

T.C
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ İKİNCİL FAZ VE SERAMİK
PARTİKÜL TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ
VE KAREKTERİZASYONU

AÇELYA SANDIKOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2021

T.C
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ İKİNCİL FAZ VE
SERAMİK PARTİKÜL TAKVİYELİ
KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ VE
KAREKTERİZASYONU

AÇELYA SANDIKOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. YAHYA KEMAL TÜR
II. DANIŞMANI
DOÇ. DR. ÇAĞLAR YÜKSEL

GEBZE
2021

T.C
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION
OF ALUMINUM MATRIX SECONDARY
PHASE AND CERAMIC PARTICLE
REINFORCED COMPOSITE MATERIAL**

AÇELYA SANDIKOĞLU

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

THESIS SUPERIOR

PROF.DR. YAHYA KEMAL TÜR

II. THESIS SUPERIOR

ASSOC. PROF. DR. ÇAĞLAR YÜKSEL

GEBZE

2021

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
----------------------------------	--------------------------------------

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/07/2021 tarih ve 2021/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/08/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Açelya Sandıkoğlu'nun tez çalışması Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : PROF. DR. YAHYA KEMAL TÜR

ÜYE

: PROF. DR. EBRU MENŞUR ALKOY

ÜYE

: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ BETÜL KAFKASOĞLU YILDIZ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Alüminyum matrisli kompozitler, alüminyuma göre üstün mekanik özellikleri ve alternatif mühendislik malzemelerine göre düşük yoğunlukları ile çok sayıda araştırma konusu olmuşlardır. Alüminyumun yüzey özelliklerinin geliştirilmesi için yüzey modifikasyon teknikleride uygulanmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen seçilen alüminyum alaşımının yüzey modifikasyonu ile daha iyi yüzey özelliklerine sahip alüminyum esaslı malzemenin geliştirilmesidir. Çalışmada hurda niteliğindeki lamel grafitli dökme demir talaşı alüminyum matris A356 alaşımı içerisine katkılanarak yeni nesil bir takviye malzemesi olarak kullanılması amaçlanmıştır. Dökme demir talaşı ve alüminyum matris kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan SiC parçacık takviye karşılaştırmak amacıyla ayrı %2.5, %5, %10 hacim oranlarında sıkıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak numuneler üretilmiştir. Numunelerin mikroyapısal karakterizasyonu için optik mikroskop, SEM-EDS, XRD analizleri ve mekanik özellikler için Vickers sertlik, çekme dayanımı ve aşınma deneyi yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Ayrıca aşınma deneyleri sonrasında numunelerin SEM analizlerine yapılarak aşınma yüzeyleri incelenmiştir. Optik mikroskop ve SEM analizinde takviye fazlarını homojen olarak dağıldığı, XRD sonuçlarına göre katkı fazlarının alüminyum ile reaksiyona girmediği, istenmeyen fazların oluşmadığı gözlenmiştir. Beklendiği gibi artan takviye oranı ile her iki katkı içinde sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Sonuçlarımız yüzey modifikasyonu için dökme demirin SiC'e göre daha düşük maliyetli bir takviye olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum matrisli kompozit, lamel grafitli dökme demir talaşı, SiC, sıkıştırılmalı döküm yöntemi.

SUMMARY

Aluminum matrix composites have been the subject of many researches with their superior mechanical properties compared to aluminum and low densities compared to alternative engineering materials. Surface modification techniques are also employed surface properties of aluminum. The aim of this study is to develop an aluminum-based material with better surface properties by surface modification of the selected aluminum alloy. In the study, it is aimed to use the scrap lamellar graphite cast iron shavings as a new generation reinforcement material by doping into aluminum matrix. In order to compare the SiC particle reinforcement, which is widely used in cast iron shavings and aluminum matrix composite materials, samples were produced using the compression casting method at separate volume ratios of %2.5, %5, %10. Optical microscope, SEM-EDS, XRD analyzes for microstructural characterization of the samples and Vickers hardness, tensile strength and abrasion tests for mechanical properties were performed and the results were examined. In addition, wear surfaces were investigated in SEM. In the optical microscope and SEM analysis, it was observed that the reinforcement phases were homogeneously dispersed, according to the XRD results, the additive phases did not react with aluminum, and no unwanted phases were formed. As expected, the hardness values of both additives increased with increasing reinforcement ratio. Our results suggest that cast iron may be a lower cost reinforcement than SiC for surface modification.

Key Words: Aluminum matrix composite, lamellar graphite cast iron shavings, SiC, squeeze casting method.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Prof Dr. Yahya Kemal Tür'e, çalışmalarına eş danışmanlık yapan hocam Doc. Dr. Çağlar Yüksel'e, yüksek lisansa kabul aldığım ilk danışman hocam Prof. Dr. Ebru Menşur Alkoy'a,

Deneyisel çalışmalarımnda numunelerimin üretimi sırasında desteğinin hiç esirgemeyen Ahmet Kabil'e

Deneyisel çalışmalarımnda desteğinin ve yardımını her zaman gördüğüm Sayın Ömer Faruk Deniz'e, Ahmet Nazım'a ve Adem Şen'e,

Yüksek lisans hayatıma beraber başladığımız Semra Damla Albayrak Dilek'e ve yüksek lisans eğitimine destek veren Ferro Döküm ailesine,

Hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan annem ve aileme,

Tez çalışmalarımnda ve hayatıma her zaman yardımcı olan destek veren Ali Tucan Kandemir'e,

Teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. KOMPOZİT MALZEMELER	3
2.1. Metal Matris Kompozitlerinin Genel Özellikleri	4
2.1.1. Metal Matris Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemelerinin Özellikleri	6
2.1.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyelerin Özellikleri	8
2.2. Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Özellikleri	11
2.2.1. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışları	14
2.2.2. Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Uygulama Alanları	26
2.3. Gri Dökme Demirler ve Aşınma Özellikleri	27
2.3.1. İkincil Faz Takviyesinin Özellikleri	31
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	32
3.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	32
3.1.1. Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi	34
3.2. Katı Faz Üretim Yöntemleri	38
3.3. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi	39
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	40

4.2. Deney Numunelerinin Üretimi	41
4.3. Uygulanan Testler	44
5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA	48
5.1. Dökme Demir Takviyesi ile Üretilen Mmk Yapılan Çalışmalar	48
5.1.1. Mikro Yapısal İncelemeler	48
5.1.2. SEM Mikroyapı Analizi ve EDS Yöntemi ile Elementel Analiz	52
5.1.3. XRD Sonuçları	59
5.1.4. Sertlik Testi Sonuçları	60
5.1.5. Çekme Testi Sonuçları	63
5.1.6. Aşınma Testi Sonuçları	64
5.1.7. Aşınma Numunelerinin SEM Analizleri	81
5.2. SiC Takviyesi ile Üretilen MMK Yapılan Çalışmalar	86
5.2.1. Mikroyapısal İncelemeler	86
5.2.2. SEM Mikroyapı Analizi ve EDS Yöntemi ile Elementel Analiz	89
5.2.3. XRD Sonuçları	95
5.2.4. Sertlik Testi Sonuçları	95
5.2.5. Çekme Testi Sonuçları	98
5.2.6. Aşınma Testi Sonuçları	99
5.2.7. Aşınma Numuneleri SEM Analizleri	113
6. GENEL SONUÇLAR	116
6.1. Öneriler	117
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ	124

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
AMK	: Alüminyum Matrisli Kompozit
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
B ₄ C	: Bor Karbür
C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
DD talaşı	: Dökme Demir Talaşı
EDS	: Energy Dispersive Spectroscopy
Fe	: Demir
HV	: Vickers Sertlik Birimi
J	: Joule
Mg	: Magnezyum
MMK	: Metal Matris Kompozit
N	: Newton
NDT	: Tahribatsız Muayene
PAMK	: Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit
Pb	: Kurşun
SAMK	: Sürekli Fiber Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit
SE	: Secondary Electron
SEM	: Scanning Electron Microscope
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
Ti	: Titanyum
TiB ₂	: Titanyum Diborür
TiC	: Titanyum Karbür
V	: Vanadyum

WAMK : Whisker Alüminyum Matrisli Kompozit
XRD : X-Ray Difraskyonu



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Metal matrisli kompozitlerde takviyeler.	5
2.2: Silisyum karbür kafes yapısı.	9
2.3: MMK endüstrisinde tercih edilen takviyelerin göre dağılımı.	12
2.4: Farklı boyutlarda B ₄ C partikül için saf al ve al-b ₄ c kompozitlerinin vickers sertlik varyasyonu.	16
2.5: Farklı boyutlarda b ₄ c parçacıkları için saf Al ve Al-B ₄ C kompozitlerinin mukavemet değişimi.	16
2.6: Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin aşınma davranışı.	17
2.7: SiC parçacık içeriği ve boyutunun sertliğe etkisi.	18
2.8: Farklı takviye boyutuna göre aşınma davranışları.	18
2.9: Farklı SiC içeriklerinde kayma aşınma davranışı.	20
2.10: 5083 al alaşımı için farklı yükte zamana karşı aşınma miktarı.	21
2.11: Al-356 alaşım malzemesi için aşınma hızı ve uygulanan farklı yükler için mmk yüzey kaplama kaynak birikintisi: (a) 0,1 ms ⁻¹ , (b) 0,45 ms ⁻¹ ve (c) 0,9 ms ⁻¹	22
2.12: Artan hacim oranı- farklı tane boyutunun aşınma hızına etkisi	23
2.13: Sıcaklığın aşınma direnci ile ilişkisi.	23
2.14: A) kayma hızının aşınma hızına etkisi b) sıcaklığın sic içeriğinin kayma hızına etkisi-c) sic oranın sürtünme katsayısına etkisi d) takviye oranının sarma dayanımına etkisi.	24
2.15: Farklı miktarlarda zro ₂ takviyeli kompozit malzemelerin ağırlık kayıpları ve aşınma oranları.	25
2.16: F16 gövde arkası kanatları (metal matris kompozit).	26
2.17: Metal matrisli kompozit ile üretilen motor bloğu.	27
2.18: Katılaşma ve grafit oluşumu sıcaklık ile ilişkisi.	28
3.1: İnfiltrasyon işlemi.	32
3.2: Plazma püskürtme yöntemi.	33
3.3: Karıştırma döküm yöntemi.	34
3.4: Direk sıkıştırırmalı döküm yöntemi.	35

3.5:	Dolaylı sıkıştırırmalı döküm yöntemi (a) alüminyumun ergitilmesi, (b) enjeksiyon silindiri dikey olarak döner, (c) kovan tutucu, kılıfla birlikte yükselir ve alt kalıpta oturur. (d) piston ucu yükselir ve enjekte edilir.	36
3.6:	Toz metalurjisi şematik gösterimi.	38
3.7:	Difüzyonla bağlama yöntemi.	39
3.8:	Rheocasting şematik gösterimi.	39
4.1:	Laboratuvar ölçekli elektrikli fırın.	42
4.2:	Sıkıştırırmalı pres.	42
4.3:	Kompozit üretiminin işlem basamakları.	43
4.4:	2 mm katlandırılarak dökme demir talaşı takviyesi üretilen kompozit malzemeden incelenen aşınma, sem, optik mikroskop numuneleri.	44
4.5:	SEM-EDS analizi.	45
4.6:	XRD analiz cihazı.	45
4.7:	Optik mikroskop cihazı.	45
4.8:	Aşınma test cihazı.	46
4.9:	SEM incelenen aşınma numuneleri.	46
4.10:	Çekme deney testi-çekme numuneleri.	47
5.1:	A356 alaşımının mikroyapısı.	49
5.2:	A2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	49
5.3:	A5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	49
5.4:	B2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	50
5.5:	B5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	50
5.6:	B10 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	50
5.7:	Makro düzeyde incelenen dökme demir talaşı takviye edilen numuneler.	51
5.8:	A2.5 takviye matris arayüzeyinin se modlarındaki sem görüntüsü.	52
5.9:	A2.5 numunesinin alınan EDS bölgeleri.	53
5.10:	A5 takviye matris arayüzeyinin se modlarındaki sem görüntüsü.	54
5.11:	A5 numunesinden alınan eds bölgeleri.	54
5.12:	A) B2.5 b) B5 c) B10 takviye matris arayüzeyinin se modlarındaki sem görüntüleri.	56

5.13:	B2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	57
5.14:	B5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	58
5.15:	B10 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	58
5.16:	Referans numune ve dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numunelerin xrd grafiği.	60
5.17:	Farklı takviye oranlarındaki a numuneleri ile c numunesinin sertlik sonuçları.	59
5.18:	Farklı takviye oranlarındaki b numuneleri ile c numunesinin sertlik sonuçları.	62
5.19:	Çekme test sonuçları.	63
5.20:	A numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.	64
5.21:	B numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.	65
5.22:	2N yükte A numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	66
5.23:	2N yükte B numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	66
5.24:	5N yükte A numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	67
5.25:	5N yükte B numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	68
5.26:	a) referans numune b) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş a numunesi c) 2N yük ile %5 takviye edilmiş a numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	69
5.27:	2N yük ile sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	70
5.28:	a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş A numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş A numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	71
5.29:	5N yük ile sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	72
5.30:	A) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş B numunesi b) 2N yük ile %5 takviye edilmiş B numunesi c) 2N yük ile %10 takviye edilmiş B numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	73

5.31:	2N yüküle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağılı grafiğı.	74
5.32:	a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş a numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş a numunesi c) 5N yük ile %10 takviye edilmiş A numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiğı.	75
5.33:	5N yüküle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağılı grafiğı.	76
5.34:	2N yük uygulanan a) A2.5 b) A5 c) B2.5 d) B5 e) B10 f) C(referans numune).	77
5.35:	5N yük uygulanan g) A2.5 h) A5 ı) B2.5 i) B5 j) B10.	78
5.36:	A numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri.	79
5.37:	A numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.	79
5.38:	B numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri.	80
5.39:	B numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.	81
5.40:	A) 2N yük A2.5 b) 5n yük A2.5 c) 2N yük A5 d) 5n yük A5 e) 2N yük B2.5 f) 5n yük B2.5 g) 2N yük B5 h) 5N yük B5 ı) 2N yük B10 i) 5N yük B10 j) 2N c referans numune A356 alaşıımı (takviyesiz).	83
5.41:	A) A2.5 5N yük b) B2.5 5N yük.	84
5.42:	A) 2N A2.5 b) 5N A2.5.	85
5.43:	A) 5N yük uygulanmış B2.5 b) 5N yük uygulanmış B5 c) 5N yük uygulanmış B10.	85
5.44:	D2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	87
5.45:	D5 numunesin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	88
5.46:	E2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	88
5.47:	E5 numunesin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.	88
5.48:	Makro düzeyde incelenen SiC takviye edilen numuneler.	89
5.49:	A) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) E5 takviye matris arayüzeyinin SE modlarındaki sem görüntüsü.	90
5.50:	D2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	91
5.51:	D5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	92
5.52:	E2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	93
5.53:	E5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.	94
5.54:	Referans numune ve SiC ile takviye edilen numuneler.	95

5.55: Farklı takviye oranlarındaki D numunesi ve referans numunenin sertlik değerleri.	96
5.56: Farklı takviye oranlarındaki E numunesi ve referans numunenin sertlik değerleri.	97
5.57: Referans numune ve E2,5 ve E5 numunelerinin çekme dayanım değerleri.	98
5.58: D numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.	99
5.59: E numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.	100
5.60: 2N yükte D numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	101
5.61: 2N yükte E numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	101
5.62: 5N yükte D numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	102
5.63: 5N yükte E numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.	102
5.64: A) Referans numune b) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş D numunesi c) 2N yük ile %5 takviye edilmiş D numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	103
5.65: 2N yükte sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	104
5.66: A) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş D numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş D numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	105
5.67: 5N yükte sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	105
5.68: A) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş E numunesi b) 2,5N yük ile %5 takviye edilmiş E numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	106
5.69: 2N yükte sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	107

5.70:	A) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş E numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş e numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.	108
5.71:	5N yükü sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.	108
5.72:	2N yük uygulanmış a) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) E5 e) referans numune.	109
5.73:	5N yük uygulanmış a) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) e5.	110
5.74:	D numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri.	111
5.75:	D numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.	111
5.76:	E numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri.	112
5.77:	E numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.	112
5.78:	A) 2N yük D2.5 b) 5N yük D2.5 c) 2N yük D5 d) 5N yük D5 e) 2N yük E2.5 f) 5N yük E2.5 g) 2N yük E5 h) 5N yük E5 ı) 2N referans numune A356 alaşımı (takviyesiz).	114
5.79:	5N yükte a) D2,5 b) E2,5.	115

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No:	Sayfa
2.1: SiC özellikleri.	10
2.2: Alüminyumun fiziksel özellikleri.	12
2.3: Üretilen numunelerin sertlik değerleri.	20
4.1: A356 alüminyum alaşımının kimyasal bileşim.	40
4.2: Dökme demir talaşının kimyasal kompozisyonu.	41
4.3: SiC toz özelliği.	41
5.1: Dökme demir talaşlı numunelerin isimleri.	48
5.2: A2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.	53
5.3: A5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.	55
5.4: B2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.	57
5.5: B5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.	58
5.6: B10 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.	59
5.7: Dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerin HV sertlik değeri ve Image analyzer programı ile ölçülen dökme demir talaşının yüzey alan oranı.	63
5.8: SiC numunelerinin isimlendirilmesi.	87
5.9: D2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.	91
5.10: D5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.	92
5.11: E2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.	93
5.12: E5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları	94
5.13: SiC ile takviye edilen numunelerin HV sertlik değeri ve Image analyzer programı ile ölçülen SiC yüzey alan oranı.	98

1. GİRİŞ

İletişim, havacılık, otomotiv, uzay endüstrisi ekolojik gereksinimler ve bununla birlikte istenen üstün mekanik özelliklerin monolitik malzemelerin bu istekleri karşılamamasından dolayı son yıllarda metal matrisli kompozitlere gün geçtikçe ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Metal Matris Kompozitlere (MMK) tercih edilmesinde ki sebep üstün mekanik özellikleri ve geliştirilmiş yüksek sıcaklık yetenekleridir. MMK'ler son 15-20 yılda kullanımları daha yaygın hale gelmiştir. MMK'lar en az bir metal matris içerisine sürekli-sürekli fiber, partikül ya da whiskerler olarak takviyelendirilirler. MMK'ların içinde en yaygın kullanılan matris ise alüminyumdur.

Alüminyum ve alaşımlarının aşınma ve mekanik özellikler olarak tek başına kullanımı yeterli olmadığı için alüminyum matrisli kompozitlere (AMK) ihtiyaç duyulmuştur. Alüminyum matrisine SiC, Al₂O₃, TiC gibi takviye elemanları ile aşınma ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş bir malzeme oluşturarak amaçlanmıştır. AMK'lar ile hafifliği, yüksek mukavemeti, yüksek özgül modülü, düşük termal genleşme katsayısı ve iyi aşınma direnci özellikleri nedeniyle bir grup yeni gelişmiş malzeme olarak kabul edilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerde genel olarak SiC takviyesi yaygın olarak kullanılmış aşınma, sertlik değerlerinde iyileşmeler görülmüştür. Yeni bir takviye malzemenin varlığı literatüre yeni bir katkı malzemesi kazandırmak için geri dönüşümü gerçekleştirilen ve SiC özelliklerine yakın olan dökme demir talaşı takviyesi hem geri dönüşümü sağlanacak hem de diğer seramik partikül takviyelerine göre çok daha ekonomik olmasından ötürü takviye olarak kullanılabileceğinin sonuçları gösterilmek istenmiş ve yeni bir katkı malzemesi olarak kullanımının mümkün hale getirmek istenmiştir.

Alüminyumun geleneksel döküm yöntemleri kullanılarak üretilidiğinde yüzey geriliminin oluştuğu için dışarıdan bir kuvvet uygulanarak yapılan sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmesi ile oluşan yüzey gerilim probleminin önüne geçilir. [Kabil vd., 2020]

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

MMK malzemeler, yüksek sertlik, yüksek elastiklik modülü, yüksek aşınma, kırılma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek mukavemeti gibi pek çok özelliklere sahip olduğundan dikkat çeken malzeme gruplarıdır. Yeni nesil malzemelerde istenilen özellik mukavemet ve hafifliktir. Günümüz teknolojisinde alüminyum ve alaşımları hafif metal olması sebebiyle yaygın olarak kullanılır. Alüminyumun yetersiz kalan aşınma özelliklerinin iyileştirilmesinde kompozit malzeme ya da yüzey modifikasyonuna ihtiyaç duyulur.

Bu tezde matris olarak A356 alaşımı, takviye ise tane boyutu büyük ve küçük olacak şekilde SiC ve dökme demir talaşı seçilmiş, %2.5, %5, %10 takviye oranlarında katkılandırılarak üretim yöntemi sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmesi ile alüminyumun yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Üretilen numuneler ile optik mikroskop, SEM, EDS, XRD, çekme, sertlik ve aşınma sonuçları incelenerek sonuçlar ortaya konacaktır. Takviyelerin matriste homojen olarak dağılması performansa etki edecektir.

Çalışmanın başarılı olması durumundan literatüre yeni nesil bir katkı malzemesi kazandırılmış olup, aşırı sürtünmeye maruz kalan sektörlerde kullanılabilir alternatif malzeme üretimi amaçlanmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

İki ya da daha fazla parçadan oluşan malzeme anlamına gelen kompozit malzemeler; tek başına kullanıldığında elde edilemeyen malzeme özelliklerini makro düzeyde bir araya gelerek yeni özelliklere sahip bir malzeme oluştururlar ancak bileşenler kompozit içerisinde özelliklerini korurlar [Agarwal et al., 2017]. Kompozit malzemeler genel olarak bir matris (ana bileşen), takviye elemanı ve ara yüzeyden oluşur. Amaç tek bir malzeme ile elde edilemeyen özellikler fiziksel ve mekanik özelliklerin geliştirilmesidir [Rosato, 1997]. Kompozit malzemeler matris fazına göre seramik, polimer, metal matrisli kompozitler ve takviye türlerine göre partikül, sürekli, whisker/kısa fiber takviyeli kompozit malzemeler olmak üzere 3 grupta ele alınır.

Polimer Matrisli Kompozitler:

Sürekli fiber takviyeli olarak yaygın olarak kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılır. Bu kompozitlerin sürekli fiberlerle takviye edilmiş polyester ve epoksi reçine matrisli olanları en önemlileridir.

Metal Matrisli Kompozitler:

Bu malzemeler matris olarak alüminyum gibi bir metal kullanır ve bunu silisyum karbür gibi lifler, partiküller veya whisker ile takviyeler ile güçlendirirler. Havacılık ve otomotiv endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Seramik Matrisli Kompozitler:

Çok yüksek sıcaklık ortamlarında kullanılmaktadır. Bu malzemeler matris olarak bir seramik kullanır ve onu kısa whiskerler veya silisyum karbür ve bor nitrürden yapılanlar gibi whiskerle güçlendirir [Yılmaz H. S., 2004].

- Demir ve demir dışı malzemelerden hatta alaşımlardan daha yüksek mukavemete sahip olma,
- Genellikle düşük özgül ağırlık,
- Yüksek rijitliklere sahiptirler,
- Korozyon ve oksidasyon özellikleri iyi olan malzemelerin özelliklerini aynı anda gerçekleştirmek için kompozit malzemelere başvurulur. Uygun matrisi ve takviye fazı ile bu özelliklerin kazanılması mümkün olmaktadır.

Kompozit malzemeler, havacılık ve savunma sanayisinde, deniz taşımacılığında, uzay programlarında, enerji sektöründe, alt yapı ürünlerinde, sportif ürünlerde, ev ürünlerinde, tank ve basınçlı kapların üretimden çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [Kaya, 2015].

2.1. Metal Matris Kompozitlerin Genel Özellikleri

Metal Matrisli Kompozitler (MMK) 1980 yılından itibaren havacılık ve otomobil endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [Wang et al., 2020]. MMK'lardan istenen özellikleri sağlamak için metal matrise metal ya da seramik, partikül, fiber takviyeleri ile elde edilen kompozit malzemelerdir [Güler, 2012]. Yüksek mukavemet, oksidasyon ve korozyon dirençlerinin iyi olması nedeniyle alüminyum ve titanyum alaşımlarına alternatif kompozit malzemelerdir [Wang, Tian, Lian and Li, 2020]. Metal Matris Kompozit malzemeler tasarlanırken matrisin şekillendirilebilmesi, yüksek sünekliği ile takviyelerin rijitliği ve yük taşıma kapasiteleri ya da matrisin yüksek ısı iletkenliği takviyenin de düşük ısı genleşme özelliklerinin birleştirilmesi amaçlanmaktadır [Clyne T. W., 2004].

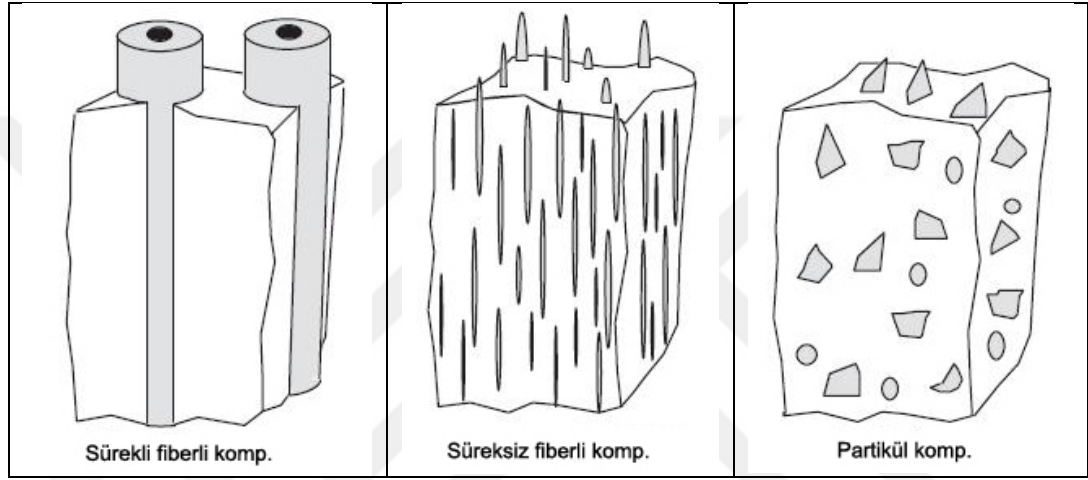
MMK'ların ortaya çıkan özellikleri, matrisin takviyeyi destekleme ve uygulanan yükü bunlara aktarma kabiliyetine ve takviyenin çok yüksek yükleri taşıyabilme kapasitesine bağlıdır. Ara yüzün kontrolü ve farklı bileşenlerin seçimi de önemli olmasına rağmen, takviye ve matrislerin özelliklerinin iyileştirilmesi ana faktördür [Giroto, et al., 2003].

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesinin seçimi özellikle takviyenin sürekli mi yoksa süreksiz mi olacağı ve hafif malzemeler olarak seçilmesi öncelik olmakla birlikte:

- Düşük yoğunluk özelliğinden dolayı, Alüminyum ve Magnezyum,
- Yüksek sıcaklık uygulamaları için, Nikel, Titanyum veya Krom,
- Elektrik iletkenliği için, Bakır ve Alüminyum
- Düşük sürtünme katsayısı önemli olduğunda bakır ve çinko aynı zamanda piller için lityum ve kurşun matris malzemeleri olarak seçilebilir [Selvam and Rai, 2020].

Metal Matris Kompozitler matris malzemesinin içinde Şekil 2.1 'de [Giroto, et al., 2003] verildiği gibi sürekli fiber, kısa süreksiz fiber ya da partikül takviye fazlarını

içerirler. Takviyeler seramik partiküller olmakla birlikte bunların yerine refrakter metaller, intermetalikler, yarı iletkenler kullanılmaktadır [Clyne T. W., 2004]. MMK'lar için kullanılan takviyeler düşük yoğunluk ve yüksek sertliğe sahip oldukları için seramikler tercih edilirler. Genel olarak kullanılan takviye malzemeleri SiC, Al₂O₃, TiC, TiB₂, B₄C, karbondur. Takviyelerin boyutu ve teması, matris içindeki dağılım miktarı, yüzey özellikleri MMK üretimi sırasında takviyeler mekanik özellikleri belirler. Takviye malzemesi, matris alaşımına daha fazla sertlik ve mukavemet verecek şekilde tasarlanması amaçlanır [Chawla and Shen, 2001].



Şekil 2.1: Metal matrisli kompozitlerde takviyeler.

Metal matrisli kompozitlerin metallere göre avantajları ise;

- Monolitik malzemelere göre yüksek mukavemet,
- Yüksek sertlik değeri
- Yüksek elastik modül/ağırlık oranı
- Mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda bile koruyabilme
- Korozyon, sürünme ve aşınma dirençlerinin yüksek olması MMK başlıca avantajları olarak bilinmektedir.

Metal matrisli kompozitlerin dezavantajları ise;

- Üretim yöntemlerinin döküm yönteminin dışında karmaşık ve yüksek maliyetli olması,
- Üreticilerin deneyimsiz olmaları MMK'ların dezavantajlarıdır [Aran, 2006].

2.1.1. Metal Matris Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemelerinin Özellikleri

Matris Malzemeleri alüminyum, magnezyum, bakır, titanyum, nikel gibi metaller ve alaşımlar kullanılır. Takviye kompozitin mukavemetini sağlar. Matris ve takviyeler arasında bir ara yüz bağı oluşur. Matris malzemeleri kompozit yapının kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini belirleyici bir rol oynamaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde genelde alüminyum ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları, titanyum ve alaşımları başlıca matris malzemesidir ve özellikleri şu şekildedir.

Alüminyum ve Alaşımları:

Alüminyum dünyada en kolay bulunabilen ve üçüncü en popüler metaldir. Yoğunluğu 2,70 g/cm³dür. Saf alüminyum yumuşak, sünek, korozyona dayanıklı ve elektriksel olarak iletkendir. Bununla birlikte diğer bileşenlerle alaşım oluşturmak alüminyumu daha güçlü olmasını sağlar. Aynı zamanda alüminyum kolayca şekillendirebilir bir metal olmakla birlikte, çeliğe göre üstün mukavemet/ağırlık oranına sahip en yumuşak metallerden biridir. Alüminyumunla alaşımlanabilen elementler bakır, magnezyum, silisyum, manganez, nikel ve çinkodur. Dökümlerin üretiminde kullanılması amaçlanan alüminyum alaşımları, genellikle farklı boyutlarda külçeler halinde veya yeniden eritmeye uygun başka şekillerde mevcuttur. Bu tür döküm malzemelerin uygulamaları, parçaların dökümü ve katılaşması öncesinde sıvı metaldeki parçacıkları süspanse etmek için karıştırılarak DRA (kesintili olarak güçlendirilmiş) döküm bileşenlerinin üretimini içermektedir. Hem dövme hem de döküm alaşımları şemaları belirlenmiştir, bunlar başlıca alaşım ilavelerine dayanmaktadır. Dövülmüş alaşımlar dört basamakla gösterilirken, döküm bileşimler üç basamakla gösterilir.

- 1XXX serisi (Al) ticari olarak saf alüminyumdur;
- 2XXX serisi (Al – Cu), öncelikli olarak havacılık sektöründe kullanılan yüksek mukavemetli malzemelerdir;
- 3XXX serisi (Al – Mn) esas olarak konserve endüstrisinde kullanılır;
- 4XXX serisi (Al – Si) öncelikle kaynak çubuklarında ve sert lehim levhalarında kullanılır.

- 5XXX serisi (Al – Mg) yapısal ve mimari amaçlar için korumasız olarak kullanılır;
- 6XXX serisi (Al – Mg – Si), otomobil sektöründe kullanılan en popüler ekstrüzyon alaşımlarıdır;
- 7XXX serisi (Al – Zn – Cu), öncelikle havacılık sektöründe kullanılan yüksek mukavemetli malzemelerdir [Kaufman, 2000].

Alüminyum dövme alaşımları 4 basamaklı kodlanarak gösterilir, ilk basamak esas alaşım elementi simgelerken, ikinci basamak ise esas alaşıma yapılan modifikasyonu göstermektedir. Örneklenirse 6060 serisi 6 serisi ana alaşım grubunun 60. alaşımıdır denebilir [Kıyasöz, 2018].

Magnezyum ve alaşımları;

Magnezyum demir, oksijen ve silisyum gibi yer kabuğunda ağırlıkça yaklaşık %13 kadar bol miktarda bulunmaktadır. Atom numarası 12'dir ve 1,7 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Magnezyum yumuşak, uzun ömürlü, düşük ağırlıklı, yüksek verimli, gri beyaz yumuşak bir metaldir. Magnezyum, alüminyumdan %33, çelikten %77 daha düşük yoğunluğa sahip bir metaldir. Magnezyumda ince bir oksit tabakası olduğu için korozyon dirençleri güçlüdür. Genellikle otomobil parçaları, spor ürünleri, havacılık, implant, biyo uygulamalar ve ortopedik uygulamalar için saf magnezyum ve alaşımları geliştirilmiştir. [Satish and Satish, 2017] [Bommala et al., 2019].

Nikel ve alaşımları,

Nikel bazlı alaşımlar mukavemet ve süneklik gibi olumlu özelliklerinden dolayı kimya tesisi, nükleer enerji santrali, petrol sahaları ve korozyon ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nikel FCC yapısına sahiptir. Nikel bazlı alaşımlar belirli kimyasallara karşı olağanüstü direnç sağlarlar. Nikel alaşımları, reaktif metalleri (titanyum, zirkonyum ve niyobyum) çok aşındıran bir kimyasal olan sıcak hidroflorik aside dayanabilen birkaç malzeme arasındadır. Östenitik nikel bazlı alaşımlar, daha iyi korozyon direnci, ısı iletkenlik ve mekanik özellikleri nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklere umut verici bir alternatif gibi görünmektedir. Nikel alaşımları mükemmel korozyon direncine, yüksek yoğunluğa, mükemmel manyetik ve elektronik özelliklere sahiptir [Kumar A. , 2008] [Kumar et al., 2016].

Titanyum ve alaşımları:

Titanyum ve alaşımları, otomotiv ve havacılık endüstrisi gibi çok çeşitli uygulamalar için hızla önem kazanmaktadır. Bu malzemeler hafiftir ve genellikle yüksek özgül mukavemet, mükemmel kimyasal direnç ve mükemmel biyo uyumluluk gibi özelliklerine sahiptir. Bu tür özelliklerin kombinasyonu onları yapısal, kimyasal, petrokimya, denizcilik ve biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Young modülü, aşınma direnci ve titanyum malzemelerin ısı direnci, çelik ve Ni bazlı alaşımlardan daha düşüktür. Titanyum metal matris kompozitler (TMC'ler) bu özellikleri karşılamak için bir alternatiftir. Yüksek spesifik modülleri uçak gövde ve motor endüstrilerinde kullanılmaktadır [Hayat et al., 2019].

Bakır ve alaşımları;

Bakır FCC yapısına sahip insanoğlunun keşfettiği en eski metallere biridir. Saf bakır termal ve elektriksel iletkenliğe sahip sünek metaldir ve korozyon özellikleri iyidir. Elektronik komponentler, kapasitörler, transistörler, diyotlar gibi hassas olmaları, kire ve diğer olumsuz ortamlara maruz kalmayı önlemek, ısıyı verimli bir şekilde dağıtmak için bakır bazlı kompozitler tercih edilmektedir. Bakır matrise grafit, karbon nanotüpler veya fiberler katılarak aşınma ve sürtünme özellikleri iyileştirilebilir. Otomobillerde elektronik parçaların yaygın kullanımı, araç başına kullanılan bakır miktarını artması zamanla dikkat çekici bir hale gelmiştir. Bakır alüminyumdan daha iletken malzeme iken alüminyumdan pahalı bir metaldir [Koltsova et al., 2015].

2.1.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Partikül Takviyelerin Özellikleri

Metal matrisli kompozitlerde düzenli ya da düzensiz geometriye sahip partikül takviyeler ile katkılandırılarak partikül takviyeli kompozitler elde edilir. Malzeme özellikleri ve üretim süreci göz önüne alındığında, partikül takviyeli MMK'ların kompozit yapıları büyük ölçüde takviyeye bağlıdır, örneğin: takviye boyutları, takviye şekilleri, böylece MMK'ların mekanik davranışlarını etkiler. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitler izotropik özellikte olup, aşınma ve rijitlik dayanımları iyidir. Partikül takviye olarak genellikle seramik takviyeler tercih edilmektedir [Su et al., 2014].

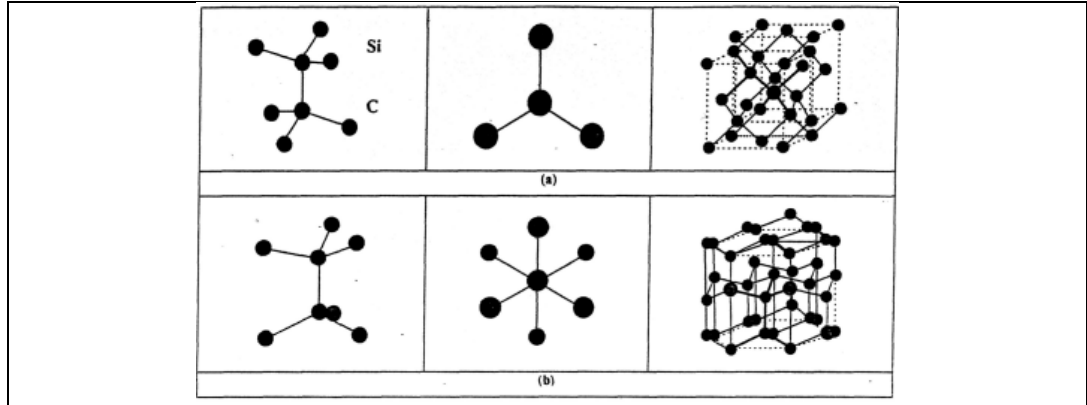
Gelişmiş seramikler, elektrikli bileşenlerde, vücuda takılan zırhlarda ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş ve üretilmiştir. Seramik

malzemeler güçlü, kırılğan, sert, kimyasal olarak inert olma eğilimindedir ve ısı ve elektriği iletken değildir. Takviye olarak seramiklerin seçilmesinin nedeni yüksek sertliğe ve nispeten düşük yoğunluğa sahip olmalarıdır. Potansiyel takviye malzemeleri Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiC, TiB_2 , grafitir. Takviye edilmiş parçacıkların morfolojisi ve boyutu, MMK'ların imalatı sırasında takviyenin mekanik özelliklerini de belirler. Takviye, matris alaşımına daha fazla sertlik ve mukavemet kazandırmak için tasarlanmıştır.

Partikül MMK'ler, yüksek mekanik özellikler sağlamak için savunma uygulamaları ile otomotiv ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir [Slipenyuk et al., 2006]. Yaygın olarak kullanılan seramik partiküllerin özellikleri şu şekildedir:

Silisyum Karbür (SiC):

Silisyum karbür, kristal kafeste güçlü bağlara sahip, karbon ve silikon atomlarının tetrahedralarından oluşur. Şekil 2.2' de belirtildiği gibi iki farklı kristal yapıya sahiptir. 1400-1800°C'de oluşan kübik yapı "p" formundayken 2000°C'de hegzagonal kristal olup "a" formundadır. Silisyum karbürün en yaygın kullanılanı ve mühendislik uygulamalarında tavsiye edileni; "3C" kübik yapılu β -SiC dır. 4H, 6H, 15R gibi diğer tipleri ise; α - SiC kristal yapıdadırlar [Ergün, 2006].



Şekil 2.2: Silisyum Karbür kafes yapısı.

Sert kovalent bağlı bir malzemedir. Bu, yüksek termal iletkenlik, düşük termal genleşme ve yüksek sıcaklıklarda agresif ortamlarda ısı şok ve korozyona karşı üstün direnç, yüksek sertlik gibi istenen özelliklere sahip güçlü bir seramiktir. SiC elastik modülünü 930°C'ye kadar bile korur ve bu da onu yüksek sıcaklıklarda çok çeşitli endüstriyel uygulamalara götürür. Bu SiC parçacıkları MMK'lara gömüldüğünde,

korozyon ve aşınma direncinin yanı sıra kompozitin genel mukavemetini kesinlikle geliştirir. Ancak düşük kırılma tokluğu, mikroyapısal kusurların varlığına karşı yüksek hassasiyet, kırılma davranış yapısal uygulamalar için birkaç yetersiz özelliği ifade eder [Lamon, 2012].

Tablo 2.1: SiC Özellikleri.

Özellik	SiC
Elastisite modülü (GPa)	410-450
Yoğunluk (g/cm ³)	3,20
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	4,3. 10 ⁻⁶
Isıl iletkenlik (w/m.K)	10-40 (1273 K'de)
Poisson oranı	0,17
Sertlik (HV)	3100
Ergime Sıcaklığı (°C)	2797

Yüksek termal iletkenlikleri, aşınma dirençlerinin yüksek olması, kimyasal işlemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların başında Havacılık endüstrisi, yüksek sıcaklıklara dayanımdan dolayı uzay endüstrisi ve türbin motorları kullanım yerlerinden başlıcalarıdır [Bates et al., 1985].

Alümina (Al₂O₃)

Metal matrisli kompozitler arasında Silisyum karbürden sonra en çok kullanılan takviye malzemesi Alümina (Al₂O₃)'dır. 2050°C ergime sıcaklığına sahiptir. Yüksek sıcaklık dayanımına sahip olmakla birlikte SiC ile karşılaştırıldığında daha kararlı ve inerttir ve daha iyi korozyon ve yüksek sıcaklık [Parvin & Rahiman, 2012]. Alümina takviyeli alüminyum alaşımlı matrisler otomotiv ve uçak sanayisi tribolojik özelliklerinin çok önemli olduğu yerlerde kullanımları giderek artmaktadır [Kok, 2004]

Titanyum Karbür (TiC)

Titanyum karbür, titanyum ve karbürün kimyasal bir bileşiğidir. Çoğunlukla yapısal uygulamalarda, havacılıkta, otomobil endüstrilerinde ve özel kesici takımlarda vb. kullanılmaktadır. Kübik kristal fazlı ve siyah renkli olup 4.93 g/cm³ yoğunluk ile

3200°C gibi çok yüksek erime noktasına sahiptir. Aşınmaya dayanıklı aletler, dilimleme aletleri, aşındırıcı çelik yataklarda kullanılır [Pandey et al., 2017].

Bor Karbür (B_4C)

Bor karbür (B_4C), düşük yoğunluğa, yüksek derecede kimyasal inertliğe, termal stabiliteye sahip yüksek performanslı bir seramik parçacıktır. B_4C seramik parçacıkları, bir elektrik ark fırınında bor oksit (B_2O_3) ve karbonun karotermal indirgeme işlemiyle üretilir.

B_4C parçacıkları, yüksek erime noktası ve sertlik, aşınmaya karşı iyi mukavemet, yüksek darbe dayanımı, mükemmel kimyasal direnç ve yüksek emme kapasitesi gibi olağanüstü fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir [Şenel ve Gürbüz, 2020].

2.2. Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Özellikleri

Kompozit malzemeler bilindiği üzere matris fazının fiziksel ve kimyasal yapısına göre sınıflandırılır. Bu bölümde matris fazı alüminyum ve alaşımları olan alüminyum matrisli kompozitler (AMK) ele alınacaktır.

Alüminyum alaşımları ve kompozitler, çoğu uygulamada diğer metallere kıyasla üstün performans sergilemiştir. Alüminyum alaşımları ve kompozitlerin seçimi, alüminyum metalin hafif metal olma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Alüminyumun iyi elektriksel ve termal iletkenliği, elektrik iletkenlerinde, elektronik paketlemede kullanımını arttırmıştır. Günümüzde alüminyum, enerji tasarrufu ve çevrenin korunması için önemli bir malzeme olarak görülmektedir.

Genel olarak, alüminyum, çoğu alaşımlarına ve / veya kompozitlerine verilen aşağıdaki özelliklerden dolayı endüstriyel ve ticari uygulamalarda önemini kazanmıştır:

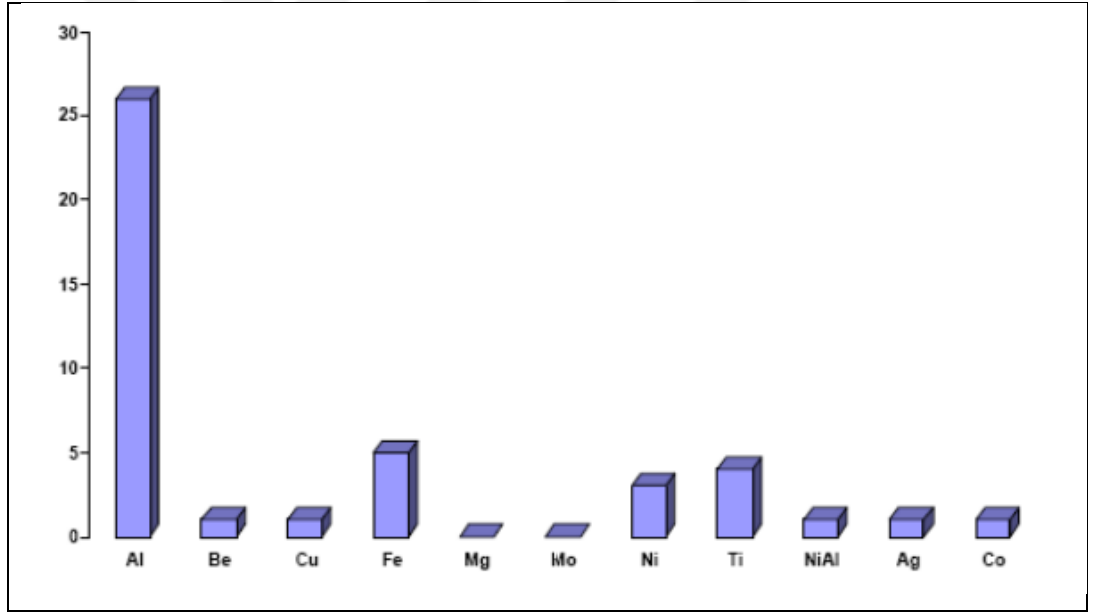
- Alüminyum hafiftir; yoğunluğu çeliğin yalnızca üçte biridir.
- Alüminyum, hava koşullarına, genel atmosferik gazlara ve çok çeşitli aşındırıcı sıvılara karşı dayanıklıdır.
- Alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine eşit olabilir (ve bazen aşabilir).

- Yüzey merkezli yapıya sahip olan alüminyum, işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik kolaylığı sergiler ve çok ince ölçülere kolayca haddelenebilir.
- Alüminyum elektrik ve ısıyı neredeyse bakır kadar iyi iletir.

Tablo 2.2: Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.

Yoğunluk	2,7 gr/cm ³
Ergime noktası	660°C
Kaynama noktası	2519°C
Isı kapasitesi	24,2 J/mol.K (25°C de)

Alüminyumun özelliği Tablo 2.2’de verilirken alüminyum alaşımlarının özellikleri bölüm 2.1.1’de verilmiştir.



Şekil 2.3 MMK Endüstrisinde tercih edilen takviyelerin göre dağılımı.

Hafif metal alaşımlı kompozit malzemeler uçak, otomotiv, savunma sanayisinde kullanımı önemli bir hale gelmiştir. Otomotiv endüstrisinde, daha hafif parçalar, daha düşük yakıt tüketimi, daha düşük emisyonlar, istenirken havacılık ve uçak endüstrisinde, daha fazla yük, daha az yakıt ve daha düşük emisyon beklenmektedir. İstenen yüksek mukavemetler ve bununla birlikte düşük yoğunluk oranı için AMK'lara talep giderek artmaktadır Şekil 2.3’de endüstride kullanımı verilmiştir.

Alüminyum ve alaşımları ile kıyaslanacak olursa AMK' ların avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Sertlik
- Mukavemet
- Yüksek sıcaklık davranışları
- Aşınma ve özellikleri
- Islatabilirlik gibi özellikleri daha iyidir.

AMK'ler 3 tip takviye çeşidi ile sınıflandırılabilir:

- Partikül Takviyeli (PAMK),
- Whisker ya da kısa lif takveyeli (WAMK)
- Sürekli fiber takviyeli (SAMK) olmak üzere ayrılırlar.

Partikül Takviyeli AMK (PAMK)

Bu kompozitler genellikle en boy oranı yaklaşık 5'ten az olan eş eksenli seramik takviyeleri içerir. Seramik takviyeler genellikle oksitler, karbürler ve boridlerdir (Al_2O_3 , SiC veya TiB_2) yapısal ve aşınma direnci uygulamaları için kullanıldığında hacim oranı %30'dan az bulunur. Ancak elektronik ambalaj uygulamalarında takviye hacim oranı %70 kadar yüksek olabilir. Genel olarak, PAMK'ler katı hal (Toz Metalurjisi) veya sıvı hal (karıştırarak döküm, infiltrasyon ve yerinde) işlemleriyle üretilir. PAMK'ler, SFAMK'lere kıyasla daha ucuzdur. PAMK'lerin mekanik özellikleri, whisker/ kısa elyaf / sürekli elyaf takviyeli AMK'lara kıyasla daha düşük, ancak takviye edilmemiş alüminyum ve alaşımlarına kıyasla çok daha üstündür. Bu kompozitler doğası gereği izotropiktir ve ekstrüzyon, haddeleme dahil olmak üzere çeşitli ikincil şekillendirme işlemlerine tabi tutulabilir.

Whisker ya da kısa lif takveyeli AMK (WAMK)

Kısa alümina fiber takviyeli alüminyum matris kompozitler, pistonlarda geliştirilen ve kullanılan ilk ve en popüler AMK'lardan biridir. Bunlar, sıkıştırılmalı infiltrasyon işlemi ile üretilmiştir. Whisker takviyeli kompozitler, toz metalurjisi veya infiltrasyon yöntemi ile üretilebilir. Whisker takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri, partikül veya kısa elyaf takviyeli kompozitlere göre üstündür.

Sürekli fiber takviyeli AMK (SAMK)

Burada takviyeler, 20 µm'den. küçük çapa sahip sürekli fiberler (Alümina, SiC veya karbon) şeklindedir. %40'a varan lif hacim fraksiyonuna sahip AMK'ler sıkıştırılmalı infiltrasyon tekniği ile üretilmektedir.

Yıllar içinde, AMKler farklı mühendislik uygulamalarında denenmiş ve kullanılmıştır. AMK'lerin bu sektörlerde kullanılmasının temel nedeni performans, ekonomik ve çevresel faydalarının olmasıdır [Surappa , 2003].

2.2.1. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışları

Malzemenin katı yüzeyden kademeli olarak malzeme kaybı ya da malzemenin yer değiştirmesi aşınma olarak adlandırılabilir. Aşınma, temas eden iki yüzey arasındaki sürtünme hareketinden kaynaklanan sürekli bir malzeme kaybıdır. Aşınan ve aşındıran yüzeyler aşınma mekanizmasını oluşturur. Aşınma malzemenin bulunduğu duruma karşı tepkisi olarak düşünülmelidir. Aşınma birçok fiziksel, mekanik veya kimyasal olgudan kaynaklanıyor olabilir. Adhezyon, abrasyon, korozyon, oksidasyon, aşınma, yorulma ve erozyon, malzemenin kaldırılmasına yol açan farklı aşınma türleridir. Aşınmanın etkisini tamamen ortadan kaldırmak zordur, ancak sürtünmeyi ve aşınmayı yağlama yoluyla, pürüzsüz yüzey oluşturarak, her birine sürtünen bileşenlerin malzemesini değiştirerek azaltabiliriz.

Aşınmayı etkileyen faktörler ise ana malzemeye bağlı faktörler ve karşıt malzemeye (aşındırıcı) bağlı faktörler olmak üzere iki grupta toplanabilir [Işık, 2014].

Ana malzemeye bağlı faktörler:

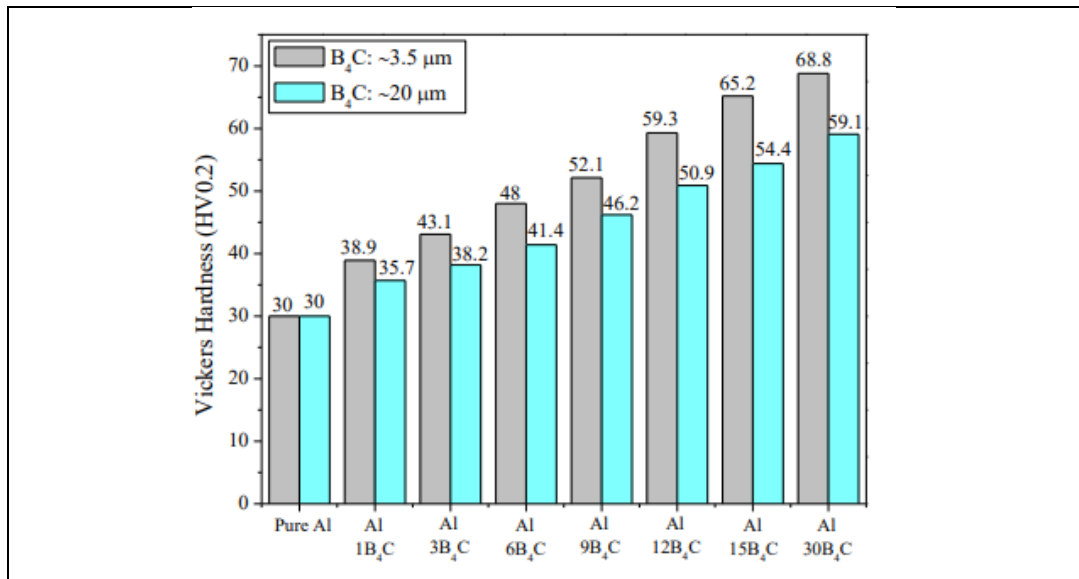
- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin mekanik özellikleri
- Malzemenin yüzey durumu
- Deformasyon özellikleri

Karşıt malzemeye bağlı olan faktörler:

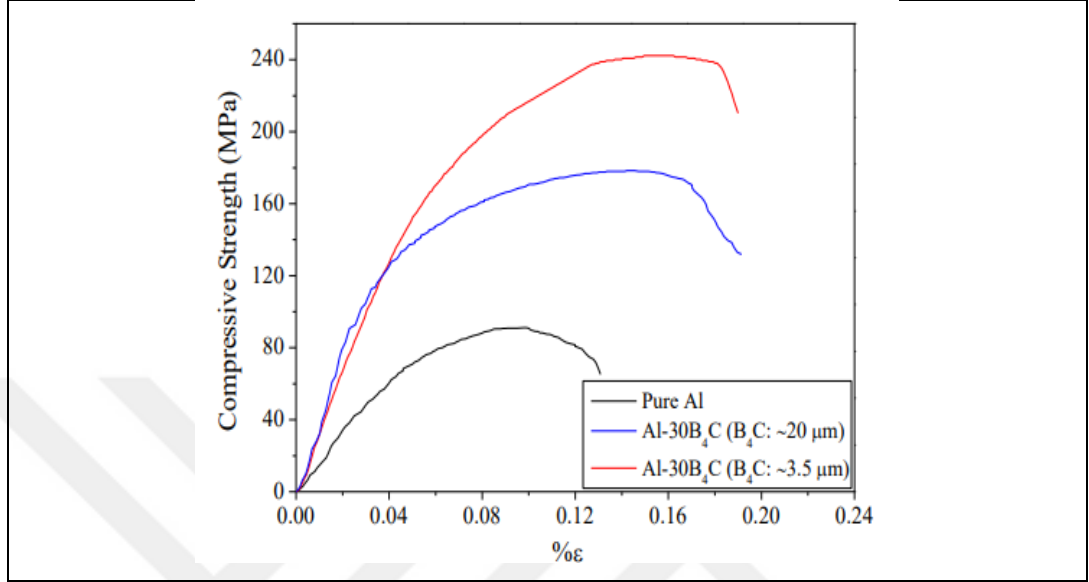
- Ortam etkisi
- Servis koşulları

Alüminyum alaşımları demir esaslı malzemelere göre daha az mukavemet ve aşınma dayanımlarının düşük olmasından kaynaklı özellikle otomotiv sektöründe istenen özellikleri karşılayamadığından dolayı yerine partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler kullanılmaktadır. Partikül takviyesi ile iyi aşınma direnci ve yüksek sertlik özelliklerine sahip olurlar [Dev and Charoo, 2018]. Alüminyum matrislere SiC ve Al_2O_3 partiküller eklenerek uçak ve otomotiv sektöründe kullanımları giderek artmaktadır. Bu takviyelerle olan çalışmalar farklı üretim yöntemleri ile aşınma ve mekanik özelliklere etkisi üzerinde çalışmaların üzerine olmaktadır. Tez çalışmamda tane boyutunun, takviye oranının, uygulanan yükün aşınmaya olan etkisi ele alınmış olup incelenen çalışmalarda tane boyutunun ve hacim oranının etkisi dikkate alınmıştır.

Malzemelerde sertliğin artması ile birlikte mekanik özellikler ve aşınma dirençleri de artmaktadır. Bu matrise ilave edilen takviye elemanın matristen daha sert olması ile açıklanabilir. Takviye hacim oranı arttıkça kompozitin sertliği de artar. Literatürde partiküllerin takviyelerin mikro yapı ve sertliğe etkisi üzerine çalışmalar mevcuttur. Al- B_4C toz metalürjisi yöntemi ile %1, %3, %6, %9, %12, %15, 530 takviye oranları kullanılarak Vickers sertliği ve basma dayanımları, mikro yapı özellikleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Sonuçlar incelenmiş ve 3,5 μm partikül boyutu ve %30 B_4C takviye oranına sahip kompozit malzemenin Vickers (68.8 HV) sertliği Şekil 2.4’de ve 242 MPa Basma dayanımına sahip en iyi sonucu tespit edilmiş ve Şekil 2.5’de gösterilmiştir [Şenel ve Gürbüz, 2020].

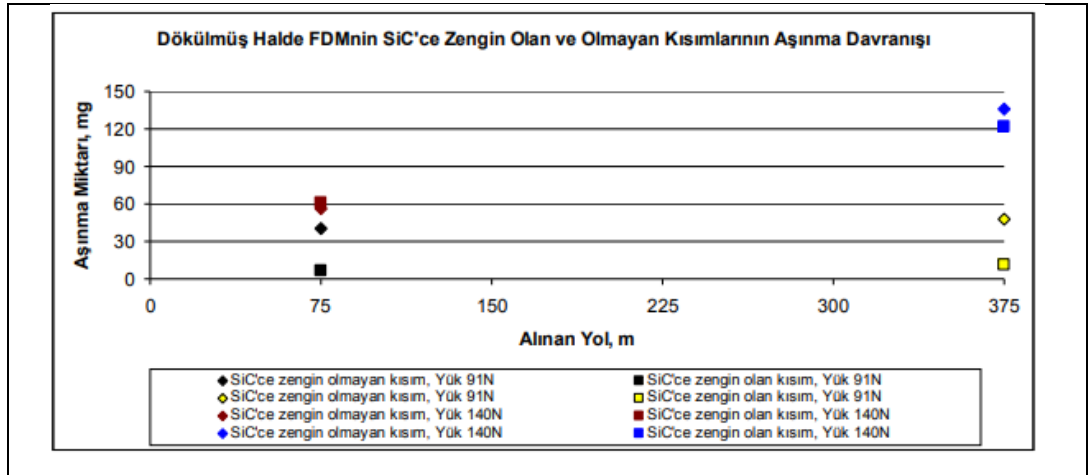


Şekil 2.4: Farklı boyutlarda B₄C partikül için saf Al ve Al-B₄C kompozitlerinin Vickers sertlik varyasyonu.



Şekil 2.5: Farklı boyutlarda B₄C parçacıkları için Saf Al ve Al-B₄C kompozitlerinin mukavemet değişimi.

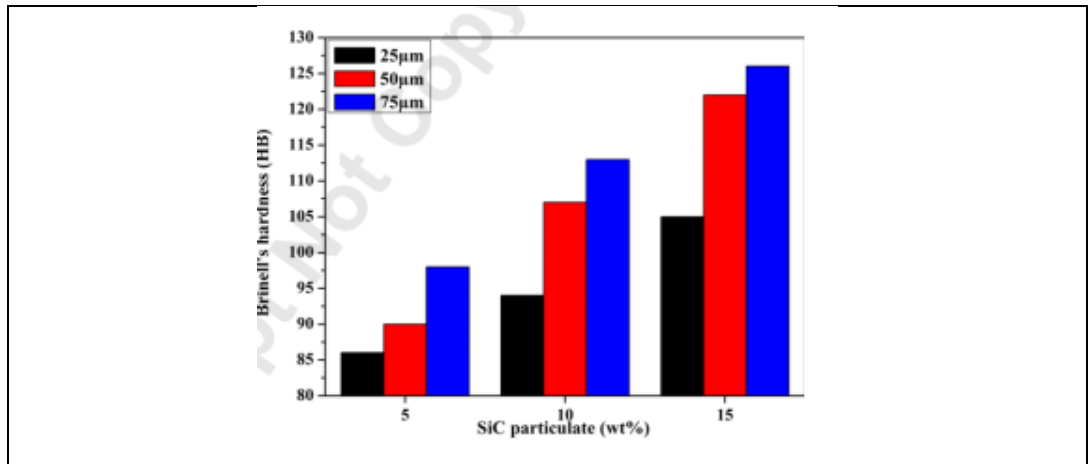
Metal matrisli kompozitler yaşlandırma, ısıtma işlem etkisi ile de aşınma davranışı değişebilir. Alüminyum 2014 alaşımı (AlCu₄SiMg) %15 oranında SiC ilave olarak farklı çözeltiye alma ve farklı ısıtma süreleri (yaşlandırma süreleri) uygulanarak, savurma döküm yöntemi kullanılarak pin on disk aşınma deneyinde iki farklı yük (91N ve 140N) ve iki farklı kayma mesafesi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. 2014 alaşımı 700°C’de ergitilmiş, ağırlıkça %15 SiC boyutu ortalama 9 μm boyutundaki tozlar ilave edilerek karıştırılmıştır. 500°C’ de 3 saat çözeltiye alma, sonrasında suda soğutma, 145 °C’ de yaşlandırma işlemi 10 saat ve tekrar suda soğutma uygulanmıştır, diğer bir işlemde ise 8 saat çözeltiye alma sıcaklık 495°C’de tekrar suda soğutma işleminden sonra, 180 °C’de 3 saat yaşlandırma ve suda soğutma olarak uygulanmıştır. Aşınma deneylerinde uygulanan yüklerle birlikte aşınma miktarının arttığı gözlenmiştir. Vickers sertliğine bakılmış ısıtma işlem öncesi 74 HV olan sertlikler, yaşlandırma işlemi yapıldıktan sonra 140 HV olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada aşınma miktarı incelendiğinde ise çözeltiye alma süresi 500°C’de 3 saat çözeltiye alma ve yaşlandırma süresi 10 saat olan numunelerin aşınma miktarlarının daha düşük olduğu elde edilmiş ve Şekil 2.6’da verilmiştir [Topçu vd., 2010].



Şekil 2.6: Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin aşınma davranışı.

Alüminyum metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri takviye hacim oranı ve takviye boyutlarıdır. Partikül boyutunun aşınma üzerine etkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

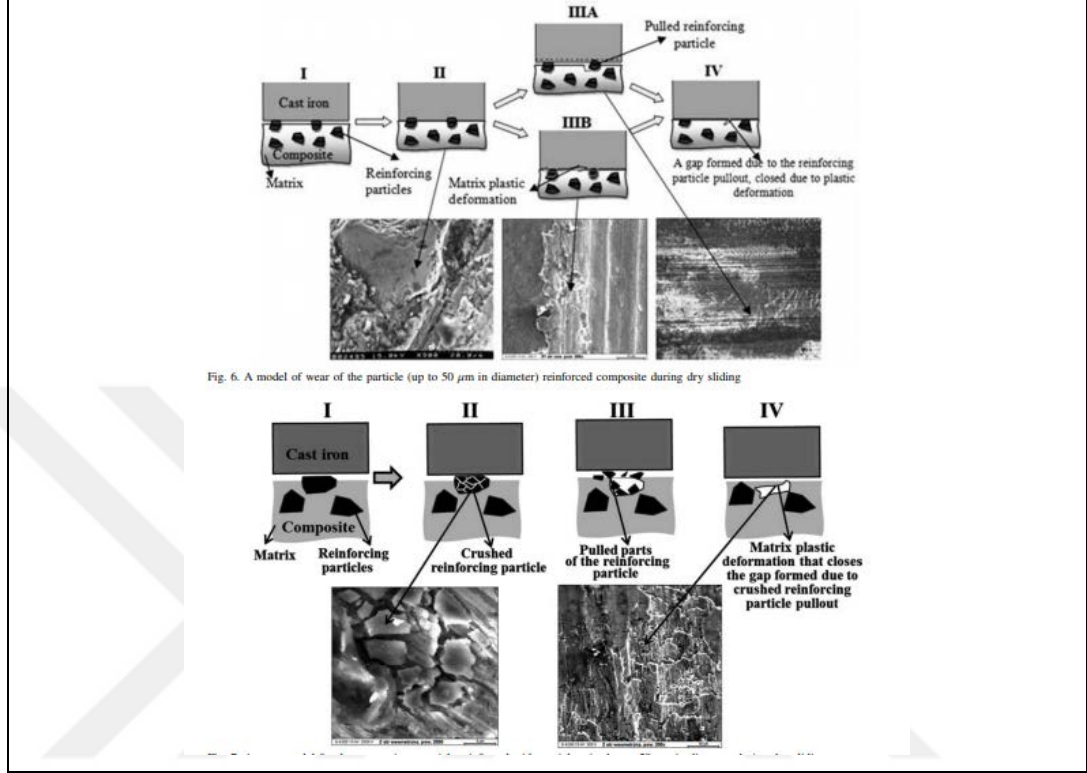
Matris Al7075 seçilmiş, takviye boyutu 25, 50 ve 75 μm ve %5, %10, %15 hacim oranlarında SiC takviye karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. SiC'ün mekanik özelliklere etkisi ve aşınma direncine etkisi üzerine çalışılmıştır. Aşınma direncinin tane boyutu en büyük olan 75 μm SiC takviyesinin olduğu belirlenmiş ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir [Rao T. B., 2018].



Şekil 2.7: SiC parçacık içeriği ve boyutunun sertliğe etkisi.

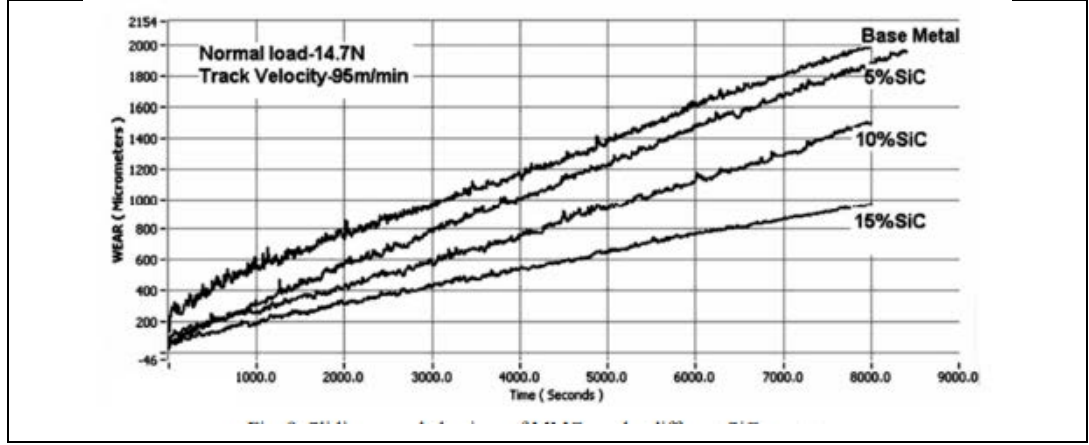
Bir başka çalışmada ise AlCu₂SiMn matris 25, 50 μm SiC üretim yöntemi ise metal dövme yöntemi seçilmiştir. Araştırma sonuçları, seramik takviyenin boyutuna

bakılmaksızın seramik partiküllerinin eklenmesinin, bir sistemin tribolojik özelliklerini geliştirir. Takviye boyutunun büyümesi ile aşınma direncinin artışı ancak aşınma davranışlarının farklı etkilendiği Şekil 2.8’de gözlenmiştir [Wieczorek, 2015].



Şekil 2.8: Farklı takviye boyutuna göre aşınma davranışları.

LM25 (Si – %7.2), alüminyum matrisine vortex yöntemiyle SiC hacim oranı %0, %5, %10, %15, eklenmiştir ve aşınma dirençleri incelenmiştir. 14,7N aşınma yükü uygulanmıştır. Aşınma direncinin artması yük miktarının artması ile artarken normal yükte en iyi aşınma direncini %15 SiC ilavesi göstermiştir. SiC içeriğinin artması ile sertlikle birlikte artan normal yük ve kayma hızı aşınmanın büyüklüğünü artırmıştır ve Şekil 2.9’da verilmiştir [Ramachandra and Radhakrishna, 2006].



Şekil 2.9: Farklı SiC içeriklerinde kayma aşınma davranışı.

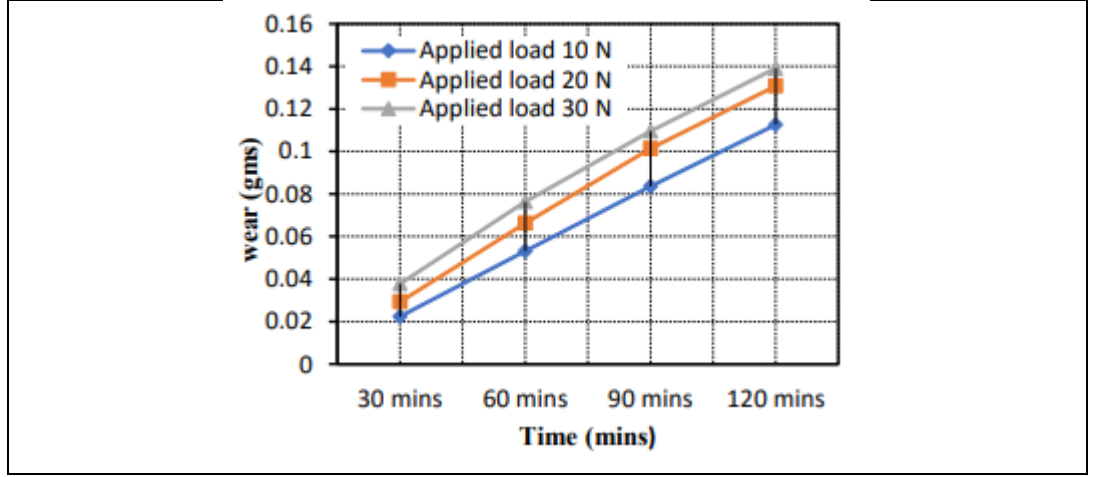
Takviye oranının artması ile genellikle sertlik değerlerini ve aşınma dayanımını artışına sebep olmuştur. Etial145 alüminyumuna %5, %10, %15 SiC vorteks yöntemi ile numuneler üretilerek çekme ve aşınma değerlerine bakılmıştır. Sertlik değerinin artan ağırlık oranı ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. %10 SiC sahip olan numunelerin en iyi aşınma dayanımı göstermiştir [Yılmaz G. , 2019]. Işık'ın yaptığı çalışmada alüminyum matrise %12 ve %21 SiC katkılı numuneler elde etmiş Tablo 2.3'de verilmiş ve aşınma sonuçlarını değerlendirdiğinde en yüksek sertlik ve aşınma direncinin artan SiC oranı ile arttığı ancak yüksek oran ve yüklerin artması ile aşınma yüzeylerinin kopmalar şeklinde olmuştur [Işık, 2014].

Tablo 2.3: Üretilen Numunelerin Sertlik Değerleri.

Malzeme	Sertlik Değerleri (HV5)
%100 Al alaşımı (Takviyesiz)	85
%4 SiC	102
%7 SiC	111
%12 SiC	117
%21 SiC	130

Alüminyum matrisli kompozitlerde aşınma hızını etkileyen faktörlerden bir diğeri yükün artması ile aşınma hızı artmaktadır. Buna göre yapılan çalışmalar ise:

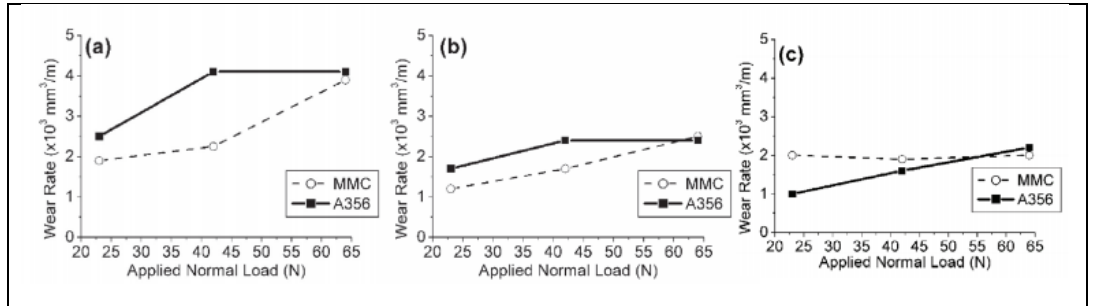
Alüminyum matris kompozite %10, 20, 30 ve 40 hacim oranlarında SiC ekleyerek toz metalürjisi yöntemiyle aşınma özellikleri incelemişlerdir. Al matris kompozitin aşınma direncinin, SiC parçacıklarıyla takviye edildiğinde Al'den daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda 122N ve 52N aşınma kuvveti uygulayarak yükün artması ile aşınma oranının artmasının doğru orantılı olduğu sonuçları elde edilmiştir [Venkataraman and Sundararajan, 1996]. Çalışmaların günümüze yakın olan tarihi ile [Idrisi and Mourad, 2017] alüminyum matris kompozite mikro ve nano boyutlarda SiC takviye ederek aşınma direnci üzerine çalışmışlardır. Çalışmada AA5083 matrise mikro olarak %5-10 nano olarak %1-2 hacim oranlarına SiC karıştırma döküm yöntemi kullanılmıştır. 10, 20, 30 N yükleri farklı sürelerde uygulanmıştır. AA5083 %2 nano SiC takviyelendirilmiş olan numune en iyi aşınma direnci gösterirken. Ağırlıkça %10 mikro SiC içeren Al-alaşımı, ağırlıkça %1 nano SiC içeren Al alaşıma kıyasla daha fazla aşınma direnci göstermiştir. Diğer yandan, ağırlıkça %1 nano SiC içeren Al alaşımı, 30 N'de ağırlıkça %10 mikro SiC içeren Al alaşımına kıyasla daha fazla aşınma direnci gösterir. Ağırlıkça %2 nano SiC kompozit, test edilen tüm bileşimler arasında en yüksek aşınma direncini göstermiştir. Sonuçlara bakıldığında aşınma oranının yük ve zamanla arttığını ortaya koymaktadır. Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: 5083 Al alaşımı için farklı yükte zamana karşı aşınma miktarı

Bir başka çalışmada ise dolgu kaynağıyla (GTAW) birleştirilmiş ve ısıtıl işlem uygulanmayan A356 (Al-7.45Si-0.44Mg) /SiC metal matrisli kompozit tellerin optik mikroskop, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) incelenmiştir. Kayma hızı 0.1'den 0.9 ms⁻¹'e ve yük 22'den 64 N'ye yükseldiğinde aşınma davranışı incelenmiştir. MMK yüzey kaplama dolgu kaynağında önemli bir aşınma mekanizması olarak gelişmiştir ve bu, aşınma oranını artırır.

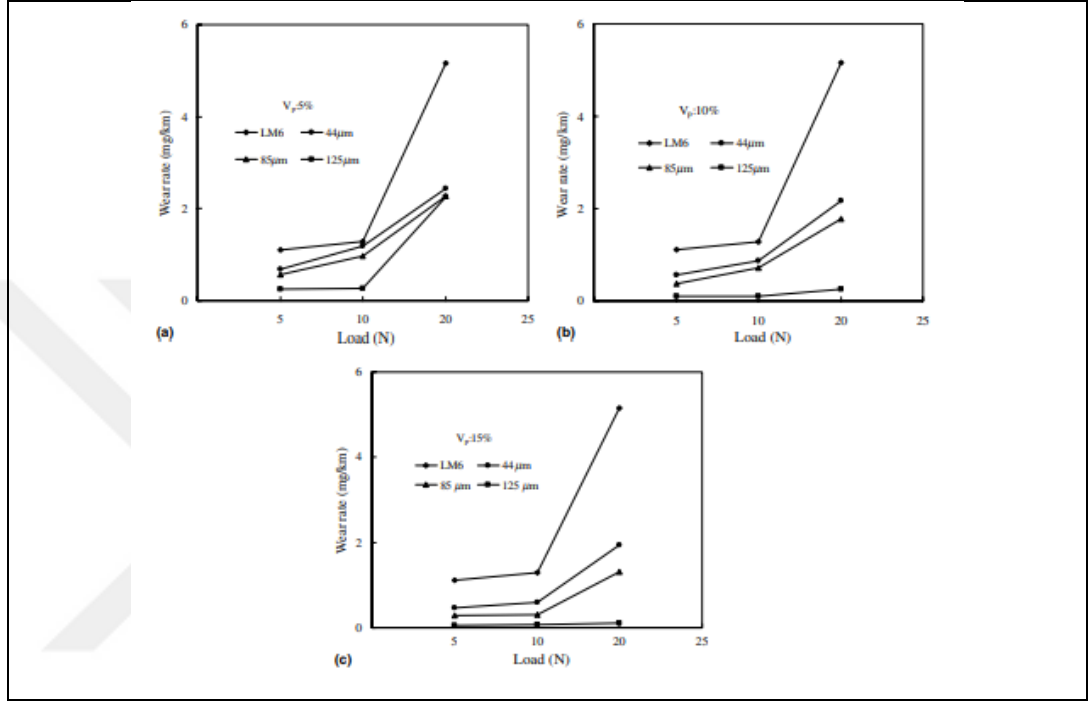
Matris-takviye edici parçacık ara yüzleri, çatlak oluşumu ve temas yüzeyine doğru çatlak yayılması için çekirdek görevi görür ve döküntü oluşumunu destekler. Çalışmada ise aşınma oranı yüksek yükler uygulandığında artmıştır, kayma hızındaki artış ise aşınma oranını düşürdüğü Şekil 2.11'de verilmiştir [Alfonso et al., 2007].



Şekil 2.11: Al-356 alaşım malzemesi için aşınma hızı ve uygulanan farklı yükler için MMK yüzey kaplama kaynak birikintisi: (a) 0,1 ms⁻¹, (b) 0,45 ms⁻¹ ve (c) 0,9 ms⁻¹.

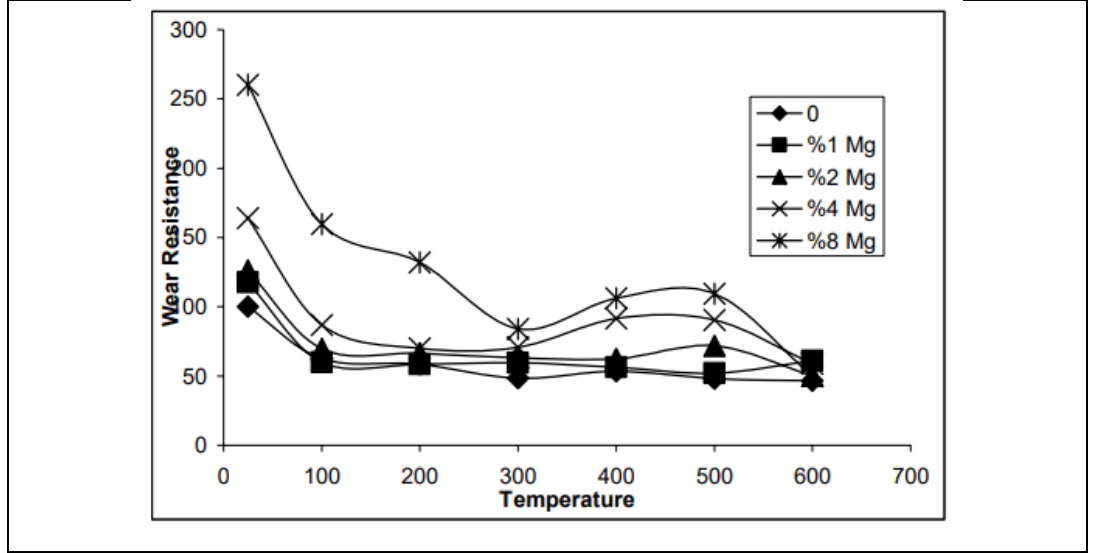
Bir diğer çalışmada ise, Alümina (Al₂O₃) takviyeli alüminyum LM6 matrisli kompozit malzemesine %5, %10, %15 oranlarında, 44, 85 ve 125 µm tane

boyutlarında die casting yöntemi ile çalışılmıştır. Alümina partiküllerinin artması ile yoğunluk değeri artmış ve partikül boyutu küçülüp oranı arttıkça sertlik değeri artmıştır. 2N, 10N, 20N yük uygulayarak aşınma miktarı belirlenmiştir. Aşınma direnci ise artan partikül oranı ile azalmıştır fakat yükün artması ile aşınma direncinin arttığı Şekil 2.12’de verilmiştir [Sevik and Kurnaz, 2006].



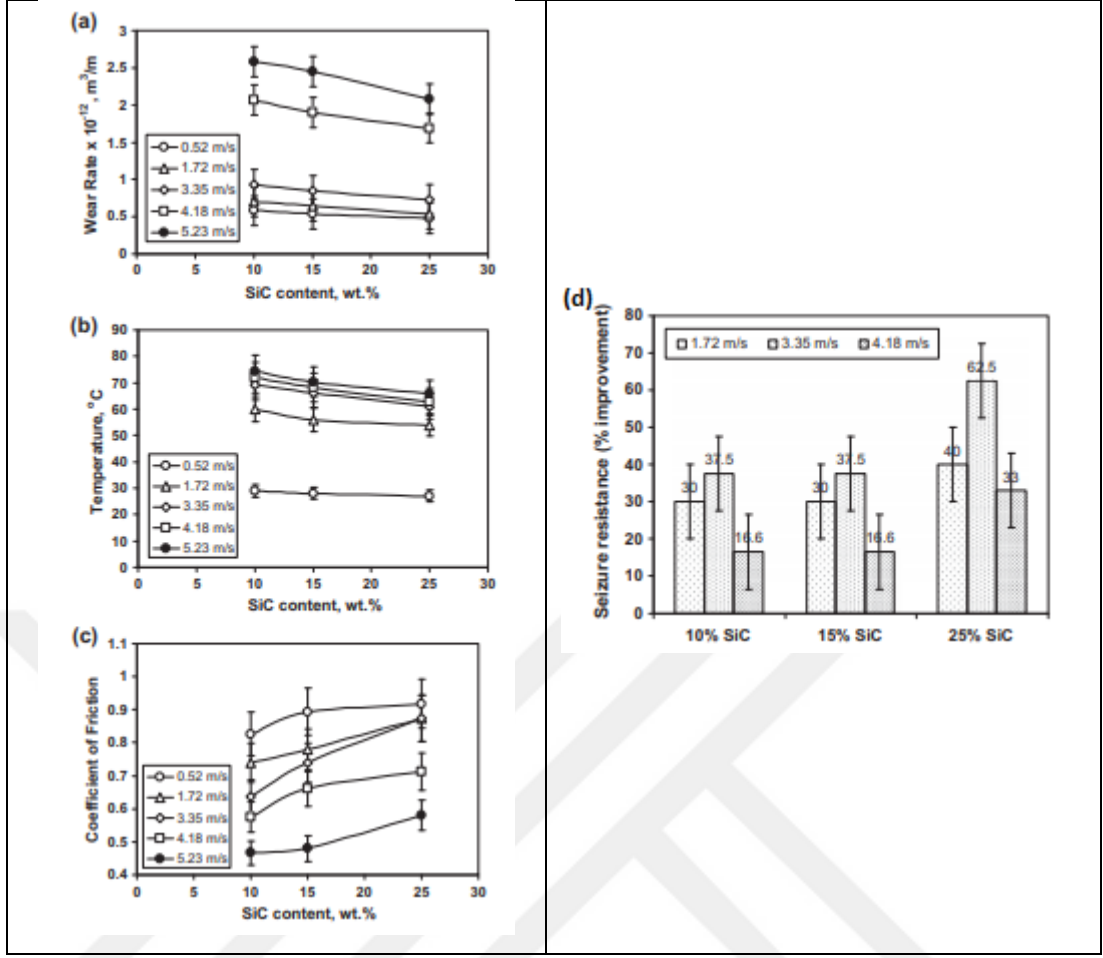
Şekil 2.12: Artan hacim oranı- farklı tane boyutunun aşınma hızına etkisi.

Sıcaklığın etkisi ile aşınma davranışının incelendiği bir diğer çalışma ise alüminyum matrise BorKarbür ilavesiyle aşınma davranışı oda sıcaklığı ve 600°C’da metal-metal ve metal-abrasif aşınma deneylerinden incelenmiştir. Metal aşındırıcının aşınma hızı artan test sıcaklığı ile 300 ve 500°C derecede aşınma direncinde artış meydana gelmiştir ve Şekil 2.13’de verilmiştir [Yürüker, 2006].



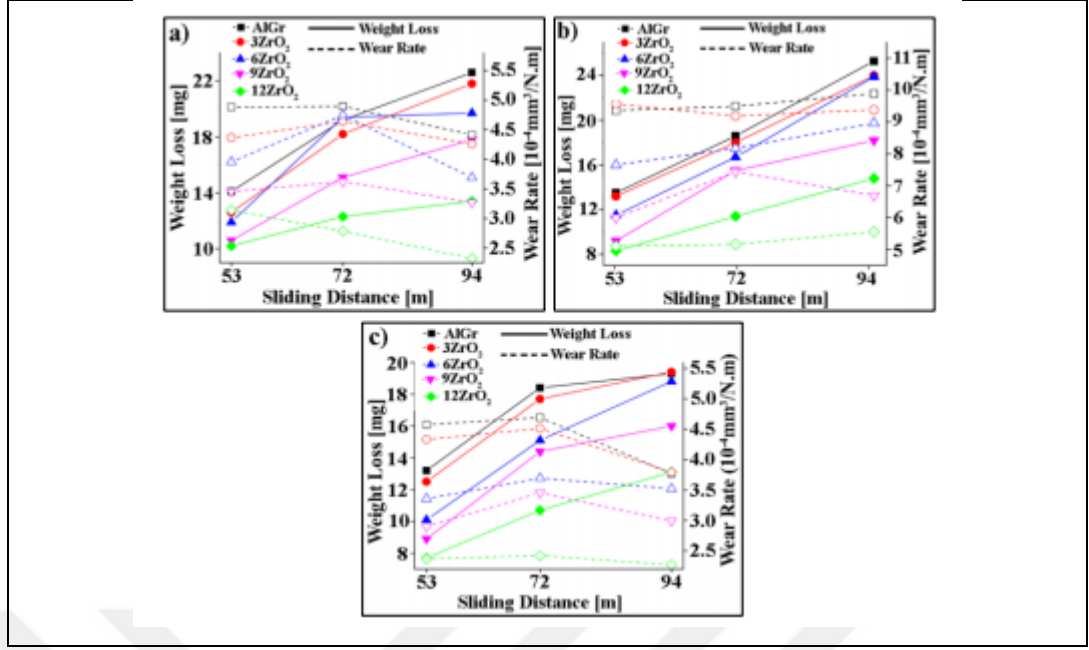
Şekil 2.13: Sıcaklığın aşınma direnci ile ilişkisi.

Alüminyum matrisli partikül takviyeli kompozitlerin sürtünme hızına bağlı olarak aşınma kaybının arttığı gözlemlenmektedir. Rao ve Das'ın çalışmaları incelendiğinde Alüminyum alaşımının SiC takviyesi ile aşınma hızının aşınma davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir [Rao and Das, 2011]. SiC ağırlıkça %10, %15, %25 olarak takviye edilmiş ve aşınma hızı 0.52, 1.72, 3.35, 4.18 ve 5,23 m/s olarak ayarlanmıştır. SiC oranının artması ile aşınma direnci alaşım göre geliştiği yani aşınma oranı, artan SiC içeriği ile doğrusal olarak azalır ve artan kayma hızı ile artar. Kayma hızı arttıkça sıcaklık artışı azalır. Sürtünme katsayısı SiC içeriği ile artar, ancak kayma hızı arttıkça azalır sonuçlarını elde etmişler ve Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14: a) Kayma hızının aşınma hızına etkisi b) sıcaklığın SiC içeriğinin kayma hızına etkisi-c) SiC oranının sürtünme katsayısına etkisi d) Takviye oranının sarma dayanımına etkisi.

Kayma hızının alüminyum matrisli kompozite aşınma davranışı etkisi üzerine yapılan diğer çalışma ise matrise ZrO_2 %3%, 6%, 9% ve %12 oranları ile soğuk basma yöntemiyle numuneler üretilmiş. Sertlik, yoğunluk, mikroyapıları ve 20N yükte 0.2 ms^{-1} , 0.4 ms^{-1} ve 0.6 ms^{-1} kayma hızında 53 m, 72 m ve 94 m kayma mesafesinde aşınma davranışları incelenmiştir. ZrO_2 miktarı arttıkça yoğunluk ve sertlik artarken aşınma testi sonuçları, matristeki takviye miktarı arttıkça ağırlık kaybının azaldığını göstermiştir. Aşınma testi sonuçlarında en düşük ağırlık kaybı ve aşınma oranı 0.6 ms^{-1} ’de elde edilmiştir. Sürtünme katsayısına ilişkin sonuçlara göre en düşük sürtünme katsayısı 0.6 ms^{-1} kayma hızında elde edilmiştir ve Şekil 2.15’de [Şimşek vd., 2020].



Şekil 2.15: Farklı miktarlarda ZrO₂ takviyeli kompozit malzemelerin ağırlık kayıpları ve aşınma oranları.

Alüminyum matrisle yapılan çalışmalarda aşınma ortamı genellikle kuru sürtünme ortamıdır. Sürtünme ortamı eğer yüksek şiddetli olursa yağlayıcıya gerek duyulmaktadır. Farklı ortamların etkisini anlamak için AA2618, AA6082, AA7012 ve AA7015 Alüminyum matrislerine %50 SiC takviyesi ile hava ve su ortamında aşınma davranışları incelenmiştir. Havada yapılan testlerde (≤ 3 N) düşük yük uygulanmıştır ve matris yüzeyinde önemli derecede farklar meydana gelmemiştir. 7012 ve 7075 alüminyum alaşımlı matris kompozitlerinin 2618 ve 6082 alüminyum alaşımlı matris kompozitlere göre üstün tribolojik performans sergilediği yüksek test yüklerinde ($\geq 4,5$ N), artan matris sertliği ile aşınma hızı ve sürtünme katsayısı azalmıştır. Havada test sırasında kayma koşulları ile karşılaştırıldığında, kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma hızı suda önemli ölçüde daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [Mindivan et al., 2008].

Genel olarak incelendiğinde alüminyum matrisli kompozitlerde aşınmanın, ortam sıcaklığı, kayma mesafesi, yük miktarı, kullanılan takviyenin oranı, ısıtım işlem parametresi, farklı oranlardaki takviyenin aşınma davranışı gibi birçok parametrenin aşınma üzerinde etkilerini çalışmalarla incelenerek ele alınmıştır.

2.2.2. Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler Uygulama Alanları

Hafif alaşımlı kompozit malzemeler, otomotiv mühendisliğinde, motor alanında yüksek bir uygulama potansiyeline sahiptir (salınımlı yapı birimleri: valf mekanizması, piston kolu, piston ve piston pimi; kapaklar: silindir kafası, krank mili ana yatağı; motor bloğu: kısmen güçlendirilmiş silindir bloklar örnekleridir) 2000’li yıllarda %14 ticari açıdan havacılık sektöründe kullanımı yer bulmuştur. Havacılık sektöründe kullanıldığı alanlar helikopter parçaları, roket, anten yapıları, jet motoru fan bıçakları, motor parçaları uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Örneğin F16 uçaklarının arka kanaları SiC takviyeli metal matrisli kompozitlerin kullanılmış ve yaygınlaştırılmıştır. Gövde bölgesindeki kanatların kullanım süresi Alüminyum matrisli kompozitlerle 4 kat iyileştirilmiştir. Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16: F16 gövde arkası kanatları (Metal Matris Kompozit).

Kompozit malzemelerin uygulanmasının nedeni, daha önce açıklandığı gibi, geliştirilmiş yüksek sıcaklık özellikleridir. Potansiyel uygulamalar, alt takımlar alanında, örn. enine kontrol kolları ve partikülle güçlendirilmiş fren diskleri gibi uygulama alanlarıdır.

Otomotiv Endüstri Uygulamaları

Alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma dayanımlarının yüksek olmasından dolayı otomobil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde başta Al/SiC ve Al/Al₂O₃ olmak üzere Al matrisli partikül takviyeli kompozit malzemeler

başarıyla üretilmektedir. Otomotiv endüstrisinde ise Şekil 2.17’de verilen 1983 Toyota’nın dizel motorlarına geçmesi ile ilk kez kullanılmaya başlanmış ve daha sonra Honda takviye elemanı olarak %12 Al_2O_3 seramik aşınma direnci sağlamak amacı ile metal matrisli kompozitlerden silindir gömleği yapımını hayata geçirmiştir [Kalemtaş, 2014].



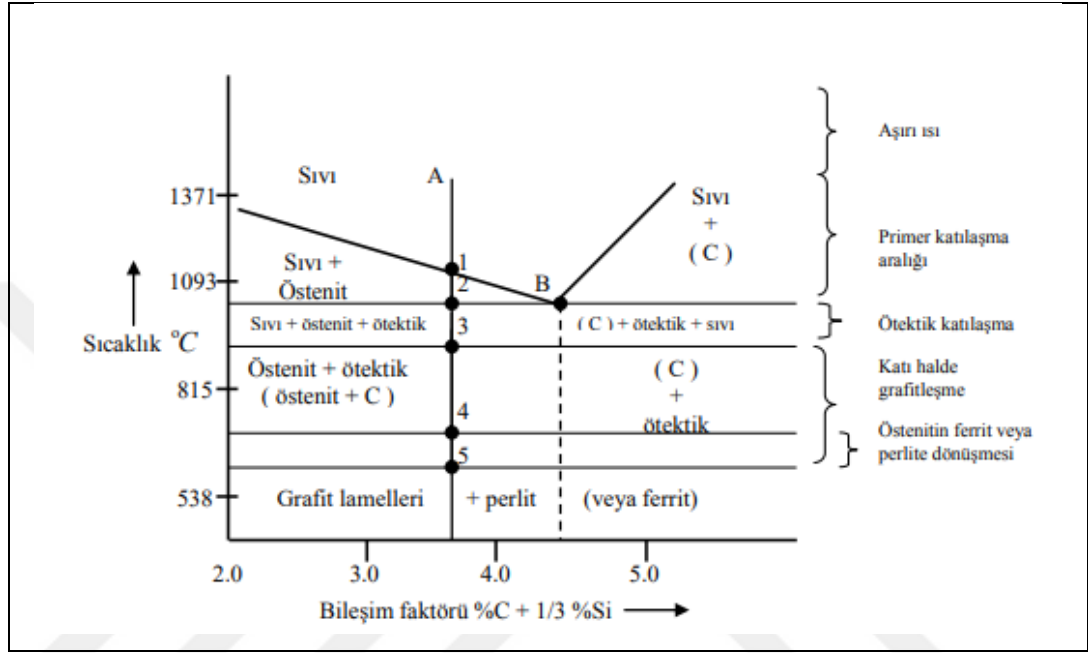
Şekil 2.17: Metal matrisli kompozit ile üretilen motor bloğu.

Savunma Endüstrisinde balistik alanında kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılan kompozitler aşınma direnci, yüksek mukavemet ve kendilerini çarpan mermiyi kırma ve aşındırma özelliği taşırlar. SiC whisker’li AMK malzemeler gelişmiş askeri tanklarda ayak paleti olarak kullanılmakta ve üretilmektedir [Kainer, 2006].

2.3. Gri Dökme Demirler ve Aşınma Özellikleri

Mühendislik uygulamalarının gereksinimleri ve gelişmeleri takip etmek için üstün özelliklere sahip daha mukavemetli malzemelere yönelik sürekli artan bir talep vardır. Dökme demirler karbon içeriği %2,14 üzerinde olan demir alaşımdır. Genel olarak %2,14-%4 ağırlıkça karbona sahiptirler. Düşük karbon içeriğine sahip demir alaşımları çelik olarak bilinir. Aradaki fark, dökme demirlerin ikili demir-karbon sisteminde ötektik katılaşmadan yararlanabilmesidir. Ötektik terimi Yunancada "kolay veya iyi erime" anlamına gelir ve ötektik nokta, en düşük erime sıcaklığının elde edildiği faz diyagramındaki bileşimi temsil eder. Demir-karbon sistemi için ötektik nokta, ağırlıkça %4,26 Karbon bileşimde ve 1148°C’lik bir sıcaklıkta oluşur. Şekil 2.18’de verilen Fe-C denge diyagramında belirtilmiştir.

Dökme demirler, geleneksel çelikten daha düşük bir erime noktasına (yaklaşık 1150°C ile 1300°C arasında) sahiptir. Erimiş haldeki yüksek akışkanlığı nedeniyle sıvı demir, kalıbı kolayca doldurur ve karmaşık şekiller oluşturabilir. Çoğu uygulama çok az son işlem gerektirir, bu nedenle dökme demirler çok çeşitli küçük parçalar için olduğu kadar büyük parçalar için de kullanılır.



Şekil 2.18: Katılaşma ve grafit oluşumu sıcaklık ile ilişkisi.

Dökme demirler özellikleri gereği otomotiv diğer kullanım yerlerinde üstün özellikler sağlamaktadır. Dökme demirlerin aşınma korozyon ve düşük darbe dayanımlarına sahiptirler.

Egzoz manifoldları, fren diskleri, dişli, krank milleri, kovan gibi karmaşık şekillere, kapsamlı ek işlemeye gerek kalmadan kum dökümü için ideal bir malzemedir. Ayrıca, bazı dökme demirler çok kırılmandır ve döküm en uygun imalat tekniğidir. Dökme demirler çok çeşitli uygulamalarla bir mühendislik malzemesi haline gelmiştir ve borularda, makinelerde ve silindir kafaları, silindir blokları ve dişli kutusu kasaları gibi otomotiv endüstrisi parçalarında kullanılmaktadır. Oksidasyondan kaynaklanan hasara dayanıklıdır [Campbell, 2008].

Dökme demirler ergiyen sıvı metalin kalıp boşluğuna dökülmesi ile ve ergiyin katılaşması sonucu yapı ortaya çıkar ve kokil kalıp, savurma yöntemi ve kum kalıba döküm yöntemleri başlıca üretim yöntemleridir. Dökme demirler mikro yapıda grafitin şekli ile isimlendirilirler ve küresel (sfero) grafitli dökme demirler, beyaz dökme

demirler, temper dökme demirler, gri(lamel) dökme demirler, olmak üzere 4 gruba ayrılırlar.

Küresel (sfero) grafitli dökme demirler:

Sfero döküm demir, yüksek süneklik, iyi mekanik özellikler ve ekonomik avantajlar nedeniyle popüler bir mühendislik malzemesidir. Sfero döküm demirde sementitin (kırılgan faz) oluşumu önlenir. Sementit ve grafitin oluşumunu engelleyen magnezyum ve seryum grafit aşılایıcıları karbonun grafitleşmesi yoluyla engellenir. Sfero döküm, gri demire göre daha güçlü ve darbelere daha dayanıklıdır. Aslında, sünek demir, çeliğe yaklaşan mekanik özelliklere sahipken, eridiğinde yüksek akışkanlığı ve daha düşük erime noktası vardır. İyi işlenebilirliği, yorulma mukavemeti, aşınma dirençleri iyidir [Yeşiltepe ve Şeşen, 2017].

Beyaz dökme demirler ise,

Katılama sırasında çözültideki karbon grafit oluşturmadağıında oluşur. Kırılma yüzeyi beyaz bir görünüme sahiptir. Beyaz dökme demirler sert ve kırılgandır; kolayca işlenemezler. Beyaz dökme demir, karbonun yalnızca karbür olarak mevcut olduğı dökme demir ailesinin tek üyesi olması bakımından benzersizdir. Beyaz dökme demir, yüksek basınç dayanımına sahiptir ve daha yüksek bir sıcaklıkta iyi sertliğı ve mukavemeti korur. Bazen "soğutulmuş döküm" olarak adlandırılan bu tip döküm, daha sert bir dış yüzeye ve daha sert bir iç çekirdeğe sahiptir [Chen and Zhang, 2011].

Temper Dökme Demirler,

Temper dökme demir, tavllanmış beyaz dökme demirdir. Tavlama ısıl işlemiyle, kırılgan yapı ilk döküm olarak temper forma dönüştürölür. Dövülebilir demir, sfero dökümde olduğı gibi gerçekten küresel olmayan grafit küreler içerir, çünkü bunlar eriyikten soğutma sırasında oluşmaktan çok ısıl işlemin bir sonucu olarak oluşur. Temper demir, beyaz bir demir döküm olarak başlar ve daha sonra yaklaşık 950°C'de bir veya iki gün boyunca ısıl işleme tabi tutulur ve ardından bir veya iki günde soğutulur. Sonuç olarak, demir karbürdeki karbon, soğuma hızına bağılı olarak bir ferrit veya perlit matrisiyle çevrili kürelere dönüşür. Sfero döküm gibi dövülebilir demir, küresel grafit ve düşük karbonlu metalik matris kombinasyonu nedeniyle önemli ölçüde süneklik ve tokluğa sahiptir. Sfero döküm gibi dövülebilir demir de korozyona karşı yüksek direnç ve mükemmel işlenebilirlik sergiler.

Gri Dökme Demir,

Diğer dökme demir türlerine göre üstün işlenebilirliğe sahip endüstriyel bileşenlerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan bir diğer dökme demir türü olan gri dökme demirdir. Gri dökme demirdeki grafit, bu metalin yüksek işlenebilirliğini sağlamaktadır. Pul benzeri grafit yapıya sahip olan gri dökme demirler, grafit yapısı metal matriste süreksizliklere ve ardından azaltılmış kesme kuvvetlerine neden olur. Gri dökme demirler, esasen grafit pullarının neredeyse sürekli yapısı (hücre sınırlarında ve önceki ostenit dendritlerinde kırılmalar) nedeniyle düşük çekme dayanımlarına ve neredeyse var olmayan sünekliklere (ve darbe dayanımlarına) sahiptir [Sağlam D. , 2009].

Dökme demirlerin aşınma özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Dökme demirlerde alaşımlama, ısıtılma etkisi ile aşınma özellikleri iyileştirilmiştir.

Küresel dökme demirler, takım tezgâhı yatakları, kamlar, pistonlar, silindirler vb. için yaygın olarak kullanılırlar. Nodül sayısı ve büyüklükleri aşınma davranışı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Ancak aşınma direncini artırmak için ısıtılma ve östempereleme kullanılan yöntemlerden biridir. Nikel, molibden, bakır alaşımlı sfero dökme demirin östempereleme sıcaklığı (871–982°C) yapı tamamen östenittir. Östenitlemeden sonra, alaşım östemperelanır, yani 260 ile 400°C arasındaki bir sıcaklık aralığına hızlı bir tuz banyosuna atılır. Yapı artık östemperelanmış bir sfero dökme demirdir. Çalışmada pin on disk yöntemiyle sfero dökme demir'in ve östemperelanmış dökme demirin aşınma davranışları incelenmiştir. Sfero dökümün aşınma direnci, östempereleme işlemi ile de iyileştirilmiş ve bununla birlikte, östempereleme 4-7 kat daha iyi aşınma direnci sağlarken, kuru kayma altında daha yüksek sürtünme sağlamıştır [Podgornik et al., 2012].

Sağlam'ın [Sağlam C. , 2009] yaptığı çalışmada, yüksek kromlu beyaz dökme demirin aşınma davranışları incelenmiştir. Krom içeriği yüksek olan beyaz dökme demirler içerisinde bulunan M_7C_3 ötektik karbür içeriğinden dolayı krom ve karbür fazı birleşerek sertlik, aşınma direnci artmıştır. Çalışma da 5 farklı dökme demir alaşımı şarj edilerek hazırlanmıştır. Aşınmalar 5N yükte alümina top kullanılmıştır. Bor ilavesiz ve %0,1, %0,27, %0,38 ve %0,56 Bor ilavesiyle yapılmıştır. En iyi aşınma direncini B02 döküm kodlu %0,10 oranı ile Bor ile sağlanmıştır.

Gri dökme demirde yapılan çalışmada ise, ağırlıkça %0, %3,15 bakır alaşımlama gri dökme demire yapılmış ve pin on disk ile aşınma hızının, dönme hızının, yükün etkisi değerlendirilmiştir. Aşınma süresi deneyleri, tümü oda koşullarında 5 ila 20

dakika, dönüş hızı 90 ila 1400 dev/dak ve uygulanan basınç 2.0 ila 8.0 MPa arasındadır. Gri dökme demire bakırın eklenmesi ile perlitik matris artmış ve sertlik, mekanik özellikler ve aşınma direncini artırmıştır. Aşınma zamanındaki, dönme hızındaki ve uygulanan basınçtaki artışla aşınma kayıpları artmasına rağmen, uygulanan basınç, indüklenmiş yüzey sertleştirme etkisini indükleyerek ters bir etkiye sahip ve bu da aşınma direncini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır [Abdou et al., 2018].

2.3.1. İkincil Faz Takviyesinin Özellikleri

Literatürde dökme demir talaş ilavesiyle yapılmış çalışmalar bulunmamaktadır. Ancak Coşkun ve arkadaşları [Coşkun et al., 2003] termik santrallerde kullanılan atık malzemelerde maliyeti düşürmek amaçlanmış ve Etial 141 alüminyum alaşıma farklı ağırlık oranlarında uçucu kül %2,5, %5, %7,5 ve %10 ilavesi vorteks yöntemi ile üretim gerçekleştirilmiştir. Aşınma davranışı incelenmiştir. Üretilen numunelerde uygulanan aşınma testlerinde uçucu kül ağırlık oranları arttıkça aşınma dayanımı da artış göstermiştir. Aşınma tipleri adhesiv ve abrasiv olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada Talaş gibi yüksek spesifik modüle sahip hammaddelerdeki ergitme kayıpları %70-75 mertebesinde. Bu sebeple bu çalışmadaki dökme demir talaşının geri dönüştürülmesinde yeniden ergitmeye alternatif olarak kompozit sanayisinin kullanılabileceği amaçlanmıştır. Bundan dolayı GGG30 kalite olan dökme demir talaşı ikincil faz takviyesi olarak seçilmiştir.

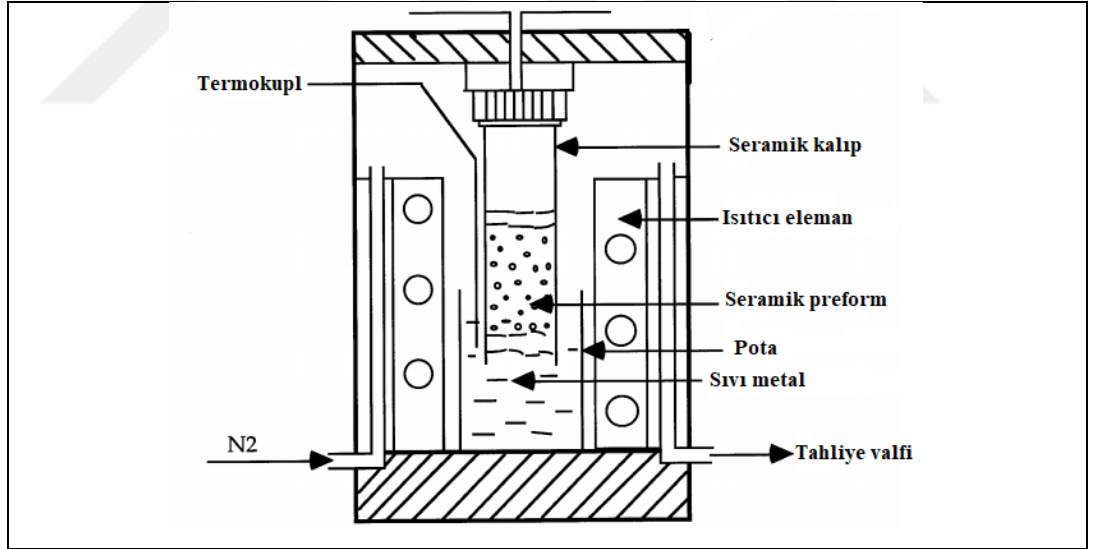
3. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çeşitli üretim yöntemlerine sahip olan metal matrisli kompozitlerde kullanılan yöntemler: Katı hal, yarı-katı hal, sıvı hal yöntemleri olmak üzere 3 tiptir. Kullanılan prosese bağlı olarak takviye cinsi, takviye oranı ve ara yüzey bağlantıları değişim göstermektedir.

3.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Matris fazının sıvı halde birleştirilerek üretilen yöntem sıvı faz üretim yöntemi olarak adlandırılır. Bileşenlerden en az birinin sıvı olmasından dolayı ara yüzey kolay oluşmaktadır [Clyne and Withers, 1995]. Yöntem Şekil 3.1’de [Rohatgi et al., 1998] yöntem verilmiştir.

Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi:



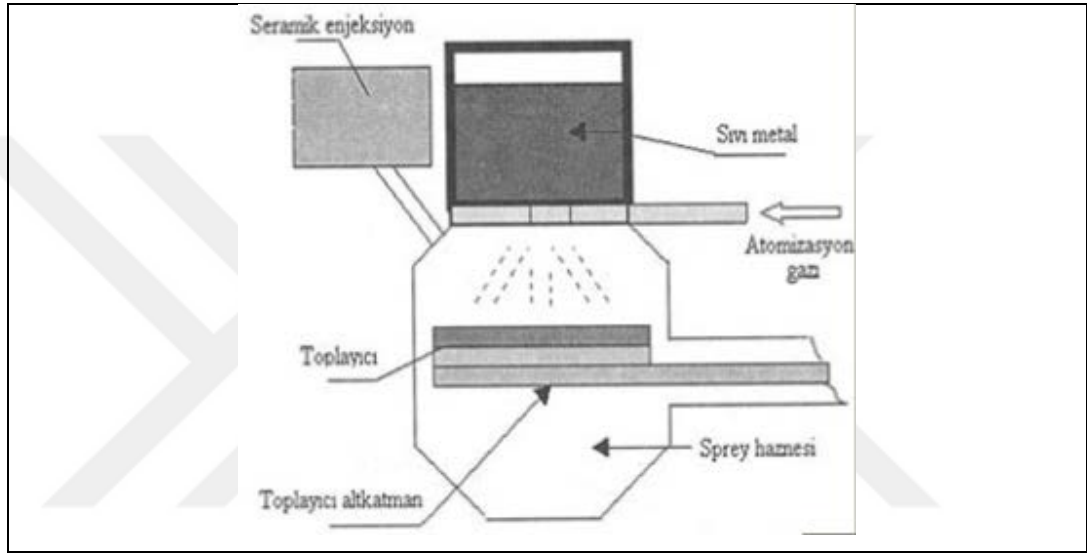
Şekil 3.1: İnfiltrasyon işlemi.

Bu metotta önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak master hazırlanır. Kompozitte tasarlanan elyafın hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan bu model kalıp içerisine yerleştirilir ve ergimiş metal enjekte edilerek bu masterın ıslanması sağlanır. Bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi basınçla da gerçekleştirilebilir. Bu işlemde değişkenler: infiltrasyon

sıcaklığı, partikül boyutu, dağılımı, işlem süresi, malzeme türü ve alaşım bileşenleridir [Rohatgi et al., 1998].

Plazma Püskürtme Yöntemi:

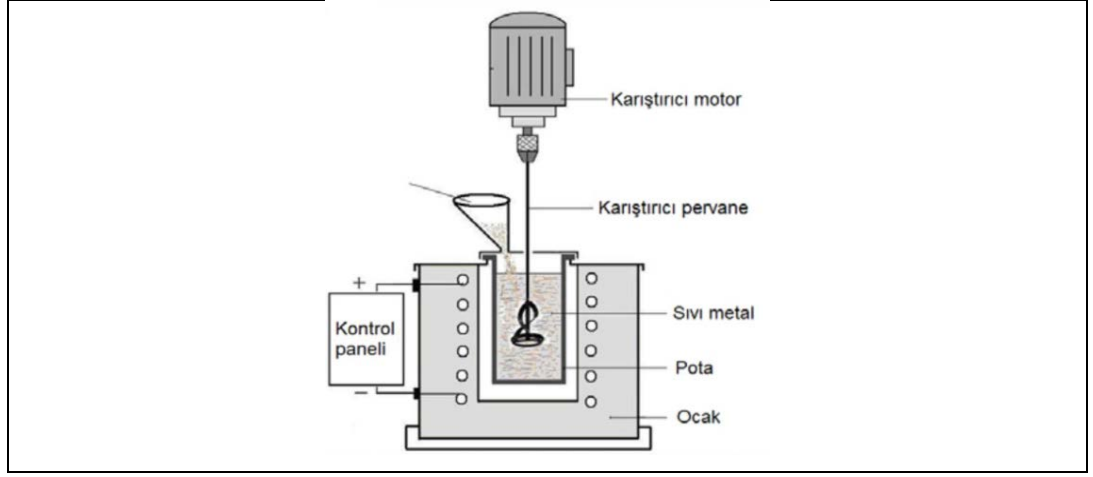
Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerinin üretiminde kullanılan yöntemlerden biri olup Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Atomize edilmiş ergimiş metal parçacıklarının takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesidir [Rohatgi, 1993].



Şekil 3.2: Plazma püskürtme yöntemi.

Karıştırmalı Döküm;

Pota içinde karıştırılan ergiyiğin içine bir vorteks oluşturulan bir yöntemdir. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.3’de verilmiştir. Partiküllerin bu ergiyiğe eklenmesi ile yönteme devam edilir. Basit, esnek ve yüksek miktarda üretime olanak sağlaması başlıca üstünlükleridir. Genellikle partikül takviyeli MMK’ların üretiminde kullanılırlar. Üretilen kompozit malzemenin ideal özellikleri kazanması için; takviye elemanının matris alaşımı içerisinde homojen dağılması ve aralarındaki ıslatılabilirliğin optimize edilmesi gereklidir [Abdel-Azim et al., 1995].



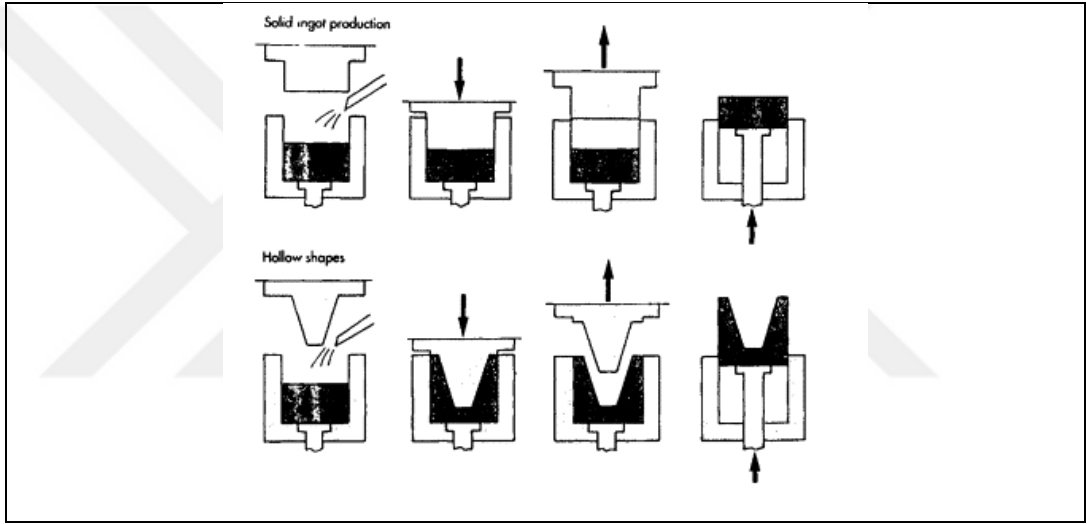
Şekil 3.3: Karıştırma döküm yöntemi.

3.1.1. Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi kapalı kalıpta dövme ve döküm yöntemi bir bileşimidir. Ergiyen sıvı metalin bir kalıba doldurulması ve dövme yönteminde dikey olarak uygulanan pres ile bir araya getirilen yöntemdir [Ghomashchi and Vikhrov, 2000].

Yüksek hidrostatik basınç altında (70-150 MPa) kapalı kalıpta sıvı metalin hızla katılaştırılmasıdır. Metal matrisli kompozitlerde üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem fiber ve partikül takviyeli kompozitler için kullanılabilir. Dövme ile karşılaştırıldığında, karmaşık şekilli parçalar, sıkıştırarak döküm ile tek bir adımda üretilebilir, işçilik ve malzeme maliyetlerini azaltır ve geri çekilebilir metal maçalar kullanarak alt kesimler ve delikler üretme imkanı sağlar. Ergiyik çok yüksek basınçta katılaştığı için sıkıştırma döküm ile üretilen kompozitler gözenek ve boşluk gibi yaygın döküm hatalarına rastlanmaz. Döküm ile kalıp arasındaki temas, ince taneli yapıların temelini oluşturan basınçlandırma ile iyileştirildiğinden, dökümün soğutma hızı, katılaştırma sırasında yüksek basınç uygulanarak artırılabilir. Neredeyse kesintisiz şekil işleme yoluyla malzeme tüketimini azaltmaya yönelik mevcut vurgu ve ağırlık tasarrufu için daha yüksek mukavemetli parçalara olan taleple birlikte, bir üretim süreci olarak sıkıştırılmalı dökümün ortaya çıkışı, malzeme ve proses mühendislerine geleneksel döküm ve dövme yaklaşımlarına yeni bir alternatif sağlamıştır. Sıkıştırılmalı döküm basit ve ekonomiktir, hammadde kullanımında etkilidir ve yüksek üretim oranlarında otomatik operasyon için mükemmel bir potansiyele sahiptir. İşlem, bir döküm üründe elde edilebilecek en yüksek mekanik

özellikleri sağlar. Sıkıştırılmalı döküm ürünlerinin mikroyapısal iyileştirilmesi ve bütünlüğü, birçok kritik uygulama için talep edilir. Uygulanan yüksek basınçla birlikte sıvı metal takviye elemanını ısıtmasını sağlamaktadır. Dolaylı ve direk sıkıştırılmalı döküm iki farklı yöntemlerinden biridir. Sıkıştırılmalı dökümde, dökülen metal, metal kalıplar arasında basınç altında katılaşır. 'Doğrudan' sıkıştırılmalı dökümde, ölçülü bir miktarda erimiş metal (temiz, gazdan arındırılmış ve tercihen filtrelenmiş olmalıdır) dişi kalıp dökümüne veya kalıba dökülür ve erkek kalıp, metale kontrollü bir hızda sürülür, böylece türbülanssız bir şekilde istenen şekli oluşturur. Metal katılaşırken 50 ile 150 MPa arasındaki basınçlar korunur. Kalıplar bir grafit kaplama ile kaplanır ve ısıtılır. Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



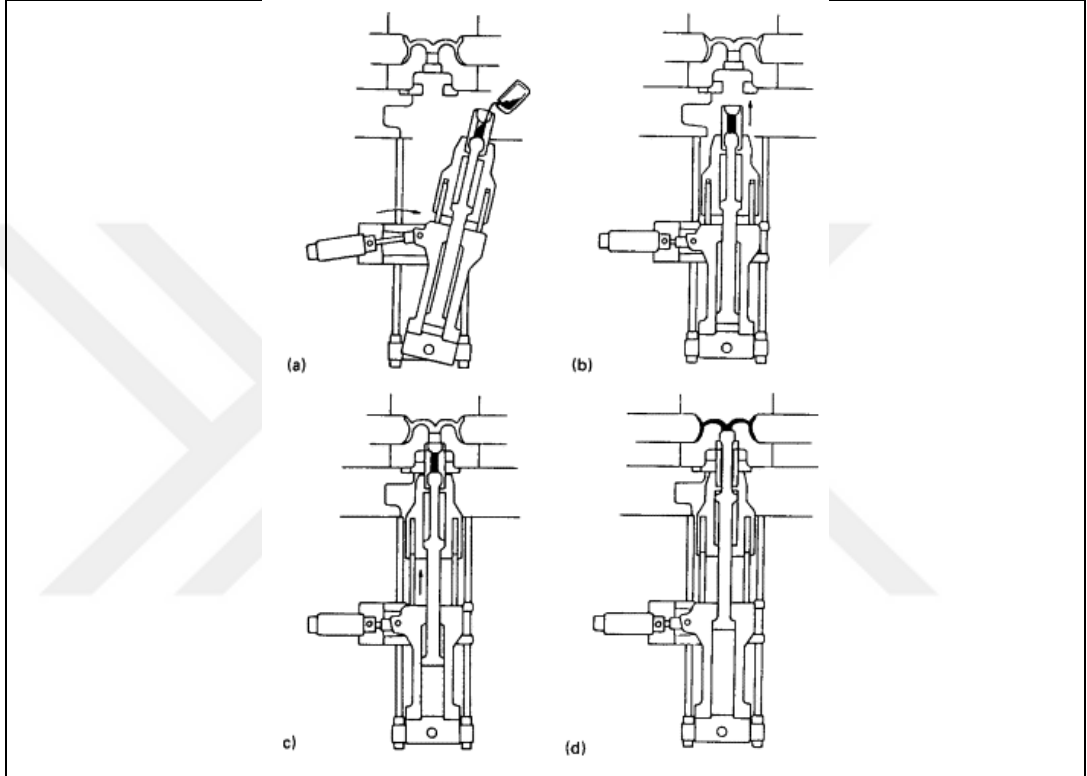
Şekil 3.4: Direk sıkıştırılmalı döküm yöntemi.

Direk Sıkıştırılmalı Dökümün avantajları:

- Elde edilen üründe gaz, çekinti gözeneklik gibi döküm hatalarına rastlanmaz.
- Uygulanan basıncın çok yüksek soğutma hızı, kalıp ve sıvı metalin sıcaklık kontrolü aracılığıyla mikro yapının kontrolüne yardımcı olur. Çok ince taneli yapılar, tane inceltici eklemeler kullanılmadan üretilebilir.
- Besleyici veya soğutucuya ihtiyaç yoktur.

Şekil 3.5'de verilen dolaylı sıkıştırılmalı döküm işleminde, metal (basıncılı dökümde olduğu gibi) küçük çaplı bir piston tarafından kalıp boşluğuna enjekte edilir. Basıncılı dökümden farklı olarak, basınç, dökümün zımbadan uzaktaki kısmından

aşamalı olarak gerçekleşen katılaşma boyunca devam eder. Dolaylı Sıkıştırılmalı Döküm aynı zamanda ön kalıplara sızma ve kompozitler üretme imkânı sunar. Malzeme verimi, doğrudan Sıkıştırılmalı Döküm durumundakinden daha düşüktür (yaklaşık %50), ardından hurda ayırma ve geri dönüşüm maliyetleri vardır, ancak doğrudan Sıkıştırılmalı Döküm ile karşılaştırıldığında, oldukça hassas bir ölçüm sisteminin kullanılması gerekli değildir.



Şekil 3.5: Dolaylı sıkıştırılmalı döküm yöntemi (a) Alüminyumun ergitilmesi, (b) Enjeksiyon silindiri dikey olarak döner, (c) Kovan tutucu, Kılıfla birlikte yükselir ve alt kalıpta oturur. (d) Piston ucu yükselir ve enjekte edilir.

Sıkıştırılmalı dökümün hem doğrudan hem de dolaylı versiyonlarında, NDT gerektiren dahili veya harici kusurlar yoktur. Mekanik özellikler dövme malzemeler kadar iyidir (veya bazen daha iyidir). Sıkıştırılmalı dökümler için üretim döngüsü süreleri, yüksek ısı transfer katsayıları nedeniyle karşılaştırılabilir kalıp dökümlerinkinden %66 daha azdır [Powell et al., 2012].

Döküm parametreleri ise;

Döküm sıcaklıkları alaşıma ve parça geometrisine bağlıdır. Başlangıç noktası normalde sıvılaşma sıcaklığının 6 ila 55°C üzerindedir. Normalde 190 ila 315°C

arasında değişen takımlama sıcaklıkları kullanılır. Normalde 50 ila 140 MPa basınç seviyeleri kullanılır. 30 ila 120 saniye arasında değişen basınç süresinin 9 kg ağırlığındaki dökümler için tatmin edici olduğu bulunmuştur [Dhanashekar and Kumar , 2014].

Sıkıştırmalı dökümün avantajları ise;

- Sıkıştırılmış döküm parçalar, uygulanan basınç ve yavaş doldurmanın bir sonucu olarak çekinti ve gaz gözenekliliği gibi kusurlardan nispeten arındırılmıştır. Bu, termal işlemlerin ve kaynak işleminin sıkıştırmalı döküm bileşenlerinde yapılmasına izin verir. Geliştirilmiş kalite aynı zamanda dökümlerin basınç sızdırmazlığını da artırır. Döküm hızı çok düşük olduğu için nihai parçalarda fin çizgileri bulunmamaktadır.
- Doldurma ve katılaştırma sırasında tutulan basınçtan kaynaklanan diğer avantajlar, yine yüksek yüzey kalitesi ile karakterize olan karmaşık geometrilerde bile elde edilen net şekle yakın dökümlerdir. İnce kesitler kolaylıkla üretilebilir (3 mm) ve demir dışı alaşımlar için $\pm 0,05$ mm toleranslar yaygındır.
- Katılaşma sırasında yüksek basınç uygulamasının artan metalden kalıba ısı transferi nedeniyle tane / hücre boyutunu ve dendrit kolu aralığını azalttığı gösterilmiştir; böylece, akma ve nihai gerilme mukavemeti, süneklik ve yorulma ömrü iyileştirilir.
- Sıkıştırmalı Döküm, hem döküm hem de dövme bileşimlerde demir içeren ve iğermeyen alaşımlara başarılı bir şekilde uygulanabilir. Ayrıca ağırlık aralığı geniştir, genellikle 10 g ile 5 kg arasında değişir; daha ağır dökümler de kolaylıkla elde edilebilir.
- Sıkıştırmalı döküm ayrıca otomatik operasyonlar için mükemmel bir potansiyele sahiptir ve bu da üretim oranını daha da artırır. Hurdalar kolayca geri dönüştürülebilir.
- Son olarak, Sıkıştırmalı Dökümün büyük bir avantajı, metal matris kompozitler (MMK'lar) üretme kapasitesidir; Hacimce %45'e kadar SiC içeren hem sürekli hem de süreksiz takviyeler üretilmiştir.
- Sıkıştırmalı Dökümün bazı dezavantajları da vardır, örneğin, alaşımın kalıp yüzeyine karşı basınçlandırılmasıyla çok yüksek sıcaklık gradyanları üretildiğinde makrosgregasyon oluşumu, bu da homojen olmayan mikro yapılar ve mekanik

özelliklerin elde edilmesiyle sonuçlanır. Esas olarak, güçlü bir şekilde ayrılan elemanlar mevcut olduğunda (Al alaşımlarında Cu gibi), döküm yüzeyine sızarak kusurlar yaratabilir.

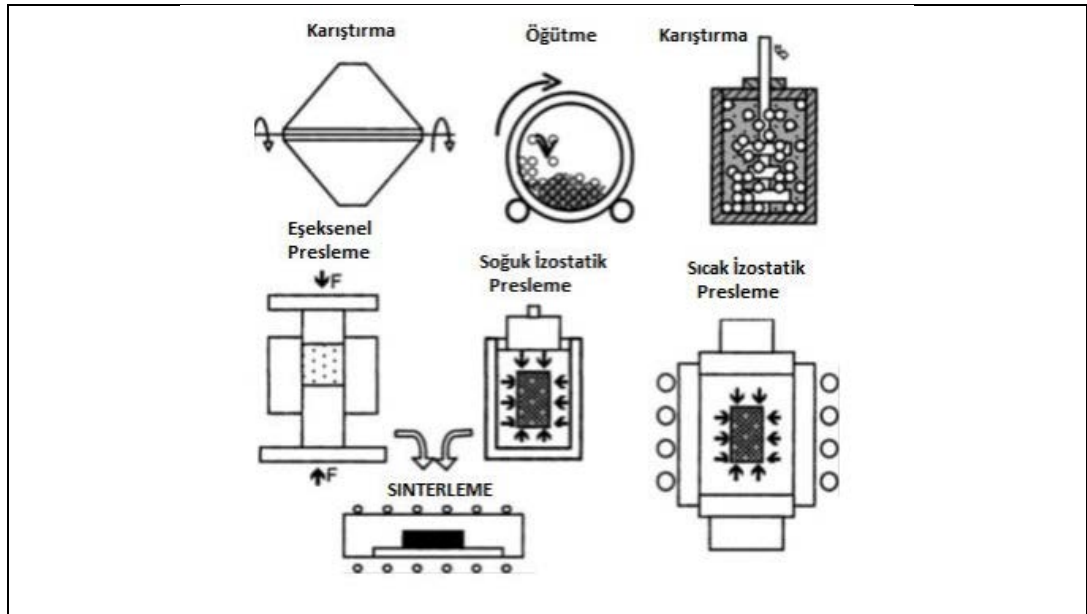
- Proses parametreleri (basınç, yağlama, sıcaklıklar, alaşım temizliği) düzgün bir şekilde kontrol edilmezse, metalizasyon, gözeneklilik, oksitler, vb. Gibi yaygın dökümhane kusurları mevcut olabilir [Battaglia et al., 2018].

3.2. Katı Faz Üretim Yöntemleri

Toz Metalürjisi:

Geleneksel üretim yöntemleri ve toz metalürjisi kıyaslandığında karmaşık şekillerin kolay üretimi, yoğunluğun kontrolü bu yöntemle sağlanmaktadır şematik gösterimi 3.6'da verilmiştir [Arslan vd., 2015].

Yöntemde matris tozları ve takviye elemanlarının yüksek sıcaklıklarda veya oda sıcaklığının da üretilmesi istenen kalıba preslenerek ya da plastik şekil verilerek oluşan üretim yöntemidir. Preslemeyi takiben sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Genellikle son aşama ekstrüzyon, haddeleme, dövme işlemleri uygulanır.

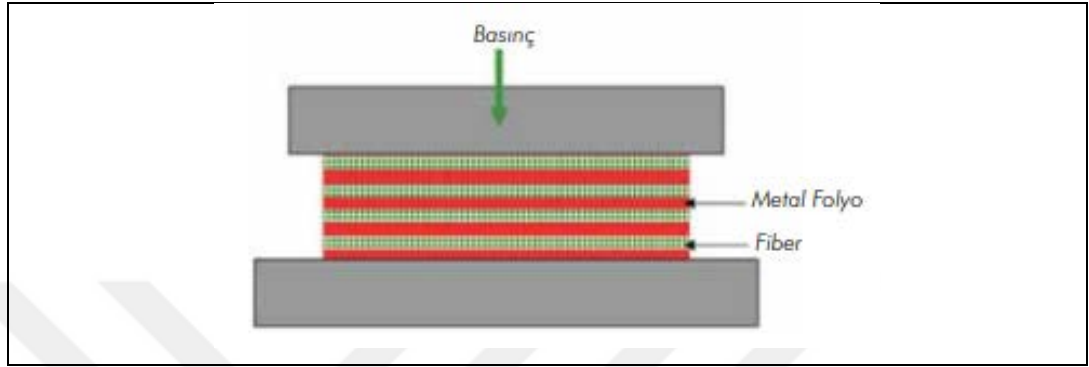


Şekil 3.6: Toz metalürjisi şematik gösterimi.

Alüminyum matrisli kompozitlerde maliyetinden dolayı en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir [Torralba et al., 2003].

Difüzyon Bağlama Yöntemi:

Şekil 3.7’de verilen farklı ya da aynı metallerin birleştirilmesi için basınç ve yüksek sıcaklık kullanılır. Karmaşık parça üretimi zordur. Bu yöntemde metal ve alaşım folyoları arasında Takviye tekli fleamanlar veya bloklar kullanılarak gerçekleşir [Gül, 1999].

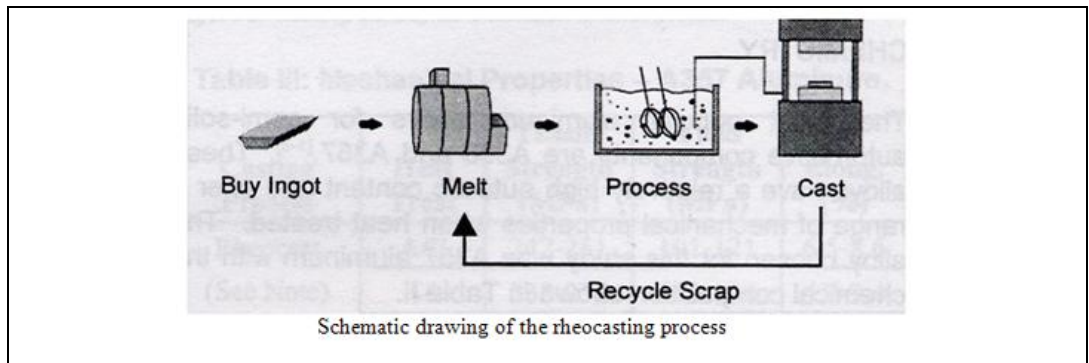


Şekil 3.7: Difüzyonla bağlama yöntemi

3.3. Yarı Katı Karıştırma Yöntemi

Rheocasting Yöntemi:

Şekil 3.8’de (Flemings, Riek, & Young, 1976) verilen yöntemde ince seramik partiküller metal matris ise, metal matrisin hem sıvı hem de katı faz içerdiği sıcaklıkta eklenir. Seramik partiküllerin eklenmesini takiben kompozit karışımı mekanik olarak karıştırılır. Hafif metallerin dökümünde önemli bir rol oynamaktadır [Şimşek vd., 2020].



Şekil 3.8: Rheocasting şematik gösterimi.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada matris olarak A356 alaşımı, takviye boyutları 560 μ -1mm ve 210 μ altında olmak üzere tane boyutu büyük ve küçük olacak şekilde %2.5, %5, %10 hacim oranı ile ikincil faz takviyesi olarak; dökme demir talaşı seçilmiş ve takviye olarak kullanılabilir olduğu karşılaştırılabilmesi için alüminyum matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye malzemesi olan SiC takviye boyutu 63-106 mikron ve 8- 32 mikron tane boyutu büyük ve küçük olacak şekilde %2.5, %5, %10 hacim oranında sıkıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Referans numune katkısız olarak üretilerek katkı yapılan numuneler ile karşılaştırılmıştır. Üretilen numunelerde takviyeler matrisin üzerine 1 mm ile 2 mm aralığında olmak üzere katman oluşturulmuştur. Tane boyutu küçük dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerde %10 takviye edilen numune üretilemezken SiC ile takviye edilenlerde hem tane boyutu büyük hem tane boyutu küçük olan %10 takviye edilen SiC numuneleri üretilmemiştir. Üretilen kompozit malzemelere 2N ve 5N olmak üzere pinondisk cihazı kullanılarak aşınma testi uygulanmış ve SEM yardımı ile aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Referans numuneye ise sadece 2N yük uygulanabilmiştir. Sertlik, çekme, XRD, SEM, yüzey pürüzlülüğü, optik mikroskop, image analayzer programı ile yüzeydeki takviye edilen talaşların veya SiC'lerin oranı, numunelerin mekanik ve mikroyapı analizleri incelenmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Kompozit malzemedeki kullanılan Ferro Döküm bünyesindeki matris A356 alaşımı olup, spektrometre cihazında yapılan elementel analiz sonucunda elde edilen kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1: A356 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşim.

Element	Si	Mg	Ti	Fe	Mn	Cu	Pb	Al
% Oranı	6,6	0,4	0,2	0,15	0,02	0,028	0,03	Kalan

Ferro Döküm bünyesinde bulunan dökme demir talaşı elekten geçirilerek tane boyutları 560 mikron -1 mm ve 210 mikron altı boyutlu dökme demir talaşı elde edilmiştir. Spektrometre cihazında yapılan elementel analiz sonucunda elde edilen kimyasal bileşimi Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Dökme demir talaşının kimyasal kompozisyonu.

C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr
3,30	1,75	0,8	0,016	0,05	0,2	0,15
3,40	1,85	0,9	0,12	Max	0,3	Max

SiC tane boyutu Ege Nanotec firmasından 63-106 mikron ve 8- 32 mikron olarak tedarik edilmiştir.

Tablo 4.3 SiC toz özelliği.

Yoğunluk (g/cm ³) (20°C)	3,16
Isıl İletkenlik (W/mK)	126
Silisyum Karbür İçeriği (%)	97,8
Sertlik (HV)	3100

4.2. Deney Numunelerinin Üretimi

A356 alaşımı Laboratuvar ölçekli Şekil 4.1’de gösterilen fırında 750°C’de ergitilmiştir.



Şekil 4.1: Laboratuvar ölçekli elektrikli fırın.



Şekil 4.2: Sıkıştırılmalı pres.

Takviyelerin (dökme demir talaşı ve SiC) nemini atması için 300°C’de kurutulmuş ve metal kalıp 200°C’de ön ısıtma yapılmıştır. Şekil 4.3’de gösterilen anahtar kalıba belirlenen hacim oranlarında (dökme demir talaşı için: 2,30g, 4,60g, 9,36g, SiC takviyesi için: 1,20g, 2,20g, 4,52g) alt kalıba homojen olarak takviyeler (dökme demir talaşı ve SiC) eklenmiş ve Şekil 4.1’de ergitilen A356 alaşımının dökümü gerçekleştirilmiştir. Metal henüz sıvı iken Şekil 4.2’de gösterilen hidrolik

preste sıkıştırma işlemi için 200-220 bar 1 dakika pres uygulanmıştır. Alüminyum ve takviyelerin katılaşması bittikten sonra basınç kaldırılmıştır ve kalıplar oda sıcaklığında soğutulmuştur. Soğuduktan sonra çapakları temizlenmiş numuneler üretilmiş ve kompozit malzemenin üretim gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’de işlem basamakları sırası ile verilmiştir.



Şekil 4.3: Kompozit üretiminin işlem basamakları.

Anahtar kalıbın kullanılmayan kısmı kesilerek temizlendikten sonra Şekil 4.4’de gösterilen aşınma numuneleri, aşınma numunelerinden incelenen SEM ve optik mikroskop numuneleri, çekme ve sertlik numuneleri olarak talaşlı imalat ile uygun boyutlara getirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

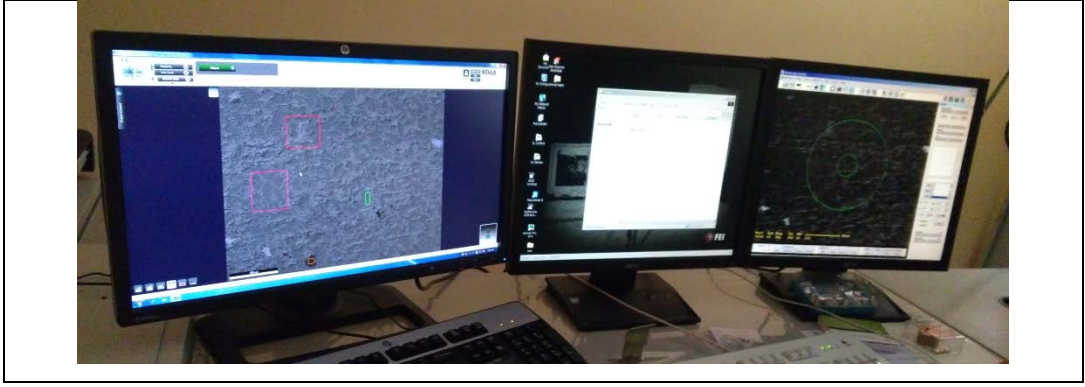
Tane boyutu küçük olan dökme demir talaşı ile üretilen kompozitlerde hacimce %10 olan numuneler üretilenmemiştir. Aynı yöntem ve aynı hacim oranları ile SiC takviyesi ile tane boyutu büyük ve tane boyutu küçük olan SiC tozlarında hacimce %10 olan numuneler üretilenmemiştir.



Şekil 4.4: 2 mm katlandırılarak dökme demir talaşı takviyesi üretilen kompozit malzemeden incelenen aşınma, SEM, optik mikroskop numuneleri.

4.3. Uygulanan Testler

Üretilen numunelere mekanik ve mikroyapı özelliklerin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Üretilen numuneler mikroyapı incelemesi Nixon Eclipse Ma200 optik mikroskop cihazında makro düzeyde, taramalı elektron mikroskopunda (Sem Philips XL 30 SFEG marka) mikroskopunda mikro düzeyde incelenmiştir. Cihazlar Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Arayüzey, matris ve takviyede oluşan fazların incelemeleri için EDS ve X-ışınları analizi Bruker® D8 Advance XRD cihazında analizleri incelenerek desteklenmiştir. SEM analizinden çıkan numunelerin SE mod 125X görüntüleri image analyzer programı kullanılarak taranan yüzeydeki takviye miktarları analiz edilmiştir.



Şekil 4.5: SEM-EDS analizi.



Şekil 4.6: XRD analiz cihazı.

Şekil 4.7: Optik mikroskop cihazı.

Kompozit malzemenin aşınma davranışları Şekil 4.8’de gösterilen CSM Tribometre pin-on-disk aşınma test cihazında dökme demir takviyeli, SiC takviyeli ve takviyesiz olarak üretilen referans numuneye 2N ve 5N yük, 0,1 m/s hızda 250 metre test uygulanmıştır. Deneyde alümina bilya kullanılmıştır. Test öncesi ve sonrasında numunelerin ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Aşınmadan çıkan numuneler Veeco® Dektak pirofilometre cihazında yüzey pürüzlülüğü hesaplanmış ve aşınma hızları belirlenmiştir. Numunelerin 3 boyut görüntüleri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.8: Aşınma test cihazı.

2N ve 5N aşınma uygulanan numuneler SEM mikroskobunda mikro düzeyde Şekil 4.9’da gösterildiği gibi aşınma davranışları incelenmiş ve yorumlanmıştır.



Şekil 4.9: SEM incelenen aşınma numuneleri.

Takviyeli olarak üretilen numunelerin takviyesiz olarak üretilen alüminyum alaşımına göre çekme, akma, % uzama değerlerindeki farklılıkları tespit edebilmek için numunelere çekme testi uygulanmıştır Şekil 4.10’da numuneler ve test cihazı verilmiştir. Çekme testi uygulanan numuneler kalın tane boyutu ile üretilen SiC ve dökme demir talaşlı numuneler ile takviyesiz olarak üretilen alüminyum için numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.10: Çekme deney testi-Çekme numuneleri.

Sertlik ölçümü Instron® marka Mikrosertlik cihazında (Wolpert Testor 2100 model) Vickers elmas piramit uç kullanılarak yapılmıştır 1 kg yükte 15 saniye batma süresinde takviye ve matrise yakın olan bölge olmak üzere sertlikleri incelenmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Dökme Demir Takviyesi ile Üretilen MMK yapılan Çalışmalar

5.1.1. Mikroyapısal İncelemeler

Dökme demir talaşı ile üretilen numuneler talaş boyutu 560 μ -1mm ve 210 μ altında olmak üzere tane boyutu büyük ve tane boyutu küçük olmak üzere %2.5, %5, %10 hacim oranı ile üretilmiştir makro ve mikro düzeyde metalografik incelenmiştir. Ancak tane boyutu küçük olan dökme demir talaşı takviyesinde %10 hacim oranında numune üretilenmemiştir. Tane boyutu küçük olan dökme demir talaşında hacim oranı arttıkça numune üretiminin zorlaştığı gözlemlenmiştir. Çalışmada isimlendirilen numuneler Tablo 5.1’de verilmiştir.

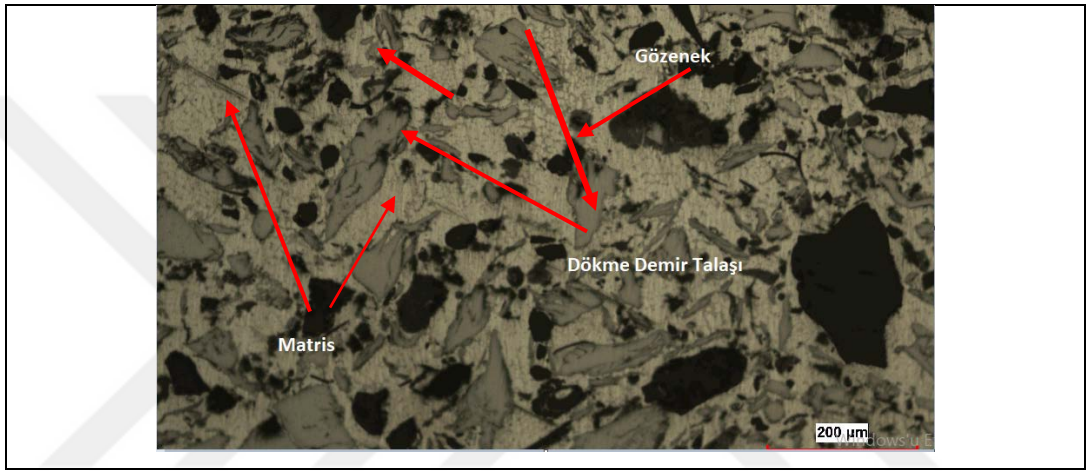
Tablo 5.1: Dökme demir talaşlı numunelerin isimleri.

Tane Boyutu	Hacim Oranı	Numune Adı
210 μ	%2,5	A2.5
210 μ	%5	A5
560 μ -1mm	%2,5	B2.5
560 μ -1mm	%5	B5
560 μ -1mm	%10	B10
A356 Alaşımı	%0	C (Referans Numune)

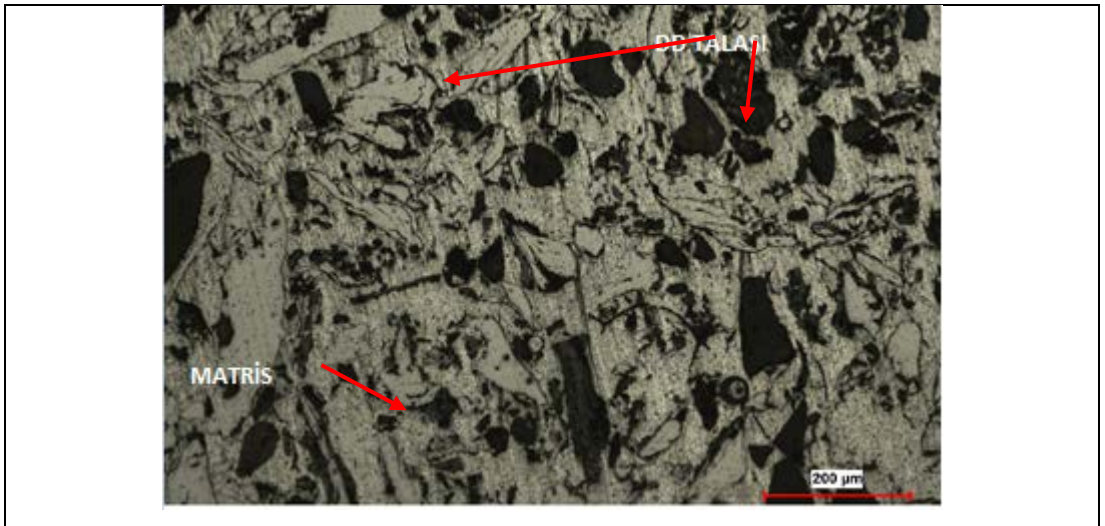
A356 alaşımı Alüminyum ve silisyumdan oluşan ikili faz sistemi ötektik, α -Al yapı içeren alüminyum alaşımıdır. Çalışmadaki matris malzemesidir. Şekil 5.1’de gösterilen yapıya baktığımızda ötektik yapısı dendrit kolları iken arada kalan koyu olan kısımlar α -Al simgelemektedir.



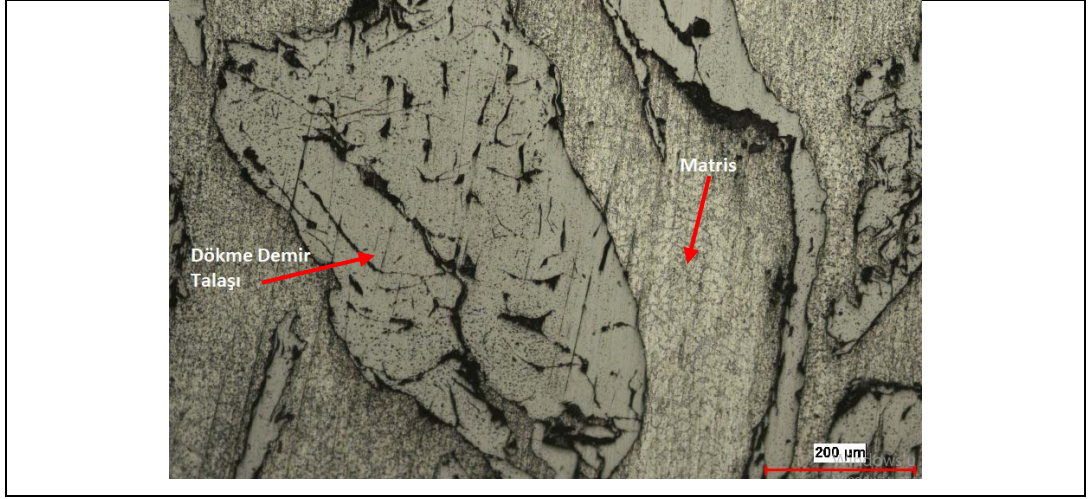
Şekil 5.1: A356 Alaşımının mikroyapısı.



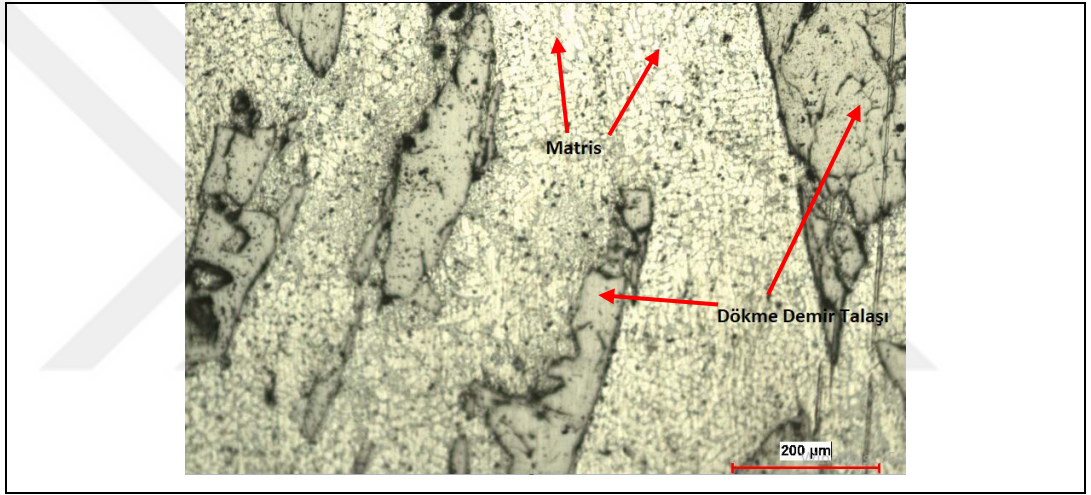
Şekil 5.2: A2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



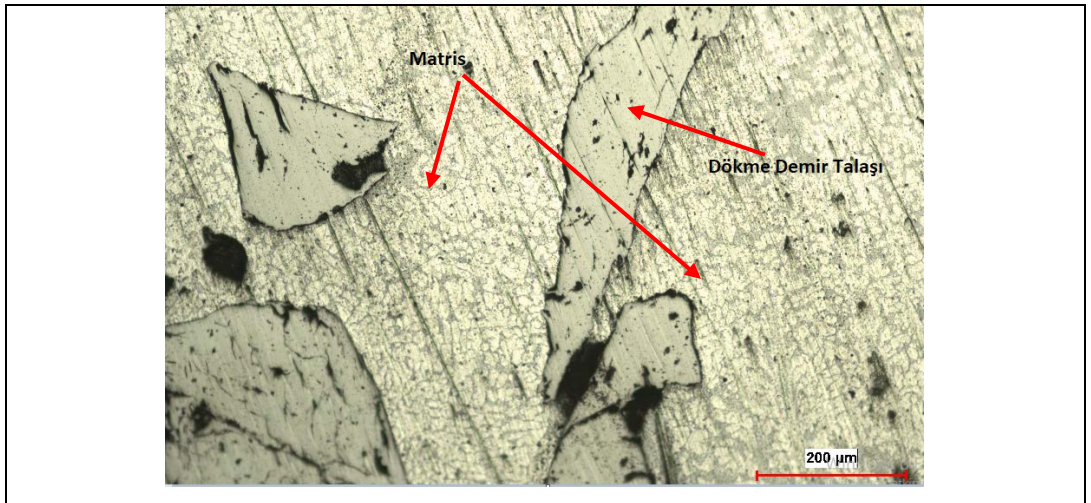
Şekil 5.3: A5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 5.4: B2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



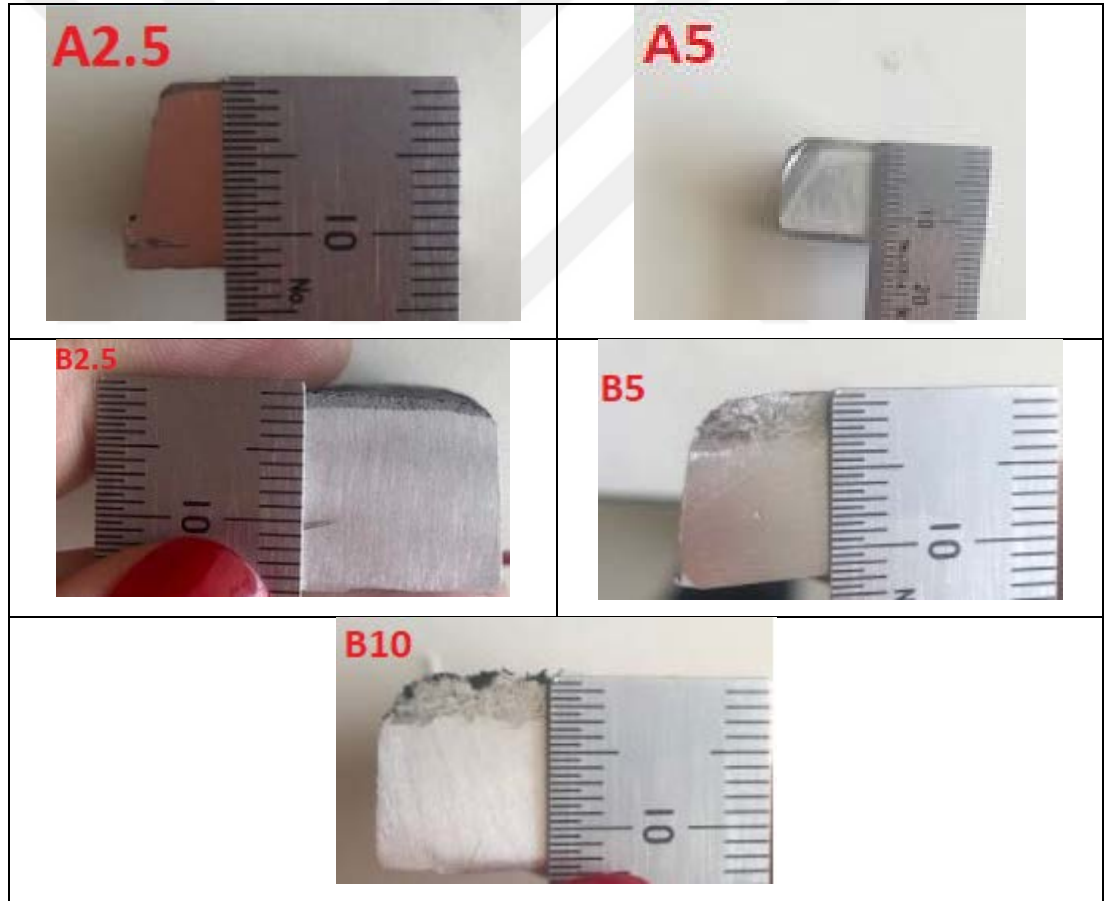
Şekil 5.5: B5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 5.6: B10 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.

Şekil 5.1’de matris alaşımının mikroyapısı verilmiş olup, A numunelerinin dökme demir talaşı takviyesi tane boyutu küçük olarak takviye edilmişken B numuneleri daha büyük tane boyutu ile takviye edilmiş ve verilen optik mikroskop görüntülerinde de anlaşılmaktadır. Mikroyapılar 50x-100x-200x büyütmelemlerde incelenmiştir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 %2,5 ve %5 hacim oranında A numunelerinin mikroyapısı, Şekil 5.4, 5.5, 5.6, incelendiğinde %2,5, %5, %10 hacim oranında B numunelerinin mikroyapısı verilmiştir. Dökme demir talaşının değişik şekillerde matrise battığı gözlemlenmiştir. Dökme demir talaşı ve matris bölgeleri oklarla belirtildiği gibi gösterilmiştir.

Parçaların makro düzeyde yüzeye 1-3mm olarak üretildiği gözlenmiştir. Şekil 5.7’ de verilmiştir.



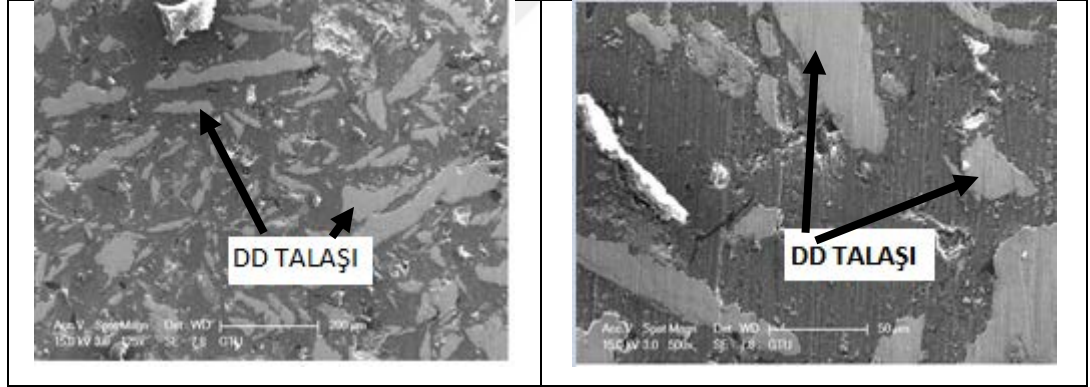
Şekil 5.7: Makro düzeyde incelenen dökme demir talaşı takviye edilen numuneler.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde matris içinde homojen dağılım gözükmemektedir. Artan tane boyutu ve artan hacim oranında dökme demir talaşının matriste homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.

Hacimce %2,5 ve %5 dökme demir talaşı ile takviye edilen ~~olan~~ tane boyutu küçük olan A numunelerinde Şekil 5.2 ve 5.3’de gösterildiği gibi gözeneklik belirlenmiştir. Bu sistemde tane boyutu artıkça gözeneklik probleminin daha az olduğu ancak artan hacim oranında da gözenek probleminin olduğu belirlenmiştir. B2.5, B5, B10 numunelerinin mikroyapı analizleri incelendiğinde dökme demir talaşı ve matris bölgesinde inklüzyon oluşmadığı Şekil 5.4, 5.5, 5.6’da gösterilmiştir. Üretim yöntemi iyileştirilerek çalışmalara devam edilebilir.

5.1.2. SEM mikroyapı analizi ve EDS Yöntemi ile Elementel Analiz

Yapılan çalışmalarda taramalı elektron mikroskobu ile (SEM) kullanılarak mikro düzeyde metalografi olarak incelenmiştir. Yapılan incelemede matris/takviye uyumu dökme demir talaşının olduğu bölgelerden alınarak yapılmış ve 125x-500x olarak dökme demir talaşının tespiti amacıyla incelemeler yapılmıştır. EDS analizi ile elementel analiz yapılarak A356 da Al, Si, Mg oranı ve dökme demir talaşında Fe oranı belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

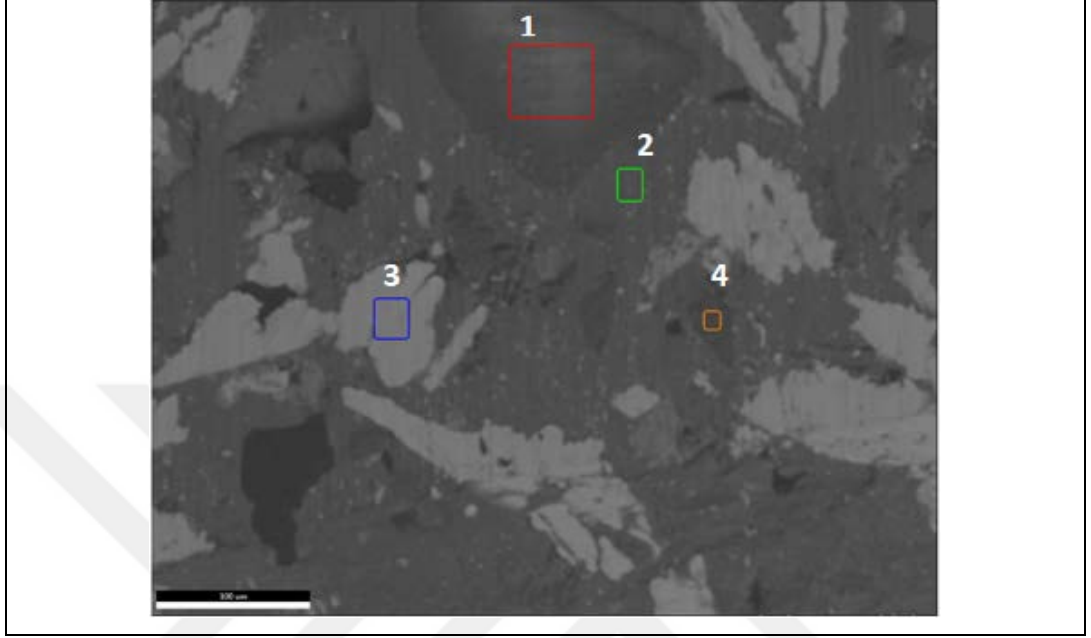


Şekil 5.8: A2.5 takviye matris arayüzeyinin SE modlarındaki SEM görüntüsü.

SEM görüntüleri incelenmiş ve belirlenen bölgelerden EDS analizleri alınmış. Şekil 5.8 incelendiğinde dökme demir talaşı işaretlenmiş geriye kalan kısım matris olduğu kolayca anlaşılmaktadır. Takviye boyutunun küçük olmasından dolayı Şekil 5.8’de belirtilen 125x büyütmede anlaşılabileceği gibi takviyeler küçük ve sık oranda matrise dağılmıştır.

EDS analizlerinde Al, Fe, Si beklenen şekilde analizlerde bulunmaktadır. Ancak bazı bölgelerde oksit oluşumu gözlemlenmiştir. Belirlenen bölgelerde A356

alaşımında bulunan elementler ve dökme demir içeriğinin Fe olarak zengin olması ile alaşım elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. A2.5’den alınan EDS görüntüleri Şekil 5.9’da verilmiştir.

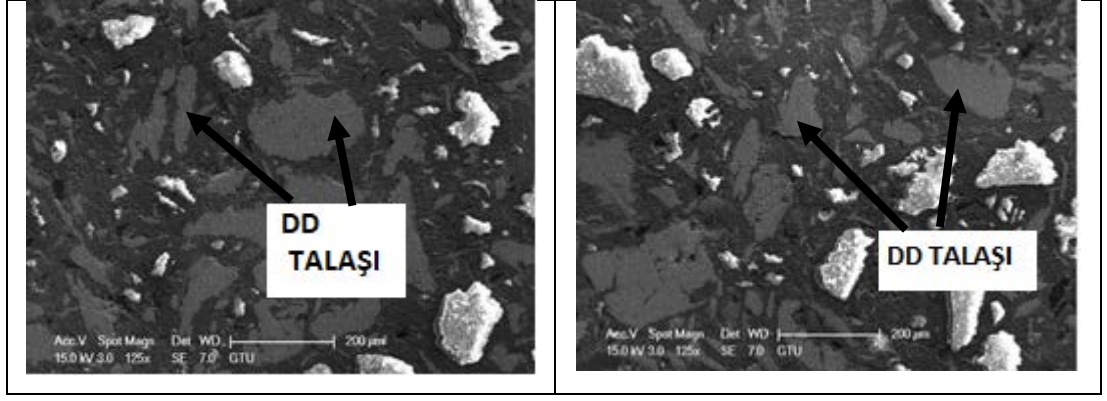


Şekil 5.9: A2.5 numunesinin alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.2: A2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Fe
1	39,58	0,9	59,51	-
2	10,56	84,08	5,36	-
3	1,74	-	3,56	94,7
4	43,83	1	55,18	-

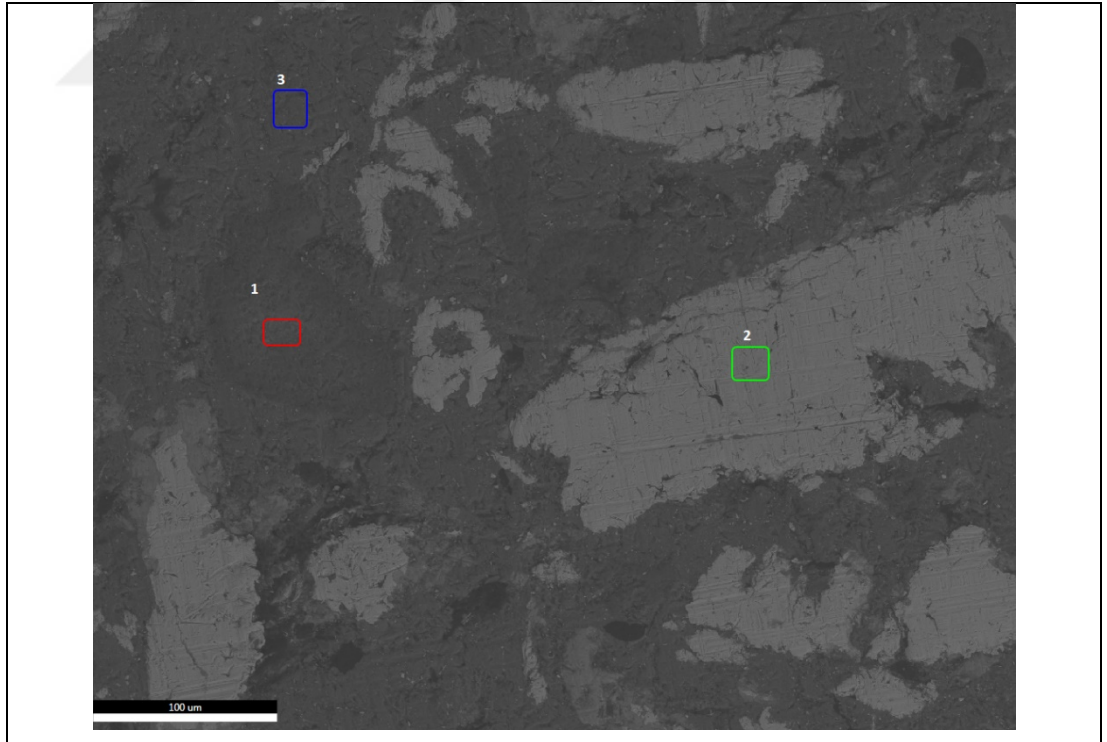
SEM, EDS, optik mikroskop görüntüleriyle beraber Şekil 5.9’daki bölgeler incelenmiş matris, takviye ve arayüzeyden alınan bölgelerden alınan sonuçlar ve Tablo 5.2’de paylaşılmıştır. İncelendiğinde ise matris bölgesi alüminyum alaşımından oluştuğu için %Al olarak zengin, takviye bölgesinde dökme demir talaşında fazla miktarda bulunan Fe elementinin oranın yüksek olduğu gözlenmiştir. Si miktarı A356 alaşımından kaynaklı Al-Si alaşımı olduğu için matris bölgesinin olduğu yerde çıkması normaldir ancak numunenin özellikle 1. Bölgesinde yüksek oranda oksijen varlığı söz konusudur. Yüzeyde oluşan oksit kaynağının bir göstergesidir.



Şekil 5.10: A5 takviye matris arayüzeyinin SE modlarındaki SEM görüntüsü.

Şekil 5.10’da %5 hacim oranında dökme demir talaşı takviye edilerek üretilen numunelerin SEM analizinde A2.5 numunesiyle benzer görüntüler elde edilmiş ve dökme demir talaşı okla gösterilmiştir. A2.5 numunesine göre talaş oranının fazla olması çıplak gözle görülür şekilde de fark edilmektedir.

SEM görüntüleri incelenmiş ve EDS için 3 farklı bölge taranmıştır. Taranan görüntüler Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11: A5 Numunesinden alınan EDS bölgeleri.

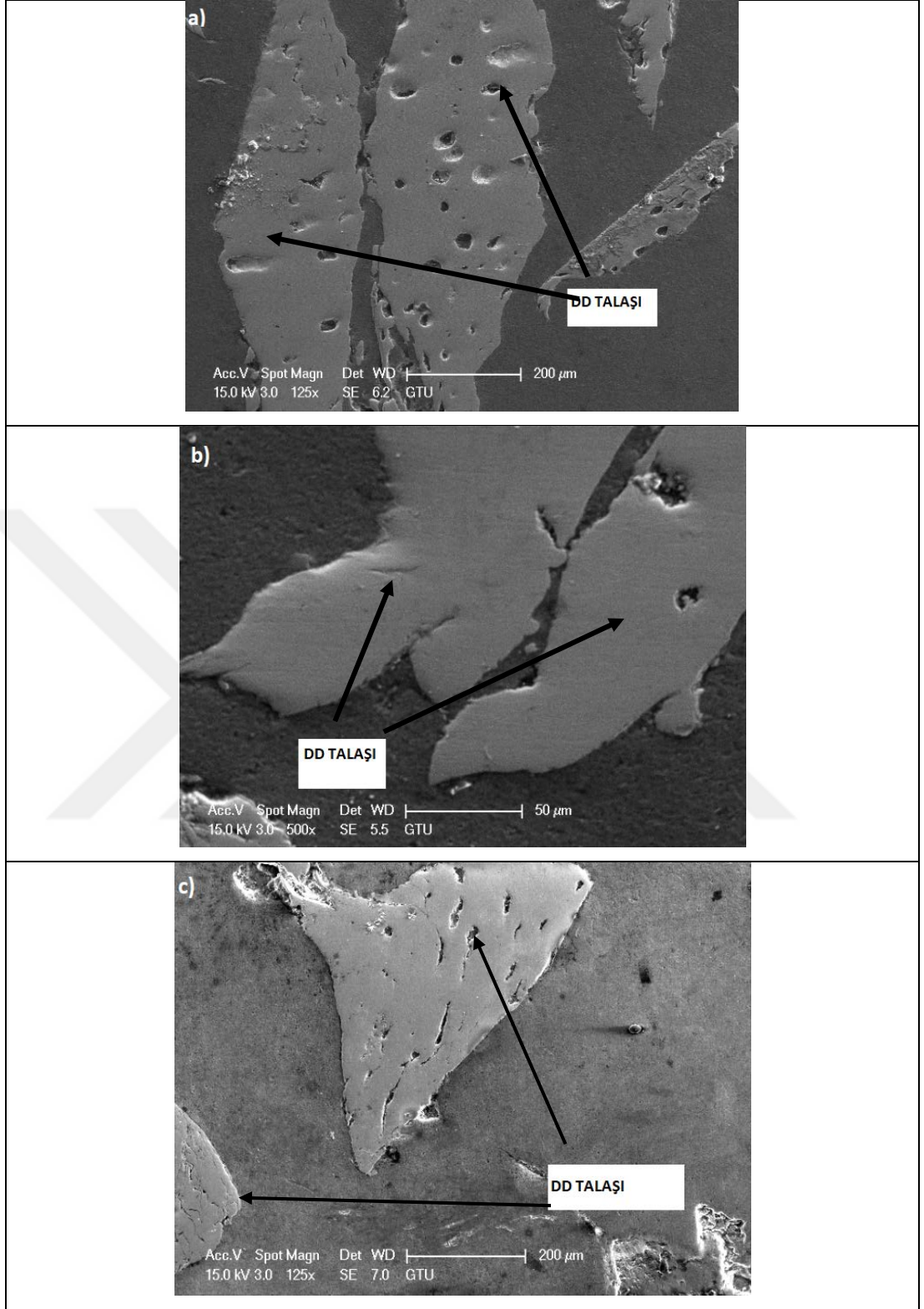
Tablo 5.3: A5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Fe
1	40,5	1,48	58,1	-
2	1,86	0,78	3,89	93,47
3	13,25	76,99	9,76	-

A5 numunesi için Tablo 5.3’de EDS bölgelerinden alınan görüntülere göre elementlerin oranları verilmiştir. A2.5 numunesinde olduğu gibi matris ve dökme demir talaşının ara yüzey kısmında 1. Bölgede görüldüğü üzere oksijen miktarı fazladır. Matris bölgesinde Al ve Si oran olarak daha fazlayken takviyenin olduğu bölgede yüksek oranlarda demir oranını olduğu gözlenmiştir.

B numuneleri tane boyutu büyük olan dökme demir talaşı ile üretilmiş olan numunelerdir ancak A numunelerinde hacimce %10 takviye edilmiş dökme demir talaşı ile üretilmemiştir. Tane boyutu büyüdükçe hacimce %10 olan dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numuneler üretilebilmiştir.

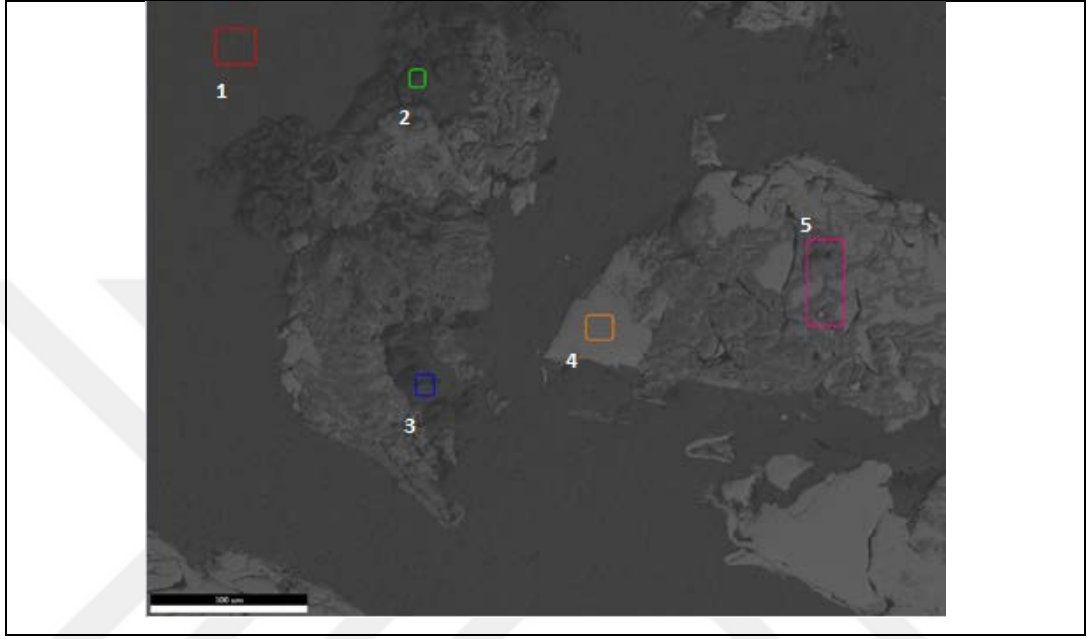
B numunelerinin farklı büyüklüklerde SEM görüntüleri incelenmiş ve optik mikroskop ile incelenen görüntüleri desteklemiştir ve EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 5.12: a) B2.5 b) B5 c) B10 takviye matris arayüzeyinin SE modlarındaki SEM görüntüleri.

Şekil 5.12’de sırasıyla B numunelerinin SE modunda görüntüleri verilmiştir. B2.5 hacimce %2,5 dökme demir takviyesi ile B5 hacimce %5 dökme demir talaşı

takviyesi, B10 hacimce %10 takviye edilmiş numuneler sırasıyla verilmiştir ve dökme demir talaş takviyesi oklar ile gösterilmiştir. Takviye boyutu A numunelerine göre büyük olduğu optik mikroskop ve SEM görüntülerinden de anlaşılmaktadır. Matris homojen olarak battığını gözlenmiştir. SEM görüntüleri incelendikten sonra EDS analizleri sırasıyla yapılmıştır.



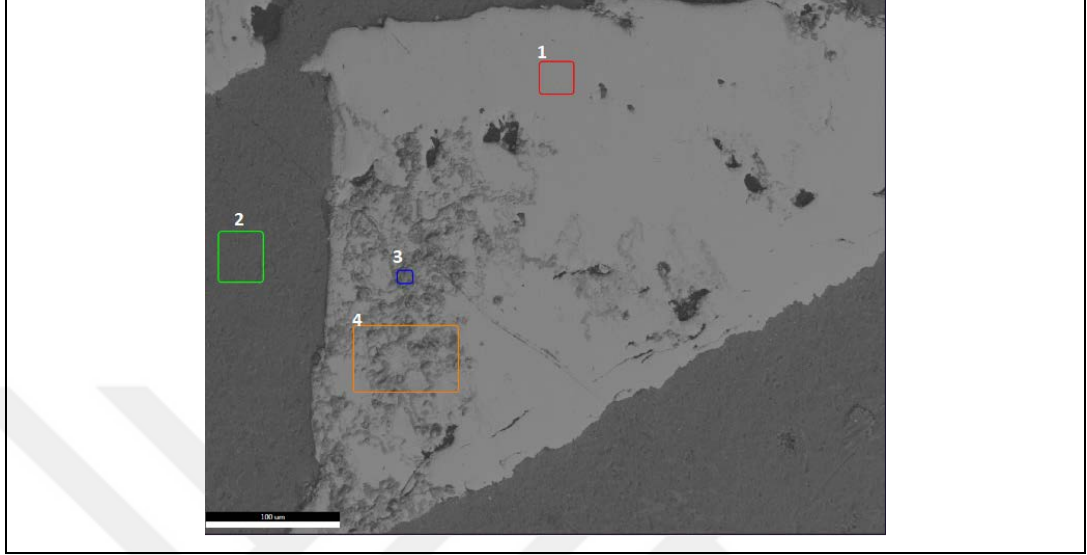
Şekil 5.13: B2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.4: B2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Fe	%Cl
1	7,12	86	6,88	-	-
2	-	34,93	57,73	-	7,54
3	1,8	39,62	52,7		5,88
4	1,48	-	2,37	96,14	-
5	1,19	0,64	22,57	74,63	0,98

B2.5 numunesinde EDS analizi yapılmış ve alınan bölgeler Şekil 5.13’de verilmiştir. Tablo 5.4’de B2.5 numunesinden alınan EDS bölgelerinden elementlerin varlığı incelenmiş ve A numunesinde olduğu gibi matris yüzeyinde alüminyum olmasından kaynaklı oksit oluşumunu hızlı olduğu ve A356 alaşımında Al-Si alaşımı olduğu için Al ve Si varlıkları gözlenmiş dökme demir talaşında Fe elementinin

beklenildiği gibi pik göstermiştir. A numunelerinden farklı olarak Cl elementinin numuneler hazırlanırken iyi derece kurutulmayışından kaynaklı suya bağlı olarak Cl elementine rastlanmıştır.



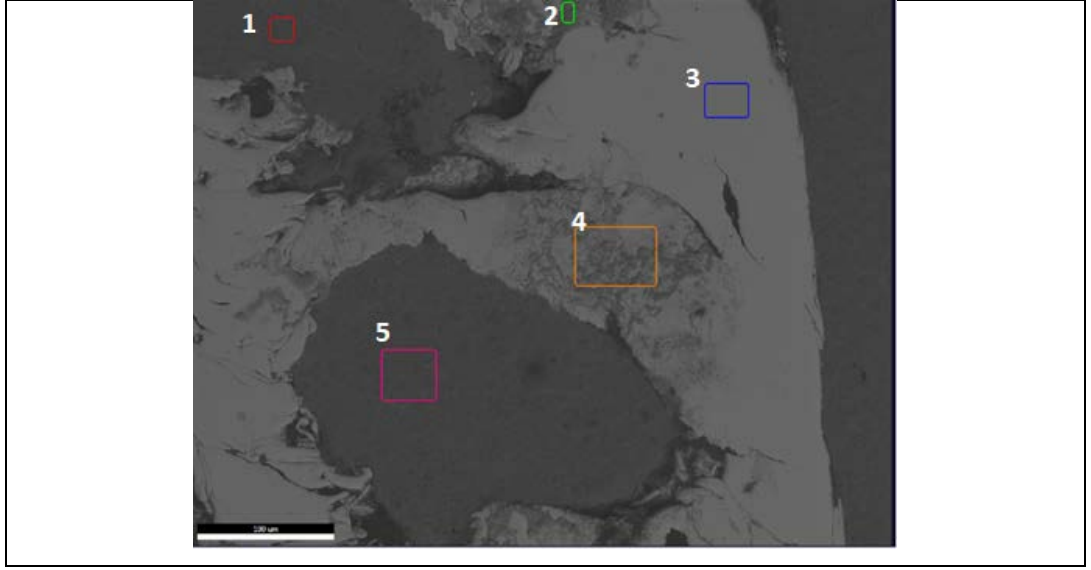
Şekil 5.14: B5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Şekil 5.14’de B5den numunesinden alınan EDS bölgeleri diğer numunelerde olduğu gibi arayüzey, takviye ve matristen alınmıştır.

Tablo 5.5: B5 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Fe	%Cl
1	1,91	-	2,8	95,29	-
2	14,48	78,92	6,61	-	-
3	1,82	1,92	34,93	60,18	1,16
4	1,74	1,01	14,39	82,85	-

Tablo 5.5 incelendiğinden B5 numunesinden alınan EDS bölgelerinde Si, Al, Fe elementleri beklenen matris ve takviye bölgelerinden mevcutken Cl elementi B2.5 numunesinde olduğu gibi takviyede üzerinde oluşmuş ve numune hazırlama sırasında numune üzerindeki kalan sudan kaynaklı olduğu söylenebilir.



Şekil 5.15: B10 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Şekil 5.15’de elementel analiz yapılan EDS bölgeleri verilmiştir. Matris, takviye, arayüzeyde oluşan yapıların B2.5 ve B5 numunelerine benzer görüntüler elde edilmiştir.

Tablo 5.6: B10 numunesinin EDS bölgeleri ve % ağırlıkça element oranları.

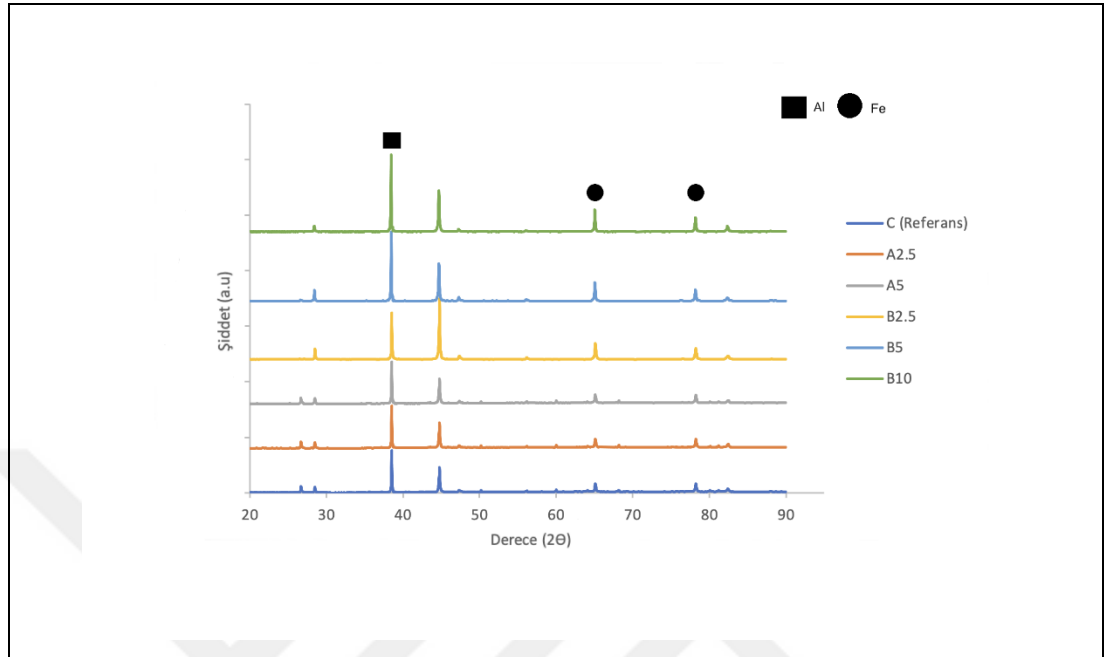
EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Fe	%Cl
1	14,15	78,62	7,23	-	-
2	1,58	5,09	29,79	62,6	0,94
3	2,18	-	2,8	95,02	-
4	2,01	0,46	15,54	81,21	0,78
5	10,46	81,09	8,45	-	-

Tablo 5.6’da verilmiş olan B10 numunesi incelendiğinde B2.5 ve B5de oluşan elementlerden farklı bir element görülmemiştir. Genel olarak numunelerde oksit oluşması matris yüzeyinde daha fazla oluşmuşken; Cl elementi ise dökme demir talaşında yüzeyinde daha fazladır.

5.1.3. XRD Sonuçları

XRD sonuçları SEM-EDS analizlerini desteklemek için yapılmıştır. Takviye yapılmış numunelerde oluşan fazların analizleri incelenmiştir. Referans numunede Al-

Fe pikleri görülmüştür. Matriste Al-Fe pikleri beklenirken, takviyede ise Fe elementi piki beklenmektedir Şekil 5.16’da verilmiştir.

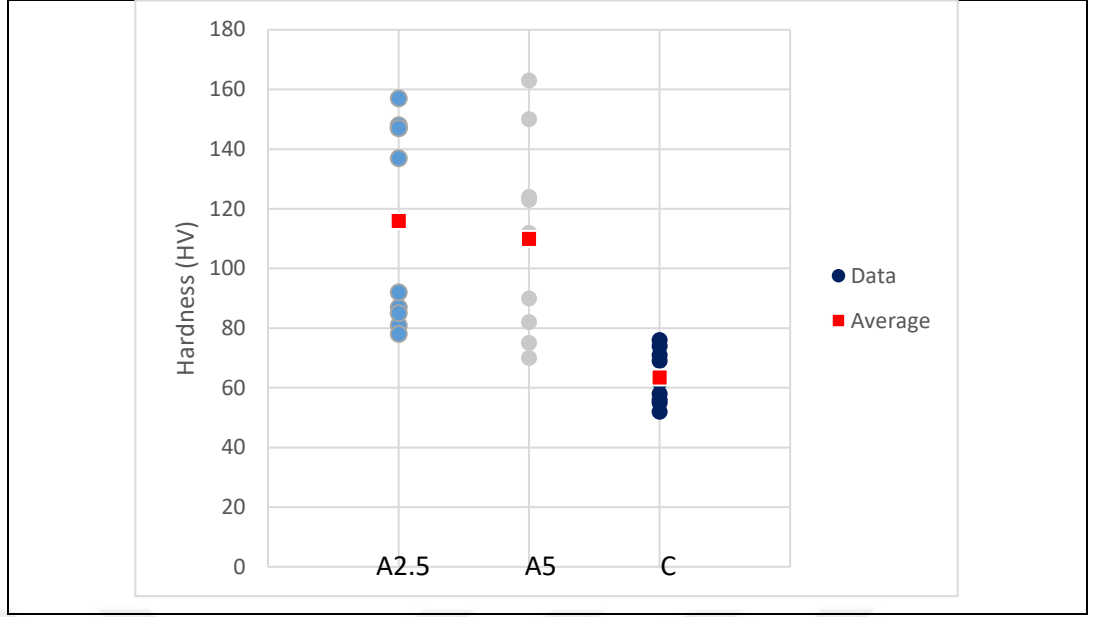


Şekil 5.16: Referans numune ve dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numunelerin XRD grafiği.

Takviye boyutu küçük olan numuneler için Fe elementinde A5 numunesinin piki A2.5’den daha güçlü. Takviye boyutu büyük B numuneleri için de takviye oranı arttıkça Fe pikinin şiddeti artıyor, yani hacim oranında arttıkça Fe pikinin artış gösterdiğini görebiliyoruz.

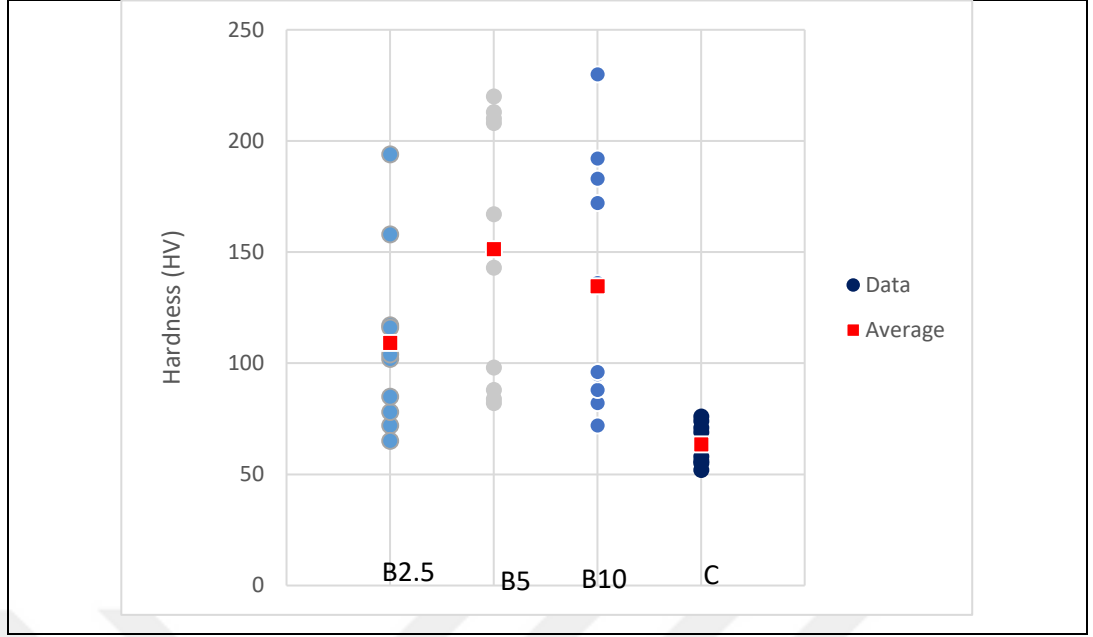
5.1.4. Sertlik Testi Sonuçları

A356 alaşımının sertlik değerleri ile dökme demir talaşı ilave edilen numuneler karşılaştırılmıştır. En az 5 farklı bölgeden sertlikler değerlendirilmiştir. Artan takviye oranı ile sertliklerin arttığı literatürdeki (Reihani, 2006) örnekleri gibi bu çalışmada da dökme demir talaşının ilavesi ile sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Dökme demir talaşı ilave edilen numunelerde matris bölgesine yakın olan yerlerde sertliğin daha düşük olduğu takviye yüzeylerine yakın ya da takviye yüzeyinde sertliğin arttığı gözlemlenmiştir. Dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numunelerde doğrusal bir artış söz konusu değildir. Takviye ve matris bölgelerinde farklı sertlik değerleri mevcuttur.



Şekil 5.17: Farklı takviye oranlarındaki A numuneleri ile C numunesinin sertlik sonuçları.

A numunelerin sertlik değerleri incelenmiş ve Şekil 5.17’de verilmiştir. C numunesi takviyesiz referans numunedir %2,5 ve %5 tane boyutu küçük olan dökme demir talaşı takviyesi ile takviye edilmiş numunelerdir. 1 kg yükte Vickers uç kullanılarak 10s batma süresinde ve her numuneden 10 farklı ölçüm ile bakılan sertliklerde C numunesinin sertlik değerleri Al alaşımı olduğu bariz bir şekilde belli iken dökme demir talaşının takviye oranının artması ile sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Grafikte matris bölgesine yakın noktalardan alınan değerler matris sertlik değerine yakın iken dökme demir talaşı takviyesine yakın olan bölgeden alınan sertlik değerleri matris bölgesinden çok daha yüksektir böylece takviye miktarı arttıkça takviyenin olduğu bölgede sertlik değerinin matris bölgesinden çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.18: Farklı takviye oranlarındaki B numuneleri ile C numunesinin sertlik sonuçları.

B numunelerin sertlik değerleri incelenmiş ve Şekil 5.18’de verilmiştir. A numunelerinde olduğu gibi Vickers uç ile 1 kg yük uygulanmıştır. C numunesi takviyesiz referans numunedir %2,5, %5, %10 tane boyutu büyük olan dökme demir talaşı takviyesi ile takviye edilmiş numunelerdir. Sonuçlar incelendiğinde takviye oranının artması ile takviyesiz numuneye göre sertlik değerlerinin arttığını görülmektedir. Ancak %2.5, %5, %10 takviye edilen numunelerde matris bölgesinde çıkan değerlerde birbirine yakındır. Dökme demir talaşına yakın olan bölgeden sertlik değerleri daha yüksek iken ortalama değerlerde bu takviye oranının artması ile doğrusal olarak artmamıştır ancak artan tane boyutu ile artmıştır.

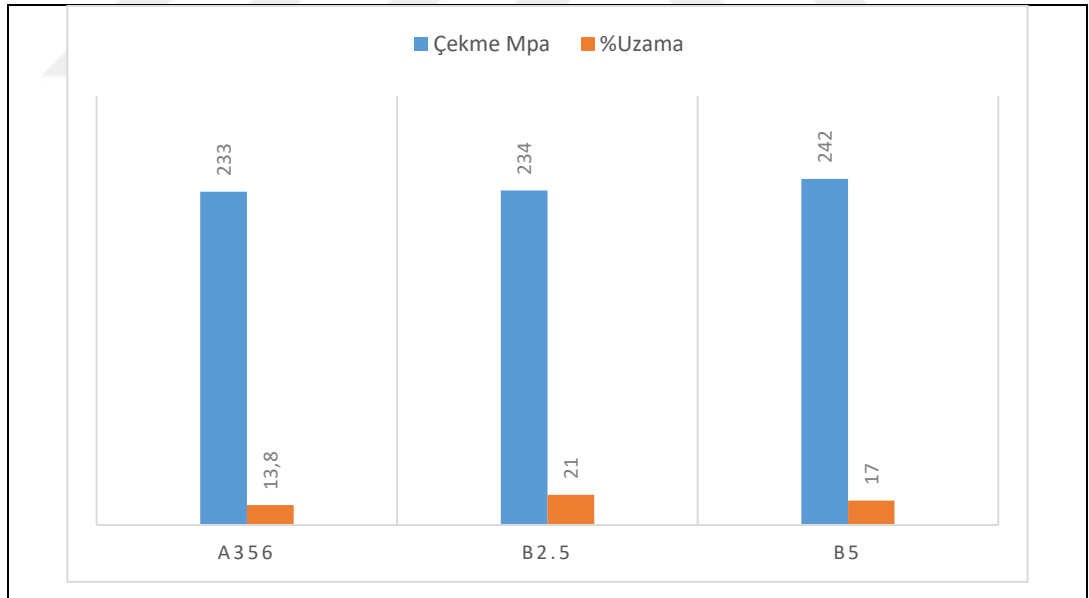
SEM analizi yapılan numuneler image analyzer programı ile yüzeydeki dökme demir talaşı oranı 2’şer kez yüzey taranmış ve ortalama değerleri verilmiştir. %2.5, %5 ve %10 oranlarında matrise dökme demir talaşı katılmıştır ancak yüzeydeki hacim oranları ortalama % 40 dolaylarında olduğu Tablo 5.7’de verilmiştir. Bu demek oluyor ki katılan hacim oranlarındaki değer ile bunun çok birbirine bağlı olmadığını görüyoruz. X-Ray sonuçlarına göre oran arttıkça % alanda da biraz artış beklenirdi. B grubunda bunu görmüyoruz, bunun nedeni SEM görüntüsünün dar bir alandan bilgi vermesi olabilir.

Tablo 5.7: Dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerin HV sertlik değeri ve Image analyzer programı ile ölçülen dökme demir talaşının yüzey alan oranı.

Numuneler	Sertlik (HV)	% Alan
A2.5	115	32
A5	109	44
B2.5	110	49
B5	151,3	42
B10	134,6	40

5.1.5. Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi numunelerinde metalografik incelemeler, aşınma sonuçlarının etkisi göz önünde bulundurularak kalın tane boyutuna sahip B numuneleri %2,5 ve %5 hacim oranları ile Alüminyum alaşımının çekme çubukları üretilmiştir. %10 hacim oranına sahip dökme demir talaşı %10 hacim oranına sahip SiC takviyeli numunelerin üretilmemesi ve karşılaştırma yapabilmek için üretilmemiştir.



Şekil 5.19: Çekme test sonuçları.

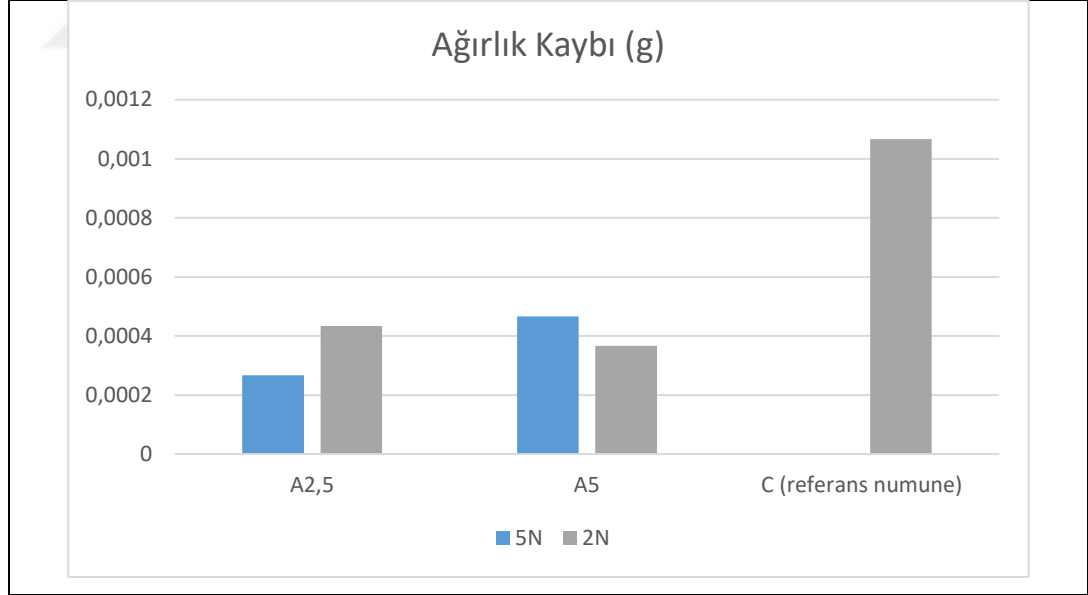
Şekil 4.10'da gösterilen numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Şekil 5.19'da sonuçlar verilmiştir. C numunesi referans numune olup takviyesiz olarak üretilmiştir B numuneleri %2,5, %5 olarak takviye edilerek çekme testi sonuçlarında çekme değerinde az da olsa artış meydana gelirken uzama değerlerinde takviyenin artışı ile

uzama değeri azalmıştır. Takviye oranının artması ile çekme ve akma değerlerinde artış gözlemlenirken daha fazla takviye içeren numunelerin uzama oranının daha az olduğu literatürde de olduğu gibi (Dhanashekar & Kumar , 2014) gözlenmemiştir. Bunun sebebi çekme numunelerinde sadece belli kısımlara denk gelen takviyelerin doğru sonuç vermeyeceği düşünülmektedir.

5.1.6. Aşınma Testi Sonuçları

Çalışmada aşınma testleri pin on disk cihazı yardımıyla dökme demir talaşı takviyeli kompozitler ve referans numuneye sırasıyla 5N ve 2N yükün aynı numuneye 0,1 m/s hızda 250 metre üçer tekrarlı olmak üzere testler gerçekleştirilmiştir.

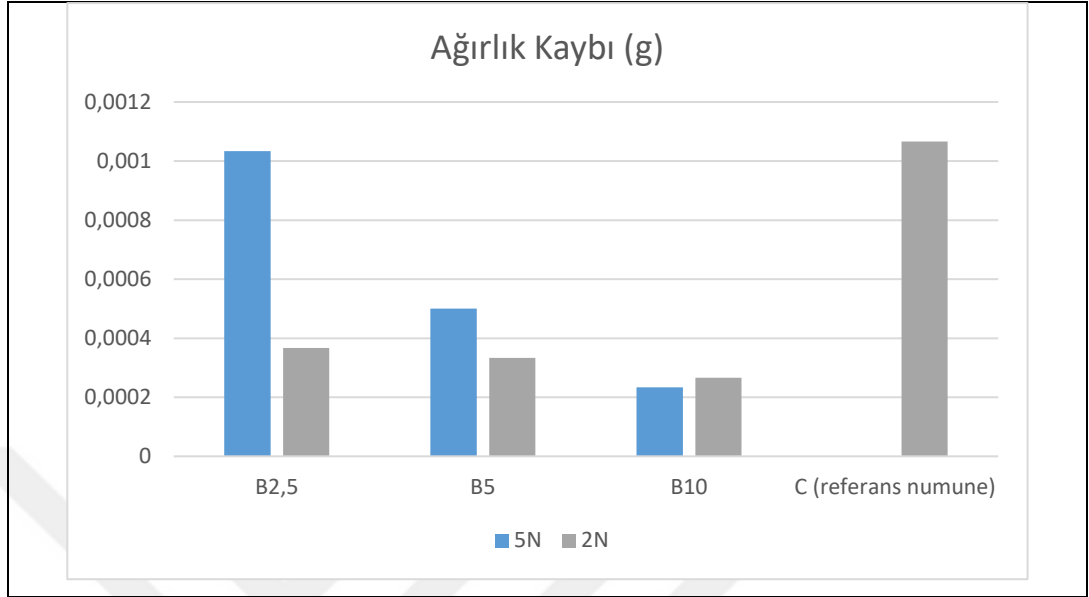
Aşınma testi öncesinde numunelerin tartımları alınmış 3 tekrarlı aşınma sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları incelenmiştir. Alüminyum numunesi 2N yük uygulanmış ancak 5N yük uygulanamamıştır. Dökme demir talaşı ile takviye edilen numuneler tane boyutu küçük olan A numuneleri ve tane boyutu büyük olan B numunelerine 5N yük uygulanabilmiştir.



Şekil 5.20: A numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.

A numunelerin aşınma kaybı saf alüminyuma göre daha azken takviye oranının artması ile 5N yükte aşınma kaybının daha fazla olduğu, 2N yük uygulandığında ise takviye oranının arttıkça aşınma kaybının daha az olduğu verilmektedir. En az ağırlık

kaybının 0,000266667 g hacimce %2,5 dökme demir talaşı ile takviye edilmiş 5N yük uygulanmış A numunesi olduğu Şekil 5.20’de verilmiştir.

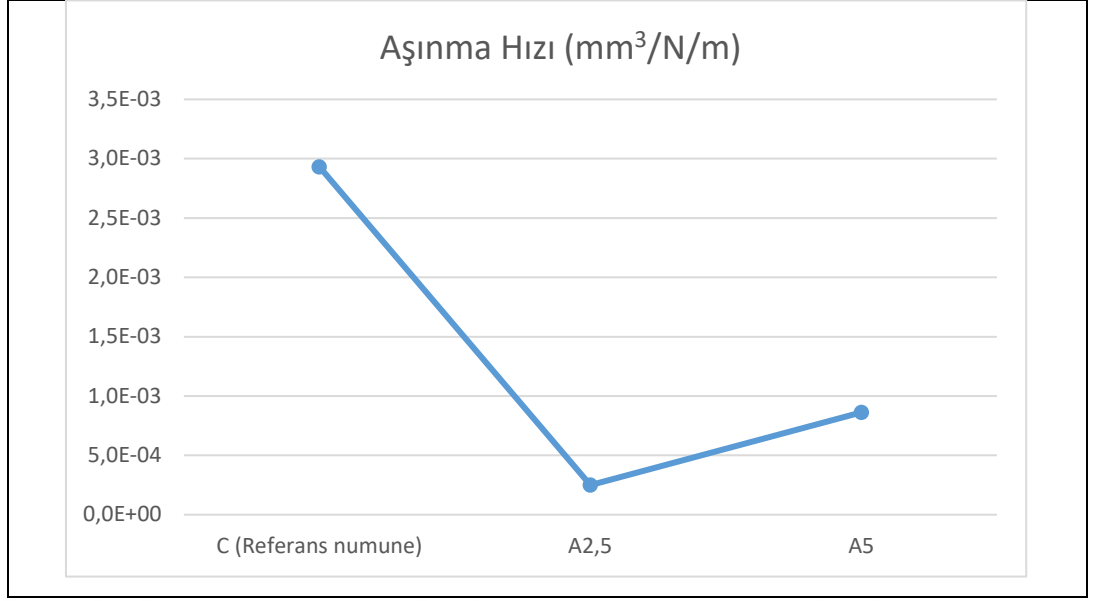


Şekil 5.21: B numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.

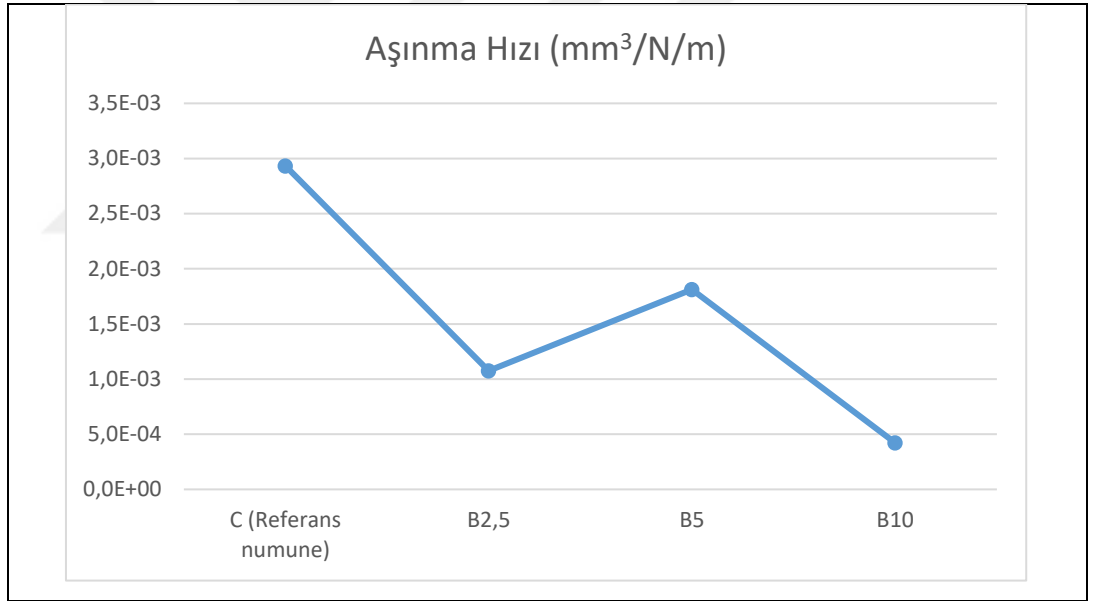
Tane boyutu daha büyük olan dökme demir talaşı takviyeli B numunelerinde artan takviye oranı ve yük ile ağırlık kaybının azaldığı literatürde belirtildiği gibi [Kök ve Özdin, 2007] gözlenmiştir. Şekil 5.21’de verilmiştir.

Genellikle seramik takviyeli kompozit malzemeler, takviyesiz alüminyum alaşım matrisine göre artan takviye oranına göre artan sertliğin etkisiyle aşınma miktarını azaltmaktadır.

Sıkıştırırmalı döküm yöntemi ile üretilen numunelerin aşınma hızının takviye oranına bağlı etkisi 2N ve 5N yükte A numuneleri, referans numune ve B numunelerini incelenmiştir.



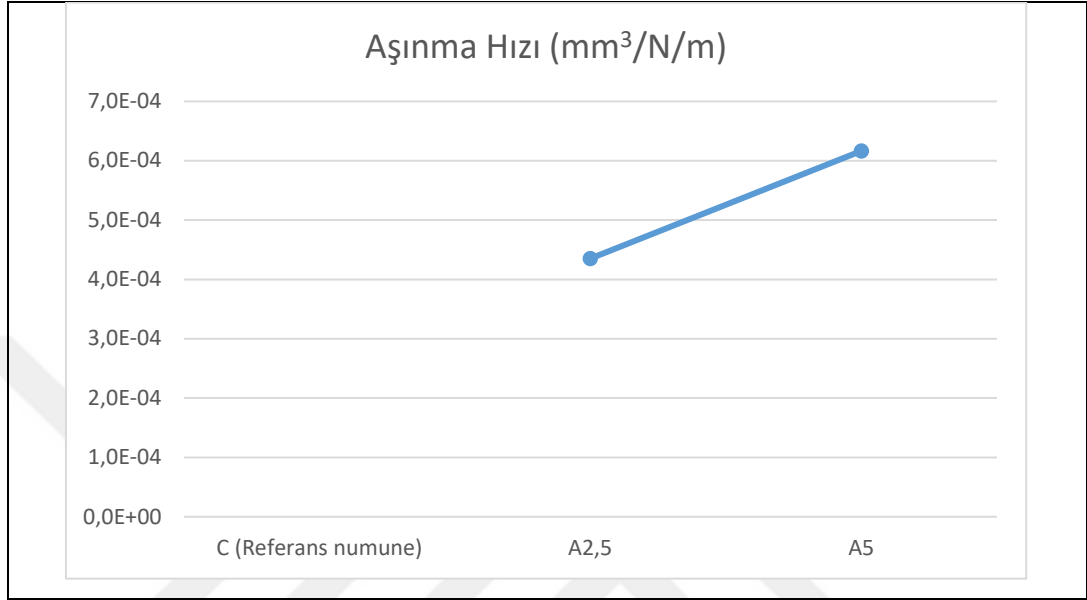
Şekil 5.22: 2N yükte A numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.



Şekil 5.23: 2N yükte B numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.

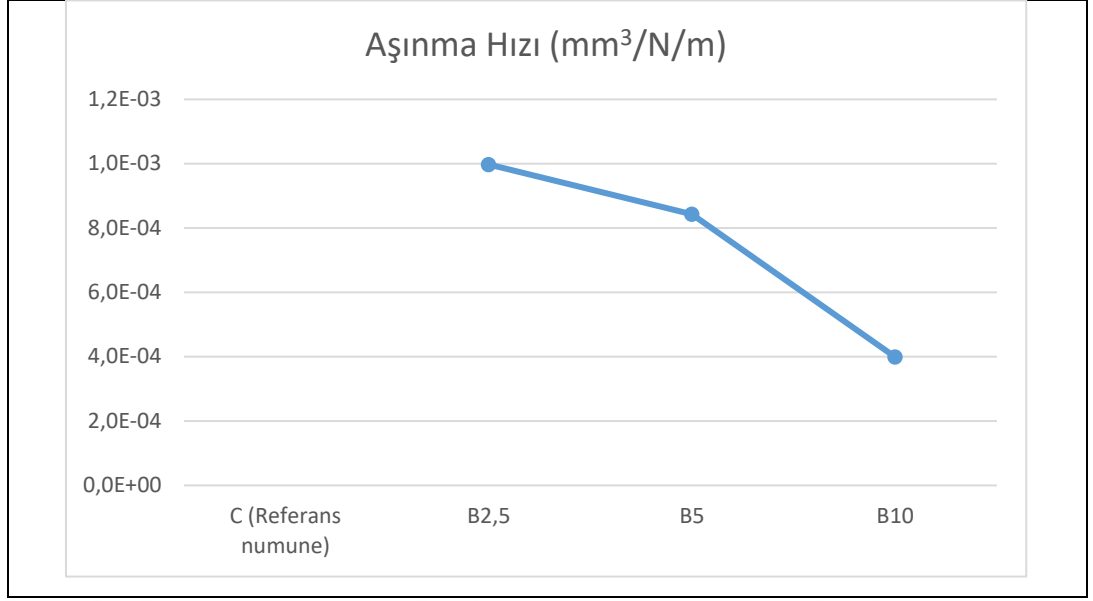
2N yük uygulanarak A, B ve referans numuneye meydana gelen değişimler Şekil 5.22 ve 5.23'de verilmiştir. Takviyesiz A356 alaşımının $2,9 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ olarak tespit edilmiştir. A356 alaşımına tane boyutu küçük dökme demir talaşı ile hacim oranı %2,5 ve %5 takviye edilmiş A numunelerinin aşınma hızları sırasıyla $2,5 \times 10^{-4}$ ve $8,6 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ olarak tespit edilmiş ve Şekil 5.21'de verilmiştir. Şekil 5.26'da B numunelerinde ise %2,5, %5, %10 takviye edilen numunelerin aşınma hızları $1,1 \times 10^{-3}$

³, $1,8 \times 10^{-3}$, $4,2 \times 10^{-4}$ mm³/N.m bulunmuştur. Takviye oranının artması ile aşınma hızının azaldığı gözlenmiştir. Ancak her iki numunede %2,5 ve %5 takviyelerde %2,5 takviye edilen numunede aşınma hızının daha az olduğu belirlenmiştir. Aşınma hızının azalmasıyla aşınma dayanımında iyileşme gözükmemektedir.



Şekil 5.24: 5N yükte A numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.

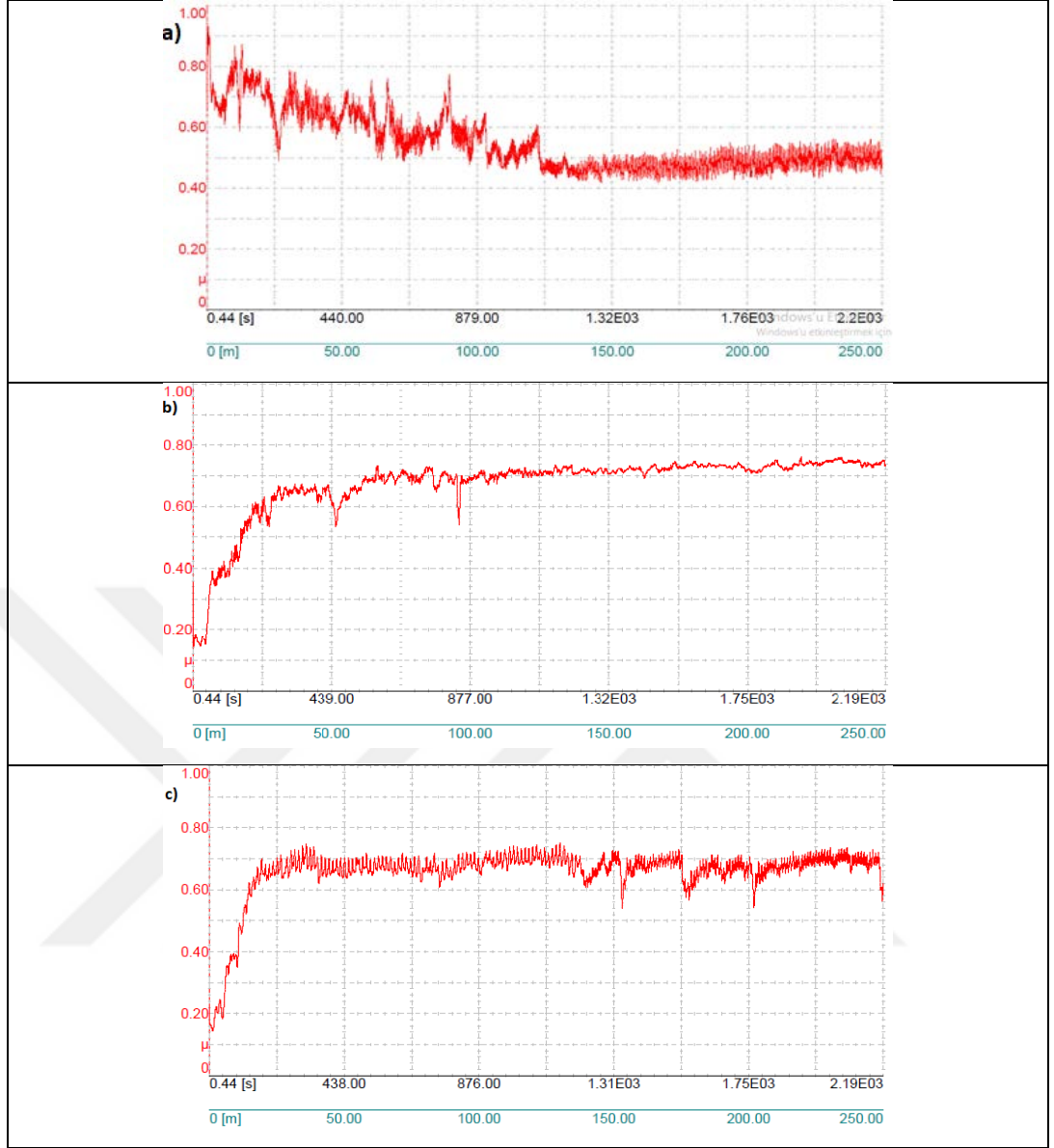
Şekil 5.24’de verilen değerlerde A numunelerine bakıldığında artan takviye miktarı ile aşınma hızının arttığı gözlenmiştir. Takviye elemanının yüzeyde topak oluşma eğiliminde ise numunenin yüzeyinde matris çevreleyen takviyenin hacminin fazla olması numunenin daha fazla aşınma nedeni olabilir.



Şekil 5.25: 5N yükte B numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.

Takviye oranının artması ile aşınma hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak A numunelerinde olduğu gibi %2,5 ve %5 takviyelerde az olan takviyede aşınma hızının daha az olduğu belirlenmiştir. B numuneleri beklendiği gibi artan takviye miktarı ile aşınma hızı azaldığı Şekil 5.25’de verilmiştir. Aşınma hızının azalmasıyla aşınma dayanımında iyileşme gözükmemektedir.

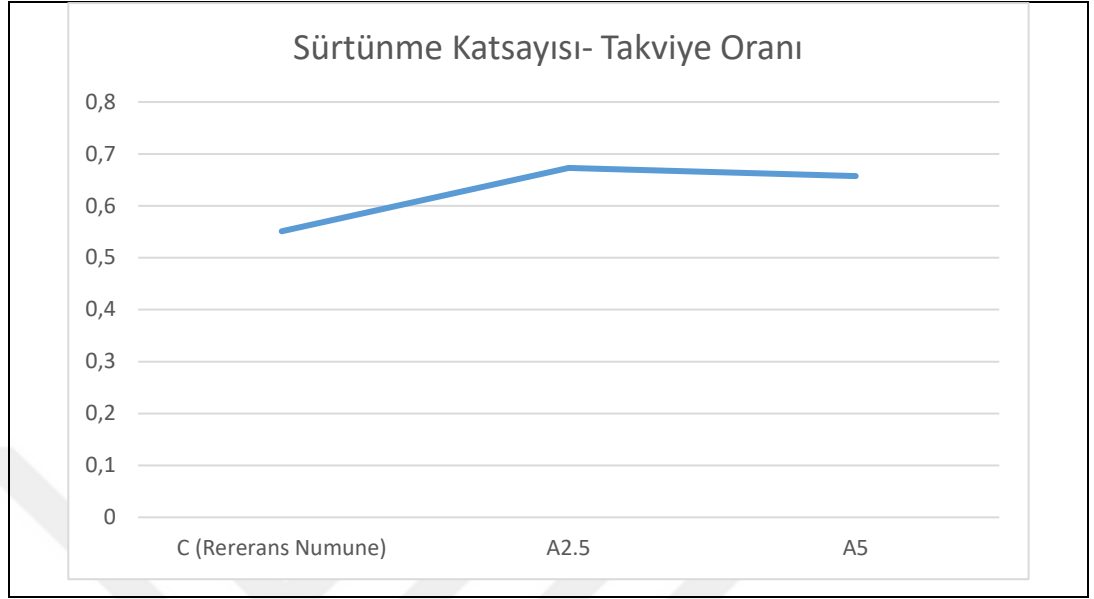
Aşınma deneyleri sonucunda sürtünme aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Referans numune, 2N, 5N 3 er tekrarlı test yapılmış ve hepsinin sürtünme katsayıları incelenmiştir. Sürtünme mesafesi, sürtünme katsayısı arasındaki ilişki değerlendirilmiş grafiklerle verilmiştir.



Şekil 5.26: a) Referans numune b) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş A numunesi c) 2N yük ile %5 takviye edilmiş A numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

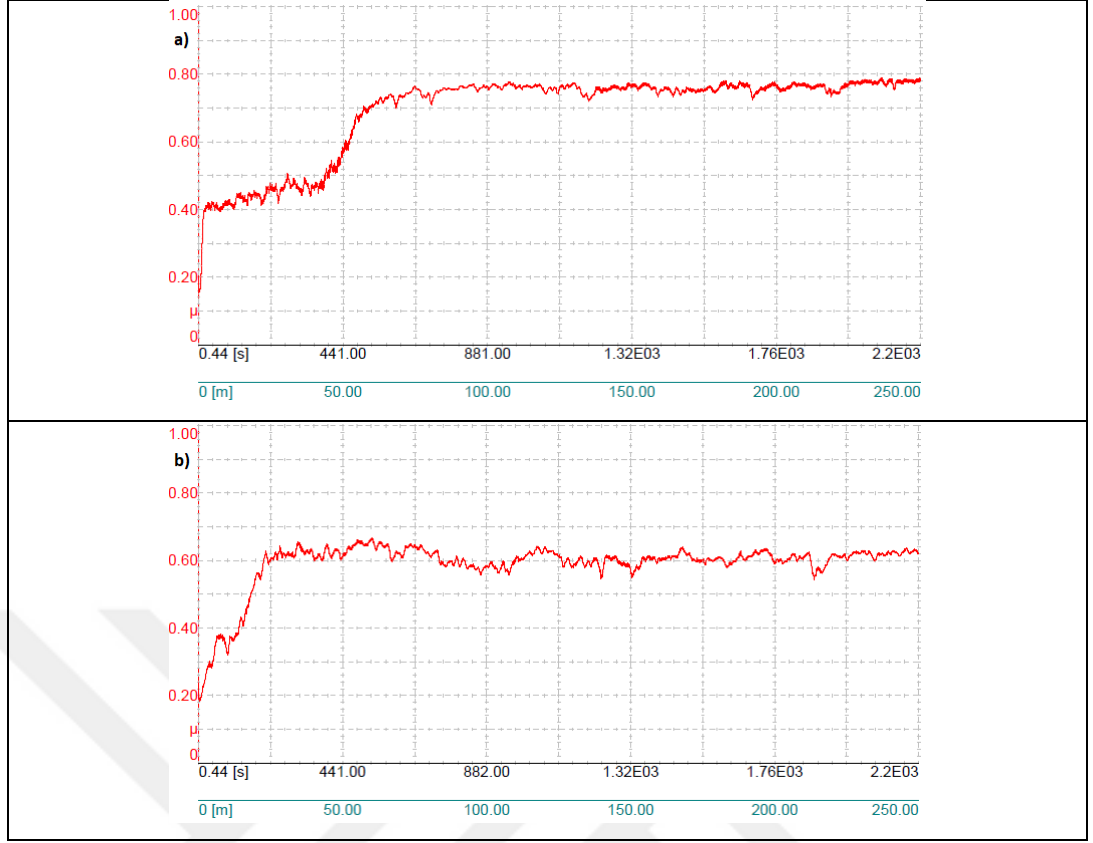
Şekil 5.26'da sürtünme katsayısının 2N yükte referans numune ve A numuneleri arasındaki farklar verilmiştir. Grafikler incelendiğinde referans numunenin sürtünme davranışının takviye edilmiş numunelerden çok farklı olduğu öncelikle sürtünme katsayı değerinin yüksekten başlayarak düştüğü yani zamanla numunede takviye edilmiş numunelerden daha fazla aşınacağı belirlenirken, takviye edilmiş numunelerin sürtünme davranışları incelendiğinde ilk aşınma hareketi ile sürtünme katsayısı %5 takviye edilen numunede sürtünme katsayısı daha kısa mesafede daha hızlı artarken

takviye oranının %2.5 olan numunede daha az hızla meydana gelmiştir. Şekil 5.27’de verilmiştir.



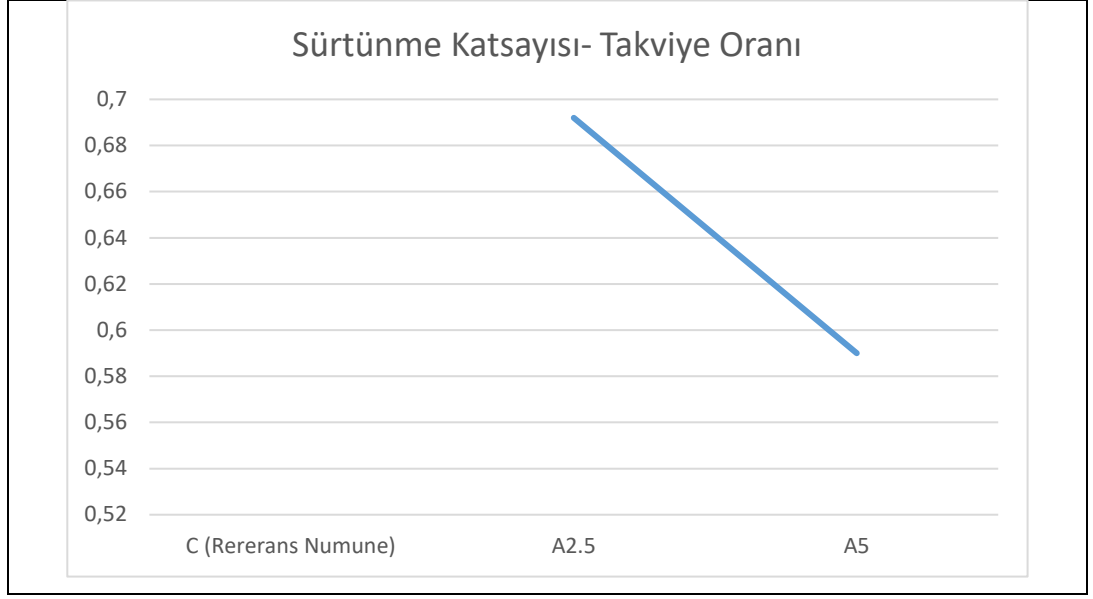
Şekil 5.27: 2N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.27’de takviye oranının artması ile takviye edilmemiş numune ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısı artmıştır. 2N yük uygulanan numunelerde %2,5 ve %5 oranlarında takviye edilen numuneler arasında sürtünme katsayısının takviye oranı arttıkça azaldığı gözlenmiştir.



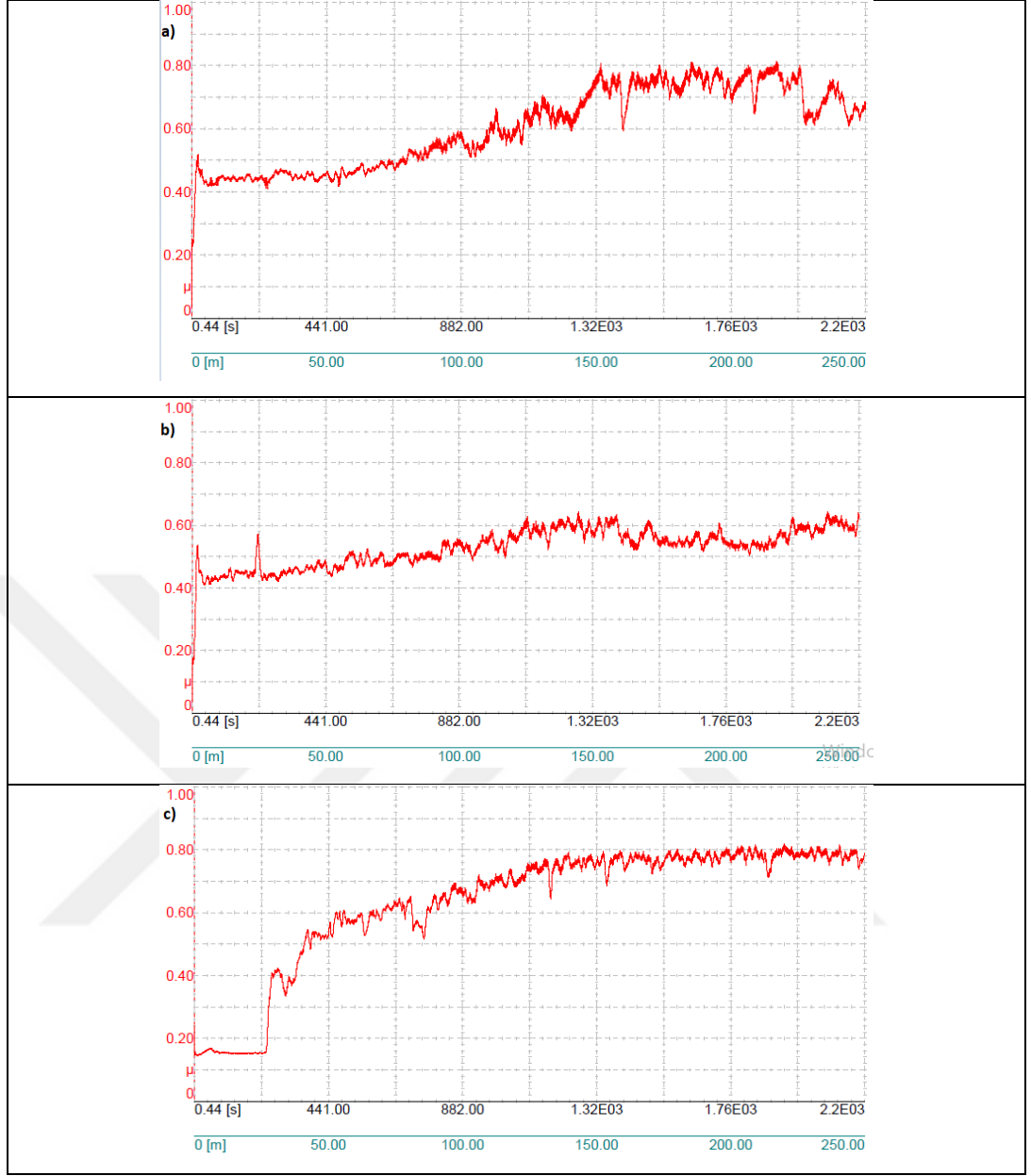
Şekil 5.28: a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş A numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş A numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

Şekil 5.28’de 5N yük uygulandığında C numunesi yani referans numunenin 5N yük uygulanamamıştır. Takviye oranı %2,5 ve %5 olan numunelerin sürtünme katsayı grafikleri incelendiğinde ise farklı tip aşınma davranışı sergilemişlerdir. İlk olarak %2,5 takviye edilmiş numunenin belli bir mesafede aynı sürtünme katsayısındayken %5 takviye edilen numunenin daha hızlı arttığı ancak belli bir mesafeden sonra takviye oranı %2,5 olan numenin giderek daha fazla arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.29: 5N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

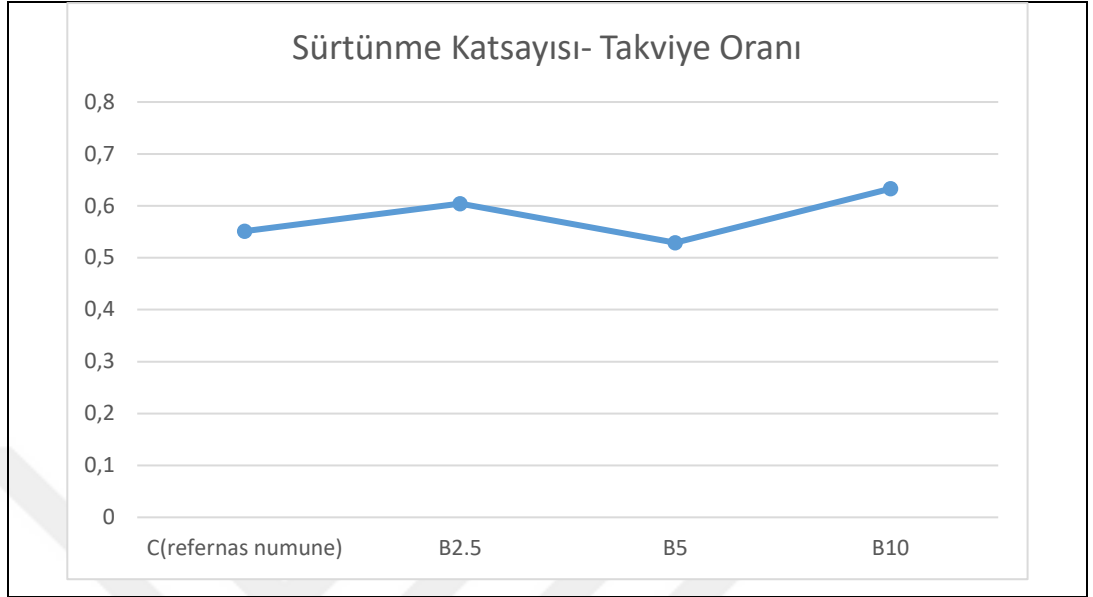
5N yük uygulandığında da takviye oranının artması ile sürtünme katsayısı grafiğinden anlaşıldığı üzere sürtünme katsayısının azaldığı literatürdeki gib [Wu and Tang, 2008] i gözlenmiş ve Şekil 5.29’de sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.30: a) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş B numunesi b) 2N yük ile %5 takviye edilmiş B numunesi c) 2N yük ile %10 takviye edilmiş B numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

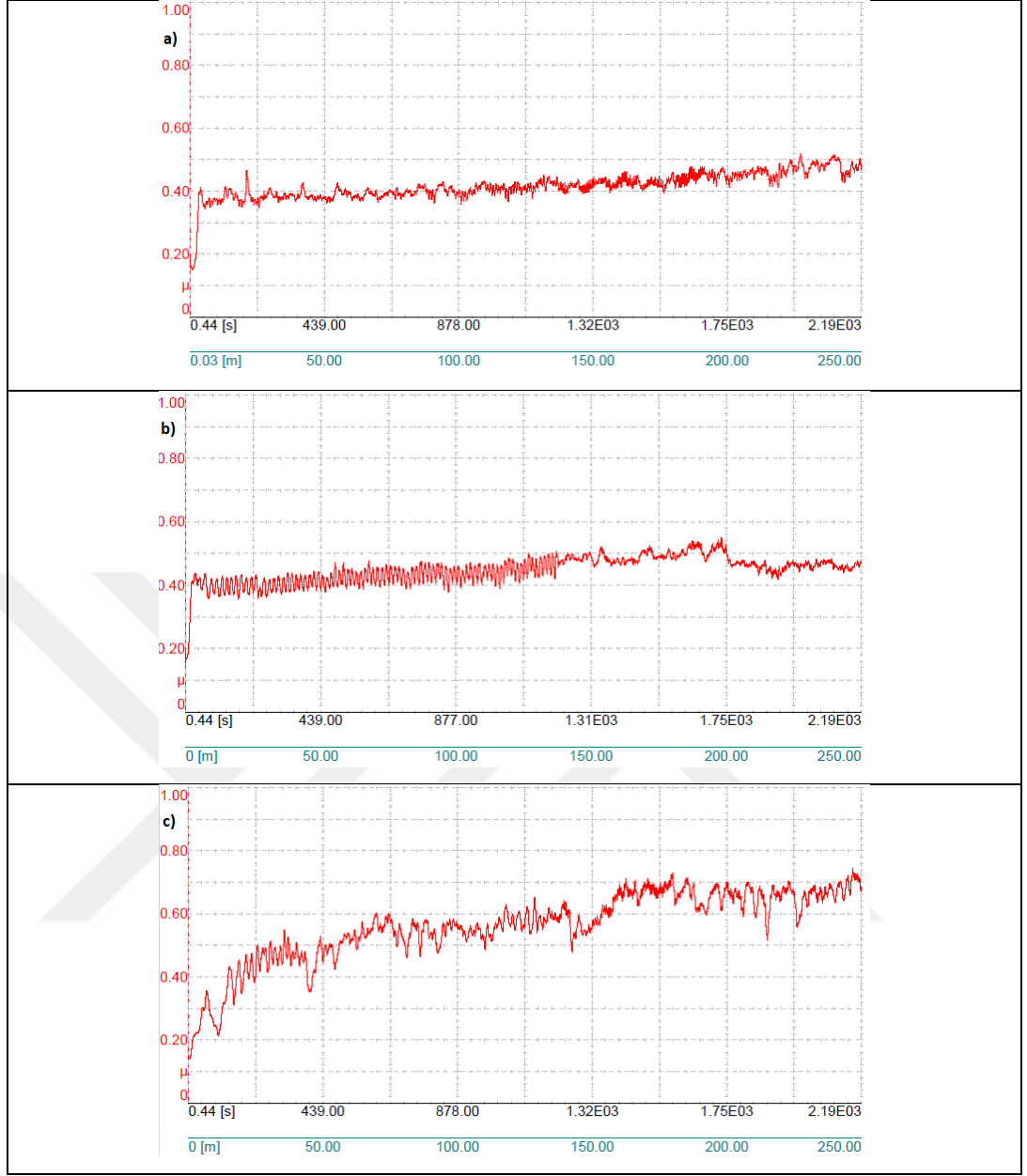
Şekil 5.30’da verilen 2N yükte takviye boyutu büyük olan %2,5, %5, %10 hacim oranında dökme demir talaş takviyeli numunelerin sürtünme katsayı grafikleri verilmiştir. Referans yani takviyesiz numune karşılaştırıldığında çok farklı aşındığı söylenebilir. Referans numunede sürtünme grafiği yüksekte başlayarak alçalırken %2,5 ve %5 takviyeli grafiklerin birbirine benzer olduğu ancak aşınma mesafesinin sonuna doğru gelirken %2.5 takviye edilen numunede artış meydana gelirken %10 takviye edilmiş numunede ilk olarak katsayı değerinin hiç değişmediği sonradan

artarak %2,5 ve %5 takviyesinde katsayısından daha fazla bir katsayıya sahip olmuştur.



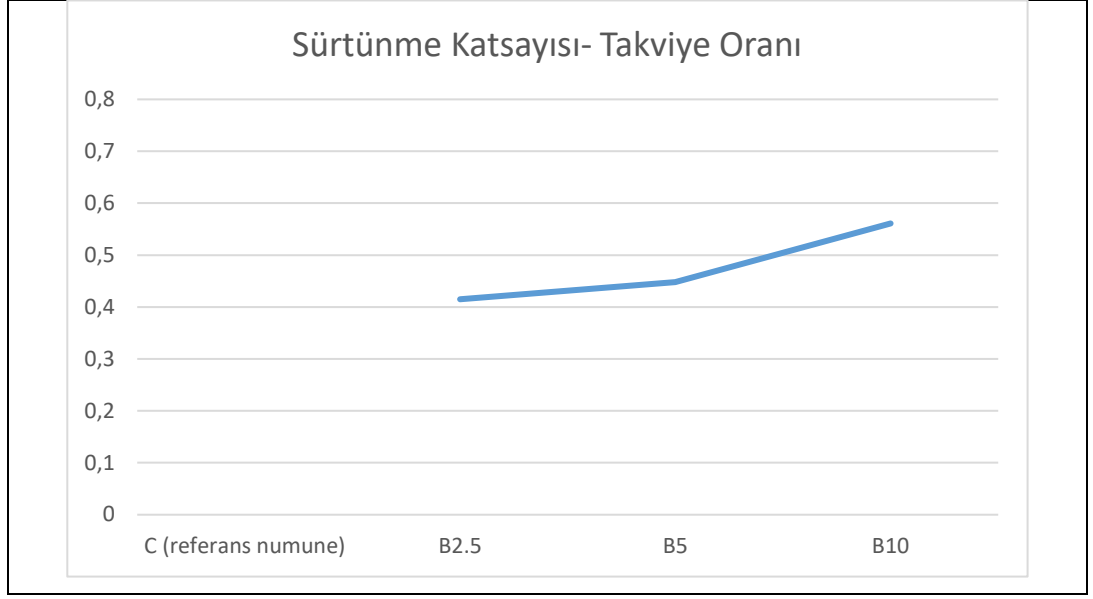
Şekil 5.31: 2N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Takviye oranı arttıkça sürtünme katsayısında artış gözlenmiştir olarak genelleme yapılamamıştır. Şekil 5.31’de %5 dökme demir talaşı takviye edilmiş numunede sürtünme katsayısı referans numuneye göre azdır. Takviye elemanların tekrardan kısmen topaklanma eğiliminde olması ve numune yüzeyinde matris bölgesine denk gelmesinden dolayı takviye hacim oranı artmasına rağmen aşınma direncinin düşmesine neden olmuş olabilir.



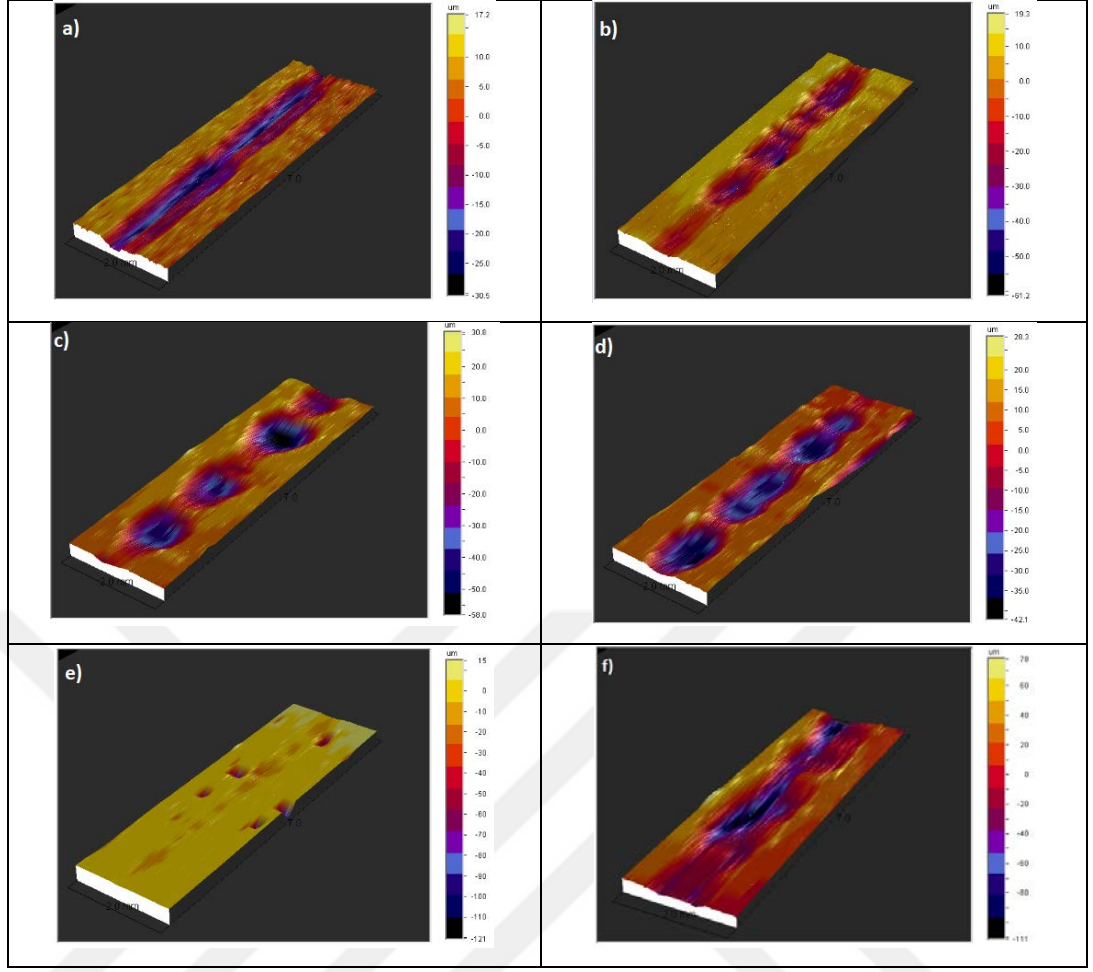
Şekil 5.32: a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş A numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş A numunesi c) 5N yük ile %10 takviye edilmiş A numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

5N yük uygulanarak B numunelerinin sürtünme katsayı grafikleri incelenmiştir. %2,5 ve %5 takviye edilen numunelerin grafikleri benzer olup 0,40 ile başlayan sürtünme katsayısı değerine istinaden %10 takviye edilen numuneler sürtünme katsayısı değeri 0.40 altında başlamış ancak mesafe arttıkça giderek artış gözlenmiş Şekil 5.32’de verilmiştir.



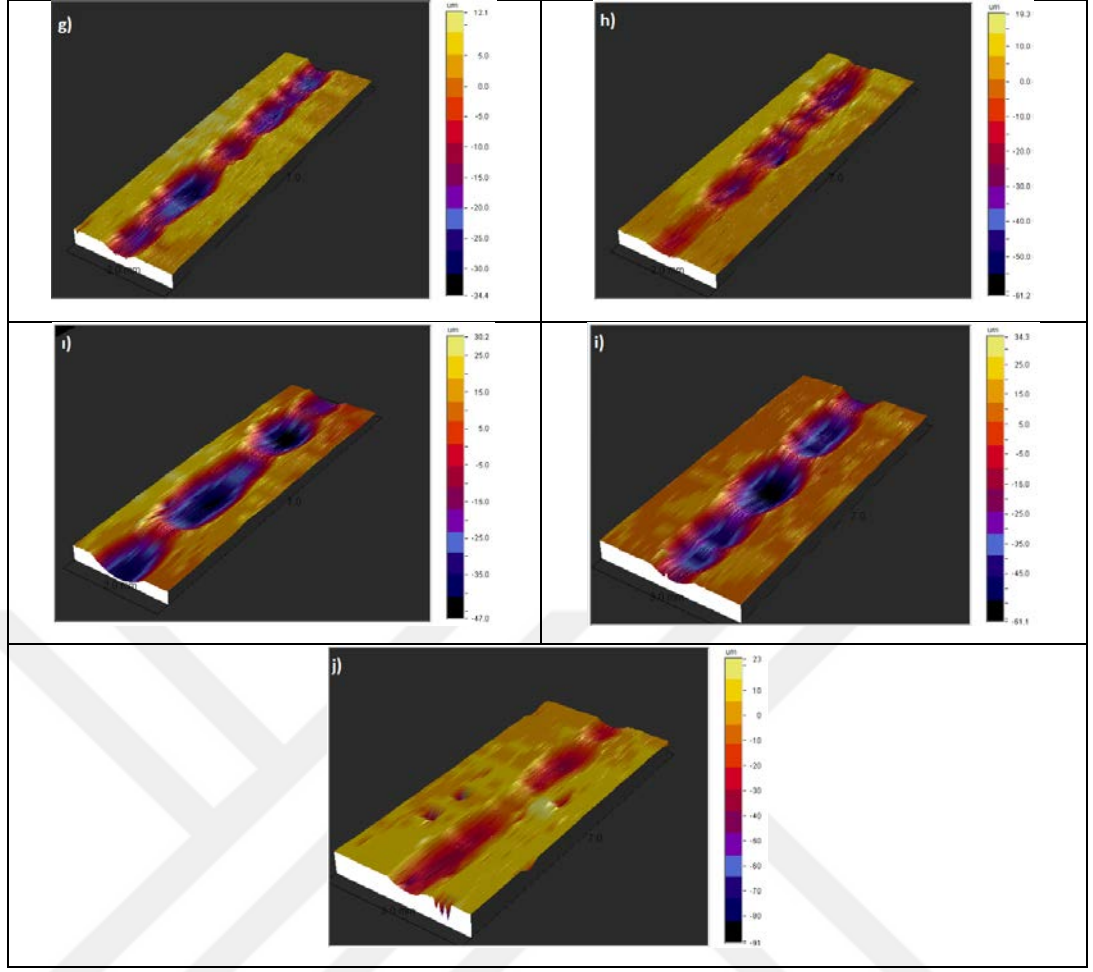
Şekil 5.33: 5N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.33'e bakıldığında 5N yük uygulanmış B numunelerinde sürtünme katsayısı artan takviye oranı ile artmıştır. %10 takviye edilmiş numunelerde sürtünme katsayısı %2,5 ve %5 takviye edilen numuneye göre fazla bir oranda artış göstermiştir. %2,5 ve %5 takviye edilmiş numuneler arasında da takviye oranının artması ile sürtünme katsayısı artmıştır. Aşınma testinden çıkan numunelerin yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir.



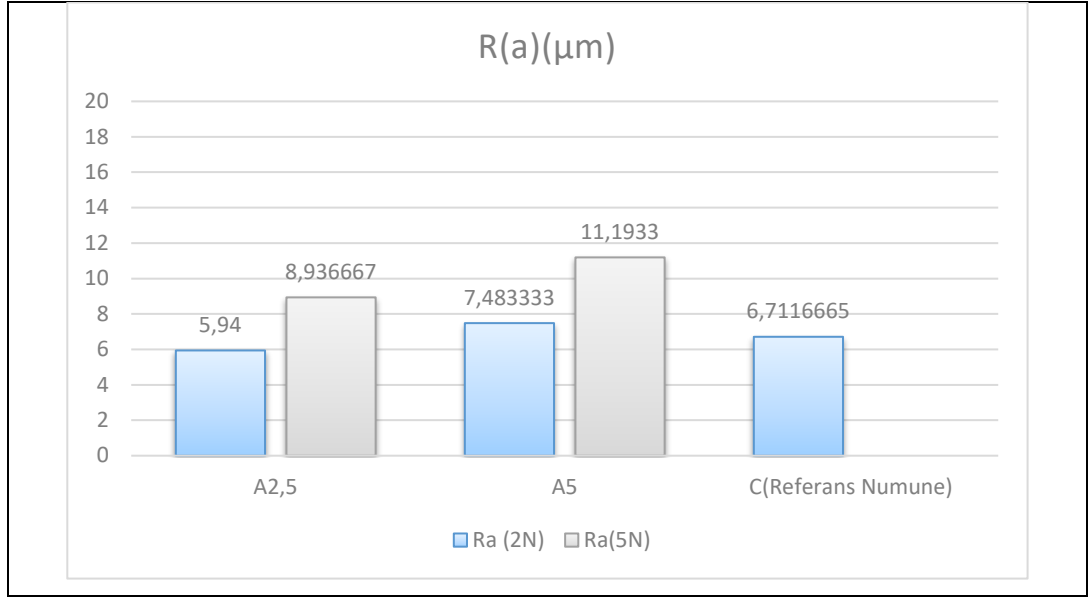
Şekil 5.34: 2N yük uygulanan a) A2.5 b) A5 c) B2.5 d) B5 e) B10 f) C (Referans Numune).

Şekil 5.34’de 2N yük uygulanmış A-B numunelerinin profilometre testinden çıkan üç boyut görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde farklı aşınma izlerinin olduğu görülmüştür. A ve B numuneleri kendi içinde %2,5 ve %5 takviye edilmiş numunelerin benzer izler gösterdiğinin ancak B numunelerinin %2,5 ve %5 takviye edilmiş numunede daha belirgin daha derin izlerin olduğu bunun nedeni B numunelerinde aşınma türü daha çok abrasiv aşınma olduğu için gözlenirken, A numunelerinde abrasiv ve artan takviye boyutlarında plastik deformasyona doğru gitmiştir.



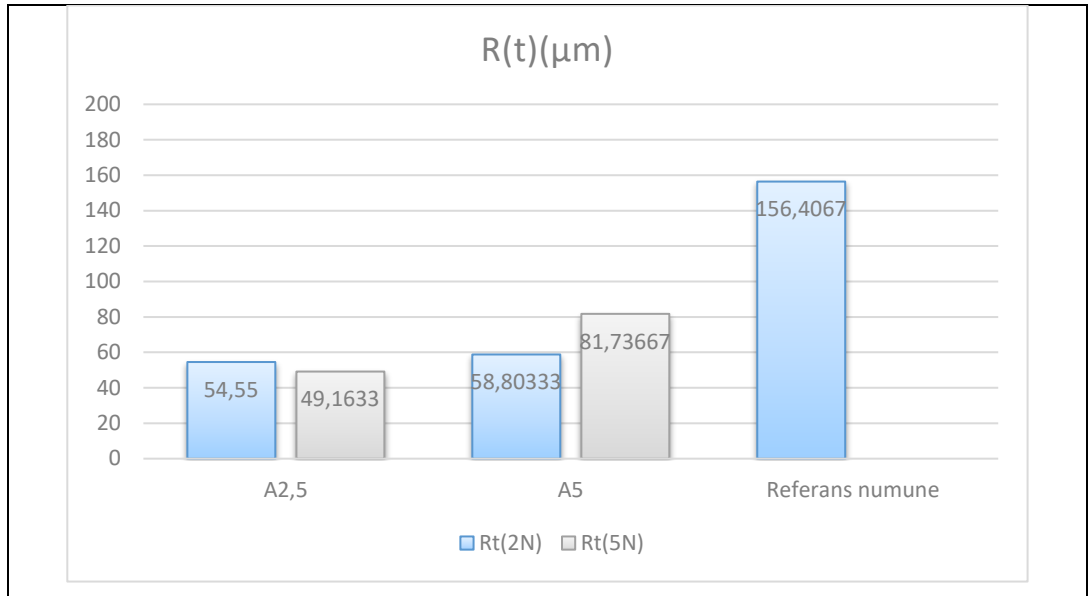
Şekil 5.35: 5N yük uygulanan g) A2.5 h) A5 i) B2.5 j) B5 j) B10.

Şekil 5.35 incelendiğinde A-B numunelerinin 5N yükteki yüzey pürüzlülük testinden çıkan aşınma izleri üç boyutlu olarak verilmiştir. 5N yük uygulanan numunelerde 2N uygulanan numunelere göre izlerin çok daha belirgin olduğu gözlenmiştir.



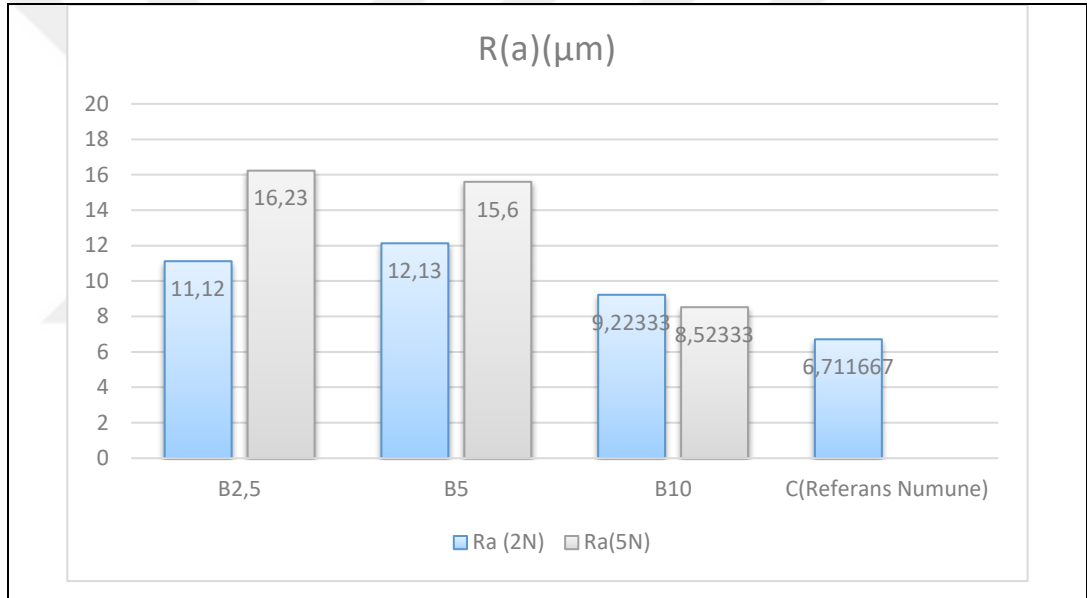
Şekil 5.36: A numuneleri ve referans numunenin $R(a)$ değerleri.

Şekil 5.36’da verilen A numunelerinin ve referans numunenin 2N-5N yük uygulanmış ve yüzey pürüzlükleri karşılaştırılarak incelenmiştir. C referans numuneye 5N yük uygulanmadığı için Ra değeri incelenememiştir. Yüzey pürüzlülüğü $R(a)$ takviye boyutunun artması ile artmıştır. Artan yük ile de pürüzlülüğün artığı gözlenmiştir. Böylece yüzeyden kaldırılan takviyenin artan yük ile daha fazla olduğu yüzeyde oluşan pürüzlülüğün bundan dolayı arttığı söylenebilir.



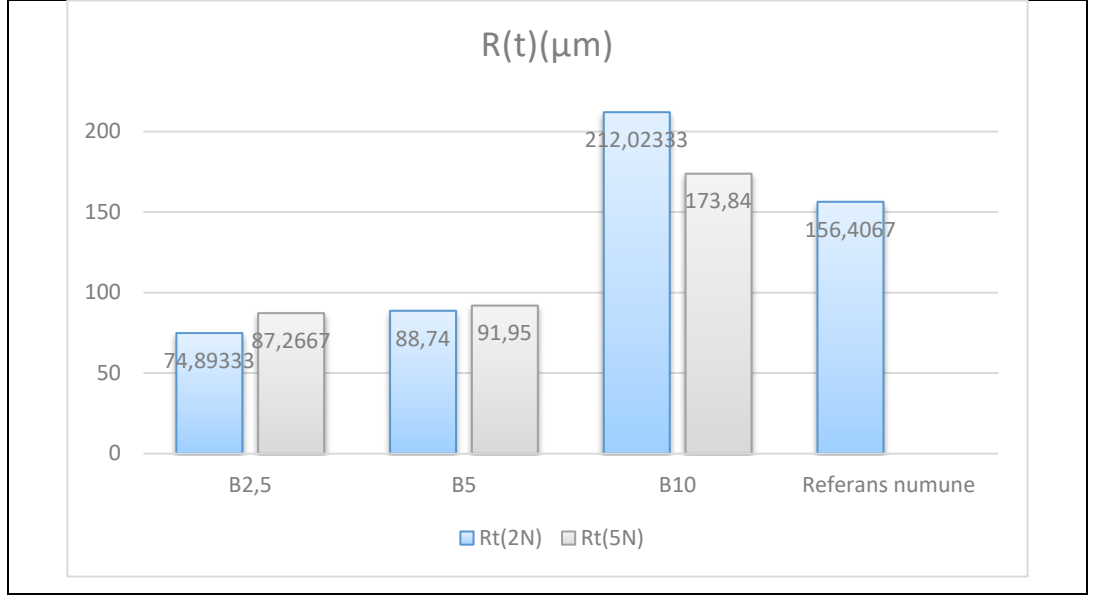
Şekil 5.37: A numuneleri ve referans numunenin $R(t)$ değerleri.

2N-5N yük uygulanan A numuneleri arasında aşınma yüzeyi ile aşınmayan yüzey arası yükseklik farkları incelendiğinde ise referans numunenin daha derin oyuklanmaların olduğu Şekil 5.37’de verilmiştir. Yüksek R(t) değeri yüksek aşınma hızından kaynaklı olabilir ve referans numune aşınma hızı takviye edilmiş numunelere göre R(t) daha fazladır bu da bize A numunelerinin aşınma özelliklerinin referans numuneye göre daha iyi olduğunu söylemektedir. Artan yük ile birlikte A2.5 numunesinde R(t) değerinde bir azalma meydana gelmiş, A5 numunesinde ise artan yük ile R(t) değerinin arttığı meydana gelmiştir. Tane boyutu küçük olan numunelerde artan hacim oranında yüzeyden aşınan numunenin daha fazla olduğu çünkü aşındırıcının aşınan bölgeden talaşın sürüklenerek matris bölgesine denk geldiği ve böylece aşınma direncinin ve R(t) değerinin daha düşük gelmesine sebep olabilir.



Şekil 5.38: B numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri.

Şekil 5.38’de 2N-5N yük uygulanmış B numunelerinin yüzey pürüzlülük sonuçları verilmiştir. A numunelerinde olduğu gibi referans numuneye göre pürüzlülüğün daha fazla olduğu, artan takviye oranında artmıştır demek doğru değildir takviye oranı %10 olan numunelerde referans numuneye göre R(a) değeri fazla olsa bile %2,5 ve %5 takviye edilmiş numuneden azdır. Artan yük miktarı ile R(a) değerinin azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.39: B numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.

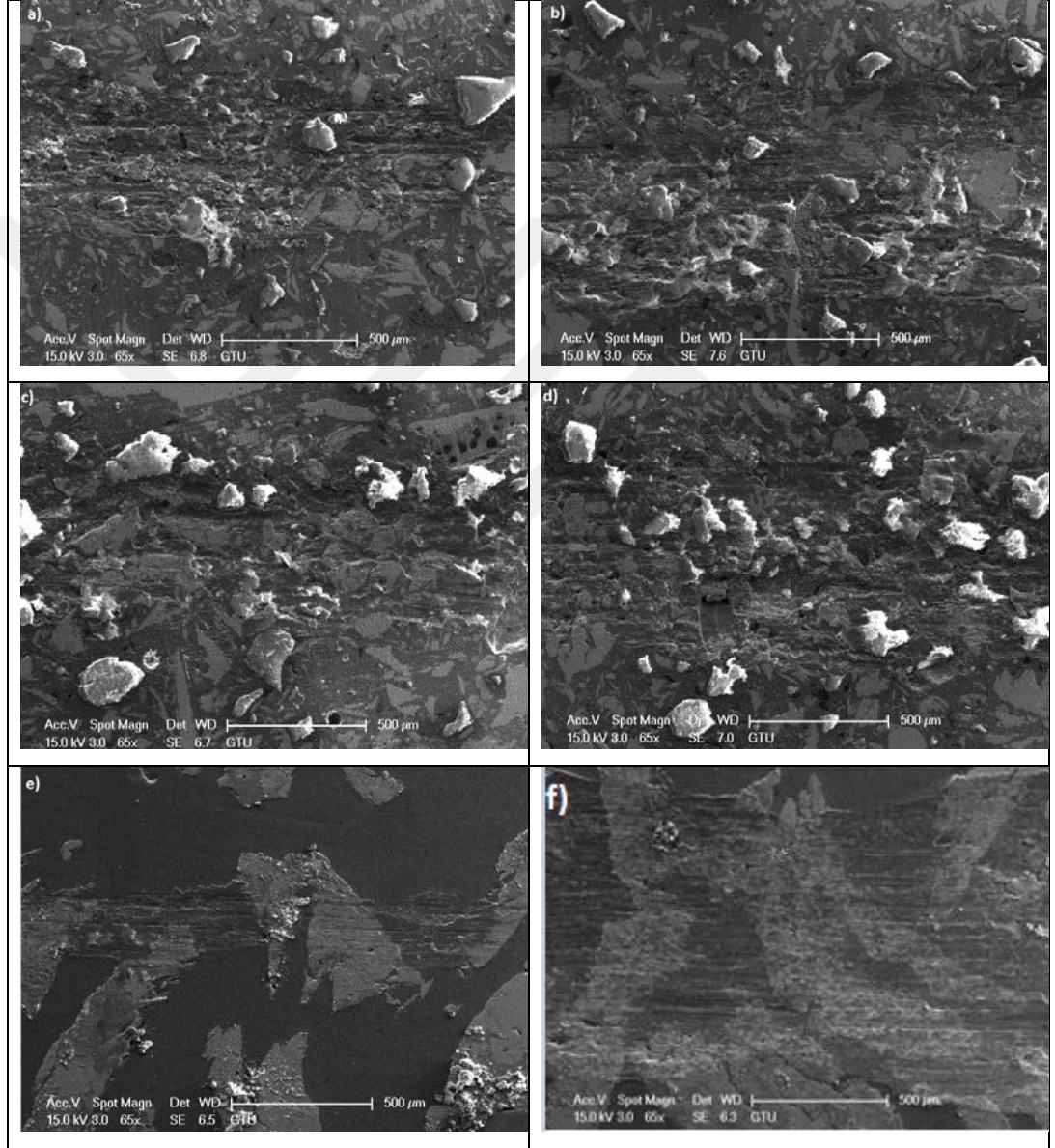
2N-5N yük uygulanan B numunelerinin derinlik farkı R(t) takviye boyutunun artması ile artmış Şekil 5.39'da verilmiştir. Aşınma hızı en düşük olan %10 takviye edilmiş B numunesinin R(t) değerinin yüksek olması gözenekli bir yapıda olmasından kaynaklanabilir.

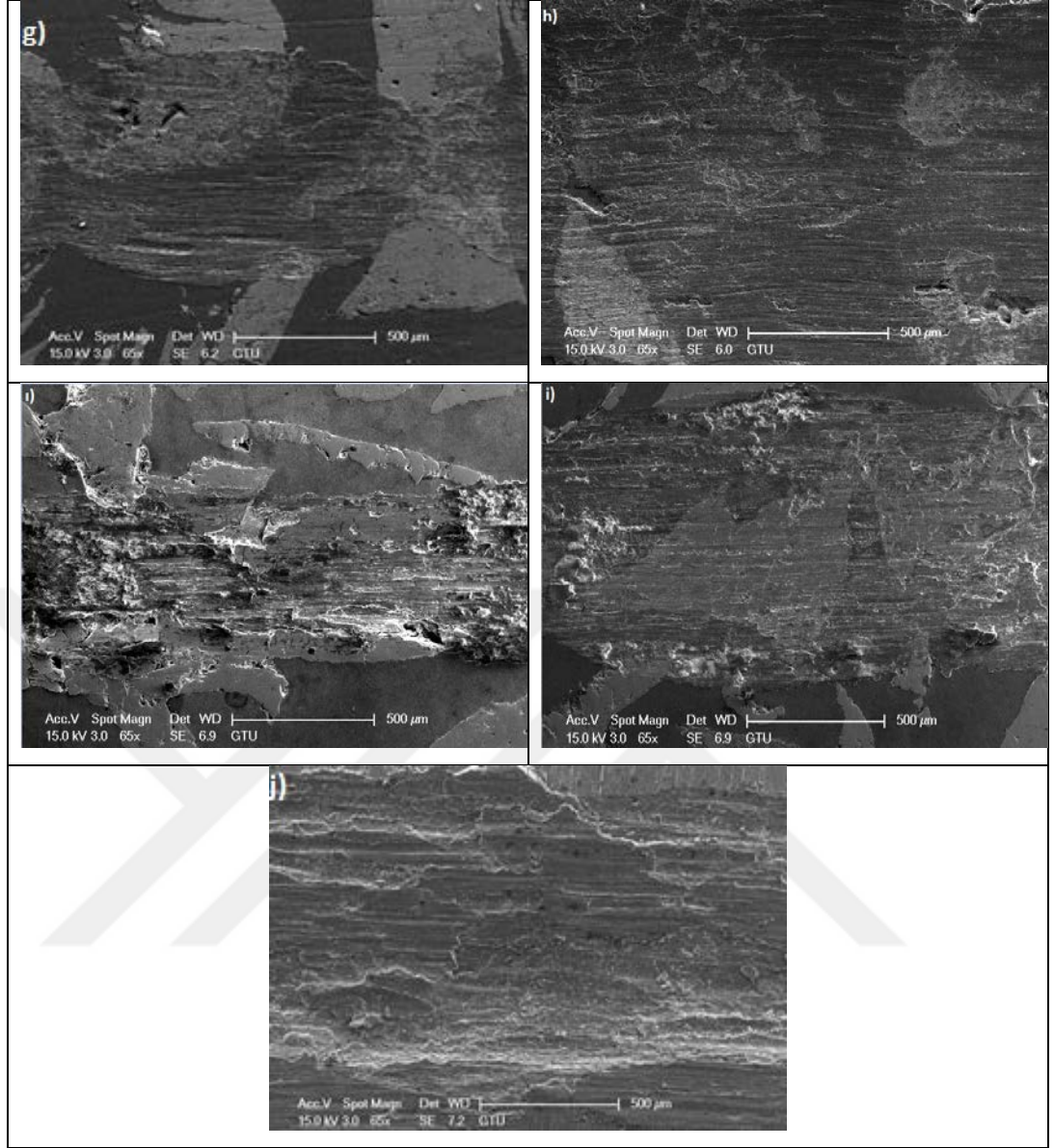
A ve B numunelerine bakıldığında R(a) değerlerine bakıldığında tane boyutu farkı ile büyük tane boyutu ile takviye edilmiş numunelerin yani B numunelerinin oranı ile artış göstermiş ve R(t) değerleri karşılaştırıldığında da B numunelerinin A numunelerinden daha fazla olduğu söylenebilir. Bunun nedeni artan takviye boyutunun artması ile aşınma davranışının farklı olmasından kaynaklanmıştır. R(a) değeri yüksek olan B numunelerinde takviyenin boyutundan kaynaklı yüzeyden kopması daha çok plastik deformasyon şeklinde olduğu için yüzeyin daha çok pürüzlü bir hale gelmesine neden olurken, takviye boyutu küçük olan numunede aşınırken yüzeyden kopmaların olması ile R(t) değerleri daha takviye boyutu büyük olan numunelere göre daha azdır.

5.1.7. Aşınma Numunelerinin Sem analizleri

Aşınma davranışlarının incelemek için numuneler SEM'de görüntülenmiştir. 65x, 125x, 250x, 500x görüntülemelerde SE modunda 2N ve 5N yük olarak belirlenen aşınma görüntüleri alınmış, yük etkisi, aşınma davranışları, aşındırıcı etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.40'da 2N-5N uygulanmış A-B numunelerinin, referans numune ile birlikte 65X büyütmede SE modlarında alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Soldaki numuneler 2N yükte aşınmışken sağdaki numuneler 5N yükte aşınmıştır referans numuneye sadece 2N yükte aşınma testi uygulanmıştır. Referans numuneye bakıldığında yüzeyden direk aşındığı yüzeyde oluşan aşınma izlerinin takviye edilmiş numunelere göre çok daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

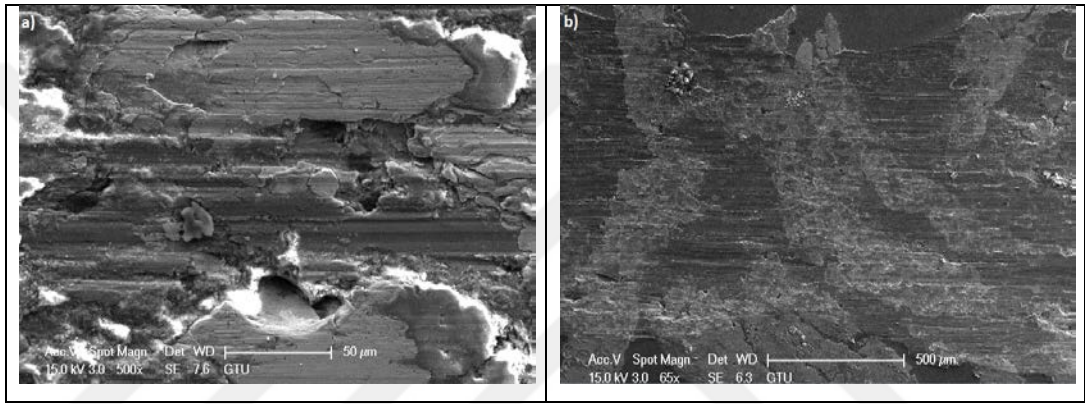




Şekil 5.40: a) 2N yük A2.5 b) 5N Yük A2.5 c) 2N yük A5 d) 5N yük A5 e) 2N yük B2.5 f) 5N yük B2.5 g) 2N yük B5 h) 5N yük B5 i) 2N yük B10 j) 5N yük B10 j) 2N C referans numune A356 alaşımı (Takviyesiz).

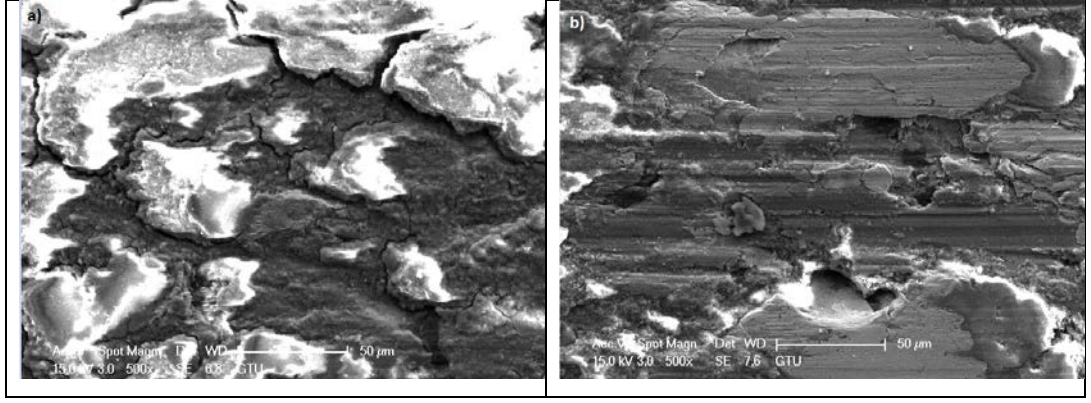
Dökme demir talaşının tane boyutunun artması ile oluşan aşınma izlerinin partikül olarak dağılmasından çok yüzeyde çizikler oluşturduğu ancak artan yük ile A-B numunesi ayırt etmeksizin aşınma izlerinin daha geniş olduğu gözlenmiştir. A numunelerinde artan yük ile yüzeyde kırılmış dökme demir talaşının daha az olduğu, B numunelerinde ise bu durum dökme demir talaşının partikül olarak kırılmasından çok yüzeyde oluşan çizgiler şeklinde olduğu gözlenmiştir. Alümina bilyenin disk hareketi ile alüminyum matristen ayrılan partikül dökme demir talaşları abrasiv posese örnektir. A numuneleri arasında abrasiv aşınma meydana gelirken B numunelerinde

yüzeyde oluşan çizgilerin varlığı ile plastik deformasyon meydana gelmiştir. Plastik kopmalardan kaynaklı artan tane boyutu ile birlikte yüzeyde aşınmaya karşı direncin arttığı söylenebilir. Takviyesiz ya da düşük hacim oranında partikül içeren numunelerde aşındıkça alüminyum yüzeye yaklaşıldığında dolay ve alüminyumun aşınma direncinin düşük olmasında kaynaklı yapraklanma (petalling) görülmektedir. A numuneleri arasında %2,5 takviye edilmiş numunelerin %5 takviye edilen numunelere göre yüzeyde oluşan partiküllerin daha fazla olduğu, B numunelerine ise artan takviye oranında daha derin aşınma izleri meydana gelirken çizgilerin daha azaldığı topaklanarak yüzeyden kalktığı gözlenmiştir.



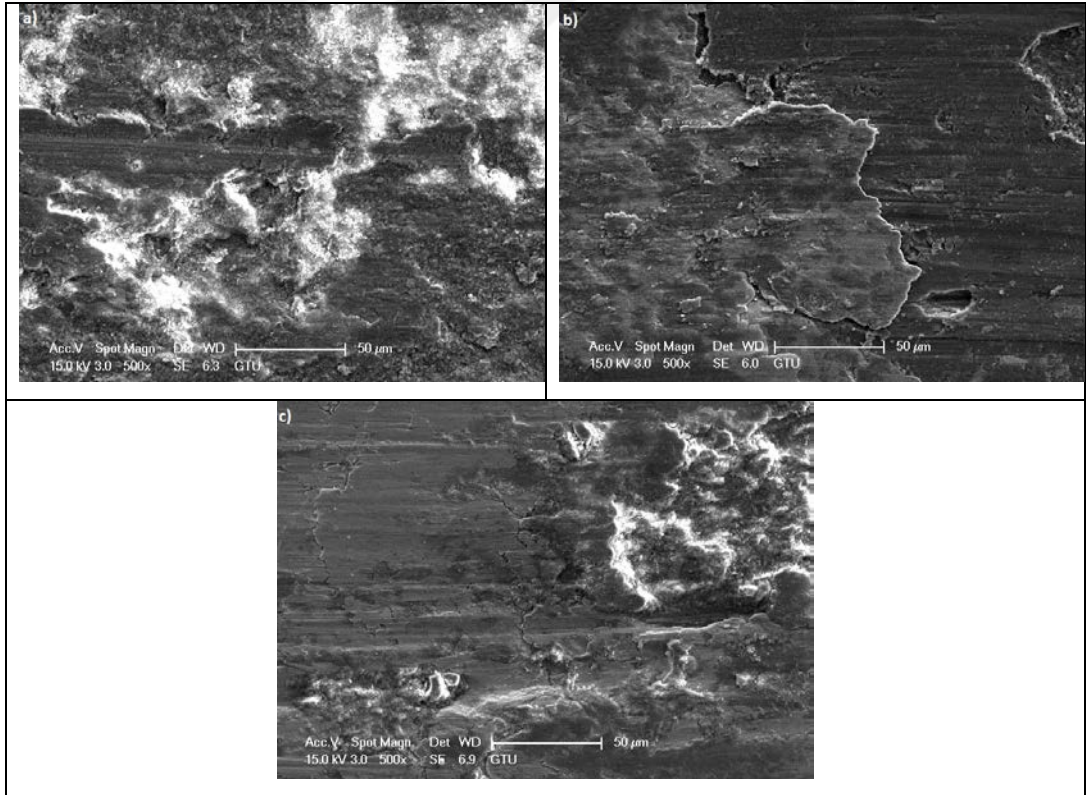
Şekil 5.41: a) A2.5 5N yük b) B2.5 5N yük.

Şekil 5.41’de A numunelerine aynı yük uygulanmış ancak tane boyutu farklı ve takviye oranı aynı olan 500x büyütmede SEM görüntüleri verilmiştir. Aynı yükte sol taraftaki A numunesi tane boyutu küçük olan numunelerdir, sol tarafta B numunesi yani tane boyutu büyük olan numunelerdir. Aynı hacim oranı ve aynı yükte farklı tane boyutu ile aşınma yüzeylerde B numunesinde dökme demir talaşı bariz bir şekilde görülürken, A numunesinde dökme demir talaşının yüzeyden sürüklenerek aşındığı söyleyebiliriz. Artan tane boyutu ile aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir. Artan hacim oranı alüminyumun aşırı plastik deformasyona uğrayarak yüzeyde kalması ve aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir. Benzer çalışmalar Çalin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda [Pul et al.,2011] görülmektedir.



Şekil 5.42: a) 2N A2.5 b) 5N A2.5.

Şekil 5.42’de %2,5 takviye edilmiş A numunelerin ise sol resimde 2N ve sağ resimde 5N yük uygulandığı SEM görüntüleri verilmiştir. Aynı takviye boyutu ve aynı takviye oranında uygulanan yükün artması ile birlikte görüldüğü gibi yükün artması ile yüzeyden kopan parçacıkların sürüklenmenin daha fazla olduğu literatürde yapılan çalışmalarda [Al-Qutub etal., 2006] verilmiştir. Dökme demir talaşı takviyesi 2N yükte kırılmış ancak 5N yükte sürüklendiği söylenebilir.



Şekil 5.43: a) 5N yük uygulanmış B2.5 b) 5N yük uygulanmış B5 c) 5N yük uygulanmış B10.

Şekil 5.43’de takviye boyutu büyük olan B numunelerinin ve %2,5, %5 ve %10 takviye edilmiş numunelerin 500x büyütmede hacim oranlarında takviye edilmiş ve 5N yük uygulandıktan sonraki aşınma yüzeylerinin genel görüntüsü verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde takviye boyutu büyük olan numunelerin A numunelerine göre çok aşınma yüzeyleri incelendiğinde numunelerde kırılmadan ya da partikül olarak saçılmadan çok topaklanmalar ya da çizgisel görüntüler elde edilmiştir. Yani artan tane boyutu ve takviye oranı ile aşınma izlerinin daha çok plastik deformasyona yakın olduğu söylenebilir. Ancak %2,5 ve %5 takviye edilmiş numunenin %10 takviye edilen numuneye göre topaklanmış aşınmış parçacıkların daha az olduğu özellikle %5 takviye edilmiş numune incelendiğinde matris ile takviye arasında bariz bir ayrılma gerçekleştiği söylenebilir. Kopan ya da sürüklenen dökme demir talaşları aşınma süresince uygulanan yükü taşıma kabiliyetlerini kaybederek kompozitin aşınma direnci azalır.

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerde matris yüzeyinde oluşan oyuklar plastik deformasyon, adhesiv ya da abrasiv aşınma olarak gözlemlenmiştir. Partikül takviyesinin aşınma dayanımını oldukça iyileştirdiği söylenebilir [Wieczorek., 2015].

Tezde yapılan çalışma sonucunda A356 alaşımı 5N yükte aşınma davranışı gösterememiş dökme demir talaşı ilavesiyle 5N ve 2N yükte aşınma davranışı incelenmiştir. Kompozit malzemenin sertlik ve aşınma dayanımında iyileşmeler gözükmiştir.

5.2. SiC Takviyesi ile Üretilen MMK yapılan Çalışmalar

5.2.1. Mikroyapısal İncelemeler

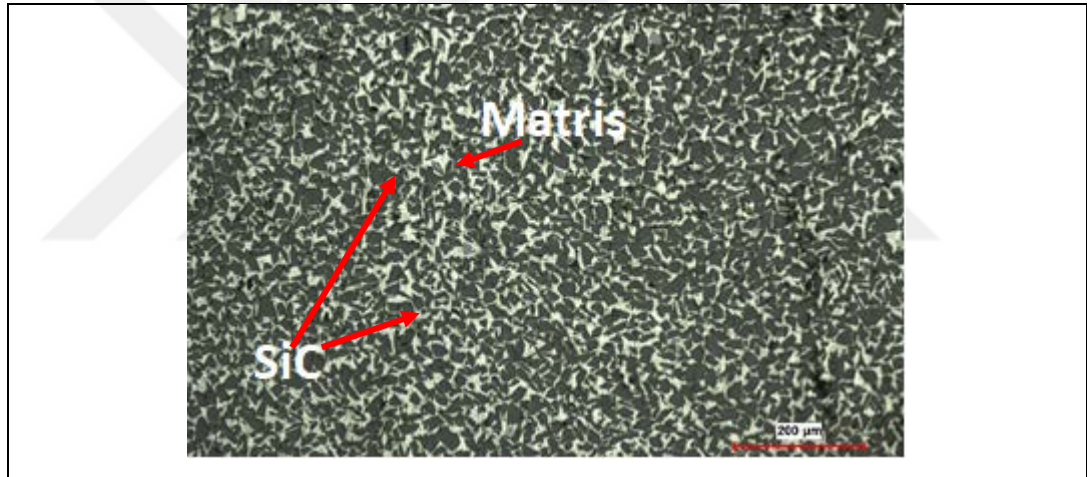
SiC tozları ile üretilen numuneler toz boyutu 63-106 ve 8-32 μ olmak üzere tane boyutu büyük ve küçük olmak üzere hacimce %2.5, %5, %10 hacim oranı ile üretilmiştir makro ve mikro düzeyde metalografik incelenmiştir. Makro düzeyde yüzeye SiC takviyesi A356 alaşımına 1 veya 2 mm olacak şekilde katlandırılmıştır. Tane boyutu küçük ve büyük toz boyutlarında hacimce %10 olan SiC takviyeli numuneler üretilmemiştir. Dökümler 2 tekrarlı denenmiştir ancak yinede üretilmemiş alt kalıpta SiC tozu sıvanmıştır. Hacimce %10 SiC takviyeli numunelerin

üretilmesi için döküm yönteminin iyileştirilmesi gerekmektedir. SiC ile üretilen numunelerin isimleri Tablo 5.8’de verilmiştir.

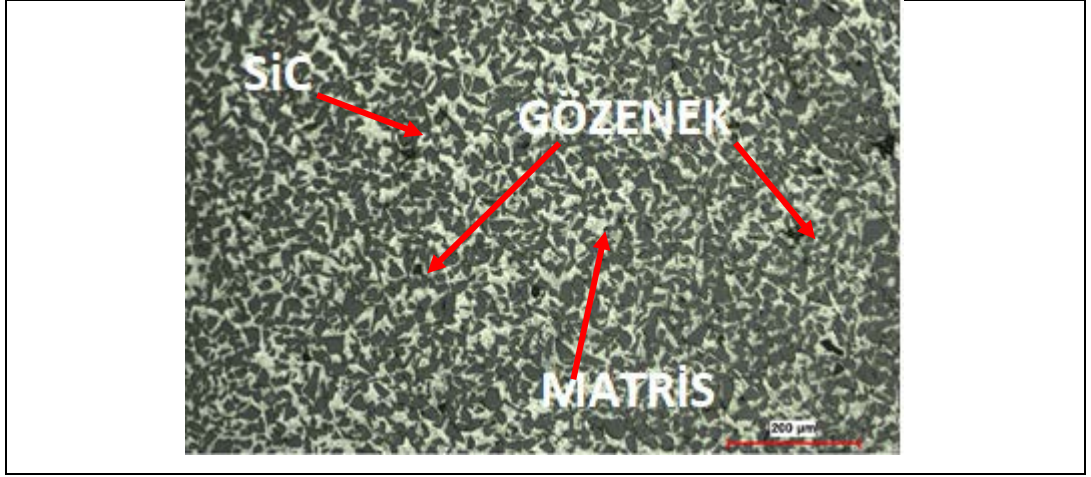
Tablo 5.8 SiC numunelerinin isimlendirilmesi.

Tane Boyutu	Hacim Oranı	Numune Adı
A356 Alaşımı	%0	C (Referans Numune)
8-32 μ	%2,5	D2.5
8-32 μ	%5	D5
63 μ -106 μ	%2,5	E2.5
63 μ -106 μ	%5	E5

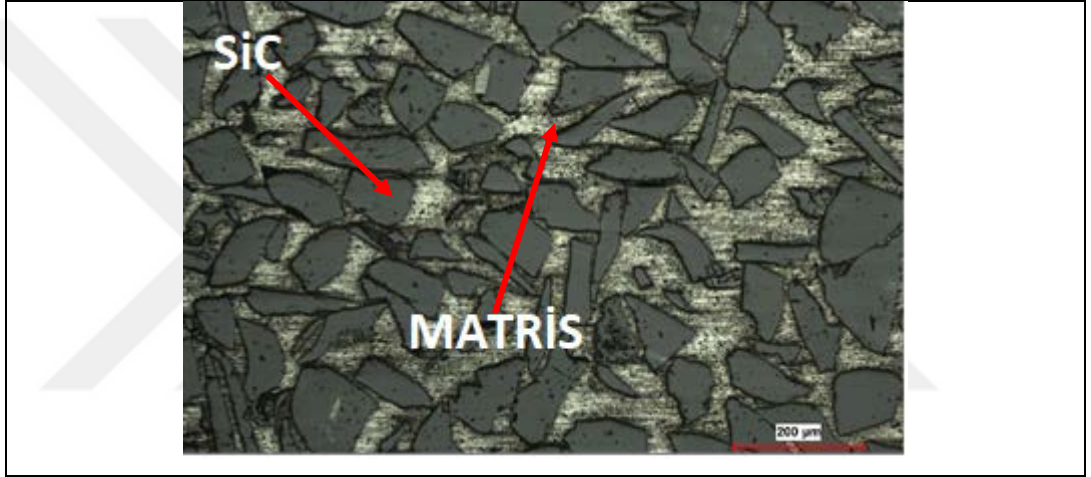
A356 alaşımı Alüminyum ve silisyumdan oluşan ikili faz sistemi ötektik, α -Al yapı içeren alüminyum alaşımıdır. Çalışmadaki matris malzemesidir.



Şekil 5.44: D2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 5.45: D5 numunesin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.

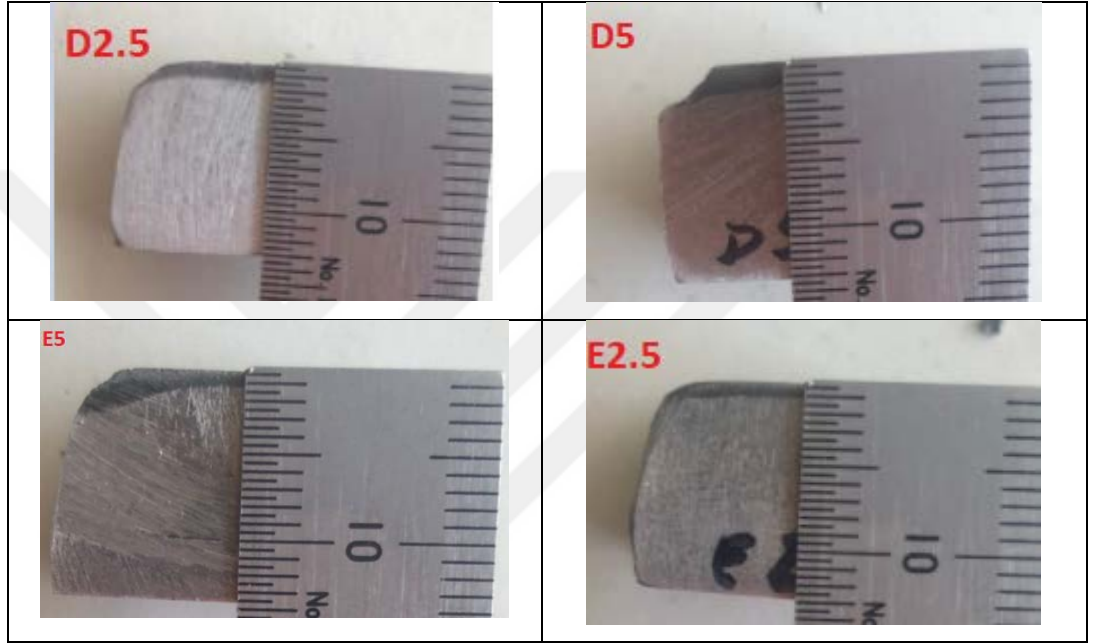


Şekil 5.46: E2.5 numunesinin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.



Şekil 5.47: E5 numunesin 100x büyütmede optik mikroskop görüntüsü.

Şekil 5.44 ve 5.45’de küçük tane boyutu SiC ile takviye edilmiş numunelerin Şekil 5.46, Şekil 5.47’de büyük tane boyutlu SiC ile takviye edilmiş 100x büyütmede optik mikroskop ile incelenmiş numunelerin görüntüleri verilmiştir. Tane boyut farkı görüntülerden anlaşılmaktadır ve matris, SiC oklarla belirtilmiştir. Matrise SiC homojen bir şekilde battığı gözlenmiş ve gözenek olan bölgeler belirtilmiştir. Numuneler mikro düzeyde 1-2 mm kalınlıkta katkılandırılarak oluşturulduğu numuneler zımparadan geçirilmiştir ve Şekil 5.48’de görüntüleri verilmiştir.



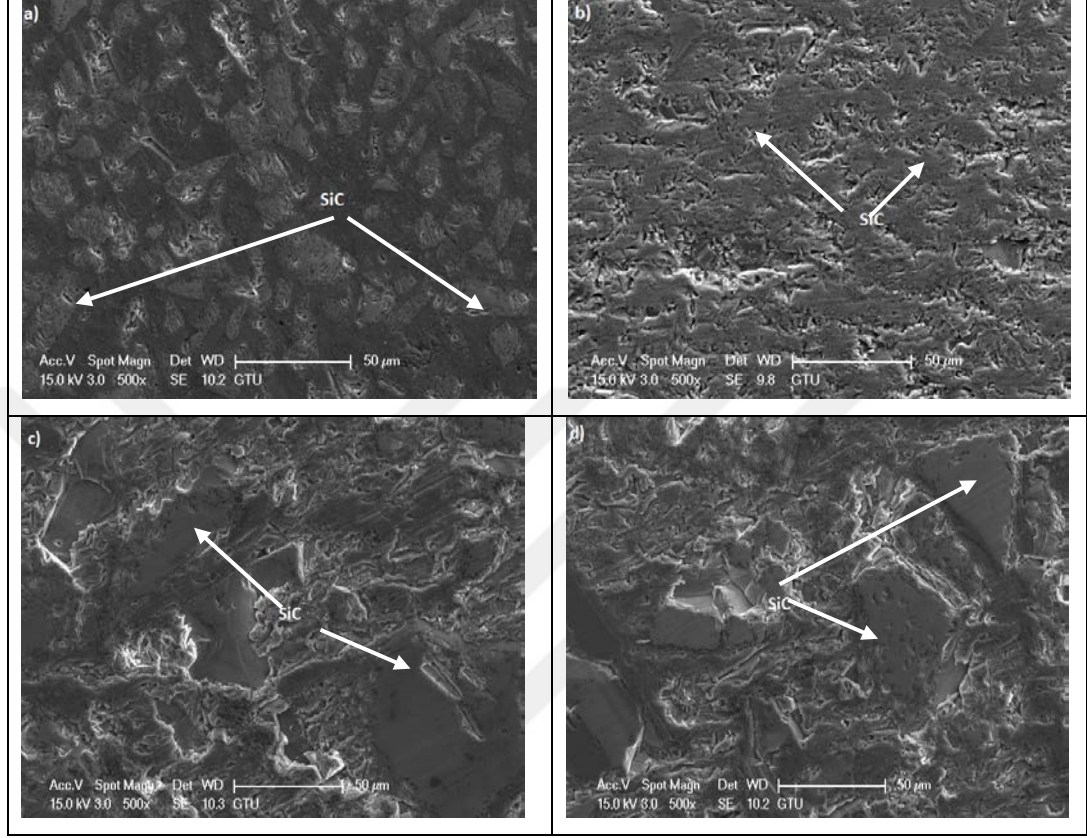
Şekil 5.48 Makro düzeyde incelenen SiC takviye edilen numuneler.

Dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde bariz bir şekilde tane boyutu küçük olan numunelerde gözenek yoğunken yine tane boyutu küçük olan SiC ile takviye edilen numunelerde EDS analizlerinden anlaşılabileceği üzere oksit oluşumu tane boyutu büyük olan numunelere göre daha fazladır. Dökme demir talaşı takviye edilen numunelerin SiC ile takviye edilenlere göre daha fazla gözenek problemi ile karşılaşmıştır. SEM görüntüleri ile de optik mikroskop görüntüleri desteklenmiştir.

5.2.2. SEM Mikroyapı Analizi ve EDS Yöntemi ile Elementel Analiz

Yapılan çalışmalarda taramalı elektron mikroskobu ile (SEM) kullanılarak mikro düzeyde metalografi olarak incelenmiştir. Yapılan incelemede matris/takviye uyumu dökme demir talaşında olduğu gibi, SiC olduğu bölgelerden alınarak yapılmış

ve 125x-500x olarak dökme demir talaşının tespiti amacıyla incelemeler yapılmıştır. A356 ve SiC yapıda olmasından dolayı Al, Si, Mg oranı belirlenerek elementel analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.49: a) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) E5 Takviye matris arayüzeyinin SE modlarındaki Sem Görüntüsü.

Şekil 5.49’da D2.5, D5, E2.5, E5 numunelerinin 500x büyütmede SE modunda SEM görüntüleri verilmiştir. SiC takviye edilen numunelerde SiC takviyesi ok ile gösterilmiştir. D numunelerinin tane boyutu E numunelerine göre küçüktür ve alınan SEM görüntüsünden de anlaşılmaktadır. Dökme demir talaşı takviye edilmiş numunelerde olduğu gibi SiC takviyesinin matrise homojen bir şekilde battığı söylenebilir.

EDS analizleri A356 alaşımının matris olması ve takviye olarak SiC olmasından dolayı Al, Si, Mg, içerikleri baz alınarak 4 ya da 5 farklı bölgeden elementel analizler alınmıştır.

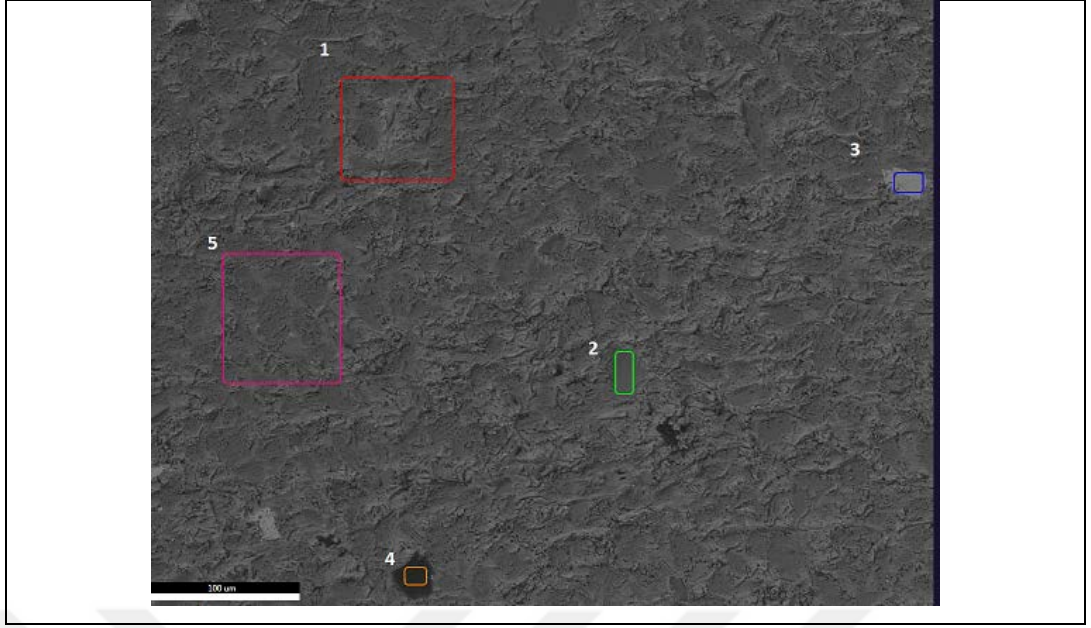


Şekil 5.50: D2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.9: D2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Mg	%Cl
1	1,15	98,05	-	-	-
2	60,28	39,72	-	-	-
3	51,85	39,92	2,27	-	-
4	58,59	36,06	5,36	-	-
5	16,19	77,11	5,84	0,87	-

Şekil 5.50’de D2.5 numunesinden alınan bölgeler verilmiştir. A356 alaşımı ve SiC takviyesi olduğu için Si, Mg, Al yani matris bölgesinde Al elementinin yüksek olması ve takviye ve matriste Si bulunmasından dolayı elementlerin var olması beklenmektedir. Tablo 5.9’ da çıkan elementlere bakıldığında beklenildiği gibi elementler pik vermiş ancak dökme demir talaşında olduğu gibi ara yüzeyde oksit oluşumu söz konusudur.

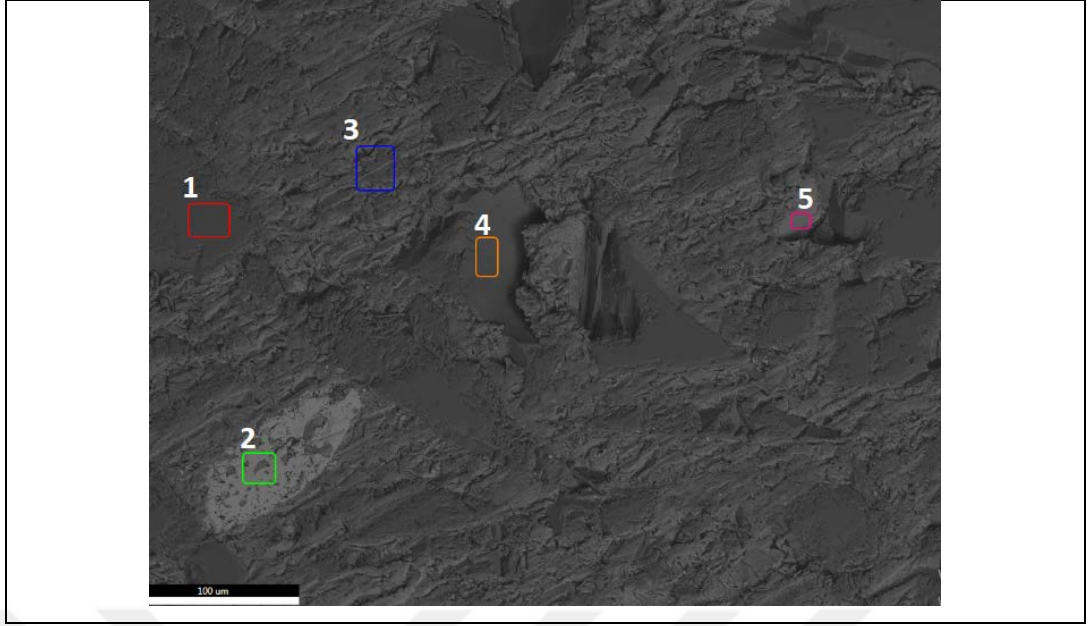


Şekil 5.51: D5 Numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.10: D5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Mg	%Fe
1	58,48	7,53	3,99	-	-
2	98,05	1,95	-	-	-
3	46,02	17,67	2,27	-	33,82
4	32,2	23,38	36,57	-	-
5	66,84	33,16	-	-	-

Şekil 5.51 incelenmiş ve bölgelerin elementel oranları Tablo 5.10’da verilmiştir. D5 numunesinde D2.5 numunesine göre Si miktarı yüksek çıkmıştır. Si ve alüminyumdan ayrı olarak Fe elementi bulunmuştur. Dökme demir talaşı takviyesinde olduğu gibi oksijen oluşumu gözlenmiştir.

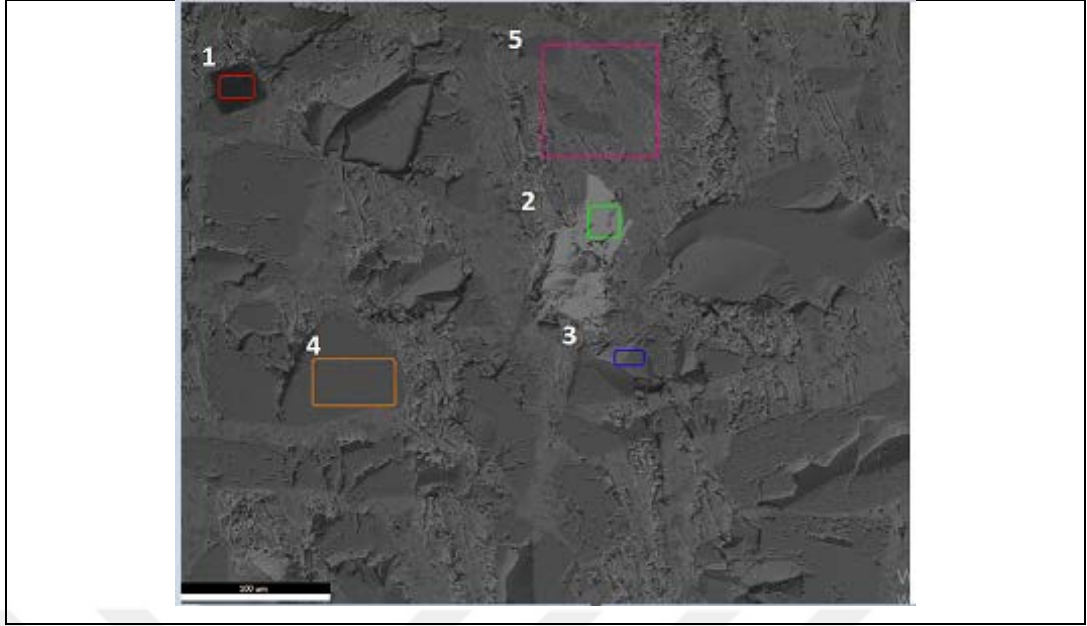


Şekil 5.52: E2.5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.11: E2.5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.

EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Mg	%Fe
1	57,55	1,45	-	-	34,12
2	99,08	0,92	-	-	-
3	14,87	77,96	4,51	0,54	-
4	98,1	1,9	-	-	-
5	23,08	74,19	1,94	-	-

Şekil 5.52’de tane boyutu büyük olan %2,5 takviye edilmiş E numunelerinin EDS bölgeleri, Tablo 5.11’de elementlerin oranları ile verilmiştir. Ara yüzeye denk gelen 3. Bölgede oksit oluşumu varken, takviye yüzeyinde sadece Si, Al elementleri gözlenmiştir.



Şekil 5.53: E5 numunesinden alınan EDS bölgeleri.

Tablo 5.12: E5 numunesinin EDS bölgeleri ve % element oranları.

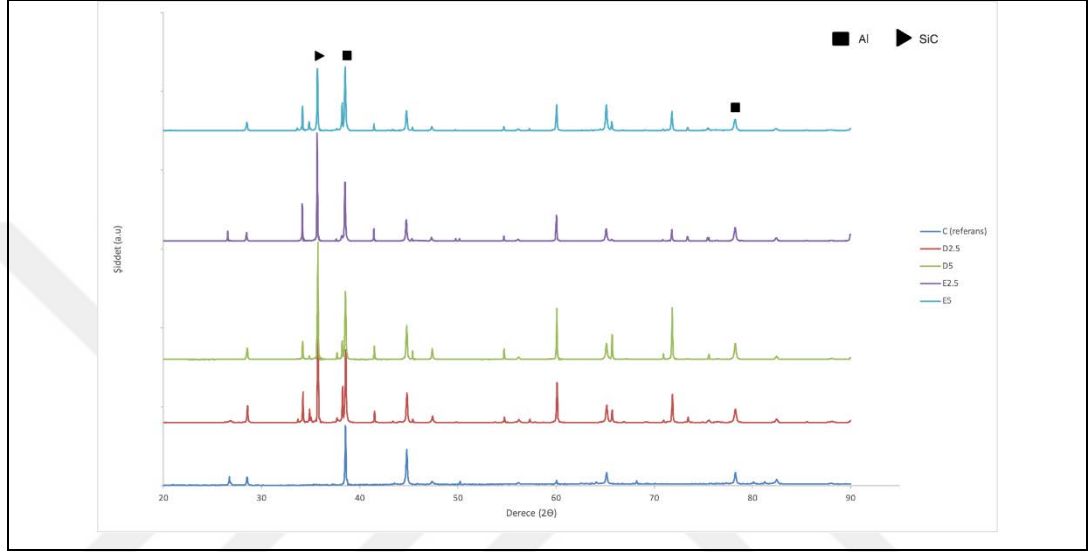
EDS BÖLGELERİ	%Si	%Al	%O ₂	%Mg	%Fe
1	45,24	36,37	17,58	0,81	-
2	49,32	5,24	2,64	-	42,8
3	98,2	1,8	-	-	-
4	99,13	0,87	-	-	-
5	37,72	55,38	1,94	1,05	-

Şekil 5.53’de E5 numunesinden alınan EDS bölgeleri verilirken Tablo 5.12’de element oranları mevcuttur. Ara yüzeyde oksit oluşumu diğer numunelerde olduğu gibi gözlenmiştir. Al, Si, matris ya da takviye bölgesinde, Mg matris bölgesinde gözlenmiştir. Ara yüzeyde Fe elementine rastlanmıştır.

EDS analizleri dökme demir talaşı takviyeli numuneler ile kıyaslandığında matris bölgesinde Si, Mg Al elementleri mevcutken, SiC takviyeli numunelerde ara yüzeyde oksit oluşumu gözlenirken, dökme demir talaşı takviyeli numunelerde ara yüzey ve takviye üzerinde gözlenmiştir. Ayrıca numune hazırlama sırasında kalan sudan kaynaklı dökme demir talaşı takviyeli numunelerde Cl elementine rastlanırken SiC takviyeli numunelerde yoktur.

5.2.3. XRD Sonuçları

Dökme demir talaşı takviyesinde olduğu gibi SiC ile de takviye edilen numunelerin XRD sonuçları incelenmiştir. Ancak Al-Si matristen, takviyede beklenen ise SiC pik vermesi beklenmektedir. A356 alaşımı ve Si, SiC pikleri Şekil 5.54’de verilmiştir.

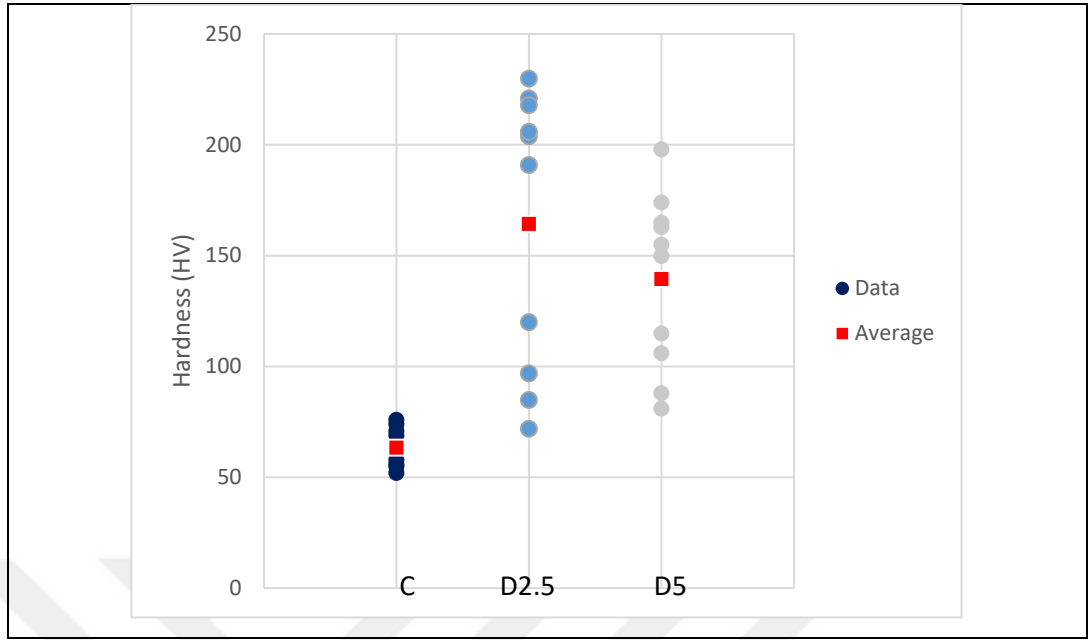


Şekil 5.54: Referans Numune ve SiC ile Takviye Edilen Numuneler.

Sonuçlar incelendiğinde D numunelerinde SiC daha yüksek pik verdiği görülmüştür. Tane boyutu küçük olan SiC ile takviye edilen numunelerde SiC piki yüksek iken dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde artan takviye boyutu ile Fe pikinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

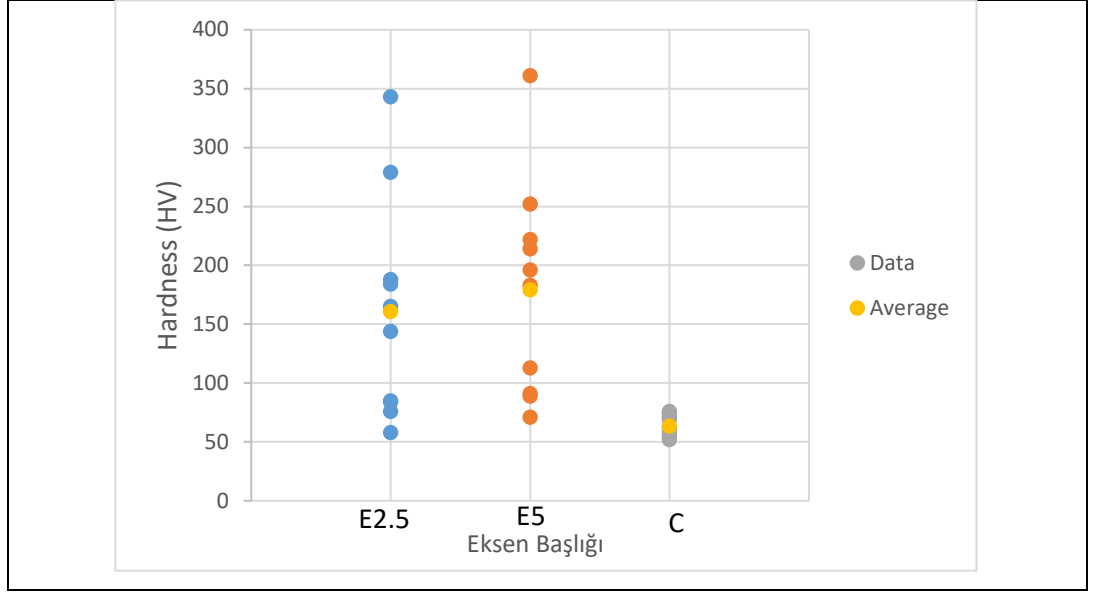
5.2.4. Sertlik Testi Sonuçları

A356 alaşımının sertlik değerleri ile SiC tozu ilave edilen numuneler karşılaştırılmıştır. 1 kg yükte en az 10 farklı bölgeden sertlikler değerlendirilmiştir. Artan takviye oranı ile sertliklerin arttığı literatürdeki [Reihani, 2006] örnekleri gibi bu çalışmada da SiC ilavesi ile sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.55: Farklı takviye oranlarındaki D numunesi ve referans numunenin sertlik değerleri.

Şekil 5.55’de tane boyutu küçük olan SiC ile takviye edilen D numunelerinde takviye bölgesinden, matris bölgesine yakın yerlerden alınan bölgeler verilmiştir. Vickers sertlik cihazında 1 kg yükte, 10s batma süresinde 10 farklı bölgeden sertlikler alınmıştır. Takviyeye yakın yerlerde bariz bir şekilde sertlik değerlerinin yüksek olduğu, matris bölgesine yakın alınan bölgede matris sertliğine yakındır. Takviye oranının artması ile sertlik artmamıştır ancak referans numuneye göre sertlik değerlerinde bariz bir artış gözlenmiştir. Dökme demir talaşı takviye edilmiş numunelerde artan takviye oranı ile sertliğin doğrusal arttığı ancak takviye edilen numuneler arasında büyük farklar olmadığı, SiC ile takviye edilen numunelerde ise artan takviye oranı ile doğrusal olarak artmadığı dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelere göre sertlik değerlerinin daha fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.56: Farklı takviye oranlarındaki E numunesi ve referans numunenin sertlik değerleri.

Şekil 5.56’ da E numunelerinin 1 kg yükte Vickers uç ile 10s batma süresinde ölçülen sertlik değerleri verilmiştir. Artan takviye oranı sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Dökme demir talaşı takviyeli numuneler ve SiC takviyeli numunelerde takviye bölgesine yakın yüzeylerde sertlik çok daha yüksek iken matris bölgesine yakın ara yüzeyde matris sertlik değerine yakın ancak matrisin sertlik değerinden daha yüksektir. Ancak SiC ile takviye edilmiş numunelerin sertlik değerleri dökme demir talaşı takviyeli numunelere göre değerlerin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

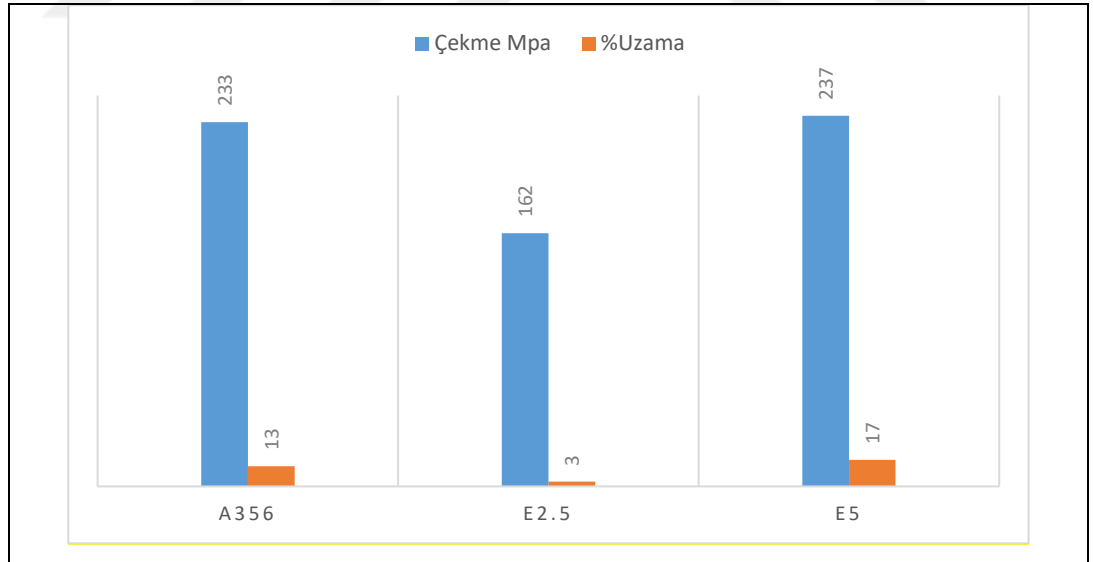
SEM analizi yapılan SiC takviye edilmiş numunelerin image analizyer programı kullanılarak yüzeydeki SiC miktarı 2’şer kez analiz edilmiş ve ortalama değerleri Tablo 5.13’de ortalama sertlik değerleri ile birlikte verilmiştir. SiC numunelerinde %2.5 ve % 5 oranında numuneler üretilmiştir. Dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde ortalama yüzey alanında %40 oranda iken SiC ile takviye edilen numunelerde %40-%60 oranına sahiptir. Dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerde olduğu gibi katılan hacim oranlarında ki değer ile bunun çok birbirine bağlı olmadığını görüyoruz.

Tablo 5.13 SiC ile takviye edilen numunelerin HV sertlik değeri ve Image analyzer programı ile ölçülen SiC yüzey alan oranı.

Numuneler	Sertlik (HV)	% Alan
D2.5	164	48
D5	140	38
E2.5	161	49
E5	179	57

5.2.5. Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi numunelerinde %10 SiC takviyesi ile numuneler üretilemeyip, metalografik incelemeler, aşınma sonuçlarının etkisi göz önünde bulundurularak kalın tane boyutuna sahip E numuneleri %2,5 ve %5 hacim oranları ile Alüminyum alaşımının çekme çubukları üretilmiştir. Şekil 5.57’de sonuçlar verilmiştir. Takviye oranının artması ile %2,5 hacim oranı ile takviye edilen numunede çekme ve uzama değerlerinde artış görülmemiş takviye oranının %5 çıkarılması ile uzama ve çekme değerlerinde artış gözlenmiştir.



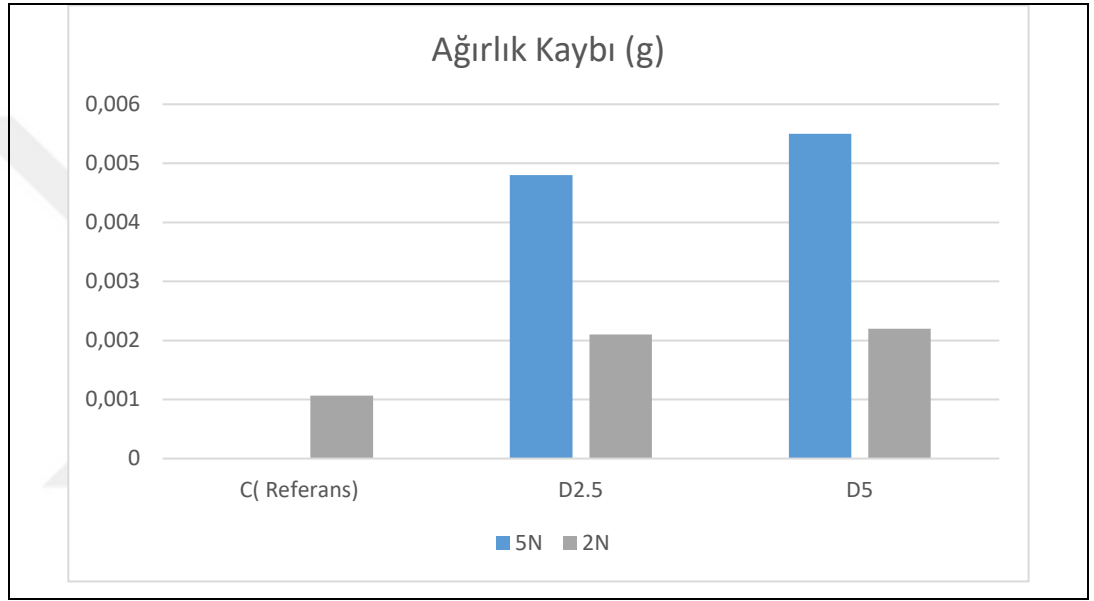
Şekil 5.57: Referans numune ve E2,5 ve E5 numunelerinin çekme dayanım değerleri.

Dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numunelerin SiC ile takviye edilen numunelerden çekme ve uzama değerlerinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Ancak çekme testi sonuçlarına bakıldığında test numune sayılarının daha çok artırılmasının daha sağlıklı sonuçlar elde edilecektir.

5.2.6. Aşınma Testi Sonuçları

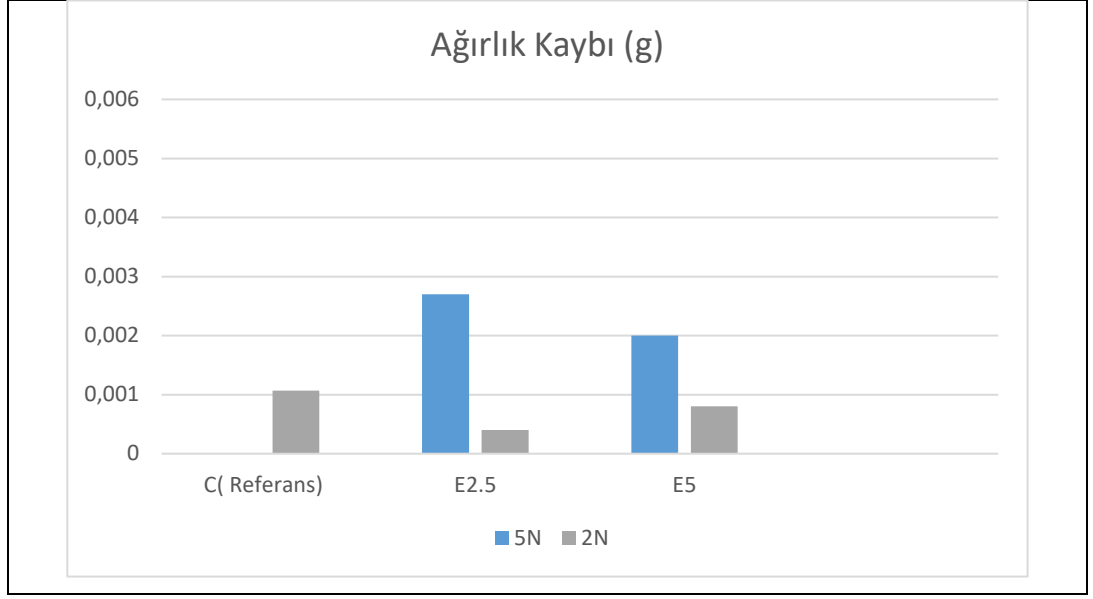
Çalışmada aşınma testleri dökme demir talaşlı numunelere uygulandığı gibi pin on disk cihazı yardımıyla 5N ve 2N yükün aynı numuneye 0,1 m/s hızda 250 metre 3er tekrarlı olmak üzere testler gerçekleştirilmiştir.

Aşınma testi öncesinde numunelerin tartımları alınmış 3 tekrarlı aşınma sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları incelenmiştir. SiC numunelere de dökme demir talaşlı numunelerde olduğu gibi 2N ve 5N yükte uygulanmıştır.



Şekil 5.58: D numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.

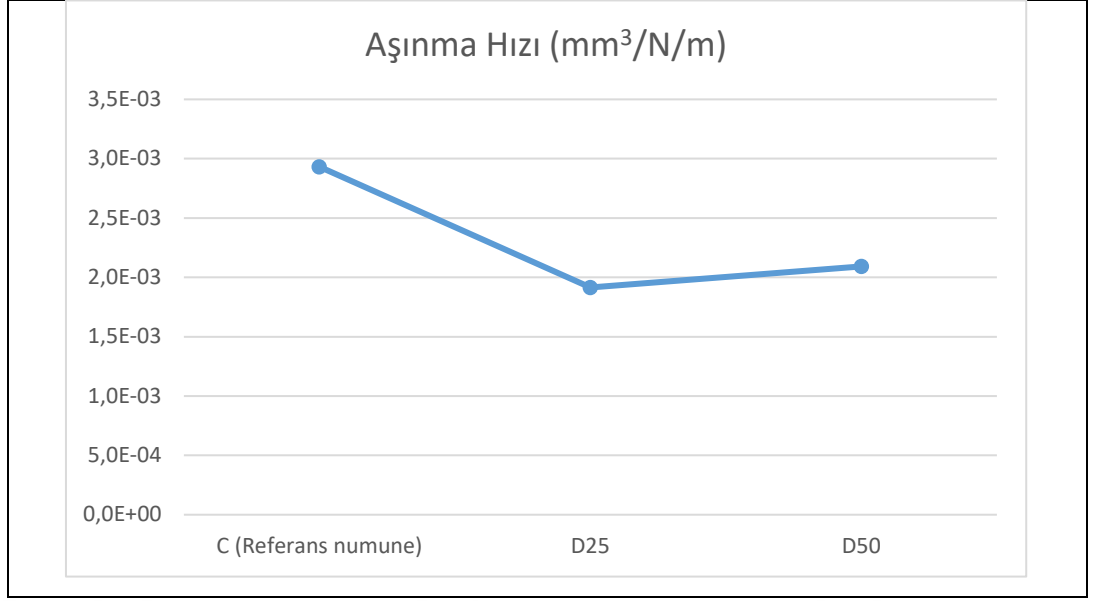
Şekil 5.58’de D numunelerinin 3 kez tekrarlanan 5N, 2N aşınma yüklerinden sonra numuneden ne kadar kayıp olduğu tartılmıştır. C numunesine yani referans numuneye 5N yük uygulanamamıştır. 2N yükte D numunesi referans numuneye göre yüzeyden daha fazla SiC koparak yükün matrise gelmesi sonucu daha fazla kaybın olduğunu gösterirken 5N yükte artan takviye hacminde de aynı sonuçla karşılaşmıştır. Benzer bir şekilde küçük tane boyutlu dökme demir talaşı ile edilen numunelerde 5N yükte aynı şekilde takviye oranının arttıkça aşınmanın arttığı gözlenirken, 2N yükte tam tersi etki görülmüştür. Referans numuneden daha az aşınmışlardır.



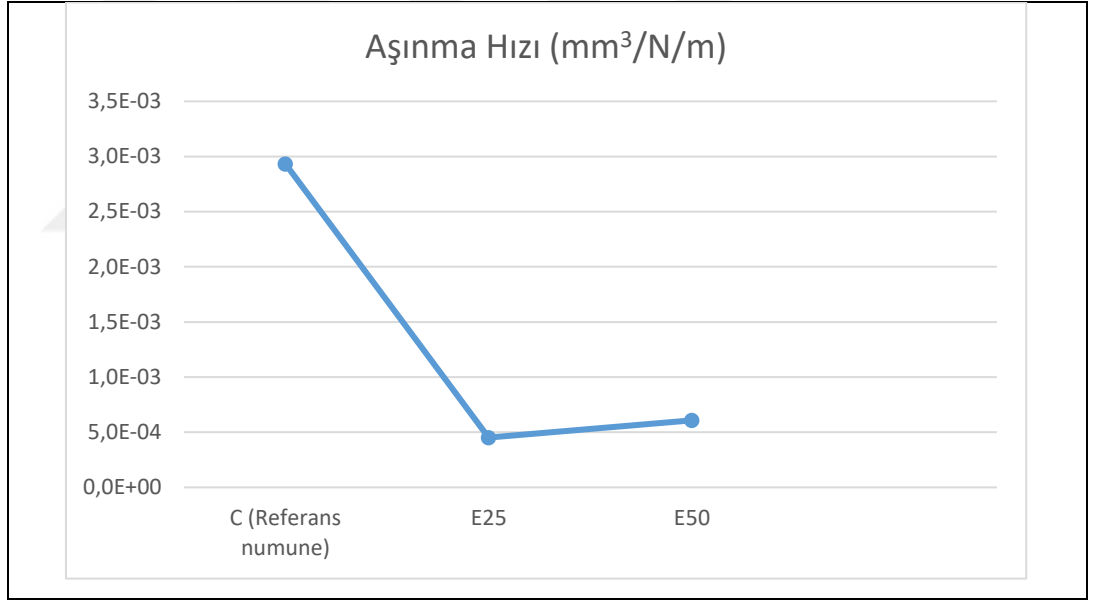
Şekil 5.59: E numuneleri ve referans numunenin 2N, 5N yükte ağırlık kaybı.

Şekil 5.59’da E numunelerinin 5N, 2N yük uygulanmış ve aşınma 3 kez tekrarlanmıştır numuneden ne kadar kayıp olduğu tartılmıştır. 2N yükte E numunesinde referans numuneye göre aşınma daha az gerçekleşmiştir ve artan takviye hacminde aşınma daha fazla görülmüştür. D numunesinden tamamen farklı bir aşınma türü mevcuttur diye söylenebilir. 5N yükte artan takviye hacminde numunenin daha az aşındığı gözlenmiştir. Büyük tane boyutlu dökme demir talaşı ile edilen numunelerde hem 5N hem 2N yükte artan takviye oranı ile aşınmalar azalmıştır.

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilen dökme demir talaş takviyeli numunelerde olduğu gibi aşınma hızının takviye oranına bağlı etkisi 2N ve 5N yükte D numuneleri, referans numune ve E numunelerini incelenmiştir.



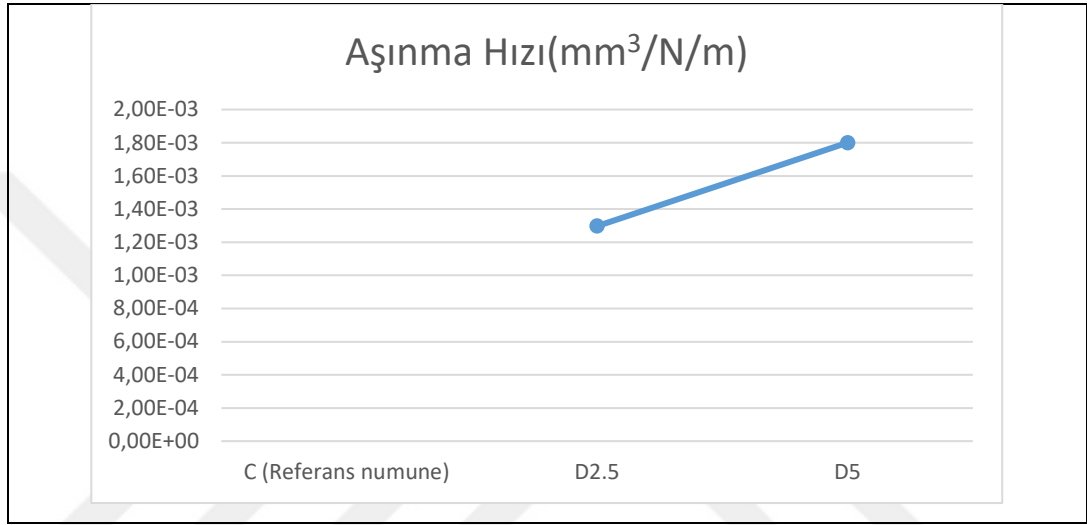
Şekil 5.60: 2N yükte D numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.



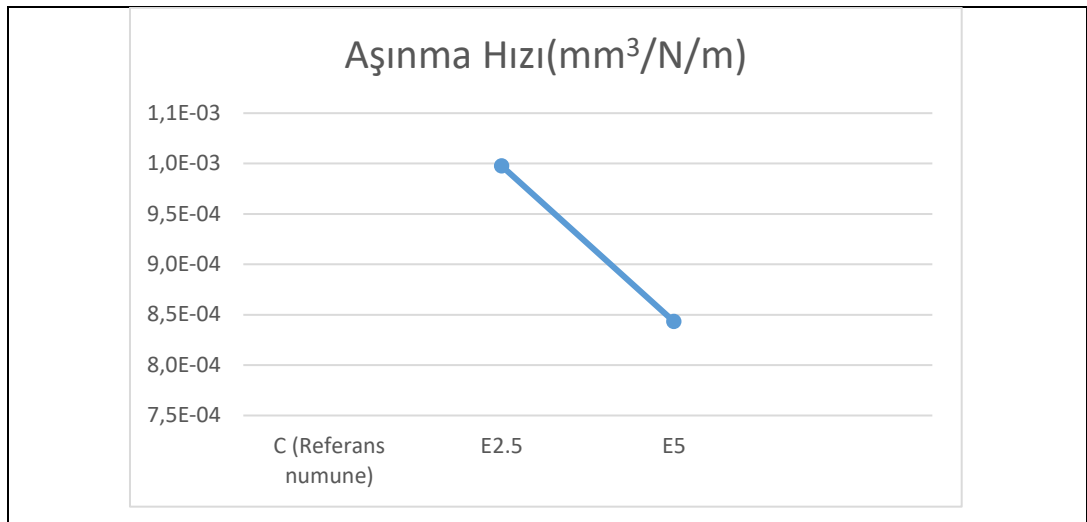
Şekil 5.61: 2N Yükte E numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.

Takviyesiz A356 alaşımının $2,9 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ olarak tespit edilmiştir. A356 alaşımına tane boyutu küçük SiC yani D numunelerinin %2,5 ve %5 takviye edilmiş aşınma hızları sırasıyla $1,9 \times 10^{-3}$, $2,1 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ olarak tespit edilmiştir ve Şekil 5.60’da verilmiştir. Tane boyutu büyük olan E numunelerinde ise %2,5, %5, takviye edilmiş numunelerin $4,5 \times 10^{-4}$, $6,1 \times 10^{-4}$, $\text{mm}^3/\text{N.m}$ bulunmuştur. Şekil 5.61’de incelendiği üzere dökme demir talaşı ilaveli numunelerde olduğu gibi takviye oranının

artması ağırlık kaybından da anlaşılacağı üzere ile aşınma hızının arttığı ancak referans numuneye aşınma hızının düştüğü dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde olduğu gibi gözlenmiştir. Şekil 5.61’de artan takviye oranında aşınma hızı artmış ancak referans numuneye göre aşınma hızı çok daha düşük yani numunelerin takviyelendirildiğinde daha az aşındığı gözlenirken dökme demir talaşı takviye edilen B numunelerinde B2.5 ve B5 numunelerinde E2.5, E5 numunelerinde olduğu gibi takviye oranı arttığında aşınma hızının arttığı gözlenmiştir.



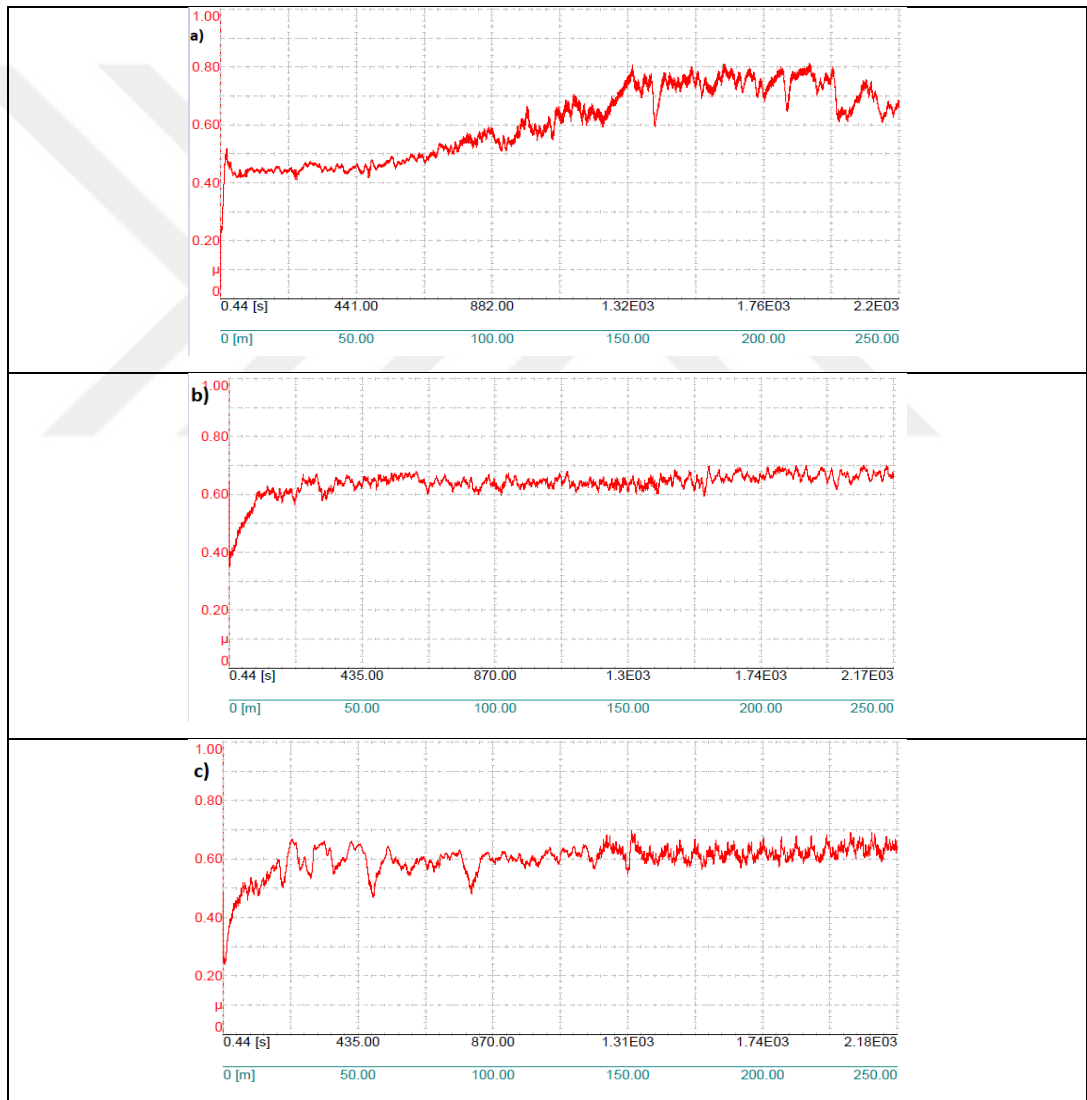
Şekil 5.62: 5N Yükte D numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.



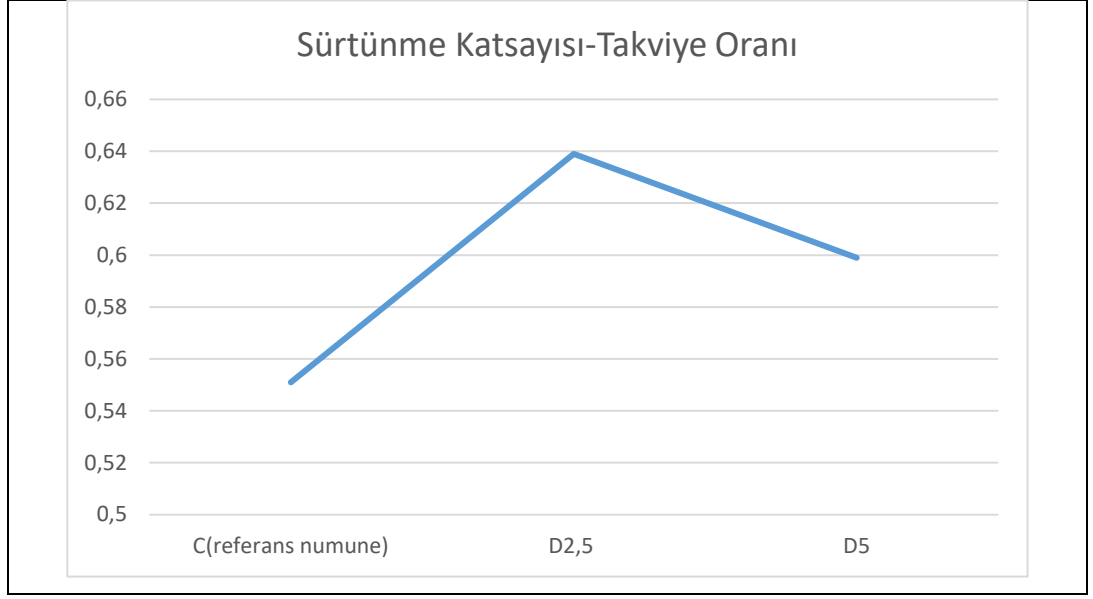
Şekil 5.63: 5N Yükte E numuneleri ve referans numunenin aşınma sonuçlarının aşınma hızı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.62’de D numunelerine 5N yük uygulandığında artan takviye oranı ile aşınma hızının da arttığı A numunelerinde yani küçük tane boyutu dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.63 incelendiğinde E numunelerinde artan takviye oranında aşınma hızının azaldığı B numunelerinde olduğu gibi benzer aşınma sergilemişlerdir. 5N yük uygulandığında hem tane boyutu büyük hem tane boyutu küçük takviye edilmiş numuneler dökme demir talaşı ile benzer özellikler göstermiştir.

Sürtünme mesafesi, sürtünme katsayısı arasındaki ilişki değerlendirilmiş grafiklerle verilmiştir.

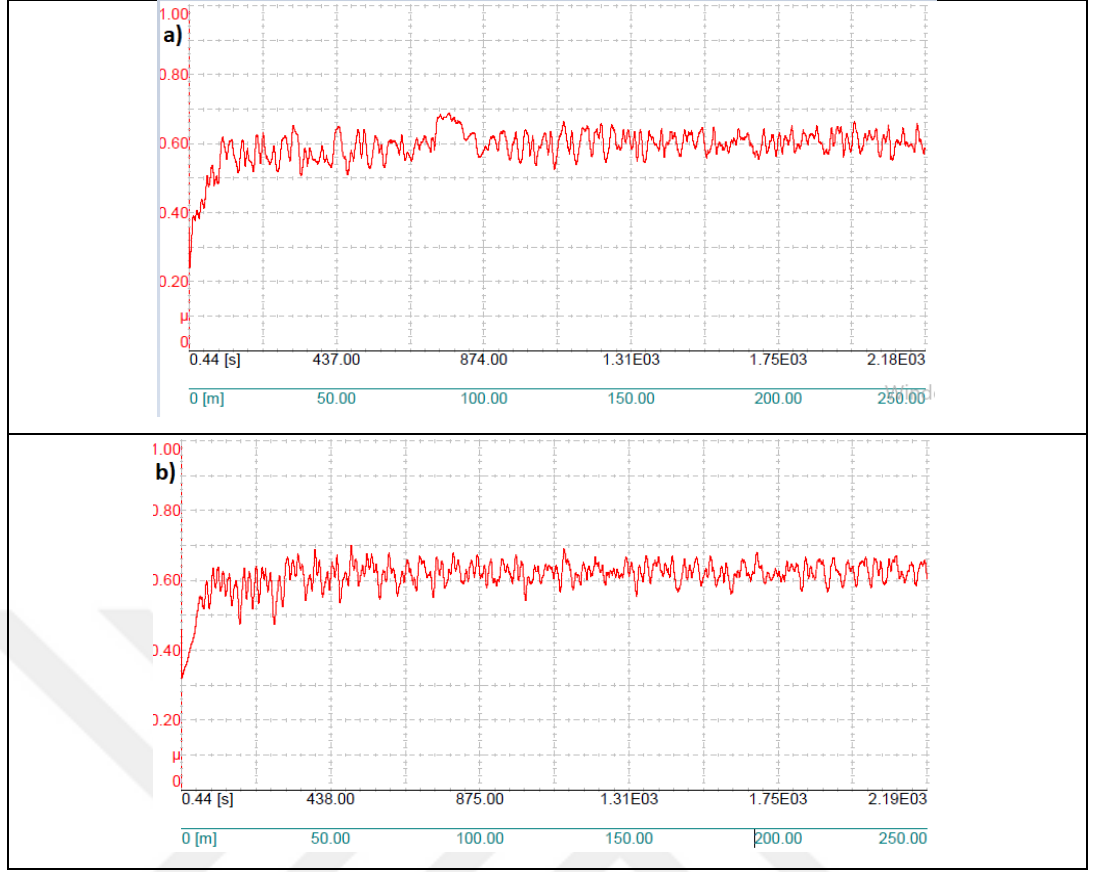


Şekil 5.64: a) Referans numune b) 2N yük ile %2,5 takviye edilmiş D numunesi c) 2N yük ile %5 takviye edilmiş D numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.



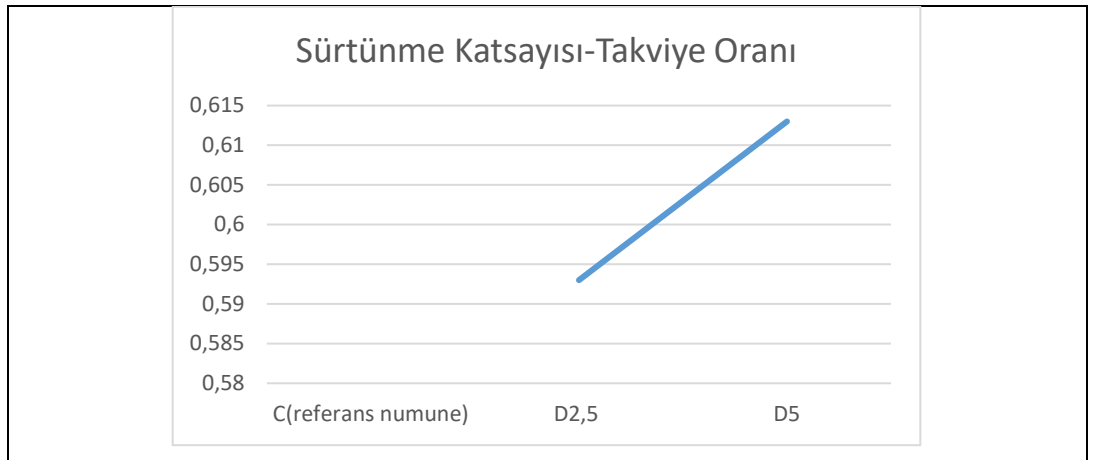
Şekil 5.65: 2N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.64’de 2N yük uygulanmış D numunelerinin sürtünme mesafesi ile sürtünme katsayısı ile olan ilişki verilmiştir. Referans numune ile karşılaştırıldığında takviye edilen numunelerin farklı olduğu referans numunede uygulanan yükte aşınma davranışı bir süre aynı ve daha sonrasında sürtünme katsayısının arttığı, takviye edilen numunelerde benzer aşınma davranışının olduğu ilk olarak uygulanan yükte sürtünme katsayısının arttığı sonrasında sabit bir şekilde ilerlediği gözlenmiştir. Şekil 5.65 incelendiğinde takviye oranının artması ile sürtünme katsayısı artmamıştır. %2, 5 ve %5 oranlarında takviye edilen numuneler arasında sürtünme katsayısının takviye oranı arttıkça azaldığı gözlenirken referans numuneye bakıldığında sürtünme katsayısının takviye edilmiş numunelere göre daha az olduğu gözlenmiştir. Dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde artan takviye oranı ile sürtünme katsayısı artarken SiC ile takviye edilen numunelerde tam tersidir.



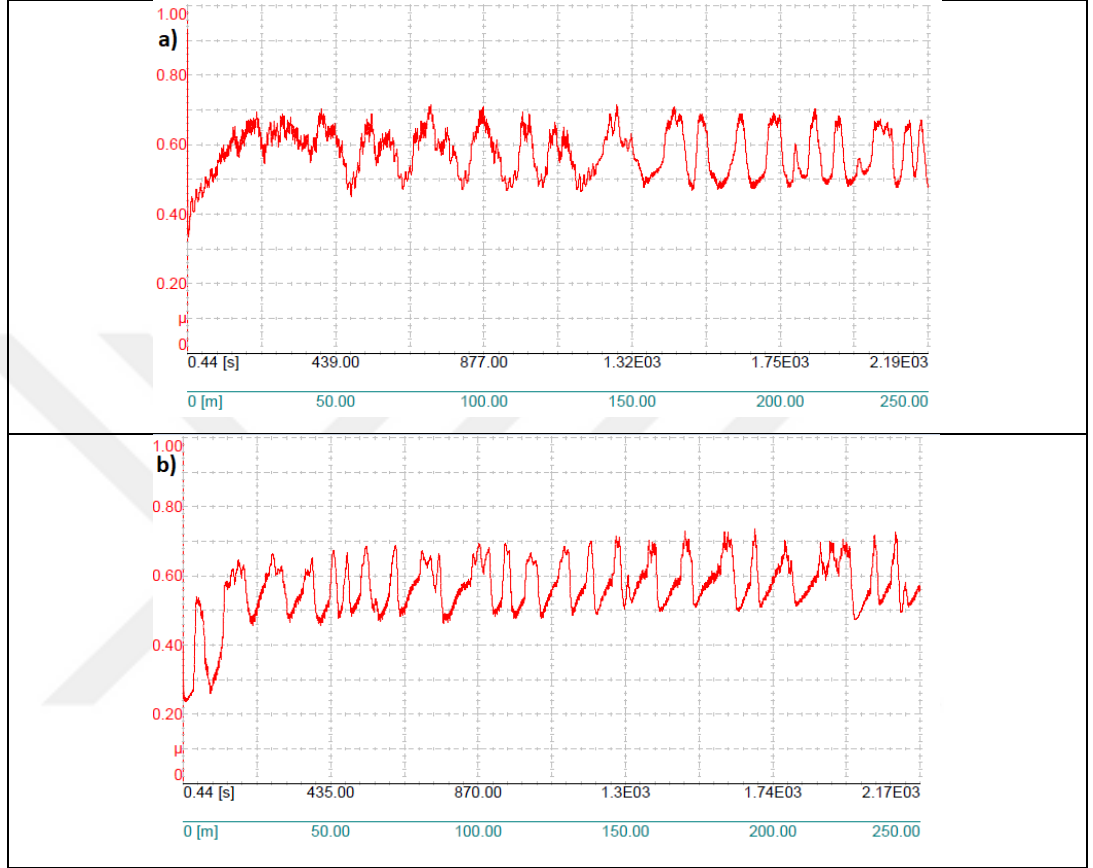
Şekil 5.66: a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş D numunesi b)5N yük ile %5 takviye edilmiş D numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

C referans numuneye 5N yük uygulanamamıştır. Şekil 5.66’da %2.5 SiC ile takviye edilmiş numunenin ve %5 SiC ile takviye edilmiş numunenin sürtünme davranışı incelendiğinde benzer davranış sergilediği gözlenmiştir.

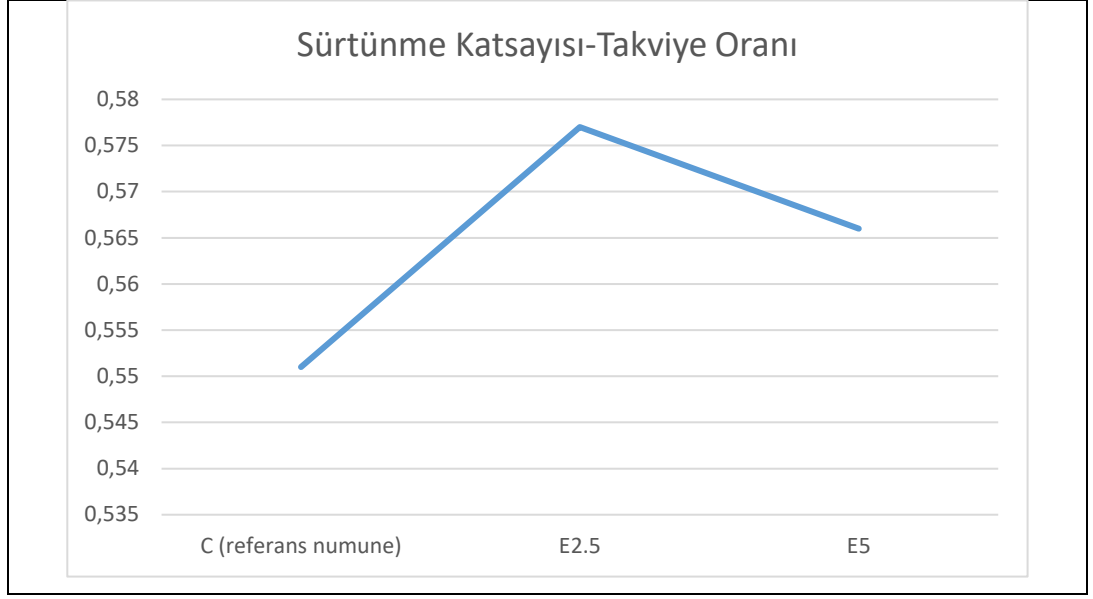


Şekil 5.67: 5N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.67’de takviye oranının artması ile sürtünme katsayısı arttığı gözlenmiştir. Dökme demir talaşı takviye edilen numunelerde %2,5 ve %5 oranlarında takviye edilen numuneler arasında sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür ancak SiC takviyesinde bu durum literatürde beklendiği gibi [Wu and Tang, 2008] gözlenmiştir.

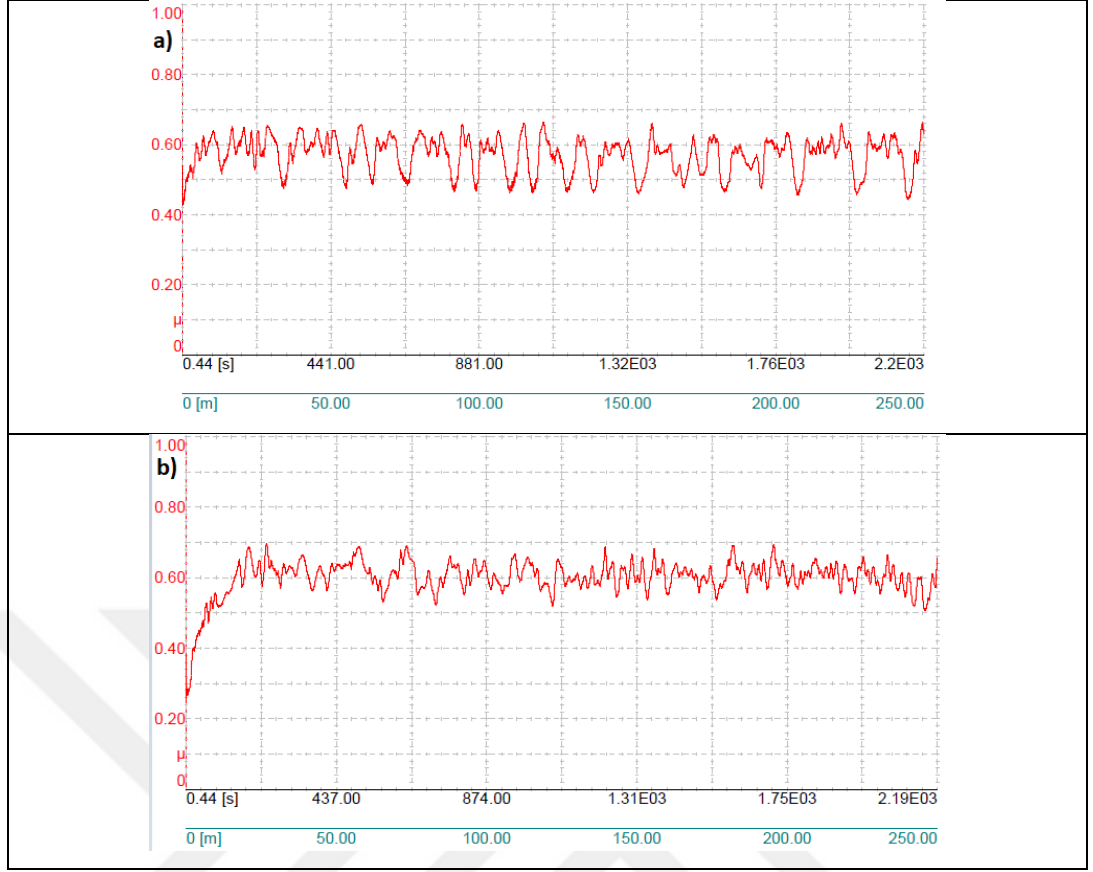


Şekil 5.68: a) 2N Yük ile %2,5 takviye edilmiş E numunesi b) 2,5N yük ile %5 takviye edilmiş E numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.

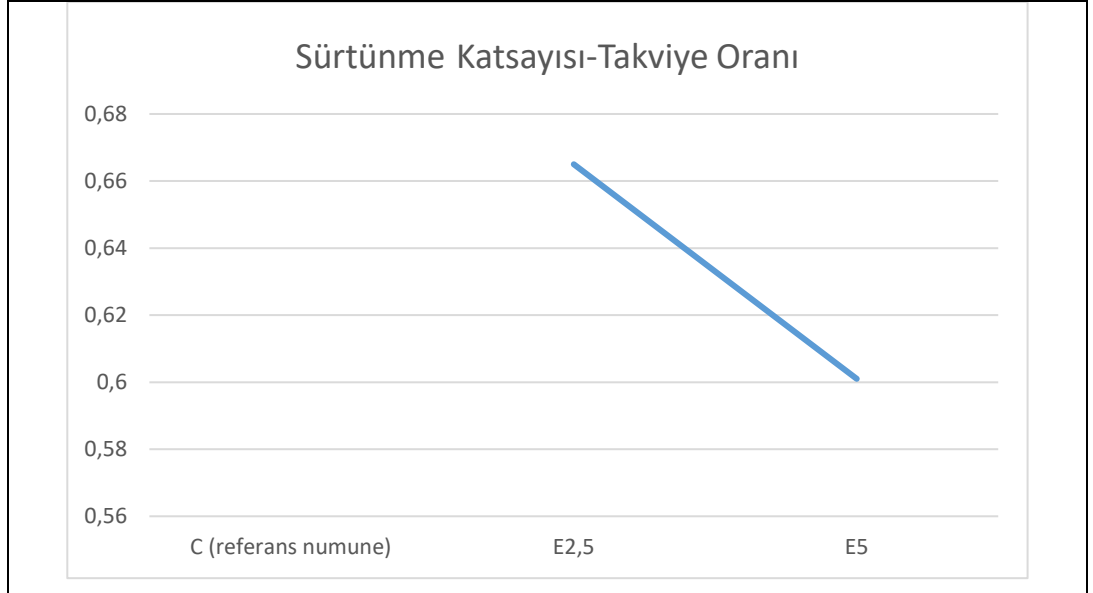


Şekil 5.69: 2N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

Şekil 5.68 incelendiğinde E numunelerinde takviyenin artması ile sürtünme katsayısı referans numune göre artmıştır aynı D numunelerinde görüldüğü gibi takviye edilmiş numuneler arasında artış incelendiğinde gözükmemektedir. Tane boyutu büyük olan dökme demir talaşı takviye edilen B numunelerinin sürtünme katsayıları aralarında farklar yokken E numunelerinde artan takviye oranı ile azalmış ancak referans numuneye sürtünme katsayı değeri fazladır.



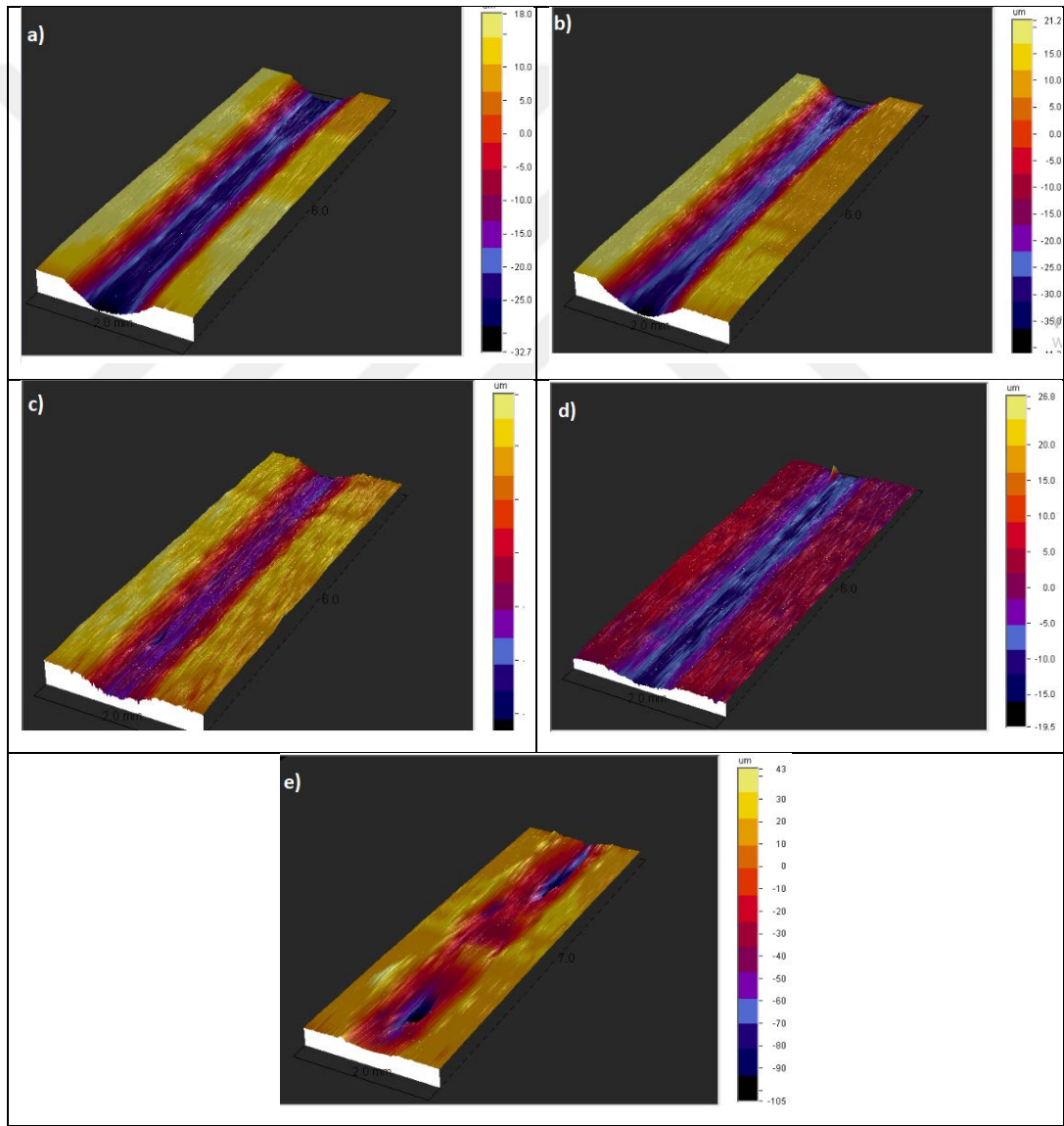
Şekil 5.70 a) 5N yük ile %2,5 takviye edilmiş E numunesi b) 5N yük ile %5 takviye edilmiş E numunesi sürtünme mesafesi-sürtünme katsayısı grafiği.



Şekil 5.71: 5N yükle sürtünme aşınma sonuçlarının sürtünme katsayısı-takviye oranına bağlı grafiği.

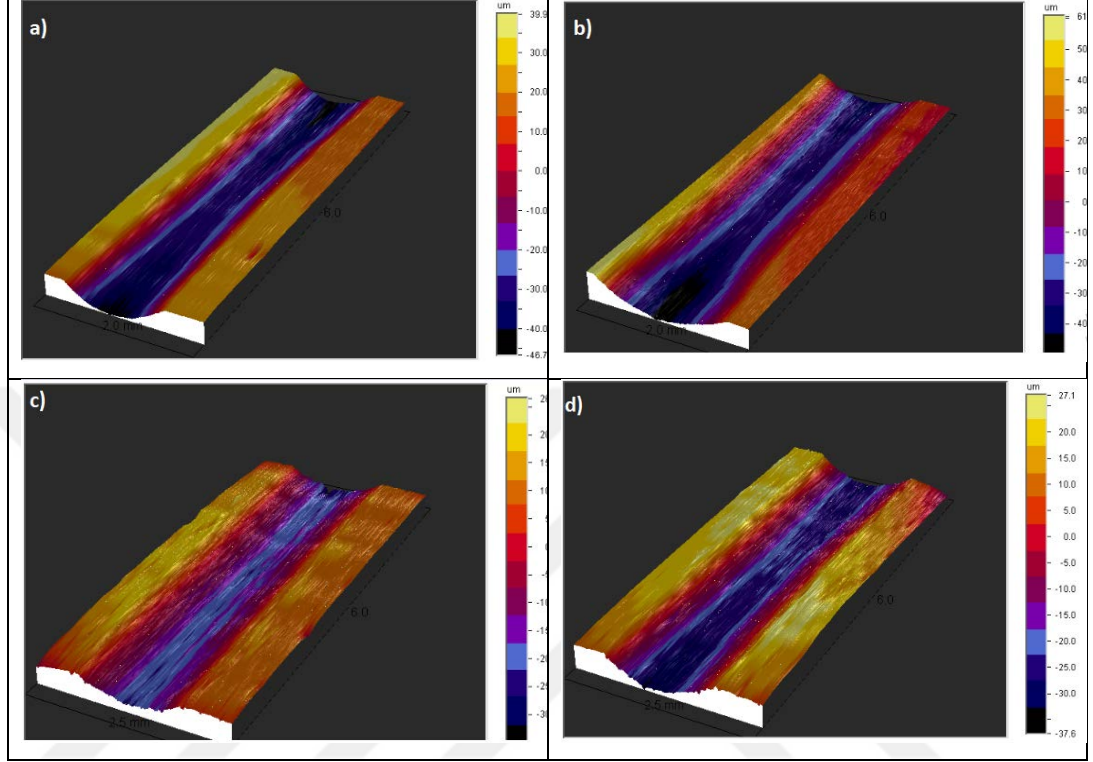
5N yük uygulanan E numunelerinde de referans numuneye göre sürtünme katsayısının arttığı ancak takviye edilmiş numuneler arasında sürtünme kuvveti arasında bir azalma meydana geldiği Şekil 5.70 'de görülmüştür ve sürtünme katsayılarının benzer davranış sergilediği 5.71'de verilmiştir. Dökme demir talaşı takviyesinde olduğu gibi Takviye elemanların kısmen topaklanma eğiliminde olması ve numune yüzeyinde takviyenin çevrelendiği matris hacminin azalmasına bağlı olarak kolayca aşındırılabilmesi durumu ya da gözenek miktarının fazla olması sürtünme katsayısında dalgalanmaları meydana getirmiş olarak yorumlanabilir.

Aşınma testinden çıkan numunelerin yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir.



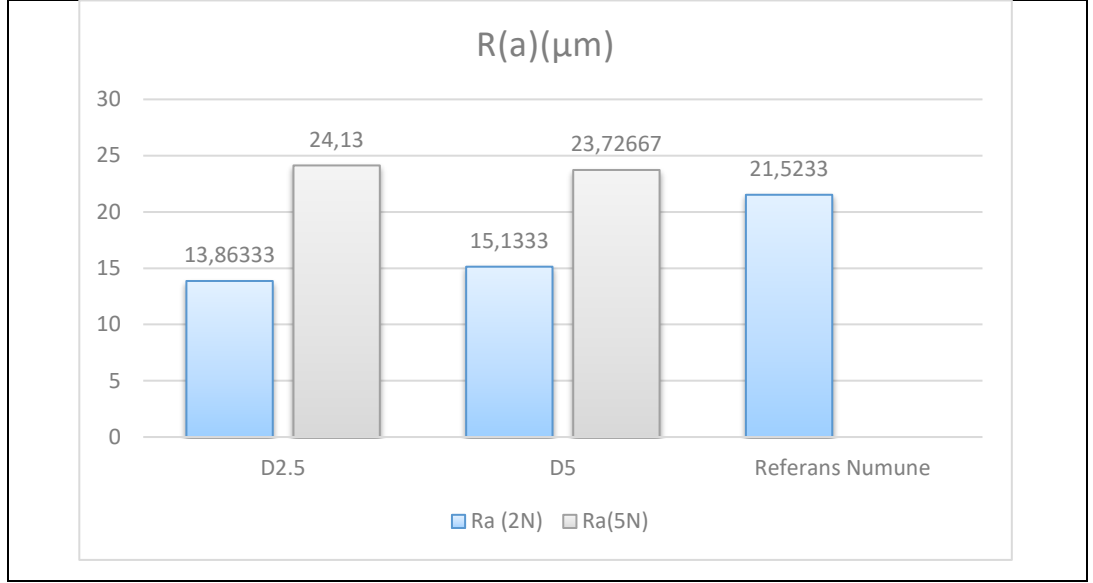
Şekil 5.72: 2N yük uygulanmış a) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) E5 e) referans numune.

Şekil 5.72’de 2N yük uygulandığında profilometre sonuçlarının üç boyutlu görüntüleridir. Takviye boyutu küçük olan numunelerde aşınma izleri daha çok belli olduğu söylenebilir.

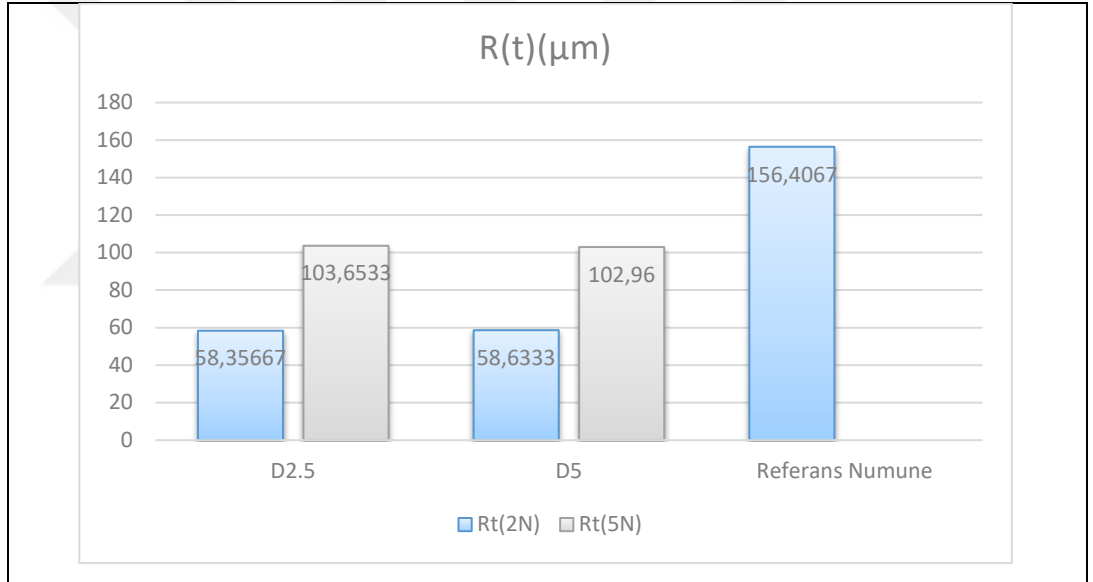


Şekil 5.73: 5N yük uygulanmış a) D2.5 b) D5 c) E2.5 d) E5.

Şekil 5.73’de 5N yük uygulanmış numunelerin profilometre görüntüleri verilmiştir. 5N yük C referans numuneye uygulanamamıştır. Artan yük ile E numunelerinde aşınma izlerinin daha belirgin ve daha derin olduğu ancak D numunelerinin aşınma izlerinin de E numunelerine göre daha belirgin olduğu söylenebilir.

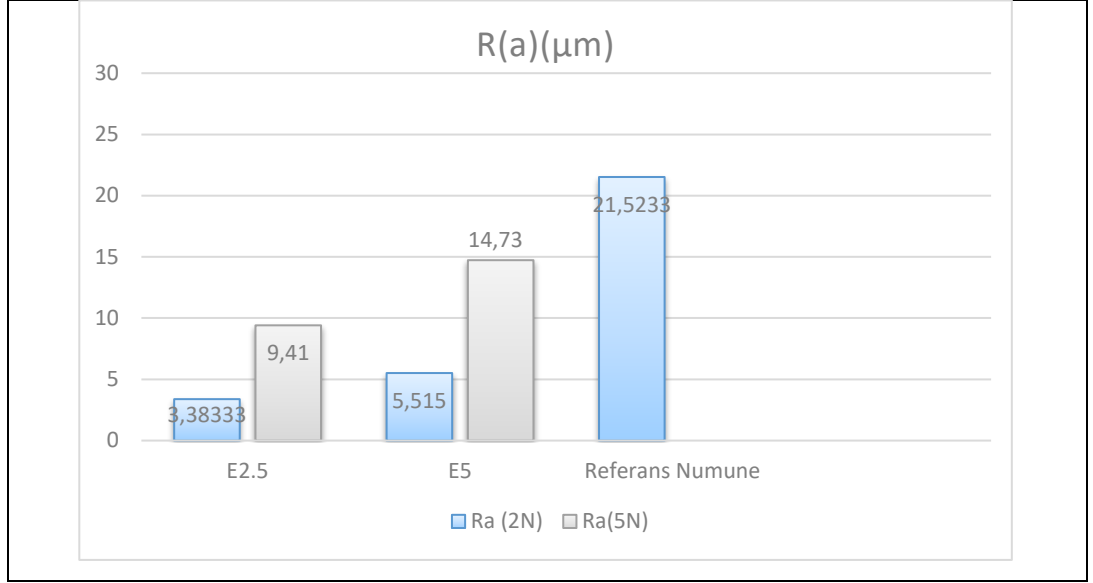


Şekil 5.74: D numuneleri ve referans numunenin R(a) değerleri

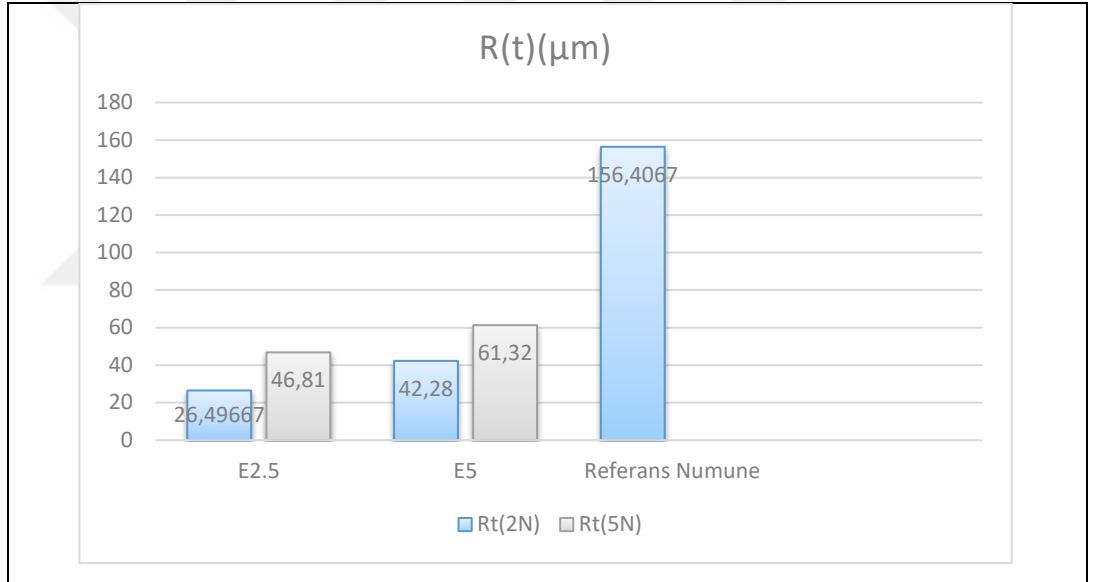


Şekil 5.75: D numuneleri ve referans numunenin R(t) değerleri.

D numunelerinin yüzey pürüzlülüğü R(a) Şekil 5.74’de takviye boyutunun artması ile dökme demir talaşı ile takviye edilmiş numunelerin aksine azalmıştır. Artan yük ile de pürüzlülüğün arttığı gözlenmiştir. Aşınma oyuklarının yani yükseklik farkının R(t) referans numunede daha fazla olduğu takviye miktarının artması ile bariz bir fark olmadığı ancak yine de arttığı gözlemlenmiş ve Şekil 5.75’de verilmiştir. A numuneleri ile karşılaştırıldığında oyuklanmanın D numunelerinde daha fazla olduğu yani R(t) değerinin daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5.76: E numuneleri ve referans numunenin $R(a)$ değerleri.

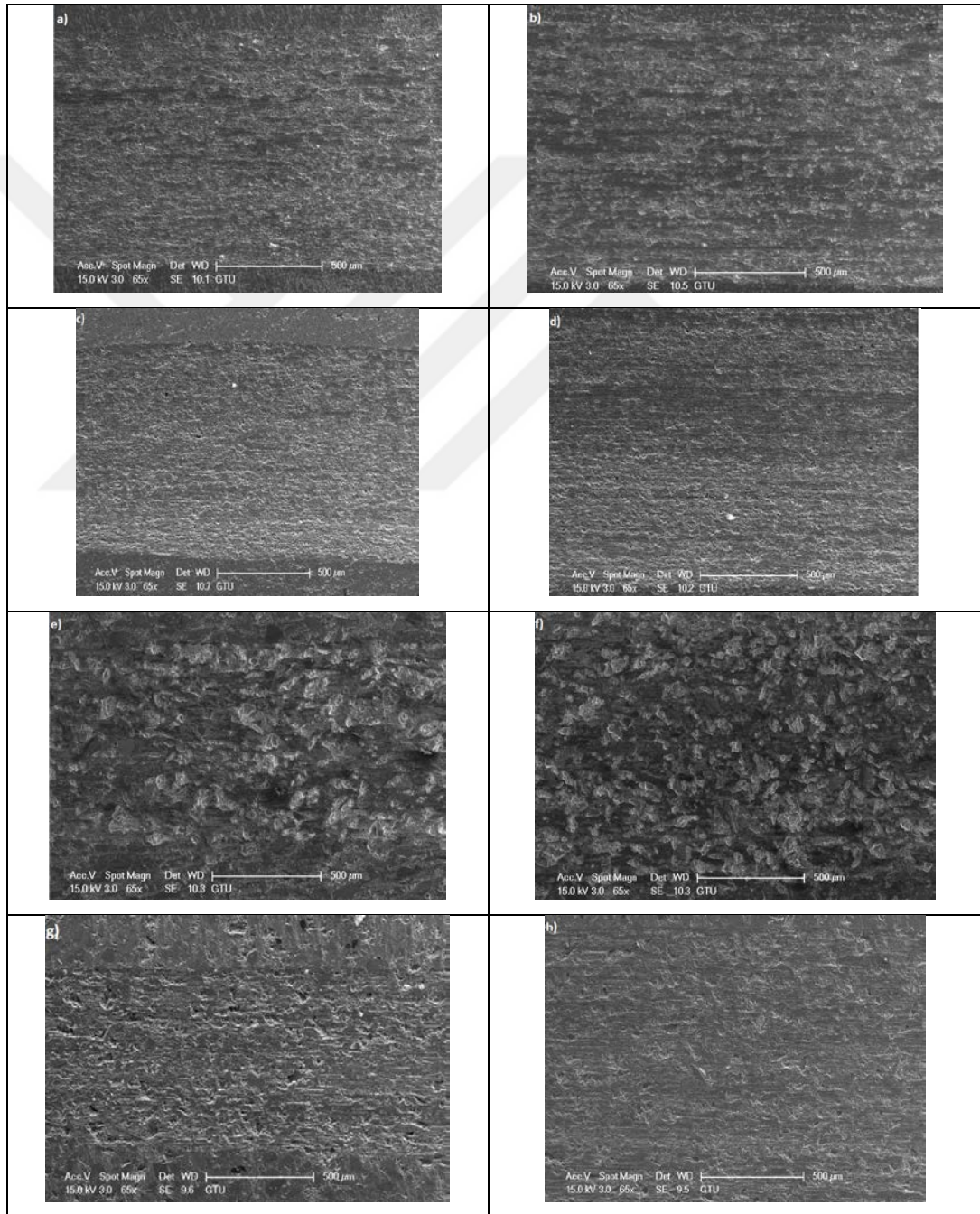


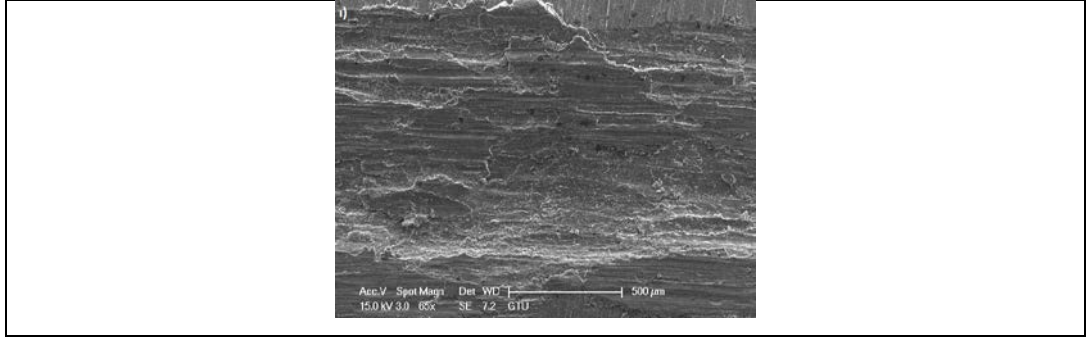
Şekil 5.77: E numuneleri ve referans numunenin $R(t)$ değerleri.

E numunelerinde referans numuneye göre takviye edilmiş numunelerin yüzey pürüzlülükleri daha iyidir ancak takviye oranının artması ile pürüzlülük artmıştır Şekil 5.76’de verilmiştir. Şekil 5.77’de görüldüğü üzere referans numunenin $R(t)$ yükseklik farkının daha fazla olması beklenildiği gibidir takviye oranının artması ile bu değerin artması doğrusal olarak düşünülmelidir ayrıca artan yük ile $R(a)$ ve $R(t)$ değerleri artmıştır. Tane boyutu büyük olan dökme demir talaşı ile takviye edilmiş B numunelerine göre yüzey pürüzlükleri ve $R(t)$ değeri çok daha düşük olup yüzeyden aşınan parçacıkların daha az olduğu söylenebilir.

5.2.7. Aşınma Numunelerinin Sem analizleri

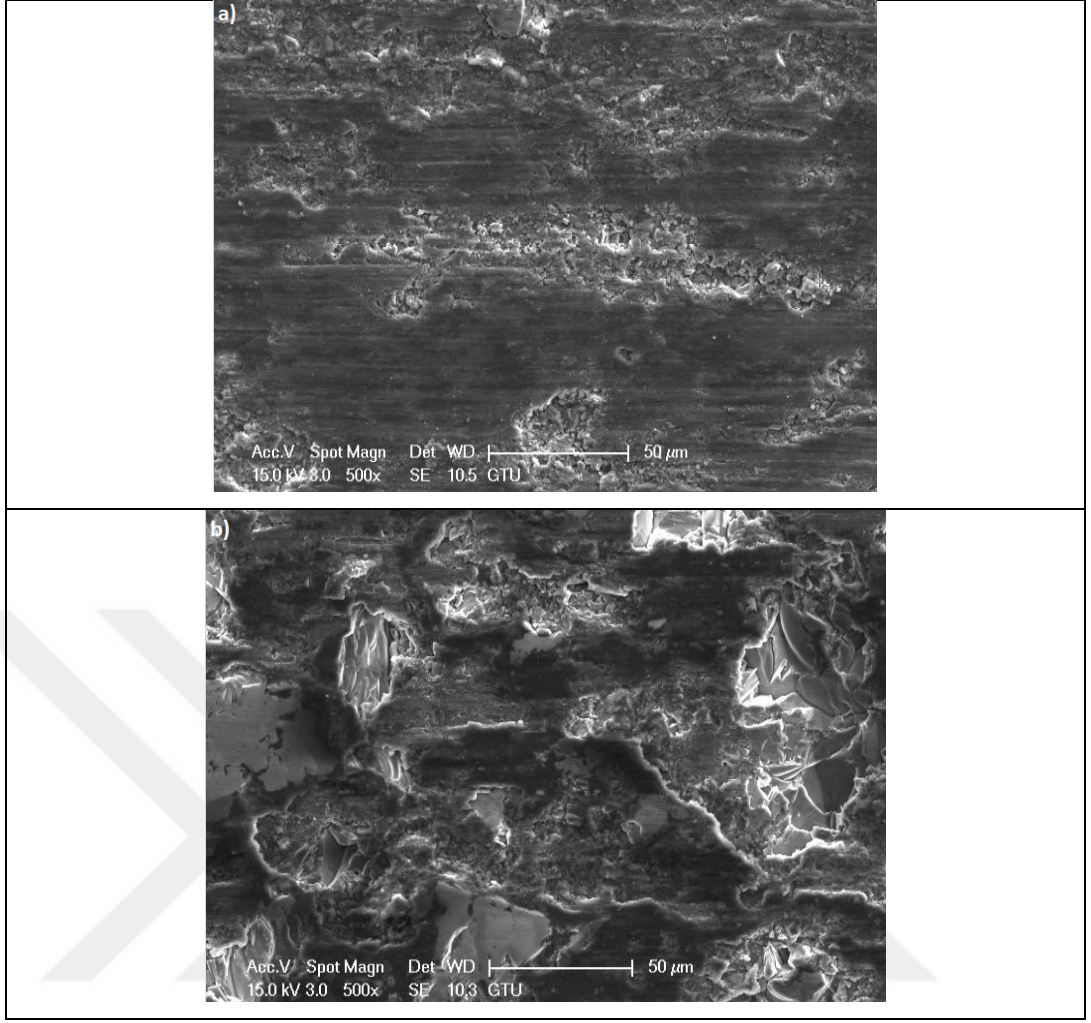
Aşınma davranışlarının incelemek için numuneler SEM’de görüntülenmiştir. Aşınmalar 3 kez tekrarlanarak yapılmıştır. Dökme demir talaşı takviyeli numunelere uygulandığı gibi 65x, 125x, 250x, 500x görüntülemelerde SE modunda 2N ve 5N yük olarak belirlenen aşınma görüntüleri alınmış, yük etkisi, aşınma davranışları, aşındırıcı etkisi incelenmiştir.





Şekil 5.78: a) 2N yük D2.5 b) 5N yük D2.5 c) 2N yük D5 d) 5N yük D5 e) 2N yük E2.5 f) 5N yük E2.5 g) 2N yük E5 h) 5N yük E5 ı) 2N Referans Numune A356 Alaşımı (Takviyesiz).

Şekil 5.78 ‘de D2.5, D5, E2.5, E5 ve referans numunelerin 2N ve 5N yük uygulandığında 65X büyütmede aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Sol taraftaki görseller 2N yük uygulanan sağ taraftaki görsellere 5N yük uygulanan numunelerdir. D2.5 numunesi incelendiğinde artan yük miktarı ile abrazif aşınmanın oluşturduğu aşınma izlerindeki derinliği azaltmış, aşınma izlerindeki genişliği ise artırmıştır. D5 numunesinde ise 2N yük uygulandığında ki aşınma izi yine 2N yük uygulanan D2.5 numunesine göre daha dar olup artan yükte birlikte aşınma izinin genişliği arttığı ve D2.5 numunelerinde abraziv bir aşınma davranışı söz konusuyken D5 numunelerinde daha çizgisel olduğu, abraziv aşınmanın yerini plastik deformasyona bırakarak aşınma davranışı sergilediği gözlenmiştir. E2.5 numunelerinde ise D2.5 ve D5 numunelerine göre aşınmış yüzey görüntüleri SiC parçacıklarının matris yüzeyi üzerinde sıvanmasında partiküllerin artışa sebep olmuştur. E5 numunelerinde ise E2.5 numunelerine göre partikül oluşumu çok daha az olduğu abraziv davranıştan daha çok plastik deformasyon davranışı görülmüştür. Referans numuneye bakıldığında ise takviye edilmiş numunelerin aşınma davranışının iyileştiği gözlenmiştir. Yüzeye uygulanan yük arttığında aşınmış yüzeyde pürüzlülük oranının azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.79: 5N Yükte a) D2,5 b) E2,5.

Şekil 5.79’da aynı yük uygulanmış D2.5 ve E2.5 numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Tane boyutu artmış %2.5 takviye edilmiş numuneler incelendiğinde SiC ün kırılarak ya da çatlayarak aşındığı adhesiv ve abrasiv aşınma izlerinin daha belirginleştiği verilmiştir.

Genel olarak dökme demir talaşı takviye edilmiş numunelerde olduğu gibi artan yük ve tane boyutu ile farklı aşınma davranışlarının gerçekleştiği görülmüştür. %2.5, %5 takviye edilmiş tane boyutu büyük olan SiC numuneleri ve %2.5, %5 takviye edilmiş tane boyutu küçük olan dökme demir talaşı numuneleri olan E ve A numunelerinde benzer aşınma davranışı ve partiküllerin oluşumu gözlenmiş ancak artan takviye boyutu ile aşınma davranışının daha çok plastik deformasyon gösterdiği her iki tip takviye türünde de görülmüştür. Referans numuneye 5N yük uygulanamasa da aşınma hızları, R(a), R(t) değerleri yüzeyden aşınan oyuklanmaların takviye edilmiş numunelerde daha iyi olduğu gözlenmiştir.

6. GENEL SONUÇLAR

- Yapılan çalışmada sıkıştırırmalı döküm yöntemi ile Alüminyum alaşımı A356'nın yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmış, yüzeye 1-3 mm olarak dökme demir talaşı takviyesi ve 1-2 mm SiC takviyesi ayrı olarak katlandırılmış ve farklı hacim oranlarında numune üretimi gerçekleştirilerek yüzey modifikasyonu sağlanmıştır.
- Optik mikroskop ile incelenen numunelerde ilave edilen takviyelerin matrise homojen bir şekilde battığı gözlenmiştir. SiC ve dökme demir talaşı ilave edilen numunelerde gözenek problemi ile karşılaşmıştır. Ancak dökme demir talaşı ilave edilen numunelerde SiC ile takviye edilen numunelere göre gözenek problemi daha fazla olmuştur.
- SEM-EDS analizlerinde SiC ve dökme demir talaşı SEM analizlerinde homojen ve matrise benzer dağıldığı gözlenmiştir. EDS analizinde matris ve takviyeden beklenen elementlerin anında oksit oluşumu gözlenmiştir.
- XRD analizleri EDS analizlerini desteklemiştir. Matristen ve takviyeden kaynaklı arayüzeyde farklı bir faz oluşmamıştır.
- Sertlik testi sonucuna göre takviye edilen bölgelerden alınan sertlik değerleri matrise göre yüksek olup matris bölgesinden alınan sertlikler matrise yakın ya da arayüzey etkisinden dolayı biraz daha fazladır. SiC ile takviye edilen numunelerin sertliği dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerden daha fazladır.
- Çekme testi sonuçları beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Daha fazla döküm yapılarak sonuçlar tekrarlanmalıdır.
- Pin on disk aşınma testi sonucunda ağırlık kayıpları, yüzey pürüzlülüğü, aşınma hızı, sürtünme katsayısı mesafe ilişkisi gözden geçirilerek malzemenin aşınma karakteri ortaya konmaya çalışılmıştır. Test sonucunda referans numuneye göre takviye edilmiş numuneler daha üstün performans göstermiştir. Dökme demir talaşında ve SiC ile takviye edilen numunelerde takviye boyutlarına ya da hacim oranlarına bağlı olarak doğrusal bir aşınma hızı ya da sürtünme katsayısı, $R(a)$, $R(t)$ değerlerinde doğrusal bir oran kurmak mümkün olmamıştır. Dökme demir talaşının aşınma hızı SiC ile takviye edilen numunelere göre takviye boyutu büyük olanlarda benzerken, takviye boyutu küçük olan numunelerde dökme demir talaşı takviye edilen numunelerin alınma hızları daha küçük olduğu söylenebilir. Aşınma

yüzeyleri SEM analizleri yapılarak aşınma davranışları abrasif, adhesiv, plastik deformasyon olmak üzere üç tip aşınma davranışı belirlenmiştir. SiC ile takviye edilen numunelerde adhesiv ve abrasiv aşınmaların daha yoğun olarak görüldüğü dökme demir talaşı ile takviye edilen numunelerde davranışın plastik deformasyona daha yakın olduğu söylenebilir. Farklı koşullarda aşınma testi tekrarlanabilir.

- Çalışmada, alüminyum alaşımı matris olarak kullanılarak farklı oranlarda SiC'den başka, maliyeti daha düşük olan ve geri dönüştürülebilen dökme demir talaşı takviyesi ile de numunelerin üretilebileceği ve geliştirilmesi ile aşınma direnci daha yüksek alternatif bir malzemenin üretilmesine dair önemli bir veri vermiştir.

6.1. Öneriler

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ile ileride yapılacak olan çalışmalar için öneriler şu şekilde sıralanmıştır:

- Numunelerin üretimi sırasında EDS ve mikroyapı analizlerinde belli olan oksit sorunun önüne geçilebilmesi için döküm sırasında A356 alaşımı ergitilirken gaz alma işlemi yapılarak alüminyumun oksit oluşturması engellenebilir ya da dökme demir talaşının nem atma sıcaklığı $+50^{\circ}\text{C}$ artırılabilir.
- Image analyzer programı için daha fazla SEM görüntüsü incelenerek daha çok analiz ile takviye olarak seçilen hacimsel oranın katılan değer kadarı belirlenebilir.
- Sertlik testleri Brinell sertlik testine sabit tutularak dökme demir talaşı ya da SiC'ün 2-4 mm olacak şekilde numunelerin üretimi gerçekleştirilebilir.
- Çekme testi sonuçları bizi daha bilimsel sonuçlara götürebilmesi için ayrıca çekme çubuğu numunesinin üretilerek tornalama işlemine gerek kalmayacak şekilde kalıp tasarımı yapılmalı ve sonuçlar bu şekilde değerlendirilmelidir.
- Pin on disk testleri farklı ortamlar veya farklı sıcaklıklarda değerlendirilebilir.
- Testlere ek olarak korozyon testi eklenerek referans numuneye göre üretilen numunelerin korozyon dirençleri karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Azim A N., Shash Y., Mostafa, S F., Younan A. (1995). "Casting of 2024-Al alloy reinforced with Al₂O₃ particles." Journal of materials processing technology, 55(3-4), 199-205.
- Abdou S., Elkaseer A., Kouta H., Abu Qudeiri J. (2018). "Wear behaviour of grey cast iron with the presence of copper addition". Advances in Mechanical Engineering, 10(10), 1687814018804741.
- Agarwal B D., Broutman L J., Chandrashekhara K. (2017). "Analysis and performance of fiber composites." (1-5). John Wiley & Sons.
- Alfonso I., Maldonado C., García R., Mejía I. (2007). "Sliding Wear Properties of an Al-alloy SiC MMC Material Surfacing Weld Deposit." (285-292).
- Al-Qutub A., M Allam., I M Qureshi., T. W. (2006). "Effect of sub-micron Al₂O₃ concentration on dry wear properties of 6061 aluminum based composite. Journal of Materials Processing Technology." 172(3), 327-331.
- Aran, A. (2006). "Metal Matrisli Kompozitler Ders Notları" MAL-201. İTÜ Makine Fakültesi, Ders Notları, İstanbul.
- Arslan Z., Şimşir M., Onurlubaşgil T Y., Karaca B., Akkan H. (2015). "Toz metalurjisi yöntemi ile kompozit kam üretimi ve karakterizasyonu." Uluslararası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, Türkiye, Aydın/Kuşadası.
- Bates R C., Nair S V., Tien K. (1985). "SiC-reinforced aluminium metal matrix composites. International Metals Reviews", 275-290.
- Battaglia E., Bonollo F., Ferro P., Fabrizi A. (2018). Effect of heat treatment on commercial AlSi12Cu1 (Fe) and AlSi12 (b) aluminum alloy die castings. Metallurgical and Materials Transactions A, 49(5), 1631-1640.
- Bommala V K., Krishna M G., Rao C T. (2019). "Magnesium matrix composites for biomedical applications", Journal of Magnesium and Alloys , 7(1), 72-79.
- Campbell F C. (2008). "Elements of metallurgy and engineering alloys". 3th Edition, ASM International 1-80.
- Chawla B., Shen Y L. (2001). Mechanical Behavior of Particle Reinforced Metal Matrix Composites. Advanced Engineering Materials, 3(6), 357-370.
- Chen X L., Zhang H. (2011). "Microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron with about 4 wt% chromium. Journal of Materials Science", 46(4), 957-963.

Clyne T W. (2004). "Comprehensive Composite Materials. An Introductory Overview of MMC Systems, Types, and Developments" Volume 3 (1-5). UK: University of Cambridge.

Clyne T W., Withers P J. (1995). "An introduction to metal matrix composites" , Cambridge university press.

Coşkun M., Aslan S., Akbulut H. (2003). Uçucu Kül Takviyeli Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(3), 220-226.

Demir M E., Çelik Y H., Kılıçkap E. (2019). "Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrasiv Aşınmaya Etkisi", Journal of Polytechnic, 22(4),811-817.

Dev S P., Charoo M S. (2018). "Aluminum metal matrix composites a review of reinforcement; mechanical and tribological behavior" International Journal of Engineering and Technology ,7, 117-122.

Dhanashekar M., Kumar V S. (2014). "Squeeze casting of aluminium metal matrix composites,"-an overview. Procedia Engineering, 97, 412-420.

Ergün N. (2006). "Borkarbür Silisyum Karbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme İle Üretilmesi", Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-13.

Flemings M C., Riek RMG., Young K P. (1976). "Rheocasting. Materials Science and Engineering", 25, 103-117.

Ghomashchi M. R., Vikhrov A. (2000). Squeeze casting: an overview. Journal of Materials Processing Technology, 101(1-3), 1-9.

Girof F A., Majidi A., Chou T W. (2003). "Metal Matrix Composites. Encyclopedia of Physical Science and Technology", (Third Edition), (485-493).

Gül F. (1999). "Döküm Yoluyla Alüminyum Temelli Parçacık Takviyeli Kompozit Geliştirme Doktora Tezi", Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul,15.

Güler C. (2012). "Alüminyum Matrisli SiC Takviyeli Kompozit Malzemenin Meknaik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2-30.

Hayat M D Singh., H Cao P. (2019). "Titanium metal matrix composites" An overview. Composites Part A, 418-438.

Idrisi A H., Mourad A I. (2017). "Fabrication and wear analysis of aluminium matrix composite reinforced by SiC micro and nano particles", In ASME 2017 pressure vessels and piping conference. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.

Işık E. (2014). “SiC Takviyeli Al-12Si Matrisli Kompozitin Toz Metalurjisi Üretimi ve Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 35-36.

K.S S. (2006). “Corrosion Behavior of Boron Carbide Reinforced Aluminium Metal Matrix Composite”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol 10, 10392-10394.

Kabil A., Çiğdem M., Yüksel Ç. (2020). “Bor Karbür Takviyeli Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul,(1).

Kainer K U. (2006). “Basics of metal matrix composites” Metal Matrix Composites, (1-54).

Kalemtaş A. (2014). “Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış”, Putech&Composites, 22, 18-30.

Kaufman J G. (Aralık 2000). “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, ASM international.

Kaya A İ. (2015). “Atık Kağıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması” Doktora tezi, Süleyman Demirel üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 27-34.

Kırsasöz A A. (2018). “Alüminyum Matrisli Titanyumdikarbür Takviyeli Kompozitlerin IN STU Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14.

Kok M. (2004). “Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites”, Journal of Materials Processing Technology, 161, 381-387.

Koltsova T Larionova., T Fadin., Y Tolochko O. (2015). “Copper-based Composite Materials Reinforced with Carbon Nanostructures”, ISSN 1392–1320 MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA), 21(3), 364-368.

Kök M., Özdin, K. (2007). “Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al₂O₃ particles”, Journal of Materials Processing Technology, 183(2-3), 301-309.

Kumar B A Ananthaprasad., M GopalaKrishna K. (2016 Ocak). “A Review on Mechanical and Tribological Behaviors of Nickel Matrix Composites”, Indian Journal of Science and Technology, 1-2.

Kumar A. (2008 Kasım). “A Review on Corrosion Behavior of Nickel Matrix Composites”, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 342-346.

Lamon, J L. (2012). "Comprehensive Nuclear Materials,. "Properties and Characteristics of SiC and SiC/SiC Composites", 324, 323-338.

Mindivan H Kayali., E S Cimenoglu H. (2008). "Tribological behavior of squeeze cast aluminum matrix composites". Wear, 265(5-6), 645-654.

Mortsen A. (2001). " Metal Matrix Composites in Industry: an Overview. MMC Conference VII, (26-27). London.

Odabaşı A. (2004). "Kokil Ve Kum Kalıba Döküm Yöntemleriyle Üretilen Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin X-ışınları Ve Taramalı Elektron Mikroskopu Çalışmalarıyla Karakterize Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11.

Pandey U., Purohit R., Agarwal P., Dhakad S K., Rana R S. (2017). 6th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016). Effect of TiC particles on the mechanical properties of aluminium alloy metal matrix composites (MMCs), (s. 4(4), 5452–5460).

Parvin N., Rahiman M. (2012). "The characteristics of alumina particle reinforced pure Al matrix composite", Acta Physica Polonica-Series A General Physics, 121(1), 108.

Podgornik B Vizintin., J Thorbjornsson., I Johannesson., B Thorgrimsson., J T Celis M., M Valle N. (2012). "Improvement of ductile iron wear resistance through local surface reinforcement", Wear, 274, 267-273.

Powell B R Luo., A. A. Krajewski., P. E. (2012), "Magnesium alloys for lightweight powertrains and automotive bodies", Advanced Materials in Automotive Engineering (50-209).

Pul M Çalin., R Şeker U. (2011). "Effects of reinforcement volume fraction on the abrasive wear behaviour of Al—MgO composites produced by the vacuum infiltration method", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Engineering Tribology, 225(2), 84-90.

Ramachandra M., Radhakrishna K. (2006). "Sliding wear, slurry erosive wear, and corrosive wear of aluminium/SiC composite", Materials Science-wroclaw-24(2/1), 333.

Rao R. N., Das S. (2011). "Effect of SiC content and sliding speed on the wear behaviour of aluminium matrix composites", Materials & Design, 32(2), 1066-1071.

Rao T B. (2018). "An experimental investigation on mechanical and wear properties of Al7075/SiCp composites effect of SiC content and particle size", Journal of Tribology, 140(3).

Reihani S S. (2006). "Processing of squeeze cast Al6061–30vol% SiC composites and their characterization", Materials & design, 27(3), 216-222.

Rohatgi P K. (1993). "Metal matrix composites", Defence science journal, 43(4), 323.

Rohatgi P K., Guo R Q., Iksan H., Borchelt E J., Asthana R. (1998). “Pressure infiltration technique for synthesis of aluminum–fly ash particulate composite”, *Materials Science and Engineering: A*, 244(1), 22-30.

Rosato D. V. (1997). “Designing with Reinforced Composites. D. V. Rosato, *Designing with Reinforced Composites*.

Sağlam C. (2009). “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementleri İlavesinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29-34.

Sağlam D. (2009). “ Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 6-8.

Satish J., Satish K G. (2017). “Preparation of magnesium metal matrix composites by powder metallurgy process” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-3.

Selvam J. R., Dinaharan I., Rai R S. (2020). “ Matrix and reinforcement materials for metal matrix composites”. *Journal of Manufacturing Technology Research*, 13(1/2), 34, 637-646.

Sevik H., Kurnaz S. C. (2006). “Properties of alumina particulate reinforced aluminum alloy produced by pressure die casting”, *Materials & design*, 676-683.

Slipenyuk A Kuprin., V Milman., Y Goncharuk., V Eckert J. (2006). “Properties of P/M processed particle reinforced metal matrix composites specified by reinforcement concentration and matrix-to-reinforcement particle size ratio”, *Acta Materialia*, 157-166.

Su Y. Ouyang., Q Zhang., W Li., Z Guo., Q Fan., G Zhang D. (2014). “Composite structure modeling and mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites”, *Materials Science & Engineering A*, 359-369.

Surappa M K. (2003). “Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities”, *Sadhana*, 28.1-2, 319-334.

Şenel M C., Gürbüz M. (2020). “The Influence of Particle Size and Reinforcement Rate of B4C on Mechanical and Microstructure Properties of Al-B4C Composites”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1864-1876.

Şenel M. C., Gürbüz M. (2020). “The Influence of Particle Size and Reinforcement Rate of B4C on Mechanical and Microstructure Properties of Al-B4C Composites”, *Düzce University Journal of Science & Technology*, 8, 1864-1876.

Şimşek İ., Şimşek D., Özyürek D. (2020). “The effect of different sliding speeds on wear behavior of ZrO₂ reinforcement aluminium matrix composite materials”, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 4(1), 1-7.

Şimşek İ., Şimşek D., Özyürek D. (2020)., “Yarı katı kalıplama yöntemi ile üretilen farklı miktarlarda SiC takviyeli A356 matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansının incelenmesi”, Politeknik Dergisi. 23(4),1237-1243.

Topçu M., Taşgetiren S., Uluköy A. (2010). “Alüminyum Matrisli Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemenin Aşınma Davranışına Yaşlandırma İşleminin Etkisi.

Torralba J D., Da Costa C. E., Valesco F. (2003). “P/M aluminum matrix composites: an overview”, Journal of Materials Processing Technology, 133(1-2).

Venkataraman B., Sundararajan G. (1996). The sliding wear behaviour of Al-SiC particulate composites-I. Macrobehaviour. Acta Materialia, 44(2), 451-460.

Wang X Tian., X Lian Q., Li, D. (2020). “Metal Matrix Composite”, Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1-10.

Wieczorek J. (2015). “Tribological properties and a wear model of aluminium matrix composites-SiC particles designed for metal forming”, Archives of Metallurgy and Materials, 60.

Wu X Tang F. (2008). “Dry sliding friction and wear properties of B4C particulate-reinforced Al-5083 matrix composites”, Wear, (264), 555-561.

Yeşiltepe S., Şeşen M K. (2017). “Heat treatment effect on spheroidal graphite, microstructure and mechanical properties of Ni-resist ductile cast iron”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(3), 479-482.

Yılmaz G. (2019). “Döküm Yöntemi ile Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa,25-48.

Yılmaz H S. (2004). “Characterization of silicon carbide particulate reinforced squeeze cast Aluminum 7075 matrix composite”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1-2.

Yürüker E C. (2006). “Mechanical Properties of Boron Carbide Particle Reinforced Aluminium Matrix Composite”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul ,40-48.

Zhang S., Wang F. (2007). “Comparison of friction and wear performances of brake material dry sliding against two aluminum matrix composites reinforced with different SiC particles”, Journal of Materials Processing Technology, 182(1-3), 122-127.

ÖZGEÇMİŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği eğitimimi 2017 yılında tamamladım. 2018-2019 yıllarında Gedik Kaynak A.Ş’de Ar-Ge Mühendisi olarak görev aldım. 2018’den beri Ferro Döküm Dış Ticaret Sanayi A.Ş’de Ar-Ge Mühendisi olarak halen görev yapmaktayım.

