



**SERAMİK PARÇAÇIK BOYUTUNUN ALUMİNUM
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Ahmet GÜLER

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR**

**SERAMİK PARÇAÇIK BOYUTUNUN ALUMİNUM MATRİSLİ
KOMPOZİT MALZEMELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet GÜLER

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR**

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

**KARABÜK
Haziran 2023**

Ahmet GÜLER tarafından hazırlanan “SERAMİK PARÇACIK BOYUTUNUN ALUMİNUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/04/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN (KTÜN)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Ahmet GÜLER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK PARÇAÇIK BOYUTUNUN ALUMİNUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet GÜLER

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğretim Üyesi Abdullah UĞUR

Haziran 2023, 51 sayfa

Bu çalışmada iki farklı boyutta takviye elemanı kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Atölye ve laboratuvar ortamları kullanılarak numuneler karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Kompozit malzeme imalatında takviye elemanı olarak silisyum karbür (SiC), matris olarak da AA7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Çalışma sırasında üretim parametreleri incelenmiş ve geliştirilmiştir. Ayrıca elde edilen numunelere ait SEM görüntüleri, sertlik değerleri, Porozite özellikleri incelenmiştir. Numunelerin sertlikleri incelendiğinde ana metaline yakın sertliklerin matris üzerinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan irdelemede iri taneli kompozitlerin sertliğinin küçük taneli göre daha sert oldu gözlemlenmektedir.

Yoğunluk ölçümleri ve teorik hesaplamaları sonucunda, döküm yöntemi kaynaklı %1,36 oranında porositenin olduğu, ayrıca takviye eleman ilavesi ile porositenin miktarının yaklaşık üç kat arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Karıştırma Döküm Yöntemi, Kompozit Malzeme, Takviye Boyutu.

Bilim Kodu: 914.3.28

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CERAMIC PARTICLE SIZE ON ALUMINUM MATRIX COMPOSITE MATERIALS

Ahmet GULER

**Karabuk University
MECHANICAL ENGINEERING USA.**

Thesis advisor:

Dr. Lecturer Abdullah Ugur

June 2023, 51 pages

In this study, composite material was produced by using two different sizes of reinforcement elements. Samples were produced by stir casting method using workshop and laboratory environments. Silicon carbide (SiC) is used as a reinforcement element and AA7075 aluminum material is used as a matrix in the production of composite materials. During the study, the production parameters were examined and developed. In addition, SEM images, hardness values and Porosity properties of the obtained samples were examined. When the hardness of the samples was examined, it was observed that the hardnesses close to the base metal were obtained on the matrix. In the examination, it is observed that the hardness of coarse-grained composites is harder than small-grained composites. As a result of density measurements and theoretical calculations, it was observed that there was 1.36% porosity originating from the casting method, and the amount of porosity increased approximately three times with the addition of reinforcement elements

Key Word: Stir, Casting Method, Composite Material, Reinforcement Size.

Science Code : 914.3.28

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KOMPOZİT MALZEMELER HAKKINDA LİTERATÜR TARAMASI	3
BÖLÜM 3	8
KOMPOZİT MALZEMELER.....	8
3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	8
3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN MATRİSE GÖRE SINIFLANDIRILMASI.....	9
3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN TAKVIYE ELEMANINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI	10
3.3.1. Seramik Takviye Elemanları Üzerine.....	12
3.4. KOMPOZİT MALZEMELERDE ÖNEMLİ BAZI KAVRAMLAR	13
3.4.1. Arafaz	13
3.4.2. İslatılabilirlik.....	14
3.4.3. Porosite	14
3.4.4. Kümelene.....	15
3.4.5. Homojenlik	15
3.5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	15
3.5.1. Katı Hal Üretim Yöntemleri	16
3.5.2. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri.....	18

3.5.3. Katı-Sıvı Hale Üretim Yöntemleri.....	18
BÖLÜM 4	21
MATERYAL VE METOT	21
4.1. ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR.....	21
4.1.1. Matris Malzemesi	21
4.1.2. Takviye Elemanı ve Özellikleri	22
4.1.3. Numune üretiminde kullanılan Makine ve Teçhizatlar	22
4.2. Metal ANa Fazlı PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT NUMUNELERİN ÜRETİMİ	27
4.2.1. Karıştırma Döküm İşlemi Ön Hazırlıkları	28
4.2.2. Karıştırma İşlemi Ve Kompozit Malzeme Üretimi	29
4.2.3. Döküm İşlemi	30
4.3. METALOGRAFİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELEME YÖNTEMLERİ VE CİHAZLARI	31
4.3.1. Numunelerin Kesilme İşlemi	31
4.3.2. Enerji Yayımlı X ışını Analizi (EDX).....	32
4.3.3. Tarama Elektron Mikroskop (SEM).....	33
4.3.4. Sertlik Ölçüm.....	33
BÖLÜM 5	35
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	35
5.1. METALOGRAFİ İNCELEME SONUÇLARI	36
5.1.1. Tarama Mikroskobu (SEM) İncelemeleri.....	36
5.2. MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR.....	41
5.2.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	41
5.2.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları	43
BÖLÜM. 6	44
SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR	46

ÖZGEÇMİŞ	51
----------------	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3. 1 Takviye malzemesi parçacık tipleri malzemenin şematik görüntüsü [27].	11
Şekil 3. 2. Bir kompozit malzeme ait porosite ve kümelenme örneği Abdullah Uğur tez.	15
Şekil 3. 3. Toz metalurjisi yöntemi şematiği [52].	17
Şekil 3. 4. Difüzyonla bağlanma yöntemi [52]	17
Şekil 3. 5. In-situ tekniği şematik görünümü [80]	18
Şekil 3. 6. Basınçlı infiltrasyon şematik gösterimi [72].	19
Şekil 3. 7. Ergiyik metal karıştırma yönetimi [52].	20
Şekil 4. 1. 2375 µm ve 75 µm ortama boyuta sahip parçacıklar.	22
Şekil 4. 3. Üretiminde kullanılan karıştırma döküm ısıtma cihazı genel görünümü..	23
Şekil.4. 4. Karıştırma döküm yönteminde kullanılan grafit malzemedden yapılmış potanın görüntüsü.	24
Şekil 4. 5. Maşa genel görünümü.	24
Şekil 4. 6. Karıştırma işlemi için kullanılan ayarlanabilir devirli Bosh marka matkap	25
Şekil 4. 7. Grafit malzemedden yapılmış karıştırıcı.	25
Şekil 4. 8. MAK üretiminde kullanılan kalıpların genel görünümü	26
Şekil 4. 9. Demir testeresi genel görünümü.	26
Şekil 4. 10. Hassas tartı genel görünümü	27
Şekil 4. 11 Fırın içi ve kalıp sıcaklık değişim grafiği	30
Şekil 4. 12. Ergimiş metal karıştırma döküm yöntemiyle üretilen yarı mamul MAK numuneye ait görüntü.	31
Şekil 4. 13. KMY 280 elektronik şerit kesme testeresine ait görüntü	32
Şekil 4. 14. Carl zeiss ultra plus gemini fesem SEM ve EDX cihazı	33
Şekil 4. 15. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı	34
Şekil 4. 16. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı	34
Şekil 5. 1. Numunlerin kesilmiş ve parlatılmış hali.	36
Şekil 5. 2. Zımparalama sonrası alınan SEM görüntülerinden bazıları.	37
Şekil 5. 3. Kompozit malzeme ait Sem görüntüsü ve EDX grafikleri.	37
Şekil 5. 4. Başka bir noktaya ait EDX analizi.	38
Şekil 5. 5. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G60 %90AA7075+%10 SİC(375 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri	39
Şekil 5. 6. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G30 %85AA7075+%15 SİC(375+70 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri	40

Şekil 5. 7. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G80 %90AA7075+%10 SiC
(70 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri 40

Şekil 5. 8. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen kusurlu numune..... 41

.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3. 1: Bazı Metal Matris Malzemelerinin Mekanik Özellikleri.....	9
Çizelge 3. 2: Bazı alüminyum ısıtıl işlem, atma bu kameti çekti mi kameti ve % uzama özellikleri[36-37].....	10
Çizelge 3. 3. Yaygın kullanılan takviye elemanlarının özellikleri [26-27].....	12
Çizelge 3. 4. SiC ye ait bazı malzeme özellikleri.	13
Çizelge 4. 1. AA7075 alaşımının genel özellikleri	21
Çizelge 4. 2. Al 7075 alaşımının mekanik özelliklerle	22
Çizelge 4. 3. Matris Malzemesi Ve Takviye Elemanı SiC' ün Ağırlıkları Ve Kütlece Yüzde Oranları.....	28
Çizelge 5. 1. Farklı MAK numune üretiminde kullanılan ana faz takviye elemanı oranları ve üretim yöntemi	35
Çizelge 5. 2. Üretilen numuneleri ait deneysel yoğunluk, teorik yoğunluk ve yüzde gözenekli olanları.....	42
Çizelge 5. 3. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen MAK numunelerin sertlik ölçüm değerleri	43

SİMGELER

AA	: Alüminyum alaşımı
Cu	: Bakır
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
dak	: Dakika
dev	: Devir
g	: Gram
kN	: Kilo Newton
lt	: Litre
σ_{max}	: Maksimum gerilme
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Paskal
m	: Metre
μ m	: Mikro Metre
μ s	: Mikro Saniye
mmHg	: Milimetre Cıva
N	: Newton
s	: Saniye
SiC	: Silisyum Karbür
Ti	: Titanyum
TiB ₂	: Titanyum dibromür
WC	: Tungsten karbür
°C	: Santigrat derece

KISALTMALAR

MAK : Metal Ana Fazlı Kompozit

MARGEM : Malzeme Araştırma Geliştirme Enstitüsü

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Farklı malzemelerin birleştirilmesinden meydana gelen kompozit malzemeler, kendisini meydana getiren bileşenlerin özelliklerini bir arada bulundurur ve hem matris yapısına hem de takviye elemanına göre daha üstün özelliklere sahip olur. Kompozit malzemeler özellikleri tasarlanabilir malzemeler oldukları için sanayici ve bilim adamlarının dikkatini çeken ileri mühendislik malzemeleridir ve bu alanda birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Bu çalışmalar 1980 li yıllarda genellikle takviye eleman türü (parçacık,viskers,kısalif,uzun lif) ve matris farklılıkları üzerinden çeşitlenmiştir. Matris olarak metal malzemelerin kullanılması (alüminyum bakır demir çelik titanyum v.b) matrislerin kullanıldığı araştırmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma hafif metal olan alüminyum matris (AA7075) üzerinedir. Takviye elemanları açısından kompozit malzemeler incelendiğinde parçacık takviye elemanlarında sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir. Metal matris içinde kullanılan parçacık takviyeler genellikle seramik olan (alüminyum oksit titanyum bronür silisyum karbür v.b) Parçacıklar kullanılmıştır. Ayrıca kompozit malzemenin üretim yöntemi (karıştırma döküm yöntemi infiltrasyon toz meterolojisi serme in-situ v.b) ve bu yöntem parametleri üzerinede yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Kompozit malzemeler kullanım alanları olarak genellikle otomotiv havacılık sanayisinde yer bulmuştur. Bunun temel sebebi kompozit malzemelerin genellikle bağıl mukavemet ve aşınma direncinin yüksek olmasıdır. Bununla beraber bu malzeme türü günlük hayatta birçok parçanın üretiminde kullanılabilen ekonomik değeri yüksek bir malzemedir.

Bu çalışmada alüminyum metal matris ile SiC karbür parçacık takviyeli kompozit malzeme karıştırma döküm yöntemi kullanılarak farklı parçacık boyut ve oranlarda

üretmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve parçacık boyut ve oranlarını kıyaslanmış ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEMELER HAKKINDA LİTERATÜR TARAMASI

Kompozit malzemede kullanılan takviye elemanları ve geri dönüşüm üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Urena ve ark., yapmış oldukları çalışmada SiC parçacıklarına oksidasyon işlemi uygulamışlardır, bu işlem ile kompozit malzeme üretiminde kullanılan takviye SiC elamanı ve matris arasındaki alfa fazının ısı işlem süresinde değiştiğini ifade etmişlerdir. Parçacık oksidasyonunun da parçacık boyutu ve yüzey özellikleri üzerinde önemli olduğunu ifade etmişlerdir [1].

Qing ve ark. yapmış oldukları çalışmada kompozit malzeme üretimi sırasında kompozit özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılan bazı kompozit kaplama türleri ve bu türlerin ara faz ve ıslatılabilirliğinin kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır [2].

Chitranshu Bharti, ve ark. yapmış oldukları çalışmada farklı döküm yöntemleri ile yapılan çalışmaları derlemişlerdir. Derlemeyi tarımsal atık, tribolojik ve mekanik özellikleri üzerine yoğunlaştırmışlardır. Sonuç olarak kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin nitrit, karbit ve tarımsal atıkların takviye elemanı olarak kullanılmasıyla iyileştirilebileceğini ifade etmişlerdir [3].

Singh ve Kumar, farklı tür ve parçacık boyutlarına sahip, kompozit malzemeler hakkında bir derleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada takviye elemanı olarak kullanılan seramik parçacıklarını, sentetik seramikler, tarım atıkları ve endüstri atıkları olarak sınıflandırmışlardır. Sentetik seramiklere nazaran nispeten uygun olan endüstri atıkları ile kompozit malzemelerin üretilebileceğini ifade etmişlerdir [4].

Tripathy ve Senapati, yapmış oldukları çalışmada alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan endüstri atıkları üzerine bir derleme yapmışlardır. Bu endüstri atıklarını temel olarak uçucu kül, kırmızı çamur, cenospheres kül olarak sınıflandırmışlardır. Ayrıca değerlendirdikleri çalışmalarda yer alan mekanik işleme parametreleri ve işlenebilirlikleri yönünden incelemişlerdir. Sonuç olarak endüstri atığının takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozitlerde tek takviyeli kompozitlere göre çıktı parametrelerinin (yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, kesme kuvveti) azaldığını ifade etmişlerdir [5].

Kulkarni ve Siddeswarappa yapmış oldukları çalışmada AA6063 malzemesini matris olarak kullanmışlar ve takviye elemanı olarak da pirinç ve palmye kabuklarının küllerini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada takviye elemanı oranı %0 dan başlayarak

%2 artış oranıyla %8'e kadar çıkarmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, takviye oranının artmasıyla mukavemet, akma dayanımı, boyca uzama ve sertliğin arttığını ifade etmişlerdir [6]. Samal ve ark. yapmış oldukları çalışmada çok duvarlı karbon nano tüpe uygulanan ısıl işlem ve yapısına göre mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla karıştırma döküm yöntemi kullanarak AA5052 matris malzemesi ve %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında ısıl işlem yapılmış karbon nano tüp kullanmışlardır. Sonuç olarak parçacıkların homojen dağıtılmasıyla mikro sertlik ve çekme dayanımı özelliklerinin iyileştiği ve en yüksek mikro sertlik ve çekme dayanıma %1 nano tüp kullanılan deneylerde elde edildiği ifade edilmiştir [7].

Olusesi ve Udoye yapmış oldukları çalışmada AA6061 alüminyum malzemeyi matris olarak, kil ve pirinç kabuğu külünü de takviye elemanı olarak kullanmışlar ve elde ettikleri kompozit malzemenin karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma için öncelikle kompozit üretiminde kullanılan (pirinç kabuğu, ekmek ağacı tohumu kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu, küpse ve yumurta kabuğu) tarımsal atıklardan bahsedilmiştir. Çalışmada kil ve pirinç kabuğu külü kullanılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Takviye elemanı olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 kil pirinç kabuğu tozu kullanılmıştır. Elde edilen kompozit

malzemenin mekanik özelliklerinin AA6061 den da iyi olduğunu ve %7,5 takviye elemanı içeren numunenin en iyi sertlik değerlerini gösterdiğini ifade etmişlerdir [8]. Kandpal ve ark., yapmış oldukları çalışmada, tarımsal atıkların takviye elemanı olarak kullanılmasını araştırmış ve konuda bir derleme çalışması gerçekleştirmişlerdir [9].

Yapılan literatür araştırmasının sonucunda, baca atık tozlarının geri kazanılabileceği görülmüştür. Atıkların kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmasının incelendiği çalışmaların daha çok yakın tarihli çalışmalar olduğu ve bu alanda çalışmaların artacağı fikri oluşmuştur.

Yapılacak çalışmada ayrıca üretim yöntemi olarak da karıştırma döküm yöntemi kullanılacaktır. Aşağıda karıştırma döküm yöntemi ile alakalı literatür çalışmaları verilmiştir.

Amirkhanlou ve ark., çalışmalarında katı sıvı hal karıştırma ve döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretimi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada matris malzemesi olarak AA6061, takviye elemanı olarak da 3 µm boyutunda SiC seçilmiştir. İlk katılaşma safhalarında %10 oranında takviye ilave edilmiş ve Argon gazı ile takviye malzemeyi karıştırıcı çevresine taşımıştır. Ürettikleri malzemeyi soğuk haddelemişlerdir. Sonuç olarak soğuk haddeleme yönteminde takviye elemanlarının kümelenmesinin azaltılabileceğini ifade etmişlerdir [10].

Aniban ve ark., karıştırma yöntemi ile kompozit üretimi sırasında karıştırıcı kanatlarının tasarımının, ürün üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kanat açısı, kanat genişliği, kanat yüksekliği karıştırma hızları değerlendirilmiş, karıştırıcı kanatların kimya mühendisliği standartlarından daha farklı olduğu sonucuna varılmıştır [11].

Çetin ve Kalkanlı Kompozit malzeme üretiminde katılaşma hızının kompozit malzemeye etkisi incelenmiştir. Karıştırma ve yarı katı hal üretim yöntemlerini kullanmışlardır. Matris olarak alüminyum malzeme (A356) takviye elemanı olarak da $29.2 \pm 1.5 \mu\text{m}$ boyutlarında SiC kullanmışlardır. Sonuç olarak yüksek soğuma hızlarında ise kümelenme eğiliminin arttığını ifade etmişlerdir [12].

Ferguson ve ark., çalışmalarında karıştırma ve döküm yöntemiyle ürettikleri kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında matris olarak 74 µm Si-Fe alaşımlı Alüminyum, takviye elemanı olarak da 40 nm boyutunda CuOp malzemeyi seçmişlerdir. Elde edilen numuneler çekme testiyle, OM incelenmiştir. Sonuç olarak Bakır içeriği arttıkça akma gerilmesi segregasyon tarzı gelişim nedeniyle azaldığını ifade etmişlerdir [13].

Hashim ve ark., çalışmalarında kompozit malzemenin karıştırma yöntemiyle üretiminde ortaya çıkan problemleri ve bu problemlerin sebepleri ve çözüm yöntemleri üzerine araştırma yapmıştır. Gözeneklilik problemin çözümü için basınç uygulama miktarı ve süresinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir [14].

Karishna ve Xavier, melez kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Karıştırma döküm yöntemini kullanmışlardır. Matris olarak AA6061, takviye elemanı olarak da 37 µm boyutunda SiC ve 1 µm boyutunda grafitin karıştırılmasıyla elde edilen iki farklı takviye elemanı kullanmışlardır. Elde edilen numuneler OM, çekme testine tabi tutulmuş ve malzemelerin dayanım, mikro yapı, yoğunluk gibi değişkenleri incelenmiştir. Çalışmalarının sonucu olarak malzemelerin mekanik özelliklerini kütle fraksiyonlarının etkilediğini ve melez olarak üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşmelerin gözlemlendiğini ifade etmişlerdir [15].

Ebenezer jacob dhas, (2019)

Yaptıkları çalışmada metal matrisli hibrit kompozit malzeme üretimi yapmışlardır. Üretiminde anafaz olarak AA 5052, kullanılmıştır olup takviye elemanı olarak da tungsten carbide (WC), Silikon Karbit (SiC) ve grafit parçacıkları ile kullanılarak karıştırma döküm tekniği ile üretmişlerdir. Parçacık boyutları (60-90 micron metre) %5, %10 kütlece WC, SiC ve ilaveten %4 de grafit tozu kullanılmıştır. Mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak Al/SiC/grafit malzemede gerilme dayanımı aşağı düşerken, Al/wc/grafit malzemede %15,12 oranında arttığını. %10WC ev %4 grafit parçacıkların takviye elemanı olarak kullanıldığı numunenin yoğunluk, mikro sertlik, çentik darbe, gerilme dayanımı konularında iyileşme gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Araştırmalar incelendiğin birçok üretim yöntemi olmasına rağmen üretim bütün koşullarında gerekli ortam sağlanmadığı sürece üretilen kompozit malzeme her üretimde birbirinden farklı olmaktadır.

Kullanılan matris malzeme ile takviye elemanının yoğunlukları birbirinden uzaklaştıka ıslatılabilirlik zorlaşmaktadır.

Üretim aşamasında kullanılan matris malzeme ile takviye elemanının sıcaklık, yoğunluk, basınç v.s gibi ortamın ve malzemenin mekanik özelliklerin önemi çoktur.

Günümüzde kompozit malzemelere duyulan önem ve ilgi teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha da artmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ve enerji kaynaklarının zamanla azalmasından dolayı yeni malzemelere ihtiyaç duyulmasından dolayı kompozit malzemelere duyulan önem artmaktadır.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte yeni üretim yöntemlerinin artmasıyla kompozit malzemeler daha çok önem kazanmaktadır.

Özellikle uzay ve otomotiv sanayiisindeki gelişmeler ve yakıt oranlarının azaltılması ve uzay teknolojisindeki çalışmalarda daha hafif ve uygun malzeme arayışı kompozit malzemelere olan ilgiyi artırmaktadır [16], [17], [18], [19].

Karıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretimi hakkında birçok makale bulunmaktadır. Bu yöntem yoğun olarak son 40 yılda kullanılabildiği bununla birlikte halen daha gözeneklilik, kümelenme gibi problemlerinin devam etmekte olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin fiziksel olarak birleşmesi ile elde edilen malzemeler olup tarihsel gelişim de çok eski zamanlardan buy ana kullanılmaktadır. En eski zamanlarda beri yapılan kerpiç yapılar kompozit bir örnek olarak verilebilir. Ayrıca betonarme asphalt gibi yapılarda kompozitleri örnektir [20]. Kompozit malzemeler anafaz malzemesinin ismi ile genellikle sınıflandırılmaktadır. Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanları dediğimiz bileşen parçalarının oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması genellikle metal matrisli, seramik matrisli, polimer matrisli şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte takviye elemanlarının türüne, cinsine, oranına vb. şekilde sınıflandırıldığı bir çok türü bulunmaktadır.

Kompozit malzeme de önemli olan başka bir noktada kompozit malzemenin üretim tekniğidir. Kompozit malzeme üretimi için bir çok üretim tekniği bulunmaktadır.

Metal matrisli kompozitler genellikle otomotiv ve havacılık gibi bağıl mukavemetin istendiği yani ağırlığın azaltmaya çalışıldığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu sebeple bazı motor blokları, uçak parçaları ve fren balataları kompozit malzemelerin uygulama alanları olarak göze çarpmaktadır.

3.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemeler birleştirdikleri birden fazla malzemenin özelliklerine sahip olan yapılardır. Bundan dolayı kompozit malzemelerin bazı özellikleri değiştirip geliştirilmekte yani tasarlanabilmektedir. Kompozit malzemeler de dikkat edilebilecek tasarlanabilecek özellikler genel olarak bağıl dayanım, yorulma dayanımı, titreşim sönümlenme, korozyon direnci, yoğunluk, kütle, ısı kapasitesi olarak sıralanabilir. Ayrıca tasarlanabilecek bu özellikleri arttırmakta mümkündür.

3.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN MATRİSE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler dördüncü bir sınıf olarak nitelendirmek de beraber kendi dışında kalan üç tane mühendislik ana malzeme türünün fiziksel olarak birleştirilmesi ile elde edilebilir. Bu türler metal, seramik, ve polimerdir. Yüksek oranda metalin malzemenin bulunduğu kompozitler metal matrisli kompozit olarak isimlenir. Seramik malzemenin yüksek oranda bulunduğu kompozitler seramik matrisli kompozit olarak ve polimer malzemenin yüksek oranda bulunduğu kompozit malzemeler de polimer matrisli kompozitler olarak nitelendirilmektedir [21-22].

Matris türü üretilecek olan malzemenin mekanik, yapısal özelliklerini en yoğun şekilde etkilemektedir. Ayrıca metal malzemelere ısı ile mukavemet kazandırılması kompozit malzeme üretimi sonrasında mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi açısından fayda sağladığından üretim için metal malzeme seçimini olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılacak tez çalışmasında matrix olarak Alüminyum alaşım olan AA7075 malzemesi kullanılacaktır. Bu sebepten dolayı bu bölümde metal matrisli kompozitlerin bazı özelliklerini de edilecektir. Çizelge 3.1’de bazı metal matris malzemelerinin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 1’de bazı metal matris malzemelerinin mekanik özellikleri [23-24-25].

Çizelge 3. 1: Bazı Metal Matris Malzemelerinin Mekanik Özellikleri [25].

Matris Malzemesi	Elastisite Modülü (Gpa)	Akma Dayamml (MPa)	Cekme Dayamml (MPa)	Kırılma Tokluğu (Mpa.m ^{1/2})
Saf Al	70	40	200	100
Saf Bakır	120	60	400	
Saf Nikel	210	70	400	350
Ti-6Al-4V	110	900	1000	120
Alümin Alaşımları	70	100-380	250-480	23-40
Çelik	210	250	420	140
Paslanmaz Çelik (304)	195	240	365	200

Metalm adresle matrix olarak kullanılan en yaygın alüminyum, titanium, manzum, bakır kullanılmaktadır. Titanyum ve nikel esaslı super alaşımlar genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımları ergime sıcaklığının 650° civarında olmasından dolayı düşük sıcaklık uygulamalarında, düşük maliyet yüksek dayan mukavemet istendiği durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle tezde uygulayacağımız gibi eritilmiş imalat yöntemleri için sıklıkla tercih edilen bir metal metresidir. Çizelge 3.2 de bazı Alüminyum malzemeler için ısıtım işlem, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 2: Bazı alüminyum ısıtım işlem, atmam bu kameti çektin mi kameti ve % uzama özellikleri [26-27].

Malzeme	Uygulanan Isıl İşlem Kodu	% 0,2 Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	% Uzama
2004	T6	410	480	13
2024	T8	450	480	6
1100	0	35	90	35
5083	0	115	260	22
6061	16	275	310	12
6063	16	215	240	12
7075	T73	430	500	13
201	T6	345	415	5
213	TS33	185	220	0,5
355	T6	235	280	1
357	T6	221	283	3
360	T6	365	310	1

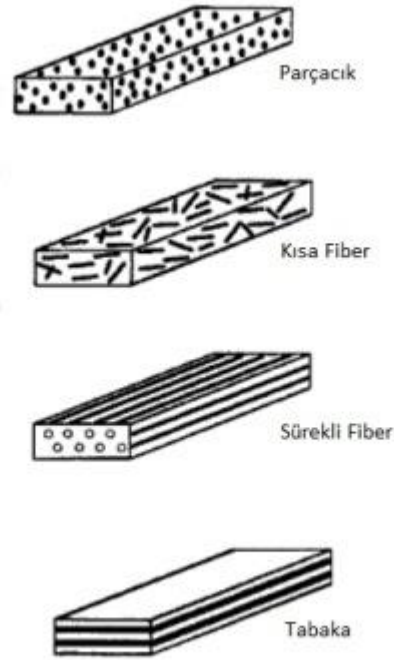
3.3. KOMPOZİT MALZEMELERİN TAKVİYE ELEMANINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemesinin yapısında önemli olan ikinci malzeme matrix malzemesinin yanında kullanılan takviye elemanlarıdır. Takviye elemanları üretim yöntemine ve takviye elemanının fiziksel yapılarına göre sınıflandırıldığı gibi ayrıca takviye elemanının malzeme cinsi ne, kimyasal yapısına göre de sınıflandırılabilir. Kompozit

malzeme içindeki takviye elemanının kütlece veya hacimce takviye oranları da sınıflandırma için kullanılabilir.

Takviye elemanları fiziksel yapılarına göre dört temel gruba ayırmak mümkündür; tabaka , fiber, kısa fiber ve parçacık şeklinde takviye elemanlarını sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca takviye elemanları yine buldukları ana malzeme gruplarına göre de sınıflandırmak mümkündür, metal, polimer, seramik gibi.

Takviye elemanı türleri, fiziksel yapıları özellikle kompozit malzeme üretim yöntemine göre değişim gösterebilmektedir. Buna göre ergimiş metal karıştırma yöntemi ile tabaka şeklinde takviye elemanı kullanılması birbiriyle uyumsuzdur. Bu duruma göre ergimiş metal karıştırma yöntemiyle daha sık olarak kısa fiber veya parçacık yapısındaki takviye elemanları kullanılmaktadır. Şekil 2.1.'de parçacık, kısa elyaf ve sürekli elyaf takviyeli malzemenin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 1 Takviye malzemesi parçacık tipleri malzemenin şematik görüntüsü [29].

Seramik takviye elemanı olarak genellikle parçacık halde SiC, Si₃N₄, TiN, B₄C, TiB₂, AlN, B, grafit, Al₂O₃, W ve Mo gibi değişik malzemeler takviye elemanları kullanılmaktadır.

Takviye elemanlarının yapısal türleri ile beraber, kalınlıkları yarış atları hacimleri var olan temel şekilleri içerisinde kompozit malzeme içerisindeki dağılım özellikleri de kompozit malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kompozit malzeme üretiminde dikkate alınması gereken bir husus da kullanılan takviye elemanının ekonomik özellikleridir. Çizelge 3.3'de yaygın olarak kullanılan takviye elemanlarının bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Yaygın kullanılan takviye elemanlarının özellikleri [30].

Malzeme	Takviye şekli	Elastisite modülü (Gpa)	Yoğunluk (g/cm ³)
SiC	Partikül	448	3,21
SiC	Kısa fiber	400-700	3,21
SiC	Fiber	450	3,46
Al ₂ O ₃	Partikül	410	3,90
B ₄ C	Partikül	450	2,52
TiB ₂	Partikül	370	4,50
TiC	Partikül	320	4,93
Al ₂ O ₃	Kısa fiber	300	3,29

3.3.1. Seramik Takviye Elemanları Üzerine

Deneysel çalışmasında seramik parçacıklar kullanılacağından bu başlık altında seramik bazı takviye elemanları hakkında bilgiler verilecektir.

Silisyum Karbür (SiC) doğada nadir olarak bulunan bir seramik malzemedir, düşük yoğunluğa sahip yüksek mukavemetli ve çok yüksek sertliği sahip bir seramiktir. Yüksek gerilim ve yarı iletkenlik özelliklerinden dolayı elektronik araçlarda da sıklıkla tercih edilmektedir. Çizelge 3.4 de SiC ye ait bazı malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 4. SiC ye ait bazı malzeme özellikleri [31].

Malzeme Özelliği	Değerler
Molekül ağırlığı (g/mol)	40,097
Yoğunluk (g/cm ³)	3,2
Ergime sıcaklığı (°C)	2545
Vickers Sertliği (GPa)	24,5 - 28,2
Poisson Oranı	0,142
E4me Mukovemeti	350 - 600

SiC özellikleri üretim tekniği ile saflığına ve kristal yapısına bağlıdır bu faktörler SiC'nin özelliklerinin değişmesini sağlayabilir. Özellikle metal matrisli kompozitlerde ağırlığın azaltılması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Seramik özelliğe sahip olan silisyum Karbür sertliğini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilir ve aşınma direnci çok yüksek olduğundan günümüzde uzay sanayi ve motor sanayinin uygulamalarında kullanılmaktadır.

Tez çalışmamızda takviye elemanı olarak parçacık halinde SiC kullanılacaktır.

3.4. KOMPOZİT MALZEMELERDE ÖNEMLİ BAZI KAVRAMLAR

Bu başlık altında kompozit malzemeler ile alakalı bilinmesi gereken bazı önemli kavramlardan bahsedilmektedir.

3.4.1. Arafaz

Kompozit malzeme üretimi sırasında metresi ile takviye elemanı arasında ara faz olarak üçüncü bir yapı meydana gelir. Oluşan anafaz hacim olarak düşük bir boyutta olmakla beraber özellikle takviye elemanı ve matris arasında bağlayıcı etkiye sahiptir ve uzama kılma toplu üzerinde temel etki sahibidir. Ayrıca Islatılabilirlik olayı çerçevesinde bu yapı geliştiği düşünülebilir [32].

Kompozit malzemeler başarılı olması bu yapının elde edilmesi ile gerçekleşir.

3.4.2. Islatılabilirlik

Islatılabilirlik, bir sıvının katı bir yüzeyde yayılmabilme özelliği olarak tanımlanabilir. Kompozit malzeme için bu tanımın önemi ergenlik haldeki matrix malzemesiyle katı haldeki takviye elemanının birbiri içinde tam sarılarak katılaşmasıdır. Islatılabilirlik özellikle karıştırma döküm yöntemi gibi ergitilmiş metal kompozit yöntemleri için çok önemli bir kavramdır. Islatılabilirliğin sağlanmadığı durumlarda kompozit malzeme de Arafaz ve dolayısıyla bağlayıcılık oluşmadığından kompozit malzemenin bu kameti düşük olabileceği gibi, hiç kompozitin oluşmadığı döküm işlemi sonrasında takviye elemanı ve ana fazın ayrı olarak kaldığı örnekleri de mevcuttur [33].

Islatılabilirlik için ıslatma açısı denilen bir ölçme değeri bulunmaktadır. Bu açının 0° yaklaşması mükemmel ıslanma 0° ve 180° arasında kısmi ısınma ve 180° 'den eşit olduğunda da ıslanma gerçekleşmemektedir.

Islatılabilirlik temas süresi, reaksiyonlar, yüzey pürüzlülükleri, geometri ve köşeler gibi bir çok değişkene de bağlıdır aynı zamanda ısıtılacak olan yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı da Islatılabilirliği etkilemektedir [34].

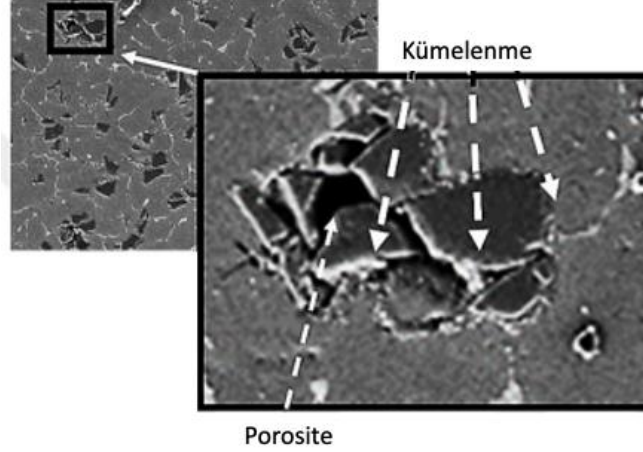
Ulaşılabilirliğin artırılması için bir çok farklı yöntem kullanılmaktadır; Islatılabilirliği yüksek bir metal partikülle kaplamak, Üstat'ınabilirliği arttıran element eklemek, parçacıkları önceden ısıtmak, ultrasonic olarak karıştırmak gibi yöntemler bunlara örnektir [35].

3.4.3. Porosite

Porosite malzemelerin arasında gözeneklilik boşluk demektir. Döküm işleminin hemen hepsinde malzemenin soğuyarak büzüşmesinden kaynaklı porosite gözlenmektedir. Kompozit malzeme için porosite normal dökümden safra alışın malzeme dökümünden daha yüksek orandadır. Aynı zamanda dökümün yapıldığı çevre şartları, kullanılan takviye elemanı ilavesi ve karıştırma usulü porosite oranlarını etkilemektedir [36].

3.4.4. Kümelenme

Kümelenme kompozit malzeme üretimi sırasında takviye elemanlarının belirli bir alanda birikmesidir. Bu kümelenme bazen beraberinde porosite sorununa da yol açmaktadır. Şekil 3.2 de bir kompozit malzeme ait porosite ve kümelenme örneği.



Şekil 3. 2. Bir kompozit malzeme ait porosite ve kümelenme örneği

3.4.5. Homojenlik

Homojenlik, özellikle parçacık ve kısa elyaf takviyeli kompozit malzeme üretiminde takviye elemanının bir yöne ya da bölgeye yoğunlaşmadan, matris içerisinde eşit oranlarla dağılmasını ifade eder. Özellikle döküm yöntemleri ile yapılan üretimlerde takviye elemanının yoğunluğunun matris elemanından çok yüksek olduğu kompozitlerde yer çekimine bağlı olarak bir çökme gerçekleşir ve bu homojenliği olumsuz yönde etkiler. Genellikle kompozit malzemelerde homojenliği eşit olarak dağılmasına dikkat edilmektedir.

3.5. METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzeme üretiminde seçilen matris ve takviye elemanından daha önemli bir husus kullanılacak olan üretim yöntemidir. Kullanılacak olan üretim yöntemi üretilen malzemenin mekanik özellikleri, matris, takviye elemanı, ara bağları, mukavemet özellikleri, takviye elemanı kütlece oranı gibi bir çok konuda etkiye

sahiptir. Bu anlamda aynı takviye elemanı ve matris ile farklı yöntemlerle üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri birbirinden farklılık gösterecektir.

Ayrıca ayrıca her üretim yönteminin kendine ait ayrıca her üretim yönteminin kendine ait kısıtları da bulunmaktadır, bu kısıtların üretim öncesinde düşünülüp değerlendirilmesi gerekmektedir.

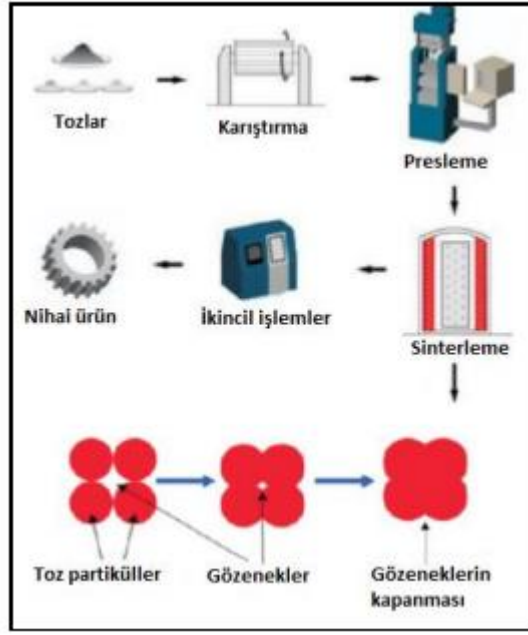
Kompozit malzemeleri üretmek için kullanılan yöntemler genellikle katı hal üretim yöntemleri sıvı hal üretim yöntemleri ve katı-sıvı hal yöntemleri olarak sınıflandırılabilir.

Yöntemler matris ve takviye elemanı yapısına göre isimlendirilmektedir [37].

3.5.1. Katı Hal Üretim Yöntemleri

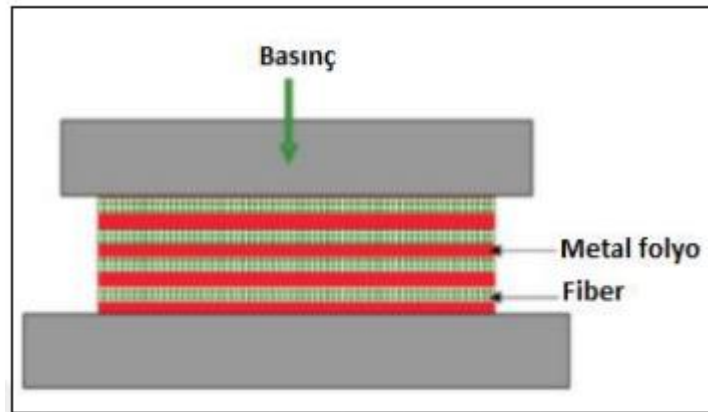
Bu üretim yöntemlerinde matris ve takviye elemanı katı haldedir. Toz metalurjisi ve difüzyon katı hal üretim yöntemlerinin en yaygın olarak kullanılanlarıdır.

Toz metalurjisi yönteminde takviye elemanı ve matris toz halde elde edilir. Bu tozlar istenilen kütle ya da hacim oranlarında karıştırılır. Elde edilen toz karışımı bir kalıbın içine yerleştirilerek pislenir. Presleme işlemi ile nihai ürünün şekli elde edilir. Elde edilen şeklin mukavemetinin artırılması için bazı durumlarda simterleme yapılır. Şekil 3.3'de toz metalurjisi yöntemine ait şematik verilmiştir. Toz Metallurgy su yöntemi kalıp ve presleme gerektirdiğinden çok büyük yüzeyli ve karmaşık parçaların imalatına uygun değildir. Yüzey alanları değişken olan parçaların imalatında kuvvet dağılımının homojen sağlanmamasından dolayı problemler çıkmaktadır [38].



Şekil 3. 3. Toz metalurjisi yöntemi şematığı [46].

Katı hal kompozit üretim yöntemlerinden bir diğeri de difüzyonla bağlama yöntemidir. Bu yöntem takviye elemanı ve matrisin sıcaklık ve kuvvet yardımıyla birleştirilmesi temeline dayanmaktadır. Bu üretim yönteminde uygulanan basınç, sıcaklık ve tutma süreleri temel parametrelerdir. Şekil 3.4'te difüzyon bağlama yöntemine ait şematik verilmiştir. Ne fizyon üretim yönteminde kullanılan basınç ve sıcaklığın dengesi önemli bir faktördür sıcaklığı ve basıncın iyi dengelenememesi malzeme de erime ve şekil bozukluklarına sebep olabilir [39].



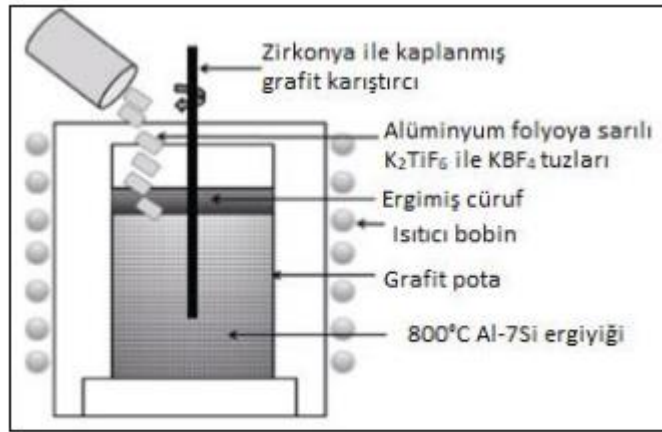
Şekil 3. 4. Difüzyonla bağlanma yöntemi [46].

3.5.2. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

Sıvı hal üretim yöntemleri bazı çalışmalarda anafazsion sıvı matrisin sıvı takviye elemanın da katı olduğu yöntemleri içermekte olup biz bu tez kapsamındaki sınıflandırma da ana fazın sıvı adresin de sıvı halde alabileceği In-Situ yönteminden bahsedeceğiz.

In-Situ yöntemi üretim yöntemi ergiyik halde olan anafazın içine bir gazın veya tozunun gönderilmesiyle metalin içinde o anda (in-situ) takviye elemanın oluşturulması temeline dayanmaktadır. Bu üretim yönteminden elde edilen takviye elemanı reaksiyonlarla oluşturulmaktadır. Bu yöntemle üretilen kompozit elemanlar yüzde kütlece düşük oranda takviye elemanı içermektedirler. Şekil3.5'te in-situ tekniğine ait şematik görüntü verilmiştir.

Bu teknikler güçlü bir arayüz bağlantısı elde edilmektedir ayrıca çok küçük boyutlarda takviye elemanı kompozit malzeme üretimine imkan sağlamaktadır [40].



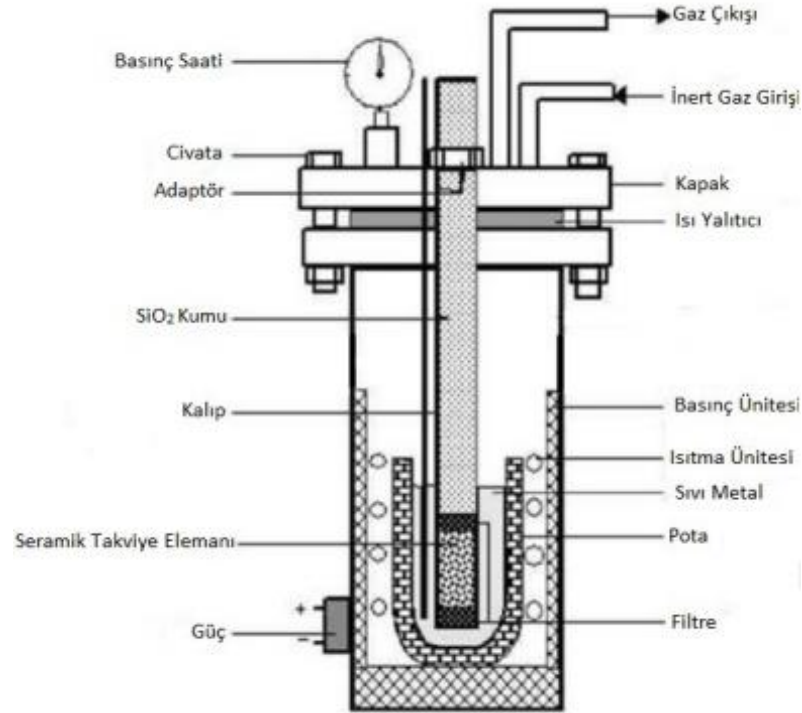
Şekil 3. 5. In-situ tekniği şematik görünümü [47].

3.5.3. Katı-Sıvı Hale Üretim Yöntemleri

Bu üretim yöntemlerinde genellikle matris malzemesi ergiyik (sıvı) takviye elemanı katı haldedir. Bazı kaynaklarda sıvı hal üretim yöntemleri olan karıştırma yöntemi ve infiltrasyon yöntemi bu tez çalışmasında bu başlık altında toplanmıştır.

İnfiltrasyon yöntemi takviye elemanlarına bir hazne içersine alıp haznen içersine basınçlı olarak erimiş ergin halde matris malzemesi göndermek suretiyle kompozit malzeme üretmek tedir. Bu yöntemde takviye elemanları genellikle parçacık ya da kısa fiber şeklindedir. İnfiltrasyon yöntemleri basıncı oluşturma yöntemlerine göre çeşitli isimler alabilir bunlar vakum infiltrasyon, gaz basınçlı infiltrasyon, basınçsız (gravitif) infiltrasyon vb. Şekil 3.6 da basınçlı infiltrasyon na ait şematik gösterimi verilmiştir [41].

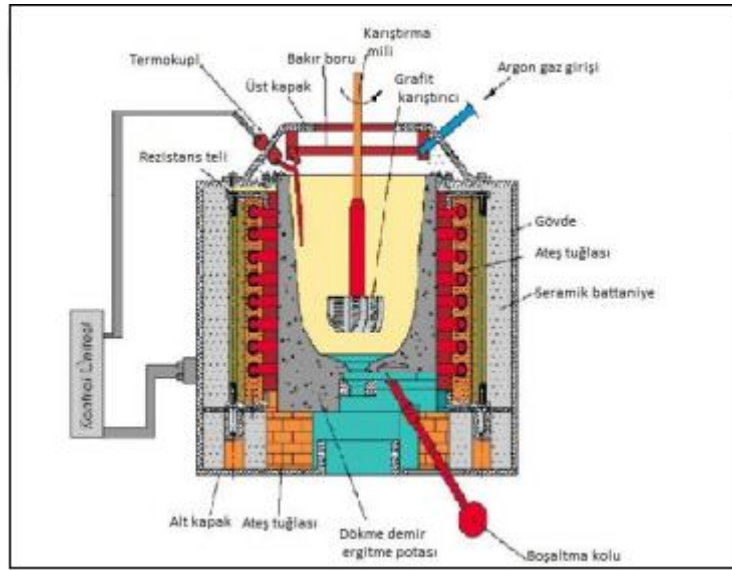
İnfiltrasyon yöntemi bir basınçlı hazne içinde kompozit üretimi gerçekleştiğinden olarak genellikle küçük hacimlerde üretim yapılmaktadır. Ayrıca basıncın yüksek olması gerektiği uygulamalarda tüm sistemin bu basınca dayanması gerekmektedir. Bu ise maliyeti yükseltmek tedir. Bu yöntem diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine nazaran yüzde kütlece daha yüksek oranlarda takviye elemanı ilaveli kompozit malzeme üretimi için kullanılabilir [42].



Şekil 3. 6. Basınçlı infiltrasyon şematik gösterimi [48].

Katı-sıvı hal üretim yönteminden yöntemlerinden bir diğeri de ergiyik metal karıştırma yöntemidir. Bu yöntemde matris sıvı haldeyken takviye elemanları katı

haldedir. Bu yöntemde takviye elemanları genellikle parçacık veya kısa fiberdir. İşlem ergitilmiş matris malzemesi ile katı haldeki takviye elemanının bir karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılması temeline dayanmaktadır. Bununla birlikte karıştırma ve karıştırıcı ortam kaynaklı farklı alt türleri de bulunmaktadır. Elde edilen kompozit malzeme sıvı veya katı-sıvı haldeyken genellikle bir tür döküm işlemi ile dökülerek kompozit malzeme nihai şeklini ulaştırılır. Bu üretim yönteminde hacimsel sınırı üretim yönteminin hacimsel sınırı eritme potası ve yağ fırını olduğu için yüksek hacimlerde kompozit elde edilebilir. Üretim sistem gereksinimi olarak fırın ve karıştırıcı sistemi yeterli olduğundan üretim maliyetleri yüksektir. Bu yöntemle üretilen kompozit malzemeler genellikle orta düzeyde kütlece takviye elemanı içerebilmektedir. Şekil 3.7’de ergiyik metal karıştırma yönetimine ait şematik verilmiştir [43].



Şekil 3. 7. Ergiyik metal karıştırma yönetimi [46].

Ergiyik metal karıştırma yöntemi yapılacak deneylerdeki numune üretiminde kullanılacak olan ana yöntemdir. Çalışmada ergiyik metal karıştırma yönteminin ardından serbest döküm ile nihai şekile ulaşılabacaktır. İki kademeli bir imalat yöntemi kullandığımızdan dolayı, bu tez kapsamında kullandığımız yöntem bir birleşik isim olan karıştırma döküm yöntemi olarak isimlendireceğiz [44],[45].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada SiC takviye elemanı iki farklı boyutta (70 µm ve 375 µm) ortalama boyutlarda kullanılarak farklı kütlece yüzde oranlarında kompozit malzemesi ihmal edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla sekiz adet kompozit malzeme ve bir adet saf malzeme olmak üzere toplam dokuz farklı numune karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Bu bölümde üretim ve test sırasında kullanılan cihazlara ait bilgiler verilmektedir.

4.1. ÜRETİMİNDE KULLANILAN MAKİNE VE EKİPMANLAR

4.1.1. Matris Malzemesi

Metal matrisli kompozit üretiminde düşük ergime sıcaklığı ve kolay bulunabilirliğinden dolayı alüminyum malzeme matris olarak seçilmiştir. Karıştırma döküm yöntemi ile elde edilecek numunelerde matris elemanı olarak AA7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşım yüksek mukavemet ve sertliğinden dolayı havacılık ve silah sanayinde kullanılan bir malzemedir. Ayrıca bu malzemenin ısı ile sertleştirme kabiliyeti bulunmaktadır. Çizelge 4.1 ve çizelge 4.2’ de AA7075 alaşımının genel özellikleri genel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4. 1. AA7075 alaşımının genel özellikleri [49]

ELEMENT	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zi+Ti	Diğer	Al
%ORT	0,5	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	5,1-6,1	0,18-0,28	0,25	0,15	Kalan

Çizelge 4. 2. Al 7075 alaşımının mekanik özellikleri [49].

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti(MPa)	Uzama (%50)	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	Sertlik(Brinel)
460-505	530-570	10	2,80	140-160

4.1.2. Takviye Elemanı ve Özellikleri

Gerçekleştirilen çalışmada iki farklı boyutta seramik parçacık kullanılmış olup SiC malzeme takviye elemanı olarak seçilmiştir. Takviye elemanı 70 μm ve 375 μm olarak iki ortalama boyda temin edilmiştir. Bizim kargo malzemesi yüksek ergime sıcaklığı ve sertliği sebebiyle özellikle açındırma işlemlerinde aşındırıcı olarak kullanılan bir malzeme olup bulunabilirliği yüksektir. Parçacığının özgül ağırlığı 3,22 gr/cm^3 , oda sıcaklığında katı halde ve koyu gri renktedir. Çizelge 3.4. SiC'e ait bazı malzeme özellikleri verilmiştir. Genellikle zımpara yapımında garnet olarak farklı mesh aralıklarında kullanılmaktadır. SiC takviye parçacıkları; "Ege nanotech" firması tarafından temin edilmiştir. Şekil 4.1'de 375 μm ve 75 μm metre ortama boyuta sahip parçacıklar gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. 375 μm ve 75 μm ortama boyuta sahip parçacıklar.

4.1.3. Numune üretiminde kullanılan Makine ve Teçhizatlar

Karıştırma ullanılan karıştırma döküm cihazı, karıştırıcı, numune kalıpları, pota, ölçü tartım cihazları hakkındaki bilgiler bu bölüm başlığı altında verilmiştir.

4.1.3.1. Kompozit Numune Üretim Sistemi



Şekil 4. 3. Üretiminde kullanılan karıştırma döküm ısıtma cihazı genel görünümü.

Üretim sırasında 220 voltla çalışan bir ertitme fırını kullanılmıştır. Kullanılan fırına ait görüntü şekil 4.3'te verilmiştir. Fırın sıcaklıkları kontrol sistemi sayesinde fırının üzerindeki ekrandan kontrol ve takibi yapılabilmektedir. Ocağın üzerindedede fabrika çıkışlı olarak termokupullu ölçüm cihazı mevcuttur fakat yapmış olduğumuz deneylerde potanın iç sıcaklığının kesin olarak ölçülmediği görülmüştür. Bunun sebebi olarak termokupulun pota yüzüne temas ettiği pota içindeki sıcaklık değişimini doğrudan yansıtmadığı düşünülmektedir. Bu yüzden çalışmalar sırasında hedeflediğimiz sıcaklığa geldiğinde ısıl dengenin sağlanması beklenmiştir.

4.1.3.2. Pota ve Maşa

Pota grafit malzemeden 75 cm dış çapı 125mm yüksekli ve 55mm iç çapı bulunan pota kullanılmıştır. Kompozit malzeme üretimi için matris malzemesinin üretim eritilmesi bu pota içersinde gerçekleştirmiştir. Ayrıca karıştırma işleminde de bu pota kullanılmıştır. Kullanılan potaya ait görüntü şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil.4. 4. Karıştırma döküm yönteminde kullanılan grafit malzemenen yapılmış potanın görüntüsü

Karıştırma işleminden sonra fotodaki eğik kompozit malzemenin kalıba dökülmesi için masa kullanılmıştır. Kullanılanma masaya ait görüntü şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4. 5. Maşa genel görünümü.

4.1.3.3. Grafit Karıştırıcı

Numunelerin üretiminde, karıştırma işlemi için devir ayarlı karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcı 200-600 dev/dk aralığında hassas olarak ayarlanabilen matkap, 600 watt gücünde 15 Nm döndürme momentine sahip kademeli devir ayarlı bosh marka matkaptır. Matkabın ucuna bağlanan 10 mm çapındaki milin ucuna vida ile sabitlenmiş grafit malzemedeki oluşan 40x40x25 mm kare formunda karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma işlemi için kullanılan ayarlanabilir devirli matkap Şekil 4.6’ de karıştırıcı ise Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4. 6. Karıştırma işlemi için kullanılan ayarlanabilir devirli Bosh marka matkap



Şekil 4. 7. Grafit malzemedeki yapılmış karıştırıcı.

4.1.3.4. Numune Kalıpları

Potanın içindeki eriyik kompozitin katılaşmasını sağlamak için 130x15x20 mm ölçülere sahip 2 adet grafit malzemedeki yapılmış numune kalıpları kullanılmıştır. MAK numunelerin üretiminde kullanılan kalıplar Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 8. MAK üretiminde kullanılan kalıpların genel görünümü

4.1.3.5. Demir Testeresi

MAK üretiminde kullanılacak olan AL7075 matris malzemesinin belirlenen ölçülerde kesilmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Demir testeresinin genel görünümü Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4. 9. Demir testeresi genel görünümü.

4.1.3.6. Hassas Terazi

Matris elemanımız olan AL7075 malzemenin istenilen ağırlıklarda olması için testerede kesilen matis elamanı ve takviye elanımız olan SiC hassas tartımız ile tartılıp potaya konulması için hazırlanmıştır. Şekil 4.10'de hassas tartının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 4. 10. Hassas tartı genel görünümü

4.2. METAL ANA FAZLI PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT NUMUNELERİN ÜRETİMİ

İki farklı ortalama boyutta ve farklı kütlece yüzde takviye elemanı içeren kompozit malzemeler hakkında ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda üretim için gerekli olan sistem parametrelere ve malzemeler tespit

edilmiştir. Gerçek deneylerden önce ön deneyler yapılmış ve üretim için iyileştirmeler yapıldıktan sonra numune üretimine geçilmiştir.

4.2.1. Karıştırma Döküm İşlemi Ön Hazırlıkları

Numune üretimi işlemi için karıştırma döküm kullanılacağından ilk işlem olarak matris malzemesi fırına sığacak şekilde parçalanmıştır. 30 çapında ve 3 metre boyundaki silindirik çubuk olan AA7075 malzeme el testeresi yardımıyla 120±15mm metre ebatlarında parçalanmıştır kesilmiştir ve tartılmıştır. Ayrıca ergitme işlemi öncesinde veya sırasında takviye elemanları hashas terazi yardımıyla ölçülerek alemin folyo ya sarılmıştır. AA 7075 matris malzemesi ve takviye elemanı SİC' ün ağırlıkları ve kütlece yüzde oranları Çizelge 4.3 verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Matris Malzemesi Ve Takviye Elemanı SİC' Ün Ağırlıkları Ve Kütlece Yüzde Oranları.

No	MAK	Alüminyum (g)	SİC (g)		Kütlece Takviye Oranı (%)	İsimlendirme
			375 µm	70 µm		
1	B	266,7	47	0	14,98	G10
2	K	262	0	45,92	14,91	G20
3	M	266,3	15,66	31,33	14,99	G30
4	M	256	14,9	30,2	14,97	G40
5	B	250	15,25	0	5,75	G50
6	B	256	28,5	0	9,99	G60
7	K	206,7	0	13,8	6,25	G70
8	K	254,54	0	28,21	9,97	G80
9	S	252	0	0	0	G90

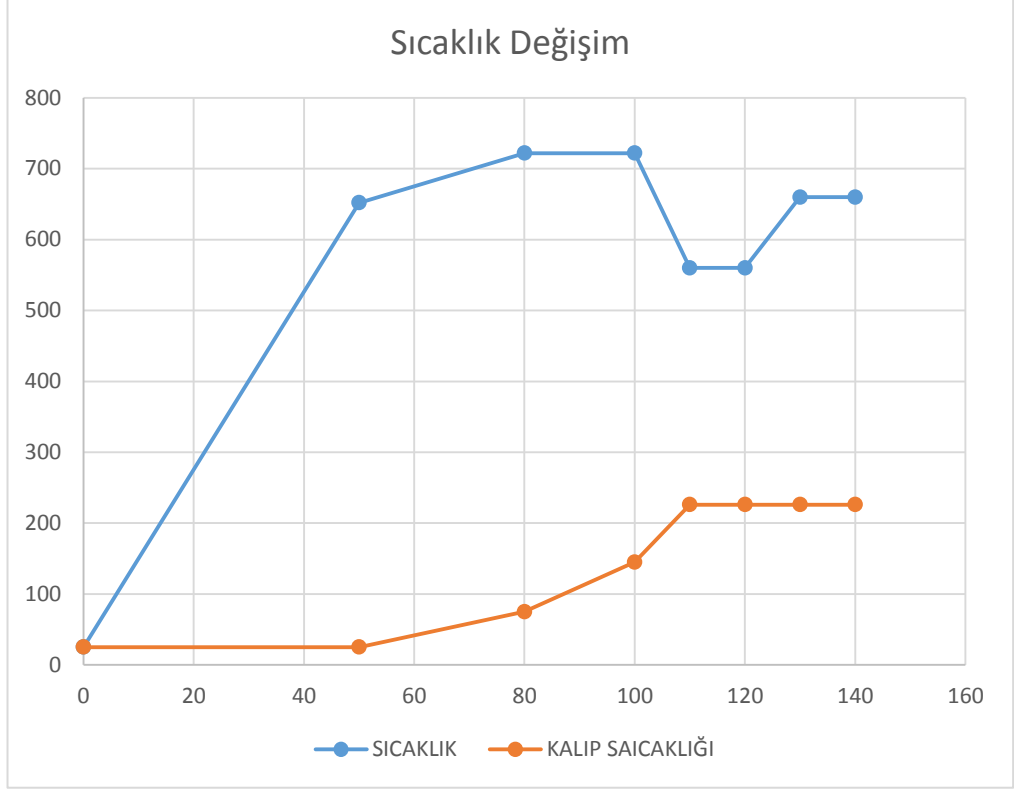
Denklem 4.1 kullanılarak gece takviye oranları hesaplanmış ve çizelge 4.1'de verilmiştir.

$$\text{Kütlece takviye oranı} = \frac{\text{Takviye elemanı ağırlığı}}{\text{Takviye elemanı ağırlığı} + \text{anafaz ağırlığı}} \times 100 \quad (4.1)$$

Fırın sıcaklığı arttırılmadan önce ve karıştırma işlemine başlamadan önce alüminyum folyo ile paketlenmiş takviye elemanı potanın üzerinde ısıtılması gerçekleştirilmiştir. Her bir üretim için potanın üzerine takviye elemanı dizilimi aynı şekilde tekrarlanmıştır.

4.2.2. Karıştırma İşlemi Ve Kompozit Malzeme Üretimi

Fırın olarak kullanılan ısıtma cihazı elektrik güç kaynağına bağlanmış 720° 'ye ayarlanmış daha sonra potanın içine daha önceden kesilip hazırlanmış AL7075 matris elemanımız yerleştirilmiştir. Daha sonra alüminyum folyoya sarılmık SİC takviye elemanımız potanın üstüne yerleştirilip ön ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. AL7075 matris elemanı ergime sıcaklığına ulaştıktan sonra alüminyum kaplı takviye elemanımız potanın üzerinden alındıktan sonra demir çubuk vastası ile potanın içindeki ergiyik metalin üzerindeki oksit tabaka temizlendikten hemen sonra ön ısıtma işlemine tabii tutulan takviye elemanı ergiyik metalin üzerine dökülmüş daha sonra kademeli devirli karıştırıcı matkap ile 200 d/dk ile 10-12 dk karıştırılmış karıştırıcının davranışından ve görüntüsünden ergiyik metalin viskozitesi yükselince karıştırma işlemi durmuş daha sonra homojen bir karışım elde etmek için 590° dereceye kadar düşen pota sıcaklığına geldiğinde ısıtma cihazına tekrar güç verip sıcaklığı 690° 'ye getirilip tekrardan yaklaşık 4-5 dk karıştırma işlemi yapılmış elde edilen homojen karışım numune kalıplarının üzerine dökülüp döküm işlemimiz tamamlanmıştır.



Şekil 4. 11 Fırın içi ve kalıp sıcaklık değişim grafiği

4.2.3. Döküm İşlemi

Pota içerisindeki parçacık takviyeli MAK numunelerin karışım oranları, ısıtma ergime işlemi ve karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra eriyik halindeki MAK numune daha önceden hazırlanmış olan kalıba masa yardımı ile döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Ergimiş metal karıştırma döküm yöntemi kullanılarak yapılan şekillendirme üretimi gerçekleşen yarı mamul numuneye ait görüntü Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 12. Ergimiş metal karıştırma döküm yöntemiyle üretilen yarı mamul MAK numuneye ait görüntü

4.3. METALOGRAFİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELEME YÖNTEMLERİ VE CİHAZLARI

İki farklı parçacık boyutu ve farklı yüzdelerde üretilen numuneler üretim işlemi sonrasında çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Bu testler sonucunda numuneleri ait parçacık dağılımları, kümelenme, pezevenklik özellikleri, sertlik özellikleri incelenmiştir. Sertlik değerlerinin belirlenmesinde sertlik ölçüm cihazı, kümelenme gözeneklilik ve parçacık dağılımı için SEM ve EDX kullanılmıştır. Gözeneklilik tespiti için Arşimet prensibinden faydalanmıştır.

4.3.1. Numunelerin Kesilme İşlemi

MAK numunelerden gerekli ölçüdeki numunelerin hazırlanması için Kesmak marka KMY 280 elektronik şerit testere ile kare profil şeklinde 10x10 mm ölçülerinde kesilmiştir. Basma testi ve mikro yapı incelemelerine kullanılmaz üzere numunelerin kesme işlemi gerçekleştirilmiştir.

KMY 280 elektronik şerit testeri görüntümü Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 13. KMY 280 elektironik şerit kesme testeresine ait görüntü

4.3.2. Enerji Yayıyım’lı X ışını Analizi (EDX)

MAK numunelerin element ve kimyasal bileşimlerinin incelenmesi amacıyla Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem ışını cihazı (EDX) kullanılmıştır. EDX analiz cihazı tarama elektron mikroskobu ile montaj halinde olup Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 14. Carl zeiss ultra plus gemini fesem SEM ve EDX cihazı

4.3.3. Tarama Elektron Mikroskop (SEM)

Numunelerin üretimleri esnasında yapılarında oluşan göznelilik, kümelenme ve ara bağlantı tespiti için mikro yapı incelemelerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem ışını cihazı (SEM) kullanılmıştır.

4.3.4. Sertlik Ölçüm

MAK numunelerin sertliğinin ölçülmesi amacıyla 0.5 kg maksimum 250 kg yük uygulanabilen 2.5 mm çapında bilye kullanılarak vikers biriminde sertlik ölçebilen, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan QNESS Q250M marka mikro marko sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. (Şekil 4.15.) 3 farklı noktadan ölçüm yapılarak aritmetik ortalaması alanan sertlik değerleri (ASTM) mikro vikers biriminde (HV 0.5) ölçülmüştür.

Sertlik ölçüm cihazına ait görsel aşağıda şekil 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 15. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı



Şekil 4. 16. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ergimiş metal karıştırma yöntemi kullanılarak 8 farklı MAK numuneler elde edilmiştir. Ana faz mazlemesi olarak A7075 alüminyum matris malzemesi kullanılmış, takviye elemanı olarak ise 70 µm ve 375 µm ebatlı SİC parçacıkları kullanılmıştır. Takviye elemanı oranları kütlece %5, %10, ve %15 dir. Üretimi gerçekleştirilen MAK numunelerin (çizelge 5.1) de takviye oraları ve boyutlarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Farklı MAK numune üretiminde kullanılan ana faz takviye elemanı oranları ver üretim yöntemi

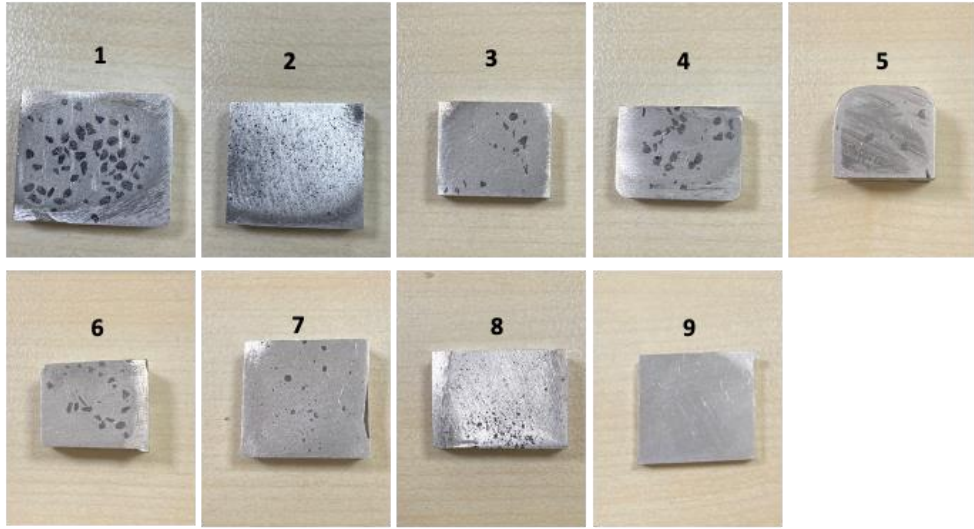
No	%Ana Faz	%Takviye Oranı	Tane Boyutu	Kod
1	%85 AA7075	%15 SİC	(375 µm)	G10
2	%85 AA7075	%15 SİC	(70 µm)	G20
3	%85 AA7075	%15 SİC (%10+%5)	375 µm +70 µm	G30
4	%85 AA7075	%15 SİC (%5+%10)	375 µm +70 µm	G40
5	%95 AA7075	%5 SİC	(375 µm)	G50
6	%90 AA7075	%10 SİC	(375 µm)	G60
7	%95 AA7075	%5 SİC	(70 µm)	G70
8	%90 AA7075	%10 SİC	(70 µm)	G80
9	AA7075	%0 SİC	-	G90

Kesme işlemi Sonrası numunler Şekil 5.1 de verilmiştir. Kesme işlemi sonrasında görüntü alınması için numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma işlemleri için numuneler Zımparalama işleminde 600 ve 800 mesh zımpara ile zımparlanmış. Son olarak su ve 1500 meshlik ile el yardımıyla zımparalanmıştır

- Numune üretiminden sonra üretiminde ve kesiminden sonra çekilmiş olan fotoğraflar incelendiğinde, numunelerin özellikle döküme göre üst

kisimlerinde bazı döküm hatalarının olduğu (boşluk topaklanma) gözlemlenmektedir.

- Döküm işlemi sırasında özellikle farklı boyutlarda takviye elemanı içeren kompozit malzeme üretiminde üretimde ıslatma sorunundan dolayı işlemler birkaç defa tekrar edilmiştir. Bazı numunelerde yatay kesit aldığımızda numunelerin homojen dağılım yerini bulmak için birden fazla kesme işlemi gerçekleştirilmiştir.

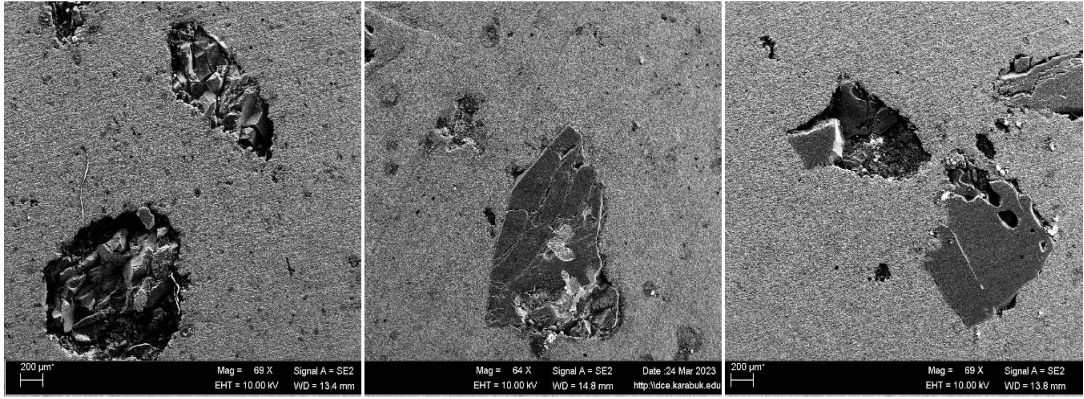


Şekil 5. 1. Numunlerin kesilmiş ve parlatılmış hali.

5.1. METALOGRAFİ İNCELEME SONUÇLARI

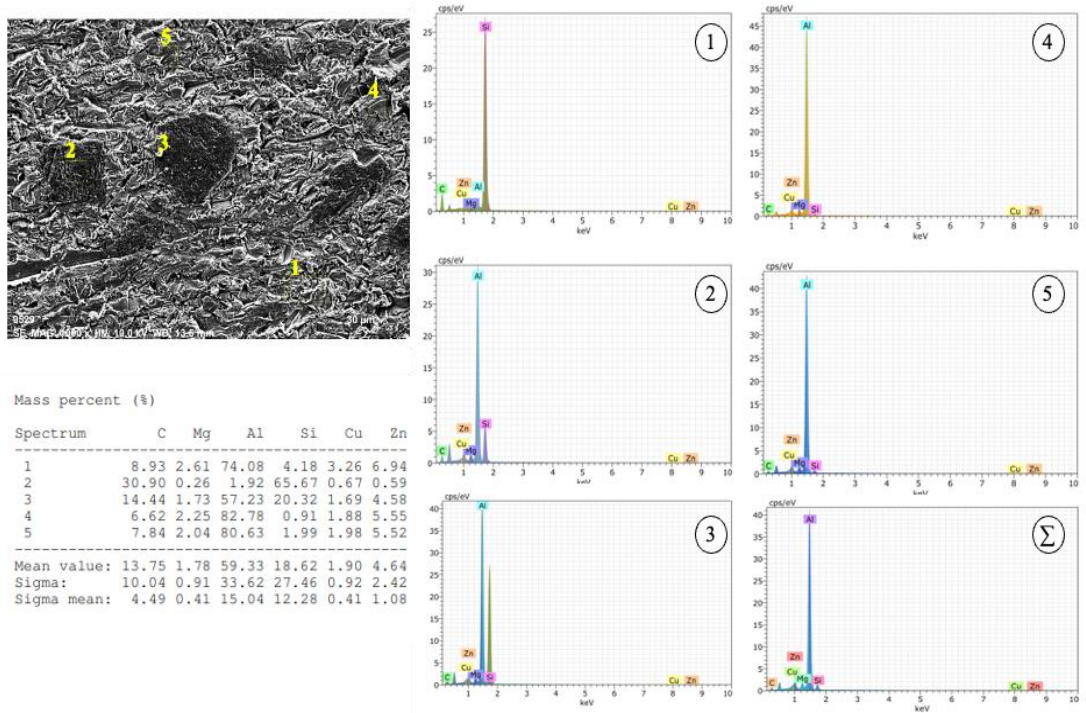
5.1.1. Tarama Mikroskopi (SEM) İncelemeleri

İki farklı büyüklükte silisyum Karbür takviye içeren kompozit malzemeler üretim sonrasında üretilmiştir. Kesme ve parlatma işlemleri sonrasında SEM görüntüleri alınmıştır. Elde edilen görüntülerde malzemelerin porosite, kümelenme ve parçacık dağılım homojenliği incelenmiştir. Şekil 5.2’de zımparalama sonrası alınan SEM görüntülerinden bazıları verilmiştir.



Şekil 5. 2. Zımparalama sonrası alınan SEM görüntülerinden bazıları.

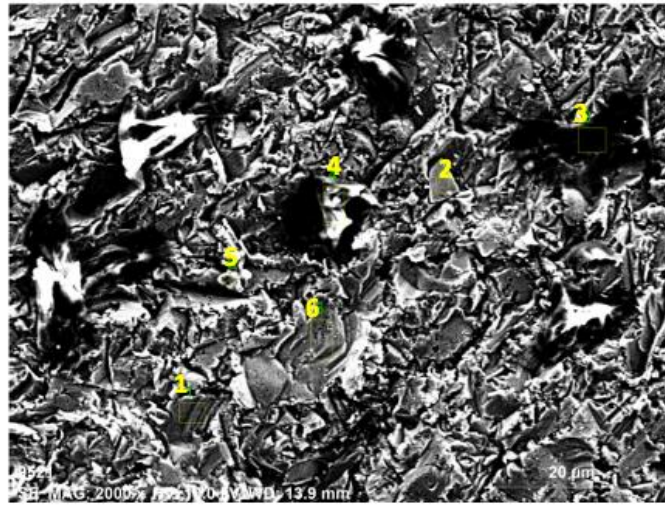
Şekil 5.2 incelendiğinde üretilen kompozit malzeme içerisinde takviye elemanlarının dağıldığı açık bir şekilde görülmüştür. Bununla beraber hem üretim işlemi hem de zımparalama işlemi sonrasında kompozit malzemenin içinde bulunan SiC takviye elemanlarının parçalandığı ve çatladığı da görülmektedir. Kompozit malzemeler içinde kullanılan küçük ve büyük parçacıkların boyutların daha küçük hal aldığı görülmektedir.



Şekil 5. 3. Kompozit malzeme ait Sem görüntüsü ve EDX grafikleri.

SEM görüntüsü üzerinden alınan beş noktadaki EDX görüntüsü şekil 5.2 de verilmiştir.

Bu noktalar incelendiğinde birinci, dördüncü ve beşinci noktalarda ana faz metal olan alüminyumun çok yüksek olması bu noktaların anaca zayıf noktalar olduğu fikrini ortaya çıkarmaktadır. İkinci ve üçüncü noktalarda karbon ve silisyum oranının yüksek olduğu görülmektedir. Durumda bu noktaların takviye elemanı olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Mass percent (%)

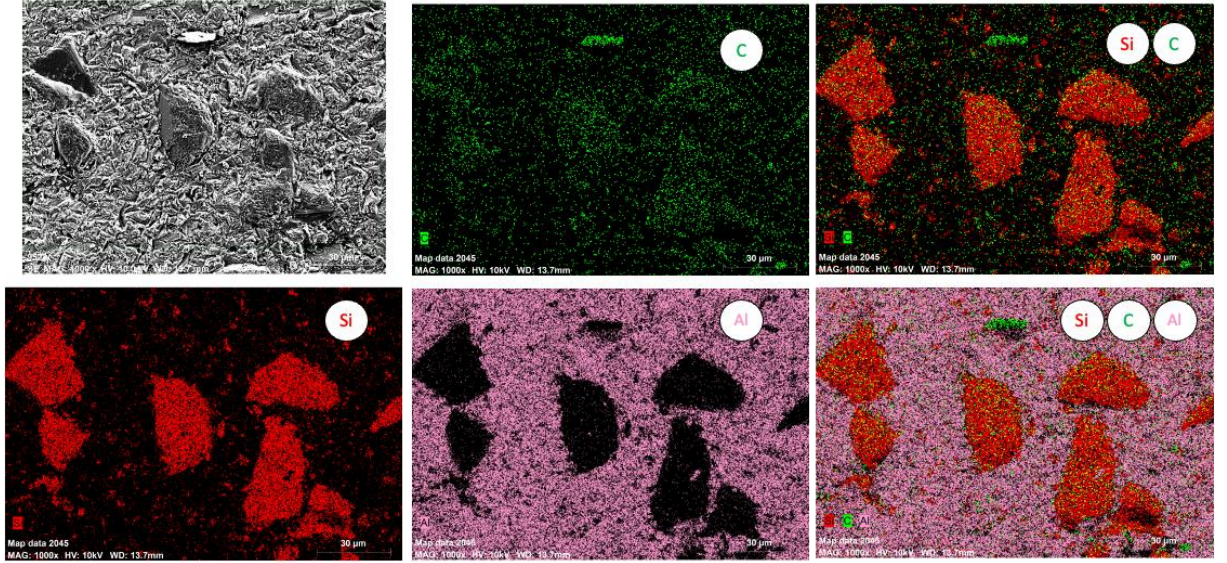
Spectrum	C	Mg	Al	Si	Cu	Zn
1	4.21	1.92	87.88	0.04	1.24	4.71
2	39.49	0.14	2.52	56.56	0.74	0.55
3	63.95	1.14	30.35	0.68	1.03	2.85
4	91.83	0.24	5.86	0.31	0.55	1.20
5	14.34	2.01	75.26	2.06	1.48	4.85
6	9.34	2.26	70.65	10.23	1.90	5.61
Mean value:	37.19	1.28	45.42	11.65	1.16	3.30
Sigma:	34.91	0.93	37.32	22.34	0.50	2.09
Sigma mean:	14.25	0.38	15.23	9.12	0.20	0.85

Şekil 5. 4. Başka bir noktaya ait EDX analizi.

Şekil 5.4 şekil 5.3'ten farklı olarak karşılaşılan bir hatayı açıklamak amacıyla eklenmiştir. Şekil 5.4'e bakıldığında üçüncü ve dördüncü noktalarda karbon miktarının yüksek olduğu bununla birlikte silisyumun da olmadığı gözlemlenmektedir. Bunun sebebinin kompozit malzeme üretimi sırasında kullanılan pota ve karıştırıcıdan kaynaklı olabileceği gibi yanma sonucunda açığa çıkan karbon

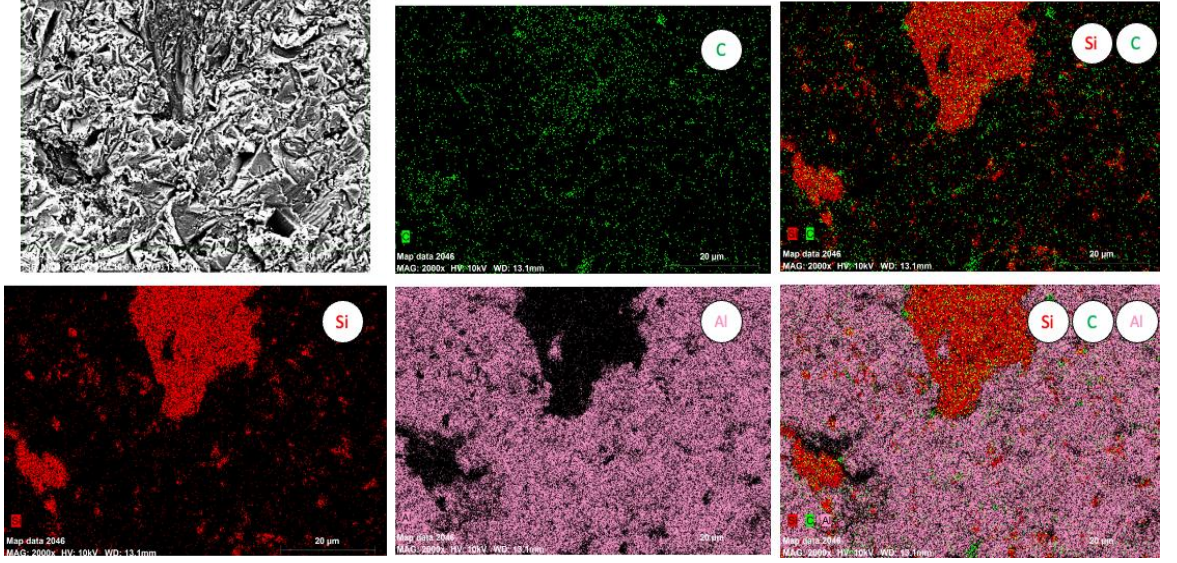
da olabileceği düşünülmektedir. Karıştırma işleminin yüksek sıcaklıklarda yapılmasından dolayı bu iki fikir arasında kesin bir ayrım yapılamamaktadır.

SEM üzerinden alınan noktasal ve küçük alan görüntüleri ile malzeme üzerindeki karbon veya SiC (takviye elemanı) görsel olarak birbirine çok yakındır. Kompozit malzemenin yapısının daha iyi anlaşılması için map görüntüleri de alınmıştır.



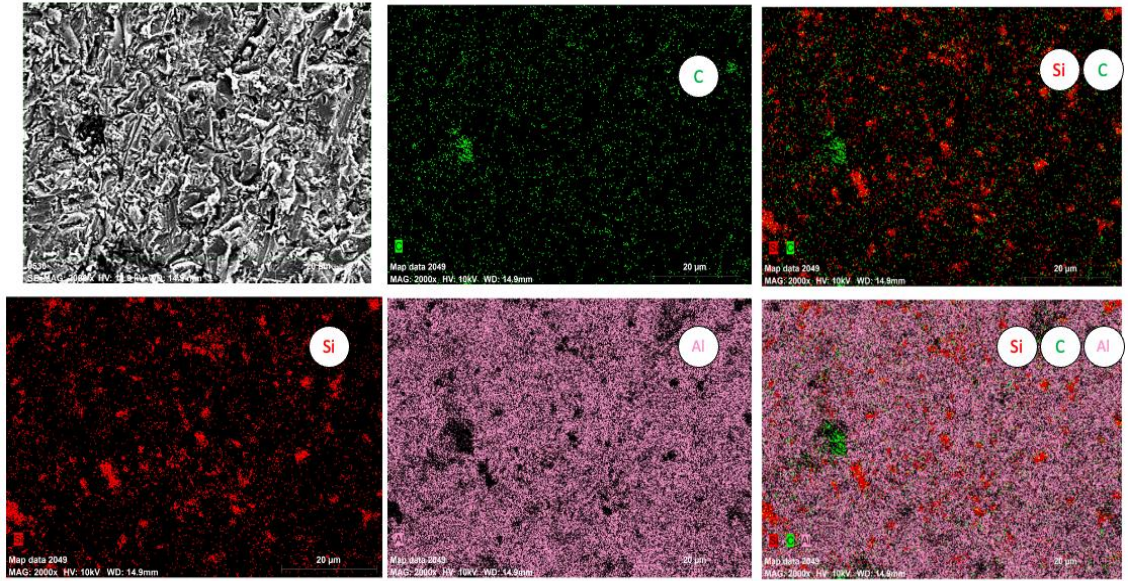
Şekil 5. 5. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G60 %90AA7075+%10 SiC(375 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.5’de numeye ait görüntüleri incelendiğinde SiC parçacıklarının alüminyum matris içerisindeki dağılımının, homojen olduğu düşüncesi oluşmuştur. Edinilen SEM görüntüleri sadece iri taneli takviye elemanının bulunduğu sen görüntüleri olmakla beraber, küçük SiC parçaları da rastlanmaktadır. Buda SiC parçalarının karıştırma işlemi son sırasında parçalandığını göstermektedir.



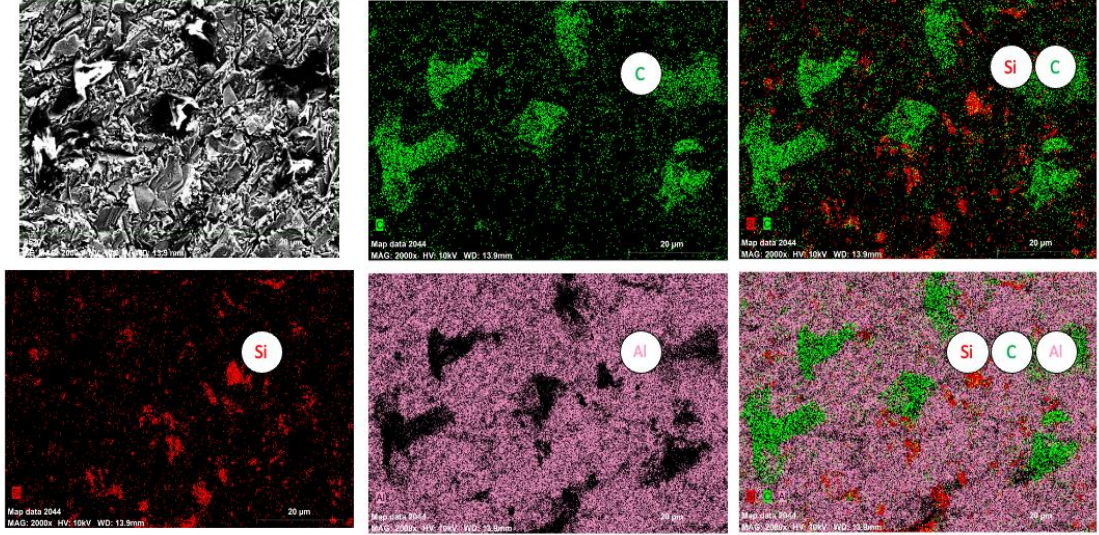
Şekil 5. 6. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G30 %85AA7075+%15 SiC(375+70 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.6’de numeye ait görüntüleri incelendiğinde SiC parçacıklarının alüminyum matris içerisindeki dağılımının, homojen olduğu düşüncesi oluşmuştur. Kullanılan numune iri ve küçük takviye elemanlarının birlikte kullanıldığı numunedir. Bu numune de hem iri tanelerin hem de küçük tanelerin parçalanması olayı gerçekleşmiştir.



Şekil 5. 7. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen G80 %90AA7075+%10 SiC (70 µm) MAK numuneye ait mikroyapı görüntüleri

Kullanılan numune sadece küçük takviye elemanlarının birlikte kullanıldığı numunedir. Şekil 5.7’de numeye ait görüntüleri incelendiğinde SiC parçacıklarının alüminyum matris içerisindeki dağılımının, homojen olduğu düşüncesi oluşmuştur.



Şekil 5. 8. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen kusurlu numune.

Gerçekleştirilen karıştırma döküm işlemlerinde her defasında kusursuz ve homojen dağılımını bir ürün elde edilememiştir. Bundan dolayı bazı deneylerimiz tekrar edilmiş ve yeniden yapılmıştır. Bununla birlikte kusurunu anlayamadığımız fakat kesme ve SEM görüntüleri sonrasında kusurlu olduğunu tespit ettiğimiz numuneler de vardır. Şekil 5.8 kusurlu bir üretime örnek olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde karbon alanlarının çok fazla olduğu ve bu karbon alanlarının da silisyum alanlarıyla denkleşmediği görülmektedir. Bu durum yanma sonucu ortaya çıktı çıkan karbon olabileceği veya üretim sırasında kullanılan grafit malzemelerin karıştırıcının potanın çeperlerine çarpması sonucunda parçalanması ile açığa çıkan karbon olabileceği şeklinde düşünülmektedir.

5.2. MEKANİK VE FİZİKSEK ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ SONUÇLAR

5.2.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

İki farklı boyutta kullanılan silisyum Karbür parçacıkları ile üretilen numunelere ait yoğunluk hesabı iki aşamalı olarak gerçekleştirmiştir. İlk aşamada gerçek

yoğunluğun tespiti için Arşimet prensibi kullanılarak tartılacak parçanın hacmi tespit edilmiş ve Tartım sonrası elde edilen kütle hacmi bölünmüştür. İkinci aşamada ise parçanın teorik yoğunluğunu formül 5.01 kullanarak hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik yoğunluklar denklem 5.2 vasıtasıyla gözenekliliğin hesaplanmasında kullanmıştır. Çizelge 5.2’de üretilen numuneleri ait deneysel yoğunluk, teorik yoğunluk ve yüzde gözenekli olanları verilmiştir.

$$p_{teorik} = \frac{\%KÜTLE_{AA7075} \times p_{AA7075} + \%KÜTLE_{SiC} \times p_{SiC}}{100} \quad (5.1)$$

$$\text{Gözeneklilik} = \left(1 - \frac{p_{deneysel}}{p_{teorik}}\right) \times 100\% \quad (5.2)$$

Çizelge 5. 2. Üretilen numuneleri ait deneysel yoğunluk, teorik yoğunluk ve yüzde gözenekli olanları.

NUMUNE	Numune İsmi	($p_{deneysel}$) (g/cm^3)	(p_{teorik}) (g/cm^3)	Gözeneklilik %
G1	%15 SiC (375 μm)	2,64	2,78	4,91
G2	%15 SiC (70 μm)	2,66	2,78	4,18
G3	% (5+10)SiC (375 μm +70 μm)	2,68	2,78	3,63
G4	% (10+5) SiC (375 μm +70 μm)	2,64	2,78	4,88
G5	%5 SiC (375 μm)	2,52	2,73	7,83
G6	%10 SiC (375 μm)	2,60	2,75	5,41
G7	%5 SiC (70 μm)	2,59	2,73	5,32
G8	%10 SiC (70 μm)	2,60	2,75	5,46
G9	%0 SiC	2,66	2,70	1,36

Çizelge 5.2 incelendiğinde Gözün ekleyelim en az olduğu numune anafaz metalin saf olarak kullanıldığı G9 numunesidir ve %1,36 oranında gözeneklilik bulunmuştur. Karıştırma işlemi yapmadığımız bu döküm işleminde boşluğun olduğu gözlemlenmektedir. Bununla beraber geri kalan bütün numunelerde daha yüksek olan da gözeneklilik mevcuttur. Bu farkının karıştırma işlemi ve parçacık takviyesi

sırasında parçacıklı birlikte kompozit malzemenin içine ilave olan havadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Karıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen numunelerin her biri için 3 tekrarlı sertlik değeri ölçülmüş ve elde edilen değerlerim aritmetik ortalaması çizelge 5.3' de verilmiştir.

Sertlik deneyleri Karabük Üniversitesi Margem laboratuvarlarında yapılmıştır. Virkes sertliğine göre mikro sertlik deneyleri 500 gramlık yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.4'te numuneleri ait sertlik testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5. 3. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen MAK numunelerin sertlik ölçüm değerleri

Numune	Mikro Sertlik Değerleri 1. tekrar	Mikro Sertlik Değerleri 2. tekrar	Mikro Sertlik Değerleri 3. tekrar	Mikro Sertlik Değerleri Ortalama
1	161	167	168	165,33
2	140	146	154	146,66
3	151	150	158	153
4	149	148	148	148,33
5	152	153	153	152,66
6	143	147	150	146,66
7	144	146	149	146,33
8	140	148	151	146,33
9	155	148	146	149,66

Çizelge 5.3 incelendiğinde takviye elemanı olmayan dokuz numaralı numunenin sertliğine oranla inceta takviyeli numunelerin sertliğinin düştü. İri taneli takviye elemanlarına sahip numunelerinde sertliği bir miktar arttığı gözlemlenmektedir.

BÖLÜM. 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki farklı boyutta takviye elemanı kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Atölye ve laboratuvar ortamları kullanılarak numuneler karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Kompozit malzeme imalatında takviye elemanı olarak silisyum Karbür parçacıkları anafaz olarak da AA7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Çalışma sırasında üretim parametreleri incelenmiş ve geliştirilmiştir. Ayrıca elde edilen numunelere ait SEM görüntüleri, sertlik değerleri, Porozite özellikleri incelenmiştir.

Aşağıda bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular kısaca özetlenmiştir.

- Küçük taneli, büyük taneli ve büyük ve küçük taneli karıştırıldığı melez takviye elemanlarına sahip kompozit malzeme üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- Döküm kaynaklı bazı kusurları (porozite, pota ve karıştırıcı malzemesinin kompozite Karışması v.b.) gibi problemler tespit edilmiştir.
- Sertlik numunelerin sertlikleri incelendiğinde; matrix metaline yakın sertliklerin anafaz üzerinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan irdeleme de iri taneli kompozitlerin sertliğinin küçük taneli göre daha sert oldu gözlemlenmektedir.
- Mikro yapılar incelendiğinde kümelenme sorununa çok fazla rastlanmamıştır, elde edilen kesitler de homojenlik sorunu azdır. Buda karıştırma işleminin başarılı olduğu kanısına oluşturmuştur.

- Map görüntülemeleri sonrasında bazı üretimlerde malzeme içinde serbest olarak dağılmış karbon atomlarına rastlanmamıştır. Bu durumda gerçekleşen yanma veya karıştırma işlemi sırasında kullanılan grafit karıştırıcı ve potadaki karbonun parçacıklarının numuneye karışabileceğini göstermiştir.
- Yoğunluk ölçümleri ve teorik hesaplamaları sonucunda, döküm yöntemi kaynaklı %1,36 oranında porositenin olduğu, ayrıca takviye eleman ilavesi ile porositenin miktarının yaklaşık üç kat arttığı gözlemlenmiştir.

Kompozit malzeme üretimi sırasında özellikle farklı boyutdaki parçacıkların ilavesi ile elde edilen numunelerde üretim problemleri ile karşılaşmıştır. Ergitilmiş anafazın yüzey gerilmeleri ile alakalı olduğu düşünülmektedir. İlerki çalışmalarda parçacık boyutlarının anafaza katılması sırasında karşılaştıkları yüz gerilmeleri araştırılabilir. Ayrıca iri tanelerin karıştırma işlemi sırasında küçüldüğü de gözlemlenmiştir. Bu olay sonucunda meydana gelen; küçülme oranları, yeni parça boyutları ve bu durumun malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisinin de incelemeye değer olduğu düşüncesi oluşmuştur.

Karıştırma döküm yöntemlerinin ne ait karıştırma hızları, karıştırma derinliği, karıştırma sıcaklıkları, ortam sıcaklıkları, karıştırıcı profili ve benzeri parametrelerinde iyileştirme çalışmalarının yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. A. Urena, E. E. Martínez, P. Rodrigo, and L. Gil, "Oxidation treatments for SiC particles used as reinforcement in aluminium matrix composites," *Composites Science and Technology*, vol. 64, no. 12, pp. 1843–1854, 2004, doi: 10.1016/j.compscitech.2004.01.010.
2. W. Yu-Qing and Z. Ben-Liam, "Effect of a fiber coating on the fabrication of fiber reinforced metal-matrix composites," *J Mater Process Technol*, vol. 73, pp. 78–81, 1998, doi: 10.1016/S0924-0136(97)00215-X.
3. C. Bharti, A. Singh, R. Rahul, D. Sharma, and S. P. Dwivedi, "Materials Today : Proceedings A critical review of aluminium based composite developed by various casting technique with different reinforcement particles to enhance tribo- mechanical behaviour," *Materials Today: Proceedings*, vol. 47, pp. 4092–4097, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.366.
4. R. Singh and A. Kumar, "Materials Today : Proceedings A literature survey on effect of various types of reinforcement particles on the mechanical and tribological properties of aluminium alloy matrix hybrid nano composite," *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.068.
5. S. K. Tripathy and A. K. Senapati, "Materials Today : Proceedings A review on turning analysis of industrial waste reinforced aluminum metal matrix composite," *Materials Today: Proceedings*, vol. 33, pp. 5740–5745, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.731.
6. P. P. Kulkarni and B. Siddeswarappa, "Materials Today : Proceedings A study on microstructure and mechanical behaviour of AA6063 metal matrix composite reinforced with areca sheath ash (ASA) and rice husk ash (RHA)," *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.09.104.
7. P. Samal, H. Tarai, and P. R. Vundavilli, "Materials Today : Proceedings Combining effect of annealing and reinforcement content on mechanical behavior of multi-walled CNT reinforced AA5052 composites," *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.340.
8. O. S. Olusesi and N. E. Udoye, "Development and characterization of AA6061 aluminium alloy / clay and rice husk ash composite," *Manufacturing Letters*, vol. 29, pp. 34–41, 2021, doi: 10.1016/j.mfglet.2021.05.006.

9. B. Kandpal, Chandra, N. Johri, N. Kumar, and A. Srivastava, "Materials Today : Proceedings Effect of industrial / agricultural waste materials as reinforcement on properties of metal matrix composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 10736–10740, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.575.
10. S. Amirkhanlou and B. Niroumand, "Development of Al356/SiCp cast composites by injection of SiCp containing composite powders," *Materials and Design*, vol. 32, no. 4, pp. 1895–1902, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2010.12.013.
11. [11] N. Aniban, R. M. Pillai, and B. C. Pai, "An analysis of impeller parameters for aluminium metal matrix composites synthesis," *Materials & Design*, vol. 23, no. 6, pp. 553–556, 2002, doi: 10.1016/S0261-3069(02)00024-9.
12. A. Çetin and A. Kalkanli, "Effect of solidification rate on spatial distribution of SiC particles in A356 alloy composites," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 205, no. 1–3, pp. 1–8, 2008, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.11.065.
13. J. B. Ferguson, I. Aguirre, H. Lopez, B. F. Schultz, K. Cho, and P. K. Rohatgi, "Tensile properties of reactive stir-mixed and squeeze cast Al/CuOnp-based metal matrix nanocomposites," *Materials Science and Engineering A*, vol. 611, pp. 326– 332, 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.06.008.
14. J. Hashim, L. Looney, and M. S. J. Hashmi, "The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 119, no. 1–3, pp. 324–328, 2001, doi: 10.1016/S0924-0136(01)00975-X.
15. M. V. Krishna and A. M. Xavier, "An investigation on the mechanical properties of hybrid metal matrix composites," *Procedia Engineering*, vol. 97, pp. 918–924, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.367.
16. Tjong, S.C. ve Ma, Z.Y., (2000). "Microstructural and mechanical characteristics of in-situ metal matrix composites", *Materials Science and Engineering*, 29: 49-113.
17. Bauri, R., Yadav, D. ve Suhas, G., (2011). "Effect of friction stir processing (FSP) on microstructure and properties of Al-TiC in-situ composite", *Materials Science and Engineering*, A528: 4732-4739.
18. Zhang, J., Fan, Z., Wang, Y.Q. ve Zhou, B.L., (2000). "Microstructural development of Al–15wt.%Mg2Si in-situ composite with mischmetal addition", *Materials Science and Engineering*, A281: 104-112.
19. Kumar, S.D., Mandal, A. ve Chakraborty, M., (2015). "Solid fraction evolution characteristics of semi-solid A356 alloy and in-situ A356–TiB2

composites investigated by differential thermal analysis”, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 22 (4): 389-394.

20. <https://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Kompozitin-Tarihi.pdf>
21. Onaran, K., (2003). Malzeme Bilimi, 9.Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
22. Kalemtaş, A., (2014). “Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış”, Putech&Composites, 18-29.
23. Kaya, A.İ., (2016). “Kompozit Malzemeler ve Özellikleri”, Putech&Composites, 38-45.
24. Gülmez, S., (2018). “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler”, Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
25. Subaşı, A., Zurnacı, M., Kahyaoğlu, A. ve Demir, E., (2017). “Polyester/Grafen Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi”, ECJSE, 4 (3): 472-481.
26. Toptan, F., Kumdalı, F. ve Kerti, I., (2006). “Al-B4C Kompozitlerinin Fren Diski Olarak Kullanılabilirliğine Genel Bir Bakış”, Metalurji, 11-18.
27. Başer, T.A., (2012). “Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı”, Mühendis ve Makina, 53 (635): 51-58.
28. [Pierson, H.O., (1996). "Handbook of Refractory Carbides & Nitrides: Properties, Characteristics, Processing and Apps", William Andrew.
29. Bayraktar, Ş. ve Turgut, Y., (2013). “Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebilirliği”, 1st International Symposium on Plastic and Rubber.
30. Yaşar, İ. ve Arslan, F., (2000). “Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24: 181- 191.
31. Surappa, M.K., (2003). “Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities”, Sadhana, 28 (1-2): 319-334.
32. Deckard, L. ve Claar, T.D., (1993). “Fabrication of Ceramic and Metal Matrix Composites from Selective Laser Sintered Ceramic Preforms”, Lanxide Corporation, 215-222.

33. Nishida, Y., (2013). Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling, Springer.
34. Harrigan, W.C., (1993). "Discontinuous Silicon Fiber MMCs", Engineering Materials Handbook., 1: 889-895.
35. Rajan, T.P.D. Pillai, R.M. ve Pai, B.C., (1998). "Reinforcement Coatings and Interfaces in Aluminium Metal Matrix Composites", Journal of Materials Science, 33: 3491-3503.
36. Hashim, J. Looney, L. ve Hashmi, M., (1999). "Metal Matrix Composites: Production by The Stir Casting Method", Journal of Materials Processing Technology, 92: 1-7.
37. Nishida, Y., (2013). Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling, Springer.
38. Lloyd, D., (1994). "Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites", International Materials Reviews, 39: 1-23.
39. Altinkök, N., (2014). "Optimization of Mechanical Properties of Hybrid Al₂O₃/SiCp Reinforced Composites Produced by Pressure-Assisted Aluminum Infiltration", JOM, 66: 909-919.
40. Mortensen, A. Sanmarchi, C. ve Degischer, H., (2002). "Glossary of Terms Specific to Metal Matrix Composites", MMC-Assess Thematic Network.
41. Totten, G.E. ve Mackenzie, D.S., (2003). Handbook of Aluminum 1, Physical Metallurgy and Processes, CRC Press. [54] Hatch, J.E. ve Association, A., (1984). Aluminum: Properties and Physical Metallurgy: ASM International.
42. Ahlatci, H. Koçer, T. Candan, E. ve Çimenoglu, H., (2006). "Wear Behaviour of Al/(Al₂O₃p+SiCp) Hybrid Composites", Tribology International, 39: 213-220.
43. Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L., (2006). Magnesium Technology: Springer.
44. Hashim, J. Looney, L. ve Hashmi, M., (1999). "Metal Matrix Composites: Production by The Stir Casting Method", Journal of Materials Processing Technology, 92: 1-7.
45. Naher, S. Brabazon, D. ve Looney, L., (2005). "Development and Assessment of A New Quick Quench Stir Caster Design for The Production of Metal Matrix Composites", Journal of Materials Processing Technology, 166: 430-439.
46. Soy, U., (2011). "Metal Matriks Kompozitlerin Üretim Yöntemleri", Metal Dünyası Dergisi, 212: 116.

47. Guermazi, M. ve Drew, R., (1998). "Microstructural Evolution of Silicon Carbide/Aluminum Oxide Composites Processed by Melt Oxidation", *Journal of Materials Science*, 33: 5081-5093.
48. Deckard, L. ve Claar, T.D., (1993). "Fabrication of Ceramic and Metal Matrix Composites from Selective Laser Sintered Ceramic Preforms", *Lanxide Corporation*, 215-222.
49. King, F., (1987). *Aluminium and Its Alloys*: Ellis Horwood Chichester.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet GÜLER; Dumlupınar Üniversitesinde 2011-2013 yılları arasında Makine Bölümünde ön lisans eğitimi almıştır. 2014-2019 yılları arasında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesinden Makine Mühendisliği programında lisans eğitimi almıştır. 2021 yılından itibaren. Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yüksek lisansını yapmaktadır.