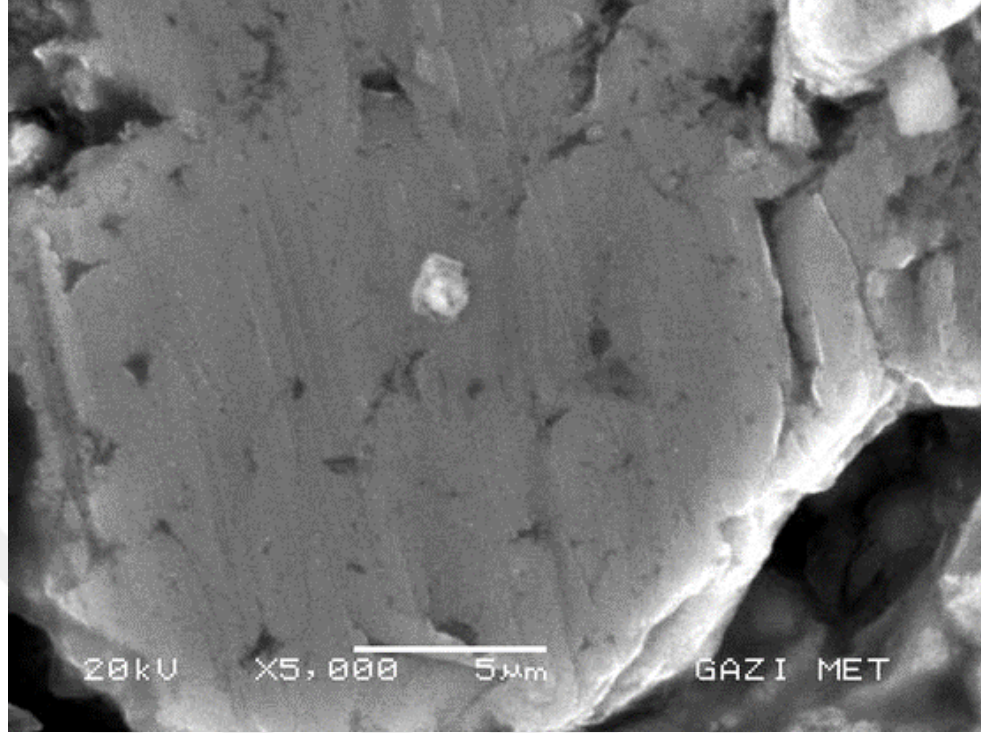


d)%1,5 RHA



e)%2 RHA

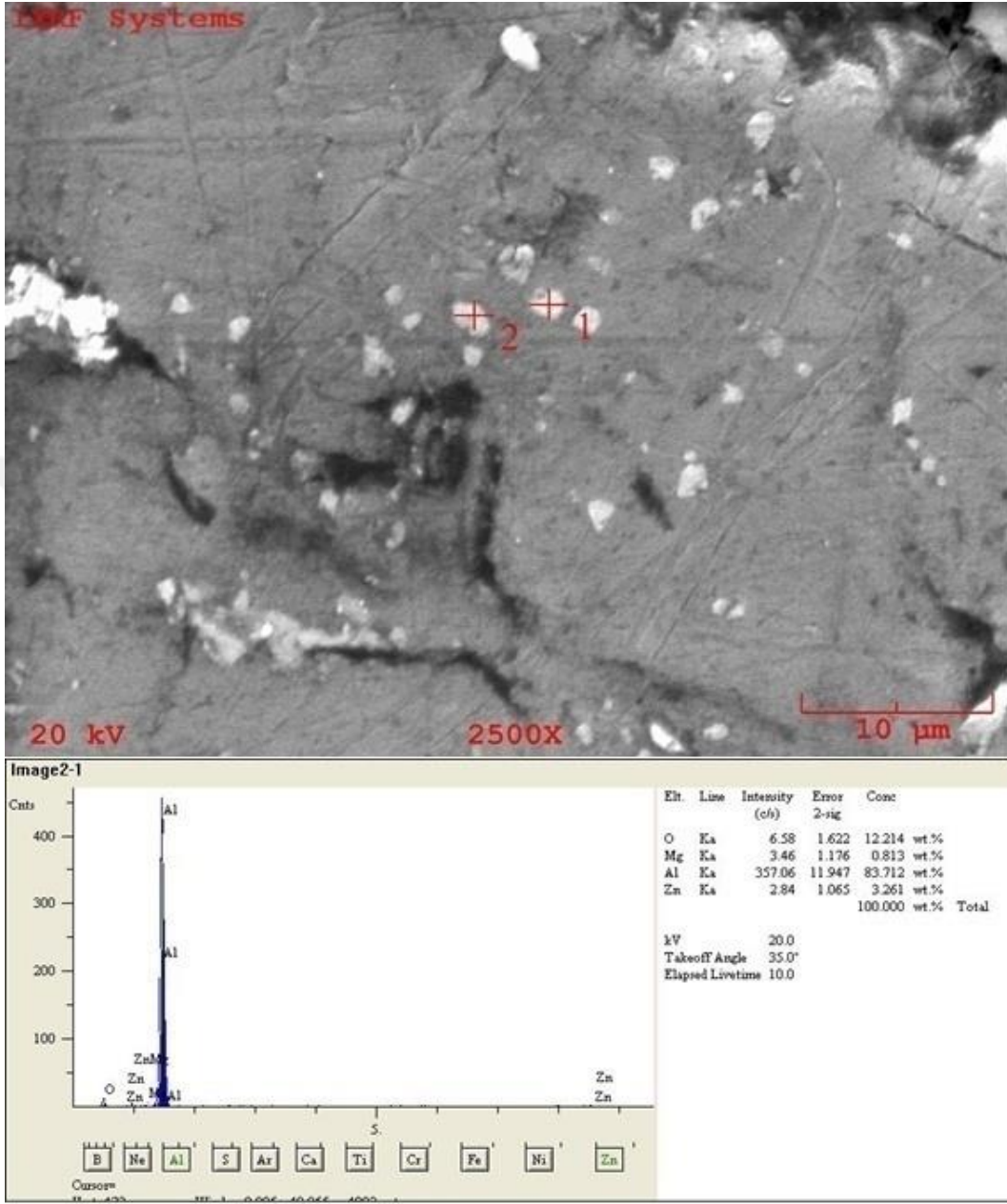
Şekil 5. 7: 8 saat yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri a) %0 RHA b) %0,5 RHA c) %1 RHA d) %1,5 RHA e) %2 RHA



Şekil 5. 8: %0 RHA ve %5 Al_2O_3 takviye elemanı içeren numunenin SEM görüntüsü x5000

Şekil.5.8’ da elde edilen SEM görüntüsünde beyaz noktasal kısımlar daha net bir şekilde görülmektedir. Bu beyaz noktasal kısımlar, Şekil.5.2’de verilen SEM görüntülerinde görünmemektedir. Bu yüzden bu noktaların yaşlandırma ısıl işlemi sonrası oluşan $MgZn_2$ intermetalik bileşik olduğu Fu ve ark.[53] 2018 yılında yaptığı çalışmalar baz alınarak tanımlanmıştır.

8 saat yaşlandırılmış numunelerin SEM görüntüleri ile EDS analizleri yapılmıştır. Şekil 5.9’da verilen EDS görüntülerinde %0 RHA içeren numunenin EDS analizinde Şekil 5.9’da görüntülenen matris içerisinde çökelti olduğu düşünülen kısma analiz yapılmıştır.

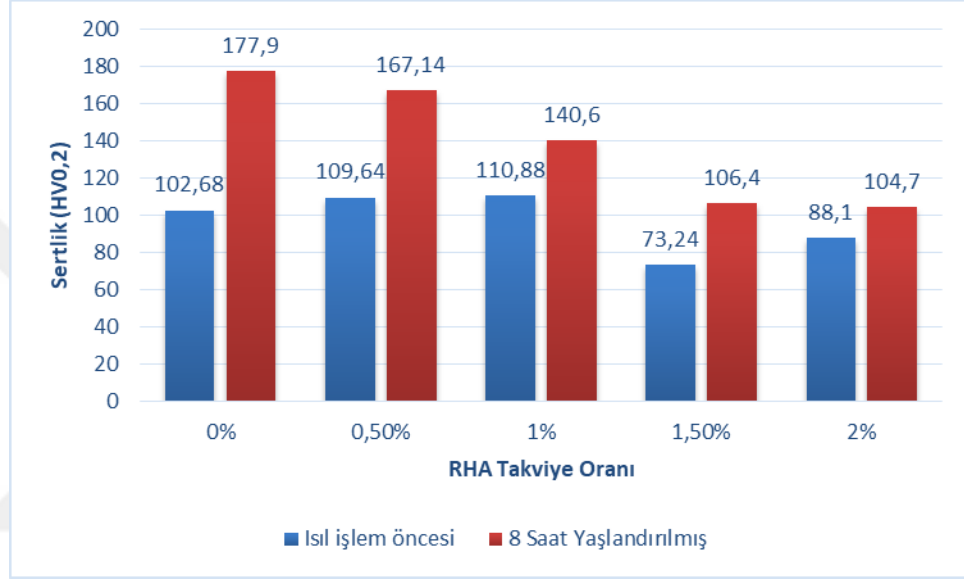


Şekil 5. 9: %0 RHA ve %5 Al₂O₃ takviyesi içeren numunenin EDS analizi

Şekil 5.9' da verilen analiz incelendiğinde matris üzerinde bulunan beyaz kısımlarda Mg ve Zn elementlerinin matrise göre yüksek olduğu saptanmıştır. Matriste oluşan MgZn₂ intermetalik bileşiklerin malzemelerin sertlik değerlerini arttırması beklenmektedir.

5.3. Sertlik

Metalografik incelemeleri tamamlanan ısıtılma işlem öncesi ve 8 saat ısıtılma işleme tabi tutulan numunelerin mikro sertlik cihazında sertlik değerlerine bakılmıştır. Sertlik cihazından alınan sonuçlar Şekil.5.10’da yerlerine konmuştur.



Şekil 5. 10: Isıl işlem öncesi ve 8 saat yaşlandırılmış %0, %0,5, %1, %1,5, %2 RHA içeren numunelerin sertlik değerleri

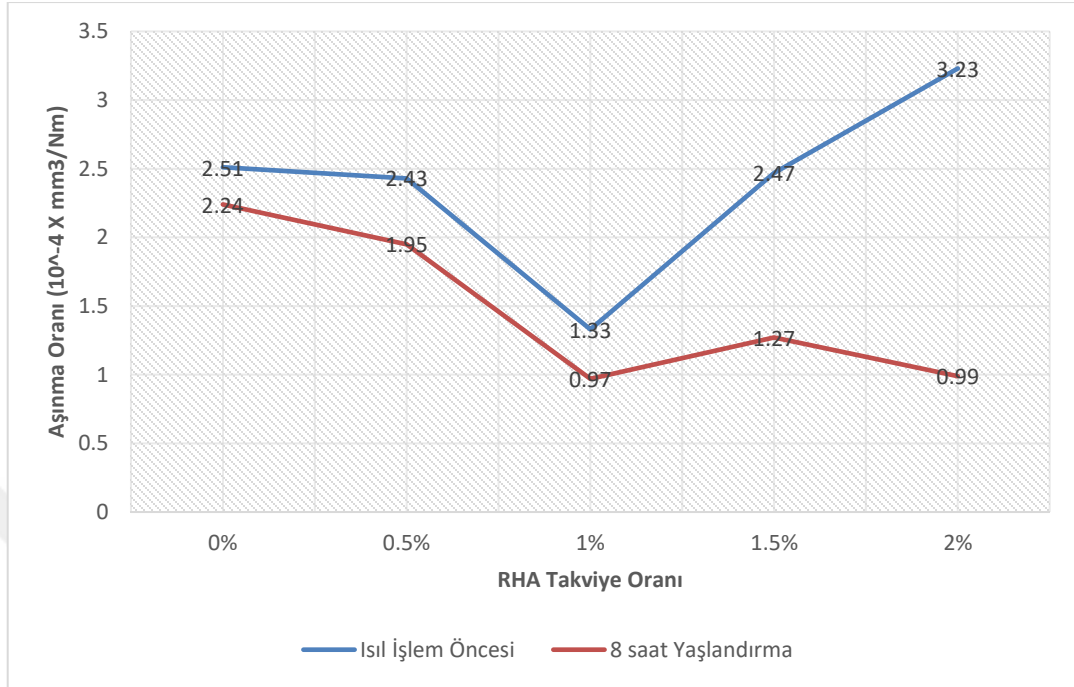
Şekil5.10’ da verilen değerlere bakıldığında RHA içermeyen %5 Al₂O₃ içeren numunede sertlik artışının 102,68 HV’den 177,9 HV değerine yükseldiği görülmüştür. Değişen takviye oranları içerisinde en yüksek artış bu numune saptanmıştır. %0,5 RHA ve %5 Al₂O₃ takviye elemanı içeren numune artışın 109,64HV’den 167,14 HV değerine çıktığı görülürken, yaşlanma öncesinde sertlik değerinin %0 RHA içeren numuneye göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Fakat yaşlandırma işlemi ile sertlik değerinde ki artış ilk numunede ki kadar fazla olmamış ve yaşlanma sonrası sertlik değeri daha az gözlemlenmiştir. %1 RHA ve %5 Al₂O₃ takviye içeren numune de ise yaşlanma öncesi sertlik değeri 110,88 HV olarak bulunmuştur ve bu değer tüm takviye oranları içerisinde en yüksek sertlik değeri olduğu görülmüştür. Fakat 8 saat yaşlandırma işlemi sonrasında sertlik değeri 140,6 HV değerinde bulunmuştur. Yaşlanmamış numunelerde

setliğin artışı %1,5 RHA ve %5 Al₂O₃ takviye oranında daha az takviye oranlarına göre büyük bir düşüş göstermiştir ve 73,24 HV ölçülmüştür. Bu düşüşe RHA tanelerinin gözenekli yapısının yol açtığı ve %1 RHA takviye oranından sonra numunenin matrisinin zayıfladığı düşünülmektedir. 8 saat yaşlandırma işlemi sonrasında sertlik değeri 106,4 HV olarak ölçülerek artış gösterdiği saptanmış fakat daha az takviye oranı içeren numunelerin ısıtma işlemi değerlerine geldiği görülmüştür. %2 RHA ve %5 Al₂O₃ içeren numune de ise yaşlandırma ısıtma işlemi öncesi sertlik değeri 88,1 HV ölçülmüş ve bu takviye oranında da %1 RHA ve altındaki takviye oranlarının sertliklerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Yaşlandırma ısıtma işlemi sonrası sertlik değeri 104,7 HV olarak bulunmuştur.

Sertlik verilerine bakıldığında ısıtma işlem öncesi numunelerin sertlik değerlerinde %1 RHA takviye oranına kadar yükselme olduğu gözlenirken bu takviye oranının üzerindeki oranlarda sertlik değerinin oldukça düştüğü gözlemlenmektedir. Bu düşüşe ısıtma işlemi düşük olan ve gözenekli yapıda olan pirinç çeltiği külünün (RHA) matrisi %1 oranından sonra zayıflattığı saptanmıştır. Isıtma işlem sonrası alınan değerlere baktığımızda ise en yüksek değer ve en yüksek sertlik değeri artışının RHA içermeyen numune de gerçekleştiği görülmüştür. Ve bu artışın ve sertlik değerlerinin artan takviye oranı ile azaldığı saptanmıştır. Benzer bir çalışmada Baradeswaran ve ark.[54] Al 7075 matrisli grafit katkılı kompozitler de artan takviye oranı ile sertlik değerinin düştüğünü saptamışlardır. Bu durumun sebebinin artan RHA takviye oranı ile Al 7075 matrisinin hacminin küçüldüğü ve çökeltilerin oluşacağı alanın azalmasıyla daha az çökelti oluştuğu belirlenmiştir. Çökelti oranının düşmesiyle sertlik değerleri de düşmüştür.

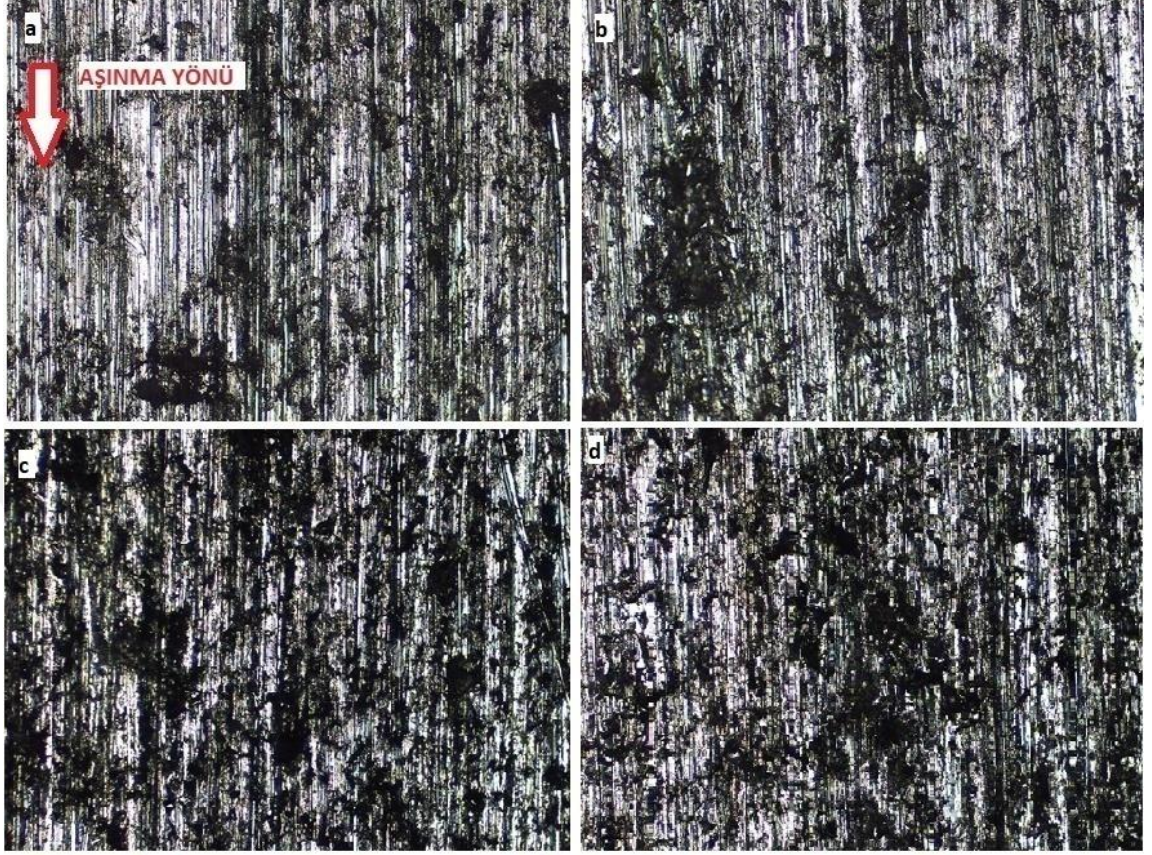
5.4.Aşınma Testi

Yapılan analizin sonucu Şekil.5.11'de verilmiştir. Testler 20N kuvvette ve 40 mt mesafede gerçekleştirilmiştir. Aşınan numunelerin, aşınma oranları kütle kaybı kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. 11: Isıl İşlem görmemiş ve 8 saat yaşlandırılmış numunelerin aşınma sonuçları

Şekil.5.11’de numunelerin aşınma oranlarına bakıldığında %0 RHA ve %5 Al_2O_3 takviyeli numunenin yaşlanma sonrası aşınma oranı değişimi çok yüksek olmamıştır. %0,5 RHA ve %0 RHA takviyeli ısıtılmış numuneler karşılaştırıldığında aşınma oranları arasındaki fark azdır. Fakat 8 saat ısıtılmış numunenin aşınma oranı ilk numuneye göre oldukça düşmüştür. %1 RHA içeren numune, ısıtılmış numuneler içerisinde ve 8 saat yaşlandırma ısıtılmış numuneler içerisinde en düşük aşınma oranına sahip numunedir. Bu durumu Şekil 5.9’daki sertlik analizi sonucu ile örtüşmektedir. %1,5 RHA içeren numune ısıtılmış numunenin aşınma oranı oldukça yüksek iken, ısıtılmış numunenin aşınma oranı oldukça düşmüş ve çok iyi aşınma performansı göstermiştir. Isıtılmış numunenin en yüksek aşınma oranına sahip %2 RHA içeren numune, şaşırtıcı olarak ısıtılmış numunenin en düşük aşınma oranına sahiptir.



Şekil 5. 12: 8 saat yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin aşınma testleri optik görüntüleri. a) %0 RHA, b) %0,5 RHA c) %1 RHA ve d) %1,5 RHA

Şekil.5.12’de 8 saat yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin aşınma izleri optik mikroskop altında incelenmiştir. Yapılan inceleme de abrasiv aşınmanın numuneler üzerinde etkili olduğu görülmektedirken Şekil.5.12.’c) de bulunan %1 RHA içeren numunenin izlerinin genişliğinin diğer numuneler çok yakın mesafeye sahip olduğu belirlenmiş ve en yüksek aşınma oranının parça kopması yüzünden olduğu düşüncesini desteklemektedir. Yapılan inceleme de abrasiv aşınma izlerinin RHA oranı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil5.8.d’de görülen %1,5 RHA takviyeli malzemedeki oluşan gözeneklerin etrafında ve içinde adhesiv aşınma sonucu yapışmalar saptanmıştır. SEM görüntüsünde gözenek olarak belirlenen kısımlarda yapışan metaller açıkça görülmektedir. Özyürek ve ark.[51] 2018 yılında Al 7075 aşınması üzerine yaptıkları çalışmada abrasiv ve adhesiv aşınma izleri, yukarı da belirtilen analiz sonuçlarını desteklemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isıl işlem öncesi ve 8 saat ısıl işlem görmüş numunelerin gözeneklilik oranlarına bakıldığında, 8 saat yaşlandırma işlemi sonucunda gözenekliliğin; %0 RHA takviye oranında 11,4'den 8,6'ya, %0,5 RHA takviye oranında 15,1'den 9,5'e, %1,5 RHA takviye oranında 14,3'den 8,1'e azaldığı görülmüştür. %1 RHA takviye oranında gözeneklilik oranının 11,2'den 12,2'ye artış olduğu görülmüştür. %2 RHA takviye oranında gözenekliliğin değişmediği görülmüştür.

Isıl işlem öncesi ve 8 saat yaşlandırma sonrası her iki numune türünde de gözenek oranının artan RHA takviyesi ile beraber artış gösterdiği saptanmıştır.

Yapılan mikroyapı incelemelerinde RHA takviye elemanının olduğu bölgede ıslatmanın zayıf olduğu ve infiltrasyon işlemi sırasında RHA tanelerinin gözenekleri arasına eriyik metalin giremediği gözlemlenmiştir.

SEM ve EDS analizlerin de RHA tanelerinin döküldüğü kısımlarda RHA'nın yapısında bulunan Si ve O elementlerinin matris içine difüze olduğu tespit edilmiştir.

EDS analizlerinde 8 saat yaşlandırma işlemi sonucu matris yüzeyinde $MgZn_2$ intermetalik bileşiklerin olduğu gözlemlenmiştir.

Artan takviye oranında %1 takviye oranına kadar ısıl işlem öncesi sertlik artışı gözlemlenirken, en yüksek sertlik artışı %1 takviye oranında olmuş (110,88HV), bu artış %1 takviye sonrası hızla düşmüştür.

Uygulanan 8 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası numuneler de sertlik artışı meydana geldiği belirlenmiştir. En yüksek sertlik artışı %0 RHA içeren kompozit malzemede 102,68 HV'den 177,9 HV'ye gelirken, en düşük sertlik artışı ise %1 RHA takviye içeren kompozit malzemede 110,88 HV'den 140,6 HV'ye gözlemlenmiştir.

Aşınma testleri sonuçlarına bakıldığında, ısıl işlem öncesi %0 RHA, %0,5 RHA ve %1 RHA numunelerinde aşınma oranının takviye oranı arttıkça azaldığı ve en düşük aşınma oranının %1'lik numunede 1,53 olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.

8 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası yapılan aşınma testlerinde aşınma oranının takviye oranı arttıkça azaldığı, %1 RHA içeren numunede en düşük aşınma oranının 0,97 olarak tespit edilmiştir. %1,5 takviye oranında 1,27 aşınma oranı olduğu, %2 RHA takviye oranında ise, 0,99 aşınma oranı olduğu belirlenmiş, dolayısıyla %1 üstü oranlarda aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir.

8 saat yaşlandırma ısıl işlemi, bütün RHA takviye oranlarında numunelerin aşınma oranlarını düşürmüştür. Aşınma oranı; %0 RHA takviye oranında %10,75, %0,5 RHA takviye oranında %19,75, %1 RHA takviye oranında %36,6 düşmüştür. Isıl işlem sonrası aşınma oranı düşüşü %1,5 RHA'da %48,58 ve %2 RHA'da %69,34 çok yüksek olmuştur.

ÖNERİLER:

İnfiltrasyon yöntemi kullanılarak RHA takviyesi ile farklı seramik partikülleri ile hibrit kompozitler üretilebilir.

RHA takviyeli metal matrisli kompozitler farklı alüminyum matrisleri ile üretilip ıslatılabilirlikleri ve mikroyapıları incelenebilir.

RHA takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin ısıl iletkenliği ve korozyon dirençleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] ÇALIN,R., Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006
- [2] YUNUS, D.E., Karbon Fiber Destekli Polimer Kompozit Pasarella Tasarım ve Üretimi, Yüksel Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011
- [3] SÖNMEZ, M., Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009
- [4] SARAÇ, H., Metal ve Kompozit Parçaların Yapıştırılmasında Yapılma Performansını Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2012
- [5] BULUT, M., Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014
- [6] YILDIZHAN,H., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-4, 2008
- [7] CAMPELL, F.C., “Adhesive Bonding”, Structural Composite Materials, ASM International 2th, USA, 306-325, 2010
- [8] KAHVECİOĞLU, Y.E., Yapıştırma Bağlantılı Kompozit Malzemelerin Mekanik Performansı Üzerine Mekanik Bağlamının Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2016

- [9] NAZİK, C., Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2013
- [10] KARABULUT, H., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Al₂O₃, SiC, B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011
- [11] ÖNAL, M., Al₂O₃ ve TiC İçeren Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2010
- [12] ALTUNER, S., Y₂O₃ Kaplanmış Al₂O₃ Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011
- [13] BAŞAR, F.E., Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Basıncısız Sinterleme ile Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 2011
- [14] SAÇKESEN. İ., Yüksek Mukavemetli 7075 Alüminyum Alaşımının Yorulma ve Korozyon Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2007
- [15] CİRİK, E., Anodik Oksidasyon İşleminin 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Yorulma Davranışına Olan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007
- [16] KİBAR, E., 7075 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan RRA Isıl İşlemlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010
- [17] AĞAR, S., AA 7075-T6 Alüminyum Alaşımının Minimum Miktarda Yağlama Yöntemiyle Talaşlı İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2014

- [18] ŐEKER, H., Al₂O₃-SiC Kompozitlerin Fiziksel ve Elektromanyetik Ekranlama Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Őniversitesi, Sakarya, 2013
- [19] KURT, A.O., “Toz Őretim Yöntemleri ve Sinterleme Ders Notları”, Sakarya Őniversitesi SAÇ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2004-2010
- [20] ŐZTŐRK, M., “SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler”, Sakarya Őniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs, 2007
- [21] ŐZDEMİR, M., “Kaolen-Sepiyolit Katkılı Kordiyerit Őretimi”, A.K.Ő., Uşak Müh. Fak., Seramik Müh. Bölümü, Afyon, 2004
- [22] TOPLAN, Ő., “İleri Teknoloji Seramikler Ders Notları”, Sakarya Őniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2011-2012
- [23] YILDIZ, S., BALAYDIN,İ., ULUCAN,Z.Ç., Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi Fırat Őniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 23119, Elazığ Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, (1), 85-91, 2007
- [24] TERZİŐĐLU, P., Buğday ve Pirinç Kabuğu Külünden Magnezyum Silikat Őretimi ve Adsorpsiyon Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Őniversitesi, İstanbul, 2010
- [25] BİLGİN, S., Pirinç Kabuğuna İlave Edilen Ag⁺ İyonunun Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Őniversitesi, Sakarya, 2010
- [26] <http://tr.wikipedia.org/05-04-2019>
- [27] UÇARKOŞAR, B., Pirinç Kabuğu Katkılı Yüksek Dayanımlı Betonun Yüksek Sıcaklık Performansı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Őniversitesi, İstanbul, 2013

- [28] BERKİN, G., Sürdürebilir Mimari İçin Pirinç Çeltiği Kabuk Külünden Üretilen Isı Korunumlu Cam Yapı Malzemesi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 2006
- [29] GUO, Y., ROCKSTRAW, D., A., “Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation”, Microporous and Mesoporous Materials, 100 , 12–19, 2007
- [30] SADIÇ, E., “Pirinç kabuğu külünden çeşitli silikatların üretilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim 2008
- [31] BAYRAK, E., “Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külü Kullanılarak Sulu Ortamdan Katyonik Boyar Madde Adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2008
- [32] MAZLUM, F., Pirinç Kabuğu Külünün Puzzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1989
- [33] DENİZ, M.E., Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzeneğin Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2005
- [34] TEKELİ, S., ÇETİNKAYA, C., “Investigation of bonding strength of TZP/Al₂O₃ composites diffusion bonded with similar or dissimilar materials”, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Bildiriler Kitabı, 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III ,1863-1866, 2000
- [35] SİPAHİOĞLU, S., BaTiO₃/Panı Kompozitlerini Yapısal ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2012

- [36] ÖGEL, B., KAYA, G., “Alüminyum-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretimi”, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 631-635, 1999
- [37] TOPTAN, F., Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011
- [38] ÇAKIR, A., Ni Kaplanmış MgO Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2017
- [39] AHLATCI, H.; ÇIMENOĞLU, H.; CANDAN, E. Mechanical properties of Al-60 Pct SiC composites alloyed with Mg. Metallurgical and Materials Transactions A, 35.7: 2127-2141, 2004
- [40] ELOMARI, Skibo, et al. Thermal expansion behavior of particulate metal-matrix composites. Composites Science and Technology, 58.3-4: 369-376, 1998
- [41] DUCRET, D., “Characterization of anisotropic elastic constant of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composite processed by medium pressure infiltration”, Composites Part A 31 : 45-55, 2000
- [42] PARRAS- MEDECİGO, E., M., PECH-CANUL, M. I., RODRİGEZ-REYES, Gorokhovsky, A., “Effect of processing parameters on the production of blayer-graded Al//SiC composites by pressureless infiltration”, Materials Letters, 56 : 460-464, 2002
- [43] CHONG, S. Y., ATKİNSON, H. V. and JONES, H., “Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts”, Mat. Sci and Eng.,173 : 233-237, 1993

- [44] CANDAN, E., ATKINSON, H. V. and JONES, H., “Effect of ceramic particle size, and applied pressure on time to complete infiltration of liquid aluminium into SiC powder compacts”, *Mat. Sci and Eng.*,35 : 4955-4960, 2000
- [45] ACILAR, M., “Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması”, *Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 95-121, 2002
- [46] RODRÍGEZ-REYES, M., PECH-CANUL, M. I., PARRAS- MEDECÍGO, E. E., GOROKHOVSKY, A., “Effect of Mg loss the kinetics of pressureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiC composites”, *Materials Letters*57 : 2081-2089, 2003
- [47] ACILAR, M., GÜL, F., “Vakum infiltrasyon yöntemi ile Al-10Si/SiC Kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 4 : Özel Sayı 21-27, 2002
- [48] DEMİR, A., ALTINKOK, N., Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al₂O₃/SiC-reinforced aluminium matrix composites. *Composites science and technology*, 64.13: 2067-2074, 2004
- [49] KALEMTAŞ, A., İnfiltrasyon Yöntemiyle Kompozit Üretiminde Etkili Olan Temel Değişkenler, sayfa 20-26, 2016
- [50] DURAN, O., OKUR, O., TANIŞ, N.A., ÇALIN, R., AZMAH HANIM, M.A., DELE, T.T., Investigation on the Proper of Agro-waste Reinforced Aluminum Matrix Composites, Basic Methodology, Sample Preparation and Characterization, 8-12, 2018
- [51] ÖZYÜREK, D., YILDIRIM, M., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al 7075 Alaşımlarında Mn Miktarının Aşınma Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi, *GU J Sci, Part C*, 6(2): 269-276, 2018

- [52] ÇALIN, R., PUL, M., BİCAN, O., KÜÇÜKTÜRK, G., Effect of Matrix Temperature and Powder Size on The Infiltration Height of SiO₂-Reinforced Al 7075 Matrix Composites Produced by Vacuum Infiltration, Science and Engineering of Composite Materials, Volume 24, Issue 1, Pages 149–153, ISSN (Online) 2191-0359, 2015
- [53] FU, J., L., JIANG, H., J., WANG, K., K., Influence of Processing Parameters on Microstructural Evolution and Tensile Properties for 7075 Al Alloy Prepared by an ECAP-Based SIMA Process. Acta Metallurgica Sinica (English Letters) [J], 2018, 31(4): 337-350
- [54] BARADESWARAN, A., ELAYA PERUMAL, A., Wear and Mechanical Characteristics of Al 7075/Graphite Composites, Composites Part B: Engineering, Volume 56, January 2014, Pages 472-476