



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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
RAHİM KOCAMAN**

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

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Rahmi KOCAMAN

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

Rahmi KOCAMAN tarafından hazırlanan “GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 13.07.2017 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 “GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ 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.

13.07.2017

Rahmi KOCAMAN

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca beni olumlu fikir ve eleştirileri ile yönlendiren, tezime önemli katkılarda bulunan ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin üretimi ve incelenmesi aşamasında yardımlarından dolayı Hasan TOPRAK' a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan, beni daima sabır ve anlayışla karşılayan eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın “2016-FEN-C-002” nolu proje ile maddi olarak desteklenmesi nedeniyle Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Rahmi KOCAMAN

ÖZET

GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Rahmi KOCAMAN

**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Makine Mühendisliği

**Danışman: Yrd. Doç.Dr. Serkan ATEŞ
Bartın-2017, pp: XV + 73**

Bu çalışmada, partikül takviyeli hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan ve oldukça pahalı olan karbürü ve oksitli seramiklere alternatif ucuz ve kolay ulaşılabilir yeni takviye malzemesi belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ülkemizde de yaygın olarak kullanılan katı yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan atıkların toz haline getirilerek kullanılabilirliği araştırılmıştır. Hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırılmalı 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 kullanılan 45 µm tane büyüklüğüne sahip kömür cürufu, 22-59 µm alüminyum oksit (Al₂O₃) ve 22-59 µm silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800°C ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 450 dev/dk hızda mekanik olarak karıştırılmıştır. Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 30 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen silindirik numuneler hassas kesme cihazı ile kesilmiş, mikroyapı incelemeleri için yüzeyleri otomatik yüzey hazırlama cihazı ile hazırlanmıştır. Üretilen kompozitlerin porozite miktarları Arşimet prensibi ile belirlenirken, sertlik ölçümü için Brinell sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sabit kayma mesafesi, sabit dönme hızında 1N, 3N ve 5N yük değerleri uygulanarak Pin-On Disk cihazı ile yapılmıştır. Tekli kompozitlerin porozite miktarları kıyaslandığında ise kömür cürufu

takviyeli kompozitlerin porozite miktarları, SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozitlerin porozite miktarlarından daha yüksek olmuştur. Üretilen tekli kompozitlerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, kömür cürufu tozunun takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozitlerin sertlik değerlerindeki artış miktarı, geleneksel takviye elemanları ile üretilen kompozitlerin sertlik artış oranlarına neredeyse eşit seviyede gerçekleşmiştir. Üretilen kompozitlerin aşınma deneylerinden elde edilen kütle kaybı miktarları göz önüne alındığında, matrise ilave edilen takviyenin ağırlıkça oranının arttırılması ile kütle kaybının azaldığı, uygulanan yük değerinin arttırılmasının ise kütle kaybını arttırdığı belirlenmiştir. Kömür cürufunun aşınmaya olan etkisi değerlendirildiğinde kompozit üretiminde aşınma dayanımını iyileştirici takviye malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak kömür cürufunun kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kompozitin mekanik özelliklerini iyileştiren bir takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler

Kompozit Malzemeler, Metal matrisli malzemeler, Alüminyum alaşım, Atık Malzeme, Aşınma davranışı,

Bilim Kodu

625.02.05

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF TRADITIONALLY AND WASTE REINFORCED METALIC MATRIX COMPOSITES WEAR BEHAVIOUR

Rahmi KOCAMAN

Bartın University

Science Institute

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, pp: XV + 73

In this study, a new cheap and easily reachable support material definition aimed alternatively to ceramic with carbide and oxide which is using as support material in particle supported hybrid composite production. Therefore the availability of the wastes which comes up burning of the solid fuel commonly used in our country especially by pulverizing researched. Two stage process molding with agitated is used for hybrid composite production. In this process the aliminum alloy (Al 6061) which will be used as matrix melted in graphite basket in owen with electrically resisted on 700°C, after that coal dross which is used as support element with 45 µm piece size, 22-59 µm alüminyum oksit (Al₂O₃) and 22-59 µm silisyum karbür (SiC) dusts added by decreasing the heat to 600°C. After mixed by hand of the mixture in shape of slurry, the heat increased to 800°C (super heating) and mechanically mixed in speed of 450 rpm on this heat. The cylindrical samples with length of 300 mm and with diameter of 30 mm produced by pouring the mixture to a metalic cast which is heated to 250°C already. Producted cylindrical samples is cutted by sensitive cutter, the surface is prepared by automatic surface preparetor for micro structure investigation. The porozite quantity of the producted samples determined by Archimed principle, Brinell hardness measurement method used for hardness measurement. Wear experiments did by Pin_on Disk device with the application of constant slip distance, on constant rotation speed with load values of 1N, 3N and 5N. The

porozite quantity of composites supported by coal dross is higher than the porozite quantity of composites supported by SiC ve Al_2O_3 compared by porozite quantity of unique composites. The increasement on the value of the hardness of the composites in which the coal dross is used as support element is almost equal to the composites wick is produced by traditional support element when the hardness value of produced unique composites compared. The loss of the mass has decreased by increasing weight proportionally of the support added to the matrix, the loss of the mass has increased by increasing the applied load value, considering the quantity of the mass loss obtained from wear experiments of produced composites. The coal dross determined as a support material which can be used increasing strength of composite production when the affect of coal dross to the wear evaluated. The availabilty of using coal dross as a support material which is improving the mechanical features of the composite putted forth as a result.

Key Words

Composite materials, materials with metalic matrix, alluminium alloy, waste material, wear behavior.

Science Code

625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL BİLGİLER	4
2.1 Kompozit Malzemelerin	4
2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	4
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	5
2.4 Matrisler.....	5
2.4.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	6
2.4.2 Alüminyum Alaşımları	7
2.4.3 Al 6061 ve Özellikleri	9
2.5.Takviye Malzemeleri	9
2.5.1 Al ₂ O ₃ ve Özellikleri	10
2.5.2 SiC ve Özellikleri	11
2.5.3 Kömür Cürufu (Kalorifer Katı Atığının) ve Özellikleri	12
2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları	14
2.6.1 Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamaları	15
2.6.2 İnşaat Sektöründeki Uygulamalar	15
2.6.3 Havacılık ve Savunma Sanayi Uygulamaları.....	16
2.7 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	16
2.7. 1 Karıştırmalı Döküm Üretim Yöntemleri.....	17

BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	24
4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları.....	24
4.2 Kullanılan Ekipmanlar	24
4.2.1 Bilyalı Değirmen.....	24
4.2.2 Sarsma Makinası	25
4.2.3 Hassas Kesme Cihazı	25
4.2.4 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı	26
4.2.5 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı	26
4.2.6 Hassas Terazı	28
4.2.7 SEM	29
4.2.8 Pin-On-Disk Cihazı	30
4.2.9 Karıştırmalı Döküm Ünitesi	30
4.2.10 Kompozit Malzemenin Üretimi.....	31
4.2.10.1 Kompozit Malzemenin Üretimi Aşamaları.....	31
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	34
5.1 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Mikro yapısına Etkisi	34
5.2 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	40
5.3 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi	44
5.4 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Aşınmaya Etkisi	49
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1. Al ₂ O ₃ 'ün SEM görüntüsü	11
2. SİC' ün SEM görüntüsü	12
3. Kömür cürufundan görünüm.....	13
4. Kömür cürufundan EDS analiz görüntüsü	13
5. Otomotiv endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanım alanları	15
6. İnşaat sektöründeki kompozit malzemelerin kullanım alanları	16
7. Havacılık ve savunma sanayisindeki kompozit malzemelerin kullanım alanları	16
8. Hibrit kompozit üretim aşamaları	17
9. Bilyalı değirmende kömür cürufunun öğütülmesinden görünüm	24
10. Kömür cürufunun elekte elenmesinden görünüm	25
11. Hassas kesme cihazı	25
12. Otomatik yüzey hazırlama cihazı.....	26
13. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi	27
14. Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı.....	28
15. Hassas terazi.....	29
16. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).	29
17. Pin-On Disk cihazı	30
18. Karıştırılmalı döküm ünitesinin görünüm	30
19. Potanın içindeki eriyik karışımdan görünüm	31
20. Hibrit kompozitin kalıba dökülmesinden görünüm	32
21. Hibrit kompozite ait numunelerinden görünüm.....	32
22. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	35
23. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	35
24. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	36
25. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	36
26. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	37
27. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	37
28. Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri	38
29. Hibrit kompozite ait EDS analizinden görünüm	38
30. Hibrit kompozite ait EDS analizleri.....	39

31. Hibrit kompozite ait EDS analizleri.....	39
32. Hibrit kompozite ait EDS analizleri.....	40
33. Takviye Elemanlarının Kompozitin porozitesine Etkisi.....	41
34. Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	42
35. Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	44
36. Takviyenin Kompozitin Sertliğine Etkisi	45
37. Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi	47
38. Takviyenin Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi	48
39. 1 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü	49
40. 3 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü	50
41. 5 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü	50
42. Kalorifer cürufunun aşınmaya etkisi.....	51
43. SiC' ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	52
44. Al ₂ O ₃ 'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	54
45. %3 KC Katkılı İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına 3N'luk Yük Değeri İçin SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün Etkilerinin Karşılaştırılması	55
46. KC'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.....	57
47. KC'nun Al ₂ O ₃ Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	58
48. SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi	60
49. Al ₂ O ₃ 'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.....	61
50. KC'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.....	63
51. Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KC SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün Etkilerinin Karşılaştırılması.....	65

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Alüminyum MMK' lerde kullanılan matris alaşımları	8
2. Al alaşımlarının kimyasal durumu ve uygulamaları	8
3. Al 6061 Kimyasal bileşimi	9
4. Alüminyum matriksli kompozitlerde kullanılan bazı takviyeler	10
5. SiC'ün bazı mekanik ve fiziksel özellikleri	11
6. SiC ve Al ₂ O ₃ partiküllerin bazı özellikleri	12
7. Kömür Cürufunun EDS analizi	14
8. MKK üretim yöntemleri sınıflandırılması	17
9. Üretim numunelerinin takviye oranları	33
10. Takviye Elemanlarının Kompozitin porozitesine Etki değerleri	40
11. Takviye Elemanlarının ikili hibrit Kompozitin porozitesine Etki değerleri	42
12. Takviye Elemanlarının üçlü hibrit Kompozitin porozitesine Etki değerleri	43
13. Takviyenin Kompozitin Sertliğine Etki değerleri	45
14. Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Serlik Etki değerleri	46
15. Takviyenin Üçlü Hibrit Kompozitin Sertlik Etki değerleri	48
16. Kalorifer cürufunun aşınmaya etki değerleri	51
17. SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	52
18. Al ₂ O ₃ 'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	53
19. %3 KC Katkılı İkili hibrit Kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün etkilerinin Karşılaştırılma değerleri	55
20. : KC'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	56
21. KC'nun Al ₂ O ₃ Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	58
22. SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	60
23. Al ₂ O ₃ 'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	61
24. KC'nun Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etki değerleri	63
25. Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KC SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün Etkilerinin Karşılaştırılma etki değerleri	64

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)
Al	:	Alüminyum
KC	:	Kömür curufu
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

Yaşadığımız dünyada Malzeme bilimindeki gelişmeler teknolojik gelişmelerin temelini oluşturmaktadır. İki veya daha fazla farklı malzemenin geniş seviyede bir araya getirilerek oluşturulan daha öncekilerden farklı olan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu daha iyi mekanik özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemenin yapısını takviye ve matris malzemesi oluşturur. En çok kullanılan şekliyle, matris malzeme içerisine daha farklı bir malzemenin takviye veya parçacık olarak konması ve kür işlemiyle tek bir yapı oluşturulmasıdır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözünmezler veya karışmalar. Fiberler, kompozit yapının takviye elemanı olup mekanik mukavemeti sağlarlar. Matris, takviye elemanlarını bir arada tutan, takviye elemanlarını arasında gerilim aktarımını sağlayarak mekanik yapının oluşumunu dolaylı olarak etkileyen ve fiberleri fiziksel ve kimyasal dış etkilere koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan temel yapıdır. Matris malzemesi olarak metal alaşımları kullanıldığı gibi farklı kullanım amaçları için reçinelerde kullanılmaktadır. Matrislere sınıflandırırsak; polimer, seramik ve metalleri, takviye elemanları ise: fiberler, partiküller, whiskers (polimer, seramik veya metalde olabilir) verilebilir. Kompozit malzemelerin spesifik özellikleri üzerinde taşıdığı için tercih sebebi olmuştur. Kompozit malzemeler % 25 lere varan miktarda hafiflik vermektedir (Ataş, 2015). Kompozit malzeme elde edilirken birden fazla takviye malzemesi kullanıldığında bu kompozitlere hibrit kompozit adı verilmektedir. Kompozit malzemeler şekil verme, dayanım, oksidasyon vb. birçok üstün özellikleri ile dizayn, zayıf yönleri güçlendirme, onarım, tamir vb. gibi her aşamada çok daha az parça kullanımını sağlamaktadır. Kullanılan parça sayısının azaltması veya düşürmesi yönetsel tekniklerle ele alındığında tamir işlerini sürdürme çalışmalarını için gerekli malzeme ve ekipman miktarında ve ürün yelpazesinin azalmasını ve sistemin veya ürünün amortisman maliyetlerinde önemli bir azaltma sağlamaktadır (Blanchard vd, 2006; Yılmaz, 2015'den). Kalorifer katı atığı (kömür curufu) %10 ile %30 si kül atığı olarak çıkmaktadır Büyük oranlardaki bu atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı hem çevrenin ve hem de doğal kaynakların korunması bakımından önem taşımaktadır (Demir vd., 2014).

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 kullanılan 45 µm tane büyüklüğüne sahip kömür cürufu, 22-59 µm alüminyum oksit (Al₂O₃) ve 22-59 µm silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800°C ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 450 dev/dk. hızla mekanik olarak karıştırılmıştır. Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 15 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir. Üretilen silindirik numuneler hassas kesme cihazı ile kesilerek otomatik yüzey hazırlama cihazı ile yüzeyler hazırlanmıştır. Aşınma deneyleri 1 N, 3 N, 5 N değerlerindeki sabit yol Pin-On Disk cihazı ile yapılmıştır.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %1, %3 ve %5' takviyeli numunelerde Al6061 göre kütle kaybının azaldığı aşınma direncinin iyileştiği ve takviye oranı arttıkça aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir. Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %3 takviyeli numunelerde Al6061 belirtilen oranlarda SiC ve Al₂O₃ takviye katılmış SiC ilaveli numunelerdeki kütle kaybının Al₂O₃ ilaveli numunelerdeki kütle kaybından daha az olduğu gözlenmiştir. Al6061+ %3 SiC'e %1, %3 ve %5 kömür cürufu takviye malzemesi katılmış SiC 'li hibrit kompozit üzerinde kömür cürufunun etkisi incelemesi yapılmış ve takviye malzemesi arttıkça kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Al6061+ %3 kömür cürufu+ SiC'li hibrit kompozitte %1, 3% ve %5 Al₂O₃ takviye yapıldığında Al₂O₃ takviye oranları arttıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. Al6061+%3 kömür cürufu + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 SiC takviyesi yapıldığında, SiC takviye oranları arttıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. Al6061+%3 SiC + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 kömür cürufu takviyesi yapıldığında, Kömür cürufu takviye oranları arttıkça kütle kaybının azaldığı ve aşınma direncinin iyileştiği gözlenmiştir.

Üretilen numunelerin Aşınma dayanımı testleri sonunda Al6061 Matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen kömür cürufu oranının %1'den %5'e artarken Al6061 malzemenin kütle kaybının azaldığı, aşınma dayanımının iyileştiği, Üretilen Al6061+%3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde kömür cürufu oranı %1'den %5'e değişirken kütle kaybının azaldığı, aşınma dayanımının iyileştiği, Üretilen Al6061+%3 Al₂O₃'li ikili hibrit

kompozitlerde kömür cürufu oranı %1'den %5'e değişirken kütle kaybının azaldığı, aşınma dayanımının iyileştiği ve Üretilen Al6061+%3 SiC +%3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde kömür cürufu oranı %1'den %5'e değişirken kütle kaybının azaldığı, aşınma dayanımının iyileştiği gözlemlenmiş; Ürettiğimiz kömür cürufu Takviyeli kompozitlerde kütle kaybı azaldığından partikül takviyeli metal matrisli kompozit üretiminde aşınma dayanımının iyileştirici takviye malzemesi olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada kömür cürufunun kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.



BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemeler

Birbirlerinin istenmeyen yönlerini güçlendirip düzelterek daha üstün özellikler elde etmek için bir araya getirilmiş farklı tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme grubuna kompozit malzeme denir. Cam elyafı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan demir olmayan metalik alaşımlar bunlara örnektir (Uluşen, 2008).

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemelerin genel olarak aşağıdaki özelliklerden bazıları kullanılarak daha üstün ve avantajlı malzemeler elde edilmeye hedeflerir. Ancak bir malzeme üzerinde tüm özellikler toplanamaz ihtiyacı olanlardan biri ya da birden fazlası kullanılabilir.

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm şeklinde sıralanabilir

İnavasyon çalışmalarının temelinde malzeme alanındaki ilerlemeler ve yeni buluşlar etkili olmaktadır. Yaşadığımız dünyada malzeme bilimi birçok dallardan oluşmaktadır., ametaller, metaller, inorganikler, organikler, polimerler, kompozitler gibi sınıflandırılmıştır. Kompozit malzemeler bu sınıflandırma içerisinde en ayrı bir yere sahiptir.

Geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Günümüzde Ar-Ge çalışmaları ile yeni kompozit malzemeleri üretilmekte ve kullanıma sunulmaktadır (Pul,2010).

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

Üstünlükler;

- Diğer malzemelere göre daha hafiftirler.
- Çatlak ilerlemesi olayı minimize edilmiştir.
- Titreşimleri absorbe edilme özelliği sağlanmıştır.
- Kompozitlerden bazıları çok yüksek akma sınırı değerlerine sahiptir.
- Paslanma problemi yoktur. Bunda matris ve malzemenin uygun seçilmesinin önemi büyüktür. Aksi takdirde birbirleri ile temasta bulunan malzemeler pil oluşturacak ve galvanik paslanmaya sebep olacaktır.
- Kopma uzaması metallere göre daha fazladır.
- Yorulma dirençleri oldukça fazladır.

Dezavantajları;

- Metallere yapışmazlar.
- Isıl İşleme Tabi tutulmadan kullanılamazlar.
- Farklı doğrultuda farklı mekanik özelliklere sahiptir. Aynı kompozit malzemeler için çekme, kesme, basma eğilme dayanım değerleri değişik değişik.
- Hava zerrecikleri, nem ve hava şartları, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir.
- Delik delme ve kesme türü işlemler liflerde yırtılmalara yol açmaktadır
- Daha yüksek maliyetlerde üretilmektedirler (Köksal, 2017).

2.4 Matrisler

Kompozitlerde yapımında kullanılan ana malzemelerden biri matrislerdir. Matrislerin birinci görevi takviye malzemesini bir arada tutmaktır kompozite uygulanan herhangi bir kuvveti tahribata uğramadan takviye fazına iletmek ve dağıtmakla görevlidir. Bunun yanı sıra, kompozitin imalatında seçilmiş olan ana fazın çalıştığı ortamlarda kendisinden

istenilen birtakım özellikleri de yerine getirmesi gerekmektedir. Bu gibi görevleri yanında matris fazının hafif, kolay elde edilebilir, korozyon direnci yüksek, ısı değişimlerine karşı uyum gösterebilmesi gibi özellikleri de taşıması beklenir. Kompozit malzemelerin üretiminde ana faz malzemesi olarak başarıyla kullanılabilen malzemelerin başında plastik ve türevleri, seramikler ve metaller gelmektedir. Ana faz seçimini etkileyen önemli faktörler; tasarlanan kompozitin imalat yöntemi, kullanılacak olan takviye fazı uyum durumu (matrisin ıslatma kabiliyeti, ısıl genleşme katsayı değişimleri, vb.), imalat sırasındaki matristen istenilen hal değişimleri, imalat sonrası uygulanacak olan ısıl işlem ve mekanik şekil değiştirme kabiliyetleri, kullanım alanının durumu matris malzemesinin seçiminde etkili olan kısıtlardır (Sur, 2008).

2.4.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerde amaç, az yoğunluklu ve üstün mukavemetli malzemeler elde etmektir. Bu özellikler genelde yapı içine eklenen seramik faz ile elde edilir. Al_2O_3 üzerinde taşıdığı yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek modül ve rijitlik, takviye malzemesi olarak değerlendirilmesi en önemli üstünlük olduğu gözlenmiştir. Al_2O_3 takviye elemanı olarak çok fazla kullanılan matris malzemeleri Alüminyum ve alaşımlarıdır. Al_2O_3 , SiC ile kıyaslandığında daha az modül ve dayanıma, daha fazla yoğunluğa sahiptir. Al_2O_3 maliyet açısından, SiC'e göre daha avantajlıdır. Metal matriksli kompozitlerde; takviye elemanı olarak her zaman partiküller, sürekli fiberler, ve viskerler kullanılmaktadır. Metal matriksli kompozit malzemelerin önemli üstünlükleri ve dezavantajları açıklarsak (Koçer, 2002).

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak çelik, dökme demir, bakır, bronz ve alüminyum gibi metaller kullanılır. Bağlayıcılar veya Takviye elemanı tercih edilebilir. Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak, seramik, metal, plastik, pudra, ağaç tozu tercih edilebilir (Şahin, 2000).

Metal matrisli kompozitlerde çok daha yüksek farklı modül ve farklı mukavemet değerleri sunmaktadır. Bu sebeple özel amaçlı metal matrisli kompozitler, önemli uygulama noktaları için ağırlık bakımından ilk başlangıçta devamlı işletme ömrü devam edecek maliyetlerin azalması şansı sunmaktadır. Amerikan havacılık endüstrisi Metal matrisli kompozit üretimi konusunda öncü niteliğindedir. Savaş uçaklarının kanat, gövde ve kuyruklarında kullanılan SiC whisker ekli metal matrisli kompozit malzemeler farklı

şirketler tarafından üretilmektedir. Askeri amaçlı güdümlü füze yapımında parçalarda ağırlığının az olması, istenilen boyutta olması ve ana gövdedeki parçaların birbiri ile uyum sağlaması malzeme seçiminde tercih sebebi olmaktadır. Metal matrisli partikül ya da kısa fiber takviyeli kompozit malzemeler otomotiv sektöründe önemli bir yere sahiptir. Üstün spesifik modülleri aşınma dirençleri, yorulma dayanımları ve daha az ısıl genleşme katsayıları bu alanda tercih edilen özelliklerden bazılarıdır. Metal matrisli kompozitler hafif olması dolayısı ile bu üstün özeliğinden dolayı yakıt kullanımında da tasarruf sağlamaktadır. Hafifliğinden dolayı otomobillerinde metal matrisli kompozitlerin kullanımını artarak devam etmektedir. Otomotiv sanayinde kısa fiber, whisker veya partikül katkılı metal matrisli kompozitlerde spesifik özelliklerinden sebebi ile matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları tercih edilmektedir. Yük taşıma da hafiflikten dolayı şaft üretimi yapılmıştır. Metal matrisli kompozitlerin Spesifik modüllerinin hem alüminyumdan hem de çelikten önemli miktarda yüksek olabilmesi sebebi ile bu kompozitlerde daha uzun şaft üretme fırsatı yakalanmıştır. Bu uygulama için her zaman 6xxx serisi Al alaşımları tercih edilmektedir. Otomotiv sanayinde, kompozitlerin diğer bir uygulama alanı fren diskleridir. Hafifliğinden dolayı disklerin ağırlığında yarı yarıya azalma olmuştur. Partikül takviyeli MMK fren diski ağırlığı 2.5 kg iken dökme demir olanların ağırlığı ise 5.4 kg'dır. Fren disklerinin aşınmasında da azalmalar sağlamıştır. Bunların yanında fren diskinin yüksek sıcaklıklara ulaştığında da kullanılmasına imkân vermektedir (Eker, 2008).

2.4.2 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları uzun zamandır inavasyon ve endüstriyel uygulamalarda MMK'lerde matris malzemesi olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yapılan çalışmalarda matris alaşımının ısıl işlemi ile kompozitin akma dayanımının fazlaştığını göstermiştir. Alüminyum MMK malzemelerin üretiminde işlem (yoğurma) alüminyum alaşımlarından çoğunlukla AA2xxx, AA6xxx ve AA7xxx serisi alaşımların ticari uygulama alanı çok fazladır. AA2xxx, AA6xxx ve AA7xxx döküm yöntemi ile üretilmeleri durumunda ise matris malzemesi olarak AlSi9Mg (A359), AlSi9Cu3(A380) ve AlSi12CuMgNi gibi döküm alüminyum alaşımları seçilmektedir. Tablo 1'de alüminyum MMK malzemelerde kullanılan matris alaşımlarının bileşimleri görülmektedir (Altuner, 2011).

Tablo 1: Alüminyum MMK'lerde kullanılan matris alaşımları.

Matris Alaşımı	Kimyasal bileşim
AA 2014	Al-%5,0Cu-%0,7 Mn-%0,7Si-%0,5Fe-%0,4Mg
AA 2124	Al-%4,0Cu-%1,5Mg-%0,5Mn-%0,3Fe
AA 6061	AA 6061 Al-%1,0Mg-%0,7Fe-%0,6Si-%0,25Zn
AA 7075	Al-%5,5Zn-%2,5Mg-%1,5Cu-%0,4Si-%0,3Cr
AA 8090	Al-%2,3Li-%1,2Cu-%0,7Mg-%0,1Cr

Alüminyum alaşımların aşağıdaki tabloda kimyasal durumlarını ve uygulamalarını göstermektedir.

Tablo 2: Al alaşımlarının kimyasal durumu ve uygulamaları.

Metal	Kimyasal Kompozisyon	Uygulama
1000 Serisi alaşımsız Al	>99.00 wt.% Al	Yüksek süneklik ve iletkenlik; iletim hatları pişirme folyoları
2000 Serisi Ana ilave Cu	Al + 4 Cu + Mg, Si, Mn	Kuvvetli yaşlanma sertleşmesi alaşımı: uçak kanatları, perçinler
3000 Serisi Ana ilave Mn	Al + 1 Mn	Orta mukavemet ve yüksek süneklik, korozyon direnci
4000 Serisi Ana ilave Si	Al + 11 Si	Döküm Alaşım: Kum ve Kalıba döküm
5000 Serisi Ana ilave Mg + Si	Al + 3 Mg 0.5 Mn	Kaynaklanabilir alaşım: basınç vanaları, teneke içecek kutuları
6000 Serisi Ana ilave Mg + Si	Al + 0.5 Mg 0.5 Si	Orta dayanım, yaşlanma sertleşmesi ekstrüze parçalar; pencere çerçevesi
7000 Series Ana ilave Zn + Mg	Al + 6 Zn + Mg, Cu, Mn	Kuvvetli yaşlanma sertleşmesi alaşımı, uçak parçaları
8000 Serisi diğer elementler	Ör. Al + 3 Li	Düşük yoğunluk: iyi mukavemet: uçak parçaları

2xxx (AlCuMg), 5xxx (AlMg), 6xxx (AlMgCuSi), 7xxx (AlZnMgCu) ve 8xxx (Al- Li) alüminyum alaşımları çok fazla bir şekilde kompozit üretiminde kullanılmaktadır. (6xxx) alaşımları üretimde kolaylık sağladığı ve diğer alaşımlara göre daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu için matriks alaşımı olarak tercih sebebidir. Al alaşımları takviye fazı ile iyi bir bağlanma oluşturduğu için bu alaşım elementlerini içeren alüminyum alaşımları matriks malzemesi olarak tercih edilip kullanılmaktadır (Koçer, 2002).

2.4.3 Al 6061 ve Özellikleri

Al6061 dizileri ısıtıl işlemle özellikleri artırılabilen alaşımlardır. Kompozit malzemelerde matris ana faz olarak kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları spesifik özelliklerinden dolayı özellikleriyle havacılık sanayiinde geniş bir alana sahiptir. Al – Cu – Mg ve Al – Zn – Mg – Cu alaşımları çökelme sertleşmesi işleminde önemli alaşımlardır. Alüminyum – Lityum alaşımları da çökelme sertleşmesine işleminde önemli alaşımlardır. Lityum, ilk alaşım elementi olarak eklendiğinde alaşımın yoğunluğunu azalır ve elastik modülünü artırır. Bu özellikteki en önemli kullanım alanı havacılık sanayidir (Chawla, 1998). 6061 alaşımı; 2024 veya 1100 (Saf Alüminyum) alaşımlarından çok daha fazla kullanılmaktadır. 2024 alaşımı yüksek mukavemet, 1100 alaşımı üstün darbe dayanımı, 6061 ise daha fazla mukavemet ve tokluğu ile birlikte korozyon dayanımı sağlamaktadır. (Schwartz,, 1997). Tablo 3. de Al 6061 alaşımının kimyasal bileşiği verilmiştir.

Tablo 3: 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

2.5 Takviye Malzemeleri

Takviye malzemeleri MMK kompozit üretiminde sürekli ve süreksiz olarak ikiye ayrılmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde matrise ilave edilen takviyeler genelde dayanımını, mekanik özelliklerini ve sertliğini yükseltirken yoğunluklarını değiştirebilmektedirler. Matrise ilave edilen takviye malzemelerin birincil görevi kompozite uygulanan yükü taşımaktır. Beş şekilde takviye malzemeleri bulunmaktadır.

- Sürekli fiberler
- Kısa fiberler
- Viskerler
- Partiküller
- Metalik teller

Kimyasal yapıların göre dört gruba ayrılmaktadır:

- Oksitler,
- Karbürler

- c) Nitrürler,
d)Diğer (paslanmaz çelik, C vs.) (Schwartz,1984).

Tablo 4’de alüminyum matriksli kompozitlerde kullanılan takviyeler gösterilmiştir. Tane boyutları(μm), takviye malzemeleri aşağıdaki şekildedir.

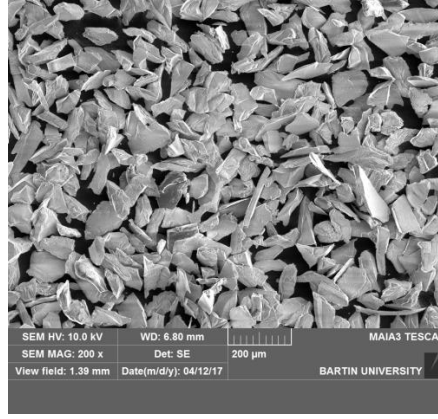
Tablo 4: Alüminyum matriksli kompozitlerde kullanılan bazı takviyeler.

Takviye	Tane Boyutu(μm)	Takviye	Tane Boyutu(μm)
Alüminyum Partiküller	3-200	Magnezya	40
SiC Partikülleri	6-120	Kum	75-120
SiC viskerleri	5-10	TiC Parçacıkları	46
Grafit Lameller	20-60	Boron Nitrüt Parçacıkları	46
Grafit Lameller	15-100	Silikon Nitrit Parçacıkları	40
Mika	40-180	Çil Demir	75-120
Silika	5-53	Zirkonya	5-80
Zirkon	40	Titan	5-80
Cam Parçacıkları	100-150	Kurşun	-
Cam Boncuk	100		

2.5.1 Al_2O_3 ve Özellikleri

Alüminanın takviye fazı olarak en fazla kullanıldığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımları ile ilgili MMK araştırması yapıldığında çok fazla bulunmaktadır. Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık ve spesifik özeliğinden dolayı takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli tercih sebebidir (Nazik, 2013).

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan Al_2O_3 ’in 200 büyütme SEM görüntüsü şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Al_2O_3 'in SEM görüntüsü.

2.5.2 SiC ve Özellikleri

Alüminyumdan sonra dünyada en çok Silisyum elementi bulunmaktadır. 1824 yılında Berzelius tarafından keşfedilen yarı metaldir. Rengi ise koyu gridir ve normal ortam şartlarında katı faz halindedir. Yeryüzünün yaklaşık % 25,7' si bu elementten oluşur. Tabiata Silisyum silikat asidi ve tuzları şeklinde bulunur ve kullanım alanı çok fazladır. Silisyumun Oksijenden sonra bileşikleri şeklinde en fazla bulunan elementtir. Silisyum oksit (SiO_2) doğada kum ve kuartz şeklinde bulunur. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı ve çok sert bir malzemedir. Seramik malzeme sınıfı içinde; spesifik özellikleri nedeniyle ile gaz tribünlerinde ve aşınmaya maruz otomobil parçalarında kullanımı çok önemli olmuştur (Pul,2010). SiC 'ün bazı mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5: SiC 'ün bazı mekanik ve fiziksel özellikleri

Yoğunluk(g/cm^3)	3,2
Elastikiyet modülü (GPa)	410
Sertlik (HBN)	2800
Isıl iletkenliği ($W/m.^{\circ}K$)	120
Isıl genleşme katsayısı ($10^{-6}/^{\circ}C$)	4
Kullanım sıcaklığı ($^{\circ}C$)	1650

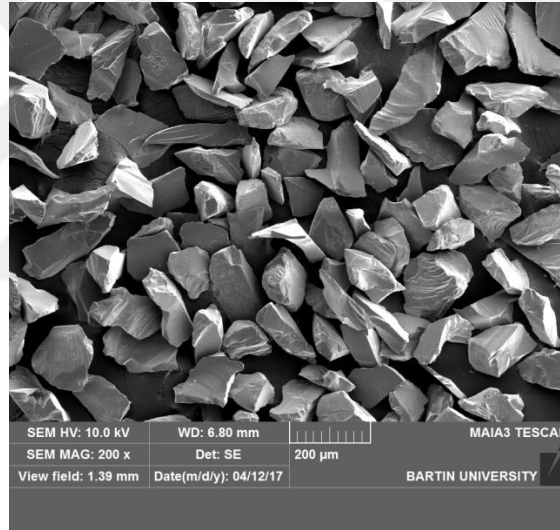
SiC , matris malzemesine kazandırdığı spesifik özelliklerinden dolayı, alüminyum ve alüminyum alaşımlı MMK malzemelerin üretiminde çok geniş olarak kullanılan seramik

bir takviye elemanı olarak kabul edilir. Al matrisli kompozitlerde kullanılan olarak SiC ve Al₂O₃ partikülleri önemli özellikleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: SiC ve Al₂O₃ partiküllerin bazı özellikleri.

Partikül	Elastik Modül	Yoğunluk gr/cm ³	Isıl Genleşme Katsayısı 1/K	Özgül Isı J/kg.K	Isıl İletkenlik W/mK	Poisson Oranı
SiC	420-450	3.2	4.3x10 ⁻⁵	840	110 ⁰ C de 10-40	0,17
Al ₂ O ₃	380-450	3.96	7.0x10 ⁻⁶	1050	1000 ⁰ C de 5-10	0,25

Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan SiC’ ün 200 büyütme SEM görüntüsü şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: SiC’ ün SEM görüntüsü.

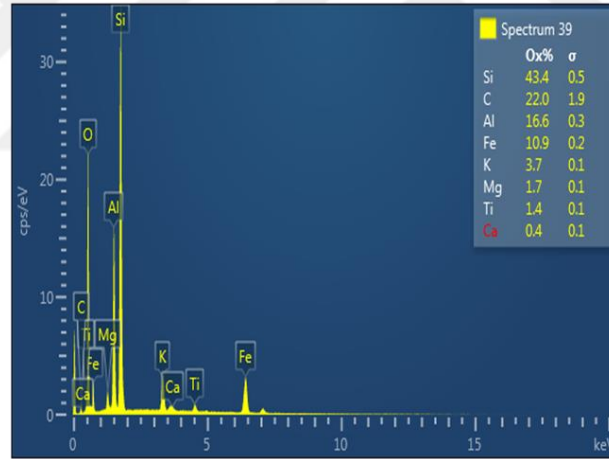
2.5.3 Kömür Cürufu (Kalorifer Katı Atığı) ve Özellikleri

Kömürden ısı elde etmek için kalorifer kazanında yakılması ile kazan altında kalan atık malzeme olarak kömür cürufunu tarif edebiliriz. Yapılan literatür araştırması sonucuna göre, kömür cürufunun kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanıldığı hiçbir araştırmaya rastlanmamıştır. Ülkemizde ve Avrupa’da son yıllarda çevre kirliliğine sebep olan endüstriyel atıkların geri kazanımı oldukça önem kazanan konuların başında gelmektedir. Çünkü endüstriyel atıkların geri dönüşümü, çevre bilincinin oluşmasına ve bu

konuyla ilgili yaptırımların artmasına neden olmuştur. Bu sebeplerden dolayı takviye malzemesi olarak kömür cürufu seçilmiştir. Şekil 3’de kömür cürufundan görünümü, Şekil 4’de kömür cürufundan EDS analiz görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3: Kömür cürufundan görünümü.



Şekil 4: Kömür cürufundan EDS analiz görüntüsü.

Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında bulunan SEM cihazından alınan EDS analizi sonuçlarına göre kömür cürufunun kimyasal bileşimini Tablo 7’ de verilmiştir

Tablo 7. Kömür Cürufunun EDS analizi.

Elementler	%
Si	43,4
C	22,0
Fe	10,9
K	3,7
Mg	1,7
Ti	1,4

2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler geniş olarak cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürün yelpazesinde kullanılmaktadır. Masa-sandalye, çay tepsisi, depo, devre plakaları yat yapımı, bot, tekne, tenis raketi, golf sopası kompozitlerin uygulama çeşitleridir. Kayak malzemeleri ve araç şarjı atlama sıırıkları, kaynak takımı, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürün çeşitleridir. Otomotiv endüstrisinde motor bloğu, pistonlar, dış yüzeylerde kompozit malzeme kullanılmaktadır. Havacılık uzay sanayinde kullanımı az yakıt harcamak için hafif olmasından dolayı kullanım alanı bulmuştur. Yakıttan bize tasarruf sağlamaktadır. Kompozit malzeme kullanımında parasal kazanç yanında spesifik iyileştirmelerden dolayı hızlı kullanım teknolojik gelişmelerden dolayı stratejik performansta öne çıkmaktadır. Yangın geciktirici elbise yapımında ısı dayanımı özelliği tercih edilme sebebidir. Kompozit malzemeler, üstün özelliklerinden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe artarak daha fazla kullanılmaktadır. Günümüzde savaş uçaklarında kompozit malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış olduğu belirtilmektedir (URL-2, 2017). Üstün özelliklerinden dolayı bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve kevlar elyafı farklı reçinelerle farklı kompozit yapımlarında kullanılmaktadır. Silah sanayinde hafifliğinden dolayı roket yapımında askerler için miğfer ve Madenciler için baret yapımında da kompozit malzemeler kullanılır (Ünal, 2017).

2.6.1 Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamaları

Ülkemizde otomotiv endüstrisinde kompozitin malzemenin uygulaması yerli otomobil olan “ANADOL”un dış kısmında kaportasında kullanılmıştır.

Kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde birçok uygulama alanı vardır. Bu uygulamaları aşağıdaki şekilde sayabiliriz.

- Otomotivlerin dış gövde parçaları
- Soğutuculu kamyon kasaları
- Traktör, Pikap, İş makinaları kabinleri
- Makaslar, fren balataları, şase, amortisör yayları, motor bloğu, tamponlar
- Metro, tren, tramvay vagonları



Şekil 5: Otomotiv endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bağcı, 2010).

2.6.2 İnşaat Sektöründe Uygulamalar

Kompozit malzemelerin inşaat sektöründeki birçok uygulama alanları vardır. İnşaat sektörü birçok sektörle iç içe olduğu için kompozit malzeme uygulamaları da artmıştır.

Bu uygulamaların bazılarını aşağıdaki şekilde sayabiliriz (Bağcı, 2010).

- Birleştirmeli bina yapımı, şantiye binaları, modüler binalar, portatif tuvaletler
- Park malzemeleri, kaydıraklar, oyun alanları
- Beton kalıplar, çatı kaplamaları, pencere ve kapı yapımı
- Spor solonu, spor sahası, yüzme havuzları açılır kapanır çatı yapımı
- Yüzdürmeli köprü yapımı
- Banyo küveti, su tankları, tesisat malzemeleri,



Şekil 6: inşaat sektöründeki kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bağcı, 2010).

2.6. 3 Havacılık ve Savunma Sanayi Uygulamaları

Kompozit malzemelerin havacılık ve savunma sanayisinde de birçok uygulama alanı vardır. Bu uygulamaları aşağıdaki şekilde sayabiliriz.

- Hücumbotlar, Mayın tarama gemileri,
- F16 savaş uçakları iniş takımları,
- Helikopter pervaneleri, kabin kısmı,
- Roketatar gövde kısımları,
- Uydu haberleşme, radar yapımı,
- Mühimmat taşıyıcıyı özel sandıklar,
- Jet motorları
- Uçak kanatları



Şekil 7: Havacılık ve savunma sanayisindeki kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bağcı, 2010).

2.7 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

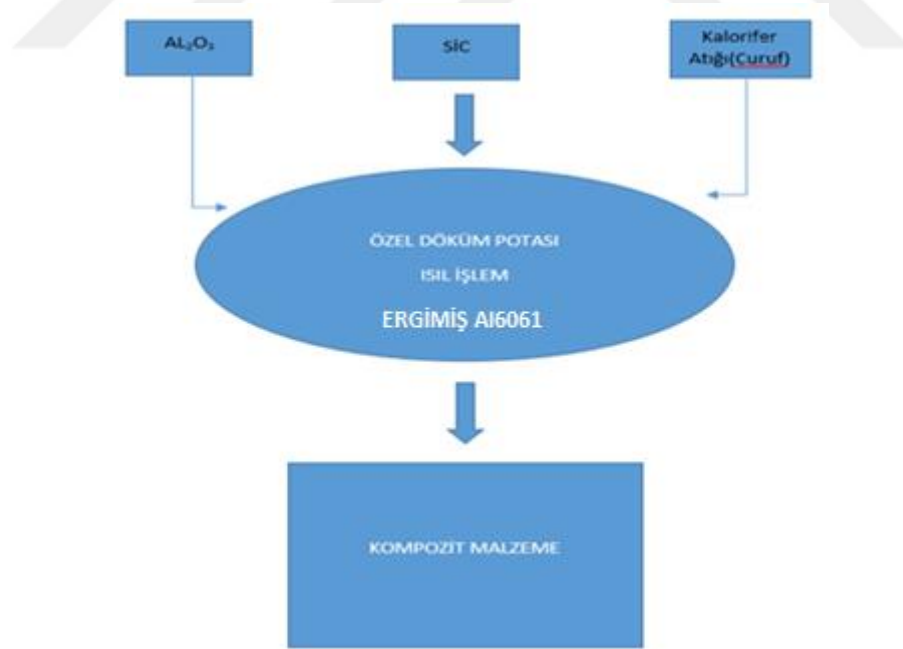
MMK üretiminde genel olarak üç ana başlıkta topladığımız ve başlıklar içinde ise birçok çeşit üretim yöntemi bulunmaktadır. Günümüzde de yeni üretim yöntemleri ile ilgili çalışmalar devam etmektedir Aşağıdaki tabloda ise matris faz haline göre; sıvı faz, katı faz ve çift (katı+sıvı) faz şeklinde üretim yöntemi sınıflandırması yapılmıştır.

Tablo 8: MKK üretim yöntemleri sınıflandırılması



2.7.1 Karıştırmalı Döküm Üretim Yöntemleri

Karıştırmalı döküm işleminde, ön ısıtma işleminden geçtikten sonra takviye elemanları, devamlı olarak karıştırılan sıvı metal içerisine eklenmektedir. Takviye elemanı parçacıkları sıvı metal matris içinde homojen dağılımı sağlandıktan sonra, kalıplara sıvı metal dökülerek katılaşmaya bırakılır (Pul, 2010).



Şekil 8: Hibrit kompozit üretim aşamaları

Karıştırılmalı döküm yöntemi ile takviye elemanlarının, matris içerisinde homojen olarak dağılımları sağlanabilmektedir. Bununla birlikte söz konusu yöntemde kompozitin iç yapısında hava boşlukları kalabildiğinden porozite miktarı artabilmektedir. Karıştırılmalı döküm yönteminde sıvı eriyik atmosfer ile direkt temas halinde olduğunda sıvı eriyiğin yüzeyinde bir oksit tabakası oluşmakta bunun önlenmesi için ise bir inert gaz atmosferinde karıştırılmalı döküm işleminin yapılması önerilmektedir. İşlem ucuz ve kolay bir yöntem olmasına rağmen, bu yöntem ile üretilen kompozitlerin mikroyapı incelemelerinde iç yapıda segregasyon, agglomerasyon ve homojen karışmama gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir (Pul, 2010).



BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sato vd.,1975 çalışmalarında 0.06 ila 840 μm aralığında değişen oranlarda ağırlıkça % 1 ila 30 oranında lifsel ve partikül olmayan ametaller içeren alüminyum alaşımlı kompozitleri üretmişlerdir. Kompozitlerin; aşınma testleri, gerilme dayanımı testleri için silindirik kalıplara dökerek dağılımlarının homojen olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınma testleri için bir tutucu (52100 taşıyıcı çelik) ve yağlanmış bir oval tipi makinede gerçekleştirmişlerdir. SiC, TiC, Si₃N₄, Al₂O₃, cam, katı atık cürufu ve silis kumu ağırlıkça %10 veya daha fazlasını içeren kompozitlerin saf matris alaşımından daha az aşınma olduğunu bulmuşlardır. Ancak ortalama sürtünme katsayısının biraz daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Yumuşak parçacıkların, özellikle MgO ve BN içeren kompozitlerin aşınması saf matris alaşımından daha yüksek olduğunu ve tüm kompozitlerin ortalama sürtünme katsayısı 0.35 ila 0.58 aralığında olduğunu vurgulamışlardır. Kayma hızını arttırarak bu aralığı ~ 0.4-0.45'e düşürmüşlerdir. Ekstrüzyonla üretilen kompozitlerin uzunlamasına gerilme özellikleri (bazı durumlarda süneklik kaybı hariç) matris alaşımlarının uzunlamasına gerdirme özelliklerine benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. Örneğin, %15 oranında ve 3 mikron boyutunda Al₂O₃ parçacıklarının ilavesi, sırasıyla 227 ve 302 MPa ve 356 ve 403 MPa arasında Al-4 pCt Cu-0.75 pCT Mg alaşım matrisinin verimini ve mukavemetini arttırmış olduğunu gözlemlemişlerdir (URL-3, 2007).

Mondal vd., 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 önmeli ölçüde 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 vd., 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 ısı 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 gözlemlenmişler 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 ısı işleme tabi tutulmuş ancak bir kısmı ise dökümden çıktığı şekliyle deneylere tabi tutulmuştur. Isı işleme tabi tutulan ve tutulmayan numunelerin hepsinde de takviye edilen SiC miktarı atması ve SiC tozlarının boyutlarının azalması ile kompozitlerin sertliğinin lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir. Artış hızının ısı işleme 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 çalışmasında, 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 karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak Al-Si esaslı LM13 alaşımına %5 ile %20 arasında değişen 4 farklı takviye hacim oranınıda ilave ederek kompozit üretilen mekanik özellikleri incelemişlerdir. Kompozitlerin bir kısmı deneylere tabi tutulmadan önce ısıtıl işleme 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. Isıtıl işlem uygulanan ve uygulanmayan her iki gruptaki kompozitlerde de, takviye elemanın 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 ısıtıl işlem uygulanmış olan kompozitler de, ısıtıl işlem 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 değiştirmedığını 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. Tarama Elektron Mikroskopu (SEM) ve X-ışınlı Fotoelektron Spektroskopu (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.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları

Kalorifer cürufları (katı yakıt atığı) bilyalı değirmende 2 saat boyunca öğütülmüş daha sonra sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 μ m tane büyüklüğüne sahip olanlar toplanmıştır. Kalorifer cürufu tozunun üretim aşamaları aşağıdaki şekiller ile verilmiştir.

4.2 Kullanılan Ekipmanlar

Yaptığımız çalışmalarda; Bilyalı değirmen, sarsma makinası, hassas kesme cihazı, otomatik yüzey hazırlama cihazı, brinell sertlik ölçüm cihazı, hassas terazi, taramalı elektron mikroskopu, pin-on disk cihazı, karıştırırmalı döküm ünitesi ekipmanları kullanılmıştır.

4.2.1 Bilyalı Değirmen

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde kullanılan kömür cürufu üretimi bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir. Kömür cürufu 2 saat boyunca öğütülmüş toz haline getirilmiştir. Bilyalı değirmende kömür cürufunun öğütülmesi görünümü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Bilyalı değirmende kömür cürufunun öğütülmesinden görünüm.

4.2.2 Sarsma Makinası

Bilyalı değirmende öğütülmüş kömür cürufu sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 μm tane aralığında olanlar takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Kömür cürufunun elekte elenmesi görünümü Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Kömür cürufunun elekte elenmesinden görünüm.

4.2.3 Hassas Kesme Cihazı

Üretilen tekli kompozit malzemeler ve hibrit kompozit malzemeler sertlik ölçümleri ve elektro mikroskop görüntüleri için hassas kesme cihazında elmas kesici kullanılarak 10 mm kalınlığında olacak şekilde kesilmiştir. Kullanılan hassas kesme cihazı Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11: Hassas kesme cihazı.

4.2.4 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı

Üretilen kompozit malzemelerin ve hibrit kompozit malzemelerin elektro mikroskop 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. Kullanılan otomatik yüzey hazırlama cihazı Şekil 12’de verilmiştir.

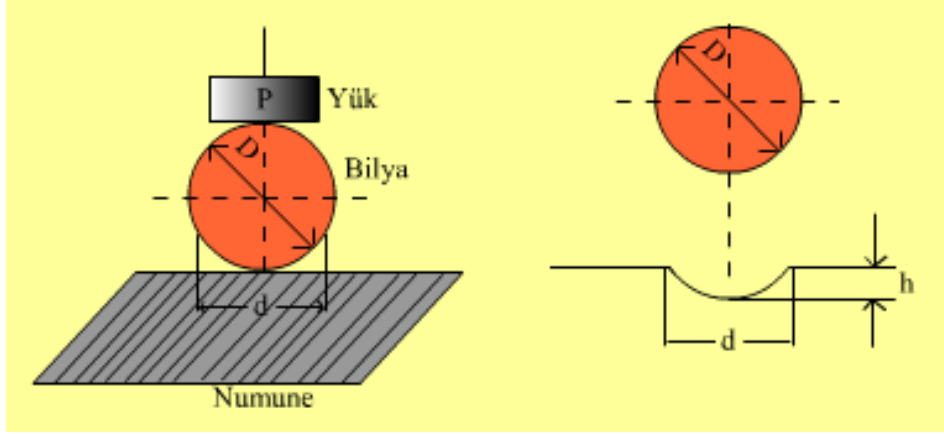


Şekil 12: Otomatik yüzey hazırlama cihazı.

4.2.5 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Sertlik göreceli bir değer olup malzemelerin spesifik özelliklerine karşı gösterdiği mukavemette denir. Özel cihazlarla laboratuvarlarda yapılan sertlik ölçmelerindeki miktar, malzemenin kalıcı şekil değiştirme karşı göstermiş olduğu mukavemettir.

Brinell sertlik deneyi kullanılacak olan malzemenin üst kısmında belli miktar yükün (F') değişik çaplarda kullanılan bilyalarda çelik uç (D) sert çelik uçun tesiri ile belli bir zaman içinde devam etmesi üst kısımda sürekli bir iz (d) oluşturma temeline dayanır. Belli bir süreden sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi Şekil 13’de verilmiştir.



Şekil 13: Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.

Brinell sertlik değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

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

Yukarıdaki formül ile bulunur. Formüldeki F yükü (kg), D bilya çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) belirtilir. Normal deney şartlarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin çeşidine göre değerlendirilir. Deney süresi 10-15 saniye süresinde devam eder. Fakat belli durumlarda çapları 10 mm'den az olan (1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye şeklindeki çelik uçlarda uygulanır. Malzemenin yüzeyine kullanılacak yük miktarı sertliği değerleri malzemenin çeşitti ve bilya çapına göre değerlendirmektedir. $d/D = 0,20 - 0,70$ oranı yürütülen yük değeri doğru olarak değerlendirilir. Brinell sertlik deney yükünün belirlenmesinde $F=CD^2$ formülü uygulanır. F deney yükü, C malzeme çeşittin e göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30)

- Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10)

- Yumuşak malzeme (C=5).Kullanılan Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14: Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı.

4.2.6 Hassas Terazi

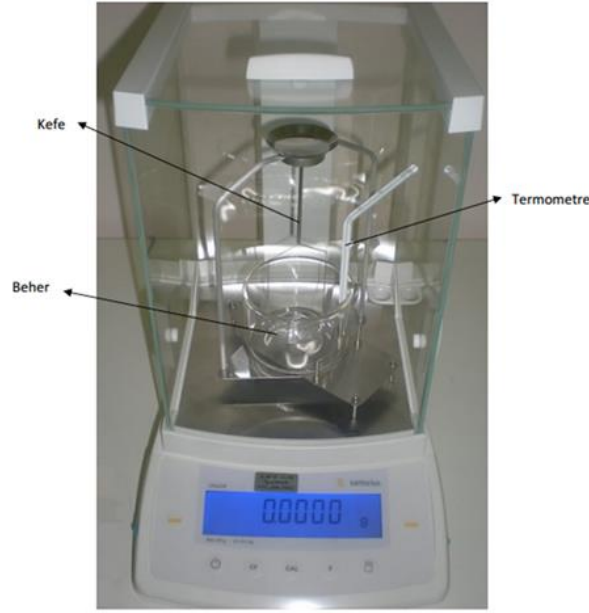
Kompozitin gerçek yoğunluğu 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazi ve digital termometre kullanılarak Arşimet prensibiyle hesaplandı. Bu metotta numune önce normal tartıldı. Daha sonra numune içinde saf su bulunan kabın tabanına ve cidarın dokunmaksızın suya daldırılarak tartıldı. Numunenin su içine 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 kalorifer curufu 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;

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

Formülü ile hesaplanmıştır



Şekil 15: Hassas terazi.

4.2.7 SEM

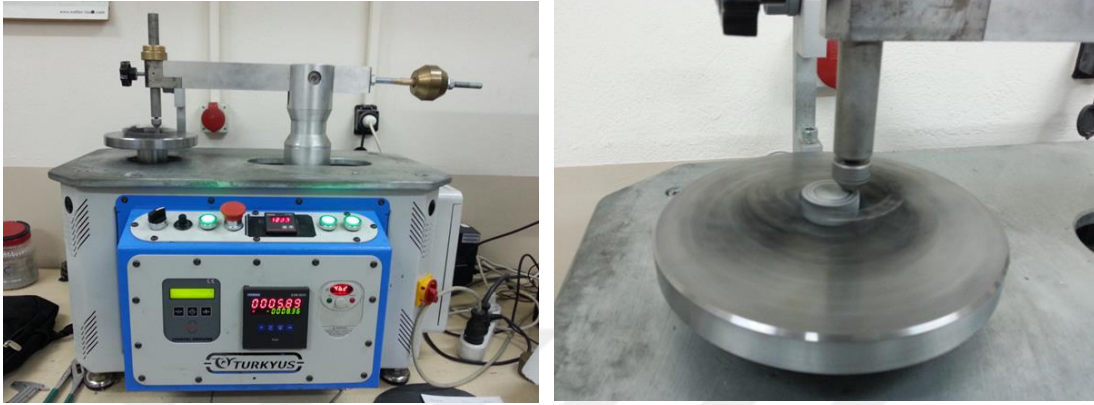
Taramalı elektron mikroskobu analizi; kaplanmış numunelerin mikro yapısını incelemek için numunelerin kesitleri zımparalanması ve parlatılması gerekmektedir. Numuneler zımparalama işlemi için numune hazırlama ve parlatma cihazı kullanıldı. Bu amaçla numuneler 400, 600, 800, 1200 nolu zımparalar kullanılarak numuneleri yüzeyi zımparalanmıştır. Görüntülemeler için ise 6 - 1000000 x büyültme özelliğine sahip FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 33) .



Şekil 16: Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).

4.2.8 Pin-On Disk Cihazı

Aşınma deneyleri Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında Pin-On Disk cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan aşınma cihazı şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17: Pin-On Disk cihazı.

4.2.9 Karıştırırmalı Döküm Ünitesi

Kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan karıştırırmalı döküm ünitesi Şekil 18’de verilmiştir.



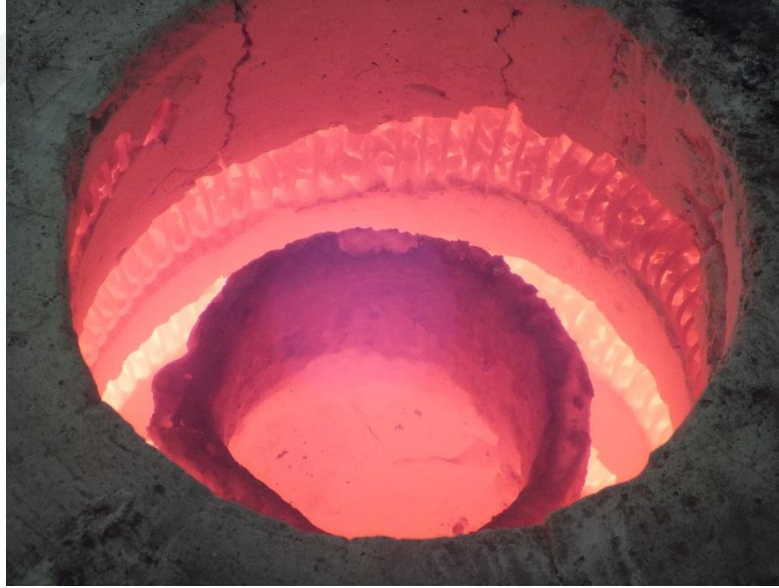
Şekil 18: Karıştırırmalı döküm ünitesinin görünüm.

4.2.10 Kompozit Malzemenin Üretimi

Hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırılmalı 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 kullanılan 45 µm tane büyüklüğüne sahip kömür curufu, 22-59 µm alüminyum oksit (Al_2O_3) ve 22-59 µm silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800°C ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 450 dev/dk. hızla mekanik olarak karıştırılmıştır. Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 30 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir

4.2.10.1 Kompozit Malzemenin Üretim Aşamaları

Kompozit malzemenin üretim aşamaları aşağıdaki şekiller ile verilmiştir.



Şekil 19: Potanın içindeki eriyik karışımdan görünüm.



Şekil 20: Hibrit kompozitin kalıba dökülmesinden görünüm.



Şekil 21: Hibrit kompozite ait numunelerinden görünüm

Aşınma deneylerinde kullanılmak için 30 adet numune dökümü gerçekleştirilmiştir. Üretim numunelerinin takviye oranları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: Üretim numunelerinin takviye oranları.

Numune No	Kalorifer Curufu (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)
0	-	-	-
1	1	-	-
2	3	-	-
3	5	-	-
4	-	1	-
5	-	3	-
6	-	5	-
7	-	-	1
8	-	-	3
9	-	-	5
10	3	1	-
11	3	3	-
12	3	5	-
13	3	-	1
14	3	-	3
15	3	-	5

Numune No	Kalorifer Curufu (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)
16	1	3	-
17	3	3	-
18	5	3	-
19	1	-	3
20	3	-	3
21	5	-	3
22	3	1	3
23	3	3	3
24	3	5	3
25	3	3	1
26	3	3	3
27	3	3	5
28	1	3	3
29	3	3	3
30	5	3	3

Kalorifer cürufu tozunun, üretilen kompozlerin ve üretilen hibrit kompozitlerin; porozite, mikro yapı, sertlik ve aşınma dayanımına etkisinin gözlenebilmesi için deney Tablo 9’ da verildiği gibi tasarlanmıştır. Ayrıca ölçümlerde meydana gelebilecek hataları bertaraf etmek için yukarıdaki numunelerden 3 er adet üretim yapılarak tüm ölçümler bu 3 numune için de aynı şartlarda tekrarlanmıştır.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

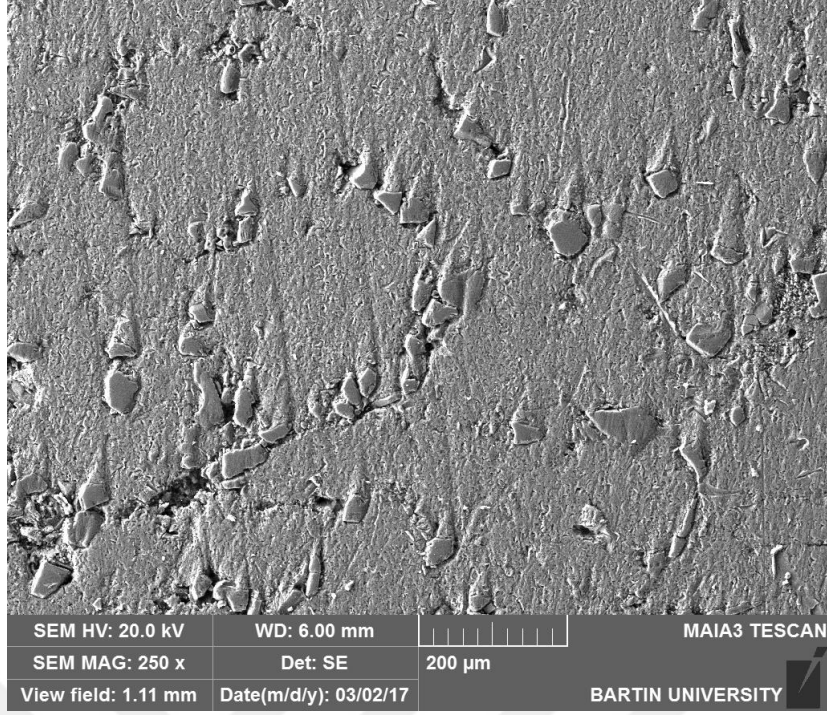
Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %1, %3 ve %5' takviyeli numunelerde Al6061 göre kütle kaybının azaldığı aşınma direncinin iyileştiği ve takviye oranı arttıkça aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir. Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %3 takviyeli numunelerde Al6061 belirtilen oranlarda SiC ve Al₂O₃ takviye katılmış SiC ilaveli numunelerdeki kütle kaybının Al₂O₃ ilaveli numunelerdeki kütle kaybından daha az olduğu gözlenmiştir. Al6061+ %3 SiC'e %1, %3,ve %5 kömür cürufu takviye malzemesi katılmış SiC 'li hibrit kompozit üzerinde kömür cürufunun etkisi incelemesi yapılmış ve takviye malzemesi artıkça kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Al6061+ %3 kömür cürufu + %3 SiC'li hibrit kompozitte %1, 3% ve %5 Al₂O₃ takviye yapıldığında Al₂O₃ takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. AL6061+%3 kömür cürufu + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 SiC takviyesi yapıldığında, SiC takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. Al6061+%3 SiC + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 kömür cürufu takviyesi yapıldığında, Kömür cürufu takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı ve aşınma direncinin iyileştiği gözlenmiştir.

5.1 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Mikro Yapısına Etkisi

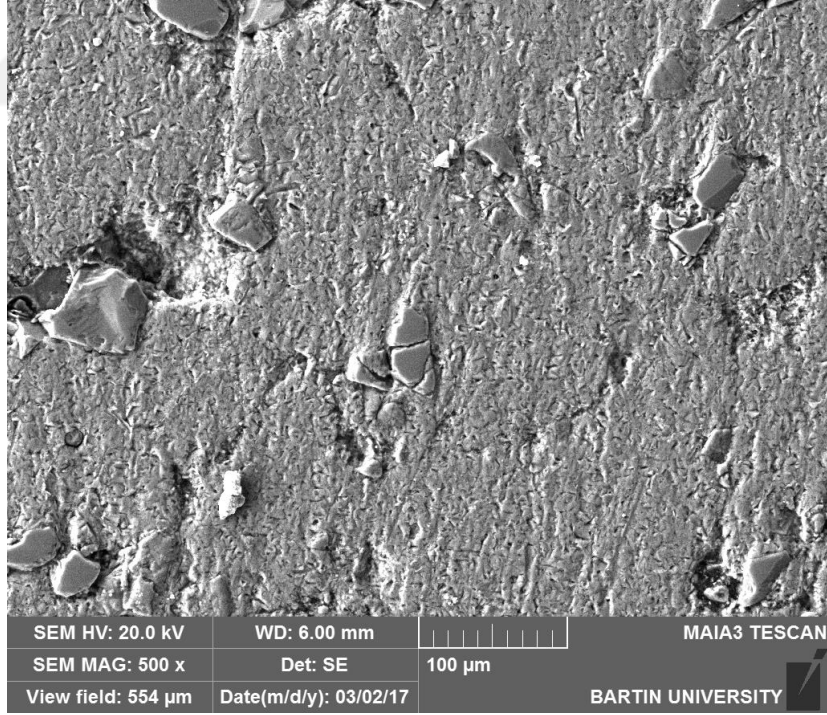
Üretilen numuneler önce hassas kesme cihazında elmas kesici kullanılarak 10mm kalınlığında kesilmiştir. Daha sonra bakalite alınan numuneler. Otomatik yüzey parlatma ve numune hazırlama cihazında sırasıyla 180, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh numarasına sahip zımparalar kullanılarak numunelerin yüzeyleri SEM görüntülerini almak üzere hazırlanmıştır.

Mikro yapılar Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

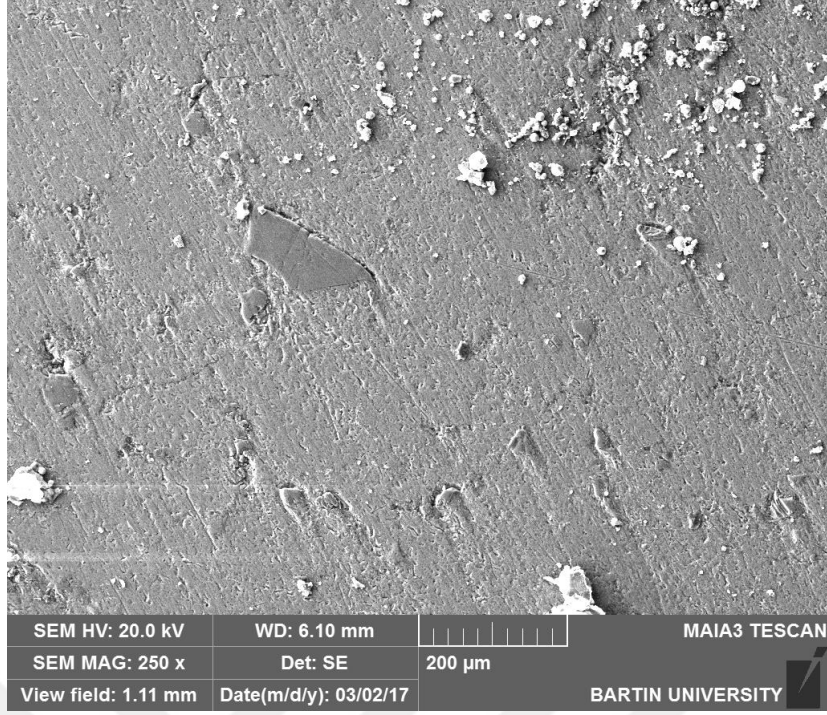
SEM analiz görüntüleri aşağıdaki şekiller ile verilmiştir.



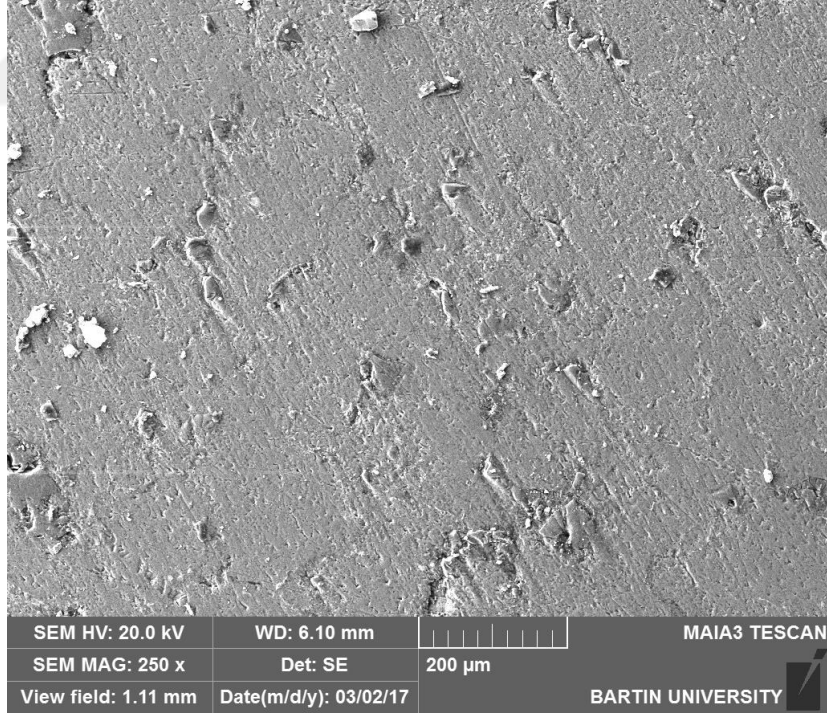
Şekil 22: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



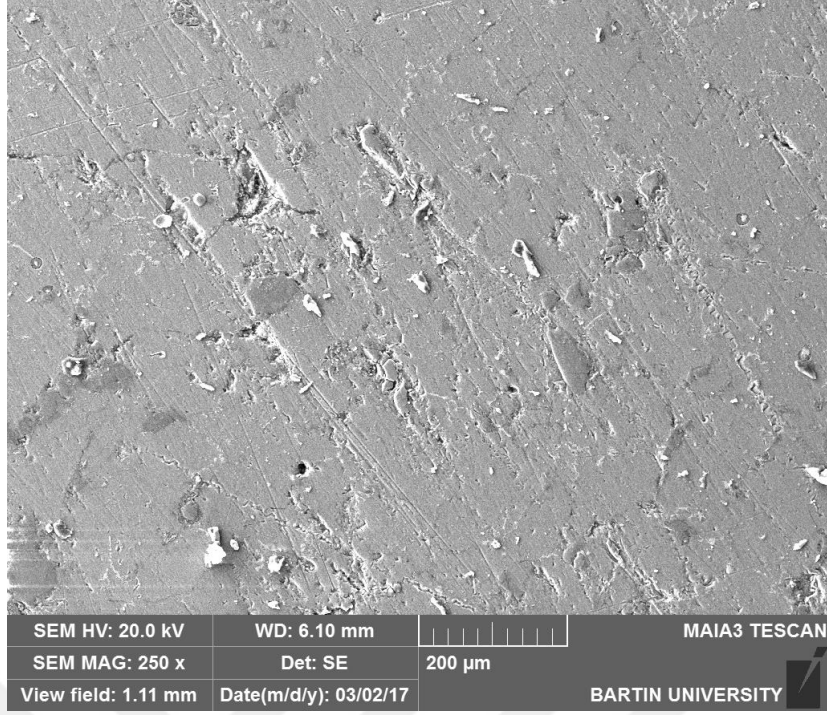
Şekil 23: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



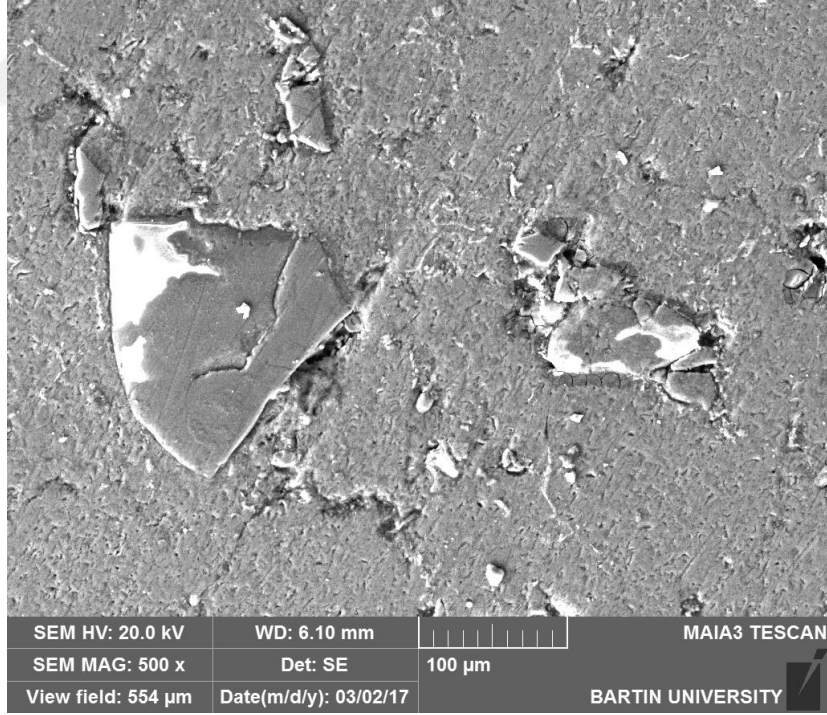
Şekil 24: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



Şekil 25: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



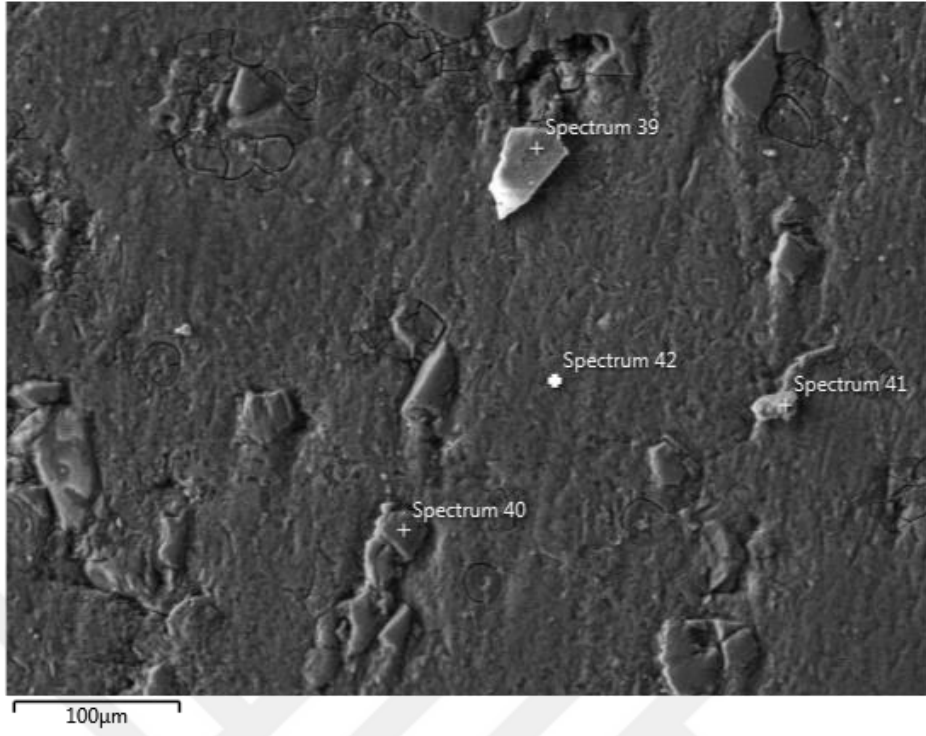
Şekil 26: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



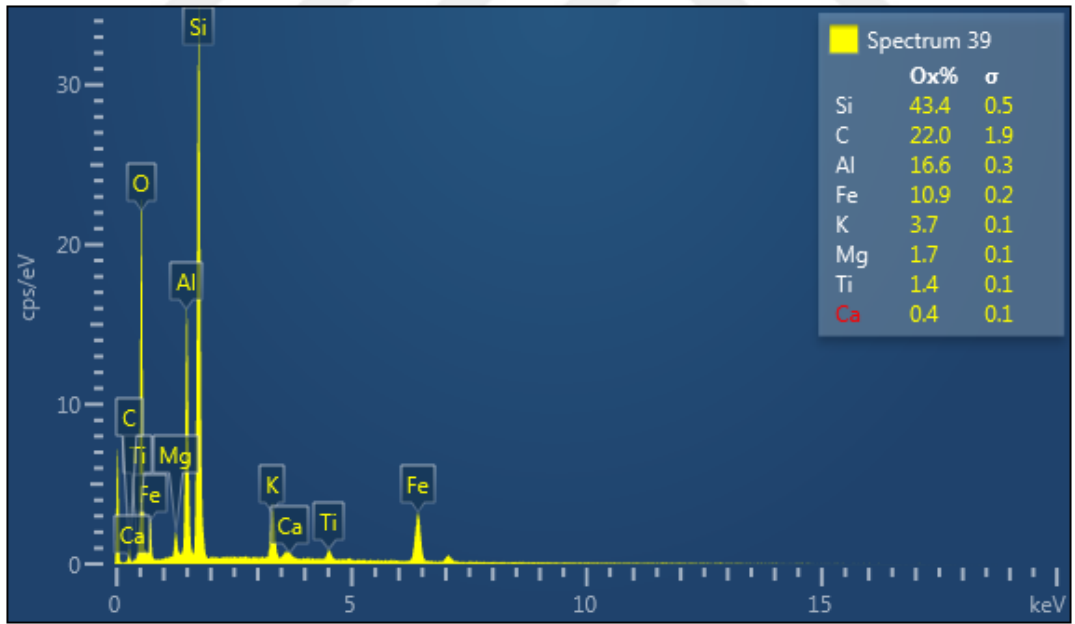
Şekil 27: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.

Üretilen kompozitlere ait EDS analizleri de gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

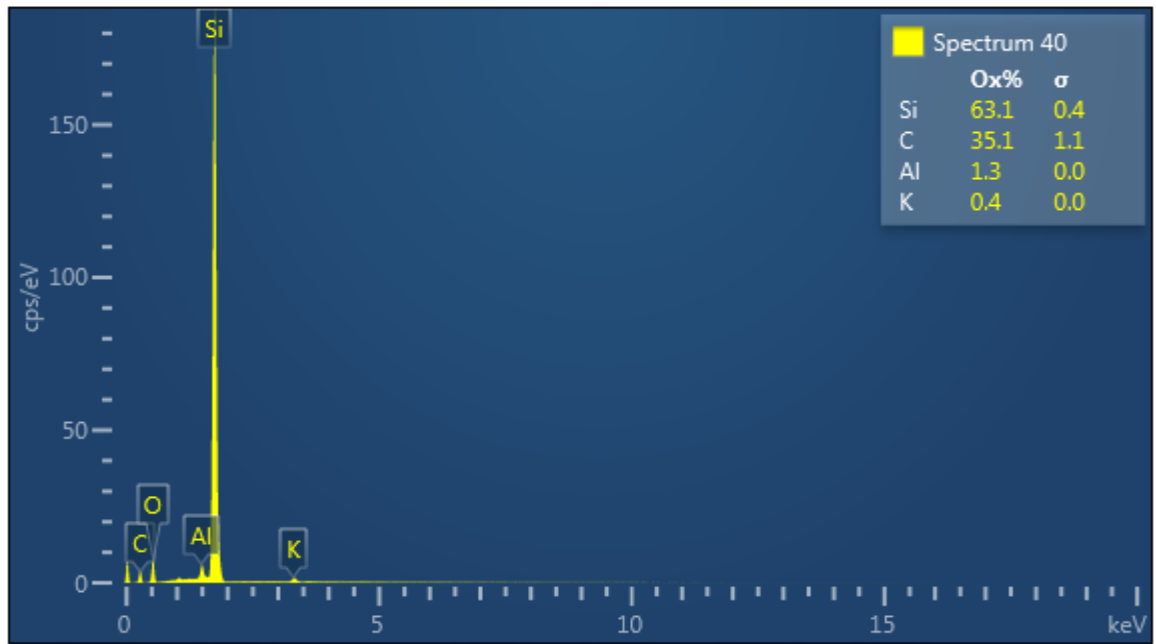
Electron Image 16



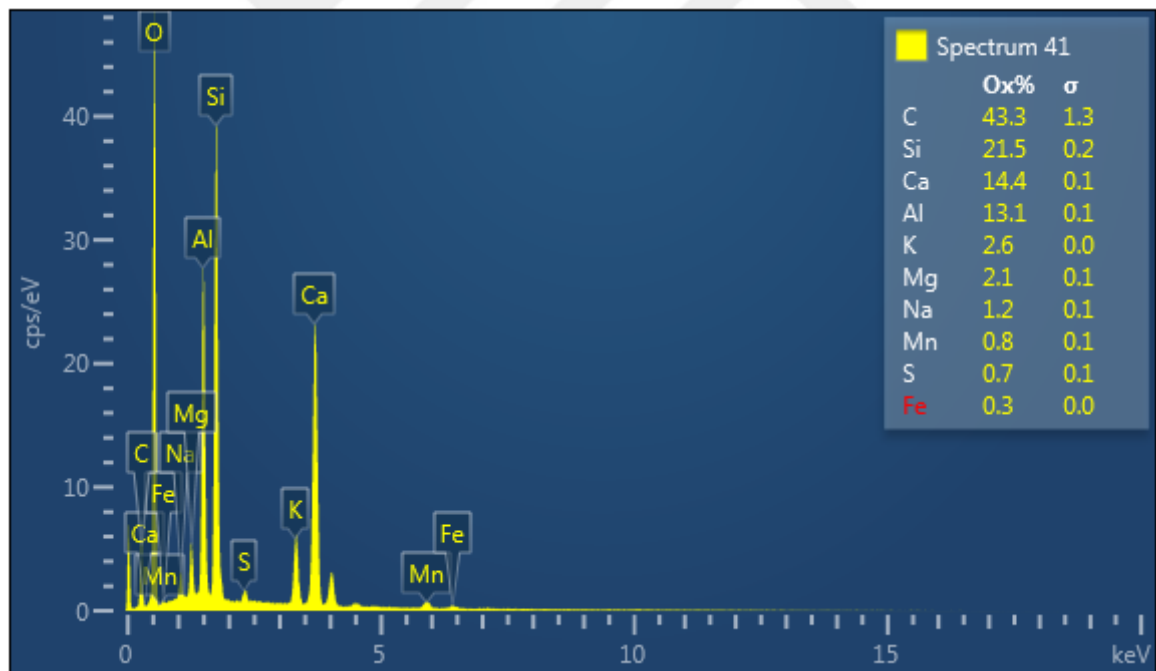
Şekil 28: Hibrit kompozite ait SEM görüntüleri.



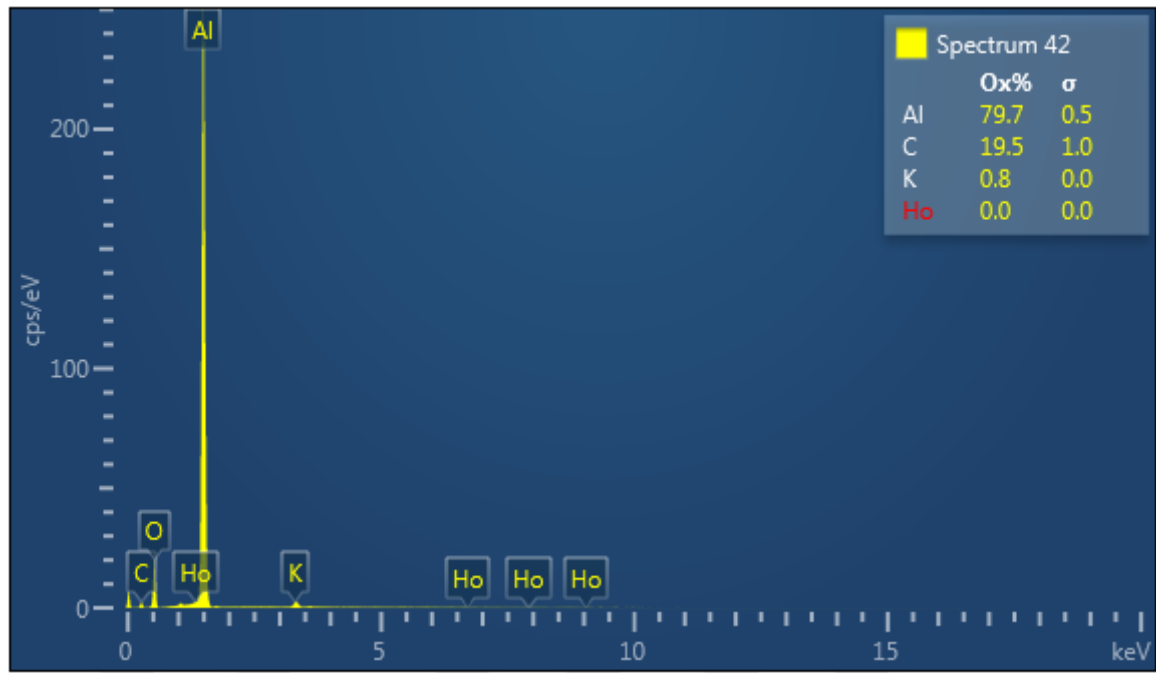
Şekil 29: Hibrit kompozite ait EDS analizinden görünüm.



Şekil 30: Hibrit kompozite ait EDS analizleri.



Şekil 31: Hibrit kompozite ait EDS analizleri.



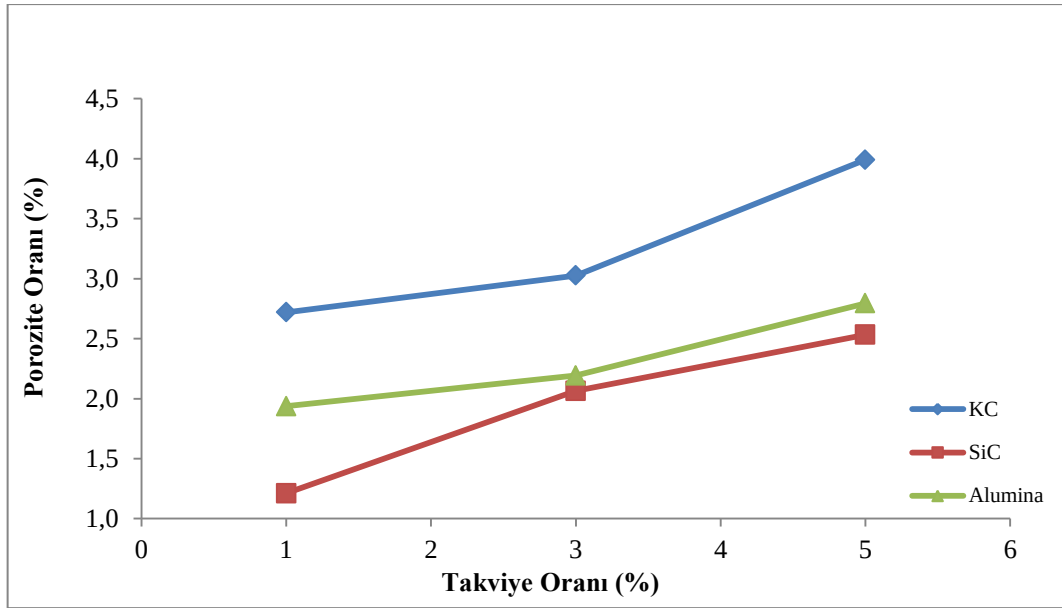
Şekil 32: Hibrit kompozite ait EDS analizleri.

5.2 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 10 ve Şekil 33’de verilmiştir.

Tablo 10: Takviye Elemanlarının Kompozitin porozitesine Etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneyssel	Gözeneklilik
Takviye Oranı (%)	99	1	0	0	2,7008	2,6273	2,7199
	97	3	0	0	2,6624	2,5818	3,0262
	95	5	0	0	2,6240	2,5193	3,9902
	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



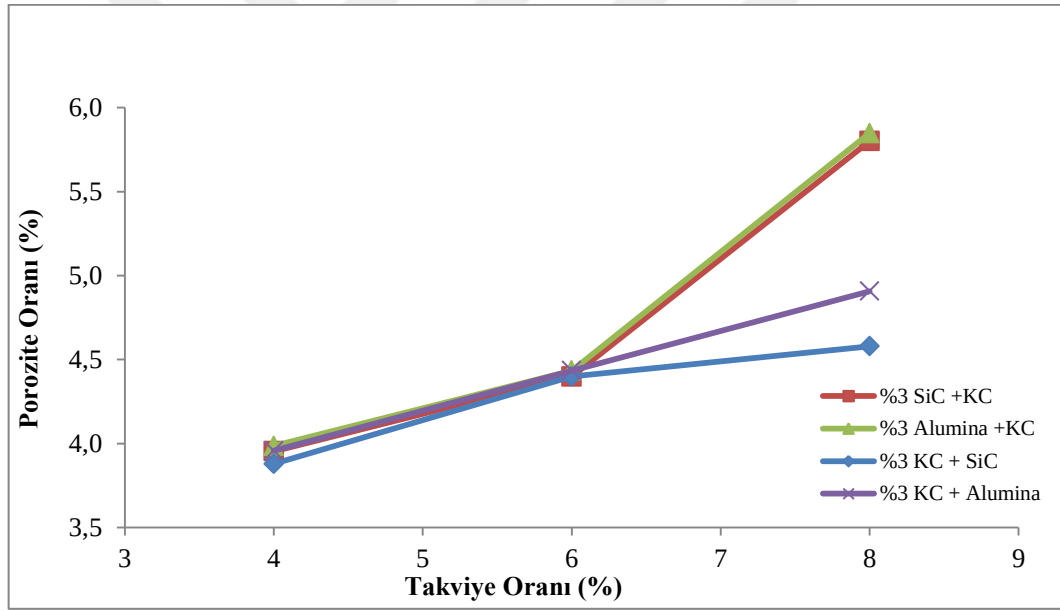
Şekil 33: Takviye Elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak kömür curufu tozu kullanıldığında takviye oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 2,7199'dan % 3,9902'e değerine yükselmiştir. Al_2O_3 'lü takviyeli kompozitlerde Al_2O_3 oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 1,9371'den % 2,7545'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 kömür curufu tozu 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. Takviye Elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 11 ve Şekil 34'de verilmiştir.

Tablo 11: Takviye Elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Gözeneklilik
Takviye Oranı (%)	96	3	1	0	2,6662	2,5628	3,8789
	94	3	3	0	2,6738	2,5562	4,3996
	92	3	5	0	2,6814	2,5586	4,5798
	96	3	0	1	2,6746	2,5688	3,9572
	94	3	0	3	2,6990	2,5793	4,4351
	92	3	0	5	2,7234	2,5898	4,9071
	96	1	3	0	2,7122	2,6050	3,9543
	94	3	3	0	2,6738	2,5562	4,3996
	92	5	3	0	2,6354	2,4825	5,8012
	96	1	0	3	2,7374	2,6283	3,9862
	94	3	0	3	2,6990	2,5793	4,4351
	92	5	0	3	2,6606	2,5050	5,8479



Şekil 34: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi değerlendirildiğinde, %3 kömür curufu tozu ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 3,8789, %3 kömür curufu tozu ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 3,9572 olmuştur. %3 kömür curufu tozu takviyeli İkili hibrit kompozitte %1 Al₂O₃ takviyesi poroziteyi %1 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür. %3 kömür curufu ve %5 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,5798, %3 kömür curufu ve %5 Al₂O₃ takviyeli numunenin

porozite değeri 4,9071 olmuştur. %3 kömür curufu takviyeli İkili hibrit kompozitte %5 Al_2O_3 takviyesi poroziteyi %5 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

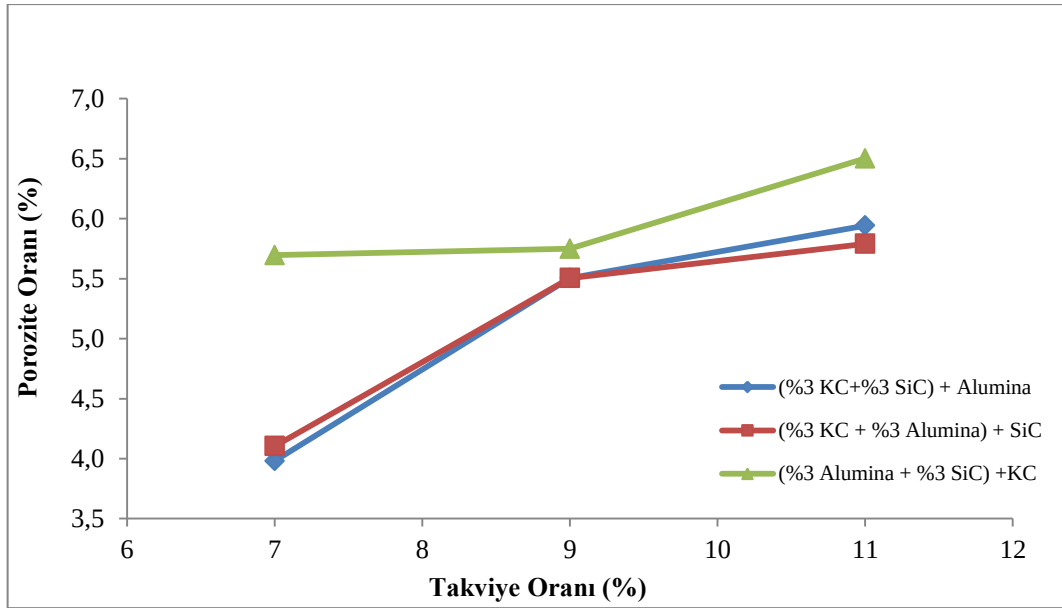
%3 SiC ve %1 kömür curufu takviyeli numunenin porozite değeri 3,9543, %3 Al_2O_3 ve %1 kömür curufu takviyeli numunenin porozite değeri 3,9862 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozitlere %1 kömür curufu takviyesi %3'lük Al_2O_3 'li hibrit kompozitin porozitesini daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 SiC ve %5 kömür curufu takviyeli numunenin porozite değeri 5,8012, %3 Al_2O_3 ve %5 kömür curufu takviyeli numunenin porozite değeri 5,8479 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozitlere %5 kömür curufu takviyesi %3'lük Al_2O_3 'li hibrit kompozitin porozitesini daha fazla artırdığı görülmüştür. Porozite değeri yüksek olan %5 kömür curufu ve %3 Al_2O_3 takviyeli hibrit kompozit, düşük olan ise %3 SiC ve %1 kömür curufu takviyeli hibrit kompozit olmuştur. Bunun gerçekleşmesinin matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 12 ve Şekil 35'de verilmiştir.

Tablo 12: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al_2O_3	Teorik	Deneysel	Gözeneklilik
Takviye Oranı (%)	93	3	3	1	2,6860	2,5791	3,9803
	91	3	3	3	2,7104	2,5612	5,5055
	89	3	3	5	2,7348	2,5723	5,9421
	93	3	1	3	2,7028	2,5919	4,1049
	91	3	3	3	2,7104	2,5612	5,5055
	89	3	5	3	2,7180	2,5606	5,7901
	93	1	3	3	2,7488	2,5922	5,6953
	91	3	3	3	2,7104	2,5546	5,7492
	89	5	3	3	2,6720	2,4983	6,5019



Şekil 35: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerde; %3 kömür curufu tozu ,%3 SiC ve %1 Al_2O_3 takviyeli numunenin porozite değeri 3,9803 değerine Al_2O_3 takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 5,9421'ya çıkmaktadır.

%3 kömür curufu, %3 Al_2O_3 ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,1049' ye SiC takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 5,7901'ye çıkmaktadır.

%3 SiC, %3 Al_2O_3 ve %1 kömür curufu takviyeli numunenin porozite değeri 5,6953'ye kömür curufu takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 6,5019'ye çıkmaktadır.

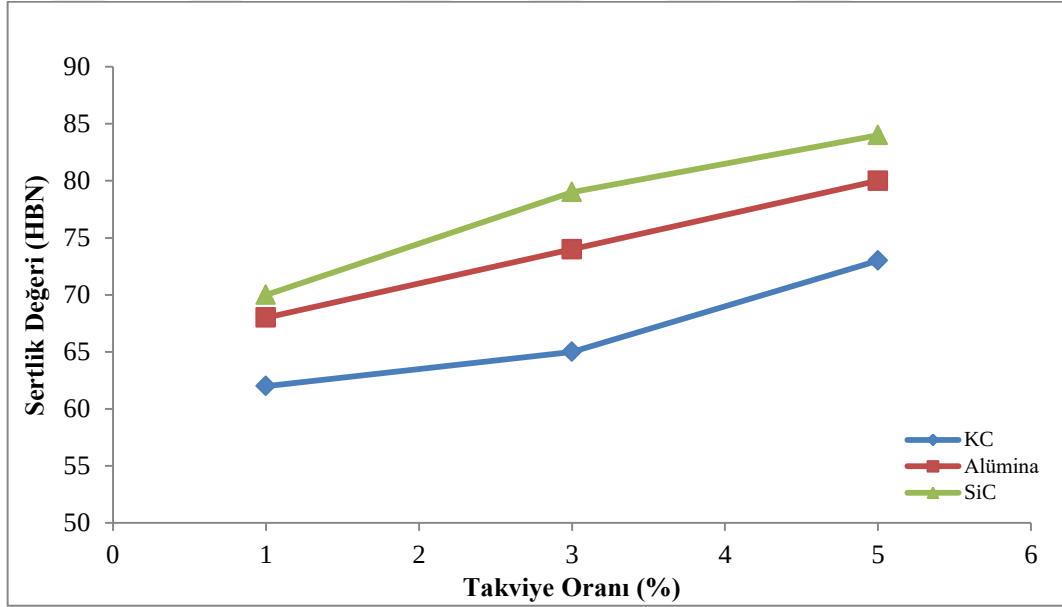
En düşük porozite değeri %3 kömür curufu,%3 SiC ve %1 Al_2O_3 takviyeli malzemede, en yüksek porozite değeri %5 kömür curufu tozu ,%3 SiC ve %1 Al_2O_3 takviyeli malzemede görülmüştür.

5.3 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviyenin kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 13'de etkisi Şekil 36'da verilmiştir.

Tablo 13: Takviyenin kompozitin sertliğine etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	100	0	0	0	58
	99	1	0	0	62
	97	3	0	0	65
	95	5	0	0	73
	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



Şekil 36: Takviyenin kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan Al6061 numunesinin sertlik değeri 58 HBN olarak ölçülmüştür. %1 kömür curufu takviyeli numunede sertlik değerinin 62 HBN'ye, %3 kömür curufu takviyeli numunede sertlik değerinin 65 HBN'ye, %5 kömür curufu takviyeli numunede sertlik değerinin 73 HBN'ye yükselmiştir.

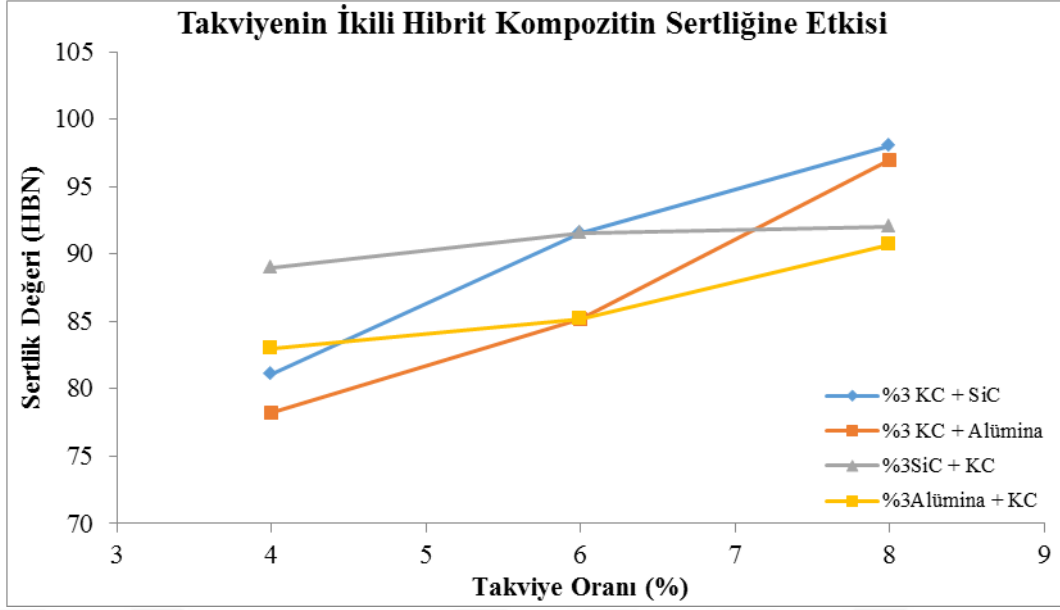
%1 Al₂O₃ takviyeli numunede ise sertlik değeri 68 HBN'ye, %3 Al₂O₃ takviyesi sertlik değerini 74 HBN'ye, %5 Al₂O₃ takviyesi ise sertlik değerini 80 HBN'ye yükselttiği,

%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. Kömür curufu SiC ve Al₂O₃ kadar sertliği artırmasa bunlara yakın bir sertlik değerine çıkardığı görülmüştür.

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertlik etki değerleri Tablo 14'de, etkisi Şekil 37'de verilmiştir.

Tablo 14: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertlik etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	96	3	1	0	81
	94	3	3	0	92
	92	3	5	0	97
	96	3	0	1	78
	94	3	0	3	85
	92	3	0	5	92
	96	1	3	0	89
	94	3	3	0	92
	92	5	3	0	98
	96	1	0	3	83
	94	3	0	3	85
	92	5	0	3	91



Şekil 37: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

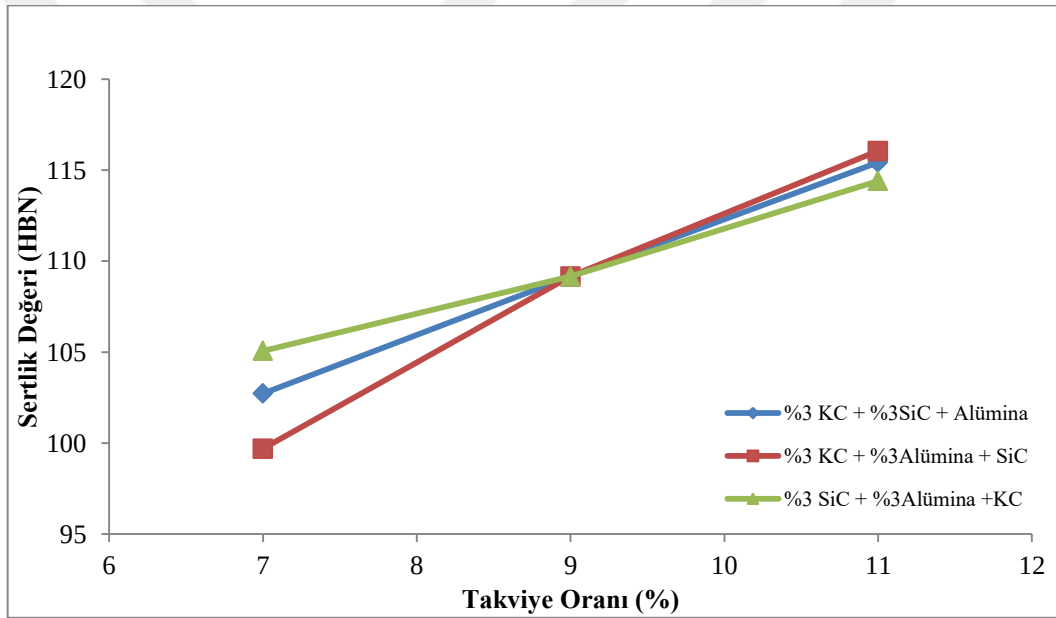
Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 kömür curufu takviyeli ve %1 Al_2O_3 takviyeli numunemizin sertlik değerinin 78 HBN'e, %3 kömür curufu takviyeli, ve %5 Al_2O_3 'lü takviyenin sertlik değerinin 92 HBN'e çıktığı görüldü, %3 kömür curufu tozu takviyeli ve %1 SiC'lü takviyenin sertlik değerinin 81 HBN'e, %3 kömür curufu takviyeli, ve %5 SiC'lü takviyenin sertlik değerinin 97 HBN'e olduğu belirlendi.

%3 SiC takviyeli ve %1 kömür curufu takviyenin sertlik değerinin 89 HBN'e, %3 Al_2O_3 takviyeli, ve %1 kömür curufu tozu takviyenin sertlik değerinin 83 HBN'e olduğu belirlendi. 3 SiC takviyeli ve %5 kömür curufu takviyenin sertlik değerinin 86 HBN'e, %3 Al_2O_3 takviyeli, ve %5 kömür curufu takviyenin sertlik değerinin 98 HBN'e olduğu belirlendi. kömür curufu ikili hibrit kompozit malzeme üretiminde Al_2O_3 ve SiC takviye malzemesi gibi sertliği artıran bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

Takviyenin üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 15'de, etkisi Şekil 38'de verilmiştir.

Tablo 15: Takviyenin üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
Takviye Oranı (%)	93	3	3	1	103
	91	3	3	3	109
	89	3	3	5	115
	93	3	1	3	100
	91	3	3	3	109
	89	3	5	3	116
	93	1	3	3	105
	91	3	3	3	109
	89	5	3	3	114



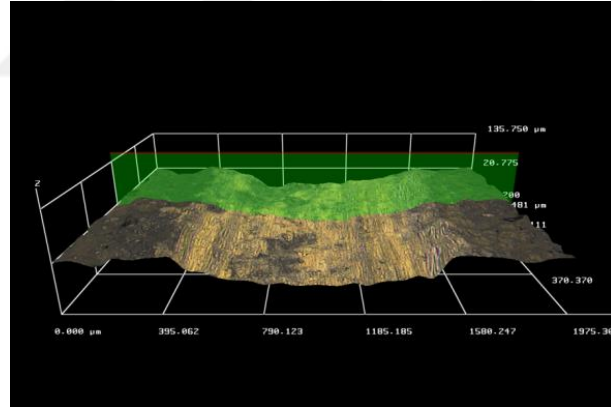
Şekil 38: Takviyenin üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 kömür curufu takviyeli ve %3 SiC takviyeli malzemeye %1 Al₂O₃ takviyesi numunemizin sertlik değerinin 103 HBN'e, %5 Al₂O₃ takviyesi numunemizi sertlik değerini 115 HBN'e artırdığı görüldü,

%3 kömür curufu tozu takviyeli ve %3 Al₂O₃ takviyeli malzemeye %1 SiC takviyesi numunemizin sertlik değerinin 100 HBN'e, %5 SiC takviyesi numunemizi sertlik değerini 116 HBN'e artırdığı görüldü,

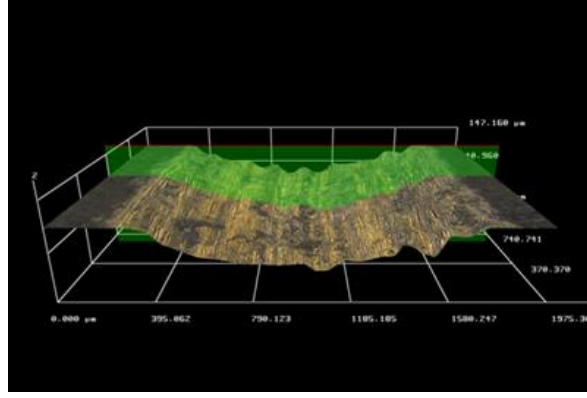
%3 SiC takviyeli ve %3 Al₂O₃ takviyeli malzemeye %1 kömür curufu takviyesi numunemizin sertlik değerin 105 HBN'e, %5 kömür curufu takviyesi numunemizi sertlik değerinini 114 HBN'e artırdığı görüldü, kömür curufu üçlü hibrit kompozit malzeme üretiminde Al₂O₃ ve SiC takviye malzemesi gibi sertliği artıran takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

5.4 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Aşınmaya Etkisi

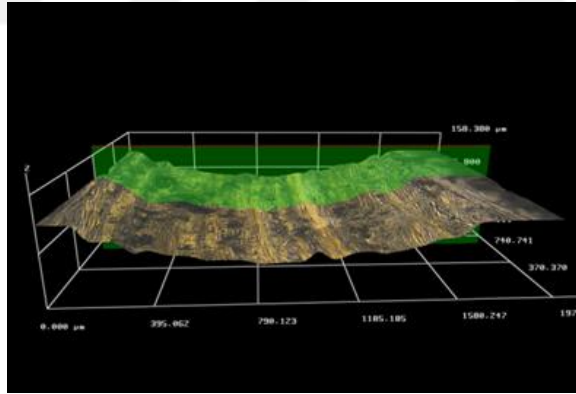


Şekil 39: 1 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü.





Şekil 40: 3 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü.

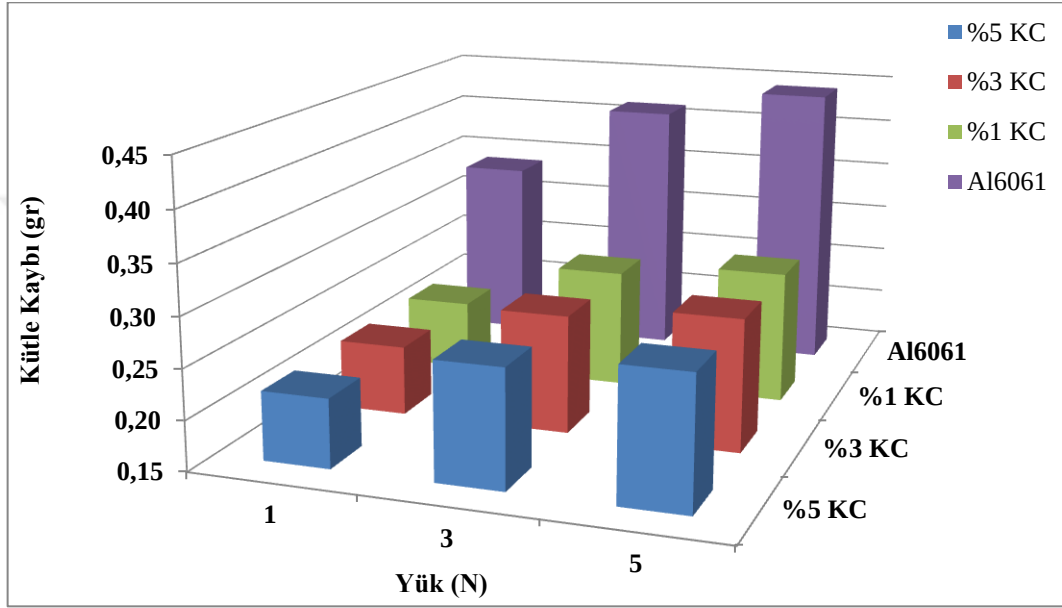


Şekil 41: 5 Newton yük altında meydana gelen aşınmalara ait profil görünümü

Kalorifer cürufunun aşınmaya etkisi Tablo 16 ve Şekil 42’de verilmiştir.

Tablo 16: Kalorifer cürufunun aşınmaya etkisi.

	Al 6061	KC	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		0,2212	0,2702	0,2844
	97	3	0	0		0,2201	0,2689	0,2830
	95	5	0	0		0,2190	0,2677	0,2817



Şekil 42: Kalorifer cürufunun aşınmaya etkisi.

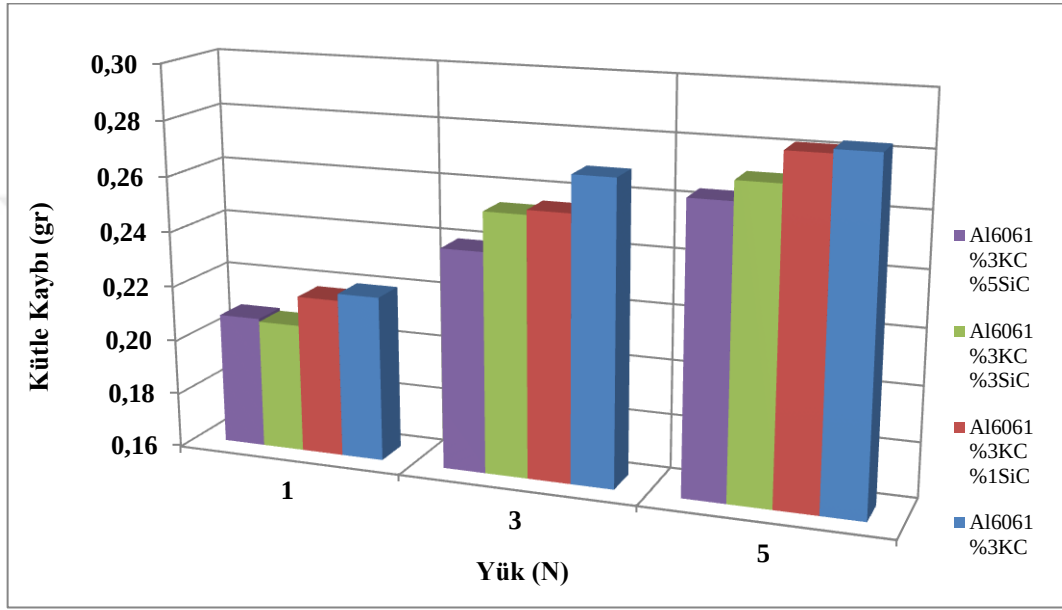
Pin-on disk yöntemiyle gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda Al6061 alaşımının kütle kaybı, uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,3367gr olarak ölçülmüştür. %1 kömür curufu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2212gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2201gr olmuştur. %5 kömür curufu takviyeli kompozitte 0,2190gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile aşınma miktarı artmıştır.

SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi Tablo 17'de ve Şekil 43'de verilmiştir.

Tablo17: SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2201	0,2689	0,2830
	96	3	1	0		0,2176	0,2557	0,2816
	94	3	3	0		0,2068	0,2540	0,2709
	92	3	5	0		0,2078	0,2399	0,2640



Şekil 43: SiC' ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

%3 kömür curufu katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan SiC'ün etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 kömür curufu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2201gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kömür curufu tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla %1,13 oranında bir düşüş sergilemiş ve 0,2176gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2068gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı %3 kömür curufu tozu takviyeli tekli kompozite kıyasla %5,58 oranında azalarak 0,2078gr olmuştur.

% 3 kömür curufu tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2689gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2557gr

olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2540 gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2399gr olmuştur.

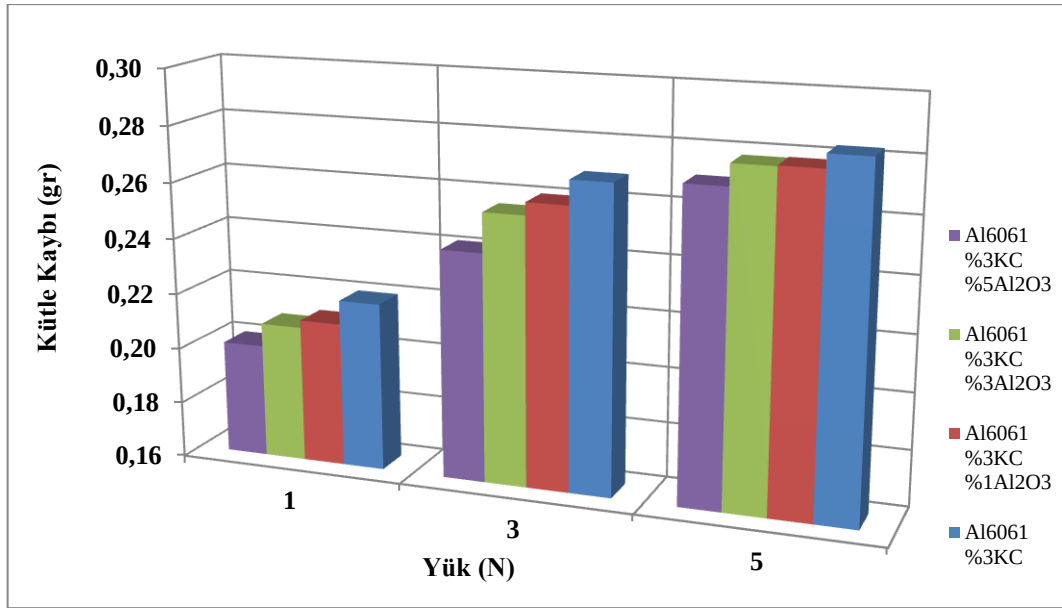
% 3 kömür curufu tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2830 gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise %3 kömür curufu tozu takviyesi kompozitin kütle kaybı 0,2816gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2709gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2640gr olmuştur.

Uygulanan yük miktarının artması ile kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır. SiC Takviye miktarı arttıkça ikili hibrit kompozitte kütle kaybı azalmaktadır.

Al₂O₃'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi Tablo 18'de ve Şekil 42'de verilmiştir.

Tablo 18: Al₂O₃'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2201	0,2689	0,2830
	96	3	0	1		0,2115	0,2602	0,2782
	94	3	0	3		0,2088	0,2557	0,2779
	92	3	0	5		0,2005	0,2415	0,2704



Şekil 44: Al_2O_3 'ün İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

%3 kömür curufu tozu katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 kömür curufu tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2201gr olarak ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı 0,2115 olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2088gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2005gr olmuştur.

% 3 kömür curufu tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2689gr olarak ölçülmüştür. Al_2O_3 takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2602gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2557gr olarak ölçülmüştür. %5 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2415gr olmuştur.

% 3 kömür curufu tozu katkılı tekli kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2830gr olarak ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2782gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2779gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2704gr olmuştur.

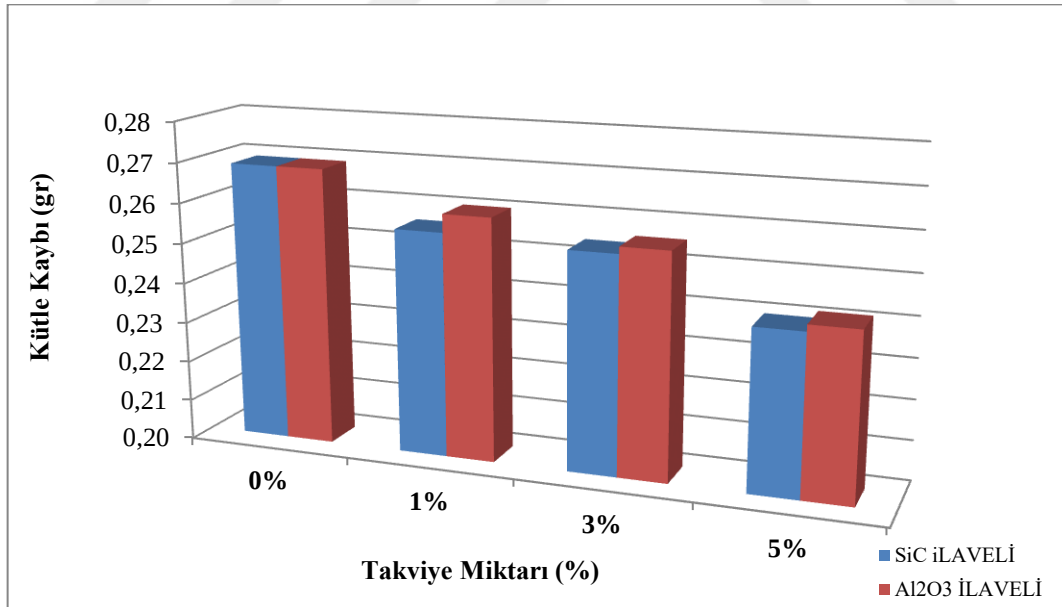
Uygulanan yük miktarının artması ile kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır.
 Al_2O_3

Takviye miktarı arttıkça ikili hibrit kompozitte kütle kaybı azalmaktadır.

%3 KC Katkılı İkili hibrit Kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'ün etkilerinin Karşılaştırılması Tablo 19'da ve Şekil 45'de verilmiştir.

Tablo 19: %3 KC Katkılı İkili hibrit Kompozitin aşınma miktarına 3N'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'ün etkilerinin Karşılaştırılması.

	Al 6061	KC	SiC	Al_2O_3	Yük (N)	3
Takviye Oranı (%)	97	3	0	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2689
	96	3	1	0		0,2557
	94	3	3	0		0,2540
	92	3	5	0		0,2399
	96	3	0	1		0,2602
	94	3	0	3		0,2557
	92	3	0	5		0,2415



Şekil: 45 %3 KC katkılı ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına 3n'luk yük değeri için SiC ve Al_2O_3 'ün etkilerinin karşılaştırılması.

Pin-on disk yöntemiyle gerçekleştirilen aşınma testleri sonucunda %3 kömür curufu tozu

katkılı kompozitin kütle kaybı, uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2689gr olarak ölçülmüştür. %1 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2557gr olarak ölçülmüştür, %1 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2602gr olarak ölçülmüştür.

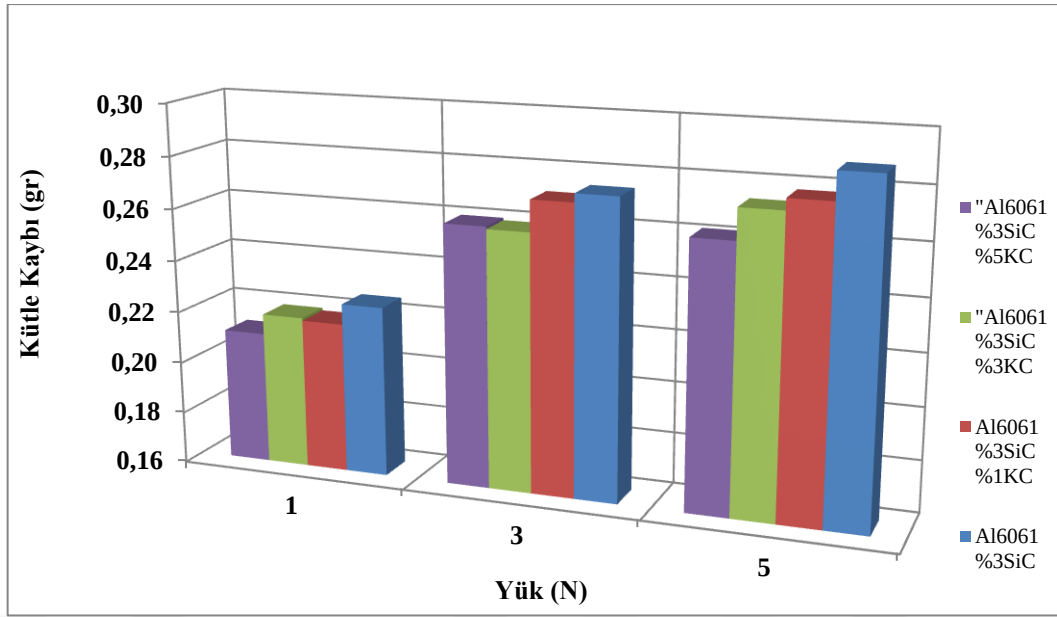
%3 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2540gr olarak ölçülmüştür, %3 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2557gr olarak ölçülmüştür.

%5 SiC takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2399gr olarak ölçülmüştür, %5 Al₂O₃ takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2415gr olarak ölçülmüştür. %3 kömür curufu tozu katkı kompozite eklenen takviye miktarı arttıkça aşınma testleri sonucunda kütle kaybının azaldığı görülmüştür. SiC'ün Al₂O₃'e göre ikili hibrit kompozitlerde kütle kaybını daha fazla azalttığı görülmüştür.

KC'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi Tablo 20'de ve Şekil 46'da verilmiştir.

Tablo 20: KC'nun SiC Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	0	3	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2258	0,2742	0,2881
	96	1	3	0		0,2179	0,2708	0,2776
	94	3	3	0		0,2188	0,2589	0,2733
	92	5	3	0		0,2110	0,2597	0,2615



Şekil: 46 KC'nun SiC takviyeli ikili hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 SiC katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2258 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2179gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2188gr olarak ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2110gr olmuştur.

% 3 SiC katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2742gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2708gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2589gr olarak ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2597gr olmuştur.

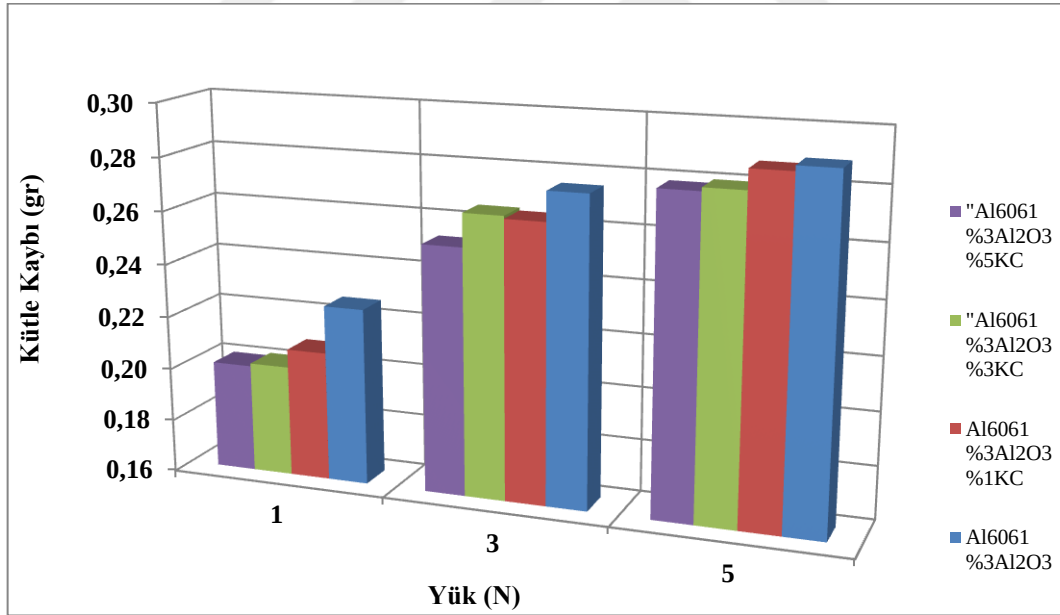
% 3 SiC katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2881gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin kütle kaybı 0,2776gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2733gr olarak

ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2615gr olmuştur. Uygulanan yük miktarının artması ile ikili kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır. Eklenen takviye malzemesi olan kömür curufunun miktarı arttıkça aşınma testleri sonucunda kütle kaybının azaldığı görülmüştür.

KC'nun Al_2O_3 Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi Tablo 21'de ve Şekil 47'de verilmiştir.

Tablo 21: KC'nun Al_2O_3 Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al_2O_3	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	97	0	0	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2267	0,2752	0,2892
	96	1	0	3		0,2087	0,2642	0,2873
	94	3	0	3		0,2018	0,2653	0,2799
	92	5	0	3		0,2008	0,2528	0,2786



Şekil 47: KC'nun Al_2O_3 Takviyeli İkili Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

%3 Al_2O_3 katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 Al_2O_3 katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2267 gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin

1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2087 gr olarak llmtır. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2018 gr olarak llmtır. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2008gr olmuştur.

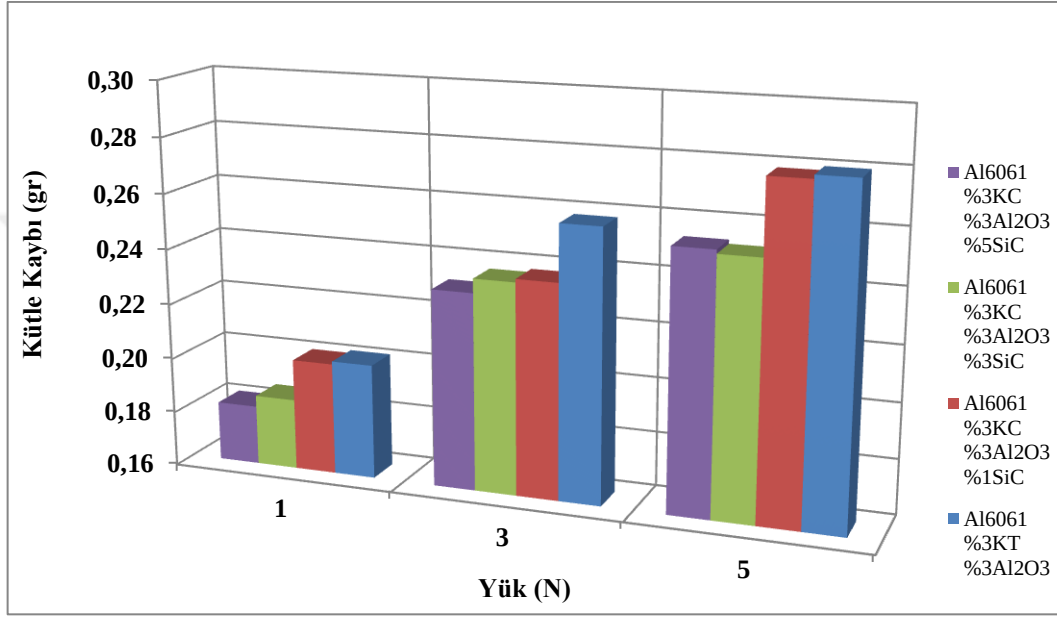
%3 Al₂O₃ katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 Al₂O₃ katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2752gr olarak llmtır, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2642gr olarak llmtır. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2653gr olarak llmtır. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2528gr olmuştur.

%3 Al₂O₃ katkılı kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen ikinci takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda % 3 Al₂O₃ katkılı ikili kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2892gr olarak llmtır, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2873gr olarak llmtır. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2799gr olarak llmtır. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2786gr olmuştur. Uygulanan yük miktarının artması ile ikili kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır. İkili hibrit kompozitte kömür cürufu takviye oranı arttıkça kütle kaybı miktarı azalmaktadır.

SiC'n l hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 22'de ve ekil 48'de verilmiştir.

Tablo 22: SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	3	0	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2088	0,2557	0,2779
	93	3	1	3		0,2007	0,2377	0,2786
	91	3	3	3		0,1858	0,2365	0,2520
	89	3	5	3		0,1817	0,2314	0,2534



Şekil 48: SiC'ün üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 Al₂O₃ ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan SiC'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 Al₂O₃ ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2088gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 SiC takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2007gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,1858gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,1817gr olmuştur.

%3 Al₂O₃ ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2557gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 SiC takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2377gr olarak ölçülmüştür. Takviye

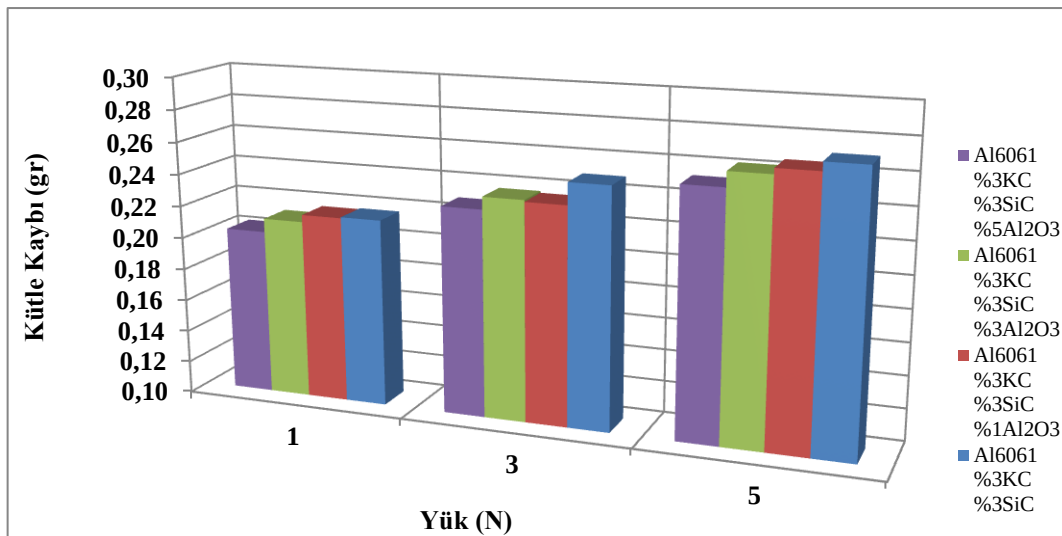
elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2365gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2314gr olmuştur.

%3 Al₂O₃ ile %3 kömür curufu tozu katkıli üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2779gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 SiC takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2786gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan SiC'ün ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2520gr olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2534gr olmuştur. Uygulanan yük miktarının artması ile üçlü kompozitin kütle kaybı miktarı da artmaktadır. Üçlü hibrit kompozitlerde SiC'ün oranı artıkça kütle kaybı azalmaktadır.

Al₂O₃'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi Tablo 23'de ve Şekil 49'da verilmiştir.

Tablo 23. Al₂O₃'in Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına Etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	3	3	0	Kütle Kaybı (gr)	0,2168	0,2491	0,2709
	93	3	3	1		0,2162	0,2355	0,2656
	91	3	3	3		0,2117	0,2365	0,2620
	89	3	3	5		0,2032	0,2288	0,2528



Şekil 49: Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2168gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2162 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2117gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı azalarak 0,2032gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2491gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2355gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı artmış 0,2365gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı azalarak 0,2288gr olmuştur.

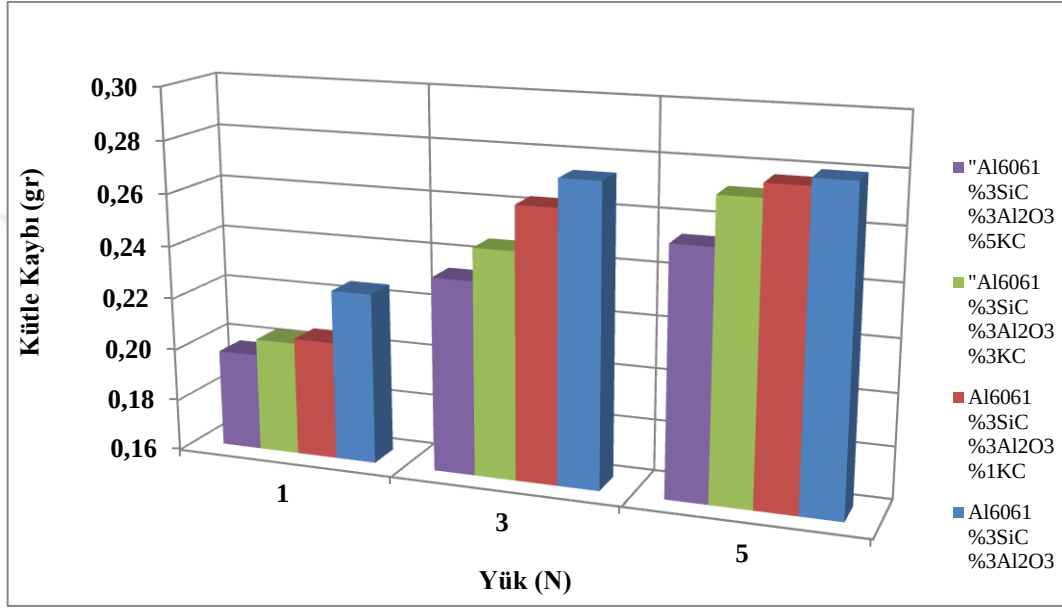
%3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2709gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 Al_2O_3 takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2656gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 'in ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2620gr olarak ölçülmüştür. %5 Al_2O_3 takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2528 gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 kömür curufu tozu katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan Al_2O_3 'in etkisi takviye miktarı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır.

KC'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi Tablo 24'de ve Şekil 50'de verilmiştir.

Tablo 24: KC'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etki değerleri.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	1	3	5
Takviye Oranı (%)	94	0	3	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2256	0,2740	0,2799
	93	1	3	3		0,2055	0,2633	0,2771
	91	3	3	3		0,2037	0,2465	0,2720
	89	5	3	3		0,1976	0,2342	0,2539



Şekil 50: KC'nun üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına etkisi.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 1N'luk yük değerine karşılık 0,2256gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 1N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2055 gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2037gr olarak ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,1976gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 3N'luk yük değerine karşılık 0,2740gr olarak ölçülmüştür, eklenen

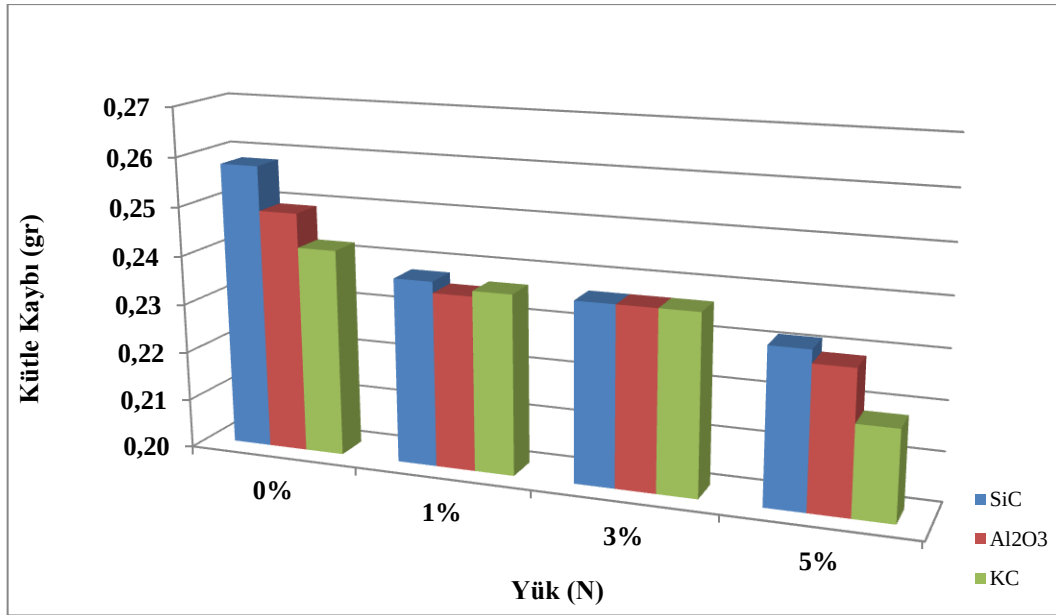
%1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 3N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2633gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2465gr olarak ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2342gr olmuştur.

%3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kömür curufu tozunun etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan aşınma testleri sonucunda %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin kütle kaybı uygulanan 5N'luk yük değerine karşılık 0,2799gr olarak ölçülmüştür, eklenen %1 kömür curufu tozu takviyeli kompozitin 5N'luk yük değerinde kütle kaybı ise 0,2771gr olarak ölçülmüştür. Takviye elemanı olarak kullanılan kömür curufu tozunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında kütle kaybı azalarak 0,2720gr olarak ölçülmüştür. %5 kömür curufu tozu takviyeli kompozit de ise kütle kaybı 0,2539gr olmuştur. %3 SiC ile %3 Al₂O₃ katkılı üçlü hibrit kompozitin aşınma miktarına kompozite ilave edilen üçüncü takviye elemanı olan kömür cürufu miktarı Arttıkça kütle kaybı miktarı azalmaktadır.

Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KC SiC ve Al₂O₃'ün Etkilerinin Karşılaştırılma etkisi Tablo 25'de ve Şekil 51'de verilmiştir.

Tablo 25: Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KC SiC ve Al₂O₃'ün Etkilerinin Karşılaştırılma etkisi.

	Al 6061	KC	SiC	Al ₂ O ₃	Yük (N)	3
Takviye Oranı (%)	94	0	3	3	Kütle Kaybı (gr)	0,2740
	93	1	3	3		0,2633
	91	3	3	3		0,2465
	89	5	3	3		0,2342
	94	3	0	3		0,2557
	93	3	1	3		0,2377
	91	3	3	3		0,2365
	89	3	5	3		0,2314
	94	3	3	0		0,2491
	93	3	3	1		0,2355
	91	3	3	3		0,2365
	89	3	3	5		0,2288



Şekil 51: Üçlü Hibrit Kompozitin Aşınma Miktarına KC SiC ve Al₂O₃'ün Etkilerinin Karşılaştırılması.

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. Elde edilen kütle kaybı miktarları değerlendirildiğinde, %3 SiC ve %3 Al₂O₃ katkılı hibrit kompozite %1 kömür curufu tozu eklenerek oluşan hibrit kompozite kütle kaybı miktarı en fazla meydana gelmiştir. %3 SiC ve %1 kömür cürufu kompozite %5 Al₂O₃ eklenerek oluşan kompozitte ise en az kütle kaybı meydana gelmiştir. Bunun nedeni, Al₂O₃'in sertlik değerinin kömür curufu tozundan daha yüksek olması ve sert malzemelerin yumuşak malzemelere oranla daha az aşınması olarak değerlendirilmiştir.

İkili hibrit kompozitlere %1 oranında SiC, Al₂O₃ ve kömür curufu tozu ilavesi yapılarak elde edilen üçlü hibrit kompozitlerin kütle kaybı sıralaması ikili hibrit kompozitlerle aynı sıralamada meydana gelmiştir. İkili hibrit kompozitlere ilave edilen üçüncü takviye elemanının kompozit içerisindeki oranı %5'e çıkarıldığında ise en fazla kütle kaybı %3 SiC, %3 Al₂O₃ ve %5 kalorifer curufu tozundan oluşan üçlü hibrit kompozitte meydana gelmiştir. En az kütle kaybı ise %3 SiC, %3 kömür curufu tozundan ve %5 Al₂O₃ 'den oluşan hibrit kompozitedir.

İkili hibrit kompozitlere %1 oranında SiC, Al₂O₃ ve kömür curufu tozu ilavesi yapılarak elde edilen üçlü hibrit kompozitlerde %1 kömür cürufu tozu eklenen hibrit kompozitin

kütle kaybı 0.2633 gr, %1 SiC eklenen hibrit kompozitin kütle kaybı 0,2377gr, %1 Al₂O₃ eklenen hibrit kompozitib kütle kaybı 0,2355 gr olmuştur. Kütle kayıplarına bakıldığında kömür cürufu katkılı hibrit kompozitin SiC ve Al₂O₃ takviye kompozitlere yakın kütle kaybı olduğu görülmüştür. Kömür cürufu tozununda üçlü kompozitlerde kütle kaybının azalmasına etken olan bir takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %1, %3 ve %5' takviyeli numunelerde Al6061 göre kütle kaybının azaldığı aşınma direncinin iyileştiği ve takviye oranı arttıkça aşınma direncinin arttığı gözlenmiştir. Kömür cürufu (kalorifer katı atığı) %3 takviyeli numunelerde Al6061 belirtilen oranlarda SiC ve Al₂O₃ takviye katılmış SiC ilaveli numunelerdeki kütle kaybının Al₂O₃ ilaveli numunelerdeki kütle kaybından daha az olduğu gözlenmiştir. Al6061+ %3 SiC'e %1, %3ve %5 kömür cürufu takviye malzemesi katılmış SiC 'li hibrit kompozit üzerinde kömür cürufunun etkisi incelemesi yapılmış ve takviye malzemesi artıkça kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Al6061+ %3 kömür cürufu + %3 SiC'li hibrit kompozitte %1, 3% ve %5 Al₂O₃ takviye yapıldığında Al₂O₃ takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. AL6061+%3 kömür cürufu + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 SiC takviyesi yapıldığında, SiC takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı gözlenmiştir. Al6061+%3 SiC + %3 Al₂O₃ hibrit kompozite %1, 3% ve %5 kömür cürufu takviyesi yapıldığında, Kömür cürufu takviye oranları artıkça kütle kaybının azaldığı ve aşınma direncinin iyileştiği gözlenmiştir.

1. Üretilen numunelerin porozite değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen kömür cürufu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında Al 6061 malzemesinin porozite değerinin 2,7199'dan 3,9902 değerine yükselmiş, %3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlerde kömür cürufu tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değerinin 3,9543'den 5,8012 değerine arttığı, üretilen %3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de kömür cürufu tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değeri 3,9862'den 5,8479 değerine ulaştığı, üretilen %3 SiC ve %3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde mermer tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değeri 5,6953'den 6,5019 değerine ulaştığı belirlendi. ikili hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir. Kömür cürufu tozu takviyeli kompozit malzemesinde SiC ve Al₂O₃ takviyelerinden daha fazla porozite oluşturduğu belirlendi. Matrise eklenen takviye malzemesi oranları arttıkça porozite değerinin de arttığı belirlendi.

2. Üretilen numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize %1 mermer tozu takviye eklendiğinde malzemenin sertliğinin 62 HBN değerine, %3 mermer tozu takviyesinde 65 HBN değerine, % 5 mermer tozu takviyesinde 73 HBN değerinde olduğu, ikili hibrit kompozitlerde mermer tozu takviyesinin sertlik değeri incelendiğinde %3 SiC takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 89 HBN değerine, %5 mermer tozu takviyesi setliği 98 HBN değerine artırdığı, %3 Al₂O₃ takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 85 HBN değerine, %5 mermer tozu takviyesi setliği 91 HBN değerine artırdığı, üçlü hibrit kompozitlerde mermer tozu takviyesinin sertlik değeri incelendiğinde %3 Al₂O₃ ve %3 SiC takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 105 HBN değerine, %5 mermer tozuta takviyesi setliği 114 HBN değerine artırdığı, kömür curufu tozunun kompozit, ikili ve üçlü hibrit kompozitlerde malzemenin setliğini artıran takviye malzemesi olduğu belirlendi.
3. Aşınma deneyleri sabit kayma mesafesi, sabit dönme hızında 1N, 3N ve 5N yük değerleri uygulanarak Pin-On Disk cihazı ile yapılmıştır. Tekli kompozitlerin porozite miktarları kıyaslandığında ise kömür cürufu takviyeli kompozitlerin porozite miktarları, SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozitlerin porozite miktarlarından daha yüksek olmuştur. Üretilen tekli kompozitlerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, kömür cürufu tozunun takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozitlerin sertlik değerlerindeki artış miktarı, geleneksel takviye elemanları ile üretilen kompozitlerin sertlik artış oranlarına neredeyse eşit seviyede gerçekleşmiştir. Üretilen kompozitlerin aşınma deneylerinden elde edilen kütle kaybı miktarları göz önüne alındığında, matrise ilave edilen takviyenin ağırlıkça oranının arttırılması ile kütle kaybının azaldığı, uygulanan yük değerinin arttırılmasının ise kütle kaybını arttırdığı belirlenmiştir. Kömür cürufunun aşınmaya olan etkisi değerlendirildiğinde kompozit üretiminde aşınma dayanımını iyileştirici takviye malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak kömür cürufunun kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kompozitin mekanik özelliklerini iyileştiren bir takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., (1993).“SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, 7. *Uluslar arası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, Ankara.
- Akbulut, H., Durman, M. ve Yılmaz, F., (1995).“Vorteks metodu ile üretilen Al_2O_3 partikül takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin mekanik davranışları”, 8. *Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 1329-1334,.
- Akdoğan, A., (2005). *İmalatta Kompozit Malzemeler*, Lisans Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul,.
- 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*, 15(3),
- Altuner, S., Keleşoğlu, E., (2012). Pruduction Of Y_2O_3 Coated Al_2O_3 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,
- Altuner., S. (2011). Y_2O_3 Kaplanmış Al_2O_3 Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Entitüsü, İstanbul
- Altuner., S., (2007). Y_2O_3 Kaplanmış Al_2O_3 Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Yayınlanmış (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Arıcı, R., Köksal, N.S., Ömeroğlu, E., (2015). AA6061 Alaşımının İki Farklı Dolgu Teli Kullanılarak TIG Kaynağında Özelliklerin İncelenmesi. *CBÜ Fen Bil. Dergisi*, Cilt 11, Sayı 2, s. 233-239,
- Ataş, A., (2015). *Kompozit Malzemeler ve Mekaniği*, Kompozit Malzeme Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Bağcı, M., (2011). *Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi*, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Bai, M., Xue, Q., (1997).“Investigation of wear mechanism of SiC particulatereinforced 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*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chawla, K. K., (1998). *Composite Materials Science and Engineering*, Springer-Verlag, New York,
- Demir, İ., Başpınar, M. S., Abadan, S., Kahraman, E., Ünal, O., (2014). Mermer Tozunun Gaz beton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *ISEM2014* Adıyaman
- Eker, A.A., (2008).“Metal Matrisli Kompozitler” ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi,
- Ekşi, O.,(2007). *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü,, Edirne
- 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,
- Koçer., T.(2002). *Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ Ve Sic Partikül Takviyeli Al Mg Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Köksal., S.,(2017). Kompozit malzemeler ders notları, Celal Bayar Üniversitesi, Balıkesir
- Lim, C. Y. H., Lim, S. C., Gupta, M., (2003). “Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites”, *Wear*, 255: 629-637,.
- Mingü, K., (2002).“Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin SiC ve C İlavesi ile Geliştirilmesi”, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü ,İstanbul
- Mondal, D. P., 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),
- Mutlu, İ., (2012). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1),
- Nazik., C. (2013). *Alüminyum matrisli B4C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi* (YayınlanmışYüksek Lisans Tezi) ,Selçuk Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Onat, A., (2015). Kompozit Malzemeler Ders Notu. Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya. 105,

- Oral, S., Kaftanoğlu, B., (1987). "Bileşik Malzemelerin Endüstriyel Kullanımı", *Makina Tasarım ve imalat Dergisi*, ODTÜ, Ankara, 1(5),
- Özdin, K., (2006). *Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması*, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-4,
- Pul, M., (2010). *Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi*, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Schwartz, M.M.,. (1984). *Composites Materials Handbook*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Singh, M., Mondal, D.P., Modi, O.P. and Jha, A.K., (2002). "Two-body abrasive wear behaviour of aluminium alloy-silimanite particle reinforced composite", *Wear.*, 253: 357-368,
- Soy. U., (2009) "Metal Matris Kompozit Malzemeler", Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Sur., G. (2008). *Karma Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler Ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi*, (Yayınlanmış Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Şahin, Y., (1994). "The machanical and wear behaviour of SiC reinforced metal matrix composite" Ph. D.Thesis, The University of Aston, Birmigham, 28-31,
- Şahin, Y., (1998). "Dry wear behaviour of saffil fibre-reinforced metal composites", 8th International Machine Design and Production Confereance, Ankara 469-477,
- Şahin, Y., (1999). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahin, Y., (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Uluşen, T., (2008). *Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Kimyasal Kaplama İşlemlerinin incelenmesi*, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- URL-1, <http://www.seykoc.com.tr/aluminyum-alasimlar/6061.aspx/> Son Erişim Tarihi: 10.06.2017.
- URL-2, <http://www.kocaelimakine.com/ders-notlari/kompozit-malzemeler-ders-notlari-osman-unal/> Son Erişim Tarihi: 12.06.2017.
- URL-3, <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02652716/> Son Erişim Tarihi 13.06.2017.
- Ünal O.,(2017). *Yapı Malzemesi Ders Notları s-5* Afyon Kocatepe Üniversitesi

- Yang, J. And Chung, D.D.L.,(1989).“Wear of bauxite-particle reinforced aluminum alloys”, Wear, 135: 53-65,
- Yılmaz, M.,(2013). *Kompozitlerin Kuru Kaymadaki Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması*, (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Yılmaz, U., Evcı C., (2015). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, The Journal of Defense Sciences, Kasım/November, Cilt/Volume 14(2), 77-109.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Rahmi KOCAMAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Yenice / Karabük- 1968

Eğitim Durumu:

Lisans Öğrenimi : Hacettepe Üniversitesi Maden Teknikerliği Bölümü – 1992
Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Üretim Mühendisliği
Bölümü – 2008

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : TTK Amasra Müessese Müdürlüğü 1985 – 2005
ETKB Maden İşleri Genel Müdürlüğü 2005 – devam ediyor

İletişim

E-Posta Adresi : rkocaman074@hotmail.com

Tarih 13/07/2017