

**ERGİTİLMİŞ METAL KARIŞTIRMA VE
GELENEKSEL/SIKIŞTIRMALI DÖKÜM
YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ESASLI TANECİK
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ,
MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLERİN
KARAKTERİZASYONU VE İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**2019
DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

Abdullah UĞUR

**ERGİTİLMİŞ METAL KARIŞTIRMA VE GELENEKSEL/SIKIŞTIRMALI
DÖKÜM YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ESASLI TANECİK TAKVİYELİ
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLERİN
KARAKTERİZASYONU VE İŞLENEBİLİRLİĞİ**

Abdullah UĞUR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

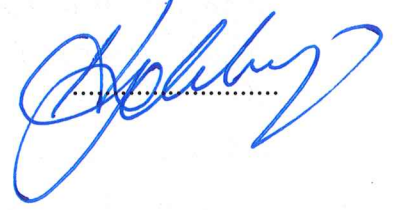
Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ağustos 2019

Abdullah UĞUR tarafından hazırlanan “ERGİTİLMİŞ METAL KARIŞTIRMA VE GELENEKSEL/SIKIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ESASLI TANECİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU VE İŞLENEBİLİRLİĞİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA
Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 01/08/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

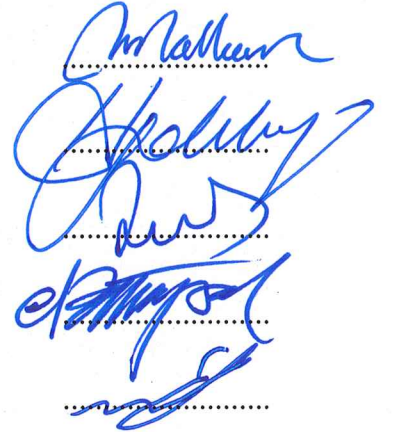
Başkan : Prof. Dr. Muammer NALBANT (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ELTUĞRAL (KBÜ)

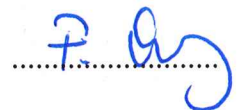
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Engin NAS (DÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.





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

Abdullah UĞUR

ÖZET

Doktora Tezi

ERGİTİLMİŞ METAL KARIŞTIRMA VE GELENEKSEL/SIKIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM ESASLI TANECİK TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU VE İŞLENEBİLİRLİĞİ

Abdullah UĞUR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA

Ağustos 2019, 136 sayfa

Metal ana fazlı kompozitler (MAK) birçok sektörde parça ve gövde imalatlarında kullanılan ve gelişime açık malzemelerdir. Bu çalışmada, MAK malzemeler ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilmiştir. MAK malzeme üretimi sırasında ilave edilen kütlece takviye elemanı oranlarının ve kullanılan döküm tekniğinin malzemenin mekanik özellikleri ve işlenebilirliği üzerine etkileri araştırılmıştır. MAK malzeme üretiminde AA7075 alaşımı ana faz, 75µm boyutlarında silisyum karbür (SiC) ise takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Takviye elemanı kütlece %10, %14 ve %18 oranlarında takviye elemanı ana faz içerisine ilave edilmiştir. Döküm yöntemleri olarak geleneksel döküm tekniği ve sıkıştırma döküm teknikleri uygulanmış ve 6 farklı parçacık takviyeli MAK malzeme elde edilmiştir. Üretilen numunelerin mikro yapıları, mekanik özellikleri ve elektro erozyon tezgahında (EET) işlenebilirliği

araştırılmıştır. Talaş kaldırma işlemi sonrasında işlem parametrelerinin işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve malzeme aşınma farkına olan etkileri incelenmiştir.

Üretilen MAK numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, düşük takviye elemanı oranlarında takviye elemanı dağılımının homojen dağılım sergilediği, kütlece takviye elemanı oranının artmasına bağlı olarak topaklanmalar oluşmuştur. Takviye oranının artmasıyla gözenekliliğin arttığı, sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen kompozit malzemelerin geleneksel döküm tekniğiyle üretilen kompozit malzemelere göre daha az gözenek içerdiği gözlemlenmiştir. Takviye oranının artmasıyla basma dayanımlarının düştüğü, en yüksek dayanımının sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen ve kütlece %10 SiC takviye elemanı içeren numunelerde, en düşük basma gerilmesi değerleri de sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen ve kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren numunelerde gözlemlenmiştir. En düşük mikro sertlik değeri %10 SiC takviye elemanı içeren ve geleneksel döküm tekniği ile üretilen numunede (127 HV), en yüksek mikro sertlik değeri ise %10 SiC takviye elemanı içeren sıkıştırma döküm tekniği üretilen numunelerde (160 HV) ölçülmüştür. EET ile işlenebilirlik deneylerinde en uzun işleme süresi %18 SiC takviye elemanı içeren geleneksel döküm tekniğiyle üretilen MAK malzemenin 2 A elektriksel akım şiddeti ve 25 µs vurum süresiyle işlenmesi sırasında 55 dakika, en kısa işleme süresi ise %10 SiC takviye elemanı içeren sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen numunenin 6 A akım şiddeti ve 75 µs vurum süresinde işlenmesiyle 5 dakika olarak tespit edilmiştir. En küçük delik çapı %18 SiC takviye elemanı içeren ve sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen numunede 12,240 mm, en büyük delik çapı ise %14 SiC takviye elemanı içeren ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilmiş numunede 12,936 mm olarak ölçülmüştür. 5En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin %14 SiC takviye elemanı içeren geleneksel döküm yöntemiyle üretilmiş numunelerde numunede 5,335 µm, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise %10 SiC takviye elemanı içeren geleneksel döküm 8,420 µm olarak ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Erimiş metal karıştırma, metal ana fazlı kompozit (MAK), kompozit, İşlenebilirlik, elektro erozyon, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

**PRODUCTION OF ALUMINUM BASED PARTICULATED REINFORCED
COMPOSITES BY MOLDED METAL STIRRING AND TRADITIONAL /
SQUEEZE CASTING METHOD, MICROSTRUCTURE,
CHARACTERIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND
MACHINABILITY**

Abdullah UĞUR

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA

August 2019, 136 pages

Metal matrix composite (MMC) is a material used in parts and body manufacturing in many sectors and open to development. In this study, metal matrix composite materials were produced by molten metal stirring method. The effects of reinforcement ratio and the casting technique used on the mechanical properties and machinability of the material were investigated. In this study, AA7075 alloy was used as the matrix and 75 μ m silicon carbide (SiC) reinforcement element. Reinforcement element was added 10 %, 14 % and 18 % mass percentage of the matrix. Casting process has been applied traditional casting technique and squeeze casting techniques. 6 different MMC materials were obtained. Microstructures and mechanical properties of the samples were investigated. It also examined the machinability of particle reinforcement MMC

materials by electro discharge machineing (EDM) method. The effect on the properties such as processing time, average surface roughness, hole diameter and material wear difference were investigated.

When the microstructure images of the produced MMC samples were examined, the distribution of the reinforcement elements exhibited a relatively homogeneous distribution. Aggregation of the reinforcing elements increased with the increase of the mass reinforcement element ratio. When the density measurement results of the produced MMC materials were examined, it was observed that the porosity increased with the increase of the reinforcement ratio, and the composite materials produced by squeeze casting technique had less pores than the composite materials produced by conventional casting technique. The lowest micro hardness value was measured in the 10% SiC reinforcing element sample (127 HV), and the highest micro hardness value was measured in the compression casting technique used with 10% SiC reinforcing element sample (160 HV). The compression strength decreases with the increase of the reinforcement ratio. The highest strength has been observed in produced by squeeze casting method and the samples containing 10% SiC reinforcing element by mass and the lowest compression stress values are also in squeeze casting produced and containing 18% by mass reinforcement element samples. During the processing of MMC material with 2 A electrical current strength and 25 μ s pulse time, 55 minutes and the shortest processing time was determined as 5 minutes by processing the sample produced by squeeze casting technique containing 10% SiC reinforcing element at 6 A current strength and 75 μ s pulse time. The smallest hole diameter was measured as 12,240 mm in the specimen produced by 18% SiC reinforcement and the maximum hole diameter was 12,936 mm in the specimen produced by 14% SiC reinforcement. The lowest average surface roughness value of the samples produced by conventional casting method containing 14% SiC reinforcing method is 5,335 μ m and the highest average surface roughness value is measured as 8,420 μ m with 10% SiC reinforcing element.

Keywords : Stir casting, metal main phase composite (MMC), composite, Machinability, electro discharge machining (EDM), mechanical properties.

Science Code : 914.3.28



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yardım ve desteklerinden dolayı, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Gökhan SUR, Dr. Öğretim Üyesi Nurettin ELTUĞRAL ve Dr. Öğretim Üyesi Engin NAS hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, KBU-BAP-15/1-DR-027 numaralı proje kapsamında finansal olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Yönetimi Koordinatörlüğü çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Bugünlerin inşasında büyük emekleri olan, sevgi ve sabırla her konuda desteklerini esirgemeyen annem Nermin UĞUR, babam Turhan UĞUR ve ablam Rabia UĞUR ULUSOY'a yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Safya</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİNİ KONU ALAN BAZI ÇALIŞMALAR	4
2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ	37
BÖLÜM 3	38
METAL ANA FAZLI KOMPOZİT MALZEMELER.....	38
3.1. MAK MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ..	40
3.1.1. Katı Hal Üretim Yöntemleri.....	41
3.1.2. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri	45
3.1.3. Yarı katı karıştırma yöntemi	51

BÖLÜM 4	53
MATERYAL VE METOT	53
4.1. KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KULLANILAN SARF MALZEMELER, MAKİNA VE EKİPMANLAR.....	53
4.1.1. Ana faz Malzemesi.....	53
4.1.2. Takviye Elemanı ve Özellikleri	54
4.1.3. Parçacık Takviyeli Metal Ana fazlı Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Makine Ve Teçhizatlar.....	55
4.2. METAL ANA FAZLI PARÇAÇIK TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİ.....	62
4.2.1. Karıştırma Döküm İşlemi Ön Hazırlıkları	63
4.2.2. Karıştırma İşlemi ve Kompozit Malzeme Üretimi.....	64
4.2.3. Döküm İşlemi.....	65
4.3. METALOGRAFİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELEME YÖNTEMLERİ VE CİHAZLARI	66
4.3.1. Numunelerin Kesilme İşlemi	66
4.3.2. Bakalite Alınma İşlemi	67
4.3.3. Enerji Yayılımlı X ışını Analizi (EDX)	68
4.3.4. Tarama Elektron Mikroskop (SEM)	68
4.3.5. Sertlik Ölçüm	68
4.3.6. Basma Cihazı	69
4.3.7. Aşınma Deneyi.....	70
BÖLÜM 5	73
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	73
5.1. METALOGRAFİ İNCELEME SONUÇLARI	73
5.1.1. Tarama Mikroskobu (SEM) İncelemeleri	73
5.2. MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE İLGİLİ SONUÇLAR	78
5.2.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	78
5.2.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	80
5.2.3. Sürtünme Katsayısı Deneyi Sonuçları	82
5.2.4. Üretilen MAK Malzemelerin Basma Gerilmesi Değerleri	87

5.3. GELENEKSEL VE SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN MAK MALZEMELERİN ELEKTRO EROZYON TEZGAHINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ.....	90
5.3.1. Geleneksel Döküm Tekniği İle Üretilen MAK Malzemelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri.....	90
5.3.2. Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilen MAK Malzemelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri.....	99
5.3.3. Geleneksel ve Sıkıştırmalı Döküm Yöntemi ile Üretilen AA7075+%10 SiC MAK Malzemelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri.....	109
5.3.4. Geleneksel ve Sıkıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretilen AA7075+%14 SiC MAK Malzemelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri.....	112
5.3.5. Geleneksel ve Sıkıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretilen AA7075+%18 SiC MAK Malzemelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri.....	116
BÖLÜM 6	120
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	120
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ	136

ŞEKİLLER DİZİNİ

Safya

Şekil 1.1.	Endüstriyel malzemelerin gruplandırılması.	1
Şekil 2.1.	Karıştırıcılı MAK malzeme üretim tezgahı şematik görünümü.	5
Şekil 2.2.	Ohno sürekli döküm (OCC) yönteminin genel görünümü.	9
Şekil 2.3.	Takviye elemanı hazırlama aşamaları	10
Şekil 2.4.	Kompozit malzeme üretim aşamaları.	10
Şekil 2.5.	Farklı takviye oranlarının birim şekil değiştirme–gerilmeye etkisini gösteren grafik	11
Şekil 2.6.	Kompozit malzeme üretiminde kullanılan infiltrasyon üretim ünitesinin işlem basamakları	12
Şekil 2.7.	Kompozit malzeme üretiminde kullanılan karıştırma ve serbest döküm üretim ünitesinin genel görünümü	13
Şekil 2.8.	Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelere ait mekanik özellikleri.	14
Şekil 2.9.	Takviye elemanı oranının mekanik özelliklere olan etkisi.	15
Şekil 2.10.	Yüzde takviye elemanı oranına göre; a) mikro sertlik, b) maksimum çekme gerilmesi değişim grafiği	16
Şekil 2.11.	Kompozit malzeme üretiminin yapıldığı ünitenin; a) karıştırıcı, b) döküm kalıbı, c) ünitesinin kesit görünümü.	17
Şekil 2.12.	Takviye elemanı boyutlarına göre kompozit malzemelerin birim şekil değişimi-gerilme grafikleri	17
Şekil 2.13.	Üretimi gerçekleştirilen numunelerin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değerleri.	18
Şekil 2.14.	Farklı karıştırma süresi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin birim uzama – gerilme grafikleri.	19
Şekil 2.15.	Sıvı, katı-sıvı hal karıştırma döküm ünitesi genel görünümü	20
Şekil 2.16.	Farklı kaplama uygulanmış SiC takviye elemanlarının SEM görüntüleri.	21

Şekil 2.17. Farklı sıkıştırma basınç değerlerinde üretilen kompozit malzemelere ait mikro yapı örnekleri	22
Şekil 2.18. Manyetik karıştırıcı kompozit malzeme üretim ünitesinin genel görünümü.	23
Şekil 2.19. Yapılan çalışmaya ait örnekler: a) sıkıştırma döküm yöntemiyle edilen numune b) numuneden çıkarılacak test örneklerinin resim görüntüsü.....	24
Şekil 2.20. Sıkıştırma basıncı-gözeneklilik grafiği	24
Şekil 2.21. Kalıp sıcaklığının birim şekil değiştirme -gerilme grafiğine etkisi.....	25
Şekil 2.22. Kalıp sıcaklık değişim hızlarının tanecikler arası mesafeye olan etkisi a) 70°C/s, b) 20°C/s, c) 10°C/s.....	25
Şekil 2.23. Kompozit üretiminde kullanılan a) karıştırma düzeneği, b) soyma döküm düzeneği görüntüsü.	26
Şekil 2.24. Normal döküm, 1 saat normalizasyon uygulanmış ve % 40 sıcak deformasyona uğratılmış malzeme ait a) normalizasyon süresinin mikro sertliğe etkisini, b) deformasyon oranının mikro sertlik değerine etkisi, c) normalizasyon süresinin nano sertliğe etkisi, d) deformasyon oranının elastiklik modülüne etkisi	27
Şekil 2.25. Elde edilen numunelere ait a) takviye oranı-gözeneklilik, b) sertlik ve c) birim uzama – gerilme grafiği.	28
Şekil 2.26. Elde edilen numunelere ait a) kayma mesafesine göre ağırlık kaybı, b) % takviye oranına göre gözeneklilik grafikleri.....	29
Şekil 2.27. Takviye elemanı boyutuna göre tanecik dağılımı	30
Şekil 2.28. AA6063/B ₄ C kompozit malzemesinin ekstrüzyon ile üretim aşamaları.....	31
Şekil 2.29. AA6063/B ₄ C ekstrüzyon parametrelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin etkileşim şeması.....	32
Şekil 2.30. Farklı yüzde oranlarında takviye elemanı içeren 140 °C, 160 °C ve 180 °C’de ısıtılma tabi tutulmuş olan kompozit malzemelerin çekme gerilme değerleri	33
Şekil 3.1. Takviye elemanı cinsine göre MAK malzemelerin görünümü	38
Şekil 3.2. İki farklı toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretiminin şematik gösterimi.	43

Şekil 3.3.	Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle MAK malzeme üretmek için geliştirilmiş tezgâha ait şematik görüntü.....	46
Şekil 3.4.	Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretim şematiği	48
Şekil 3.5.	Basınclı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretim şematiği	49
Şekil 3.6.	Sıkıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretimi; a) istifleme, b) sıkıştırma.....	49
Şekil 3.7.	Atomizasyon biriktirme yönteminin şematik gösterimi.....	50
Şekil 3.8.	Santrifüj atomizasyon yöntemi şematik gösterimi	51
Şekil 4.1.	SiC takviye elemanı parçacıklarının genel görünümü.	54
Şekil 4.2.	500x büyütülmüş SiC parçacıkları görüntüsü.	55
Şekil 4.3.	Parçacık takviyeli metal ana fazlı kompozit numune üretiminde kullanılan ekipmanların genel görünümleri.	55
Şekil 4.4.	Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretiminde kullanılan karıştırma döküm tezgâhı ünitesinin şematik çizim görüntüsü.....	56
Şekil 4.5.	Karıştırma döküm tezgâhı kontrol paneli genel görünümü.....	57
Şekil 4.6.	Karıştırıcının fırın üzerine konumlandırılmış görüntüsü.	58
Şekil 4.7.	Grafit karıştırıcılar; a) 40x40x15 mm, b) 55x20x20 mm.....	58
Şekil 4.8.	MAK numunelerin üretiminde kullanılan kalıp seti genel görünümü; a) genel görüntü, b) alt kalıp üst, c) alt kalıp yan, d) üst kalıp üst, e) üst kalıp yan.	59
Şekil 4.9.	Basınc uygulayarak MAK numunelerin preslenmesinde kullanılan hidrolik pres.....	60
Şekil 4.10.	Argon tüpünün genel görüntüsü ve sisteme bağlanmış hali.....	61
Şekil 4.11.	Karıştırma döküm işleminde kullanılan grafit malzemeden yapılmış pota görüntüsü.	61
Şekil 4.12.	Metal ana fazlı (AA7075) ve parçacık takviyeli (SiC) MAK numunelerin üretim sürecini gösteren akış şeması.....	62
Şekil 4.13.	Fırın içi ve kalıp sıcaklık değişimleri grafiği.	65

Şekil 4.14. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve basınç uygulayarak ılık şekillendirme ile elde edilen yarı mamul MAK numuneye ait görüntü.	65
Şekil 4.15. Numunlerin kesilmiş görüntüsöleri.....	67
Şekil 4.16. Bakalite alınmış ve parlatılmış numunelerin görüntöleri.....	67
Şekil 4.17. Carl zeiss ultra plus gemini fesem SEM ve EDX cihazı.....	68
Şekil 4.18. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı.	69
Şekil 4.19. Zwick/Roell marka Z600 çekme-basma-eğme testleri cihazı.	70
Şekil 4.20. Aşınma test düzeneğı şematik görüntüsü.....	71
Şekil 4.21. UTS tribometer t10 test cihazı; a) veri işleme b) test ünitesi.....	71
Şekil 4.22. Elektro erozyon tezgahında işlemenin şematik gösterimi.....	72
Şekil 4.23. Elektro erozyon tezgahında işlenmiş kompozit numune (G14).	72
Şekil 5.1. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen MAK numunelere ait mikroyapı görüntöleri.....	74
Şekil 5.2. G14 numunesinde gözlemlenen topaklanma ve gözeneklilik örneğı.....	75
Şekil 5.3. G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerinde elemental analiz için belirlenen 5 farklı noktanın görünümü.....	76
Şekil 5.4. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 1 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiğı.	76
Şekil 5.5. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 2 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiğı.	77
Şekil 5.6. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 3 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiğı.	77
Şekil 5.7. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 4 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analizi grafiğı.	78
Şekil 5.8. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve iki farklı döküm tekniğıyle elde edilen MAK numunelerin kütlece takviye oranı-sertlik grafiğı.	81
Şekil 5.9. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 20 N yük altında % takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.....	83
Şekil 5.10. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 30 N yük altında takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.	84

Şekil 5.11. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 40 N yük altında takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.	85
Şekil 5.12. MAK numunelerden elde edilen basma gerilmesi-% deformasyon grafikleri	88
Şekil 5.13. Kütlece takviye elemanı yüzde oranlarına basma mukavemeti grafikleri.....	89
Şekil 5.14. Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işlem parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.....	93
Şekil 5.15. G10, G14 ve G18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işlem parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.....	94
Şekil 5.16. G10, G14 ve G18 kodlu MAK numune numunelerinin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs , 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikleri.....	95
Şekil 5.17. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.....	96
Şekil 5.18. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.....	97
Şekil 5.19. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.	98
Şekil 5.20. Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.	102
Şekil 5.21. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddeti 25 µs, 50 µs ve 75 µs vurum sürelerine bağlı olarak işleme süreleri grafikleri.	103

Şekil 5.22. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numune numunelerinin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.....	105
Şekil 5.23. S10, S14 ve S18 kodlu numunelerin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.....	106
Şekil 5.24. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numune numunelerinin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.....	107
Şekil 5.25. S10, S14 ve S18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.....	108
Şekil 5.26. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü grafikleri.....	110
Şekil 5.27. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı amper (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak işleme süresi grafikleri.	111
Şekil 5.28. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 µs, 50 µs ve 75 µs) bağlı olarak işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çapları grafikleri.	112
Şekil 5.29. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 µs, 50 µs ve 75 µs) bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük grafikleri.	113
Şekil 5.30. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde amper ve vurum sürelerine bağlı olarak oluşan işleme süresi grafikleri.....	114

- Şekil 5.31. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çapları grafikleri. 115
- Şekil 5.32. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüklerini gösteren grafikler. 116
- Şekil 5.33. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan işleme süresi grafikleri. 117
- Şekil 5.34. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çaplarını gösteren grafikler. 118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Farklı takviye oranları kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş kompozit malzemelere ait sertlik değerleri.	12
Çizelge 2.2. Yapılan çalışmaya ait parçacık boyutu, tambur dönüş hızı, maksimum gerilme, akma gerilmesi, % uzama ve mukavemet verileri.	26
Çizelge 3.1. MAK malzeme üretim yöntemleri.	41
Çizelge 4.1. AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi.	54
Çizelge 4.2. Al 7075 alaşımının mekanik özellikleri.	54
Çizelge 4.3. Altı farklı MAK numunelerin üretiminde kullanılan ana faz numunesi AA7075 ve takviye elemanı SiC' ün ağırlıkları ve kütlece yüzde oranları.	63
Çizelge 4.4. Sürtünme katsayısı tespiti için yapılan aşınma test deneylerinde kullanılan parametreler.	70
Çizelge 4.5. EET tezgahında işleme için kullanılan işlem parametreleri.	72
Çizelge 5.1. Altı farklı MAK numune üretiminde kullanılan ana faz ve takviye elemanı oranları ile üretim yöntemleri.	73
Çizelge 5.2. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen MAK numunelere ait ana faz ve takviye elemanı oranları ile deneysel yoğunluk, teorik yoğunluk ve gözeneklilik değerleri.	79
Çizelge 5.3. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve iki farklı döküm tekniğiyle üretimi gerçekleştirilen MAK numunelere ait sertlik değerleri.	80
Çizelge 5.4. Farklı yükler altındaki numunelerin ortalama sürtünme katsayıları.	82
Çizelge 5.5. Geleneksel döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin EET tezgahında işlenmesi sonrasında elde edilen; işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve malzeme aşınma farkı sonuçları.	91
Çizelge 5.6. Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin EET tezgahında işlenmesi sonrasında elde edilen; işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve malzeme aşınma farkı sonuçları.	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

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
$\sigma_{\max}$	: Maksimum gerilme
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Paskal
m	: Metre
μm	: Mikro Metre
μs	: 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

ASTM : Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu

EDX : Enerji Yayılımlı X-Işını Analizi

EET : Elektro Erozyon Tezgâhı

MAK : Metal Ana Fazlı Kompozit

MARGEM : Malzeme Araştırma Geliştirme Enstitüsü

MÖ : Milattan Önce

OM : Optik Mikroskop

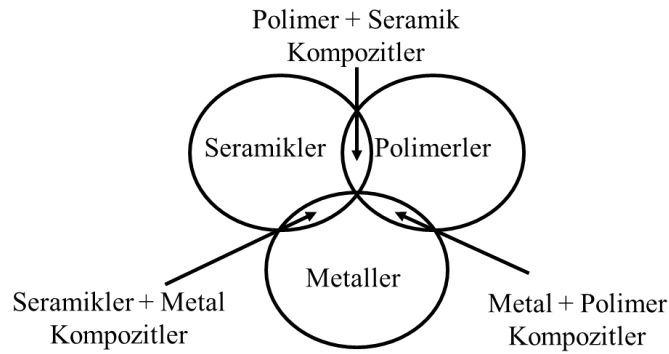
SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayi ve bilim alanında hedeflerin yükselmesi, var olan geleneksel malzemelerin tasarım ihtiyaçlarını karşılayamaması, yeni malzemeler üretme ve geliştirme çalışmalarını arttırmaktadır. Araştırmacılar, yeni teknolojiler geliştirerek, yeni malzemeler üretmeye çalışmaktadırlar. Nitelikli alaşımlar, akıllı malzemeler gibi yeni malzemeler üzerine çalışmalar olmasına rağmen yoğun çalışmalara konu olan bir malzeme türü de kompozit malzemelerdir [1–3].

Endüstriyel malzemeler; metal, polimer ve seramik olarak üç ana grupta toplanırken, bu ana grupların fiziksel olarak birleştirilmesiyle oluşan kompozit malzemeler de günümüzde endüstriyel malzeme grubunda kendine yer bulmaktadır. Şekil 1.1’de kompozit malzemeler ile endüstriyel malzemeler arasındaki ilişki şematik olarak verilmiştir [4].



Şekil 1.1. Endüstriyel malzemelerin gruplandırılması [4].

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulan karma malzemelerdir. Kompozit malzemelerin bileşimindeki temel malzemeler ana faz ve takviye elemanı olarak isimlendirilmektedir [5,6].

Kompozit malzemeler tarihte çok eski zamanlarda bina yapımında (MÖ.20-90) yapı malzemesi amacıyla kullanılmaya başlanmasına rağmen endüstriyel malzeme olarak kullanımının geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve ticari nitelik kazanması 20. yy'a tekabül etmektedir [1,7,8].

Günümüzde seramik ana fazlı kompozit malzemeler genellikle yapı ve yalıtım malzemesi, polimer ana fazlı kompozit malzemeler ise hava ve deniz taşıtlarında, yapılarda pencere yapımında ayrıca korozyonu engellemek ve titreşimi sönümlemek amacıyla mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır [9–11].

Metal ana fazlı kompozit (MAK) malzemeler; otomotiv, havacılık, savunma ve uzay sanayi başta olmak üzere birçok sektörde parça ve gövde imalatında kullanılmaktadır. MAK malzemeler, özgül mukavemet, sertlik, tokluk, ısı yalıtımı, titreşim sönümleme, radyo aktif yalıtım gibi çok farklı nitelikte özelliklere sahip türleri bulunmaktadır. Ayrıca MAK malzemelere ana faz ve takviye elemanlarının türü ve oranları değiştirilerek yeni nitelikler kazandırılabilir. Bu nedenle, kompozit malzemeleri tasarlanabilir malzemeler olarak sınıflandırmak mümkündür [12–15].

Kompozit malzemeler, kullanılan takviye elemanın fiziksel özelliklerine (plaka, fiber, kısa fiber ve parçacık) göre de tasnifi yapılmaktadır [12]. Kullanılan takviye elemanlarının fiziksel durumu ve üretim yöntemi birincil dereceden önem arz etmektedir [16,17].

MAK malzemelerin üretimi için araştırmacılar tarafından birçok yöntem geliştirilmiş ve geliştirmeye devam edilmektedir. Yöntemler, kullanılan ana faz malzemesinin fiziksel durumuna göre; katı hal, katı-sıvı hal ve sıvı hal üretim yöntemleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Üretim yöntemlerinden her birinin diğer yöntemlere göre üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır [18–20] . Bunlar; üretim kapasitesi, gerekli olan teçhizat, üretim süresi, kullanılan malzemelerin maliyeti, üretim kalitesi, kullanım alanı, takviye türü vb. özelliklerdir [21,22]. MAK malzeme üretiminde kullanılan yöntemlerden biri karıştırma döküm yöntemidir. Karıştırma döküm yöntemi, yüksek miktarlarda malzeme üretimini birçok yönetime oranla daha düşük maliyetlerde

gerçekleştirmesi, yüksek üretim kapasitesi ve nihai ürüne yakın şekillerde ürün elde edilebilmesi açısından avantajlı bir üretim yöntemidir [5,23,24] .

Bu çalışmada, otomotiv ve havacılık sektöründe gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan MAK malzemelerin yüksek üretim hacmine sahip karıştırma döküm yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, AA7075 alüminyum alaşımı ana faz, 75 µm boyutlarında SiC malzemesi ise takviye elemanı olarak (kütlece %10, %14, %18) kullanılmıştır. Kütlece %10, %14, %18 oranlarında takviye elemanı içeren MAK eriyik malzemedan geleneksel döküm yöntemi ve sıkıştırma döküm yöntemleriyle 80 mm çapında ve 60±2 mm boyutlarında 6 farklı MAK numuneler üretilmiştir. Sadece geleneksel döküm kullanılarak üretilen numuneler döküm kalıbında havada soğumaya bırakılmış, Sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen numuneler ise kalıp sistemi içerisinde hidrolik presle ılık şekil verilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, basma ve sertlik deneyleri. Dinamik kullanım koşullarında sürtünme davranışlarının tespiti için sürtünme katsayısı ölçüm deneyi. İçerdiği gözenek miktarının belirlenmesi için de yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen 6 farklı MAK numune üretimi sırasında takviye elemanı dağılımının homojen olup olmadığı, kümelenme ve gözeneklilik oluşumlarının belirlenmesi için tarayıcı elektron mikroskobu (SEM), elde edilen numunelerin kimyasal elemental yapısının belirlenmesi için enerji yayımlı X-ışını analiz (EDX) görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca üretilen numunelerin elektro erozyon tezgahında farklı akım ve vurum süresi değerlerinde işlenebilirliği incelenmiştir.

BÖLÜM 2

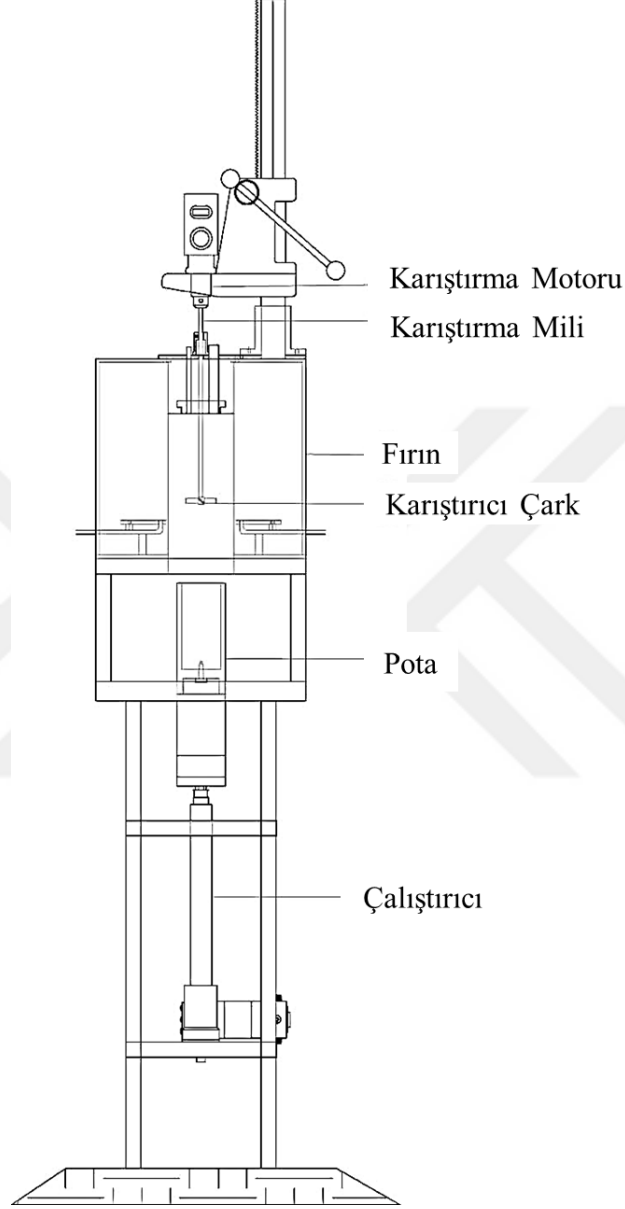
LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Endüstride kompozit malzemeler çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemelerden beklenen özellikler, kullanım alanına yönelik olarak çeşitlilik göstermektedir. Bunlar; dayanım, sertlik, tokluk, hafiflik, aşınma korozyon direnci, ısı yalıtımı-iletimi, elektrik iletimi, titreşim iletimi, radyoaktif yalıtım, düşük maliyet, üretilebilirlik vb. dir. Kompozit malzemeler, üretim yöntemlerinin ve malzeme kompozisyonunun izin verdiği ölçüde tasarlanabilir olmaları kompozit malzeme üretim yönteminin önemini ortaya çıkarmaktadır. Kompozit malzeme üretimi için kullanılan yöntemler, üretilen malzemelerin (mekanik, ısıl, radyoaktif, elektriksel) özellikleri, üretimde kullanılacak olan ana faz ve takviye elemanlarının tür ve oranları günümüz araştırmalarına konu olmaktadır.

2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİNİ KONU ALAN BAZI ÇALIŞMALAR

Naher ve ark. “MAK malzeme üretimi için yeni kompozit malzeme üretim sistemi tasarımı, geliştirilmesi ve değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, MAK malzeme üretiminde kullanılan üretim sisteminin tasarımı ve imalatı ile kompozit üretimi ve üretimi yapılan MAK malzemenin üretim parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, AA356 malzemesini ana faz, 30 µm boyutunda SiC malzemesini takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Ana faz ve takviye elemanı paslanmaz çelikten imal edilmiş bir karıştırıcıyla 200-500 dev/dak hızlarında karıştırmışlardır. Araştırmacılar, karıştırma döküm yöntemiyle MAK deney numunesi üretimi esnasında herhangi bir ıslatıcı kullanmadan alüminyum ana faz ve SiC takviye elemanın arasındaki bağ oluşumunu yarı katı fazda sağlamışlardır. Çalışmalarında kullanılan kompozit malzeme üretim sisteminin genel görünümü Şekil 2.1’de verilmiştir [25].

Naher ve ark., üretimini gerçekleştirmiş oldukları deney numunelerinin katı sıvı halde üretilmesinin tanecik dağılımlarını homojenleştirdiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 2.1. Karıştırıcılı MAK malzeme üretim tezgahı şematik görünümü [25].

Amirkhanlou ve Niroumand, SiC takviye elemanlı kompozitlerin döküm yöntemiyle üretiminde takviye elemanı ilavesinin geliştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında, üç farklı kompozit malzeme (Al-SiC, Al-SiC-Mg, SiC) üretmişlerdir. Üç farklı kompozit malzeme üretiminde kompozit karışımı tamamen sıvı ya da yarı katı haldeyken döküm işlemini gerçekleştirmişlerdir. Döküm işlemi sırasında kompozit

malzeme karışımının sıvı ya da yarı katı hali ile takviye elemanının ilave biçiminin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarında, kompozit malzeme karışımının yarı katı haldeyken gerçekleştirilen döküm işlemi ile elde edilen kompozit malzemelerin tam sıvı hal üretim yöntemiyle üretilen kompozit malzemelere göre daha homojen olduklarını ve 3-8 μm boyutunda ilave edilen takviye elemanın ana fazla oluşturduğu ara bağların daha kuvvetli olduğunu belirtmişlerdir [26].

Amirkhanlou ve ark. “Yarı hal ve soğuk haddeme işlemi ile yüksek mukavemetli, yüksek parçacık dağılımlı kompozit malzeme üretimi” isimli çalışmalarında, yarı katı hal kompozit üretim yöntemi ile ürettikleri kompozit malzemelere uygulanan haddeme ve döküm işlemleri uygulamasının mukavemet ve takviye elemanı dağılımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, ürettikleri kompozit malzemelerde ana faz malzemesi olarak AA6061, takviye elemanı olarak da SiC malzemesi kullanılmıştır. Çalışmada, 1,5 lt pota içine alınan ana faz malzemesi 670 °C’ye ısıtılmış ve 500 dev/dak hızla servo kontrollü motor yardımıyla karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken fırın içi sıcaklığı kademeli olarak düşürülmüştür. Malzeme sıvı halde katılaşmaya başladıktan sonra (0,2 oranında katılaşma gerçekleştiğinde) argon koruyucu gaz ortamında %10 oranında takviye elemanı ilave edilmiştir. Elde edilen MAK malzeme, çelik bir kalıba dökülmüş ve soğutulmuştur. Haddelenmek istenilen numuneler 150 mm uzunluk ve 10 - 50 mm kalınlıklarında haddelenmiştir. Normal döküm numuneleri ile haddelenmiş numuneleri; gözeneklilik, parçacık dağılımları ve mekanik özellikleri açısından incelemişlerdir. Araştırmacılar, döküm işleminin soğuk haddemeye göre daha fazla gözenek içerdiğini, soğuk haddeme yönteminde takviye elemanları kümelenmesinin önüne geçildiğini, soğuk haddemede paso derinliğinin arttırılmasıyla çekme mukavemetinin arttığı ve haddeme işleminin tokluğu arttırdığını belirtmişlerdir [27].

Cöcen ve Önel, “Ekstrüzyon yapılmış SiC/Alüminyum alaşımlı kompozitlerin tokluğu ve mukavemeti” isimli çalışmalarında, döküm ve ekstrüzyona uğratılmış kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini içerdikleri takviye elemanı yüzdelere göre incelemişlerdir. Bu amaçla, ana faz olarak Al - 5%Si - 0.2%Mg (AlSi5) malzemesi, takviye elemanı olarak da 15-30 μm boyutlarında SiC malzemesi kullanılmıştır.

Üretim esnasında takviye elemanı hacimsel olarak sırasıyla % 9, 13, 17 ve 22 oranında argon gazlı ortamda ilave edilmiştir. Deney numunelerini 35 mm çap ve 70 mm boyunda kalıp yöntemini kullanılarak üretimini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen numunelerin bir kısmı 500 °C sıcaklıkta ekstrüzyon kullanılarak 600 mm boy ve 10 mm çapa getirilmiştir. Döküm sırasında oluşan kümelenme ve gözenekliliğin ekstrüzyonla üretimi gerçekleştirilen numunelerde azaldığı, akma dayanımlarının arttığı, SiC oranı arttıkça tokluğun azaldığı fakat ekstrüzyonla üretilen numunelerde arttığını belirtmişlerdir [28].

Aniban ve ark. “Alüminyum ana fazlı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan karıştırıcı parametreleri” isimli çalışmalarında, karıştırma döküm işleminde kullanılan karıştırıcı kanatlar ile kimya mühendisliğinde kullanılan karıştırma tekniklerini ıslatılabilirlik açısından kıyaslamışlardır. Aniban ve ark. yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, kompozit malzemenin karıştırma döküm yöntemiyle üretilmesi sırasında kullanılan karıştırıcı kanatların kimya mühendisliği standartlarından daha farklı olduğunu ifade etmişlerdir [29].

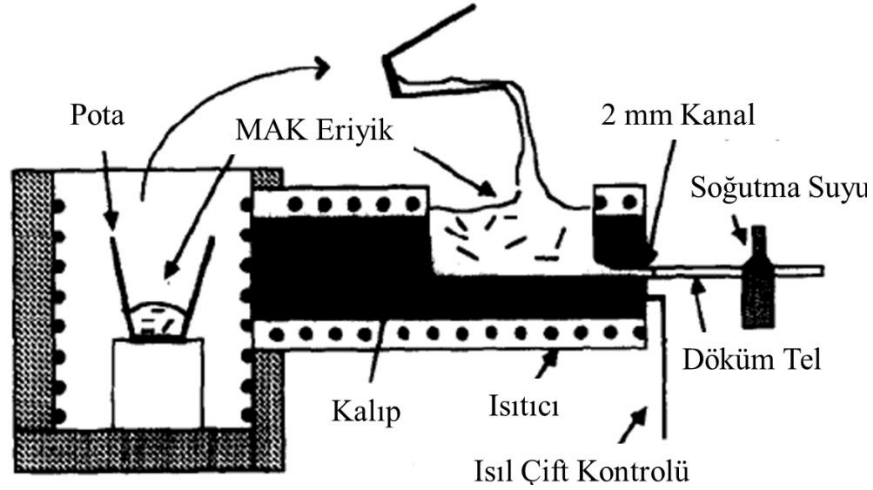
Çetin ve Kalkanlı, katılma hızının AA356 alaşımlı kompozitlerde SiC parçacıklarının uzamsal dağılımına etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, MAK üretiminde katılma hızının kompozit malzemeye etkisini incelemişlerdir. Ana faz malzemesi olarak AA356, takviye elemanı olarak da 29.2 µm boyutlarında SiC kullanmışlardır. Kompozit malzeme üretimi için karıştırma döküm yöntemini kullanmışlardır. Çetin ve Kalkanlı, ana faz malzemesi 350 °C’de yarı katı haldeyken içerisine SiC takviye elemanı eklemişlerdir. Sonuç olarak, yüksek soğuma hızlarında kümelenme eğiliminin arttığını ve dentrit fazının yavaşça azalan soğuma hızlarında azaldığını belirtmişlerdir [30].

Hashim ve ark., “Metal ana fazlı kompozitlerin karıştırma yöntemi ile üretimi” isimli çalışmalarında, MAK malzemenin karıştırma yöntemiyle üretiminde ortaya çıkan problemleri (homojen takviye elemanı dağılımı, ıslatılabilirlik, gözeneklilik kusuru, ana faz ve takviye eleman arasında bağ oluşumları) incelemişlerdir. Ayrıca, düşük ıslatılabilirlik ve gözeneklilik problemlerinin sebeplerini ve çözüm yöntemlerini de

araştırmışlardır. Gözeneklilik probleminin çözümü için basınç uygulama miktarı ve süresinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir [31].

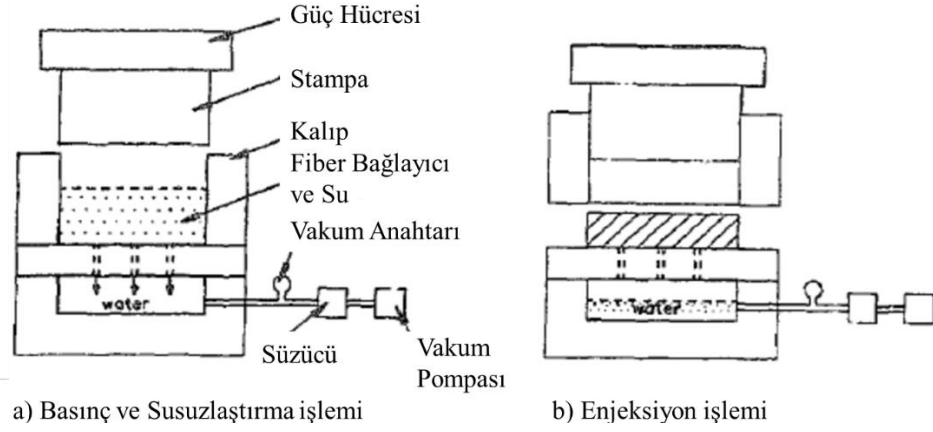
Krishna ve Xavior, melez metal ana fazlı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemek için yapmış oldukları çalışmalarında, ana faz malzemesi olarak AA6061, takviye elemanı olarak da 37 μm boyutunda SiC ve 1 μm boyutunda grafitin karıştırılmasıyla elde edilen takviye elemanı karışımını kullanmışlardır. Karıştırma döküm yöntemini kullanarak kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen numunelerin mikro yapıları SEM ve optik mikroskop (OM) yardımıyla incelenmiş, mekanik özellikleri çekme testine tabi tutularak belirlemişlerdir. Karishana ve Xaviar, ürettikleri kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin takviye oranının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir [32].

Mc Lean ve ark. “SiC takviyeli, alüminyum ana fazlı kompozit tel ve çubukların yeni sürekli döküm yöntemiyle üretimi” isimli yaptıkları çalışmalarında, kaynak elektrotu üretimini MAK kompozit malzemeden ohno sürekli döküm (OCC) yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, yüksek dayanımlı ve iyi dökülebilirlik özelliği olan AA356 alaşımını ana faz malzemesi, SiC’ü ise takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Kompozit malzemelerin üretimi sırasında kullanılan farklı döküm hızları, elektrot tel üretimi için kullanılan kalıplarda ısıtıcıların mesafeleri ve oluşan kimyasal bileşim tiplerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, elde edilen numunelerin mikro yapı incelemelerini optik mikroskop ve enerji dağılımı X-ışını analizi (EDX) cihazlarında gerçekleştirmişlerdir. McLean ve arkadaşları, MAK malzemelerin üretiminde kullanılan yöntemin elektrot tel üretiminde kullanabileceğini, ilerleme hızının (2 mm/dak) homojen dağılım için önemli olduğunu ve hızlı döküm işlemlerinde homojen yapı elde edildiğini ifade etmişlerdir. MAK kaynak elektrotu üretiminde kullanılan ohno sürekli döküm sisteminin genel görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir [33].

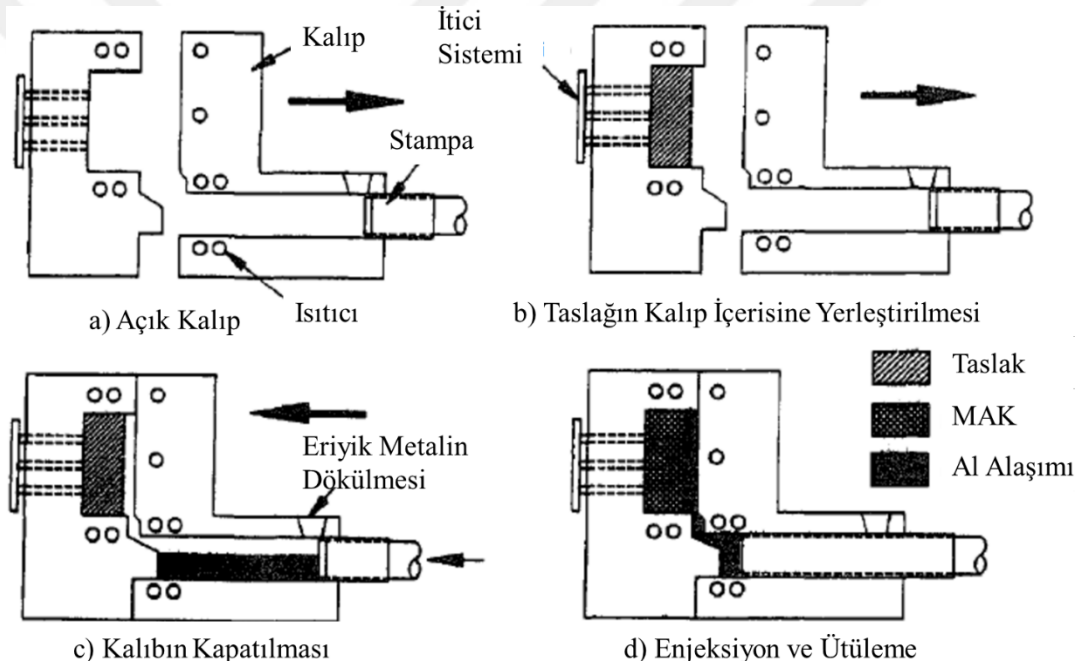


Şekil 2.2. Ohno sürekli döküm (OCC) yönteminin genel görünümü [9].

Kang ve Yun, fiber takviyeli metal-ana fazlı kompozitlerin döküm tekniği ile imalatı ve mekanik özelliklerinin araştırılması isimli çalışmalarında, iki aşamadan oluşan infiltrasyon yöntemiyle MAK malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Birinci aşamada takviye elemanı olarak kullanılan fiber malzemeye vakumlu bir kalıp ve bağlayıcı malzemelerle taslak şekil verilmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılan fiber malzeme, sıvı ana fazın içerisine nüfuz edilebileceği şekilde süngerimsi ve boşluklu yapıda olacak şekilde üretilmiştir. İkinci aşamada ise takviye elemanı, başka bir kalıba yerleştirilmiş sıvı haldeki ana faz malzemesiyle belirli bir basınç altında birleştirilmiştir. Kang ve Yun, infiltrasyon kalıplama yöntemiyle kompozit malzeme üretimi sırasında kullanmış oldukları parametrelerin malzeme üretimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacıların takviye elemanı hazırlama sürecinde kullanmış oldukları sistem, Şekil 2.3’de gösterilmiştir [34]. Kang ve Yun, kompozit malzeme üretiminde kullanılacak takviye elemanı taslağının üretiminden sonra takviye elemanı döküm işleminin yapılacağı ana kalıba almışlardır. Taslak takviye elemanı 180 °C’ ye kadar ısıtıldıktan sonra eriyik haldeki alüminyum farklı enjeksiyon hızlarında, basınçlı bir şekilde kalıp boşluğuna gönderilmiş ve eriyik malzeme boşluklu yapıdaki takviye elemanına nüfuziyeti sağlanmıştır. Enjeksiyon işleminin tamamlanmasından sonra elde edilen numunelere T6 ısıtım işlemi yapılması amacıyla 8 saat boyunca 540 °C’ de tutulmuş ve oda sıcaklığındaki su içerisinde soğutulmuştur. Şekil 2.4’de taslak fiber malzemeden enjeksiyon yoluyla MAK malzeme üretim aşamaları genel olarak gösterilmiştir [34].



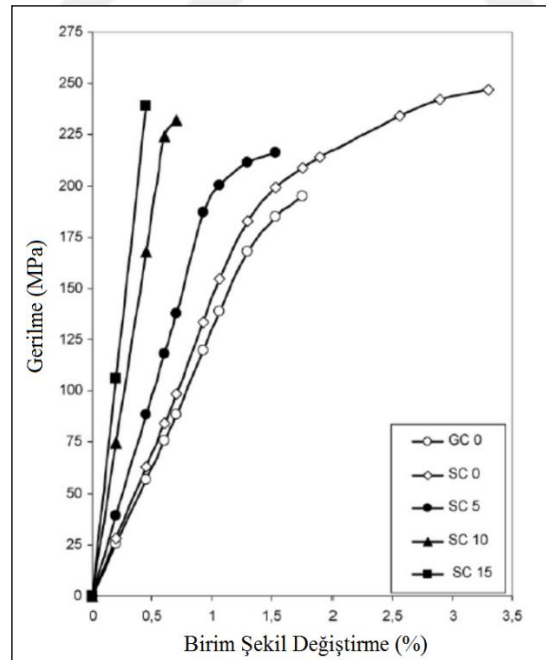
Şekil 2.3. Takviye elemanı hazırlama aşamaları a) basınç ve susuzlaştırma işlemi, b) enjeksiyon işlemi [10].



Şekil 2.4. Kompozit malzeme üretim aşamaları a) açık kalıp, b) takviye elemanının kalıba yerleştirilmesi, c) kalıbın kapatılması, d) enjeksiyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimi ve ütölleme işlemi [10].

Ayrıca numuneler 155 °C’ de 210 dak yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş ve havada soğutulmuştur. Kang ve Yun, taslak malzemenin üretilmesi işlemlerinde kullanılan karıştırma hızının, karıştırma süresinin, kalıplama basıncının, ergimiş ana faz kalıp sıcaklıklarının ve uygulanan ütölleme basıncının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Sertlik ve mukavemet değerlerinin fiber kalınlıkları ile değiştirilebileceğini ayrıca ısıtılma işlemle malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Onat ve ark., “Direkt sıkıştırırmalı döküm yöntemi ile silisyum karbür partikül takviyeli alüminyum-bakır alaşımlı ana faz kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu” isimli çalışmalarında, direkt sıkıştırırmalı döküm işlemi ile kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı miktarının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında ana faz olarak Al-4,5Cu-3Mg alaşımını, takviye elemanı olarak da SiC parçacıklarını kullanmışlardır. Ana faz içerisine takviye elemanı ilavesi 700 °C’ de gerçekleşmiştir. Hacimsel olarak %5, %10 ve %15 oranlarında takviye elemanı içeren kompozit karışımı elde etmişlerdir. Kompozit malzeme üretim işlemini 100 MPa’lık basınç altında gerçekleştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları deney numunelerinin mikro yapı ve mekanik özellikleri; SEM, sertlik (brinel), yoğunluk, mikro yapı testleri ile incelemişlerdir [35]. Onat ve ark. kompozit malzeme üretim işlemi sonrasında yapmış oldukları mikro yapı ve mekanik özellikleri belirleme testlerinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numunelerin takviye % oranlarının artışı sertlik ve yoğunluk artışına neden olduklarını belirtmişlerdir. Takviye oranının malzeme mukavemetine etkisi Şekil 2.5’de grafik, sertlik değerlerine etkisi ise Çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 2.1) [35].

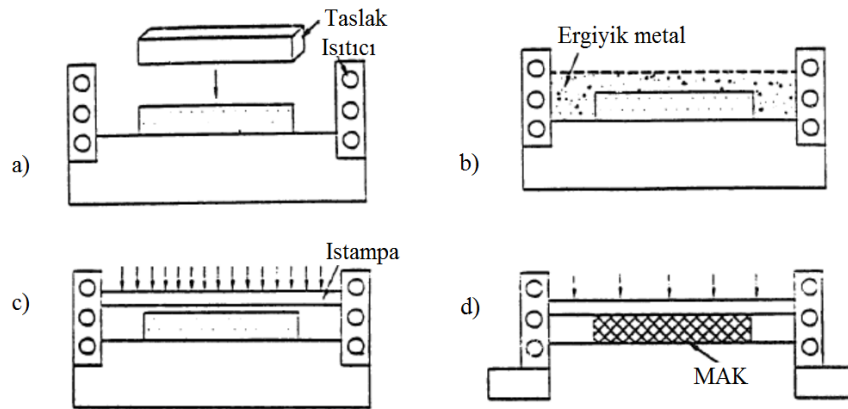


Şekil 2.5. Farklı takviye oranlarının birim şekil değiştirme-gerilmeye etkisini gösteren grafik [35].

Çizelge 2.1. Farklı takviye oranları kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş kompozit malzemelere ait sertlik değerleri [35].

Numune	Sertlik değeri (BHN)
GC 0	$94 \pm 2,79$
SC 0	$100 \pm 1,94$
SC 5	$112 \pm 1,18$
SC 10	$132 \pm 2,19$
SC 15	$139 \pm 2,41$

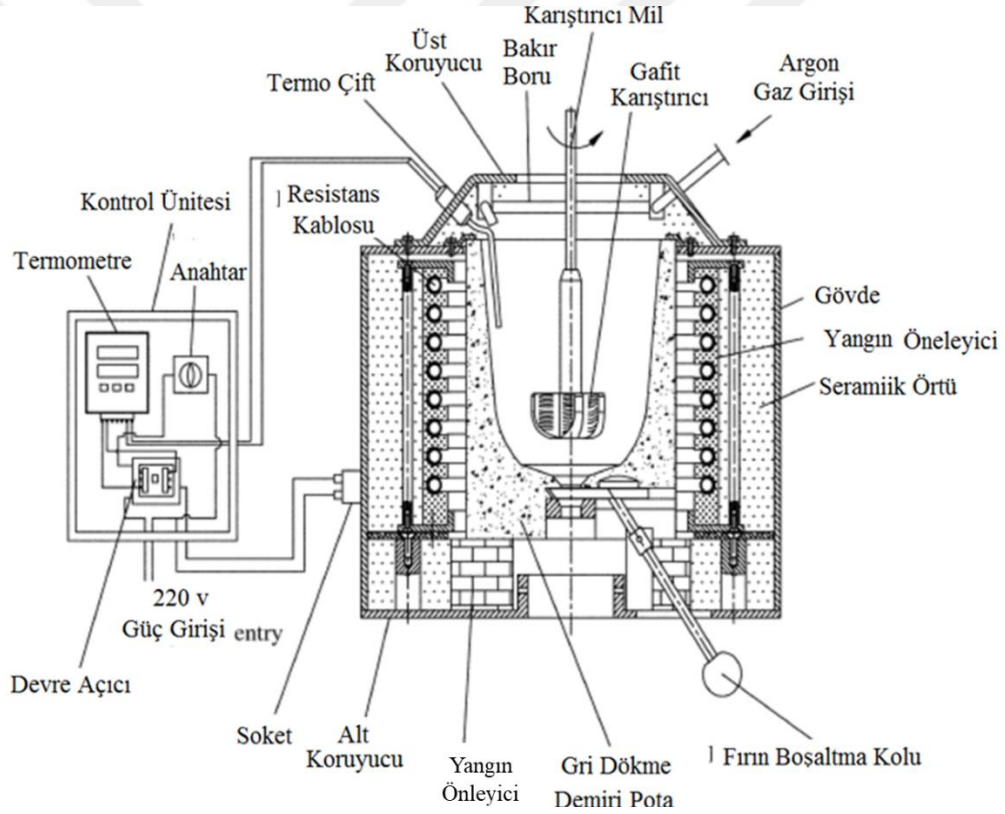
Kang ve Seo, infiltrasyon yöntemiyle kısa fiber takviyeli MAK malzeme üretiminde kullanılan parametrelerin; ıstampa hızları, işlem sıcaklıkları, bağlayıcı miktarları, fiber takviye elemanı hacmi ve uygulama basıncının malzeme mukavemeti üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, AA2024' ü ana faz, kısa fiber Al_2O_3 ' i de takviye elemanı olarak kullanılmışlardır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan infiltrasyon üretim ünitesinin işlem basamakları Şekil 2.6' da gösterilmiştir. Takviye elemanı hacimsel olarak %10, %15 ve %20 oranlarında kullanılarak 100x24x24 mm ebatlarında karışık dağılımlı fiber MAK malzemeler elde etmişlerdir. Kang ve Seo, akma gerilmesinin çoğunlukla fiber hacmi ile ilişkili olduğunu, fazla bağlayıcı kullanılması ve çok yüksek sıcaklıklarda işlemin gerçekleştirilmesinin kompozit malzemenin mukavemetini zayıflatığı sonucuna varmışlardır [36].



Şekil 2.6. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan infiltrasyon üretim ünitesinin işlem basamakları a) taslağın yerleştirilmesi, b) eriyik metalin havuza alınması, c) basınç uygulama, d) malzemenin elde edilmesi [36].

Şahin, “SiC partikül takviyeli alüminyum alaşımlı kompozitlerin hazırlanması ve bazı özellikleri” isimli çalışmasında, alüminyum ana fazlı kompozit malzemenin karıştırma ve basınçlı döküm yöntemiyle üretilmesini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, AA2024

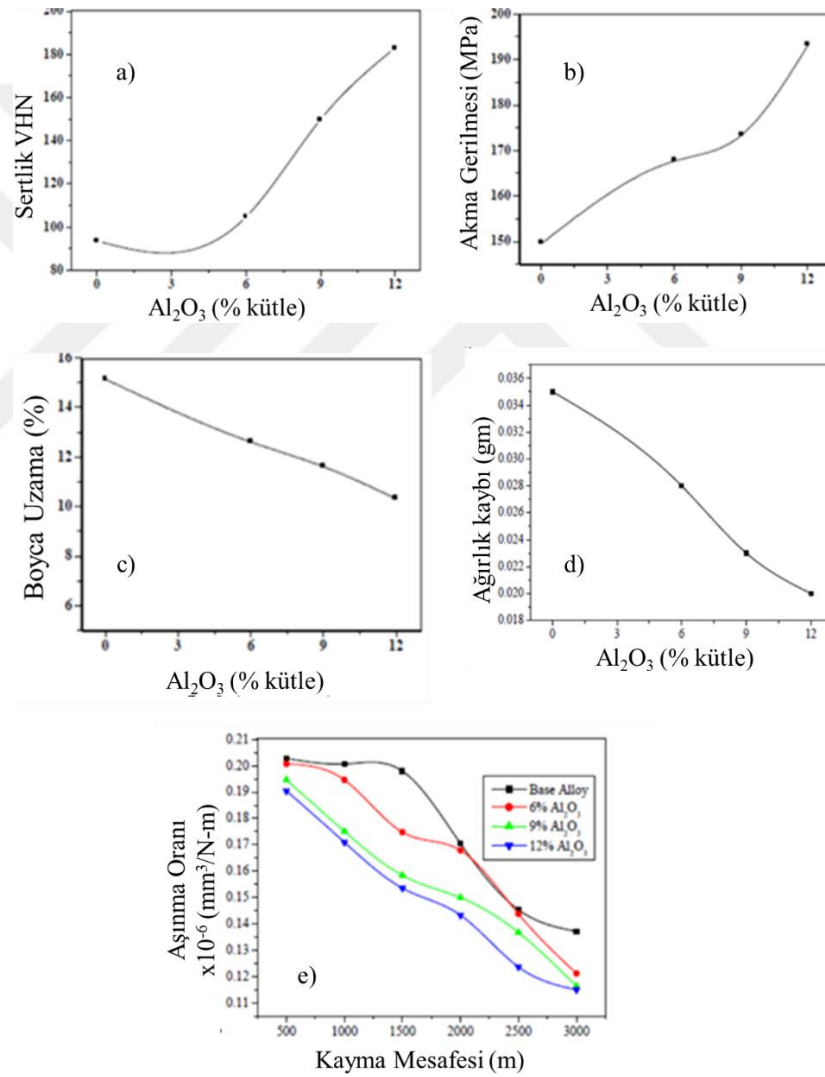
malzemesinin ana faz, SiC malzemesinin de takviye elemanı olarak kullanıldığı bir kompozit malzeme üretmiştir. Kompozit malzeme için kullanılan takviye elemanını 29, 45 ve 110 μm olmak üzere üç farklı boyutlarda ve hacimsel olarak %10 ve %20 olacak şekilde hazırlanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan karıştırma ve serbest döküm üretim ünitesinin kesit görünümü Şekil 2.7’de verilmiştir. Şahin, döküm işlemi sonrasında üretilen malzemelerde mikro yapı oluşumunu incelemiş ve numuneleri talaşlı işleme tabi tutmuştur. Sonuç olarak paketler halinde takviye elemanı ilave işleminin, takviye elemanının dağılımını iyileştirdiğini, parçacık oranının artmasıyla gözenekliliğin arttığını ve parça boyutunun artmasıyla gözenekliliğin azaldığını ifade etmiştir [37].



Şekil 2.7. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan karıştırma ve serbest döküm üretim ünitesinin genel görünümü [37].

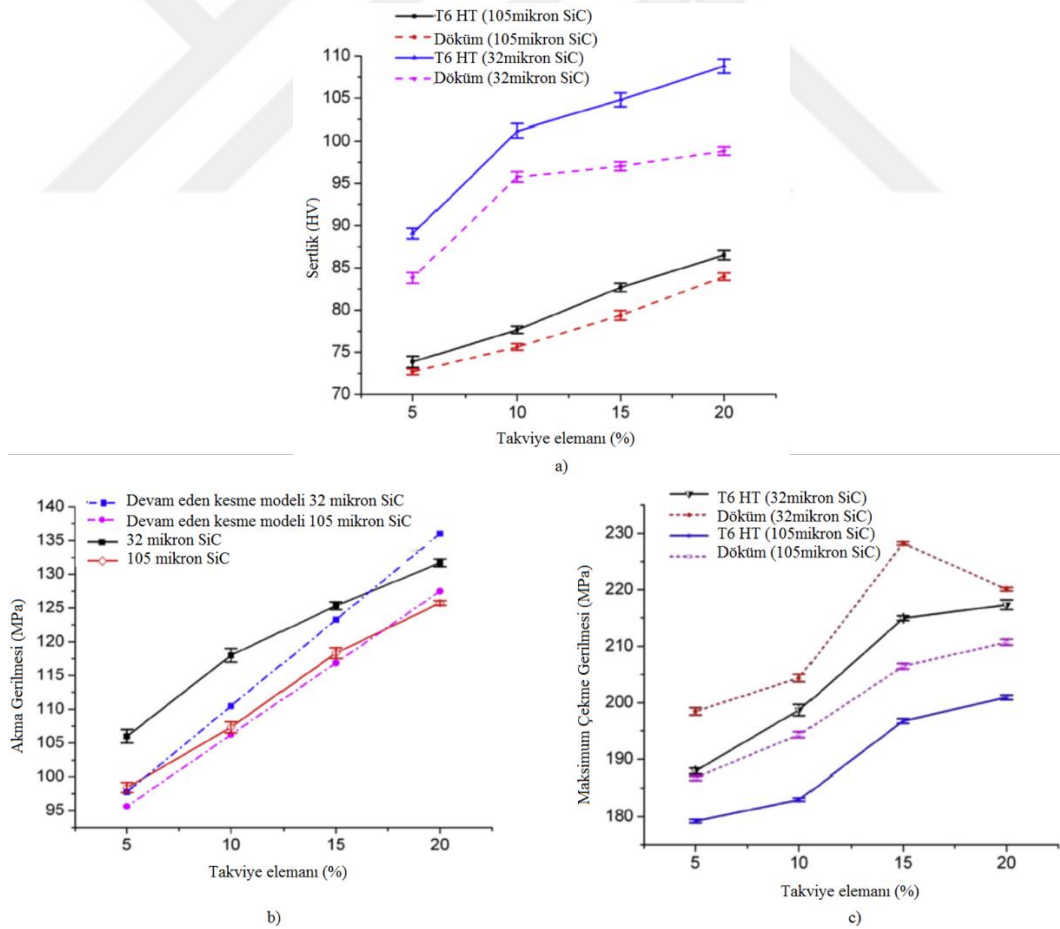
Bharath ve ark., MAK'ların karıştırma döküm yöntemiyle hazırlanması ve mekanik aşınma özellikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, alüminyum ana fazlı kompozit malzemenin karıştırma döküm yöntemiyle imalatı sırasında takviye elemanının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, ana faz olarak AA6061, takviye elemanı olarak da 125 μm boyutlarında Al_2O_3 kullanmışlardır. Kompozit

malzeme üretimi sırasında takviye elemanı ilavesini kütle olarak %6, %9 ve %12 oranlarında gerçekleştirmişlerdir. Elde etmiş oldukları malzemelerin mukavemetlerini, yoğunluklarını, sertliklerini, mikro yapılarını ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Bharath ve ark., yaptıkları çalışmaların sonucunda takviye elemanı oranının artmasıyla sertliğin ve akma dayanımının arttığını, %12 oranında Al_2O_3 içeren kompozit malzemede en az aşınmanın gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacıların elde ettikleri malzemelere ait mekanik özellik değerleri Şekil 2.8’de grafikler halinde gösterilmiştir [38].



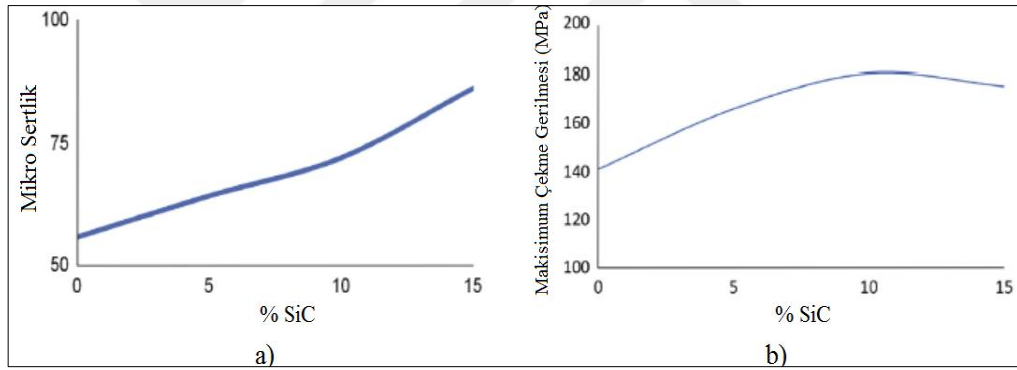
Şekil 2.8. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelere ait mekanik özellikleri; a) sertlik, b) akma gerilmesi, c) boyca uzama, d) ağırlık kaybı, e) aşınma dayanımı değerleri grafikleri [38].

Aravından ve ark., “İki aşamalı karıştırma işlemi ile üretilen AZ91D/SiC kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, magnezyum ana fazlı (AZ91D) kompozit malzemenin iki aşamalı karıştırma döküm yöntemiyle üretimini ve T6 ısıl işlemi ile mekanik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Bu amaçla, 32-105 μm boyutlarında SiC malzemesini takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Elde etmiş oldukları numunelerin, mekanik ve mikro yapı özelliklerini belirlemek için çekme test cihazı, SEM ve XRD cihazlarını kullanmışlardır. Aravından ve ark. çalışmaları sonucunda, deney numunesi üretim işlemi sırasında oluşan intermetalik yapının takviye elemanından ziyade alaşım elementlerinden kaynaklandığını ve küçük taneli takviye elemanı ile üretilen kompozit malzemelerin daha iyi mekanik özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir. Takviye elemanı oranının mekanik özelliklere etkileri Şekil 2.9’da grafik olarak gösterilmiştir [39].



Şekil 2.9. Takviye elemanı oranının mekanik özelliklere olan etkisi; a) sertlik, b) akma gerilmesi, c) maksimum çekme gerilmesi [39].

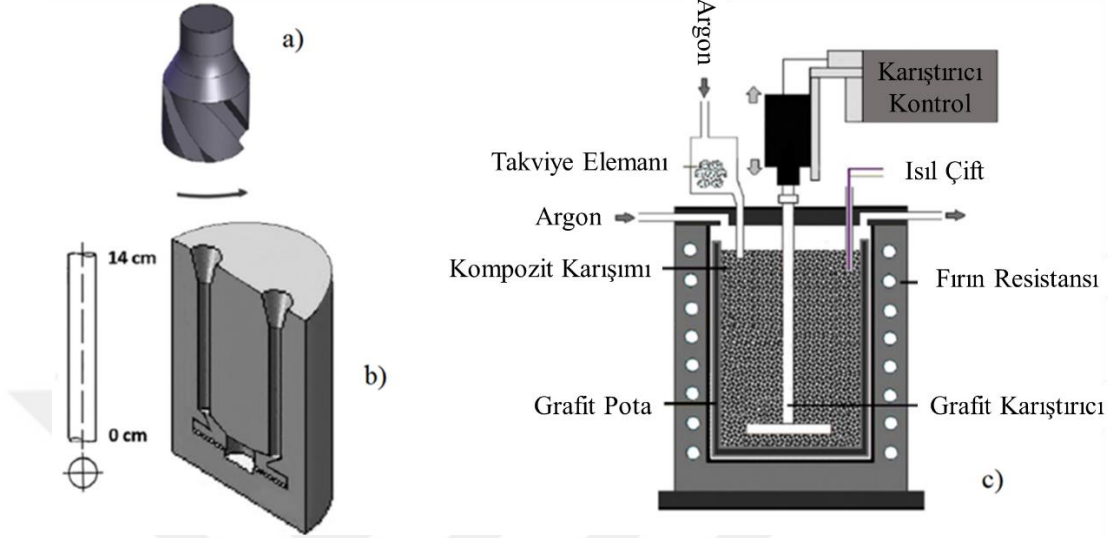
Balasubramania ve Maheswaran'ın MAK malzemelerin üretimi esnasında takviye elemanı boyutu ve oranlarının mekanik özelliklere etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, MAK malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzeme üretiminde ana faz malzemesi olarak AA6063, takviye elemanı olarak da 17 - 20 μm boyutlarında SiC malzemesini (%5, %10 ve %15 kütle yüzdelğinde), döküm yöntemi olarak da karıştırma döküm yöntemini kullanmışlardır [40]. Balasubramania ve Maheswaran, üretmiş oldukları kompozit malzemelerin akma gerilmelerini ve farklı zorlama tipleri karşısındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında, takviye elemanı yüzdesinin artmasıyla sertliğin arttığını, %15 takviye elemanlı kompozit malzemenin sertliğinin %50 oranında arttığını ve takviye elemanı yüzdesinin artmasıyla akma dayanımının da arttığını ifade etmişlerdir. Şekil 2.10'da üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin sertliği ve çekme gerilmesinin yüzde takviye elemanı ile değişim grafikleri verilmiştir [40].



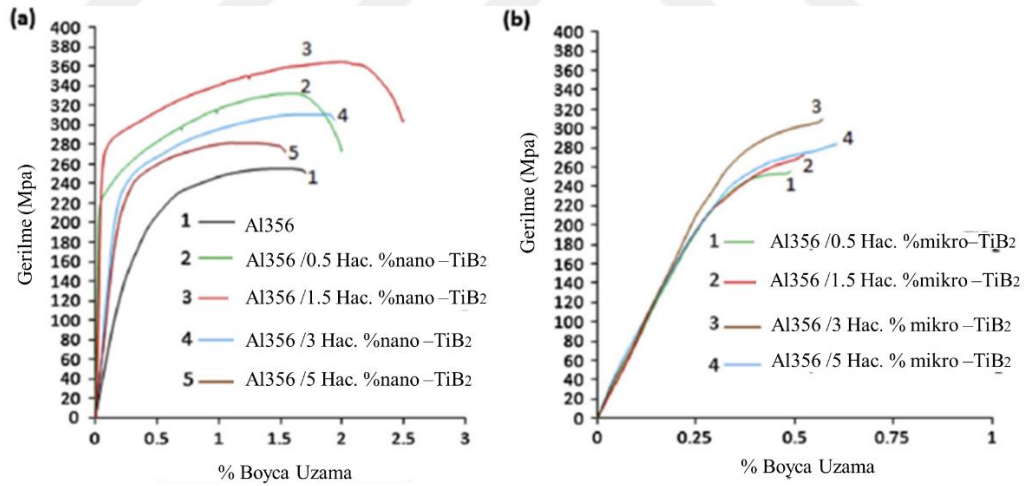
Şekil 2.10. Yüzde takviye elemanı oranına göre; a) mikro sertlik, b) maksimum çekme gerilmesi değişim grafiği [40].

Akbari ve ark., nano/mikro TiB_2 partikül takviyeli kompozitlerin gerilme ve kırılma davranışlarını inceledikleri çalışmalarında, karıştırma döküm işlemi sırasında döküm sıcaklığının malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, kompozit malzeme üretiminde ana faz malzemesi olarak AA356, takviye elemanı olarak da 20 nm - 5 μm boyutlarında TiB_2 malzemelerini kullanmışlardır. Takviye elemanına ek olarak bazı numunelere farklı oranlarda nano takviye elemanı da eklemişlerdir. Üretimin yapıldığı ünite; karıştırıcı ve döküm kalıbının genel görünimleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir [41]. Akbari ve ark., yaptıkları çalışmanın sonucunda %1,5 nano takviyeye sahip kompozit malzemenin çekme (%43) ve boyca

uzamanın (%27) saf alüminyuma göre arttığını ifade etmişlerdir. Şekil 2.12’de numunelere ait çekme grafikleri verilmiştir [41].



Şekil 2.11. Kompozit malzeme üretiminin yapıldığı ünitenin; a) karıştırıcı, b) döküm kalıbı, c) ünitesinin kesit görünümü [41].

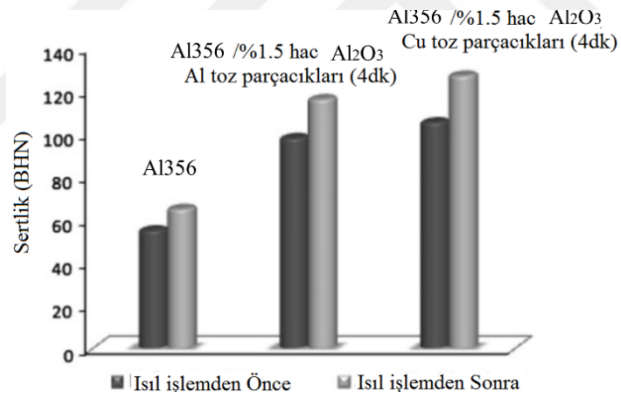


Şekil 2.12. Takviye elemanı boyutlarına göre kompozit malzemelerin birim şekil değişimi-gerilme grafikleri; a) nano takviyeli, b) mikro takviyeli [41].

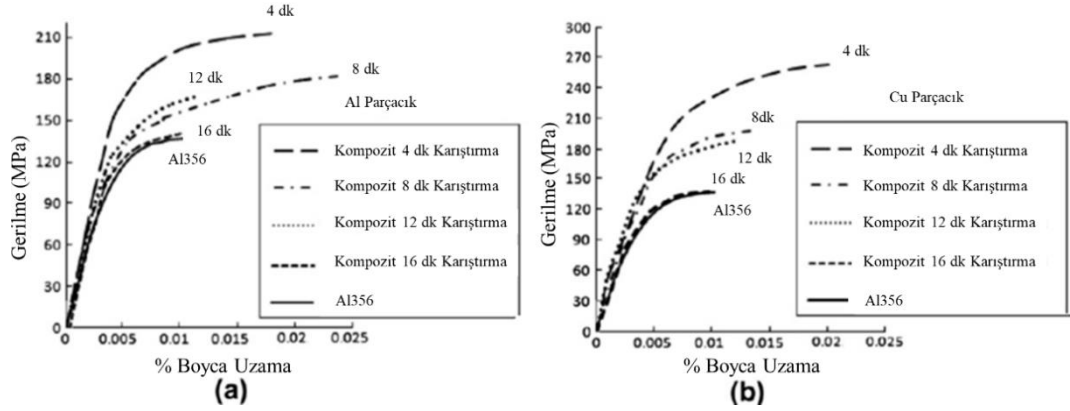
Akbari ve ark., nano boyuttaki partikül takviyeli alüminyum ana fazlı kompozitlerin üretiminde kullanılan üretim parametrelerinin ve ısıtılmasının, malzemenin mekanik özelliklerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, ana faz malzemesi olarak AA356, takviye elemanı olarak ise nano boyutlu Al_2O_3 'i kullanmışlardır. Ayrıca ısılatılabilirlik arttırmak için kullanılan Cu tozunun ve karıştırma süresinin kompozit malzemenin

mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, kompozit malzeme üretimi sırasında 4, 8, 12 ve 16 dakika olmak üzere 4 farklı sürede karıştırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca karıştırma döküm ile elde edilen numuneleri T6 ısıtıl işlemine tabi tutmuşlardır. Numuneler T6 ısıtıl işlemi öncesi 8 saat 495 °C’de, 2 saat 520 °C’de sıcaklıkta bekletildikten sonra 40 °C’de su ile soğutulmuş ve yapay yaşlandırma işlemi için 180 °C’de 8 saat ısıtılmıştır [42].

Akbari ve ark. yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, ısıtıl işlem görmüş alüminyum ana fazlı kompozit malzemenin ısıtıl işlem görmemiş alüminyum ana fazlı kompozit malzemeye göre daha ince taneli olduğunu belirtmişlerdir, Karıştırma süresinin 4 dakika kullanılarak üretimi gerçekleştirilen Al_2O_3 -Cu takviyeli numunelerde en yüksek sertlik değerinin elde edildiğini ifade etmişlerdir. Numuneler ait sertlik değerleri Şekil 2.13’de, birim şekil değiştirme - gerilme grafikleri ise Şekil 2.14’de verilmiştir [42].

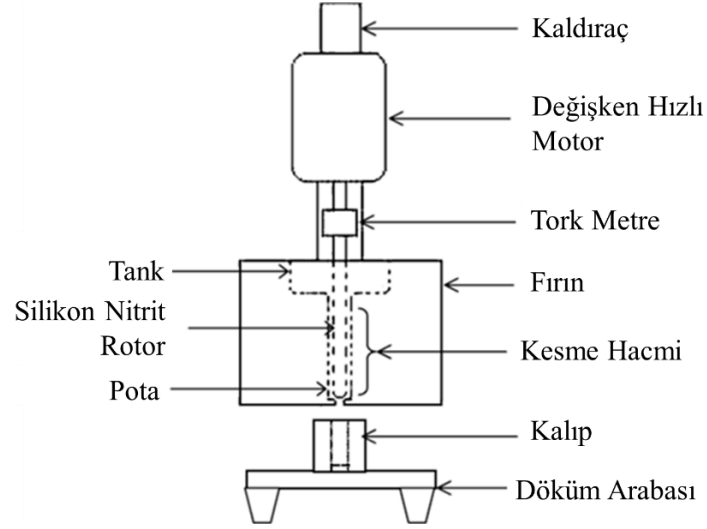


Şekil 2.13. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değerleri [42].



Şekil 2.14. Farklı karıştırma süresi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin birim uzama – gerilme grafikleri a) Al toz parçacık ilaveli numuneler, b) Cu toz parçacık ilaveli numuneler [42].

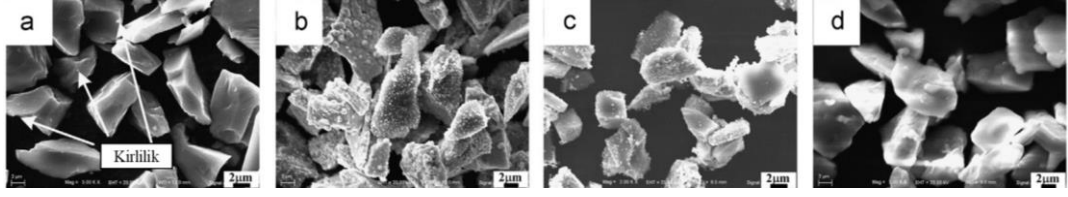
Brabazon ve ark., alüminyum alaşımlarının katı-sıvı hal durumlarında karıştırma döküm yöntemi ile üretilebilirliği çalışmalarında, karıştırma döküm yöntemiyle sıvı ve katı-sıvı hal üretimi yapabilen bir döküm ünitesi tasarlayarak imalatını gerçekleştirmişlerdir. Karıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretimi sırasında kullanılan karıştırma hızı, karıştırma sayısı ve karıştırma hacmi parametrelerinin üretilen malzemenin mikro yapı, statik ve dinamik mukavemetleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Karıştırma ve döküm işleminin gerçekleştirildiği yarı hal karıştırma döküm ünitesinin Şekil 2.15’de genel görünümü verilmiştir [23]. Brabazon ve ark., yarı katı hal karıştırma döküm yöntemi kullanarak üretilen kompozit malzemenin yüksek mukavemete sahip olduğunu, sıvı hal karıştırma döküm yöntemiyle elde edilen kompozit malzemeye göre daha az göznekliliğe sahip olduğunu ifade etmişlerdir [23].



Şekil 2.15. Sıvı, katı-sıvı hal karıştırma döküm ünitesi genel görünümü [23].

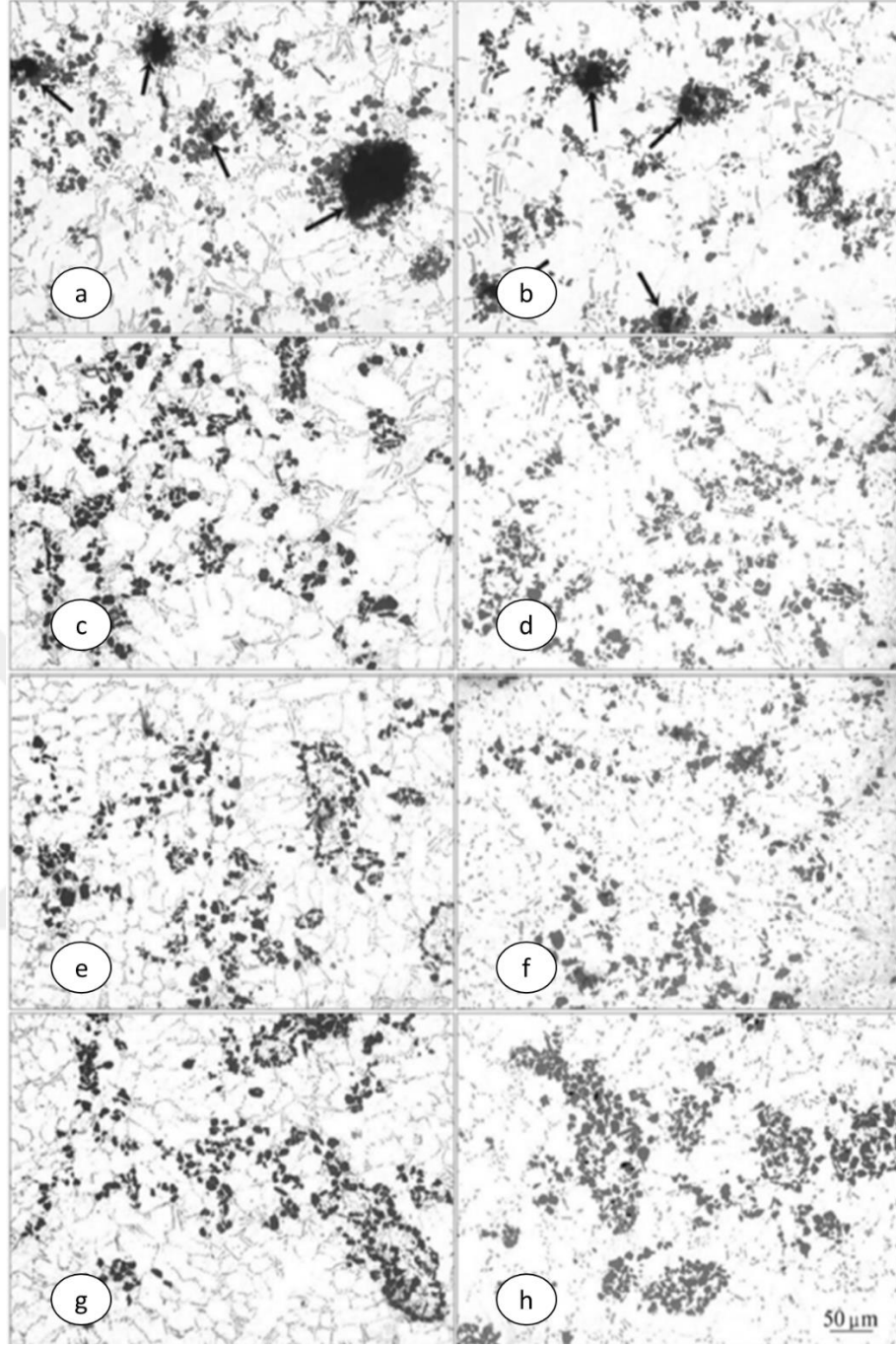
Davis ve ark., “Metal ana fazlı kompozitlerin mikro yapılarının güçlendirilmesi” isimli çalışmalarında, kompozit malzemelerin mukavemet ve mikro yapısını etkileyen faktörleri sonlu eleman modeli ile belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, simülasyon ve mukavemet analizlerinde daha önceden üretimi gerçekleştirilmiş %30 SiC içeren kompozit malzeme ait deneysel veriler kullanılmıştır. Davis ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalar sonucunda, sonlu eleman analizi ile elde edilen değerlerin %30 SiC gösteren malzemenin gerilme değerleri ile benzerlik gösterdiğini, ayrıca takviye elemanı boyutunun çatlak oluşumunu etkilediğini belirtmişlerdir [43].

Zhang ve ark., takviye elemanı yüzeyinin kaplanması kompozit malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, takviye elemanlarını farklı elementlerle kaplanmasının üretilen malzemenin mikro yapı ve mukavemetine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, AA2024 malzeme ana faz, 5 μm boyutundaki nikel kaplanmış SiC, bakır kaplanmış SiC ve oksidasyona uğratılmış SiC partikülleri de takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Kompozit malzeme, karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Takviye elemanlarının kaplama işlemi görmüş ve görmemiş hallerinin SEM görüntüleri Şekil 2.16’da verilmiştir. Zhang ve ark., yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, oksit ve nikel kaplamalı takviye elemanlarının kullanıldığı kompozit malzemelerde daha homojen yapının elde edildiğini belirtmişlerdir [44].



Şekil 2.16. Farklı kaplama uygulanmış SiC takviye elemanlarının SEM görüntüleri a) işlem görmemiş, b) nikel kaplanmış, c) bakır kaplanmış, d) oksidasyona uğratılmış [44].

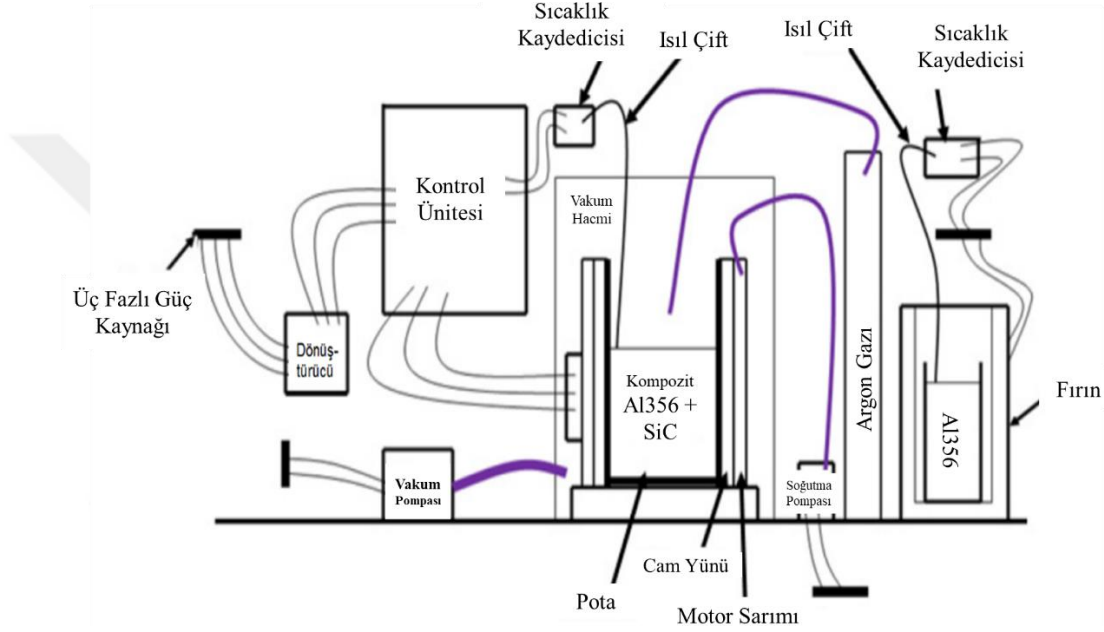
Dong ve ark., “Farklı katılaşma basınçlarında AA356–10% SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mikro yapıları ve özellikleri” isimli çalışmalarında, AA356 malzemesini ana faz, SiC malzemesini de (10 µm) takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Bu amaçla, %10 SiC takviye elemanı içeren kompozit malzemeyi karıştırma ve basınçlı döküm yöntemiyle üretmişlerdir. Deneysel olarak gerçekleştirdikleri çalışmada, kompozit malzeme üretimi esnasında basınçsız (serbest), 25, 50, 75 MPa sıkıştırma basınçları uygulayarak malzeme üretimi gerçekleştirmişler ve üretim sonrasında ısıtılma işlemi mikro yapıya etkisini incelemişlerdir. Dong ve ark. yaptıkları çalışmalar sonucunda, sıkıştırma basıncının artmasıyla gözeneklilik, kümelenmede azalma buna bağlı olarak da akma dayanımı ve boyca uzamanın arttığını, T6 ısıtılma işlemi gerilme dayanımı ve sertlikte değeri üzerinde olumlu katkısının olduğunu ifade etmişlerdir. Üretilen numunelere ait mikro yapı görüntüleri Şekil 2.17’de verilmiştir [45].



Şekil 2.17. Farklı sıkıştırma basınç değerlerinde üretilen kompozit malzemelere ait mikro yapı örnekleri a) basınçsız serberst döküm, b) basınçsız serbest döküm T-6 Isıl işlemli, c) 25 MPa basınç altında döküm, d) 25 MPa basınç altında T-6 Isıl işlemli, e) 50 MPa basınç altında döküm, f) 50 MPa basınç T-6 Isıl işlemli g) 75 MPa basınç altında döküm h) 75 MPa basınç altında T-6 Isıl işlemli [45].

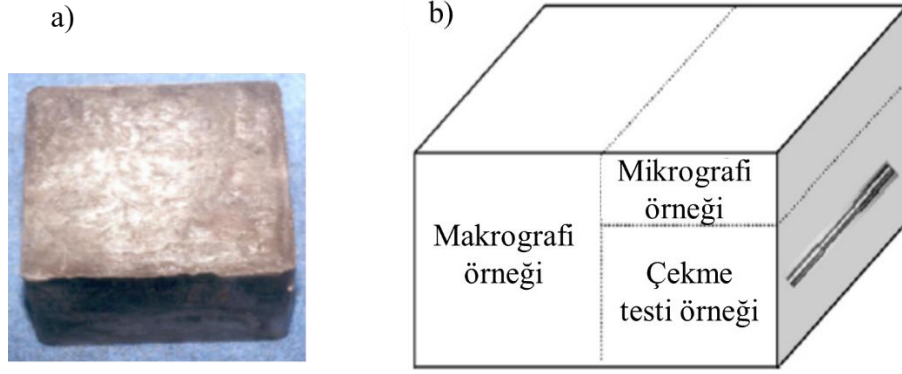
Dwivedi ve ark., “Elektromanyetik karıştırma yöntemi ile üretilen AA356/SiC kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri” isimli çalışmalarında, metal ana fazlı kompozit malzemelerin elektromanyetik karıştırma yöntemiyle üretilmesi ve takviye

elemanlarının yüzde kütle oranlarının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, AA356 malzemesini ana faz, kütlece %5, 10 ve 15 oranlarında SiC malzemesini de takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Dwivedi ve ark. yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda, kompozit malzemenin elektro manyetik karıştırma yöntemiyle üretilebileceğini ve % kütle takviye elemanı artışının mekanik özellikleri iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. Kompozit malzeme üretimi için kullanılan ünitenin genel görünümü Şekil 2.18’de verilmiştir [46].



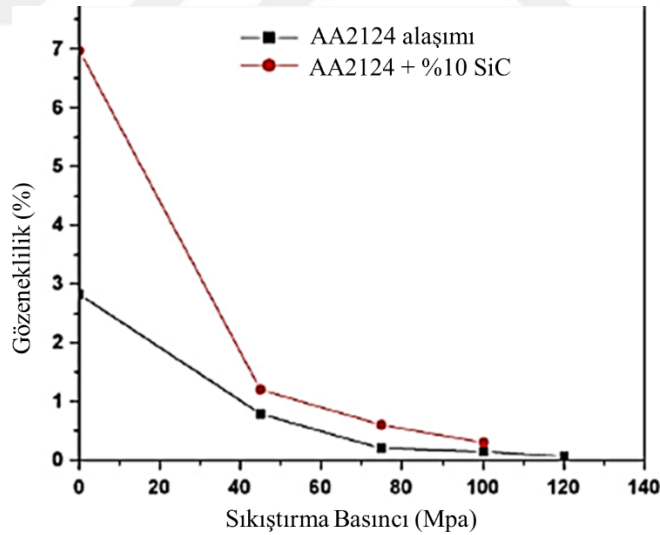
Şekil 2.18. Manyetik karıştırıcı kompozit malzeme üretim ünitesinin genel görünümü.

Sukumaran ve ark., sıkıştırma döküm metodu ile kompozit malzeme üretimi üzerine yapmış oldukları çalışmada, AA2124 malzemesi ana faz, SiC malzemesi de takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Çalışmalarında, %10 kütle oranında takviye elemanı içeren kompozit malzemeyi sıkıştırma döküm yöntemiyle elde etmişler ve ana faz malzemesi olan AA2124 alaşımı ile kıyaslamışlardır. Sıkıştırma döküm yöntemi ile farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde numuneler elde ederek, döküm işlemi sırasında sıcaklık ve basınç değerlerinin malzeme mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen numune ve numuneden çıkaracakları test örnekleri resim olarak Şekil 2.19’da verilmiştir [47].



Şekil 2.19.Yapılan çalışmaya ait örnekler: a) sıkıştırma döküm yöntemiyle edilen numune b) numuneden çıkarılacak test örneklerinin resim görüntüsü [24].

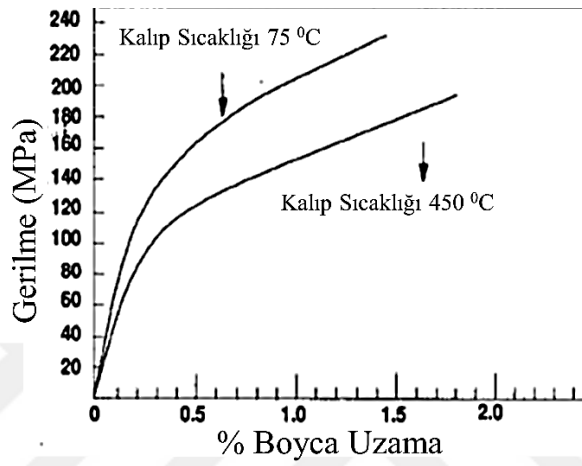
Sukumaran ve arkadaşları yaptıkları çalışmanın soncunda, 100 MPa basınç altında üretilen kompozit malzemenin maksimum mekanik özelliklere ulaştığını, AA2124-10%SiC kompozit malzemesinin AA2124 alaşımına göre daha iyi aşınma direncine sahip olduğunu, sürtünme katsayısının düşük, gözeneklilik oranlarında da önemli ölçüde azalma olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen sıkıştırma basıncı - gözeneklilik grafiği Şekil 2.20’de verilmiştir [47].



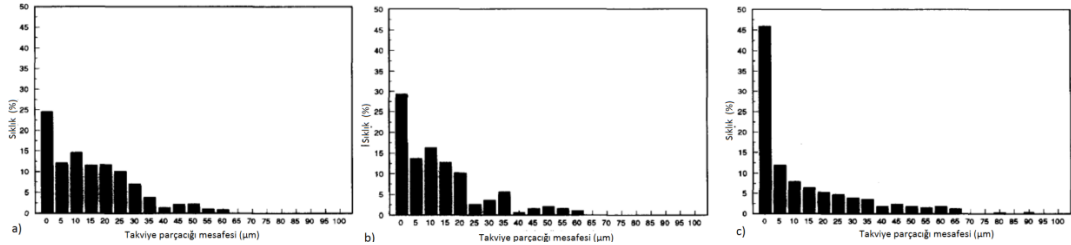
Şekil 2.20. Sıkıştırma basıncı-gözeneklilik grafiği [24].

Labib ve ark.’nın katılaşma oranının kompozit malzemenin mekanik özellikleri ve fraktografi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, %7 ve %10 SiC takviye içeren alüminyum ana fazlı kompozit eriyiklerini, farklı başlangıç sıcaklıklarında kalıplara dökerek kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişler ve farklı sıcaklık değişim

hızlarında (70 °C/s, 20 °C/s ve 10 °C/s) tanecik dağılımlarını incelemişlerdir [25]. Labib ve ark.'nın yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, üretilen malzemenin mikro büyüklüklerinin soğuma hızı ile kontrol edilebileceğini ve yüksek katılaşma hızlarında homojenliğin iyileştiğini ifade etmişlerdir. Kalıp sıcaklığının birim şekil değişimi-gerilme üzerindeki etkisi Şekil 2.21'de, kalıp soğuma hızlarının takviye elemanı parçacığı dağılımına etkisi ise Şekil 2.22'de grafik olarak verilmiştir [48].



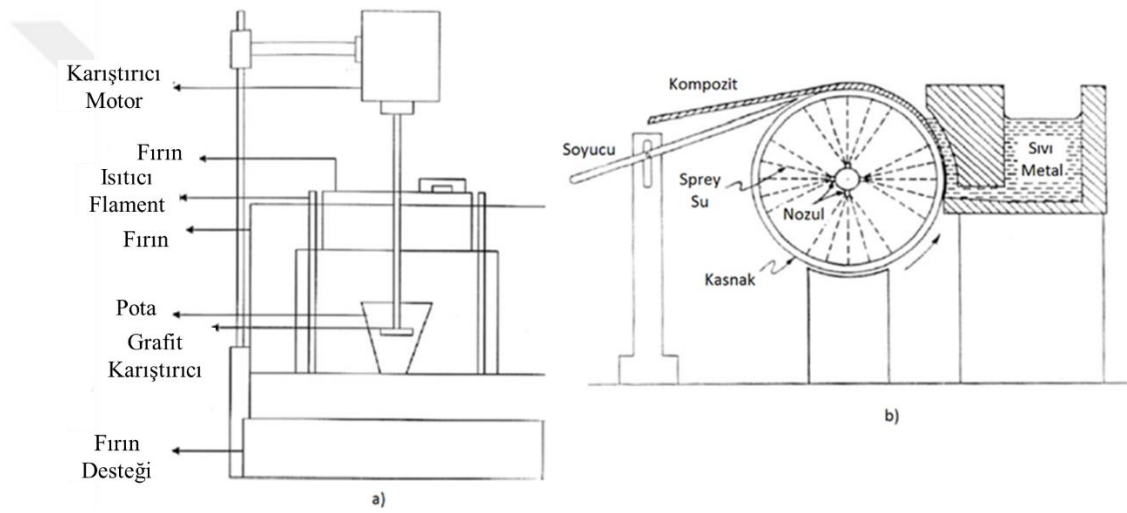
Şekil 2.21. Kalıp sıcaklığının birim şekil değiştirme-gerilme grafiğine etkisi [48].



Şekil 2.22. Kalıp sıcaklık değişim hızlarının tanecikler arası mesafeye olan etkisi a) 70 °C/s, b) 20 °C/s, c) 10 °C/s [48].

Gupta ve ark. tek tamburlu sürekli soyma döküm işleminin değerlendirilmesi ve optimizasyonu üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, SiC takviyeli kompozit malzemeyi sürekli soyma döküm yöntemiyle üretmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, kompozit malzeme üretimini iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. Birinci aşamada, ana faz ve takviye elemanı karıştırılarak, kompozit malzeme eriyik halde üretilmiştir. İkinci aşamada, elde edilen eriyik kompozit malzeme, sıcaklığa dayanıklı tekneye alınmış, su soğutmalı tambura doğru yönlendirilerek, eriyik kompozit malzeme tambur üzerinde katılaştırılmış ve tamburdan soyularak ürün elde edilmiştir.

Kompozit malzemenin soyma döküm yöntemiyle üretiminde kullanılan, karıştırma sistemi ve tamburlu soyma ünitesi Şekil 2.23’de genel görünüm olarak verilmiştir [26]. Ayrıca araştırma kapsamında takviye elemanı büyüklüğünün kompozit malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisi de incelenmiştir. Sonuç olarak 25 μm ’den küçük takviye elemanı kullanımının kompozit malzemenin mukavemetini iyileştirdiğini, 40 μm ’den büyük boyutlarda daha iyi parçacık dağılımı gözlemlendiğini ve numunenin tambur yüzeyine temas eden bölgesi, temas etmeyen bölgeye göre daha pürüzsüz olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmaya ait mukavemet verileri tablo halinde Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [49].



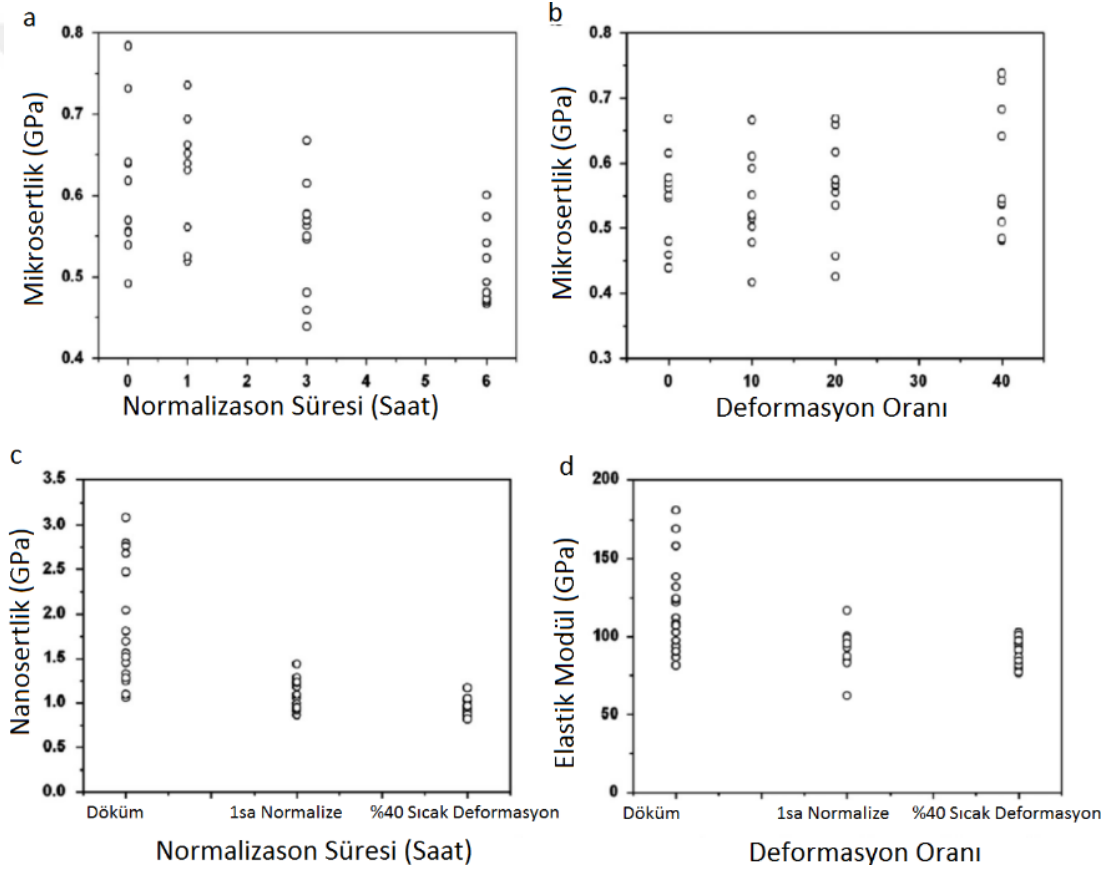
Şekil 2.23. Kompozit üretiminde kullanılan a) karıştırma düzeneği, b) soyma döküm düzeneği görüntüsü [49].

Çizelge 2.2. Yapılan çalışmaya ait parçacık boyutu, tambur dönüş hızı, maksimum gerilme, akma gerilmesi, % uzama ve mukavemet verileri [49].

Parçacık boyutu	Tambur Dönüş Hızı (dev/dak)	Maksimum Gerilme (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	% Uzama	Sertlik (Rockwell B)
44-53 μm	16	154/159	134/138	1.7	49
	12	149/153	122/126	2.1	45
<25 μm	16	182/188	131/135	1.72	49
	12	172/177	126/130	2.31	45
Al-Si alaşımı	16	148/154	124/129	4.3	31
	12	140/146	119/123	4.5	28

Chatterjee ve ark., “Reaktif karıştırma döküm yolu ile hazırlanan Al/Fe-alüminat in-situ kompozitin mikro yapı ve mekanik özellikleri” isimli çalışmalarında, demir

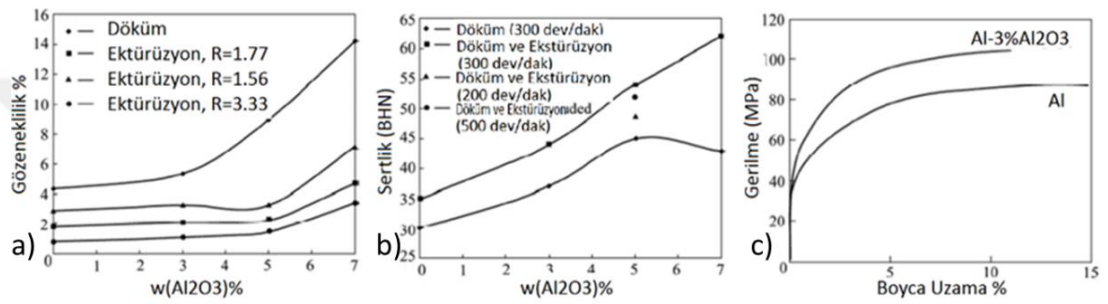
alüminatı takviye elemanı olarak kullanmışlar ve alüminyum ana fazlı kompozit malzeme numunelerini karıştırma döküm yöntemi ile üretmişlerdir. Üretilen numunelere, farklı sürelerde normalizasyon işlemleri uygulanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin normalizasyon süresi, sıcak şekil değiştirme miktarı, sertlik, mukavemet ve mikro yapı gibi malzeme özelliklerini incelemişlerdir. Chatterjee ve ark., yaptıkları çalışmalar sonucunda, sıcak şekil değiştirme oranının arttırılması ile iyi tane boyutu elde edilmesinin sağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmalar sonucunda elde etmiş oldukları numunelere ait bazı mekanik değerler Şekil 2.24’de verilmiştir [50].



Şekil 2.24. Normal döküm, 1 saat normalizasyon uygulanmış ve % 40 sıcak deformasyona uğratılmış malzeme ait a) normalizasyon süresinin mikro sertliğe etkisini, b) deformasyon oranının mikro sertlik değerine etkisi, c) normalizasyon süresinin nano sertliğe etkisi, d) deformasyon oranının elastiklik modülüne etkisi [50].

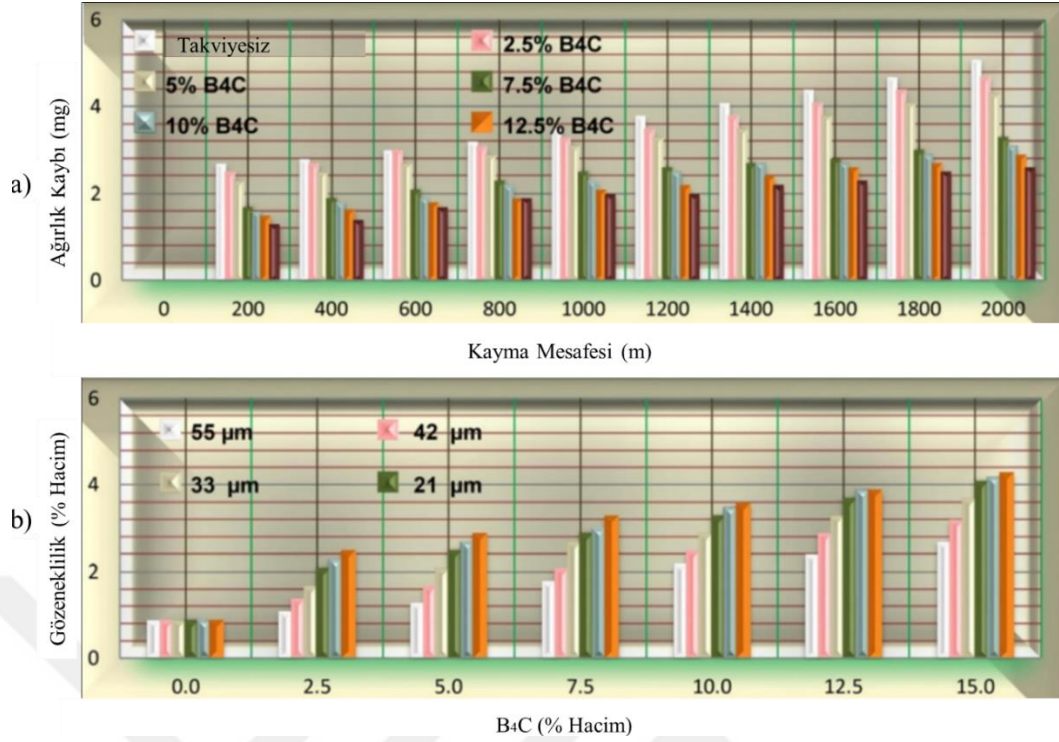
Ezatzpour ve ark., “Karıştırma işlemi ile üretilmiş ve ekstrüzyona uğratılmış Al/Al₂O₃ kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri” isimli çalışmalarında, alüminyum

ana fazlı Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemenin üretiminde takviye elemanı oranı, ekstrüzyon ve karıştırma hızının mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, Al_2O_3 takviye elemanın %5 den çok olması durumunda kümelenmeye sebep olduğunu, sıcak ekstrüzyon işleminin malzeme mukavemetini arttırdığını ve devir sayısının 300 dev/dak olduğu karıştırma hızlarında üretilen kompozit malzemenin maksimum gerilme (σ_{max}) değerlerinin daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmalara ait takviye oranı - gözeneklilik ve sertlik grafiği ile birim uzama–gerilme grafiği Şekil 2.25’de verilmiştir [51].



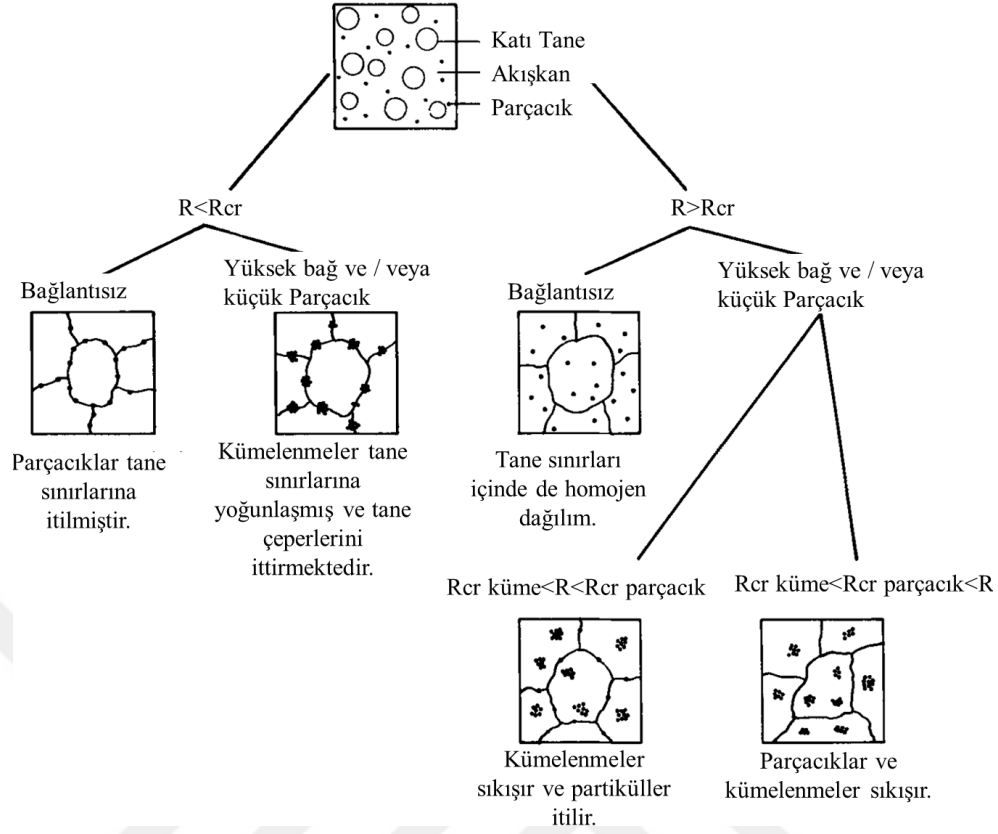
Şekil 2.25. Elde edilen numunelere ait a) takviye oranı-gözeneklilik, b) sertlik ve c) birim uzama – gerilme grafiği [51].

Shabani ve Mazahery, alüminyum ana fazlı kompozit malzemelerin, genetik algoritma ve yapay sinir ağları yöntemleri ile optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, AA356’ yı ana faz B_4C parçacıklarını takviye elemanı olarak kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Kompozit malzeme üretim süreçlerini sonlu elemanlar modeli ile modellemişler ve yapay sinir ağları uygulamalarıyla optimizasyon için gerekli değerleri belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, kullandıkları sonlu elemanlar metodu ile sıcaklık geçişlerini, soğutma oranlarını ve sıcaklık gradyanını hesaplamışlar [52]. Shabani ve Mazahery, yapmış oldukları çalışmanın sonucunda, takviye elemanı miktarının artırılması malzemenin aşınma dayanımı, sertliği ve gözenekliliğini arttırdığını, yapay sinir ağlarının işleme optimizasyonu için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Üretilen numuneye ait aşınma deney sonucunda kaydedilen kayma mesafesi-ağırlık kaybı ve takviye elemanı hacimsel oranı-gözeneklilik üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 2.26’da verilmiştir [52].



Şekil 2.26. Elde edilen numunelere ait a) kayma mesafesine göre ağırlık kaybı, b) % takviye oranına göre gözeneklilik grafikleri [52].

Stefanescu ve ark., “Metal ana fazlı kompozitlerde katı-sıvı metal ara bağlarda seramik parçacıkların davranışı” isimli çalışmalarında, Al-2Mg ve Al-6,1Ni alaşımlarının üretiminde 20-150 μm boyutlarında parçacıklar kullanmışlardır. Katı-sıvı hal üretim yöntemleriyle üretilen kompozitlerde parçacık boyutlarının, tanecik yapısına, ara bağ oluşumlarına etkilerini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda parçacık boyutlarının mikro yapı oluşumu üzerindeki etkilerini gösteren şematiği oluşturmuşlardır (Şekil 2.27). Şekil 2.27’de parçacık boyutuna göre parçacık dağılımı gösterilmiştir. Temel etken parametreleri olarak parçacıklar ve ana faz arasındaki termal iletkenlik farklılıkları, ara yüzeydeki takviye görüntüleri ve morfolojik kararlılık değerlendirilmiştir. Yüksek oranda takviye elemanı ilavesinin takviye elemanlarının ara bağlarda biriktirdiğini, tane sınırı içine ilerlemeyi sınırlandırdığını ve tek fazlı alaşımlarda takviye elemanlarının ara yüzeye ötelendiğini ifade etmişlerdir [53].



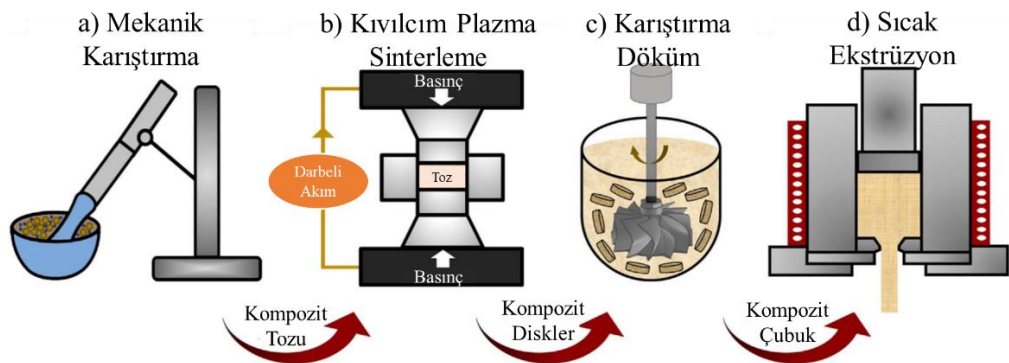
şekil 2.27. Takviye elemanı boyutuna göre tanecik dağılımı [53].

Jacob ve ark.'nın yaptıkları “Tungsten karbür, silisyum karbür ve grafit partiküllerin AA5052 melez kompozitlerin mekanik ve mikro yapı özellikleri üzerine etkisi” isimli çalışmalarında, farklı takviye elemanlarının kompozit malzeme üretiminde kullanılması durumunda üretilen malzemeye kazandırdıkları mekanik özellikler ve mikro yapıları incelemişlerdir. Bu amaçla, iki farklı melez kompozit malzeme üretilmişlerdir. Birinci kompozit malzemede takviye elemanı olarak, tungsten karbür (WC) ve grafit partikülleri, ikinci olarak da 60-90 μm boyutlarında SiC ve grafit partikülleri kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemenin kütlece oranları %5WC, %10WC, %5 WC+%4 grafit, %10WC + %4 grafit, olan 4 farklı numune üretilmişlerdir. Ayrıca ıslatılabilirliğin artırılması amacıyla üretim esnasında magnezyum tozu ilave edilmiştir. İmalat sırasında grafit pota 605 $^{\circ}\text{C}$ ’de iken önceden 450 $^{\circ}\text{C}$ ’ye ısıtılan takviye elemanlarını eriyik ana faz içine ilavesini gerçekleştirmişlerdir. Takviye elemanlarının ilavesinden sonra grafit pota dört bıçaklı bir karıştırıcıyla 12 dakika boyunca karıştırılmıştır [54].

Jacob ve ark., çalışmalarında, elde ettikleri numunelerin tokluk değerlerinin tespiti için charpy çentik darbe deneyi, mekanik özelliklerin tespiti için çekme deney testini uygulamışlardır. Mikro yapı özelliklerinin tespiti için SEM, malzeme kompozisyonunun tespitini de EDS ile belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, SiC+Grafite takviyeli kompozit malzemede akma mukavemeti azalırken, WC+Grafite takviyeli kompozit malzemede akma gerilmesi %15 oranında arttığını ifade etmişlerdir [54].

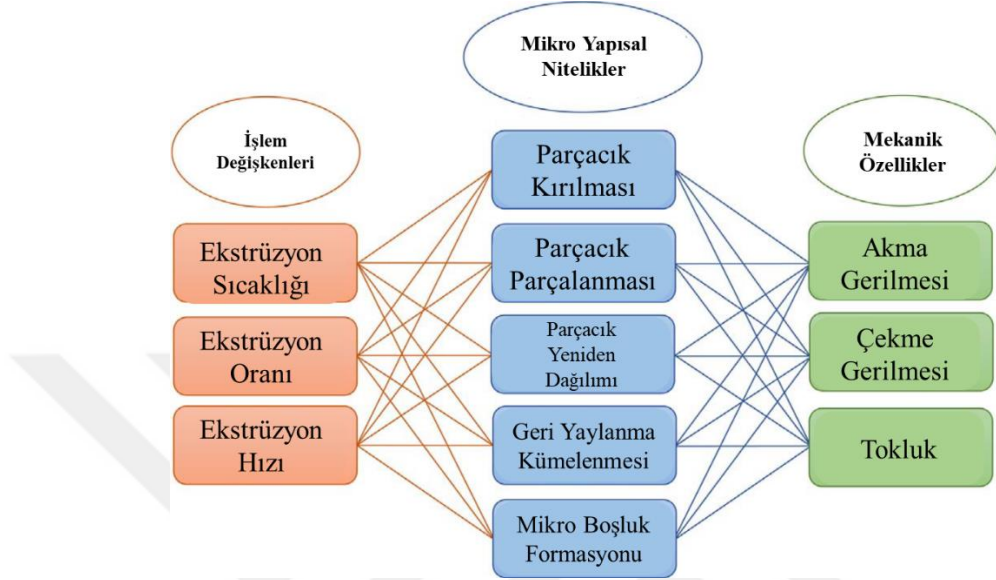
Mistry ve Gohil, elektromanyetik karıştırma döküm işlemiyle üretilmiş kompozit malzemelere uygulanan ısıl işlemin aşınma ve sürtünme davranışlarına etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, AA7075 malzeme ana faz, silisyum nitrit ($\text{Si}_3\text{Ni}_{4p}$) malzeme ise %4, %8 ve %12 oranlarında takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Mistry ve Gohil çalışmalarının sonucunda AA7075 malzemesinin ana faz olarak kullanıldığı kompozit malzemeye Si_3Ni_4 takviye elemanı ilavesiyle sertliğin arttığı, takviye elemanı ilavesinin artmasıyla aşınmanın azaldığını ifade etmişlerdir [55].

Pakdel ve ark.'nın kompozit malzemelerin ekstrüzyonla üretimi esnasında mikro yapı mekanik özelliklerindeki değişimleri belirlemek için yapmış oldukları çalışmalarında, AA6063 ana faz, kütlece %10 oranında boron karbür takviye elemanı kullanarak, katı-sıvı hal karıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit malzemeleri sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutmuşlardır. Kompozit malzeme üretim yöntemi aşamaları Şekil 2.28' de görsel olarak verilmiştir [56].



Şekil 2.28. AA6063/B₄C kompozit malzemesinin ekstrüzyon ile üretim aşamaları, a) mekanik karıştırma işlemi, b) plazma sinterleme işlemi, c) karıştırma döküm işlemi, d) sıcak ekstrüzyon işlemi [56].

Pakdel ve ark., yaptıkları çalışmada planladıkları işlem değişkenlerine bağlı olarak oluşan mikro yapısal nitelikler ve mekanik özelliklerin birbiri ile olan ilişkileri Şekil 2.29’ de verilmiştir [56].



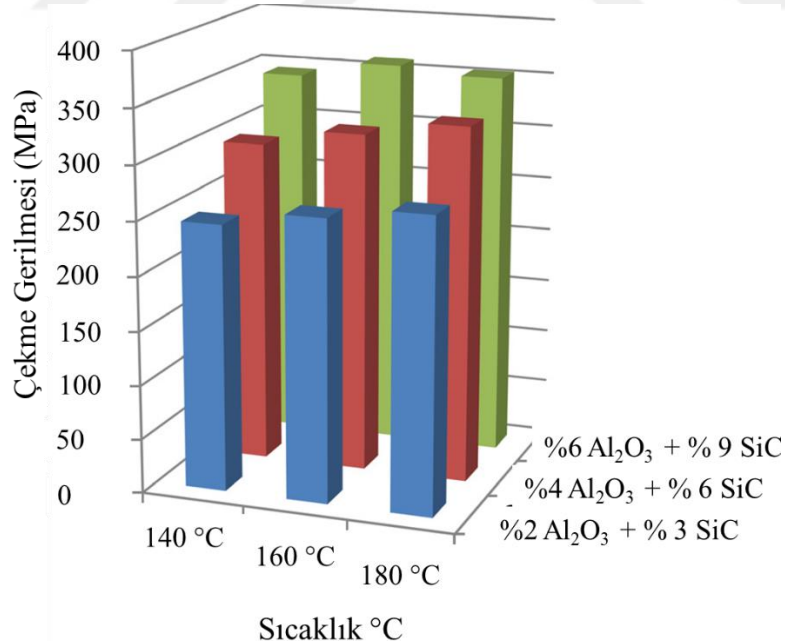
Şekil 2.29. AA6063/B4C ekstrüzyon parametrelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin etkileşim şeması [56].

Pakdel ve ark.’nın yaptıkları çalışmada, kütlece %10 B₄C takviye elemanı içeren alüminyum ana fazlı kompozit malzemeyi başarılı şekilde üretmişlerdir. Ekstrüzyon sırasında uygulanan sıcaklığın artmasıyla gözenekliliğin azaldığını, ekstrüzyon oranının 16:1 olduğu ve stampa hızının 1 mm/s olduğu ekstrüzyon işlemlerinde en yüksek mukavemet elde edildiğini ifade etmişlerdir [56].

Nageswaran ve ark.’nın karıştırma döküm yöntemi ile üretilen bakır ana fazlı melez kompozit malzemelerin mekanik ve aşınma özelliklerini belirlemeye çalıştıkları çalışmalarında, bakır malzeme ana faz, titanyum dioksit (TiO₂) ve grafit malzeme takviye elemanı olarak kullanılmış ve karıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelerde TiO₂ takviye elemanını kütlece %0, %3, %6 ve %9 oranlarında kullanmışlardır. Her numune için grafit takviye elemanını da kütlece %1 oranında kullanmışlardır. Nageswaran ve ark. yapmış oldukları çalışmaların sonucunda, kütlece %9 TiO₂ takviye elemanı içeren kompozit

malzemenin en yüksek sertlik ve çekme dayanım değerlerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir [57].

Kumar ve ark., “Karıştırma döküm yöntemi ile üretilen AA7075/Al₂O₃/SiC melez kompozitlere uygulanan ısııl işlemin çekme mukavemetine etkisi” başlıklı çalışmalarında, AA7075 malzemesini ana faz, Al₂O₃ ve SiC parçacıklarını da takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Kompozit üretimi için kullanılan takviye elemanlarında SiC kütlege %3, %6 ve %9 oranında ve 70 µm boyutlarında Al₂O₃ ise kütlege %2, %4 ve %6 oranında ve 149 µm boyutlarında kullanılmıştır. Üretilmiş oldukları kompozit malzemeleri 140 °C, 160 °C ve 180 °C sıcaklıklarda 4 saat süreyle ısııl işleme tabi tutmuşlardır. Kumar ve ark., yaptıkları çalışmaların sonucunda, %6 Al₂O₃ ve %9 SiC takviye elemanı içeren kompozit malzemelerin diğer takviye oranlarına göre çekme gerilmelerinin daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Farklı yüzde oranlarında takviye elemanı içeren, 140 °C, 160 °C ve 180 °C’de ısııl işleme tabi tutulmuş olan kompozit malzemelerin çekme gerilme değerleri Şekil 2.30’de grafik olarak gösterilmiştir [58].



Şekil 2.30. Farklı yüzde oranlarında takviye elemanı içeren 140 °C, 160 °C ve 180 °C’de ısııl işleme tabi tutulmuş olan kompozit malzemelerin çekme gerilme değerleri [58].

Singh ve Singh “Vakum kalıp destekli karıştırma döküm yöntemi ile üretilen Al/SiC MAK malzemenin araştırılması” isimli çalışmalarında, AA6063 malzemeyi ana faz olarak, SiC partiküllerini de takviye elemanı olarak kullanmışlar ve parçacık takviyeli kompozit malzeme üretmişlerdir. Karıştırma yöntemi ile elde ettikleri parçacık takviyeli kompozit malzemeyi vakum destekli bir kalıpla şekillendirmişlerdir. Vakum destekli döküm işlemi ile gözenekli yapıda 50 mm çapında, 10 mm kalınlığında taslak numune üreterek 300, 350 ve 400 mmHg vakum basınçlarında döküm işlemi gerçekleştirmişlerdir. Singh ve Singh yapmış oldukları çalışmaların sonucunda, 400 mmHg vakum basınçlarında üretilen numunelerin en iyi aşınma dayanımını verdiği ifade etmişlerdir [59].

Hashim ve ark. seramik parçacık takviyeli alüminyum ana fazlı kompozit malzeme üretiminde ıslatılabilirlik problemi üzerine yaptıkları çalışmada, SiC parçacıklarını takviye elemanı, AA356 malzemesini ana faz ve Mg tozunun da ıslatılmaya olan katkısının araştırılması için kullanmışlardır. Karıştırma işlemi farklı şartlar altında çalışılmış ve karıştırma işleminin ıslatılabilirliğe olan etkisi incelenmiştir [60]. Hashim ve ark. çalışmalarında, 5 farklı numune üretmişlerdir. Birinci numunede, ana faz ile takviye elemanı herhangi bir karıştırıcı olmadan üretilmiştir. İkinci numunede, % 10 SiC kullanılmış ve % 1 Mg tozu ilave edilmiştir. Deneylerde ana faz tamamen sıvı haldeyken karıştırma işlemi uygulanmıştır. Üçüncü numunede, takviye elemanı olarak kütlece % 10 oranında SiC tozu kullanılmış ve malzeme önce tamamen sıvılaştırılarak içine takviye elemanı ilave edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen üçüncü numune katılaşma sıcaklığının altına alınarak malzemenin katılaştırılması sağlanmıştır. Dördüncü numunede, üretim yönteminde herhangi bir değişiklik yapılmadan sadece Mg katkı oranları (%0, 1, 2 ve 3) değiştirilmiştir. Beşinci numune SiC ’ün katkı oranları (% 5, 10, 15, 20 ve 25) değiştirilerek elde edilmiştir [60]. Haşim ve ark. yaptıkları araştırmaların sonucu olarak, ana fazın ıslatılabilirliğinin sıvı halden ziyade sıvı katı hal durumunda arttığını ve takviye oranının artmasıyla ıslatılabilirliğin azaldığını ifade etmişlerdir [60].

Dhanashekar ve Kumar, yaptıkları çalışmada MAK üretiminin sıkıştırma döküm işlemi ile sonuçlandırılması sırasında; sıkıştırma basıncı, ön ısıtma kalıp sıcaklığı, katılaşma hızı parametreleri gibi etkilerin mikro ve makro yapı üzerindeki etkilerini

araştırmışlardır. Sıkıştırma döküm işleminde uygulanan basınç kuvvetlerinin ıslatılabilirliği ile ana faz-takviye elemanı arasında oluşan ara bağa olan etkisini incelemişlerdir. Sıkıştırma döküm için ideal erime sıcaklığını 660-690 °C olduğu belirtilmiş, sıkıştırma basıncın artmasıyla soğuma oranının arttığı, döküm sıcaklığının 600-700 °C arasında kalıp sıcaklığının da 250 °C’de olmasının optimal olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca küçük takviye elemanının kullanılması birbirine daha yakın takviye elemanı dağılımı olmasını sağladığını, tane sınırlarının büyümesini engellediğini ve mukavemetin artmasına etki yaptığını ifade etmişlerdir [61].

Pradhan ve ark. “Demir-alüminad takviyeli alüminyum ana fazlı kompozitlerin hazırlanması için temel karıştırma döküm tekniği” isimli çalışmalarında, basit karıştırma döküm yöntemi ile $Al_{13}Fe_4$ parçacık takviyeli ve saf alüminyum ana fazlı kompozit malzeme imalatı gerçekleştirmişlerdir. Kompozit malzeme üretimi sırasında 760 °C de ergimiş metalin grafit karıştırıcı ile 60 mm derinlikte, 1 dakika bekletildikten sonra 6 dakika boyunca 400 dev/dak hızda karıştırmışlardır. Numunenin dökülmesinden önce metal kalıp 540 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle ısıtılmıştır. Yapılan işlemlerde yüksek sıcaklıktaki kompozit eriyiği konvansiyonel döküm yöntemi ile dökmüşler ve sıcak haddeleme yöntemi ile haddelemişlerdir [62]. Pradhan ve ark. yaptıkları çalışmaların sonucunda ergitme sıcaklığı arttıkça $Al_{13}Fe_4$ parçacıklarının kümelenmesinin de arttığını, ana faz malzemesine göre kompozit malzemenin sertliğinin ve çekme dayanımının arttığını fakat kompozit malzemenin tokluğunda azalma olduğunu ifade etmişlerdir [62].

Madhusudhan ve ark., Zirkonyum Dioksit (ZrO_2) takviyeli alüminyum ana fazlı kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonu üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, 40-50 µm boyutlarında ZrO_2 parçacıklarını takviye elemanı, AA7068 alüminyum alaşımını da ana faz malzemesi olarak kullanmışlardır. ZrO_2 parçacık takviyesi ve AA7068 ana faz malzemesi kullanılarak ürettikleri numunelerde kütlece takviye oranının kompozit malzemenin mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, karıştırma döküm yöntemi kullanarak üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanı kütlece %0, %2, %4, %6 ve %8 oranlarında kullanmışlardır. Araştırmacılar ürettikleri malzemelerde takviye elemanı kütlece

yüzdesinin artmasıyla sertlik, çekme dayanımı değerlerinin artış gösterdiğini ifade etmişlerdir [63].

Braszczyńska ve ark., “Magnezyum ana fazlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin ara bağlarının geçirimli elektron mikroskobu (TEM) yardımıyla analizi” başlıklı çalışmalarında, dört farklı magnezyum türünü (Mg, Mg-%5 Al, %6 Mg, %3 Zn ve %3 Mg) ana faz, 32 µm boyutlarında SiC parçacıklarını da takviye elemanı olarak kullanmışlardır, sıvı kompozit malzeme üretiminde karıştırma yöntemini kullanmışlardır. Ürettikleri kompozit malzemelerin ana faz ve takviye elemanı arasında oluşan bağlarını TEM ve EDX yardımıyla incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda takviye elemanı ve ana faz arasında alaşım elementlerinin bulunduğunu ve bu elementlerin bazılarının SiC ile reaksiyona girdiğini ifade etmişlerdir [64].

Tahamtan ve ark., bilyalı dövme yapılmış nano/mikro takviye elemanlı kompozit malzemenin karıştırma döküm yöntemiyle üretilmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada, AA206 malzemeyi ana faz, Al₂O₃ partiküllerini takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, takviye elemanı olarak kullandıkları Al₂O₃ parçacıklarının bir kısmını bilyalı dövme işleminden geçirmişlerdir. Bilyalı dövme işlemine tabi tutulan takviye elemanları ile üretilen ve dövme işlemi uygulanmayan takviye elemanlarının kullanıldığı kompozit malzemelerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Tahamtan ve ark. yaptıkları çalışmanın sonucunda, ana faz ve takviye elemanı arasında oluşan ara bağın bilyalı dövme işlemine tabi tutulan takviye elemanı kullanılan kompozitlerde daha kuvvetli olduğunu ve çekme dayanımının da arttığını ifade etmişlerdir [65].

Balasubramanian ve Maheswaran “Karıştırma döküm ile üretilen AA6063/SiC kompozitlerde partiküllerin mekanik direnç üzerine etkisi” isimli çalışmalarında, kullanılan SiC parçacık takviye elemanının (% 0, 5, 10 ve 15) üretilen kompozit malzemelerde malzemenin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, takviye elemanı oranındaki artışın sertliği arttırdığı, %10 SiC takviye elemanı oranına kadar çekme dayanımını arttırdığı fakat %10 SiC ilavesinden sonra mukavemette düşmelere neden olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

MAK malzemelerin üretimi için çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Karıştırma döküm yöntemi bu yöntemlerinden birisidir. Karıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretiminde birtakım parametreler önem arz etmektedir. Araştırmacılar, önem arz eden parametreleri (karıştırma hızları, karıştırma derinliği, karıştırma süreleri, karıştırma sıcaklığı vb.) kullanarak malzemeler üretmeye çalışmışlardır. Bazı araştırmacılar karıştırma hızları, karıştırma derinliği, karıştırma süreleri, karıştırma sıcaklığı gibi parametrelere ilaveten kompozit üretiminde kullanılan ana faz ve takviye elemanlarının MAK malzemenin mekanik ve mikro yapısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. MAK malzeme üretiminde genelde alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları ana faz olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Alüminyum ana fazlı kompozit malzeme olarak; AA2124, AA356, AA5052, AA6063, AA6061, AA7075 alaşımlarının kullanıldığı, takviye elemanı olarak da B_4C , Al_2O_3 , SiC, TiO_2 ve grafit kullandıkları tespit edilmiştir. Araştırmacıların üzerinde durduğu bir diğer çalışma alanı ise takviye elemanı oranları ve boyutlarının optimizasyonudur. Bu amaçla, 20 nm - 200 μm arasında boyutlara sahip takviye elemanları kütlece %0-15 oranlarında tek başına veya melez kompozit adıyla başka bir takviye elemanı ile kullanılmıştır. Genel olarak MAK malzeme üretimlerinin karıştırma ve döküm işlemi ile yapıldığı ancak tamburlu döküm, ekstrüzyon, basınçlı döküm, sıkıştırma gibi ilave işlemlerle de MAK malzeme üretimi gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

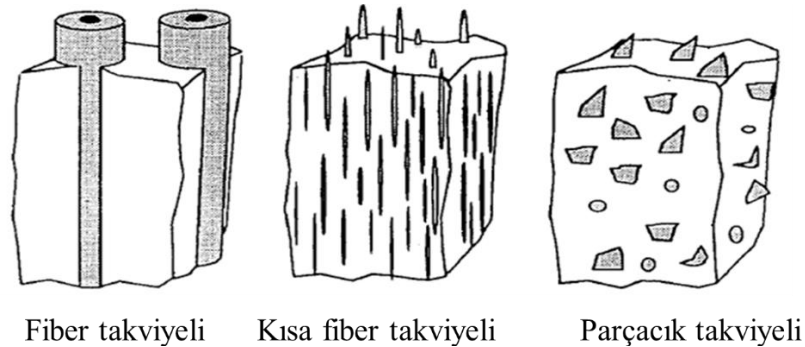
Bu çalışmada; yüksek kapasiteli MAK üretimi gerçekleştirebilme özelliği olan ergimiş metal karıştırma yöntemiyle Altı farklı MAK malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, genellikle düşük takviye oranına sahip MAK malzemelerin üretimi gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu nedenle, daha yüksek takviye elemanı içeren (%10 SiC, %14 SiC, %18 SiC) bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca literatürde karıştırma işlemi sonrası yapılacak olan ikincil işlemlerden biri olan katı-sıvı hal sıkıştırma işleminin de araştırılması gerekli görülmüştür.

BÖLÜM 3

METAL ANA FAZLI KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; metal seramik ve plastik gibi geleneksel gruplarına fiber, parçacık levha vb. formlarda takviye elemanı ilavesiyle elde edilen karma yapılı malzemelerdir [66,67]. Kompozit malzemeler farklı özelliklerini yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla üretilmektedir [68]. Kompozit malzemeler ana faz denilen bir temel fazdan ve takviye elemanı denilen yardımcı elemanlardan oluşmaktadır. Kompozitler genel olarak ana faz malzemeleri ve/veya takviye elemanının tipine göre sınıflandırılmaktadırlar.

Kompozitler ana faz malzemelerine göre metal ana fazlı kompozitler (MAK), seramik ana fazlı kompozitler (SAK) ve polimer ana fazlı kompozitler (PAK) olmak üzere üç temel sınıfta değerlendirilmekle birlikte takviye eleman şekline göre de sınıflandırılmaktadır [69,70]. Fiber takviyeli kompozitler, kısa fiber takviyeli kompozitler, karışık takviyeli kompozitler ve parçacık/partikül takviyeli kompozitler şeklinde sınıfları da mevcuttur [71,72]. Takviye elemanı cinsine göre MAK malzemelerin görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1.Takviye elemanı cinsine göre MAK malzemelerin görünümü [8].

Seramik ana fazlı kompozitler (SAK); tarihte ilk örnekleri beton ve kerpiç olmasına rağmen günümüzde ince yapılı ve bölünmüş mikro yapılı modern mühendislik malzemeleridir. Seramik ana fazlı malzemeler; motor ve egzoz kapaklarında, yüksek sıcaklık mukavemeti gerektiren uygulama alanlarında, ısı yalıtımı, aşınma dayanımı, termokimyasal kararlılık gerektiren uygulamalarda ayrıca şarj edilebilir pil üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır [72,73]. Seramik ana fazlı malzemeler genellikle kırılgan yapıya sahip olmalarından dolayı son yıllarda, tokluklarının artırılması ve hataların daha aza indirgeyen tekniklerin geliştirilmesi üzerine çalışmalarda yoğunlaşmaktadır. Seramik ana fazlı kompozit üretiminde ana faz olarak oksitler, nitrürler ve karbür gibi malzemeler kullanılmaktadır [74].

Polimer ana fazlı kompozitler (PAK); kullanım alanı en yaygın olan kompozit türlerindendir. Polimer ana fazlı kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak genellikle uzun ve/veya kısa fiberler (aramid, grafit ve boron gibi), ana faz olarak da üretilen, epoksi ve polyeşter gibi polimer malzemeler kullanılmaktadır [75,76]. Hava, deniz ve kara taşıma araçlarının dış yüzey parçalarının imalatında, spor ekipmanları ve beyaz eşya sektöründe cam takviyeli polyeşter ve diğer polimer/elyaf kombinasyonları sıklıkla kullanılmaktadır [77,78]. Ayrıca birçok güçlendirilmiş polimer ana fazlı malzemeler, inşaat sektöründe de kullanılmaktadır.

Metal ana fazlı kompozitler (MAK); metal/metal alaşımlarının ana faz olarak kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Polimer ana fazlı kompozitlere göre daha yüksek mukavemet ve ısıl kararlılığa sahip malzemelerdir. Alevlenmezler, ısı ve elektrik iletkenlikleri seramik ve polimer ana fazlı kompozitlerden daha yüksektir. Ana faz olarak kullanılan metal malzemeler alüminyum başta olmak üzere, titanyum, magnezyum ve paslanmaz çelik alaşımlardır [21]. Hafif olması istenen taşıtlar başta olmak üzere otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde, motor blokları ile bağlantı elemanlarında kullanılmaktadır.

Alüminyum ana fazlı kompozitler; günümüzde ağırlığının az olması ve kolaylıkla temin edilebilmesinden dolayı en çok kullanılan kompozit malzemelerdir. Diğer hafif metallere göre fiyatının ucuz olması bazı türlerinin ısıl işleme mekanik özelliklerinde iyileştirme yapılabilmesi nedeniyle özellikle Mg-Cu-Zn alaşımlı alüminyumlar,

kompozit malzeme sektörünün ilgi alanındadır. Alüminyum ana fazlı kompozit malzemeler sürekli fiber takviyeli ve parçacık takviyeli kompozit malzemeler olarak iki temel sınıfa ayrılırlar [16].

Sürekli fiber takviyeli alüminyum ana fazlı kompozitler (SFTAAK); SFTAAK malzemelerin üretim maliyetleri yüksektir. Ancak, malzeme kabiliyetinin önemi nedeniyle savunma ve havacılık sanayinde kullanılırlar. SFTAAK malzeme üretimi sırasında ıslatılamama diye ifade edilen ana faz malzemesinin takviye elemanını tamamen sarmaması problemi yaşanmakta ve bu problemin azaltılması amacıyla ana faz malzemesine zirkonyum (Zr), fosfor (P), kalsiyum (Ca), Ti, Mg gibi elementlerle alaşımlandırılmaktadır. SFTAAK malzemelerin üretimi esnasında yöne bağımlı olarak belirgin mukavemet değişimleri gözlenmektedir.

Parçacık takviyeli alüminyum ana fazlı kompozitler (PTAAK); kompozit malzeme üretiminde bir diğer çalışma alanı da kompozitlerin düşük maliyetlerle elde edilmesidir. Bu nedenle, özellikle parçacık takviyeli MAK malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır. PTAAK malzeme üretiminde kullanılan yöntemler; dövme, ekstürüzyon, haddeleme, çeşitli kalıplama yöntemleri ve toz metalürjisi yöntemleridir. PTAAK malzemelerinin sıvı halden üretiminde homojenliği sağlamak amacıyla mekanik, elektromanyetik, gaz karıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. PTAAK malzemelerin üretiminde takviye elemanlarının ıslatılmaması, topaklanma ve gözeneklilik gibi problemler ile karşılaşmak mümkündür.

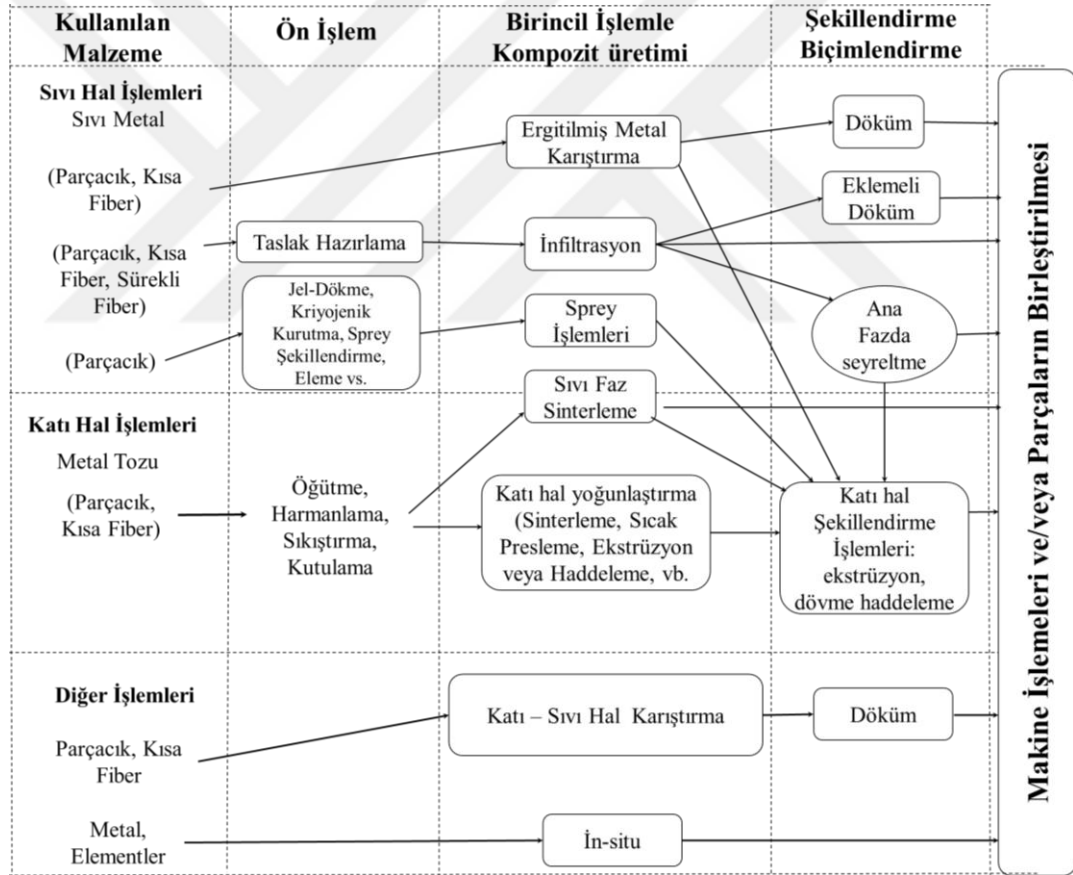
3.1.MAK MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

MAK malzemelerin üretiminde yüksek üretim kapasitesinin sınırlı olması, mukavemet değişkenlikleri, hatalar, kullanılan malzeme çeşitliği vb. nedenlerden dolayı çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiştir. MAK malzeme üretimi için kullanılacak yöntemin seçiminde maliyet, ürün kalitesi, üretim kolaylığı, üretim miktarı vb. birçok faktör bulunmaktadır. Üretim kararlılığının, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyetin düşürülmesi bu alanda yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Araştırmacılar, MAK malzeme üretimi için birçok farklı yöntem geliştirmiş ve geliştirmeye devam

etmektedir. Geliştirilen MAK malzeme üretim yöntemleri üretim esnasındaki ana fazın durumuna göre sıvı hal, katı hal ve diğer yöntemler olarak üç sınıf altında incelemek mümkündür [79]. MAK malzemelerin üretim yöntemleri Çizelge 3.1’de verilmiştir [67,80].

MAK malzeme üretim yöntemlerinde, temel kompozit malzeme üretim işleminin yanında, bazı uygulamaların hazırlık işlemleri (taslak hazırlama, öğütme karıştırma, istifleme vb.) ve üretim sonrası şekil verme (döküm, ekstrüzyon, sıkıştırma vb.) işlemleri yer almaktadır.

Çizelge 3.1. MAK malzeme üretim yöntemleri [80–83].



3.1.1. Katı Hal Üretim Yöntemleri

Katı hal üretim yöntemleri; katı haldeki ana faz ve parçacık/kısa fiber takviyeleri kullanılarak metal ana fazlı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Katı hal üretim

yöntemlerinde presleme ve sinterleme gibi ek işlem gerektirdiğinden diğer üretim yöntemlerine göre üretim süresi uzun ve maliyeti yüksektir. Fakat; mekanik özellik ve homojenlik olarak sıvı hal üretim yöntemlerine göre daha iyi kompozit malzeme üretimi yapılabilmektedir. Katı hal üretim yöntemlerine ait bazı özellikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir [4,67]

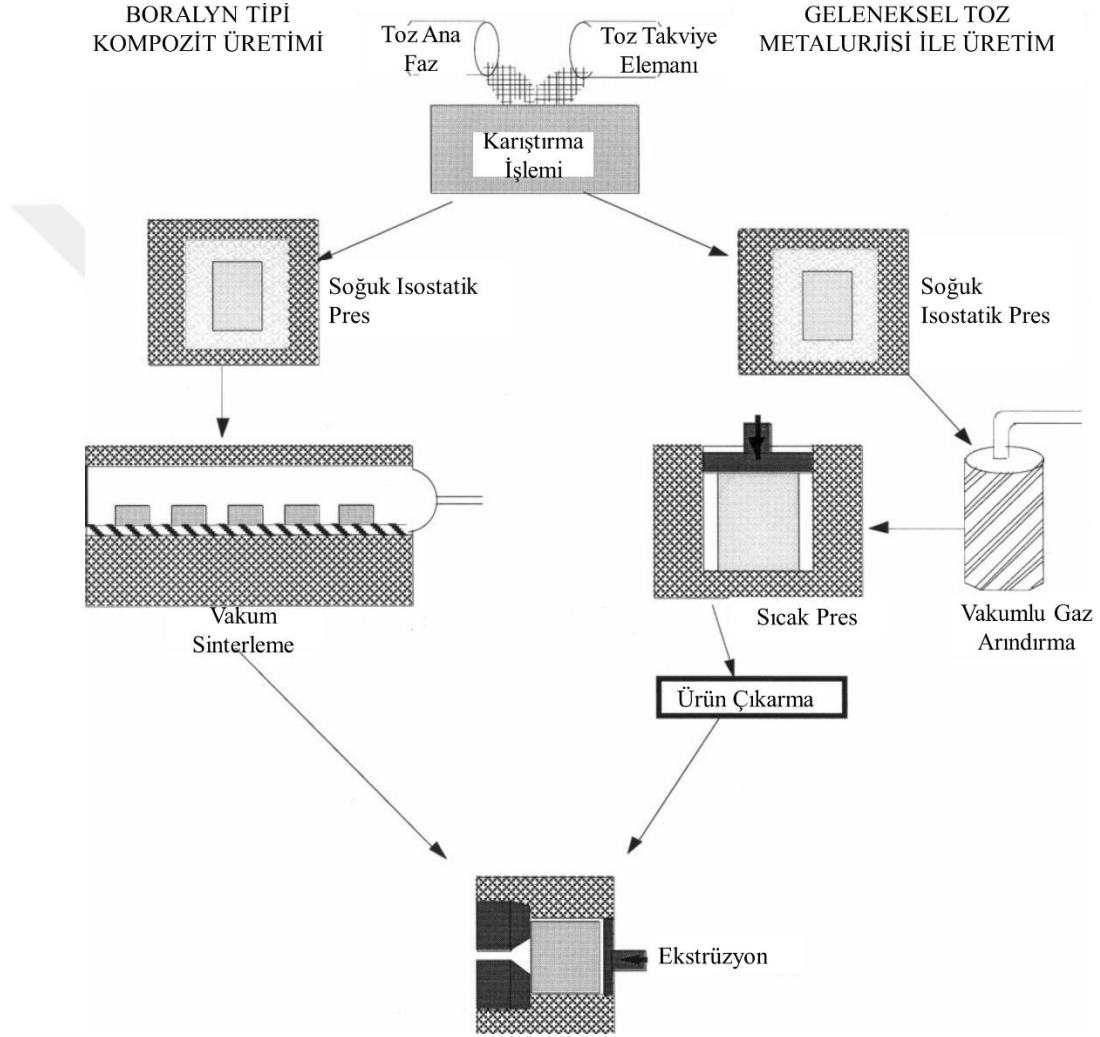
- Üretimin nispeten düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi sebebiyle istenmeyen oksitler ve kimyasal reaksiyonlara daha az rastlanmaktadır,
- Uzun fiberlerin kullanılabilmesi nedeniyle belirli form ve uzun boyda malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir,
- Elde edilen MAK malzemelerin mekanik özellikleri ergimiş metal karıştırma ile üretilen malzemelere nazaran daha yüksek dayanıma sahiptirler,
- Ergimiş metal karıştırma yöntemlerine göre üretim maliyetleri daha yüksektir,
- MAK ve takviye elemanlarının hazırlanma maliyeti yüksektir,
- Özel tasarlanmış aparat kullanımı ve makinalarla üretimleri gerçekleştirildiğinden üretimleri karmaşıktır.

3.1.1.1. Toz Metalürjisi Üretim Yöntemi

Toz metalürjisi (TM) yöntemi, toz halindeki ana faz ve takviye elemanının, çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmesini kapsamaktadır. Bu yöntemle üretilen kompozit malzemeler son geometrik şekillerine çok yakın ölçülerde üretilirler. Bu nedenle, ikinci bir işlemeye tabi tutulmadan kullanılabilirler [84]. Bu metotta, hazırlanan kalıp boşluğu istenilen oranlarda ana faz ve takviye elemanı karışımı ile doldurulduktan sonra preslenmektedir. Presleme sırasında düşük sıcaklıkların kullanılması sebebiyle istenmeyen reaksiyonların az olması bu yöntemin avantajlarından. Toz metalürji yöntemindeki üretim aşamaları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Ana faz ve takviye elemanı tozlarının istenilen boyutlarda elenmesi,
- Tozların istenilen kütle/hacim oranlarında homojen şekilde karıştırılması,
- Ön sıkıştırma işlemi,
- İkincil üretim işlerinin uygulanması (gaz giderme, dövme vb.).

TM yönteminde anafaz, parçacık ve/veya kısa fiber takviye elemanları presleme işleminin ardından sinterleme işlemiyle veya doğrudan sinterleme işleminin de gerçekleştirilebileceği sıcak presleme işlemleriyle üretilmektedir. Toz metalürjisi yönteminde üretim hattı, presleme ve sıcaklık değişimleri, vakumlama ve gaz giderme işlemlerindeki gelişmeler sonucunda birçok farklı alt yöntem geliştirilmiştir. Aşağıda iki farklı toz metalürjisi üretim yöntemine ait üretim aşamaları şematik olarak verilmiştir (Şekil 3.2). [67,85–87]



Şekil 3.2. İki farklı toz metalürjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretiminin şematik gösterimi [88].

3.1.1.2. Difüzyon Bağı Yöntemi

Difüzyon yöntemiyle MAK malzeme üretimi; bu yöntemde uzun fiber, yaprak veya plaka şeklindeki takviye elemanlarıyla ana faz kademeler halinde üst üste serilir. İstenilen hacim, açı ve oranlarla kademeler halinde serilen ana faz ve takviye elemanı malzemeleri basınç altında ana fazın ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılır [89]. Isı ve basıncın etkisiyle takviye elemanları ve ana faz arasında difüzyon bağı oluşumu sağlanarak kompozit malzeme elde edilir. Difüzyon bağı yöntemiyle takviye elemanı oranları ve yönleri hassas bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Yöntemde basınç uygulama sisteminin niteliğine göre, geniş yüzeylere sahip kompozit malzeme üretimi de yapılabilmeyle birlikte diğer katı hal yöntemlerine göre daha maliyetlidir. Üretim sırasında kullanılan takviye elemanları ve ana fazın yüzey temizliği üretimi doğrudan etkileyen bir faktördür [67,82,90]. Difüzyon bağı yönteminin üretim aşamaları aşağıda verilmiştir;

- Ana faz ve takviye elemanlarının serilmesi, kesilmesi ve istenilen doğrultularda istiflenmesi,
- Vakumlama işlemi,
- Üretim sıcaklığına ısıtılması,
- Basınç uygulanması ve soğuma.

Difüzyon bağı yönteminde basınç uygulama işlemi için kullanılan iki temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar; presleme ve haddelemedir. Difüzyon bağı oluşumu için presleme yönteminde kalıp içerisine alınan ana fazlar ile takviye elemanları belirli bir sıcaklık ve basınç altında kademeli olarak preslenerek kompozit malzeme üretilirler. Bu yöntemle karmaşık ürünler elde edilebilmektedir. Difüzyon bağı oluşturmak için haddeleme yönteminde levha şeklindeki ana faz ve takviye elemanları yüksek sıcaklıklarda hadde merdaneleri arasından geçirilerek takviye elemanı ve ana faz arasında difüzyon bağı oluşumu sağlanır. Termal uyumsuzlukların olumsuz etkilerinin azaltılması için üretilen kompozit malzeme yavaşça soğutulur. Haddeleme yöntemiyle genellikle levha veya plaka kompozit malzemeler üretilmektedir.

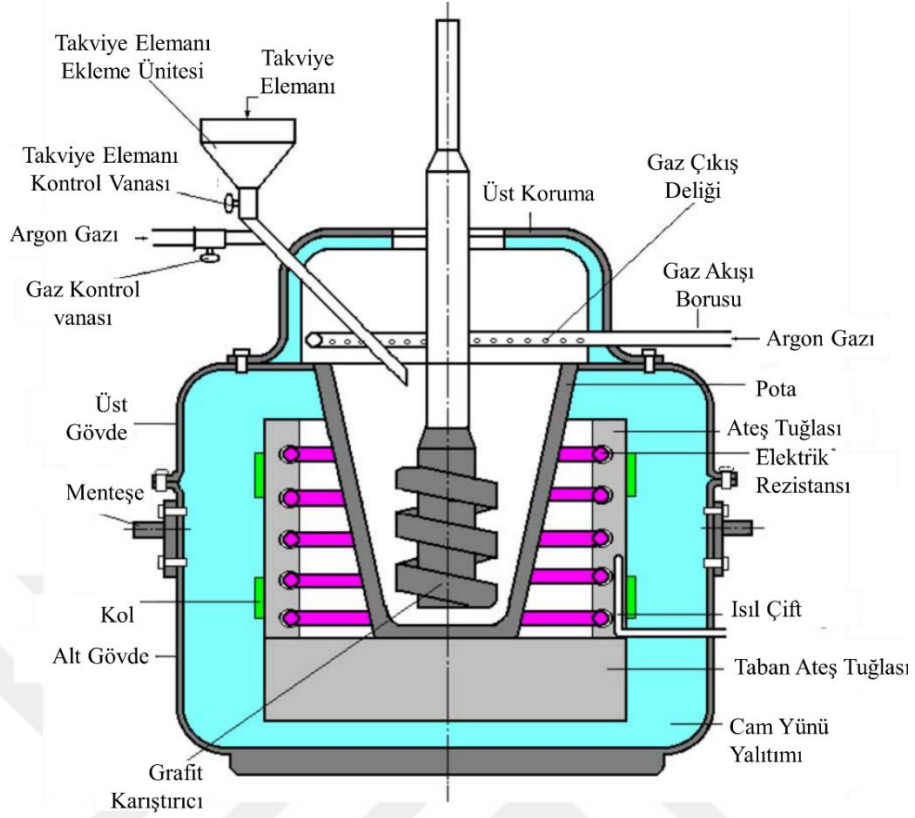
3.1.2. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

Sıvı hal üretim yöntemleri, erime sıcaklığı üzerinde ısıtılması sonucu sıvı halde gelen ana fazın takviye elemanı ile birleştirilmesiyle kompozit malzeme elde edildiği imalat yöntemleridir. Bu yöntemler diğer üretim yöntemlere göre daha ucuz ve daha çok miktarda ürün üretebilme kabiliyeti olan yöntemlerdir. Sıvı hal üretim yöntemlerine ait bazı özellikler aşağıda sıralanmıştır;

- Takviye elemanın homojen dağıtılmasının zorluğu,
- Islatabilme problemi,
- Üretim sonrası malzeme içi gözeneklerin oluşması,
- Matris ve takviye elemanı arasında kimyasal reaksiyon oluşması [4,31].

3.1.2.1. Ergimiş Metal Karıştırma Yöntemi

Ergimiş metal karıştırma yöntemi, temel bir üretim yöntemidir. Bu yöntemle genellikle parçacık ve/veya kısa fiber takviyeli kompozit malzemeler üretilmektedir. Eriyik ana fazın içerisine takviye elemanının homojen dağılımının sağlanmasının zor olması, kümelenme, gözeneklilik ve ıslatılamama yöntemin dezavantajları arasındadır. Bu dezavantajların giderilmesi amacıyla ergimiş metal karıştırma yöntemler her geçen gün geliştirilmektedir. Ergimiş metal karıştırma yönteminin düşük maliyetli olması, ön işlem gerektirmemesi ve büyük hacimlerde üretim yapılabilme özelliklerinden dolayı tercih edilen üretim yöntemidir. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle MAK malzemelerin üretimi sırasında içerisine takviye elemanı eklenebilen tek yöntemdir. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle MAK malzeme üretebilmek için geliştirilmiş bir tezgâha ait şematik görüntü Şekil 3.3’de verilmiştir [31,91–93].



Şekil 3.3. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle MAK malzeme üretmek için geliştirilmiş tezgâha ait şematik görüntü [94].

Ergimiş metal karıştırma yönteminde, pota içerisinde ergitilerek sıvı hale getirilen ana faz malzeme içerisine takviye elemanı ilave edilir. Pota içerisindeki ana fazın içerisine ilavesi yapılan takviye elemanları belirli bir karıştırıcı sistem ile homojen olarak karışımlarının yapılması sağlanır. Ergimiş metal karıştırma yöntemi adını bu safhadaki karıştırma işleminden almaktadır [95].

Ergimiş metal karıştırma yöntemi kullanarak yapılan çalışmalarda takviye elemanı olarak SiC ve Al₂O₃ gibi seramik parçacıklar yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacılar, ana faz eriğine takviye elemanın ilavesi üzerine birçok araştırmalar yapmıştır [26,40,96]. Bu araştırmaların bir kısmı karıştırıcı şekli, yüksekliği, hızı, boyutları, pota derinliği gibi konuların yanında farklı takviye elemanları, takviye elemanı ilave edilme biçimleri ve yöntemleri üzerinedir. Bu nedenle, ergimiş metal karıştırma yöntemi içinde birçok farklı uygulama tipi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulama tipleri;

- Argon gazlı ortamda işlemin gerçekleştirilmesi,
- Takviye elemanının argon gazı tahriğiyle ana faz ile birleştirilmesi,
- Takviye elemanının kaplanması veya paketlenmesi,
- Takviye elemanının işlemden önce fırınlanması,
- Takviye elemanının çubuklar vasıtasıyla ana fazın içine itilmesi,
- İşlem sırasında Cu, Mg, Ti gibi ilave tozlar kullanılması,
- Vakum-basınç ortamında işlemin gerçekleştirilmesi,
- Ana faz ergitme işleminden önce ana faza delikler açarak takviye elemanının bu safhada eriyik malzemeye katılması [4,67].

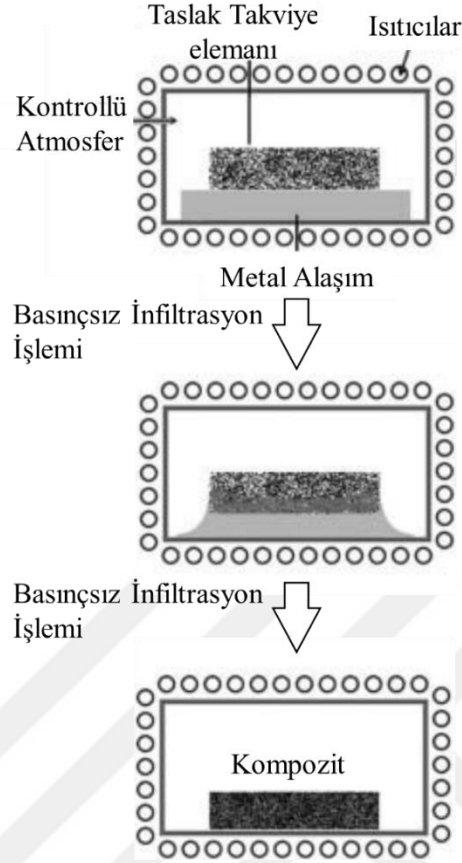
3.1.2.2. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi

Kalıp yardımıyla ön şekli verilmiş olan takviye elemanı çevresinin basınçlı veya basınçsız olarak ergimiş metal ana fazla doldurulması işlemidir. Yöntemin verimli olabilesi için ön şekil nihai şekle çok yakın olarak verilmesi ve korucu atmosfer ortamında işlem yapılması gerekmektedir [19,68,97–99].

Sıvı metal infiltrasyon yöntemiyle, yüksek yüzey kalitesine sahip ürünler elde edilebilmektedir. Sıvı metal infiltrasyon yönteminde, ana fazın küçük boşluklara ilerleyememesi sebebiyle gözeneklilik ve takviye elemanlarında homojen dağılımın oluşmaması sonucunda da kümelenme problemleri gözlemlenmektedir [68,100].

Basınçsız infiltrasyon yöntemi

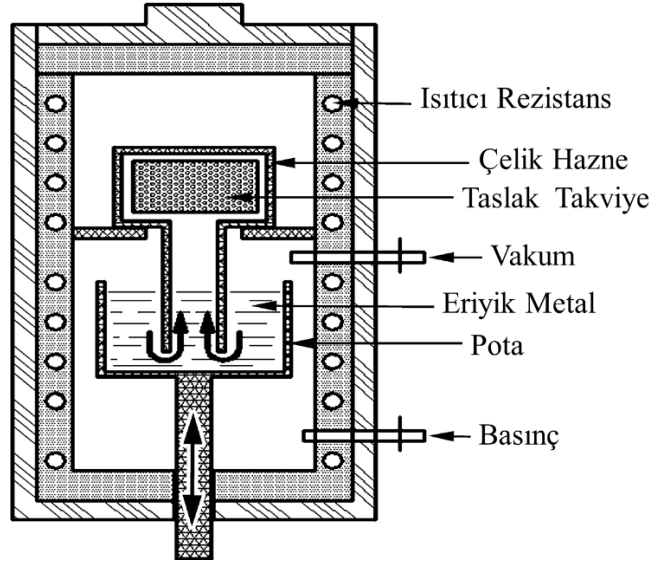
Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretiminden önce takviye elemanlarından üretilmiş gözenekli yapıya sahip taslak oluşturulması gerekmektedir. Yöntemde ön şekil verilmiş takviye elemanı taslağı direkt olarak ana faz içerisine yerleştirilir ve takviye elemanları haricinde var olan boşlukların doğal kütle taşınımı ile eriyik ana faz malzemesi ile doldurulması sağlanır. Basınçsız infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretim şematığı Şekil 3.4’ verilmiştir. Basınçsız infiltrasyon yönteminde ana faz olan sıvı metalin takviye elemanlarının yeterli derecede ıslatılamaması kompozit malzeme üretiminde olumsuzluklara neden olmaktadır [101–103].



Şekil 3.4. Basıncsız infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretim şematığı [104].

Basınclı infiltrasyon yöntemi

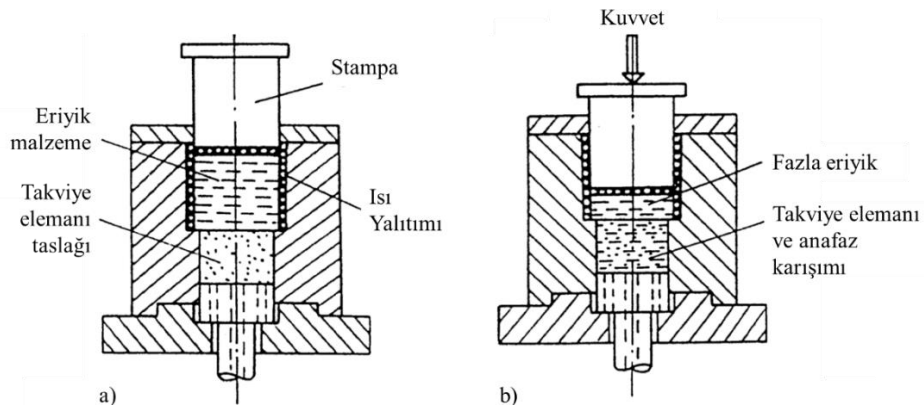
Basıncsız infiltrasyon yönteminde ana faz ve takviye elemanının yeterince ıslatamaması probleminden dolayı basınçlı infiltrasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, sıvı haldeki ana faz ile takviye elemanı birleştirilmesi işleminde tahrikli sistemler vasıtasıyla basınç uygulanmaktadır. Basınclı infiltrasyon yöntemi hızlı bir üretim yöntemi olup yüksek oranda takviye elemanı içeren kompozit malzeme üretiminde kullanılabilir. Yöntem mekanik özellikleri etkileyebilecek olan gözeneklilik ve kümelenme gibi sorunların en aza indirilebilmesi ve ana faz katılaşmasından dolayı oluşan boşluklarını engellemektedir. Ayrıca basınç uygulayarak üretilen malzemelerde soğuma daha hızlı gerçekleşmektedir. Basınclı infiltrasyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimine ait şematik görüntü Şekil 3.5’de gösterilmiştir [99,105].



Şekil 3.5. Basıncılı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretim şematiği [106].

3.1.2.3. Sıkıştırma Döküm Yöntemi

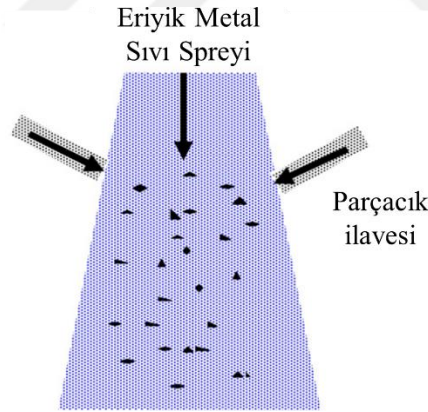
Sıkıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretimi, takviye elemanından oluşan taslak malzeme, kalıba yerleştirilmesi ve eriyik ana faz malzemesinin kalıp içerisine dökülmesinin ardından basınç altında katılaşmasıyla elde edilir. Sıkıştırma döküm yönteminde kompozit malzeme üretilmesi sonucu üretimden kaynaklı, gaz boşlukları ve döküm hataları en aza indirilmektedir [107]. Yüzey alanı geniş olan malzemelerde gerekli olan basıncın yüksek olması nedeniyle genellikle küçük parçaların üretimi için uygun olan bir yöntemdir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretimi, şematik olarak Şekil 3.6’de gösterilmiştir [82,108–110].



Şekil 3.6. Sıkıştırma döküm yöntemi ile kompozit malzeme üretimi; a) istifleme, b) sıkıştırma [111].

3.1.2.4. Atomizasyon (sprey) Biriktirme Yöntemi

Atomizasyon biriktirme yöntemiyle kompozit malzeme üretimi, yüksek sıcaklıklardaki sıvı metal (ana faz) bir nozul yardımıyla atomize edilerek (sprey) takviye elemanlarının bulunduğu ortama püskürtülerek gerçekleştirilir. Püskürtme anında ortama parçacık takviye elemanları da gönderilmektedir. Ortamda (havada) süzülen parçacık takviye elemanları ve sprej olarak püskürtülen ana faz birbirleriyle çarpışarak damlalar halinde kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilir. Elde edilen yarı katı haldeki kompozit damlacıklar bir kalıp içine alınarak istenen şekil verilmektedir. Bu yöntemde kalıpta toplanan kompozit damlacıklardan ürün elde edilebilmesi için ikinci bir işleme tabi tutulması gerekmektedir. Damlacık kümesine şekil vermek için sıkıştırma, haddeleme, ekstrüze etme gibi işlemler sıklıkla kullanılmaktadır. Atomizasyon sırasında tozların hızlı soğumasından dolayı ince tane yapıları elde edilir. Bu yöntemde, genellikle düşük ergime sıcaklığına sahip metaller ana faz olarak kullanılmaktadır. Atomizasyon biriktirme yöntemine ait şematik çizim Şekil 3.7’de verilmiştir [67,82,112,113].

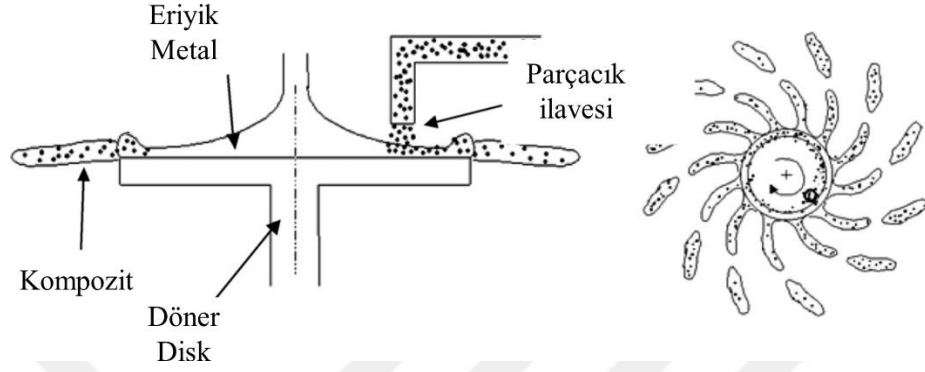


Şekil 3.7. Atomizasyon biriktirme yönteminin şematik gösterimi [112].

3.1.2.5. Santrifüj (savurma) atomizasyon yöntemi

Ana fazın damlacıklar haline getirilebilmesi amacıyla santrifüj (savurma) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, sıvı ana faz malzemesi yüksek hızda dönen bir disk üzerine merkezden gönderilir ve savrulmanın etkisiyle sıvı metal ana fazın atomizasyonu gerçekleştirilir. Sprej atomizasyon yönteminden farklı olarak takviye

elemanı ilavesi atomizasyon işleminin hemen öncesinde ana faz sıvı halde disk üzerindeyken yapılmaktadır. Bu yöntemle, sprey atomizasyona göre daha yüksek hızda kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir [112,114].



Şekil 3.8. Santrifüj atomizasyon yöntemi şematik gösterimi [112].

3.1.3. Yarı katı karıştırma yöntemi

Yarı katı karıştırma yönteminin çalışma prensibi, karıştırma döküm yöntemine mekanik olarak benzerlik göstermekle birlikte takviye elemanları katı-sıvı aralığındaki metal ana faz ile karıştırılmaktadır.

Bu işlem için önce ana faz tamamen sıvı hale dönüştürülür ardından soğutularak katılaştırılır. Ana faz malzemesi katı-sıvı haldeyken takviye ilavesi ve karıştırma işlemlerine başlanılır. Bu yöntemde, güçlü bir karıştırma sistemine gerek duyulmaktadır. Karıştırma esnasında viskozitesinin artması kümelenmenin azalmasına ve daha homojen kompozit üretimine yardımcı olmaktadır [82].

3.1.3.1. Reaksiyon (in-situ) yöntemi

Reaksiyon (in-situ) yönteminde sıvı haldeki ana faza takviye elemanı ilavesi yapılmamaktadır. Takviye elemanı ilavesi yerine sıvı ana faz içindeki elementlerin çeşitli gazlar ve sıcaklığın etkisiyle takviye elemanını oluşturacak bir kimyasal reaksiyona girmesi sağlanır ve bu reaksiyonlar sonucunda ana faz içerisinde takviye elemanları oluşturulur. Eriyik metalin içerisinde kimyasal ısı alan veya ısı veren reaksiyonlarla takviye fazını oluşturulduğu bir kompozit üretim yöntemidir. Bu işlem

için eriyik malzemeye çeşitli gazlar enjekte edilebileceği gibi takviye elementler de eklenebilmektedir [115,116].

Bu yöntem sayesinde, küçük boyutlu takviye elemanlarına sahip kompozit ürünler doğal ara bağlara sahip şekilde retilenmektedir. Ayrıca metallerin geleneksel üretim siteminde uygulanabileceği için sistem kurulum maliyeti düşüktür [117]. Bu yöntemde, hızlı bir şekilde sürekli üretim yapılabilmele beraber düşük takviye oranlarına sahip kompozit malzemeler retilenmektedir ve üretim esnasında kullanılan yüksek sıcaklı ve viskozite ile topaklanma eğilimi gözlemlenmektedir [82].



BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, AA7075+%10SiC, AA7075+%14SiC, AA7075+%18SiC, AA7075+%10SiC+Basınç, AA7075+%14SiC+Basınç ve AA7075+%18SiC+Basınç olmak üzere altı farklı MAK numunenin karıştırma döküm yöntemiyle üretimi, mekanik, mikro yapı özellikleri ve işlenebilirlikleri araştırılmıştır. Bu bölümde, parçacık takviyeli MAK numunelerin üretimi ve üretimi için gerekli olan sarf malzemeler, makine teçhizatlar ile MAK numunelerin mekanik, mikro yapı ve işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazları ile dalma erozyon tezgâhı özellikleri yer almaktadır.

4.1. KOMPOZİT NUMUNE ÜRETİMİNDE KULLANILAN SARF MALZEMELER, MAKİNA VE EKİPMANLAR

4.1.1. Ana faz Malzemesi

Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretiminde ana faz malzemesi olarak yüksek mukavemet ve sertliğe sahip AA7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA7075 alaşımları özellikle taşıma araçlarında, deniz, uzay, havacılık, silah sanayi ile plastik enjeksiyon kalıbı üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. AA7075 alaşımının genel özellikleri; yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, stabil termal özellikler, yüksek parlatılabilirlik ve yapay yaşlandırmayla sertlik ve mukavemetinin arttırılabilmesidir. AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de, mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi [118].

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 [118].

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%50)	Yoğunluk (g/cG18)	Sertlik (Brinel)
460-505	530-570	10	2.80	140-160

4.1.2. Takviye Elemanı ve Özellikleri

Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretiminde takviye elemanı olarak yüksek ergime sıcaklığa ve sertliğe sahip SiC parçacıkları kullanılmıştır. SiC takviye parçacığının özgül ağırlığı $3,22 \text{ g/cm}^3$, oda sıcaklığında katı halde ve koyu gri renklidir. Genellikle zımpara yapımında garnet olarak farklı mesh aralıklarında kullanılmaktadır. SiC takviye parçacıkları; “Ege nanotek” firması tarafından %98 saflıkta $< 74 \mu\text{m}$ parçacık boyutunda temin edilmiştir. SiC parçacıklarının genel görünüşleri Şekil 4.1’de 500x büyütülmüş görüntüleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



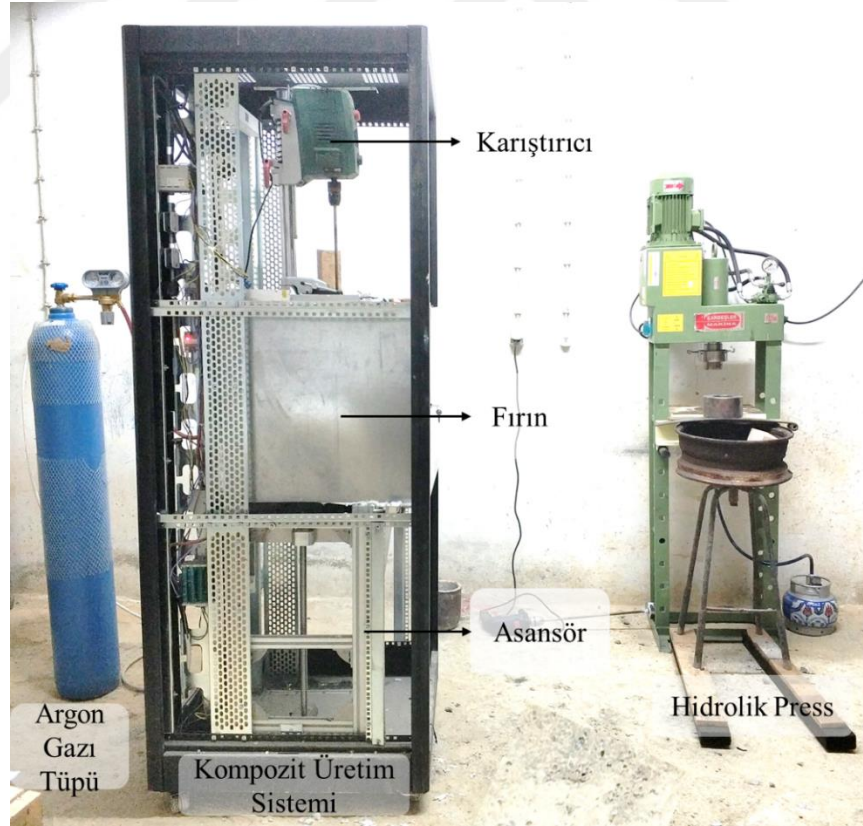
Şekil 4.1. SiC takviye elemanı parçacıklarının genel görünümü.



Şekil 4.2. 500x büyütülmüş SiC parçacıkları görüntüsü.

4.1.3. Parçacık Takviyeli Metal Ana fazlı Kompozit Numune Üretiminde Kullanılan Makine Ve Teçhizatlar

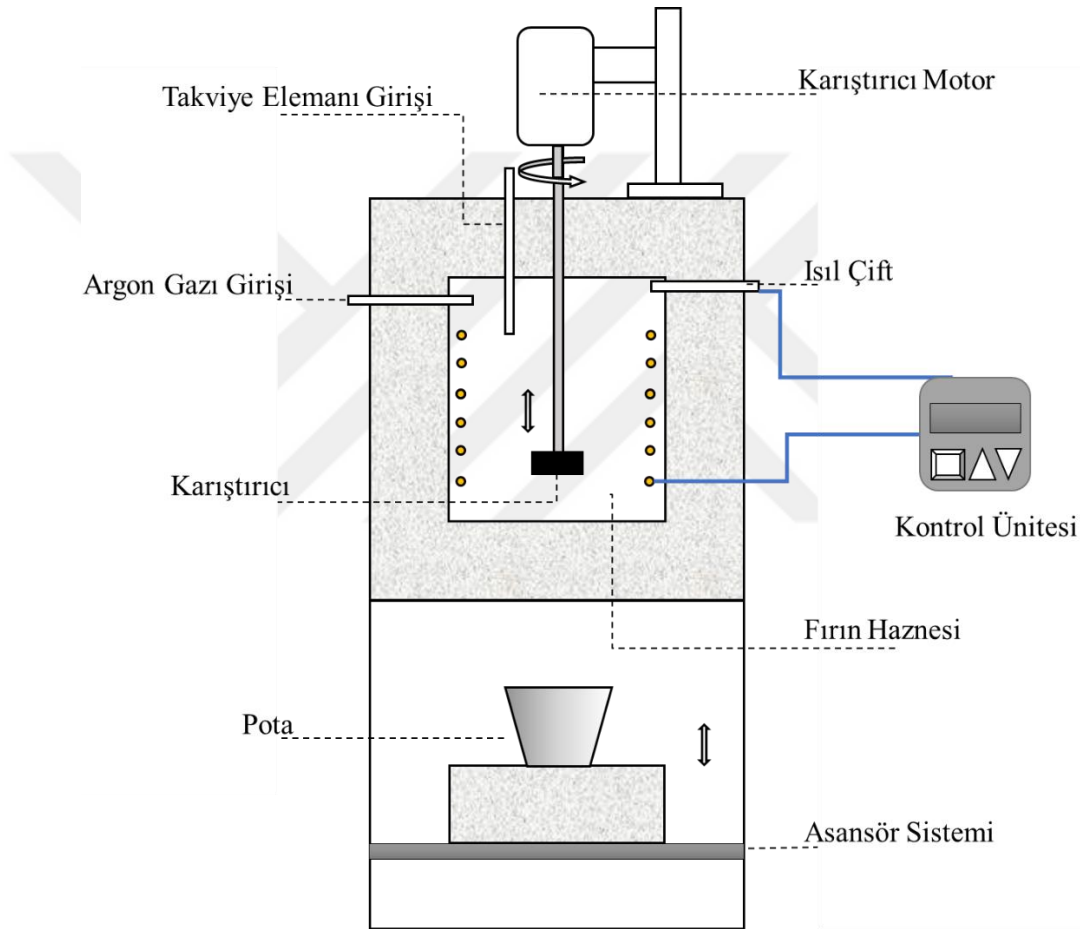
Parçacık takviyeli MAK numune üretiminde kullanılan; karıştırma döküm tezgâhı, hidrolik pres, argon gazı tüpü genel görünüşleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Parçacık takviyeli metal ana fazlı kompozit numune üretiminde kullanılan ekipmanların genel görünüşleri.

4.1.3.1. Kompozit Numune Üretim Sistemi

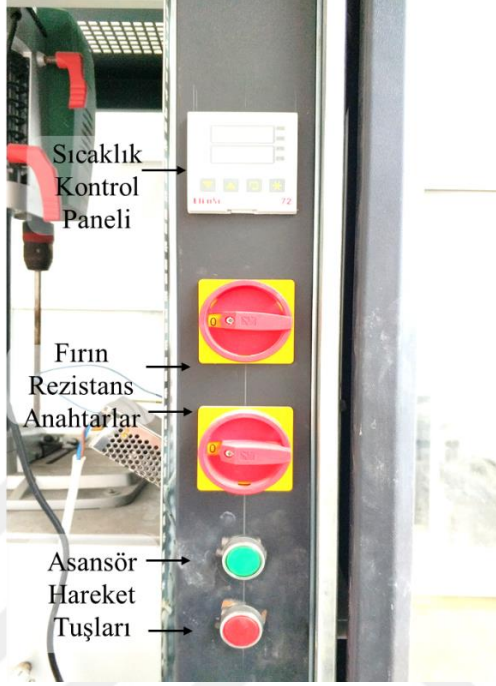
Kompozit numune üretim sistemi; Karabük Üniversitesi bünyesinde Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR tarafından geliştirilen ve tez süresince de gelişimi sürdürülen, bünyesinde ergitme fırını, pota asansörü, devir ayarlı karıştırıcısı olan birleşik bir ünite dir. Numune üretiminde Kullanılan sisteminin şematik çizimi Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretiminde kullanılan karıştırma döküm tezgâhı ünitesinin şematik çizim görüntüsü.

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi parçacık takviyeli MAK numune üretiminde kullanılan ünite çok sayıda bileşenden oluşmaktadır. Fırın, bu bileşenler içinde önemli bir yere sahiptir. Oda sıcaklığını 1200 °C’ ye kadar ısıtabilen ve kontrollü olarak sabit tutulabilme özelliğine sahip olan fırın, küp şeklinde ve alt düzlemi açıktır. Alt düzlemindeki açıklık, fırın içerisine asansör yardımıyla malzeme girdisini sağlamak amacıyla bırakılmıştır. Fırın içinde kullanılan rezistans; AlCr25 alaşımlı tellerden (1.5

mm) üretilen spirallerden oluşmaktadır. Fırının sıcaklık kontrolü, düz tip CrNi-Cr termokupl (ısıl çift) yardımıyla otomatik olarak yapılmaktadır. Kompozit numune üretim sistemine ait kontrol paneli görüntüsü Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Karıştırma döküm tezgâhı kontrol paneli genel görünümü.

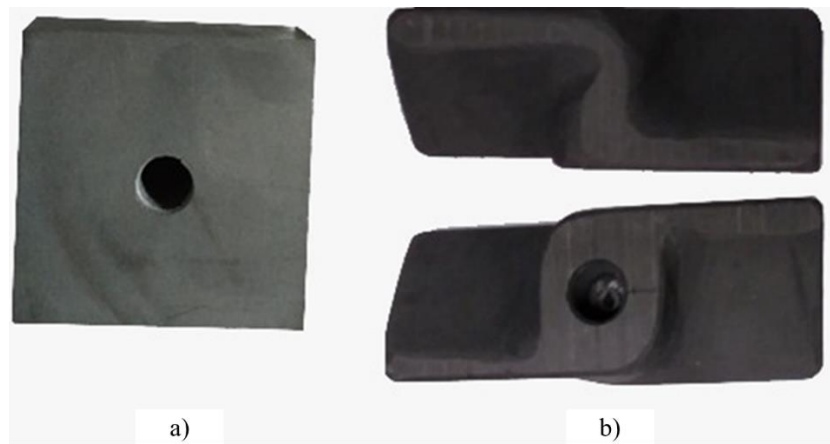
Fırın duvarları refrakter tuğla ile örülmüş ve refrakter tuğlaların yüzeyi 20 mm kalınlığında ısıya dayanıklı elyaf malzeme ile kaplanmıştır. Fırın sistemi sadece alt yüzeyi açık kalacak şekilde 1 mm kalınlığında saç ile çevrelenmiştir.

Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretiminde, karıştırma işlemi için devir ayarlı karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcının fırın üzerine konumlandırılmış görüntüsü Şekil 4.6’de verilmiştir. Karıştırıcı; 200-600 dev/dak aralığında hassas olarak ayarlanabilen matkap, paslanmaz çelik alaşımı olan St306’dan imal edilmiş 10 mm çaplı mil ve preslenmiş grafit ana malzemeden oluşmaktadır. Matkap mili, 350 mm’lik hareket mesafesine sahiptir. Matkap milinin hareketli olmasına bağlı olarak da grafit karıştırıcının pota içinde yüksekliği ayarlanabilmektedir. Karıştırıcı milin yüksek sıcaklıklarda, kimyasal ve mukavemet kararlılığını sağlaması amacıyla paslanmaz çelik alaşımı olan St306 malzemesinden 500 mm uzunluğunda imal edilmiştir. Milin uç kısmında kullanılan grafit karıştırıcılar ham olarak preslenmiş ve 40x40x15 mm ile

55x20x20 boyutlarında el ile vargalleme yöntemiyle kanat formu verilerek kullanılmıştır (Şekil 4.7). Karıştırıcılar, çarpma ve sıcaklığın olumsuz etkilerinden az etkilenmesi amacıyla yüzeyleri Al_2O_3 malzeme ile kaplanmıştır.



Şekil 4.6. Karıştırıcının fırın üzerine konumlandırılmış görüntüsü.



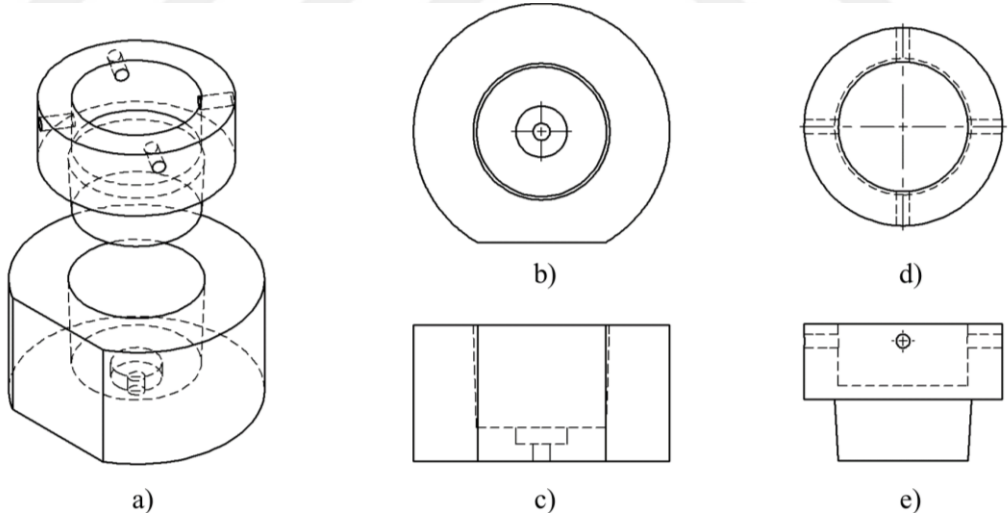
Şekil 4.7. Grafit karıştırıcılar; a) 40x40x15 mm, b) 55x20x20 mm

Kompozit numune üretim sisteminin bir diğer bileşeni ergitme potasını fırının içine kaldırmak amacıyla kullanılan asansör sistemidir. Asansör elemanlarının tahriki 220

Volt ile çalışan redüktörlü elektrik motoru ile sağlanmaktadır. Elektrik motorundan alınan tahrik, helezon mil vasıtasıyla hareketli tablaya aktarılmaktadır. Asansörün alt ve üst hareket noktalarında sınırlayıcı sensörler kullanılarak hareketi sınırlandırılmıştır. Asansörün hareketli tablası 2 mm sacdan imal edilmiştir. Asansör sistemi 5 kg ağırlığında yük taşıyabilecek nitelikte ve sistem hareketi kontrol panosu ile kumanda edilmektedir.

4.1.3.2. Döküm Kalıbı

Fırında karıştırılarak elde edilen eriyik MAK numunenin katılaşılarak son şeklini almasını sağlamak için H13 sıcak iş takım çeliğinden 80 mm çap ve 60 mm yüksekliğe sahip ürün dökabilen kalıp imal edilmiştir. Döküm kalıbı kullanılarak üretimi gerçekleştirilen MAK numunelere serbest döküm ve ılık presleme işlemiyle basınç uygulayarak şekil verilmiştir. Basınç uygulayarak numune üretmek için kalıp sistemi, alt ve üst kalıp olarak imal edilmiştir. MAK numunelerin üretiminde kullanılan kalıp seti genel görünüm Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. MAK numunelerin üretiminde kullanılan kalıp seti genel görünümü; a) genel görüntü, b) alt kalıp üst, c) alt kalıp yan, d) üst kalıp üst, e) üst kalıp yan.

4.1.3.3. Hidrolik Pres

Hidrolik pres, karıştırma yöntemi ile hazırlanan eriyik parçacık takviyeli MAK numunenin önceden 350 °C'ye ısıtılan kalıp içerisine dökümünden sonra kalıp içerisindeki MAK numunenin preslenmesi işleminde kullanılmıştır. Basınç uygulayarak presleme işleminin yapıldığı hidrolik pres, İstanbul'da bulunan "Kardeşler Makine Hidrolik Presleri" tarafından üretilmiş ve 15 ton basma gücüne sahiptir. Kullanılan hidrolik prese ait genel görünüm Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Basınç uygulayarak MAK numunelerin preslenmesinde kullanılan hidrolik pres.

4.1.3.4. Koruyucu Gaz

Karıştırma döküm yöntemiyle MAK numunelerin üretimi esnasında numunede oksidasyon olmaması amacı ile koruyucu gaz kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak, Basınçlı Kaplar Sanayii A.Ş.' den temin edilen argon gazı kullanılmıştır. 50 lt hacimli ve 200 Bar basınca sahip argon gazı tüpü Şekil 4.10'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Argon tüpünün genel görüntüsü ve sisteme bağlanmış hali.

4.1.3.5. Pota ve Maşa

Pota, ana faz ve takviye elemanlarının ergitme ve karıştırma işleminin yapılmasında kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında farklı boy ve ebatlarda grafit malzemedен yapılmış potalardan yararlanılmıştır (Şekil 4.11).

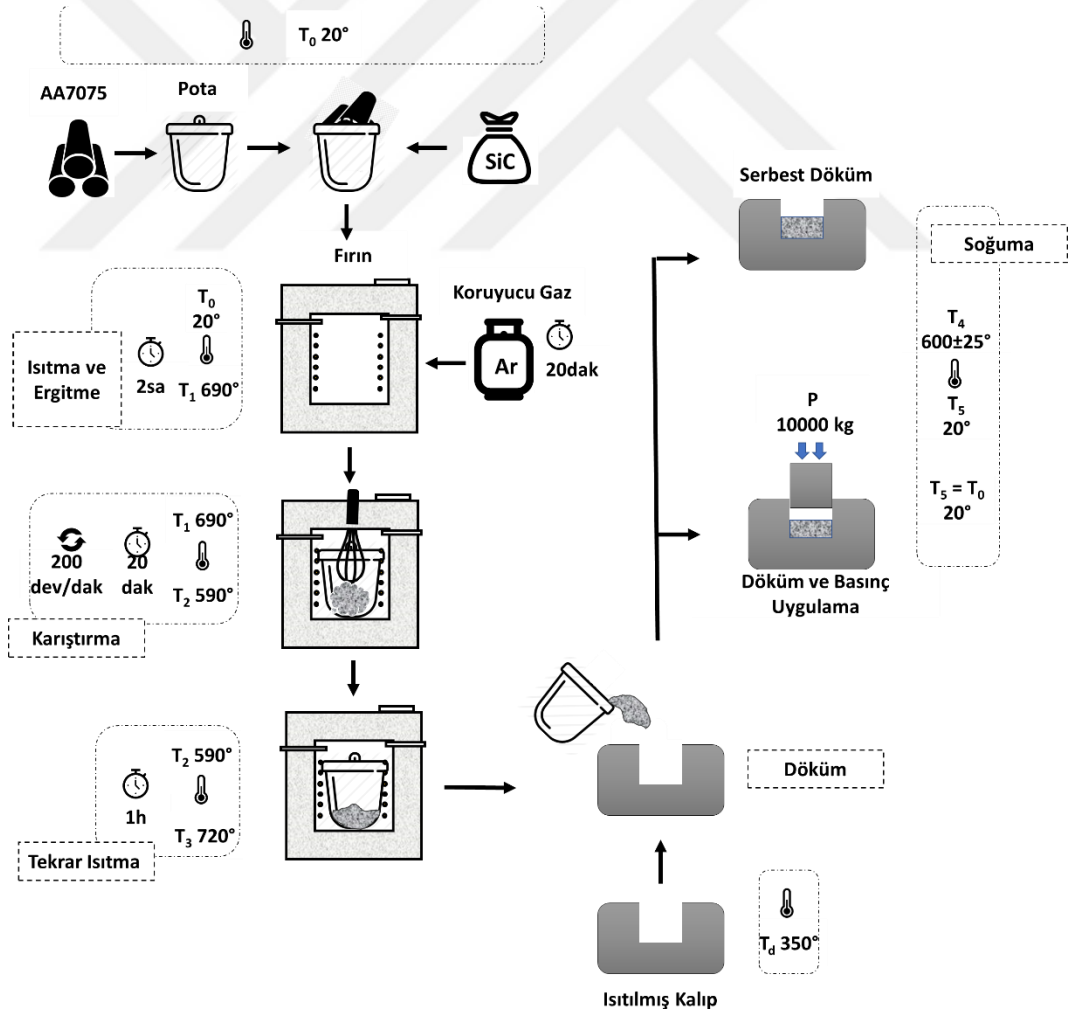


Şekil 4.11. Karıştırma döküm işleminde kullanılan grafit malzemedен yapılmış pota görüntüsü.

Maşa, ana faz ve takviye elemanlarının pota içerisinde homojen karışımının sağlanmasından sonra fırın asansörüyle fırının içinden alınan pota içerisindeki kompozit numunenin kalıba dökülmesi amacıyla kullanılmıştır.

4.2. METAL ANA FAZLI PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT NUMUNELERİN ÜRETİMİ

MAK numunelerin karıştırma döküm yöntemiyle üretimi üzerine yapılan literatür araştırmasında kullanılan imalat parametreleri (fırın, malzeme sıcaklıkları, karıştırma devir ve süreleri vb.) tespit edilmiştir. Bu çalışmada, parçacık takviyeli MAK numune üretimine geçilmeden önce literatür çalışmalarından edilen bilgiler dahilinde ön deney çalışmaları yapılmıştır. Yapılan ön deneyler sonrasında ana deneyler için gerekli parametre değerlerin belirlenmesi yapılmıştır. Literatür araştırması ve ön deneylerde elde edilen kazanımlardan sonra parçacık takviyeli MAK numune üretimine geçilmiştir. Parçacık takviyeli MAK numunelerin üretim sürecini gösteren üretim akış şeması Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Metal ana fazlı (AA7075) ve parçacık takviyeli (SiC) MAK numunelerin üretim sürecini gösteren akış şeması.

4.2.1. Karıştırma Döküm İşlemi Ön Hazırlıkları

Karıştırma döküm işlemi için metal ana fazlı ve parçacık takviyeli kompozit numunelerin üretimine geçilmeden önce takviye elemanının üretim yüzdeleri hesaplanarak ve hassas tartı ile tartılarak 35 µm kalınlığında alüminyum folyo içerisine paketlenmiştir. Öncelikle ana faz malzemesi olan AA7075 alüminyum çubukları belirli boylarda (200 mm) kesme işlemine tabi tutularak ergitme işlemine hazır hale getirilmiştir. Altı farklı MAK numunelerin üretiminde kullanılan ana faz malzemesi AA7075 ve takviye elemanı SiC' ün ağırlıkları ve kütlece yüzde oranları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Altı farklı MAK numunelerin üretiminde kullanılan ana faz numunesi AA7075 ve takviye elemanı SiC' ün ağırlıkları ve kütlece yüzde oranları.

No	MAK	Alüminyum (g)	SiC (g)	Kütlece Takviye Oran (%)	İsimlendirme
1	G10	509	56	9,91	G/AA7075+%10 SiC
2	G14	551	89	13,91	G/AA7075+%14 SiC
3	G18	534	119	18,22	G/AA7075+%18 SiC
4	S10	525	58	9,95	S/AA7075+%10 SiC
5	S14	520	86	14,19	S/AA7075+%14 SiC
6	S18	522	115	18,05	S/AA7075+%18 SiC

Çizelge 4.3'de verilen kütlece takviye oranı değerleri takviye elemanı ağırlığının toplam ağırlığa (takviye elemanı ve ana faz ağırlığı) oranı ile hesaplanmıştır (Denklem 4.1).

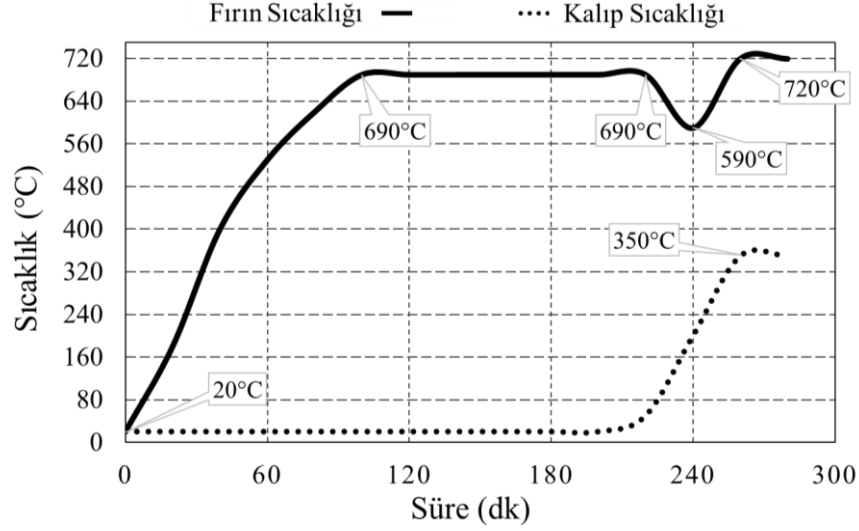
$$\text{Kütlece takviye oranı} = \frac{\text{Takviye elemanı ağırlığı}}{\text{Takviye elemanı ağırlığı} + \text{Ana faz ağırlığı}} \times 100 \quad (4.1)$$

Fırın için sıcaklığı arttırılmadan ve karıştırma işlemine başlamadan önce ana faz AA7075 malzemesi altta ve alüminyum folyo ile paketlenmiş takviye elemanları üstte olacak şekilde pota içerisine yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Her bir üretim için

pota içerisine ana faz ve takviye elemanları dizilim işlemi aynı şekilde yapılmıştır. Pota, karıştırma döküm ünitesinin asansörüne elle taşınmıştır. İçerisinde ana faz ve takviye elemanı dolu pota, asansör vasıtasıyla fırının içine yerleştirilmiştir. Potanın fırın içerisine alınmasından sonra fırın iç hacmine argon gazı gönderilerek (3 lt/dak) pota ve çevresinin argon gazı ile örtülmesi sağlanmıştır.

4.2.2. Karıştırma İşlemi ve Kompozit Numune Üretimi

Koruyucu argon gazının fırın hacmini doldurmasından sonra, fırın 690 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Fırın içerisindeki pota 690 °C'de 2 saat bekletilerek içerisindeki ana faz AA7075 alüminyum alaşımının homojen olarak ergimesi sağlanmıştır. Ergime sonrası kompozit numune üretim sisteminin üst kısmında bulunan karıştırıcı daha önce belirlenen seviyeye (pota tabanından 10 mm yukarıya) getirilerek 200 dev/dak hızla karıştırma işlemine başlanmıştır. AA7075 alüminyum ana faz eriyik halde iken takviye elemanlarını içeren alüminyum folyo oksit tabakasından dolayı paket halini korumaktadır. Takviye elemanlarının sarıldığı alüminyum folyo, karıştırmanın etkisiyle parçalanarak ergimiş ana faz malzemesinin içine yayılması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi takviye elemanı miktarına bağlı olarak 20 dakika süresince gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işleminden sonra fırın içi ısıtma sistemi devre dışına alınarak sistemin soğuması ve pota içerisinde eriyik MAK numune tekrar katılaşmaya başlaması sağlanmıştır. Isıtma sistemin kapatılmasından sonra fırın sıcaklığı 590 °C kadar düşürülerek katı-sıvı hal MAK eriyik numune elde edilmiştir. Elde edilen MAK numunenin kalıp içerisine alınarak şekillendirilmesi için fırın içi sıcaklığı 720 °C'ye çıkarılarak homojen üretim için tekrar karıştırma işlemi yapılmıştır. Fırın ve kalıbın süreye bağlı olarak sıcaklık değişimleri Şekil 4.13'de verilmiştir. Homojen karışımı ve akışkanlığı sağlanan pota içerisindeki MAK eriyik numune fırın içerisinden asansör vasıtasıyla çıkarılarak daha önceden ısıtılmış, döküme hazır kalıp içerisine alınması sağlanmıştır.



Şekil 4.13. Fırın içi ve kalıp sıcaklık değişimleri grafiği.

4.2.3. Döküm İşlemi

Pota içerisinde parçacık takviyeli MAK numunelerin karışım oranları ve karıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra eriyik haldeki MAK numune daha önceden 350 °C'ye kadar ısıtılan kalıbın içine maşa yardımıyla boşaltılmıştır. Kalıp içerisine dökümü gerçekleşen eriyik MAK numune yarı mamul ürün haline getirilmesi süreci iki şekilde sağlanmıştır. Birincisi, kompozit ergiyik metal kalıba alındıktan sonra serbest olarak soğutulmaya bırakılarak sağlanmıştır. İkincisi ise kalıba alınmış olan MAK numune 15 ton kuvvet uygulama kapasiteli pres vasıtasıyla, basınç uygulayarak ılık şekillendirmeye tabi tutularak elde edilmiştir. Ergimiş metal karıştırma ve basınç uygulayarak ılık şekillendirme ile üretimi gerçekleştirilen yarı mamul MAK numuneye ait görüntü Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



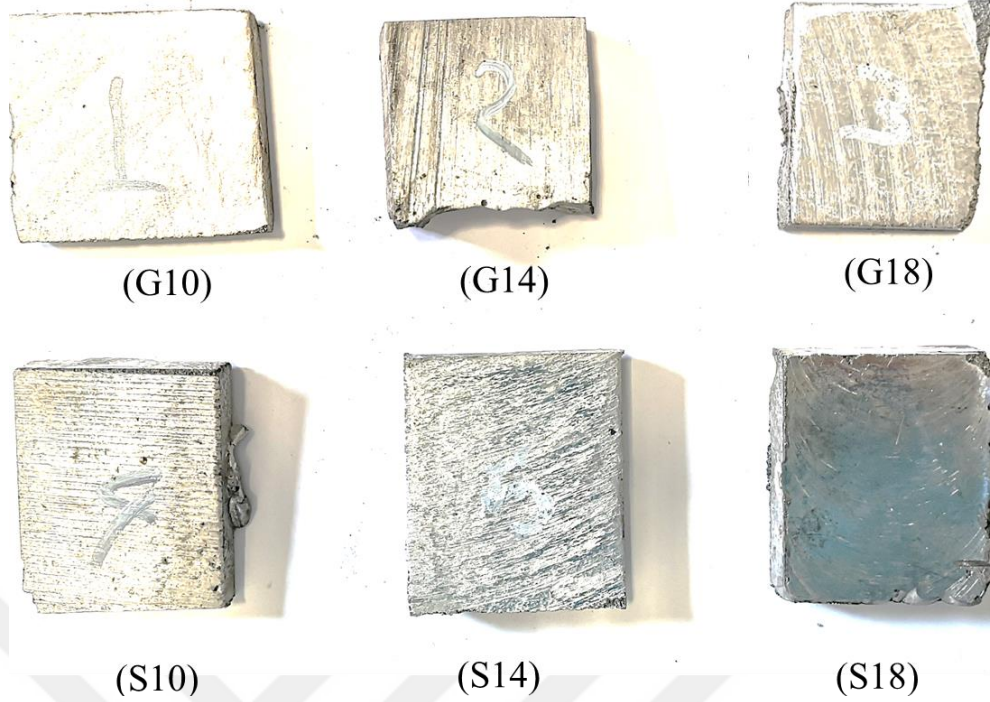
Şekil 4.14. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve basınç uygulayarak ılık şekillendirme ile elde edilen yarı mamul MAK numuneye ait görüntü.

4.3. METALOGRAFİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELEME YÖNTEMLERİ VE CİHAZLARI

Üretimi gerçekleştirilen parçacık takviyeli MAK numunelerin, metalografik yapıları ve mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunlar; parçacık dağılımı, kümelenme, gözeneklilik, sertlik, basma dayanımı ve sürtünme katsayısıdır. Sertlik değerlerinin belirlenmesinde sertlik ölçüm cihazı, kümelenme, gözeneklilik ve parçacık dağılımının incelenmesi için SEM ve EDX, basma dayanımının belirlenmesinde basma test cihazı kullanılmıştır. Deneysel yoğunluk ölçümleri arşimet prensibine göre yapılmıştır. Teorik yoğunluk hesaplarında bileşik yoğunluk hesaplama formülleri kullanılmıştır. Teorik ve deneysel yoğunlukların farkı gözeneklilik olarak değerlendirilmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinden önce karıştırma döküm yöntemi ve basınç uygulanarak ılık şekillendirme ile üretimi gerçekleştirilen MAK numunelerden istenilen boyutlarda numune hazırlama süreci gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Numunelerin Kesilme İşlemi

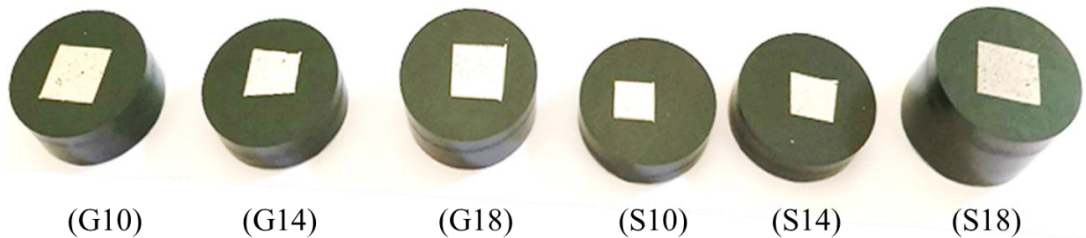
MAK numunelerden numune hazırlanması geleneksel imalat yöntemlerinden olan frezeleme ile gerçekleştirilerek 10 mm kalınlığında plakalar elde edilmiştir (Şekil 4.15). Basma testi ve mikro yapı incelemelerinde kullanılacak olan daha küçük boyutlu numuneler 10 mm kalınlığındaki plakalardan hassas testere kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Numunelerin kesilmiş görüntüleri G10) G/AA7075+%10 SiC, G14) G/AA7075+%14 SiC, G18) G/AA7075+%18 SiC, S10) S/AA7075+%10SiC, S14) S/AA7075+%14 SiC, S18) S/AA7075+%18SiC.

4.3.2. Bakalite Alınma İşlemi

MAK numunelerin SEM ve XRD görüntülerinin elde edilmesi için her bir numuneden kesilerek elde edilen numuneler bakalit içerisine alınmıştır. Bakalit içerisine alınan numuneler sırayla 240, 600, 800 ve 1200 grid zımparalarla zımparalanmasının ardından elmas pasta içeren keçe ile parlatılmıştır. Bakalite alınan ve zımparalanan numunelerin görüntüleri Şekil 4.16'de verilmiştir.



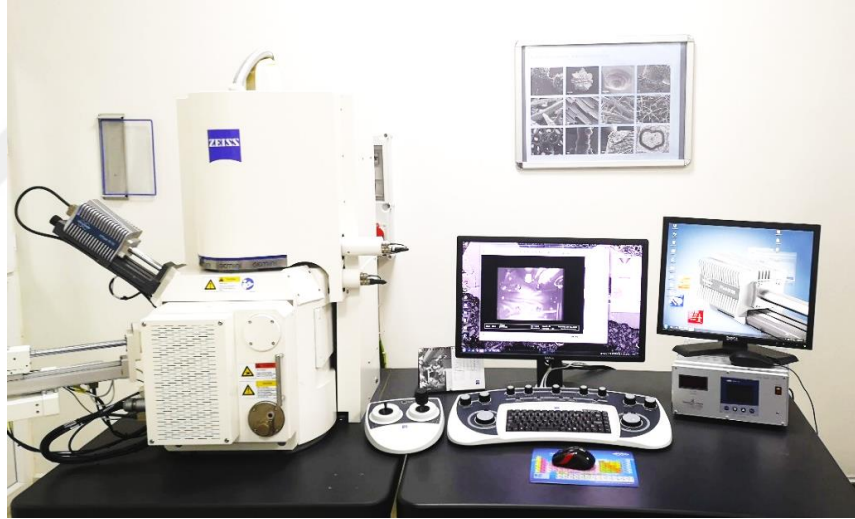
Şekil 4.16. Bakalite alınmış ve parlatılmış numunelerin görüntüleri G10) G/AA7075+%10 SiC, G14) G/AA7075+%14 SiC, G18) G/AA7075+%18 SiC, S10) S/AA7075+%10 SiC, S14) S/AA7075+%14 SiC, S18) S/AA7075+%18 SiC.

4.3.3. Enerji Yayımlı X ışını Analizi (EDX)

MAK numunelerin element ve kimyasal bileşimlerin 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 4.17’de gösterilmiştir.

4.3.4. Tarama Elektron Mikroskop (SEM)

MAK numunelerin üretimleri esnasında yapılarında oluşan gözeneklilik, kümelenme ve ara bağların tespiti için mikro yapı incelenmeleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM cihazı (Şekil 4.17) ile incelenmiştir.



Şekil 4.17. Carl zeiss ultra plus gemini fesem SEM ve EDX cihazı.

4.3.5. Sertlik Ölçüm

Üretilen kompozit numunelerin sertliğinin ölçülmesi amacıyla minimum 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 makro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.18). Dört farklı noktadan ölçüm yapılarak aritmetik ortalaması alınan sertlik değerleri (ASTM) mikro vikers biriminde (HV 0,5) ölçülmüştür.



Şekil 4.18. QNESS Q250M marka mikro makro sertlik ölçüm cihazı.

4.3.6. Basma Cihazı

MAK numunelerin basma mukavemet özelliklerini incelemek amacıyla 600 kN yük uygulayabilme kapasitesine sahip mekanik test cihazı ile yapılmıştır. Mekanik testler Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan, Zwick/Roell marka Z600 cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.19).



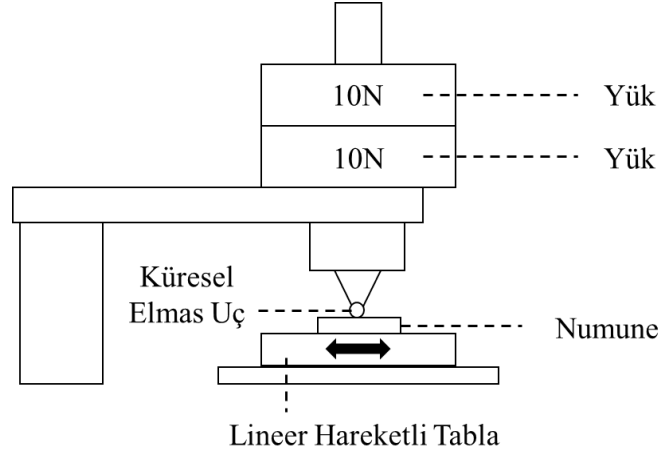
Şekil 4.19. Zwick/Roell marka Z600 çekme-basma-eğme testleri cihazı.

4.3.7. Aşınma Deneyi

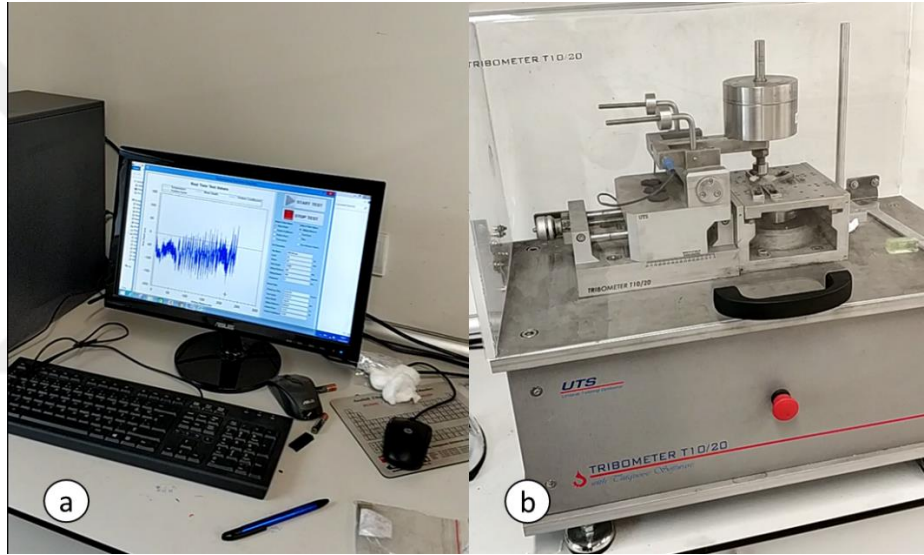
MAK numunelerin sürtünme katsayılarının belirlenmesi amacıyla Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM laboratuvarında bulunan ve 6 Hz frekansta aşınma testi gerçekleştirebilen maksimum 60 N yük uygulayabilen UTS tribometer T10 test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.21). Aşınma test deneylerinde kullanılan parametreler Çizelge 4.4’de, test cihazına ait şematik görüntü Şekil 4.20’de genel fotoğraf görüntüsü de Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu ölçüm cihazında elmas uca etki eden yükler anlık olarak kaydedilmektedir.

Çizelge 4.4. Sürtünme katsayısı tespiti için yapılan aşınma test deneylerinde kullanılan parametreler.

Kullanılan yükler (F), N	Hareket hızı (V), m/dak	Aşınma mesafesi (L), m
20, 30, 40	3 m/dak	200 m



Şekil 4.20. Aşınma test düzeneği şematik görüntüsü.



Şekil 4.21. UTS tribometer t10 test cihazı; a) veri işleme b) test ünitesi.

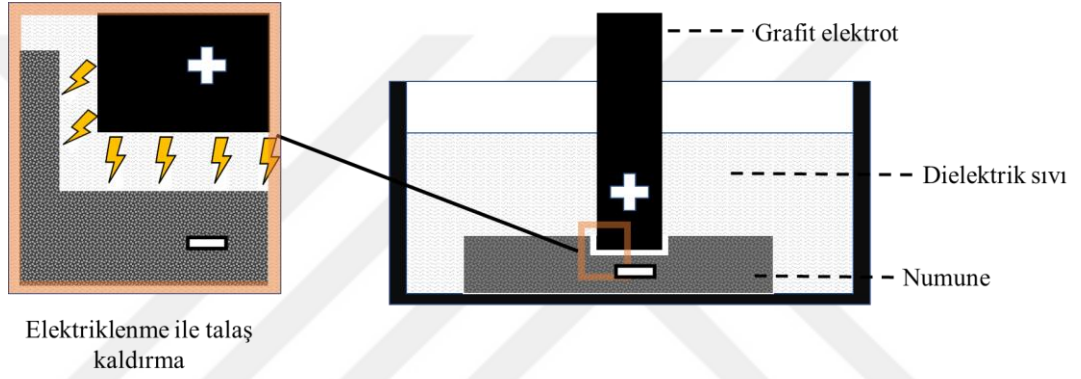
4.3.8. Elektro Erozyon Tezgâhı

MAK numunelerin EET tezgâhı ile işlenebilirliğinin incelenmesi amacıyla Düzce Üniversitesinde bulunan EET tezgâhı kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinin gerçekleştirilmesi sırasında dielektrik sıvı olarak Petrofer dielektrikum 358 mineral yağ kullanılmıştır. 12 mm çapında grafit bir elektrot kullanılarak 6 farklı numuneye üç farklı elektriksel akım şiddeti (Amper) ve vurum süresi işlem girdisi olarak kullanılmıştır. İşlemelerde sabit bekleme süresi 20 μ s ve sabit talaş derinliği 0,5 mm'dir. İşlem sunucu olarak işleme süresi, yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve ağırlık kaybı verileri elde edilmiştir. İşleme sırasında kullanılan işlem parametreleri Çizelge

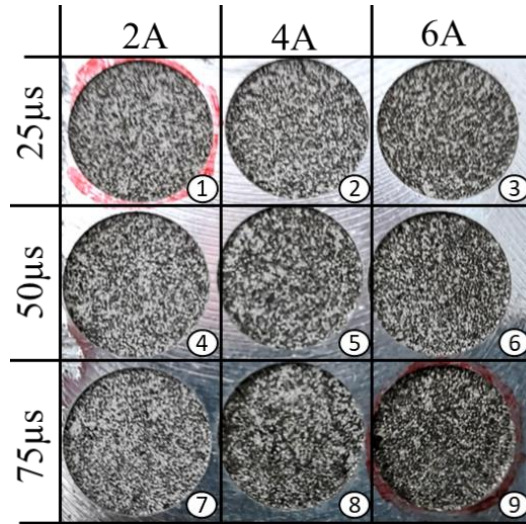
4.5’de verilmiştir. Elektro erozyon tezgâhı ile işleme şematigi Şekil 4.22’de, elektro erozyon tezgâhı ile G14 numunesi de örnek olarak Şekil 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. EET tezgahında işleme için kullanılan işlem parametreleri.

Elektriksel Akım şiddeti (A)	Vurum Süresi (μ s)	Bekleme Süresi (μ s)	Talaş Derinliği (mm)
2	25	20	0,5
4	50	20	0,5
6	75	20	0,5



Şekil 4.22. Elektro erozyon tezgahında işlemenin şematik gösterimi.



Şekil 4.23. Elektro erozyon tezgahında işlenmiş kompozit numune (G14).

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ergimiş metal karıştırma yöntemi ve geleneksel döküm ile sıkıştırılmalı döküm teknikleri kullanılarak Altı farklı MAK numuneler üretilmiştir. Ana faz malzemesi olarak AA7075 alüminyum alaşım, takviye elemanı olarak ise 75 µm ebatlı SiC parçacıkları kullanılmıştır. Takviye elemanı oranları kütlece %10, %14 ve %18'dir. Üretimi gerçekleştirilen MAK numunelerin (Çizelge 5.1) mikroyapı ve mekanik özellikleri belirlenmeye, EET tezgahında ise farklı işleme parametrelerinde işlenebilirliği araştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Altı farklı MAK numune üretiminde kullanılan ana faz ve takviye elemanı oranları ile üretim yöntemleri.

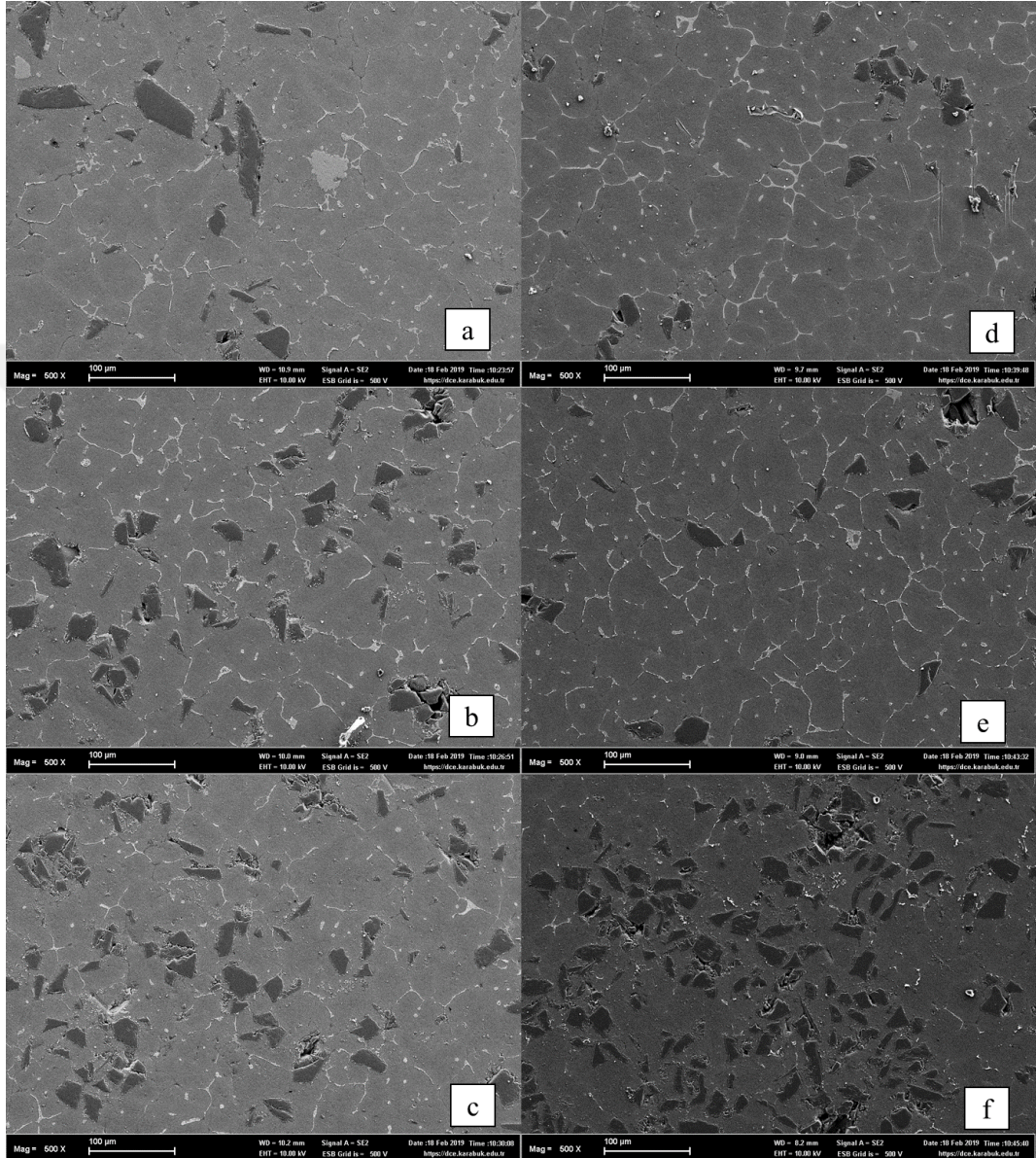
No	Döküm Tekniği	% Ana faz	% Takviye oranı	İsimlendirme	Kod
1	Geleneksel döküm	%90AA7075	%10 SiC	G/AA7075+%10 SiC	G10
2	Geleneksel döküm	%86AA7075	%14 SiC	G/AA7075+%14 SiC	G14
3	Geleneksel döküm	%82AA7075	%18 SiC	G/AA7075+%18 SiC	G18
4	Sıkıştırma döküm	%90AA7075	%10 SiC	S/AA7075+%10 SiC	S10
5	Sıkıştırma döküm	%86AA7075	%14 SiC	S/AA7075+%14 SiC	S14
6	Sıkıştırma döküm	%82AA7075	%18 SiC	S/AA7075+%18 SiC	S18

5.1. METALOGRAFİ İNCELEME SONUÇLARI

5.1.1. Tarama Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilmiş ve döküm sonrası elde edilen MAK numunelerin ara yüzey bağ oluşumları, SiC takviye elemanlarının AA7075 ana faz

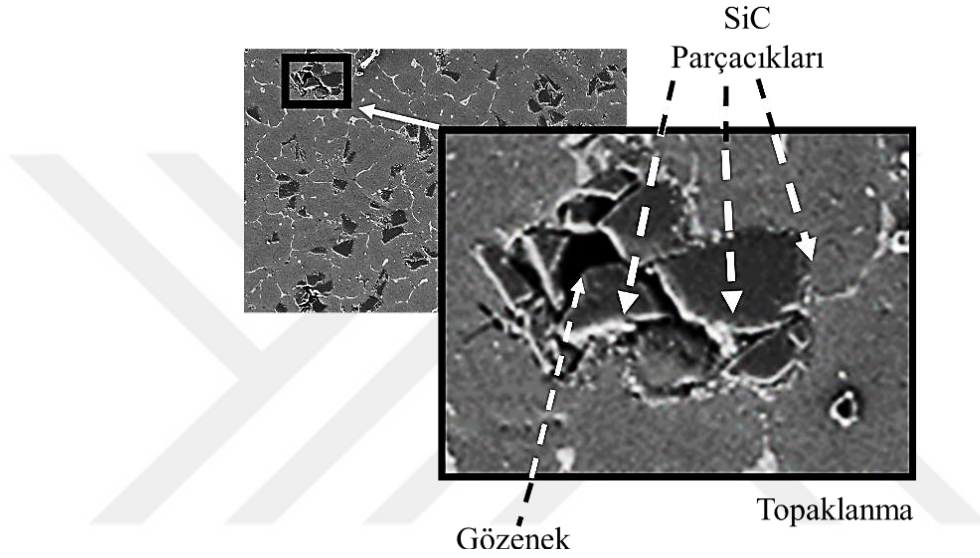
içinde dağılım şekli ve yapı içerisinde gözeneklilik (boşluk) oluşumu ile ilgili inceleme sonuçları aşağıda sunulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen parçacık takviyeli kompozit numunelere ait mikro yapı görüntüleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretilen MAK numunelere ait mikroyapı görüntüleri; a) G/AA7075+%10 SiC, b) G/AA7075+%14 SiC, c) G/AA7075+%18 SiC, d) S/AA7075+%10 SiC, e) S/AA7075+%14 SiC, f) S/AA7075+%18 SiC.

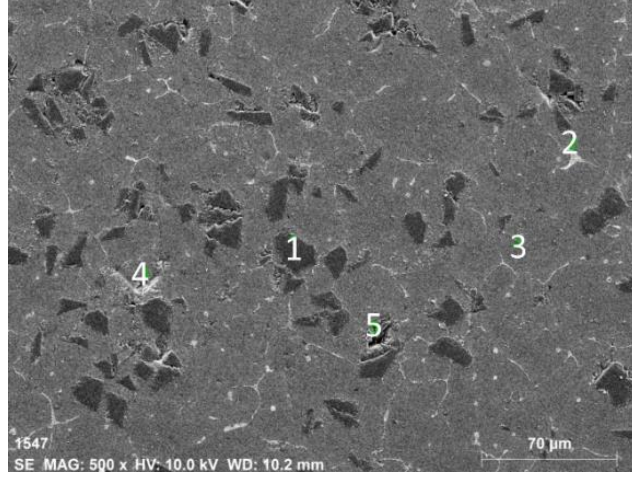
Şekil 5.1’de numunelere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde (500X büyütmeli) SiC parçacıklarının alüminyum ana faz içerisinde homojen sayılabilir dağılım sergilediği görülmüştür. Ayrıca, SiC oranının yüksek olduğu G18 ve S18

numunelerinde gözeneklilik ve topaklanma diğer numunelerle (G10, G14, S10 ve S14) mukayese yapıldığında artış göstermiştir. G18 ve S18 numunelerinde artan gözeneklilik ve topaklanma, katılaşma sırasında SiC parçacıklarının tane sınırlarına itilmesinden kaynaklanmıştır [119]. Ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretimleri gerçekleştirilen altı farklı MAK numunelerde gözlemlenen topaklanma ve gözenekliliğin daha iyi gösterilmesi için rastgele seçilen G14 numunesinde oluşan topaklanma ve gözenekler daha yakından incelenmiştir (Şekil 5.2).



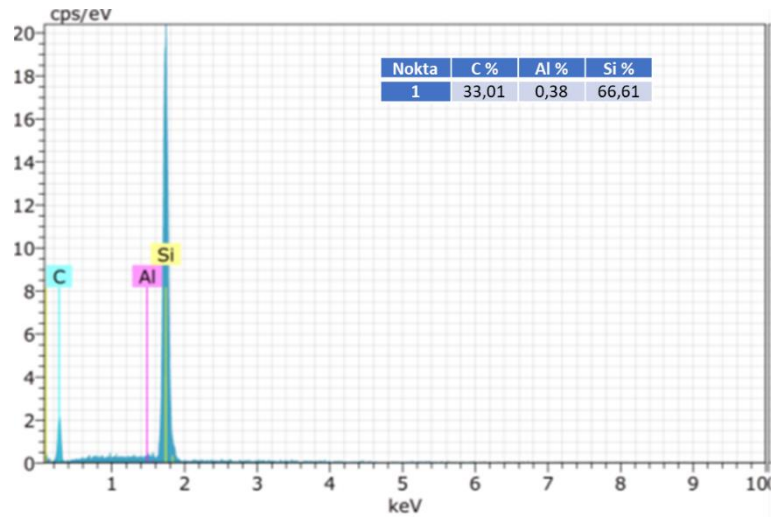
Şekil 5.2. G14 numunesinde gözlemlenen topaklanma ve gözeneklilik örneği.

Altı farklı MAK numunenin EDX cihazı ile elemental analizleri yapılmıştır. Elemental analizi tanımlaması için G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerinde 5 nokta (Şekil 5.3) belirlenmiştir. EDX cihazı ile elde edilen noktasal elemental analizi grafikleri Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerinde elemental analiz için belirlenen 5 farklı noktanın görünümü.

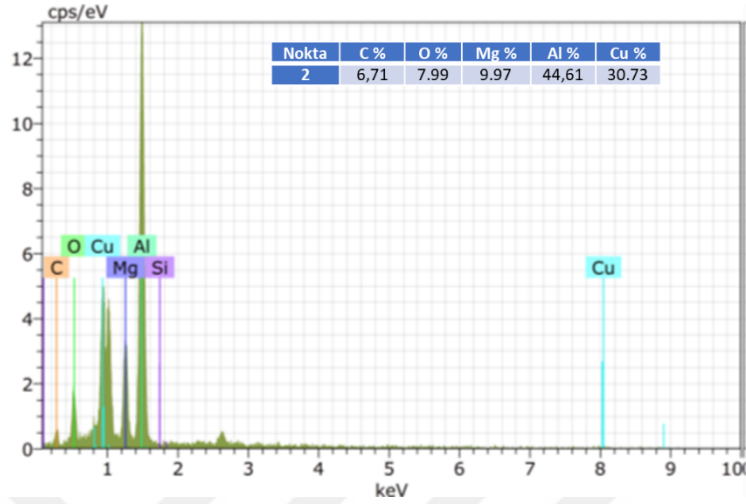
G18 numunesinin mikroyapı görüntüleri üzerinden 5 ile numaralandırılan noktada gözenek olduğundan herhangi bir element gözlemlenmemiştir. Bu nedenle, 5 ile numaralandırılan noktanın elemental grafiği oluşturulamamıştır. G18 numunesi mikro yapısı üzerinde 1 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analizi Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 1 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiği.

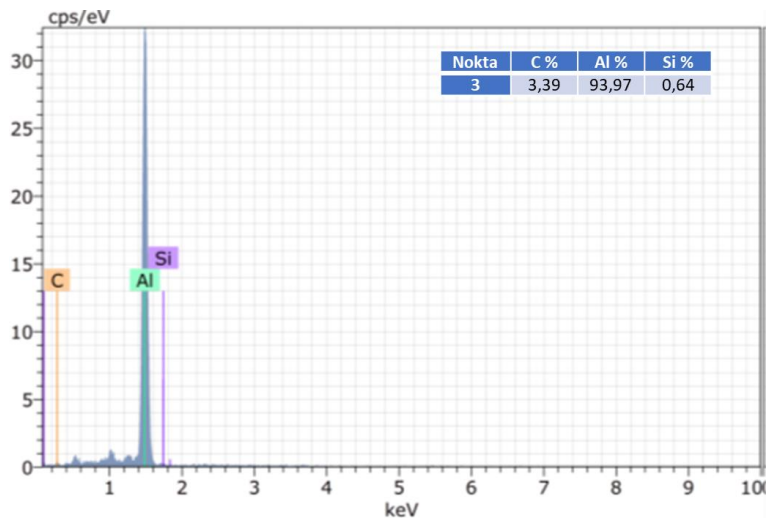
G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerindeki 1 ile tanımlanan noktanın elemental analizi grafiği (Şekil 5.4) incelendiğinde kütlece %66,61 Si ve %33,01 C elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen Si ve C’nun kütlece yüzde

değerleri 1 ile tanımlanan noktanın takviye elemanı SiC'e ait olduğunu göstermektedir.



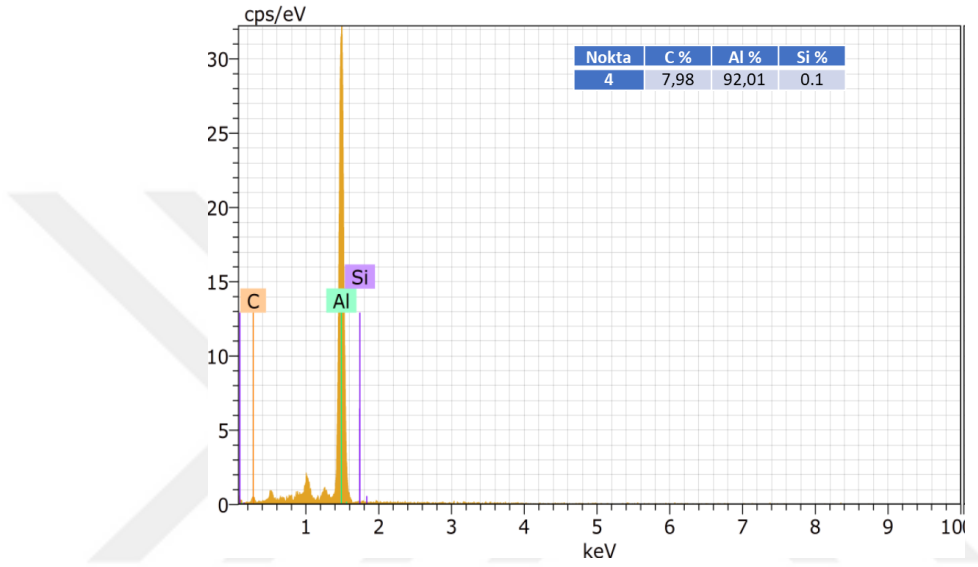
Şekil 5.5. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 2 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiği.

G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerindeki 2 ile numaralandırılan noktanın elemental analiz grafiği (Şekil 5.5) incelendiğinde, 2 noktasında kütlece %44,61 Al, %30,73 Cu, %6,71 C, %7,99 O ve %9,97 Mg elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen elementlerin kütlece yüzde değerleri tanımlanan noktada elementlerin yığılma eğilimi gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.6. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 3 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analiz grafiği.

G18 numunesi mikroyapı görüntüsü üzerindeki 3 ile numaralandırılan noktanın elemental analiz grafiği (Şekil 5.6) incelendiğinde, 3 ile tanımlana noktada kütlece %93,97 Al ve %6,71 C elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen elementlerin kütlece yüzde değerleri noktanın ana faza ait olduğunu göstermiştir. 4 ile tanımlanan noktanın elemental analizi sonucu (Şekil 5.7) 3 ile tanımlanan noktanın elemental analiz sonucu ile benzerlik göstermiştir.



Şekil 5.7. G18 numunesinin mikroyapı görüntüsü üzerinde 4 ile numaralandırılan noktaya ait elemental analizi grafiği.

5.2. MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE İLGİLİ SONUÇLAR

5.2.1. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Üretilen MAK numunelerin gözeneklilik miktarı, yoğunluk ve özgül mukavemetin ($Dayanım / \rho$) tespiti için yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen numunelerin teorik yoğunlukları (ρ_{teorik}) denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmış ve deneysel yoğunluklar ($\rho_{deneysel}$) arşimet prensibiyle elde edilmiştir. Elde edilen deneysel ve teorik yoğunluk verilerinde gözeneklilik oranları denklem 5.2 ile hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik yoğunluk verileri ile gözeneklilik oranları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

$$\rho_{teorik} = \frac{\%K\u00fctle_{AA7075} \times \rho_{AA7075} + \%K\u00fctle_{SiC} \times \rho_{SiC}}{100} \quad (5.1)$$

$$G\u00f6zeneklilik = \left(1 - \frac{\rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}}\right) \times 100\% \quad (5.2)$$

Çizelge 5.2. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen MAK numunelere ait ana faz ve takviye elemanı oranları ile deneysel yoğunluk, teorik yoğunluk ve gözeneklilik değerleri.

Numune	Numune İsmi	$\rho_{deneysel}$ (g/cm ³)	ρ_{teorik} (g/cm ³)	Gözeneklilik %
G10	G/AA7075+%10 SiC	2,72	2,84	4,12
G14	G/AA7075+%14 SiC	2,68	2,85	5,89
G18	G/AA7075+%18 SiC	2,65	2,87	7,63
S10	S/AA7075+%10 SiC	2,76	2,84	2,84
S14	S/AA7075+%14 SiC	2,75	2,85	3,74
S18	S/AA7075+%18 SiC	2,74	2,87	4,52

Geleneksel döküm tekniği ile üretilen G10, G14 ve G18 numunelerinin gözeneklilik oranları (Çizelge 5.2) kendi aralarında mukayese edildiğinde %10 SiC takviye elemanı içeren numunede karşılaşılan gözeneklilik oranı kütlece takviye elemanı oranının %40 arttırılmasıyla gözeneklilik oranında %42,96 oranında artış, kütlece takviye elemanı oranının %80 arttırılmasıyla gözeneklilik oranında %85,17 oranında artış gözlemlenmiştir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10, S14 ve S18 numunelerine ait gözeneklilik oranları kendi aralarında mukayese edildiğinde ise kütlece %10 SiC takviye elemanı içeren numunede gözlemlenen gözeneklilik oranı kütlece takviye elemanı oranının %40 arttırılmasıyla gözeneklilik oranında %31,69 artı, kütlece takviye elemanı oranının %80 arttırılmasıyla gözeneklilik oranının %59,15 arttığı gözlemlenmiştir. Kütlece takviye oranındaki artış gözeneklilik miktarında doğrusal bir artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen gözeneklilik değerleri takviye oranları açısından değerlendirildiğinde, Takviye elemanı olarak %10 SiC içeren G10 ve S10 numunelerin gözeneklilik oranları arasında, S10 numunesinin gözeneklilik oranı G10'a göre %31,06 azaldığı, %14 SiC takviye içeren G14 ve S14 numunelerin gözeneklilik değerleri incelendiğinde S14 numunesinin gözeneklilik oranı G14'e göre %36,50 oranında azaldığı ve %18 SiC takviye elemanı içeren G18 ve S18 numunelerinin gözeneklilik oranları incelendiğinde

ise S18 numunesinin G18 numunesine oranla %40,76 oranında daha az gözenek içerdiği tespit edilmiştir.

Tüm deney sonuçları incelendiğinde en az gözenekliliğin %10 SiC içeren ve sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen S10 numunesinde, en çok gözenekliliğin ise %18 SiC içeren serbest döküm tekniği ile üretilen G18 numunesinde, G18 numunesindeki gözeneklilik oranının S10 numunesinden %268,66 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

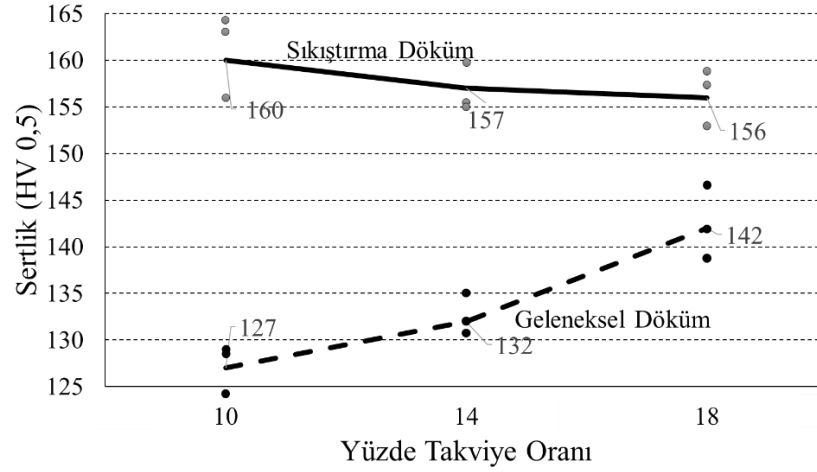
Elde edilen sonuçlar kompozit numune imalatında kullanılan takviye elemanının (SiC) kütlece oranının artışı gözeneklilik değerini arttırmıştır. Takviye elemanı oranındaki artışın gözeneklilik miktarının artışıyla orantılı olmasının sebebinin eriyik içerisine takviye elemanı ilavesi sırasında, takviye elemanının gazdan tamamen arındırılmamasından, takviye elemanı ve anafaz malzemesindeki genleşme katsayı farklarından ve karıştırma işleminden kaynaklanmaktadır [95,120].

5.2.2. Sertlik Ölçüm Sonuçları

İki farklı teknikle üretimi gerçekleştirilen numunelerin her biri için 3 tekrarlı sertlik değeri ölçülmüş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması Çizelge 5.3’de verilmiştir. Aritmetik ortalaması alınan sertlik değerlerinin yüzde takviye oranı – sertlik ilişkileri grafik olarak Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve iki farklı döküm tekniğiyle üretimi gerçekleştirilen MAK numunelere ait sertlik değerleri.

Numune	Mikro Sertlik Değerleri (HV 0,5)	En düşük sertlik oranına göre yüzde sertlik değişimi	Döküm tekniğine göre yüzde sertlik değişimi
G10	127	Referans	Geleneksel döküm referans
G14	132	+ % 3,94	+ % 3,94
G18	142	+ % 11,81	+ % 11,81
S10	160	+ % 25,98	Sıkıştırma döküm referans
S14	157	+ % 23,62	- % 1,875
S18	156	+ % 22,83	- % 2,5



Şekil 5.8. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ve iki farklı döküm tekniğiyle elde edilen MAK numunelerin kütlece takviye oranı-sertlik grafiği.

Geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G10, G14 ve G18 numunelerinin sertlik değerleri kendi aralarında mukayese edildiğinde (Çizelge 5.3) G10 numunesi takviye elemanı değeri %40 arttırıldığında mikro sertlik değeri %3,93 (G14), takviye oranını %80 oranında arttırıldığında ise sertlik değeri %11,81 oranında artış (G18) göstermiştir. Sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen S10, S14 ve S18 numunelerine ait sertlik değerleri kendi aralarında mukayese edildiğinde, S10 numunesinde takviye oranının %40 oranında arttırıldığında mikro sertlik değeri %1,87 oranında düşüş (S14), takviye oranı %80 oranında arttırıldığında ise (S18) mikro sertlik değeri %2,5 oranında düşüş göstermiştir.

Üretim yöntemi ve takviye oranı açısından değerlendirildiğinde, %10 SiC takviye oranı içeren G10 ve S10 numunelerinin takviye oranları aynı olmasına rağmen sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen S10 numunesinin mikro sertlik değeri (160 HV) geleneksel döküm tekniği ile üretilen G10 numunesinin mikro sertlik değerinden (127 HV) %25,98 oranında artış göstermiştir. Takviye oranlarının %40 oranında arttırılmasında ise S14 numunesinin mikro sertlik değeri (157 HV) G14 numunesinin sertlik değerinden (132 HV) %18,93 oranında bir artış göstermiştir. Takviye oranları %80 oranında arttırıldığında S18 numunesi mikro sertlik değeri G18 numunesi mikro sertlik değerinden %9,85 oranında bir artış göstermiştir.

Takviye oranları aynı olmasına rağmen üretim yöntemlerinin değişmesi durumunda sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numunelerin mikro sertlik değerleri artış

göstermiştir. Bu durum, sıkıştırma kuvvetlerinin mekanik özellikleri iyileştirmesine bağlanmıştır.

Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen MAK numunenin takviye elemanı oranının artışına bağlı olarak mikro sertlik değerleri artış göstermiştir. Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen MAK numunelerin mikro sertlik değeri artış göstermesi, yüksek sertlik değerine sahip takviye elemanı kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sıkıştırma yöntemiyle üretilen MAK numunelerin takviye oranı artışına bağlı olarak mikro sertlik değerleri düşüş göstermiştir. Mikrosertlik değerlerinin düşüş göstermesinin nedeni, sıkıştırma kuvvetlerinin yüksek takviye oranında mikro çatlak oluşumunun artmasından kaynaklı olduğuna bağlanmıştır [121].

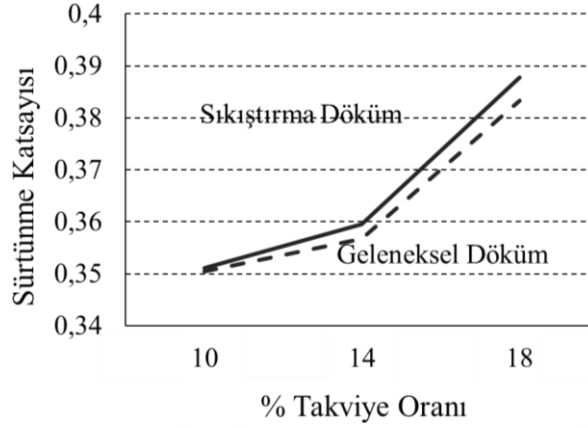
5.2.3. Sürtünme Katsayısı Deneyi Sonuçları

Üretimi gerçekleştirilen altı farklı MAK numunenin farklı yükler altındaki sürtünme katsayıları pin-on flat yöntemi ile belirlenmiştir. Numunelerden elde edilen anlık sürtünme katsayıların aritmetik ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Numunelere ait sürtünme katsayıları Çizelge 5.4’de verilmiştir. Üretim yöntemleri, takviye oranları ve uygulanan yüklere göre oluşturulan sürtünme katsayıları grafikleri Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Farklı yükler altındaki numunelerin ortalama sürtünme katsayıları.

Numune	20 N yük altında sürtünme katsayısı	30 N yük altında sürtünme katsayısı	40 N yük altında sürtünme katsayısı
G10	0,350	0,350	0,374
G14	0,356	0,354	0,370
G18	0,383	0,383	0,338
S10	0,351	0,352	0,498
S14	0,359	0,369	0,492
S18	0,387	0,391	0,483

5.2.3.1. Sıkıştırma ve Geleneksel Döküm Yöntemiyle Üretilen MAK Numunelerin 20 N Yük Altında Sürtünme Katsayıları

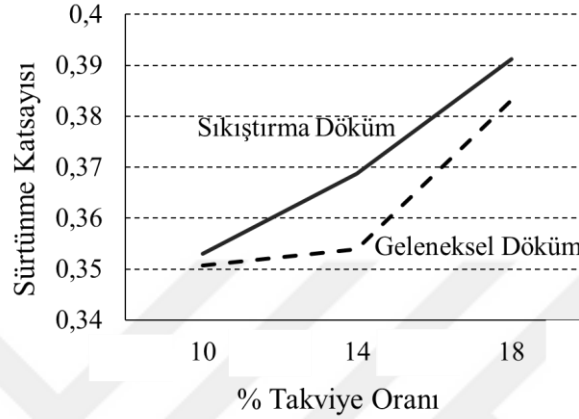


Şekil 5.9. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 20 N yük altında % takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.

Farklı yükler altında MAK numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde (Çizelge 5.4); geleneksel döküm yöntemiyle üretilen G10, G14 ve G18 numunelerde bulunan SiC takviye elemanı oranının artırılmasına bağlı olarak her üç yük (20 N, 30 N ve 40 N) altında sürtünme katsayıları artış göstermiştir. G10 numunesinin takviye elemanı oranı %40 oranında arttırıldığında 20 N yük altında sürtünme katsayısı değeri (0,350) %1,71 oranında artış (G14), takviye oranı %80 oranında arttığıında ise %9,42 (0,383) artış göstermiştir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10, S14 ve S18 numunelerin takviye elemanı oranları aynı oranda arttırılması geleneksel yöntemle üretilen numunelerde olduğu gibi sürtünme katsayısı değerlerinde artışa neden olmuştur. Üretim yöntemi ve içerisindeki takviye oranı açısından sürtünme katsayıları değerlendirildiğinde kütlece %10 SiC oranında takviye içeren G10 ve S10 numunelerinde sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10 numunesinin sürtünme katsayıları G10 numunesine göre %0,28 (0,351) artış göstermiştir. Kütlece %14 SiC oranında takviye elemanı içeren (G14 ve S14) numunelerinin 20 N yük altında sürtünme katsayısı davranışları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numunenin (S14) sürtünme katsayısı değerinin (0,359) geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G14 numunesinin sürtünme katsayı değerinden (0,356) %0,80 oranında artış gözlemlenmiştir. Kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren (G18 ve S18) numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S18 numunenin sürtünme katsayısı (0,387) geleneksel döküm yöntemiyle

üretile (G18) numunenin sürtünme katsayısına (0,383) oranla %1,17 oranında artış göstermiştir.

5.2.3.2. Sıkıştırma ve Geleneksel Döküm Yöntemiyle ile Üretilen MAK Numunelerin 30 N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Sonuçları

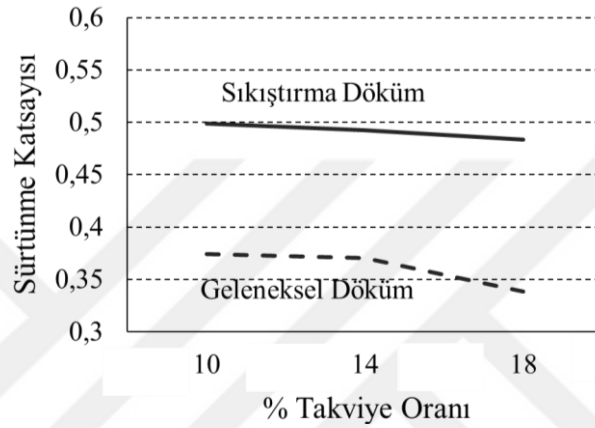


Şekil 5.10. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 30 N yük altında takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.

30 N yük altında sürtünme katsayıları değerleri (Şekil 5.10) incelendiğinde, geleneksel döküm yöntemiyle üretilen G10 numunesinin takviye elemanı oranı %40 oranında arttırıldığında 30N yük altında sürtünme katsayısı değeri (0,350) %0,89 oranında artış (G14), takviye elemanı oranı %80 oranında arttırıldığında ise %8,29 (0,383) artış göstermiştir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10, S14 ve S18 numunelerin takviye elemanı oranları aynı oranda arttırılması, geleneksel yöntemle üretilen numunelerde olduğu gibi sürtünme katsayısı değerlerinde artışa neden olmuştur. Üretim yöntemi ve içerisindeki takviye oranı açısından sürtünme katsayıları değerlendirildiğinde kütlece %10 SiC oranında takviye içeren G10 ve S10 numunelerinde sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10 numunesinin sürtünme katsayısı (0,352), G10 numunesine göre %4,46 (0,35) artış göstermiştir. Kütlece %14 SiC oranında takviye elemanı içeren (G14 ve S14) numunelerinin 30N yük altında sürtünme katsayısı davranışları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numunenin (S14) sürtünme katsayısı değerinin (0,369) geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G14 numunesinin sürtünme katsayısına (0,354) oranla %4,2 oranında artış gözlemlenmiştir. Kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren (G18 ve S18)

numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S18 numunenin sürtünme katsayısı (0,391) geleneksel döküm yöntemiyle üretilen (G18) numunenin sürtünme katsayısına (0,383) oranla %2,11 oranında artış göstermiştir.

5.2.3.3. Sıkıştırma ve Geleneksel Döküm Yöntemiyle ile Üretilen MAK Numunelerin 40 N Yük Altında Sürtünme Katsayıları



Şekil 5.11. Sıkıştırma ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilen numunelerin 40 N yük altında takviye oranı-sürtünme katsayısı ilişkisi.

40 N yük altında sürtünme katsayıları verileri değerlendirildiğinde (Şekil 5.11), geleneksel döküm yöntemiyle üretilen G10 numunesinin takviye elemanı oranı %40 oranında arttırıldığında sürtünme katsayısı değeri (0,374) %1,05 oranında artış (G14), takviye oranı %80 oranında arttığında ise %8,72 (0,338) oranında azalma göstermiştir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10, S14 ve S18 numunelerin takviye elemanı oranları aynı oranda arttırılması geleneksel döküm yöntemle üretilen numunelerde olduğu gibi sürtünme katsayısı değerleri artış göstermiştir. Üretim yöntemi ve içerisindeki takviye oranı açısından sürtünme katsayıları değerlendirildiğinde kütlece %10 SiC oranında takviye içeren G10 ve S10 numunelerinde sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S10 numunesinin sürtünme katsayısı (0,498) G10 numunesine göre %33,16 (0,374) artış göstermiştir. Kütlece %14 SiC oranında takviye elemanı içeren (G14 ve S14) numunelerinin 40 N yük altında sürtünme katsayısı davranışları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S14 numunesinin sürtünme katsayısı değerinin (0,492) geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G14 numunesinin sürtünme katsayısına (0,370) oranla %32 oranında artmıştır. Kütlece %18 oranında

takviye elemanı içeren (G18 ve S18) numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S18 numunesinin sürtünme katsayısı (0,483) geleneksel döküm yöntemiyle üretilen (G18) numunenin sürtünme katsayısına (0,338) oranla %42,8 oranında artış göstermiştir.

5.2.3.4. Sıkıştırma ve Geleneksel Döküm Yöntemiyle ile Üretilen MAK Numunelere Uygulanan Farklı Yüklerin Sürtünme Katsayılarına Etkileri

%10 SiC takviye elemanı içeren serbest dökümle üretilen G10 numunesi için 20 N, 30 N ve 40 N yük altında sürtünme katsayıları incelendiğinde uygulanan 20 N yük %50 arttırıldığında (30 N) sürtünme katsayısında bir değişiklik olmadığı, fakat %100 oranında arttırıldığında (40 N) G10 numunesinin sürtünme katsayı değeri ilk yüke göre %6,85 oranında artış göstermiştir.

%14 SiC takviye elemanı içeren geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G14 numunesi sürtünme katsayıları incelendiğinde uygulanan 20 N yük %50 oranında arttırıldığında (30 N) sürtünme katsayısında %0,56 oranında düşüş, %100 oranında arttırıldığında (40 N) G14 numunesinin sürtünme katsayı değeri 20 N yüke göre %3,93 oranında artış göstermiştir.

%18 SiC takviye elemanı içeren geleneksel döküm tekniğiyle üretilen G18 numunesi sürtünme katsayıları incelendiğinde 20 N yük %50 oranında arttırıldığında (30 N) sürtünme katsayı değerinde bir değişiklik olmadığı, yük %100 arttırıldığında (40 N) ise G18 numunesinin sürtünme katsayısının ilk yüke (20 N) göre %11,74 oranında düşüş göstermiştir.

%10 SiC takviye elemanı içeren ve sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen S10 numunesi sürtünme katsayıları incelendiğinde 20 N yük %50 oranında arttırıldığında (30 N) sürtünme katsayılarında %0,28 oranında arttığı, yük %100 oranında arttırıldığında (40 N) ise S10 numunesinin sürtünme katsayı değeri 20 N yüke göre %41,88 oranında arttığı görülmüştür.

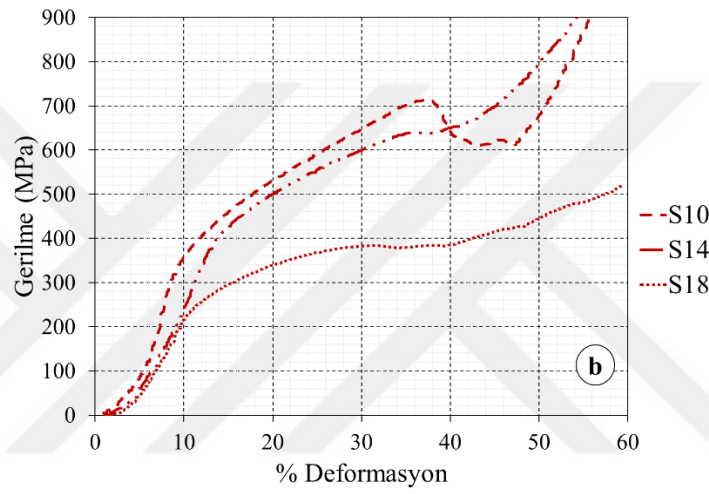
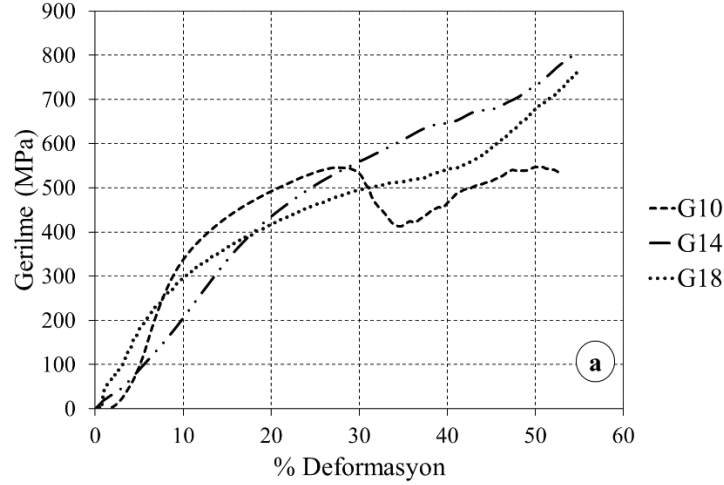
%14 SiC takviye elemanı içeren ve basınç uygulanarak üretilen S14 numunesi sürtünme katsayıları incelendiğinde 20 N yük %50 oranında arttırıldığında (30 N)

sürtünme katsayısında %2,78 oranında arttığı, yük %100 oranında arttırıldığında (40 N) ise S14 numunesinin sürtünme katsayı değerinde ilk yüke göre %37,05 oranında artış görülmüştür.

%18 SiC takviye elemanı içeren ve basınç uygulanarak üretilen S18 numunesi sürtünme katsayıları incelendiğinde 20 N yük ve yük %50 oranında arttırıldığında (30 N) sürtünme katsayısında %1,03 oranında arttı artış, %100 oranında arttırıldığında (40 N) ise S18 numunesinin sürtünme katsayı değeri ilk yüke (20 N) oranla %24,81 artış göstermiştir.

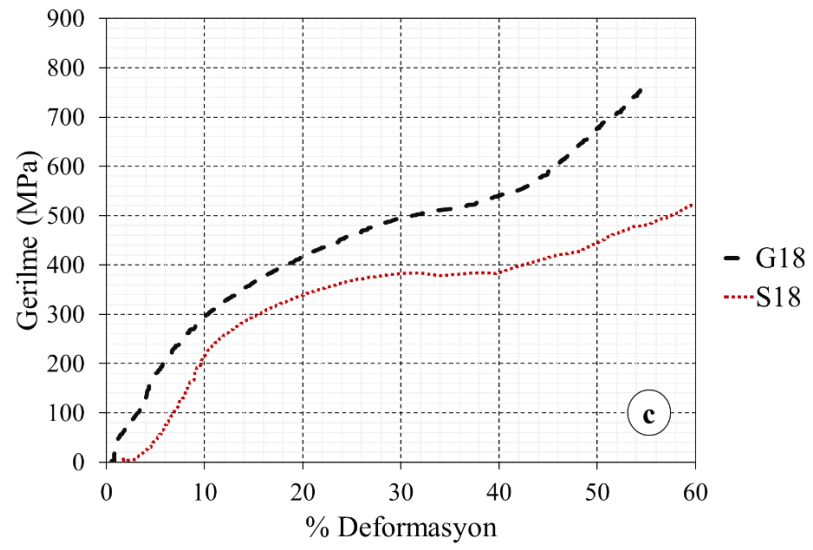
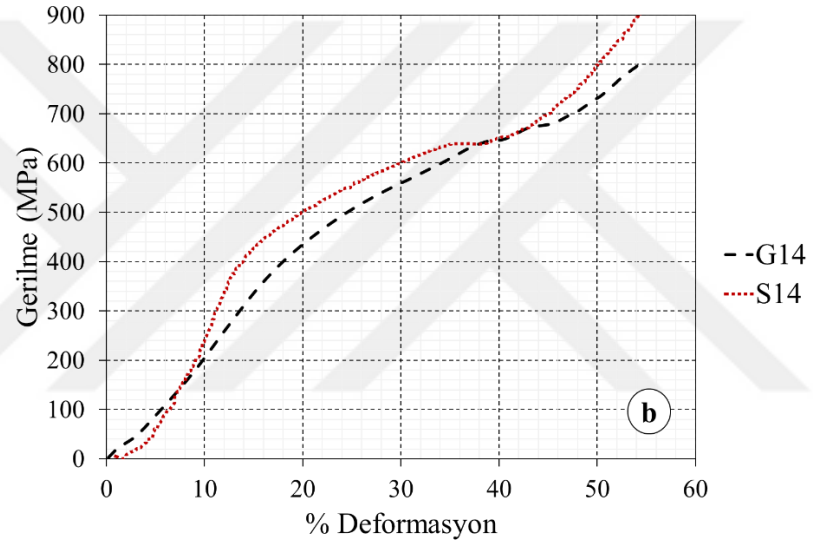
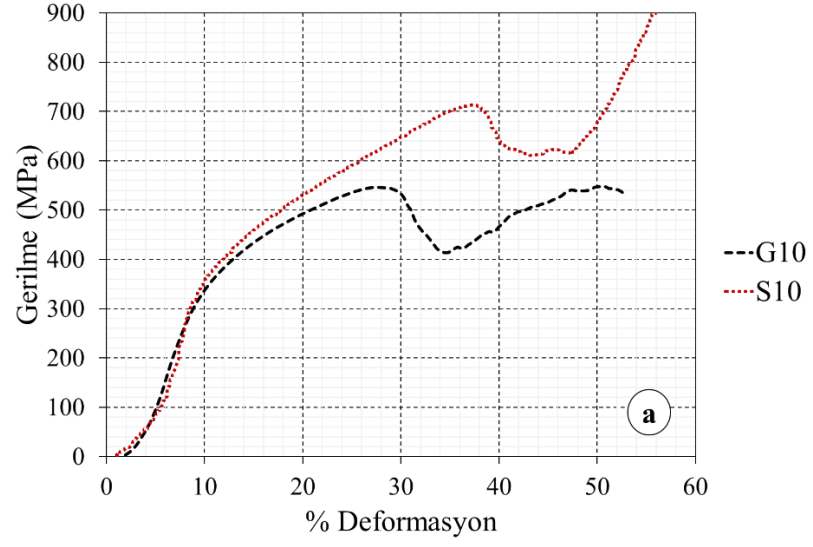
5.2.4. Üretilen MAK Numunelerin Basma Gerilmesi Değerleri

Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) standardına uygun olarak hazırlanan numunelerin 1 mm/s basma hızında basma testleri yapılmıştır. Basma testi sonrasında verilerden elde edilen basma gerilme % deformasyon grafikleri Şekil 5.12’da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, takviye oranlarının artmasıyla basma dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, kullanılan kütlece takviye oranı boyutunun büyük olmasından dolayı kompozit numune içinde mikro çatlakların takviye oranı artışıyla arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [121,122].



Şekil 5.12. MAK numunelerden elde edilen basma gerilmesi-% deformasyon grafikleri a) geleneksel döküm tekniği ile üretilen numuneler, b) sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen numuneler.

Geleneksel döküm ile üretilen kompozit numunelerin basma dayanımları yüzde deformasyon oranına göre incelendiğinde sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek dayanımının sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen ve kütlece %10 SiC takviye elemanı içeren (G10, S10) numunelerde, en düşük basma gerilmesi değerleri de sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen ve kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren (G18, S18) numunelerde gözlemlenmiştir. Bu durum sıkıştırma kuvvetinin düşük kütlece takviye oranlarında mukavemeti arttırdığı fakat yüksek kütlece takviye oranlarında ise mikro çatlakları arttırması nedeniyle mukavemette düşüş yaşandığı düşünülmektedir. Numunelerin geleneksel döküm tekniği ve sıkıştırma döküm tekniği ile yüzde oranlarına göre basma gerilerinin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Kütlece takviye elemanı yüzde oranlarına basma mukavemeti grafikleri a) %10 SiC takviyeli numunelere ait, b) %14 SiC takviyeli numunelere ait, c) %18 SiC takviyeli numunelere ait.

Basma mukavemetleri incelendiğinde %10 SiC takviye elemanı içeren G10 numunesinde %30 deformasyondan önce, S10 numunesinde ise %40 deformasyonun sonrasında numunelerde çatlakların oluşmasından dolayı mukavemette belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir.

5.3. GELENEKSEL VE SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMLERİYLE ÜRETİLEN MAK NUMUNELERİN ELEKTRO EROZYON TEZGAHINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ

Geleneksel ve sıkıştırma döküm teknikleriyle üretilen MAK numunelerin (G10, G14, G18, S10, S14, S18) sabit 20 μ s bekleme süresinde üç farklı elektriksel akım şiddeti (2 A, 4 A, 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s, 75 μ s) elektro erozyon tezgâhı (EET) ile işlenebilirliğinin incelenmesi amacıyla 12 mm çap ve 100 mm uzunluğunda grafit elektrot ile 0,5 mm derinliğe kadar işlenmiştir. İşleme sonrasında işlem parametrelerinin MAK numunelerin işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve aşınma miktarlarına olan etkileri incelenmiştir.

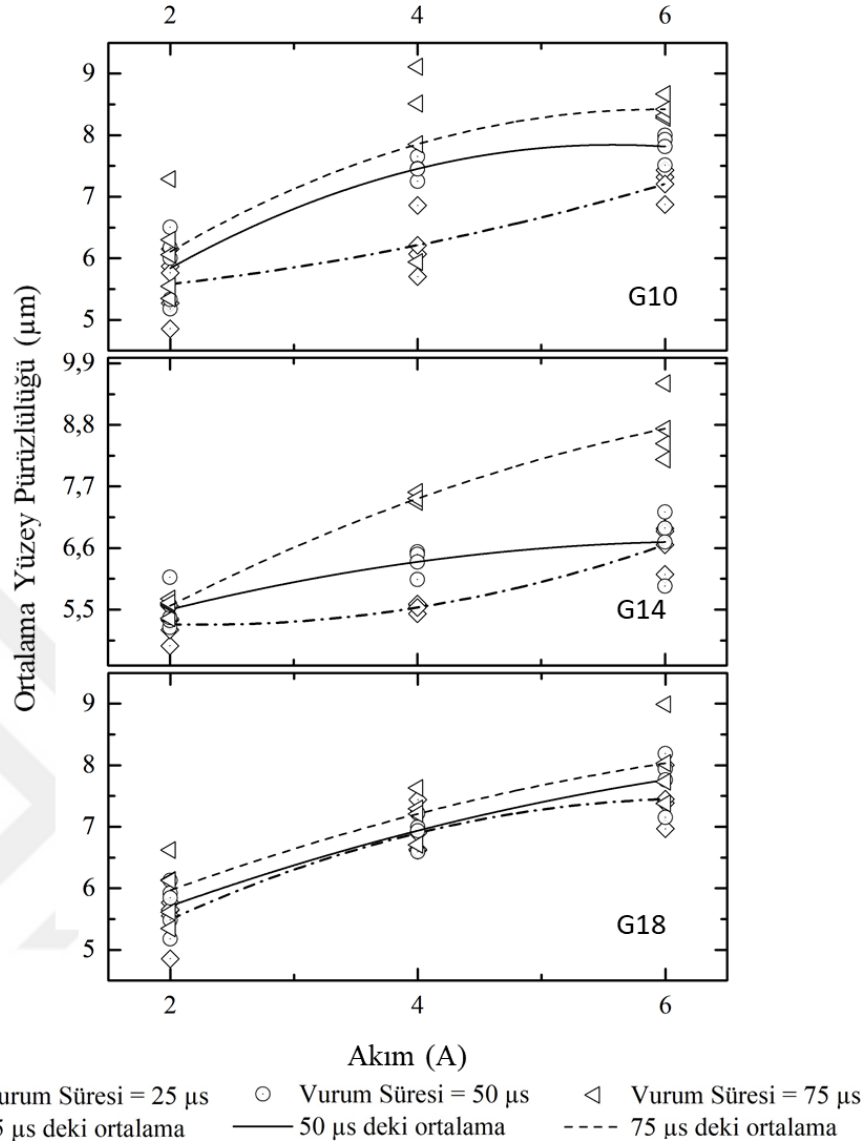
5.3.1. Geleneksel Döküm Tekniği İle Üretilen MAK Numunelerin EE Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri

Geleneksel döküm tekniği ile üretilen üç farklı MAK numunenin EET tezgahında işlenmesi sonucunda işleme parametrelerine bağlı olarak elde edilen işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve aşınma farkı sonuçları Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Çizelge 5.5 incelendiğinde geleneksel döküm yöntemi ile üretimi gerçekleşen MAK numunelerin EET tezgahında işlenmesinde işleme süresinin en fazla olduğu deneyin 41 dak süre ile 2 amper ve 25 μ s vurum süresinde G18 kodlu numunede, en düşük işleme süresinin ise 5 dak süre ile 6 amper ve 75 μ s vurum süresinde G10 kodlu numunede gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.5. Geleneksel döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin EET tezgahında işlenmesi sonrasında elde edilen; işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve malzeme aşınma farkı sonuçları.

No	Numune	Elektriksel Akım Şiddeti (A)	Vurum Süresi (µs)	İşleme Süresi (dak)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Delik Çapı (mm)	Malzeme Aşınma Farkı (g)
1	G10	2	25	35	5,763	12,310	0,164
2	G10	2	50	26	6,004	12,332	0,158
3	G10	2	75	19	6,298	12,338	0,140
4	G10	4	25	20	6,212	12,326	0,159
5	G10	4	50	13	7,454	12,458	0,155
6	G10	4	75	8	7,854	12,496	0,137
7	G10	6	25	10	7,207	12,450	0,149
8	G10	6	50	6	7,815	12,480	0,112
9	G10	6	75	5	8,420	12,580	0,167
10	G14	2	25	27	5,335	12,692	0,114
11	G14	2	50	22	5,581	12,726	0,104
12	G14	2	75	18	5,622	12,740	0,148
13	G14	4	25	23	5,538	12,772	0,169
14	G14	4	50	11	6,353	12,832	0,146
15	G14	4	75	10	7,483	12,870	0,166
16	G14	6	25	12	5,724	12,804	0,154
17	G14	6	50	9	6,708	12,848	0,168
18	G14	6	75	6	7,864	12,936	0,148
19	G18	2	25	41	5,656	12,162	0,138
20	G18	2	50	24	5,845	12,198	0,127
21	G18	2	75	21	6,124	12,220	0,148
22	G18	4	25	16	5,748	12,212	0,146
23	G18	4	50	14	6,937	12,230	0,139
24	G18	4	75	13	7,545	12,242	0,143
25	G18	6	25	12	6,917	12,222	0,101
26	G18	6	50	8	7,763	12,262	0,134
27	G18	6	75	7	8,034	12,266	0,150
G10		%90 AA7075+%10 SiC					
G14		%86 AA7075+%14 SiC					
G18		%82 AA7075+%18 SiC					

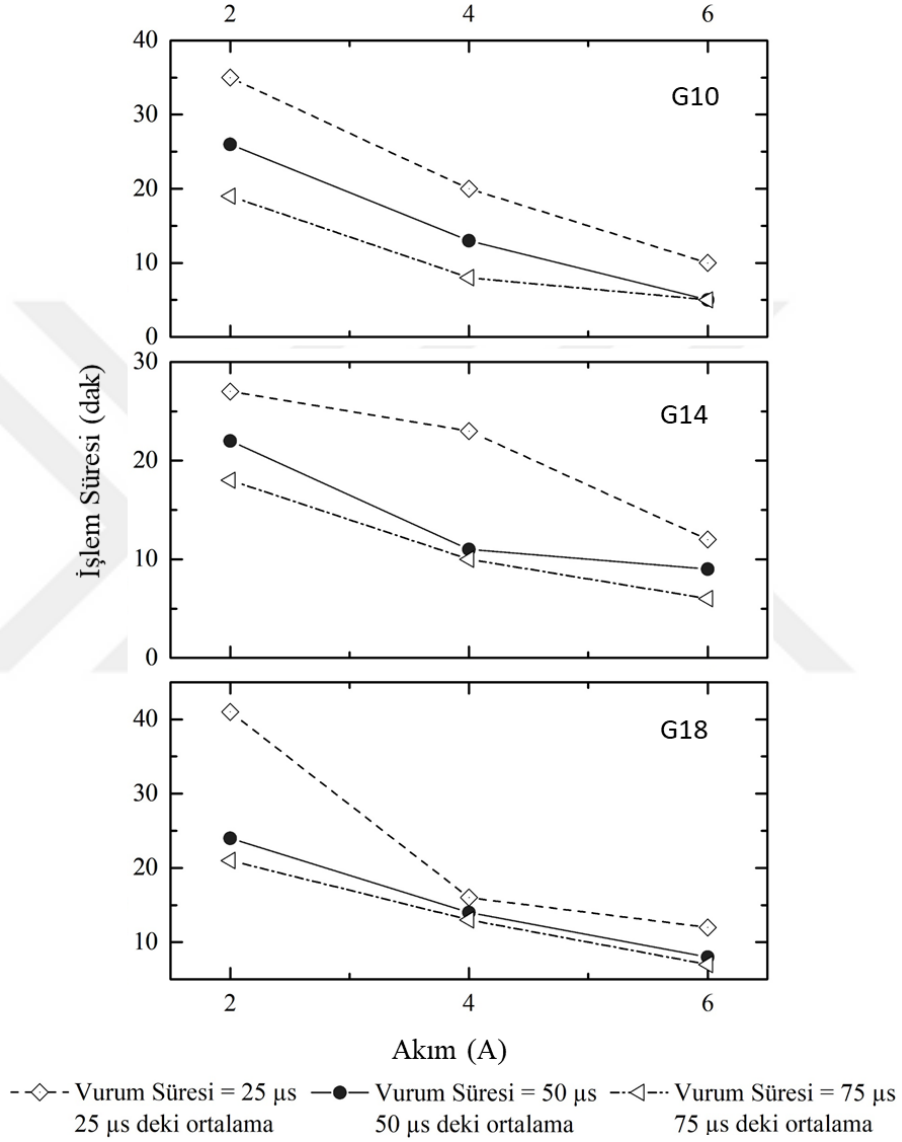
Malzeme aşınma miktarı olarak incelendiğinde ise en fazla kaldırılan talaş miktarının 0,169 gr ile G14 kodlu numunede 4 amper ve 25 μ s vurum süresinde, en düşük aşınma miktarının ise 0,101 gr ile 6 amper akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde G18 kodlu numunede oluşmuştur. Talaş kaldırma miktarının farklı olmasının nedeni, MAK numunelerin üretimi sırasında MAK numunelerde oluşan mikro boşluklar ve takviye elemanı SiC'ün belli bölgelerde topaklanma şekilde olmasından kaynaklandığına bağlanmıştır. 12 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda grafit elektrot ile gerçekleştirilen deneylerde en küçük delik çapının G18 kodlu numunede 2 amper ve 25 μ s vurum süresinde 12,162 mm, en büyük delik çapının ise G14 kodlu numunede 6 amper akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 12,936 mm olarak ölçülmüştür. Delik çapının G14 kodlu numunede büyük olmasının nedeni, delik bölgesinde takviye elemanı SiC'ün yan duvarlarda homojen bir yapı sağlamadığı ve delik bölgesinde ana faz elemanı alüminyumun fazla oranda yer almasına bağlanmıştır. Alüminyumun ergime derecesi düşük olması, işleme parametrelerinden vurum süresi ve amperin yan duvarlara daha fazla etki ederek delik çapının elektrot çapından büyük olmasını sağlamıştır. İşleme sonrasında delik içi yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin G14 kodlu numunede 2 amper akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 5,335 μ m, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise G10 kodlu numunede 6 amper akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 8,420 μ m elde edilmiştir. Geleneksel döküm yöntemi kullanılarak üretilen MAK numunelerin farklı işleme parametrelerinde EET tezgahında işlenmesi esnasında işleme süresini belirlemede, ilk ark işlemiyle birlikte kronometre çalıştırılmış ve 0,5 mm talaş kaldırana kadar süre sayımı devam etmiştir. Deneyler sonrası elde edilen işleme süreleri (Çizelge 5.5) grafik olarak Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μs, 50 μs ve 75 μs) işlenmesinde işlem parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.

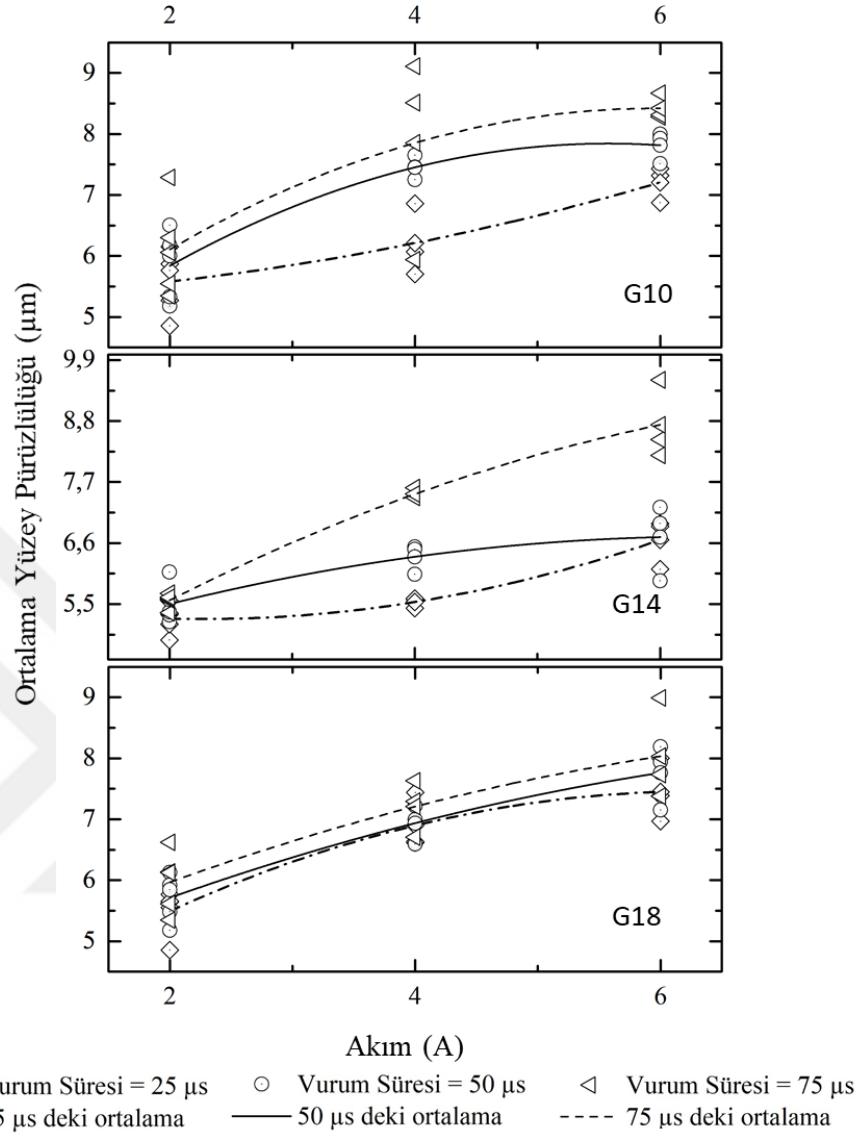
Şekil 5.14'deki grafikler incelendiğinde amper miktarı ve vurum süresinin artması ile işleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. En düşük işleme süresinin 6 amper akım şiddeti ve 75 μs vurum süresinde G10 kodlu numunede 5 dakikada, en büyük işleme süresinin ise 2 amper akım şiddeti ve 25 μs vurum süresinde G18 kodlu numunede 41 dakikada gerçekleşmiştir. G18 kodlu numunede yüksek işleme süresinin elde edilmesinin nedeni, ergime derecesi yüksek olan takviye elemanı (SiC) miktarının artması EET tezgâhı ile işleme sırasında oluşan arkın ana faz elemanı alüminyumu zorlanmadan aşındırması, takviye elemanı SiC parçacıklarını ise kolayca

aşındıramaması nedeniyle işleme süresinde artış olduğu tanımlanmıştır [123]. MAK numunelerin işlenebilirlik deneyleri için literatür çalışmaları incelendiğinde artan takviye elemanının, numunenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ancak işleme süresinin artmasına sebep olduğu görülmektedir [124,125].



Şekil 5.15. G10, G14 ve G18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işlem parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.

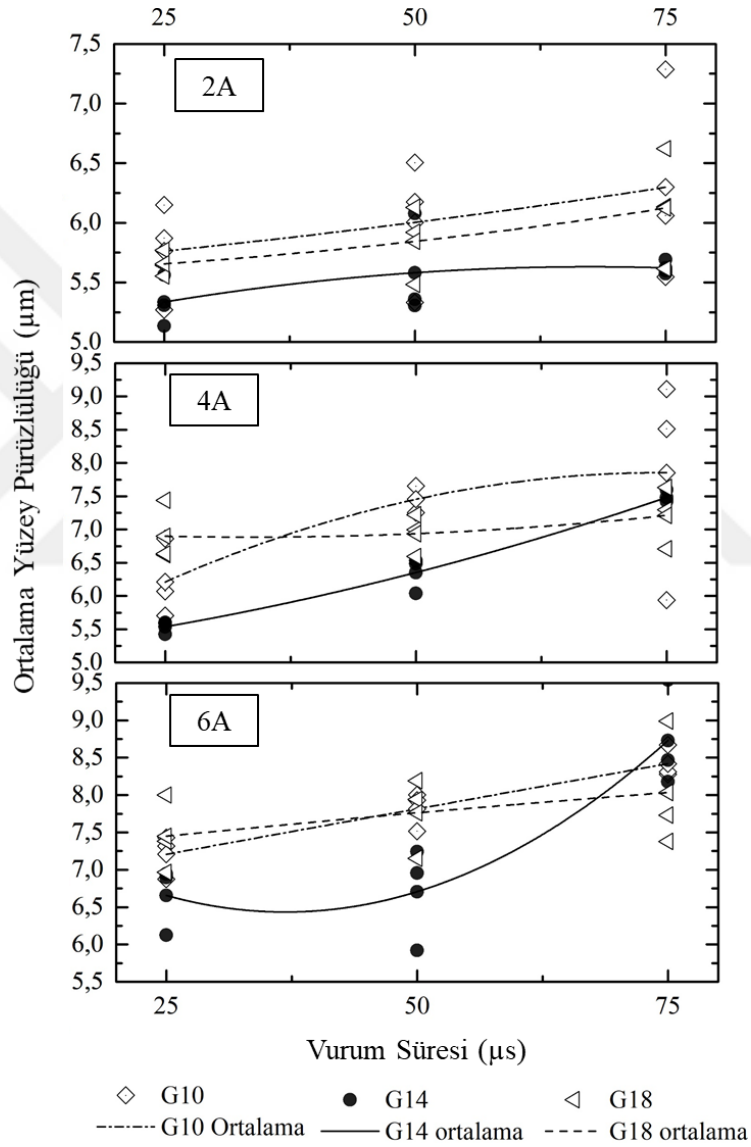
Geleneksel döküm yöntemi kullanılarak üretilen MAK numunelerin EET tezgahında 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddeti ile 25 µs, 50 µs ve 75 µs vurum süresi parametrelerinde işlenmesi sonrasında oluşan yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Çizelge 5.5) grafik olarak Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. G10, G14 ve G18 kodlu MAK numune numunelerinin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs , 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikleri.

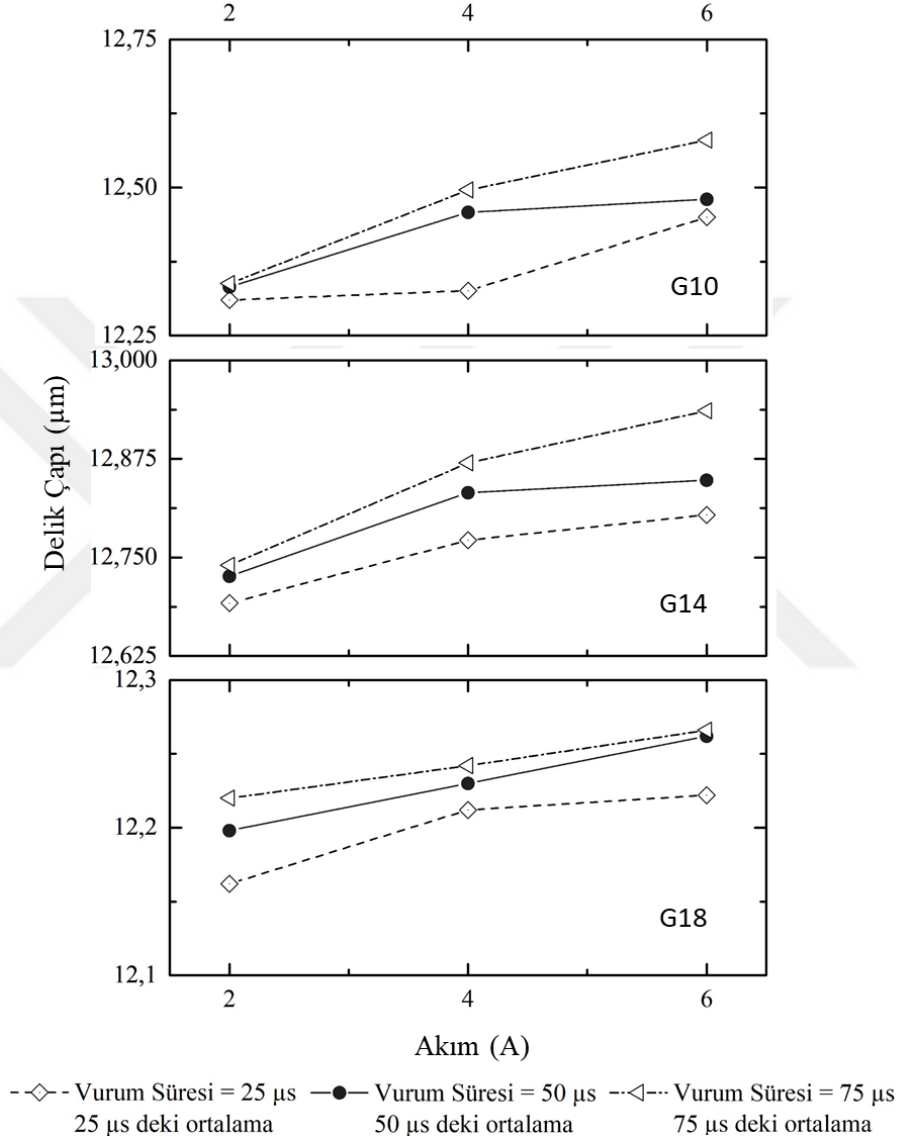
Şekil 5.16 incelendiğinde, üretilen G10, G14 ve G18 kodlu numunelerde 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddetinde vurum süresi arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin bütün numunelerde 2 amper akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise 6 amper ve 75 µs vurum süresinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler literatürle benzerlik göstermiştir [123].

G10, G14 ve G18 kodlu MAK numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum süresinde gerçekleştirilen deneylerde (Şekil 5.17) bütün vurum sürelerinde 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddetinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri G14 kodlu numunede (5,335 μ m) en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise G10 kodlu numunede (8,420 μ m) elde edilmiştir.



Şekil 5.17. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.

Geleneksel döküm yöntemi kullanılarak üretilen G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum süresi ve 2 A, 4 A ve 6 A akım değerlerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen delik çapı sonuçları grafik olarak Şekil 5.18’ de gösterilmiştir.

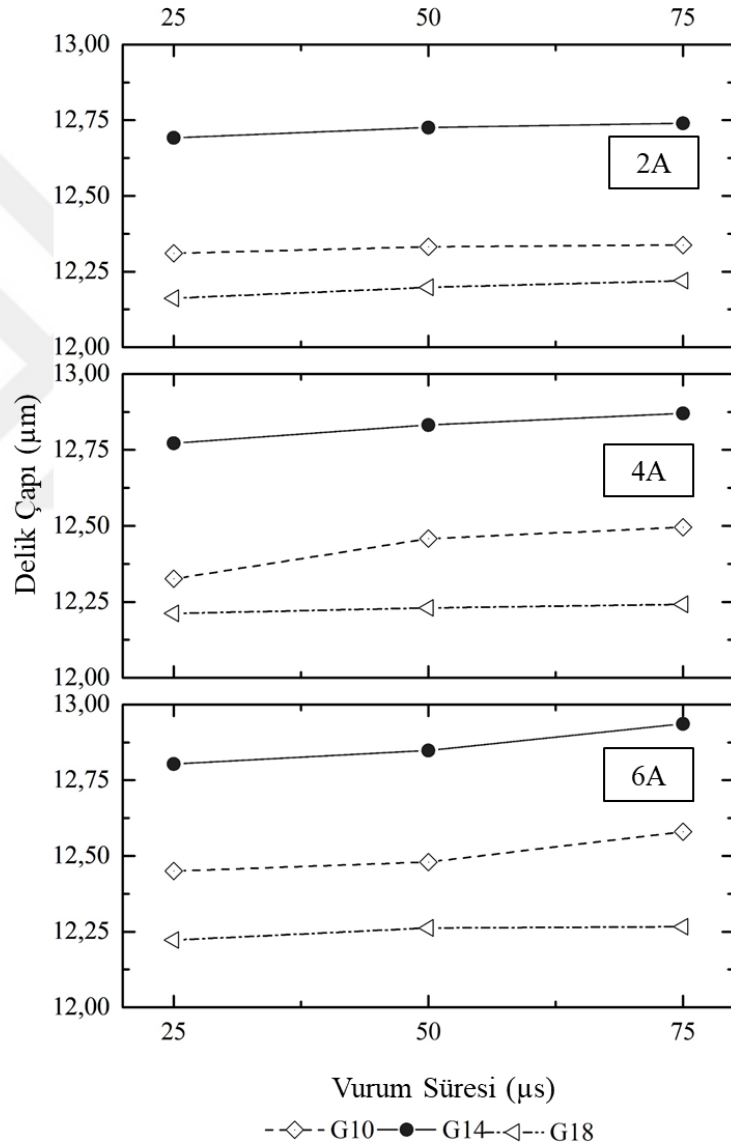


Şekil 5.18. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.

Şekil 5.18’deki grafikler incelendiğinde, geleneksel döküm yöntemiyle üretilen G10, G14 ve G18 kodlu numunelerde en küçük delik çaplarının 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde (12,212 mm), en büyük delik çapının 6 amper ve 75 μ s vurum

süresinde (12,870 mm) oluştuğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile örtüşmektedir [126].

G10, G14 ve G18 kodlu MAK numunelerin 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum süresi ve 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddeti parametrelerinde işlenmesinde işleme parametrelerinin delik çapına etkisini belirlemek için elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 5.19’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.19. G10, G14 ve G18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işleme parametrelerinin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.

Elektrot çapına en yakın delik apı G18 kodlu MAK numunede 2 amper akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde (12,162 mm), en büyük delik çapı ise 75 µs vurum süresi ve 6 amperde G14 kodlu MAK numunede (12,936 mm) oluşmuştur. Takviye elemanın belirli bir orana kadar artması delik çapını olumsuz yönde etkilerken, takviye oranının daha da arttırılması delik çapını iyileşmesine etki etmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile benzerlik göstermiştir [126].

5.3.2. Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilen MAK Numunelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik apı Ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri

Sıkıştırma yöntemi kullanılarak üç farklı karışım oranında üretilen S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin elektro erozyon tezgahında farklı işleme parametrelerinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'de gösterilmiştir.

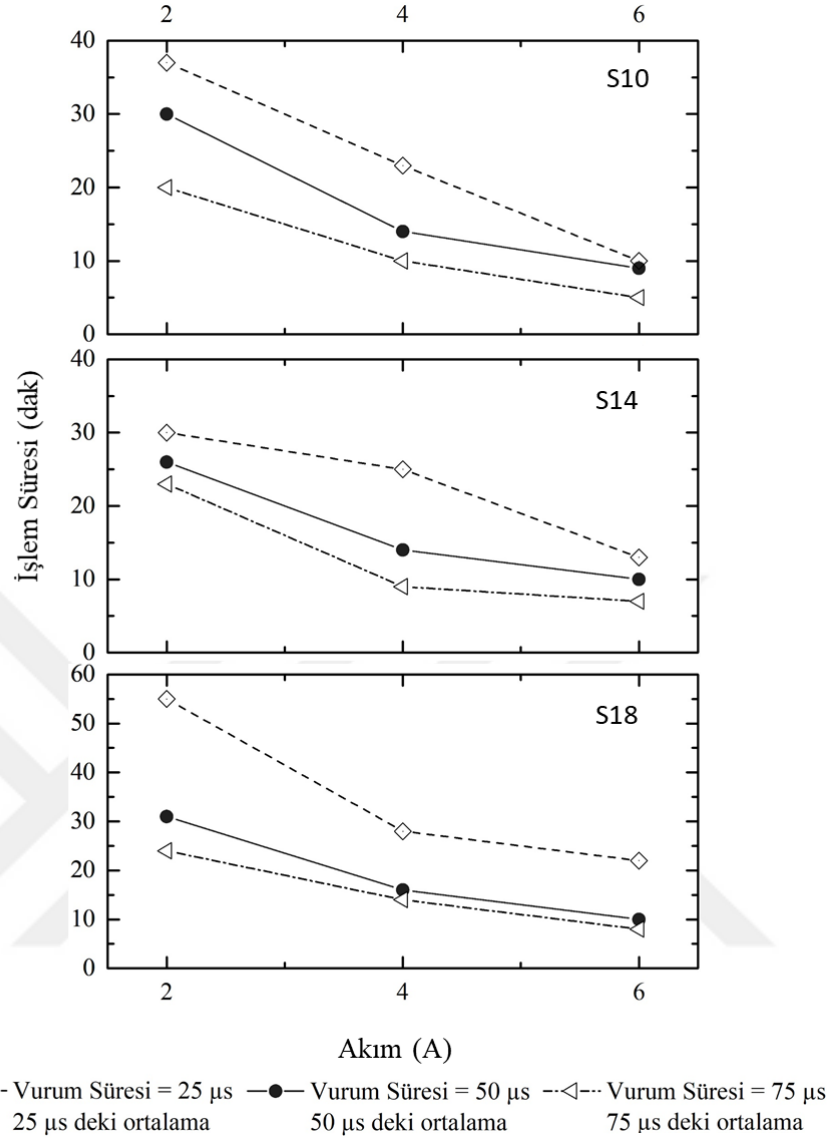
Çizelge 5.6 incelendiğinde sıkıştırma döküm yöntemi ile üretimi gerçekleşen MAK numunelerin EET tezgahında işlenmesinde işleme süresinin en fazla olduğu deneyin 55 dakika süre ile 2 amper akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde S18 kodlu numunede, en düşük işleme süresinin ise 5 dakika süre ile 6 amper ve 75 µs vurum süresinde S10 kodlu numunede gerçekleşmiştir. En fazla kaldırılan talaş miktarının 0.204 g ile S10 kodlu numunede 4 amper akım şiddeti ve 50 µs vurum süresinde, en düşük aşınma miktarının ise 0.124 g ile 4 amper akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde S14 kodlu numunede oluşmuştur. Talaş kaldırma miktarının farklı olmasının nedeni, MAK numunelerin üretimi sırasında MAK numunelerde oluşan mikro boşluklar ve takviye elemanının belli bölgelerde yoğun olmasından kaynaklandığına bağlanmıştır. 12 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda grafit elektrot ile gerçekleştirilen deneylerde en küçük delik çapının S18 kodlu numunede 2 amper akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde 12,240 mm, en büyük delik çapının ise S14 kodlu numunede 6 amper ve 75 µs vurum süresinde 12,714 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.6. Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin EET tezgahında işlenmesi sonrasında elde edilen; işleme süresi, ortalama yüzey pürüzlülüğü, delik çapı ve malzeme aşınma farkı sonuçları.

No	Numune	Amper	Vurum Süresi (µs)	İşleme Süresi (dak)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Delik Çapı (mm)	Malzeme Aşınma Farkı (g)
1	S10	2	25	37	4,947	12,300	0,134
2	S10	2	50	30	5,258	12,492	0,143
3	S10	2	75	20	6,183	12,504	0,174
4	S10	4	25	23	5,539	12,388	0,178
5	S10	4	50	14	6,006	12,496	0,204
6	S10	4	75	10	7,393	12,528	0,169
7	S10	6	25	10	6,705	12,432	0,157
8	S10	6	50	9	7,513	12,498	0,179
9	S10	6	75	5	8,119	12,532	0,151
10	S14	2	25	30	4,410	12,504	0,185
11	S14	2	50	26	4,970	12,532	0,187
12	S14	2	75	23	5,337	12,542	0,164
13	S14	4	25	25	5,405	12,524	0,124
14	S14	4	50	14	5,971	12,596	0,166
15	S14	4	75	9	6,249	12,614	0,150
16	S14	6	25	13	6,363	12,652	0,141
17	S14	6	50	10	7,262	12,690	0,180
18	S14	6	75	7	7,641	12,714	0,154
19	S18	2	25	55	5,168	12,240	0,145
20	S18	2	50	31	5,444	12,334	0,158
21	S18	2	75	24	6,302	12,338	0,171
22	S18	4	25	28	5,907	12,296	0,148
23	S18	4	50	16	6,268	12,380	0,169
24	S18	4	75	14	7,745	12,390	0,152
25	S18	6	25	22	6,779	12,376	0,160
26	S18	6	50	10	7,870	12,414	0,157
27	S18	6	75	8	8,885	12,504	0,173
S10			%90 AA7075+%10 SiC				
S14			%86 AA7075+%14 SiC				
S18			%82 AA7075+%18 SiC				

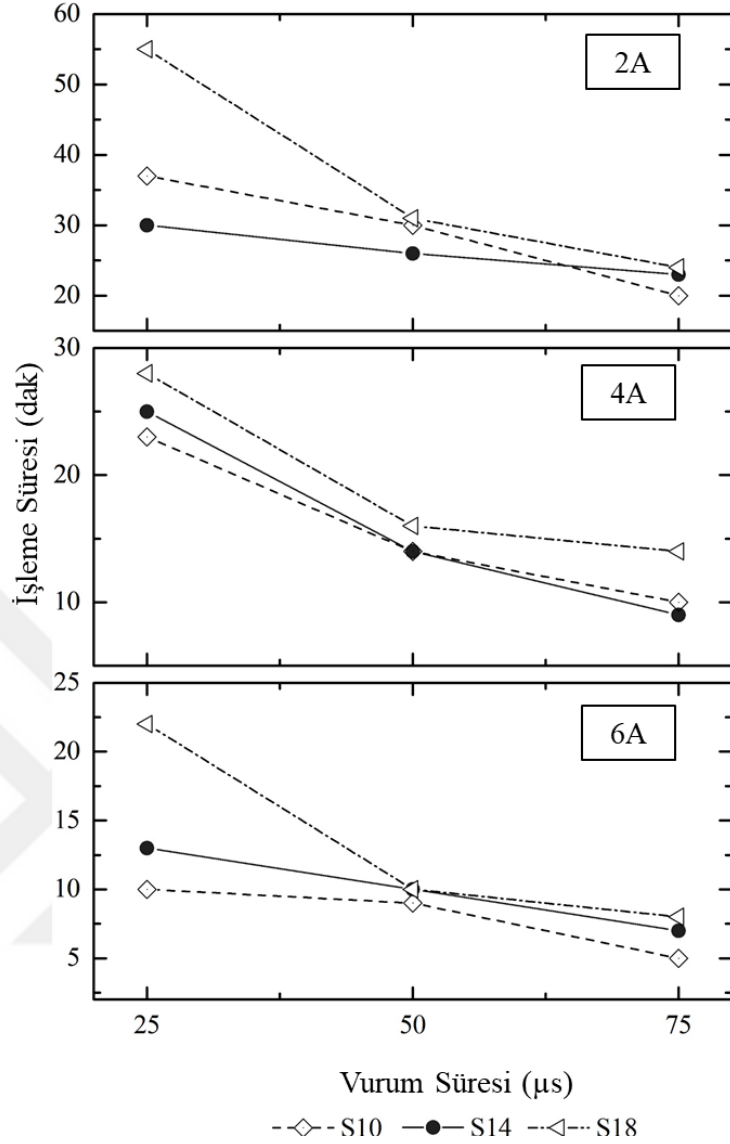
12 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda grafit elektrot ile gerçekleştirilen deneylerde en küçük delik çapının S18 kodlu numunede 2 amper ve 25 µs vurum süresinde 12,240 mm, en büyük delik çapının ise S14 kodlu numunede 6 amper akım şiddeti ve 75 µs vurum süresinde 12,714 mm olarak ölçülmüştür. Delik çapının S14 kodlu numunede büyük olmasının nedeni, delik bölgesinde takviye elemanı SiC' ün yan duvarlarda homojen bir yapı sağlamadığı ve delik bölgesinde ana faz elemanı olan alüminyumun fazla oranda yer almasına bağlanmıştır. Alüminyumun ergime derecesi düşük olması,

işleme parametrelerinden vurum süresi ve amperin yan duvarlara daha fazla etki ederek delik çapının elektrot çapından büyük olmasını sağlamıştır. İşleme sonrasında delik içi yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin S10 kodlu numunede 2 amper akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 4,947 μ m, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise S10 kodlu numunede 6 amper akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 8,885 μ m elde edilmiştir. Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen MAK numunelerin farklı işleme parametrelerinde EET tezgahında işlenmesi esnasında işleme süresini belirlemede, ilk ark işlemiyle birlikte kronometre çalıştırılmış ve 0,5 mm talaş kaldırına kadar süre sayımı devam etmiştir. Deneyler sonrası elde edilen işleme süreleri (Çizelge 5.6) grafik olarak Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin işleme sürelerine etkisini gösteren grafikler.

Şekil 5.20'deki grafikler incelendiğinde amper miktarı ve vurum süresinin artması ile işleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. En düşük işleme süresinin 6 amper akım şiddeti ve 75 µs vurum süresinde S10 kodlu numunede (5 dak), en büyük işleme süresinin ise 2 amper ve 25 µs vurum süresinde S18 kodlu numunede (55 dak) gerçekleştiği tespit edilmiştir.

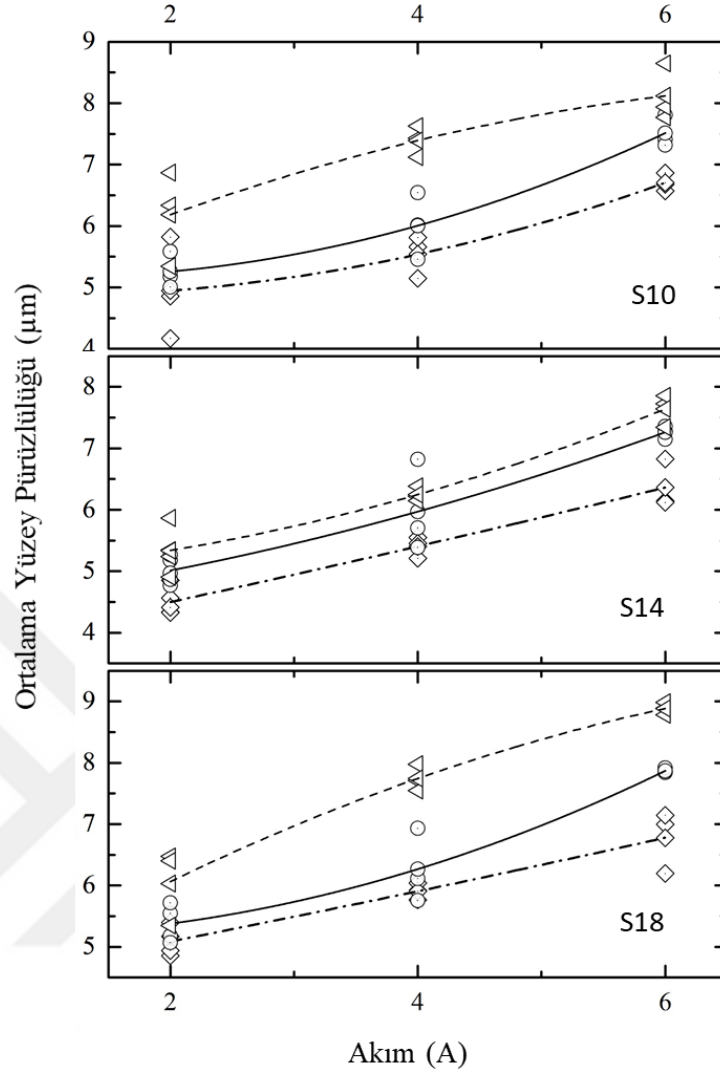


Şekil 5.21. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddeti 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum sürelerine bağlı olarak işleme süreleri grafikleri.

S18 kodlu numunede yüksek işleme süresinin elde edilmesinin nedeni, ergime derecesi yüksek olan takviye elemanı (SiC) miktarının artması, EET tezgâhı ile işleme sırasında oluşan arkın ana faz elemanı alüminyumı zorlanmadan aşındırması, takviye elemanı olan SiC parçacıklarını ise kolayca aşındıramaması nedeniyle işleme süresinde artış olduğu tanımlanmıştır [120]. MAK numunelerin işlenebilirlik deneyleri için literatür çalışmaları incelendiğinde artan takviye elemanının numunenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ancak işleme süresinin artmasına sebep olduğu görülmektedir [121,122].

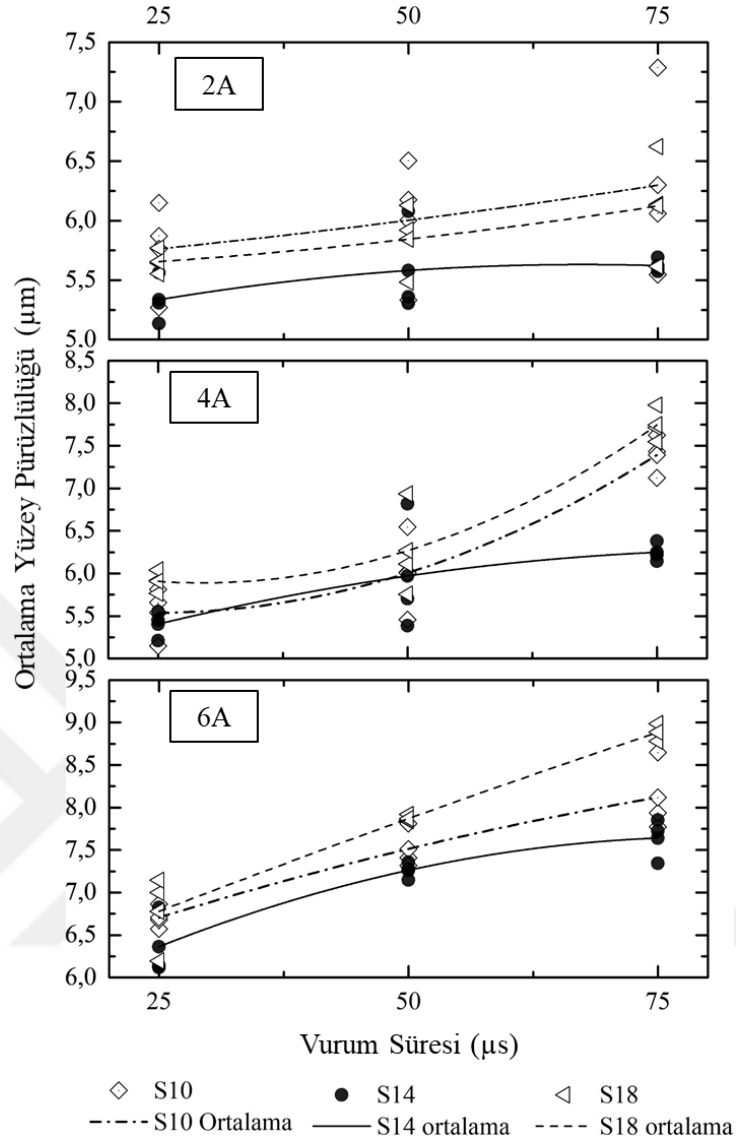
Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen MAK numunelerin EET tezgahında 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddetleri ile 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum süreleri parametrelerinde işlenmesi sonrasında oluşan yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 5.22' de gösterilmiştir.

Şekil 5.22'deki grafikler incelendiğinde S10, S14 ve S18 kodlu numunelerde 2 A, 4 A ve 6 A akım değerlerinde vurum süresi arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin bütün numunelerde 2 amper ve 25 μ s vurum süresinde (4,410 μ m), en yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise 6 amper ve 75 μ s vurum süresinde (8,885 μ m) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler literatürle benzerlik göstermiştir [120].



Şekil 5.22. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numune numunelerinin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.

Sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen S10, S14 ve S18 kodlu numunelerin 25 µs, 50 µs ve 75 µs vurum süresi ve 2 A, 4 A ve 6 A akım değerlerinde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük sonuçları grafik olarak (Şekil 5.23) gösterilmiştir.

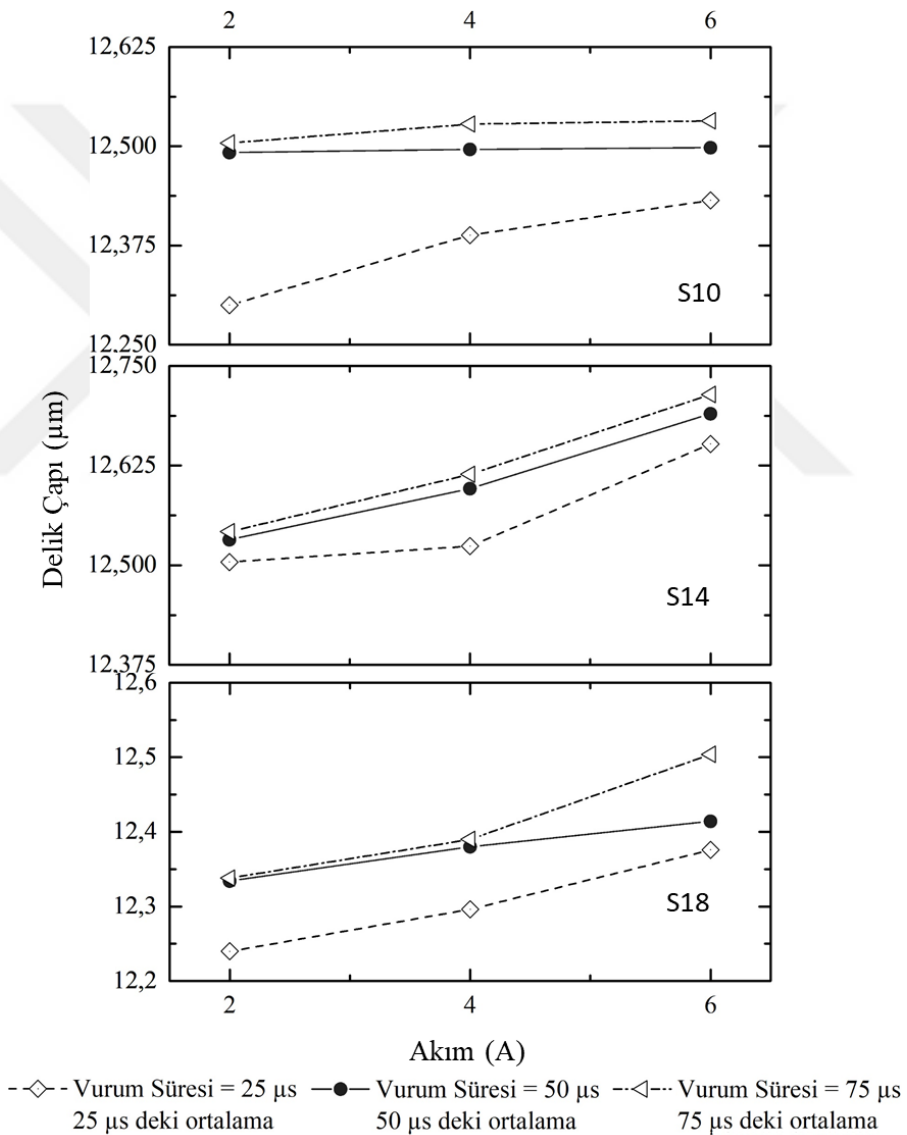


Şekil 5.23. S10, S14 ve S18 kodlu numunelerin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.

Şekil 5.23'deki grafikler incelendiğinde, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri S14 kodlu numunede 2 A ve 25 μ s vurum süresinde (4,947 μ m), en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 amper akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde (8,885 μ m) S18 kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile örtüşmektedir [123].

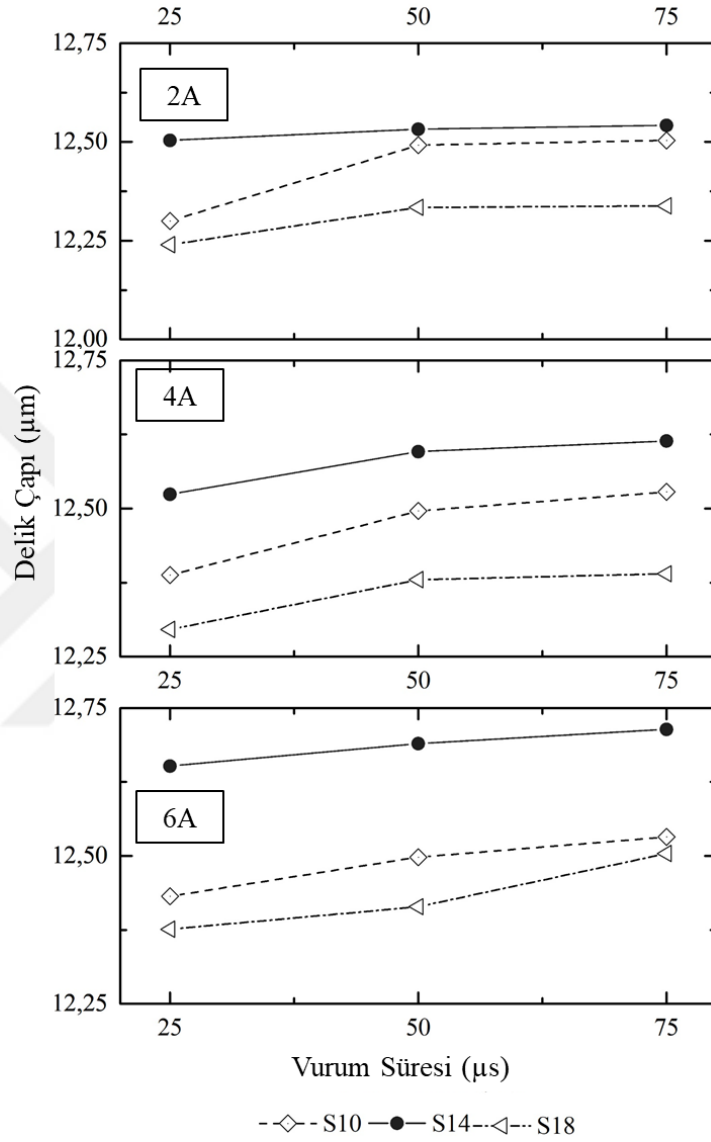
S10, S14 ve S18 kodlu MAK numunelerin 25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s vurum sürelerinde ve 2 A, 4 A ve 6 A akım şiddetlerinde işlenmesinde işleme parametrelerinin delik çapına

etkisini belirlemek için elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 5.24’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 5.24’deki grafikler incelendiğinde elektrot çapına en yakın delik çapı S18 kodlu MAK numunede 2 amper akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde (12,240 mm), en büyük delik çapı ise 75 μ s vurum süresi ve 6 amperde S14 kodlu MAK numunede (12,714 mm) oluşmuştur. Takviye elemanın belirli bir orana kadar artması delik çapının olumsuz yönde etkilerken, takviye oranının daha da artırılması delik çapını iyileşmesine etki etmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile benzerlik göstermiştir [123].



Şekil 5.24. S10, S14 ve S18 kodlu MAK numune numunelerinin Üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren grafikler.

Elektro erozyon tezgahında işlenebilirliği gerçekleştirilen MAK numunelerin işleme sonrası delik çapları ölçüm sonuçları grafik olarak Şekil 5.25’de gösterilmiştir.



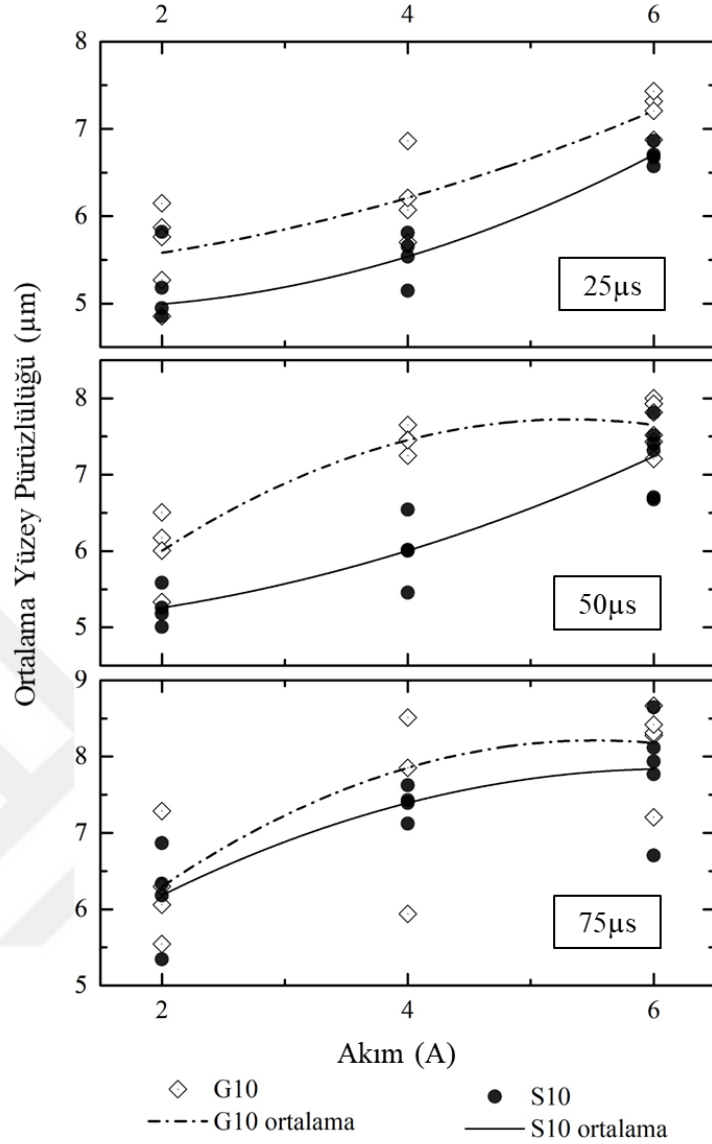
Şekil 5.25. S10, S14 ve S18 kodlu numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) işlenmesinde işleme parametrelerinin numunelerin delik çaplarına etkisini gösteren grafikler.

Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen MAK numunelerin hepsinde vurum süresi ve amper miktarının artması ile delik çapının elektrot çapından daha büyük olduğu, S10 kodlu MAK numunede 50 ve 75 µs vurum süresinde 2, 4 ve 6 akım şiddeti gerçekleştirilen deneylerde delik çaplarının birbirine yakın değerde olduğu belirlenmiştir.

Vurum sürelerine göre delik çapları incelendiğinde, elektrot çapına en yakın delik çapının S18 kodlu MAK de 2 A akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde oluştuğu belirlenmiştir, Artan takviye elemanın belirli bir orana kadar delik çapını olumsuz yönde etkilediği, takviye oranının daha da artması ile delik çapının elektrot çapına daha yakın bir değer oluşturduğu tespit edilmiştir.

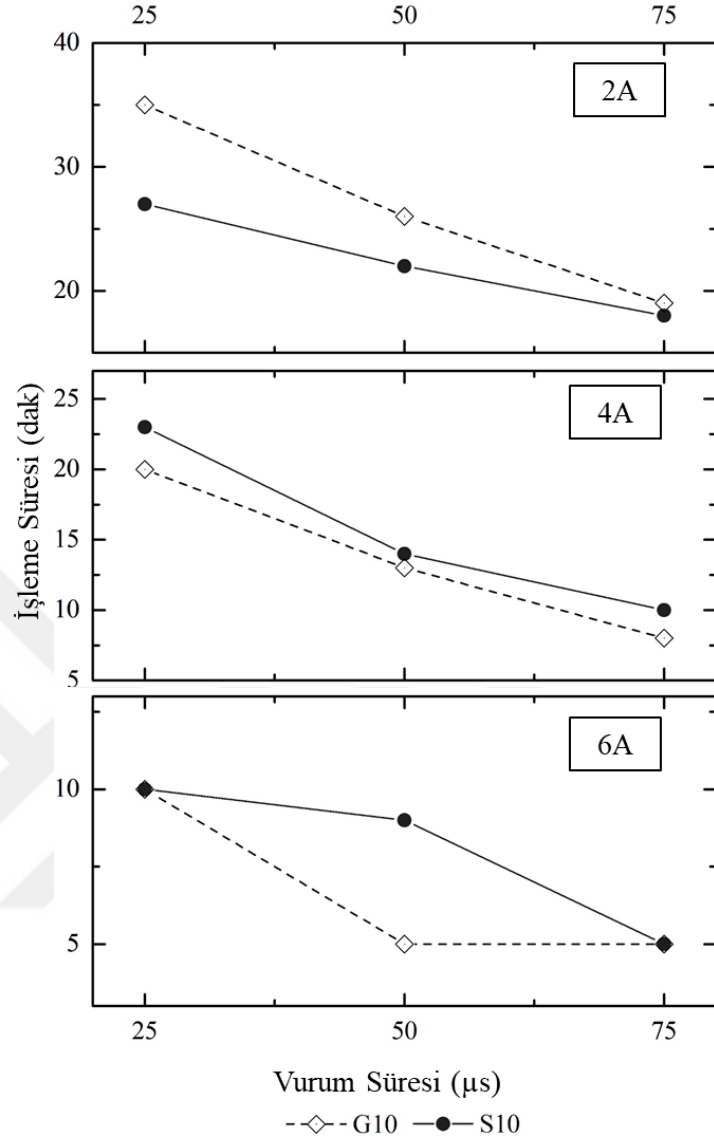
5.3.3. Geleneksel ve Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretilen AA7075+%10 SiC MAK Numunelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri

Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen %10 SiC takviye elemanı içeren (G10 ve S10) MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 µs, 50 µs ve 75 µs) EET tezgahında işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri grafik olarak Şekil 5.26'de gösterilmiştir. G10 ve S10 kodlu numuneler yüzey kalitesi açısından birbiri ile kıyaslandığında sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen S10 kodlu numunenin bütün işleme parametrelerinde G10 kodlu numuneye göre düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri (4,947 µm) 25 µs vurum süresi ve 2 A akım şiddetinde S10 kodlu MAK numunede, en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değeri (8,420 µm) ise 75 µs vurum süresi ve 6 amperde geleneksel döküm yöntemi ile üretilen G10 kodlu MAK da elde edilmiştir. Bu durum, sıkıştırma döküm yöntemi ile MAK numune üretiminde sıkıştırma kuvvetlerinin MAK numunelerinin mekanik özelliklerini iyileştirmesine bağlanmıştır [111]. G10 ve S10 kodlu numunelerin işleme esnasında amper değerinin artırılması her iki numunenin ortalama yüzey pürüzlülük değerinin artışına neden olmuştur. Amper değerinin artışı ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin artış göstermesinin nedeni, numuneye etki eden elektriksel güç miktarının artmasından kaynaklanmıştır.



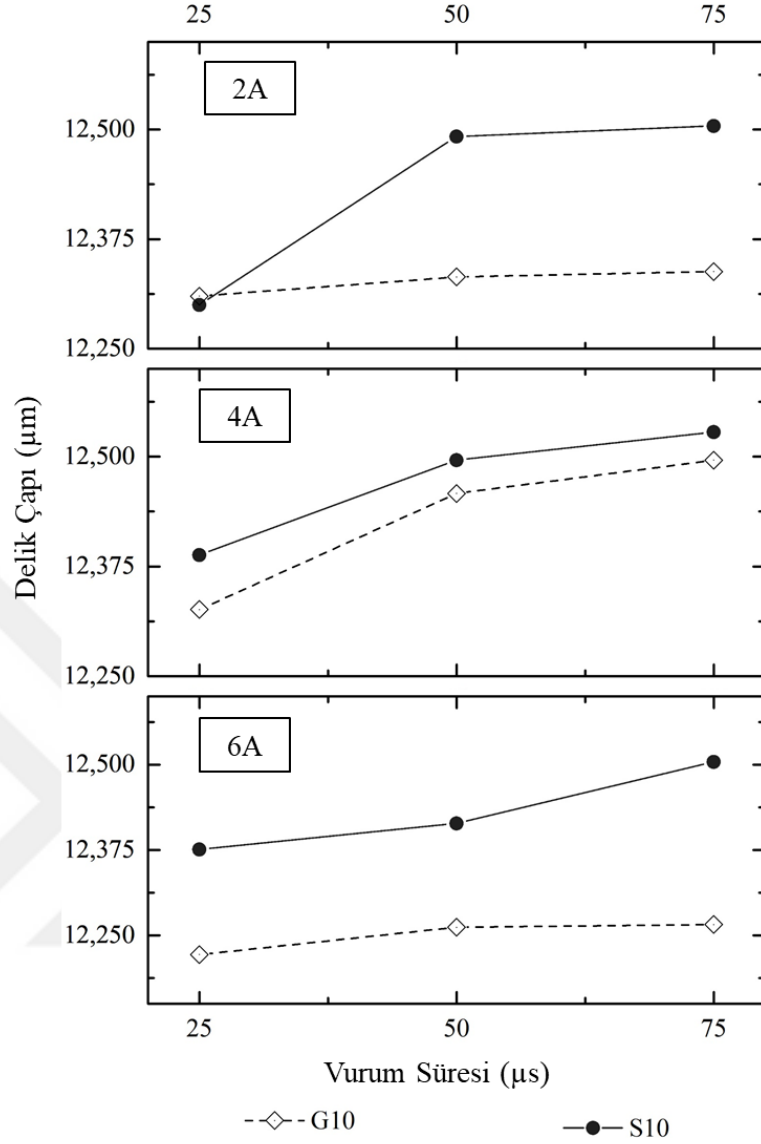
Şekil 5.26. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μs, 50 μs ve 75 μs) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü grafikleri.

G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μs, 50 μs ve 75 μs) işlenmesinde en yüksek işleme süresi (37 dakika) 25 μs vurum süresi ve 2 amperde S10 kodlu numunede, en düşük işleme süresi (5 dakika) ise 75 μs vurum süresi ile 6 amperde G10 ve S10 kodlu MAK numunelerde gerçekleşmiştir (Şekil 5.27). Vurum süreleri ve amper değerlerinin hepsinde S10 kodlu numunede işleme süreleri daha uzun sürmüştür. Bu durum, sıkıştırma döküm yöntemi ile MAK numune üretiminde sıkıştırma kuvvetinin MAK numunelerin mekanik özellikleri iyileştirdiğini göstermektedir.



Şekil 5.27. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı amper (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μs , 50 μs ve 75 μs) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak işleme süresi grafikleri.

Amper ve vurum süresinin delik çapına etkisi incelendiğinde (Şekil 5.28), elektrot çapına en yakın değer (12,300 mm) 25 μs vurum süresi ve 2 A akım şiddeti S10 kodlu MAK numunede, en büyük delik çapı ise (12,580 mm) 75 μs vurum süresi ile 6 amper akım şiddetinde değerinde G10 kodlu MAK numunede oluşmuştur.

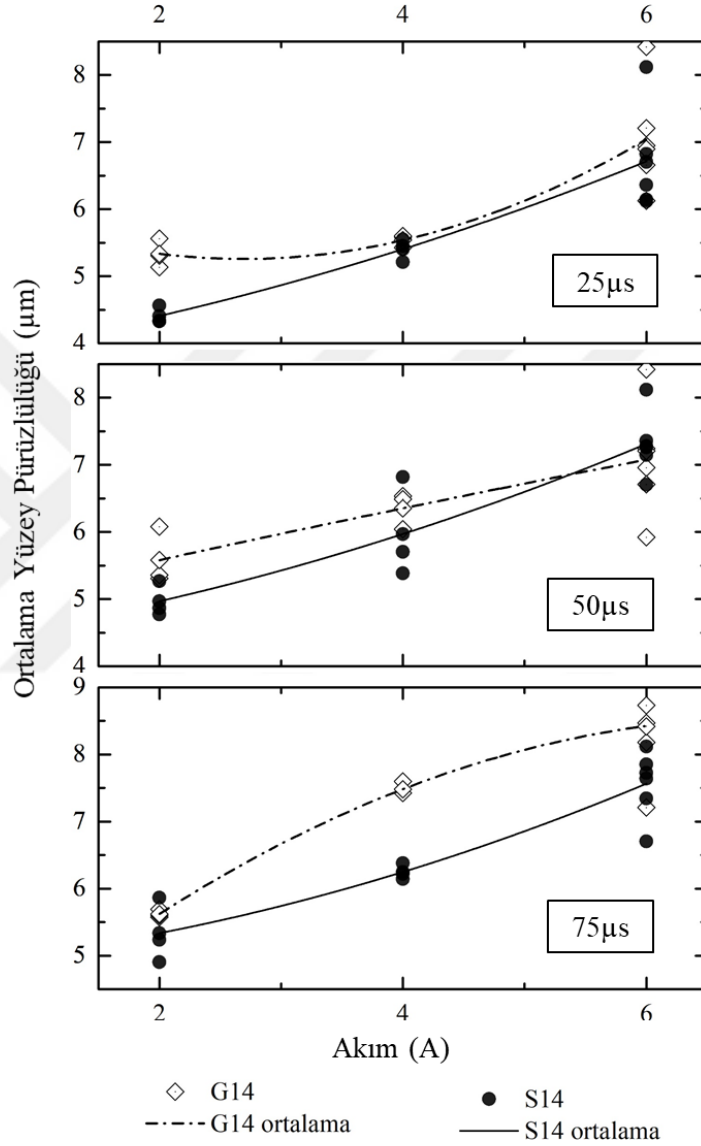


Şekil 5.28. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 μs , 50 μs ve 75 μs) bağlı olarak işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çapları grafikleri.

5.3.4. Geleneksel ve Sıkıştırılmal Döküm Yöntemi İle Üretilen AA7075+%14 SiC MAK Numunelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri

Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen ve kütlece %14 SiC takviye elemanı içerin (G14 ve S14) MAK numunelerin üç farklı amper (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 μs , 50 μs ve 75 μs) EET tezgahında işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6) grafik

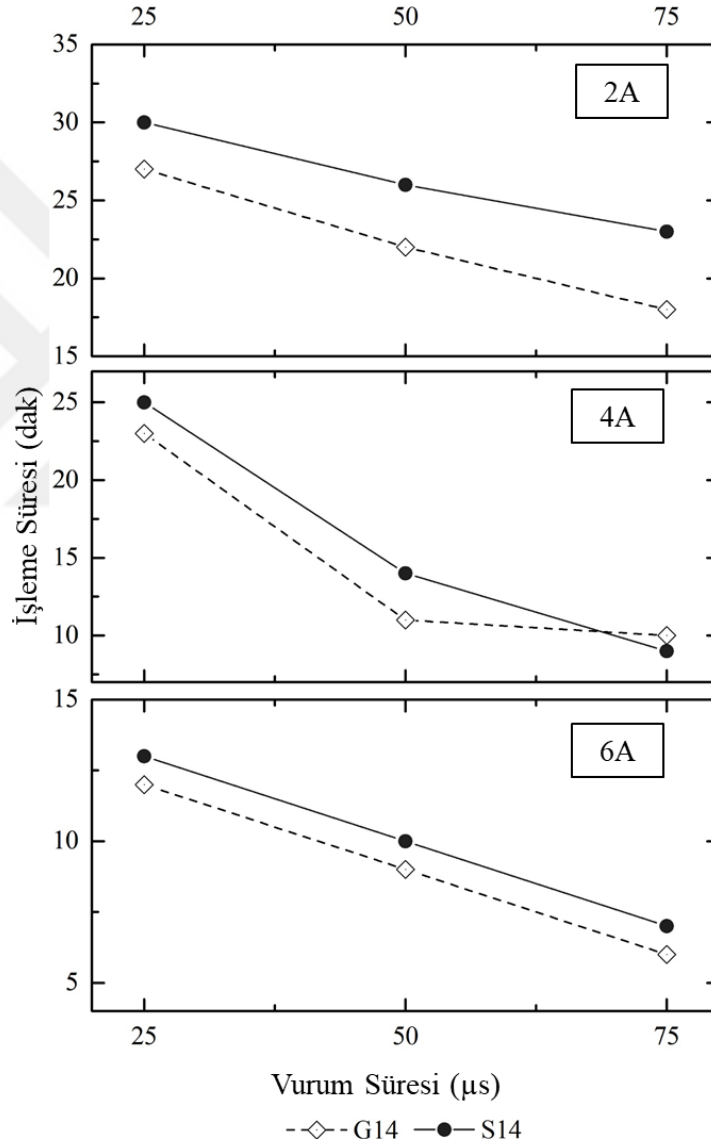
olarak Şekil 5.29’da gösterilmiştir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ($4,951 \mu\text{m}$) $25 \mu\text{s}$ vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde S14 kodlu MAK numunede en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değeri ($7,864 \mu\text{m}$) ise $75 \mu\text{s}$ vurum süresi ve 6 amperde G14 kodlu MAK numunede oluşmuştur.



Şekil 5.29. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine ($25 \mu\text{s}$, $50 \mu\text{s}$ ve $75 \mu\text{s}$) bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülük grafikleri.

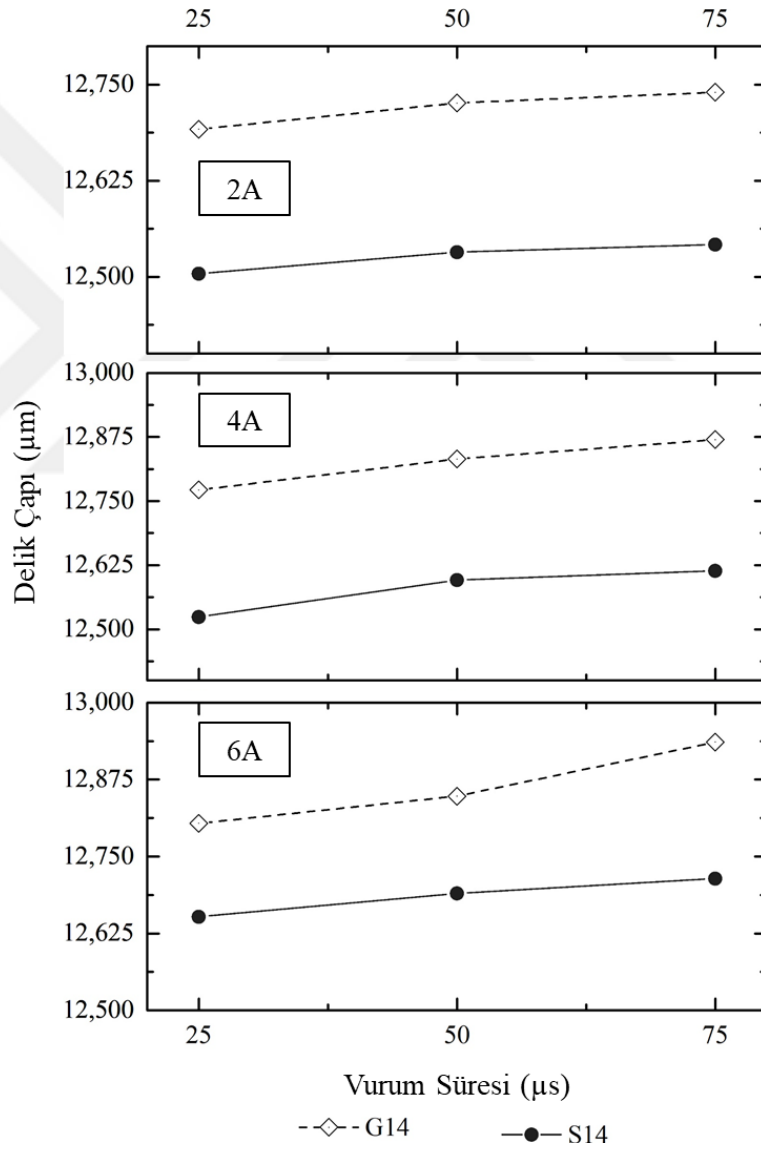
Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine ($25 \mu\text{s}$, $50 \mu\text{s}$ ve $75 \mu\text{s}$) bağlı olarak işlenmesinde amper ve vuru süresine bağlı olarak oluşan işlem

süresi grafikleri Şekil 5.30’de gösterilmiştir. Şekil 5.30 incelendiğinde en yüksek işleme süresi (30 dakika) 25 μ s vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde S14 kodlu numunede, en düşük işleme süresi (6 dakika) ise 75 μ s vurum süresi ile 6 amper akım şiddetinde G14 kodlu MAK numunede oluşmuştur. Bütün vurum süreleri ve amperlerde S14 kodlu numunede işleme süreleri daha uzun sürmüştür. Bu durum, sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen MAK numune üretiminde sıkıştırma kuvvetinin MAK numunelerin mekanik özelliklerini iyileştirmesine bağlanmıştır.



Şekil 5.30. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G10 ve S10 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum sürelerine bağlı olarak oluşan işleme süresi grafikleri.

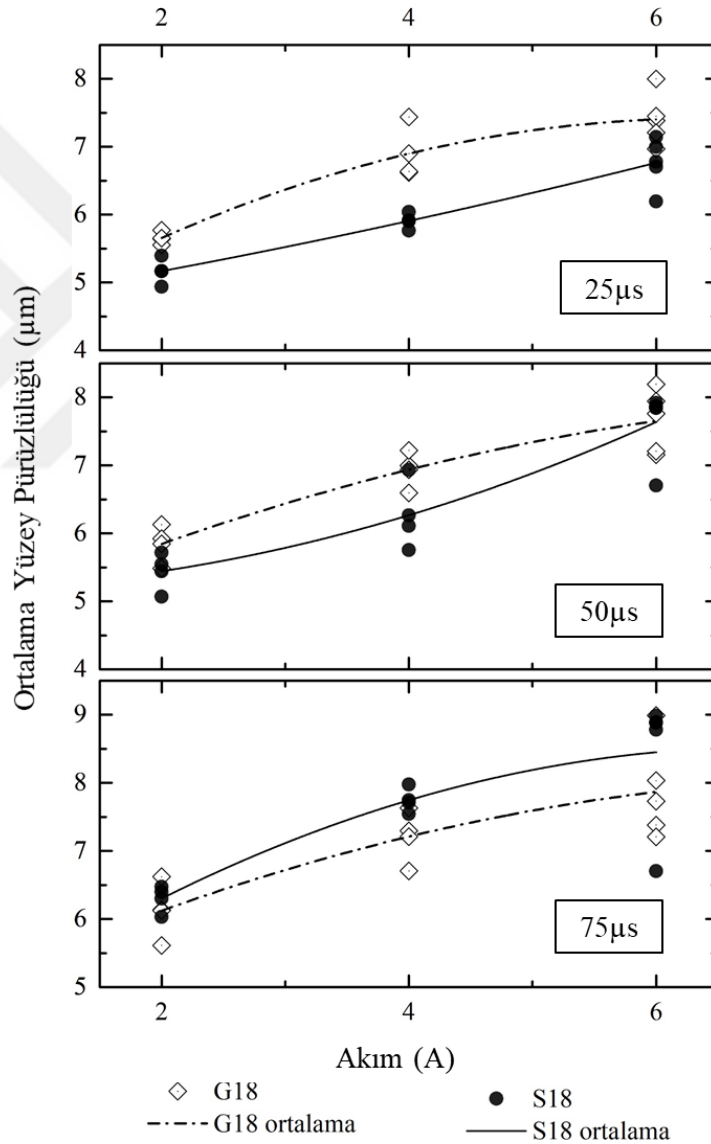
Elektro erozyon tezgahında 12 mm çapında grafit elektrot ile farklı işleme parametrelerinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2A, 4A ve 6A) ve vurum süresine (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) bağlı olarak oluşan delik çapları incelendiğinde (Şekil 5.31) elektrot çapına en yakın ölçüm (12,504 μ m) 25 μ s vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde S14 kodlu numunede, en büyük delik çapı ise G14 kodlu MAK numunede (12,936 μ m) 75 μ s vurum süresinde 6 amperde oluşmuştur.



Şekil 5.31. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G14 ve S14 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çapları grafikleri.

5.3.5. Geleneksel ve Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi İle Üretilen AA7075+%18 SiC MAK numunelerin EET Tezgahında İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin İşleme Süresi, Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Çapı ve Malzeme Aşınma Farkına Etkileri

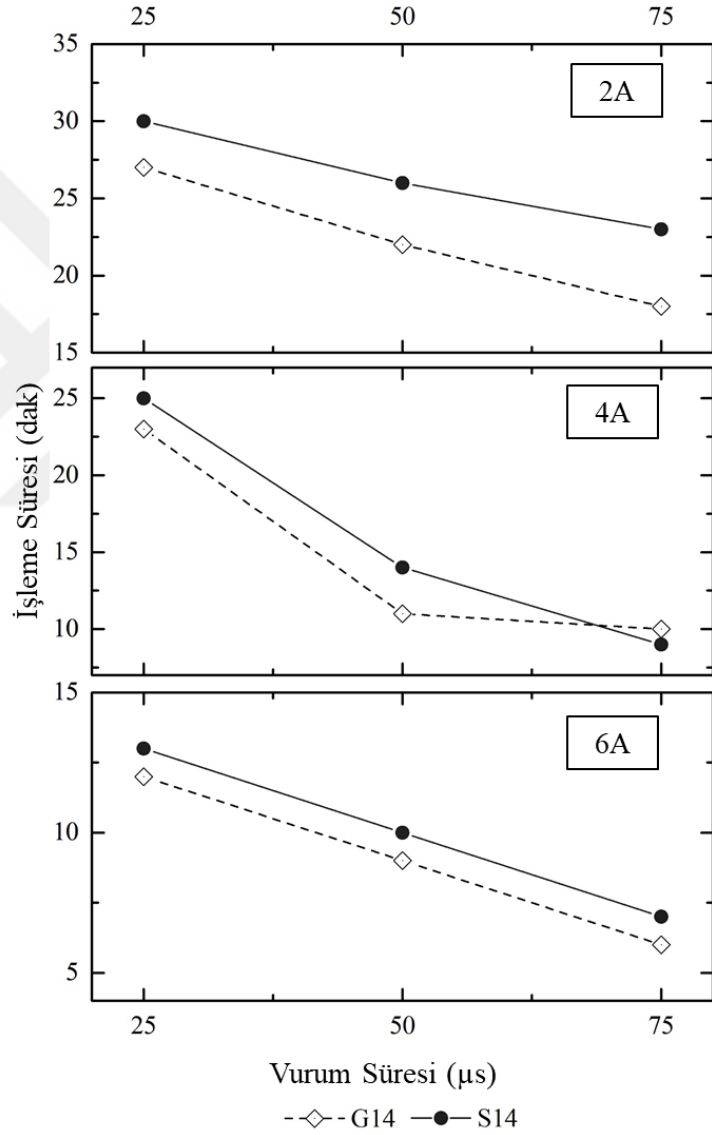
Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde işlem parametrelerine bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'daki) değerleri grafik olarak Şekil 5.32'de gösterilmiştir.



Şekil 5.32. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) bağlı olarak oluşan ortalama yüzey pürüzlülüklerini gösteren grafikler.

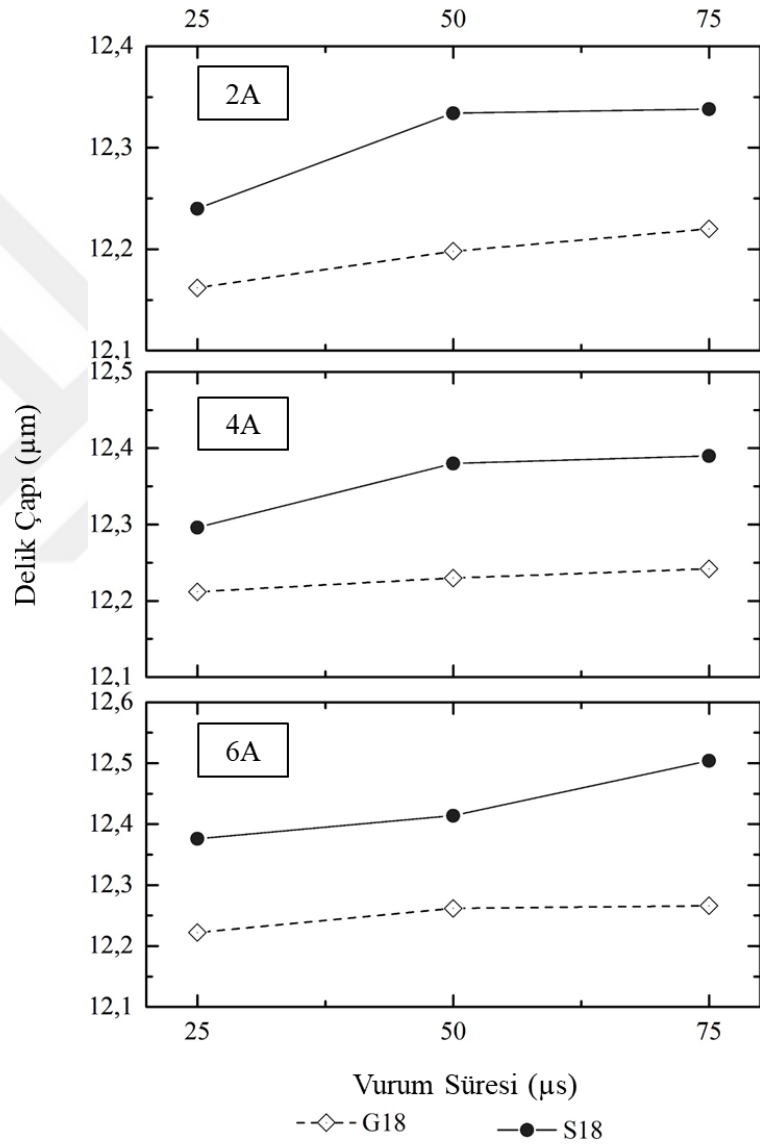
Şekil 5.32 incelendiğinde, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ($5,168 \mu\text{m}$) $25 \mu\text{s}$ vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde S18 kodlu MAK numunede, en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değeri ($8,885 \mu\text{m}$) ise $75 \mu\text{s}$ vurum süresi ile 6 amperde S18 kodlu MAK numunede elde edilmiştir.

G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin farklı parametrelerde EET ile tezgâhları ile işlenmesi sırasında süre tutularak üretim yönteminin süreye etkisi araştırılmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde ($25 \mu\text{s}$, $50 \mu\text{s}$ ve $75 \mu\text{s}$) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan işleme süresi grafikleri.

En yüksek işleme süresinin 25 μ s vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde S18 kodlu numunede (55 dakika), en düşük işleme süresinin ise 75 μ s vurum süresi ve 6 amperde G18 kodlu MAK numunede (5 dakika) oluşmuştur. Bütün vurum süresi ve amperde S18 kodlu numunede işleme süreleri daha uzun sürmüştür. Bu durum, sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen MAK numunelerin sıkıştırma esnasında sıkıştırma kuvvetinden kaynaklı olarak mekanik özellikleri iyileşmektedir [111].



Şekil 5.34. Geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum sürelerinde (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) işlenmesinde amper ve vurum süresine bağlı olarak oluşan delik çaplarını gösteren grafikler.

Elektro erozyon tezgahında 12 mm çapında grafit elektrot ile farklı işleme parametrelerinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilen geleneksel ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen G18 ve S18 kodlu MAK numunelerin üç farklı akım şiddeti (2 A, 4 A ve 6 A) ve vurum süresine (25 μ s, 50 μ s ve 75 μ s) bağlı olarak oluşan delik çapları incelendiğinde (şekil 5.35), elektrot çapına en yakın ölçüm (12,162 μ m) 25 μ s vurum süresi ve 2 amper akım şiddetinde G18 kodlu numunede, en büyük delik çapı ise S18 kodlu MAK numunede (12,504 μ m) 75 μ s vurum süresinde 6 amper akım şiddetinde oluşmuştur. G18 ve S18 kodlu numunelerde artan amper ve vurum süresi ile delik çaplarında artış oluştuğu belirlenmiştir [121].



BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile MAK numune üretimi geleneksel döküm ve serbest döküm tekniği kullanılarak 80 mm çapında ve 60 mm yüksekliğinde kütlece %10, %14 ve %18 SiC takviyeli elemanı içeren, ana faz olarak AA7075 alaşımının kullanıldığı parçacık takviyeli MAK numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen MAK numunelerin mikroyapı, mekanik özellikleri ve EET ile işlenebilirliği araştırılmıştır. Mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesinden elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Erimiş metal karıştırma yöntemi kullanılarak üretilmiş MAK numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde takviye elemanı dağılımının nispeten homojen dağılım sergilediği görülmüştür. Ayrıca kütlece takviye elemanı oranının artmasıyla takviye elemanlarında topaklanmanın arttığı,
- Yoğunluk ölçümleri ve teorik hesaplamaların sonuçları incelendiğinde takviye oranındaki artış ile gözeneklilik oranının arttığı, sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen MAK numunelerde geleneksel döküm tekniği ile üretilen numunelere oranla gözenekliliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Minimum gözeneklilik değeri %10 SiC takviye elemanı içeren ve sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilmiş numunede %4,12 olarak ölçülmüştür. En fazla gözeneklilik değeri %7,63 gözeneklilik ile %18 SiC takviye elemanı içeren ve geleneksel döküm tekniğiyle üretilmiş numunede olduğu,
- En az gözenekliliğin %10 SiC içeren ve sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen S10 numunesinde, en çok gözenekliliğin ise %18 SiC içeren serbest döküm tekniği ile üretilen G18 numunesinde, G18 numunesindeki gözeneklilik oranının S10 numunesinden %268,66 daha fazla olduğu,

- Numunelerden ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde, geleneksel döküm tekniğiyle üretilen MAK numunelerin mikro sertlik değerlerinin sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen MAK numunelerin sertlik değerlerinden daha düşük olduğu,
- Geleneksel döküm tekniği ile üretilen MAK numunelerin mikro sertlik değerlerinin takviye elemanının %10'dan %18'e artmasıyla %12 oranlarıyla arttığı,
- Fakat sıkıştırma döküm tekniği kullanılarak üretilen MAK numunelerin mikro sertliklerinin takviye oranının %10 dan %18 artmasıyla sertlik oranında %3 oranında düşüş gösterdiği,
- Deneyler sonucunda elde edilen en düşük mikro sertlik değeri 127 HV ile %10 SiC takviye elemanı içeren ve geleneksel döküm tekniği ile üretilen numunede, en yüksek mikro sertlik değeri ise 160 HV ile %10 SiC takviye elemanı içeren sıkıştırma döküm tekniği üretilen numunede ölçüldüğü,
- MAK numunelerin pin-on flat aşınma cihazında sürtünme katsayıların ölçülmesi sonucunda artan yük ve takviye oranı ile ortalama sürtünme katsayısının arttığı,
- Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen MAK numunelerin sürtünme katsayılarının sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen MAK numunelere oranla daha düşük olduğu,
- 40 N yük altında Kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren (G18 ve S18) numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen S18 numunesinin sürtünme katsayısı (0,483) geleneksel döküm yöntemiyle üretilen (G18) numunenin sürtünme katsayısına (0,338) oranla %42,8 oranında artış gösterdiği,
- Parçacık takviyeli MAK numunelerin basma mukavemetleri incelendiğinde takviye oranının artmasıyla basma dayanımlarının düştüğü,

- En yüksek dayanımının sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen ve kütlece %10 SiC takviye elemanı içeren numunelerde, en düşük basma gerilmesi değerleri de sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen ve kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren numunelerde gözlemlendiği,
- Kütlece %10 ve %14 takviye elemanı içeren numunelerde sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin daha yüksek basma mukavemeti gösterdi fakat, kütlece %18 oranında takviye elemanı içeren MAK malzemelerde geleneksel döküm ile üretilen numunenin dayanımının yüksek olduğu,
- Basma deneyi sırasında kütlece %10 SiC içeren numunelerde %20 deformasyon sonrasında malzemelerde makro çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir.

Üretilen parçacık takviyeli MAK numunelerin EET ile işlenmesi sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Geleneksel döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde malzeme aşınma miktarı olarak incelendiğinde ise en fazla kaldırılan talaş miktarının 0,169 gr ile G14 kodlu numunede 4 A akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde, en düşük aşınma miktarının ise 0,101 gr ile 6 A akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde G18 kodlu numunede olduğu,
- Geleneksel döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde en küçük delik çapının G18 kodlu numunede 2 A akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde 12,162 mm, en büyük delik çapının ise G14 kodlu numunede 6 A akım şiddeti ve 75 µs vurum süresinde 12,936 mm olarak ölçüldüğü,
- Geleneksel döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin G14 kodlu numunede 2A akım şiddeti ve 25 µs vurum süresinde 5,335 µm, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise G10 kodlu numunede 6 amper ve 75 µs vurum süresinde 8,420 µm olarak ölçüldüğü,

- Sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde işleme süresinin en fazla olduğu deneyin 55 dakika süre ile 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde S18 kodlu numunede, en düşük işleme süresinin ise 5 dakika süre ile 6 A akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde S10 kodlu numunede gerçekleştiği,
- Sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde en küçük delik çapının S18 kodlu numunede 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 12,240 mm, en büyük delik çapının ise S14 kodlu numunede 6 A akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 12,714 mm olarak ölçüldüğü,
- Sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen MAK malzemelerin EET ile işlenmesinde delik içi yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin S10 kodlu numunede 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 4,947 μ m, en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ise S10 kodlu numunede 6 A akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 8,885 μ m olarak tespit edildiği,
- MAK numunelerin EET ile işlenmesinde en fazla işleme süresi 55 dakika süre ile 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde %18 SiC takviye elemanı sıkıştırma döküm tekniği ile üretilen numunede, en düşük ise işlem süreleri ise 6 A akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 5 dakika ile %10 SiC takviye elemanı içeren (sıkıştırma ve geleneksel döküm) numunede elde edildiği,
- MAK numunelerin EET ile işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ise en düşük yüzey pürüzlülük değerinin %10 SiC takviyeli sıkıştırma döküm tekniğiyle üretilen numunede 2 A akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 4,947 μ m, en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değerinin ise %18 SiC takviye elemanı içeren ve sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numunede 6 A akım şiddeti ve 75 μ s vurum süresinde 8,885 μ m olarak ölçüldüğü,
- MAK numunenin EET ile işlenmesinde elektrot çapına yakın en küçük delik çapı %18 SiC takviye elemanı içeren ve sıkıştırma döküm tekniği ile üretilmiş 2 A elektriksel akım şiddeti ve 25 μ s vurum süresinde 12,240 mm, en büyük delik

apının ise %14 SiC takviye elemanı içeren ve geleneksel döküm yöntemiyle üretilmiş numunede 6 A akım şiddeti ve 75 µs vurum süresinde 12,936 mm olarak ölçülmüştür.

Çalışmada elde edilen tecrübeler sonucunda gelecek çalışmalara katkı sağlaması açısından aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

- Melez ve nano kompozit malzemeler üretilerek işlenebilirliği araştırılabilir.
- Atık malzemelerden karıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretimi araştırılabilir.
- Karıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme üretiminde sürekli döküm ünitelerinin tasarlanması ve optimizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Logsdon, W. A. and Liaw, P. K., "Tensile, fracture toughness and fatigue crack growth rate properties of silicon carbide whisker and particulate reinforced aluminum metal matrix composites", **Engineering Fracture Mechanics**, 24 (5): 737–751 (1986).
2. Miracle, D. B. and Force, A., "Solidification Processing of Metal-Matrix Composites", (February): (1988).
3. Harris, S. J., "Metal Matrix Compozites", **Differences**, 35: 99–103 (1989).
4. SUR, G., "Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1,3 (2008).
5. Sharma, N., "Production of AMC by stir casting – An Overview", (January 2013): (2016).
6. Miracle, D. B., "Metal matrix composites - From science to technological significance", **Composites Science And Technology**, 65 (15-16 SPEC. ISS.): 2526–2540 (2005).
7. Cox, B. N. and Zok, F. W., "Advances in ceramic composites reinforced by continuous fibers", **Current Opinion In Solid State And Materials Science**, 1 (5): 666–673 (1996).
8. Liaw, P. K., Hsu, D. K., Yu, N., Miriyala, N., Saini, V., and Jeong, H., "Investigation of metal and ceramic-matrix composites moduli: Experiment and theory", **Acta Materialia**, 44 (5): 2101–2113 (1996).
9. Mirkhalaf, M., Zhu, D., and Barthelat, F., "Biomimetic Hard Materials", Engineered Biomimicry, **Elsevier Inc.**, 59–79 (2013).
10. Leon, G. F., Hall, J. C., Kelly, J. J., Coffenberry, B. S., and Cirino, M., "Affordable thermoplastic processing of marine structures", **Composites Manufacturing**, 6 (3–4): 193–199 (1995).
11. Walls, K. O. and Crawford, R. J., "The “design for manufacture” of continuous fibre-reinforced thermoplastic products in primary aircraft structure", **Composites Manufacturing**, 6 (3–4): 245–254 (1995).

12. Nair, S. V., Tien, J. K., and Bates, R. C., "SiC-reinforced aluminium metal matrix composites", *International Materials Reviews*, 30 (1): 275–290 (1985).
13. Rawal, S., "Metal-Matrix Composites for Space Applications", *Jom*, 53 (4): 14–17 (2001).
14. Cole, J. E. A. and G. S., "Metal-Matrix Composites in the Automotive Industry Opportunities and Challenges", *Jom*, 6 (1993).
15. Prasad, S. V. and Asthana, R., "Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: Tribological considerations", *Tribology Letters*, 17 (3): 445–453 (2004).
16. Lindroos, V. K. and Talvitie, M. J., "Recent advances in metal matrix composites", *Journal Of Materials Processing Technology*, 53 (1–2): 273–284 (1995).
17. Wang, Y. Q. and Zhou, B. L., "Behaviour of coatings on reinforcements in some metal matrix composites", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 27 (12 PART A): 1139–1145 (1996).
18. Johansson, L. G. and Jarfors, A. E. W., "A new semi-solid casting technique for fabricating SiC-reinforced Mg alloys matrix composites", 94: 176–189 (2016).
19. Delannay, F., Froyen, L., and Deruyttere, A., "The wetting of solids by molten metals and its relation to the preparation of metal-matrix composites composites", *Journal Of Materials Science*, 22 (1): 1–16 (1987).
20. Surappa, M. K., "Microstructure evolution during solidification of DRMMCs (Discontinuously reinforced metal matrix composites): State of art", *Journal Of Materials Processing Technology*, 63 (1–3): 325–333 (1997).
21. Hayat, M. D., Singh, H., He, Z., and Cao, P., "Titanium metal matrix composites: An overview", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 121 (April): 418–438 (2019).
22. Sajjadi, S. A., Ezatpour, H. R., and Torabi Parizi, M., "Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/Al₂O₃ composites fabricated by stir and compo-casting processes", *Materials And Design*, 34: 106–111 (2012).
23. Brabazon, D., Browne, D. J., and Carr, A. J., "Mechanical stir casting of aluminium alloys from the mushy state: Process, microstructure and mechanical properties", *Materials Science And Engineering A*, 326 (2): 370–381 (2002).
24. Balaji, V., Sateesh, N., and Hussain, M. M., "Manufacture of Aluminium Metal Matrix Composite (Al7075-SiC) by Stir Casting Technique", *Materials Today: Proceedings*, 2 (4–5): 3403–3408 (2015).

25. Naher, S., Brabazon, D., and Looney, L., "Development and assessment of a new quick quench stir caster design for the production of metal matrix composites", *Journal Of Materials Processing Technology*, 166 (3): 430–439 (2005).
26. Amirkhanlou, S. and Niroumand, B., "Development of Al356/SiCp cast composites by injection of SiCp containing composite powders", *Materials And Design*, 32 (4): 1895–1902 (2011).
27. Amirkhanlou, S., Rezaei, M. R., Niroumand, B., and Toroghinejad, M. R., "High-strength and highly-uniform composites produced by compocasting and cold rolling processes", *Materials And Design*, 32 (4): 2085–2090 (2011).
28. Cöcen, Ü. and Önel, K., "Ductility and strength of extruded SiC p / aluminium-alloy composites", *Composites Science And Technology*, 62: 275–282 (2002).
29. Aniban, N., Pillai, R. ., and Pai, B. ., "An analysis of impeller parameters for aluminium metal matrix composites synthesis", *Materials & Design*, 23 (6): 553–556 (2002).
30. Çetin, A. and Kalkanli, A., "Effect of solidification rate on spatial distribution of SiC particles in A356 alloy composites", *Journal Of Materials Processing Technology*, 205 (1–3): 1–8 (2008).
31. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M. S. J., "Metal matrix composites: production by the stir casting method", *Journal Of Materials Processing Technology*, 92–93: 1–7 (1999).
32. Krishna, M. V. and Xavier, A. M., "An investigation on the mechanical properties of hybrid metal matrix composites", *Procedia Engineering*, 97: 918–924 (2014).
33. McLean, a., Soda, H., Xia, Q., Pramanick, a. K., Ohno, a., Motoyasu, G., Shimizu, T., Gedeon, S. a., and North, T., "SiC particulate-reinforced, aluminium-matrix composite rods and wires produced by a new continuous casting route", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 28: 153–162 (1997).
34. Kang, C. G. and Yun, K. S., "Fabrication of metal-matrix composites by the die-casting technique and the evaluation of their mechanical properties (o) Agitating (b) Pressure and dewatering (c) Ejecting", *Journal Of Materials Processing Technology*, 62: 116–123 (1996).
35. Onat, A., Akbulut, H., and Yilmaz, F., "Production and characterisation of silicon carbide particulate reinforced aluminium-copper alloy matrix composites by direct squeeze casting method", *Journal Of Alloys And Compounds*, 436 (1–2): 375–382 (2007).

36. Kang, C. G. and Seo, Y. H., "The influence of fabrication parameters on the deformation behaviour of the preform of metal-matrix composites during the squeeze-casting processes", *Journal Of Materials Processing Technology*, 61 (3): 241–249 (1996).
37. Sahin, Y. and Acilar, M., "Production and properties of SiCp-reinforced aluminium alloy composites", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 34 (8): 709–718 (2003).
38. Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V., and Kori, S. A., "Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by Stir Casting and Evaluation of Mechanical and Wear Properties", *Procedia Materials Science*, 6 (0): 1658–1667 (2014).
39. Aravindan, S., Rao, P. V, and Ponappa, K., "ScienceDirect Evaluation of physical and mechanical properties of AZ91D / SiC composites by two step stir casting process", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 3 (1): 52–62 (2015).
40. Balasubramanian, I. and Maheswaran, R., "Effect of inclusion of SiC particulates on the mechanical resistance behaviour of stir-cast AA6063/SiC composites", *Materials And Design*, 65: 511–520 (2015).
41. Karbalaee Akbari, M., Baharvandi, H. R., and Shirvanimoghaddam, K., "Tensile and fracture behavior of nano/micro TiB₂ particle reinforced casting A356 aluminum alloy composites", *Materials And Design*, 66 (PA): 150–161 (2015).
42. Karbalaee Akbari, M., Mirzaee, O., and Baharvandi, H. R., "Fabrication and study on mechanical properties and fracture behavior of nanometric Al₂O₃ particle-reinforced A356 composites focusing on the parameters of vortex method", *Materials And Design*, 46: 199–205 (2013).
43. Davis, L. C., Andres, C., and Allison, J. E., "Microstructure and strengthening of metal matrix composites", *Materials Science And Engineering: A*, 249 (1–2): 40–45 (1998).
44. Zhang, L. J., Yang, D. L., Qiu, F., Wang, J. G., and Jiang, Q. C., "Effects of reinforcement surface modification on the microstructures and tensile properties of SiCp/Al2014 composites", *Materials Science And Engineering A*, 624: 102–109 (2015).
45. Dong, P. Y., Zhao, H. D., Chen, F. F., and Li, J. W., "Microstructures and properties of A356-10%SiC particle composite castings at different solidification pressures", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 23 (8): 2222–2228 (2013).
46. Dwivedi, S. P., Sharma, S., and Mishra, R. K., "Microstructure and Mechanical Properties of A356/SiC Composites Fabricated by Electromagnetic Stir Casting", *Procedia Materials Science*, 6 (Icmpc): 1524–1532 (2014).

47. Sukumaran, K., Ravikumar, K. K., Pillai, S. G. K., Rajan, T. P. D., Ravi, M., Pillai, R. M., and Pai, B. C., "Studies on squeeze casting of Al 2124 alloy and 2124-10% SiCp metal matrix composite", *Materials Science And Engineering A*, 490 (1–2): 235–241 (2008).
48. A. Labib, H. L. and E. H. S., "Effect of solidification rate (0 . 1-100 ° C s⁻¹) on the microstructure , mechanical properties and fractography of two Al-Si-10vol .% SiC particle composite castings", *Materials Science And Engineering*, A160: 81–90 (1993).
49. Meena, K. L., Manna, A., and Banwait, S. S., "An Analysis of Mechanical Properties of the Developed Al / SiC- MMC ' s", 1 (1): 14–19 (2013).
50. Chatterjee, S., Sinha, A., Das, D., Ghosh, S., and Basumallick, A., "Microstructure and mechanical properties of Al/Fe-aluminide in-situ composite prepared by reactive stir casting route", *Materials Science And Engineering A*, 578: 6–13 (2013).
51. Ezatpour, H. R., Torabi-Parizi, M., and Sajjadi, S. a., "Microstructure and mechanical properties of extruded Al/Al₂O₃ composites fabricated by stir-casting process", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 23 (5): 1262–1268 (2013).
52. Shabani, M. O. and Mazahery, A., "Optimization of process conditions in casting aluminum matrix composites via interconnection of artificial neurons and progressive solutions", *Ceramics International*, 38 (6): 4541–4547 (2012).
53. Stefanescu, D. M., Dhindaw, B. K., Kacar, S. A., and Moitra, A., "Behavior of ceramic particles at the solid- liquid metal interface in metal matrix composites", *Metallurgical Transactions A*, 19 (11): 2847–2855 (1988).
54. Jacob, D. S. E., Velmurugan, C., Dev, K. L., and Boopathiraja, K. P., "E ff ect of tungsten carbide , silicon carbide and graphite particulates on the mechanical and microstructural characteristics of AA 5052 hybrid composites", *Ceramics International*, 45 (1): 614–621 (2019).
55. Mistry, J. M. and Gohil, P. P., "Experimental investigations on wear and friction behaviour of Si 3 N 4p reinforced heat-treated aluminium matrix composites produced using electromagnetic stir casting process", *Composites Part B*, 161 (August 2018): 190–204 (2019).
56. Pakdel, A., Witecka, A., Rydzek, G., Noorfazidah, D., Shri, A., and Nicolosi, V., "Materials Science & Engineering A A comprehensive analysis of extrusion behavior , microstructural evolution , and mechanical properties of 6063 Al – B 4 C composites produced by semisolid stir casting", *Materials Science & Engineering A*, 721 (January): 28–37 (2018).

57. Nageswaran, G., Natarajan, S., and Ramkumar, K. R., "Synthesis , structural characterization , mechanical and wear behaviour of Cu-TiO₂ -Gr hybrid composite through stir casting technique", ***Journal Of Alloys And Compounds***, 768: 733–741 (2018).
58. Kumar, M. R., Reddappa, H. N., Suresh, R., and Gangadharappa, M., "ScienceDirect Effect of Heat Treatment on Tensile Strength of Al7075 / Al₂O₃ / SiCp Hybrid Composite by Stir Casting Technique", ***Materials Today: Proceedings***, 5 (10): 22460–22465 (2018).
59. Singh, R. and Singh, G., "Investigations of Al-SiC AMC prepared by vacuum moulding assisted stir casting", ***Journal Of Manufacturing Processes***, 19: 142–147 (2015).
60. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M. S. J., "The enhancement of wettability of SiC particles in cast aluminium matrix composites", ***Journal Of Materials Processing Technology***, 119 (1–3): 329–335 (2001).
61. Dhanashekar, M. and Kumar, V. S. S., "Squeeze Casting of Aluminium Metal Matrix Composites- An Overview", ***Procedia Engineering***, 97: 412–420 (2014).
62. Pradhan, S. K., Chatterjee, S., Mallick, A. B., and Das, D., "A simple stir casting technique for the preparation of in situ Fe-aluminides reinforced Al-matrix composites &", ***Perspectives In Science***, 8: 529–532 (2016).
63. Madhusudhan, M., Naveen, G. J., and Mahesha, K., "Mechanical Characterization of AA7068-ZrO₂ reinforced Metal Matrix Composites", ***Materials Today: Proceedings***, 4 (2): 3122–3130 (2017).
64. Braszczyńska, K. N., Lityńska, L., Zyska, A., and Baliga, W., "TEM analysis of the interfaces between the components in magnesium matrix composites reinforced with SiC particles", ***Materials Chemistry And Physics***, 81 (2–3): 326–328 (2003).
65. Tahamtan, S., Halvaei, A., Emamy, M., and Zabihi, M. S., "Fabrication of Al/A206-Al₂O₃ nano/micro composite by combining ball milling and stir casting technology", ***Materials And Design***, 49: 347–359 (2013).
66. Soy, U., "1000 Soruda Malzeme Bilimi", 2. Ed., ***Değişim Yayınları***, İstanbul, 21 (2017).
67. NAS, E., "Karma takviyeli (Al/B₄C-GR) alüminyum matrisli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi mekanik özellikleri ve işlenebilirliği", Doktora Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 56–73 (2015).
68. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", 1. Ed., Ankara, 1–117 (2000).

69. Groover, M., "Modern İmalatın Prensipleri", 4. Ed., **Nobel Yayıncılık**, Ankara, (2014).
70. Callister, W. D. and Rethwisch, D. G., "Malzeme Bilimi ve Mühendisliği", **Nobel Yayınları**, Ankara, 653,654 (2013).
71. Assar, a.-E. M. and Al-Nimr, M. a., "Fabrication of Metal Matrix Composite by Infiltration Process-Part 1: Modeling of Hydrodynamic and Thermal Behavior", **Journal Of Composite Materials**, 28 (15): 1480–1490 (1994).
72. Meaden, G., Partridge, P. G., Nicholson, E., Nicholson, J., Wisbey, A., and Ashfold, M. N. R., "Diamond fibre metal matrix composites", **Diamond And Related Materials**, 6 (5–7): 898–901 (2002).
73. Hsueh, C. H. and Becher, P. F., "Residual thermal stresses in ceramic composites, part II: With short fibers", **Materials Science And Engineering A**, 212 (1): 29–35 (1996).
74. Nan, C. W. and Clarke, D. R., "The influence of particle size and particle fracture on the elastic/plastic deformation of metal matrix composites", **Acta Materialia**, 44 (9): 3801–3811 (1996).
75. Nairna, K., Forsyth, M., Every, H., Greville, M., and Macfarlane, D. R., "Polymer ceramic composites", **Composites**, 11 (1): 53–54 (2003).
76. Yigit, S., Hacaloglu, J., Akbulut, U., and Toppare, L., "Conducting polymer composites of polythiophene with natural and synthetic rubbers", **Synthetic Metals**, 79 (1): 11–16 (1996).
77. Ganesh, V. K., Ramakrishna, S., Teoh, S. H., and Naik, N. K., "Microstructural design of textile composites", **Materials And Design**, 18 (3): 175–181 (1997).
78. Gospodinova, N., Mokreva, P., Tsanov, T., and Terlemezyan, L., "S0032-3861(96)00698-2", **Polymer**, 38 (3): 743–746 (1997).
79. Sur, G. and Kayabaşı, İ., "Hafif Metal Ana Fazlı Kompozit Malzeme Üretim Sisteminin Tasarım, İmalat Ve Performansının İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji**, 7 (1): 63–79 (2019).
80. Beşergil, B., "Kompozitler Temel İlkeler, Test Metotları", 1. Ed., **Gazi Kitabevi**, Ankara, 156–170 (2016).
81. Singh, S. and Singh, R., "Wear modelling of Al-Al₂O₃ functionally graded material prepared by FDM assisted investment castings using dimensionless analysis", **Journal Of Manufacturing Processes**, 20: 507–514 (2015).

82. Koral, M., "5052 Alüminyum Alaşım Oranı 0,6 Olan Metal Matrisli Kompozit Malzeme ile Mekanik Araç Krikosu Gerilme Analizi ve Taguchi Metodu", Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 35 (2018).
83. Ali, G., "Ahp ve Topsis Yaklaşımıyla Metal Matrisli Kompozit İmalat Makinelerinin Seçimi", *Mühendisve Makina*, 52: 59–71 (2011).
84. Biamino, S., Antonini, A., Pavese, M., Fino, P., and Badini, C., "MoSi2 laminate processed by tape casting: Microstructure and mechanical properties' investigation", *Intermetallics*, 16 (6): 758–768 (2008).
85. Kruth, J. P., Van der Schueren, B., Bonse, J. E., and Morren, B., "Basic Powder Metallurgical Aspects in Selective Metal Powder Sintering", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 45 (1): 183–186 (1996).
86. Smith, L. N. and Midha, P. S., "An interactive system for optimum and concurrent design of components for manufacture by powder metallurgy technology", *Journal Of Materials Processing Technology*, 61 (1–2): 187–192 (1996).
87. Fujita, T., Ogawa, A., Ouchi, C., and Tajima, H., "Microstructure and properties of titanium alloy produced in the newly developed blended elemental powder metallurgy process", *Materials Science And Engineering A*, 213 (1–2): 148–153 (1996).
88. C., W. and Jr., H., "PII_ S0921-5093(97)00828-9.pdf", *Materials Science & Engineering A*, A244: 75–79 (1998).
89. White, S. R. and Kim, Y. K., "Staged curing of composite materials", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 27 (3 PART A): 219–227 (1996).
90. Syn, C. K., Lesuer, D. R., and Sherby, O. D., "Enhancing tensile ductility of a particulate-reinforced aluminum metal matrix composite by lamination with Mg-9%Li alloy", *Materials Science And Engineering A*, 206 (2): 201–207 (1996).
91. Sijo, M. T. and Jayadevan, K. R., "Analysis of stir cast aluminium silicon carbide metal matrix composite: A comprehensive review", *Procedia Technology*, 24: 379–385 (2016).
92. Li, Q., Rottmair, C. A., and Singer, R. F., "CNT reinforced light metal composites produced by melt stirring and by high pressure die casting", *Composites Science And Technology*, 70 (16): 2242–2247 (2010).
93. Li, Y., Li, Q., Li, D., Liu, W., and Shu, G., "Fabrication and characterization of stir casting AA6061 – 31 % B 4 C composite", 26: 2304–2312 (2016).

94. Kok, M., "Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites", ***Journal Of Materials Processing Technology***, 161 (3): 381–387 (2005).
95. Soltani, S., Azari Khosroshahi, R., Taherzadeh Mousavian, R., Jiang, Z. Y., Fadavi Boostani, A., and Brabazon, D., "Stir casting process for manufacture of Al–SiC composites", ***Rare Metals***, 36 (7): 581–590 (2017).
96. Mohammadpour, M., Azari Khosroshahi, R., Taherzadeh Mousavian, R., and Brabazon, D., "Effect of interfacial-active elements addition on the incorporation of micron-sized SiC particles in molten pure aluminum", ***Ceramics International***, 40 (6): 8323–8332 (2014).
97. Li, Q. F. and McCartney, D. G., "A review of reinforcement distribution and its measurement in metal matrix composites", ***Journal Of Materials Processing Tech.***, 41 (3): 249–262 (1994).
98. Fiedler, T., Sulong, M. A., Mathier, V., Belova, I. V., Younger, C., and Murch, G. E., "Mechanical properties of aluminium foam derived from infiltration casting of salt dough", ***Computational Materials Science***, 81: 246–248 (2014).
99. Beffort, O., Long, S., Cayron, C., Kuebler, J., and Buffat, P. A., "Alloying effects on microstructure and mechanical properties of high volume fraction SiC-particle reinforced Al-MMCs made by squeeze casting infiltration", ***Composites Science And Technology***, 67 (3–4): 737–745 (2007).
100. ÖZSARI, A. R. B., "Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilen Aa2024 Ve Aa6061 Matrisli, B4c Ve Sic Takviyeli Kompozitlerin Üretimi İçyapı, Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, UŞAK, 26–32 (2018).
101. Zhang, L., Qu, X., Duan, B., He, X., Ren, S., and Qin, M., "Microstructure and thermo-mechanical properties of pressureless infiltrated SiCp/Cu composites", ***Composites Science And Technology***, 68 (13): 2731–2738 (2008).
102. Subramanian, R., Schneibel, J. H., Alexander, K. B., and Plucknett, K. P., "Iron aluminide-titanium carbide composites by pressureless melt infiltration - Microstructure and mechanical properties", ***Scripta Materialia***, 35 (5): 583–588 (1996).
103. Pech-Canul, M. I., Katz, R. N., and Makhlof, M. M., "Optimum conditions for pressureless infiltration of SiCp preforms by aluminum alloys", ***Journal Of Materials Processing Technology***, 108 (1): 68–77 (2000).
104. Bahrami, A., Soltani, N., Pech-Canul, M. I., and Gutiérrez, C. A., "Development of metal-matrix composites from industrial/agricultural waste materials and their derivatives", ***Critical Reviews In Environmental Science And Technology***, 46 (2): 143–207 (2016).

105. Xue, C., Yu, J. K., and Zhu, X. M., "Thermal properties of diamond/SiC/Al composites with high volume fractions", *Materials & Design*, 32 (8–9): 4225–4229 (2011).
106. Wang, T. C., Fan, T. X., Zhang, D., and Zhang, G. D., "Fabrication and the wear behaviors of the carbon/aluminum composites based on wood templates", *Carbon*, 44 (5): 900–906 (2006).
107. Seo, Y. H. and Kang, C. G., "The effect of applied pressure on particle-dispersion characteristics and mechanical properties in melt-stirring squeeze-cast SiCp/Al composites", *Journal Of Materials Processing Tech.*, 55 (3–4): 370–379 (1995).
108. Tran, V. N., Yang, S., and Phung, T. A., "Microstructure and properties of Cu/TiB₂ wear resistance composite coating on H13 steel prepared by in-situ laser cladding", *Optics And Laser Technology*, 108: 480–486 (2018).
109. Kannan, C. and Ramanujam, R., "Comparative study on the mechanical and microstructural characterisation of AA 7075 nano and hybrid nanocomposites produced by stir and squeeze casting", *Journal Of Advanced Research*, 8 (4): 309–319 (2017).
110. Karami, M. B., "Tribology at high-velocity impact", *Tribology International*, 40 (1): 98–104 (2007).
111. Hu, L. and Wang, E., "Fabrication and mechanical properties of SiCw/ZK51A magnesium matrix composite by two-step squeeze casting", *Materials Science And Engineering: A*, 278 (1–2): 267–271 (2000).
112. Eslamian, M., Rak, J., and Ashgriz, N., "Preparation of aluminum/silicon carbide metal matrix composites using centrifugal atomization", *Powder Technology*, 184 (1): 11–20 (2008).
113. Srivatsan, T. S., Sudarshant, T. S., and Lavernia, E. J., "Processing of Discontinuously-Reinforced Metal Matrix Composites by Rapid Solidification", *Progress in Materials Science*, 39: 317–409 (1995).
114. Plookphol, T., Wisutmethangoon, S., and Gonsrang, S., "Influence of process parameters on SAC305 lead-free solder powder produced by centrifugal atomization", *Powder Technology*, 214 (3): 506–512 (2011).
115. Zhang, J., Cheng, L., Liu, Y., Zhao, H., Wang, J., Zhang, Y., and Zhang, L., "Strengthening thick-section 3D needled C/SiC composites by tuning matrix deposition", *Ceramics International*, 45 (6): 8058–8062 (2019).
116. Tjong, S., "Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites", *Materials Science And Engineering: R: Reports*, 29 (3–4): 49–113 (2000).

117. Prusov, E., Deev, V., and Rakhuba, E., "Aluminum Matrix In-Situ Composites Reinforced with Mg₂Si and Al₃Ti", *Materials Today: Proceedings*, 11: 386–391 (2019).
118. Internet: İnternet, "Referans Metal", <http://referansmetal.com/alasimli-aluminyum/product/160/ams-qq-a-25012-alzn5-5mgcu-7075-t6> (2019).
119. Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M. S. J., "The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy", *Journal Of Materials Processing Technology*, 119 (1–3): 324–328 (2001).
120. Shalaby, E. A. M., Yu, A., Solonin, A. N., and Lotfy, A., "Materials Science & Engineering A Preparation and characterization of hybrid A359 / (SiC þ Si 3 N 4) composites synthesized by stir / squeeze casting techniques", *Materials Science & Engineering A*, 674: 18–24 (2016).
121. Gupta, R. K., Mehrotra, S. P., and Gupta, S. P., "Evaluation and optimization of metal matrix composite strip produced by single roll continuous strip casting method", *Materials Science And Engineering A*, 465 (1–2): 116–123 (2007).
122. Doel, T. J. a. and Bowen, P., "Tensile properties of particulate-reinforced metal matrix composites", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 27: 655–665 (1996).
123. NAS, E. and AKINCIOĞLU, S., "Kriyojenik İşlem Görmüş Nikel Esaslı Süperalaşımın Elektro-Erozyon İşleme Performansı Optimizasyonu", *Academic Platform Journal Of Engineering And Science*, 7 (1): 1–1 (2018).
124. Ergün, E., Yusuf, Ö., and Mahmut, G., "Mechanical and fracture behavior of B₄C reinforced Al composites produced by hot pressing", *Materials Testing*, 58 (2): 133–139 (2016).
125. Nas, E. and Gökkaya, H., "Experimental and Statistical Study on Machinability of the Composite Materials with Metal Matrix Al/B₄C/Graphite", *Metallurgical And Materials Transactions A: Physical Metallurgy And Materials Science*, 48 (10): 5059–5067 (2017).
126. Engin, N. and Erman, Z., "Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 4 (Doğadan Esinlenen Optimizasyon Algoritmaları ve Optimizasyon Algoritmalarının Optimizasyonu): 293–304 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah UĞUR, (d. 30 KASIM 1985, KARABÜK), Arş. Gör./Karabük Üniversitesi;

İlk Öğretimini Emek İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Safranbolu Anadolu Lisesinde tamamlayan UĞUR, 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği programında lisansını tamamlamadı. Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde 2009 yılında başladığı yüksek lisansını 2012 yılında tamamlamamıştır. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı araştırma görevliliğine halen devam etmektedir.

Adres : Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
Böl., 3. Kat, oda no :346

E posta : augur@karabuk.edu.tr