



**T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AI 6061 MATRİSLİ GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
ONUR KAMBER**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. SERKAN ATEŞ**

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AI 6061 MATRİSLİ GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Onur KAMBER

JÜRİ ÜYELERİ

Başkan	:	Yrd.Doç. Dr. Kadir GÜNDOĞAN	-	Uşak Üniversitesi
Üye	:	Yrd.Doç.Dr.Volkan KIRMACI	-	Bartın Üniversitesi
Üye	:	Yrd.Doç.Dr. Serkan ATEŞ	-	Bartın Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Onur KAMBER tarafından hazırlanan “Al 6061 MATRİSLİ GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 14.07.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Kadir GÜNDOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI

Üye : Yrd. Doç.Dr. Serkan ATEŞ (Danışman)

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Al 6061 MATRİSLİ GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

14.07.2017

Onur KAMBER

ÖNSÖZ

Yaşadığımız dünyada var olan hammadde ve enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen yenilenememektedir. Nüfusun artmasıyla birlikte artan enerji ihtiyacının büyük bir bölümü petrol ürünleri ve katı yakıtlardan karşılanmaya çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalar artarak devam etmesine rağmen dünyamızın tüm enerji ihtiyacının yalnızca küçük bir bölümü yenilenebilir enerjiden karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacı problemi için olası çözüm yöntemlerinden birisi de atıkların yeniden değerlendirilerek kullanımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde atıkların hammadde olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir.

Birbiri içerisinde çözünmeyen iki malzemenin en iyi özelliklerinin toplamından daha iyi mekanik ve fiziksel özellikleri bünyesinde barındırması amacıyla üretilen yeni birleşik malzemelere kompozit malzemeler adı verilir. Kompozit malzemelerde ana ve miktarca çok olan faza matris fazı, tali ve miktarca az olan faza ise takviye fazı adı verilir. Kompozit malzemeler yaşamın her alanında gün geçtikçe daha fazla kullanım sahası bulduğundan atıkların kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği de oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmamızda tekrar kullanım imkanı bulunmadığında atık olarak hiçbir değeri olmayan kiremitlerin metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

SiC ve Al₂O₃, alüminyum matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak sıklıkla kullanılmakta olan seramiklerin başında yer almaktadır. Bu çalışmada geleneksel takviye malzemeleri olan SiC ve Al₂O₃'e alternatif olabilecek hiçbir ticari değeri olmayan atık kiremitler toz haline getirilerek kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Makine elemanlarının ömürleri genellikle elemanda meydana gelen aşınma ile değerlendirilmektedir. Bir parça aşınmaya maruz kalıyorsa aşınma miktarına bağlı olarak kullanım ömrü kısalmaktadır. Bu yüzden makine elemanlarının üretildikleri malzemelerin aşınma dayanımlarının arttırılması makinelerin kullanım ömürlerinin de artması anlamına gelmektedir. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan Al 6061 alaşımının aşınma dayanımı geleneksel takviye malzemeleri ile arttırılabilmekte ancak söz konusu takviye elemanlarının üretiminde dışa bağımlılık söz konusu olduğundan atık takviye elemanı kullanılarak aşınma dayanımının benzer seviyelere çıkarılması amaçlanmıştır.

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç ve SiC, Al₂O₃, vb. seramiklerin üretiminde gerek duyulan enerji göz önüne alındığında atık malzemelerin takviye elemanı olarak kullanılabilirliği üzerine araştırmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. Literatürde yer almayan bu atık kullanılmak suretiyle üretilen kompozitlerin mikroyapıları elektron mikroskobu ile görüntülenmiş ve porozite, sertlik, aşınma dayanımı değerleri belirlenerek kiremit tozunun metal matrisli hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

Tez çalışmalarımda bana yardımlarını, desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşime ve aileme sevgilerle...

Onur KAMBER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Al 6061 MATRİSLİ GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Onur KAMBER

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın- 2017, sayfa: XVII+ 74

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, geleneksel takviye elemanlarından SiC ve Al₂O₃ ve atık takviye malzemesi olarak ise kiremit üretimi yapan fabrikalardan toplanarak bilyalı değirmende öğütülüp toz haline getirilmiş kiremitler kullanılmıştır. Takviye malzemeleri kullanılarak tekli, ikili ve üçlü hibrit kompozitler üretilmiştir. Daha sonra elek analizi yapılarak çalışmada kullanacağımız 22-59µm toz boyutuna sahip olan tozlar elde edilmiştir. Ayrıca 22-59µm toz boyutuna sahip olan SiC ve Al₂O₃ seramikleri de piyasadan temin edilmiştir.

Kompozitler, sıvı hal üretim yöntemlerinden olan iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu yöntemde öncelikle Al6061 alaşımını 700°C sıcaklığına çıkartılmış daha sonra alaşımın sıcaklığı 600°C ye düşürülerek bu sıcaklıkta bulamaç halde olan alaşıma önceden 250°C ye ısıtılmış olan takviye elemanları eklenmiş ve elle karıştırılmıştır. Daha sonra alaşım süper ısıtmaya tabii tutularak alaşımın sıcaklığı 800 °C ye çıkartılmıştır. Bu sıcaklıkta 250 dev/dk. hızında alaşım mekanik olarak 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra 300mm uzunluğunda ve 30mm çapındaki metal kalıplara döküm yapılarak kompozitler üretilmiştir. Üretilen

kompozitlerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenerek incelenmiş ve EDS analizleri alınmıştır. Porozite miktarları Arşimet prensibi ile hesaplanmış, sertlikleri ise Brinell sertlik ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin aşınma miktarları pin-on disk yöntemi ile kuru sürtünmeli aşınma testleri yapılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde kayma mesafesi 100m olacak şekilde sabit tutulmuş ve 1N, 3N ve 5N değişik yük değerleri için kütle kaybı miktarları 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazide ölçülerek belirlenmiştir.

Takviye elemanlarının kompozitin porozite miktarına etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek porozite miktarlarına kiremit tozunda ikinci sırada Al_2O_3 en düşük değerde ise SiC'ün olduğu gözlemlenmiştir, bu sıralamanın seçtiğimiz matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür. Porozite miktarlarını azaltmak için magnezyum elementini takviye malzemeleri ile kullanarak daha iyi sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

Takviye malzemesi olan kiremit tozu, SiC ve Al_2O_3 kadar sertliği artırmada matrise ilave edilen kiremit tozu kompozitin sertliğinde artışa sebep olmuştur.

Kiremit tozunun ikili ve üçlü hibrit kompozitlerin sertliğini artırmada kullanılabilecek bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

Aşınma testlerinde kiremit tozu takviyesi kompozitlerde kütle kaybının azalmasına etki etmiştir. Takviye oranlarımız arttıkça kompozitlerimizin kütle kaybı azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Metal matrisli kompozit; Al 6061; Alüminyum matrisli kompozit malzeme; kiremit tozu.

Bilim Kodu

625.02.05

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF TRADITIONAL AND WASTE REINFORCED Al 6061 METAL MATRIX COMPOSITES

Onur KAMBER

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, pp: XVII + 74

In this study, Al6061 alloy was used as matrix material, SiC and Al₂O₃ as traditional reinforcing elements, and tiles as waste reinforcement material were collected from tile mills and ground tiles were used. Single, double and triple hybrid composites were produced using reinforcing materials. We then used the sieve analysis to obtain powders with a powder size of 22-59µm. SiC and Al₂O₃ ceramics with a powder size of 22-59µm were also supplied from the market.

The composites were produced using a two-stage blended casting process, which is a liquid-phase production process. In this method, the Al6061 alloy is first heated to 700°C, then the alloy temperature is lowered to 600°C and the alloy, which is semi-solid at this temperature, is preheated to 250°C and added by hand. The alloy was then superheated and the temperature of the alloy was increased to 800 °C and at this temperature 250 rpm. The alloy was mechanically mixed for 10 minutes at speed. Nitrogen gas was used as the inert gas during the mixing process and the oxygen in the environment was removed. Composites were then produced by casting metal molds with a length of 300 mm and a diameter of 30 mm. The microstructures of the composites produced were examined by scanning electron microscopy and EDS analyzes were taken. Porosity amounts were

measurement method. The wear amounts of the composites produced were determined by dry friction abrasion tests using the pin-on-disk method. In this method, the slip distance is fixed to be 100 m and the bulk container quantities for different load values of 1N, 3N and 5N are measured on a precision scale with a sensitivity of 0.0001. Three specimens were produced from each sample and the porosity, hardness and abrasion tests were repeated 3 times, making the work more reliable.

The specimens were subjected to a tensile test to determine the weight reinforcement ratios to be used in the study, and when the results obtained were examined, the yield stress and the maximum tensile stress at which the micro cracks occurred in the composite were observed when the weight ratio of reinforcement of the composite exceeded 11%. The decrease in the amount of unit elongation of the composite was achieved at a higher rate than the yield stress and the maximum tensile stress. This means that the hybrid composites produced do not exceed 11% by weight of reinforcement.

The specimens were subjected to a tensile test to determine the weight reinforcement ratios to be used in the study, and when the results obtained were examined, the yield stress and the maximum tensile stress at which the micro cracks occurred in the composite were observed when the weight ratio of reinforcement of the composite exceeded 11%. The decrease in the amount of unit elongation of the composite was achieved at a higher rate than the yield stress and the maximum tensile stress. This means that the hybrid composites produced do not exceed 11% by weight of reinforcement.

Even though the tile dust did not increase the hardness as much as SiC and Al₂O₃, matrix added tile increased the hardness of the dust composite.

It is envisaged that the tile doubled and triple hybrid composite can be used as a reinforcing material which can be used to increase the hardness. The tile dust reinforced composite has reduced the mass loss, and as the reinforcement ratios increase, the mass loss of the composites decreases.

Keywords

Metal matrix composite; Al 6061; Aluminum matrix composite material; Tile

Science Code 625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL BİLGİLER.....	3
2.1 Kompozit Malzemeler	3
2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	3
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	4
2.4 Matrisler.....	4
2.5 Metal Matrisli Kompozit (MMK)Malzemeler.....	5
2.5.1 Alüminyum Alaşımları	6
2.5.2 Al 6061 ve Özellikleri	9
2.5.3 Takviye Malzemeleri	12
2.5.3.1 Al ₂ O ₃ ve Özellikleri	12
2.5.3.2 SiC ve Özellikleri	13
2.5.3.3 Kiremit Tozu	14
2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları	16
2.7 MMK Malzemelerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi.....	21
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	28

4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları.....	28
4.2 Kullanılan Ekipmanlar.....	28
4.2.1 Bilyalı Değirmen.....	31
4.2.2 Sarsma Makinası	31
4.2.3 Hassas Kesme Cihazı	32
4.2.4 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı	33
4.2.5 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı	33
4.2.6 Hassas Terazı	35
4.2.7 SEM	36
4.2.8 Pin-On Disk Cihazı.....	38
 BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	39
 5.1 Porozite.....	39
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	39
5.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	40
5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi	42
5.2 Sertlik.....	44
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	44
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	45
5.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	47
5.3 Aşınma	49
5.3.1 Kiremit Tozunun Aşınmaya Etkisi	50
5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	51
5.3.3 Al ₂ O ₃ 'in İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	53
5.3.4 %3 KT Katkılı İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına 3N'luk Yük Değeri İçin SiC ve Al ₂ O ₃ 'in Etkilerinin Karşılaştırılması	55
5.3.5 KT'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	55
5.3.6 KT'nun Al ₂ O ₃ Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi..	58
5.3.7 SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	60
5.3.8 Al ₂ O ₃ 'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	61
5.3.9 KT'nun Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	63
5.3.10 Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KT SiC ve Al ₂ O ₃ 'in Etkilerinin Karşılaştırılması.....	65

BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER68

KAYNAKLAR69

ÖZGEÇMİŞ74



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Al_2O_3 'ün elektron mikroskobu görüntüsü.....	13
2. SiC'ün elektron mikroskobu görüntüsü	14
3. Kiremit tozunun elektron mikroskobu görüntüsü	15
4. Kiremit tozunun SEM görüntüsü ve EDS analiz görüntüsü	16
5. Airbus 380 yolcu uçağı yapısında alüminyum alaşımların kullanım yerler	19
6. Chevrolet-volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı	20
7. Anka-insansız hava aracında bulunan kompozit parçalar	21
8. Karıştırılmalı döküm ünitesi.....	29
9. Döküme hazır olan bir kum kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü.....	30
10. Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları	31
11. Bilyalı değirmen, kiremit tozları.....	31
12. Sarsma makinası ile kiremit tozu elek analizi.....	32
13. Hassas kesme cihazı.....	32
14. Otomatik yüzey hazırlama cihazı.....	33
15. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi	34
16. Brinell sertlik ölçüm cihazı.	35
17. Hassas terazi.....	36
18. FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.....	36
19. Kompozitlerin elektron mikroskobu görüntüsü	37
20. Kompozitlerin elektron mikroskobu görüntüsü	37
21. Pin-On Disk cihazı	38
22. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi	40
23. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi	41
24. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.....	43
25. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.....	45
26. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.....	46
27. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi	48
28. a. 1N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü b. 1N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi.....	49
29. a. 3N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü b. 3N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi	49

30.	a. 5N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü	
	b. 5N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi	50
31.	Kiremit tozunun aşınmaya etkisi.....	51
32.	SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.....	52
33.	Al ₂ O ₃ 'in ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi	54
34.	%3 KT katkılı ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri İçin SiC ve Al ₂ O ₃ 'in etkisi.....	56
35.	KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi	57
36.	KT'nun Al ₂ O ₃ takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.....	59
37.	SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi	60
38.	Al ₂ O ₃ 'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.....	62
39.	KT'nin üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi	64
40.	Üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT SiC ve Al ₂ O ₃ 'in etkisi	66

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi	8
2. Al 6061 kimyasal bileşimi	10
3. Al 6061 Mekanik özellikleri	11
4. Al ₂ O ₃ mekanik özellikleri	13
5. Silisyum Karbür'ün tipik özellikleri	14
6. Kiremit tozunun kimyasal bileşimi	15
7. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.....	39
8. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi	41
9. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi	43
10. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.....	44
11. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.....	46
12. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi	47
13. Kiremit tozunun aşınmaya etkisi.....	50
14. SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	52
15. Al ₂ O ₃ 'in İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	53
16. %3 KT Katkılı İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına 3N'luk Yük Değeri İçin SiC ve Al ₂ O ₃ 'in Etkisi.....	55
17. KT'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	57
18. KT'nun Al ₂ O ₃ Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	58
19. SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	60
20. Al ₂ O ₃ 'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	62
21. KT'nun Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	63
22. Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KT SiC ve Al ₂ O ₃ 'in Etkisi	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	:	Milimetre
cm	:	Santimetre
°C	:	Derece selsius
g	:	Gram
%	:	Yüzde
Mpa	:	Megapaskal
HBN	:	Brinell sertlik

KISALTMALAR

MMK	:	Metal matrisli kompozit
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
EDS	:	Enerji dağılımlı spektroskop
SiC	:	Silisyum karbür
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum oksit (Alümina)
MM	:	Matris malzemeler
TM	:	Toz Metalurji
Al	:	Alüminyum
KT	:	Kiremit tozu
Ti	:	Titanyum
Mg	:	Magnezyum
Cu	:	Bakır
Fe	:	Demir
Co	:	Kobalt

Ni	:	Nikel
SiO ₂	:	Silisyum dioksit
TiC	:	Titanyum karbon
B ₄ C	:	Bor karbür
TiB ₂	:	Titanyum diborür
MgO	:	Magnezyum oksit
Mo	:	Molibden



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son dönemlerde teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle sürekli olarak gelişen bu teknolojik faaliyetler, beraberinde endüstriyel sanayinin temel maddesi olan malzemelerde de ilerlemeyi gerekli kılmıştır. Bu sebepten dolayı malzeme bilimciler, doğal ve alaşım maddelerinden daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeleri araştırmaya yönelmişlerdir. Bu sayede diğer malzemelerden farklı olarak, üstün niteliklere sahip, "Kompozit Malzemeler" adı altında yeni malzemeler üretilmiştir. Geleneksel malzemelere göre birçok üstünlüğü bulunan kompozit malzemelerin en belirgin özelliği, hafif ancak yüksek dayanıma sahip olmasıdır (Acılar, 2002).

İki veya daha çok malzemenin en iyi özelliklerinin yeni oluşturulan malzemedeki bir araya getirilmesi amacıyla malzemelerin makro düzeyde birleştirilmesi ile kompozit malzemeler elde edilir. Kompozit malzemeler matris ve takviye fazı olmak üzere iki fazdan meydana gelirler. Kompozit malzemeler takviyelerine göre partikül takviyeli ve fiber takviyeli olmak üzere iki şekilde ifade edilirler. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerde, matris yük taşıma özeliğine sahiptir. Takviye faz ise matrisi deformasyona uğratarak metal matrisin mukavemetini artırmaktadır (Lloyd, 1994).

Çalışmamızda matris malzemesi olarak otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan Al6061 alaşımı, partikül takviye malzemesi olarak ise geleneksel takviye malzemelerinden SiC, Al₂O₃ ve atık takviye malzemesi olarak kiremit tozu kullanılmıştır. Literatürde metal matrisli kompozit üretiminde SiC ve Al₂O₃'ün takviye malzemesi olarak kullanıldığı çalışma mevcuttur. Bu iki seramiğin birlikte kullanılması ile üretilen hibrit kompozitlere de önceki çalışmalarda rastlanmaktadır. Ancak kiremit tozunun takviye malzemesi olarak kullanıldığı hiçbir çalışma daha önce yapılmamıştır. Ayrıca çalışmamızda kiremit tozu, SiC ve Al₂O₃ birlikte kullanılarak yeni ikili ve üçlü hibrit kompozitler de üretilmiştir.

Sıvı hal üretim yöntemlerinden olan karıştırılmalı döküm yönteminde takviye elemanları sıvı metal içerisine ilave edilip karıştırılır ve homojen bir karışım sağlandıktan sonra

kalıplara dökülerek katılaşmaya bırakılır. Homojen bir yapı elde edilirken gözenek ve boşluklar sistemin başlıca problemidir (Çalın vd., 2006).

Çalışmamızda iki kademeli karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris malzemesi öncelikle ergime sıcaklığının yaklaşık 50°C üstünde bir sıcaklığa çıkartılmış, daha sonra matrisin sıcaklığı matris yarı katı hale gelinceye kadar düşürülmüştür. Bu sıcaklıkta önceden ısıtılmış olan takviye malzemesi matrise ilave edilerek elle karıştırılmış, daha sonra matrisin sıcaklığı ergime noktasının yaklaşık 150°C üstüne çıkarılarak (süper ısıtma) 10 dakika süreyle mekanik karıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen karışım önceden ısıtılmış olan metal kalıplara dökülerek kompozitler üretilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kiremit tozunun metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliğinin ortaya konulması ve kompozitin porozite miktarı, sertlik değeri ve aşınma dayanımına etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla Arşimet prensibi ile porozite miktarları, Brinell sertlik ölçüm metodu kullanılarak sertlik değerleri ve Pin-on disk kuru sürtünmeli aşınma testleri ile kompozitlerin aşınma miktarları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemeler

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler en az iki değişik malzemedan oluşurlar ve yeni yapı kompoziti meydana getiren malzemelerden üstün özelliklere veya istenen özelliklere sahip olması gerekir. İçerisinde çelik donatı bulunan beton yapılar, cam elyafı karbon tabakalar, yine cam elyafı polyester levhalar, metallerle seramiklerin karışımından oluşturulmuş Sermet'ler kompozit malzemelere örnektirler (Ünal, 2010).

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler şekillendirme, mukavemet, korozyon dayanımı vb. daha pek çok avantajlı özellikleri ile tasarım, iyileştirme, yenileştirme, bakım/onarım işletme, idame vb. her aşamada daha az parça kullanımını mümkün kılmaktadır. Kullanılan parça sayısının az olması veya azaltılabilmesi sistem mühendisliği yaklaşımıyla ele alındığında bakım/onarım, işletme ve idame faaliyetleri için gerekli yedek parça miktar ve çeşitliliğinin azalmasını ve sistemin veya ürünün ömür devri maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır (Yılmaz ve Evcı, 2015).

Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin

Dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, estetik özeliği, ağırlık, yorulma ömrü, sıcaklığa bağlı davranışı, ısı yalıtımı, termal iletkenlik özellikleri geliştirilebilmektedir.

Bu özelliklerin hepsini aynı zamanda geliştirmek imkânsızdır. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler geliştirilir. Böylece kullanım yerinde istenen özelliklere uygun kompozit malzemeler üretilebilmektedir (Armatlı,1999; Mondal, 2005).

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozitlerin kullanım alanlarına bağılı olarak avantajları bulunmaktadır. Bunlar; Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metalik malzemeye göre çok daha fazladır. Kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Malzemedен tasarruf yapılarak daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir. Kompozitlerin şekillendirilmesi kolaydır. Karmaşık profilli parçalar ve büyük parçalar kolayca kalıplanabilirler. Kompozite yalıtkanlık özelliği kazandırmak için plastik matrisli kompozitler seçilir. Metallerin ve özellikle demir içerikli alaşımların en büyük dezavantajlarından olan hava, su ve kimyasallara karşı korozyona uğramaları yanında kompozitler bu ortamlara iyi mukavemet gösterirler. Bu yüzden kompozitler; havacılık, deniz üstü ve altı çalışmalarında, kimyasal madde taşınım ve depolanmasında güvenlikle kullanılabilirler. Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanabilmesi, yüksek ısılarda kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Saf metallerin ve alaşımların kendilerine ait doğal renkleri vardır. Fakat kompozitlere kalıplama esnasında renk verici pigmentler katılarak istenen renkler kalıcı olarak verilebilir. Kompozitlerin yapısı gereği doğal bir titreşim sönümleme özellikleri vardır. Çatlakların ilerlemesi kompozit üretimi ile engellenir (Arıcasoy, 2006).

Kompozit malzemelerde yaşanan olumsuzluklardan bazıları; yüksek maliyet, üretim aşamasında kompozit malzemelerde bulunan hava taneciklerinin kompozitin yorulma dayanımını azaltması, aynı kompozit malzemede çekme, basma, eğme ve kayma mukavemet değerlerinin farklı çıkabilmesi, geri dönüşümün genellikle olmayışı (Arıcasoy, 2006).

2.4 Matrisler

Kompoziti oluşturan önemli elaman matristir. Matris kompozitin birçok özelliğini üzerinde taşır. Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok önemli görevleri vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılğandır. Matrisin bunların yüzeylerini kazıma aşınması vb. dış ve çevresel etkilere (bu etkiler ilerde çatlaklara neden olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanı homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki hata ihtimalini azaltmaktadır (Da Silva vd., 1991).

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matris (genelde bir metal alaşımıdır) diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik bir oksit, bir karbür veya bir nitrür). Kompozitin üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber olarak karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı elemanlar seçilir. Örneğin: metal matris ve takviye malzemesi. Tüm durumlar için matris bir metaldir. Ancak matris olarak saf metalin kullanılmasına çok nadir rastlanır. Genelde matris bir metal veya metal alaşımıdır (Akbulut vd.,1993)

Metal Matrisli Kompozitlerde ana yapıyı metal veya alaşımları oluşturmaktadır. Bu kompozitlerde takviye elemanı olarak, genellikle; SiC, Al₂O₃, SiO₂, TiB₂, B₄C ve MgO gibi malzemeler kullanılmaktadır.

2.5 Metal Matrisli Kompozit (MMK) Malzemeler

Kompoziti sürekli bir arada tutan ve bu bütünlük içinde lifle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından, özellikle polimer matris malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler. Üretimleri zor olup maliyeti yüksek olmasına karşın, metal matris malzemesi kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak vermektedir. Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan birçok ince liflerin üretilmesiyle başlamıştır (Kazanç, 2002).

Kompozit üretiminde metal matris malzemesi olarak, bakır alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matris malzemesi erimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemleriyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleşimde kullanılacak yüksek dayanımlı lif tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması sağlanmalıdır (Kazanç, 2002).

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMK'ler elde edilirler. MMK'ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır (Ünal, 2006). Metal esaslı (matrisli) kompozit malzemelerin kullanım alanları şu şekildedir;

- Kesici Uçlar,
- Uzay Sanayi; uzay yapıları (B/Al, B/Mg, Gr/Mg), antenler (B/Al, B/Mg, Gr/Mg),
- Havacılık; uçaklarda gövde ve iç donanım parçaları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al), kompresör kanatları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al), türbin kanatları (wolfram ve tantal takviyeli), süper alaşımlar, helikopter parçaları (B/Al, SiC/Al, Gr/Al, Gr/Mg, Al₂O₃/Mg, Al₂O₃/Al),
- Otomotiv; motor blokları (SiC/Al), pistonlar (SiC/Al), biyeller (SiC/Al), akü plakaları (Gr/Pb),
- Elektrik; motor fırçaları (Gr/Cu), kablo, elektrik kontakları (Gr/Cu), ev aletleri, akü plakaları Al₂O₃/Pb, Gr/Pb, Cam/Pb,
- Tıp; protezler (B/Al, SiC/Al), tekerlekli sandalyeler (B/Al, SiC/Al),
- Spor Malzemeleri; tenis raketleri (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), kayak sopaları (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), kayaklar (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), oltalar (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), golf sopaları (B/Al, Gr/Al, SiC/Al), bisiklet çerçeveleri (B/Al, Gr/Al, SiC/Al),
- Tekstil Sanayi; mekikler (B/Al, Gr/Al, Si/Al),
- Diğer; yataklar (Gr/Pb), kimyasal ekipman (Al₂O₃/Pb), aşındırıcı takımlar (B/Al₂O₃, SiC/Al₂O₃), (Bulut 2014).

2.5.1 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelmektedir. Alüminyum zehirleyici ve manyetik değildir. Kıvılcım çıkarmaz. Yoğunluğu (2,71 g/cm³), çeliğin (7,83 g/cm³) veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Alüminyum aynı zamanda bir süper iletkenidir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup, dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyum üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayii için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayiinde geniş kullanım alanı bulunmaktadır (Özcömert, 2006). Ayrıca alüminyum alaşımları yüksek dayanıma sahip ve hafif olduğundan otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadır.

Alüminyum günümüzde demir çelikten sonra en çok kullanılan metal durumundadır. Döküm özelliklerinin iyi olması ve bir çok döküm yöntemine kolaylıkla adapte olması, mekanik özelliklerin çeşitli metalurjik işlemler sonucu geliştirilebilmesi, korozyon özelliklerinin iyi olması, alüminyum kullanımının bu denli yaygın olmasının en önemli nedenleridir (Turhan, 2002).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, çelikten sonra günümüz endüstrisinde en fazla kullanılan metalsel malzeme olan ve endüstriyel malzemeler içinde son keşfedilen metallere biridir. Bu alaşımların kullanım alanının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrilerinin önemli katkıları olmuştur. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, artırılabilen mukavemet özellikleri ve korozyon dirençleri, özgül ağırlığının düşük olması, elektriği ve ısıyı çok iyi bir şekilde iletmesi ve kolay biçimlendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda artan bir kullanım alanına sahip metalsel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Bu tür malzemelerin kullanım alanları, ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmıştır. Hafif malzemelerin kullanımının artmasıyla yapısal uygulamalarda yer almakta, ancak alüminyumun çeliğe göre pahalı olması nedeniyle, alüminyum ve çelik malzemelerin birlikte hibrid olarak kullanımı daha ekonomik olmaktadır (Taban vd., 20..).

Alüminyum alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizgesi Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen simgeleme dizgesidir. Tablo 1’de temel alüminyum alaşımlarının simgeleri gösterilmektedir. Buna göre dört rakamlı sayısal simgenin ilk iki rakamı, temel alaşım elementini belirtmektedir. Örneğin; 1XXX serisi saf alüminyum (%99.XX) gösterir. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Saf Alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum – Silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer Elementler
9XXX	Kullanılmayan Dizi

6xxx serisi Al-Mg-Si alaşımlarıdır ve yine Tablo 1’den görüldüğü gibi 6xxx serisini diğer serilerden ayıran özellik içinde alüminyuma katkı elementi olarak bulundurduğu Magnezyum ve Silisyumdur.

Magnezyum etkisi; 6xxx serisinde alüminyuma ilave edilen magnezyum alaşıma yüksek mukavemet ve süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Ayrıca kaynak kabiliyetini artırır. % 8 den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ısıtılıp işlemle geliştirilebilir ve ayrıca dövme alaşımlarında % 1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır. Son olarak da magnezyum Al-Si alaşımlarına da ısıtılıp işlem yapabilme kabiliyeti kazandırmak için ilave edilir (Eruslu vd., 1990; Gökşahin, 2007’den).

Silisyum etkisi; Silisyum bakırdan sonra alüminyuma ilave edilen en önemli alaşım elementidir. En fazla % 13 dolayında bulunabilen silisyum sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır. Silisyum özellikle Mg, Ni ve Cu ile birlikte ısıtılıp işlem ile sertleştirilebilen alaşım yapar. Ancak bu alaşımların çekme mukavemeti değerlerinin yüksekliği ilave edilen silisyum miktarı ile doğru orantılıdır (Eruslu vd., 1990; Gökşahin, 2007’den).

SiC ilavesi ile akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanır. Si ilave edilen alaşımlarda mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki

silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Eruslu vd., 1990; Gökşahin, 2007'den).

6xxx serisinde daha öncede belirtildiği gibi alüminyuma silisyum ve magnezyum ilave edilmektedir. İlave edilen bu elementler fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirmektedir.

İşlenebilen alüminyum alaşımları ısıtıl işlem davranışlarına göre; ısıtıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olmak üzere iki bölüme ayrılırlar. Genellikle 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX serileri ısıtıl işleme olumlu cevap verdiklerinden dolayı, ısıtıl işlemle mekanik özellikleri iyileştirilmektedir (Erdem, 2001).

Cevherden folyoya olan serüveni çok kısa bir sürede gelişen alüminyum günümüzde çok kullanılır hale gelmiştir. Tüketimde, alüminyum ve alaşımlarının demir-çelik ile mukayese edilecek duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya, tıp, inşaat, havacılık ve otomotiv sanayinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan bir şekilde kullanılması, bu metalin önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Hafif metal sınıfından olan alüminyumun bu önemi, yumuşak ve demirden üç kat daha hafif, mukavemetin ağırlığına oranının yüksek olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, kolay işlenebilirliği, korozyona dayanıklılığı, dekoratifliği, soğuk ve sıcak olarak şekillendirilebilirliği, talaşlı ve talaşsız olarak işlenebilirliği gibi özelliklere sahip olmasındandır (Robert vd., 2001; Doğan, 2006'dan).

Alüminyum alaşımları uçak yapılarında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır, özellikle kanat ve gövde kaplamalarında kullanılırlar (Kafalı vd., 2014).

2.5.2 Al 6061 ve Özellikleri

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, mükemmel mukavemet, tokluk ve korozyon dayanımı gibi özellikleriyle havacılık sanayiinde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Özel olarak değinmek gerekirse Al – Cu – Mg ve Al – Zn – Mg – Cu alaşımları çökeltme sertleşmesine tabi tutulabilen en önemli alaşımlardır. Alüminyum – Lityum alaşımları da çökeltme sertleşmesine tabi tutulabilen önemli alaşımlardandır. Lityum, birincil alaşım elementi olarak ilave edildiğinde alaşımın yoğunluğunu düşürür ve elastik modülü artırır. Bu gelişmedeki en önemli kullanım alanı havacılık sektörüdür (Chawla, 1998). Matris

malzemesi olarak alüminyum alaşımları normalde bor veya borsic (SiC kaplanmış Bor) filamentleri için kullanılmaktadır. 6061 alaşımı; 2024 veya 1100 (Saf Alüminyum) alaşımlarına göre daha sık kullanılmaktadır. 2024 alaşımı yüksek mukavemet, 1100 alaşımı üstün darbe dayanımı, 6061 ise çok iyi mukavemet ve tokluk kombinasyonu ile korozyon dayanımı sağlamaktadır (Schwartz, 1997). Al 6061 Kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Al 6061 Kimyasal bileşimi (URL-1, 2017).

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer	Al
0,5	0,6-1,0	0,1	0,2-0,8	0,8-1,2	0,25	0,6-1,1	0,1	0,15	Kalan

- Si (Silisyum); Akışkanlığı ve yenim direncini artırır, sıcak çatlama eğilimini azaltır.
- Mg (Magnezyum); Katı çözelti sertleşmesi meydana getirir. Al-Si alaşımlarının dayancını artırır. Yüksek yenim direncine sahiptir.
- Mn (Mangan); Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.
- Fe (Demir); Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. Demir alüminyum alaşımlarında mümkün olduğunca kullanılmamasının nedeni meydana getirdiği gevrekliktir.
- Cu (Bakır); Bakır alüminyuma %12 oranına kadar katıldığında dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği artırır. %4-6 arasında katıldığında yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Dökümü zorlaştırır ve gerilim yenimini azaltır.
- Zn (Çinko); Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler. Çinko diğer alaşım elementleriyle birlikte dayanımı çok artırır, buna karşı dökülebilirliği düşürür. %3 çinkodan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında belirgin bir etkisi görülmez. Al 6061 Mekanik özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3: Al 6061 Mekanik özellikleri (URL-2, 2017).

Temper	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%50)	Sertlik (Brinel)
0	103-228	55-124	26	30
T4	110-140	180-230	24	65
T6	240-270	260-310	20	95

T4; Eriyik işleminden sonra oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış,

T6; Eriyik işlemi ve yapay yaşlandırma,

Karakteristik özellikleri: Yüksek sertlik, yüksek korozyon dayanımı, iyi kaynak yapılabilirliktir.

Savunma sanayi, uçak sanayi, demiryolu vagonlarında ağır yapılar, kamyon korkulukları, gemi inşa sektörü, köprüler, taşımacılık, kazan imalatı, motor botları, uzay uygulamaları, helikopter pervane kaplaması, Al6061 Uygulama alanlarıdır.

Alüminyumun; silisyum ve magnezyum gibi elementler ile yaptığı alaşımlar, uygulamada en çok kullanılanlardır. Bu, mekanik özelliklerini iyileştirilmesi açısından önem taşır.

Alüminyum – silisyum – magnezyum alaşımları; içyapısında % 1.3'e kadar silisyum (Si) ve magnezyum (Mg) eşit olarak bulunur. Az miktarda bakır (Cu), krom (Cr) ya da kurşun (Pb) yaşlandırma durumunda korozyon direncini ve dayanımını artırmak amacıyla ilave edilir. Al 6061 vida, makine parçaları, mobilya ve köprü taşıma elemanları üretiminde kullanılır (Er, 2006).

Al 6061 ısıl işlenebilir, Al-Mg-Si alaşımıdır. Yüksek dayanım/ağırlık oranı, çok iyi süneklik, mükemmel kaynak edilebilirlik, iyi korozyon direnci ve şekil değiştirme kararlılığı gibi mükemmel mekanik özelliklere sahiptir (Altuner, S., Keleşoğlu, E., 2012). Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımına sahip 6061 malzemesi alüminyum esaslı kaynaklı imalat sahasında mekanik özelliklerinin iyi olmasından dolayı yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Al 6061 serisi alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımının yüksek olması ve kaynak yapılabilirliğinin iyi olmasından dolayı özellikle kazan

imalatında da kullanılmaktadır (Arıcı, vd., 2015). Ayrıca Al 6061 ağırlıkça hafif ve özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde çok yoğun kullanılmakta olduğundan dolayı seçilmiştir (Akkurt vd., 2009).

2.5.3 Takviye Malzemeleri

Bir kompozit malzemede takviye malzemesinin en önemli görevi; matris içerisinde tekdüze olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır (Akın, 2007). MMK üretiminde Al ve alaşımları, kolay temin edilebilen SiC, Al₂O₃, SiO₂ ve grafit gibi takviye malzemeleriyle kimyasal ve fiziksel olarak uygunluk gösterdiklerinden dolayı matris olarak daha çok tercih edilmektedirler (Hanumanth vd., 1993'e atfen Kök, 2001). Bu alaşımların tercih nedeni, düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmelerinden dolayıdır (Mortensen vd., 1988; Kök, 2001'den).

2.5.3.1 Al₂O₃ ve Özellikleri

Metal matrisli kompozitlerde ana hedef; düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler elde etmektir. Bu yüzden Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modul ve rijitlik, onun takviye elemanı olarak kullanılmasında etkindir. Alümina en çok alüminyum ve alaşımlarının matris olarak kullanıldığı malzemelerde kullanılır. Alümina silisyum karbür ile karşılaştırıldığında daha düşük modul ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa ve daha az maliyete sahiptir (Eker, 2009)

Al₂O₃ partiküllerinin boyutunun ve hacim oranının artmasıyla malzemelerin yoğunlukları da artmaktadır. Al₂O₃ parçacıklarının hacim oranının artması ve tane boyutunun azalmasıyla MMK malzemelerdeki porozite oranlarının arttığı görülmektedir. Bu sonuç daha önceki çalışmalarda da gözlenmiştir (Lut vd., 1995).

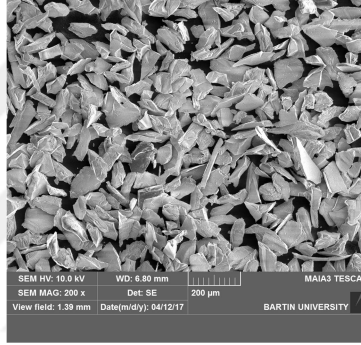
Refrakter alümina nötr veya atmosfer refrakter olarak sınıflandırılır. Alümina hem oksitleyici hem de indirgeyici atmosferlerde en kararlı oksitlerden biridir. Ucuzluğu, ergime noktası, sağlığa zarar vermeyişi ve uygulanabilirliği kolaylıkla refrakter safiyetinde bulunabilirliği alüminayı refrakter uygulamalarda üstün özellikte kılmaktadır. Alümina ticari derecelerde (>1800°C) kullanılabilen saf refrakter oksitlerden birisidir. Alümina

refrakterler; yüksek alaşımlı, fused döküm alümina refrakterleri, mullit refrakterleri, spinel ve alümina-kromit refrakterleri olarak sınıflandırılırlar (Hart, 1990). Al_2O_3 Mekanik özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: Al_2O_3 Mekanik özellikleri.

Yoğunluk (g/cm ³)	3,8 – 3,9
Vickers sertlik (GPa)	15 – 16
Basma Mukavemeti (MPa)	2500

Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan Al_2O_3 ’in elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Al_2O_3 ’in Elektron mikroskobu görüntüsü.

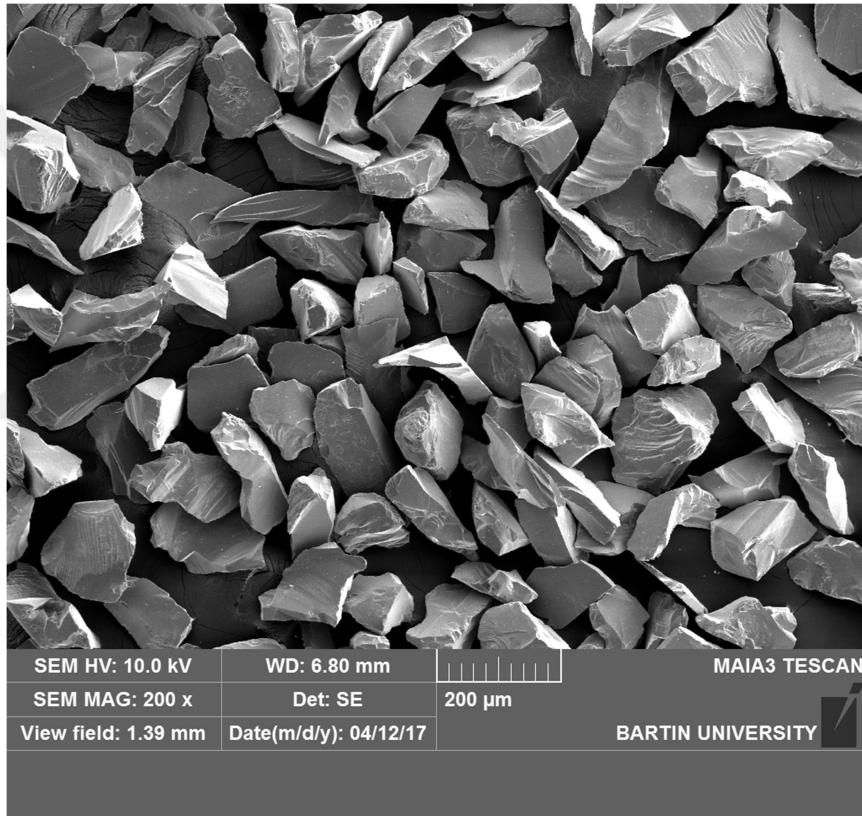
2.5.3.2 SiC ve Özellikleri

Silisyum Karbür (SiC), yüksek sıcaklıklarda ulaştığı, iyi mekanik özelliklerle ileri teknoloji seramiklerinin en önemlileri arasında yerini almış bir malzemedir. Aşındırıcı bir toz olarak, aşındırıcı takım malzemelerinde ve parlatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Silisyum Karbür elmas ve bor karbürden daha düşük sertliğe sahip olmakla beraber, çok geniş bir biçimde metal dışı malzemelerin öğütülmesinde, sert malzemelerin son işleme kademelerinde ve seramik parçalarda üretim maliyetinin önemli olduğu zamanlarda dolgu olarak kullanılır (Öğünç, 2006). Silisyum karbür’ün tipik özellikleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Silisyum karbür'ün tipik özellikleri (Turan, 2004).

Özellikler	Silisyum Karbür (SiC)
Yoğunluk, gr/cm ³	3.1 - 3.22
Silisyum Karbür içeriği, %	97.80
Karbon içeriği, %	0.20 - 0.80
Renk	Siyah
Eğme mukavemeti (Mpa)	400-410
Sertlik, kg/mm ² , Vickers	3100

Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan SiC' ün Bartın Üniversitesinde bulunan elektron mikroskobu cihazından alınan görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: SiC'ün Elektron mikroskobu görüntüsü

2.5.3.3 Kiremit Tozu

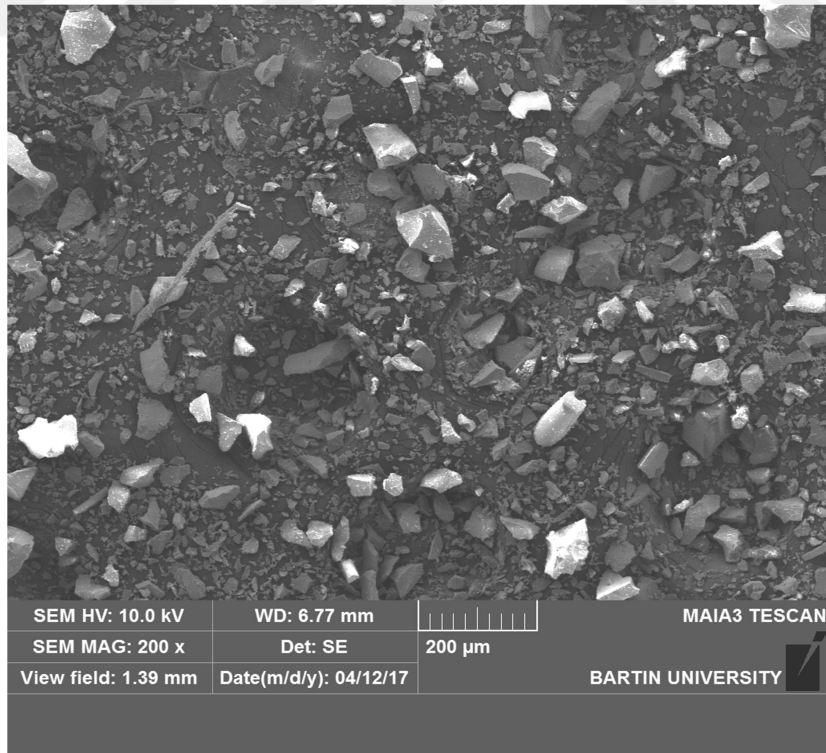
Boksit artığının iki ana bileşeni Na ve Ca genellikle boksitte bulunmayıp artığa teknolojik işlemler sonucu, kısmen desilikasyon reaksiyonuyla, kısmen çözünürleştirme katkı maddesi veya kısmen de sinterleştirilecek karışımın bileşeni olarak geçerler. Boksit

artığının kimyasal bileşimi çok değişmektedir. Bayer prosesinde oluşan kiremit tozunun hammaddesi olan kırmızı çamurların ana bileşenleri tablo da verilmiştir (Aksu, 2001). Kiremit tozunun kimyasal bileşimi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: Kiremit tozunun kimyasal bileşimi.

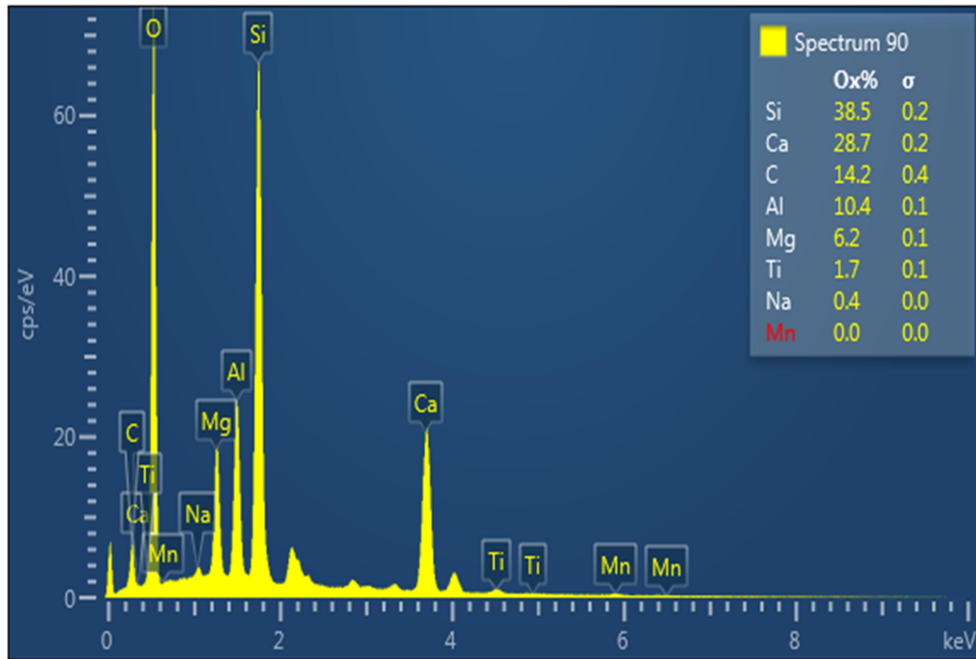
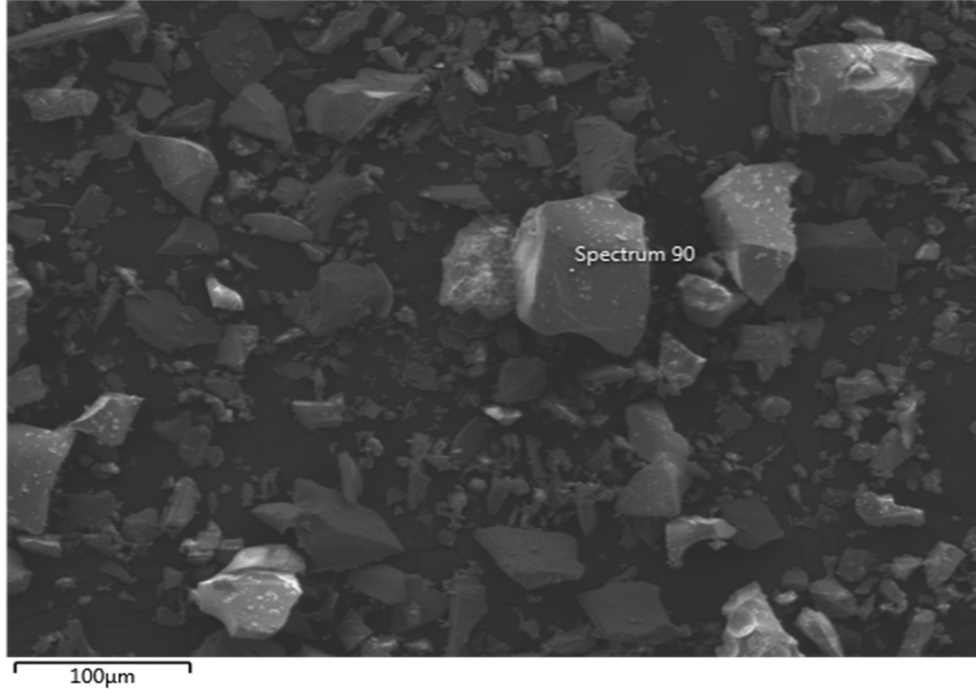
Bileşik	Miktar(%) (Kuru Bazda)
Fe_2O_3	30-60
Al_2O_3	5-20
SiO_2	1-20
Na_2O	1-10
TiO_2	Eser miktarda
CaO	2-8

Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan kiremit tozunun elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 3’te, kiremit tozunun SEM görüntüsü ve EDS analizi Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3: Kiremit tozunun elektron mikroskobu görüntüsü.

Electron Image 34



Şekil 4: Kiremit tozunun SEM görüntüsü ve EDS analiz görüntüsü.

2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları

Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle, son yıllarda alüminyum matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda maç hafif olan ve üstün özelliklere sahip yapılar elde etmektir. Alüminyum içerisine katılan SiC, TiC, Al₂O₃ v.b.

seramik parçacıklar kompozit malzemenin çekme dayanımı, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir

Giu ve Kang, elektronik paketleme sektöründe kullanılmak amacıyla 6061 alüminyum üzerine Al/SiC püskürterek katmanlı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Altlık ile püskürtme arası iyi bağlanma ve uyumluluk sağlanmıştır. SiC ile altlık arasında bir geçiş bölgesi olur. Bu da termal genleşme katsayıları farkından doğan gerilmeyi düşürür, altlık ve püskürtme arasındaki bağı kuvvetlendirir. Bu bölge altlığın ilk sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenebilir. Bu işlemde Al-SiC ve Al-Al/SiC arasında oksitlenme ve ara yüzey reaksiyonları görülmemiş ve SiC sağlamlığını korumuştur. Püskürtme yöntemlerinden plazma püskürtme yöntemi kullanılmıştır (Giu vd., 2000).

Geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özellikleri, malzeme ve enerji kazancı bakımından hafif olmaları nedeni ile Metal Matrisli Kompozitler (MMK) yeni malzemeler olarak dikkati çekmektedir. Bu özelliklerinin yanında iyi sürtünme ve aşınma özellikleri nedeni ile aşınmaya karşı uygulamalarda sürtünen ve aşınan bölgelerin veya parçanın tamamının bu malzemelerden yapılması giderek yaygınlaşan metal matrisli kompozit uygulama/malarındandır (El-Gallab vd., 1988; Özkök, 2004'den).

Metal matrisli kompozitlerin önemli bir çeşiti alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerdir. Alüminyum metal matrisli kompozitler tek parçalı malzemelere göre daha yüksek dayanım, rijitlik, aşınma direnci, yorulma dirençlerinden ve alüminyum alaşımlarının üstün özelliklerinden (hafiflik, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet, süneklik, kolay ekstrüde edilmesi, kolay geri dönüşümü, iyi ısı ve elektrik iletkenliği) dolayı otomotiv, uçak, uzay, taşıt, tarım ve yapı endüstrilerinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Alüminyum metal matrisli kompozitlerin uygulama alanlarının önümüzdeki yıllarda da artacağı beklenmekte ve bu malzemeler, endüstriyel problemlerin çözümündeki teknolojik olgulardan birisi olarak görülmektedir. Bunların yanı sıra üretim fiyatlarının düşürülmesinde de bu malzemelerin etkili olacağı tahmin edilmektedir (Chawla vd., 2002; Kurşun, 2011).

Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Metal matris malzemesi olarak alüminyum kullanılmıştır. Hafif malzeme

olması en önemli tercih nedenidir. Alüminyumun metal matrisli kompozit (MMK)'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı taşımacılık, denizcilik, otomotiv ve uçak endüstrisinde kullanımları artmaktadır. Alüminyum alaşımlarının matris alaşımı olarak tercih edilmelerinin nedeni düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Alüminyum, saf halde matris malzemesi olarak kullanıldığı gibi, alaşım olarak da kullanılabilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilmektedir.

Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle, son yıllarda alüminyum matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaç hafif olan ve üstün özelliklere sahip yapılar elde etmektir. Alüminyum içerisine katılan SiC, TiC, Al₂O₃ vb. seramik parçacıklar kompozit malzemenin çekme dayanımı, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Kurt, 1992; Gülüzade, 2011'den).

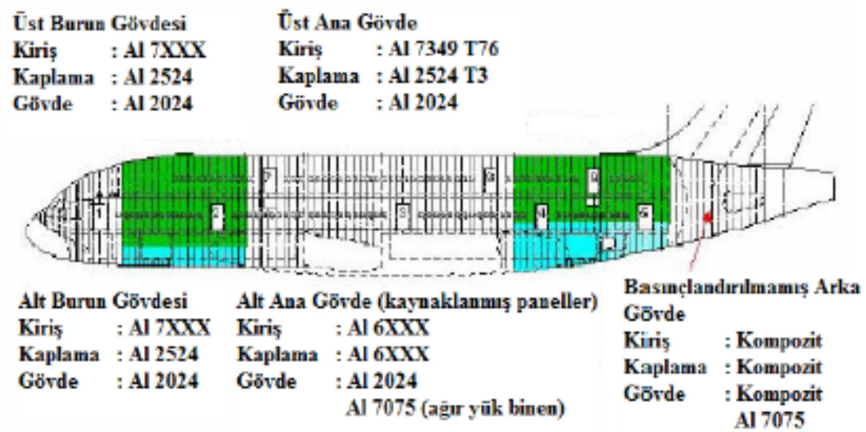
Alüminyum metal matrisli kompozit (MMK)'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv ve uçak endüstrisinde kullanımları artmaktadır. Matris yapısına ilave edilen farklı takviye boyutu, miktarı gibi faktörlere bağlı olarak da istenilen özellikler elde edilebilir (Altuner vd., 2012).

Malzemenin geri dönüşümü açısından bakıldığında alüminyum eşsiz bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Malzemenin kalitesi bozulmadan alüminyumun geri dönüşümü başarıyla sağlanmaktadır. Alüminyumun hurda değeri bu anlamda oldukça yüksektir. Otomobillerde kullanılan alüminyumun %95'i hurda alüminyumdan yeniden dönüştürülerek imal edilebilmektedir. Alüminyum birçok otomobil parçası için en ekonomik malzeme konumundadır. Çevreye duyarlı bir otomobil geliştirmek için daha üretim aşamasında otomobil üreticileri, üretim maliyetinde sağladığı avantajlar ve müşterilerinin yakıt tasarrufunu göz önüne alarak alüminyum kullanmaktadır. Otomobil üreticileri ile alüminyum imalatçıları otomobillerde alüminyum parçaların daha fazla yer alması için halen yakın işbirliği halinde çalışmaktadırlar. Önümüzdeki 10 yıl içinde otomobillerde kullanılan alüminyum miktarının 2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Alüminyum, 21. yüzyılın çevreyle dost arabaları için daha çok tercih edilen malzeme

olacaktır. 1970’lerde başlayan enerji krizi ile birlikte araçların hafifleştirilmesi yönünde bir eğilim olmuştur. 1980’lerde ise daha yüksek performans, daha fazla sürüş konforu, daha fazla emniyet ve kolay bakım imkanı sağlayan arabalara doğru bir trend izlenmiştir. Sonuç olarak artan çevre bilinci ve otomobillerin ağırlığı bir çatışmaya girmiş ve otomotiv endüstrisi, otomobillerin ağırlığının azaltılması gerekliliğini öncelikler listesinde ilk sıraya almıştır.

Otomotiv endüstrisinde alüminyum, ağırlığın azaltılması çalışmaları için kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Örneğin; bir Avrupa menşeli otomobilde kullanılan alüminyum miktarı 65 kg’dır ve otomobil uygulamalarında alüminyum kullanımı her yıl %4 büyümektedir. Bu gelişmelere örnek olarak İskandinavya’da Volvo’nun 140 kg alüminyum içeren modelleri üretilmiş, Almanya’da ise Audi, 1994 yılında tamamı alüminyumdan imal edilmiş A8 modelini yapmıştır (Özcömert, 2006).

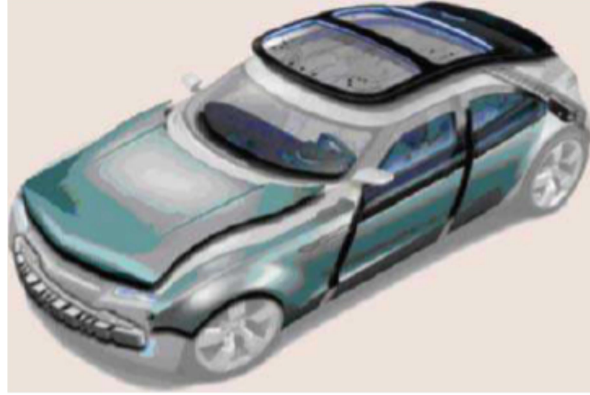
Şekil 5’te Airbus 380 yolcu uçağında kullanılan malzemeler görülmektedir. Kullanılan malzemeler arasında en yüksek oran alüminyum alaşımlarınca oluşturulmaktadır. Alüminyum alaşımlarının pek çok çeşidi kullanılmaktadır. Örneğin Airbus 380 yolcu uçağında 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımları kullanılmaktadır (Kafalı vd., 2014) Airbus 380 yolcu uçağı yapısında alüminyum alaşımların kullanım yerleri görüntüsü Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5: Airbus 380 yolcu uçağı yapısında alüminyum alaşımların kullanım yerler.

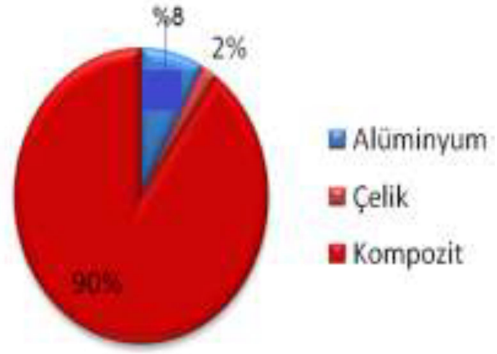
Alüminyum ve alaşımları, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek elektrik ve termal iletkenlik ve mükemmel korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle özellikle otomobil

sektörü ve havacılık sektörü için çok önemli bir malzemedir (Gökşahin, 2007). Chevrolet-Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6: Chevrolet-Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı (yeşil renk ile gösterilmekte) (İnkaya, 2011; Bulut, 2014’dan).

Ülkemizde havacılık ve savunma sanayii alanındaki çalışmalar TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. liderliğinde yürütülmektedir. Helikopterlerin “Glass Cockpit” uygulamaları ile ASELSAN bünyesinde yazılım ve seyrü sefer sistemler tasarımı, üretimi ve entegrasyonu amacıyla projeler başlamıştır. Bu sayede geniş bir ürün hattı oluşturulmuş, başlangıçta lisans altında üretim modelleri uygulanırken bugün yurt içi tasarım esaslı bir üretim hattı oluşturulması yönünde sonuçlar alınmaya başlanmıştır. TUSAŞ aynı zamanda JSF/F-35 müşterek taarruz uçağı projesinde görev almaktadır. Uçağın en karmaşık yapısal bölümlerinden birisi olan “orta gövde” üretimi tek kaynak olarak ülkemizde yapılmaktadır. Bunun yanı sıra “kompozit komponentler, hava alığı, hava-yer harici yük taşıyıcı” dünyadaki iki yükleniciden biri olarak Türkiye’de üretilmektedir. Bu konuda yürütülen milli bütçeli diğer projeler ise Havadan Erken İhbar Uçağı (Barış Kartalı), Deniz Karakol Uçağı, İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Yeni Nesil Eğitim Uçağı (Hürkuş), T-129 Taarruz Helikopteri, Genel Maksat Helikopteri projeleridir (Bulut, 2014). Anka-insansız hava aracında bulunan kompozit parçalar (Bulut, 2014) Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7: Anka-insansız hava aracında bulunan kompozit parçalar (Bulut, 2014).

ANKA uçak yapısının (kanat, gövde ve kuyruk) %90'ı karbon epoksi prepreg'ten oluşmaktadır. Bu projeler kapsamında birçok kompozit firması akredite edilerek alt yüklenici olarak belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bugün artık kompozit firmaları başarılı bir performans göstermekte olup birçok uluslararası projede yüklenici ve/veya alt yüklenici olarak görev almaktadırlar (Bulut, 2014).

Alüminyum matris kompozitler otomotiv parçalarında, pistonlarda, silindir gömlekleri uygulamalarında ve piston kollarında kullanılmaktadır (Hassan vd., 2015).

2.7 MMK Malzemelerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi

Metal matris kompozit malzemeler, tek bileşenli malzemelerle başarılabilen gerekli ve istenen özellikleri sağlamak üzere en az biri metal (genelde metal alaşımı) diğeri takviye malzemesi (sürekli fiber, kılcal kristal ve partikül şeklinde genel olarak metaller arası bileşik, oksit, karbür veya nitrür bileşikler gibi) olan iki veya daha fazla farklı sistemin birleşimi ile elde edilen malzeme grubudur. Yoğunluk, mukavemet, dirençlilik, aşınma direnci, korozyon direnci, yorulma direnci, yüksek sıcaklık direnci, termal kararlılık, boyutsal kararlılık, termal iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik izolasyon, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak matris seçimi yapılır (Mindivan vd., 2007).

Metal matrisli kompozitlerin ticari amaçlı üretilmesini kısıtlayan faktörlerin oldukça fazla olması sebebiyle, gelişmiş mekanik özelliklerin kaybedilmeden ekonomiklik kazandırılması amacıyla birçok üretim metodu geliştirilmekte ve MMK malzemelerin

Üretim maliyetlerini en aza indirgemenin yolları araştırılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalardaki öncelikli hedef matris içine yapılan takviyelerin homojen olarak dağılımlarını sağlamak olmaktadır (Cahn vd., 1996)

Kompozit malzemelerin üretiminde farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Düşük maliyeti ve temel döküm tekniklerinin kullanımına olanak tanınması sebebiyle sıvı faz üretim yöntemleri, MMK malzemelerin üretiminde talep görmektedir. Ancak bu yöntemlerle MMK malzemelerin başarılı bir şekilde üretilebilmesi için öncelikle matris/takviye ara yüzeyinden kaynaklanan güçlüklerin aşılması gerekmektedir. Ara yüzey, MMK malzemelerde pek çok özelliği kontrol eden ve bu malzemelerin performansı acısından kilit önem taşıyan bölgedir. Alüminyum ve alaşımları, MMK malzemeler içinde en çok talep gören matris malzemeleridir. SiC ve Al₂O₃, alüminyum matrisli kompozitler (AMK) içinde üzerinde en çok çalışılan takviye malzemeleridir (Toptan, 2011).

Hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris olarak kullanılacak olan alüminyum alaşım (Al 6061) elektrik dirençli fırında grafit potada 700°C de ergitilmiş, daha sonra sıcaklık 600°C ye düşürülerek bu sıcaklıkta takviye elemanı olarak 22-59 µm tane byklğine sahip kiremit tozu ,alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800°C ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 250 dev/dk hızla mekanik olarak karıştırılmıştır (şekil 8). Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 32 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen silindirik numuneler CNC torna tezgahında 30 mm çapında aşınma numuneleri hazırlanmıştır.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mondal ve Das, 2005 yılında yaptıkları çalışmada; 25-50 ve 50-80 μm tane boyutuna sahip SiC'ü takviye malzemesi Al alaşımını ise matris malzemesi olarak kullanıp kompozitler üretmişlerdir. Yük, takviye elemanın tane boyutu ve takviye hacim oranının değişimi ile yüksek basınçtaki abrasiv aşınma miktarının değişimini incelemişlerdir. Takviye hacim oranı olarak %5-12 arasında değişen oranları kullanmışlar ve SiC'ün takviye hacim oranının artması ile abrasiv aşınma miktarının düştüğünü belirlemişlerdir. Yüke göre hem alaşımın hem de kompozitin abrasiv aşınma miktarının lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir. Abrasiv ebadına göre ise aşınmanın sabit olduğunu ancak kritik abrasiv ebadından sonra geçiş olduğunu ve elde edilen sonuçlar ile elde edilen denklemler ve aşınma yüzeyinin incelenmesi ile benzer olduğunu belirtmişlerdir.

Yang ve Chung, 1989 yılında yaptıkları çalışmalarında; iki farklı birleşik döküm yönteminden biri olan “rheocasting” metodu ile takviye malzemesi olarak ağırlıkça %1 ile %20 arasında değişen oranlarda yüksek sıcaklıkta kararlı, düşük ısıl genleşme katsayısına sahip, oldukça sert bir kimyasal madde olan boksiti, Al-12Si-1,4Cu-1,3Mg alaşımına ilave ederek kompozit üretmişlerdir. Kompozitteki ağırlıkça takviye miktarı arttıkça abrasiv aşınma direncinin arttığını belirlemişlerdir. Çalışmada üretilen %20 boksit katkılı kompozitin abrasiv aşınma direnci düşük ve orta yükler altında karbon çeliği ile kıyaslandığında benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan boksitin tane boyutunun küçük olmasından dolayı numunelerin mikro yapı incelemelerinde agglomerasyon gözlemlemişler ancak söz konusu topaklanmaların, kompozitin çekme gerilmesi ve aşınma direncine etkisinin az olduğunu belirlemişlerdir.

İpek, 2005 yılında yayınladığı çalışmasında; matris malzemesi olarak kullandığı Al4147 alaşımına, SiC ve B₄C karbürlerini %10, %15 ve %20 oranlarında ilave etmiştir. Kompozitlerin üretiminde sıvı hal metal matrisli kompozit üretim yöntemlerinden birini kullanmış ve kuru sürtünmeli aşınma miktarlarını ölçmüştür. Benzer aşınma deney koşullarında Al4147 alaşımında yüksek miktarda abrasiv ve adhesiv aşınma gözlemlerken buna karşın B₄C takviyeli kompozit de az miktarda adhesiv aşınma meydana geldiğini

belirlemiştir. SiC takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilirliğinin artmasının kompozitin aşınma direncini arttırdığını ve yüksek ıslatılabilirlik ile matris takviye arasında iyi bir yapışma olduğundan sürtünme esnasında partiküllerin matristen kopmasının zorlaşması ile aşınma mekanizmasının da değiştiğini belirlemiştir. Benzer şartlarda üretilen %20 SiC ve %20 B₄C içeren kompozitlerin aşınma miktarları karşılaştırıldığında %20 B₄C içeren kompozitin, %20 SiC içeren kompozitten daha fazla aşındığını belirlemiştir.

Akbulut vd., 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında; 36µm, 63µm ve 75µm ortalama toz boyutuna sahip SiC partiküllerini karıştırılmalı döküm yöntemi kullanarak LM13 alaşımına %5 ile %20 arasında değişen takviye hacim oranlarında ilave ederek kompozit üretmeyi başarmışlardır. Kompozitlerin bir kısmı deneylere tabi tutulmadan önce ısıtılma tabi tutulmuş ancak bir kısmı ise dökümden çıktığı şekliyle deneylere tabi tutulmuştur. Isıtılma tabi tutulan ve tutulmayan numunelerin hepsinde de takviye edilen SiC miktarı artması ve SiC tozlarının boyutlarının azalması ile kompozitlerin sertliğinin lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir. Artış hızının ısıtılma tabi tutulmamış malzemelerde diğerlerine göre daha hızlı olduğunu belirlemişlerdir. SiC partikül boyutunun azalmasının mikro yapıdaki homojen dağılımını azalttığını, agglomerasyonu ve poroziteyi arttırdığını bildirmişlerdir. Primer Si kristallerinin %15 ve %20 oranında SiC içeren kompozitlerin mikro yapılarında bulunduğundan bahsetmişlerdir.

Şahin,1998 yılında yaptığı çalışmada, ortagonal deney tasarımı ile uygulanan yük, kayma mesafesi, kayma hızı ve takviyenin toz boyutunun, aşınma üzerine etkilerini ortaya koymuştur. SiC takviyeli metal matrisli kompozit üretmiş, pin-on disk yöntemini kullanarak aşınma miktarlarını belirleyerek varyans analizi yapmıştır. Abrasiv aşınma üzerine faktörlerin etkisini göz önüne aldığında; aşınmaya etkileri bakımından faktörleri, SiC toz boyutu, uygulanan yük ve kayma hızı olarak sıralamıştır. Ayrıca faktörlerin ikili etkileşimlerini incelediğinde; toz boyutu/uygulanan yük ve toz boyutu/kayma mesafesi etkileşimlerinin metal matrisli kompozitin abrasiv aşınması üzerine orta düzeyde bir etkiye sahip olduklarını belirlemiştir.

Akbulut vd, 1995 yılında yaptıkları çalışmalarında; 36µm, 63µm ve 75µm ortalama toz boyutuna sahip α -Al₂O₃ partiküllerini karıştırılmalı döküm yöntemi kullanarak Al-Si esaslı LM13 alaşımına %5 ile %20 arasında değişen 4 farklı takviye hacim oranında ilave ederek

kompozit üretilen mekanik özellikleri incelemişlerdir. Kompozitlerin bir kısmı deneylere tabi tutulmadan önce ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ancak bir kısmı ise dökümden çıktığı şekliyle deneylere tabi tutulmuştur. Ürettikleri kompozitlerin yoğunluklarını ölçerek porozite miktarlarını hesapladıklarında, porozite miktarlarının oldukça düşük olduğunu belirlemişlerdir. Isıl işlem uygulanan ve uygulanmayan her iki gruptaki kompozitlerde de, takviye elemanının toz boyutunun düşmesine karşın takviye hacim oranının artmasının, kompozitin sertlik değerinin yanı sıra maksimum çekme gerilmesini de arttırdığını belirlemişlerdir. Ancak her iki mekanik özellikteki artış hızının ısıtılma işlemi uygulanmış olan kompozitler de, ısıtılma işlemi uygulanmamış kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Söz konusu olan daha hızlı artış miktarının olası nedenini ise matris alaşımının yaşlanma hızını arttırmada α -Al₂O₃ oksitinin etkili olmasına bağlamışlardır.

Singh vd., 2002 yılında yayınladıkları makalelerinde; Al alaşımına %10 silimanite partikülleri ağırlıkça ekleyerek döküm yöntemi ile ürettikleri kompozitlerin abrasiv aşınma miktarlarını; uygulanan yük, kayma mesafesi ve abrasiv boyutunun değişimine göre değerlendirmişlerdir. Kayma mesafesindeki artışın, kompozitin aşınma miktarını belli bir değere kadar azalttığını ve söz konusu değerden sonra kayma mesafesinin artmasının abrasiv aşınma miktarını değiştirmediğini belirlemişlerdir. Buna rağmen uygulanan yük değerindeki artış miktarının kompozitin abrasiv aşınma miktarını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Abrasiv boyutu 25µm için gerçekleştirilen abrasiv aşınma testinde üretilen tüm kompozit numuneleri için aşınma miktarı alaşımın aşınma miktarından daha az olduğunu bildirmişlerdir. Abrasiv boyutunu 200µm'ye çıkardıklarında ise abrasiv aşınma testinde kompozitlerin aşınma miktarlarının alaşımın aşınma miktarından daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Abrasiv boyutuna bağlı olarak gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda, uygulanan yük miktarının düşük ve orta derecede olduğu testlerde üretilen kompozitler yüksek oranda aşınma direnci göstermiş ancak uygulanan yük miktarının yüksek değerlerinde kompozitin alaşım kadar aşınma direnci gösteremediğini bildirmişlerdir.

Lim vd., 2003 yılında yaptıkları çalışmada matris malzemesi olarak magnezyum, takviye elemanı olarak ise SiC partikülleri kullanarak ürettikleri metal matrisli kompozitlerin aşınma dayanımlarını incelemişlerdir. Aşınma deneylerini pin-on disk cihazı ile, 0,2m/s ve 5 m/s kayma hızlarında 10N ve 30N yük uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Aşınma deneylerinde aşındırıcı olarak sertleştirilmiş takım çeliği kullanmışlardır. Aşınma

bölgelerinin mikro yapısını incelediklerinde oksitlenme, tabakalaşma, abrasiv, adhesiv ve erime aşınma mekanizmaları ile aşınmanın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ürettikleri SiC takviyeli kompozitlerin uygulanan düşük yükler altında iyi bir aşınma direnci gösterdiklerini ancak uygulanan yük miktarının artması ile SiC'li kompozitlerde aşınma miktarının arttığını bildirmişlerdir.

Bai vd., 1997 yılında yayınladıkları çalışmasında, kompozit üretiminde toz metalürjisini kullanmışlardır. Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak Al-20Si-3Cu-1Mg (ASCM) alaşımını kullanıp, hem SiC ilaveli hem de ilavesiz olarak numuneleri üretmişlerdir. Aşınma deneylerinde aşındırıcı olarak 4Cr13 paslanmaz çeliğini kullanıp, 0,3m/s ile 1,2m/s kayma hızlarında 25 ila 175N arasında değişen yükler uygulamışlardır. Deneyleri hem kuru hem de sulu kayma şartları altında tekrarlamışlardır. Kuru kayma şartları altında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen kütle kaybının, sulu kayma şartları altında gerçekleşen kütle kaybına kıyasla daha az olduğunu belirlemişlerdir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-ışınlı Fotoelektron Spektroskobu (XPS) kullanarak aşınan yüzeylerin yüzey morfolojisini incelediklerinde Tribokimyasal aşınmanın sulu kayma şartlarında baskın aşınma mekanizması olduğunu buna karşın kuru kayma şartlarında ise oluklanma aşınma mekanizmasının baskın aşınma mekanizması olduğunu bildirmişlerdir.

Özdin, 2006 yılında tamamladığı çalışmasında, Al esaslı SiC takviyeli kompozitleri basınçlı vorteks metodu kullanarak üretmiş ve SiC'ün partikül büyüklüğü ve % takviye miktarının kompozitin gözeneklilik ve aşınma dayanımına etkisini incelemiştir. Ürettiği kompozitlerin gözenek miktarlarını değerlendirdiğinde, gözeneklerin çok düşük olduğunu, partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile gözenek oranının arttığını tespit etmiştir. Hem kuru hem de sulu kayma şartlarında pin-on disk yöntemi ile aşındırıcı olarak rulman çeliği kullanarak aşınma davranışını araştırmış ve sonuç olarak, Her iki aşınma testinde de kompozitin aşınma direncinin Al alaşımına göre çok daha yüksek olduğunu, bunun partikül yüzdesi ve partikül boyutu ile arttığını bildirmiştir.

Hiçyılmaz, 1999 yılındaki çalışmasında, 30µm toz boyutuna sahip SiC ve 40µm toz boyutuna sahip Al₂O₃ partiküllerini takviye elmanı olarak kullanmış, matris malzemesi için ise saf alüminyum 150µm tane büyüklüğüne getirerek, toz metalurjisi yöntemi ile değişik bileşim oranları kullanarak kompozitleri üretmiştir. Takviye hacim oranının artması

mekanik mukavemetin düşmesine neden olurken, sertlikte artış sağlamıştır. Aşınma testlerini yağ ortamında gerçekleştirdiğinde neredeyse hiç aşınma olmadığını bildirmiştir.

Zhiqiang vd. 2005 yılında yayınladıkları makalelerinde toz metalurjisi metodu ile Si katkılı Al-Cu-Mg kompozitlerini üretmişlerdir. Aşındırıcı olarak Cr15 çelik bilezik kullanılıp sarsıntılı aşınma üzerinde ring aşınma mekanizmasında, farklı çalışma şartları altında kompozitlerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Optik mikroskop ve SEM kullanarak aşınma yüzeylerini incelemiş, aşınma mekanizmalarını belirlemişlerdir. Aşınma deneylerin sonunda, matristeki kütle kaybının kompozite oranla çok daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Şahin, 2003 yılında yaptığı çalışmasında, ağırlıkça % 10 ve 20 ve farklı tane büyüklüklerinde SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum alaşımlı kompozitleri inert gaz altında sıkıştırılmalı döküm metodu ile üretmiştir. SiC ilave edilirken karıştırma işlemi grafit çubukla yapılmıştır. Karıştırma tamamlandığında ergiyik karışımı kalıba döküp basınç uygulamış ve kompoziti üretmiştir. Mikroskobik inceleme, sertlik, yoğunluk ve gözenek ölçümü gerçekleştirilmiştir. Buna ilaveten, kompoziti farklı kesme takımları kullanılarak farklı hızlarda ve derinliklerde kesme işlemine tabi tutmuştur. İçyapı incelemelerinde homojen bir dağılım gözlemlemiştir. Yoğunluğun azalan partikül ebatı ile düştüğünü buna karşın gözenek miktarının artan partikül ebatı ile azaldığını belirlemiştir. İlaveten, bütün testlerde takım ömrünün, artan kesme hızı ile önemli derecede düştüğünü tespit etmiştir. Kesme takımları arasında, Al_2O_3 kaplı takımın aşınma direnci performansının, SiC takviyeli kompozitin işlenmesinde, kırıcı çentiği olmayan diğer takımlarından daha iyi olduğunu bildirmiştir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları

Günümüzde metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan geleneksel takviye malzemelerine alternatif arayışına katkı sunmak amacıyla hem ucuz hem de çevresel atık olan kiremit tozları hibrit kompozit üretiminde kullanılmıştır.

Al6061 alaşımı; çok iyi süneklik, şekil değiştirme kararlılığı, spesifik dayanım, mükemmel kaynak edilebilirlik, iyi korozyon direnci gibi mekanik özelliklere sahip olduğundan ve otomotiv endüstrisinde büyük bir kullanım alanı bulduğundan dolayı matris malzemesi olarak belirlenmiştir.

Kompozit üretiminde takviyelerin ağırlıkça oranı %1 – %3 ve %5 kullanılarak tekli kompozitler, %4 - %6 ve %8 takviye oranları kullanılarak ikili kompozitler ve %7 - %9 ve %11 takviye oranları ile üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Ayrıca ölçümlerde 3'er adet üretim yapılarak tüm ölçümler bu 3 numune için de aynı şartlarda tekrarlanmıştır.

4.2 Kullanılan Ekipmanlar

Çalışmamızda; Karıştırmalı döküm ünitesi, bilyalı Değirmen, sarsma makinası, hassas kesme cihazı, otomatik yüzey hazırlama cihazı, brinell sertlik ölçüm cihazı, hassas terazi, elektron mikroskobu ,Pin-On disk cihazları kullanılmıştır.

4.2.1 Karıştırmalı Döküm Ünitesi

Döküm ünitesi tasarımı ve imalatı Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde yapılmıştır. Isıtma 1.5mm çapında teller vasıtasıyla gerçekleştirilirken, yalıtım için ateş tuğlası imalatının yapıldığı harçlar kullanılmıştır. Dış çeper ise krom saçtan imal edilmiştir. Isıtma ünitesi kısa sürede 800°C'ye ulaşmakta ve $\pm 3^{\circ}\text{C}$ bir aralıkta sıcaklık sabit tutulabilmektedir. Karıştırıcı 3 kanatlı şekilde özel olarak ısıya dayanıklı kromdan imal edilmiştir. Isıtma ünitesinin yan yüzeyinde açılan bir delikten ısı çift yerleştirilerek,

potanın dış yüzeyinden temaslı bir şekilde sıcaklıklar ölçülmüştür. Ergimiş matrisin üst yüzeyinin oksitlenmesini önlemek amacıyla üst kapaktan açılan bir delik vasıtasıyla fırının içerisine argon gazı verilmiştir. Karıştırılmalı döküm ünitesinin görüntüsü Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: Karıştırılmalı döküm ünitesi.

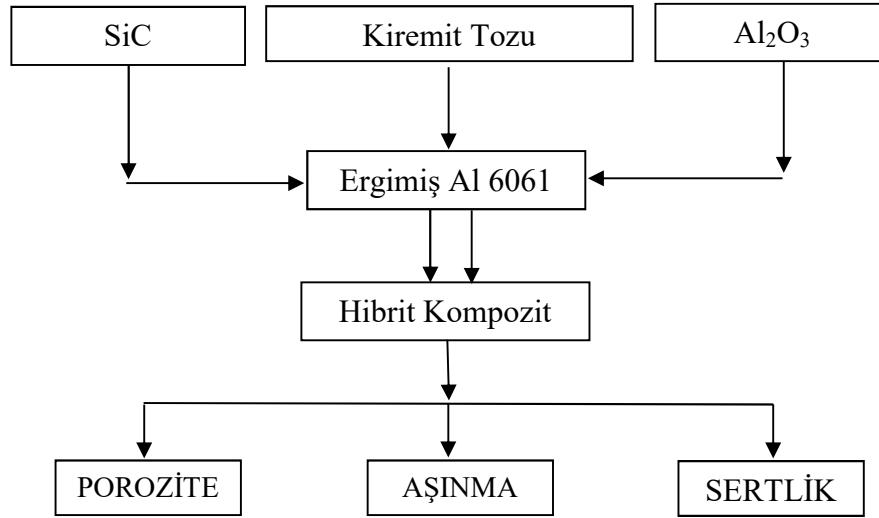
Matrise takviye elemanları ilave edilip 10 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra, pota fırın içerisinden çıkarılmış ve önceden başka bir fırında 250°C’ye ısıtılmış olan metal kalıba hızlıca dökülmüştür. Metal kalıp oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve daha sonra açılarak, içerisinden kompozitler çıkarılmıştır. Aynı anda kullanılan potanın kapasitesiyle

orantılı olarak 2 metal kalıba döküm yapılmıştır. Döküme hazır olan bir kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9: Döküme hazır olan bir kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü

Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları Şekil 10’da verilmiştir.



şekil 10: Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları.

4.2.1 Bilyalı Değirmen

Atık durumdaki kiremit parçaları bilyalı değirmende 5 farklı çap değeriine sahip bilyalar kullanılarak 3 saat boyunca öğütölmüş ve kiremit tozları elde edilmiştir.



şekil 11: Bilyalı değirmen, kiremit tozları.

4.2.2 Sarsma Makinası

Öğütölmüş kiremit tozları sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 µm tane aralığında olanlar takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.



Şekil 12: Sarsma makinası ile kiremit tozu elek analizi.

4.2.3 Hassas Kesme Cihazı

Üretilen kompozit malzemeler ve hibrit kompozit malzemeler sertlik ölçümleri ve mikroyapı görüntüleri için hassas kesme cihazında 10 mm kalınlığında olacak şekilde kesilmiştir.



Şekil 13: Hassas kesme cihazı.

4.2.4 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı

Üretilen kompozit malzemelerin ve hibrit kompozit malzemelerin mikroyapı görüntüleri için otomatik yüzey parlatma ve numune hazırlama cihazında sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh numarasına sahip zımparalar kullanılarak 400 d/d'da 5 dakika zımparalanmıştır.

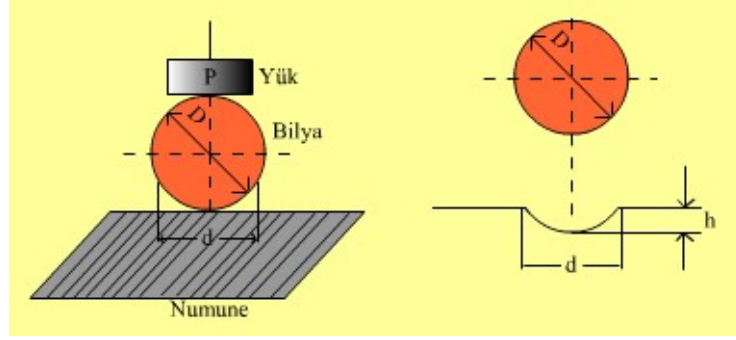


Şekil 14: Otomatik yüzey hazırlama cihazı.

4.2.5 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F') belirli bir çaptaki (D) sert malzemedan yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz (d) meydana getirme esasına dayanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşturduğu izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir.



Şekil 15: Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.

Brinell sertlik deneyi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$BSD = \frac{F}{y} = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan F uygulanan yükü (kg), D bilye çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir. Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm'den daha küçük olan (örneğin 1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılır.

Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir. $d/D = 0,20 - 0,70$ oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir.

Deney yükünün saptanmasında $F=CD^2$ bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30)
- Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10)
- Yumuşak malzeme (C=5)



Şekil 16: Brinell sertlik ölçüm cihazı.

4.2.6 Hassas Terazı

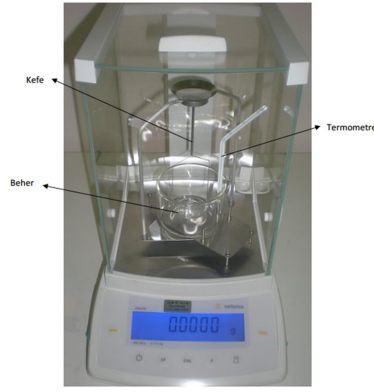
Kompozitin gerçek yoğunluğu 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazı ve digital termometre kullanılarak Arşimet prensibiyle hesaplandı. Bu metotta numune önce normal tartıldı. Daha sonra numune içinde saf su bulunan kabın tabanına ve cidarına dokunmaksızın suya daldırılarak tartıldı. Numunenin su içine batan kısmının hacmi kadar su kütlesi çıkarılarak numunenin hacmi bulundu. Numunenin önceki tartı miktarı hacmine bölünerek deneysel yoğunluğu hesaplandı. Daha sonra partikül katkı oranları ve Al 6061'in yoğunluğu ile SiC, Al₂O₃ ve kiremit tozunun yoğunluğu göz önüne alınarak kompozitlerin teorik yoğunlukları hesaplandı.

$$\rho_{korik} = \frac{m}{v} \quad \rho_{deneysel} = \frac{G(havada)}{G(havada) - G(suda)} f \quad (2)$$

Teorik yoğunluk ile gerçek yoğunluk farkından numunelerin porozite oranları;

$$\%porozite = \frac{\rho_{teo.} - \rho_{den.}}{\rho_{teo.}} \times 100 \quad (3)$$

formülü ile hesaplanmıştır



Şekil 17: Hassas terazi.

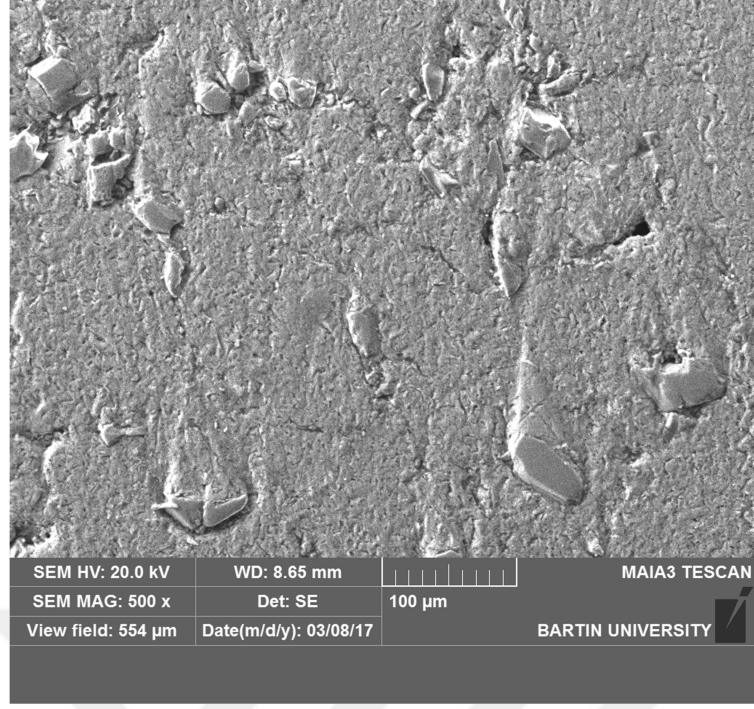
4.2.7 SEM

Kompozitlerin mikroyapılarını incelemek için FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu kullanılmıştır. Elektron mikroskobu Şekil 18’de gösterilmiştir.

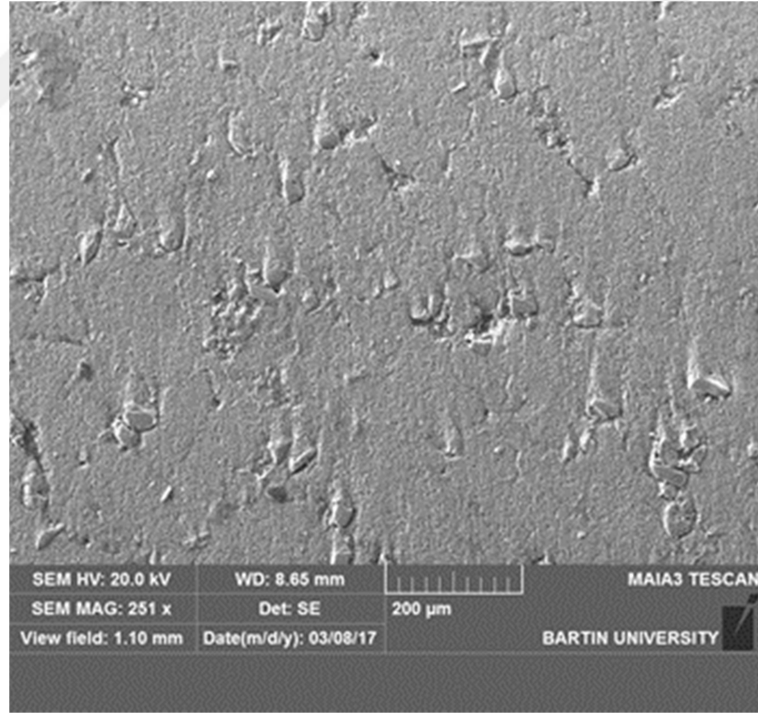


Şekil 18: FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.

Kompozitlere ait elekton mikroskobu görüntüleri Şekil 19 ve 20’de verilmiştir.



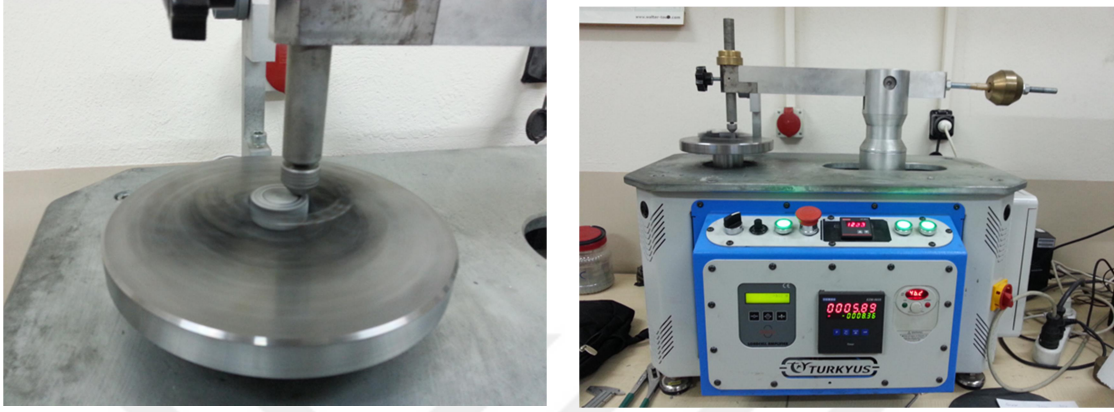
Şekil 19: Kompozitlerin elektron mikroskobu görüntüsü.



Şekil 20: Kompozitlerin elektron mikroskobu görüntüsü.

4.2.8 Pin-On Disk Cihazı

Yapılan aşınma deneyleri Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan aşınma cihazı aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 21: Pin-On Disk cihazı.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Porozite

Çalışmamızda Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi, takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi, takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi incelenmiştir.

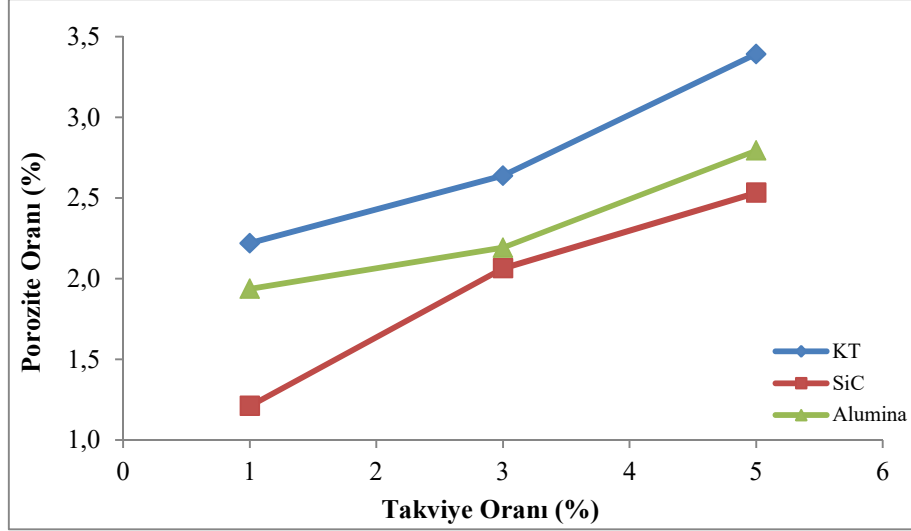
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi

Kiremit tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Tablo.7’de gösterilmektedir.

Tablo 7: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Porozite
Takviye Oranı (%)	99	1	0	0	2,7068	2,6467	2,2201
	97	3	0	0	2,6804	2,6097	2,6387
	95	5	0	0	2,6540	2,5640	3,3928
	99	0	1	0	2,7238	2,6908	1,2112
	97	0	3	0	2,7314	2,6750	2,0647
	95	0	5	0	2,7390	2,6696	2,5329
	99	0	0	1	2,7322	2,6793	1,9371
	97	0	0	3	2,7566	2,6962	2,1927
	95	0	0	5	2,7810	2,7033	2,7945

Kiremit tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Şekil 22’de gösterilmektedir.



Şekil 22: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak kiremit tozu kullanıldığında takviye oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 2,2201'den % 3,3928'e değerine yükselmiştir. Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde Al_2O_3 oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 1,9371'den % 2,7945'e yükselmiştir. Takviye malzemesi olarak SiC kullanılan kompozitler de SiC oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 1,2112'den % 2,5329'a değerine artmıştır.

Takviye elemanlarının kompozitin porozite miktarına etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek porozite miktarlarına kiremit tozunda ikinci sırada Al_2O_3 en düşük değerde ise SiC'ün olduğu gözlemlenmiştir, bu sıralamanın seçtiğimiz matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

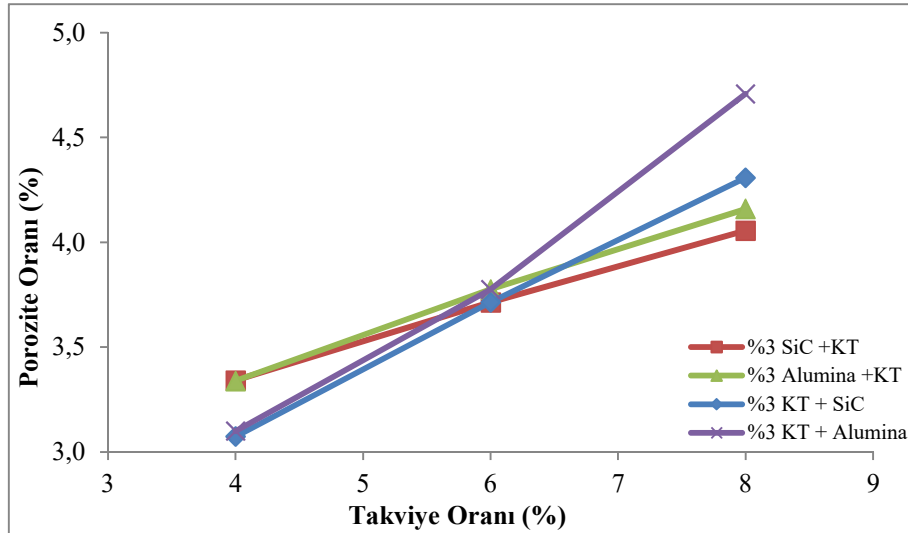
5.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Porozite
Takviye Oranı (%)	96	3	1	0	2,6842	2,6017	3,0736
	94	3	3	0	2,6918	2,5918	3,7141
	92	3	5	0	2,6994	2,5831	4,3079
	96	3	0	1	2,6926	2,6092	3,0992
	94	3	0	3	2,7170	2,6144	3,7751
	92	3	0	5	2,7414	2,6123	4,7079
	96	1	3	0	2,7182	2,6274	3,3415
	94	3	3	0	2,6918	2,5918	3,7141
	92	5	3	0	2,6654	2,5573	4,0562
	96	1	0	3	2,7434	2,6518	3,3384
	94	3	0	3	2,7170	2,6144	3,7751
	92	5	0	3	2,6906	2,5787	4,1594

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 23’de gösterilmektedir.



Şekil 23: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi değerlendirildiğinde, %3 kiremit tozu ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 3,0736, %3 kiremit tozu ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 3,0992 olmuştur. %3 kiremit tozu

takviyeli İkili hibrit kompozitte %1 Al_2O_3 takviyesi poroziteyi %1 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 kiremit tozu ve %5 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,3079, %3 kiremit tozu ve %5 Al_2O_3 takviyeli numunenin porozite değeri 4,7079 olmuştur. %3 kiremit tozu takviyeli İkili hibrit kompozitte %5 Al_2O_3 takviyesi poroziteyi %5 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 SiC ve %1 kiremit tozu takviyeli numunenin porozite değeri 3,3415, %3 Al_2O_3 ve %1 kiremit tozu takviyeli numunenin porozite değeri 3,3384 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozitlere %1 kiremit tozu takviyesi; %3 Al_2O_3 'li hibrit kompozitin porozitesini, %3 SiC takviyeli hibrit kompozite göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 SiC ve %5 kiremit tozu takviyeli numunenin porozite değeri 4,0562, %3 Al_2O_3 ve %5 kiremit tozu takviyeli numunenin porozite değeri 4,1594 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozitlere %5 kiremit tozu takviyesi %3'lük Al_2O_3 'li hibrit kompozitin porozitesini %3 SiC takviyeli hibrit kompozite göre daha fazla artırdığı görülmüştür. Porozite değeri yüksek olan %3 kiremit tozu ve %5 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozit, düşük olan ise %3 SiC ve %5 kiremit tozu takviyeli hibrit kompozit olmuştur. Bunun gerçekleşmesinin matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

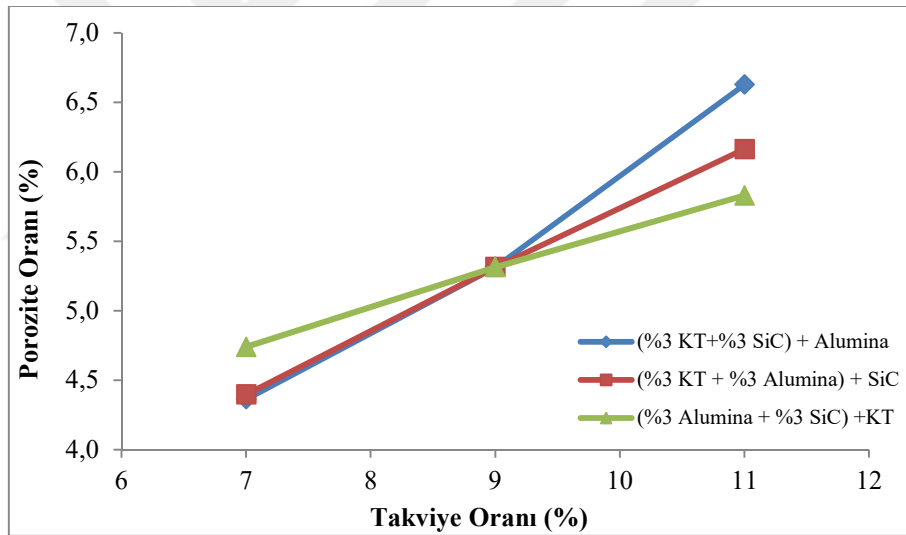
5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Gözeneklilik
Takviye Oranı (%)	93	3	3	1	2,7040	2,5860	4,3622
	91	3	3	3	2,7284	2,5834	5,3136
	89	3	3	5	2,7528	2,5704	6,6266
	93	3	1	3	2,7208	2,6012	4,3972
	91	3	3	3	2,7284	2,5834	5,3136
	89	3	5	3	2,7360	2,5674	6,1632
	93	1	3	3	2,7548	2,6242	4,7394
	91	3	3	3	2,7284	2,5834	5,3136
	89	5	3	3	2,7020	2,5445	5,8288

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 24’de gösterilmektedir.



Şekil 24: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerde; %3 kiremit tozu ,%3 SiC ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 4,3622 değerine Al₂O₃ takviyesinin oranını %5’e çıkardığımızda 6,6266’ya çıkmaktadır. %3 kiremit tozu , %3 Al₂O₃ ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,3972’ye SiC takviyesinin oranını %5’e çıkardığımızda 6,1632’ye çıkmaktadır. %3 SiC, %3 Al₂O₃ ve %1 kiremit tozu takviyeli numunenin porozite değeri 4,7394’ye kiremit tozu takviyesinin oranını %5’e çıkardığımızda 5,8288’ye çıkmaktadır.

En düşük porozite değeri %3 kiremit tozu ,%3 SiC, %1 Al₂O₃ takviyeli malzemede, en yüksek porozite değeri %3 kiremit tozu ,%3 SiC,%5 Al₂O₃ takviyeli malzemede görülmüştür. Bunun nedeni takviye oranlarının farklı olması ve matrisle takviye malzemelerinin yoğunluk farkının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

5.2 Sertlik

Çalışmamızda takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi, takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi, takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi incelenmiştir.

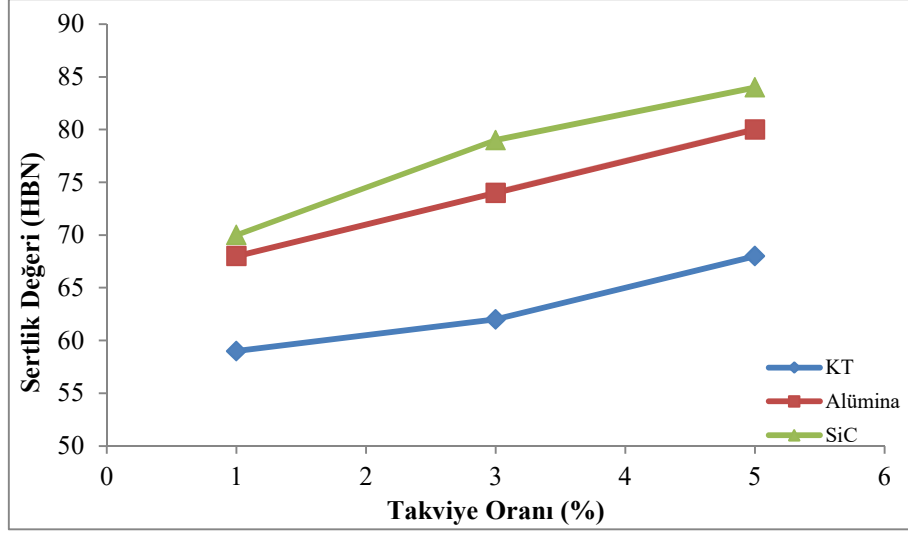
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi

Kiremit tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	100	0	0	0	58
	99	1	0	0	59
	97	3	0	0	62
	95	5	0	0	68
	99	0	1	0	70
	97	0	3	0	79
	95	0	5	0	84
	99	0	0	1	68
	97	0	0	3	74
	95	0	0	5	80

Kiremit tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi Şekil 25'de gösterilmektedir.



Şekil 25: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan Al6061 numunesinin sertlik değeri 58 HBN olarak ölçülmüştür. %1 kiremit tozu takviyeli numunede sertlik değerinin 59 HBN'ye, %3 kiremit tozu takviyeli numunede sertlik değerinin 62 HBN'ye, %5 kiremit tozu takviyeli numunede sertlik değerinin 68 HBN'ye yükselmiştir. %1 Al_2O_3 takviyeli numunede ise sertlik değeri 68 HBN'ye, %3 Al_2O_3 takviyesi sertlik değerini 74 HBN'ye, %5 Al_2O_3 takviyesi ise sertlik değerini 80 HBN'ye yükselttiği, %1 SiC takviyesi sertlik değerini 70 HBN'ye, %3 SiC takviyesi sertlik değerini 79 HBN'ye, %5 SiC takviyesi sertlik değerini 84 HBN'ye yükselmiştir. Kiremit tozu, SiC ve Al_2O_3 kadar sertliği artırmaya bile matrise ilave edilen % 5'lik kiremit tozu sertliğe % 17'lik artışa sebep olmuştur.

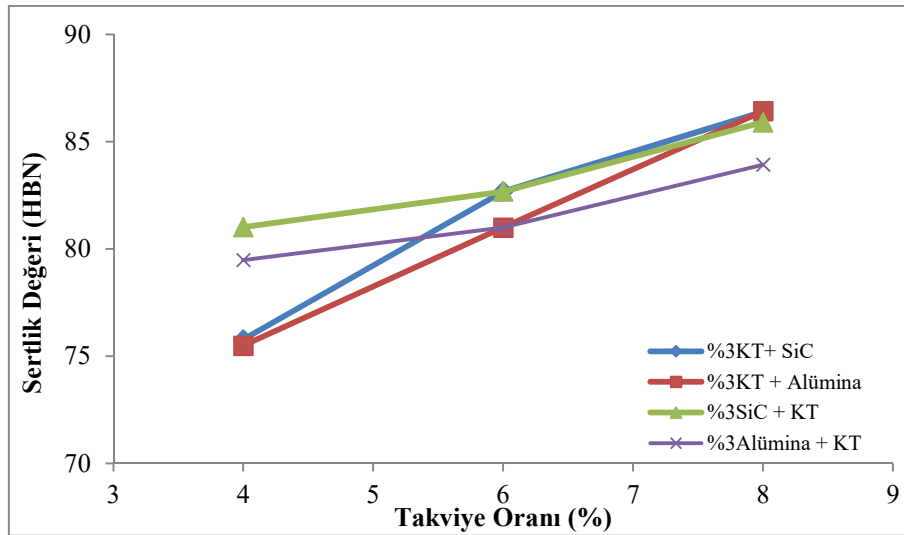
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	96	3	1	0	76
	94	3	3	0	83
	92	3	5	0	86
	96	3	0	1	75
	94	3	0	3	81
	92	3	0	5	86
	96	1	3	0	81
	94	3	3	0	83
	92	5	3	0	86
	96	1	0	3	79
	94	3	0	3	81
	92	5	0	3	84

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi Şekil 26’da gösterilmektedir



Şekil 26: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 kiremit tozu ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunemizin sertlik değerinin 75 HBN’e, %3 kiremit tozu ve %5 Al₂O₃’lü

takviyeli kompozitin sertlik değerinin 86 HBN'e değerinde olduğu, %3 kiremit tozu ve %1 SiC'lü takviyeli kompozitin sertlik değerinin 76 HBN, %3 kiremit tozu ve %5 SiC'lü takviyeli numunenin sertlik değerinin 86 HBN olduğu belirlendi. %3 kiremit tozu ve %5 Al₂O₃ takviyeli numunemiz ile %3 kiremit tozu ve %5 SiC takviyeli numunelerin sertlik değeri aynı çıkmıştır böyle bir sonuç çıkmasının nedeninin dökümsel bir hatadan kaynaklandığı düşünölmektedir.

%3 SiC ve %1 kiremit tozu takviyeli numunemizin sertlik değerinin 81 HBN, %3 Al₂O₃ ve %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin sertlik değerinin 79 HBN olduğu belirlendi. %3 SiC ve %5 kiremit tozu takviyeli numunemizin sertlik değerinin 86 HBN, %3 Al₂O₃ ve %5 kiremit tozu takviyeli kompozitin sertlik değerinin 84 HBN olduğu belirlendi. Kiremit tozu ikili hibrit kompozit malzeme üretiminde Al₂O₃ ve SiC takviye malzemesi gibi sertliği artıran bir takviye malzemesi olduğu öngörölmektedir.

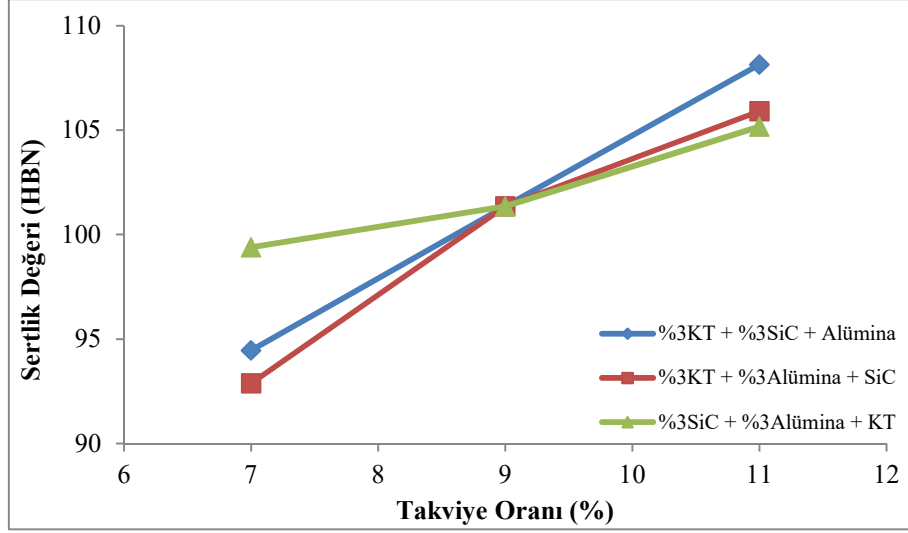
5.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	93	3	3	1	94
	91	3	3	3	101
	89	3	3	5	108
	93	3	1	3	93
	91	3	3	3	101
	89	3	5	3	106
	93	1	3	3	99
	91	3	3	3	101
	89	5	3	3	105

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 27: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

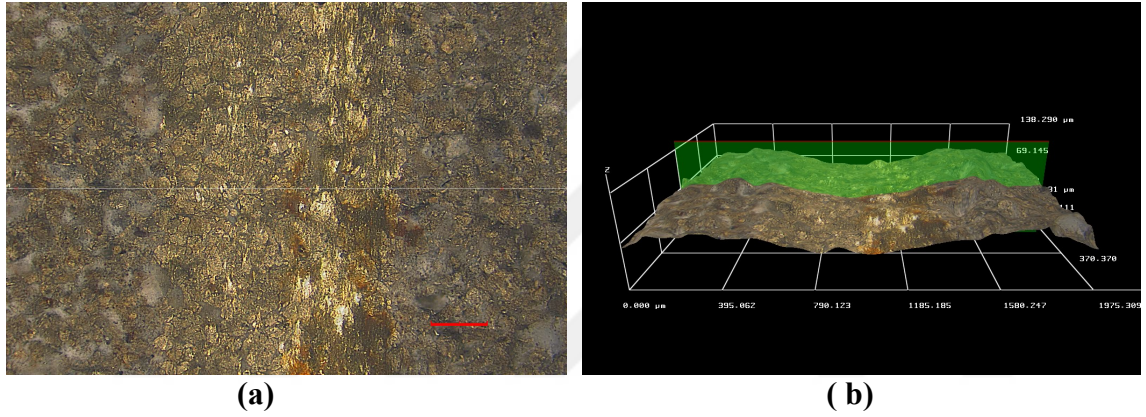
Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 kiremit tozu takviyeli ve %3 SiC takviyeli malzemeye %1 Al_2O_3 takviyesi numunemizin sertlik değerinin 94 HBN'e, %5 Al_2O_3 takviyesi numunemizi sertlik değerini 108 HBN'e artırdığı görüldü.

%3 kiremit tozu takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli malzemeye %1 SiC takviyesi numunemizin sertlik değerinin 93 HBN'e, %5 SiC takviyesi numunemizi sertlik değerini 106 HBN'e artırdığı görüldü.

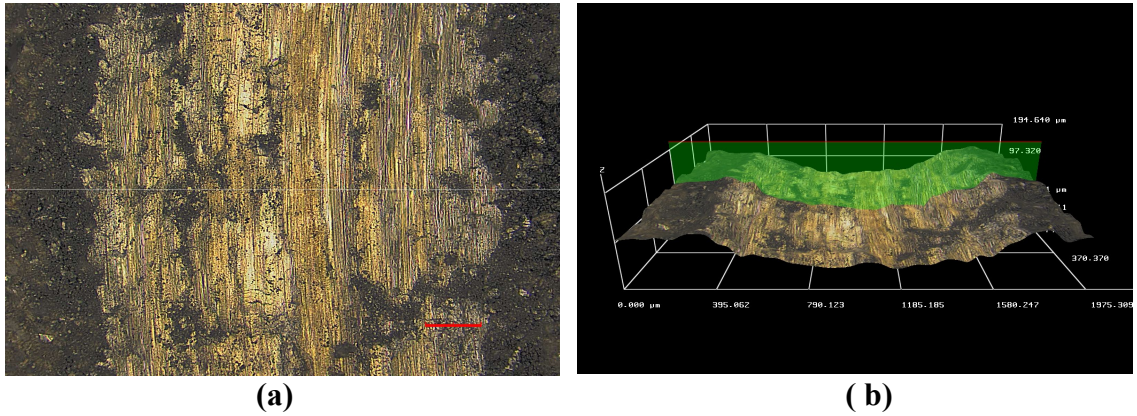
%3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli malzemeye %1 kiremit tozu takviyesi numunemizin sertlik değerinin 99 HBN'e, %5 kiremit tozu takviyesi numunemizi sertlik değerini 105 HBN'e artırdığı görüldü. Kiremit tozu üçlü hibrit kompozit malzeme üretiminde Al_2O_3 ve SiC takviye malzemesi gibi sertliği artıran takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

5.3 Aşınma

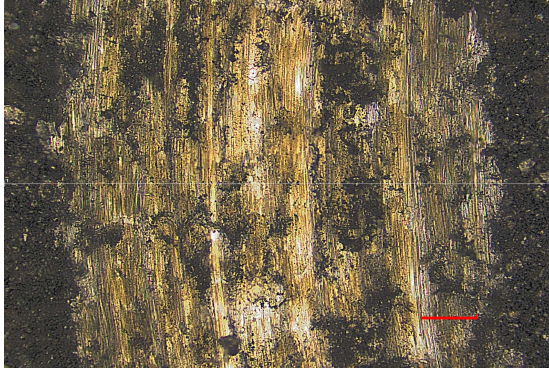
Çalışmamızda Kiremit tozunun aşınmaya etkisi, SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, Al_2O_3 'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, %3 KT katkılı ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'ün etkilerinin karşılaştırılması, KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, KT'nun Al_2O_3 takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, Al_2O_3 'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, KT'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi, üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT, SiC ve Al_2O_3 'ün etkilerinin karşılaştırılması incelenmiştir.



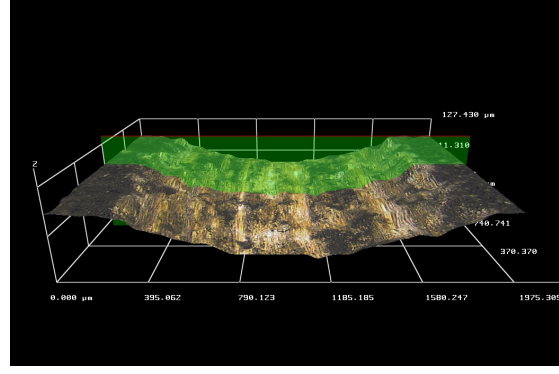
Şekil 28: a. 1N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü.
b. 1N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi.



Şekil 29: a. 3N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü.
b. 3N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi.



(a)



(b)

Şekil 30: a. 5N'luk yük altında aşınan yüzeyin optik mikroskop görüntüsü.
b. 5N'luk yük altında aşınan yüzeyin profilometresi.

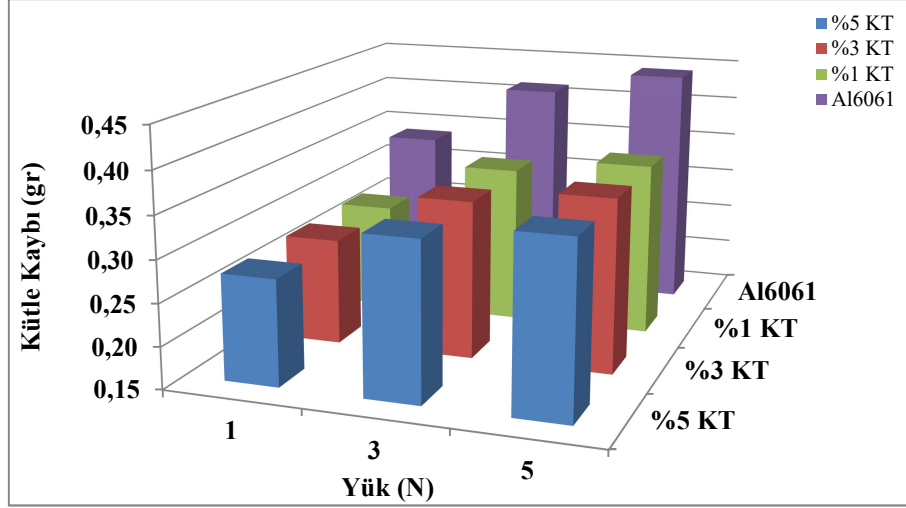
5.3.1 Kiremit Tozunun Aşınmaya Etkisi

Kiremit tozunun aşınmaya etkisi Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13: Kiremit tozunun aşınmaya etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	100	0	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,3367	0,4129	0,4415
	99	1	0	0		0,2787	0,3405	0,3583
	97	3	0	0		0,2773	0,3389	0,3566
	95	5	0	0		0,2760	0,3372	0,3549

Kiremit tozunun aşınmaya etkisi Şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 31: Kiremit tozunun aşınmaya etkisi.

Pin-on disk yöntemiyle gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda Al6061 alaşımının kütle kaybı, uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,3367 gr olarak ölçülmüştür. %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise Al6061 alaşımına kıyasla %17,2 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2787 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2773gr olmuştur. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı yine Al6061 alaşımına kıyasla %18'lik bir düşüşle 0,2760 gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile aşınma miktarında bir artış görülmüştür. Konu ile ilgili literatür incelendiğinde benzer şekilde yükün belli bir değerine kadar kütle kaybı miktarı artarken, belli bir değerden sonra yük ne kadar arttırılırsa arttırılsın kütle kaybı miktarı artmayıp sabit kalmaktadır.

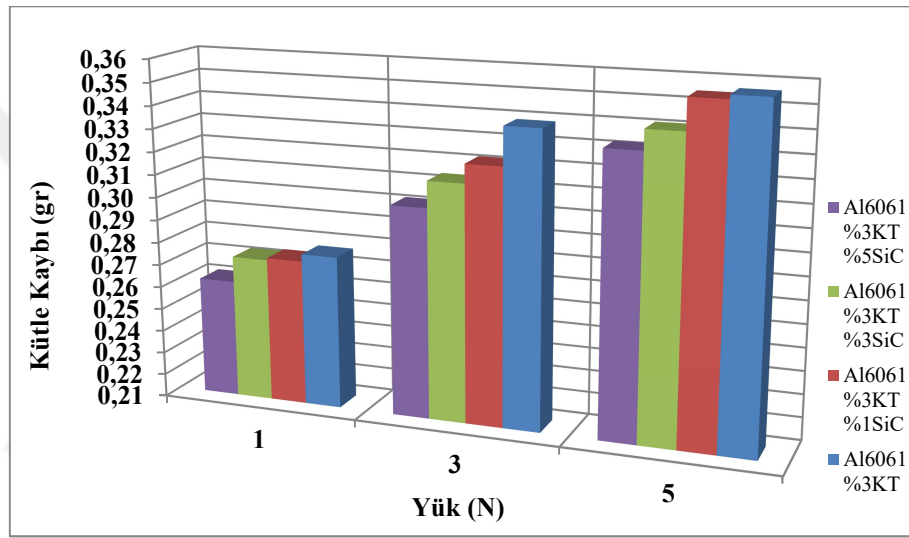
5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14: SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2773	0,3389	0,3566
	96	3	1	0		0,2741	0,3222	0,3548
	94	3	3	0		0,2732	0,3139	0,3413
	92	3	5	0		0,2619	0,3022	0,3326

SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 32: SiC'ün ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 kiremit tozu katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan SiC'ün etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2773 gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla %1,15 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2741 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı 0,2732 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla %5,55 oranında azalarak 0,2619 gr olmuştur.

% 3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3389 gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde

kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 4,92 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3222 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı 0,3139 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 10,8 oranında azalarak 0,3022 gr olmuştur.

% 3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3566 gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 0,5 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3548 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3413 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 6,73 oranında azalarak 0,3326 gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır.

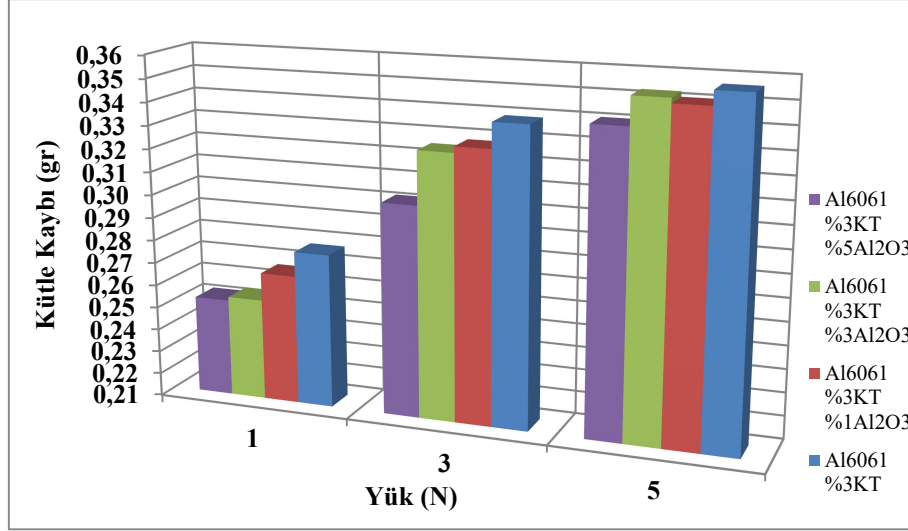
5.3.3 Al₂O₃'in İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

Al₂O₃'in ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15: Al₂O₃'in ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2773	0,3389	0,3566
	96	3	0	1		0,2665	0,3279	0,3505
	94	3	0	3		0,2543	0,3252	0,3527
	92	3	0	5		0,2527	0,3021	0,3406

Al₂O₃'in ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Şekil 33'te verilmiştir.



Şekil 33: Al_2O_3 'in ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 kiremit tozu katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2773 gr olarak ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 3,89 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2665 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2543 gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla %8,87 oranında azalarak 0,2527 gr olmuştur.

%3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3389gr olarak ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 3,24 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3279gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3252gr olarak ölçülmüştür. %5 takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 10,8 oranında azalarak 0,3021gr olmuştur.

% 3 kiremit tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3566 gr olarak ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 1,71 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3505 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak

kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3527 gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 kiremit tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla % 4,48 oranında azalarak 0,3406 gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır.

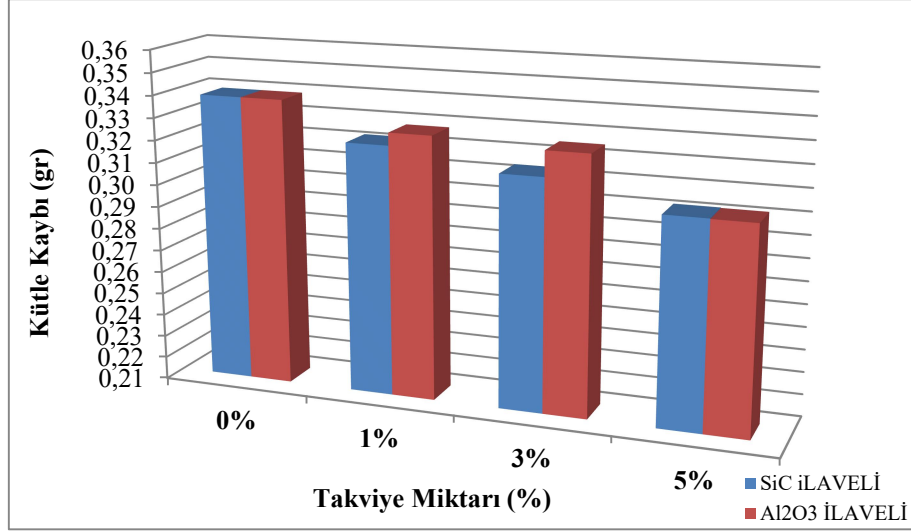
5.3.4 %3 KT Katkılı İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına 3N'luk Yük Değeri İçin SiC ve Al_2O_3 'in Etkilerinin Karşılaştırılması

%3 KT katkıli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'in etkilerinin karşılaştırılması Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16: %3 KT katkıli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'in etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al_2O_3	Yük (N)	3
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,3389
	96	3	1	0		0,3322
	94	3	3	0		0,3139
	92	3	5	0		0,3022
	96	3	0	1		0,3279
	94	3	0	3		0,3252
	92	3	0	5		0,3021

%3 KT katkıli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'in etkilerinin karşılaştırılması şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34 : %3 KT katkılı ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al₂O₃'in etkisi.

Pin-on disk yöntemiyle gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda %3 kiremit tozu takviyeli kompozitin kütle kaybı, uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3389gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3322 gr olarak ölçülmüştür, %1 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3279 gr olarak ölçülmüştür.

%3 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3139 gr olarak ölçülmüştür, %3 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3252 gr olarak ölçülmüştür.

%5 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3022 gr olarak ölçülmüştür, %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,3021 gr olarak ölçülmüştür. %3 kiremit tozu katkılı kompozite eklenen takviye miktarı arttıkça aşınma testleri sonucunda kütle kaybının azaldığı görülmüştür. %5 SiC ve %5 Al₂O₃ takviyeli numunelerde kütle kaybı birbirine yakın değerde çıkmıştır. SiC'ün Al₂O₃'e göre ikili hibrit kompozitlerde kütle kaybını azalttığı görülmüştür.

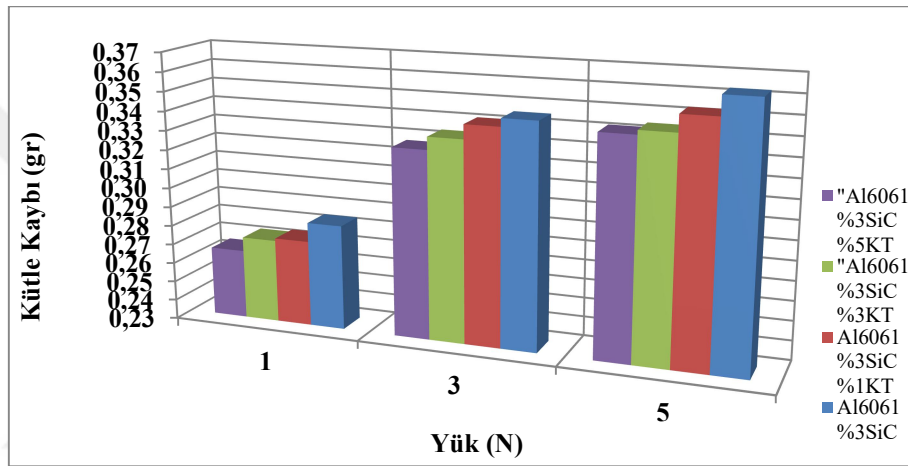
5.3.5 KT'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	0	3	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2845	0,3455	0,3630
	96	1	3	0		0,2745	0,3413	0,3530
	94	3	3	0		0,2732	0,3339	0,3443
	92	5	3	0		0,2659	0,3273	0,3421

KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35: KT'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC katkılı kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2845 gr ölçülmüştür. Eklenen %1 kiremit tozu takviyesi kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC takviyeli kompozite kıyasla % 3,6 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2745 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2732 gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC takviyeli kompozite kıyasla % 66,53 oranında azalarak 0,2659 gr olmuştur.

% 3 SiC katkılı kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3455 gr olarak ölçülmüştür. Eklenen %1 kiremit tozu takviyesi kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC takviyeli kompozite kıyasla % 1,21 oranında bir düşüş sergilemiş

ve 0,3413 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3339 gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC takviyeli kompozite kıyasla %5,26 oranında azalarak 0,3273 gr olmuştur.

% 3 SiC katkılı kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3630gr olarak ölçülmüştür. Eklenen %1 kiremit tozu takviyesi kompozitin kütle kaybı değeri 0,3530 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3443gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC takviyel kompozite kıyasla % 6 oranında azalarak 0,3421 gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile ikili kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır.

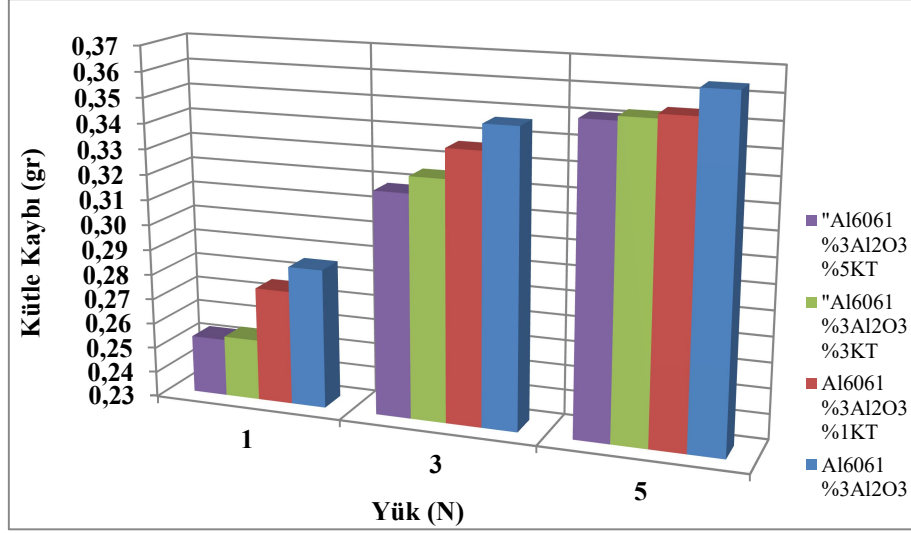
5.3.6 KT'nun Al_2O_3 Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

KT'nun Al_2O_3 takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18: KT'nun, Al_2O_3 takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al_2O_3	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	0	0	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2856	0,3468	0,3644
	96	1	0	3		0,2756	0,3368	0,3544
	94	3	0	3		0,2543	0,3252	0,3527
	92	5	0	3		0,2530	0,3186	0,3510

KT'nun Al_2O_3 takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36:KT'nun Al₂O₃ takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 Al₂O₃ katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 Al₂O₃ katkılı kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2856gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al₂O₃ takviyeli kompozite kıyasla % 3,50 oranında bir düşüş sergilemiş 0,2756 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2543gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al₂O₃ takviyeli kompozite kıyasla %11,4 oranında azalarak 0,2530 gr olmuştur.

%3 Al₂O₃ katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 Al₂O₃ katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3468gr olarak ölçülmüştür. Eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al₂O₃ takviyeli kompozite kıyasla % 2,88 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3368 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3252gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al₂O₃ takviyeli kompozite kıyasla %8,1 oranında azalarak 0,3186 gr olmuştur.

%3 Al₂O₃ katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri

sonucunda % 3 Al_2O_3 katkılı kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3644gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyasla % 2,74 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3544gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3527 gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyasla %3,67 oranında azalarak 0,3510 gr olmuştur. Uygulanan yük miktarının artması ile ikili kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır.

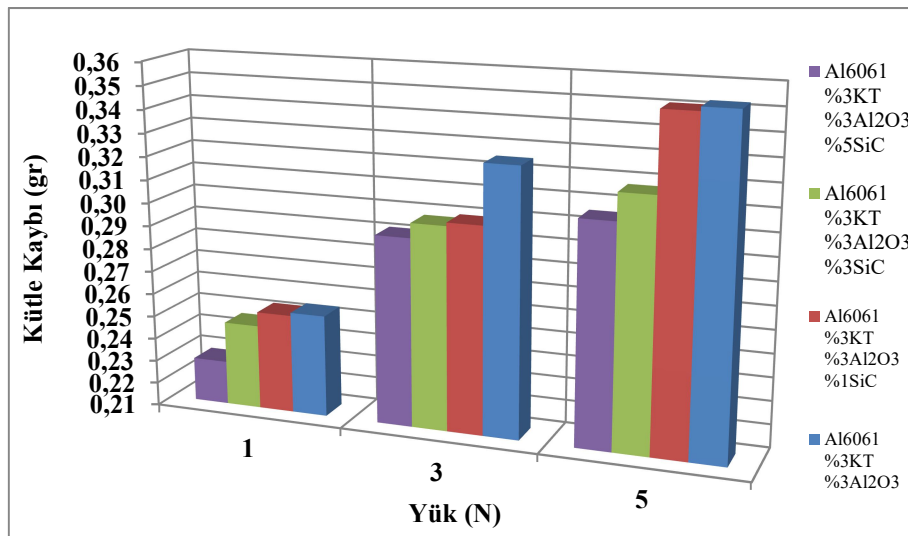
5.3.7 SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 19'da verilmiştir

Tablo 19: SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al_2O_3	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	3	0	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2543	0,3252	0,3527
	93	3	1	3		0,2529	0,2995	0,3510
	91	3	3	3		0,2467	0,2980	0,3175
	89	3	5	3		0,2289	0,2916	0,3058

SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 37: SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi

%3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan SiC'ün etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2543 gr olarak ölçülmüştür. Eklenen %1 SiC takviyesi kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozite kıyasla % 0,55 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2529 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2467 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kompozite kıyasla %9,9 oranında azalarak 0,2289 gr olmuştur.

%3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3252 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 SiC takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit takviyeli üçlü kompozite kıyasla % 7,9 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2995 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2980 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kompozite kıyasla %9,9 oranında azalarak 0,2916 gr olmuştur.

%3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3527 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 SiC takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit takviyeli üçlü kompozite kıyasla % 0,5 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3510 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3175 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 Al_2O_3 ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kompozite kıyasla %14 oranında azalarak 0,2916 gr olmuştur.

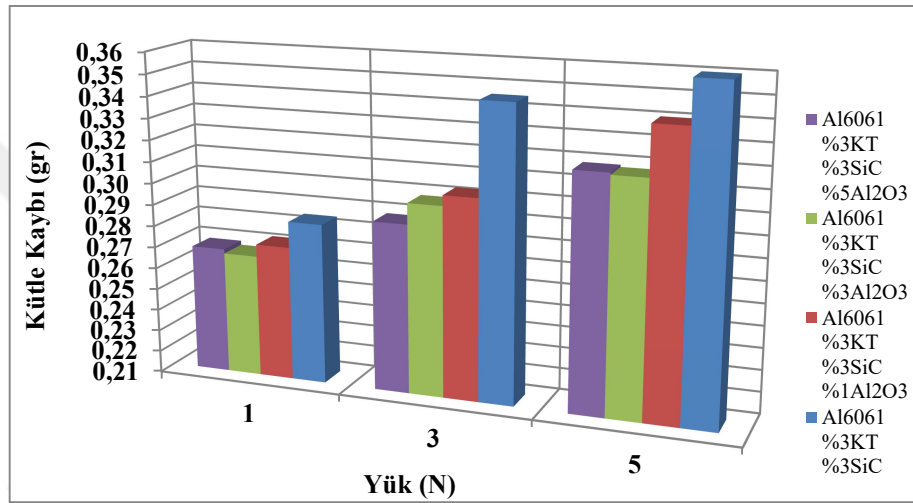
5.3.8 Al_2O_3 'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

Al_2O_3 'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 20'de verilmiştir

Tablo 20: Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	3	3	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2845	0,3455	0,3630
	93	3	3	1		0,2724	0,3029	0,3403
	91	3	3	3		0,2667	0,2980	0,3175
	89	3	3	5		0,2686	0,2883	0,3185

Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Şekil 38'de verilmiştir



Şekil 38: Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al₂O₃'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikli hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2845 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikli hibrit takviyeli üçlü kompozite kıyasla % 4,25 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2724 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al₂O₃ 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2667 gr olarak ölçülmüştür. %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikli hibrit kompozitin kompozite kıyasla %9,9 oranında azalarak 0,2686 gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al₂O₃'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan

aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3455gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozite kıyasla % 12,5 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3029 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al₂O₃ 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2980 gr olarak ölçülmüştür. %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kompozite kıyasla %16 oranında azalarak 0,2883 gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al₂O₃'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3630 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit takviyeli üçlü kompozite kıyasla % 6,25 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3403 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al₂O₃ 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3175gr olarak ölçülmüştür. %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 kiremit tozu katkılı ikili hibrit kompozitin kompozite kıyasla %12 oranında azalarak 0,3185 gr olmuştur. Bunun nedeni takviye malzemeleri oranları ve matrisle takviye malzemeleri yoğunluk farkından oluşmaktadır.

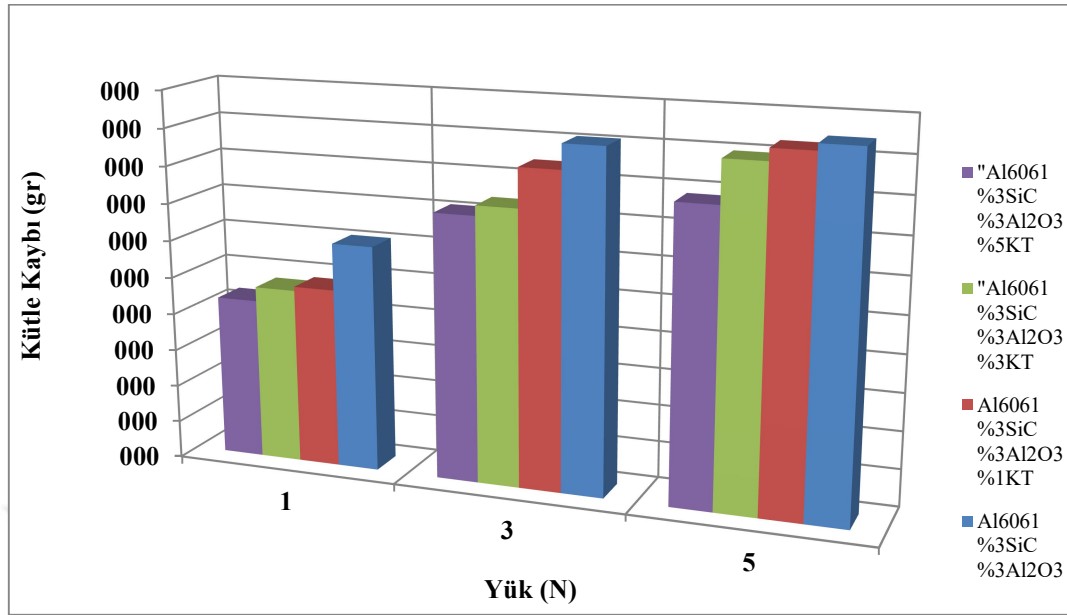
5.3.9 KT'nun Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi

KT'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 21'de verilmiştir

Tablo 21: KT'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	0	3	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2843	0,3452	0,3527
	93	1	3	3		0,2715	0,3318	0,3492
	91	3	3	3		0,2567	0,2980	0,3175
	89	5	3	3		0,2489	0,2951	0,3199

KT'nin üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Şekil 39'da verilmiştir



Şekil 39:KT'nin üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikili hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2843gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikili hibrit kompozite kıyasla % 1 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2715gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2567 gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikili hibrit kompozite kıyasla % 12,4 oranında azalarak 0,2489 gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikili hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,3452 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikili hibrit takviyeli üçlü kompozite kıyasla % 3,88 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3318 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit

tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2980gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikli hibrit kompozitin kompozite kıyasla % 14,5 oranında azalarak 0,2951 gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kiremit tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikli hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,3527 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kiremit tozu takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikli hibrit takviyeli kıyasla % 1 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,3492 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kiremit tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,3175 gr olarak ölçülmüştür. %5 kiremit tozu takviyeli kompozitte ise kütle kaybı %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı ikli hibrit kompozite kıyasla % 9,29 oranında azalarak 0,3199 gr olmuştur.

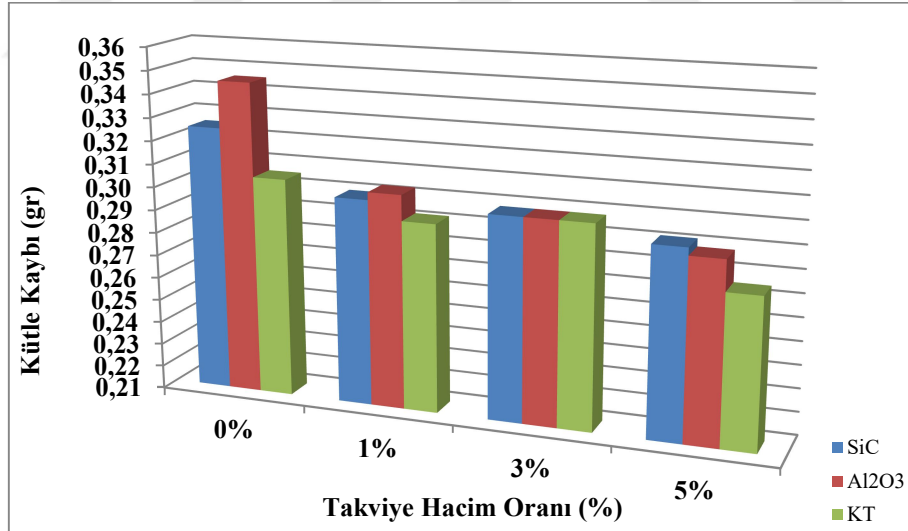
5.3.10 Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KT SiC ve Al₂O₃'in Etkilerinin Karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT SiC ve Al₂O₃'in etkilerinin karşılaştırılması Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22: Üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT SiC ve Al₂O₃'in etkisi.

	Al 6061	KT	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	3
Takviye Oranı (%)	94	0	3	3	Kütle Kaybı (gr)	0,3452
	93	1	3	3		0,3318
	91	3	3	3		0,2980
	89	5	3	3		0,2951
	94	3	0	3		0,3252
	93	3	1	3		0,2995
	91	3	3	3		0,2980
	89	3	5	3		0,2916
	94	3	3	0		0,3455
	93	3	3	1		0,3029
	91	3	3	3		0,2980
	89	3	3	5		0,2883

Üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT SiC ve Al₂O₃'in etkilerinin karşılaştırılması Şekil 40'ta verilmiştir.



Şekil 40: Üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına KT SiC ve Al₂O₃'in etkisi.

Üçlü hibrit kompozitlerde alaşıma iki takviye elemanı %3'er oranında katılıp, üçüncü takviye elemanı %1, %3 ve %5 oranında katılarak üç farklı hibrit kompozit üretilmiştir. 3N yük altında elde edilen kütle kaybı miktarları değerlendirildiğinde, %3 SiC ve %3 kiremit tozundan oluşan ikili hibrit kompozitin kütle kaybı miktarı en fazla, %3 SiC ve %3 Al₂O₃'den oluşan ikili hibrit kompozitte ise en az meydana gelmiştir. Bunun nedeni,

Al_2O_3 'in sertlik değerinin kiremit tozundan daha yüksek olması ve sert malzmelere yumuşak malzemelere oranla daha az aşınması olarak değerlendirilmiştir.

İkili hibrit kompozitlere %1 oranında SiC, Al_2O_3 ve kiremit tozu ilavesi yapılarak elde edilen l hibrit kompozitlerin kütle kaybı sıralaması ikili hibrit kompozitlerle aynı sıralamada meydana gelmiştir. İkili hibrit kompozitlere ilave edilen c takviye elemanın kompozit içerisindeki oranı %5'e çıkarıldığında ise en az kütle kaybı %3 SiC, %3 Al_2O_3 ve %5 kiremit tozundan oluşan l hibrit kompozitte meydana gelirken en fazla kütle kaybı ise %3 Al_2O_3 , %3 kiremit tozundan ve %5 SiC'den oluşan hibrit kompozittedir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kiremit tozu ,SiC ve Al_2O_3 takviyeli kompozitler değerlendirilmiş aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Takviye elemanlarının kompozitin porozite miktarına etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek porozite miktarlarına kiremit tozunda ikinci sırada Al_2O_3 en düşük değerde ise SiC'ün olduğu gözlemlenmiştir, bu sıralamanın seçtiğimiz matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür. Porozite miktarlarını düşürmekte magnezyum elementini takviye malzemeleri ile kullanarak daha iyi sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

2. Kiremit tozu SiC ve Al_2O_3 kadar sertliği artırmaya bile matrise ilave edilen kiremit tozu kompozitin sertliğine artışa sebep olmuştur.

3. Kiremit tozu ikili ve üçlü hibrit kompozitin sertliğinin artırmasında kullanılabilecek bir takviye malzemesi olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

4. Kiremit tozu takviyesi kompozitin kütle kaybının azalmasına etki etmiş, takviye oranlarımız arttıkça kompozitimizin kütle kaybı azalmaktadır.

5. Kiremit tozu takviyeli kompozitlerin yorulma dayanımı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Acılar, M.,(2002) Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Akbulut, H., Durman, M., (1995). SiC Partikül Takviyeli Al-Si Metal Matrisli Kompozitlerin Santrifüj Dökümü, 8. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, s. 687-692.
- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., (1995). “Vorteks metodu ile üretilen Al₂O₃ partikül takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin mekanik davranışları”, 8. *Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 1329-1334.
- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., (1993).“SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, 7. *Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 1183-1194.
- Akın, G. (2006). *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı, İstanbul. 70 s.
- Akkurt, A., Ovalı, İ. (2009). Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 15, Sayı 3, 2009, Sayfa 371-382.
- Aksu, S. (2001). *Kırmızı Çamur Bileşenlerinin Hidroklorik Asit Çözeltilisindeki Çözünürlükleri*. Yüksek Lisans Tezi. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.
- Altuner, S, Keleşoğlu, E.(2012). Pruduction Of Y₂O₃ Coated Al₂O₃ Reinforced Aluminium Matrix Composites and the Coating of İnterface Effects Over Wettability Properties. PhD Research Article, Journal of Engineering and Natural Sciences, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 30, s. 252-258.
- Aran, A. (2007). Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, 34 s.
- Arıcasoy, O.,(2006). ”Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası, (Aralık).
- Bai, M., Xue, Q., 1997. “Investigation of wear mechanism of SiC particulate reinforced Al-20Si-3Cu-1Mg aluminium matrix composites under dry sliding and water lubrication”, *Tribology International*, 30 (4): 261-269.
- Bulut, M. (2014). *Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 77 s.

- Çalın, R. (2006). *Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chawla, K. K., (1998) *Composite Materials Science and Engineering*, Springer-Verlag, New York,
- Da Silva, R., Caldemaison, D., Bretheau, T., (1991). "Interface strength effect on the mechanical properties of compocast aluminium alloys / SiC composites". *Mechanics and Mechanisms of Damage in Composites and Multi-Materials*, London, 395-406
- Doğan, E (2006). *1050 ve 8006 Alüminyum Alaşımlarının Deformasyon ve Yeniden Kristalleşme Davranışı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı, İstanbul. 81 s.
- Eker, A.A., (2009). Metal Matrisli Kompozitler ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Er, M. (2006). *Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve 1100-H14 Alüminyum Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir. 106 s.
- Erdem, M., (2001). *Alüminyum Alaşımlarının (5083 ve 7039) Kaynak Öncesi ve Sonrası Mekanik ve Balistik Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara. 105 s.
- Giu M., Kang S., (2000), “ 6061 Al / Al-SiCP Bi-Layered Composites Produced by Plasma Spraying Process ” *Materials Letters*, 46, 296-302.
- Gökşahin, E., (2007). *Sert Eloksal İle Kaplanmış 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Mühendisliği Programı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. 62 s.
- Gülüzade, R. (2011). *Alüminyum ve Çelik Testere Talaşlarından Sinterleme İle Üretilen Metal Matriks Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Kırılma Davranışları*. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya. 93 s.
- Hassan, S.B., Aigbodion, V.S.,(2015). *Effects of Eggshell on the Microstructures and Properties of Al–Cu–Mg/Eggshell Particulate Composites*. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 27, s. 49–56. www.ksu.edu.sa, www.sciencedirect.com.
- Hiçyılmaz, N., ‘TM yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- İpek, R., (2005). “*Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/ B4C-Al/ SiC)*”, Materials Proc. Tech., 162-163: 71-75, 2005.
- Kafalı, H., Ay, N. (2014). Sürtünme Karıştırma Kaynağıyla Birleştirilmiş Havacılık ve Uzay Yapılarında Kullanılan Al 6013-T6 Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, s. 85-101.
- Kazanç, V.; (2002). “*Kompozit Malzemeler Ve Mekanik Özellikleri*”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Müh. Böl., Bitirme Ödevi, Isparta.
- Kök, M. (2001). Al₂O₃ Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi. *Fen ve Mühendislik Dergisi* 2001, Cilt 4, Sayı 2. s. 131-142.
- Kurşun, T. (2011). Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirilmesinde Al₄C₃ Oluşumunun Önlenmesi ve Sinerjik Kontrollü Darbeli Mig (GMAW-P) Kaynak Yöntemi. Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, *Teknik-Online Dergi*, Cilt 10, Sayı 1, s. 86-98
- Lim, C. Y. H., Lim, S. C., Gupta, M., (2003). “*Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites*”, Wear, 255: 629-637.
- Lut, H., Durmaz, M., Yılmaz, F., (1995). 8.Uluslararası metalürji ve malzeme kongresi, 6-9 haziran, 1329-1334, İstanbul.
- Lloyd, D., (1994). *Particle-reinforced aluminum and magnesium matrix composites*, International Materials Review
- L.D. HART, (1990). “*Alumina Chemicals: Science and Technology Handbook*”, American Ceramic Society ,Ohio,278-283.
- Mindivan, H. (2007). *Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 224 s.
- Mondal, D.P. ve Das, S., (2005) “*High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: Effect of experimental parameters, particle size and volume fraction*” ,Tribology International., 1-9.
- Özdin, K., (2006). “*Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-4.
- Öğünç, (2006). *Sıcak presleme ile sinterlenmiş α-SiC matrisli b4c kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi* yüksek lisans tezi.
- Özkök, Ö. (2004). *Si₃N₄ İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara. 90 s.

- Singh, M., Mondal, D.P., Modi, O.P. and Jha, A.K.,”(1997). ”Two-body abrasive wear behaviour of aluminium alloy-silimanite particle reinforced composite”, *Wear.*, 253: 357-368.
- Schwartz, M. M., vd, (1997). *Properties, Nondestructive Testing and Repair*, Prentice-Hall PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya, H. (2005). *Ergimiş Metal Karıştırma ve Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi*. Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., J. Fac. Eng. Arch. Gazi University, Cilt 20, No 2, Ankara. s. 233-238.
- Şahin, Y., Acılar, M., (2003). Production and properties of SiCp-reinforced aluminium alloy composites, *Composites Part A* 34, P 709-718.
- Şahin, Y., (1998). ”Dry wear behaviour of saffil fibre-reinforced metal composites”, 8th International Machine Design and Production Conference, Ankara 469-477.
- Şahin, Y., (2003). ”Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites”, *Materials and Design*, 24: 671-679.
- Şahin, Y., (2000). *Alüminyum Çelik Farklı Metal Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapısal Karakterizasyonu. VII. Ulusal Kongre ve Sergisi*, http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/emelt/bildiri/emelt22.05.2013_05.14.25bildiri.pdf, Kaynak Teknolojisi, Eğitim ve Bilgilendirme. s. 97-102. 24 Şubat.
- Toptan, F. (2011). *Alüminyum Matrisli B4C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi*. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı, İstanbul, 133 s.
- Turhan, S. (2002). *Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı. İstanbul. 64 s.
- Ünal, O. (2010). Yapı Malzemesi ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010
- Yang, J. And Chung, D.D.L., (1989). “Wear of bauxite-particle reinforced aluminum alloys”, *Wear*, 135: 53-65.
- Yılmaz, U., Evci C. (2015). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, The Journal of Defense Sciences, Kasım/November, Cilt/Volume 14, Sayı/Issue 2, Ankara, s. 77-109.
- Zhiqiang, S., Di, Z., Guobin, L., (2005) "Evaluation of dry sliding wear behaviour of silicon particles reinforced aluminium matrix composites", *Materials and Design.*, 26: 454-458.

URL-1 Seyko Alüminyum. [http://www.seykoc.com.tr/aluminyum-alasimlar/ 6061.aspx](http://www.seykoc.com.tr/aluminyum-alasimlar/6061.aspx),
Son Erişim Tarihi: 10 Haziran 2017

URL-2 www.aryametal.com Son Erişim Tarihi: 10 Haziran 2017



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur KAMBER
Doğum Yeri ve Tarihi : Zonguldak - 1983

Eğitim Durumu:

Lisans Öğrenimi : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Makine Mühendisi) 2008Bildiği
Yabancı Diller :İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Oğuz Havalandırma /Atmaca Motosan Şantiyesi-Şantiye Şefi

İletişim

E-Posta Adresi : onurkamber6@gmail.com

Tarih : 13/07/2017(Tez Sınav Tarihi)