

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**SİC TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN
BASINÇLI İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Serkan ATEŞ

Mart 2011

ÖZET

SiC TAKVİYELİ ETİAL 21 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN BASINÇLI İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ATEŞ, Serkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Doktora tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Ortak Danışman: Doç. Dr. Recep ÇALIN

Mart 2011, 127 sayfa

Bu çalışmada basınçlı infiltrasyon yöntemi ile SiC takviyeli Al₂O₃ matrisli kompozit malzeme üretimi ve bu malzemenin fiziksel, mekanik ve ısı özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. Deneysel ölçümlerde kullanılacak numuneler tasarımı yapılan basınçlı bir ergitme ocağında üretilmiştir. Bu ergitme ocağının infiltrasyon basıncı içinde azot (N₂) gazı bulunan bir tüple sağlanmıştır. İnfiltasyon sıcaklığı ise ergitme ocağının ısıtma sistemine bağlanan bir termo eleman aracılığıyla kontrol edilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen bu düzenekte üç farklı modelde metal matrisli kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Matris malzemesi olarak Al₂O₃ alüminyum alaşımı, takviye elemanı olarak ise 105µm, 66µm ve 44µm tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar kullanılmıştır. Kompoziti oluşturan takviye malzemeler öncelikle deney numunesi tüpü içerisine doldurulduktan ve giriş-çıkışları filtrelerle sabitlendikten sonra ergimiş olan matris malzemesi içerisine daldırılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Kompozit üretim parametreleri infiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon basıncı ve matrise Mg ilavesi olarak belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapıları, yoğunlukları, gözenek miktarları, sertlikleri ve basma dayanımları incelenmiştir. Kompozitlerin ısı iletkenlikleri ise deneysel ve analitik

olarak hesaplanmıştır. Kompozitlerin mikroyapı fotoğraflarından tüm üretim parametrelerinde tam infiltrasyonun gerçekleştiği, SiC parçacıklarının matris içerisinde homojen bir dağılım gösterdikleri belirlenmiştir. Kompozitlerin infiltrasyon sıcaklığının, basıncının ve matrise Mg ilavesinin yoğunluğu, ısı iletkenlik, basma dayanımı ve sertliği artırdığı, gözenek miktarını düşürdüğü görülmüştür. Kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri deneysel olarak ölçülmüş olup ısı iletkenlikleri ise hem deneysel hem de analitik olarak elde edilmiştir. Elde edilen bütün sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmış, sonuçlar grafik ve tablolar şeklinde verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Basıncılı İnfiltrasyon, Al₂O₃, SiC, Gözenek Miktarı, Isıl İletkenlik, Sertlik, Basma Dayanımı

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERISTIC ANALYSIS OF SiC-REINFORCED ETIAL 21 BASED COMPOSITE MATERIALS BY PRESSURE INFILTRATION METHOD

ATEŞ, Serkan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, Ph.D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Cosupervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep ÇALIN

March 2011, 127 pages

In this study, SiC-reinforced Etial 21 based composite materials were produced through compressed infiltration method, and physical, mechanical and thermal characteristics of this material was experimentally analyzed. The samples used in the experimental measurements were produced in a designed pressure melting furnace. The infiltration pressure of this melting furnace was made by a tube including nitrogen (N₂). The infiltration temperature was controlled by a thermo element connected to the heating system of the melting furnace. Metal matrix composite in three different models was produced in this machinery. As matrix material, Al2014 aluminum alloy and as reinforcement element, SiC powder with 105µm, 66µm and 44µm grain size were used. The reinforced materials forming the composite were filled into the experiment sample tube and its inputs/outputs were fastened by the filters and then sealing was obtained by sinking them into matrix material molten. The composite production parameters were determined as infiltration temperature, infiltration pressure and Mg addition to matrix. Micro structures, intensities, porous proportion, hardness and compression strength of produced composites were analyzed. Thermal conductivity of composites was also

calculated experimentally and analytically. It was identified by means of micro structure photos of composites that a complete infiltration was performed throughout the production parameters and SiC particles showed a homogenous distribution in the matrix. It was understood that the infiltration temperature, pressure and Mg addition intensity of composites increase the thermal conductivity, compression strength and hardness, but decrease the porous proportion. The mechanical and physical characteristics of composites were measured experimentally and the thermal conductivity was obtained both experimentally and analytically. All the results were compared with the similar studies in literature, and the results were given in graphics and tables

Keywords: Pressure Infiltration, Al2014, SiC, Porosity, Thermal Conductivity, Hardness, Compression Strength

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında yardımını esirgemeyen, çalıőmalarımnda destek olan, bilimsel deney imkanlarını kullanmamda büyük yardımlarda bulunan, gündelik yaşamı ve çalışma davranıőlarıyla örnek aldığım tez yöneticisi hocam; Sayın Prof. Dr. İbrahim UZUN'a, tez çalıőmalarımnda ve bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr. Recep ÇALIN'a, Sayın Prof. Dr. Ramazan ÇITAK'a, Sayın Doç. Dr. Hüsnü DİRİKOLU'na, büyük fedakarlıklarla bana destek olan eşim Öznur TULUNAY ATEŞ'e ve varlığıyla dünyamı güzelleőtiren kızım YAREN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	4
1.2. Kompozit Malzemeler	12
1.3. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	14
1.3.1. Havacılık Uygulamaları	14
1.3.2. Otomotiv Uygulamaları	16
1.3.3. Diğer Mühendislik Uygulamaları	17
1.4. Alüminyum Matrisli Kompozitler	17
1.5. Alüminyum Matris Kompozitlerin Yapısal Özellikleri	18
1.5.1. Takviye Elemanı	18
1.5.2. Matris	22
1.6. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	28
1.6.1. Sıvı Hal İşlemleri	28
1.6.2. Katı Hal İşlemleri	30
1.6.3. İn-situ İşlemler	31
1.7. İnfiltrasyon Yöntemleri	31
1.7.1. Vakum İnfiltrasyon	33
1.7.2. Basıncı İnfiltrasyon	34
1.7.3. Basıncısız İnfiltrasyon	35
1.8. İnfiltrasyonu Etkileyen Faktörler	36
1.8.1. Takviye Tane Boyutu	36
1.8.2. İnfiltrasyon Süresi	37

1.8.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı.....	38
1.8.4. Taviye-Hacim Oranı	38
1.8.5. İnfiltrasyon Basıncı.....	40
1.8.6. Alaşım.....	41
1.8.7. Islatma.....	42
1.8.8. Matris Takviye Arayüzey Reaksiyonları	44
2. MATERYAL VE YÖNTEM	47
2.1. Deney Düzeneği.....	47
2.2. Kompozit Üretimi	54
2.3. Deneysel Ölçümler.....	59
2.3.1. Yoğunluk ve Gözeneklilik Ölçümleri.....	59
2.3.2. Mikroyapı İncelemeleri.....	59
2.3.3. Sertlik Ölçümleri.....	60
2.3.4. Basma Dayanımı Ölçümleri.....	60
2.3.5. Isıl İletkenlik Ölçümleri.....	62
3. TARTIŞMA ve SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	64
3.1. Takviye Parçacık Büyüklüğüne Göre T-H Oranı.....	64
3.2. İnfiltrasyon Mesafeleri	65
3.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı.....	65
3.3.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi	68
3.3.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi	69
3.3.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi	72
3.3.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi.....	78
3.3.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi.....	80
3.4. İnfiltrasyon Basıncı	81
3.4.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi	84
3.4.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi	85
3.4.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi	87
3.4.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi.....	93
3.4.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi.....	94
3.5. Matrise Mg İlavesi	96

3.5.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi	98
3.5.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi	99
3.5.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi	100
3.5.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi.....	105
3.5.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi.....	106
3.6. Üretim Parametrelerinin Kompozit Özelliklerine Etkisi	107
3.6.1. Yoğunluğa Üretim Parametrelerinin Etkisi	107
3.6.2. Gözenek Miktarına Üretim Parametrelerinin Etkisi	109
3.6.3. Isıl İletkenliğe Üretim Parametrelerinin Etkisi	110
3.6.4. Sertliğe Üretim Parametrelerinin Etkisi.....	111
3.6.5. Basma Dayanımına Üretim Parametrelerinin Etkisi.....	113
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
1.3.1.1. Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları.....	15
1.3.2.1. Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler.....	16
1.4.1. Matris malzemesi olarak seçilen metallerin yoğunluk ve fiziksel özellikleri....	18
1.5.1.1. Alüminyum matrisli kompozitlerde kullanılma potansiyeline sahip takviye elemanlarının özellikleri.....	20
1.5.2.1. Saf alüminyumun özellikleri.....	23
1.5.2.2. Al 2014'e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler.....	25
1.5.2.3. Al 2014'ün kıyasal kompozisyonu.....	26
2.2.1. Deneylerde kullanılan olan üretim parametreleri.....	55
3.1.1. SiC tozların oluşturdukları T-H oranları.....	64
3.3.1.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	68
3.3.2.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı.....	70
3.3.3.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri....	73
3.3.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri.....	76
3.3.4.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	78
3.3.5.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı.....	80
3.4.1.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	84
3.4.2.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı.....	85
3.4.3.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenliği.....	87
3.4.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri.....	92
3.4.4.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	93
3.4.5.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenliği.....	94
3.5.1.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	98
3.5.2.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı değerleri.....	99
3.5.3.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri.....	101
3.5.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri.....	104

3.5.4.1 Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	105
3.5.5.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı değerleri.....	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.5.2.1 Alüminyumun alaşımlarında yer alan elementler ve etkileri.....	24
1.7.1. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi.....	33
1.7.1.1. Vakum infiltrasyon yöntemi.....	33
1.7.2.1. Basınçlı infiltrasyon yöntemi.....	35
1.7.3.1. Basınçsız infiltrasyon yöntemi.....	36
1.8.4.1. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler.....	39
1.8.7.1 Bir sıvı damlasının katı bir yüzeye temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı.....	42
1.8.8.1. Al, Mg ve Cu'ın bileşik oluşturması.....	45
1.8.8.2. Al ₄ C ₃	46
2.1.1. Ergitme ünitesi.....	47
2.1.2. Boru.....	48
2.1.3. Kapak.....	49
2.1.4. Basınç kabı kompleksi.....	49
2.1.5. Tasarlanmış basınç kabı ve kabın mesh edilmiş hali.....	50
2.1.6. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra vidalarda meydana gelen maksimum kayma gerilmesi.....	50
2.1.7. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra vidalarda meydana gelen toplam deformasyon.....	51
2.1.8. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra tüm sistemde meydana gelen maksimum kayma gerilmesi.....	51
2.1.9. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra tüm sistem için belirlenen güvenlik faktörü.....	52
2.1.10. Sıvı metal sıcaklık ölçüm ünitesi.....	52
2.1.11. Ortam sıcaklığı ile sıvı metal sıcaklığı arasındaki ilişki.....	52
2.1.12. Dirençli ergitme fırınına ait sıcaklık-zaman grafiği.....	53
2.1.13. Basınçlı infiltrasyon deney düzeneği.....	54
2.2.1. Program çıktı sayfası.....	57
2.2.2. Filtrelerin yerleştirilmesi.....	57

2.2.3. İnfiltrasyon deney düzeneği ve üretilen kompozitler.....	58
2.2.4. Üretilen kompozit malzeme.....	58
2.3.4.1. Basma gerilmesinin şematik gösterimi.....	61
2.3.4.2. Çekme-basma dayanımı ölçüm cihazı.....	61
2.3.5.1. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı.....	63
3.3.1. Tekli modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	66
3.3.2. İkili modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	66
3.3.3. Üçlü modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	66
3.3.4. Kompozitlerin farklı bölgelerinden alınan EDAX analizi.....	68
3.3.1.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	69
3.3.2.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı.....	70
3.3.2.2. Katılma çekmesi.....	71
3.3.3.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerinin sıcaklıkla değişimi.....	74
3.3.3.2. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerinin SiC tane boyutu ile değişimi.....	75
3.3.3.3. 700°C’de üretilmiş kompozit için dönüştürülmüş nümerik model.....	76
3.3.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi.....	77
3.3.4.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	79
3.3.5.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı.....	80
3.4.1. Tekli modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	82
3.4.2. İkili modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	82
3.4.3. Üçlü modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	83
3.4.1.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	84
3.4.2.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı.....	86
3.4.3.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerinin basınçla değişimi.....	90
3.4.3.2. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerinin SiC tane boyutu ile değişimi.....	91
3.4.3.3. 700 kPa’de üretilmiş kompozitin için dönüştürülmüş nümerik model.....	92
3.4.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi.....	92
3.4.4.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	94
3.4.5.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı.....	95

3.5.1. Al2014'e ait EDAX analizi.....	96
3.5.2. Tekli modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	97
3.5.3. İkili modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	97
3.5.4. İkili modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri.....	97
3.5.1.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri.....	98
3.5.2.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı değerleri.....	100
3.5.3.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri.....	102
3.5.3.2. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri.....	103
3.5.3.3. Sabit basınç ve sıcaklıkta üretilmiş kompozit için dönüştürülmüş nümerik model.....	104
3.5.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi.....	105
3.5.4.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri.....	106
3.5.5.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı değerleri.....	107
3.6.1.1. Kompozitlerin yoğunlukları üzerinde üretim parametrelerinin etkisi.....	108
3.6.2.1. Kompozitlerin gözenek miktarı üzerinde üretim parametrelerinin etkisi...	109
3.6.3.1. Kompozitlerin ısı iletkenlikleri üzerinde üretim parametrelerinin etkisi....	111
3.6.4.1. Kompozitlerin sertlikleri üzerine üretim parametrelerinin etkisi.....	112
3.6.5.1. Kompozitlerin basma dayanımlarına üretim parametrelerinin etkisi.....	113

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_m	Al2014 matrisin yüzey alanı, m ²
A_f	SiC parçacıklarının yüzey alanı, m ²
α	Isı yayılım katsayısı, m ² /s
c	Özgül ısı, J/kg.K
ϕ	SiC'ün yüzey alanının, toplam yüzey alanına oranı $\left(\frac{A_m}{A_t}\right)$
k_e	Efektif ısıl iletkenliği, W/mK
k_f	SiC'ün efektif ısıl iletkenliği, W/mK
k_g	Geometrik modelin ısıl iletkenliği $\left(k_m^{(1-\phi)} \cdot k_f^\phi\right)$
k_m	Al2014 matrisin efektif ısıl iletkenliği, W/mK
k_p	Paralel modelin ısıl iletkenliği $[(1 - \phi)k_m + \phi k_f]$
P	İnfiltrasyon basıncı, kPa
ρ	Yoğunluk, g/cm ³
ρ_d	Deneysel yoğunluk, g/cm ³
ρ_s	Suyun yoğunluğu, g/cm ³
ρ_t	Teorik yoğunluk, g/cm ³
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyumdioksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit

1. GİRİŞ

Uygarlık tarihi boyunca malzemenin ne kadar önemli olduğunu anlamak için eski tarih çağlarının taş devri, tunç devri, demir devri gibi başlıklarla anıldığını hatırlamak yeterlidir. Günümüzde malzeme eskisine göre yaşamımızda ve buna paralel olarak da ekonomide daha fazla önem kazanmıştır.

Artık 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 hafif ve sağlamdır. Kompozit malzemeler son yıllarda yaygın bir şekilde; havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [1].

Kompozit malzemeler; ana faz (matris) ve tali faz (takviye elemanı) olmak üzere iki fazın makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilir. Matris ve takviye elemanı seçimi, kompozitten beklenen yoğunluk, mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci, yorulma direnci, yüksek sıcaklık direnci, termal kararlılık, boyutsal kararlılık, termal iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik izolasyon, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak yapılır. Bu özellikler birlikte elde edilemez ve bir kısmı kötüleşirken diğerleri iyileşebilir. Çeşitli hacimsel oranlarda matris malzemesi ve takviye elemanı kullanarak yukarıda bahsedilen özelliklere sahip kompozitler elde edilebilir. Günümüzde metal matris kompozit malzeme üretiminde genellikle sıvı hal yöntemleri tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan önemli sıvı hal yöntemlerinden biride infiltrasyondur.

Bu çalışmada temel amaç; doğada bolca bulunan ve hafif olan Alüminyumdan elde edilen Al₂O₃ alaşımını SiC tozlar içerisine infiltre edip, Al₂O₃ alaşımının mekanik, fiziksel ve ısı 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 bir diğer amacında mekanik, fiziksel ve ısı özellikleri geliştirerek birim maliyeti düşürmek ve kompozitin optimum üretim parametrelerini belirlemektir.

Bu amaca ulaşmak için birinci aşamada, kaliteli kompozit üretimine olanak veren özgün bir yaklaşımla, değişik takviye-hacim oranlarındaki SiC preformlara sıvı metalin infiltre edilmesini sağlayacak bir basınçlı infiltrasyon sistemi dizayn edilip sistemin imalatı gerçekleştirilmiş ve bu sistemde kompozit malzeme üretim şartları incelenmiştir. İkinci aşamada ise üretilen kompozitlerin mekanik, fiziksel ve ısı özelliklerini belirlemek için gerekli testler gerçekleştirilmiştir.

İçinde bulunduğumuz yüzyılda teknolojideki gelişme oldukça hızlanmıştır. Tabiatta varolan saf malzemelerin özelliklerinin kısıtlı olmasından dolayı, sanayinin sac ayaklarından en önemlisini oluşturan malzemeler teknolojideki hızlı gelişmeye uyum sağlayamamış ve bu yüzden de malzeme ve malzeme bilimindeki gelişmeler kaçınılmaz bir duruma gelmiştir.

Malzeme kullanımının geçmişten günümüze geçirdiği evreler göz önüne alındığında, tabiattan elde edilen malzemelerin, elde edildikleri şekliyle saf olarak kullanımı zamanla azalmıştır. Bunun nedeni de teknolojideki gelişmeye paralel olarak, tabiattan elde edilen malzemelerin gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayacak fiziksel, mekanik ve ısı özellikleri sağlayamamasından dolayıdır. Buna karşılık tabiatta var olan malzemelerin üstün özelliklerini aynı malzemede biraraya toplamak amacıyla iki veya daha çok malzemenin değişik teknikler kullanılarak biraraya getirilmesiyle, gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayacak özellikleri bünyesinde barındıran kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen ve makroskobik olarak birbirinden ayrı iki ya da daha fazla malzemenin, en iyi özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla bir araya getirilmesi ile imal edilen malzemelere kompozit malzemeler denir.

Bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte bilimin gelişmesi paralelinde ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif malzemeleri imal etme yolunu seçmişlerdir. Bu şekilde

kompozit malzemeler imalat sanayisinde ve yeni teknoloji ürünlerinde çok önemli bir rolü üstlenmiştir.

Kompozit malzemeler, taşıyıcı görev üstlenen takviye ve takviyeyi birarada tutup dış etkilerden koruyan matris olmak üzere iki fazdan meydana gelir. 1950 yılından beri sayısız matris ve takviye elemanı kombinasyonları denenmiştir. Bununla birlikte metal matris kompozit teknolojisi hala ilk evrelerinde olup gelişim sürecindedir. Hiç kuşku yok ki önümüzdeki yıllarda önemli sistemler ortaya çıkacaktır[2]

Bu tez çalışmasında basınç kabının tasarımı ANSYS paket programı kullanılarak yapılmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Basınç kabı ile 12mm çapında, 70mm uzunluğunda kompozitler üretilebilmektedir. Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak 105-66-44µm ortalama tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar, matris olarak Al2014 alaşımı kullanılmıştır. Kompozitler tekli, ikili, üçlü olmak üzere üç farklı modelde üretildi. Tekli modelde ortalama 105µm tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar kullanıldı. İkili modelde ortalama 105µm ve 66µm tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar ağırlıkça sırasıyla 3 : 2 oranında karıştırılarak kompozit üretildi. Üçlü modelde ortalama 105µm, 66µm ve 44µm tane büyüklüğüne sahip SiC tozlar ağırlıkça sırasıyla 5 : 2 : 1 oranında karıştırılarak kompozit üretildi. Tekli modelde üretilen kompozitler %51,68, ikili modelde üretilen kompozitler %49,33 ve üçlü modelde üretilen kompozitler %48,99 takviye-hacim oranına sahiptir.

Kompozit üretim parametreleri olarak 700-750-800°C infiltrasyon sıcaklıkları, 500-600-700-800-900kPa infiltrasyon basınçları, 0-4-8% matrise Mg ilavesi değerleri kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin mikro yapıları, yoğunlukları, gözenek miktarları, sertlikleri, basma dayanımları deneysel olarak, ısıl iletkenlikleri ise hem deneysel hem de sayısal olarak belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapı incelemeleri sonucunda SiC tozların Al2014 matris içerisinde düzgün olarak dağıldıkları belirlenmiştir.

1.1. Kaynak Özetleri

Oh ve diğerleri [50]; çalışmalarında sıvı alümiyum alaşımları tarafından seramik parçacıkların ıslatılabilirliğini incelemiştir. Islatılabilirlik deneylerinde SiC ve B₄C parçacıklar, 5mm iç çapında ve 135 mm uzunluğunda kuvars tüplerin içerisine sıkıştırılmış ve oluşturulan 30mm uzunluğundaki kompaktların içerisine saf Al, Al-2Cu, Al-4.5Cu, Al-2Si, Al-4.5Si, Al-2Mg, Al-4.5Mg'den oluşan 7 farklı alümiyum alaşımı 700°C, 800°C ve 900°C sıcaklık ve 2, 5 ve 10 dakika sürelerde basınçlı infiltrasyon yöntemi ile infiltre edilmiştir. Sonuç olarak eşik basıncın bütün seramik-metal sistemleri için artan sıcaklık ile azaldığı tespit edilmiştir. Her iki takviye sisteminde de Mg'un eşik basıncı önemli ölçüde azalttığı, Cu ve Si'un ıslatmada daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Durman ve diğerleri [46]; Alümiyum-silisyum esaslı LM13 alaşımını matris malzemesi olarak, kısa saffil fiberleri ise takviye elemanı olarak kullanara k%10-15-20-25-30 takviye hacim oranlarında kompoziti basınçlı döküm yöntemi ile üretmişlerdir. üretilen kompozitlerin yoğunluk ve sertliğinin artan takviye-hacim oranı ile arttığını belirlemişlerdir. Artan takviye-hacim oranı ile gözenek miktarının da arttığını ifade etmişlerdir.

Chong ve diğerleri [82]; SiC takviyeli alümiyum alaşımı matrisli kompoziti basınçlı infiltrasyon tekniğini kullanarak üretmişlerdir. infiltrasyon için gerekli eşik basıncın artan SiC parçacık büyüklüğü ve artan infiltrasyon sıcaklığı ile azaldığını tespit etmişlerdir. Matris alaşımına %1 Mg ilavesinin eşik basıncı düşürdüğünü gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca artan infiltrasyon sıcaklığı ile gözenek miktarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Alonso ve diğerleri [106]; Çalışmalarında basınçlı infiltrasyon tekniğini kullanarak sıvı metal/seramik takviye arayüzeyinde ıslatma, infiltrasyon kinetikleri ve eşik basıncı gibi parametreleri incelemiştir. Deneylerde matris alaşımı olarak bir Al-%1Pb alaşımı ve 7.5µm ile 150µm arasındaki boyutlarda Al₂O₃, SiC ve TiC parçacıklar kullanmışlardır. Takviye parçacıklar 5mm iç çapında ve 200mm uzunluğundaki kuvars tüplere sıkıştırılarak yaklaşık 35mm uzunluğunda kompaktlar elde edilmiştir. İçerisinde kompakt bulunan borular yaklaşık 750°C sıcaklıktaki sıvı

metalin içerisine daldırılarak sıvı metalin yüzeyine N₂ gazı ile basınç uygulanmıştır. Uygulanan basınç ve zamana göre kompaktlardaki infiltrasyon mesafeleri tespit edilmiştir. Deneysel sonuçları, SiC, TiC ve Al₂O₃ parçacıklar için eşik basınçlarında önemli farklılıklar olmadığını göstermiştir. Çalışmada ayrıca saf alüminyuma %1 Pb ilavesinin eşik basıncını yaklaşık %30 oranında azalttığı da tespit edilmiştir.

Han ve diğerleri [110]; Sessile drop metodunu uygulayarak sıvı alüminyum tarafından SiC parçacıkların ıslatılabilirliğini ve ıslatmada SiC parçacığındaki serbest silisyumun ve alüminyum alaşımdaki magnezyum, silisyum ve bakır alaşım ilavelerinin etkilerini araştırmışlardır. Reaksiyona bağlı SiC’de mevcut serbest silisyumun 740°C ile 1040°C sıcaklıklar arasında sıvı alüminyum tarafından ıslatılabilirliğini arttırmada etkili olduğu alüminyuma %5 Mg ilavesinin 700°C ile 960°C sıcaklıklar arasında ve bütün deney sürelerinde reaksiyon bağlı SiC’ün ıslatıldığını tespit etmişlerdir. Çalışmada buna ilaveten silisyum ve bakırın da ıslatmada olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Narciso ve diğerleri [107]; çalışmalarında 14 farklı tipteki SiC parçacıkları 5mm iç çapında ve 200mm uzunluğundaki kuvars tüplere doldurarak 35mm yüksekliğinde kompaktlar oluşturmuşlardır. İnfiltrasyon 750°C sıcaklıkta, matris olarak saf alüminyum ile basınçlı infiltrasyon yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. İnfiltrasyon deneyleri kompaktın içerisine gaz verilerek ve verilmeden tekrarlanmıştır. Çalışmada uygulanan infiltrasyon süresi 2 dakika, kompaktın sıvı metalin içerisinde kalma süresi 3 dakikadır. SiC parçacıkların 1000°C sıcaklıkta 18 saat süre ile okside edilmesi, eşik basıncını yaklaşık %10 azalmasını sağlamıştır. Aynı şekilde inert atmosfer uygulaması eşik basıncını %6 ile 11 arasında azaltmıştır. Bunun yanı sıra eşik basıncın parçacığın tipine bağlı olmadığını da belirlemişlerdir.

Narciso ve diğerleri [108]; Yaptıkları çalışmada matris malzemesi olarak alüminyum, takviye elemanı olarak SiC kullanarak basınçlı infiltrasyon yönteminde sıcaklığın infiltrasyona etkisini incelemişlerdir. 750°C ile 1000°C sıcaklık aralığında yapılan deneylerde takviye-hacim oranı yaklaşık olarak %57’dir. Sonuç olarak SiC kompaktların infiltrasyonunda sıcaklık artması ile eşik basıncın azaldığını belirlemişlerdir.

Cheng ve Chung [105]; Nikel kaplanmış SiC takviyeli , Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımları ile 830°C ile 950°C infiltrasyon sıcaklıkları arasında basınçsız infiltrasyon tekniği ile kompozit üretmişlerdir. Aynı şartlar altında Nikel kaplaması yapılmamış kompozitleri üretememişlerdir. Al-SiC reaksiyonunun basınçsız infiltrasyon yönteminde infiltrasyon süresinin daha fazla olması nedeni ile basınçlı infiltrasyon yöntemindekinden daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir.

Chung ve Lin. [104]; vakum infiltrasyon yöntemi ile 80µm tane büyüklüğüne sahip SiC parçacıkları Ni kaplayarak ağırlıkça %5.9 Si ve %0.23 Mg içeren Al alaşımı içerisinde %50 takviye-hacim oranına sahip kompozit üretmişlerdir ve 700°C üzerindeki sıcaklıklarda infiltrasyonun tamamen oluştuğu ve infiltrasyon sıcaklığının artması ile infiltrasyon oranının arttığını belirtmişlerdir. Ni kaplanmamış SiC parçacıklarla yaptıkları deneylerde 20 dakikalık infiltrasyon süresi sonrasında bile infiltrasyonun olmadığını ifade etmişlerdir.

Lee ve Kwon [78]; Basınçsız infiltrasyon tekniği ile %25 takviye-hacim oranına sahip SiC/Al alaşımı kompozitleri 700°C ve 1000°C infiltrasyon sıcaklarında basınçsız infiltrasyon tekniği ile üretmişlerdir. infiltrasyon sıcaklığının artması ile 800°C'den sonra arayüzey reaksiyonunun bir sonucu olarak Al₄C₃ ve Si oluştuğunu bildirmişlerdir. Buna ilaveten arayüzeyde Al₄C₃ miktarı kadar MgAl₂O₄ spinelide gözlemlenmiştir.

Pech-Canul ve diğerleri [109]; SiC parçacıkları alüminyum alaşımları ile basınçsız infiltrasyon yöntemini uygulayarak infiltre etmişler ve ıslatmada silisyumun rolünü incelemişlerdir. Çalışmada silisyumun Al/SiC metal matrisli kompozitlerin üretiminde ıslatma bakımından önemli olduğu tespit edilmiştir. Alaşımda bulunan silisyum, Al₄C₃ ve Al₄SiC₄ gibi istenmeyen intermetaliklerin oluşmasına neden olan kimyasal reaksiyonları geciktirmektedir. Her iki Al₄C₃ ve Al₄SiC₄ karasız olup, metal matrisli kompozitlerde oluşması, atmosferdeki nem ile reaksiyona girerek kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini azaltmaktadır. Silisyumca zengin alaşımlar ve SiC ile üretilen Al/SiC kompozitler, silisyumsuz alaşımlar ile üretilen kompozitlere göre oldukça üstün mekanik özellikler göstermektedirler.

Y. Sahin [85]; Matris malzemesi olarak Al 2014, takviye elemanı olarak ise 29 μ m, 45 μ m ve 110 μ m tane boyutuna sahip SiC kullanarak, 750⁰C’de karıştırmalı döküm yöntemiyle %10 ve %20 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmiştir. Mikroskobik incelemede; Al matris içerisinde, SiC partiküllerin homojen olarak dağıldıklarını ve arayüzeyde gözenek olmadığını gözlemlemiştir. Takviye elemanının tane boyutunun azalması ile kompozitin yoğunluğunun azaldığını, tane boyutunun ve takviye hacim oranının artması ile de porozitenin azaldığını belirlemiştir. Kompozitin sertliğinin SiC partiküllerinin ağırlıkça oranlarının artmasıyla, doğrusal olarak arttığını tespit etmiştir.

H. Ahlatçı ve diğerleri [111]; Matris malzemesi olarak %98 saflıkta Al, takviye elemanı olarak ise 13 μ m, 23 μ m ve 37 μ m tane boyutuna sahip SiC kullanarak, 750⁰C sıcaklık ve 1050kPa, 750kPa, 550kPa’lık 3 farklı basınç değeri ile basınçlı infiltrasyon yöntemiyle yaklaşık %60 takviye-hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. Sıvı Al ile preform arasındaki sıcaklık farkının ortadan kalkması için 3 dakikalık infiltrasyon süresi kullanmışlardır. Mikroskobik incelemede; Al matriste, SiC partiküllerin dağılımının uniform olduğu ve bir miktar gözeneklerin SiC partiküllerin uçlarına yakın konumda bulunduğunu gözlemlemiştir. SiC partikül boyutunun azalması ile artan poroziteyi, partiküller arası boşlukların azalmasına ve Al’un, SiC’ü ıslatmamasına dayandırmışlardır. SiC partikül boyutunun azalması ile, kompozitin mukavemet ve tokluk değerinin artarken aşınma direncinin azaldığını literatürdeki benzer çalışmalarda olduğu gibi belirlemiştir. Ayrıca aşınma deneyleri sırasında kompozitin yüzeyinde demirce zengin oksit tabakasının bulunduğunu ve bu tabakanın yağlayıcı görevi yaparak, metal-metal aşınmasını iyileştirdiklerini tespit etmişlerdir.

A. Daoud [112]; matris malzemesi olarak Al 2014, takviye elemanı olarak ise 10 μ m çapında, Ni kaplı karbon fiberler kullanarak, 730⁰C sıcaklık, 50 kPa basınç değerinde 2 dakikada basınçlı infiltrasyon yöntemiyle %30 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmiştir. Mikroskobik incelemede, fiberlerin düzgün dağıldıkları ve tam bir infiltrasyonun meydana geldiği gözlemlerken, fiber kümelenmelerine ve kalıntı porozite izlerine rastlamamıştır. Yapılan EDXA analizi sonucunda arayüzeyde kırılğan Al₃Ni fazına rastlamıştır. Kompozitin katı aşınma değerinin 300N yükte, Al 2014 matrisin ise 100N yükte ve kompozitin seizure direncinin 550N yükte, Matrisin

ise 100N yükte gerçekleştiğini belirlemiştir. Kompozitin aşınma direncindeki artışı, kompozitin yüzeyinin garfit film tabakasıyla kaplanmasına ve karbon fiberlerin mikroçatlakların ilerlemesine engel oluşturmaya bağlamıştır.

M. Mizumoto ve diğerleri [114]; matris malzemesi olarak Al + %4 Cu, Al + %7 Si ve AZ91 alaşımı olmak üzere 3 farklı alaşım, takviye elemanı olarak 100µm tane boyutuna sahip SiC partiküller ve 14µm çapında ve 1mm uzunluğunda SiC fiberler kullanılarak, 746⁰C sıcaklık, 250 kPa basınç değerinde düşük basınçlı infiltrasyon yöntemi ile %10, %20, %40 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. Isıl genleşme katsayısının üretilen kompozitin heryerinde neredeyse aynı olduğunu bildirmişlerdir. Arayüzeyde herhangi bir faz tespit etmemişlerdir. Üretilen kompozitler içerisinde melez kompozitin dayanımının en yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

A. Daoud [113]; matris malzemesi olarak Al 2014, takviye elemanı olarak ise 10µm çapında, Ni kaplı karbon fiberler kullanarak, 730⁰C sıcaklık, 50 kPa basınç değerinde 2 dakikada basınçlı infiltrasyon yöntemiyle %30 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmiştir. Karbon fiberler Ni kaplanmadan önce ıslatma olmadığından dolayı infiltrasyon gerçekleşmediğini aktarmıştır. Mikroskopik incelemede, fiberlerin düzgün dağıldıkları ve tam bir infiltrasyonun meydana geldiği gözlemlerken, fiber kümelenmelerine ve kalıntı porozite izlerine rastlamamıştır. Yapılan EDXA analizi sonucunda arayüzeyde kırılğan Al₃Ni fazına rastlamıştır. Al 2014 matris ile üretilen kompoziti karşılaştırdığında, kompozitin elastisite modülünde ve maksimum çekme mukavemetinde belirgin bir artış, uzama miktarında ise azalma olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çatlak oluşumunun zayıf Al matriste başladığını ve ilerleyerek daha sonra fiberinde kesilmesine yol açtığını belirlemiştir.

A. Rodriguez-Guerrero ve diğerleri [116]; matris malzemesi olarak ticari saflıkta (%99.98) Al, ve Al + %12 Si'un içine belirli oranlarda katılan Cu, Ti, Mg ile yedi farklı alaşım, takviye elemanı olarak ise 15µm, 27µm, 64µm ve 124µm tane boyutuna sahip SiC kullanarak, 640⁰C ile 740⁰C arasında üç farklı sıcaklık ve 630kPa ile 700kPa arasında 6 farklı basınç değerinde basınçlı infiltrasyon yöntemini kullanarak 80 saniyelik infiltrasyon süresi ile yaklaşık %50 takviye hacim oranına

sahip metal matrisli kompozit üremişlerdir. Kompozite Ti ve Cu ilavesinin infiltrasyon üzerinde herhangi bir etkisinin olmamasına rağmen, kompozite Mg ilavesinin yüzey gerilimini düşürüp, ıslatma kabiliyetini artırarak infiltrasyonu kolaylaştırdığını tespit etmişlerdir. İnfiltrasyon oranının artan infiltrasyon sıcaklığı ile arttığını bildirmişlerdir.

S. Ren ve diğerleri [115]; matris malzemesi olarak saf Al içine değişik miktarlarda Si ve Mg eklemek suretiyle altı farklı alaşım, takviye elemanı olarak ise 14µm ve 7µm tane boyutuna sahip α-SiC partiküller kullanarak, 1000⁰C sıcaklık ile basınçsız infiltrasyon yöntemiyle 90 dakikalık infiltrasyon süresiyle yaklaşık %45 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. İyi bir ıslatma ve matris takviye arayüzeyinde oluşan kırılğan Al₄C₃ fazından kurtulmak için (N₂) azot atmosferi ve Mg ile Si ilavesi kullanmışlardır. Özellikle 1000⁰C'de ağırlıkca %12 Si ilavesiyle arayüzey reaksiyonlarından kurtulduklarını belirtmişlerdir. Ağırlıkca %6 Si ve %4 Mg'dan daha az miktarlarda matrise ilave ettiklerinde zayıf termo-mekanik özellikler gözlemişlerdir. Matrise %6'nın altında Si ilavesinin; elastisite modülünü, ısıl uzama kararlılığını, ısıl iletkenliği arttırdığını ve ısıl uzama katsayısını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Matrise ilave edilecek optimum Mg oranının ağırlıkca %4-8 arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Z. H. Tan ve diğerleri (2007); yaptıkları çalışmada %50 takviye-hacim oranına sahip SiC parçacıklar ile güçlendirilmiş Al 2014 metal matrisli kompozitlerin basınç özelliklerini Inston test cihazı ile ve Hopkinson basınç çubuğu kullanarak araştırmışlardır. Basma esnasındaki gerilme-gerinim eğrileri 1x10⁻³'den 2.5x10³ 1/s gerinim değer aralığında elde etmişlerdir. Kırılma (kopma) yüzeyini SEM ile incemiş ve SiC parçacık ile güçlendirilmiş Al2024 matrisli kompozitlerin yüksek gerinim değeri hassasiyeti sergilediğini bildirmişlerdir. Kompozitlerin gerilme değerinin, artan gerinim değeri ile artan-azalan bir görüntü oluşturduğunu belirtmişlerdir.

J.-M. Molina ve diğerleri (2008); matris malzemesi olarak ticari saflıkta (%99.99) Al'un içine Ağırlıkca %12 Si katılmış alaşım, takviye elemanı olarak ise ortalama tane boyutu 100µm olan elmas ve SiC partiküller kullanarak, 740⁰C ile 600⁰C değerleri arasında sıcaklık ve 1000kPa basınç değerinde, sıvı metal infiltrasyonu yöntemi ve 1 dakikalık infiltrasyon süresi ile yaklaşık %50 takviye hacim oranına

sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. En yüksek ısı iletim katsayısının elmas partiküllerle güçlendirilmiş kompozitte, en yüksek ısı taşınım katsayısının ise SiC ile güçlendirilmiş kompozitte meydana geldiğini belirtmişlerdir.

J. S. Kwak ve diğerleri [117]; yaptıkları çalışmada N₂ gaz atmosferinde, basınçsız infiltrasyon yöntemi ile SiC parçacıklarla güçlendirilmiş Al matrisli Kompozit malzemeler üretmişlerdir. SiC içeriğinin ve Al matrise katılan Mg ilavesinin üretimi nasıl etkilediğini araştırmışlar ve aşınma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve aşınma kuvvetleri üstündeki etkisini değerlendirerek, aşınma parametrelerini S/N oranını kullanarak optimize etmişlerdir.

S.Valdez ve diğerleri [118]; %8.7 oranında Mg ilave edilmiş Al alaşımını, 3µm tane büyüklüğüne sahip SiC parçacıklar ile %10 takviye-hacim oranı oluşturacak şekilde vortex tekniği kullanarak güçlendirmişlerdir. 700°C sıcaklık değeri kullanmışlar ve SiC parçacıkları 470°C'de ön ısıtmaya tabi tutmuşlardır. Vortex tekniğinde 1150 dev/dak devir ve 15 dakika süre kullanmışlardır. Alaşım içerisindeki SiC dağılımının mükemmel olduğunu belirlemişler ve ikincil kimyasal reaksiyonları gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Ayrıca mekanik özelliklerin çok hassas olduğunu ve katılma parametreleri ve proses koşulları ile yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Vortex tekniğinin, ticari kompozit tekniği ile karşılaştırıldığında çok daha mükemmel sonuçlar meydana getirdiğini bildirmişlerdir.

Ke Chu ve diğerleri [119]; matris malzemesi olarak Al + %12 Si (ZL102), takviye elemanı olarak ise 10µm, 14µm, 28µm, 40µm ve 70µm tane boyutuna sahip %95 saflıkta α-SiC kullanarak, 600°C ön ısıtma olmak üzere 800°C sıcaklık ve 80MPa basınç değerinde yüksek basınçlı infiltrasyon yöntemini kullanarak 5 dakikalık infiltrasyon süresi ile yaklaşık %60 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üremişlerdir. Takviye elemanı olarak tekli model (28µm-40µm-70µm), ikili model (70µm:28µm = 3:2), üçlü model (70µm-40µm-10µm = 5:2:1) kullanmışlardır. Mikroskopik incelemede homojen bir dağılım gözlemlemişlerdir. Takviye elemanının tane boyutunun büyümesi ile ısıl iletkenliğin arttığını, elektrik iletkenliğinin ise azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca ikili modelde (40µm-14µm = 3:2) en düşük ısıl ve elektrik iletkenliği tespit etmişlerdir.

A.M. Zahedi ve diğeri [120]; matris malzemesi olarak Al + %3 Mg, takviye elemanı olarak ise 20µm, 50µm ve 90µm tane boyutuna sahip boron nitrit (BN) ile kaplı SiC kullanarak, 950°C ve 1350°C sıcaklık ve 10⁻⁴ torr vakum altında nitrojen atmosferinde 75 dakika bekleterek %40-%50-%60 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. Mikroskopik incelemede takviye-matris arayüzeyinde güçlü yapışma görmüşler ve yapışmanın uzun süre beklenerek difüzyon mekanizması ile elde edildiğini belirlemişlerdir. Kompozitin yoğunluğunun; SiC'ün yoğunluğunun azalması ile azaldığını, artan SiC tane boyutu ile de arttığını tespit etmişlerdir. Artan SiC tane boyutu ile darbe dayanımının arttığını bildirmişlerdir.

M. Montoya-Davila ve diğeri [121]; matris malzemesi olarak ticari saflıkta (%98.22) Al ve Al + %13 Mg + %1.8 Si, takviye elemanı olarak ise 10µm, 54µm, 86µm ve 146µm tane boyutuna sahip silica ile kaplı ön şekil verilmiş SiC kullanarak, 1100°C sıcaklıkta ve argon atmosferini takiben nitrojen atmosferinde 60 dakika bekleterek sıvı infiltrasyon metodu ile yaklaşık %60 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmişlerdir. İnfiltrasyon için 10kg kapasiteli indüksiyon ocağı kullanmışlardır. Takviye elemanı olarak tekli model (10µm-54µm-86µm-146µm), ikili model (10µm:54µm = 1:5), üçlü model (10µm-54µm-86µm = 1:1:4), dördü model (10µm-54µm-86µm-146µm = 1:1:1:3) kullanmışlardır. Matris-takviye arayüzeyinde kırılğan Al₄C₃ fazına rastlamamışlar ve bunun nedeni olarak SiC partiküllerin silica ile kaplanması olduğunu tespit etmişlerdir. Artan SiC tane boyutu ile çukurlaşma korozyon potansiyelinin (E_{pit}) azaldığını belirtmişlerdir. Korozyon ve pasivasyon potansiyelinin takviye elemanı tane boyutundan etkilenmediğini söylemişlerdir.

R. Çalın (2010); matris malzemesi olarak Al 7075 alaşımı, takviye elemanı olarak ise 105µm tane boyutuna sahip SiO₂ kullanarak 800±5°C sıcaklık 550mmHg vakum değerinde vakum infiltrasyon tekniği ile 3 dakikalık sabit infiltrasyon süresinde, %30-%40-%50 takviye hacim oranına sahip metal matrisli kompozit üretmiştir. Mikroskopik incelemede, takviyenin matris içerisinde homojen dağıldığını gözlemlemiştir. Kompozitin ısı iletkenliğinin azalan takviye hacim oranı ile arttığını tespit etmiştir.

1.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla sayıda, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Bir kompozit malzeme genelde ana faz ve tali faz olarak adlandırılan iki fazdan oluşur. Ana faz genelde düşük elastikiyet modülü, düşük dayanıma sahip reçine veya metalik matris, tali faz ise ana fazın içine dağılmış durumda bulunan takviye elemanlarından oluşmaktadır.

Kompozit malzemeler aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Arkeologlar Mısır'da M.Ö. 2800 yıllarında lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Yine Orta Doğu'da daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları, üst üste konulan malzemelerle farklı lif yönleri oluşturularak kompozit yapılmıştır. Orta Çağ Avrupası'nda ok başı, farklı tabakalı malzemelerden yapılmıştır [3].

Kompozitler tek bileşenli metaller, seramikler ve polimerler gibi malzemelerde ikinci bir fazın veya fazların suni bir şekilde eklenmesiyle elde edilir. Kompozit malzemelerde genellikle aşağıdaki dört özellik aranmaktadır.

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli arayüzlerle ayrılmış en az iki malzemenin biraraya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak biraraya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olması.

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma ve yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci, kırılma tokluğu yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği veya ısıl direnç, akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu, rijitlik, ağırlık, görünüm gibi özelliklerinden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır[4].

Seramik takviyeli metal matris kompozitler, yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve darbe özellikleri, yüksek yüzey dayanıklılık ve yüzey kusurlarına karşı düşük

duyarlılık, yorulma ve aşınma direnci ile birlikte istenilen termal özellikler (düşük termal genleşme katsayısı ve iletkenlik) gösterirler [5]. Polimer matrisli kompozitlerle karşılaştırıldığında, metal matrisli kompozitler daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Seramik matrisli kompozitlerle karşılaştırıldığında ise metal matrisli kompozitler daha üstün kırılma tokluğuna ve daha kolay üretilebilirliğe sahiptirler.

Seramik takviyeli metal matrisli kompozitler sürekli ve süreksiz takviyeli olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır [5]. Sürekli takviyeli metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak fiber kullanılmakta ve fiberin yönlenmesine bağlı olarak kompozitin mukavemeti artmaktadır. Sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitlerde, takviye faz yük taşıma görevine sahipken, metalik matris takviye faza bağlanma, yük transferi ve dağılımını sağlamaktadır. Ancak sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozit uygulamalarının muhtemelen birçoğunda mekanik, fiziksel ve ısıl özelliklerin iyileştirilmesi maliyeti artırmaktadır. Süreksiz takviyeli metal matrisli kompozitler ise izotropik özellik göstermektedir [6]. Metal matrisli kompozitlerde süreksiz takviye fazın şekli de önemlidir. Partikül ve kılcal kristal takviyeli metal matrisli kompozitlerde, matris yük taşıma özeliğine sahiptir. Takviye faz ise matrisi deformasyona uğratarak metal matrisin mukavemetini artırmaktadır [7]. Matrisin deformasyonu, takviye elemanının partikülleri arası mesafe ve partikül çapı ile kontrol edilir [8].

Genellikle metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak oda ve yüksek sıcaklık mukavemet ve direngenliği yüksek olan seramikler (oksit, karbür ve nitrür) kullanılmaktadır. Takviye malzemesi olarak SiC, Al₂O₃, TiB₂, B₄C, AlN, BN ve grafit örnek verilebilir. Ayrıca MgO de takviye elemanı olarak kullanılmıştır [9].

Al, Li, Mg, Si, Ti, Cu, Ni, Zn, Fe ve Pb gibi metal alaşımları ve bütün yapısal alaşımların hepsi metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak düşünülebilir. Metal matris seçiminde aşağıdaki şartlar kompozitin performansını zayıflatabilir [10]:

- a) Üretim veya servis sırasında oluşan takviye/matris reaksiyonları,
- b) Takviye ve matris arasındaki termal genleşme farklılığı nedeniyle oluşan termal

gerilmeler,

c) Kompozite uygulanan dinamik yüklemenin matris yorulma davranışına etkisi.

1.3. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

Al_2O_3 yada SiC parçacıklarla güçlendirilmiş, matris malzemesi olarak Al, Ti ve Ni gibi alaşımların kullanıldığı metal matrisli kompozitlerin üstün mekanik özellikler sağlama potansiyeli vardır. Bu özellikler arasında yüksek tokluk, yüksek akma dayanımı, aşınma direnci ve iyi oksidasyon ve korozyon direnci sayılabilir. Bu nedenler parçacık ile güçlendirilmiş kompozitleri; otomotiv uygulamalarında, uzay çalışmalarında, sivil mühendislikte, ordu ve diğer alanların çok geniş bir kısmında cazip hale getirmektedir[48-49].

1.3.1. Havacılık Uygulamaları

1999'larda dünya genelinde metal matrisli kompozit üretiminin miktar bakımından %5'i ve ticari değer bakımından ise %14'ü havacılık endüstrisi tarafından yapılmaktaydı. İlk metal matrisli kompozitin gelişimi, havacılık endüstrisinin yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamak için teşvik edilmiştir. Çizelge 1.3.1.1 havacılık endüstrisinde kullanılan metal matrisli kompozit malzemeler ve muhtemel uygulama alanlarını göstermektedir [11].

Çizelge 1.3.1.1. Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları [11]

Matris	Takviye	Muhtemel Uygulamalar
Alüminyum Magnezyum Kurşun Bakır	Grafit	Uydu, roket ve helikopter parçaları Uzay ve uydu parçaları Akümülatör klişeleri Elektrik kontaktı ve bağlantıları
Alüminyum Magnezyum Titanyum	Bor	Kompresör bıçakları ve yapı desteği Anten yapıları Jet motoru fan bıçakları
Alüminyum Titanyum	Bor	Jet motoru fan bıçakları Yüksek sıcaklık yapıları ve fan bıçakları
Alüminyum Kurşun Magnezyum	Alümina	Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken sınırlayıcı Akümülatör klişeleri Helikopter iletim yapıları
Alüminyum Titanyum Co esaslı super alşm.	Silisyum karbür	Yüksek sıcaklık yapıları Yüksek sıcaklık yapıları Yüksek sıcaklık motor parçaları
Süper alaşım	Molibden	Yüksek sıcaklık motor parçaları
Süper alaşım	Tungsten	Yüksek sıcaklık motor parçaları

Havacılık uygulamalarında maliyetten çok performans önemlidir yani verilen bir parçanın fonksiyon maliyeti göz önüne alınmalıdır. Bazı durumlarda seramik takviyeli metal matrisli kompozitler diğer malzemelere nazaran uzay gibi çevre şartlarına daha dayanıklıdır. Örneğin füze yapımında zehirli berilyum yerine hafif SiC partikül takviyeli Al matris kompozitler kullanılmaktadır. Füze kanatları olarak yoğunluğu yüksek geleneksel titanyum malzemelerin yerine SiC takviyeli Al matris kompozitin kullanımı uçan cihazın ağırlığını azaltmaktadır. Sesten hızlı uçuşlarda termal ısınmaya karşı bu kompozitler yüksek sıcaklık mukavemeti gösterirler. Uçak gövdesinin kargo katında panel olarak kullanılan kompozitler uçağın ağırlığını % 35 kadar azaltmaktadır [12]. Uçağın elektronik raflarında, SiC partikül takviyeli alüminyum matris kompozitler karbon/epoksinin yerini almıştır.

1.3.2. Otomotiv Uygulamaları

2000’li yıllarda daha ucuz ancak daha güçlü kompozit sistemlere doğru bir yöneliş başladığı için partikül, kısa fiber veya kılcal kristal gibi süreksiz takviye içeren metal matris kompozitler üzerine çalışmalar yapılmıştır [11]

İlk başarılı ticari uygulama, dizel motorlarında süreksiz seramik (alumina silikat) fiber takviyeli alüminyum pistonlar için 1980’lerde Toyota tarafından gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1.3.2.1 çeşitli üreticiler tarafından seramik takviyeli alüminyum matris kompozitlerden üretilen otomotiv parçalarını göstermektedir.

Çizelge 1.3.2.1. Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler[11].

Takviye	Parça	Özellik	Avantajları	Üretici
SiC(p)	Piston	Aşınma direnci, yüksek mukavemet	Ağırlık azalması	Dural, Martin Marietta, Lanxide
Al ₂ O ₃ (f)	Piston ring kanalı	Aşınma direnci	Daha yüksek çalışma sıcaklığı	Toyota
Al ₂ O ₃ (f)	Piston dişi	Yorulma direnci, sürtünme	Al kullanma fırsatı	T&N, JPL, Mahle ve diğerleri
SiC(p)	Fren çarkı, silindir gömleği	Aşınma direnci	Ağırlık azalması	Dural, Lanxide
SiC(p)	Kardan mili	Özel direngenlik	Ağırlık azalması	GKN, Dural
SiC(w)	Biyel	Özel direngenlik, mukavemet ve termal genleşme	Ağırlık azalması	Nissan
Al ₂ O ₃ (f)	Biyel	Özel direngenlik, mukavemet ve termal genleşme	Ağırlık azalması	Dupont, Chrysler
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -C	Silindir gömleği	Aşınma direnci, genleşme	Artan ömür, azalan boyut	Honda
TiC(p)	Piston, biyel	Aşınma, yorulma	Azalan ağırlık ve aşınma	Martin Marietta
Al ₂ O ₃	Valf yayı, kam	Aşınma, mukavemet	Azalan ağırlık ve aşınma	Lanxide

Otomobil endüstrisinde, örneğin dizel motorlarda piston başı olarak geleneksel nikel ile alaşımlandırılmış dökme demir yerine alumina fiber takviyeli alüminyum matris kompozitler tercih edilmektedir. Piston başı olarak seramik takviyeli metal matris kompozitlerin kullanılması pistonun çalışma ömrünü 150 saatten 1000 saate arttırmıştır [13].

Fren rotor disk üretiminde Ford ve Toyota SiC partikül takviyeli Al-Si kompozit kullanılmaktadır. Seramik takviyeli alüminyum matris kompozitin termal genişmesi çeliğe yakın olduğu için alüminyum alaşımlarında karşılaşılan biyel başı krank mili açıklık problemleri azalmaktadır [14].

1.3.3. Diğer Mühendislik Uygulamaları

Elektronikte kullanılan paketleme malzemeleri; düşük ve uygun termal genişleme katsayısına, yüksek termal iletkenliği, düşük maliyet ve düşük yoğunluğa sahip olmalıdır. Ancak geleneksel paketleme malzemeleri bütün bu özellikleri karşılamadığından seramik takviyeli metal matrisli kompozitler geliştirilmiştir [14].

1.4. Alüminyum Matrisli Kompozitler

Düşük üretim sıcaklığı, düşük yoğunluk, düşük elektrik direnci, yüksek termal iletkenlik, düşük maliyet, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve iyi işlenebilirlik özellikleri istenen otomotiv ve elektronik paketleme uygulamalarında matris malzeme olarak alüminyum tercih edilmektedir [15]. Çizelge 1.4.1'de alüminyum ile diğer metallerin karşılaştırmalı olarak yoğunluk ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Magnezyum ve Berilyum hariç diğer metallere göre daha hafif olan alüminyum sünek ve yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir. Benzer yoğunluk, ergime sıcaklığı ve üretim yöntemlerine sahip olan magnezyum ve alaşımları düşük korozyon direncinden, berilyum ise zehirli olduğundan dolayı daha az kullanılmaktadır [16]. Alüminyum üzerinde oluşan koruyucu oksit tabakası alüminyumun atmosferik korozyona karşı direncini yükseltmektedir. Ayrıca alüminyum manyetik ve zehirleyici değildir. Elektrik iletkenliği saf bakırın yaklaşık %60'ı kadar olan alüminyum yüksek termal iletkenlik göstermektedir. Ayrıca alüminyumun yoğunluğu bakıra nazaran daha düşüktür.

Çizelge 1.4.1. Matris malzemesi olarak seçilen metallerin yoğunluk ve fiziksel özellikleri [17].

Metal	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Mukavemet (MPa)	Termal İletkenlik (W/m°C)	Termal Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)
Alüminyum	2,7	660	68,9	290	221	23,6
Magnezyum	1,74	649	44,0		100	26,1
Ti-6Al-4V	4,51	1660		985	16	9,5
Berilyum	1,85	1350	310	1100		11,6
Bakır	8,90	1083	124	413	391	16,5
Tungsten	19,3	3410	345	2890	178	4,6

1.5. Alüminyum Matris Kompozitlerin Yapısal Özellikleri

Tüm diğer kompozitler gibi alüminyum matrisli kompozitlerde yapılarında ana faz ve tali faz olmak üzere iki faz barındırırlar. Ana faz metalik matristir ve tali faza bağlanma, yük transferi ve dağılımını sağlamaktadır. Tali faz ise takviye elemanıdır ve yük taşıma görevine sahiptir.

1.5.1. Takviye Elemanı

Takviye faz, matrisi deformasyona uğratarak metal matrisin mukavemetini ve sertliğini artırmaktadır. Deformasyon, partiküller arası mesafe ve partikül çapı ile kontrol edilir[18]. Seramik takviyeli metal matrisli kompozitler sürekli ve süreksiz takviyeli olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır[19]. Sürekli takviyeli metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak fiberler kullanılırken, süreksiz takviyeli metal matrisli kompozitlerde parçacık seramikler kullanılmaktadır. Bu seramiklerin tane büyüklüğü yaklaşık olarak 1-500µm aralığındadır. Süreksiz takviyeli metal matrisli kompozitler izotropik özellik göstermektedirler. Yani kompozit içerisinde her yönde kompozitin özellikleri aynı kalmaktadır[20].

Kompozitlerin mukavemetinde etkin bir artış partikül takviyesinden daha çok fiber takviyesi ile mümkündür. Fakat fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri takviyenin yönlendirilmesine bağlı ve takviyenin yönlendirilmesinde pahalı bir işlem olduğundan maliyeti yüksektir. Partikül takviyeli kompozitler ise yapısal uygulamalar için beklenen özellikleri veren izotropik malzemeler olduğundan maliyeti düşüktür. Takviye seçimi partikül şekli, kompozit üretim yöntemi, maliyet ve kompozitin uygulama alanı dikkate alınarak yapılmaktadır.

Düşük termal genleşme katsayısına sahip alüminyum matris kompozitler üretmek için takviye elemanı düşük termal genleşme katsayısı, yüksek elastisite modülü ve iyi bir matris-takviye bağlanma özelliklerine sahip olmalıdır [21]. Elektronik paketleme uygulamalarında, yüksek termal iletkenlik ve yüksek elastisite modülü ile birlikte düşük yoğunluk ve düşük termal genleşme katsayısına sahip birbirine uyumlu alüminyum matris bileşenleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Takviye elemanı ve matris arasındaki birleşmeyi sağlayan sınırlı reaksiyona rağmen takviye elemanı seçimi matris ve takviye arasında gerçekleşen reaksiyona göre belirlenmektedir. Üretim sıcaklığı arttığında bu reaksiyon daha fazla olmaktadır. Bu nedenle kompozitin yüksek sıcaklık direnci açısından takviye elemanı ve alüminyum matris arasında reaksiyonun gerçekleşmesi istenilmez. Çizelge 1.5.1.1'de alüminyum matris kompozitlerde kullanılan takviye elemanlarının özellikleri verilmektedir. Düşük termal genleşme katsayılı kompozitler üretmek için en iyi takviye elemanları SiC, AlN ve Si partikülleridir [21]. Si partikülleri SiC partiküllere göre daha düşük elastisite modülüne sahip olduğundan (Çizelge 1.5.1.1) alüminyum matrisli kompozit üretiminde genellikle takviye elemanı olarak Si partikülleri yerine SiC partikülleri kullanılmıştır.

Çizelge 1.5.1.1. Alüminyum matrisli kompozitlerde kullanıma potansiyeline sahip takviye elemanlarının özellikleri [21].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Mukavemet (MPa)	Termal İletkenlik (W/m°C)	Termal Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)
Karbür						
SiC_w	3,21	400	0,20	2068	32	3,4
SiC_p	3,21	400	0,20	2068	120	3,4
B ₄ C	2,52	448	0,21	2275	39	3,5
Nitrürler						
AlN	3,26	345	0,25	2137	150	3,3
Si ₃ N ₄	3,18	207	0,27		28	1,5
BN	2,25			1379	39	3,5
Oksitler						
Al ₂ O ₃	3,98	379	0,25	2068	30	7,0
SiO ₂	2,66	73,1	0,17	5860	1,4	<1
LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .4SiO ₂	2,38	67,6	0,19		1,3	<1
LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .8SiO ₂	2,39	69,0	0,18		1,3	<1
Al ₂ .TiO ₃	3,68	30,3	0,20		2,0	1,0
Diğerleri						
Si	2,33	112	0,42		100	3,0
C fiber	2,18	690			400	-1,5

Kompozit üretiminde genellikle karbür, nitrür, oksit ve borür gibi refrakter bileşiklerden oluşan endüstriyel tozlar kullanılmaktadır. Ancak daha çok tercih edilen süreksiz takviye elemanları partikül ve kılcal kristal formda SiC ve Al₂O₃'dür. SiC'ün sertliği, kırılmaya karşı direnci, elastisite modülü Al₂O₃'den daha yüksek, yoğunluğu ve ısıl genleşme katsayısı daha düşük olduğundan genelde SiC takviye elemanı olarak kullanılmaktadır [22]. Kompozitlerin mukavemetinde etkin bir artış partikül takviyesinden daha çok fiber takviyesi ile mümkündür. Fakat fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri takviyenin yönlendirilmesine bağlı ve takviyenin yönlendirilmesinde pahalı bir işlem olduğundan maliyeti yüksektir. Partikül takviyeli kompozitler ise yapısal uygulamalar için beklenen özellikleri veren izotropik malzemeler olduğundan maliyeti düşüktür. Takviye seçimi partikül şekli, kompozit üretim yöntemi, maliyet ve kompozitin uygulama alanı dikkate alınarak yapılmaktadır. SiC yüksek sertlik, elastisite modülü ve düşük termal genleşme katsayısına sahip kovalent bağlı bir bileşiktir. SiC partikül ve kılcal kristal formda diğer seramiklere

göre ergimiş alüminyum tarafından iyi bir ıslatabilirlik özelliği ve düşük maliyetinden dolayı alüminyum matris kompozitlerde tercih edilmektedir.

SiC'ler genel olarak CVD yöntemi ile karbon veya tungsten altlık üzerine, kaplama yolu ile üretilirler. Yaklaşık 1400 °C civarında maksimum kullanım sıcaklığına sahiptirler. SiC'ün en önemli avantajı, maruz kaldığı yüksek sıcaklık şartları altında özelliklerini muhafaza edebilmesidir. Bu takviye malzemesinin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıkta rijitlik ve mukavemet özelliklerini koruması ve ergimiş alüminyum içindeki etkisi bakımından bor'dan daha iyidir. Diğer bir üstünlüğü de bor'dan daha ekonomik olmasıdır. Ayrıca SiC'lerin termal genleşme katsayısı da alümina ile kıyaslandığında daha düşüktür. SiC'ün partikül ve whisker türleri de üretilmektedir. Partikül ve whisker tipinde SiC takviyeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelere, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme işlemleri yapılabilmesi de önemli bir avantaj teşkil eder[23].

SiC yüksek sertlik, elastisite modülü ve düşük termal genleşme katsayısına sahip kovalent bağlı bir bileşiktir. SiC partikül ve kılcal kristal formda diğer seramiklere göre ergimiş alüminyum tarafından iyi bir ıslatabilirlik özelliği ve düşük maliyetinden dolayı alüminyum matris kompozitlerde tercih edilmektedir. SiC ile güçlendirilmiş Al matrisli kompozitlerden imal edilmiş pistonlar ve bağlantı çubukları vardır[24].

SiC parçacıklar ile güçlendirilmiş metal matrisli kompozitler; havacılık-uzay taşımacılığı, otomotiv endüstrisi gibi alanlarda yapı malzemesi gibi uygulamaların mükemmel bir adayı olarak düşünülmektedir [25-26].

SiC, B₄C ile kıyaslandığında çok daha geniş bir alanda üretilmekte ve uygulama alanı olarak daha geniş bir sahaya sahiptir. SiC'ün balistik performansı B₄C'ye oldukça yakın olmakla birlikte, fiyatı B₄C'den oldukça düşüktür[27].

1.5.2. Matris

Matris, kompozit malzemelerde takviye fazını bir arada tutan, yükü takviyeye dağıtan ve takviyeyi çevresel etkilerden koruyan maddeye verilen addır[28]. İmalat aşamasında sıvı olup, daha sonra katı forma kolaylıkla geçebilmelidir.

Metal matrisli kompozitlerin matris malzemesi genelde alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Magnezyum, demir, titanyum ve süper alaşımlar gibi matris malzemeleri alüminyuma nazaran daha az kullanılmaktadır. Metal matris kompozitlerin spesifik uygulamalarında bakır, çinko ve kurşun gibi matris malzemeleri tercih edilmektedir[2].

Çoğu alüminyum alaşımlarının yoğunluğu saf alüminyuma yakındır. Diğer aday matris metallerle karşılaştığımız zaman saf alüminyum 660 °C’de ergimekte olup ve bu da toz metalurjisi gibi katı faz yöntemiyle veya geleneksel döküm yöntemleriyle alüminyum matris kompozitlerin üretimine imkân vermektedir.

Alüminyum matris kompozitler için çeşitli ısıl işlemler yapılabilir ve çok çeşitli alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak seçilebilir. Dövme alaşımlarından 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi gibi ısıl işlemle sertleştirilebilir alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Al matris seçimi, yaşlandırma ile elde edilen mukavemet, alaşım elementlerinin eklenmesiyle tokluk ve korozyon direncine bağlı olarak değişmektedir.

Takviyesiz kompozitlerde Al_2CuMg fazı oluşurken, SiC takviyeli Al-Cu-Mg-Mn ve Al-Cu-Mg-Si matris kompozitlerde ise Al_2Cu , Mg_2Si fazlar oluşmaktadır. Ancak SiC takviyeli alüminyum matris kompozitlerin ıslatma özelliklerini iyileştirmek için kullanılan Mg, mikroyapı bileşenlerinden Cu’ın tümü ile reaksiyona girerek Al_2Cu yerine Al_2CuMg fazı oluşmaktadır [29].

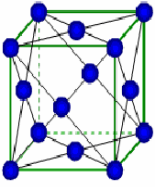
Alüminyum matrisli kompozit malzemeler, diğer kompozit malzemeler gibi tekil malzemeler değildir. Takviyeli bu kompozitlerin rijitliği, mukavemeti, yoğunluğu, ısıl ve elektriksel özellikleri üretim sonrası uygun hale getirilmiştir. Metal matrisli kompozit malzemelerin istenen özellikleri kazanması için, üretim aşamasında

matrisin alaşımı, cinsi, takviye malzemesi, takviyenin hacmi ve şekli, takviyenin dağılımı ve üretim metoduna dikkat edilmesi ve iyi seçilmesi gerekir. Değişken özelliklerine bakılmaksızın alüminyum kompozitlerin düşük maliyet konusunda diğer metal matris kompozitlere göre önemli avantajı vardır. İlave olarak mükemmel ısı iletkenlik, yüksek mukavemet, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklıkta çalışabilme kabiliyeti, yanmazlık, yakıt ürünleri ve çözücülere karşı minimum etkilenme, şekil alabilme kabiliyetleri diğer avantajlı yönleridir[2].

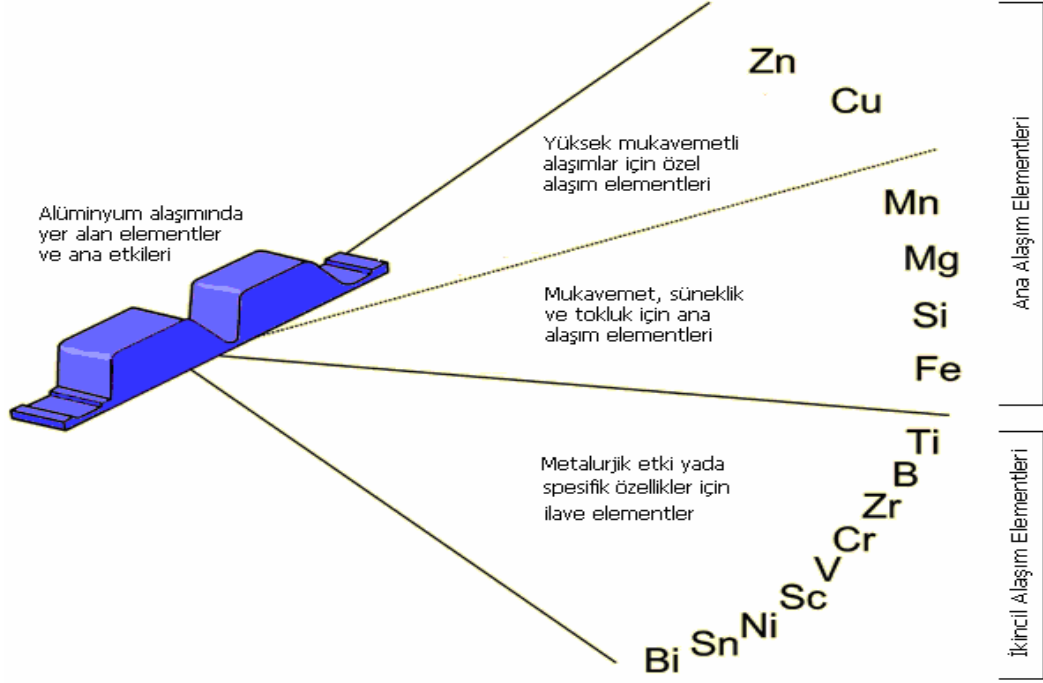
Alüminyum metal matris kompozit malzemeler döküm, toz metalürjisi, infiltrasyon, karıştırma (vorteks) döküm ve in-situ gibi teknikler ile üretilebilmektedir. Mütemadiyen yüksek kalitedeki ürünler bol miktarda mevcut değildir. Üreticiler proses ve ürünleri geliştirmek, ve buna ek olarak maliyeti azaltmak için büyük çaba sarf etmektedirler. Özellikle fren motorları, pistonlar ve diğer otomotiv parçaları için bu uğraş halen günümüzde devam etmektedir[2].

%99,996 saflıktaki alüminyumun çekme mukavemeti yaklaşık 49 MPa iken alaşımlandırıldığında veya ısı iletme yöntemi uygulaması sonucu bu değer 220 MPa'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. Çizelge 1.5.2.1'de saf alüminyumun özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.5.2.1. Saf Alüminyumun Özellikleri[2]

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

Şekil 1.5.2.1’de Zn ve Cu yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları için kullanılan özel alaşım elementleridir. Mn, Mg, Si ve Fe mukavemet, süneklik ve tokluk için kullanılan ana alaşım elementleridir. Alüminyum alaşımlarında az oranda kullanılan Ti, B, Zr, Cr, V, Sc, Ni, Sn ve Bi ise metalürjik etki yada spesifik özelliklerin oluşturulmasında kullanılan ikincil alaşım elementleridir.



Şekil 1.5.2.1 Alüminyumun Alaşımlarında Yer Alan Elementler ve Etkileri[2]

Alüminyum matris kompozitler için çeşitli ısıl işlemler yapılabilir ve çok çeşitli alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak seçilebilir. Döküm alaşımlarından 2000, 6000 ve 7000 serisi gibi ısıl işlemle sertleştirilebilir alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Al matris seçimi, yaşlandırma ile elde edilen mukavemet, alaşım elementlerinin eklenmesiyle tokluk ve korozyon direncine bağlı olarak değişmektedir. Döküm alüminyum alaşımlarının sayısal sınıflandırılması;

1xxx : Al (%99'dan büyük saflıkta alüminyum)

- 2xxx : Cu (bakır)
 3xxx : Si + Cu (silisyum +bakır) yada Si + Mg (silisyum +magnezyum)
 4xxx : Si (silisyum)
 5xxx : Mg (magnezyum)
 6xxx : Yaygın kullanılmayan seri
 7xxx : Zn (çinko)
 8xxx : Sn (kalay)
 9xxx : Diğer elementler

Bu çalışmada 2000 serisi ısıtılma ile sertleştirilebilir Al 2014 alaşımı matris malzemesi olarak kullanılacaktır. Çizelge 1.5.2.2’de Al 2014 alaşımına ait fiziksel, mekanik, ısıtılma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.5.2.2. Al 2014’e ait fiziksel, mekanik ve termal özellikler[30]

Fiziksel Özellikler	Yoğunluk (gr/cm^3)	2.8
Mekanik Özellikler	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
	İşlenebilirlik (%)	30
	Kayma Modülü (GPa)	28
	Kayma Mukavemeti (MPa)	124
Termal Özellikler	Isıl Uzama Katsayısı ($\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$)	24.4
	Özgül Isı Kapasitesi ($\text{J/g}^\circ\text{C}$)	0.88
	Isıl İletkenlik (W/mK)	193
	Solidüs Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	507
	Likidüs Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	638

Çizelge 1.5.2.3’de Al 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Çizelge 1.5.2.3. Al 2014’ün kiyasal kompozisyonu[30]

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

Al 2014 alaşımını oluşturan katkı elementlerinin etkileri aşağıdaki gibidir;

Bakır (Cu); alüminyuma % 12 oranına kadar katıldığında mukavemeti arttırır, daha fazlası gevrekliğe sebebiyet verir. Alüminyum-bakır alaşımının kaynak kabiliyeti sınırlı olup, korozyona direnci diğer alaşımlardan dūřüktür. En çok kullanılan türü Duralüminyum olarak adlandırılan ve %2-6 oranında bakır içeren alüminyum-bakır alaşımıdır. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği arttırır. % 4 – 6 arasında katıldığında yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Dökümü zorlaştırır ve gerilme gidermesi kabiliyetini azaltır.

Magnezyum (Mg); alüminyuma yüksek mukavemet, korozyon direnci, süneklik ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Magnezyum alüminyum içerisinde %1,9 çözünebilmektedir. Ötektik reaksiyon sıcaklığında ise % 17,4 oranında çözülebilir. 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 imkan sağlar.

Silisyum (Si); alüminyuma katıldığında sıcak çatlama eğilimini azaltırken, akışkanlığı ise arttırmaktadır. % 13’den fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi oldukça zordur. Alüminyum alaşımlarına akışkanlık, mukavemet ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Bazı alüminyum alaşımlarına katıldığında yaşlandırma özelliği ile etkili olur. Alüminyum-silisyum alaşımlarında, demir ve magnezyumun varlığı mekanik özelliklerde bir miktar dūřüře sebep olabilmektedir. Al-Si alaşımlarında korozyon dirençleri genelde yüksektir. Tuzlu ortamlarda oluşan korozyona karşı

yüksek dayanımları sebebi ile deniz ulaşımında kullanılan taşıtların yapımında alüminyum-silyum alaşımları tercih edilen malzemeler arasındadır.

Çinko (Zn); alüminyum ve çinko alaşımları çok yüksek mukavemet özelliğine sahip alaşımlardır. Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterir. Çinko diğer alaşım elementleriyle birlikte dayanımı çok artırır, genellikle magnezyum elementi ile birlikte kullanılır. Çinko diğer elementler ile birlikte alüminyum içerisinde kullanıldığında alüminyum alaşımın dökülebilirliği kötü yönde etkilenir. % 3 çinkodan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında etkili bir tesiri görülmemektedir.

Demir (Fe); alüminyuma katıldığında alaşımın sertliğini yükseltir ve çok fazla istenmeyen bir elementtir. Alüminyumun yada 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. Demir, genelde alüminyum alaşımlarına çok fazla avantaj sağlamaz. Fakat alüminyum-bakır-nikel alaşımlarına yüksek sıcaklıklarda mukavemet artırıcı etkisi vardır korozyon direncini artırma özelliğine sahiptir. Düşük oranlarda bazı alaşımların sertliği ve mukavemetini artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. Fakat meydana getirdiği gevreklik sebebiyle alüminyum alaşımlarında kullanımı tercih edilmez. Bazı alüminyum-magnezyum alaşımlarında tane küçültücü etkisi vardır.

Mangan (Mn); genelde işlem alaşımlarında tercih edilen bir elementtir. Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır ve demirin kötü etkisini minimize etmeye çalışır. Mangan, alüminyum döküm alaşımlarında az kullanılmaktadır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, soğuma sırasındaki çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.

Krom (Cr); $CrAl_7$ tipinde metaller arası bileşik oluşturur. Titanyum, demir ve mangan ilavesi ile $CrAl_7$ kaba metallerarası bileşiği inceltiler. Tane küçültücü etkisi vardır. Bu elementin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü sınırlıdır.

Titanyum (Ti): bu element özellikle döküm alaşımlarında kullanılan bir alaşım elementidir. Döküm alaşımlarında tane küçültücü özelliğinden dolayı tercih edilir. Bor ile birlikte tane küçültücü etkisi vardır ve çekme mukavemetini artırır[2].

1.6. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri matris ile takviye elemanı ikilisinin uyumlu ve iyi bir bağ oluşturmalarına bağlıdır. Bu bağların kalitesi matrisin takviye elemanını iyi ıslatabilmesinin yanı sıra seçilen üretim yöntemi ile de yakından ilgilidir. Üretim yöntemleri;

a. Sıvı hal işlemleri

b. Katı hal işlemleri

c. İn-situ işlemler

olmak üzere üç ana grupta toplanabilir [9].

1.6.1. Sıvı hal işlemleri

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

1. İnfiltrasyon

2. Sıkıştırılmalı döküm

3. Basınçlı döküm

4. Yarı katı döküm

5. Karıştırılmalı döküm

6. Püskürtme çökmesi

İnfiltrasyon yöntemi normal atmosferde veya vakumlanmış kalıplarda ön şekil verilmiş (preform) parçalar içerisinde sıvı metalin basınçlı veya basınçsız olarak doldurulması işlemidir. Katılma sırasında gözeneklerin yüzeyleri çekirdekleşme bölgeleri olarak davranıp ince tanelerin oluşmasında yardımcı olur. Bu yöntemlerle özellikle magnezyum ve alüminyum alaşım matrisli kompozitler başarı ile üretilmektedir [9].

Sıkıştırılmalı döküm yönteminde, takviye elemanından oluşan blok parça kalıba yerleştirilerek sıvı metalin kalıp içerisine 70-100 MPa basınç altında dökülmesi ve basınç altında katılaştırılması ile kompozit malzeme üretilmektedir. Basınç altında döküm ve katılmasından dolayı parçalarda gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları yok denecek kadar azdır. Sistemin yüksek hidrolik basınç gereksinimi, büyük parçaların üretimine imkan vermemesi gibi dezavantajları söz konusudur.

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.

Savurma döküm yönteminde de merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak, sıvı metal döner kalıp içerisine basınçla gönderilir. Döküm parçaların basınç altında yönlü katılması sağlanır. Genellikle silindirik ve simetrik parçaların dökümü yatay eksenli olarak yapılırken, simetrik olmayan parçalar bir dikey yolluk etrafında sıralanarak dökülebilirler. Gaz boşlukları ve inkilüzyonlar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle içyüzeyde toplanırlar. Yoğunluk farklılığının fazla olduğu metallerin dökümünde yaygın olarak segregasyon hatası görülmektedir [9].

Yarı katı döküm işleminde parçacıklar veya kısa fiberlerin sıvıya ilave edilip karıştırılması ve yarı katı hale getirilerek veya önceden yarı katı hale getirilmiş sıvı içerisine takviye elemanlarının katılarak dökülmesi işlemidir. Bu yöntemde parçacıkların yüzme ve çökme gibi problemlerinin en aza indirilmesi mümkündür.

Karıştırılmalı döküm yönteminde takviye elemanları sıvı metal içerisine ilave edilip karıştırılır ve homojen bir karışım sağlandıktan sonra kalıplara dökülerek katılaşmaya bırakılır. Homojen bir yapı elde edilirken gözenek ve boşluklar sistemin başlıca problemiştir.

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 nisbeten düşük olan metallere uygulanmalıdır. Son parçanın şekli ise atomize etme şartlarına, toplayıcı kalıp hareketine ve şekline bağlıdır [9].

1.6.2. Katı hal işlemleri

Katı hal üretim yöntemlerinde matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilir. Katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları;

- 1- Toz metalürjisi
- 2- Difüzyonla birleştirme
- 3- Sıcak haddeleme

Toz metalürjisi yöntemi en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik olarak alaşımlanır ve istenilen şekli oluşturmak için kalıba konularak preslenir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddeleme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir.

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 difüzyon birleşmeleri sağlanır.

Matris ve takviye elemanlarının birleşecek yüzeylerinin düzgün, temiz ve oksitsiz olması difüzyonla birleşmenin başarısında önemli bir rol oynar.

Sıcak haddeleme işlemleri difüzyonla birleştirme işlemine benzer. Bu yöntemde levha halindeki matrisler ile bunların arasına konulan fiberler yüksek sıcaklıklarda haddelenir. Daha sonra basınç kaldırılır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, komple parça yavaş şekilde soğumaya bırakılır. Geliştirilen yöntemlerle takviye fazının hacimsel oranı % 40'a kadar çıkarılmıştır [9].

1.6.3. İn-situ işlemler

Bu tür kompozit üretim tekniklerinde malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulması ve bu fazlardan birinin veya bazılarının matris; diğerlerinin de takviye elemanı olarak davranması ile kompozit üretimi sağlanır. Bu işlemlerde farklı birkaç yöntem kullanılır.

1. Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
2. Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
3. Ekzotermik reaksiyon işlemi

1.7. İnfiltrasyon Yöntemi

Sıvı matrisin gözenekli bir yapı içerisine infiltrasyonu basınç veya vakum yardımıyla gerçekleştirilir. Ayrıca sıvı damlacıkları katıyı ıslattığı zaman dışardan bir etki olmaksızın, gözenekli bir yapı içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir [31].

Sıvı metal matrisin gözenekli seramik takviyeye infiltrasyonu, yüzeye sızma prensibine, kılcallık etkisine dayanmaktadır. Genellikle metal oksitlerde temas açısı 90° den büyüktür. Bu nedenle, ıslatma kriteri olarak katı yüzeyde bulunan kılcal

aralıklara ve pürüzlü yüzeylere metal sızmasını sağlamak için dış basınç gereklidir [32].

$$\Delta p = \frac{-2Df}{r} \quad (1)$$

Burada, r, kılcallık yarıçapı, $Df = \gamma_{sb} \cos\theta$, γ_{sb} , sıvı-buhar yüzey gerilimi, ve θ , sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır. Liplike-Young eşitliğinden Eş. 2'de infiltrasyon için gerekli basınç;

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

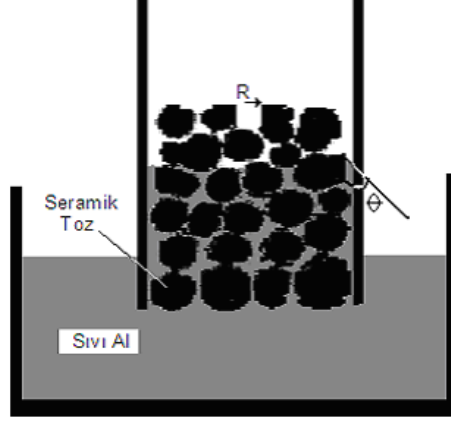
Burada r, kılcallık yarıçapıdır.

Belli takviye hacim oranında sıkıştırılmış tozlardan oluşan blok parçanın içerisine, sıvı matrisin infiltrasyonu için matematiksel ifade Eş. 3'de verilmiştir.

$$\Delta p = \frac{6\lambda\gamma_{sb} \cdot \cos\theta(1-w)}{d \cdot w} \quad (3)$$

Denklemleri ile belirlenir. Δp infiltrasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli eşik basınçtır. w , takviyedeki gözenek oranı, d, ortalama parçacık çapı, γ_{sb} ve θ sırasıyla, sıvı-buhar yüzey gerilimi ve sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır. λ ise geometri faktörüdür. Denklem, takviye hacim oranı ve ortalama parçacık boyutunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [32].

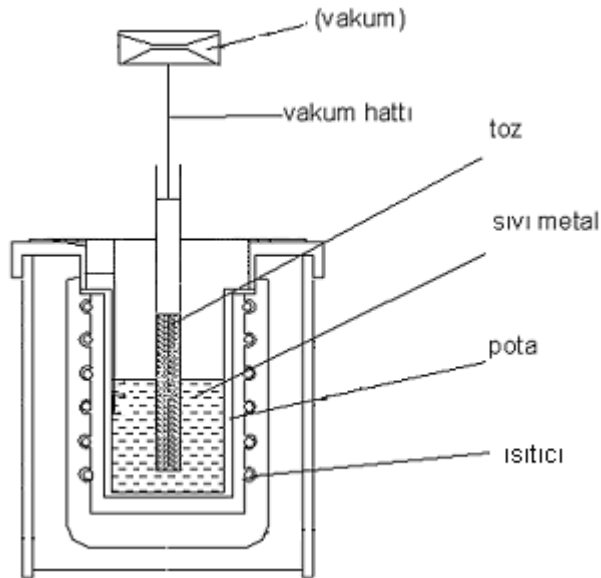
Şekil 1.7.1'de sıvı matrisin gözenekli bir yapıda, takviye parçacıklarının arasındaki kılcal boşluklarda ilerlemesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.7.1. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi [9].

1.7.1. Vakum infiltrasyon

Vakum infiltrasyon yönteminde sıvı matris, negatif bir basınç uygulanarak gözenekli takviye içerisine infiltre olmaktadır [33]. Şekil 1.7.1.1'de görüldüğü gibi boru içerisine seramik karakterli gözenekli preform yerleştirilir. Sıvı metal matris vakum etkisi ile gözenekli seramik preform içine emdirilir. Gözenekli seramik preforma sıvı matris tamamen emdirildikten ve katılaştıktan sonra kompozit malzeme borudan çıkarılır. Yöntem basit ve oldukça ekonomiktir.



Şekil 1.7.1.1. Vakum infiltrasyon yöntemi[9]

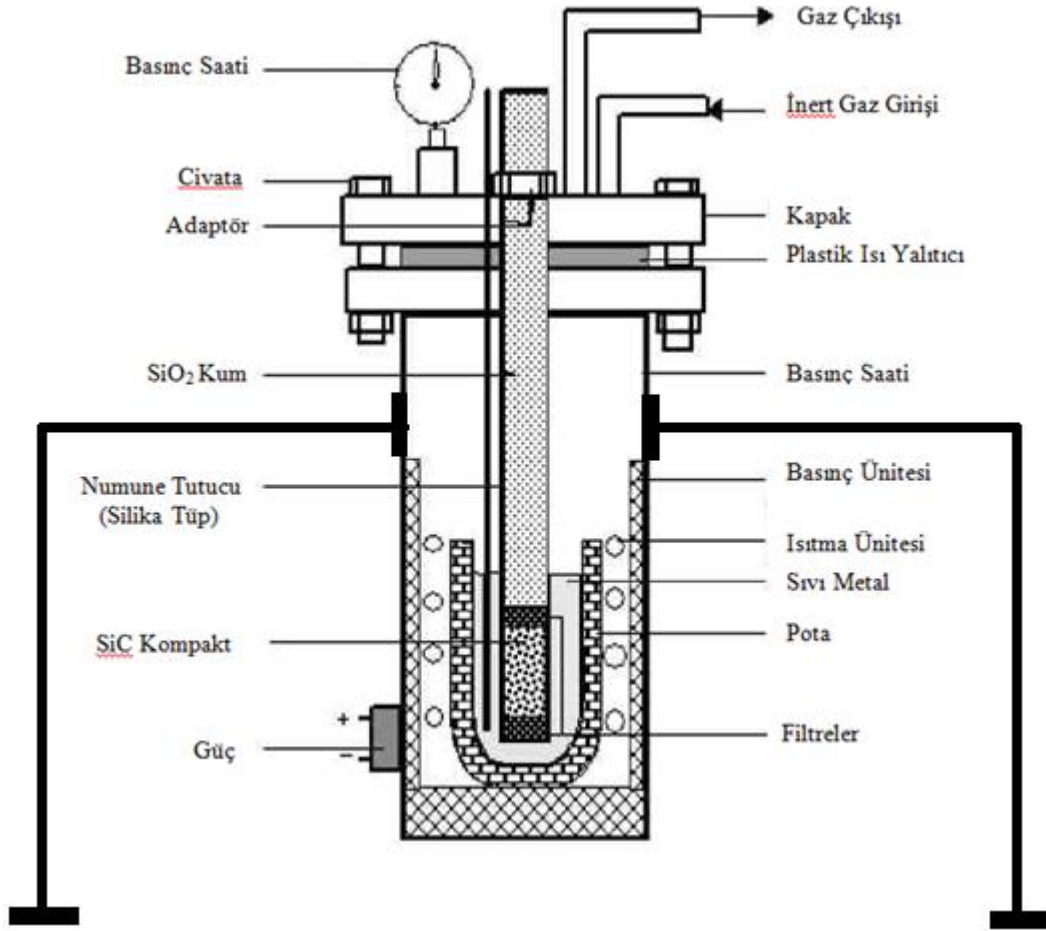
1.7.2. Basınçlı infiltrasyon

Basınçlı infiltrasyon, takviye içeren gözenekli blok parçaya sıvı metalin nüfuz etmesi için sıvı metale mekanik basınç (sıkıştırma döküm) yerine inert gaz basıncı uygulayan bir infiltrasyon şeklidir. Bu yöntemde sıvı matris, ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine basınçlı gaz ile iletilerek kompozit malzemeler üretilmektedir [34].

Hem basınç hem de sıcaklık kontrol edilebilir. Toz metalurjisi ve sıkıştırma dökümle karşılaştırıldığı zaman alet ve takım masrafı düşüktür. Kullanılan kompozit üretim teknolojileri arasından toz metalurjisi yönteminde karıştırma, sinterleme ve ikincil metal işleme yöntemlerinin yorucu ve masraflı olması, sıkıştırma döküm yönteminde ise kullanılan yüksek basınçtan dolayı alet ve takım masrafıyla karşılaşıldığından, bu yöntemlere göre basınçlı infiltrasyon yönteminin daha avantajlı olduğu söylenebilir.

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 [35].

Şekil 1.7.2.1'de basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde çelik tüp içerisine yerleştirilen 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, blok parça ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığı işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır [36].



Şekil 1.7.2.1. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [3]

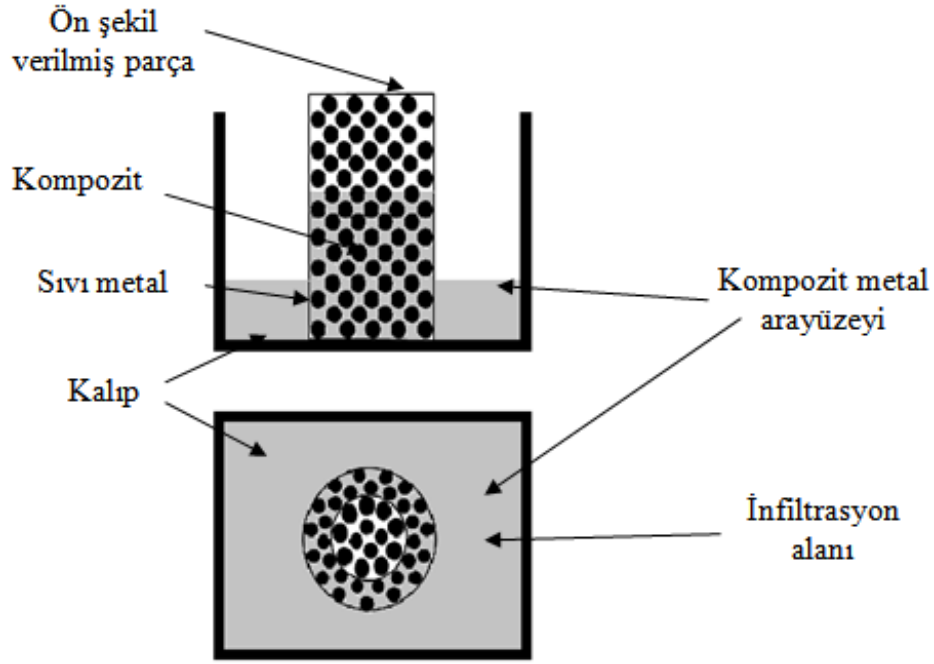
Vakum destekli yüksek basınç kullanılarak sıvı matris fiber takviyelere başarı ile infiltre olmakta ve kompozitler basınç altında katılaşmaktadır. Ancak yüksek basınç uygulanmasının, zaman zaman fiberlerde deformasyona sebep olduğu belirtilmiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için orta basınçlı infiltrasyon tekniği geliştirilmiş ve fiber takviyelere sıvı Al matris başarı ile infiltre edilmiştir [37].

1.7.3. Basınçsız infiltrasyon

Basınçsız infiltrasyon yönteminde sıvı metal parçacık takviye içerisine, basınç uygulanmaksızın kendi kendine infiltre olabilmektedir. Basınçsız infiltrasyonda sıvı alüminyum matrise Mg ilavesi ve azot atmosferi infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır.

Mg, sıvı alüminyumun seramik parçacıkları ıslatmasını geliştirerek infiltrasyonu sağlamaktadır [33].

Şekil 1.7.3.1’de basınçsız infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir. Yöntemde blok parçaya azot atmosferinde sıvı matris infiltre olmaktadır. Sıcaklık, parçacık büyüklüğü, sıvı matrisin Mg içeriği, takviye hacim oranı, süre ve seramik takviyenin kaplanması işlem parametreleridir [38].



Şekil 1.7.3.1. Basınçsız infiltrasyon yöntemi[9]

1.8. İnfiltrasyonu Etkileyen Faktörler

1.8.1. 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 kolaylaşmaktadır[9]. Al (Al_2O_3)_p sisteminde

basıncılı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzemeler üretildiğinde artan takviye boyutunda infiltrasyon mesafesinin artmış ve % gözenek miktarının azalmıştır[39].

1.8.2. İnfiltrasyon Süresi

Rodriguez ve diğeri 12.8, 22.8 ve 36.7 µm büyüklüğündeki SiC tozlara 400-900 kPa basınç ile sıvı Al alaşımını infiltre etmişler ve infiltrasyon davranışını bilgisayar yardımıyla gözlemlemişlerdir. Artan SiC tane boyutunda infiltrasyon süresinin azaldığı belirlenmiştir [40].

İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için diğeri 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 edilebileceği belirtilmiştir [41].

Sıvı infiltrasyon yöntemi ile SiC, Si₃N₄, AlN, Mg₃N₂ ve TiO₂ seramik parçacıklara % 7 Si, % 0,3 Mg ihtiva eden 356-T6 alüminyum alaşımını infiltre edilmiş ve infiltrasyon mesafesinin, infiltrasyon süresi ve sıcaklığına bağlı lineer olarak arttığını tespit edilmiştir [42].

% 55 takviye hacim oranındaki SiC tozlara kapasitans tekniği uygulanarak basınçlı infiltrasyon yöntemiyle Al alaşımı infiltre edilmiş ve infiltrasyon mesafesinin zamanın kareköküne oranlı tutarlı sonuçlar verdiğini tespit edilmiştir [43].

Kısa fiberli alümina yapı içerisine Al-1.5 Mg alaşımı basınç yardımıyla infiltre edilmiş ve infiltrasyon oranı ile kuluçka süresinin uygulanan basınçtan önemli ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir. İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için bir kuluçka süresine ihtiyaç olduğu ve kuluçka süresinin artan basınçla azaldığı ve infiltrasyon mesafesi ile infiltrasyon süresi arasında sabit basınç altında parabolik bir ilişki olduğu belirlenmiştir [44].

Chong ve diğeri Al₂O₃ fiberlere, Al-% 4 Cu-% 1 Mg-% 1 Ag alaşımı 1-3 MPa gaz basıncında infiltre etmişler, bu alaşımda saffil için 750°C sıcaklıkta infiltrasyon

basıncının 3 MPa olduğu ve artan basınç değerlerinde infiltrasyon süresinin azaldığını belirlemişlerdir [45].

1.8.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı

Sıcaklık, infiltrasyon yönteminde en önemli üretim parametrelerinden biridir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında, sıvı matrisin takviye taneleri arasındaki gözeneklere infiltre olması kolaylaşmaktadır.

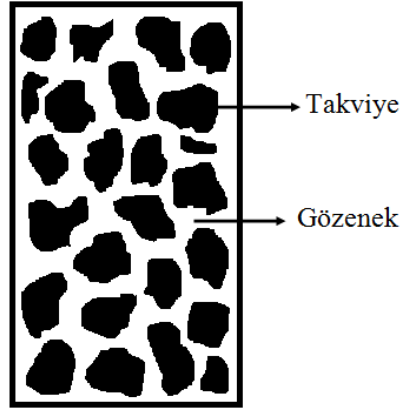
Al/SiC_p kompozitlerinin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde, sıvı metal aşırı ısıtma sıcaklığının artmasıyla eşik basıncın azaldığı ve artan sıvı aşırı ısıtma sıcaklıklarında kompozitlerin gözenek miktarının azaldığını tespit edilmiştir [46].

Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretildiğinde, infiltrasyon sıcaklığının infiltrasyon için önemli bir parametre olduğunu ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin yoğunluğunun artarak, kopma özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. % 13 T-H oranında 800 °C sıcaklık ve 3 MPa infiltrasyon basıncında 558 MPa kopma gerilimi elde edilmiştir [36].

1.8.4. Takviye Hacim Oranı

Kompozit malzeme, takviyenin matris içerisinde dağılımıyla meydana gelir. Kompozit malzeme içerisinde, takviye malzemesinin hacimce miktarına, takviye hacim oranı ifadesi kullanılmaktadır. İnfiltrasyon yönteminde takviye-hacim oranı infiltrasyon davranışını ve kompozitlerin özelliklerini belirleyen parametrelerden biridir. Kompozitlerin, gözeneklilik, sertlik, çekme dayanımı ve aşınma gibi özellikleri takviye hacim oranı ile doğrudan ilgilidir.

Şekil 1.8.4.1’de görüldüğü gibi takviye tozları cam kap içerisine yerleştirildiğinde oluşan hacim; Eş.4’ de verilen takviye tozlarının hacmi ve gözenek hacminin toplamına eşittir:



Şekil 1.8.4.1. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (4)$$

Kompozit malzemelerde T-H oranları Eş.5 ve Eş.6' da ifade edildiği gibi hesaplanır.

Takviye tozlarının oluşturduğu hacim ise Eş.5'de görüldüğü gibi takviye ağırlığının özgül ağırlığa bölünmesine eşittir:

$$V_{\text{takviye}} = m / d \quad (5)$$

T-H oranı ise Eş.2.6'da görüldüğü gibi takviyenin oluşturduğu hacmin toplam hacme oranına

eşittir:

$$\text{T-H oranı} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (6)$$

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

Takviyenin kompozit içerisindeki oranı ise Eş.7'de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (7)$$

Burada;

W_k : Kompozit ağırlığı

W_m : Matris ağırlığı

W_f : Fiber ağırlığı

V_m : Matris hacmi

V_f : Fiber hacmi

% 10, 15, 20, 25 ve 30 takviye hacim oranlarındaki Saffil fiberlerden oluşan takviyeye alüminyum-silisyum esaslı LM.13 alaşımını basınçlı olarak infiltre edilmiş ve artan Saffil hacim oranlarında kompozitlerin gözenek miktarının arttığı belirlenmiştir. Bu artış özellikle % 10-15 Saffil hacim oranı aralığında hızla gerçekleşmiş ve kompozitlerin sertliklerinin artan Saffil hacim oranı ile arttığı belirlenmiştir [47].

Çinko-alüminyum esaslı ZA.12 alaşımı % 10, 15, 20, ve 30 takviye hacim oranlarında kısa Saffil fiber içeren takviyelere 0.1-3 MPa arasında değişen basınçlarda infiltre edilerek 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 infiltrasyonun artan fiber hacim oranı ile kötüleştiği belirlenmiştir [48].

1.8.5. 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 dışardan basınç uygulanması gerekli olabilmektedir.

$Al(Al_2O_3)_p$ sisteminde basınçlı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretilmiş ve artan basınç değerlerinde infiltrasyon mesafesi artarken, kompozitlerin % gözenek miktarında azalma olduğunu tespit edilmiştir. 63-90 μm boyutundaki alümina

tozlarda 0,3 MPa basınçta gözenek miktarının maksimum % 2,4 değerine ulaştığı belirlenmiştir [39].

Al-1,5 Mg/Al₂O₃ kısa fiberli kompozitlerin basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde, artan basınç değerlerinde infiltrasyon oranının arttığı belirlenmiştir[45].

Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş ve artan basınç değerlerinde kompozitlerin yoğunlukları ile dayanımlarının arttığını belirlenmiştir[36].

SiC tozlara sıvı Al alaşımının basınçlı infiltrasyonunda, artan infiltrasyon basıncında infiltrasyon süresinin azaldığı belirlenmiştir[40].

Al/ SiC kompozitlerde Al/AlN kompozitlere göre 41 MPa basınçta daha az gözenek miktarı tespit edilmiştir. Al/Al₂O₃ kompozitlerin aynı şartlarda Al/AlN kompozitlere göre daha fazla gözenekli yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [49].

1.8.6. 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.

% 53 takviye hacim oranındaki 23 µm SiC tozlara % 13,9 Mg ilaveli sıvı alüminyum alaşımı basınçla infiltre edilmiş ve % 13,9 Mg ilavesinde eşik basınç 570 KPa'dan 320 KPa değerine düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca Mg ilavesinin sıvı matris ile takviye arasındaki ıslatma açısını düşürdüğü tespit edilmiştir [50].

Al-3 % Mg/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş ve Mg ilavesi ile düşük sıcaklıklarda bile (700°C) infiltrasyonun gerçekleşebileceği belirlenmiştir [51].

1.8.7. Islatma

Islatma özelliği, sıvı matris ve takviyenin oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. İki elektriksel yüzey birbirine yeteri kadar yaklaştığı zaman fiziksel çekim kuvveti mevcut olur ve bu durum katı bir yüzeyin sıvıyla ıslatılması halinde daha iyi anlaşılır [44].

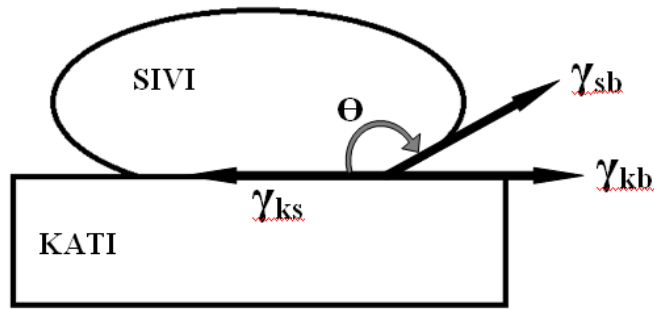
İki yüzey fiziksel temas halinde olduğu zaman gerçek moleküsel temas, toplam yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelir. Ayrıca katı yüzeyindeki kirlilik ve oksitler kuvvetli bir yapışmaya engel olacaktır [52]. Takviye yüzeyinin etkili ıslanması için sıvı matris katı yüzeyinin her noktasına temas etmelidir.

Bir sıvının katılaşması esnasında yapılan iş Eş.8'deki Püpre denklemi ile ifade edilir [32].

$$W_A = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (8)$$

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

Şekil 1.8.7.1'de bir sıvı damlasının katı üzerine düşmesiyle oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.8.7.1 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 1.8.7.1’de görüldüğü gibi düzgün bir katı yüzey üzerine düşen sıvı damlasının fiziksel durumu Young denklemi ile ifade edilir [53].

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{kb} \cos\theta \quad (9)$$

Eş 8 ve Eş 9 birleştirildiğinde sıvının katılaşma esnasında yapılan iş;

$$W_A = \gamma_{sb} (1 + \cos\theta) \quad (10)$$

denklemi 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.

$\theta = 0^\circ$ tam ıslatma, $\theta = 180^\circ$ ıslatmanın olmadığını $\gamma_{kb} < \gamma_{ks}$ olursa θ , 90° den büyük olacağından ıslatma olmaz. $\theta < 90^\circ$ ise ıslanabilirliğin iyi olduğu söylenebilir [53].

Seramik takviyenin çeşitli metallerle kaplanması, sıvı matrise alaşım elementi ilavesi, ısıtma işlem uygulanması arayüzey enerjisini ve sıvı matrisin yüzey gerilimini düşürerek ıslatma özelliğini arttırmaktadır [44].

23 μm SiC tozlara basınçla Al, Mg alaşımı infiltre edilmiş ve sıvı matrise Mg ilavesiyle sıvı matris ile takviye arasında ıslatma açısının düştüğünü tespit edilmiştir [54].

Özellikle Al alaşımlarında sıvı matrisin yüzeyinde oksit tabakası oluşması, takviyenin ıslatılmasını zorlaştırdığından infiltrasyonu olumsuz etkilemektedir. Bu durum sıvı matrise, takviyeyi ıslatma kabiliyetini arttırıcı elementler ilavesiyle ve seramik takviyenin Cu ve Ni gibi elementlerle kaplanmasıyla aşılmaktadır [33].

1.8.8. Matris Takviye Arayüzey Reaksiyonları

Islatma sıvının katı bir yüzeye yapışma yeteneği olarak tanımlanır ve sıvı-katı arayüzeyinde oluşur[55]. Seramik parçacıkların, sıvı Al alışımları ile ıslatılması özelliği genelde zayıftır[56].

Seramik parçacıkların sıvı metal tarafından ıslatılabilme kabiliyetinin geliştirilmesi için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar;

- i. Sıvı metal sıcaklığını arttırmak[57]
- ii. Matrise aktif veya reaktif yüzey elementleri (Mg, Li, Ca, Ti veya Zr) ilave etmek[58-59]
- iii. Seramik parçacıklara kaplama yapmak veya okside etmek[60-61]
- iv. Parçacıkları temizlemek, örneğin ön ısıtmaya tabi tutmak[62-63]

Islatmayı geliştirmek için uygulanan tüm yöntemlerin amacı üç ana temele dayanır. Bunlar;

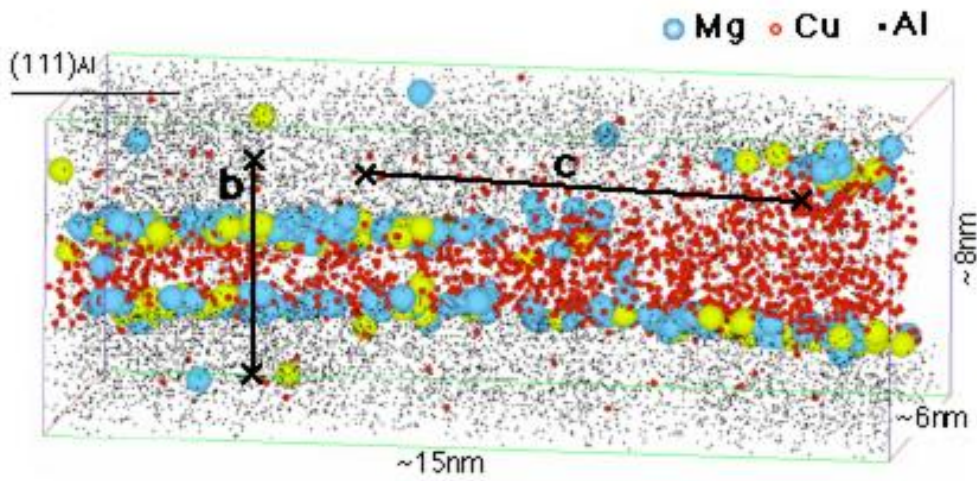
- a. Katının yüzey enerjisini arttırmak
- b. Sıvı alaşımın yüzey gerilimini azaltmak
- c. Takviye-matris arayüzeyindeki, sıvı-katı arayüzey enerjisini azaltmak[64-65]

İnfiltrasyonda iki ana problem ortaya çıkmaktadır. Birincisi gözeneklilik, ikincisi ise matris-takviye arayüzeyinde istenmeyen reaksiyon ürünleri Al_4C_3 ve Al_4SiC_4 [66]

SiC'ün ergimiş Al tarafından yetersiz ıslatılması ve SiC'ün ergimiş Al içerisinde çözünerek istenmeyen reaksiyonlar/fazlar geliştirmesi ile kalıntı gözeneklilik meydana gelir[67-68]. Al'un ergime sıcaklığı altındaki sıcaklıklarda ve atmosfer basıncının altında, SiC termodinamik olarak kararsız hale gelir. Arayüzey reaksiyonları meydana gelebilir ve Al_4C_3 [67-68-69] ve Al_4SiC_4 [70-71] gibi reaksiyon ürünleri oluşabilir. Çünkü karbonun (C) sıvı Al içerisindeki çözünürlüğü çok düşüktür. Al_4C_3 formu için karbon hareketlilik eşik değeri küçüktür. Karbon atomları neredeyse hemen çözünerek Al ile reaksiyona girer veya sürekli bir katman halinde ya da SiC parçacıklarının çevresinde Al_4C_3 fazını meydana getirir[45]. Bu reaksiyon yalnızca kompoziti zayıflatmakla kalmaz, aynı zamanda her iki fazda

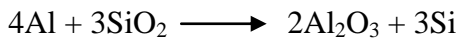
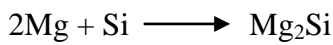
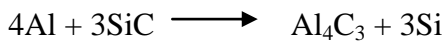
Al_4C_3 ve Al_4SiC_4 termodinamik olarak kararsızdır ve Al-hidroksid formundan atmosferik nem ile yavaşça hidroliz eğilimi nedeniyle Al_4C_3 fazı nem ile korozyon oluşturarak, çatlak oluşumu için zemin hazırlar[70-72-73].

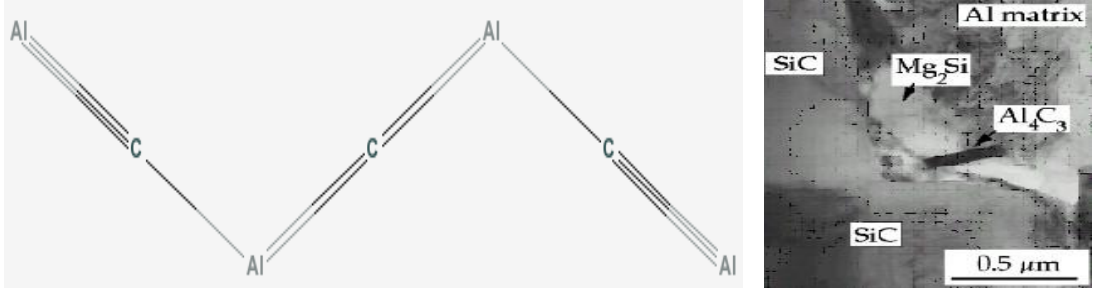
Takviyesiz kompozitlerde Al_2CuMg fazı oluşurken, SiC takviyeli Al-Cu-Mg-Mn ve Al-Cu-Mg-Si matris kompozitlerde ise süneklik ve elektrik iletkenliği düşük Al_2Cu , Mg_2Si fazları oluşmaktadır [74]. Ancak SiC takviyeli alüminyum matris kompozitlerin ıslatma özelliklerini iyileştirmek için kullanılan Mg, mikroyapı bileşenlerinden Cu'nun tümü ile reaksiyona girerek Al_2Cu yerine Al_2CuMg fazı oluşmaktadır [75].



Şekil 1.8.8.1. Al, Mg ve Cu'nun bileşik oluşturması

SiC ile güçlendirilmiş Al alaşımlarının matris olarak kullanıldığı kompozit malzeme üretiminde arayüzeyde genel olarak Al_4C_3 ve Si fazları görülür[76-77]. Bu durumdan kurtulmak için ya matrise Mg veya Si ilave edilir ya da SiC parçacıklar kaplanır[78]. Al matris ile SiC parçacıklar arasında aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir. Önceki çalışmalarda saf Al ile SiC arasındaki arayüzey reaksiyonlarının yalnızca 650°C'nin üzerinde meydana geldiği bildirilmiştir[79].





Şekil 1.8.8.2. Al_4C_3

Al-Si-C faz diyagramı incelendiğinde Al_4C_3 formunun Al/Si = 4.5 oranının altındaki değerlerde gözlemlendiği belirtilmiştir[80].

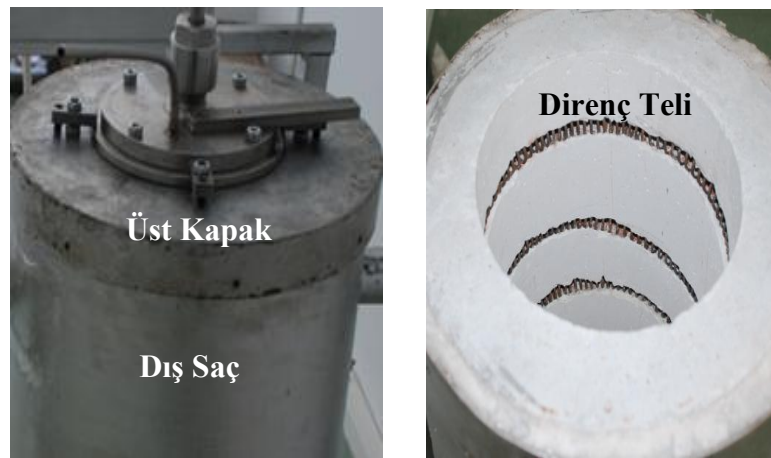
Mg gibi alaşım elementlerinin takviye-matris arayüzeyini ayırdığı, ıslatma kabiliyetini geliştirdiği belirtilmiştir[81-57].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada takviye elemanı olarak 44 μ m, 66 μ m ve 105 μ m tane büyüklüğüne sahip SiC ve matris malzemesi olarak ise Al2014 alaşımı kullanılmıştır. Kompozit üretiminde tekli, ikili ve üçlü model kullanılarak farklı takviye-hacim oranlarına sahip kompozitler üretilmiştir. Kompozit üretiminde basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılmış, farklı basınç, sıcaklık değerlerinin ve matrisin Mg içeriğinin infiltrasyona etkisi araştırılmıştır.

2.1. Deney Düzenegi

Bu çalışmada kullanılan basınçlı infiltrasyon deney düzenegi ergitme ünitesi ve basınç kabı olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Ergitme ünitesi Şekil 2.1.1'de gösterilen dış sac, izolasyon maddesi (cam yünü), ısıtma elemanı (direnc teli), ısıtma elemanı tutucu refrakter malzeme (cast95) ve kapaktır. Dış sac gövdenin dış kısmını oluşturan ve ergitme ünitesini bir arada tutarak dış ortamdan gelecek etkilere karşı deney düzenegini korur. Cam yünü dış sacın içine yerleştirilen ve ısı yalıtımı için kullanılmaktadır. Direnc teli vasıtasıyla sıvı matris istenilen sıcaklığa ısıtılmaktadır. Cast 95'in içerisine direnc teli yerleştirilerek, hem ısıl hemde elektriksel yalıtım sağlanmıştır.



Şekil 2.1.1. Ergitme ünitesi

Basınç kabı dört ana parçadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki Şekil 2.1.2.b’de gösterilen ve SiC tozları içerisine yerleştireceğimiz borudur. Boru ısıya dayanıklı paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Borunun iç çapı 13mm olup, bu çapta kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Şekil 2.1.2.c’de gösterilen sızdırmazlık elemanıdır ve boruya TIG kaynağı ile kaynak edilerek sabitlenmiştir. Sızdırmazlık elemanı basınç kabı dışarıya gaz çıkışını engellemektedir. Şekil 2.1.2.c’de gösterilen bileziktir. Bilezik borunun sıvı metal içerisine daldırılacak kısma yerleştirilecek olan ve SiC tozların sıvı metal içine düşmesini engelleyen filtreyi sabitlemek için tasarlanmıştır. Filtre ısıya dayanıklı ve 10µm göz büyüklüğüne sahiptir. Borunun ucuna öncelikle filtre yerleştirilir daha sonrada bilezik sıkı geçme olacak şekilde borunun ucuna geçirilerek filtreyi sabitler.



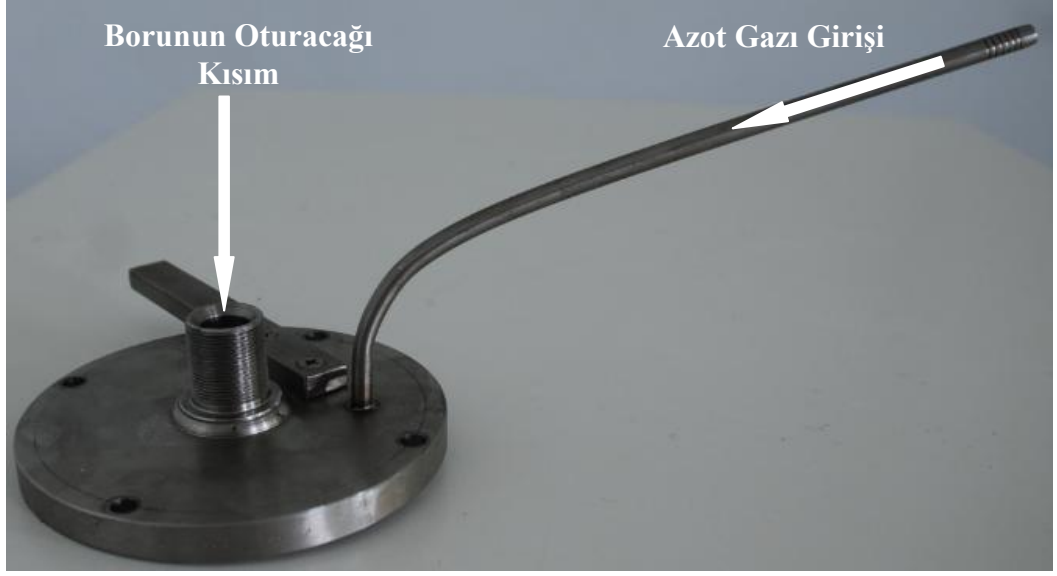
(a)

(b)

(c)

Şekil 2.1.2. Boru

Basınç kabını oluşturan ikinci parça Şekil 2.1.3’de gösterilen kapaktır. Kapak üzerinde bulunan ve iç çapı 6mm, dış çapı 8mm olan bir boru vasıtasıyla sisteme azot gazı girişi sağlanmaktadır. Bu parçanın bir ucu azot gazı tüpüne bağlanırken, diğer ucu kapağa geçirilerek TIG kaynağı ile kapağa sabitlenmiştir. Ayrıca kapakta 4 adet vida ile gövdeye sabitlenir. Kapağın gövdeye oturan kısmına konik bir kanal açılmış ve bu kanala bakır conta yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanmıştır. Borunun oturacağı kısma boru üzerinde bulunan sızdırmazlık elemanının sahip olduğu koniklik kadar koniklik verilerek sızdırmazlık sağlanmıştır.



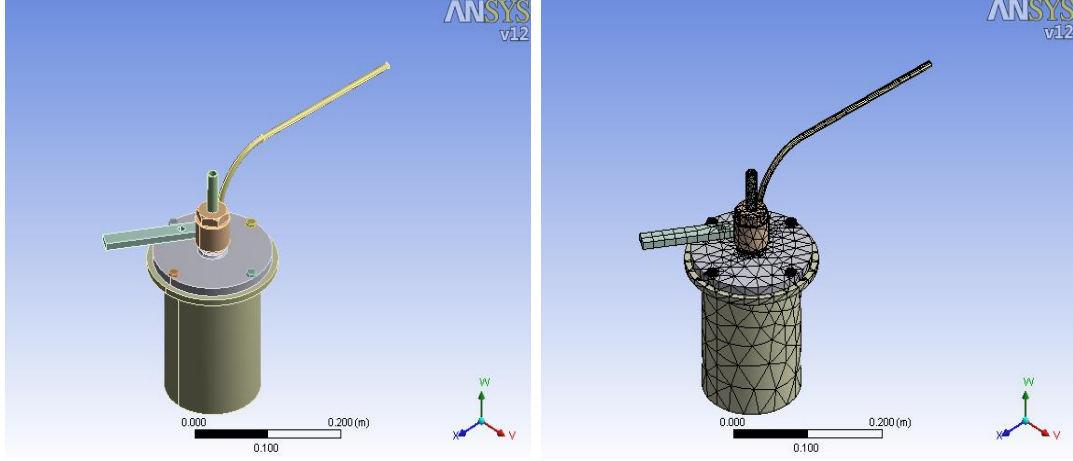
Şekil 2.1.3. Kapak

Şekil 2.1.4'de ise basınç kabının monte edilmiş hali görülmektedir. Basınç kabı 2kg Al ergitme kapasitesine sahip olup 1000°C sıcaklığa ve 20bar basınca dayanıklı şekilde alaşımli çelik malzemedan imal edilmiştir.

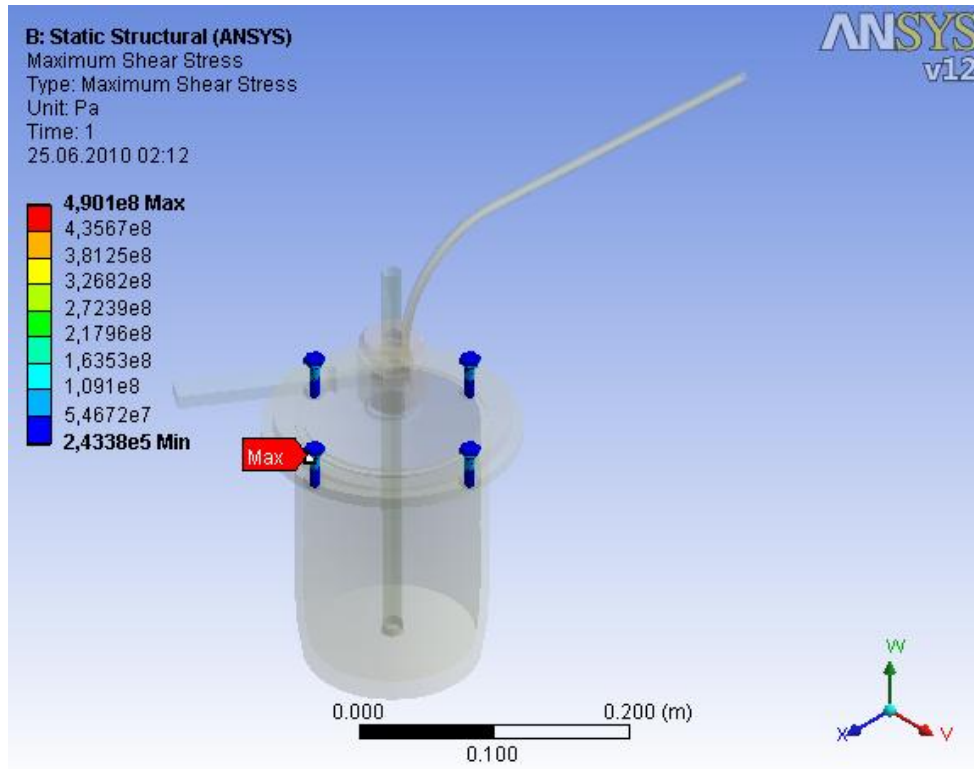


Şekil 2.1.4. Basınç Kabı Kompleksi

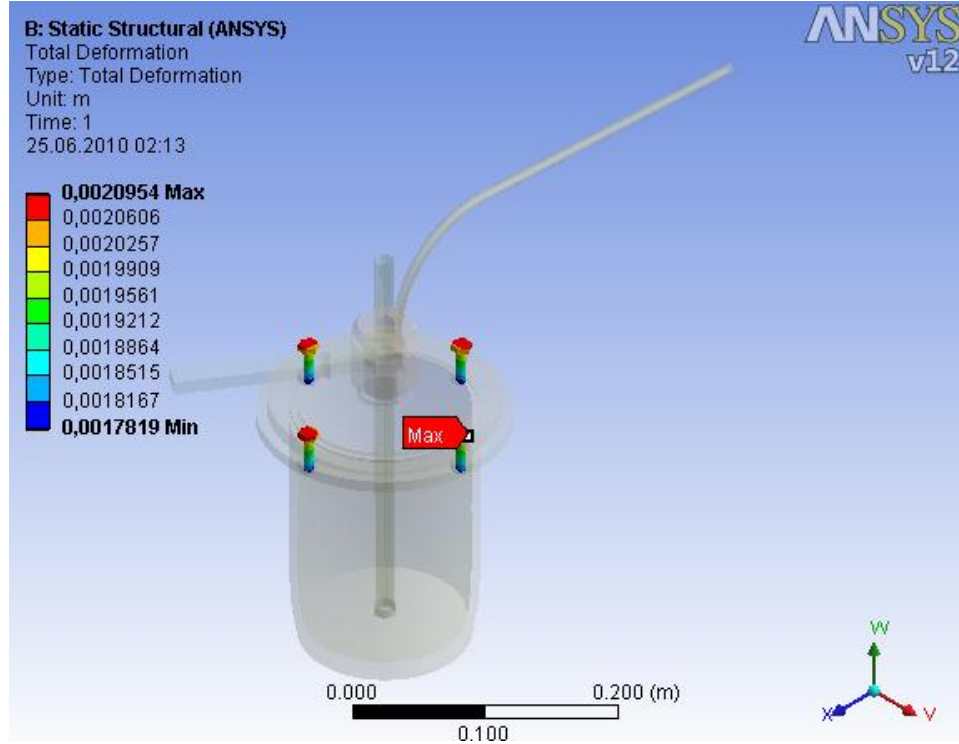
Basınç kabının gövdesi ile kapağını birleştiren dört adet civatanın deney setlerinde kullanılan maksimum sıcaklık (800°C) ve maksimum basınç (900kPa) değerleri için dayanımı ANSYS paket program ile belirlenmiştir.



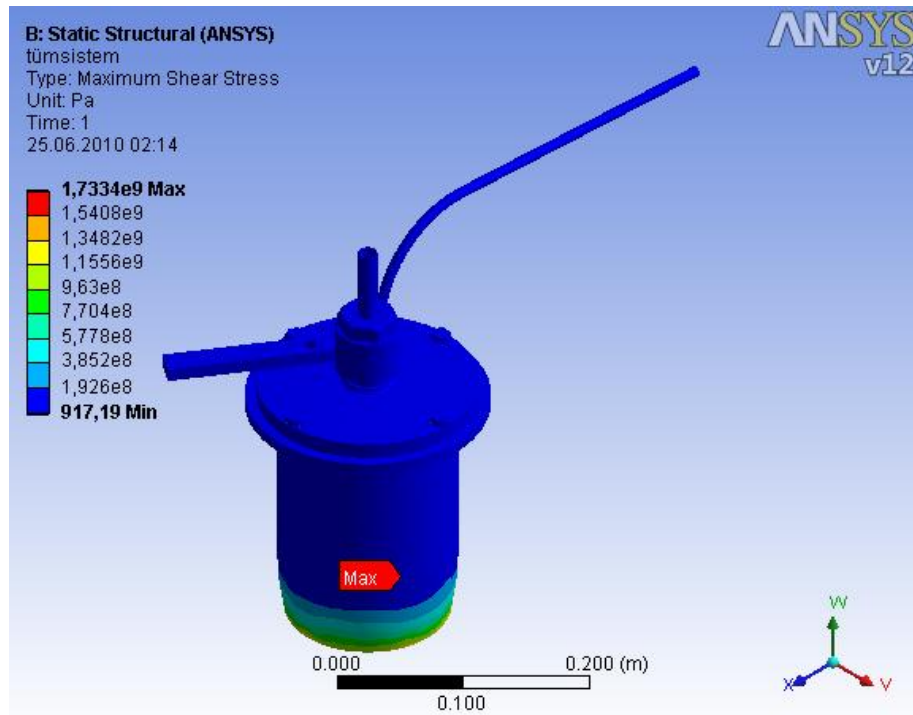
Şekil 2.1.5. Tasarlanmış basınç kabı ve kabın mesh edilmiş hali



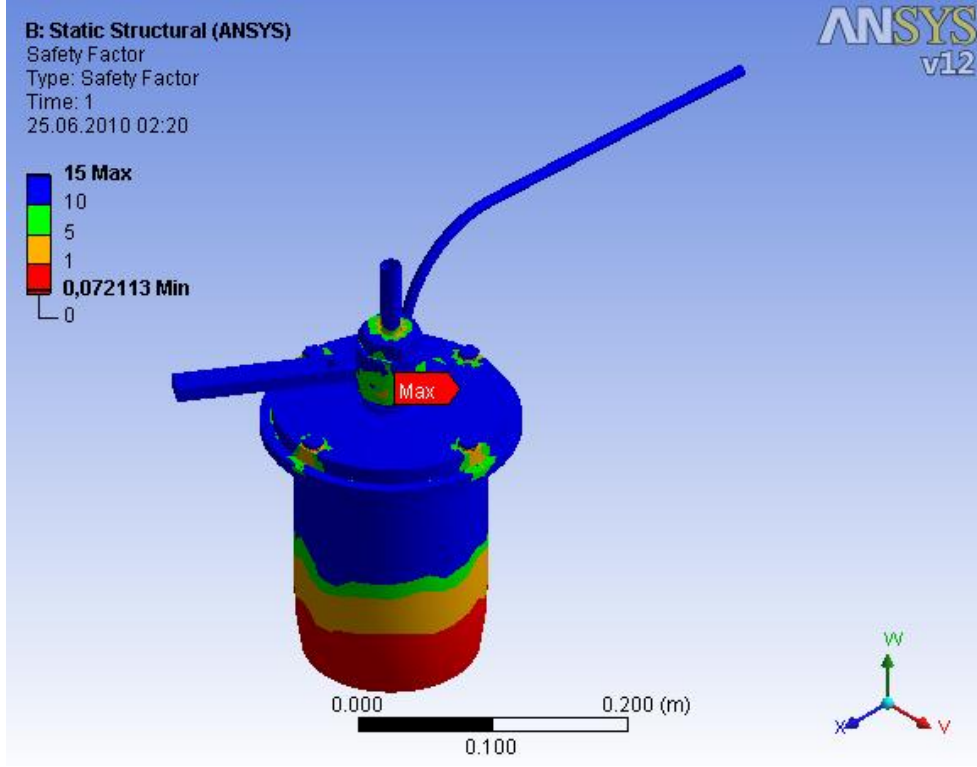
Şekil 2.1.6. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra vidalarda meydana gelen maksimum kayma gerilmesi



Şekil 2.1.7. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra vidalarda meydana gelen toplam deformasyon



Şekil 2.1.8. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra tüm sistemde meydana gelen maksimum kayma gerilmesi



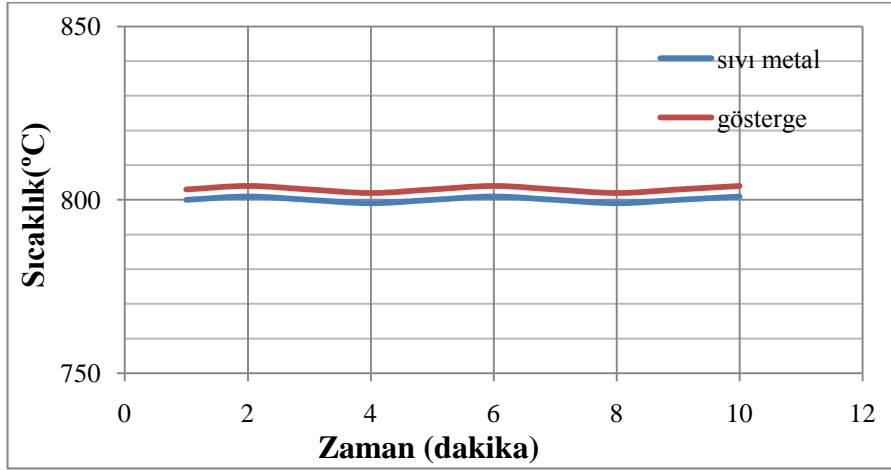
Şekil 2.1.9. Basınç kabına ısı ve basınç uygulandıktan sonra tüm sistem için belirlenen güvenlik faktörü

Şekil 2.1.10'de gösterildiği gibi sıvı metal sıcaklık ölçüm ünitesi iki parçadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, basınç kabı ile gövde arasındaki ortamdan ölçüm yapan sıcaklık ölçen sensör, ikincisi ise, sıcaklık değerlerinin okunduğu gösterge ünitesidir. Gösterge ünitesi ile sıcaklık değeri $\pm 1^\circ\text{C}$ civarında sabitlenebilmektedir.



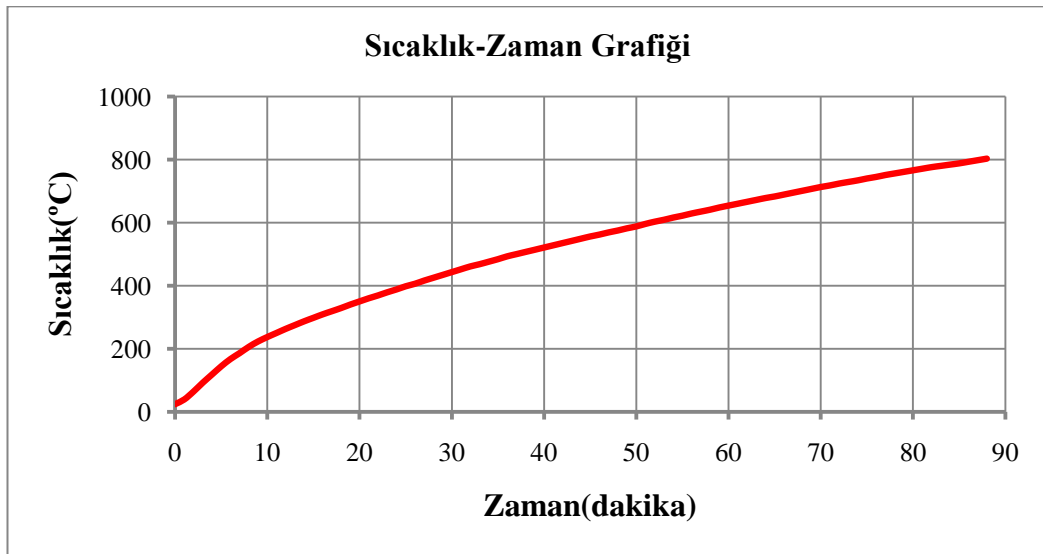
Şekil 2.1.10. Sıvı Metal Sıcaklık Ölçüm Ünitesi

Yapılan deneysel çalışmalarda ergimiş metal içerisine daldırılarak kullanılan daldırmalı tip ısıl çift ile bu sistemde kullanılan gövde ile basınç kabı arasındaki boşluktan ortam sıcaklığını ölçen ısıl çift aynı anda kullanılmıştır. Her iki ısıl çift ile yapılan ölçümler sonucunda ortam sıcaklığının, sıvı metal sıcaklığından 3°C daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler Şekil 2.1.11’de verilmiştir.



Şekil 2.1.11. Ortam sıcaklığı ile sıvı metal sıcaklığı arasındaki ilişki

Şekil 2.1.12’de deney düzeneğinin ısıtılması esnasında elde edilen sıcaklık-zaman grafiği verilmiştir. Grafikte anlaşılacağı üzere, sistemin 800°C sıcaklığa erişmesi 88 dakika sürmektedir ve ayrıca sistemin kararlı hale gelmesi için deneyler sırasında bu sıcaklıkta yaklaşık 30 dakika süre ile beklenmektedir.



Şekil 2.1.12. Dirençli ertitme fırınına ait sıcaklık-zaman grafiği

Kompozit üretiminde kullanılan basınçlı infiltrasyon deney düzeneği Şekil 2.1.13’de verilmiştir. Basınçlı infiltrasyon için gerekli basınç azot tüpü ile sağlanmaktadır. Azot tüpünün dolum basıncı 23000kPa’dır ve tüpün çıkışına monte edilen bir basınç düşürücü vasıtasıyla, çıkış basıncı 0-1000kPa değerlerine kadar düşürülebilmektedir. Ayrıca basınç düşürücüden sonra sisteme bir çekvalf takılarak, eğer oluşursa artık basıncın basınç düşürücüye ve azot tüpüne geri dönmesi engellenmiştir. Ayrıca azot gazının basınç kabına giriş kısmına bir manometre takılarak, basınç kabı içerisindeki azot gazının ısınarak basıncının artması ihtimaline karşı kap içerisindeki gerçek basıncın ölçülmesi amaçlanmıştır. Yapılan ön çalışmalarda, basınç kabının içinde sıcaklıktan dolayı, basınç artışının olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.1.13. Basınçlı infiltrasyon deney düzeneği

2.2. Kompozit Üretimi

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al 2014, takviye elemanı olarak ise 105µm, 66µm ve 44µm ortalama parçacık boyutuna sahip SiC parçacıkları kullanılmıştır. Üretim parametreleri olarak; üç farklı infiltrasyon sıcaklık değeri (700°C - 750°C - 800°C), beş farklı infiltrasyon basıncı değeri (500kPa - 600 kPa - 700 kPa - 800 kPa -

900kPa), üç farklı matrise Mg ilavesi miktarı (%0 - %4 - %8) belirlendi. İnfiltrasyon süresi tüm üretilecek kompozitlerde 3 dakika olarak belirlendi. Üretilecek kompozitlerde tekli, ikili ve üçlü modeller kullanılıp, yukarıda sözü edilen tüm üretim parametreleri üç farklı model içinde uygulanmıştır. Çizelge 2.2.1’de deneylerde kullanılacak olan üretim parametreleri görülmektedir.

Çizelge 2.2.1. Deneylerde kullanılan olan üretim parametreleri

Deney Set No	Numune No	İnf. Basıncı (kPa)	İnf. Sıcaklığı (°C)	Mg İlavesi (ağırlıkça %)	SiC Boyutu (µm)	Ağırlıkça Oranı
1	1.1.1	700	700	-	105	1
	1.1.2	700	700	-	105-66	3-2
	1.1.3	700	700	-	105-66-44	5-2-1
	1.2.1	700	750	-	105	1
	1.2.2	700	750	-	105-66	3-2
	1.2.3	700	750	-	105-66-44	5-2-1
	1.3.1	700	800	-	105	1
	1.3.2	700	800	-	105-66	3-2
	1.3.3	700	800	-	105-66-44	5-2-1
2	2.1.1	500	750	-	105	1
	2.1.2	500	750	-	105-66	3-2
	2.1.3	500	750	-	105-66-44	5-2-1
	2.2.1	600	750	-	105	1
	2.2.2	600	750	-	105-66	3-2
	2.2.3	600	750	-	105-66-44	5-2-1
	2.3.1	700	750	-	105	1
	2.3.2	700	750	-	105-66	3-2
	2.3.3	700	750	-	105-66-44	5-2-1
	2.4.1	800	750	-	105	1
	2.4.2	800	750	-	105-66	3-2
	2.4.3	800	750	-	105-66-44	5-2-1
	2.5.1	900	750	-	105	1
	2.5.2	900	750	-	105-66	3-2
	2.5.3	900	750	-	105-66-44	5-2-1
3	3.1.1	700	750	4	105	1
	3.1.2	700	750	4	105-66	3-2
	3.1.3	700	750	4	105-66-44	5-2-1
	3.2.1	700	750	-	105	1
	3.2.2	700	750	-	105-66	3-2
	3.2.3	700	750	-	105-66-44	5-2-1
	3.3.1	700	750	8	105	1
	3.3.2	700	750	8	105-66	3-2
	3.3.3	700	750	8	105-66-44	5-2-1

Buna göre herbir üretim parametresi değeri için hem tekli, hem ikili hemde üçlü modelde kompozit numuneler üretilmiştir. Böylece kompozit özellikleri üzerine SiC parçacık boyutunun ve takviye-hacim oranında etkisi belirlenebilmiştir.

Tekli modelde sadece 105µm tane boyutuna sahip SiC partikül kullanılacaktır. Bunun için hesaplanan takviye hacim oranı %51.68'dir. İkili modelde 105µm ve 66µm tane boyutuna sahip SiC partiküller kullanılacaktır. Bunların ağırlıkça oranları 105µm : 66µm için 3 : 2'dir. İkili model için hesaplanan takviye hacim oranı %49.33'dür. Üçlü modelde 105µm, 66µm ve 44µm tane boyutuna sahip SiC partiküller kullanılacaktır. Bunların ağırlıkça oranları 105µm : 66µm : 44µm için 5 : 2 : 1'dir. Üçlü model için hesaplanan takviye hacim oranı %48.99'dur.

Bu çalışmada kompozit üretimi için ilk adım çalışmada kullanılacak olan üç farklı tane büyüklüğüne (44-66-105µm) sahip SiC tozların önceden belirlenmiş olan hacimlerde tartılıp, takviye-hacim oranlarının belirlenmesi olmuştur. Bu aşamada tozlar 8mm iç çapa sahip quartz tüpler içerisine serbest halde 70mm yükseklik oluşturacak şekilde yerleştirilmiş ve tartılmışlardır.

Elde edilen ağırlık değerleri(m) ve SiC'ün yoğunluğu(ρ) bilindiğinden; denklem 3.1'de gösterildiği gibi hacim(v) hesaplanmıştır. Denklem 3.2 ile çapı(d) 8mm, yüksekliği(h) 70mm olan tüpün hacmi hesaplanarak, denklem 3.3'te gösterildiği gibi, hesaplanan hacim(v), tüp hacmine(v_t) bölünüp 100 ile çarpılarak 105µm, 66µm ve 44µm tane boyutuna sahip SiC'ler için ayrı ayrı takviye hacim oranları belirlenmiştir.

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (3.1)$$

$$v_{tp} = \pi r^2 h \quad (3.2)$$

$$\%TH = \frac{v}{v_{tp}} \times 100 \quad (3.3)$$

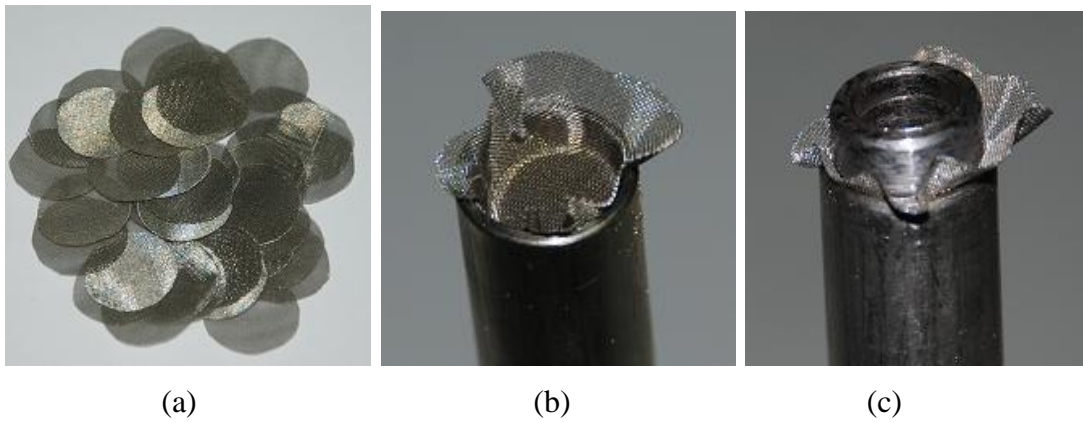
Daha sonra tekli, ikili ve üçlü modeller için ağırlık oranlarından gidilerek, bu modellerde oluşan takviye-hacim oranları hesaplanmıştır. Ayrıca C++ paket programında yazılan bir program vasıtasıyla, değişik takviye-hacim oranları için

matris ve takviye miktarları belirlenebilmektedir. Yazılan programın çıktı sayfası Şekil 2.2.1’de gösterilmiştir.

```
C:\Users\SERKAN\Desktop\TIK_serkan\kompozitmalzemecpp.exe
takviyenin kutle degerini gram cinsinden giriniz
5.8587
matrisin kutle degerini gram cinsinden giriniz
2.8989
cap degerini cm cinsinden giriniz
0.8
kompozitin yuksekligini cm cinsinden giriniz
7
takviyenin yogunluk degerini gr/cm3 cinsinden giriniz
3.22
matrisin yogunluk degerini gr/cm3 cinsinden giriniz
2.8
miktarlarini belirlemek istediginiz takviye hacim oranini giriniz
30
takviyenin miktari
3.40032
gramdir
matrisin miktari
1.21641
gramdir
Devam etmek için bir tuşa basın . . .
```

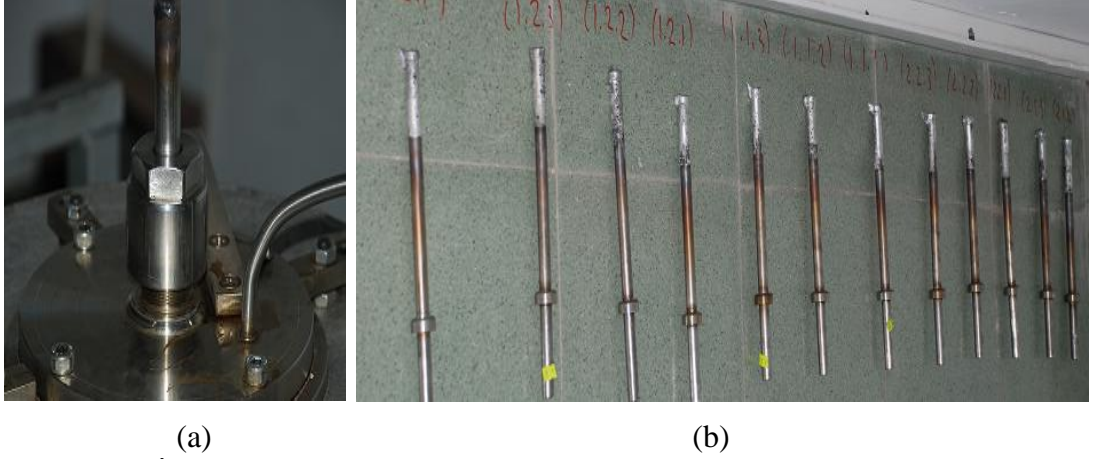
Şekil 2.2.1. Program çıktı sayfası

Daha sonra tartılan tozlar çelik tüplerin içerisine yerleştirilmiş. Çelik tüplerin içerisine yerleştirilen tozların üzerine, Şekil 2.2.2.a’da gösterilen 22mm çapında kesilmiş Cr-Ni filtre Şekil 2.2.2.b’de gösterildiği gibi borunun ağzına yerleştirildikten sonra, Şekil 2.2.2.c’de gösterildiği gibi bir bilezik vasıtasıyla sabitlenerek basınç etkisiyle tozların hareketi engellenmiştir.



Şekil 2.2.2. Filtrelerin yerleştirilmesi

İnfiltrasyon için hazır hale gelen tozlarımız daha önceden ergitilmiş ve istenilen sıcaklığa çıkarılmış Al2014 alaşımının içinde bulunduğu basınç kabına Şekil 2.2.3.a'da gösterildiği gibi yerleştirilip, belirlenen basınç altında 3 dakika bekletilerek infiltrasyon gerçekleştirildi. 3 dakikanın ardından basınç kabı açılarak, basınç kabının içerisinde çıkarılan borular Şekil 2.2.3.b'de gösterildiği gibi oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.



Şekil 2.2.3. İnfiltrasyon deney düzeneği ve üretilen kompozitler

Kompozitler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, bir kesici vasıtasıyla kompozitin içinde bulunduğu çelik tüp kesilerek içerisinde çıkarılır. 2.2.4'de boru içerisinde çıkarılan kompozit görülmektedir.



Şekil 2.2.4. Üretilen kompozit malzeme

Üretilen kompozitlerin yoğunluğu, gözenekliliği, ısıl iletkenliği, sertlik ve basma dayanımlarının tespit edilmesi için numuneler daha önceden belirlenen ölçülerde “Struers Minitom” marka kesme cihazında elmas kesici kullanılarak kesilmiştir.

Üretilen kompozitler Taramalı Elektron Mikroskopundaki (SEM) mikroyapı incelemeleri için yüzeyleri “Struers LaboPol-21” marka numune hazırlama cihazı ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi için sırasıyla 220-400-600-800-1000-1200 dane büyüklüğüne sahip SiC zımparalar ile yüzeyler zımparalanmıştır.

2.3. Deneysel Ölçümler

2.3.1. Yoğunluk ve Gözeneklilik Ölçümleri

Bir maddenin birim hacminin kütesine yoğunluk denir. Birimi g/cm^3 'tür. Yoğunluk ölçümleri arşimet prensibine göre “Sartorius” marka 1/10000 hassasiyete sahip hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti ile yapılmıştır. Denklem 1 ile numunenin deneysel yoğunluğu hesaplanmış olur.

$$\rho_d = \frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \rho_{su} \dots\dots\dots 1$$

Bir malzemenin boşluk hacminin toplam hacmine oranına gözeneklilik denir ve % cinsinden belirtilir. Teorik yoğunluğun deneysel yoğunluğa oranı ile denklem 2'deki gibi belirlenir.

$$\%gözeneklilik = \frac{\rho_t}{\rho_d} \times 100 \dots\dots\dots 2$$

2.3.2. Mikroyapı İncelemesi

Hazırlanan kompozitlerin yüzey incelemeleri “JEOL JSM 5600” marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapıldı.

2.3.3. Sertlik Ölçümleri

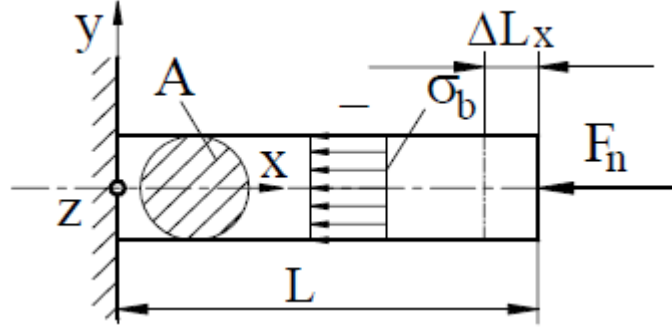
Bir malzemenin, kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizilmesine (kalıcı şekil değiştirmesine vb.) karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Üretilen kompozitlerin sertliklerinin belirlenmesi için Brinell Sertlik Deneyi kullanıldı. Bu deneyde sertlik, sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbürden yapılan bir bilyanın, sertliği ölçülecek malzemeye genellikle 30 saniye müddetle ve belirli bir yükü bastırılması yoluyla saptanır. Brinell Sertlik Değerinin ölçümü “Clark 100S” marka sertlik ölçüm cihazı ile yapıldı ve denklem 2.3.3.1 ile belirlendi. Burada F uygulanan yükü, D bilya çapını, d ise iz çapını göstermektedir.

$$BSD = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots 2.3.3.1$$

Kompozitlerin sertlik ölçümleri için her bir numuneden 10!ar adet ölçüm alındı ve kompozitin sertliği bu ölçümlerin ortalaması alınarak belirlendi.

2.3.4. Basma Dayanımı Ölçümleri

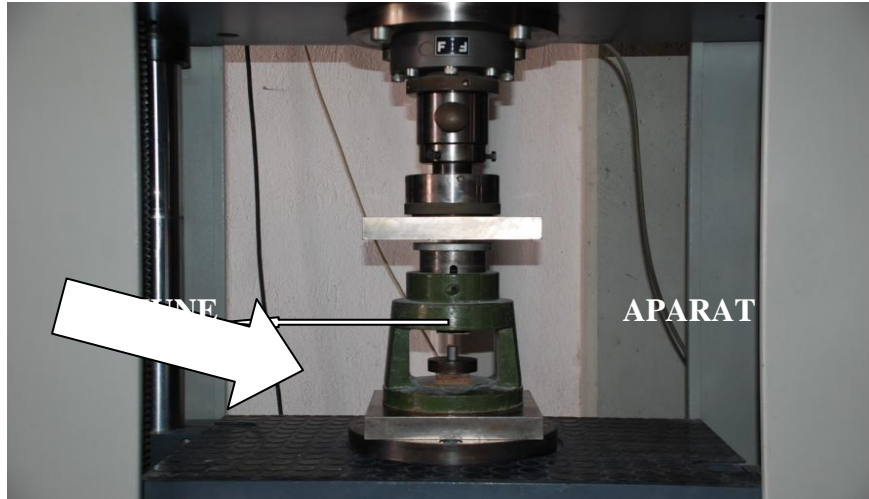
Malzemeye etki eden dış kuvvete karşı malzeme içerisinde bu dış kuvvetlere tepki olarak meydana gelen kuvvetlere iç kuvvetler denir. İç kuvvetlerin malzemenin kesit alanına oranına gerilme denir ve birimi (N/m²) yani pascaldır. Eğer malzemeye etki eden dış kuvvet çekme şeklindeyse meydana gelen gerilmeye çekme gerilmesi, dış kuvvet basma şeklindeyse meydana gelen gerilme değerine basma gerilmesi denir. Şekilde dairesel kesitli (A) bir malzemeye etki eden basma kuvveti (F_n) ile meydana gelen basma gerilmesi (σ_b) şematik olarak gösterilmiştir. Basma gerilmesi denklem 2.3.4.1’de görüldüğü gibi hesaplanır.



Şekil 2.3.4.1. Basma gerilmesinin şematik gösterimi

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A} \dots\dots\dots 2.3.4.1$$

Numunelerin basma dayanımları Şekil 2.3.4.2’de gösterilen “Zwick Z100” marka çekme-basma dayanımı cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Basma dayanımının belirlenmesinde numunelerin boyutları çok küçük olduğu için özel bir aparat kullanılmıştır.



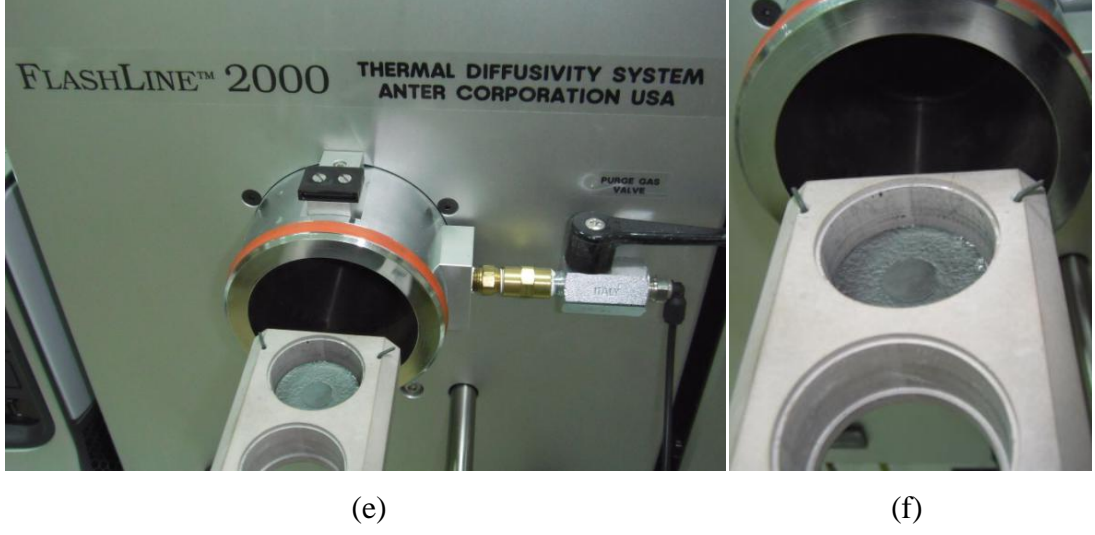
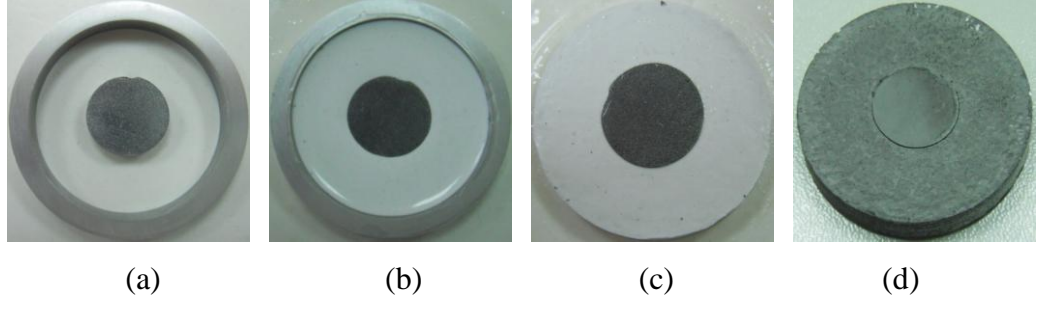
Şekil 2.3.4.2. Çekme-basma dayanımı ölçüm cihazı

2.3.5. Isıl İletkenlik Ölçümleri

Katılarda ısı iletimi, moleküllerin titreşmesi ve elektronların serbest hareketi ile gerçekleşir. Normalde belli bir titreşime sahip olan moleküller ısı aldıklarında, sıcaklıkları, dolayısıyla kinetik enerjileri artar ve daha hızlı titreşmeye başlar. Hızlı titreşen molekül komşu molekülleri de titreştirir ve dalgalar halinde molekülden moleküle ısının akışı sağlanır. Numunelerin ısı iletkenlik değerleri Şekil 2.3.5.1.e ve Şekil 2.3.5.1.f’de gösterilen “Anter Flash Line 2000” model cihaz ile Laser Flash tekniği kullanılarak ısı yayılım katsayısından eşitlik (2) ile dolaylı olarak hesaplanmıştır. Cihazda kullanılan kartuşlar çapı 31.75mm olan numunelerin ısı iletkenlik ölçümlerine izin vermektedir. Ürettiğimiz kompozitlerin çapı 13mm olduğundan kompozitlerin çapını büyötmek için Şekil 2.3.5.1.a’da göröldüğü gibi iç çapı 31.75mm olan bir kalıbın içine yerleştirilmiştir. Daha sonra Şekil 2.3.5.1.b’de göröldüğü gibi toz halindeki CAST 95 su ile harç kıvamına getirilerek kalıbın içerisine kompozitin et kalınlığını aşmayacak şekilde dökölmüştür. Yaklaşık 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılan kompozitin resmi Şekil 2.3.5.1.c’de verilmiştir. Şekil 2.3.5.1.d’de göröldüğü gibi kompozit numunenin tüm yüzeyleri ısı iletkenlik ölçümünün yapılabilmesi için sprej grafit ile boyanmıştır. Zamana bağılı ısı iletkenlik ölçüm temeline dayalı bu cihazın çalışma prensibi Şekil 2.3.5.1’de verilmiştir.

Isıl iletkenlik ölçümleri oda sıcaklığı olarak kabul edilen 25°C sıcaklıktan başlanılarak 200°C’ye kadar sekiz farklı sıcaklık değerinde yapılmıştır. Her bir ölçüm cihaz tarafından en az üç kez yapılarak sonuç bu ölçümlerin ortalaması alınarak bulunmuştur.

$$a = \frac{k}{\rho \cdot c} \dots\dots\dots (2)$$



Şekil 2.3.5.1. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı

3. TARTIŞMA ve SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Yukarıda açıklanan basınç, sıcaklık ve Mg ilavesi ile üretilen kompozitlerin mikro yapı resimleri, yoğunluk, gözenek miktarı, ısı iletkenlik, sertlik ve basma dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlar basınç, sıcaklık ve sıvı matrise Mg ilavesi şeklinde düzenlenerek tablo ve grafiklerle verilmiştir.

3.1. Takviye Parçacık Büyüklüğüne Göre T-H Oranı

Çizelge 3.1.1’de İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan SiC tozların oluşturdukları takviye-hacim oranları görülmektedir.

Çizelge 3.1.1 İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan SiC tozların oluşturdukları T-H oranları.

Takviye tane büyüklüğü (μm)	105	66	44	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
Takviye hacim oranı (%)	51,68	45,81	41,96	51,68	49,33	48,99

Küçük tane boyutuna sahip SiC tozları düşük takviye hacim oranı oluştururken, büyük tane boyutuna sahip SiC tozların daha yüksek T-H oranı oluşturduğu tespit edildi. Benzer şekilde tekli modelde üretilen kompozitler en yüksek takviye-hacim oranına sahipken, üçlü modelde üretilen kompozitler ise en düşük takviye-hacim oranına sahiptir. Bunun nedeni küçük taneli takviyede yüzey alanlarının fazla olmasından dolayı taneler arası infiltrasyon öncesi gözeneklerin bütün hacme dağılması ve gözenek miktarlarının fazla olmasıdır.

3.2. İnfiltrasyon Mesafeleri

Farklı tane büyüklüğüne sahip SiC tozlarının ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen tekli, ikili, üçlü modellerde üretilen kompozitlerde infiltrasyon basıncı, infiltrasyon sıcaklığı, sıvı matrise Mg ilavesi gibi üretim parametrelerinin infiltrasyon mesafesine etkisi gözlenememiştir. Bunun nedeni farklı parametrelerde yapılan basınçlı infiltrasyon deneylerinde 70mm yüksekliğindeki tozun tamamı infiltre olurken, tüm numunelerde taşma meydana gelmesidir.

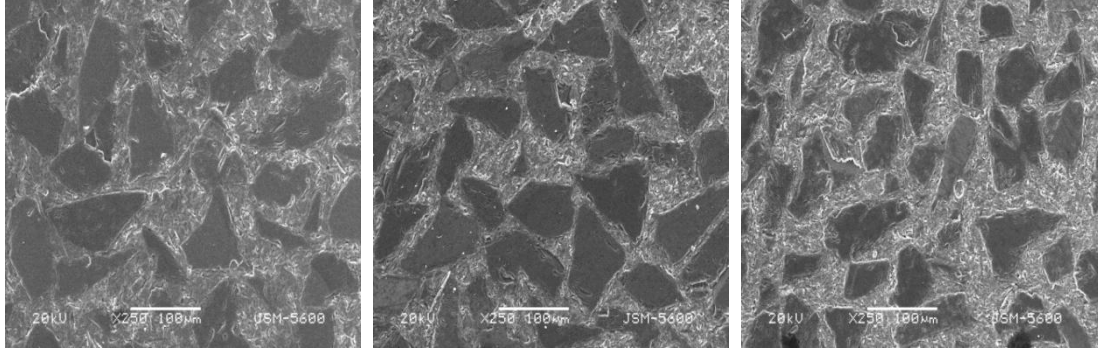
3.3. İnfiltrasyon Sıcaklığı

İnfiltrasyon sıcaklığı olarak 700°C, 750°C ve 800°C değerleri kullanılmıştır. İnfiltrasyon basıncı 700kPa, infiltrasyon süresi 3 dakikadır. Matrise Mg ilave edilmeden her üç model için deneyler tekrarlanmıştır.

Sıvı matris sıcaklığı infiltrasyon mesafesinde etkili parametrelerden biridir.[18-26-27]. 700°C, 750°C ve 800°C'de yapılan deneylerde infiltrasyon tam olarak sağlanmıştır.

İnfiltrasyon sıcaklığının artmasıyla sıvı Al2014 matrisin yüzey gerilimi azaldığından kılcallık kanununa göre infiltrasyon için gerekli kılcal basıncı azaltarak infiltrasyonu artırıcı etki yaptığı ifade edilebilir. Benzer olarak Çalın-Çıtak[86] MgO-0,5Al sisteminde, Chong S.Y. [82] Al/SiC sisteminde, Demir ve Altınkok[83] Al-Al₂O₃/SiC sisteminde infiltrasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğunu ve artan sıvı matris sıcaklıklarında infiltrasyon davranışının arttığını belirtmişlerdir.

Şekil 3.3.1, 3.3.2 ve 3.3.3'de sırasıyla tekli, ikili ve üçlü modellerde farklı infiltrasyon sıcaklıkları kullanılarak üretilen kompozitlere ait SEM resimleri verilmiştir.



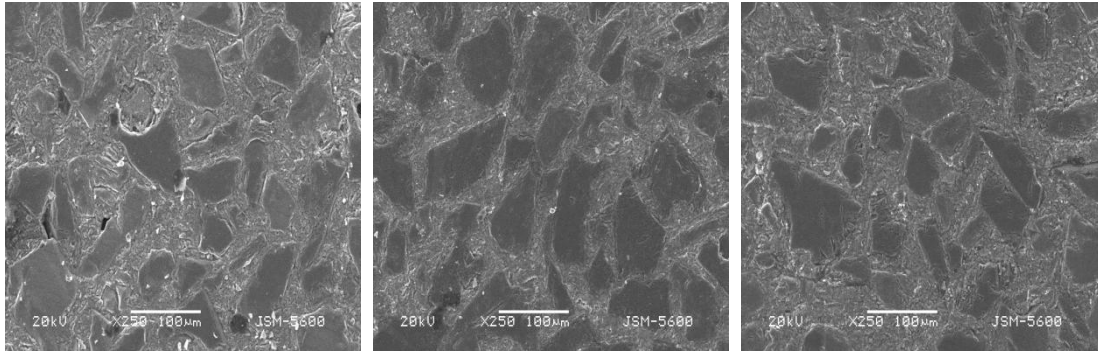
(a)

(b)

(c)

Şekil 3.3.1. Tekli modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri

(a) 700°C, (b) 750°C, (c) 800°C



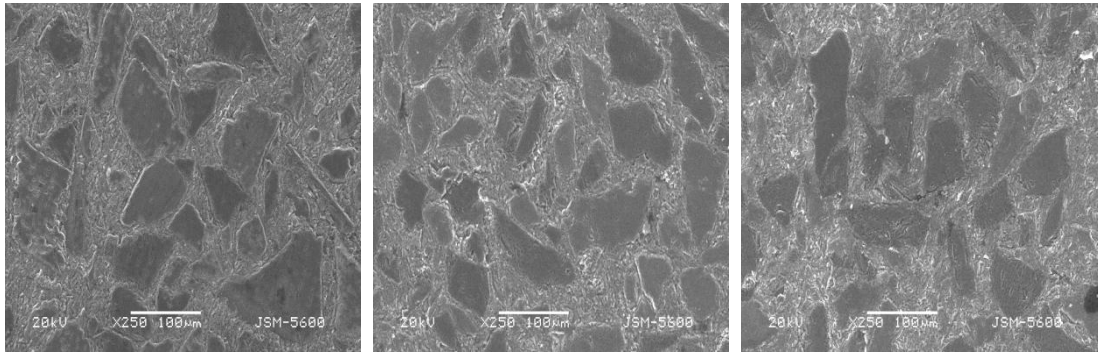
(a)

(b)

(c)

Şekil 3.3.2. İkili modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri

(a) 700°C, (b) 750°C, (c) 800°C



(a)

(b)

(c)

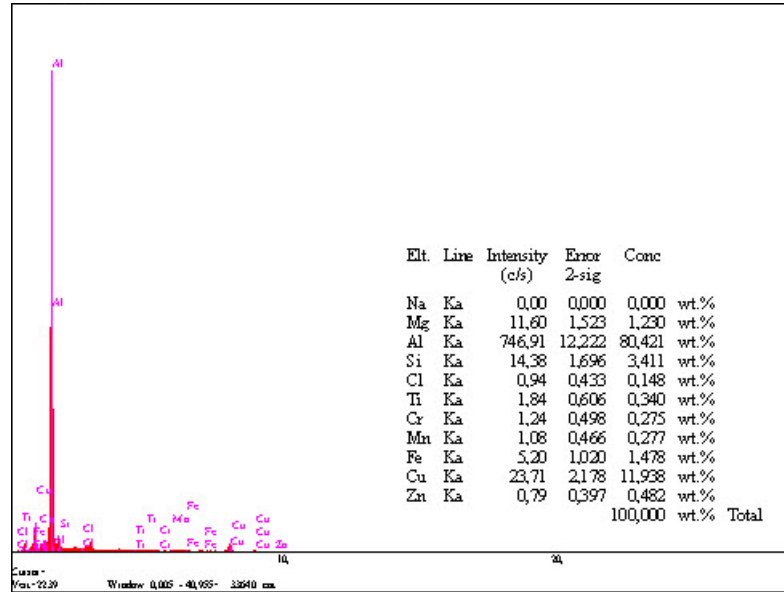
Şekil 3.3.3. Üçlü modelde farklı sıcaklıklarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri

(a) 700°C, (b) 750°C, (c) 800°C

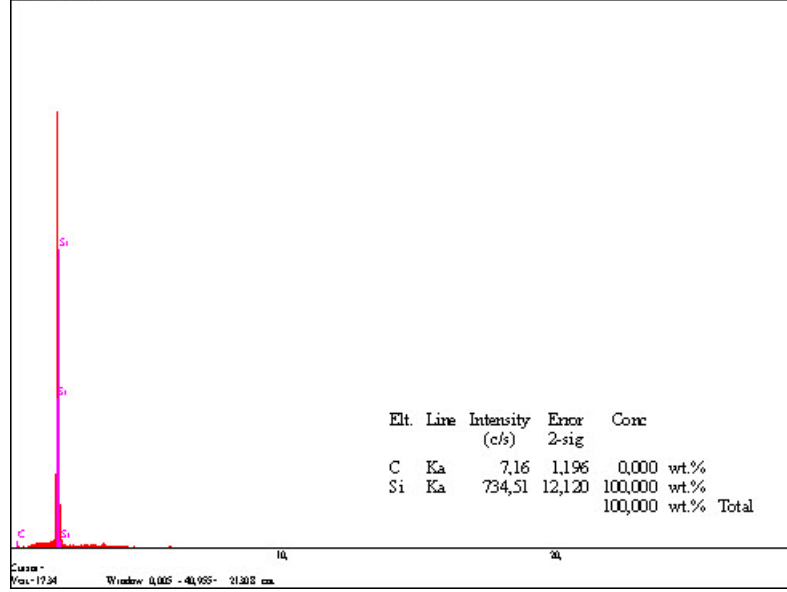
Resimler incelendiğinde kompozit malzemede bazı bölgelerde SiC partiküllerinin itilerek kümelendiği görülmektedir. Bunun nedeni SiC partiküllerinin katılma

sırasında hareket etmesine imkan verecek yavaş ve yetersiz soğuma hızı nedeniyle Al2014 alaşımı dentritlerinin SiC partiküllerini dentritler arasında kalan bölgelere itmesi olabilir. Benzer sonuçlar Skibo, Morris ve Lloyd [88] tarafından da bildirilmiştir. Gotmare ve Samuel [87] çalışmalarında SiC partiküllerinin katılma sırasında dentritler tarafından itilmesi veya içine alınmasında belirleyici bir kritik soğuma hızı değerinin olduğunu ve bu değer yüzey enerjisi, partikül şekli, termal iletkenlik ve eriyik içerisindeki empüritelere miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

SEM görüntüleri incelendiğinde takviye-hacim oranının artmasıyla (tekli model) SiC parçacıkların üretilen kompozitlerin içerisinde homojen dağılımında arttığı görülmektedir. Bunların dışında numuneler üzerinde farklı bölgelerden yapılan EDAX analizleri Şekil 3.3.4’de verilmiştir. Edax analizleri ile kompozit içerisindeki Al2014 matris malzemesi ve SiC takviye elemanı incelenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3.4. Kompozitlerin farklı bölgelerinden alınan EDAX analizi
(a) Al2014'e ait bölge, (b) SiC'e ait bölge

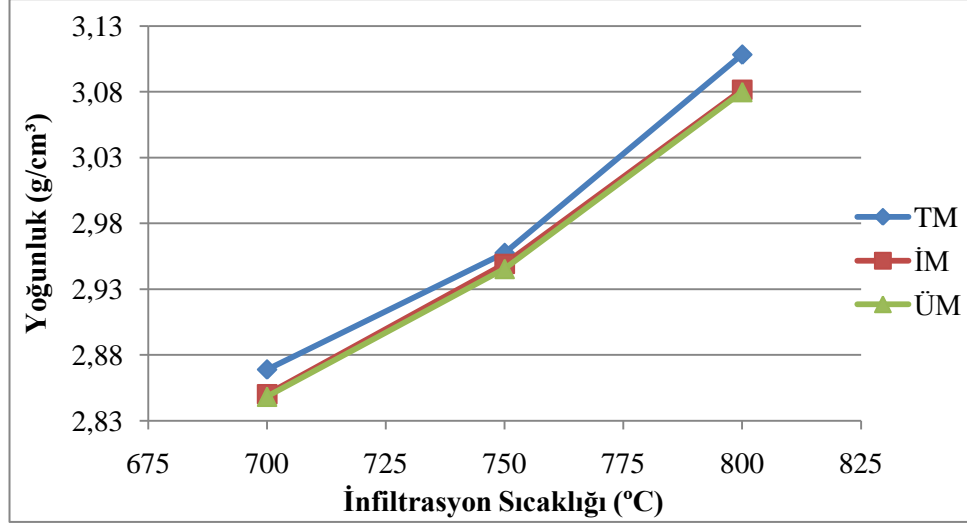
Al2014 alaşımının EDAX analizinde Cu ve bir miktarda Fe, Cr belirlenmiştir. Bunun sebebi matris malzemesi Al2014 alaşımının ergitildiği CrNi paslanmaz çelik potadan etkilenmesidir. Buna uzun süreli çalışmanın sebep olduğu söylenebilir.

3.3.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi

Şekil 3.3.1.1'de görüldüğü gibi infiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin yoğunluk değeri artmakta, takviye hacim oranının azalmasıyla ise kompozitin yoğunluk değeri azalmaktadır. Bu sonuçlar pekçok sistemde olduğu gibi SiC/Al2014 sisteminde de sıcaklığın önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.3.1.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Sıcaklık (°C)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
700	2,8689	2,8501	2,8483
750	2,9575	2,9492	2,9454
800	3,1083	3,0815	3,0798
Yoğunluk (g/cm ³)			



Şekil 3.3.1.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

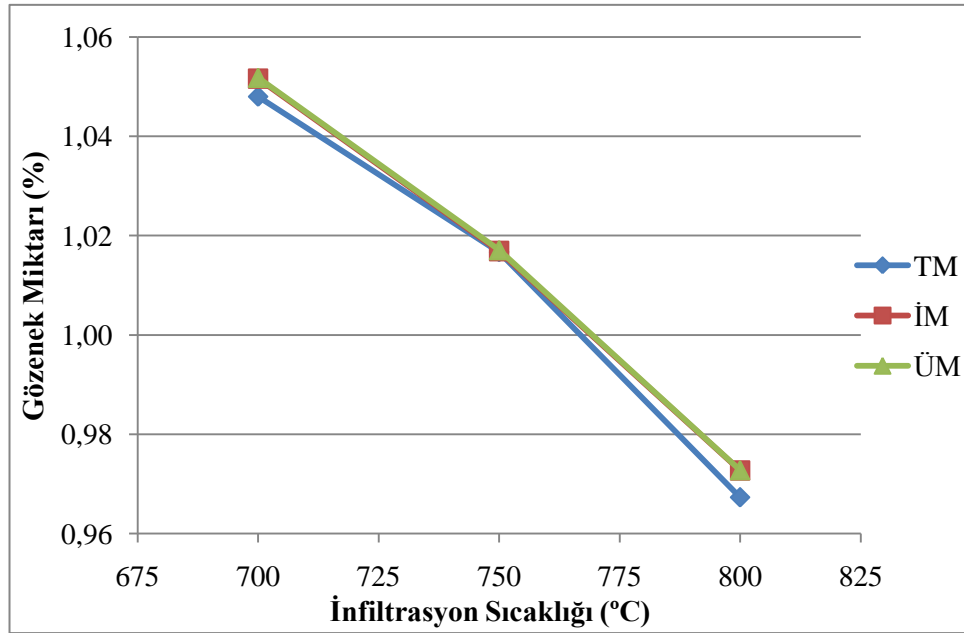
Sıcaklık arttıkça sıvıların viskozitesi ve yüzey gerilimi düşmektedir. Dolayısıyla akıcılık artmakta ve buda zorlanmış infiltrasyona yardımcı olmaktadır. Böylece sıvı metalin SiC tozlar arasında kalan infiltrasyon öncesi boşluklara daha iyi sızmasını sağlanmakta ayrıca daha iyi ıslatma meydana gelmektedir. Böylece kompozitin yoğunluğu artmaktadır. Benzer sonuçlar Chong vd. [82], Şahin ve Acılar [85], Demir ve Altınok [83] tarafından da belirtilmiştir. Ayrıca aynı sıcaklık değerinde tekli modelde elde edilen yoğunluk değeri, ikili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerleri birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen yoğunluk değeri üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. Tekli modelde kompozitin takviye hacim oranı ikili ve üçlü modele göre büyük olduğundan yoğunluğuda büyüktür.

3.3.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi

Şekil 3.3.2.1'de görüldüğü gibi infiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin gözenek miktarı azalmakta, takviye hacim oranının azalmasıyla ise gözenek miktarı artmaktadır.

Çizelge 3.3.2.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı

Sıcaklık (°C)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
700	1,0480	1,0516	1,0518
750	1,0167	1,0169	1,0171
800	0,9673	0,9727	0,9728
Gözenek Miktarı (%)			

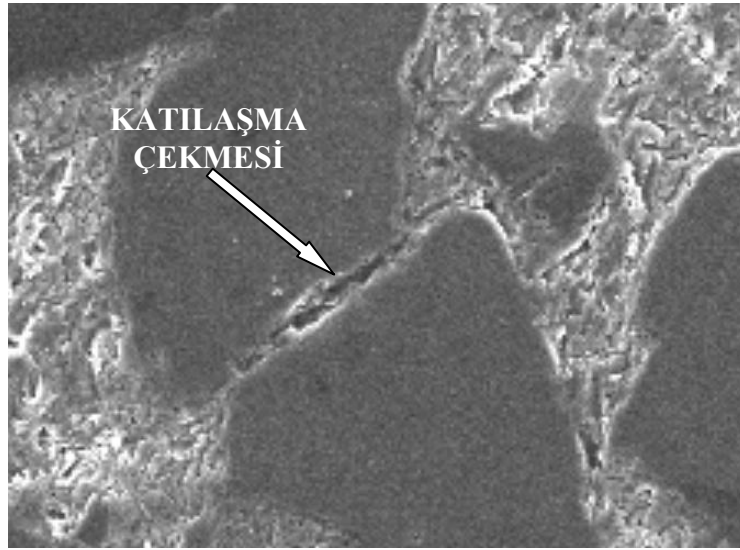


Şekil 3.3.2.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı

İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile sıvı matrisin yüzey gerilimi azalarak akıcılığı artmakta, infiltrasyon öncesi boşlukları doldurması kolaylaşmakta böylece sıvı matrisin SiC tozlar içerisine daha iyi infiltrasyonunu sağlanmakta ayrıca daha iyi ıslatma meydana gelmektedir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin gözenek miktarının azaldığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla takviye ile matris arasında daha az gözenekli bir yapı görülmektedir. Buna neden artan sıcaklıkların sıvı matrisin toz arasındaki boşluklara infiltre olmasını kolaylaştırmasıdır. Benzer sonuçlar Chong vd. [82], Şahin ve Acılar [85], Demir ve Altınok [83] tarafından da belirtilmiştir. Böylece kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır. Ayrıca aynı sıcaklık değerinde tekli modelde elde edilen gözenek miktarı, ikili ve üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen

gözenek miktarları birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen gözenek miktarı üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. Küçük taneli tozlarda boşlukların daha küçük olması infiltrasyonu zorlaştırmış ve oluşan infiltrasyon sonucu matriste gözenek miktarı artmıştır. Buna neden büyük tane boyutuna sahip numunelerde taneler arasında kalan infiltrasyon öncesi boşlukların daha büyük olmasından dolayı bu numunelerde infiltre olan matris boşlukları daha iyi doldurmuş ve gözenek miktarı azalmıştır.

Yapılan mikroyapı incelemelerinde SiC tozların arasındaki boşlukların küçük olduğu yerlerde Şekil 3.3.2.2.'de görüldüğü gibi katılaşma çekmesinden kaynaklanan gözenekler belirlenmiştir. Bundan, taneler arasındaki küçük boşlukların infiltrasyonu zorlaştırdığı anlaşılmaktadır. Elwahwed ve Asar [34] Al/(Al₂O₃)_p sisteminin basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde benzer sonuçlar elde etmişlerdir.



Şekil 3.3.2.2. Katılaşma çekmesi

Bu çalışmadakine benzer olarak, basınçlı infiltrasyon yönteminde Chong S.Y. [82] Al/SiC sisteminde, Demir ve Altınok [83] Al-Al₂O₃/SiC sisteminde infiltrasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğunu ve artan sıvı matris sıcaklıklarında infiltrasyon davranışının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca Contreras vd., [84] Mg/TiC sisteminin, Rodriguez-Reyes [40] Al-Si-Mg/SiC sisteminin basınçsız infiltrasyon

yöntemiyle infiltrasyonunda bu çalışmadakine benzer, artan sıcaklıklarda infiltrasyon davranışının arttığını belirtmişlerdir.

Durman vd., [46], Kurnaz vd., [47]'nin çalışmalarına benzer olarak artan T-H oranlarında kompozitlerin gözenek miktarları da artmıştır. Bunun nedeni T-H oranının artmasıyla sıvı matrisin infiltrasyon davranışının azalmasıdır.

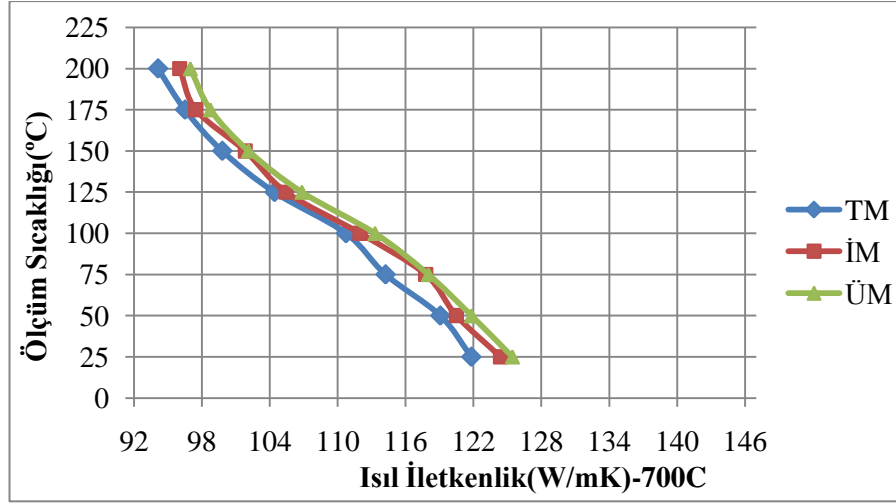
Sıcaklığın artmasıyla matrisin yüzey gerilimi azaldığından kılcallık kanununa göre infiltrasyon için gerekli kılcal basınçta azalarak infiltrasyonu artırıcı etki yapmaktadır. Sıcaklığın artması ile iyileşen infiltrasyon, gözenek oluşumu üzerinde de olumlu bir etki yapmıştır.

3.3.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi

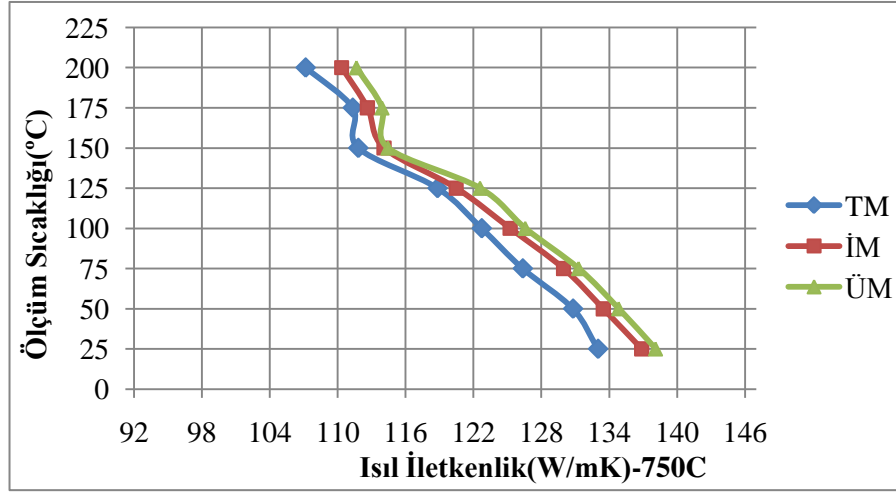
Isıl iletkenliğin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.3.3.1 ve Şekil 3.3.3.2'de gösterilmiş olup ısı iletkenliğin infiltrasyon sıcaklığının artması ile arttığı ancak ölçüm sıcaklığının artması ile azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.3.3.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri

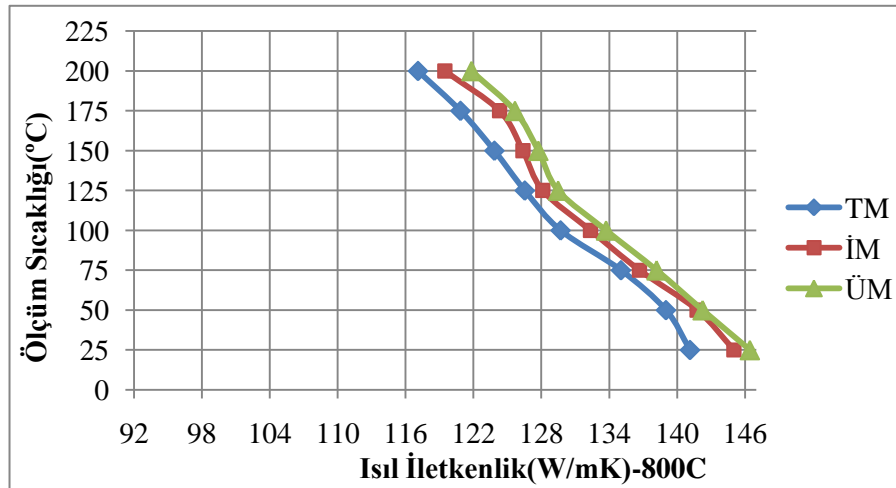
İnfiltrasyon Sıcaklığı (°C)	Isıl İletkenlik Ölç. Sıcaklığı (°C)	Tane Büyüklüğü		
		Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
700	25	121,805	124,385	125,453
	50	119,060	120,484	121,835
	75	114,222	117,765	118,024
	100	110,721	111,975	113,304
	125	104,406	105,432	106,839
	150	99,789	101,821	102,115
	175	96,497	97,462	98,746
	200	94,113	96,029	96,964
750	25	133,007	136,868	138,107
	50	130,797	133,468	134,845
	75	126,354	129,956	131,299
	100	122,725	125,234	126,585
	125	118,818	120,470	122,587
	150	111,816	114,097	114,442
	175	111,327	112,621	113,922
	200	107,164	110,346	111,662
800	25	141,139	145,012	146,428
	50	139,011	141,765	142,251
	75	135,034	136,673	138,182
	100	129,695	132,336	133,718
	125	126,531	128,124	129,480
	150	123,845	126,367	127,731
	175	120,844	124,304	125,660
	200	117,088	119,472	121,817
Isıl İletkenlik (W/mK)				



(a)

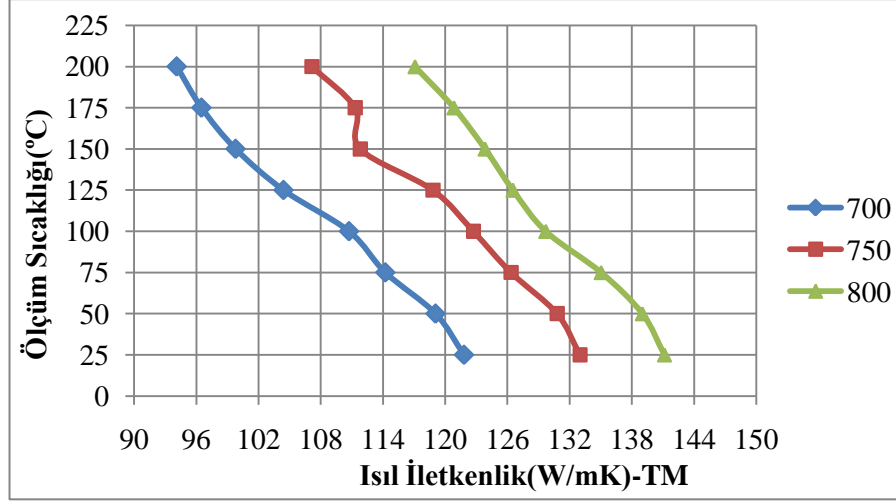


(b)

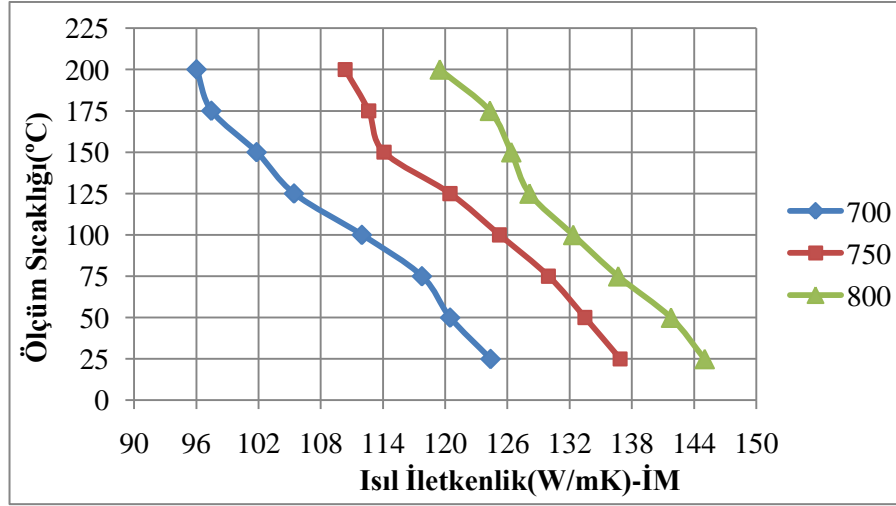


(c)

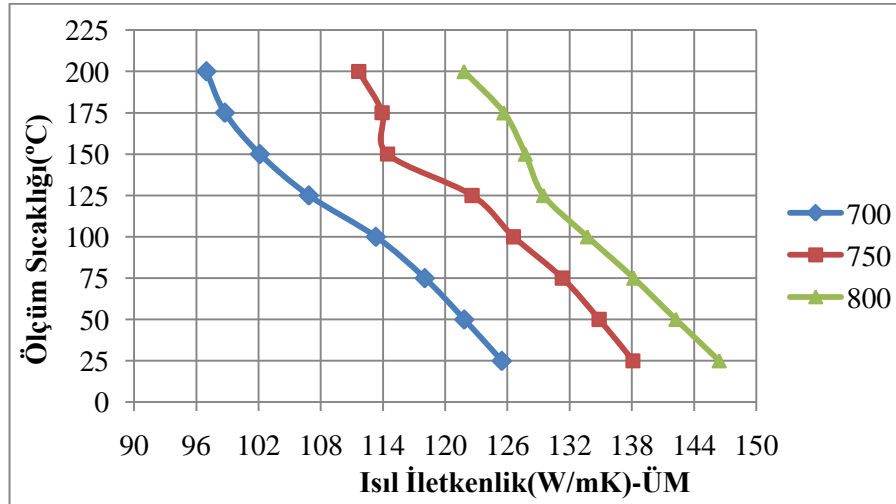
Şekil 3.3.3.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değ erinin sıcaklıkla değ iş imi



(a)



(b)



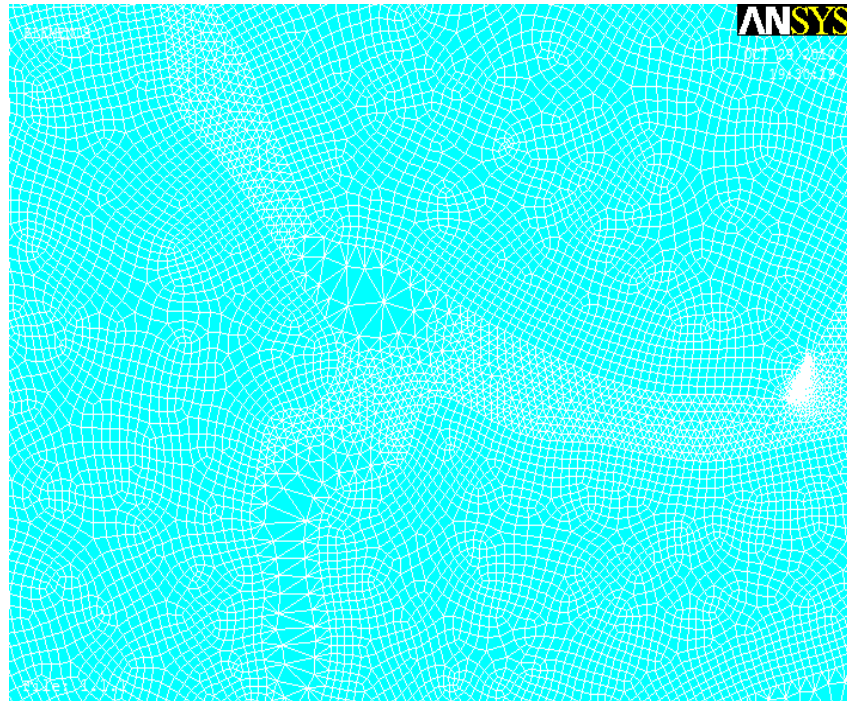
(c)

Şekil 3.3.3.2. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değ erinin SiC tane boyutu ile değ iş imi

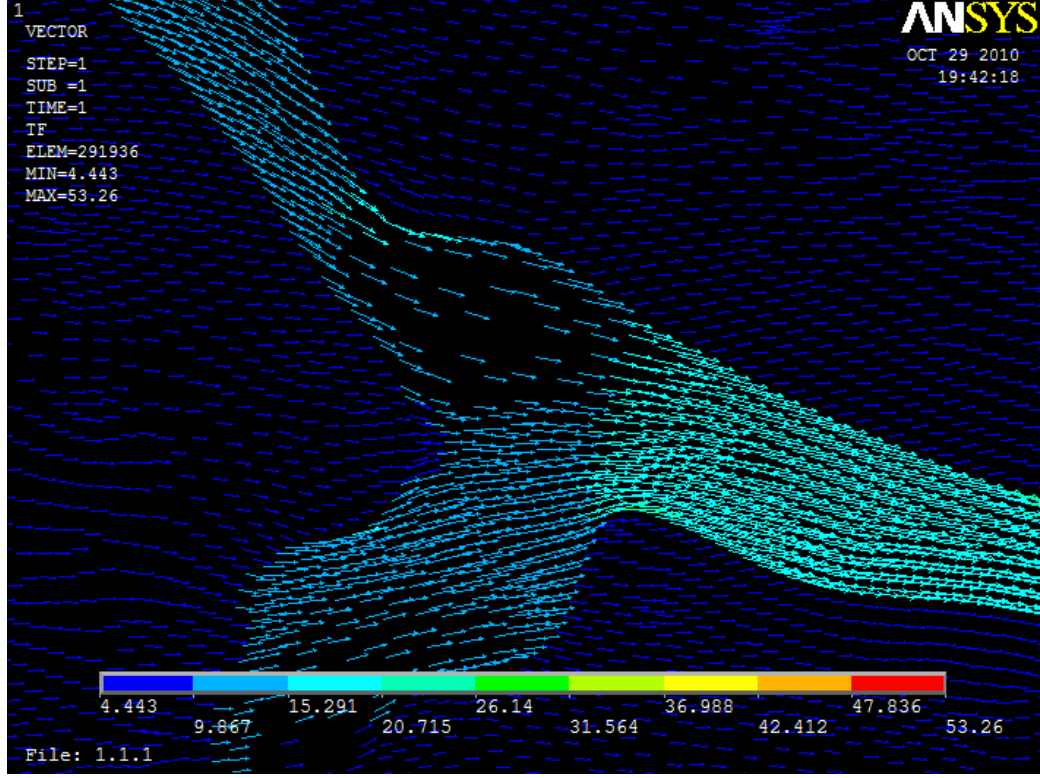
Isıl iletkenliğin sıcaklıkla artmasının nedeni porozite ile ilgilidir. İnfiltrasyon sıcaklığının yüksek olması eriyiğin mikro düzeydeki partiküller arasına daha iyi nüfuz etmesini sağlamaktadır. Sıcaklıkla ısı iletkenliğin azalması ise SiC kaynaklanmaktadır. SiC'ün negatif sıcaklıklarda ısı iletkenliğinin yükseldiği oda sıcaklıklarına doğru ve daha yüksek sıcaklıklarda düştüğü bilinmektedir. Benzer sonuçlar V. V. Rao ve arkadaşları [103] tarafından da bildirilmektedir. Isıl iletkenliğin SiC tane boyutu ile değişimi grafiği incelendiğinde üçlü modelin ısı iletkenlik değerinin ikli ve tekli modelden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni üçlü modelin takviye hacim oranının tekli modelden daha düşük olmasıdır. SiC'ün ısı iletkenlik değeri Al2014'den daha düşüktür ve takviye hacim oranı düşüktüçde kompozit içerisindeki SiC miktarı düşer.

Çizelge 3.3.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri

Sıcaklık	Geometrik(k _g)	Paralel(k _p)	Nümerik	DeneySEL
700 °C	120.440	133.309	121.374	116.452
750 °C			119.396	128.221
800 °C			120.457	136.220



Şekil 3.3.3.3. 700°C'de üretilmiş kompozit için dönüştürülmüş nümerik model



Şekil 3.3.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi

Sayısal çözümler resimlerin bütünü üzerinde gerçekleştirilmesine rağmen numunenin tamamını temsil etmediği bilinmelidir. Yüzeysel oranlardan gidilerek iki boyutlu sayısal çözümde hacimsel oran yakalanacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. İki boyutlu çözümde yüzeysel oranların hacimsel oranlara dönüşümünde ortaya çıkan hatanın %1'in altında olduğu bütün geometriler için görülmüştür. Bu nedenle iki boyutlu sayısal çözümün üç boyutlu çözümlere denk olduğu söylenebilir.

Deneysel olarak 25°C ile 100°C sıcaklıkları arasında yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 3.3.3.2'de deneysel sonuçlar olarak verilmiştir. Teorik ve sayısal yöntemlerde kullanılan matris ve takviye malzemesine ait ısıl iletkenlik değerleri 0°C ile 100°C arasında literatürde verilen değerlerdir. Bu değerlere bakıldığında deneysel sonuçların oldukça tutarlı ve beklenildiği şekilde elde edildiği görülmektedir. Sayısal sonuçlardaki sapmanın seçilen bölge mikro yapısına bağlı oluşundan ve porozitenin dikkate alınamamasından kaynaklanmaktadır. Teorik yöntemlerden geometrik ve paralel yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın değerler vermektedir. Bunlardaki sapma da iki malzemedan oluşan

kompozitlere yönelik çözümler üretebilmesinden kaynaklanmaktadır. Halbuki gerçek numularda %1'ler civarında gözenek söz konusudur. Ayrıca teorik yöntemlerde sıcaklık etkisi de söz konusu değildir.

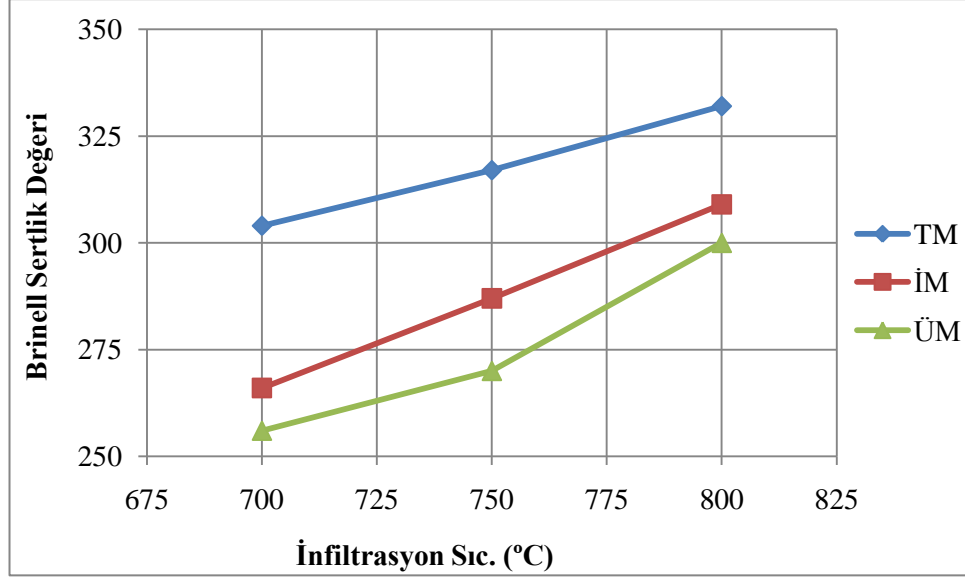
SiC/Al₂O₃ kompozitinin mikro yapı fotoğraflarından hareketle analitik model oluşturulmuştur. Bu model tek boyutlu ısı iletimi şeklinde sınır şartları ile tanımlanarak sıcaklık dağılımı ve ısı akış miktarları hesaplanmış kompozitin efektif ısı iletkenliği belirlenmiştir. Kompozitin seçilen bölgesinde hesaplama düzlemindeki ısı akılarının vektörel gösterimi Şekil 3.3.3.4'da verilmiştir. Bu resimden de görüleceği üzere kompoziti oluşturan malzemelerin ısı iletkenliklerine bağlı olarak vektör büyüklükleri arasındaki fark net olarak görülebilmektedir.

3.3.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi

Şekil 3.3.4.1'de görüldüğü gibi İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin sertlik değeri artmakta, takviye hacim oranının azalmasıyla ise kompozitin sertlik değeri azalmaktadır.

Çizelge 3.3.4.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al₂O₃ kompozitinin sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
700	304	266	256
750	317	287	270
800	332	309	300
Brinell Sertlik Değeri(BSD)			



Şekil 3.3.4.1 Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri

İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin sertlik değeri artmaktadır. Buda kompozitin yoğunluğunun sıcaklıkla artması ile açıklanabilir. Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99'dur. Şekil 3.3.4.1'de görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek sertliğe sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

Artan takviye tane büyüklüklerinde üretilen kompozitlerin sertlikleride artmaktadır. Bunun nedeni büyük taneli tozlarda (tekli model) hacimce SiC miktarının artmasıdır. Dolayısıyla yumuşak olan matris malzemesinin kompozit içerisinde daha az olmasıdır. Ayrıca büyük taneli tozlarda, infiltrasyon öncesi boşlukların büyük olması ve üretilen kompozitlerin daha az gözenek miktarına sahip olmasıdır.

Artan sıcaklıklarda kompozitlerin gözenek miktarları azalmış ve sertlik değerleride artmıştır. Buna neden artan infiltrasyon sıcaklıklarının sıvı matrisin SiC tozlar içerisinde infiltrasyonunu kolaylaştırarak daha az gözenekli kompozit oluşmasına yardımcı olması ve sertlik değerlerinin artmasıdır. Chong'un [82] çalışmasında belirtildiği gibi kompozit içerisinde gözenek miktarının artmasıyla mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenmiştir. Benzer sonuçlar Durman [46] ve Kurnaz [47] tarafından da belirtilmiştir.

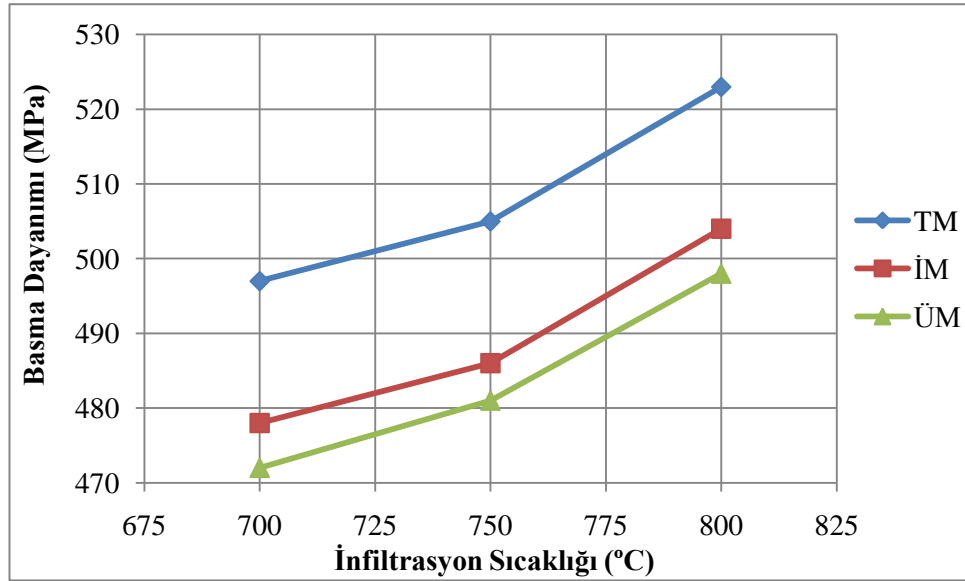
3.3.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi

Şekil 3.3.5.1’de görüldüğü gibi infiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin basma dayanımı artar. Takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek basma dayanımına sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük basma dayanımına sahiptir.

Çizelge 3.3.5.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı

Sıcaklık (°C)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
700	497	478	472
750	505	486	481
800	523	504	498

Basma Dayanımı (MPa)



Şekil 3.3.5.1. Sabit basınçta (700kPa) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı

Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99’dur. Şekil 3.3.5.1’de görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek basma dayanımına sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük basma dayanımına sahiptir.

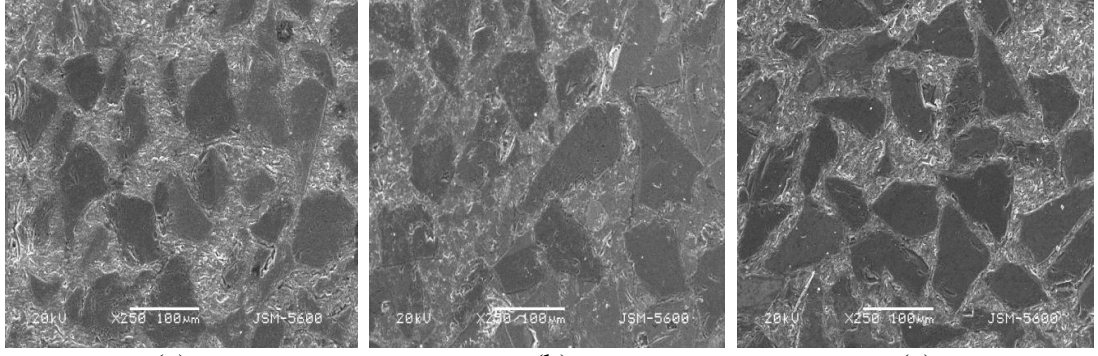
Stefanos, Vogelsang, Arsenault ve Fisher'in [89-90] bildirdiğine göre verilen bir matris ve takviye fazı için, takviye fazı oranının artmasıyla malzemenin mukavemetinin arttığı genelde kabul edilmiştir.

Zhou, Xu ve Tekmen [98-99] tarafından yapılan çalışmalarda üretim sırasında çeşitli nedenlerle oluşan SiC partikül kümeleri arasındaki bölgelere sıvı metalin ilerlememesi neticesinde boşlukların oluştuğu bilinmektedir. Partikül kümelenmesi ile oluşan bu porozitelerinde kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği ifade edilmiştir. Fakat bu çalışmada kullanılan infiltrasyon sıcaklıklarının artmasıyla sıvı matrisin yüzey gerilimi azalmış, viskozitesi düşmüş ve böylece sıvı matris SiC kümeleri arasında kalan bölgelere ilerleyebilmiş üretilen kompozitlerin porozite oranı düşmüştür. Bu nedenle artan infiltrasyon sıcaklıkları ile üretilen kompozitlerin basma dayanımı artmıştır. Ahmad [100] yaptığı çalışmada karıştırmalı döküm yöntemi ile A356 matrisli SiC partikül takviyeli kompozitte, porozite oranının mekanik özelliklere etkisini incelemiş artan porozite oranı ile basma dayanımı değerinin azaldığını belirtmiştir.

3.4. İnfiltrasyon Basıncı

İnfiltrasyon basıncı olarak 500kPa, 600 kPa, 700 kPa, 800 kPa, 900kPa basınç değerleri kullanıldı. Bu sırada infiltrasyon sıcaklığı 750⁰C, matrise ağırlıkça Mg ilavesi %0 ve infiltrasyon süresi 3 dakika sabit alınacaktır. Her üç model içinde deneyler tekrarlanarak 15 farklı numune elde edildi.

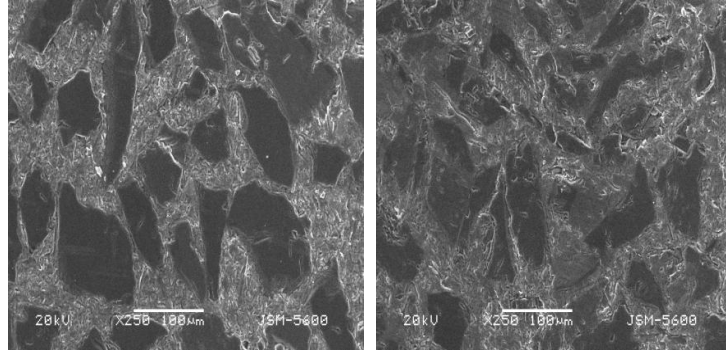
Yapılan literatür araştırmasında, araştırmacıların infiltrasyon basıncı olarak 550kPa ila 1050kPa basınç aralığını kullandıkları ancak 700kPa basınç değerinin genel olarak tercih edilen bir basınç değeri olduğu tespit edilmiştir. Basınç değerinin artması ile infiltrasyonun kolaylaştığı belirlenmiştir.



(a)

(b)

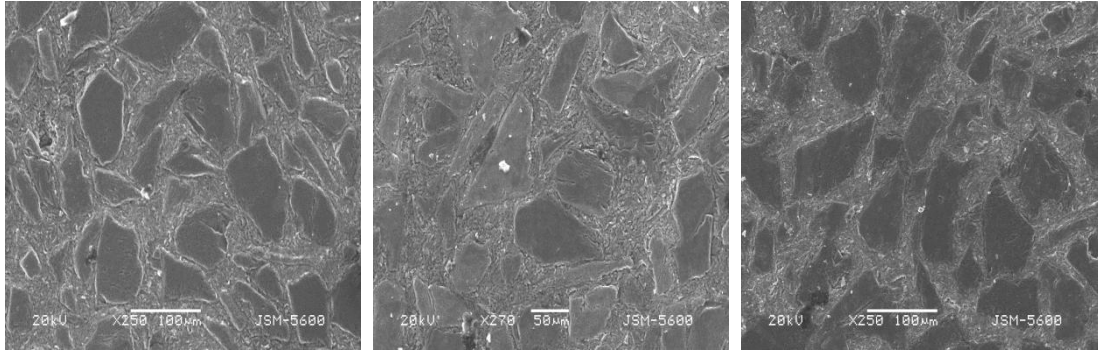
(c)



(d)

(e)

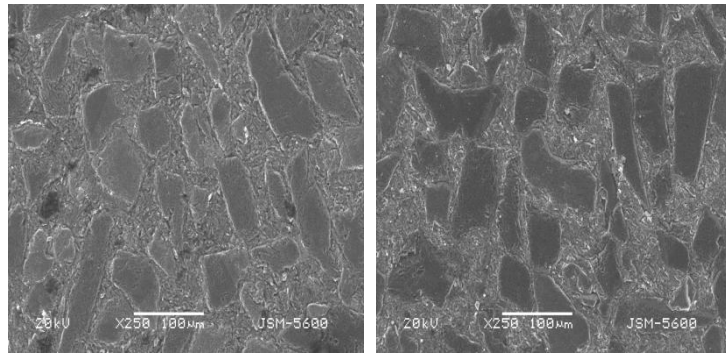
Şekil 3.4.1. Tekli modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri
(a) 500kPa, (b) 600kPa, (c) 700kPa, (d) 800kPa, (e) 900kPa



(a)

(b)

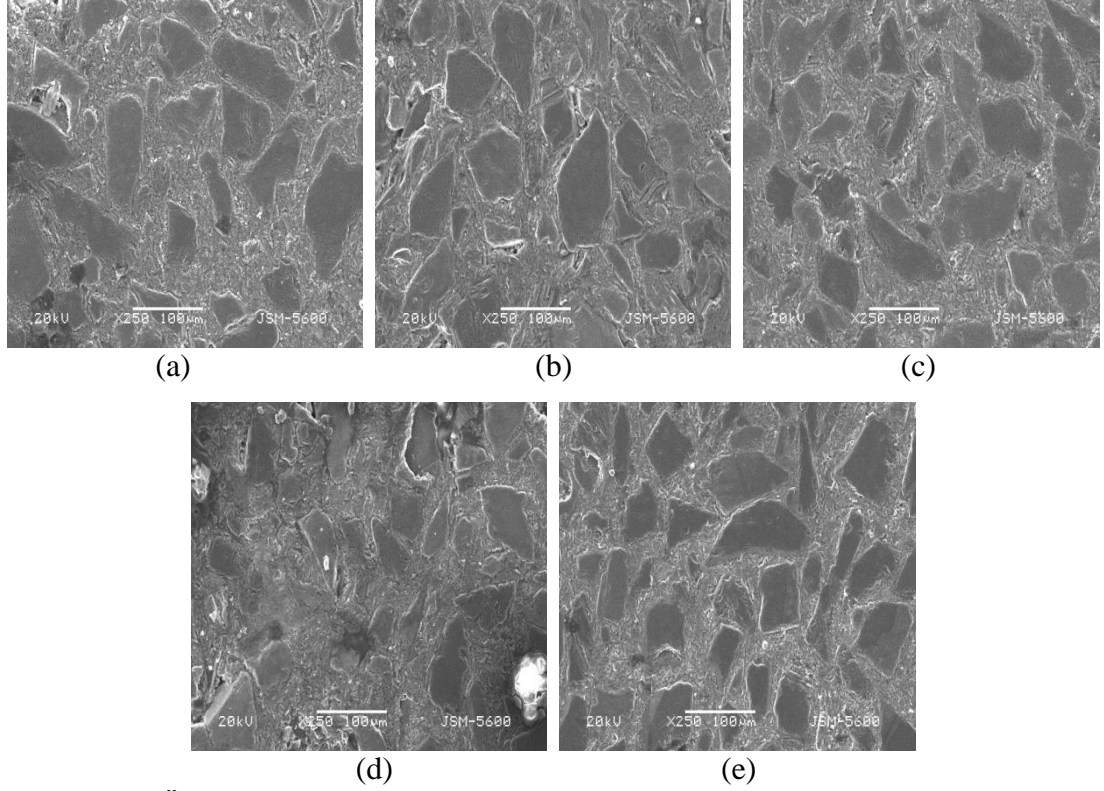
(c)



(d)

(e)

Şekil 3.4.2. İkili modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri
(a) 500kPa, (b) 600kPa, (c) 700kPa, (d) 800kPa, (e) 900kPa



Şekil 3.4.3. Üçlü modelde farklı basınçlarda üretilen kompozitlerin SEM resimleri
(a) 500kPa, (b) 600kPa, (c) 700kPa, (d) 800kPa, (e) 900kPa

Şekil 3.4.1, 3.4.2 ve 3.4.3’de tekli, ikili ve üçlü modelde üretilen kompozitlere ait SEM resimleri verilmiştir. Resimler incelendiğinde homojen bir dağılım, arayüzeyde iyi bir ıslatma ve çok az miktarda gözenek olduğu gözlemlenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde takviye hacim oranının artmasıyla (tekli model) SiC tozlarının üretilen kompozitlerin içerisinde homojen dağılımında bir miktar arttığı görülmektedir. Ayrıca deneyler sırasında SiC parçacıklarının karıştırma işleminin ideal şartlarda yapılmasına rağmen ikili modelde ortalama 66µm ortalama tane boyutuna sahip olan SiC parçacıklarının daha hafif olmalarından dolayı infiltrasyon borusu içerisinde tabana doğru hareket etme eğiliminin parçacıkların homojen olarak karışmalarını engellediği sonucuna varılabilir. Ancak infiltrasyonun gerçekleştirildiği yüksek basınç sayesinde daha hafif olan partiküllerin infiltrasyon borusu içerisinde yukarı doğru hareket etme eğiliminden dolayı homojen bir dağılım elde edilebilmiştir.

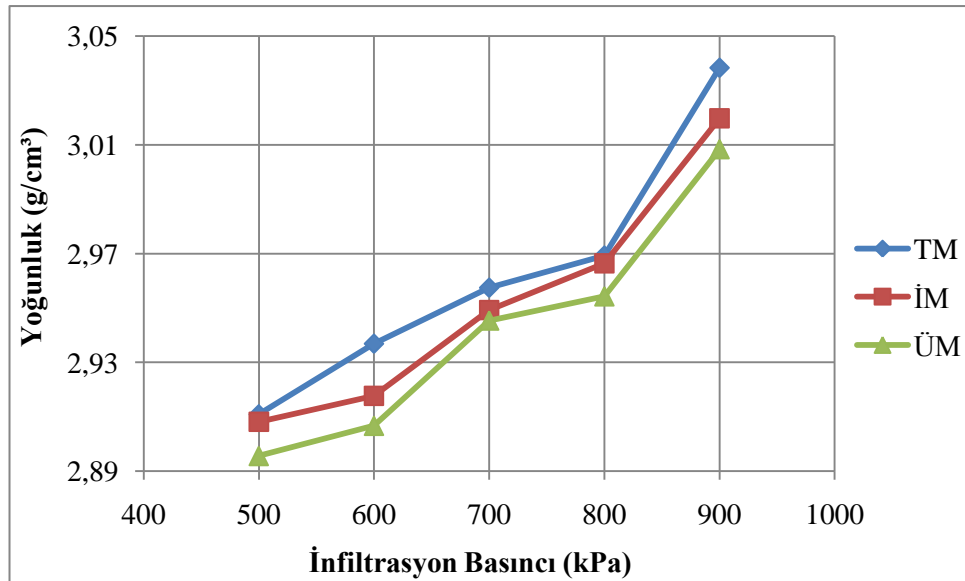
Bazı bölgelerde SiC parçacıklarının az da olsa kümelenme eğiliminde oldukları görülebilmektedir. Bunun nedenide daha önce açıklandığı gibi; Al2014 matris malzemesinin katılaşması sırasında rastgele oluşan dentritlerin kollarının SiC parçacıklarını dentritler arasında kalan boş bölümlere itme davranışı olduğu söylenebilir.

3.4.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi

Şekil 3.4.1.1'de görüldüğü gibi infiltrasyon basıncının ve takviye hacim oranının artması ile kompozitin yoğunluk değeri artmaktadır.

Çizelge 3.4.1.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Basınç (kPa)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
500	2,9109	2,9081	2,8956
600	2,9369	2,9177	2,9067
700	2,9575	2,9492	2,9454
800	2,9693	2,9664	2,9543
900	3,0384	3,0198	3,0084
Yoğunluk (g/cm ³)			



Şekil 3.4.1.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

İnfiltrasyon basıncının artması ile infiltrasyon kolaylaşmakta böylece sıvı metalin SiC tozlar içerisine daha iyi nüfus etmesi sağlanmaktadır. Böylece kompozitin yoğunluğu artmaktadır. Cornie ve diğerleri [102] yaptıkları çalışmada basınçlı döküm yönteminde uygulanan yüksek basıncın katılaştıran metal içerisinde gaz ve çekme çöküntüsünden kaynaklanan porozitenin oluşmasını engellediğini, azalan porozite miktarında kompozitin yoğunluğunu arttırdığını bildirmişlerdir.

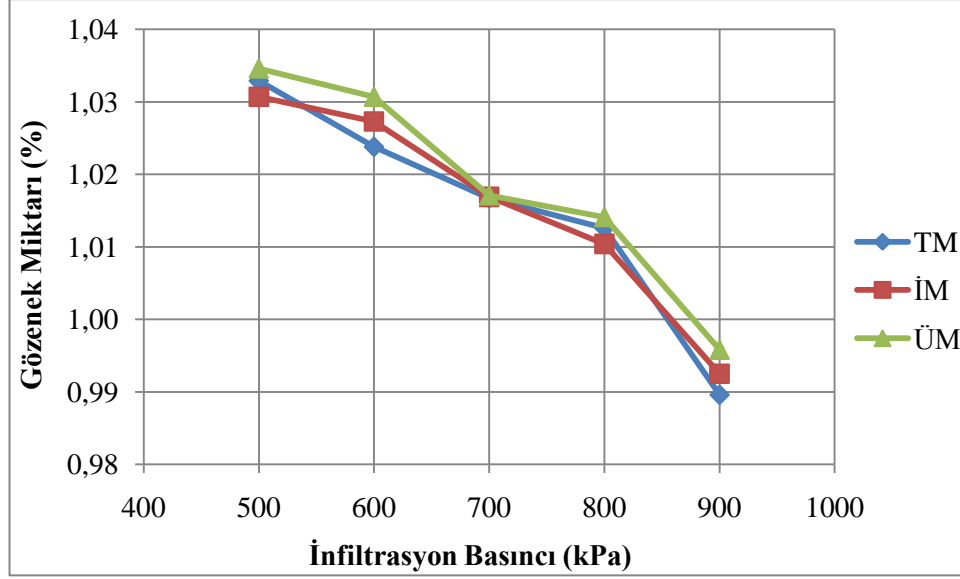
Ayrıca aynı basınç değerinde tekli modelde elde edilen yoğunluk değeri, ikili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerleri birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen yoğunluk değeri üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. Tekli modelde kompozitin takviye hacim oranı ikili ve üçlü modele göre büyük olduğundan kompozitlerin yoğunluk değerleride artmıştır.

3.4.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi

Şekil 3.4.2.1’de görüldüğü gibi infiltrasyon basıncının ve takviye hacim oranının artması ile kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır.

Çizelge 3.4.2.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı

Basınç (kPa)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
500	1,0329	1,0307	1,0346
600	1,0238	1,0273	1,0307
700	1,0167	1,0169	1,0171
800	1,0126	1,0104	1,0141
900	0,9896	0,9925	0,9958
Gözenek Miktarı (%)			



Şekil 3.4.2.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı

İnfiltrasyon basıncının artması ile infiltrasyon kolaylaşmakta böylece sıvı metalin SiC tozlar içerisine daha iyi nüfus etmesi sağlanmakta ayrıca arayüzeyde daha iyi ıslatma meydana gelmektedir. Böylece kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır. Ayrıca aynı basınç değerinde tekli modelde elde edilen gözenek miktarı, ikili ve üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen gözenek miktarları birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen gözenek miktarı üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. Tekli modelde kompozitin takviye hacim oranı ikili ve üçlü modele göre düşük olduğundan gözenek miktarıda düşüktür.

Cornie ve diğerleri [102] yaptıkları çalışmada basınçlı döküm yönteminde uygulanan yüksek basıncın katılaştıran metal içerisinde gaz ve çekmeden kaynaklanan porozitenin oluşmasını engellediğini bildirmişlerdir. Ayrıca bazı bölgelerde SiC partiküllerin kümelenmediği ancak sıvı Al2014 alaşımının uygulanan basınç sayesinde bu bölgeleri beslediği ve boşlukların oluşmadığı veya çok az oluştuğu görülmektedir.

3.4.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi

Isıl iletkenliğin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.4.3.1.'de gösterilmiş olup ısıl iletkenliğin infiltrasyon sıcaklığı ile arttığı ancak ölçüm sıcaklığıyla azaldığı görülmektedir.

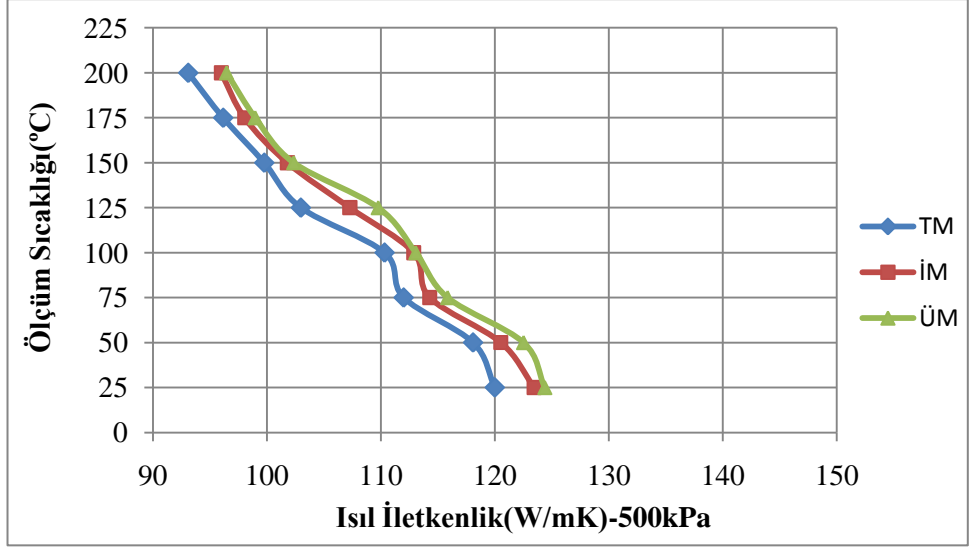
Çizelge 3.4.3.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısıl iletkenliği

Basınç (kPa)	Isıl İletkenlik Ölçüm Sıc. (°C)	Tane Büyüklüğü		
		Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
500	25	120,004	123,447	124,389
	50	118,096	120,523	122,523
	75	112,002	114,282	115,854
	100	110,327	112,876	113,065
	125	102,977	107,274	109,765
	150	99,767	101,798	102,342
	175	96,161	98,046	98,969
	200	93,091	95,989	96,452
600	25	124,726	129,265	129,875
	50	121,144	125,764	126,498
	75	117,561	120,955	122,034
	100	112,235	114,521	115,215
	125	106,954	110,132	111,762
	150	100,93	102,985	104,141
	175	97,952	100,946	101,241
	200	96,254	99,214	100,675
700	25	133,007	136,868	138,107
	50	130,797	133,468	134,845
	75	126,354	129,956	131,299
	100	122,725	125,234	126,585
	125	118,818	120,470	122,587
	150	111,816	114,097	114,442
	175	111,327	112,621	113,922
	200	107,164	110,346	111,662

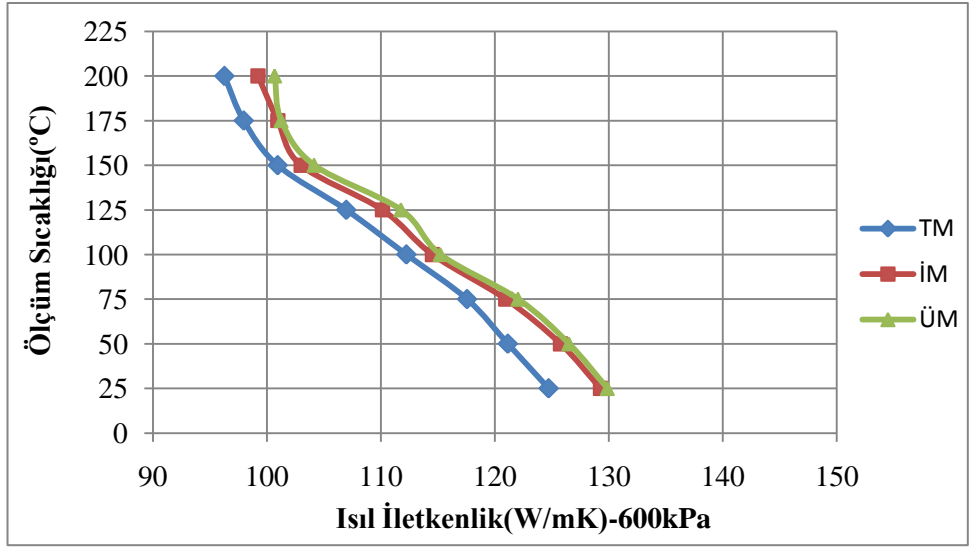
Çizelge 3.4.3.1. (devam)

Basınç (kPa)	Isıl İletkenlik Ölçüm Sıc. (°C)	Tane Büyüklüğü		
		Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
800	25	138,217	145,031	146,643
	50	136,682	141,465	142,758
	75	131,402	135,077	135,994
	100	126,331	129,903	131,047
	125	123,237	125,746	126,452
	150	119,027	121,458	122,933
	175	115,98	119,341	120,014
	200	112,072	114,354	116,732
900	25	142,311	148,208	149,964
	50	139,59	142,432	144,102
	75	136,915	140,703	141,174
	100	131,309	134,982	136,261
	125	128,075	130,683	131,758
	150	126,912	128,496	129,621
	175	123,958	126,482	128,032
	200	120,353	122,803	123,429
Isıl İletkenlik (W/mK)				

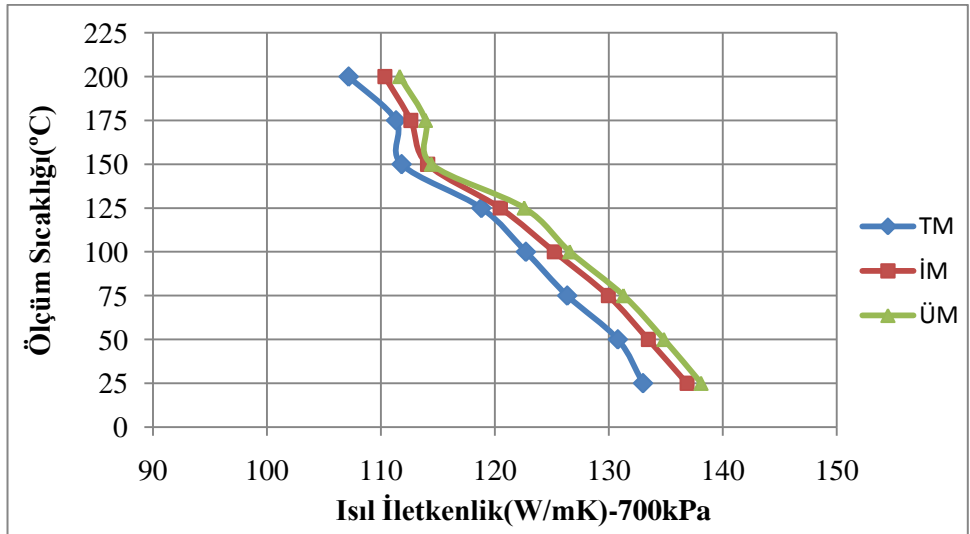
Isıl iletkenliğin SiC tane boyutu ile değişimi (Şekil 3.4.3.2) incelendiğinde üçlü modelin ısı iletkenlik değerinin ikli ve tekli modelden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni üçlü modelin takviye hacim oranının tekli modelden daha düşük olmasıdır. SiC'ün ısı iletkenlik değeri Al2014'den daha düşüktür ve takviye hacim oranı düşüktükçe kompozit içerisindeki SiC miktarı düşer.



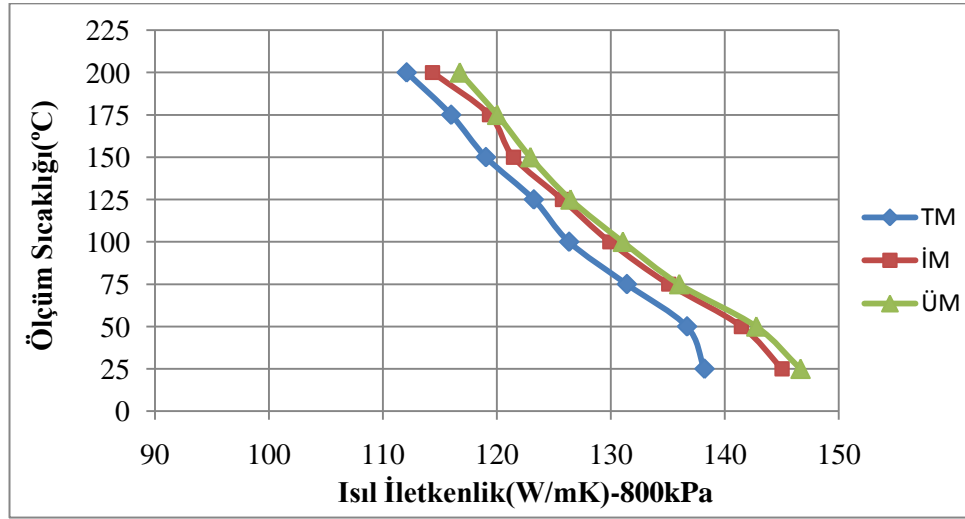
(a)



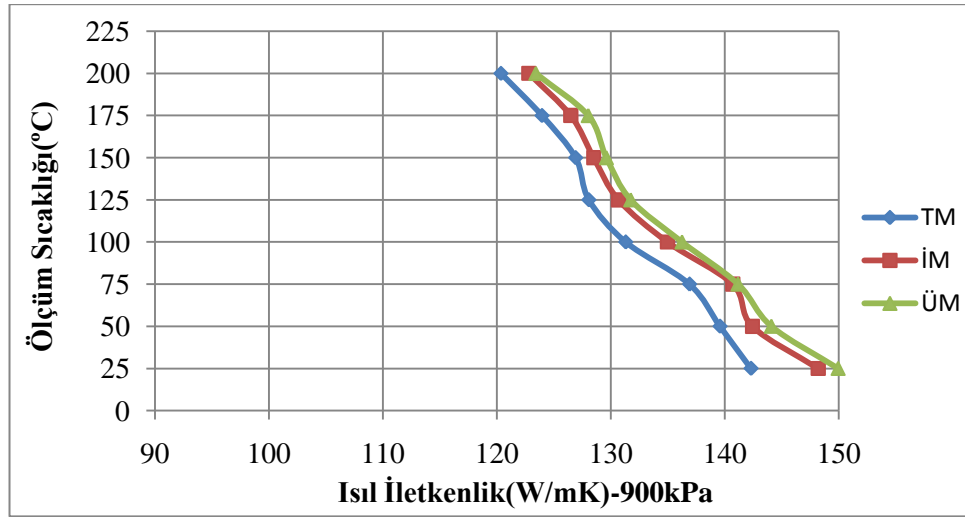
(b)



(c)



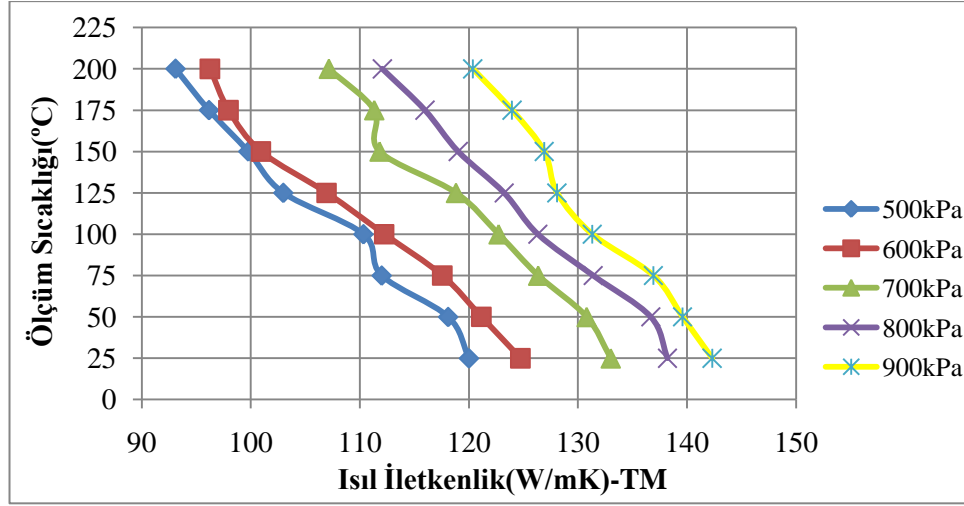
(d)



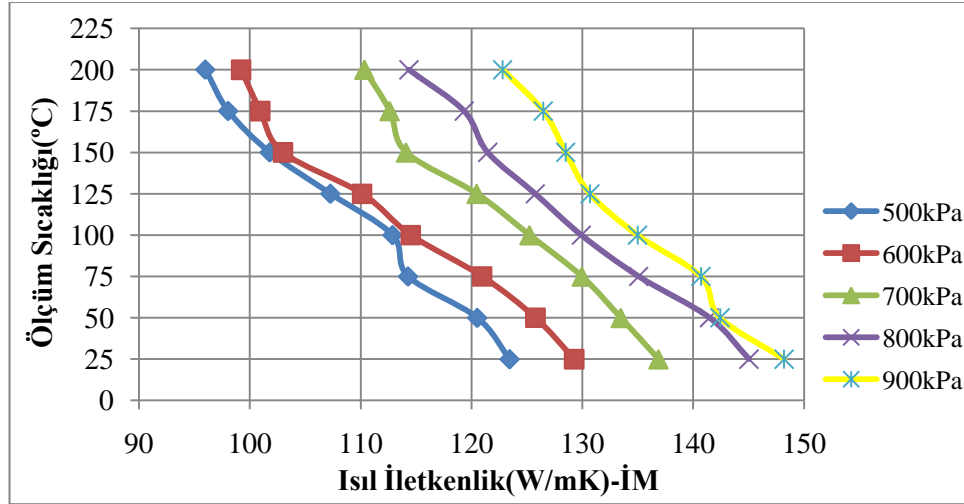
(e)

Şekil 3.4.3.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değeri nin basınçla değ iş imi

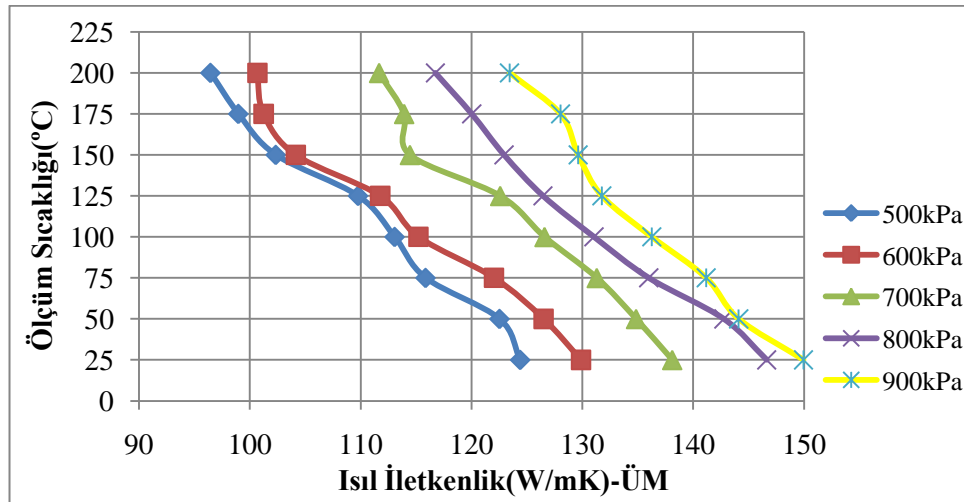
Sıcaklıkla artmasının nedeni porozite ile ilgilidir. İnfiltrasyon sıcaklığının yüksek olması eriyiğ in mikro düzeydeki partiküller arasına daha iyi nüfuz etmesini sağlamaktadır. Sıcaklıkla ısı iletkenliğ in azalması ise SiC kaynaklanmaktadır. SiC'ün negatif sıcaklıklarda ısı iletkenliğ inin yükseldiğ i oda sıcaklıklarına doğru ve daha yüksek sıcaklıklarda dü ş tüğ ü bilinmektedir.



(a)



(b)

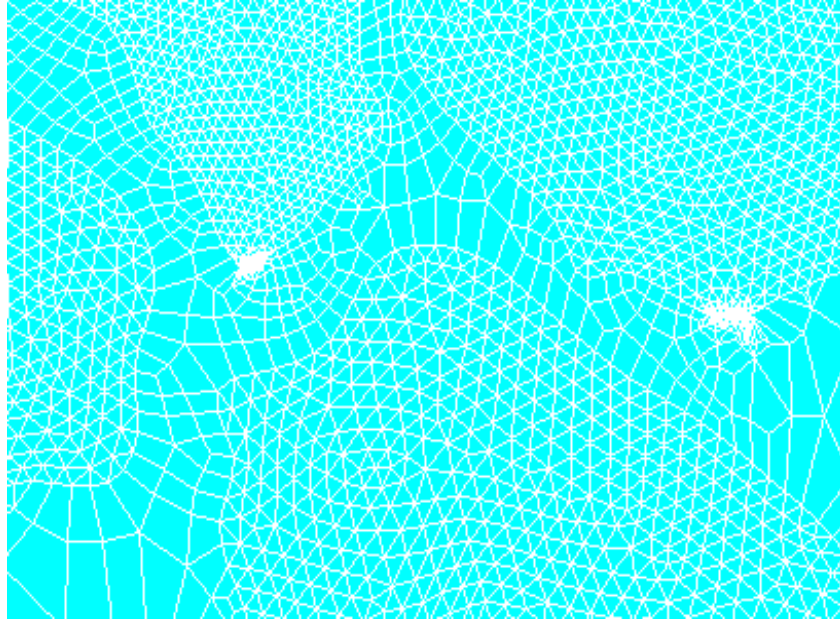


(c)

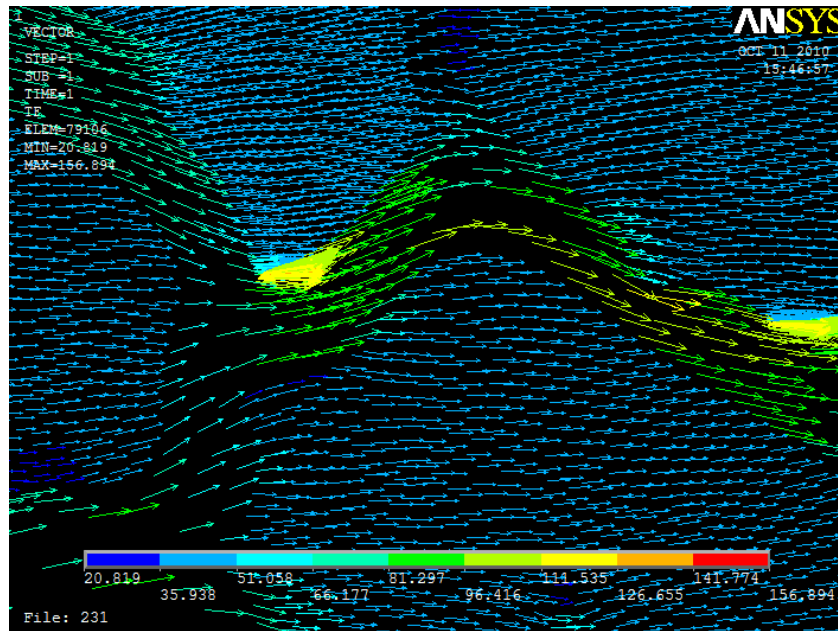
Şekil 3.4.3.2. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değeri nin SiC tane boyutu ile değ iş imi

Çizelge 3.4.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri

Basınç (kPa)	Geometrik(k_g)	Paralel(k_p)	Nümerik	Deneyisel
500	120.440	133.309	121.983	115,107
600			120.765	118,916
700			119.396	128,221
800			118.073	133,158
900			121.678	137,531



Şekil 3.4.3.3. 700 kPa’de üretilmiş kompozitin için dönüştürülmüş nümerik model



Şekil 3.4.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi

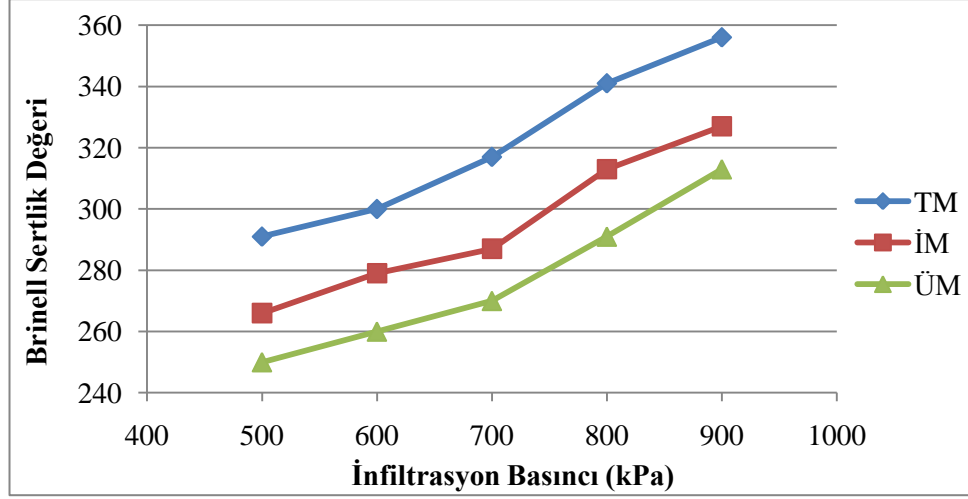
Isıl iletkenliklerin infiltrasyon basıncı ve ölçüm sıcaklıkları ile değişimleri deneysel olarak 25°C ile 100°C sıcaklıkları arasında ölçülmüş, yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 3.4.3.2’de verilmiştir. Teorik ve sayısal yöntemlerde kullanılan matris ve takviye malzemesine ait ısıl iletkenlik değerleri 0°C ile 100°C arasında literatürde verilen değerlerdir. Bu değerlere bakıldığında deneysel sonuçların oldukça tutarlı ve beklenildiği şekilde elde edildiği görülmektedir. Sayısal sonuçlardaki sapma seçilen bölge mikro yapısına bağlı olduğundan ve porozitenin dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır. Teorik yöntemlerden geometrik ve paralel yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın değerler vermektedir. Bunlardaki sapma da iki malzemedен oluşan kompozitlere yönelik çözümler üretebilmesinden kaynaklanmaktadır. Halbuki gerçek numelerde %1’ler civarında gözenek söz konusudur. Ayrıca teorik yöntemlerde basınç ve sıcaklık etkisi de söz konusu değildir.

3.4.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi

İnfiltrasyon sıcaklığının artması ile kompozitin sertlik değeri artar. Buda kompozitin yoğunluğunun sıcaklıkla artması ile açıklanabilir. Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99’dur. Şekil 3.2.10’da görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek sertliğe sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük sertliğe sahiptir.

Çizelge 3.4.4.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri

Basınç (kPa)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
500	291	266	250
600	300	279	260
700	317	287	270
800	341	313	291
900	356	327	313
Brinell Sertlik Değeri (BSD)			



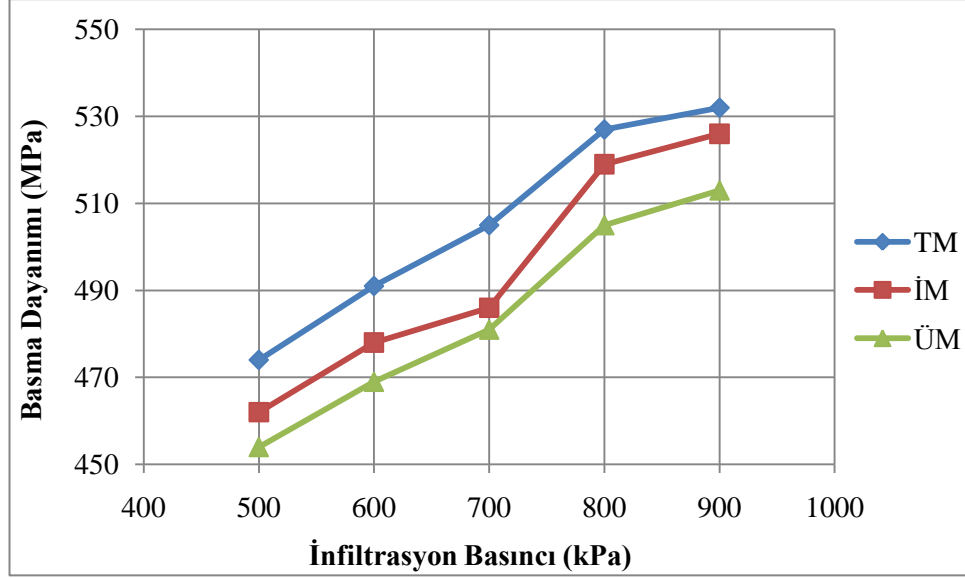
Şekil 3.4.4.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri

3.4.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi

İnfiltrasyon basıncının artması ile kompozitin basma dayanımı artar. Buda kompozitin yoğunluğunun basınçla artması ile açıklanabilir. Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99'dur. Şekil 3.4.5.1'de görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek basma dayanımına sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük basma dayanımına sahiptir.

Çizelge 3.4.5.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenliği

Basıncı (kPa)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
500	474	462	454
600	491	478	469
700	505	486	481
800	527	519	505
900	532	526	513
Basma Dayanımı (MPa)			



Şekil 3.4.5.1. Sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı

infiltrasyon sıcaklıklarının artmasıyla sıvı matrisin yüzey gerilimi azalmış, viskozitesi düşmüş ve böylece sıvı matris SiC kümeleri arasında kalan bölgelere ilerleyebilmiş üretilen kompozitlerin porozite oranı düşmüştür. Bu nedenle artan infiltrasyon sıcaklıkları ile üretilen kompozitlerin basma dayanımı artmıştır.

Ahmad, Kainer ve Dieter'in [91-92-93] bildirdiğine göre metal matrisli kompozitlerde takviye fazı ilavesi ile dayanımın artması takviye fazının boyutuna, şekline, miktarına ve partiküller arası mesafeye bağlıdır.

Liu ve Samuel'in [94] bildirdiğine göre kompozitin mekanik özellikleri üzerinde büyük etkisi olan matris fazı mikroyapısı ve SiC partikül dağılımı dökümün katılma hızına bağlı olup, katılma hızı arttıkça dentritler arası mesafenin azaldığı ve daha homojen SiC partikül dağılımı elde edildiği bilinmektedir. Diğer yandan Askeland ve Phule'nin [95] bildirdiğine göre dentrit kolları arasındaki mesafe arttıkça basma dayanımı ve uzama değerleri azalmaktadır. Ayrıca yavaş soğuma neticesinde SiC partiküllerinin dentritler arası bölgelere segregasyonu bu bölgelerde üç eksenli gerilmelerin oluşmasına ve sonuçta dayanımın azalmasına neden olabilir.

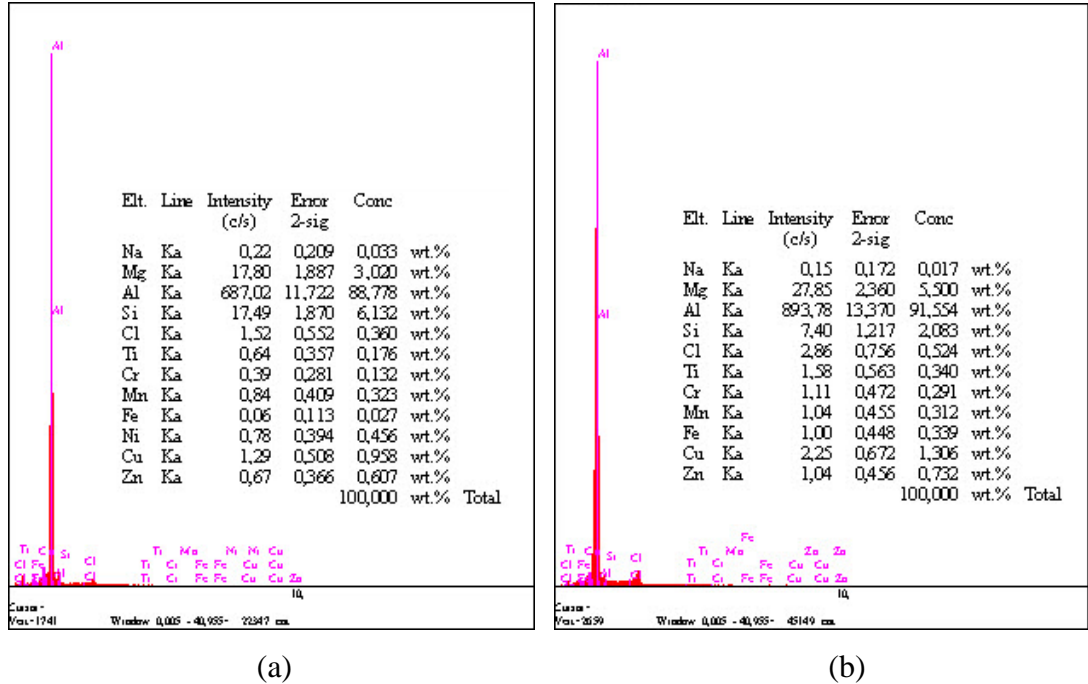
Caceres ve Tekmen'in [97-98] bildirdiğine göre matris fazının büzülmesinden kaynaklanan porozite ise yükün uygulandığı alanı azaltarak kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği bilinmektedir.

3.5. Matrise Mg İlavesi

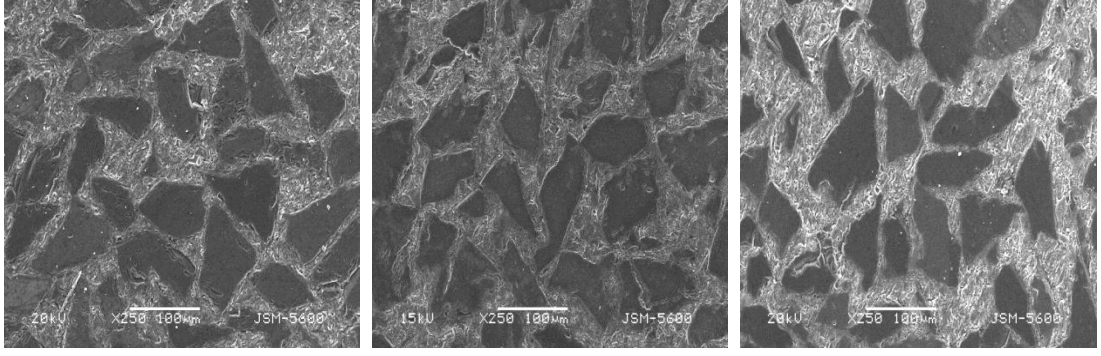
Matrise ağırlıkça Mg ilavesi olarak %0, %4, %8 değerleri kullanılacak. Bu sırada infiltrasyon sıcaklığı 750⁰C, infiltrasyon basıncı 700kPa ve infiltrasyon süresi 3 dakika sabit alınacaktır. Her üç model içinde deneyler tekrarlanarak 9 farklı numune elde edilecektir.

Yapılan literatür araştırmasında, araştırmacıların matrise ağırlıkça Mg ilavesi miktarı olarak %0 ila %8 aralığını kullandıkları ancak %4 değerinin genel olarak tercih edilen bir değer olduğu tespit edilmiştir. Matrise Mg ilavesinin %8 değerine kadar ıslatmayı arttırarak, infiltrasyonu kolaylaştırdığı tespit edilmiştir.

Şekil 3.5.1'de matris malzemesi olan Al2014'e ait EDAX analizi verilmiştir. Matrise ağırlıkça %4 ve %8 oranlarında Mg ilave edilmesine rağmen yapılan EDAX analizi sonuçlarına bakıldığında daha düşük oranlarda Mg tespit edilmiştir.



Şekil 3.5.1. Al2014'e ait EDAX analizi, (a) %4 Mg ilaveli, (b) %8 Mg ilaveli

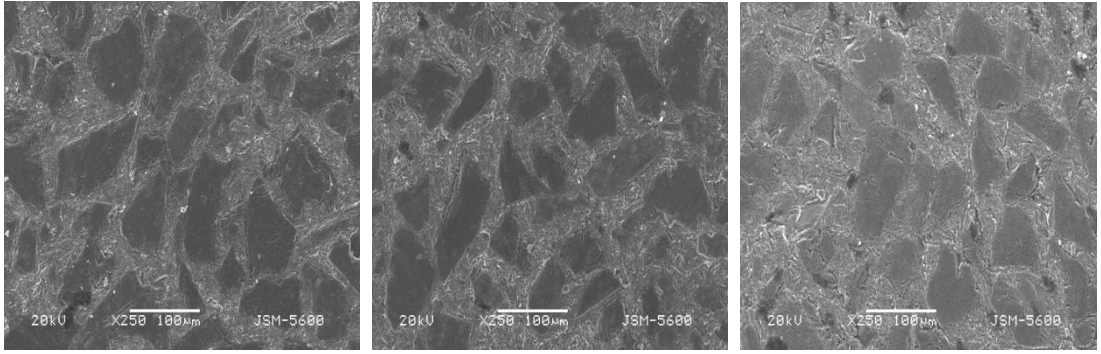


(a)

(b)

(c)

Şekil 3.5.2. Tekli modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri; (a) %0, (b) %4, (c) %8

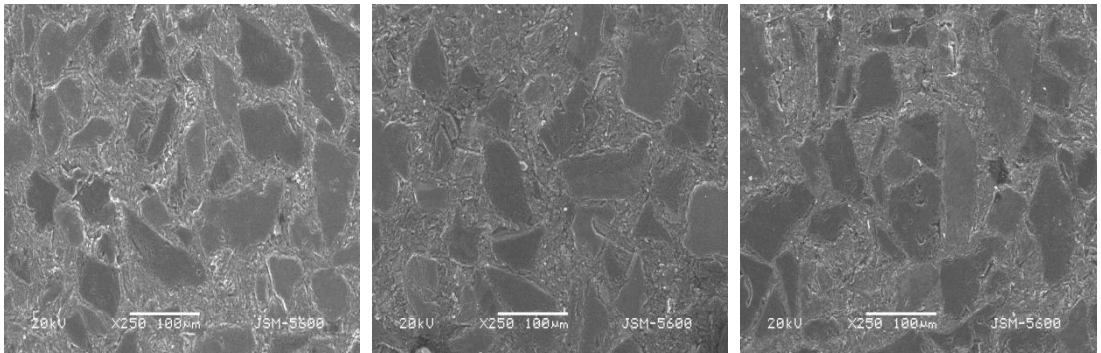


(a)

(b)

(c)

Şekil 3.5.3. İkili modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri; (a) %0, (b) %4, (c) %8



(a)

(b)

(c)

Şekil 3.5.4. İkili modelde farklı matrise Mg ilavesi değerlerinde üretilen kompozitlerin SEM resimleri; (a) %0, (b) %4, (c) %8

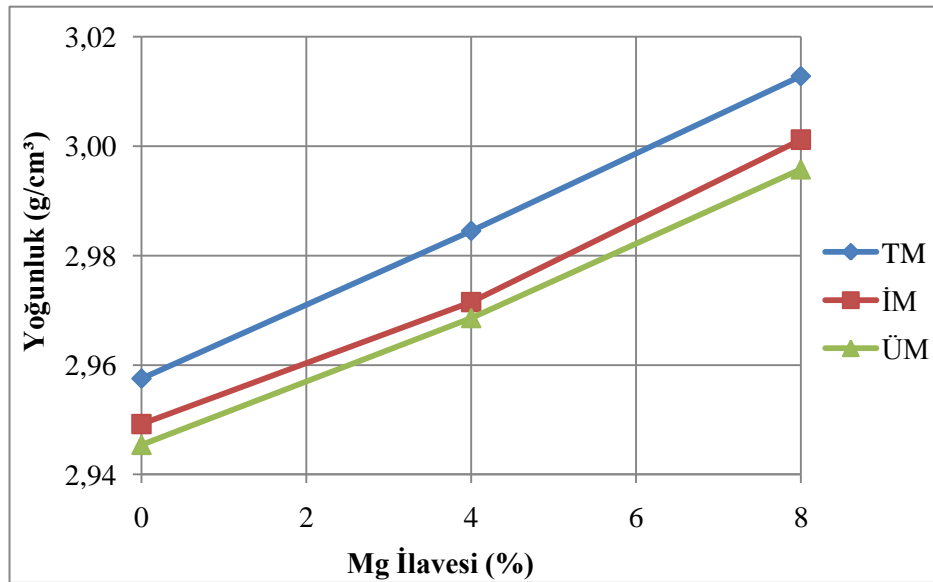
Şekil 3.5.2, Şekil 3.5.3 ve Şekil 3.5.4’de tekli, ikili ve üçlü modelde üretilen kompozitlere ait SEM resimleri verilmiştir. Resimler incelendiğinde homojen bir dağılım, arayüzeyde iyi bir ıslatma ve çok az miktarda gözenek olduğu gözlemlenmiştir.

3.5.1. İnfiltrasyon Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi

Şekil 3.5.1.1’de görüldüğü gibi matrise Mg ilavesi miktarının ve takviye hacim oranının artması ile kompozitin yoğunluk değeri artmaktadır.

Çizelge 3.5.1.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Mg İlavesi (%)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
0	2,9575	2,9492	2,9454
4	2,9845	2,9715	2,9686
8	3,0128	3,0012	2,9958
Yoğunluk (g/cm ³)			



Şekil 3.5.1.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin yoğunluk değerleri

Matrise Mg ilavesinin artması ile infiltrasyon kolaylaşmakta böylece sıvı metalin SiC tozlar içerisine daha iyi nüfus etmesi sağlanmakta ayrıca arayüzeyde daha iyi ıslatma

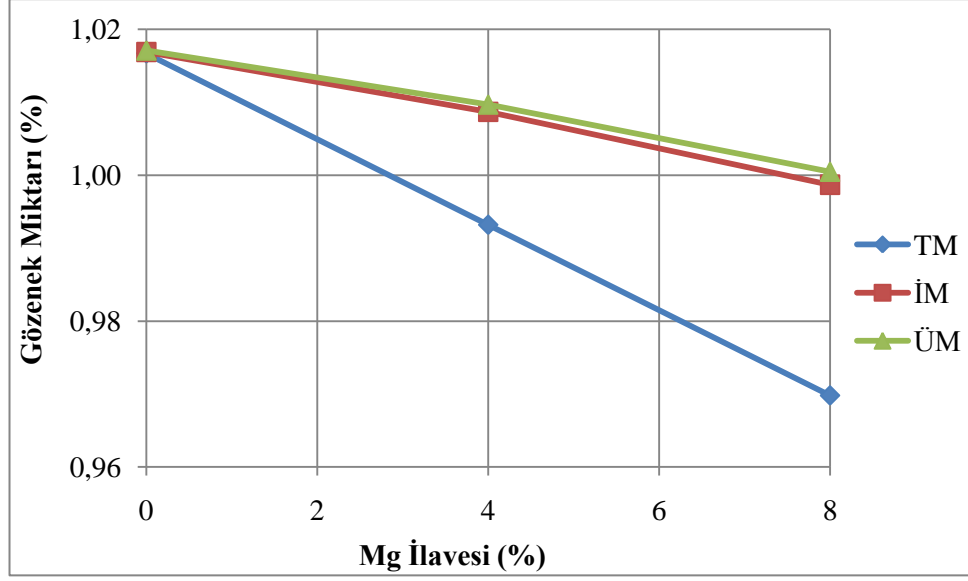
meydana gelmektedir. Böylece kompozitin yoğunluğu artmaktadır. Ayrıca aynı matrisde Mg ilavesi değerinde tekli modelde elde edilen yoğunluk değeri, ikili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerleri birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen yoğunluk değeri üçlü modelde elde edilen yoğunluk değerinden daha büyüktür. Tekli modelde kompozitin takviye hacim oranı ikili ve üçlü modele göre büyük olduğundan yoğunluğuda büyüktür.

3.5.2. İnfiltrasyon Sıcaklığının Gözenek Miktarına Etkisi

Şekil 3.5.2.1’de görüldüğü gibi matrisde Mg ilavesinin artması ile kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır. Matrisde Mg ilavesinin artması ile infiltrasyon kolaylaşmakta böylece sıvı metalin SiC tozlar içerisinde daha iyi nüfus etmesi sağlanmakta ayrıca arayüzde daha iyi ıslatma meydana gelmektedir. Böylece kompozitin gözenek miktarı azalmaktadır. Ayrıca aynı matrisde Mg ilavesi değerinde tekli modelde elde edilen gözenek miktarı, ikili ve üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. İkili ve üçlü modelde elde edilen gözenek miktarları birbirine oldukça yakın olmasına rağmen ikili modelde elde edilen gözenek miktarı üçlü modelde elde edilen gözenek miktarından daha düşüktür. Tekli modelde kompozitin takviye hacim oranı ikili ve üçlü modele göre düşük olduğundan gözenek miktarıda düşüktür.

Çizelge 3.5.2.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı değerleri

Mg İlavesi (%)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
0	1,0167	1,0169	1,0171
4	0,9932	1,0087	1,0097
8	0,9698	0,9987	1,0005
Gözenek Miktarı (%)			



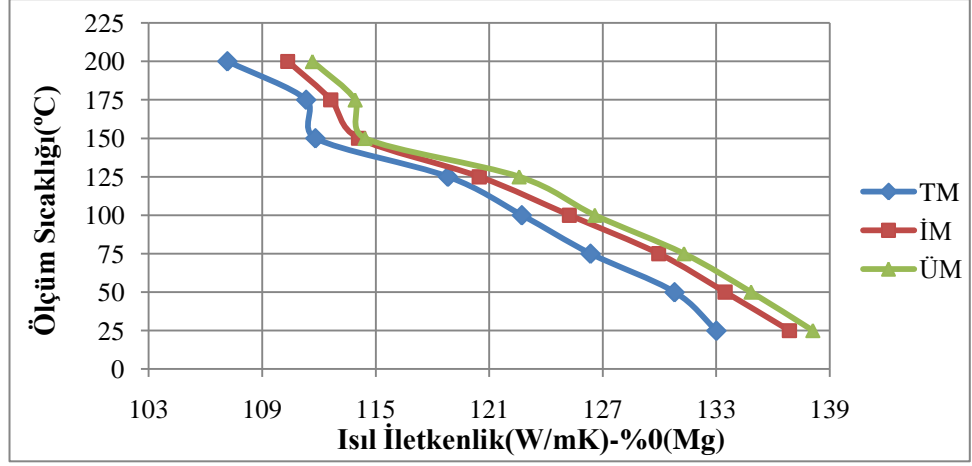
Şekil 3.5.2.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin gözenek miktarı değerleri

3.5.3. İnfiltrasyon Sıcaklığının Isıl İletkenliğe Etkisi

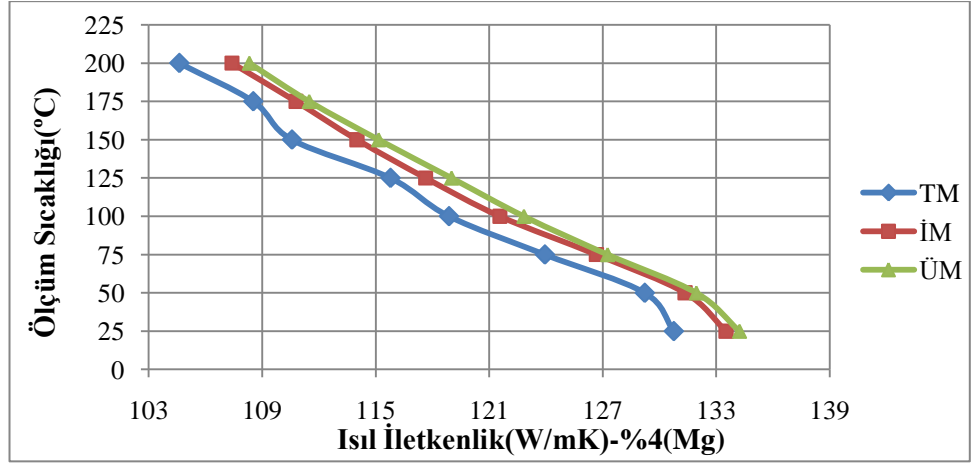
Isıl iletkenliğin sıcaklık ile değişimi Şekil 3.5.3.1’de gösterilmiş olup ısıl iletkenliğin matrisine Mg ilavesi ve ölçüm sıcaklığıyla azaldığı görülmektedir. Beklenildiği gibi Mg’un ısıl iletkenlik değerinin düşük olması kompozitin ısıl iletkenlik değeri düşmüştür. Bunun nedeni; matrisine katılan Mg’un ısıl iletkenlik değerinin Al2014’den daha düşük olması ve böylece matrisin ısıl iletkenliğini düşürmesidir. Sıcaklıkla ısıl iletkenliğin azalması ise SiC kaynaklanmaktadır. SiC’ün negatif sıcaklıklarda ısıl iletkenliğinin yükseldiği oda sıcaklıklarına doğru ve daha yüksek sıcaklıklarda düştüğü bilinmektedir. Şekil 3.5.3.2’de gösterilen ısıl iletkenliğin SiC tane boyutu ile değişimi grafiği incelendiğinde üçlü modelin ısıl iletkenlik değerinin ikili ve tekli modelden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni üçlü modelin takviye hacim oranının tekli modelden daha düşük olmasıdır. SiC’ün ısıl iletkenlik değeri Al2014’den daha düşüktür ve takviye hacim oranı düşüktüçede kompozit içerisindeki SiC miktarı düşer.

Çizelge 3.5.3.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değerleri

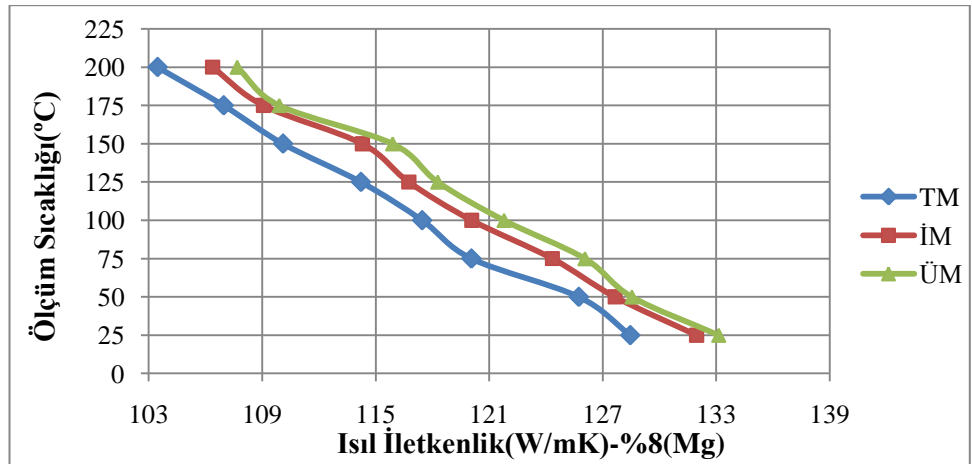
Mg İlavesi (%)	Isıl İletkenlik Ölçüm Sıc. (°C)	Tane Büyüklüğü		
		Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
0	25	133,007	136,868	138,107
	50	130,797	133,468	134,845
	75	126,354	129,956	131,299
	100	122,725	125,234	126,585
	125	118,818	120,470	122,587
	150	111,816	114,097	114,442
	175	111,327	112,621	113,922
	200	107,164	110,346	111,662
4	25	130,758	133,522	134,235
	50	129,223	131,358	131,953
	75	123,943	126,664	127,258
	100	118,872	121,562	122,834
	125	115,778	117,639	119,007
	150	110,568	114,012	115,152
	175	108,521	110,786	111,481
	200	104,613	107,402	108,316
8	25	128,458	131,963	133,127
	50	125,737	127,654	128,541
	75	120,062	124,341	126,059
	100	117,456	120,076	121,783
	125	114,222	116,751	118,284
	150	110,105	114,293	115,895
	175	106,967	109,064	109,906
	200	103,473	106,375	107,683
Isıl İletkenlik (W/mK)				



(a)

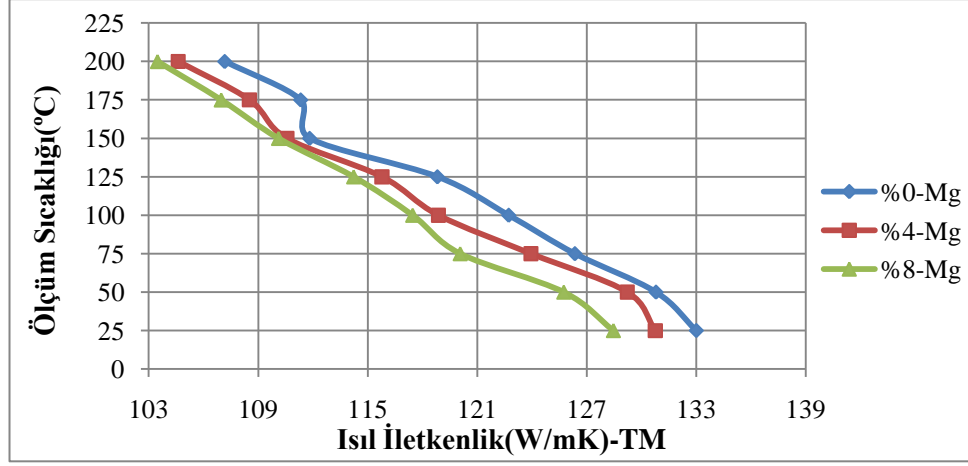


(b)

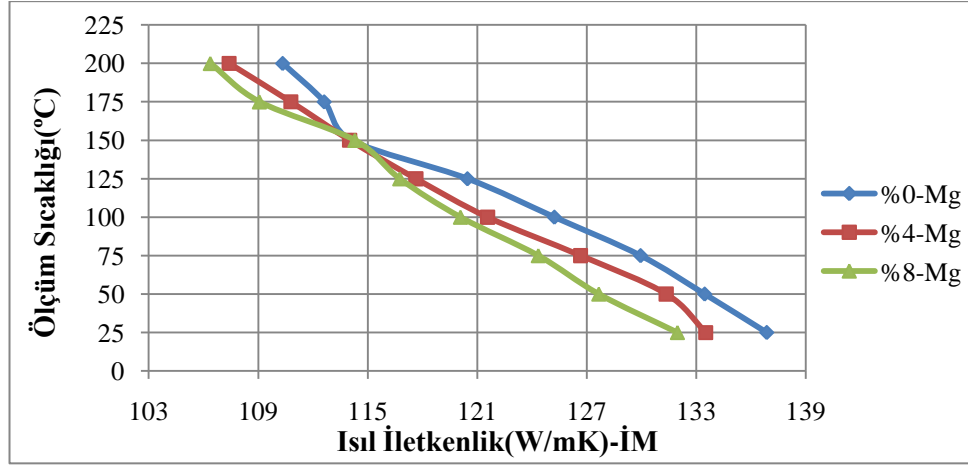


(c)

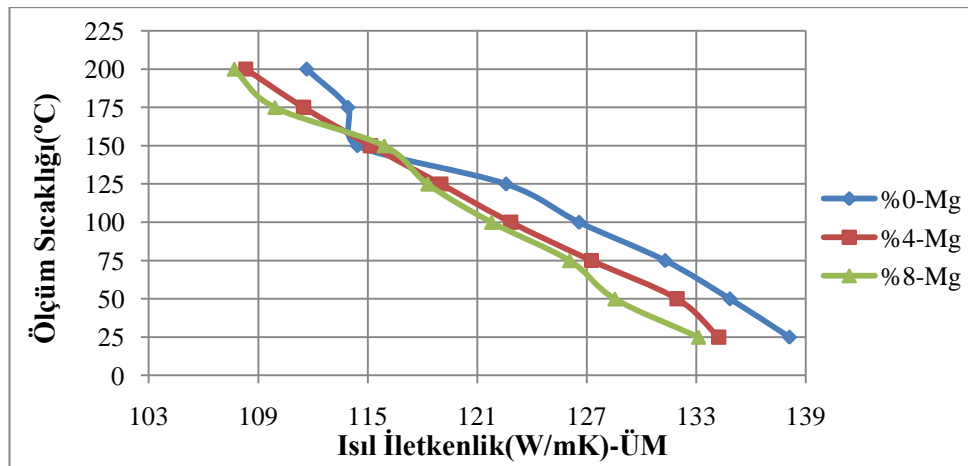
Şekil 3.5.3.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değ erleri



(a)



(b)



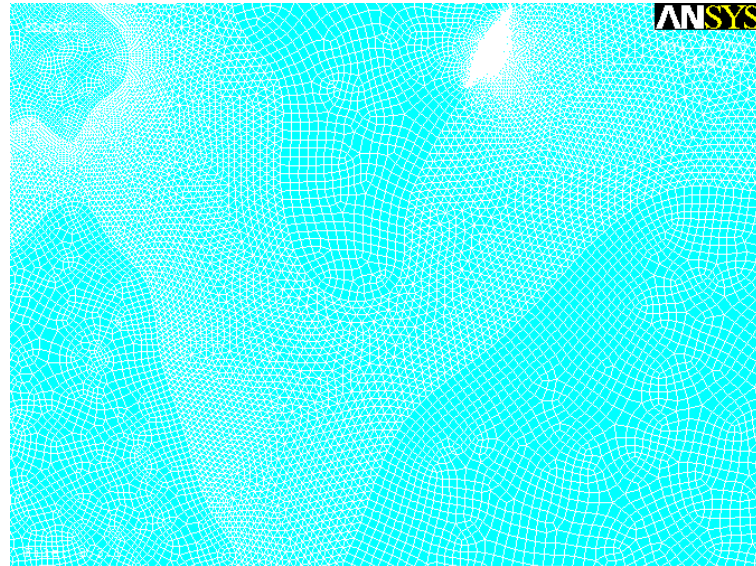
(c)

Şekil 3.5.3.2. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin ısı iletkenlik değ erleri

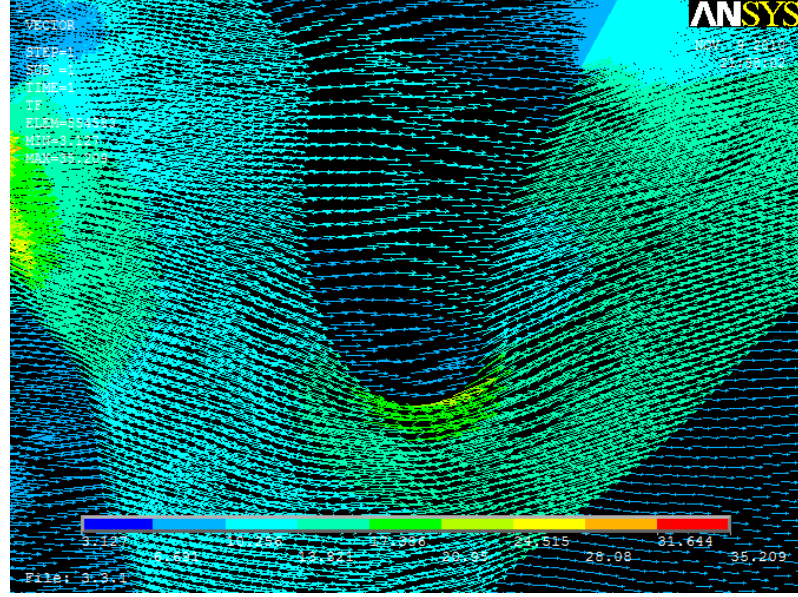
Mg ilavesi ile ısı iletkenliklerin sıcaklıkla değişimleri deneysel olarak 25°C ile 100°C sıcaklıkları arasında ölçölmüş, yapılan ölçömlerin aritmetik ortalaması alınarak Çizelge 3.5.3.2’de verilmiştir. Teorik ve sayısal yöntemlerde kullanılan matris ve takviye malzemesine ait ısı iletkenlik değerleri 0°C ile 100°C arasında literatürde verilen değerlerdir. Bu değerlere bakıldığında deneysel sonuçların oldukça tutarlı ve beklenildiği şekilde elde edildiği görölmektedir. Sayısal sonuçlardaki sapma seçilen bölge mikro yapısına bağlı oluşundan ve porozitenin dikkate alınamamasından kaynaklanmaktadır. Teorik yöntemlerden geometrik ve paralel yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın değerler vermektedir. Bunlardaki sapma da iki malzemedен oluşаn kompozitlere yönelik çözümler üretebilmesinden kaynaklanmaktadır. Halbuki gerçek numelerde %1’ler civarında gözenek söz konusudur. Ayrıca teorik yöntemlerde basınç ve sıcaklık etkisi de söz konu değildir.

Çizelge 3.5.3.2. Farklı modeller ile elde edilen ısı iletkenlik değerleri

Mg İlavesi (%)	Paralel (k_p)	Sayısal	Deneysel
0	133,309	119,396	128,221
4	131,829	118,815	125,699
8	130,349	120,635	122,928



Şekil 3.5.3.3. Sabit basınç ve sıcaklıkta üretilmiş kompozit için dönüştürölmüş nümerik model



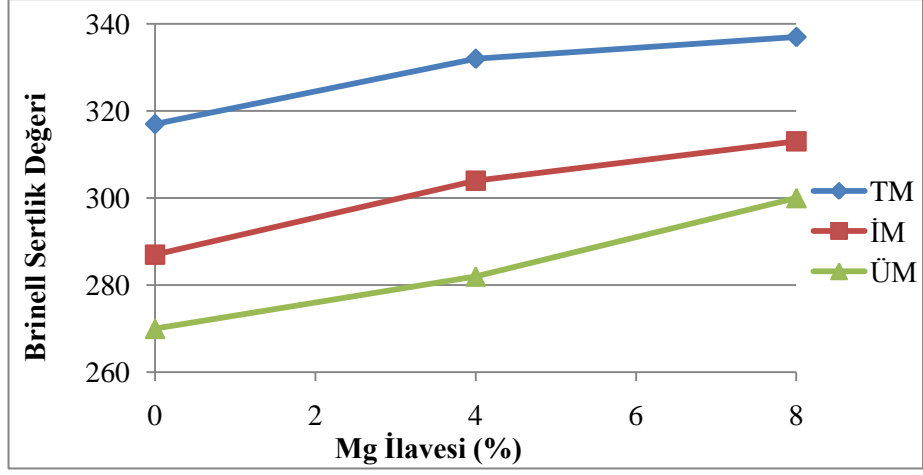
Şekil 3.5.3.4. Isı akısının vektörel gösterimi

3.5.4. İnfiltrasyon Sıcaklığının Sertliğe Etkisi

Şekil 3.5.4.1’de görüldüğü matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin sertlik değeri artmaktadır. Bunun nedeni katı eriyik mukavemetlenmesidir. Ayrıca artan Mg ilavesi değerlerinde sıvı matrisin akıcılığı artarak kompozitlerin gözenek miktarını azaltması dolayısıyla bu durumun sertliği arttırmasıdır. Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99’dur. Şekil 3.5.4.1’de görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek sertliğe sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük sertliğe sahiptir. Bunun nedeni artan takviye hacim oranı ile kompozit içerisindeki yüksek sertliğe sahip olan seramik partiküllerin artmasıdır. Ayrıca artan toz tane boyutu ile kompozitin gözenek miktarı azalmış bu da sertliğin artmasına neden olmuştur.

Çizelge 3.5.4.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri

Mg İlavesi (%)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
0	317	287	270
4	332	304	282
8	337	313	300
Brinell Serlik Değeri (BSD)			



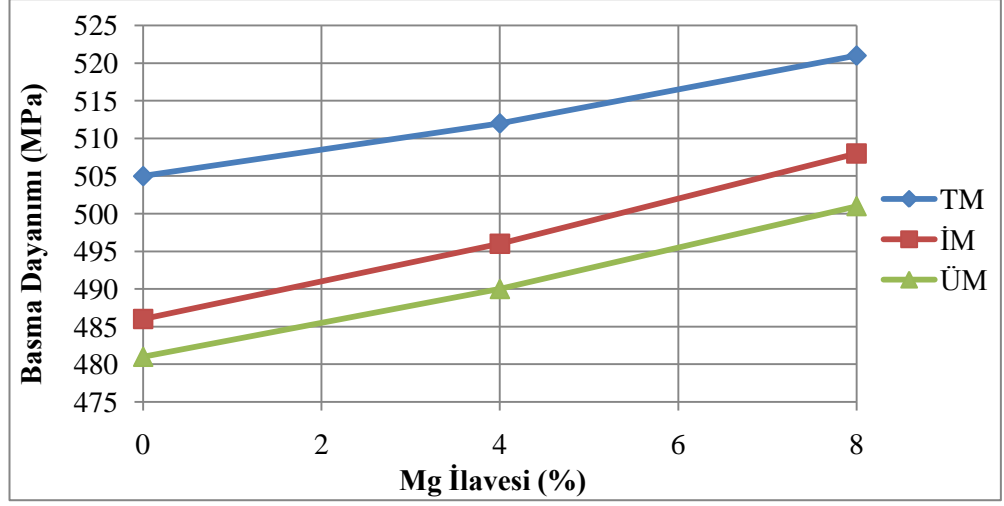
Şekil 3.5.4.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin sertlik değerleri

3.5.5. İnfiltrasyon Sıcaklığının Basma Dayanımına Etkisi

Şekil 3.5.5.1’de görüldüğü matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin basma dayanımı artmaktadır. Bunun nedeni artan Mg ilavesi değerlerinde sıvı matrisin akıcılığı artarak kompozitlerin gözenek miktarını azaltması dolayısıyla bu durumun basma dayanımını arttırmasıdır. Tekli, ikili ve üçlü modellerde takviye hacim oranları sırasıyla; %51.68, %49.33, %48.99’dur. Şekil 3.5.5.1’de görüldüğü gibi takviye hacim oranı en yüksek olan tekli model en yüksek basma dayanımına sahipken, takviye hacim oranı en düşük olan üçlü model en düşük basma dayanımına sahiptir. Bunun nedeni artan takviye hacim oranı ile kompozit içerisindeki yüksek sertliğe sahip olan seramik partiküllerin artmasıdır. Ayrıca artan toz tane boyutu ile kompozitin gözenek miktarı azalmış bu da basma dayanımının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 3.5.5.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı değerleri

Mg İlavesi (%)	Tane Büyüklüğü		
	Tekli Model	İkili Model	Üçlü Model
0	505	486	481
4	512	496	490
8	521	508	501
Basma Dayanımı (MPa)			



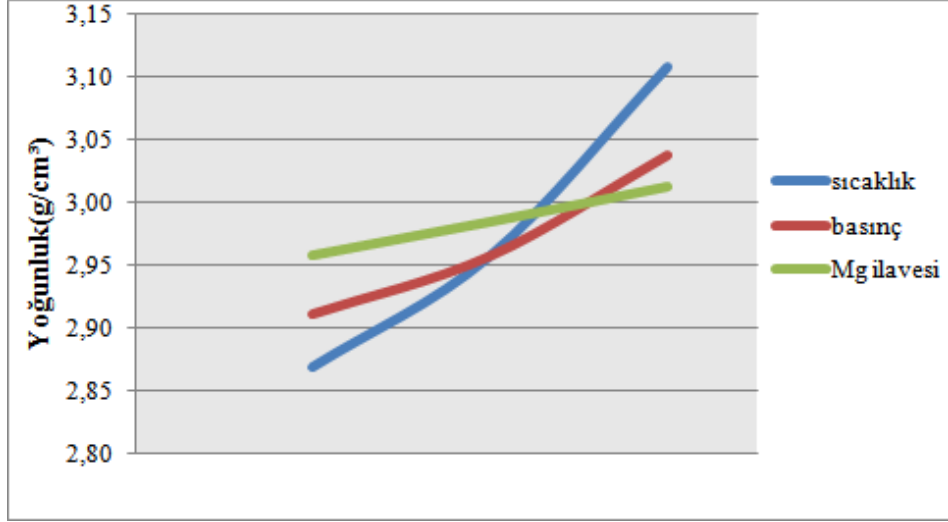
Şekil 3.5.5.1. Sabit basınçta (700kPa) ve sabit sıcaklıkta (750°C) SiC/Al2014 kompozitin basma dayanımı değerleri

3.6. Üretim Parametrelerinin Kompozitin Özelliklerine Etkileri

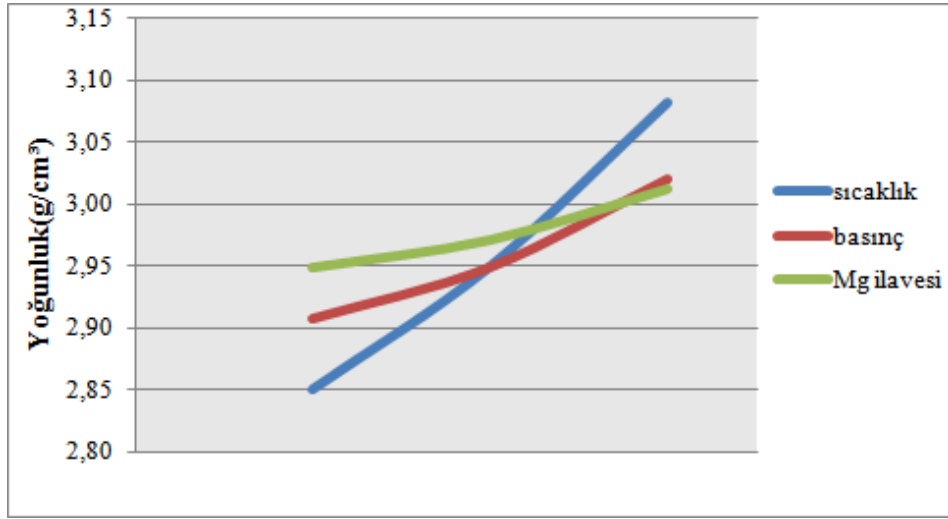
Kompozitlerin üretim parametreleri; infiltrasyon sıcaklığı, infiltrasyon basıncı ve matrise Mg ilavesidir. Kullanılan bu üretim parametrelerinin kompozitlerin yoğunluk, gözenek miktarı, ısıl iletkenlik, sertlik ve basma dayanımlarına etkisi araştırılarak bu özellikleri üzerinde en etkili üretim parametreleri belirlenmiştir.

3.6.1. Yoğunluğa Üretim Parametrelerinin Etkisi

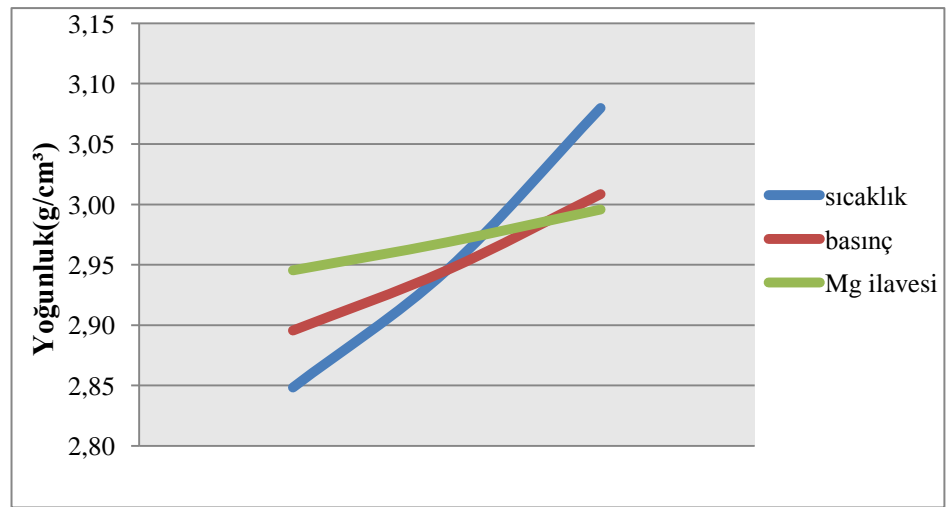
Kompozitin yoğunluğu üzerine üretim parametrelerinin etkisi araştırıldığında her üç modelde de benzer şekilde sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Kompozitin yoğunluk değeri en fazla infiltrasyon sıcaklığının artması ile artmaktadır. Matrise Mg ilavesi değeri ise kompozitin yoğunluğu üzerinde en az etkiye sahip olan üretim parametresidir.



(a)



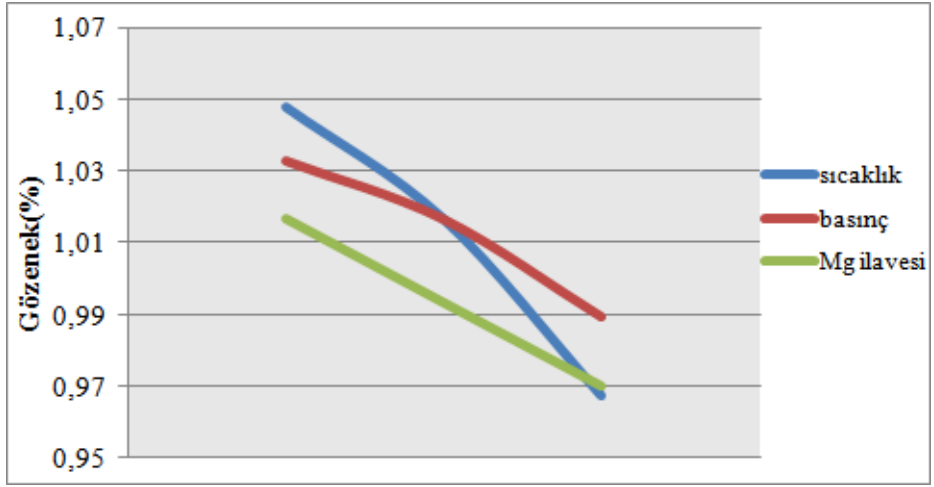
(b)



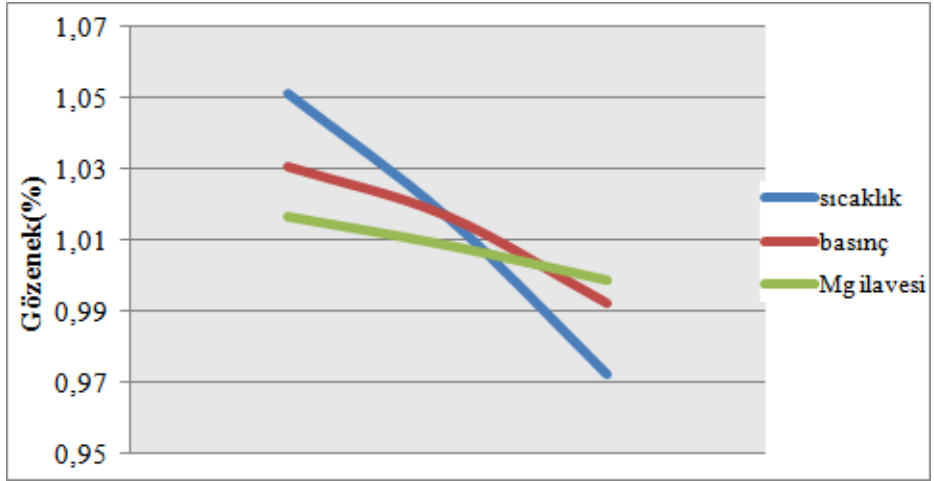
(c)

Şekil 3.6.1.1. Kompozitlerin yoğunlukları üzerinde üretim parametrelerinin etkisi
(a) tekli model, (b) ikili model, (c) üçlü model

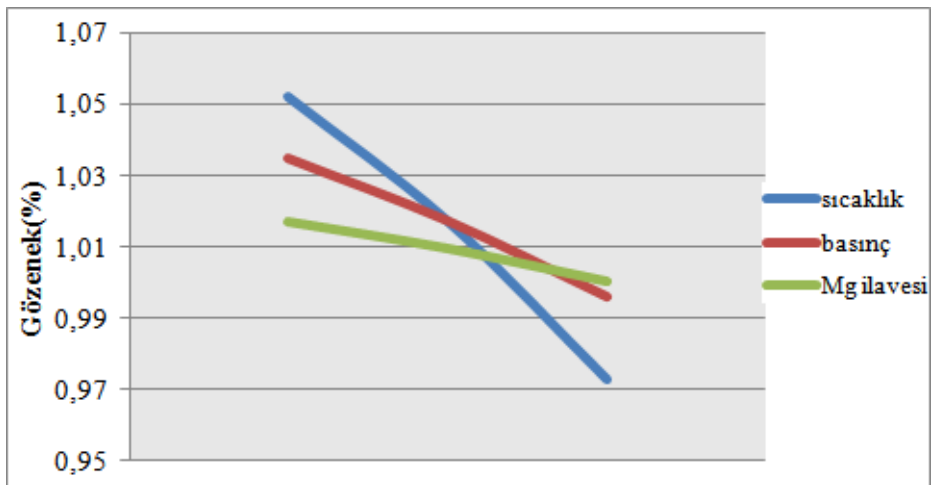
3.6.2. Gözenek Miktarına Üretim Parametrelerinin Etkisi



(a)



(b)



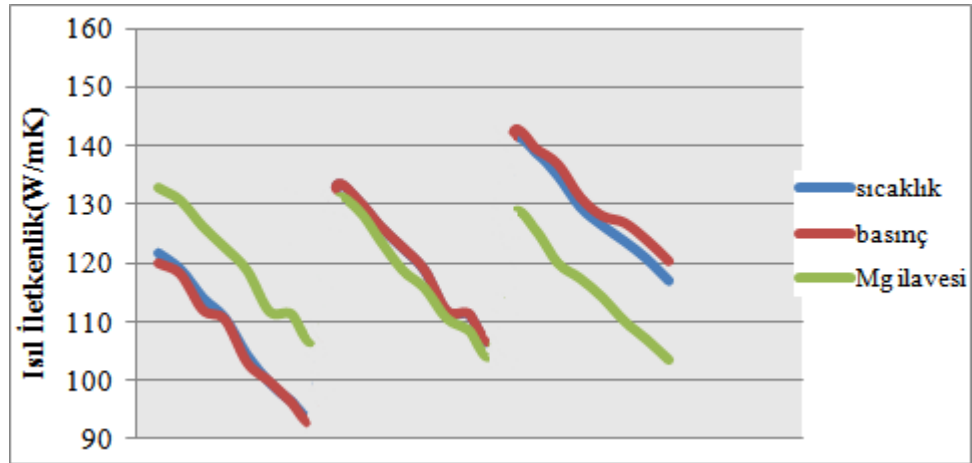
(c)

Şekil 3.6.2.1. Kompozitlerin gözenek miktarı üzerinde üretim parametrelerinin etkisi
(a) tekli model, (b) ikili model, (c) üçlü model

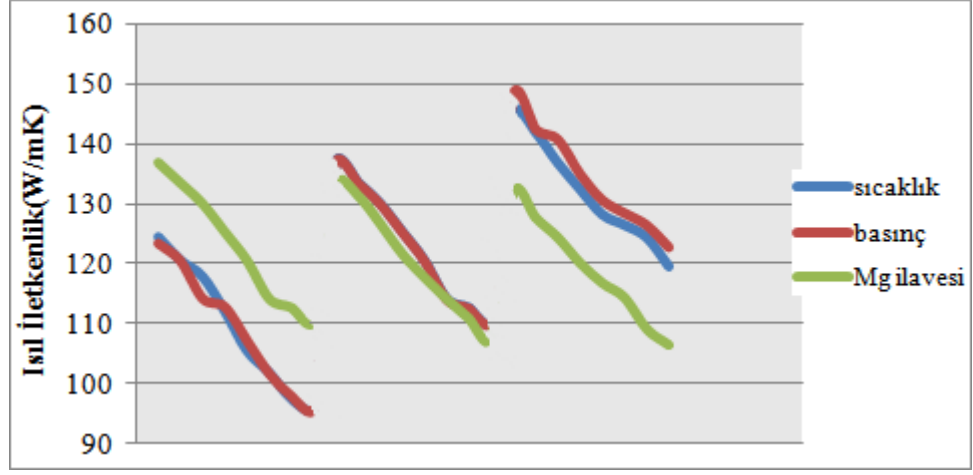
Kompozitin gözenek miktarı üzerine üretim parametrelerinin etkisi araştırıldığında her üç modelde de benzer şekilde sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin gözenek miktarının azaldığı görülmektedir. Kompozitin gözenek miktarı değeri en fazla infiltrasyon sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Matrise Mg ilavesi değeri ise kompozitin gözenek miktarı üzerinde en az etkiye sahip olan üretim parametresidir.

3.6.3. Isıl İletkenliğe Üretim Parametrelerinin Etkisi

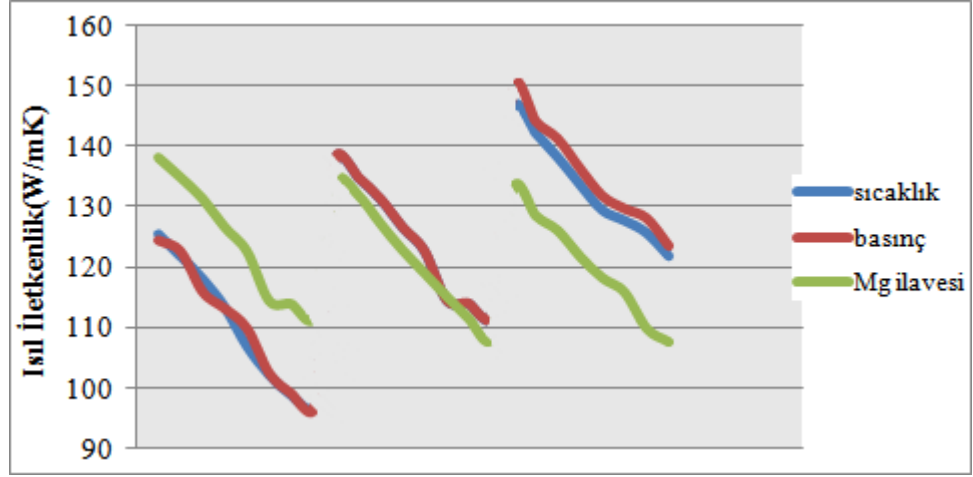
Kompozitin ısı iletkenliği üzerine üretim parametrelerinin etkisi araştırıldığında her üç modelde de benzer şekilde sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin ısı iletkenliğinin arttığı görülmektedir. Kompozitin ısı iletkenliği üretim parametrelerinin artması ile artarken aynı zamanda ısı iletkenlik ölçüm sıcaklığının artması ile azalmaktadır. Kompozitin ısı iletkenliği en fazla infiltrasyon basıncının artması ile artmaktadır. Matrise Mg ilavesi değeri ise kompozitin ısı iletkenliği üzerinde en az etkiye sahip olan üretim parametresidir.



(a)



(b)

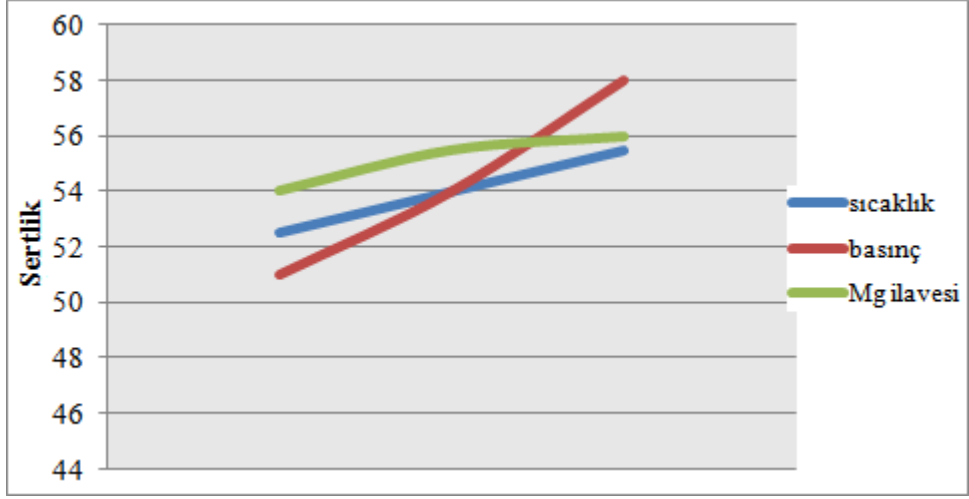


(c)

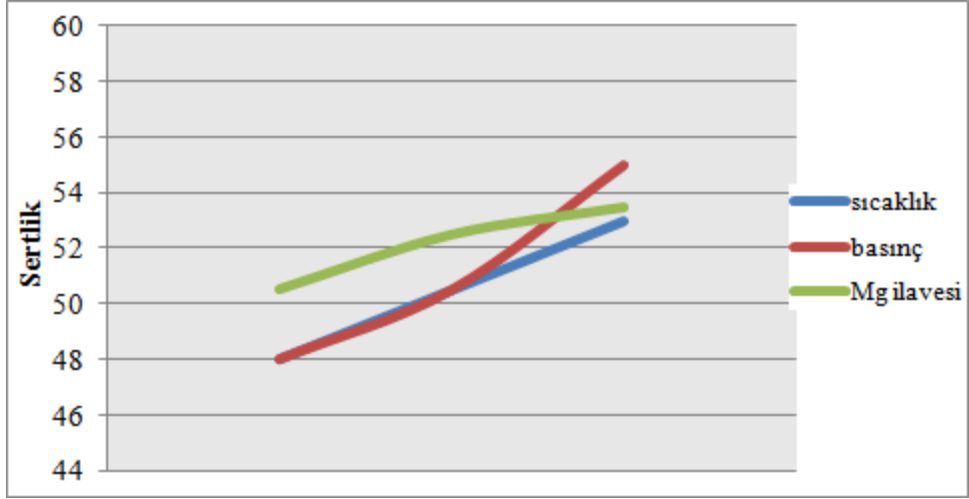
Şekil 3.6.3.1. Kompozitlerin ısı iletkenlikleri üzerinde üretim parametrelerinin etkisi
(a) tekli model, (b) ikili model, (c) üçlü model

3.6.4. Sertliğe Üretim Parametrelerinin Etkisi

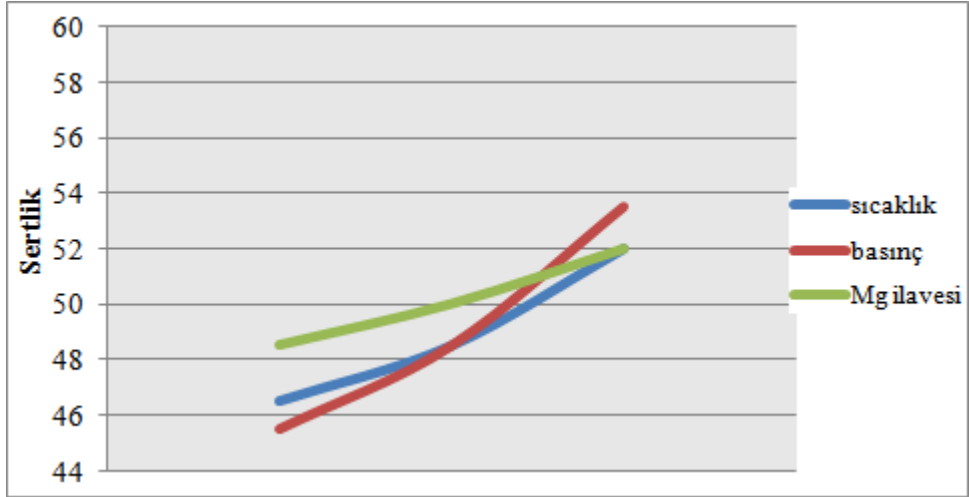
Kompozitin sertliği üzerine üretim parametrelerinin etkisi araştırıldığında her üç modelde de benzer şekilde sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin sertliğinin arttığı görülmektedir. Kompozitin sertlik değeri en fazla infiltrasyon basıncının artması ile artmaktadır. İnfiltrasyon sıcaklığı ise kompozitin sertliği üzerinde en az etkiye sahip olan üretim parametresidir.



(a)



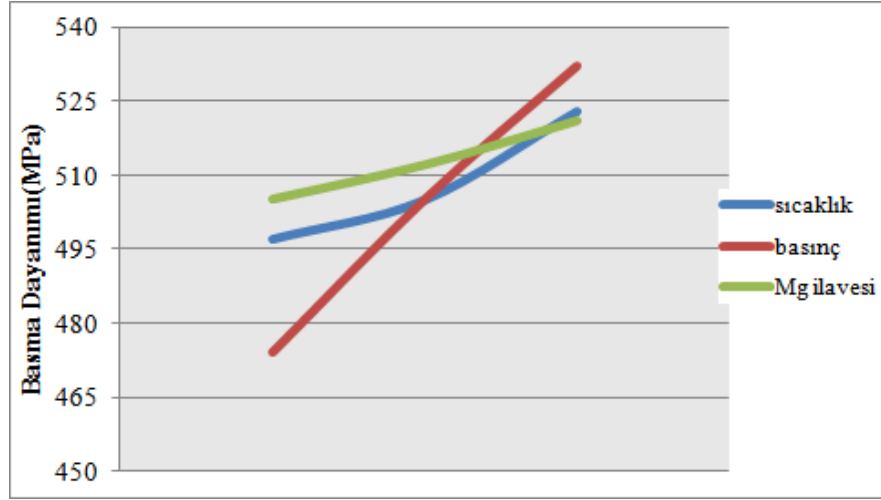
(b)



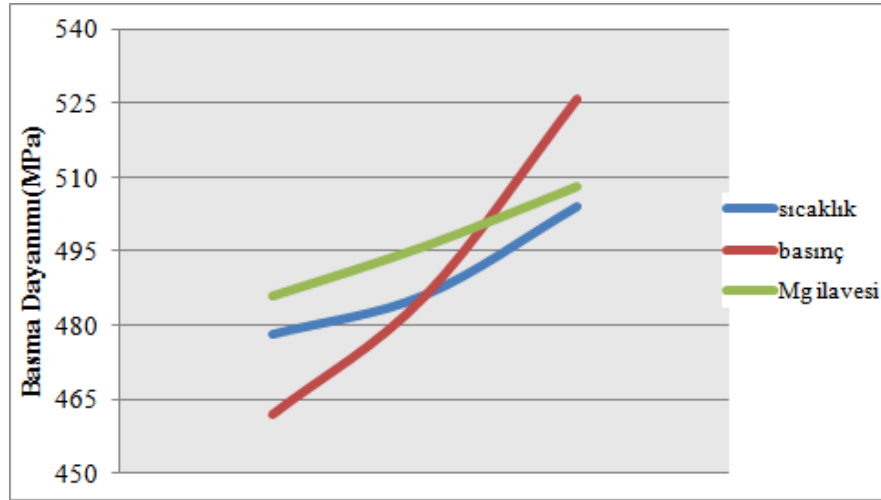
(c)

Şekil 3.6.4.1. Kompozitlerin sertlikleri üzerine üretim parametrelerinin etkisi
(a) tekli model, (b) ikili model, (c) üçlü model

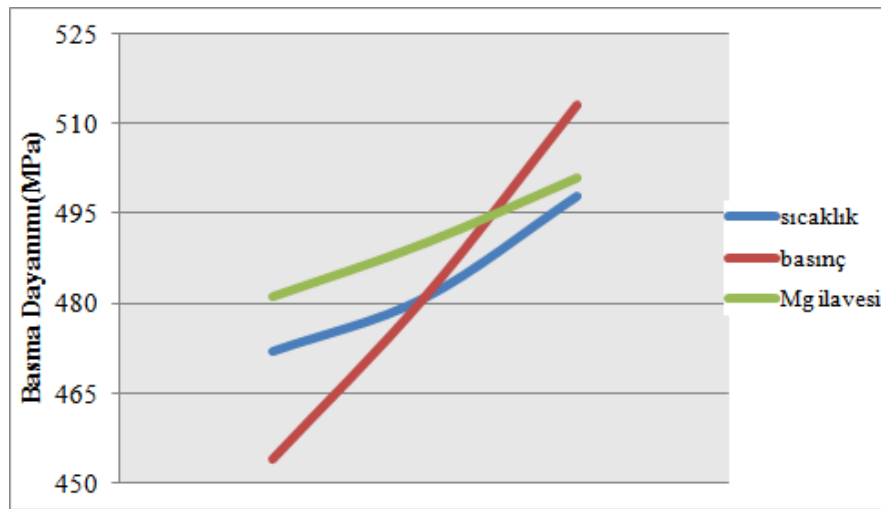
3.6.5. Basma Dayanımına Üretim Parametrelerinin Etkisi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6.5.1. Kompozitlerin basma dayanımlarına üretim parametrelerinin etkisi
(a) tekli model, (b) ikili model, (c) üçlü model

Kompozitin basma dayanımı üzerine üretim parametrelerinin etkisi araştırıldığında her üç modelde de benzer şekilde sıcaklık, basınç ve matrise Mg ilavesi değerinin artması ile kompozitin sertliğinin arttığı görülmektedir. Kompozitin basma dayanımı en fazla infiltrasyon basıncının artması ile artmaktadır. Matrise Mg ilavesi değeri ise kompozitin basma dayanımı üzerinde en az etkiye sahip olan üretim parametresidir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada basınçlı infiltrasyon için tasarlanan bir ergitme kabı kullanılarak sıcaklık (700,750,800°C), basınç (500, 600, 700, 800, 900kPa), matrise Mg ilavesi (0, 4, 8%) ve takviye tane boyutu (105, 66, 44µm) değerlerinde Kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin takviye malzemesi ağırlık oranları (105µm için 1:1, 105µm ve 66µm için 3:2, 105µm, 66µm, 44µm için 5:2:1) alınmış, bunların sırasıyla takviye hacim oranları %51.68, %49.33 ve %48.99 olarak hesaplanmıştır. Üretilen kompozitin üretim, deneysel ve sayısal çözüm aşamalarında karşılaşılan sorunlar, elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Kompozitin mikroyapılarına bakıldığında SiC tozların Al2014 matris içerisinde oldukça düzgün dağıldığı ve katılaşmanın bu doğrultuda gerçekleştiği görülmüştür. Bazı numunelerde katılaşma yüzeyden başladığından kısmen SiC tozlarının iç bölgelere kaydığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni katılaşma esnasındaki sıvı bölgelere kayma mı yoksa ilk dizilişteki düzensizlikten mi kaynaklandığı yorumlamaya açık bir durum olarak belirlenmiştir.

2. Üretilen kompozitin mekanik ve ısıl özellikleri beklenildiği gibi elde edilmiştir. Beklenilmeyen bir özellik ile karşılaşılmamıştır.

3. İnfiltrasyon süresi bütün numune üretimlerinde üç (3) dakika olarak belirlenmiş ancak bu sürenin bazı numuneler için fazla olduğu görülmüştür. Numune üretimine olumsuz bir etkisi olmamakla birlikte bu sürenin hesaplanmasına ilişkin çalışmalar yapılabileceği düşünülmektedir.

4. İnfiltrasyon basıncının infiltre edilen malzeme miktarına bağlı olarak çok düşük değişimleri söz konusu olabileceği ve sabit basınç sağlanacak düzeneğin doğru çalışması gerektiği unutulmamalıdır.

5. Kompozitlerin yoğunlukları, sertlikleri, basma dayanımları ve ısıl iletkenlikleri infiltrasyon sıcaklığı ve infiltrasyon basıncı ile artmıştır. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta sıvı matrisin yüzey geriliminin düşmesi ve akıcılığının artması sonucunda

SiC tozlar arasında kalan infiltrasyon öncesi boşlukları daha iyi doldurmasıdır. Buna bağlı olarak da gözenek miktarını düşürdüğü görülmektedir.

6. Daha yüksek infiltrasyon sıcaklıklarının ve infiltrasyon basınçlarının kullanılması durumunda kompozitin gözenek miktarının ve infiltrasyon süresinin nasıl etkileneceğinin araştırılabileceği düşünülmektedir.

7. Kompozitlerin yoğunlukları, sertlikleri ve basma dayanımları matrise ilave edilen Mg miktarı ile artmış, gözenek miktarları ve ısıl iletkenlikleri ise azalmıştır. Yoğunluk, sertlik, basma dayanımındaki artışın ve gözenek miktarındaki azalmanın nedeni matrise ilave edilen Mg'un infiltrasyonu kolaylaştırıcı etkiye sahip olması ve SiC/Al2014 arasındaki ıslatmayı iyileştirmesidir. Matrise ilave edilen Mg miktarı ile ısıl iletkenlikteki azalmanın nedeni ise Mg'un ısıl iletkenlik değerinin düşük olması ve böylece matrisin ısıl iletkenlik değerini düşürmesinden kaynaklanmaktadır.

8. Matrise ilave edilen Mg miktarının artırılması gözenek miktarını düşüreceği beklenirken bunun infiltrasyon süresini nasıl etkileyeceği ayrıca benzer şekilde üretilecek kompozitlerde daha yüksek infiltrasyon sıcaklığı ve basıncı değerlerinin kullanılması ve daha küçük tane boyutuna sahip SiC tozların kullanılması ile araştırmanın genişletilebileceği düşünülmektedir.

9. En yüksek yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı değerine tekli modelde üretilen kompozitler sahipken en düşük yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı değerine üçlü modelde üretilen kompozitlerler sahiptir. En yüksek gözenek miktarı ve ısıl iletkenlik değerine üçlü modelde üretilen kompozitler sahipken en düşük gözenek miktarı ve ısıl iletkenlik değerine tekli modelde üretilen kompozitler sahiptir. Bunun nedeni gözenek miktarı olarak açıklanabileceği görülmektedir. Çünkü tekli modelde infiltrasyon öncesi SiC tozları arasında kalan boşluklar üçlü modele göre daha büyük olmaktadır.

10. Numunelerin basma dayanımına ve sertliğine en önemli etkenin infiltrasyon basıncı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun tekli, ikili ve üçlü modelde de devam ettiği ilgili grafiklerden görülmektedir. Düşük basınçlarda basma dayanımı ve sertlik küçük değerlerde iken basınç arttıkça değişim diğer parametrelere göre daha büyük bir eğimle gerçekleşmektedir.

11. Numunelerin yoğunluklarına ve gözenek miktarlarına en önemli etkenin infiltrasyon sıcaklığı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun tekli, ikili ve üçlü modelde de devam ettiği ilgili grafiklerden görülmektedir. Düşük sıcaklıklarda yoğunluklar küçük değerlerde, gözenek miktarları ise büyük değerlerde iken sıcaklık arttıkça değişim diğer parametrelere göre daha büyük bir eğimle gerçekleşmektedir.

12. Numunelerin yoğunluk, gözenek miktarı, ısıl iletkenlik ve basma dayanımı üzerinde en düşük etkiye sahip üretim parametresinin matrise Mg ilavesinin olduğu belirlenmiştir. Matrise Mg ilavesi değeri numunelerin sertliği üzerinde infiltrasyon basıncından daha düşük, infiltrasyon sıcaklığından daha büyük bir etkiye sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Yalçın, H., Gürü, M., “Malzeme Özellikleri”, Malzeme Bilgisi”, Palme Yayıncılık, Ankara, 1-42, (2002).
2. Soy. U., “Metal Matris Kompozit Malzemeler”, Sakarya Üniversitesi (2009)
3. Davey, N., “Metarials Science”, A History of Building Metarials, Phoenix Hause, Londra, 2nd Edition,1-88, (1965).
4. Dieter, G.E., 1986. Mechanical Metallurgy, Mc Graw Hill Book Company, Newyork
5. Nardone, V.C. and Prewo, K.M., 1986. On the strength of discontinuous silicon carbide reinforced aluminum composites, Scripta Metallurgica, 20, 43-48.
6. Papazian, J.M., 1988. Effects of SiC whiskers and particles on precipitation in aluminum matrix composites, Metallurgical Transactions A, 19, 2945-2953.
7. Lloyd, D., 1994. Particle-reinforced aluminum and magnesium matrix composites, International Materials Review, 39(1), 1-23.
8. Maruyama, B., 1999. Progress & promise aluminum composites, Advanced Materials & Processes, 155, 47-50.
9. Çalın, R., 2006. Magnezya parçacık takviyeli Al matris kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.
10. Miracle, D.B., 2005. Metal matrix composites – From science to technological significance, Composites Science and Technology, 65 (15-16), 2526-2540.
11. Cook, J.L. and Mohn, W.R., 1987. Whiker-reinforced MMC’s, Engineering Composites Handbook, Vol. 1: Composites, ASM International, Metal Park, Ohio, USA, 896-902.
12. Taha, M.A., 2001. Practicalization of cast metal matrix composites (MMCCs), Materials & Design, 22 (6), 431-441.
13. Harrigan, W.C., 1987. Discontinuous silicon fiber MMC’s, Engineering Composites Handbook, Vol.1: Composites, ASM International, Metal Park, Ohio, USA, 889-895.

14. Benal, M.M. and Shivanand, H.K., 2007. Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites, *Wear*, Volume 262, Issue 5-6, Pages 759-763.
15. Wilks, T.E., 1992. Cost-effective magnesium MMCS, *Advanced Materials & Processes*, 142 (2), 27-29.
16. Chou, T.W., Kely, A. and Okura, A., 1985. Fiber-reinforced metal-matrix composites, *Composites*, 16 (3), 187-206.
17. Shipway, P.H., Kennedy, A.R. and Wilkes A.J., 1998. Sliding wear behaviour of aluminum-based metal matrix composites produced by a novel liquid route, *Wear*, 216, 160-171.
18. Mondal, D.P., Ganesh, N.V., Muneshwar, V.S., Das, S. and Ramakrishnan, N., 2006. Effect of SiC concentration and strain rate on the compressive deformation behaviour of 2014Al-SiC_p composite, *Materials Science and Engineering: A*, 433 (1-2), 18-31.
19. Dieter, G. E., *Mechanical Metallurgy*, Mc Graw Hill Book Company, Newyork (1986)
20. Nardone, V. C. and Prewo, K. M., On The Strength of Discontinuous Silicon Carbide Reinforced Aluminum Composites, *Scripta Metallurgica*, 20, 43-48 (1986)
21. Benal, M.M. and Shivanand, H.K., 2007. Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites, *Wear*, Volume 262, Issue 5-6, Pages 759-763.
22. Ahlatci, H., Koçer, T., Candan, E. and Çimenoğlu, H., 2006. Wear behaviour of Al/(Al₂O_{3p}+SiC_p) hybrid composites, *Tribology International*, 39(3), 213-220.
23. Akdoğan Eker, A., 2001. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri.
24. Durman. M., “The Creep Behaviour Pressure Die Cast Zn-Al Alloys”, Doctor of Phiiosopy, The University of Aston in Birningham, June (1989)
25. J. Hashim, *J Mater Process Technol* 123 (2002) 251-257
26. P. Rohatgi, *J Minerals* 43 (1991) 10-15
27. Arslan, G., Kalemtaş, A., “Processing of silicon carbide-boron carbide-aluminium composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 29, (2009), 473-480

28. Clyne, T. and Withers, P., 1993. An introduction to metal matrix composites, Cambridge University Press, Cambridge
29. Nieh, T.G. and Karlak, R. F., 1984. Aging characteristics of B₄C-reinforced 6061-aluminum, Scripta Metallurgica, 18 (1), 25-28.
30. www.matweb.com
31. Ralph, B., Yuen, H. C. And Lee, W. B., “The processing of metal matrix composites-an overview”, J. Of Mat. Proc. Tech., 63 : 339-353 (1997).
32. Michaud, V., Mortensen, A., “Infiltration processing of fibre reinforced composites governing phenomena”, Composites Part, A 32 : 981-996 (2001).
33. Singh, J., et al., “Wear behavior of squeeze cast Al- Al₂O₃-MgO particulate MMC’s under dry sliding conditions”, AFS Transactions, 815 (1991).
34. Elwahed, M., Asar, M., “Fabrication of matrix composite by infiltration process-part 2 Experimental study”, J. Of Mat. Proc. Tech., 86 : 152-158 (1999).
35. Cornie, J.A., Mortensen, A. and Flemings, M.C., 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., Buskell, N.C.R., Hodgkinson, J.M., Morton, J. (Elsevier Applied Science, London), 2297-2305.
36. Elomari, S., et al., “Thermal Expansion Behavior of Particulate Metal-Matrix Composites”, Composites Science and Technology 58: 369-376 (1997).
37. Wannasin, J., Flemings M. C., “Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process”, J. Of Materials Processing Technology, Elsevier, 169: 143-149 (2005).
38. Delennay, F., Froyen, L., Deruyttere, A., “Review the wetting of solids by molten metals and its relation to the preperation of the metal-matrix composites”, J. Of Mat. Sci., 22 : 1-16 (1987).
39. Clyne, T.W., Bader, M.G., Cappleman, G.R. and Hubert, P.A., 1985. The use of a delta-alumina fiber for metal matrix composites, Journal of Materials Science, 20 (1), 85-96.
40. Rodrigez-Reyes, M., Pech-Canul, M. I., Parras- Medecigo, E. E., Gorokhovskiy, A., “Effect of Mg loss the kinetics of presureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiC_p composites”, Materials Letters 57 : 2081-2089 (2003).

41. Kevorkijan, V. M., “The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminium alloy”, *Composites Science and Technology*, 59 : 683-686 (1999).
42. Fletcher, T. R., Cornie, J. A. and Russell, K. C., “A capacitance technique for studying pressure infiltration”, *Mat. Sci. and Eng., A*, 144 : 159-163 (1991).
43. Lianxi, H., Yiwen, Y., Shoujing, L., Xu, X., “Investigating on the kinetics infiltration of liquid aluminium into an alumina fibrous preform”, *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 94 : 227-230 (1999)
44. Tekeli, S., Çetinkaya, C., “Investigation of bonding strength of TZP/Al₂O₃ composites diffusion bonded with similar or dissimilar materials”, 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Bildiriler Kitabı, 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III ,1863-1866 (2000).
45. Chong, S. Y., Atkinson, H. V. and Jones, H., “Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts”, *Mat. Sci and Eng.*, 173 : 233-237 (1993).
46. Durman, M., Akbulut, H. ve Yılmaz, F., “1993, Saffil (δ - Al₂O₃) fiber takviyeli alüminyum-silisyum metal matriks kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 4-8 Mayıs, Ankara, 1141-1153 (1993).
47. Kurnaz, S. C., Akbulut, H., ve Durman, M., “Saffil (δ - Al₂O₃) fiber çinko-alüminyum 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 (1993).
48. Çırakoğlu, M., vd., “AlN-B₄C/Al kompozitlerinin infiltrasyon yöntemi ile üretim şartlarının incelenmesi”, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran, İstanbul, 1307-1315 (1993).
49. Lee, K. B., Lee, K. W., Heo, S. W., Kwon, H., “The effect of infiltration temperature and time on Al-Mg/SiC/sub p/ composites fabricated by pressureless infiltration method”, *J of Korean Institute of Metals and Materials*, V 36, n 2 : 242-248 (1998).

50. Oh, S. Y., Cornie, J. A. And Russel, C., "Wetting of ceramic particulates with liquid aluminum alloys: part I.I Study of wettability", *Met. Trans.*, 20 A : 533 (1989).
51. Candan, E., Atkinson, H. V. and Jones, H., "Effect of ceramic particle size, and applied pressure on time to complete infiltration of liquid aluminium into SiC powder compacts", *Mat. Sci and Eng.*, 35 : 4955-4960 (2000).
52. Domsa, S., Orban, R., Constantinescu, V., "Some basic aspects non-conventional pm processing route-sintering by infiltration of loose powders", *Second International Conference on Powder Metallurgy*, 6-8 July, Romania, 77-80 (2000).
53. Mortensen, A. And Cornie, J. A., "On the infiltration of metal-matrix composites", *Met. Trans.*, 18 (A): 1160-1163 (1987).
54. Harrigan, W.C., 1998. Commercial processing of metal matrix composites, *Materials Science and Engineering A*, 244(1), 75-79.
55. Hashim, J., Looney, L. and Hashmi, M.S.J., The atomic arrangement in glass J. *Mater. Process. Technol.*, 2001, 119, 324-328
56. Hashim, J., Looney, L. and Hashmi, M.S.J., The atomic arrangement in glass J. *Mater. Process. Technol.*, 2001, 119, 329-335
57. C.G. Levi, G.J. Abbaschian, R. Mehrabian, Interface interactions during fabrication of Aluminium Alloy-Alumina fiber composites. *Metall Trans.* 9 (1978) 697-711
58. Dellaney, F., Rozen, L. Deryterre, A., The Wetting of Solids by Molten Metals and its Relation to the Preperation of Met.-Matrix Composites. *J. Mater. Sci. Lett.*, 187, 22, 1-16
59. Ray, S., M. Tech. Dissertation, IIT, Kanpur, India, 1969
60. Kulkarni, A.G., Pai, B.C. and Balasubramanian, N., The cementation technique for coating carbon fibres. *J. Mater. Sci.*, 1979, 14, 592-598
61. Rocher, J. P., Quinisset, J. M. And Naslain, A new casting process for carbon (or SiC based) fibre aluminium matrix low cost composite materials. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1985, 4, 1527-1529
62. Banerjee, A., Rohatgi, P. K. And Reif W., *Metallurgy*, 1984, 38, 656

63. Krishnan, B. P., Surappa, M. K. And Rohatgi, P. K., UPAL process: a direct method for producing cast aluminum alloy graphite composites. *J. Mater. Sci.*, 1981, 16, 1209-1216
64. Pai, B. C., Satyanarayana, K. G., and Robi, P. S., Effect of chemical and ultrasound treatment on the tensile properties of carbon fibres. *J. Mater. Sci. Lett.*, 1992, 11, 779-781
65. Tracey, M. H., *Mater. Sci. Technol.*, 1986, 4, 227-230
66. Aguilar-Martinez, J. A., Pech-Canul, M. I., Rodriguez-Reyez, M. and De la Pena, J. L., Effect of processing parameters on the degree of infiltration of SiC_p preforms by Al-Si-Mg alloys. *Mater. Lett.*, 2003, 57, 4332-4335
67. Iseki, T. Kameda. T. And Maruyama, T., Interfacial Reactions Between SiC and Al during Joining. *J. Mater. Sci.*, 1984, 19, 1692-1698
68. Lloyd, D. J., Lagage, H., Mcload, A. And Morris, P. L., Microstructural aspects of Al-SiC particule composites produced by a casting method. *Mater. Sci. Eng.*, 1989, A107, 73-80
69. Park, J. K., and Lucas, J. P., Moisture effect on SiC_p / 6061 Al MMC: dissolution of interfacial Al₄C₃. *Scripta Mater.*, 1997, 37, 511-516
70. Viala, J. C., Fortier, P. And Bouix, J., Stable and metastable phase equilibria in the chemical interaction between aluminium and silicon carbide. *J. Mater. Sci.*, 1990, 25, 1842-1850
71. Oh, S. Y., Cornie, J. A., and Russel, K. C., Wetting of ceramic particulates with liquid aluminium alloys. Part I. Experimental Techniques. *Metall. Trans. A*, 1989, 20, 527-532
72. Tham L. M., Gupta M. and Cheng, L., Effect of limited matrix-reinforcement interfacial reaction on the enhancing the mechanical properties of aluminium-silicon carbide composites. *Acta Mater.*, 2001, 49, 3243-3253
73. Kosolapova, T. Y., *Carbides propeties, production and aplications*. Plenum Press, Newyork, 1971
74. Saraswathi, Y.L., Das, S. and Mondal, D.P., 2006. Influence of microstructure and experimental parameters on the erosion–corrosion behavior of Al alloy composites, *Materials Science and Engineering A*, 425, 244–254.
75. Nieh, T.G. and Karlak, R. F., 1984. Aging characteristics of B₄C-reinforced 6061-aluminum, *Scripta Metallurgica*, 18 (1), 25-28.

76. R. Warren, C.H. Anderson, *Composite* 15 (2) (1984) 101-107
77. M. Gu, Z. Mei, Y. Jin, Z. Wu, *Scripta Mater.* 40 (9) (1999) 985-989
78. K.B. Lee, H. Kwon, *scripta Mater.* 36 (8) (1997) 847-851
79. R. Mitra, V.S. Chalapathi Rao, R. Maiti, M. Chakraborty, *Mater. Sci. Eng. A* 379 (2004) 391-400.
80. P. Villers, A. Prince, H. Okamoto, *Handbook of Ternary Phase Diagrams*, ASM Internationals, Materials Park, OH, 1995, p.2893
81. S.R. Nutt, R.W. Carpenter, *Mater Sci Eng A* 75 (1985) 169-174
82. Chong, S. Y., Atkinson, H. V. 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 V* 173, p 233-237.
83. Demir, A., Altinkok, N., 2004, Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al₂O₃/SiC-reinforced aluminium matrix composites, *Composites Science and Technology* 64, p 2067-2074
84. Contreras, A., Lopez, V. H. And Bedolla, E., 2004, Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration, *Scripta Materialia*, 51, p 249-253.
85. Şahin, Y., Acılar, M., Production and properties of SiC_p-reinforced aluminium alloy composites, *Composites Part A* 34, P 709-718, (2003)
86. Çalın, R., Çıtak, R., "Effect of Mg content in matrix on infiltration height in producing MgO/Al composite by vacuum infiltration method", *Materials science forum*, 546: 611-614 (2007)
87. Samuel, A. M., Gotmare, A. ve Samuel, F. H. Effect of solidification rate and metal feedability on porosity and SiC/Al₂O₃ particle distribution in an Al-Si-Mg (359) alloy. *Composites Science and Technology* 53 301-315, (1995).
88. Skibo, M., Morris, P.L. ve Lloyd, D.J. Structure and properties of liquid metal processed SiC reinforced aluminium. *Proceedings of the International Symposium on Advances in Cast Reinforced Metal Composites*, 257-261, (1988).
89. Stefanos S.. Mechanical behavior of cast SiC_p-reinforced Al-4.5%Cu-1.5%Mg alloy. *Materials Science and Engineering A* 210 76-82. (1996)

90. Vogelsang, M., Arsenault, R. J. ve Fisher, R. M. An in situ HVEM study of dislocation generation at Al/SiC interfaces in metal matrix composites. *Metallurgical Transactions A* 17 379-389, (1986).
91. Ahmad, Z. Mechanical Behavior and Fabrication Characteristics of Aluminum Metal Matrix Composite Alloys. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 20 (11) 921-944, (2001).
92. Kainer, K. U. *Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., (2006).
93. Dieter, G. E: *Mechanical Metallurgy*. Singapur: McGraw-Hill Book Company, (1988).
94. Samuel, A. M., Liu, H. ve Samuel, F. H. Effect of melt, solidification and heat-treatment processing parameters on the properties of Al-Si-Mg/SiC(p) composites. *Journal of Materials Science* 28 (24) 6785-6798, (1993).
95. Askeland, D. R. ve Phule, P. P.. *The Science and Engineering of Materials* (4th ed.). İngiltere: Thomson-Engineering. (2002).
96. Li, Y. M. ve Li, R. D. (2001). Effect of the casting process variables on microporosity and mechanical properties in an investment cast aluminium alloy. *Science and Technology of Advanced Materials* 2 277-280.
97. Cacaes, C. H. On the effect of macroporosity on the tensile properties of the Al-7%Si-0.4%Mg casting alloy. *Scripta Metallurgica et Materialia* 32 (11) 1851-1856, (1995)
98. Tekmen, Ç., Özdemir, İ., Cöcen, Ü. ve Önel, K. The mechanical response of Al-Si-Mg/SiCp composite: influence of porosity. *Materials Science and Engineering A* 360 (1-2) 365-371, (2003)
99. Zhou, W. ve Xu, Z. M. Casting of SiC reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology* 63 358–363, (1997).
100. Ahmad, S. N., Hashim, J. ve Ghazali, M. I. The Effects of Porosity on Mechanical Properties of Cast Discontinuous Reinforced Metal–Matrix Composite. *Journal of Composite Materials* 39 (5) 451-466, (2005).
101. Hashim, J., Looney, L. ve Hashmi, M. S. J. Metal matrix composites: production by the stir casting method. *Journal of Materials Processing Technology* 92-93 1-7, (1999).

102. Cornie, J. A., Chiang, Y., Uhlmann, D. R., Mortensen, A. ve Collins, J. M. Processing of metal and ceramic matrix composites. *Ceramic Bulletin* 65 (2) 293-304, (1986).
103. V.V. Rao, M.V. Krishna Murthy, J. Nagaraju, Thermal conductivity and thermal contact conductance studies on Al₂O₃/Al–AlN metal matrix composite, *Composites Science and Technology* 64, 2459–2462, (2004).
104. Chung, W-S., Lin, S-J., Ni-coated SiC_p reinforced aluminium composites processed by vacuum infiltration, *Materials Research Bulletin*, 31, (12), 1437-1447, (1996).
105. Chen, Y., Chung, D.D.L., Aluminium matrix silicon carbide whisker composites by pressureless infiltration, *Journal of Material Science*, 31, 407-412, (1996).
106. Alonso, A., Pamies, A., Narciso, J., Garcia-Cordovilla, C., Louis, E., Evaluation of the wettability of liquid aluminium with ceramic particles (SiC, TiC, Al₂O₃) by means of pressure infiltration, *Metallurgical Transactions*, 24A, 1423-1432, (1993).
107. Narciso, J., Alonso, A., Pamies, A., Garcia-Cordovilla, C., Louis, E., Factors affecting pressure infiltration of packed SiC particulates by liquid aluminium, *Metallurgical Transactions A*, Vol. 26A, 983-990, (1995).
108. Narciso, J., Garcia-Cordovilla, C., Louis, E., Effect of temperature on pressure infiltration of packed SiC particulates by liquid aluminium, *Journal of Material Science Letters*, 14, 1144-1146, (1995).
109. Pech-Canul, M.I., Katz, R.N., Makhlof, M.M., Optimum conditions for pressureless infiltration of SiC_p preforms by aluminium alloys, *Journals of Materials Science*, 35, 2167, 2173, (2000).
110. Han, D-S., Jones, H., Atkinson, H.V., The wettability of silicon carbide by liquid aluminium: the effect on free silicon in the carbide and of magnesium, silicon and copper alloy additions to the aluminium, *Journal of Materials Science*, 28, 2654-2658, (1993).
111. Ahlatci, H., Candan, E., Cimenoglu, H., “Mechanical properties of Al-60 pct SiC_p composites alloyed with Mg”, *Met. And Mat. Trans.*, A, 5 : 2127-2141, (2004).
112. Daoud, A., Wear performance of 2014 Al alloy reinforced with continuous carbon fibers manufactured by gas pressure infiltration, *Materials Letters*, Vol. 58, Issue 25, 3206-3213, (2004).

113. Daoud, A., Microstructure and tensile properties of 2014 Al alloy reinforced with continuous carbon fibers manufactured by gas pressure infiltration, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 391, Issue 1-2, 114-120, (2005).
114. **Mizumoto, M., Ohgai, T., Kagawa, A.**, Characterization of fiber-reinforced metal matrix composites fabricated by low-pressure infiltration process, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 413-414, 521-526, (2005).
115. **Ren, S., He, X., Qu, X., and Li, Y.**, Effect of controlled interfacial reaction on the microstructure and properties of the SiC_p/Al composites prepared by pressureless infiltration, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 455, Issues 1-2, 424-431, (2008).
116. Rodriguez-Guerrero, A., Sanches, S.A., Narciso, J., Pressure infiltration of Al-12 wt. % Si-X (X=Cu, Ti, Mg) alloys into graphite particle performs of, *Acta Materialia*, (2006).
117. Kwak, J.S., Kim, Y.S., Mechanical properties and grinding performance on aluminum-based metal matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 201, Issues 1-3, 596-600, (2007).
118. Valdez, S., Campillo, B., Perez, R., Martinez, L., Garcia A., Synthesis and microstructural characterization of Al–Mg alloy–SiC particle composite, *Materials Letters*, Vol. 62, Issues 17-18, 2623-2625, (2008).
119. Chu, K., Jia, C., Liang, X., Chen, H., Guo, H., The thermal conductivity of pressure infiltrated SiC_p/Al composites with various size distributions: Experimental study and modeling, *Materials & Design*, Vol. 30, Issue 9, 3497-3503, (2009).
120. Zahedi A.M., et al, Processing and impact behavior of Al/SiC_p composites fabricated by the pressureless melt infiltration method, *Ceramic International*, Vol. 35, Issue 5, 1919-1926, (2009)
121. Montoya, M., et al, Effect of SiC_p multimodal distribution on pitting behavior of Al/SiC_p composites prepared by reactive infiltration, *Powder Technology*, Vol. 195, Issue 3, 196-202, (2009).