

**SiO<sub>2</sub> TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT  
MALZEMELERİN BASINÇLI İNFİLTRASYON  
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**2013**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İBRAHİM KARADEMİR**

**SiO<sub>2</sub> TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN BASINÇLI  
İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**İbrahim KARADEMİR**

**Bartın Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**BARTIN  
Şubat 2013**

**KABUL:**

İbrahim KARADEMİR tarafından hazırlanan "SiO<sub>2</sub> TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN BASINÇLI İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak oybirliğiyle (~~veya~~ oyçokluğuyla) kabul edilmiştir. 28/01/2013

Başkan: Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK (BÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK (BÜ)

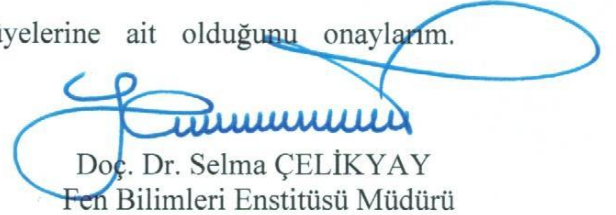
Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ (BÜ)



**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

27.02/2013



Doç. Dr. Selma ÇELİKAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

İbrahim KARADEMİR

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SiO<sub>2</sub> TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN BASINÇLI İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İbrahim KARADEMİR

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Şubat 2013, 69 sayfa

İnfiltrasyon yöntemi kompozit malzeme üretiminde kullanılan basit ve hesaplı bir sıvı hal üretim yöntemidir. Bu çalışmada SiO<sub>2</sub> takviyeli Al<sub>2014</sub> matrisli kompozit malzemelerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde, infiltrasyon parametrelerinin kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney numunelerinin üretimi (N<sub>2</sub>) gazı ile basınç sağlanan bir ergitme ocağında gerçekleştirilmiştir. Takviye malzemesi olarak 300µm, 250µm ve 150µm boyutlarında SiO<sub>2</sub> tozları ve matris malzemesi olarak Al 2014 alaşımı kullanılmıştır. Üretim parametreleri olarak sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapıları, yoğunlukları gözenek miktarları, sertlikleri ve aşınma dayanımları incelenmiştir. Kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde SiO<sub>2</sub> tozların matris içerisinde homojen bir dağılım gösterdikleri belirlenmiştir. İnfiltrasyon sıcaklığı, basıncı ve matrise Mg ilavesinin yoğunluğu, sertliği ve aşınma dayanımını arttırdığı, gözenek miktarını düşürdüğü görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Basınçlı İnfiltrasyon, Al<sub>2014</sub>, SiO<sub>2</sub>, Yoğunluk, Gözenek Miktarı, Sertlik Aşınma.

**Bilim Kodu:** 625.02.05

## **ABSTRACT**

### **MASTER THESIS**

# **PRODUCTION AND CHARACTERISTIC ANALYSIS OF SiO<sub>2</sub>-REINFORCED ETİAL 21 BASED COMPOSITE MATERIALS BY PRESSURE INFILTRATION METHOD**

**İbrahim KARADEMİR**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan ATEŞ**

**February 2013, 69 pages**

Infiltration method is a simple and economic liquid state composite production method. In this study SiO<sub>2</sub> reinforced ETİAL21 based composite materials were produced by pressure infiltration method and investigated the effect of production parameters to mechanical properties. Specimens were produced with a furnace which used N<sub>2</sub> gas for applying pressure to liquid metal in. As the reinforcement element SiO<sub>2</sub> powder with 300µm, 250µm ve 150µm particle size and as matrix material Al2014 aluminum alloy were used. The composite production parameters were determined as infiltration temperature, infiltration pressure and Mg addition to the matrix. Microstructure, intensity porosity relation, hardness and wear resistance of the composites were analyzed. It was identified by means of microstructure images that SiO<sub>2</sub> powders shows homogenous distribution. It was understood that infiltration temperature, pressure and Mg addition increases the intensity, hardness and wear resistance of composites but, decrease the porosity.

**Keywords:** Pressure infiltration, Al2014, SiO<sub>2</sub>, intensity, porosity, hardness, wear resistance

**Science Code:** 625.02.05

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıőmamda değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ baőtta olmak üzere, deneyimlerini benimle paylaőarak ıŐık tutan Yrd. Doç. Dr. Sabri GÖK'e, çalıőmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen ArŐ. Gör. Okan ÜNAL'a, ArŐ. Gör. Emre ALP'e ve ArŐ. Gör. Deniz AKTAŐ'a teŐekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez alıőmaları süresince desteklerini hiç eksik etmeyen annem ve babam baőtta olmak üzere tüm aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	5
2.1 Metal Matrisli Kompozitlerin Sınıflandırılması .....	6
2.2 Matris Malzemeleri .....	8
2.2.1 Alüminyum Alaşımları .....	9
2.2.2 Titanyum Ve Alaşımları.....	11
2.2.3 Magnezyum Ve Alaşımları .....	12
2.2.4 Kobalt.....	12
2.3 Takviye Elemanları .....	12
2.3.1 Silisyum Dioksit (SiO <sub>2</sub> ) .....	13
2.3.2 Silisyum Karbür (SiC) .....	14
2.3.3 Alümina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	14
2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	15
2.4.1 Katı Hal İşlemleri .....	15
2.4.2 Sıvı Hal İşlemleri.....	16
2.5 İnfiltrasyon Yöntemi .....	17
2.5.1 Vakum İnfiltrasyon.....	19
2.5.2 Basıncılı İnfiltrasyon.....	20
2.5.3 Basıncısız İnfiltrasyon.....	21
2.6 İnfiltrasyonu Etkileyen Faktörler .....	21
2.6.1 Takviye Tane Boyutu.....	21
2.6.2 İnfiltrasyon Süresi.....	22
2.6.3 İnfiltrasyon Sıcaklığı.....	22
2.6.4 Takviye Hacim Oranı.....	23
2.6.5 İnfiltrasyon Basıncı.....	25
2.6.6 Alaşım .....	25



## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.6.7 Islatma .....	26
2.6.8 Matris Takviye Arayüzeyi.....	28
2.7 Metal Matrisli Kompozitlerde Aşınma.....	29
<b>BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>33</b>
3.1 Malzemeler .....	33
3.2 Kompozit Üretimi .....	34
3.3 Deneysel İncelemeler .....	36
3.3.1 Yoğunluk Ve Gözeneklilik Ölçümü .....	36
3.3.2 Mikroyapı incelemeleri.....	36
3.3.3 Sertlik ölçümleri .....	37
3.3.4 Abrasiv Aşınma Deneyleri .....	37
<b>BÖLÜM 4 SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>	<b>39</b>
4.1 Takviye Partikül Boyutuna Göre Takviye Hacim Oranı.....	39
4.2 İnfiltrasyon Sıcaklığı .....	39
4.2.1 İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi.....	41
4.2.2 İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi .....	42
4.2.3 İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi .....	43
4.2.4 İnfiltrasyon Sıcaklığının Aşınma Dayanımına Etkisi .....	44
4.3 İnfiltrasyon Basıncı .....	45
4.3.1 İnfiltrasyon Basıncının Yoğunluğa Etkisi .....	47
4.3.2 İnfiltrasyon Basıncının Gözenek Miktarına Etkisi .....	48
4.3.3 İnfiltrasyon Basıncının Sertliğe Etkisi .....	49
4.4 Matrise Mg İlavesi .....	53
4.4.1 Matrise Mg İlavesinin Yoğunluğa Etkisi .....	55
4.4.2 Matrise Mg İlavesinin Gözenek Miktarına Etkisi .....	56
4.4.3 Matrise Mg İlavesinin Sertliğe Etkisi .....	56
4.4.4 Matrise Mg İlavesinin Aşınma Dayanımına Etkisi .....	58
<b>BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Farklı malzeme sınıflarının ve metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları .....	6
2.2 Farklı metal matris kompozit çeşitleri . .....	7
2.3 Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri . .....	10
2.4 Silikanın 3 ana formu a) kristabolit b) tridimit c) kuvars .....	14
2.5 Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi . .....	19
2.6 Vakum İnfiltrasyon yöntemi .....	19
2.7 Basıncı infiltrasyon yöntemi .....	20
2.8 Basıncısız infiltrasyon yöntemi . .....	21
2.9 Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler. ....	23
2.10 Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilmeleri ve temas açısı..	27
2.11 Yüksek temas gerilmelerine bağlı plastik deformasyona yol açan adhesiv aşınma a) Mikro kaynak bölgesi b) iki yüzey arasındaki aşınma kırıntıları .....	30
2.12 Abrasiv aşınma a) iki cisimli aşınma b) üç cisimli abrasiv aşınma .....	31
3.1 Abrasiv deney aparatının görünüşü .....	38
4.1 Tekli modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700 <sup>0</sup> C b) 750 <sup>0</sup> C c)800 <sup>0</sup> C.....	40
4.2 İkili modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700 <sup>0</sup> C b) 750 <sup>0</sup> C c)800 <sup>0</sup> C.....	40
4.3 Üçlü modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700 <sup>0</sup> C b) 750 <sup>0</sup> C c)800 <sup>0</sup> C.....	40
4.4 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin yoğunluk değerleri .....	41
4.5 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarı .....	42
4.6 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin sertlik değeri .....	43
4.7 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı .....	44
4.8 Tekli modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa .....	46
4.9 İkili modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.10 Üçlü modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa .....	47
4.11 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin yoğunluk değerleri .....	48
4.12 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarları.....	49
4.13 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin sertlik değerleri .....	50
4.14 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı .....	51
4.15 Sabit sıcaklıkta (7500C) partikül boyutunun aşınma (kütle kaybı) üzerine etkisi .....	52
4.16 Tekli modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8.....	54
4.17 İkili modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8.....	54
4.18 Üçlü modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8.....	54
4.19 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin yoğunluğa etkisi.....	55
4.20 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin gözenek miktarına etkisi.....	56
4.21 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin sertliğe etkisi.....	58
4.22 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin aşınmaya etkisi .....	59

## TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Alüminyumun özellikleri (Dr. Uğur soy) .....	9
2.2 Alüminyum MMK'lerde kullanılan matris alaşımları. ....	10
2.3 MMK'lerde kullanılan başlıca takviye malzemelerinin özellikleri (Toptan 2006).....	13
3.1 Al 2014'ün kimyasal kompozisyonu .....	33
3.2 Al2014' e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler.....	34
3.3 SiO <sub>2</sub> 'e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler.....	34
3.4 Deneylerde kullanılmış olan üretim parametreleri .....	35
4.1 İnfilyasyon deneylerinde kullanılan SiO <sub>2</sub> tozlarının takviye hacim oranı.....	39
4.2 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri .....	41
4.3 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al2014 kompozitin gözenek miktarı .....	42
4.4 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al2014 kompozitin sertlik değeri .....	43
4.5 Sabit basınçta (700kPa) SiO <sub>2</sub> / Al2014 kompozitin aşınma dayanımı .....	44
4.6 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri .....	47
4.7 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al2014 kompozitin gözenek miktarları.....	49
4.8 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al2014 kompozitin sertlik değerleri .....	50
4.9 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO <sub>2</sub> /Al2014 kompozitin aşınma dayanımı .....	51
4.10 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin yoğunluğa etkisi.....	55
4.11 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin gözenek miktarına etkisi .....	56
4.12 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin sertliğe etkisi.....	57
4.13 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin aşınmaya etkisi .....	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A_m$	: Al2014 matrisin yüzey alanı
$A_f$	: SiC parçacıkların yüzey alanı
$\alpha$	: Isı yayılım katsayısı
$c$	: Özgül ısı
$\phi$	: SiC'ün yüzey alanının toplam yüzey alanına oranı
$P$	: İnfiltrasyon basıncı
$\rho$	: Yoğunluk
$\rho_d$	: Deneysel yoğunluk
$\rho_s$	: Suyun yoğunluğu
$\rho_t$	: Teorik yoğunluk
$\mu m$	: Mikrometre
$\theta$	: Matris-takviye arasındaki temas açısı
$W_A$	: Katılma esnasında yapılan iş

## KISALTMALAR

GPa	: Gigapaskal
MMK	: Metal matrisli kompozit
MPa	: Megapaskal
T-H	: Takviye hacim oranı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kullanılan malzemelerde aranan özellikler de artmış ve bu artışa paralel olarak da yeni mühendislik malzemeleri arayışı başlamıştır. Bu arayış iletkenlik, rijitlik, tokluk, mekanik sönümlenme vb. özellikleri yüksek: ağırlık sıvı ve gaz geçirgenliği, termal genişleme katsayısı ve maliyeti düşük malzemeler elde edebilme arayışıdır.

Metaller gibi klasik malzemelerin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olmayınca daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemelerin klasik malzemelere göre en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıktır. Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe, yorulma dayanımlarının artırılması, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın bir şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (Yalçın ve Gürü 2002).

Kompozit malzeme iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri ve sermetler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Bir kompozit malzeme genelde düşük elastikiyet modülü ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanlarından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomal düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar. Çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur ve bir kompozit değildir. Yapı mikroskobik olarak homojendir. Fakat karbür uçlu takımlar, yumuşak kobalt metal matris içine sert karbürlerin yerleştirilmesi ile parçacıklı bir kompoziti oluşturur (Yalçın ve Gürü 2002).

Kompozit malzemeler XX. Yüzyılın ikinci yarısından beri mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Çeşitli metallerin alaşımlarıyla birlikte matris malzemesi olarak kullanılması ise son yıllarda hızla artış göstermiştir. Bu artış, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların yoğunlaşmasını da beraberinde getirmiştir.

MMK'ler, yüksek dayanıma sahip seramik partiküller ya da fiberlerin başta alüminyum olmak üzere, titanyum ya da magnezyum gibi hafif metal alaşımlarının içerisinde takviye edilmesiyle elde edilen ve tek bileşenden oluşan malzemelerde elde edilmesi mümkün olmayan üstün özellikler gösteren malzemelerdir. MMK'ler yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı, yüksek aşınma dayanımı, boyutsal kararlılık, ayarlanabilir ısıl genleşme katsayısı, yüksek yorulma dayanımı ve sıcakta dayanım gibi üstün özelliklere sahiptirler (Foltz 1990). Partikül takviyeli MMK'ler, daha kolay üretilebilmeleri ve daha düşük maliyetli olmaları sebebi ile sürekli fiberlerle takviyelendirilen MMK'lerden daha çok ticari öneme sahiptirler (Ellis 1996). Otomotiv ve havacılık endüstrisi tarafından oldukça iyi tanınan ve kullanılan alüminyum alaşımları düşük yoğunluğa, kullanışlı mekanik özelliklere ve çevre dayanımına sahiptir ve MMK'lerde en çok tercih edilen matris alaşımıdır. Al matrisli kompozitlerde partikül halinde SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye elemanı olarak en çok kullanılan malzemelerdir (Mortensen 2001).

MMK'ler kompozit malzemedeki farklı özellikler elde etmemize olanak sağlayan matris ve takviye elemanı dediğimiz iki unsurun birleştirilmesiyle elde edilir. Kompozit üretirken elde etmeyi amaçladığımız düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci, korozyon direnci, yorulma direnci, yüksek sıcaklık direnci, termal kararlılık, boyutsal kararlılık, termal iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik izolasyon, kırılma tokluğu ve süneklik gibi özellikler matris ve takviye elemanının seçimi ile yakından ilgilidirler. Farklı matris ve takviye malzemeleri kullanılarak, farklı takviye hacim oranları ile yukarıda bahsedilen özelliklere sahip malzemeler elde edebiliriz.

Bu çalışmada temel amaç; hafifliği ve doğada bolca bulunması gibi avantajları bulunan Alüminyum'dan elde edilen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımını, klasik takviyeler olan SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yerine yine doğada bol miktarda bulunan SiO<sub>2</sub> tozlar içine infiltre ederek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımının mekanik fiziksel ve ısıl özelliklerini iyileştirerek havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarının ihtiyacı olan hafif ve sağlam hammadde gereksinimini karşılamak üzere kompozit malzeme üretmektir. Bu çalışmanın diğer bir amacı da mekanik

fiziksel ve ısıl özellikleri geliştirerek birim maliyeti düşürmek ve kompozitin optimum üretim parametrelerini belirlemektir.





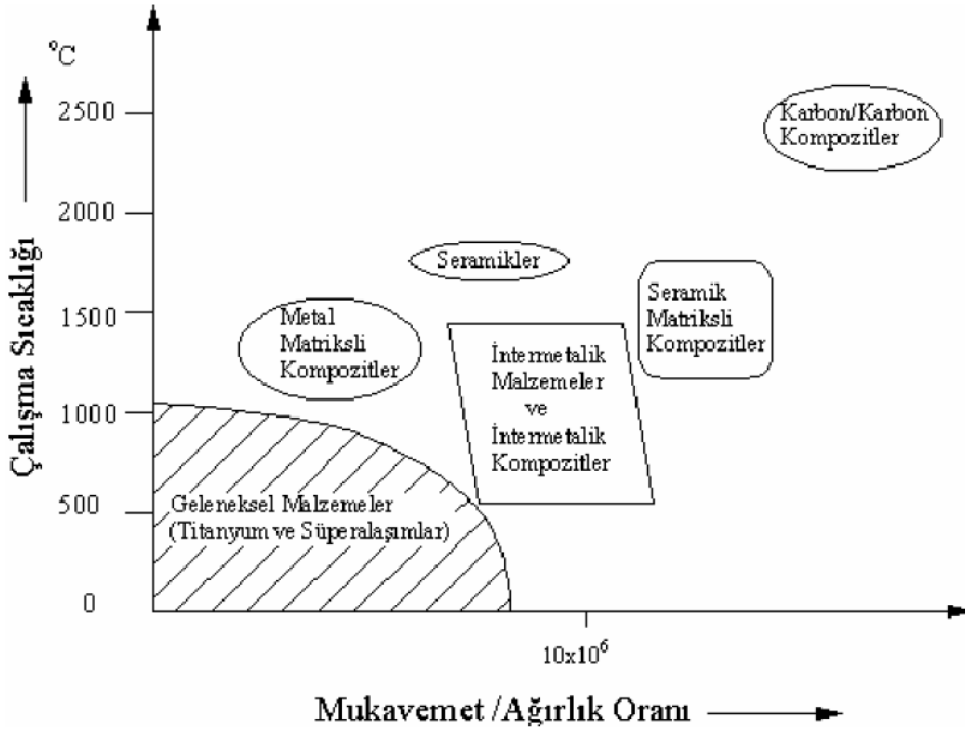
## BÖLÜM 2

### METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Üstün mekanik özelliklere sahip ileri malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son kırk yılda hızla ilerlemiştir. Yüksek performanslı malzemelere olan artan talepler araştırmaları ileri alaşımların ve kompozit malzemelerin geliştirilmesine yönlendirmektedir. Taşımacılık endüstrisi, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrileri, yüksek dayanım/yoğunluk, oranına sahip bu tür ileri malzemelerin geliştirilmesi ile yakından ilgilenmektedir (Shirzadi 1997).

Ana malzemesi metal olan kompozit malzemeler metal matrisli kompozit malzeme olarak adlandırılır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim zorluğuna karşın; yüksek elastik modülü, dayanım ve tokluğa sahip olup yüksek sıcaklıklardaki özellikleri de daha iyidir. MMK'lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonların da tercih edilirler (Taya ve Arsenault 1988). Diğer kompozit malzemelerde olduğu gibi MMK'ler de, kendisini meydana getiren takviye fazı ve bu fazı taşıyan matrisin tek başına karşılayamayacağı özelliklere sahiptir. MMK malzemeler, metalik matris alaşımının seramik, karbon veya metalik takviye elemanları ile sistematik karışımından elde edilen malzemeler olup, sürekli ve süreksiz takviye elemanı içerirler ve tek bileşenden oluşan malzemelerde elde edilemeyen mükemmel özellikler gösterirler (Foltz 1990).

Şekil 2.1'de farklı malzeme sınıflarının ve metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları gösterilmiştir.



Şekil 2-1 Farklı malzeme sınıflarının ve metal matrisli kompozitlerin çalışma sıcaklığı ve mukavemet/ağırlık oranlarına göre performansları (Lilholt 1991).

Matris malzemelerine ilave edilen takviye malzemeleri sayesinde kullanılan matrisin mekanik ve fiziksel özellikler üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır. Bu özellikler arasında dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, yoğunluk, yorulma ömrü, ısı ve ses yalıtımı ile termal iletkenlik sayılabilir. Takviye elemanı seçiminde dikkat edilecek özellikler olarak elastisite modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, şekil ve boyut, maliyet ve matris tarafından ıslatılabilirlik söylenebilir (Clyne ve Withers 1993).

## 2.1 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

MMK malzemelerin diğer malzemelere göre daha üstün özellikler sergilemesini sağlayan ana unsur kompozit malzemenin bileşenlerinden olan takviye elemanıdır. Kullanılan takviye elemanının şekli ve yapısına göre MMK'ler farklı özellikler sergilemektedirler.

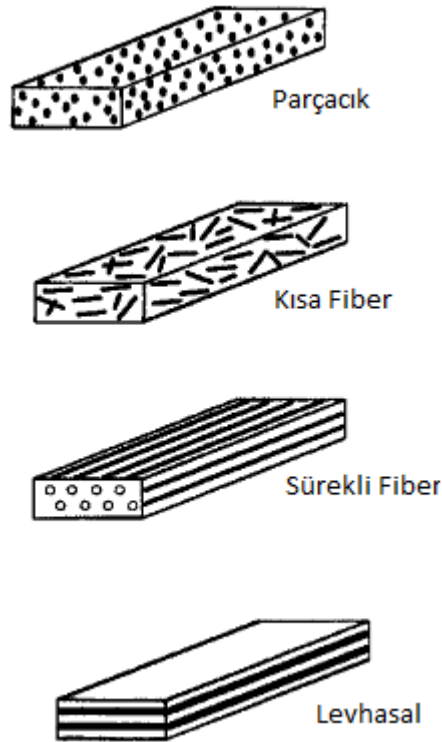
Tüm MMK'ler bir metal veya metal alaşımı matrise sahiptirler. Takviye elemanı ise metalik veya seramik olabilir. Bazı alışılmadık durumlarda kompozit fiber takviyeli polimer matris ile güçlendirilmiş metalik alaşımdan meydana gelmektedir (Örneğin cam fiber takviyeli epoksi veya aramid fiber takviyeli epoksi levha) (Chawla 2006).

Genel olarak üç çeşit metal matrisli kompozit vardır.

- Partikül takviyeli MMK,

- Kısa fiber veya whisker takviyeli MMK,
- Sürekli fiber veya levhasal takviyeli kompozitler (Chawla 2006).

Şekil 2.2’de üç çeşit MMK şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2-2 Farklı metal matris kompozit çeşitleri (Chawla 2006).

Partikül takviyeli MMK’ler, diğerlerine göre düşük maliyet, yüksek rijitlik ve hemen hemen izotropik özellikler gösterirken, mukavemetteki gelişmenin az olduğu ve kopmadaki şekil değişimi ile kırılma tokluğunun düşük olduğu görülmektedir. Whisker veya kısa fiber takviyeli MMK’ler ise, partikül takviyelilere göre daha yüksek maliyetli iken daha mukavim olduğu görülmektedir. Sürekli fiber katkılı MMK’ler, mukavemetin en iyi bileşimini verirken, özelliklerinin anizotropik olması ve daha da önemlisi, kullanılan fiberlerin ve üretim prosesinin maliyetinin yüksek olması, bu malzemelerin dezavantajları olarak öne çıkmaktadır (Ögel 1997).

## 2.2 MATRİS MALZEMELERİ

Matris malzemeleri takviye elemanlarını bir arada tutarak birkaç kritik fonksiyonu da yerine getirirler. Matris malzemeleri takviye elemanlarına yük aktarımı yaparlarken takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korurlar. Takviye elemanlarından kırılğan çatlakların yayılmasını engeller. Matris malzemeleri kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini de belirler (Hull 1992).

Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo, ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır. Alüminyumun hafifliği, işleme kolaylığı, korozyon direnci ve takviye elemanı ile uyumluluğu, en yaygın kullanılan matris malzemesi olmasında etkili olmuştur. Alüminyumun düşük ergime sıcaklığı yüksek sıcaklıklarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu durumlarda titanyum ve alaşımları çok kullanılan matris malzemelerdir. Ayrıca özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, kolay üretilbilirlik özelliklerinin artırılması söz konusudur (Çalın 2006)

MMK'lerde matris malzemesi olarak, mukavemet/yoğunluk oranının iyi olmasını sağlayacak düşük yoğunluklu, ağırlıkça hafif, yüksek mekanik özelliklere sahip olan metaller veya alaşımları kullanılmaktadır. Kullanılacak olan matris malzemesi seçilirken malzemenin kullanılacağı ortam şartları ve malzemedan beklenen işlevler göz önünde bulundurulur. Bu şartlar ışığında matris malzemesinin saf mı yoksa alaşımlı mı olacağı belirlenir. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi seçimi çok önemlidir. Bu seçimde matris malzemesinin kristal yapısından, ısıl, mekanik ve fiziksel özelliklerine kadar birçok karakteristiğin göz önünde bulundurulması gerekir. Matris malzemesinin takviye elemanı ile uyumluluğu, üretilbilirliği ve üretim yöntemi de diğer dikkat edilmesi gereken parametrelerden bazılarıdır.

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay islatabilmeleridir. Alüminyum saf olarak kullanılabilirdiği gibi alaşım olarak da kullanılabilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve

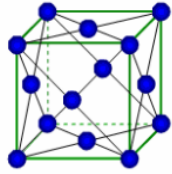
yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir.

### 2.2.1 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum (Al), yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renkte sünek bir metaldir. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, tokluk ve iyi korozyon direnci özelliklerinden dolayı otomotiv ve havacılık sektöründe yüksek oranda tercih edilmektedir. Spesifik olarak Al-Cu-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımları çok iyi çökelme sertleşmesine sahip alaşımlardır. Endüstrinin pek çok kolunda binlerce farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Bu malzemeler hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde de geniş kullanım alanı bulur.

%99,996 saflıktaki alüminyumun çekme mukavemeti yaklaşık 49MPa iken alaşımlandırıldığında veya ısıtılma işlemi uygulanması sonucu bu değer 220MPa'a kadar çıkabilmektedir. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Tablo 2.1'de saf alüminyumun özellikleri verilmiştir. (Dr. Uğur Soy 2006)

Tablo 2-1 Alüminyumun özellikleri (Dr. Uğur soy)

Sembolü (Al)		Sınıfı	Metalik
		Yoğunluğu	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Malzeme adı	Alüminyum	Sıvı yoğunluğu	2,375 g/cm <sup>3</sup>
Atom numarası	13	Ergime sıcaklığı	660,32 °C
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik	Kaynama sıcaklığı	2519 °C
Madde hali	Katı	Elastik modülü	70 GPa
Rengi	Mat gümüşümsü	Poisson oranı	0,35
		Mohs sertliği	2,75
		Termal iletkenliği	235 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
		Termal genleşme katsayısı	23,1x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

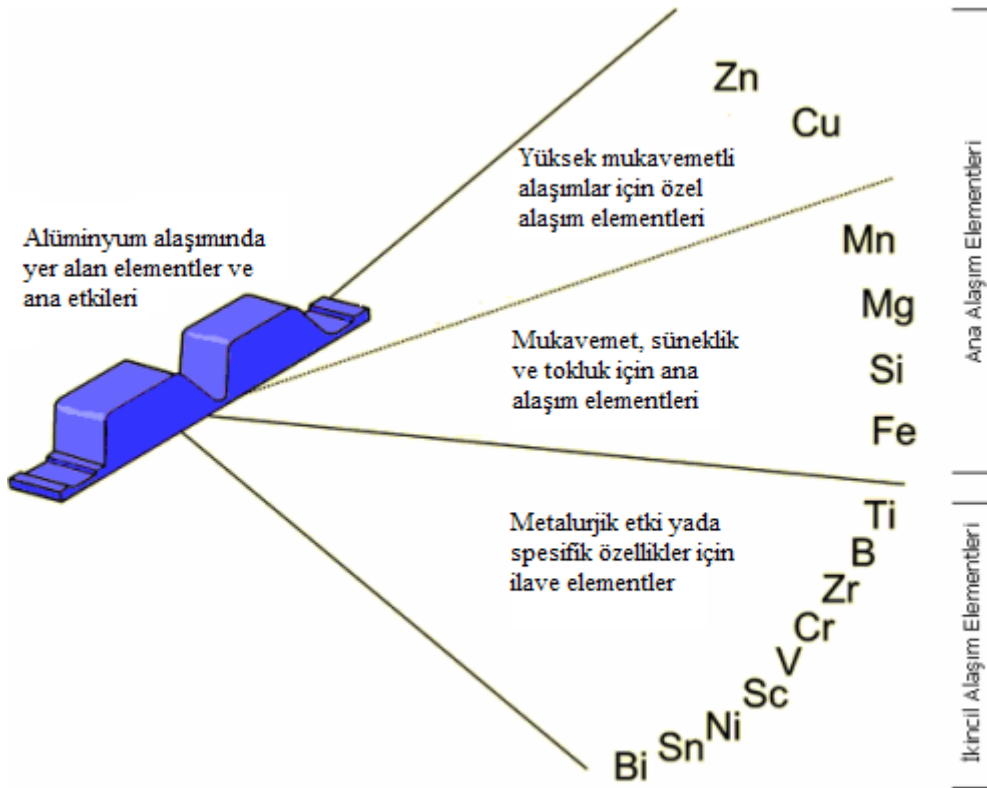
Alüminyum MMK malzemelerin üretiminde işlem (yoğurma) yöntemi kullanıldığında alüminyum alaşımlarından çoğunlukla AA2xxx, AA6xxx ve AA7xxx serisi alaşımlar kullanılırken, döküm yöntemi ile üretilmeleri durumunda ise matris malzemesi olarak AlSi9Mg (A359), AlSi9Cu3 (A380) ve AlSi12CuMgNi gibi döküm alüminyum alaşımları

tercih edilmektedir Tablo 2.2’de alüminyum MMK malzemelerde kullanılan matris alaşımlarının bileşimleri verilmiştir (Hunt 2000).

Tablo 2-2 Alüminyum MMK’lerde kullanılan matris alaşımları.

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

Alüminyum esaslı malzemelerde kullanılan başlıca alaşım elementleri; Si, Cu, Mg, Mn, ve Zn’dir. Bu elementler ayrı ayrı ya da birkaçı aynı anda ilave edilerek sahip oldukları belirli özellikleri sisteme katarlar. Örneğin, yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme için Al-Si, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir (İbrahim vd. 1991).



Şekil 2-3 Alüminyum alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri (Dr. Uğur Soy 2006).

Silisyum (Si): Alüminyum alaşımının mukavemet kaynak kabiliyeti ve akışkanlık özelliklerini artırır ve çatlama eğilimini azaltır. Bu alaşımda demir ve magnezyum varlığı mekanik özellikleri negatif yönde etkilemektedir. Al-Si alaşımları yüksek korozyon direncine sahip olup deniz taşıtlarının üretiminde tercih edilirler.

Magnezyum (Mg): Magnezyum alüminyuma yüksek mukavemet korozyon direnci süneklik ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Magnezyum %2'den fazla ilave edildiğinde gevreklik problemi ortaya çıkmaktadır. %6'dan fazla Mg içeren alaşımlarda çökeltme sertleşmesi olur, dökümleri zordur. Bu alaşımlar döküm alaşımı olarak tanınırlar ve özellikle korozyon dirençlerinin yüksekliği otomotiv ve uçak üretiminde kullanılmalarına imkân sağlar.

Bakır (Cu): alüminyuma katıldığında mukavemeti artırır, %12'den fazlası gevrekliğe yol açar. Yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği artırır. %4-6 arasında katıldığında yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Dökümü zorlaştırır ve gerilme gidermesi kabiliyetini azaltır.

Mangan(Mn): demir ile birlikte kullanıldığında dökülebilirliği artırır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, soğuma sırasındaki çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.

Çinko (Zn): genellikle magnezyum ile birlikte kullanılır. Çinko diğer alaşım elementleriyle birlikte dayanımı çok artırır. Alüminyum ve çinko alaşımları çok yüksek mukavemet özelliğine sahip alaşımlardır. Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterir.

Demir (Fe); alüminyuma katıldığında alaşımın sertliğini yükseltir ve çok fazla istenmeyen bir elementtir. Alüminyumun ya da alüminyum alaşımının ergitme işlemi ile üretilmesinde kullanılan alet ve teçhizatlardan az oranda da olsa alaşıma karışma ihtimali vardır. Bazı durumlarda empürite olarak görülür ve bu istenmeyen bir karakterdir.

## **2.2.2 Titanyum Ve Alaşımları**

Titanyum alaşımları yüksek dayanım/ağırlık oranına sahiptirler. Saf titanyum  $4,5 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğa sahip olup Young Modülü  $115 \text{GPa}$ 'dır. Titanyum alaşımları için yoğunluk  $4,3$  ile  $5,1 \text{ gr/cm}^3$  arasında değişirken Young Modülü  $80$  ila  $130 \text{GPa}$  arasındadır. Titanyumun ergime noktası  $1672^\circ\text{C}$ 'dir. Çeliğe alaşım elementi olarak eklenmesinin yanı sıra saf veya alaşımı



olarak denizcilik, kimya alanları, motor, türbin imalatı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olduğundan dolayı uçak ve uzay sanayinde de tercih edilmektedir. Korozyon direnci iyidir.

### **2.2.3 Magnezyum Ve Alaşımları**

Magnezyum doğadaki en hafif metallereendir ve  $1,74 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğa sahiptir. Magnezyum alaşımları özellikle dökümler otomotiv ve uçak şanzıman gövdeleri, testere gövdeleri, laptop kasaları, elektronik ekipmanlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadırlar. En yaygın alaşım elementleri Al, Zn, Mn'dır. Mg-Al-Zn-Mn alaşımındaki alaşım elemanlarına bakacak olursak manganez atmosferik korozyon dayanımını, çinko sekil değiştirme kabiliyetini, alüminyum mekanik mukavemet ve korozyon dayanımını artırır ki bu alaşım uçak tekerleri ile motor karterlerinin dökümünde kullanılır. (Oğuz 1990).

### **2.2.4 Kobalt**

Kobalt çok yaygın bir metal matristir. Sert maden uçları olarak bilinen WC/Co kesici takım uçlarında kullanılırlar. Bu uçların üretim sürecinde kobalt toz formundadır. Kobalt tozu sıvı kobaltın hidrojenle indirgenmesi ile veya atomizasyon yöntemi ile üretilir. WC/Co kompozitlerde az miktarda kobalt matris WC parçacıklarını tutarak tokluk ve plastiklik kazandırmaktadır.

## **2.3 TAKVİYE ELEMANLARI**

Takviye elemanlarının, bir kompozit malzemede esas fonksiyonları; yükü taşıyarak matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Teorik alanda malzemelerde aranan özellikler; yüksek dayanım ve düşük yoğunluk, kovalent veya kovalent-iyonik bağların karışımına sahip yapı olmasıdır (Şahin 2006).

Takviye elemanı seçimi kompozitten beklenen özellikler, üretim yöntemi ve maliyet göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Kompozitten beklenen yoğunluk, dayanım değeri, ısıl genleşme ve iletkenlik gibi özellikleri sağlayacak takviye elemanı seçimi yapılır. Kompozit üretiminde matris alaşımı ile takviye arasındaki etkileşim süresi ve sıcaklık etkisiyle istenmeyen reaksiyonların gerçekleşmeyeceği takviye malzemeleri seçilmelidir. Partikül şeklindeki takviye elemanları istenilen boyut ve miktar da elde edilebilmelerinin kolaylığı ve

maliyet açısından oldukça uygun olmalarından dolayı metal matrisli kompozit malzemelerde en fazla kullanılan takviye elemanlarındandır.

Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılan malzemelerin; düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı, yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi, ekonomik olması, yüksek modül ve dayanım gibi özelliklere sahip olmaları beklenir. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları  $Al_2O_3$ , SiC, Bor, TiC ve Karbondur (ASM 2002).

Tablo 2-3 MMK'lerde kullanılan başlıca takviye malzemelerinin özellikleri (Toptan 2006)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Isıl Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Mukavemet (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
$Al_2O_3$	3,98	7,92	2100	221(1090 °C)	379 (1090°C)
SiC	3,21	5,4	2750		324(1090 °C)
SiO <sub>2</sub>	2,66	<1,08	1710		73
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 °C)	310 (1090°C)
B <sub>4</sub> C	2,52	6,08	2420	2759 (24 °C)	448 (24 C)

### 2.3.1 Silisyum Dioksit (SiO<sub>2</sub>)

Silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) doğada kum ve kuvars şeklinde bulunur. Silisyum ve O<sub>2</sub> dünyada en çok bulunan elementlerdendir ve birlikte Silika'yı, dünyada kaya formunda bulunan üç mineralden birini oluşturur. Silika 3 ana kristal formunda bulunur. En çok mineral kuvars formunda bulunur. Fakat bu cevher aynı zamanda kristobolit ve tridimit halindedir. Bu cevherler sıcaklığa ve kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Şekil 2.4'te Silika'nın 3 formu görülmektedir.



a) b) c)  
Şekil 2-4 Silikanın 3 ana formu a) kristobalit b) tridimit c) kuvars

Kuvars; oldukça saf silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) kristallerine verilen addır. Doğada kristal ya da amorf halde bulunur. İçindeki yabancı maddelerin cins ve miktarına göre, saydam, renkli, ya da yarı saydam durumdadır. Başlıca kullanım alanları cam, seramik, döküm, kimya, dolgu, plastik, suni mermer ve inşaat uygulamalarıdır.

Kristobalit; silikanın yüksek sıcaklıkta kalsine edilmesiyle oluşan yüksek saflıkta ve beyazlıkta kimyasal inert ürünlerdir. Boyalarda, plastiklerde, hassas dökümlerde dolgu maddesi olarak kullanılırlar. Ayrıca hammadde olarak seramik malzeme üretiminde, dolgu olarak silikon kauçuk (sealant), polimer beton, aşındırıcı ve parlatici malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

### 2.3.2 Silisyum Karbür ( $\text{SiC}$ )

$\text{SiC}$  metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan seramik takviye elemanlarından biridir.  $\text{SiC}$  parçacıkları, aşındırıcı özelliğe sahip, keskin köşeli ve yüksek sertliğe sahiptirler. Bor karbür ve elmadan sonra gelen en sert takviye elemanıdır. Yüksek sertliğine karşın aşırı derecede kırılındır.  $\text{SiC}$  parçacıkları yüksek oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliğinin yanında diğer takviye elemanlarına göre daha ekonomiktir. Parçacık ve whisker tipinde  $\text{SiC}$  takviyeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelere, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme işlemleri yapılabilmesi de önemli bir avantaj teşkil eder.

### 2.3.3 Alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

MMK malzeme üretiminde en çok kullanılan takviye elemanlarından biridir. Bunun sebebi yüksek sıcaklık, yüksek dayanım ve düşük maliyetli olmasıdır. Diğer seramik takviye elemanlarında olduğu gibi oluşturdukları kompozitlerde iyi sürtünme ve aşınma davranışı

sergilerler. Bu nedenle fren diski, piston, silindir gömleği gibi otomobil parçalarında çokça kullanılırlar. Sanayide ise kor renkli ergimiş alümina (yaklaşık %21 krom oksidin elektrik ark fırınlarında sıcak hava vermesi suretiyle saf alüminadan elde edilen yüksek saflıktaki alüminyum oksittir) ısıtılıp dövülebilir dökme demirin düzgün taslanması, yüksek hız çeliğinin silindirik taslanmasında, ısıtılıp dövülebilir dökme demirin düzgün taslanmasında, yüksek hız çeliğinden mamul takımların taslanmasında, spesifik olarak da dalma taşlama işlerinde de kullanılabilir (Şen 2005).

## **2.4 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Metal matrisli kompozitler içerisinde partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin daha fazla ticari uygulama alanı bulmasının başlıca nedeni, klasik ve iyi bilinen yöntemlerle üretimlerinin mümkün olmasıdır (Cöcen ve Önel 2002). Ancak bu durum, hiçbir zaman bu kompozitlerin üretiminin problemsiz ve kolay olduğu anlamına gelmemelidir. Matrisin takviye elemanlarını ıslatmaması, homojen dağılımın sağlanması, porozitelerin önlenmesi, dökümde akıcılığın sağlanması, ara yüzey reaksiyonlarının engellenmesi gibi birçok problemle karşılaşılabilir (Kolukısa 1999; Altuner'den 2011). Bu problemlerin aşılabilmesi çeşitli üretim teknikleri kullanılmakta ve bunları geliştirilmesi üzerine araştırmalar devam etmektedir. Kompozit üretimi katı, sıvı ve gaz fazlarında gerçekleştirilebilmektedir. Ancak yaygın olarak katı ve sıvı fazlarında üretim yöntemleri kullanılmaktadır.

### **2.4.1 Katı Hal İşlemleri**

Katı hal işlemleri en yüksek mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için özellikle süreksiz takviyeli MMK malzeme üretiminde kullanılır. Bunun sebebi segregasyon ve kırılma ürün oluşumunun özellikle sıvı hal işlemleri ile karşılaştırıldığında en az olmasıdır (Ghosh 1993).

Kompozit malzeme üretiminin, matris malzemesinin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp farklı işlemler uygulanarak gerçekleştirilmesi esasına dayanır. Başlıca katı hal üretim yöntemleri;

- a) Toz metalürjisi
- b) Difüzyonla birleştirme

Toz metalürjisi yöntemi parçacık veya whisker takviyeli kompozit üretiminde soğuk presleme ve sinterleme veya sıcak presleme işlemlerini içerir (Hunt 1994). Matris ve takviye tozları homojen bir dağılıma sahip olacak şekilde karıştırılır ve kalıba konularak preslenir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi uygulanır. Sonrasında gerekli son işlemler uygulanarak kompozit üretimi tamamlanır. Soğuk presleme işleminde elde edilen yoğunluk değerleri çok

iyi değildir. Bu nedenle tozlar karıştırıldıktan sonra sıcak presleme işlemi uygulanarak yoğunluk arttırılırken, takviye – matris ara yüzey bağıda kuvvetlendirilir.

Difüzyonla birleştirme yöntemi benzer veya farklı metalleri birleştirmek için yaygın katı hal işlemlerindedir. Difüzyonla birleştirme yönteminde levha veya yaprak şeklindeki matris malzemeleri ile levha veya uzun fiber şeklindeki takviye elemanları üst üste konularak birlikte ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta preslenerek difüzyonla birleşmeleri sağlanır (Tekeli ve Çetinkaya 2000). Bu tekniğin başlıca avantajı çok geniş matris metalleri kullanılarak üretilibilmeleri ve fiberlerin yönlendirmeleri ve hacim fraksiyonlarının kontrol edilebilmesidir. Bununla birlikte uzun işlem süreleri, işlemi pahalı hale getiren yüksek işlem sıcaklığı ve basıncı ile karmaşık şekilli parçaların üretiminde limitlerinin bulunması bu yöntemin dezavantajlarıdır (Chawla 2006).

#### **2.4.2 Sıvı Hal İşlemleri**

Sıvı hal üretim işlemleri, ergitilmiş matris malzemelerinin takviye elemanları ile herhangi bir şekilde temasa geçirilerek aralarında bağ oluşturma işlemleridir (Çıtak 1998). Yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim işlemlerini şöyle sıralamak mümkündür.

1. İnfiltrasyon
2. Sıkıştırılmalı döküm
3. Basıncılı döküm
4. Yarı katı döküm
5. Karıştırılmalı döküm
6. Püskürtme çökmesi

İnfiltrasyon yöntemi, eriyik haldeki matris metalinin takviye malzemelerinden genellikle nihai parçanın şeklinde hazırlanan poroz preforma infiltre edilmesi esasına dayanır. Proses atmosferik koşullarda, vakum ortamında veya bir inert gaz yardımı ile gerçekleştirilebilir (Tekmen 2006). Yöntemin verimli olması, yüksek yüzey kalitesi vermesi, nihai şekle yakın parça üretimini olanaklı kılması gibi avantajların yanında sıvı metalin bazı durumlarda çok küçük boşluklara metalin nüfuz edememesi ve fiberlerin matriste homojen dağılımlarının bozulabilmeleri gibi dezavantajları bulunmaktadır (Peng vd. 2000).

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, takviye elemanından oluşan blok parça kalıba yerleştirilerek sıvı metalin kalıp içerisine 70-100MPa basınç altında dökülmesi ve basınç altında katılaştırılması ile kompozit malzeme üretilmektedir. Basınç altında döküm ve katılaştırmadan

dolayı parçalarda gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları yok denecek kadar azdır. Sistemin yüksek hidrolik basınç gereksinimi, büyük parçaların üretimine imkân vermemesi gibi dezavantajları söz konusudur (Çalın 2006).

Basınçlı dökümde sıkıştırılmalı döküme benzer fakat kullanılan yükler daha düşüktür. Genellikle 10-15 MPa basınç bu tür dökümler için yeterli görülmekte ve büyük boyutlu parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır (Bhagat 1991).

Savurma döküm yönteminde sıvı metal merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak basınçla döner kalıp içerisine gönderilir. Döküm parçaların basınç altında yönlü katılaşması sağlanır. Genellikle silindirik ve simetrik parçaların dökümü yatay eksenli olarak yapılırken, simetrik olmayan parçalar bir dikey yolluk etrafında sıralanarak dökülebilirler. Gaz boşlukları ve inklüzyonlar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle iç yüzeyde toplanırlar. Yoğunluk farklılığının fazla olduğu metallerin dökümünde yaygın olarak segregasyon hatası görülmektedir (Smith ve Marchel 1988).

Karıştırmalı döküm, eriyik metal içerisine kontrollü olarak ilave edilen takviye elemanlarının bir karıştırıcı vasıtasıyla matris içerisinde homojen olarak dağıtılması ve kalıba dökülmesi esasına dayanan bir kompozit üretim yöntemidir. Yöntemin başlıca problemleri gözenek ve boşluklardır.

Püskürtme çökmesinde bir atomizerden akan sıvı içerisine, takviye elemanı tozlarının katılarak atomize edilen yarı katı damlacıkların bir kalıp üzerinde toplanması ile matris ve takviye elemanları karıştırılır. Toz metalürjisi tekniği ile kompozit üretimi sağlanır. Atomize olan tozların hızlı soğumasından dolayı ince tane yapıları elde edilir. Bu metod da alüminyum gibi ergime derecesi nispeten düşük olan metallere uygulanmaktadır. Son parçanın şekli ise atomize etme şartlarına, toplayıcı kalıp hareketine ve şekline bağlıdır (Şahin 2000).

## **2.5 İNFİLTRASYON YÖNTEMİ**

Bu yöntemde sıvı matrisin gözenekli preform içerisine infiltrasyonu, basınç veya vakum yardımıyla elde edilir. Ayrıca sıvı damlacıkları katıyı ıslattığı zaman dışarıdan bir etki olmaksızın, gözenekli bir yapı içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir (Ralph vd. 1997)

Sıvı metal matrisin gözenekli seramik takviyeye infiltrasyonu, yüzeye sızma prensibine, kılcallık etkisine dayanmaktadır. Genellikle metal oksitlerde temas açısı  $90^\circ$  den büyüktür. Bu nedenle, ıslatma kriteri olarak katı yüzeyde bulunan kılcal aralıklara ve pürüzlü yüzeylere metal sızmasını sağlamak için dış basıncı gerekli kılmaktadır (Michaud ve Mortensen 2001).

$$\Delta p = \frac{-2Df}{r} \quad (2.1)$$

Burada,  $r$  kılcallık yarıçapı,  $Df = \gamma_{sb} \cos\theta$ ,  $\gamma_{sb}$  sıvı-buhar yüzey gerilimi ve  $\theta$  sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır.

Liplike-Young eşitliğinden Eş.2.2'de infiltrasyon için gerekli basınç;

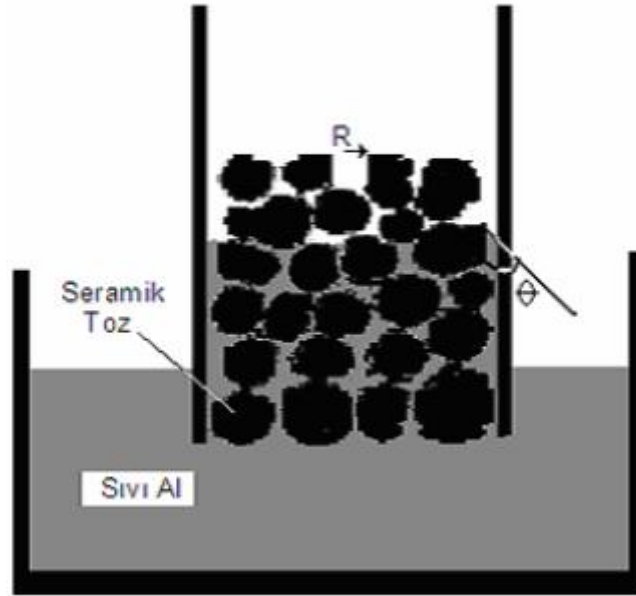
$$\Delta p = \frac{2\gamma_{sb} \cdot \cos\theta}{r} \quad (2.2)$$

Burada  $r$ , kılcallık yarıçapıdır.

Belli takviye hacim oranında sıkıştırılmış tozlardan oluşan blok parçanın içerisine, sıvı matrisin infiltrasyonu için matematiksel ifade Eş.2.3'de verilmiştir

$$\Delta p = \frac{6\lambda\gamma_{sb} \cdot \cos\theta(1 - w)}{d \cdot w} \quad (2.3)$$

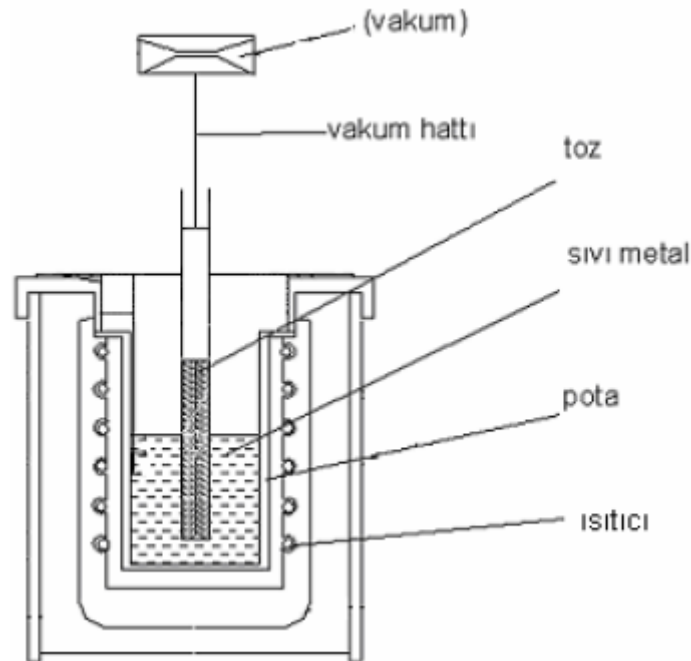
Denklemi ile belirlenir.  $\Delta p$  infiltrasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli eşik basınçtır.  $w$ , takviyedeki gözenek oranı,  $d$ , ortalama parçacık çapı,  $\gamma_{sb}$  ve  $\theta$  sırasıyla, sıvı-buhar yüzey gerilimi ve sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır.  $\lambda$  ise geometri faktörüdür. Denklem, takviye hacim oranı ve ortalama parçacık boyutunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Michaud ve Mortensen 2001).



Şekil 2-5 Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi (Çalın 2006).

### 2.5.1 Vakum İnfilyasyon

Bazı matris-takviye sistemleri için takviye etrafında bir vakum yaratmak, infilyasyonu gerçekleştirmek için yeteri kadar büyük bir basınç farkı sağlar (Michaud 1993). Sıvı metal matris basınç farkından dolayı gözenekli preform içine emilir. Vakum infilyasyon yöntemi kolay uygulanabilen ve ekonomik bir yöntemdir. Şekil 2.6'da vakum infilyasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2-6 Vakum İnfilyasyon yöntemi (Çalın 2006)

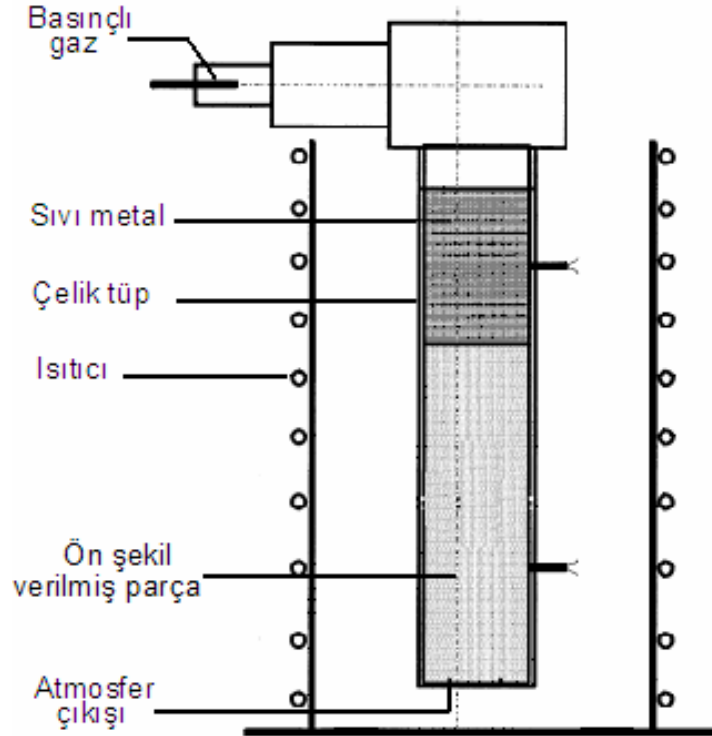


## 2.5.2 Basınçlı İnfiltrasyon

İnfiltrasyon yönteminde zayıf ıslatma sorununu aşmak için bir yolda, mekanik iş yaparak sıvı metali ıslak olmayan preform içine zorlamaktır. Dışarıdan uygulanan basıncın birincil amacı kılcal kuvvetleri aşmak olsa da daha yüksek basınç, artan işlem hızı, kimyasal reaksiyonların kontrol edilebilmesi, düzgün matris mikro yapısı ve katılma büzülmesini beslemesi sayesinde daha sağlam bir ürün eldesi gibi ek faydalar sağlar (Michaud 1993).

Matris ve takviyeyi birleştirmek için gerekli olan basınç seramik preformu dolduran sıvı matrisin viskozitesinin bir fonksiyonudur. Sıvı alaşım tarafından takviyenin ıslatılması sıvı matrisin kimyasal bileşimine, seramik preform malzemeye, seramik yüzey işlemlerine, yüzey geometrisine ara yüzey reaksiyonlarına, atmosfer basınç ve süreye bağlıdır (Cornie vd. 1987).

Şekil 2.7’de basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde çelik tüp içerisine yerleştirilen seramik takviyeye sıvı metal belirli basınçtaki gaz yardımı ile infiltre olmaktadır. İnfiltrasyonu kolaylaştırmak için kalıbın alt kısmında gaz çıkışı sağlayacak kanal bulunmaktadır. Basınçlı infiltrasyon yönteminde infiltrasyon basıncı, takviye hacim oranı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığı işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır (Elomari 1997).



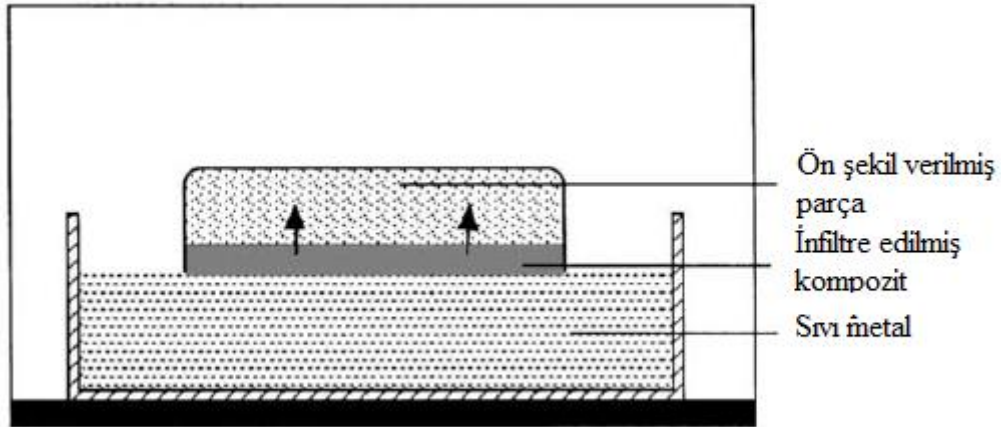
Şekil 2-7 Basınçlı infiltrasyon yöntemi (Elomari 1997)

Yöntemin uygulamasında sıvı matris yüksek basınç kullanılarak takviye preform içine infiltre olmakta ve basınç altında katılaşmaktadır. Yüksek basınç katılaşma esnasında ortaya çıkabilecek kusurları azaltıcı etki yapmakta ve üretilen kompozitin özelliklerini iyileştirmektedir.

### 2.5.3 Basınçsız İnfiltrasyon

Basınçsız infiltrasyon yönteminde sıvı metal parçacık takviye içerisine, basınç uygulanmaksızın kendi kendine infiltre olabilmektedir. Basınçsız infiltrasyonda sıvı matrise Mg ilavesi ve azot atmosferi infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. Mg, sıvı alüminyumun seramik parçacıkları ıslatmasını geliştirerek infiltrasyonu sağlamaktadır (Cornie 1986).

Şekil 2.8’de basınçsız infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir. Yöntemde sıvı matris içerisine yerleştirilen takviye preforma azot atmosferinde sıvı matris infiltre olmaktadır. Sıcaklık, parçacık büyüklüğü, Mg içeriği, takviye hacim oranı, süre ve seramik takviyenin kaplanması işlem parametreleridir (Rodrigez vd. 2003).



Şekil 2-8 Basınçsız infiltrasyon yöntemi (Michaud 1993).

## 2.6 İNFİLTRASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### 2.6.1 Takviye Tane Boyutu

Takviye parçacıkları arasında oluşan infiltrasyon öncesi boşluklar, takviye tane büyüklüğüne bağlı olarak infiltrasyonu etkilemektedir. Büyük tane boyutuna sahip takviye elemanları arasında, infiltrasyon öncesi boşlukların büyük olmasıyla sıvı matrisin bu gözeneklere infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. (Çalın 2006)

Al matris içine 13 $\mu$ m, 23 $\mu$ m ve 37 $\mu$ m boyutlarında SiC partikül takviyesi ile üretilen kompozit sistemlerinde yapılan incelemelerde, SiC partikül boyutunun azalması ile porozitenin artması, parçacıklar arası boşlukların azalmasına ve Al'un, SiC'ü ıslatmamasına dayandırılmıştır (Ahlatçı vd. 2004).

### **2.6.2 İnfiltrasyon Süresi**

İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için diğer işlem parametrelerine bağlı olmakla birlikte bir kuluçka süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Kuluçka süresinin sıcaklığa bağlı bir periyot olduğunu, ancak sıcaklık ve zaman parametrelerinin ortak etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir (Rodríguez vd. 2003).

% 7 Si ve % 0,3 Mg ihtiva eden 356-T6 alüminyum alaşımı infiltrasyon yöntemi ile SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> seramik parçacıklar içerisine infiltre edilmiş ve infiltrasyon mesafesinin, infiltrasyon süresi ve sıcaklığına bağlı lineer olarak arttığı tespit edilmiştir (Kevorkijan 1999).

Kapasitans tekniği uygulanarak basınçlı infiltrasyon yöntemiyle Al alaşımı içine % 55 takviye hacim oranındaki SiC tozlar infiltre edilmiş ve deneysel çalışmalar sonucunda, infiltrasyon mesafesinin zamanın kareköküne oranlı tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Fletcher vd. 1991).

### **2.6.3 İnfiltrasyon Sıcaklığı**

İnfiltrasyon işleminde artan sıcaklık değerleri ile birlikte sıvı matrisin akıcılığı artmakta ve gözeneklere infiltre olması kolaylaşmaktadır. Yapılan araştırmalar sıcaklığın infiltrasyon işleminde çok önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Basınçsız infiltrasyon yöntemi ile % 56 takviye hacim oranındaki Mg/TiC kompozitleri 850-900°C sıcaklıklarda argon atmosferinde üretilmiş ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında sıvı matrisin takviyeyi başarılı bir ıslatma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyi bir ıslatmaya bağlı olmakla birlikte artan infiltrasyon sıcaklıklarında artış gösterdiği belirtilmiştir (Contreras vd. 2004).

Vakum infiltrasyon yöntemi ile % 55'e varan takviye hacim oranlarındaki SiCp tozlara %9,42 Si, %0,36 Mg'lu alüminyum alaşımı infiltre edilerek üretilen kompozitlerle yapılan

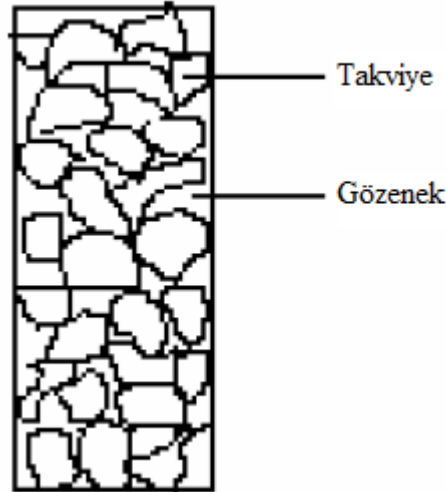
incelemelerde 640-800°C sıcaklıkları optimum infiltrasyon sıcaklığı olarak tespit edilmiştir (Acılar 2002; Çalın'dan 2006).

Vakum infiltrasyon yöntemi ile düşük hacim oranındaki SiCp/Al-10 Si kompozitlerinin infiltrasyonunda, 660°C ve 180 saniyede 50 mm infiltrasyon elde edilirken sıcaklığın 600°C'ye düşürülmesiyle infiltrasyonun zorlaştığı ve zayıf infiltrasyonun meydana geldiği belirlenmiştir (Acılar ve Gül 2004).

#### 2.6.4 Takviye Hacim Oranı

Takviye hacim oranı, kompozit malzeme içerisinde takviye malzemesinin hacimce miktarını ifade etmektedir. Kompozit malzemelerin özelliklerinin etkileyen önemli faktörlerdendir. Takviye hacim oranı infiltrasyon işleminde ise infiltrasyonun davranışını etkileyen bir parametredir. Kompozitlerin sertlik, çekme dayanımı, gözeneklilik ve aşınma davranışları üzerinde belirleyici bir rol oynar.

Şekil 2.9' de görüldüğü gibi takviye tozları cam kap içerisine yerleştirildiğinde oluşan hacim; Eşitlik 2.4'te verilen takviye tozlarının hacmi ve gözenek hacminin toplamına eşittir:



Şekil 2-9 Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler. (Çalın 2006).

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (2.4)$$

Kompozit malzemelerde T-H oranları Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6'da ifade edildiği gibi hesaplanır.

Takviye tozlarının oluşturduğu hacim ise Eşitlik.2.5’de görüldüğü gibi takviye ağırlığının özgül ağırlığa bölünmesine eşittir:

$$V_{\text{takviye}} = m / d \quad (2.5)$$

T-H oranı ise Eşitlik 2.6’da görüldüğü gibi takviyenin oluşturduğu hacmin toplam hacme oranına eşittir:

$$\text{T-H oranı} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (2.6)$$

Bir başka ifade ile cam kap içerisinde takviye tozlarının gerçek ağırlığının teorik ağırlığına oranı % T-H oranını vermektedir.

Takviyenin kompozit içerisindeki oranı ise Eşitlik 2.7’de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (2.7)$$

Burada;

W<sub>k</sub>: Kompozitlerin ağırlığı

W<sub>f</sub>: Fiber ağırlığı

V<sub>f</sub>: Fiber hacmi

W<sub>m</sub>: Matris ağırlığı

V<sub>m</sub>: Matris hacmi

Vakum infiltrasyon yöntemi kullanarak gerçekleştirilen alüminyum matrisli AlN-B<sub>4</sub>C kompozit malzemelerinin üretiminde, ağırlıkça % 1, 2, 4 ve 10 B<sub>4</sub>C içeren AlN-B<sub>4</sub>C seramik toz karışımları, ön şekillendirildikten sonra 1400-1600°C sıcaklıklarda 1 saat süreyle azot akışı altında, indüksiyon fırınında sinterlenmiştir. 50 torr ve 400 torr argon atmosferinde 1250°C sıcaklıkta 20 dakika süreyle gerçekleştirilen infiltrasyon deneylerinde, B<sub>4</sub>C içeriğinin artmasıyla gözenek çapının azaldığı belirtilmiştir (Çırakoğlu vd. 1993).

Çinko-alüminyum esaslı ZA.12 alaşımı 0.1-3 MPa arasında değişen basınçlarda, % 10, 15, 20, ve 30 takviye hacim oranlarında kısa Saffil fiber içeren takviyelere infiltre edilmiş ve her bir hacim oranındaki ön şekillendirilmiş parça için infiltrasyonun belirli bir basınç aralığında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Fiber hacim oranının artması ile daha yüksek basınca ihtiyaç

duyulmuş ve infiltrasyon davranışının artan fiber hacim oranı ile kötüleştiği belirtilmiştir (Kurnaz vd. 1993).

### 2.6.5 İnfiltrasyon Basıncı

İnfiltrasyon yönteminde basınç miktarı, sıvı matrisin blok parça içerisindeki kılcal boşluklardan ilerlemesini ve gözenekleri doldurmasını önemli ölçüde etkilemektedir. İnfiltrasyon, önceden belirtildiği gibi takviye parçacıkları arasında matrisin kılcal basınç ile ilerlemesiyle oluşmaktadır. Ancak bu işlemin olabilmesi için matris takviye uyumu ve gözenek boyları etkili olmaktadır. Bu uygunluğun olmadığı yerlerde kılcal basınca yardımcı olmak üzere infiltrasyona karşı kuvvetleri yenmek için dışarıdan basınç uygulanması gerekli olabilmektedir (Çalın 2006).

Al-1,5 Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kısa fiberli kompozitlerin basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde, artan basınç değerlerinde infiltrasyon oranının arttığı belirtilmiştir (Lianxi vd. 1999).

Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş ve artan basınç değerlerinde kompozitlerin yoğunlukları ve dayanımlarının arttığı belirtilmiştir (Demir ve Altınok 2004).

Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle 670-800°C sıcaklıklarda 24, 31 ve 41 MPa basınçlarda üretilen Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al/AlN, Al/SiC kompozitleri üzerinde yapılan incelemelerde, artan infiltrasyon basıncında gözenek miktarında azalma tespit edilmiştir. % 60 T-H oranında 24MPa infiltrasyon basıncında % 12,4 gözenek miktarı, 31MPa basınçta % 5,4 değerine düşmüştür. % 5 Mg ilavesiyle 41MPa infiltrasyon basıncında gözenek miktarı minimum % 2,7 değerine ulaşılmıştır. Al/ SiC kompozitlerde Al/AlN kompozitlere göre 41MPa basınçta daha az gözenek miktarı tespit edilmiştir. Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerin aynı şartlarda Al/AlN kompozitlere göre daha fazla gözenekli yapıya sahip olduğu belirtilmiştir (Lai ve Chung 1994).

### 2.6.6 Alaşım

MMK'lerde takviye ile matris malzemesinin uyumu kompozitlerin özelliklerini etkileyen parametrelerden biridir. İnfiltrasyon yönteminde sıvı matrisin takviyeyi ıslatma kabiliyeti, infiltrasyon mesafesini önemli ölçüde etkilemektedir. Al matrisli kompozit malzemelerin

infiltrasyonunda birçok araştırmada, sıvı matrisin Mg içeriğinin infiltrasyonu arttıran etki gösterdiği belirtilmiştir (alın 2006).

Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle SiC tozlarına Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alaşımının infiltrasyonunda %4,2 Cu ilavesinin eşik basıncı arttırdığı belirtilmiştir (Chong vd. 1993).

Partikül boyutu 23μm olan SiC tozlara %13,9 Mg ilaveli sıvı alüminyum alaşımı basınçla infiltre edilmiştir. %13,9 Mg ilavesinin eşik basınç değerini 570kPa'dan 320kPa değerine düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca Mg ilavesinin sıvı matris ile takviye arasındaki ıslatma açısını düşürdüğü tespit edilmiştir (Candan vd. 1997).

Al-Si-Mg alaşımının SiC tozlara basınçsız infiltrasyonunda, artan Mg miktarının infiltrasyon derecesini arttırdığı belirlenmiştir (Martinez vd. 2003)

Al-Mg alaşımının Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyesi ile basınçsız infiltrasyon yöntemiyle birleştirilmesi çalışmasında Mg'un infiltrasyona etkisi incelenmiştir. Mg infiltrasyon başlangıcında ve infiltrasyon süresi içinde etkilerini gösterir. İnfiltasyondan önce yüzeyde yüksek miktarda oluşan MgO yapısı infiltrasyonu tetikler niteliktedir. Saf alüminyum ile yapılan deneylerde infiltrasyon sağlanamamıştır. Etkin bir infiltrasyonda alaşımdaki Mg'un kütlece %2.7 olduğu belirlenmiştir. Bu durumun Mg'un doğal olarak Alüminyumun yüzeyindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yapısını yok ederek erimiş metal ile takviyenin etkileşmesini sağladığından dolayı gerçekleştiği tespit edilmiştir. İnfiltasyon süreci içinde ise ortamda bulunan O<sub>2</sub>'i tutarak infiltrasyonu engelleyecek bir oksit yapısının oluşmasını engellemektedir (Sirinivasa ve Jayaram 2001).

### **2.6.7 İslatma**

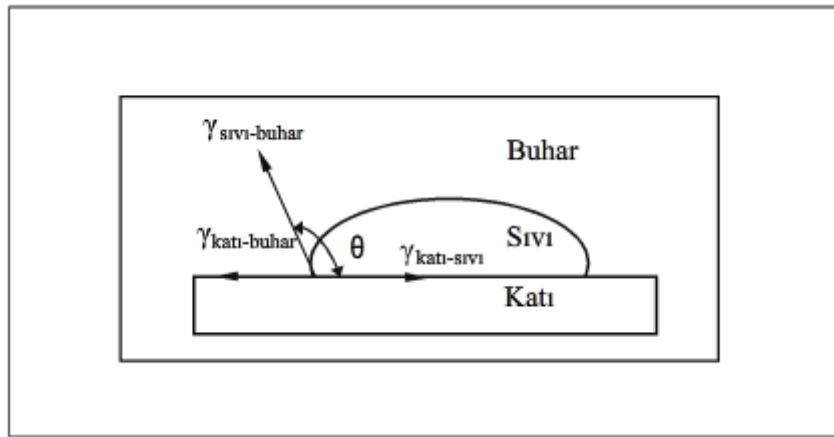
İslatma özelliği, takviye ve matrisin oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. İki elektriksel yüzey (nötr) birbirlerine yeteri kadar yaklaştığı zaman fiziksel bir çekim kuvveti mevcut olur ki bu, katı bir yüzeyin sıvıyla ıslatılması halinde daha iyi anlaşılır. İki yüzey fiziksel temas halinde olduğu zaman gerçek molekül temas toplam yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelir. Ayrıca, genelde yüzeyler kirlilik, oksit ve diğer artık maddeler de içerir. Bu maddeler kaldırılrsa ve temas noktalarında kuvvetli yapışma olsa bile bütün yüzeye göre ortalama yapışma zayıf olmaktadır (şahin 2000).

Bir sıvının katılaşması esnasında yapılan iş Eşitlik 2.8'deki Ppre denklemi ile ifade edilir (Delennay vd. 1987).

$$W_A = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (2.8)$$

Burada;  $W_A$ , sıvının katılaşması esnasındaki yapılan iş,  $\gamma_{sb}$ , sıvının serbest enerjisi,  $\gamma_{kb}$ , katının serbest enerjisi,  $\gamma_{ks}$ , sıvı-katı arayüzeyi serbest enerjisidir.

Şekil 2.10'da bir sıvı damlasının katı üzerine düşmesiyle oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2-10 Bir sıvı damlasının katı bir yüzeye temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı

Bileşenler arasındaki maksimum bağ, arayüzey serbest enerjisi en aza indirildiğinde ortaya çıkar. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi düzgün bir katı yüzey üzerine düşen sıvı damlasının fiziksel durumu Young denklemi ile ifade edilir (Mortensen ve Cornie 1987).

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{kb} \cos\theta \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9 birleştirildiğinde sıvının katılaşma esnasında yapılan iş;

$$W_A = \gamma_{sb} + (1 + \cos\theta) \quad (2.10)$$

Eşitlik 2.10 ile ifade edilir. Böylece sıvı ve katı arasında oluşan bağ, sıvının yüzey gerilimi ve temas açısıyla ilgilidir. Küçük temas açıları iyi ıslanabilirlik, büyük temas açıları ise kötü ıslanabilirliği sergilemektedir.

Temas açısının büyüklüğü ıslatılabilirliği belirler;

1.  $\theta=0$ , mükemmel ıslatılabilirlik
2.  $\theta=180$ , ıslatılabilirlik yok
3.  $0<\theta<180$ , kısmi ıslatılabilirlik



Bu durum, temas açısının küçük olmasının iyi ıslatılabilirliğin bir göstergesi olduğu anlamına gelir. Bir sıvının katı bir yüzeyi ıslatması için  $\cos\Theta > 0$  ya da  $\gamma_{kb} > \gamma_{ks}$  şartının sağlanması gerekir (Hashim vd. 2001).

Alüminyum matrisli kompozitlerde magnezyum ilavesi diğer ilave edilen alaşım elemanlarıyla (seryum, zirkonyum, titanyum, çinko ve bakır) kıyaslandığında eriyik içerisinde takviye partiküllerinin katılmasında ve partiküllerin dağılımının iyileştirilmesinde mükemmel bir etkiye sahiptir. Eriyik alüminyuma magnezyumun ilavesinin alüminanın ıslanabilirliğini iyileştirdiği ve ayrıca alüminyum ile çoğu takviye elemanı için uygun olduğu belirlenmiştir (Hashim vd. 2001).

Matris alaşım tamamen sıvı haldeyken mekanik karıştırmanın zayıf ıslatabilirlik sorununu çözemeyeceğine karşın, yarı-katı haldeyken karıştırma işleminin SiC partiküller ile Al-Si veya Al-Mg alaşımları arasındaki ıslatabilirliğin iyileştirilmesine yardımcı olabileceği tespit edilmiştir (Zou ve Xu 1997).

Alüminyumun takviye elemanı ile kimyasal olarak etkileşime girerek ara yüzeyde yeni bir faz oluşturabilecek bir elementle alaşımlanmasının partikül ilavesini, ıslatmayı ve takviye elemanının matrise bağlanmasını iyileştirebileceği belirtilmiştir. Al-Mg matrisli kompozitte bu iyileşme sıvı alüminyum içerisinde magnezyum ile takviye elemanı arasındaki reaksiyon sonucunda  $MgAl_2O_4$  tabakasının oluşumu ile elde edilebilir (Levi vd. 1978).

### **2.6.8 Matris Takviye Arayüzeyi**

Seramik partikül takviyeli MMK'lerin başarılı sonuçlar vermesi, seramik ara yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmasına bağlıdır. Ara yüzeyde bağ mukavemetini, dolayısıyla sıvı-katı ara-yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için, partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matris alaşımı ve seramik partikül arasındaki yoğunluk farkının ve ara-yüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması lazımdır. Bu faktörlerin yanında; partiküllerin eş eksenli olması, partikül aglomerasyonunu önlemek için sıvı matrisin karıştırılması ve sıvı-katı ara yüzeyinin düz olması gerektiği de kaydedilmektedir (Stefenascu vd. 1988). MMK malzemelerde bağlanma, fiziksel ya da kimyasal etkileşimler, ara yüzeyde sürtünme sonucu oluşan gerilim ve matris ile takviye arasındaki ısıl genleşme

katsayıları arasındaki fark sebebiyle oluşan gerilim gibi etkilerle oluşabilmektedir (Vaucher ve Beffort 2001).

Kimyasal etkenlerin olmaması halinde matris ile takviye arasındaki bağ mekanik kenetlenme ile oluşur (Rajan vd. 1998). Bu kenetlenmede, takviye yüzeyinde bulunan tepecikler ve küçük oyuklar mekanik bağlanmada önemli rol oynar. Yüzey pürüzlülüğünün bağ mukavemetini artırabilmesi için üretim sırasında eriyik haldeki matrisin takviye yüzeyini etkili bir şekilde ıslatması gerekmektedir. Aksi halde katılaşmanın ardından ara yüzeyde boşlukların kalması ihtimali vardır (Chawla 2006).

MMK malzemelerde ara yüzeyler genellikle yüksek sıcaklıklarda oluşurlar. Yüksek sıcaklıklarda difüzyon ve reaksiyon kinetiği daha hızlı gerçekleşir. Kimyasal bağ, difüzyon ile atom transferi sonucu gerçekleşir (Chawla 2006). Bu bağ, metalik, iyonik ya da kovalent olabilir. Metalik bağın olduğu ara yüzey, diğer bağlara göre sünek olur ve MMK malzemelerde tercih edilir (Rajan vd. 1998).

Ara yüzey reaksiyonlarının miktarı ve oluşan reaksiyon ürünlerinin türü, proses sıcaklığı, basınç, atmosfer, matris kompozisyonu ve takviyenin yüzey kimyası gibi özelliklere bağlıdır. Ara yüzey reaksiyonları, ara yüzey enerjisini düşürerek kimyasal bağlanmada adezyonu artırabilir. Kimyasal reaksiyonun özellikleri, kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Hatta proses sırasında başlayan reaksiyon ürünleri oluşumu kompozitin servis ömrü boyunca sürebilir ve kullanım sırasında kompozitlerin özelliklerini düşürmeye devam edebilir (Rajan vd. 1998).

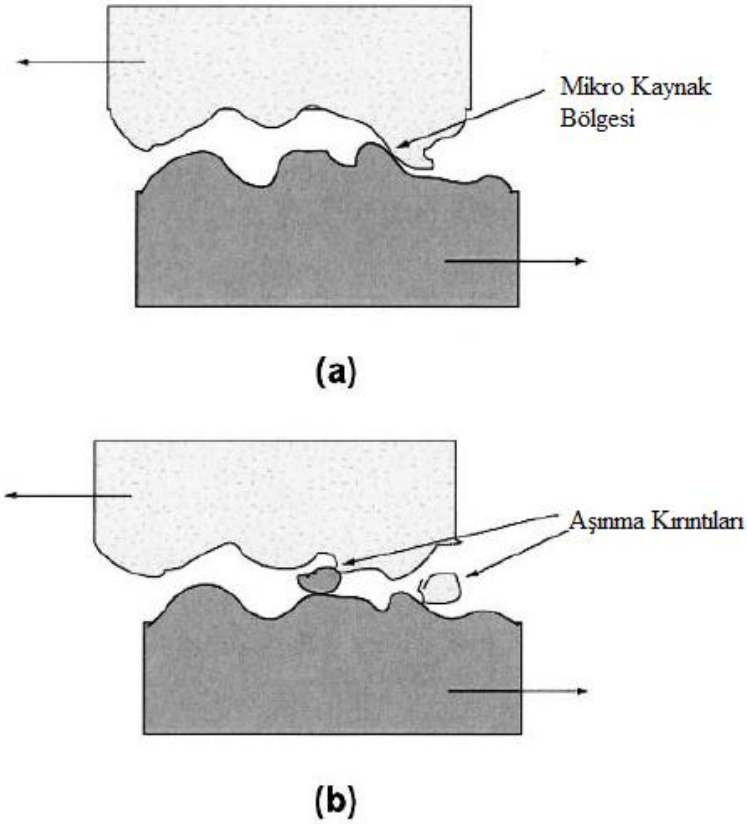
## **2.7 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE AŞINMA**

Metal matrisli kompozitlerin havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu artışın sebebi elastik modül, sertlik, çekme dayanımı ve mühendislik uygulamalarının en önemli sorunlarından biri olan aşınma direnci gibi özelliklerinin kayda değer ölçüde geliştirilebilmesidir. İki yüzeyin birbirini ovalaması ile malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınma, meydana geldiği sistemlerin çalışmasını engelleyerek çok büyük maliyet artışına sebep olmaktadır. Diğer malzemelerde olduğu gibi MMK malzemelerde de aşınma direncini arttırmaya yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir.

Aşınma karşılıklı yüzeylerin birbirini ovalamasıyla malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. En yaygın iki temel formu adhesiv ve abrasiv aşınmadır.

Adhesiv aşınma birbiri ile sürtünen elemanların temas yüzeylerinde meydana gelen mekanik gerilmeler sonucu mikro kaynakların oluşmasına bağlı olarak ortaya çıkan aşınma türüdür.

Adhesiv aşınma ayrıca oyulma, parça kalkması veya yapışma olarak bilinir. Adhesiv aşınmada kayma ana deformasyon mekanizmasıdır. Yüksek temas gerilmeleri sonucu, genellikle iki yüzey arasında adhesiv bağların oluşması ile lokal plastik deformasyon söz konusudur. Devam eden kayma hareketi, yapışma bölgelerinde ki kayma gerilmesinin yumuşak malzemenin akma gerilmesini önemli ölçüde aşana kadar artırır (Chawla 2006).

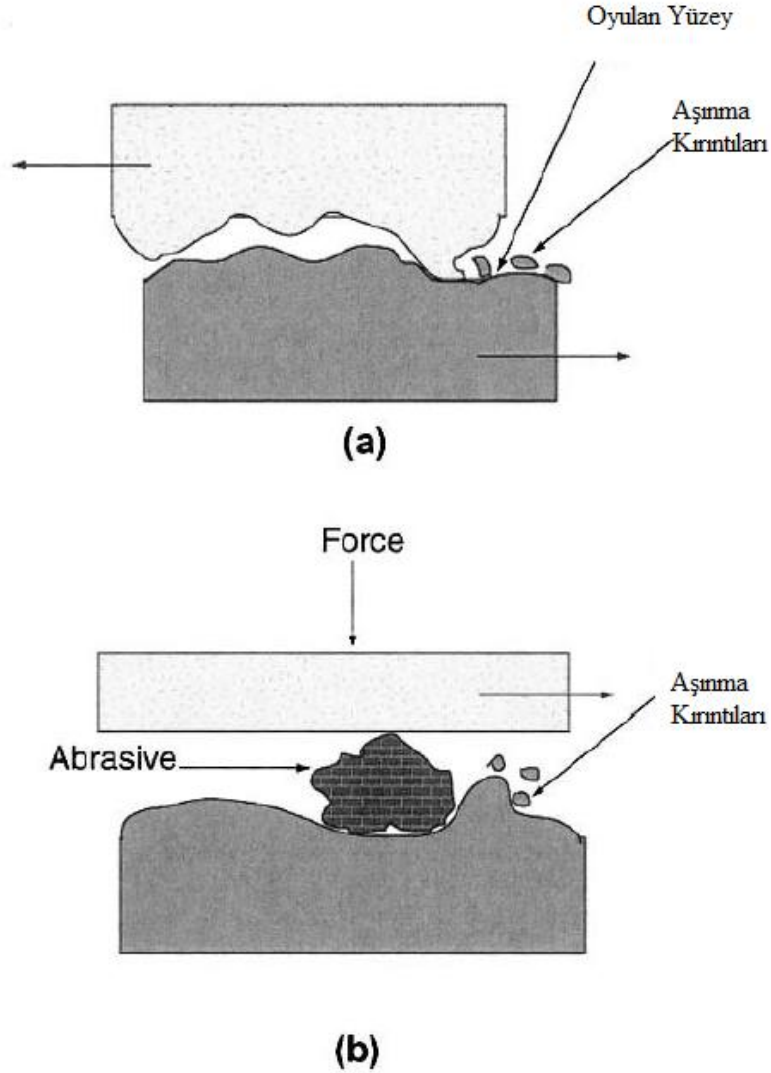


Şekil 2-11 Yüksek temas gerilmelerine bağlı plastik deformasyona yol açan adhesiv aşınma a) Mikro kaynak bölgesi b) iki yüzey arasındaki aşınma kırıntıları (Chawla 2006).

Abrasiv aşınma sürtünen iki cisimden daha sert olanın, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, yüzeyindeki pürüzler veya taneler vasıtasıyla yumuşak olan cismin yüzeyini çizerek yüzeyden mikro talaşlar kaldırması sonucu meydana gelen aşınma türüdür.

Abrasiv aşınma WC veya SiC gibi sert seramik parçacıkların kayma yüzeyleri arasında sıkışması sonucu oluşur. Malzeme kaybı (hacim veya kütle) kayan yüzeyler ile seramik parçacıklar arasındaki göreceli sertlik farkının bir fonksiyonudur. Çevre aşınmada ek faktördür. Abrasiv aşınma esnasında yüzey pürüzlülükleri aşınır ve temas yüzeyleri eşleşir.

Bu da artan temas alanı ile lokal temas gerilmelerini düşürür. Bu ilk abrasiv aşınmadan sonra, yüzey boyunca oksitlenmiş parçacıkların kaldırılması ile meydana gelir (Chawla 2006).



Şekil 2-12 Abrasiv aşınma a) iki cisimli aşınma b) üç cisimli abrasiv aşınma (Chawla 2006).

Aşınma uygulamalarında iki çeşit MMK kullanılmaktadır. Bunlardan biri grafit tipi takviyeli kompozitler, diğeri ise sert seramik takviyeli kompozitlerdir. Matris alaşımına grafit eklenmesi, kompozit ile karşı yüzey arasındaki sürtünme katsayısını düşürerek kayma sırasında ki aşınma ömrünün uzamasına yol açmaktadır. Sert seramik partiküllerin ilavesi kompozitin sertliğini arttırmakta, bu sayede aşınma ortamı içerisinde bulunan aşınma kırıntılarının ve diğeri üçüncü gövde parçacıklarının matrise nüfuz ederek malzeme çıkarmalarına karşı direnç kazandırmaktadır (Alman 2001).

MMK malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri matris içerisine yerleştirilen takviye elemanlarının cinsine, miktarına, boyutuna, biçimine ve sertliğine bağlıdır. MMK'lerin tribolojik davranışları hakkındaki genel düşünce fiberler ya da seramik partiküllerin matrisin dayanımını, sertliğini ve aşınma dayanımı arttırdığı, sünekliği düşürdüğü şeklindedir. Yağlayıcı özelliğinden dolayı matris alaşımı içerisine ilave edilen yumuşak partiküller ise sürtünme katsayısını düşürürken matris dayanımı ve sünekliğinin de düşmesine neden olur. Bu nedenle, matris içerisine ilave edilen takviye elemanı ve katı yağlayıcıların istenmeyen etkileri sonucunda kompozitin özelliklerinde beklenmeyen değişimlerin oluşabileceği unutulmamalıdır (Kozma 2003).

Ramesha ve Safiulla (2007) ağırlıkça %4, %6 ve %8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren AA6061 alüminyum MMK malzemelerin aşınma davranışını incelemişler ve artan takviye oranlarında aşınma hızının düştüğünü tespit etmişlerdir.

Kumar vd. ağırlıkça %2 ve %6 SiC içeren AA6061 alüminyum MMK malzemeler üretmişler ve artan SiC içeriği ile yoğunluğun arttığını tespit etmişlerdir. Aynı şekilde artan SiC içeriği ile sertliğin de arttığını ve takviyesiz alaşıma göre çok üstün aşınma özellikleri sergilediğini bildirmişlerdir (Kumar vd. 2011).

Gül ve Şenel (2010) Al10Si alaşımına vakum infiltrasyon yöntemi ile 120 ve 80 µm boyutlarına sahip SiO<sub>2</sub> partikülleri takviye ederek kompozit üretmişlerdir. İslatabilirliği teşvik etmek için Al10Si alaşımına %5 Mg ilave edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kompozitlerin aşınma dayanımının artan takviye parçacık boyutu ile arttığını tespit etmişlerdir.

Kök ve Özdin (2007) %10–20 ve 30 hacim oranında, 16 ve 32 µm boyutunda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri içeren AA2024 alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma dayanımlarının artan takviye hacim oranı ve takviye partikül boyutu ile arttığını tespit etmiştir.

Sevik ve Kurnaz (2006) basınçlı döküm yöntemi ile 44, 85 ve 125 µm boyutunda, %5–10 ve 15 hacim oranında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren alüminyum MMK numuneler üretmişler ve partikül boyutu ile takviye oranının aşınmaya olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucu kompozit numunelerin aşınma hızının artan takviye partikül boyutu ile azaldığını tespit etmişlerdir.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Al 2014 matris alaşımı ile x, y ve z tane boyutuna sahip SiO<sub>2</sub> partikülleri takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Kompozit üretimi, tekli, ikili ve üçlü olmak üzere üç farklı modelde, farklı takviye hacim oranlarında gerçekleştirilmiştir. Kompozitler basınçlı infiltrasyon yöntemi ile farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde, matris içerisindeki Mg oranları değiştirilerek üretilmiş ve bu değişkenlerin kompozit özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

#### 3.1 MALZEMELER

Bu çalışmada 2000 serisi ısıtılabilir sertleştirilebilir Al 2014 alaşımı matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak, doğada bol miktarda bulunan SiO<sub>2</sub> partikülleri kullanılmıştır. Tablo 3-1'de Al 2014'ün kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir.

Tablo 3-1 Al2014'ün kimyasal kompozisyonu

Element	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
(%)	90.4 95.0	0.10	3.9 5.0	0.70	0.20 0.80	0.40 1.20	0.50 1.20	0.15	0.25	0.15

Tablo 3-2 ve Tablo 3-3'te Al 2014 ve SiO<sub>2</sub>'e ait bazı mekanik fiziksel ve termal özellikler verilmiştir.

Tablo 3-2 Al2014' e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler

Fiziksel Özellik	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2.8
Mekanik Özellik	Brinel Sertlik Değeri	45
	Maksimum Çekme Mukavemeti (MPa)	186
	Akma Mukavemeti (MPa)	96.5
	Kopma Uzaması (%)	18
	Elastisite Modülü (GPa)	72.4
	Basma Mukavemeti (MPa)	185
	Poisson Oranı	0.33
	Yorulma Mukavemeti (MPa)	89.6
	Kayma Modülü (GPa)	28
	Kayma Mukavemeti (MPa)	142
Termal Özellikler	Isıl Uzama Katsayısı (µm/m.°C)	24.4
	Özgül Isı Kapasitesi (J/g.°C)	0.88
	Isıl İletkenlik (W/mK)	193
	Solidüs Sıcaklığı (°C)	507
	Likidüs Sıcaklığı (°C)	638

Tablo 3-3 SiO<sub>2</sub>' e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler

Takviye Malzemesi	Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>	Isıl Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> C <sup>-1</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)
SiO <sub>2</sub>	2,66	<1,08	1710	73

### 3.2 KOMPOZİT ÜRETİMİ

Bu çalışmada Al 2014 matris malzemesi ve x, y ve z ortalama parçacık boyutuna sahip SiO<sub>2</sub> parçacıklar kullanılmıştır. Üretim parametreleri olarak; üç farklı sıcaklık değeri (700°C – 750°C – 800°C), beş farklı basınç değeri (500kPa – 600kPa – 700kPa – 800kPa - 900kPa) ve matrise üç farklı Mg ilavesi miktarı (%0 - %4 - %8) belirlenmiştir. Kompozitler tekli, ikili ve üçlü modelde belirtilen tüm parametrelerde üretilmiştir. Tablo 3.4'te üretim parametreleri verilmiştir.

Tablo 3-4 Deneyleerde kullanılmış olan ¼retim parametreleri

Deney No	Numune No	İnf. Basıncı (kPa)	İnf. Sıcaklığı (°C)	Mg İlavesi (ağırlıkça %)	SiO <sub>2</sub> Boyutu (µm)	Ağırlıkça Oranı
1	1.1.1	700	700	-	300	1
	1.1.2	700	700	-	300-250	3-2
	1.1.3	700	700	-	300-250-150	5-2-1
	1.2.1	700	750	-	300	1
	1.2.2	700	750	-	300-250	3-2
	1.2.3	700	750	-	300-250-150	5-2-1
	1.3.1	700	800	-	300	1
	1.3.2	700	800	-	300-250	3-2
	1.3.3	700	800	-	300-250-150	5-2-1
2	2.1.1	500	750	-	300	1
	2.1.2	500	750	-	300-250	3-2
	2.1.3	500	750	-	300-250-150	5-2-1
	2.2.1	600	750	-	300	1
	2.2.2	600	750	-	300-250	3-2
	2.2.3	600	750	-	300-250-150	5-2-1
	2.3.1	700	750	-	300	1
	2.3.2	700	750	-	300-250	3-2
	2.3.3	700	750	-	300-250-150	5-2-1
	2.4.1	800	750	-	300	1
	2.4.2	800	750	-	300-250	3-2
	2.4.3	800	750	-	300-250-150	5-2-1
	2.5.1	900	750	-	300	1
	2.5.2	900	750	-	300-250	3-2
	2.5.3	900	750	-	300-250-150	5-2-1
3	3.1.1	700	750	4	300	1
	3.1.2	700	750	4	300-250	3-2
	3.1.3	700	750	4	300-250-150	5-2-1
	3.2.1	700	750	-	300	1
	3.2.2	700	750	-	300-250	3-2
	3.2.3	700	750	-	300-250-150	5-2-1
	3.3.1	700	750	8	300	1
	3.3.2	700	750	8	300-250	3-2
	3.3.3	700	750	8	300-250-150	5-2-1



Her bir üretim parametresi için tekli, ikili ve üçlü modelde üretim gerçekleştirilmiştir. Tekli modelde sadece 300, ikili modelde 300 ve 250, üçlü modelde ise 300, 250 ve 150µm tane boyutuna sahip parçacıklar kullanılmıştır. İkili model için parçacıkların ağırlıkça oranları 300µm : 250µm için 3 : 2'dir. Üçlü model için parçacıkların ağırlıkça oranları 300µm : 250µm : 150µm için 5 : 2 : 1'dir. Tekli model için takviye hacim oranı %51,68, ikili model için %49,33, üçlü model için %48,99'dur.

### 3.3 DENEYSEL İNCELEMELER

#### 3.3.1 Yoğunluk Ve Gözeneklilik Ölçümü

Maddenin birim hacminin kütlesine yoğunluk denir. Birimi gr/cm<sup>3</sup>'tür. Yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre ölçülmüştür. Ölçümlerde "RADWAG AS 220 / X" marka 1/10000 hassasiyete sahip hassas terazi kullanılmıştır. Eşitlik 3.1 ile numunelerin deneysel yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho_d = \frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \rho_{su} \quad (3.1)$$

Burada;

$\rho_d$  : kompozitlerin deneysel yoğunluğu

$m_{hava}$ : kompozitlerin havadaki ağırlığı

$m_{su}$  : kompozitlerin sudaki ağırlığı

Bir malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine oranına gözeneklilik denir. Teorik ve deneysel yoğunlukları belirlenen kompozitlerin gözenek miktarları Eşitlik 3.2'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\%Gözenek = \frac{\rho_t - \rho_d}{\rho_t} \times 100 \quad (3.2)$$

#### 3.3.2 Mikroyapı incelemeleri

Üretilen kompozitlerin yüzeyleri sırasıyla 180, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grit (mesh) tane boyutuna sahip dairesel zımpara ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi tamamlanan numunelerin yüzey görüntüleri Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskopta alınmıştır.

### 3.3.3 Sertlik ölçümleri

Sertlik bir malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Üretilen numunelerin sertlikleri Brinell Sertlik Deneyi ile ölçülmüştür. Bu deneyde sertlik, sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbür bir çelik bilyenin, malzeme yüzeyine genellikle 30 saniye süre ve belli bir yükü bastırılması ile elde edilen iz çapı ölçülerek Eşitlik 3.3 ile belirlenir.

$$BSD = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.3)$$

Burada, F uygulanan yükü, D bilya çapı, d ise iz çapını belirtmektedir.

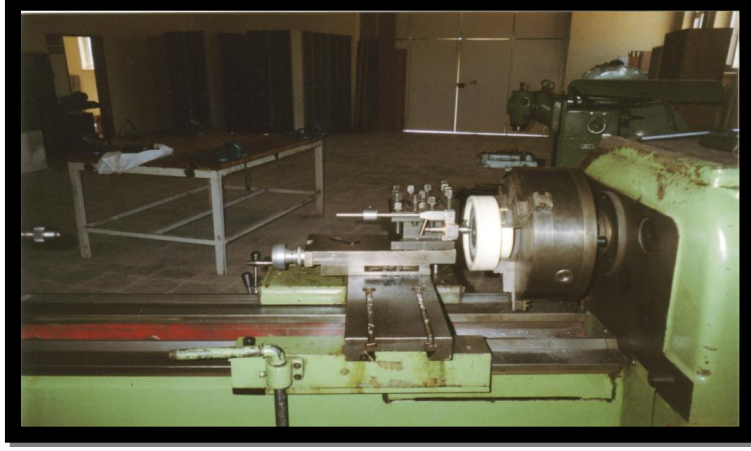
Kompozitlerin sertlik ölçümleri "Manual Universal Hardness Tester CV-700" marka sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden 5'er adet ölçüm alınmıştır ve sertlik bu ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

### 3.3.4 Abrasiv Aşınma Deneyleri

Abrasiv aşınma deneyleri Şekil 7.3'te görülen düzenek yardımıyla torna tezgahında yapılmıştır. Numuneler, aşınma deneyleri öncesi yüzeyde herhangi bir kalıntı olmaması ve yüzeyin karşı malzemeye tam temas edebilmesi için 1000 mesh zımparaya tutularak, yüzeydeki kalıntılar basınçlı hava yardımıyla temizlenerek uzaklaştırılmıştır.

Aşındırıcının bağlı olduğu disk, torna tezgahının aynasına, aşındırılacak deney numunesi ise bir sistem bütünlüğü içerisinde torna tezgahının katerliğine tespit edilmiştir. Aşındırılacak malzemeye kuvvet uygulayacak mekanizma bir terazi yardımıyla 10 N'luk yük uygulayacak şekilde kalibre edilmiştir. Deney numunesi dıştan içe doğru 60 dev/dk ayna devri ve 0.653mm/s ilerleme hızıyla 100s spiral bir yol takip etmiştir. Deney numuneleri aşındırma aparatına bağlanmadan önce 10<sup>-4</sup>gr hassasiyetli elektronik terazi ile tartılmış ve aparata bağlanıp istenen aşınma yolu aldırıldıktan sonra sökülerek yüzeyindeki kalıntı metal partikülleri alkol yardımıyla temizlenerek tartma işlemi tekrarlanmıştır. Böylece numunenin başlangıç ve son durumu arasındaki ağırlık farkı tespit edilerek aşınmadaki ağırlık kaybı bulunmuştur. Bir numune ile yapılan aşınma deneyi aynı şartlarda her defasında yeni bir numune ve yeni bir zımpara kağıdı kullanılarak üç defa tekrarlanmış ve ortalama bir değer

elde edilmiştir. Aşındırıcı olarak 60 mesh'lik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıdı kullanılmıştır.



Şekil 3-1Abrasiv deney aparatının görünüşü

## BÖLÜM 4

### SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Önceki bölümlerde açıklanan sıcaklık, basınç ve Mg ilavesi ile üretilen kompozitlerin mikro yapı resimleri, yoğunluk gözenek miktarı, sertlik ve aşınma dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar değişken parametrelere göre düzenlenerek, tablo ve grafiklerle verilmiştir.

#### 4.1 TAKVİYE PARTİKÜL BOYUTUNA GÖRE TAKVİYE HACİM ORANI

Tablo 4-1 İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan SiO<sub>2</sub> tozlarının takviye hacim oranı

Takviye Tane Boyutu (µm)	300	250	150	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
Takviye Hacim Oranı (%)	51,68	45,81	41,96	51,68	49,33	48,99

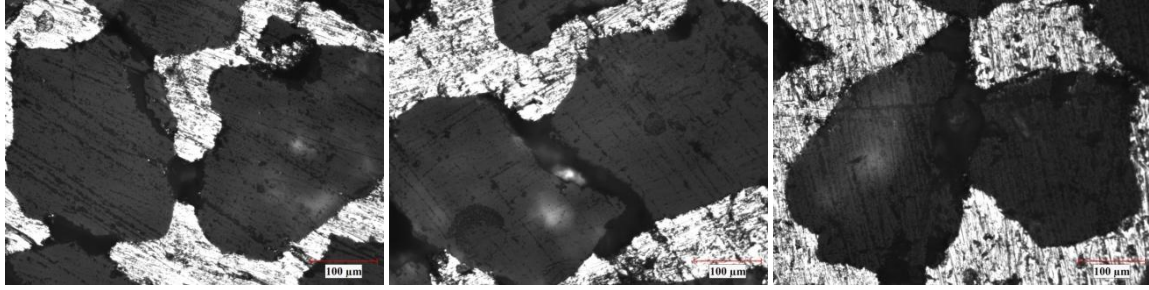
Tablo 4.1'e bakıldığında küçük tane boyutlarında düşük, büyük tane boyutlarında daha yüksek takviye hacim oranlarının elde edildiği görülmektedir. Buna paralel olarak tekli modelde en yüksek takviye hacim oranı elde edilmişken, üçlü modelde en düşük takviye hacim oranı elde edilmiştir. Bunun sebebi küçük taneli takviyelerde ara yüzey alanlarının fazla olmasından dolayı taneler arası gözeneklerin bütün hacme dağılması ve gözenek miktarlarının fazla olmasıdır.

#### 4.2 İNFİLTASYON SICAKLIĞI

İnfiltrasyon sıcaklığının mekanik özelliklere etkisinin araştırılabilmesi için 700kPa sabit basınç altında, 700, 750 ve 800 C sıcaklıklarda, matrise Mg ilave edilmeden, her üç model için numuneler üretilmiştir.

İnfiltrasyon sıcaklığının artışının matrisin yüzey gerilimini azaltarak infiltrasyonu artırıcı etki yaptığı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir. Benzer şekilde, Chong vd. (1993) Al/SiC sisteminde, Contreras vd. (2004) Mg/TiC sisteminde, Demir ve Altınok (2004) Al- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC sisteminde bu çalışmadakine benzer olarak, infiltrasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğunu ve artan sıvı matris sıcaklıklarında infiltrasyon davranışının arttığını belirtmişlerdir.

Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.

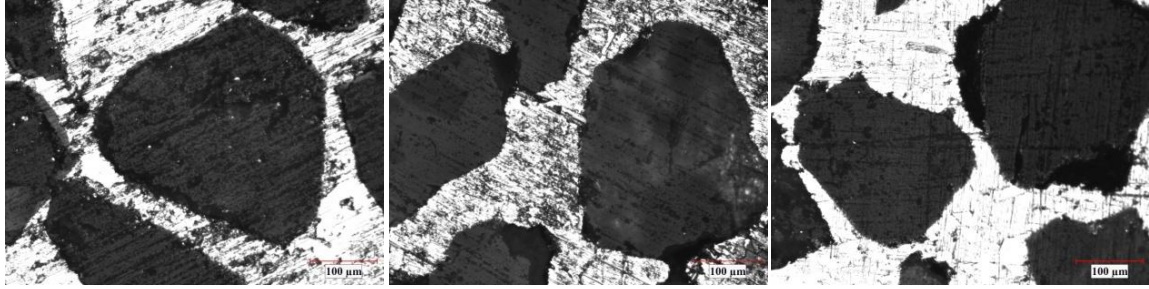


(a)

(b)

(c)

Şekil 4-1 Tekli modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700°C b) 750°C c) 800°C

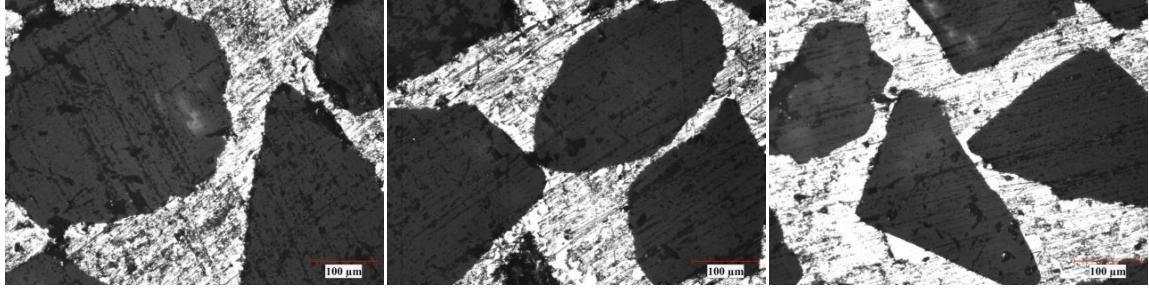


(a)

(b)

(c)

Şekil 4-2 İkili modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700°C b) 750°C c) 800°C



(a)

(b)

(c)

Şekil 4-3 Üçlü modelde farklı infiltrasyon sıcaklıklarında üretilen kompozitlerin Optik mikroskop görüntüleri a) 700°C b) 750°C c) 800°C

Şekiller incelendiğinde infiltrasyon sıcaklığındaki artışla, daha kaliteli gözeneksiz kompozitler elde edildiği görülmektedir.

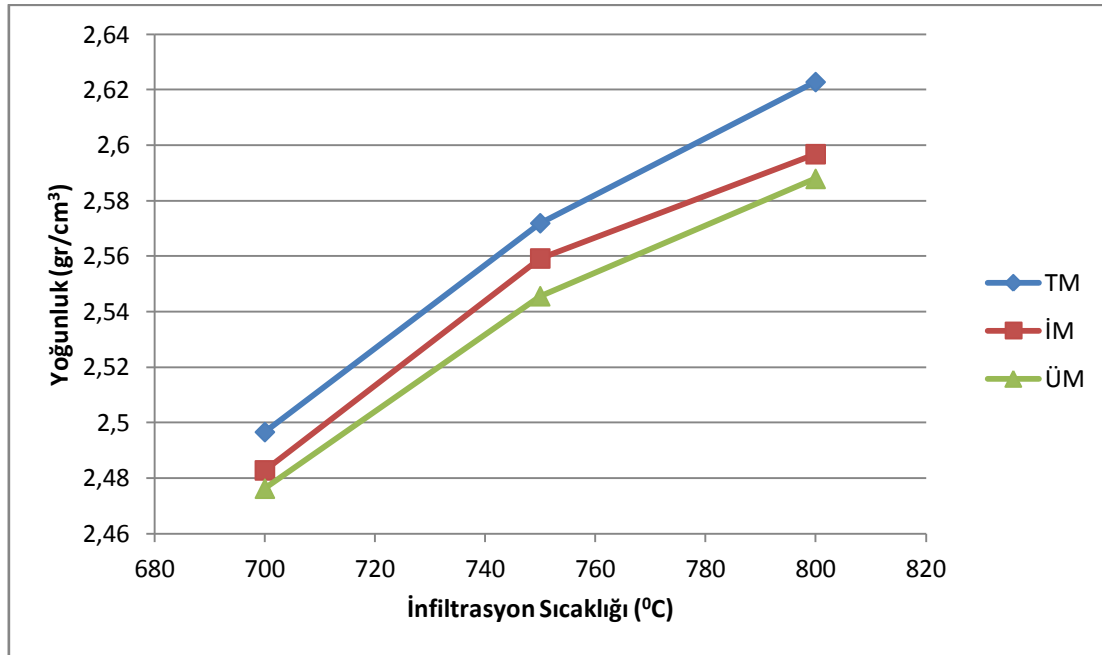
#### 4.2.1 İnfiltasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi

İnfiltasyon sıcaklığının artmasıyla kompozitin yoğunluk değerinin arttığı, takviye hacim oranının azalmasıyla ise yoğunluğun azaldığı şekil 4.4'te görülmektedir. Pek çok sistemde olduğu gibi SiO<sub>2</sub>/Al 2014 sisteminde de sıcaklığın önemli bir parametre olduğu aşikârdır.

Tablo 4-2 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Sıcaklık (°C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
700	2,4966	2,4828	2,4762
750	2,5719	2,5592	2,5456
800	2,6228	2,5968	2,5879

Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)



Şekil 4-4 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

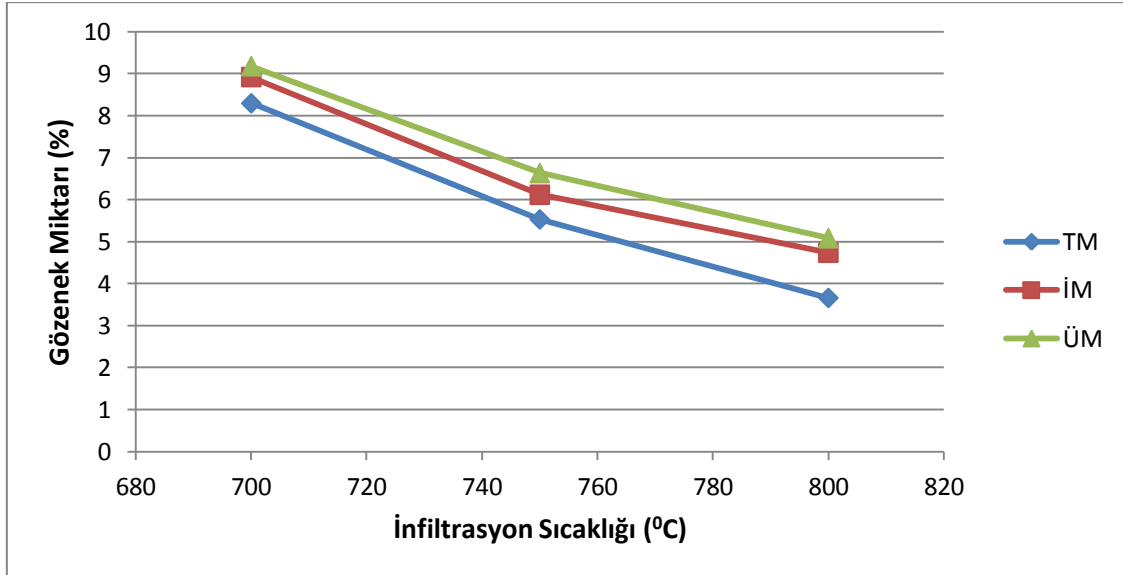
Sıvıların viskozitesi sıcaklığın artışı ile birlikte düşme eğilimindedir. Artan sıcaklık ile viskozite ve yüzey gerilimi azalacağından akıcılık artar ve sıvı matrisin SiO<sub>2</sub> tozlar arasındaki boşluklara dolması kolaylaşır. Sıcaklık aynı zamanda daha iyi ıslatma sağlamaktadır. Benzer sonuçlar Chong vd. (1993), Şahin ve Acılar (2003), Demir ve Altınok (2004) tarafından da belirtilmiştir. Grafiğe bakıldığında yoğunluk değeri en fazla tekli modelde, en az ise üçlü modelde elde edilmiştir. Bunun nedeni takviye hacim oranının tekli modelde en yüksek olmasıdır.

#### 4.2.2 İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi

İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin gözenek miktarının azaldığı, takviye hacim oranının artmasıyla gözenek miktarının arttığı şekil 4.5 te görülmektedir.

Tablo 4-3 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarı

Sıcaklık (°C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
700	8,29684699	8,921497	9,180268
750	5,53098645	6,118855	6,63488
800	3,66136758	4,739545	5,08344
Gözenek Miktarı (%)			



Şekil 4-5 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarı

Artan infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin gözenek miktarının azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni sıvı matrisin yüzey geriliminin sıcaklığın artışı ile düşmesidir. Böylece sıvı matrisin akıcılığı artmakta ve infiltrasyon öncesi boşlukları doldurması kolaylaşmaktadır. Benzer sonuçlar Chong vd. (1993), Şahin ve Acılar (2003), Demir ve Altınok (2004) tarafından da belirtilmiştir. Ayrıca tekli modelde elde edilen gözenek miktarı ikili ve üçlü modelde elde edilenden daha düşüktür. İkili ve üçlü modelde küçük taneli tozlar arasına sıvı matrisin infiltrasyonu zorlaşmış ve gözenek miktarı artmıştır.

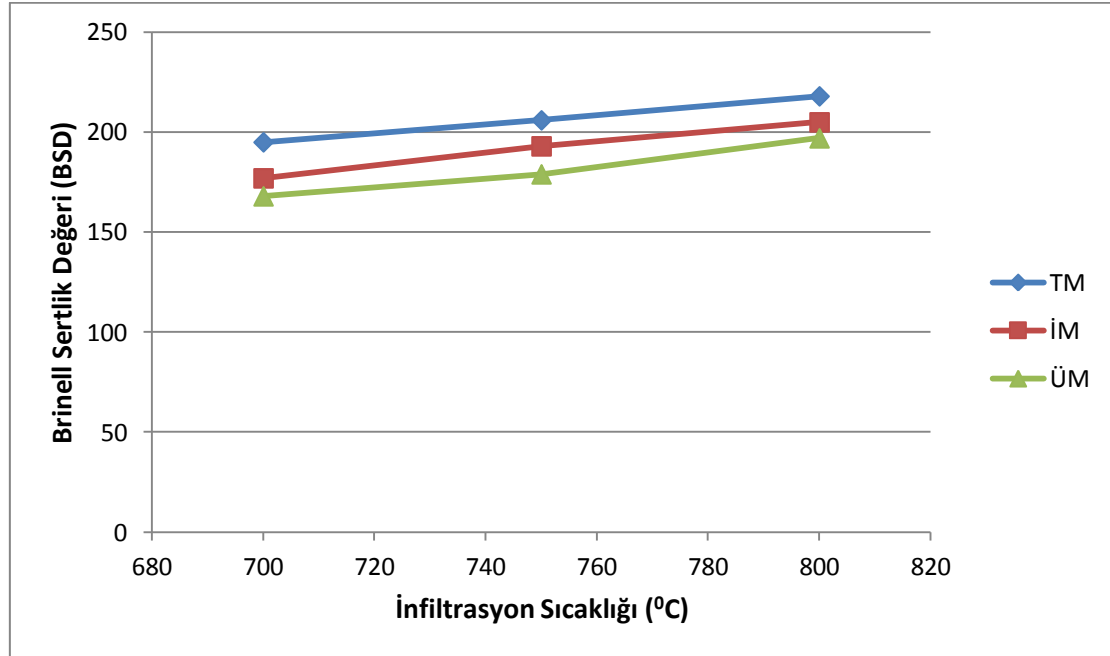
### 4.2.3 İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi

İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin sertlik değerinin arttığı, takviye hacim oranının azalmasıyla sertliğin azaldığı şekil 4.6'da görülmektedir.

Tablo 4-4 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertlik değeri

Sıcaklık (°C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
700	195	177	168
750	206	193	179
800	218	205	197

Brinell Sertlik Değeri (BSD)



Şekil 4-6 sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertlik değeri

Artan infiltrasyon sıcaklığı ile kompozitin sertlik değerinin artışı kompozitin yoğunluğunun sıcaklıkla artması ile açıklanabilir. Şekil 4.6'da da görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek sertliğe sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü modelin en düşük sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

Şekilden aynı zamanda artan takviye tane boyutu ile üretilen kompozitlerin sertliklerinin arttığı sonucuna varılabilir. Bunun nedeni büyük taneli tozlarda (tekli model) hacimce SiO<sub>2</sub> miktarının artmasıdır. Dolayısıyla yumuşak matris malzemesinin kompozit içerisinde daha az



yer almasıdır. Ayrıca büyük taneli tozlarda, infiltrasyon öncesi boşlukların büyük olması daha az gözenekli ve daha sert kompozit üretilmesini sağlamıştır.

Artan infiltrasyon sıcaklıklarında sıvı matrisin infiltrasyon öncesi boşlukları daha rahat doldurarak gözenek miktarını düşürdüğü böylece sertliği arttırdığı Durman vd. (1993) ve Kurnaz vd. (1993) tarafından da belirtilmiştir.

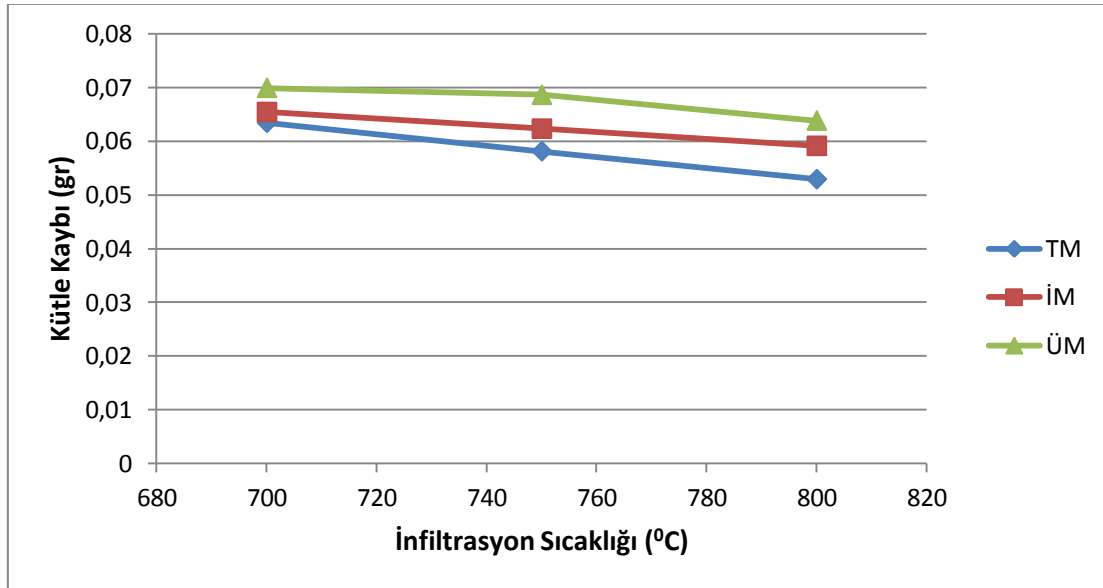
#### 4.2.4 İnfiltasyon Sıcaklığının Aşınma Dayanımına Etkisi

İnfiltasyon sıcaklığının artışının kompozitin aşınma dayanımını arttırdığı, takviye tane boyutunun küçülmesinin ise aşınma dayanımını azalttığı şekil 4.7’de görülmektedir. Aşınma deneyleri esnasında en fazla kütle kaybı, en küçük taneler içeren üçlü modelde meydana gelirken en az kütle kaybı, en büyük taneler içeren tekli modelde meydana gelmiştir.

Tablo 4-5 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı

°C	TM	İM	ÜM
700	0,0634	0,0654	0,0699
750	0,0581	0,0623	0,0686
800	0,0529	0,0591	0,0638

Kütle Kaybı (gr)



Şekil 4-7 Sabit basınçta (700kPa) SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı

Grafikten de anlaşılacağı gibi infiltrasyon sıcaklığının artması aşınma direnci üzerine olumlu etki yapmıştır. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki artan infiltrasyon sıcaklıklarında sıvı matrisin viskozitesi düşmekte ve infiltrasyon kolaylaşmaktadır.

Abrasiv aşınma esnasında malzemenin aşındırılmasında iki kuvvet rol oynamaktadır. Bunlardan biri abrasiv partikülün yüzeye batmasını sağlayan basma kuvveti diğeri ise numuneden partikül kopartan kesme kuvvetleridir. Matris ne kadar gözeneksiz bir yapıya sahip olursa sertliği ve bunun yanında mekanik özellikleri de iyileşeceğinden kendisine batmaya çalışan abrasiv partiküle karşı daha yüksek direnç gösterecektir. Ayrıca infiltrasyon sıcaklığının artması gözenek miktarının azalmasına ve matris ile takviye partiküller arasındaki bağ miktarının artmasını sağlayacağından aşınma direncini arttıracaktır. Diğer bir açıdan bakıldığında düşük infiltrasyon sıcaklıklarında elde edilen gözenekli yapı sonucunda matris ile takviye arasındaki bağ miktarı azalacağından abrasiv partiküllere karşı göstereceği direnç azalacaktır.

İnfiltrasyon sıcaklığının artması yüzey gerilimini düşürerek sıvı matrisin gözenekleri doldurmasını kolaylaştırmakta ve gözenek miktarı düşük kompozit üretmemizi sağlamaktadır.

Abrasiv aşınmada etkili diğer parametre olan kesme kuvvetlerine bağlı olarak değerlendirelim. Üretilen kompozit malzemede abrasiv partiküllerin Kesme kuvvetine karşı koyan iki parametre vardır bunlardan biri matris diğeri ise takviye partiküllerdir. Düşen infiltrasyon sıcaklığına bağlı olarak kompozitin gözenek miktarı artmakta ve kompozit hacmin sertliği düşmektedir. Bunun sonucunda kesme kuvvetleri kompozit üzerinde daha fazla iş yapabilmektedir.

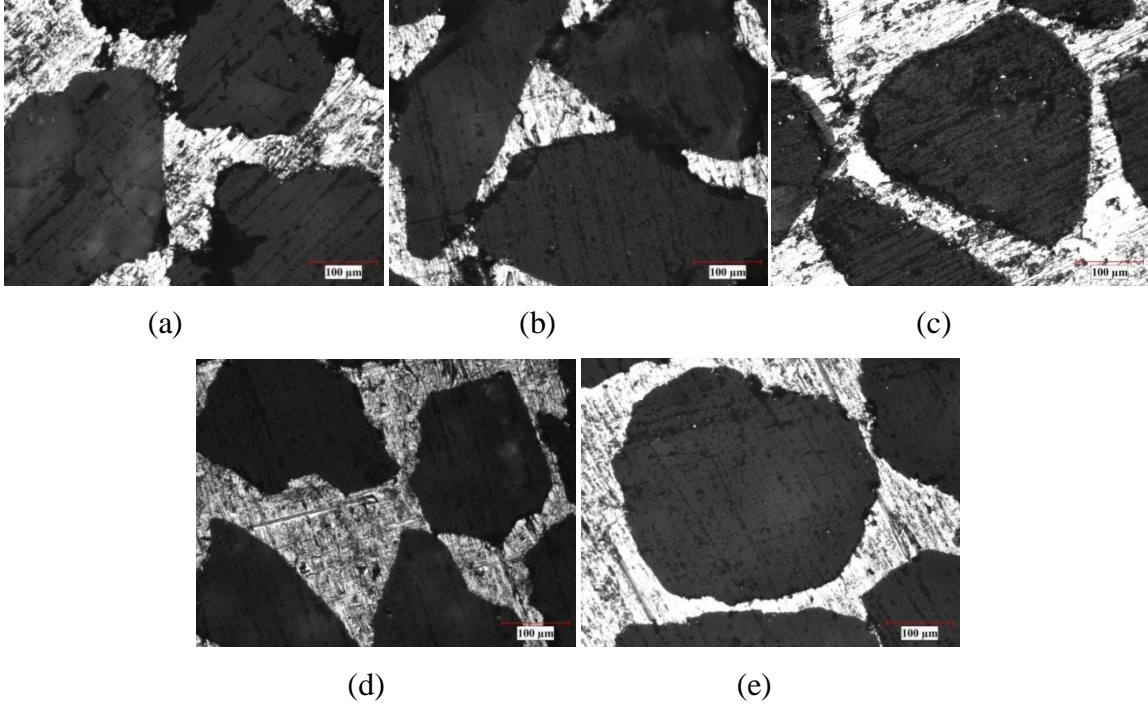
İnfiltrasyon sıcaklığının artmasıyla gözenek miktarında azalma meydana geleceği yukarıdaki paragrafta açık bir şekilde belirtilmiştir. Benzer durum üretilen kompozit numunelerde görülmüştür. İnfiltrasyon sıcaklığını artmasıyla birlikte gözeneklilik azalmış ve sertlik artmıştır.

### **4.3 İNFİLTRASYON BASINCI**

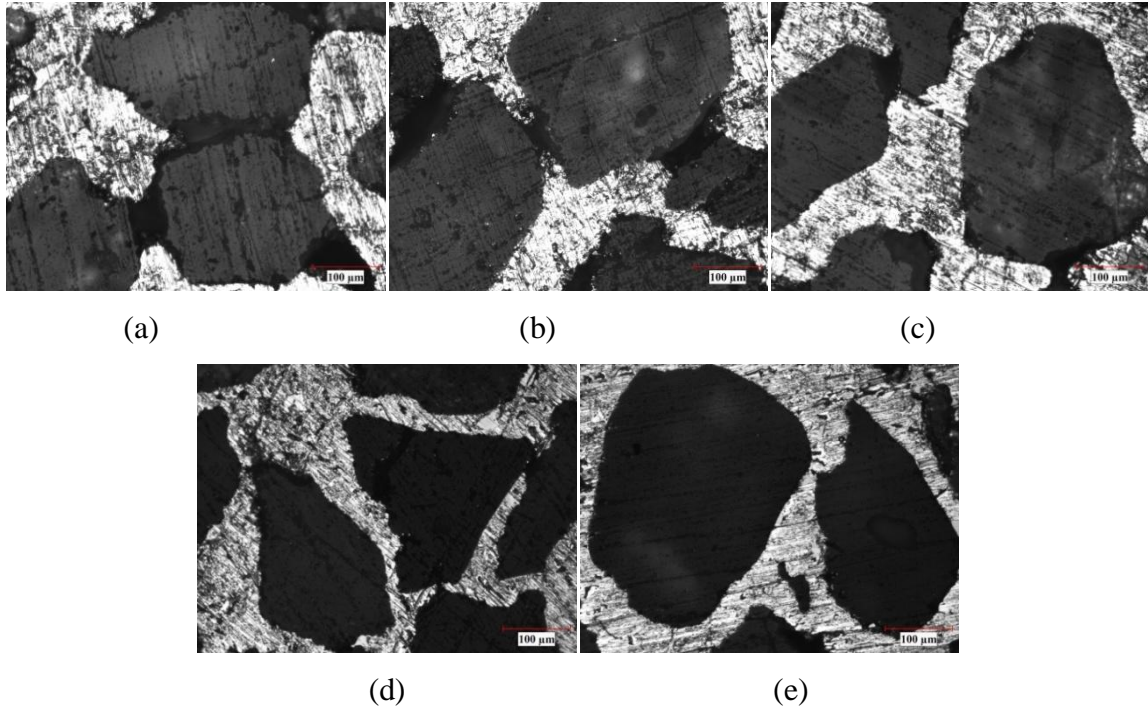
İnfiltrasyon basıncının mekanik özelliklere etkisinin araştırılabilmesi için 750 °C sabit sıcaklık altında, 500, 600, 700, 800 ve 900kPa basınçlarda, matrise Mg ilave edilmeden, her üç model için numuneler üretilmiştir.

Yapılan araştırmalarda kullanılan infiltrasyon basıncı olarak 550kPa ile 1050kPa aralığı seçilmiş ve genel olarak 700kPa değerinin tercih edilen basınç değeri olduğu tespit edilmiştir. Basınç değerinin artması ile infiltrasyonun kolaylaştığı belirlenmiştir.

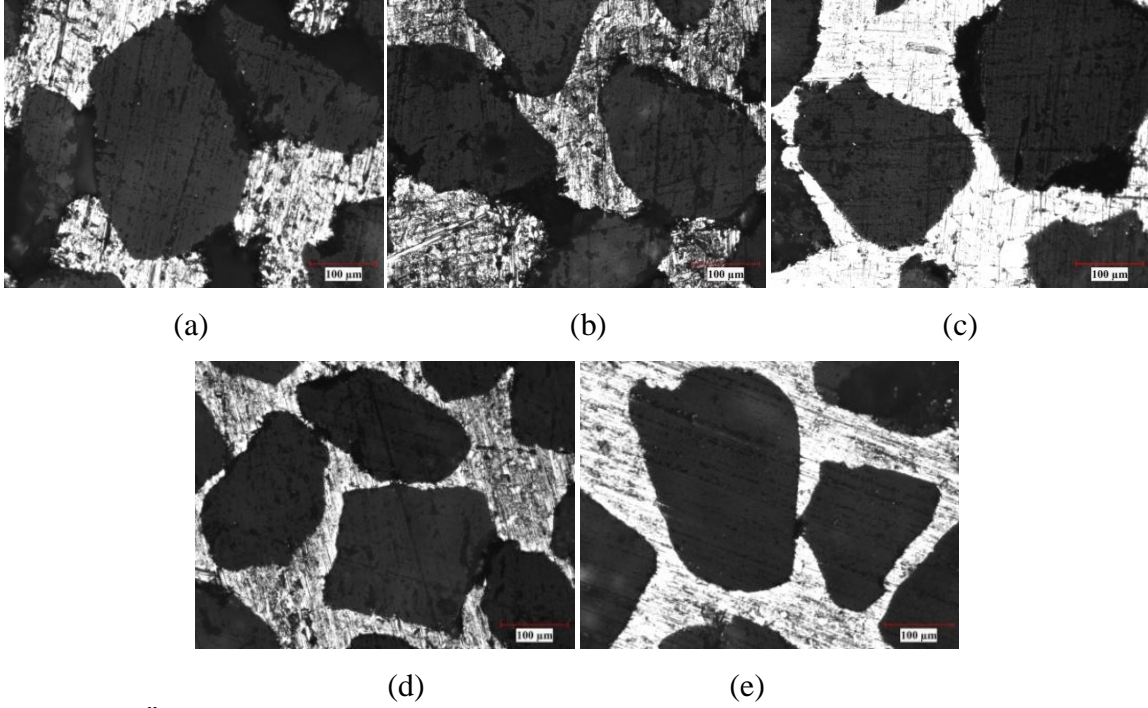
şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da farklı infiltrasyon basınçlarında üretilmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



şekil 4-8 Tekli modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa



Şekil 4-9 ikili modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa



Şekil 4-10 Üçlü modelde farklı infiltrasyon basınçlarında üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 500kPa b) 600kPa c) 700kPa d) 800kPa e) 900kPa

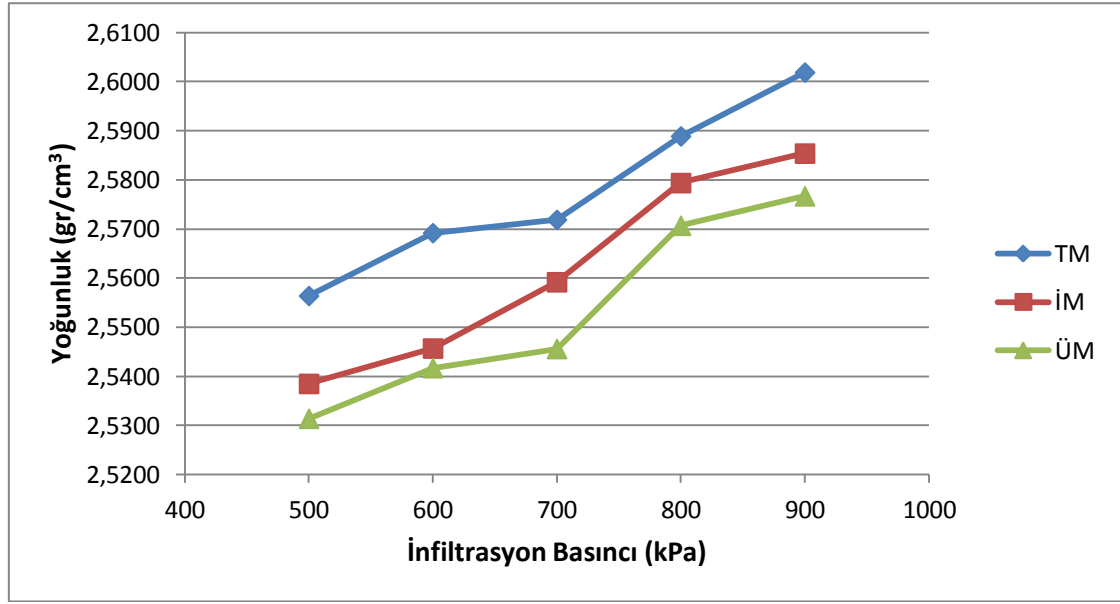
Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilen görüntüler incelendiğinde infiltrasyon basıncının artışı ile tekli, ikili ve üçlü modelde gözenek miktarlarının azaldığı görülmekte, aynı zamanda en fazla gözenek miktarının en düşük infiltrasyon basınçlarında ve üçlü modelde ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

#### 4.3.1 İnfiltrasyon Basıncının Yoğunluğa Etkisi

Şekil 4.11’de infiltrasyon basıncının ve takviye hacim oranının artması ile kompozitin yoğunluk değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 4-6 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Sıcaklık ( <sup>0</sup> C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
500	2,5564	2,5385	2,5314
600	2,5692	2,5457	2,5417
700	2,5719	2,5592	2,5456
800	2,5889	2,5794	2,5707
900	2,6019	2,5854	2,5767
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			



Şekil 4-11 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

İnfiltrasyon basıncının artması sıvı matrisi infiltrasyon öncesi boşluklara zorlayarak infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. Böylece sıvı matris SiO<sub>2</sub> tozlar içerisine daha iyi nüfuz ederek kompozitin yoğunluğunu artırır. Cornie vd. (1986) uygulanan yüksek basınç sayesinde, gaz ve çekme çöküntüsü kaynaklı oluşan porozitenin oluşumunun azaldığını bildirmişlerdir.

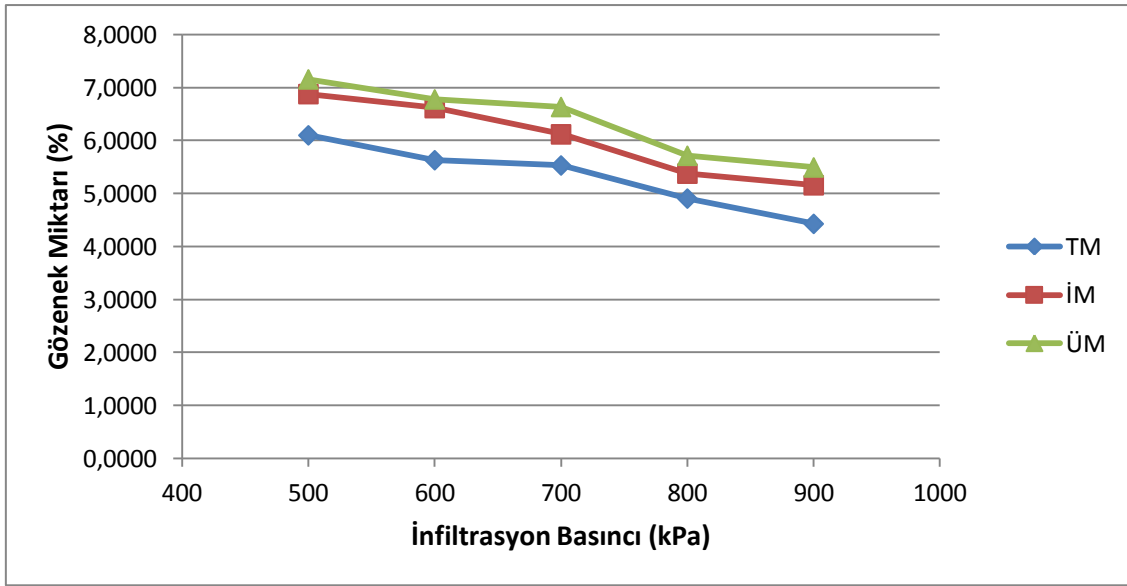
Ayrıca tekli model en yüksek, üçlü model ise en düşük yoğunluk değerine sahiptir. Tekli model de takviye hacim oranının, ikili ve üçlü modele göre kıyaslandığında daha fazla olması tekli modeldeki yoğunluk değerinin de büyük olmasını sağlamıştır.

#### 4.3.2 İnfiltrasyon Basıncının Gözenek Miktarına Etkisi

Şekil 4.12'de infiltrasyon basıncının ve takviye hacim oranının artmasının kompozitin gözenek miktarını düşürdüğü görülmektedir.

Tablo 4-7 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarları

Sıcaklık (°C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
500	6,1003	6,8782	7,1557
600	5,6302	6,6141	6,7779
700	5,5310	6,1189	6,6349
800	4,9066	5,3778	5,7143
900	4,4290	5,1577	5,4942
Gözenek Miktarı (%)			



Şekil 4-12 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin gözenek miktarları

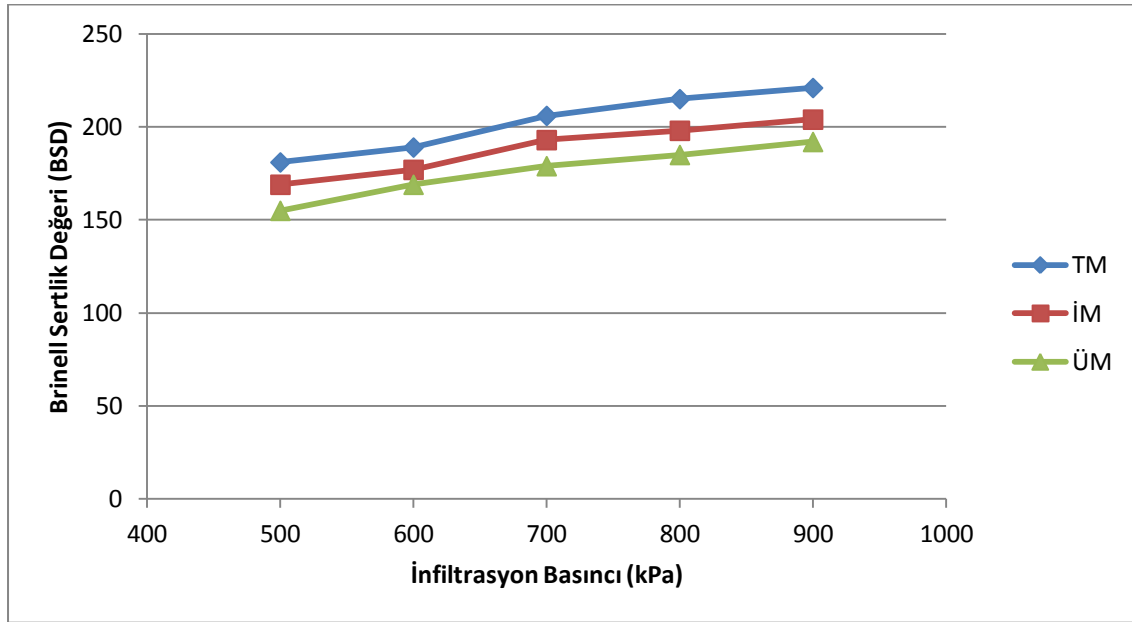
İnfiltrasyon basıncının artması ile infiltrasyon artmakta sıvı matrisin gözeneklere daha iyi nüfuz etmesi ve daha iyi bir ıslatma sağlanmaktadır. Bu sayede kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır. Şekilden ayrıca ikili ve üçlü modellerde, gözenek miktarının tekli modelden daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Cornie vd. (1986) yaptıkları çalışmada basıncın, döküm yönteminde ortaya çıkan gaz boşlukları ve katılaşma çekmesi sonucu ortaya çıkan poroziteyi önlediğini bildirmişlerdir.

#### 4.3.3 İnfiltrasyon Basıncının Sertliğe Etkisi

İnfiltrasyon basıncının artması kompozitin yoğunluğunu artırır. Yoğunluk artışına bağlı olarak sertlik değerleri de artar. Tekli ikili ve üçlü modellerden takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek sertliğe sahip iken, takviye hacim oranı en düşük olan ikili model en düşük sertlik değerine sahiptir.

Tablo 4-8 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
500	181	169	155
600	189	177	169
700	206	193	179
800	215	198	185
900	221	204	192
Brinell Sertlik Değeri (BSD)			



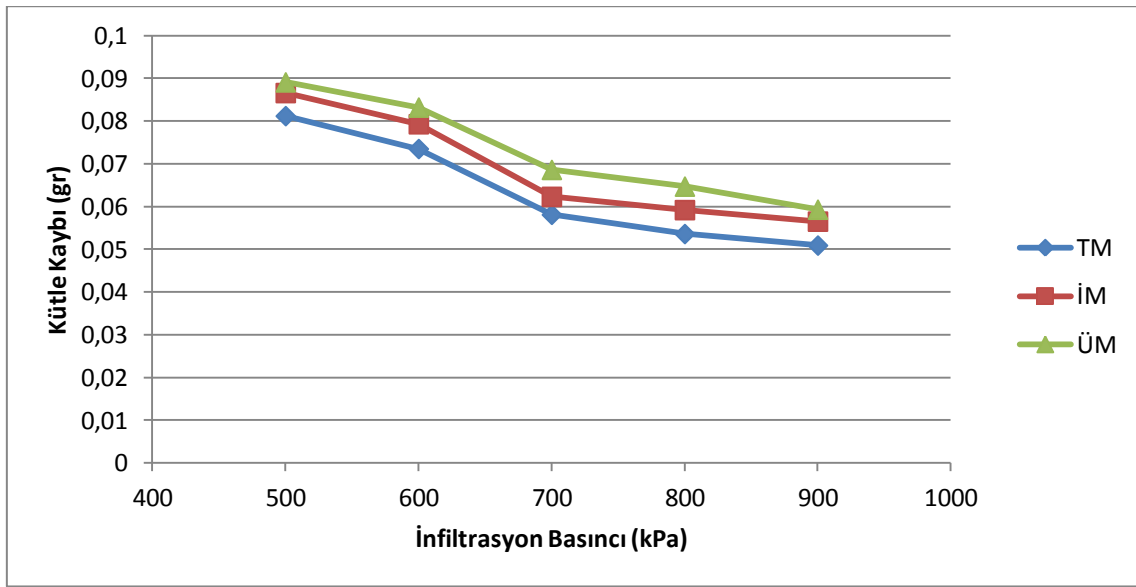
Şekil 4-13 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin sertlik değerleri

#### 4.3.4 İnfiltrasyon Basıncının Aşınma Dayanımına Etkisi

Şekil 4.11'deki grafikte infiltrasyon basıncının aşınma davranışı üzerine etkisi görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi infiltrasyon basıncının artması aşınma direnci üzerine olumlu etki yapmıştır.

Tablo 4-9 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı

kPa	TM	İM	ÜM
500	0,0812	0,0866	0,0891
600	0,0735	0,0793	0,0832
700	0,0581	0,0623	0,0686
800	0,0536	0,0592	0,0647
900	0,0509	0,0565	0,0593
Kütle Kaybı (gr)			



Şekil 4-14 Sabit sıcaklıkta (7500C) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitin aşınma dayanımı

Basınçlı infiltrasyon yönteminde basınç da sıcaklıkla birlikte en önemli üretim parametrelerindedir. Çünkü artan infiltrasyon basıncı sıvı matrisin takviye partiküller arasındaki gözeneklere infiltrasyonunu destekleyici etki yapmaktadır. Sıvı matrisin partiküller arasına infiltre olmasında matris ile takviyenin uyumu ve takviye preform içindeki gözenek boyutları önemli parametrelerdir. Bu uyumun bulunmadığı sistemlerde infiltrasyona karşı olan kuvvetleri yenebilmek için dışarıdan basınç uygulanması infiltrasyonu arttıran önemli bir yöntemdir.

Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen 63-90 µm boyutlarına sahip Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri ile üretilen kompozit sisteminde, infiltrasyon basıncının artması ile % gözenek miktarında azalma tespit edilmiştir (Clyne vd. 1985).

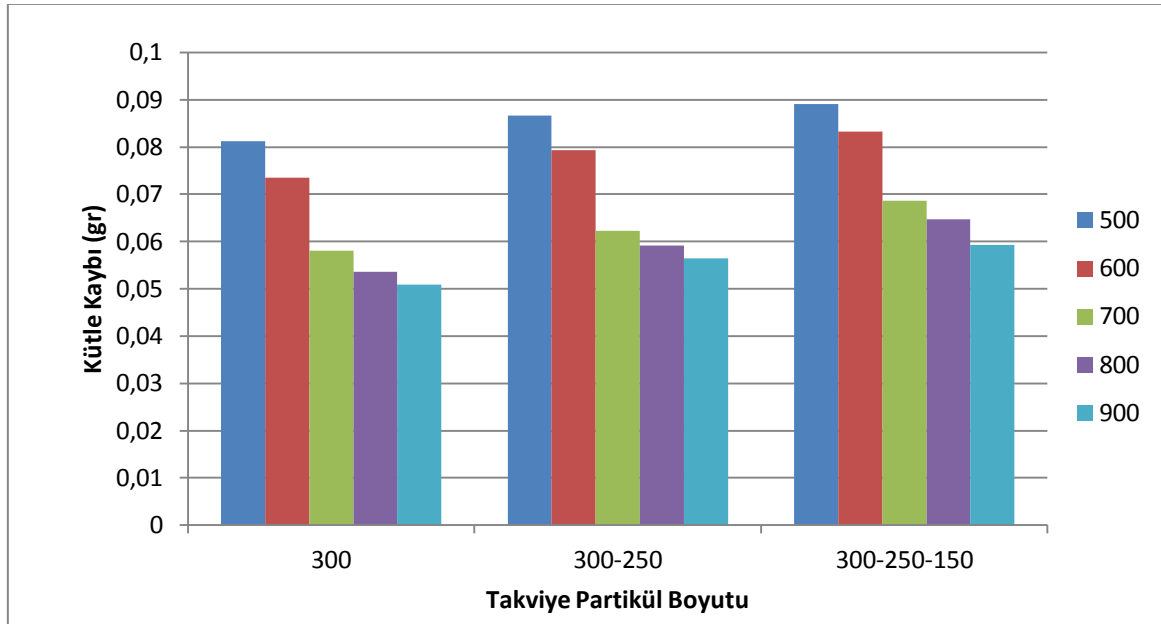


Elomari ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC kompozitlerinin yoğunluklarının ve dayanımının artan basınç değerleri ile arttığını tespit etmişlerdir (Elomari vd. 1997).

Benzer durum 5 farklı infiltrasyon basıncı ile üretilen kompozit malzemelerde de görülmüştür. Yani en düşük sertlik ve en yüksek gözeneklilik en düşük basınç değeri olan 500 kPa basınç değerinde elde edilmiştir. En yüksek sertlik ve en düşük gözeneklilik en yüksek basınç değeri olan 900kPa basınç değerinde elde edilmiştir.

İnfiltrasyon basıncına bağlı olarak numunelerin aşınma direnci değerleri incelenecek olursa, aynı infiltrasyon sıcaklığında olduğu gibi, artan infiltrasyon basınçlarında da numunelerin aşınma dirençleri artmaktadır. Bu durum yukarıdaki paragraflarda anlatıldığı üzere artan basınca bağlı olarak gözenek miktarının azalmasına ve matris ile takviye arasındaki bağ miktarının artmasına bağlanabilir.

Artan infiltrasyon basıncına bağlı olarak gerçekleşen bu iyileşme kompozit numunenin, üzerinde aşındırma etkisi yapan basma ve kesme kuvvetlerine vereceği tepkinin iyileşmesi ile açıklanabilir.



Şekil 4-15 Sabit sıcaklıkta (7500C) partikül boyutunun aşınma (kütle kaybı) üzerine etkisi

Şekil 4.15'deki grafikte takviye partikül boyutu ve kütle kaybı arasındaki ilişki görülmektedir. Aşındırıcı partikül ile aşındırılacak numune arasında meydana gelen abrasiv aşınma mekanizması birçok parametrelerin etkili olduğu kompleks bir sistemdir. Matris ve partikül

sertliği, takviye partikül boyutu ve morfolojisi, takviye hacim oranı, uygulanan yük, aşınma ortamı (kuru, sıvı), kayma yolu ve hızı bu parametrelerden bazılarıdır.

Gül ve Şenel (2010) Vakum infiltrasyon yöntemi ile ürettikleri Al-SiO<sub>2</sub>P kompozitlerinin aşınma davranışını incelemişler ve kompozitlerin aşınma dayanımının artan partikül boyutu ile arttığını tespit etmişlerdir.

Şevik ve Kurnaz (2006) 44, 85 ve 125 µm boyutlu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri ile ürettikleri kompozitlerde artan partikül boyutu ile aşınma direncinin arttığını bildirmişlerdir. Benzer durum üretilen kompozit numunelerde de görülmüştür. Araştırmacılar büyük partikül boyutuna sahip kompozitlerin aşınmaya karşı küçük partiküller içeren kompozitlerden daha dirençli olmasını, büyük partiküllerin kompozit yüzeyinden kopmalarının daha zor olmasına bağlamışlardır. Küçük partiküller kırılmadan matris yüzeyinden koparak uzaklaşmakta ve aşınma dayanımını düşürmektedir. Matris içerisine gömülü daha büyük takviye partiküller ise iki sebebe bağlı olarak aşınma direncini yükseltmektedirler. Bunlardan biri büyük partiküller için matris ile partikül arasında daha büyük bağ yüzeyinin olması, diğeri ise büyüyen takviye partikül boyutuna bağlı olarak aşındırıcı ile temas kuran takviye partikül alanının artmasıdır. Böylece aşındırıcı partikül ya takviye partikülü kesecek ya da yerinden sökerek aşındıracaktır. Ancak büyük partiküller için yukarıda belirtildiği gibi matris ile olan temas alanı daha geniş olduğundan yerinden sökülmesi zorlaşacaktır. Dolayısıyla abrasiv partikülün takviye partikülü kesmesi gerekecektir. Yüksek sertliğe sahip olan takviye partiküller aşındırıcı partikülün enerjisini absorbe ederek aşınma direncini arttıracaktır.

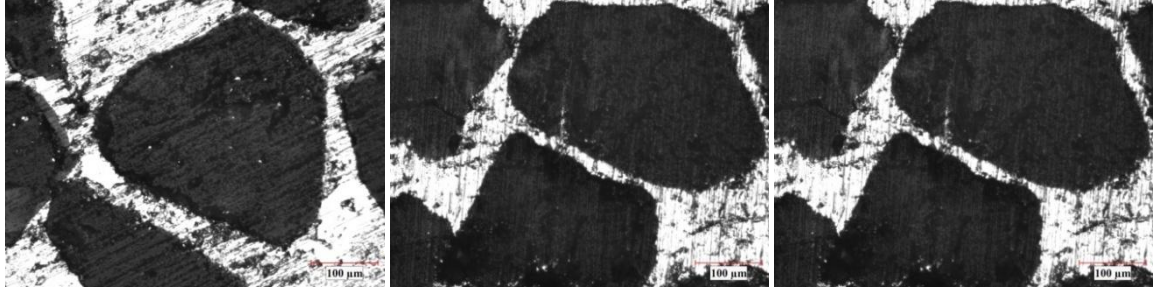
Sertliğe bağlı olarak kütle kayıpları değerlendirilecek olursa, bilindiği üzere malzemelerin sertliğinin artması aşınma dirençlerini de arttırmaktadır. MMK'lerde sertlik artışı matrise ilave edilen takviye partiküllerin çok daha yüksek sertliğe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Yine bilinmektedir ki matris içerisindeki takviye oranının belli bir orana kadar artışı kompozit hacim sertliğini olumlu yönde arttırmaktadır.

#### **4.4 MATRİSE Mg İLAVESİ**

Matrise Mg ilavesinin mekanik özelliklere etkisinin araştırılabilmesi için 750 °C sabit sıcaklık ve 700kPa sabit basınç altında matrise %0, %4 ve %8 Mg ilave edilerek ve her üç model için işlemler tekrarlanarak numuneler üretilmiştir.

Yapılan araştırmalarda matrise %8'e kadar Mg ilavesinin matrisin ıslatma özelliğini geliştirdiği görölmüştür. Araştırmalarda genel olarak %0 - %8 aralığı kullanılmasına karşın %4 değer tercih edilen değer olarak ortaya çıkmaktadır.

şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de matrise %0, %4 ve %8 Mg ilave edilerek üretilen kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.

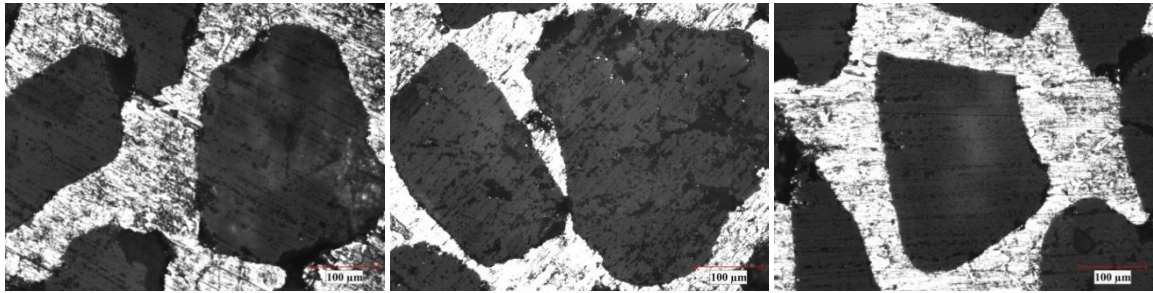


(a)

(b)

(c)

şekil 4-16 Tekli modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8



(a)

(b)

(c)

şekil 4-17 İkili modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8



(a)

(b)

(c)

şekil 4-18 Üçlü modelde matrise farklı Mg ilavesi durumunda üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) %0 b) %4 c) %8

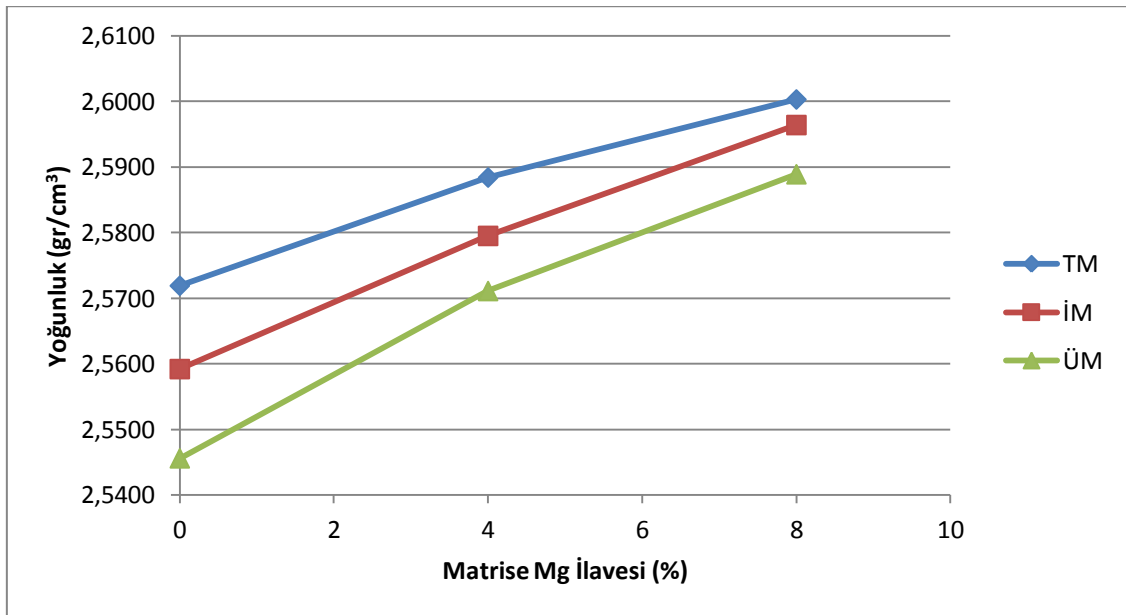
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18 incelendiğinde matrise ilave edilen Mg miktarının artışı ile ara yüzeyde daha iyi bir ıslatma meydana geldiği ve az miktarda da gözenek oluştuğu gözlenmektedir.

#### 4.4.1 Matrise Mg İlavesinin Yoğunluğa Etkisi

Şekil 4.19'da matrise Mg ilavesi ve takviye hacim oranının artışı ile kompozitin yoğunluk değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 4-10 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin yoğunluğa etkisi

Mg İlavesi %	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
0	2,5719	2,5592	2,5456
4	2,5884	2,5795	2,5711
8	2,6003	2,5964	2,5889
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			



Şekil 4-19 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin yoğunluğa etkisi

Matrise ilave edilen Mg matrisin ıslatma kabiliyetini arttırmakta ve infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. Böylece sıvı matris SiO<sub>2</sub> tozlar arasına daha iyi nüfuz ederek kompozitin yoğunluk değerini arttırmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere tekli modelde ki yoğunluk değeri, ikili ve üçlü modelden daha büyüktür. Bu durum tekli modelde ki takviye hacim oranının ikili ve üçlü modele kıyasla daha büyük olması ile açıklanabilir.

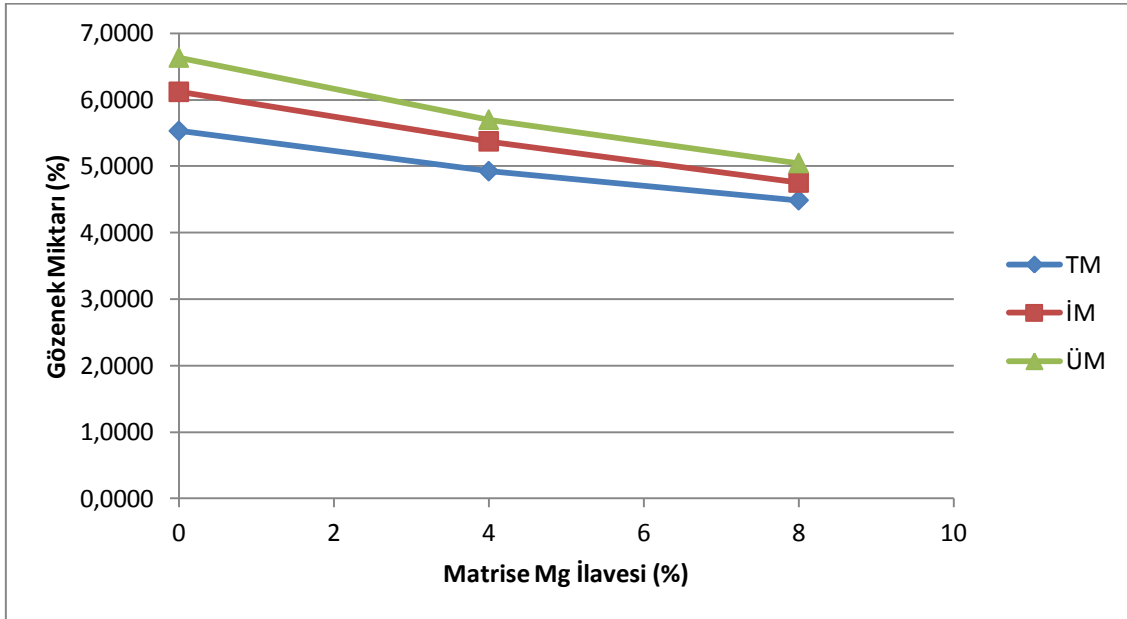
#### 4.4.2 Matrise Mg İlavesinin Gözenek Miktarına Etkisi

Matris alaşımına Mg ilavesi ile kompozitin gözenek miktarındaki değişme şekil 4.20’de verilmiştir. Mg ilavesinin gözenek miktarının azalmasına sebep olduğu görülmektedir. Matrise ilave edilen Mg infiltrasyonu kolaylaştırarak gözenek miktarının düşmesini sağlamaktadır. Ayrıca aynı matrise aynı değerde Mg ilave edilen numunelerden tekli modelde olanın gözenek miktarı en düşüktür. .

Tablo 4-11 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin gözenek miktarına etkisi

Mg İlavesi %	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
0	5,5310	6,1189	6,6349
4	4,9249	5,3742	5,6996
8	4,4878	4,7542	5,0468

Gözenek Miktarı (%)



Şekil 4-20 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin gözenek miktarına etkisi

#### 4.4.3 Matrise Mg İlavesinin Sertliğe Etkisi

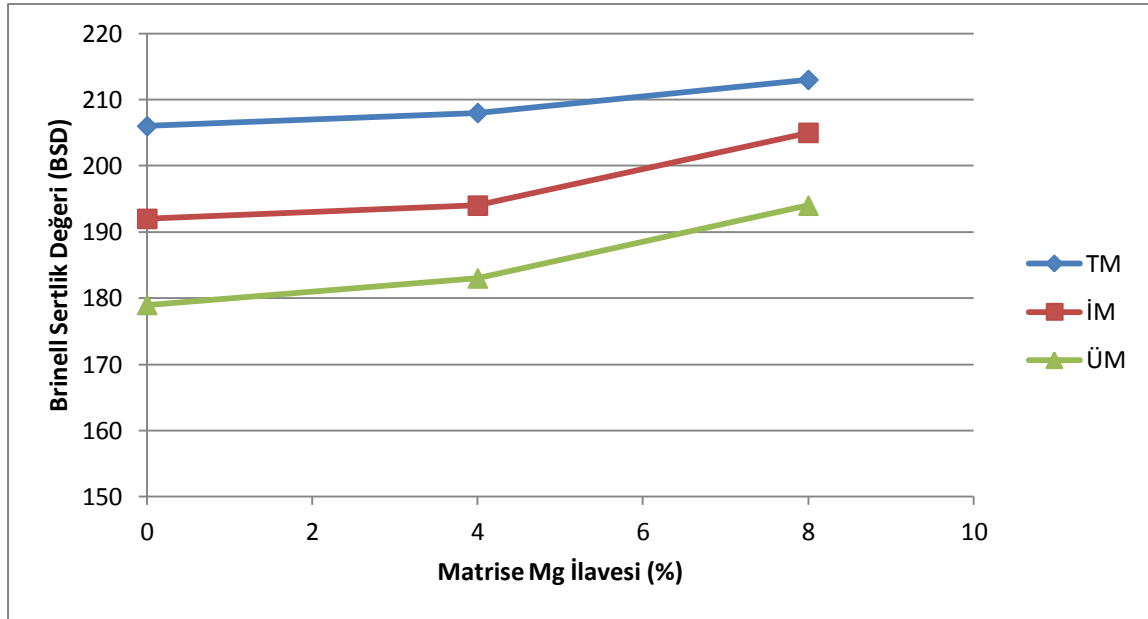
Şekil 4.2.1’de matrise ilave edilen Mg miktarındaki artışın sertlik değerinde artışa sebep olduğu görülmektedir. Bu durumun nedenlerinden biri  $\alpha+\beta$  olarak tabir edilen çift fazlı bölgeni oluşturarak dağılım mukavemetlendirmesi olayını meydana getirmesidir. Bu durumu

detaylı olarak şöyle değerlendirebiliriz. Al-Mg ikili faz diyagramı göz önüne alındığında 450 °C de Al, içerisinde %17'ye kadar Mg elementini çözebilmektedir. Düşen sıcaklıkla birlikte Al'un, Mg'ü çözmesi azalmakta ve 100 °C de bu değer yaklaşık %1'lere düşmektedir. Oda sıcaklığına inildiğinde bu çözülebilirliğin daha da düşeceği söylenebilir. Üretilmiş olan kompozit numunelerin içerisinde ağırlıkça %4 ve %8 Mg elementinin katıldığı göz önüne alınarak Al-Mg ikili faz denge diyagramına göre değerlendirilecek olursak numunelerin  $\alpha+\beta$ 'dan oluşan iki fazlı bölge de yer aldığını görürüz. Mikro yapıda iki ayrı fazın oluşması dağılım sertleşmesine sebep olacağından dislokasyon hareketini engelleyeceği için malzemenin sertliğini ve aşınma direncini arttıracaktır. Al içerisinde artan Mg miktarına bağlı olarak oluşan  $\beta$  fazının mikro yapı içerisindeki oranı artacağından numunelerin sertlikleri de buna bağlı olarak artacaktır. Dolayısıyla aşınma direnci de artacaktır. Sertlik ve aşınma direncindeki artışı şu şekilde açıklamak mümkündür. Yüzey merkezli kübik yapıya sahip  $\alpha$  fazı,  $\beta$  fazı ile kıyaslandığında daha çok kayma sistemine ihtiva eden bir kristal yapıya sahiptir.  $\beta$  fazı ise hegzagonal sıkı paket yapıda ve kayma sistemi sayısı bakımından oldukça düşüktür. Bundan dolayı malzemenin plastik deformasyona uğraması daha zordur.

Mg ilaveli kompozit numunelerdeki sertlik artışının diğer nedeni ise, Mg ilavesinin infiltrasyon işleminde sıvı matrisin ıslatma kabiliyetini artırarak daha iyi infiltrasyon sağlaması ve takviye partikül ile matris arasında daha kuvvetli bir yapı oluşmasına sebep olarak gözenek miktarlarını düşürmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca kompozitlerde takviye hacim oranının artması ile sertlik değerinin arttığı da görülmektedir. Bu durum kompoziti oluşturan sert seramik partiküllerin miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kompoziti oluşturan tanelerin boyutlarının artması gözenek miktarlarında azalmaya sebep olarak sertliğin artmasını sağlamıştır.

Tablo 4-12 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin sertliğe etkisi

Mg İlavesi %	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
0	206	192	179
4	208	194	183
8	213	205	194
Brinell Sertlik Değeri (BSD)			

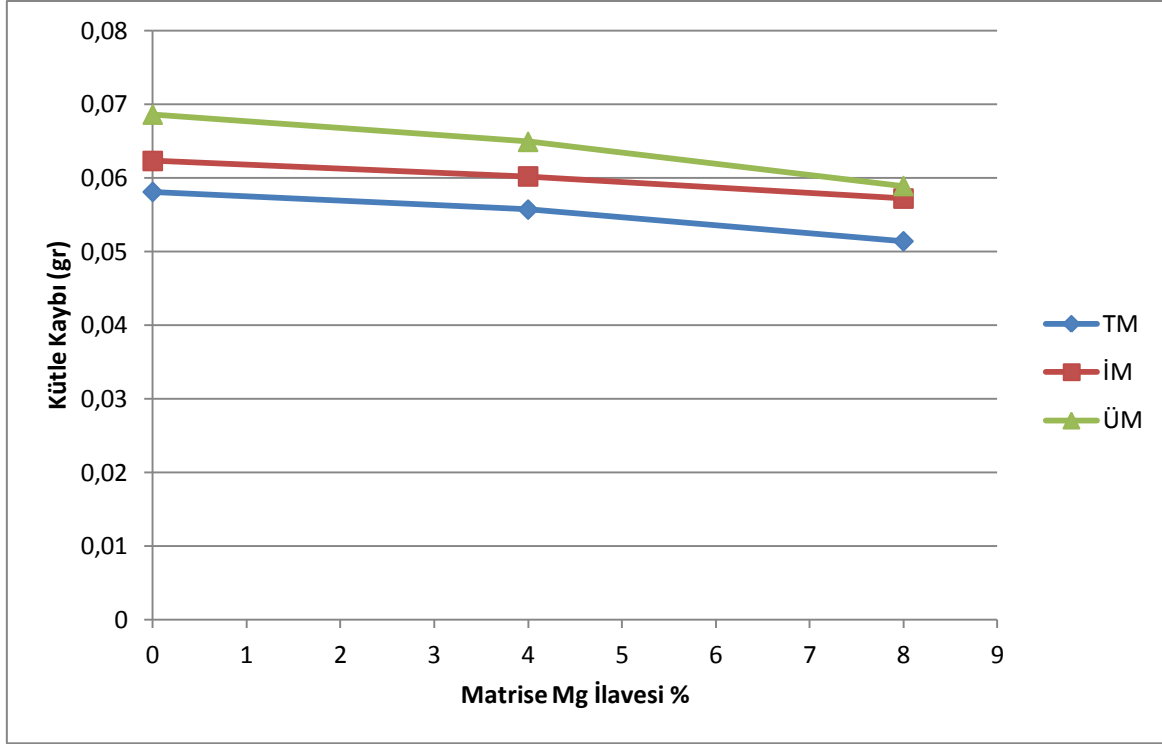


Şekil 4-21 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin sertliğe etkisi

#### 4.4.4 Matrise Mg İlavesinin Aşınma Dayanımına Etkisi

Tablo 0-13 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin aşınmaya etkisi

Mg İlavesi %	Tane Boyutu		
	TM	İM	ÜM
0	0,0581	0,0623	0,0686
4	0,0557	0,0602	0,0649
8	0,0514	0,0542	0,0589
Kütle Kaybı (gr)			



Şekil 4-22 Sabit sıcaklık ve basınçta (7500C-700kPa) matrise Mg ilavesinin aşınmaya etkisi

Şekilde görüldüğü gibi matrise Mg ilavesi değerinin artması kompozitin aşınma ile kütle kaybı miktarında azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca en fazla aşınma miktarı üçlü modelde olurken, en az aşınmaya en büyük partikül boyutlarına sahip tekli model de rastlanmıştır. Bu durum matrise ilave edilen Mg'un infiltrasyonu kolaylaştırarak gözenek miktarını düşürmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte partikül boyutu ve takviye hacim oranının artması kompozitin sertliğini arttırarak aşınma ile kütle kaybını azaltmıştır.

Bilindiği gibi sertlik aşınma üzerinde etkili olan önemli parametrelerden biridir. Bir malzemenin aşınma dayanımı çoğu zaman malzeme sertliğine bağlıdır. Abrasiv aşınmada aşındırıcı partiküllerin malzemeyi aşındırması için malzemeye batması gerekmektedir. Malzeme sertliği arttıkça abrasiv partiküllerin batması zorlaşacak ve malzeme üzerinde iş yapma kabiliyeti azalacaktır. Matrise ilave edilen Mg, matrisin ıslatma kabiliyetini arttırarak gözenek miktarını düşürmekte ve dolayısıyla sertlik ve de buna bağlı olarak aşınma dayanımını da arttırmaktadır.

Üretilen kompozit numunelerin tamamı göz önünde bulundurulacak olursa, en iyi aşınma direnci (en düşük kütle kayıpları), 750<sup>0</sup>C sıcaklık, 900kPa basınç değerinde tekli modelde üretilen numunede görülmüştür. Aşınma direncinin en zayıf (kütle kayıplarının en fazla) olduğu durum, 750<sup>0</sup>C sıcaklıkta, en düşük basınç değeri olan 500kPa değerinde, üçlü modelde üretilen numunede elde edilmiştir.





## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile 700kPa infiltrasyon basıncı değerinde (700, 750, 800°C) sıcaklıklarında, 750°C sabit sıcaklık değerinde (500, 600, 700, 800, 900kPa) basınçlarında ve 700kPa – 750°C sabit sıcaklık ve basınç değerlerinde matrise %0, %4 ve %8 oranında Mg ilave edilerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin takviye partikül boyutları (300, 250 ve 150µm) değerlerinde ve 300µm, 300-250µm, ve 300-250-150µm olmak üzere tekli, ikili ve üçlü modellerde gerçekleştirilmiş olup takviye hacim oranları sırası ile %51,68, %49,33 ve %48,99 olarak hesaplanmıştır. Üretilen kompozitlerden elde edilen deneysel sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

Kompozitin mikro yapılarına bakıldığında düzgün bir dağılım görülmekle birlikte düşük infiltrasyon basıncı ve düşük infiltrasyon sıcaklık değerlerinde üretilen kompozit numunelerde boşluk ve gözeneklere rastlanmıştır.

Kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma dayanımları infiltrasyon sıcaklığının artması ile artmış, gözenek miktarı ise düşmüştür. Bunun sebebi sıcaklık artışı ile birlikte, sıvı matrisin yüzey geriliminin azalması ve akıcılığının artarak SiO<sub>2</sub> tozlar arasındaki infiltrasyon öncesi boşlukları daha iyi doldurmasıdır. Buna bağlı olarak gözenek miktarının da azaldığı görülmüştür.

İnfiltrasyon basıncının artması ile yine kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma dayanımları artmış, gözenek miktarları düşmüştür. Bu durum artan basınç ile sıvı matrisi infiltrasyon öncesi boşluklar içine zorlayarak infiltrasyonu kolaylaştırmasından kaynaklanmaktadır.

Matris malzemesine ilave edilen Mg miktarındaki artış ile kompozitlerin yoğunluk, sertlik ve aşınma dayanımları artmış, gözenek miktarı azalmıştır. Bu durum Mg'un infiltrasyonu kolaylaştırıcı etkiye sahip olmasından ve Al<sub>2014</sub>'ün ıslatma kabiliyetini geliştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kompozit numunelerde en yüksek yoğunluk sertlik ve aşınma dayanımı değerleri tekli modelde elde edilmişken en düşük yoğunluk sertlik ve aşınma dayanımı değerleri üçlü modelde elde edilmiştir. En yüksek gözenek miktarına üçlü model sahipken en düşük gözenek miktarına tekli modelde rastlanmıştır. Bunun nedeni infiltrasyon öncesi gözeneklerin tekli modelde daha büyük üçlü modelde daha küçük olmasıdır. Gözenek boyutunun küçülmesi ile sıvı matrisin infiltrasyonunun zorlaştığı anlaşılmaktadır.

Kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde yapılan deneylerde beklenilmeyen bir duruma rastlanmamıştır.

Basınç ve sıcaklığın daha yüksek değerlerinin kompozitin mekanik özellikleri üzerine nasıl ve hangi ölçüde etki edeceğinin araştırılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Acılar M** (2002) Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltasyon Yöntemi İle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 95-121.
- Acılar M ve Gül F** (2004) Abrasive wear behaviour of Al-10Si/30-55 vol% SiCp cımposites produced by vacuum infiltration technique. *Materials and Design*, 20: 1-10.
- Ahlatçı H, Candan E ve Çimenoğlu H** (2004) Mechanical properties of Al-60 pct SiC<sub>p</sub> composites alloyed with Mg. *Met. And Mat Trans. A*, 5: 2127-2141.
- Alman D** (2001) U.S. Department of Energy ASM Handbook Volume 21 *Composites*.
- Altuner HM** (2011) Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Difüzyonla Birleştirilmesi. Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASM** (2002) *ASM International Handbook Committee 2002: Composites*. ASM Handbook Vol.21.
- Bhagat RB** (1991) High Pressure İnfiltation Casting Manufacturing Net Shape Composites With a Unique Interface. *Mat, Sci. And Eng., Elsevier Sequoia*, A 144 : 243-250.
- Candan E, Atkinson HV and Jones H** (1997) Effect of magnesium alloying additions on infiltration threshold pressure and structure of SiC powder compacts infiltrated by aluminium based melts. *Journal of Materials Science*. 32 : 289- 294.
- Chawla N ve Chawla KK** (2006) *Metal Matrix Composites*. Springer Science Business Media, Inc., Boston.
- Chong SY, Atkinson HV and Jones H** (1993) 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.
- Clyne TW and Withers P** (1993) *An Introduction To Metal Matrix Composites*, Cambridge University Pres, Cambridge, U.K.
- Clyne TW, Bader MG, Cappleman GR ve Hubert PA** (1985) The use of a delta – alumina fiber for metal matrix composites. *Journal of Material Science*, 20 (1) 85-86.
- Contreras A, Lopez VH ve Bedolla E** (2004) Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration. *Scripta Materialia*, 51 : 249-253.
- Cornie JA** (1986) Solidification processing of metal matrix composites, *Ceramic Bulletin The American Ceramic Society*, 65: 293-303.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Cornie JA, Chiang Y, Uhlmann DR, Mortensen A ve Collins JM** (1986) Processing of metal and ceramic matrix composites. *Ceramic Bulletin* 65 (2) 293-304.
- Cornie JA, Mortensen A ve Flemings MC** (1987) Proceedings of the sixth int conf on composite materials and the second european conf. *On composite materials*. (ICCM and ECCM) london, UK, Vol 2 edited by Matthews, F.L., Buskel, N.C.R., Hodgkinson, J.M., Morton, J. Elsevier applied science London, 2297-2305.
- Cöcen Ü ve Önel K** (2002) Ductility and strength of extruded SiCp/aluminium-alloy composites. *Composites Science and Technology*, 62:275-282.
- Çalın R** (2006) Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çırakoğlu M** (1993) AlN-B4C/Al kompozitlerinin infiltrasyon yöntemi ile üretim şartlarının incelenmesi. 8. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 6-9 Haziran, İstanbul, 1307-1315.
- Çıtak R** (1998) Metalik Baryum Alüminyum Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıkta Oksidasyonu ile Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi. Doktora Tezi. G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-39.
- Delannay F, Froyen L ve Deruyttere A** (1987) Review the wetting of solids by molten metals and its relation to the preparation of the metal-matrix composites. *J. Of Mat. Sci.*, 22 : 1-16.
- Demir A ve Altınkök N** (2004) Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strenght of porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC-reinforced aluminium matrix composites. *Composites Science and Technology*, 64 : 2067-2074.
- Durman M, Akbulut H ve Yılmaz F** (1993) Saffil ( $\delta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber takviyeli alüminyum-silisyum metal matriks kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. 7. *Uluslar arası metalurji ve malzeme kongresi*, 4-8 Mayıs, Ankara, 1141-1153.
- Ellis M.B.D** (1996) Joining of Aluminium Based Metal Matrix Composites. *International Materials Reviews*, 41:42-57.
- Elomari S, Skibo MD, Sundarrajan A ve Richards H** (1997) Thermal Expansion Behavior of Particulate Metal-Matrix Composites. *Composites Science and Technology* 58: 369-376.
- Fletcher TR, Cornie JA ve Russell KC** (1991) A capacitance technique for studying pressure infiltration. *Mat. Sci. and Eng, A*, 144 : 159-163.
- Foltz JV** (1990) *Metal Matrix Composites*, ASM Handbook, Volume 2, ASM International, USA.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ghosh AK** (1993) Fundamentals of Metal Matrix Composites. *Solid-state processing*, ed. S. Suresh, A. Mortensen, and A. Needleman. by Butterworth-Heinemann. 2: 23-42.
- Gül F ve Şenel L** (2010) Effect of reinforcement particle size on the abrasive wear of Al-Si composites reinforced with SiO<sub>2</sub>. Süleyman Demirel University, *Journal of Natural and Applied Sciences*, 194-199.
- Hashim J, Looney L ve Hashmi MSJ** (2001) Wettability of SiC particle by molten aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 119: 324-328.
- Hull D** (1992) *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Pres, 71-79.
- Hunt WH** (1994) Processing and fabrication of advanced materials. *Int. Mater. Rev.*, 38, 1-24.
- Hunt WH** (2000) Particulate reinforced MMCs, comprehensive composite materials, *Metal Matrix Composite*, Elsevier, 3:701-715.
- Ibrahim IA, Mohamed FA ve Lavernia EJ** (1991) Particulate reinforced metal matrix composites-a review. *Journal of Materials Science*, 26: 1137-1156.
- Kevorkijan VM** (1999) The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminium alloy. *Composites Science and Technology*, 59 : 683-686.
- Kolukısa S** (1999) Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kök M ve Özdin K** (2007) Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Journal of Materials Processing Technology*, 183:301-309.
- Kumar GBV, Rao CSP ve Selveraj N** (2011) Studies on mechanical and dry sliding wear properties of Al6061-SiC composites. *Composites: Part B* 43 (2012)1185-1191.
- Kurnaz SC, Akbulut H ve Durman M** (1993) Saffil ( $\delta$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) fiber çinkoalüminyum alaşımı (ZA.12) metal matriks kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. 7. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 4-8 Mayıs, Ankara,1155-1161.
- Lai SW ve Chung DDL** (1994) Fabrication of particulate aluminium-matrix composites by liquid metal infiltration. *J. Of Mat. Sci., Chapman & Hall*, 3128.
- Levi CG, Abbashian GS ve Mehrabian R** (1978) İnterface interactions during fabrication of Al alloy-Alumina fibre composites. *Metall.Trans.A* 9: 697-711.
- Lianxi H, Yiwen Y, Shoujing L ve Xu X** (1999) Investigating on the kinetics infiltration of liquid aluminium into an alumina fibrous preform. *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 94 : 227-230.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lilholt H** (1991) Aspect of deformation of metal matrix composites. *Materials Science and Engineering*. 135: 161-171.
- Martinez JA, Pech-Canul MI, Rodriguez M ve Pena JL** (2003) Effect of processing parameters on the degree of infiltration of SiCp preforms by Al-Si-Mg alloys. *Materials Letters*, 57: 4332-4335.
- Michaud V** (1993) Fundamentals Of Metal-Matrix Composites. ed. S. Suresh, A. Mortensen, and A. Needleman. 1: 1-19.
- Michaud V ve Mortensen A** (2001) Infiltration processing of fibre reinforced composites governing phenomena. *Composites Part, A* 32 : 981-996.
- Mortensen A** (2001) Metal Matrix Composites in Industry: an Overview. *MMC Conference VIII*, November 26–27 2001, London.
- Mortensen A ve Cornie JA** (1987) On the infiltration of metal-matrix composites. *Met. Trans*, 18 (A): 1160-1163.
- Oguz B** (1990) Demir Dışı Metaller Kaynağı Metalurji-Uygulama”, 495, 1990, 7 İSTANBUL.
- Ögel B** (1997) Kompozit malzemelerde son gelişmeler ve ileriye dönük beklentiler. 9. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 11–15. Haz. 1997, İstanbul, 639–649.
- Peng HX, Fan Z ve Evans JRG** (2000) Novel MMC microstructures prepared by melt infiltration of reculated ceramic preform. *Materials Science and Technology*, 16:903-907.
- Ralph B, Yuen HC ve Lee WB** (1997) The processing of metal matrix composites-an overview., *J. Of Mat. Proc. Tech.*, 63 : 339-353.
- Rajan TPD, Pillai RM ve Pai BC** (1998) Review, reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites. *Journal of Materials Science*, 33:3491-3503.
- Ramesha CS ve Safiulla M** (2007) Wear behavior of hot extruded al6061 based composites. *Wear*, 263:629-635.
- Rodrigez RM, Pech-Canul MI, Parras- Medecigo EE ve Gorokhovskiy A** (2003) Effect of Mg loss the kinetics of presureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiCp composites. *Materials Letters* 57 : 2081-2089.
- Shirzadi AA** (1997) Diffusion Bonding of Aluminium Alloys and Composites: New Approaches and Modelling. Doktora Tezi, Cambridge Universitesi, UK.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Simith HH ve Marchel DJ** (1988) Effect of thermal and thermomechanical treatment on the mechanical properties of centrifugally cast alloy 718. *Materials Science and Engineering A* 102 : 161-168.
- Soy U** (2009) *Metal Matris Kompozit Malzemeler*. Yayın/Dağıtım [www.ugursoy.sakarya.edu.tr](http://www.ugursoy.sakarya.edu.tr) SAÜ Teknoloji Fakültesi Fotokopi Merkezi.
- Srinivasa BR ve Jayaram V** (2001) Pressureless infiltration of Al–Mg based alloys into Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> preforms: mechanisms and phenomenology. *Acta Mater*, 49: 2373–2385.
- Stefenascu DM, Dhndraw RK, Kacar SA ve Moitr, A** (1988) Behaviour of ceramic particle at the solid-liquid metal interface in metal matrix composites. *Met. Trans.* 19A, 2847- 55.
- Şahin Y** (2000) *Kompozit Malzemelere Giriş*. Gazi Kitabevi 2000 Ankara.
- Şahin Y** (2006) *Kompozit Malzemelere Giriş, Kompozitler-Nanokompozitler*. Genişletilmiş 2.Baskı, Seçkin Dağıtım, 2006 Ankara.
- Şahin Y ve Acılar M** (2003) Production and properties of SiC<sub>p</sub> reinforced aluminium alloy composites. *Composites Part A* 34, P 709-718.
- Şen O** (2005) TiO<sub>2</sub> Partikül Takviyeli Alüminyum Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Şevik H ve Kurnaz SC** (2006) Properties of alumina particulate reinforced aluminum alloy produced by pressure die casting. *Materials and Design*, 27: 676–683.
- Taya M ve Arsenault R** (1988) *Metal Matrix Composites- Thermal and Mechanical Behavior*. Pergamon Pres, New York.
- Tekli S ve Çetinkaya C** (2000) Investigation of bonding strength of TZP/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites diffusion bonded with similar or dissimilar materials. *10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Bildiriler Kitabı*, 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III ,1863-1866.
- Tekmen C** (2006) Metal Matriksli Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretimi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toptan F** (2006) Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemiyle Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vaucher S ve Beffort O** (2001) *Bonding and Interface Formation in Metal Matrix Composites*, MMC-Assess – Thematic Network Vol. 9, MMC-Assess Consortium.
- Yalçın H ve Gürü M** (2002) *Malzeme Bilgisi*, Palme Yayıncılık, Ankara, s. 1-42.



### **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**Zhou W ve Xu ZM** (1997) Casting of SiC reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.63, Issue.1-3: 358-363.

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KARADEMİR 1985 yılında Safranbolu’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2004 yılında Safranbolu Anadolu Lisesi’nden mezun olduktan sonra Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2010 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl içinde Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü Ağdacı Köyü  
74100 BARTIN

Tel: (378) 223 53 57

Faks: (378) 223 52 58

E-posta: [ikarademir@bartin.edu.tr](mailto:ikarademir@bartin.edu.tr)  
[ibrahimkarademir@windowslive.com](mailto:ibrahimkarademir@windowslive.com)