

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

**Al6061 MATRİSLİ SİC AIN VE OLTU TAŞI
TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN TOZ
METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ VE FİZİKSEL VE
TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yener ERGİN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan ATEŞ

BURDUR, 2024

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek Lisans** Tezi olarak sunduğum “**Al6061 Matrisli SİC AIN ve Oltu Taşı Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Fiziksel ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

15/04/2024

(İmza)
Yener ERGİN

ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam **Dr. Öğr. Üyesi Serkan ATEŞ'e** teşekkürlerimi sunarım.

0851-YL-22 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen ve yanımda olan sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Sema ÖZMERT ERGİN'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Nisan, 2024

Yener ERGİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Kompozit Malzemeler	2
2.1.1. Matris	3
2.1.2. Takviye	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	5
2.2.1. Otomotiv Uygulamaları	5
2.2.2. Havacılık Uygulamaları	7
2.2.3. Diğer Mühendislik Uygulamaları	8
2.3. Kompozit Üretim Yöntemleri	10
2.3.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri.....	10
2.3.2. Katı Hal Üretim Yöntemleri	11
2.3.3. Katı-Sıvı Hal Üretim Yöntemleri	11
2.4. Toz Metalurjisi Yöntemi	12
2.5. Toz Özellikleri ve Karakterizasyonu.....	13
2.6. Toz Metalurjisi İmalat Safhaları.....	13
2.6.1. Tozların Karıştırılması.....	13
2.6.2. Tozların Preslenmesi (Yoğunlaştırma Safhaları).....	14
2.7. Sinterleme.....	15
2.8. Son İşlemler.....	16
3. LİTERATÜR ÖZETİ	16
4. MATERYAL VE YÖNTEM	20
4.1. Materyal.....	20
4.1.1. Al6061	20
4.1.2. Oltu Taşı	21
4.1.3. Silisyum Karbür (SiC)	23
4.1.4. Alüminyum Nitrür (AlN).....	24
4.2. Aletler ve Cihazlar.....	26
4.2.1. Bilyalı Değirmen ve Sarma Cihazı	26
4.2.2. Sarsma Cihazı	28
4.2.3. Hassas Terazî	29
4.2.4. Hidrolik Pres ve Pres Kalıpları	30
4.2.5. Tav Fırını (Isıl işlem Fırını (Protherm PLF 110/45))	32
4.3. Yöntem	33
4.4. Deneyler	36
4.4.1. Sıcak Bakalite Alma	36
4.4.2. Numune Hazırlama	37
4.4.3. Mikroyapı İncelemeleri (SEM).....	38
4.4.4. Sertlik Ölçümleri.....	39

4.4.5. Aşınma Ölçümleri.....	41
4.4.6. Isı İletim Katsayısı Ölçümü.....	42
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	44
5.1. Mikroyapı İncelemeleri	44
5.2. Sertlik Ölçümleri	47
5.3. Aşınma Ölçümleri	55
5.4. Isı İletim Katsayısı Ölçümleri	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	70



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Bilyalı değirmen	26
Şekil 4.2. Öğütme işleminin şematik gösterimi	26
Şekil 4.3. Öğütme İşleminde Çeşitli Hızlarda Bilya Hareketlerinin Şematik Gösterimi	27
Şekil 4.4. Kullanılan Bilyalı Değirmen	28
Şekil 4.5. Sieve Shaker ANALYSETTE 3 PRO sarsma cihazı ve elekler	29
Şekil 4.6. Ohaus PA214C hassas terazi	30
Şekil 4.7. 50 ton kapasiteli hidrolik pres	30
Şekil 4.8. Hidrolik pres kalıpları.....	31
Şekil 4.9. Aşınma ve sertlik numuneleri için pres kalıpları	31
Şekil 4.10. Isıl özellik numuneleri için pres kalıpları	32
Şekil 4.11. Protherm marka PLF 110/45 model tav fırını	33
Şekil 4.12. Tozların preslenmesi.....	35
Şekil 4.13. Preste basılan numuneler	35
Şekil 4.14. Tav fırınında sinterleme.....	36
Şekil 4.15. Sıcak bakalite alma cihazı	37
Şekil 4.16. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	38
Şekil 4.17. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	39
Şekil 4.18. TTS Matsuzawa marka HWMMT-X3 model sertlik ölçüm cihazı	40
Şekil 4.19. Vickers sertlik ölçüm yöntemi	40
Şekil 4.20. UTS Tribometer T20 marka aşınma deney cihazı	42
Şekil 4.21. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı	43
Şekil 4.22. Lazer Flaş deney düzeneği şematik gösterimi	43
Şekil 5.1. Al6061+%7 SiC takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x.....	45
Şekil 5.2. Al6061+%7 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x	45
Şekil 5.3. Al6061+%7 AlN takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x	45
Şekil 5.4. Al6061+%20 Oltu Takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x	46

Şekil 5.5. Al6061+%5 SiC+%5 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x	46
Şekil 5.6. Al6061+%5 AlN+%5 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x	46
Şekil 5.7. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi	48
Şekil 5.8. Al6061 alaşımına katılan oltu miktarının (%0 – %10) kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi	49
Şekil 5.9. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (%10 – %20) kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi	50
Şekil 5.10. Al6061 alaşımına katılan SiC miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi	51
Şekil 5.11. Al6061 alaşımına katılan AlN miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi	52
Şekil 5.12. Oltu'nun ikili hibrit kompozitin (%5 SiC ve % 5 AlN) mikro Vickers sertlik değerine etkisi	53
Şekil 5.13. SiC ve AlN'ün ikili hibrit kompozitin (%5 Oltu) mikro vickers sertlik değerine etkisi	54
Şekil 5.14. Kompozit malzemede takviyelerin mikro Vickers sertlik değerine etkisi...	55
Şekil 5.15. Al6061 alaşımına katılan sic miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi	57
Şekil 5.16. Al6061 alaşımına katılan aln miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi	58
Şekil 5.17. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (kütlece %0-10 aralığı) kompozitin aşınma değerine etkisi.....	59
Şekil 5.18. Al6061 alaşımına katılan oltu miktarının (kütlece %10-20 aralığı) kompozitin aşınma değerine etkisi.....	60
Şekil 5.19. Al6061 Alaşımına katılan Oltu miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi	61
Şekil 5.20. SiC ve AlN ün ikili hibrit kompozitin (Al6061+ %5 Oltu) aşınma miktarına etkisi	61
Şekil 5.21. Oltu'nun ikili hibrit kompozitin (Al6061 + %5 SiC ve Al6061 + %5 AlN) aşınma miktarına etkisi.....	62

Şekil 5.22. Al6061 Alaşımına katılan takviyelerin aşınmaya etkilerinin karşılaştırılması	63
Şekil 5.23. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan % 5 takviye elemanlarının kompozitin ısı difüzyon değerine etkileri.....	64
Şekil 5.24. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan % 5 takviye elemanlarının kompozitin ısı iletkenlik değerine etkileri.....	65
Şekil 5.25. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan % 5 takviye elemanlarının kompozitin özgül ısı değerine etkileri	65
Şekil 5.26. Oltu miktarının Al6061 alaşımının ısı iletkenlik değerine etkileri.....	66
Şekil 5.27. Oltu miktarının Al6061 alaşımının ısı difüzyon değerine etkileri.....	67
Şekil 5.28. Oltu miktarının Al6061 alaşımının özgül ısı değerine etkileri	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Al6061 alaşımının kimyasal bileşimi	20
Çizelge 4.2. Al6061 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri.....	21
Çizelge 4.3. Al6061 alaşımının elektriksel ve termal özellikleri.....	21
Çizelge 4.4. Oltu Taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
Çizelge 4.5. SiC'ün fiziksel ve mekanik özellikleri	23
Çizelge 4.6. Termal iletkenliği yüksek malzemeler.....	24
Çizelge 4.7. Alüminyum nitrürün özellikleri	25
Çizelge 4.8. Laboratuvar tipi LB220 model bilyalı değirmenin teknik özellikleri.....	27
Çizelge 4.9. Sieve Shaker ANALYSETTE 3 PRO model sarsma cihazı teknik özellikleri	28
Çizelge 4.10. Ohaus marka PA214C model hassas terazinin teknik özellikleri.....	29
Çizelge 4.11. Protherm marka PLF 110/45 model tav fırını teknik özellikleri	32
Çizelge 4.12. Üretilen kompozitlerin ağırlıkça yüzdelik oranları.....	34
Çizelge 4.13. TTS Matsuzawa marka sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri	41
Çizelge 4.14. UTS Tribometer T20 marka universal aşınma deney cihazının teknik özellikleri.....	42
Çizelge 4.15. FLASH LINE 2000 cihazının teknik özellikleri.....	44
Çizelge 5.1. SEM görüntüleri alınan numunelerin içerikleri.....	44
Çizelge 5.2. SiC ve Oltu takviyeli kompozitlerin mikro vickers sertlik değerleri.....	47
Çizelge 5.3. AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin mikro vickers sertlik değerleri.....	48
Çizelge 5.4. SiC ve Oltu takviyeli kompozitlerin aşınma değerleri	55
Çizelge 5.5. AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin aşınma değerleri.....	56
Çizelge 5.6. SiC, AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin ısııl değerleri	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
AlN	: Alüminyum Nitrür
AMK	: Alüminyum Matrisli Kompozit
B₄C	: Bor karbür
cm	: Santimetre
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
HV	: Vickers Sertlik Değeri
Mg	: Magnezyum
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
MPa	: Megapascal
N	: Newton
Ni	: Nikel
Pa	: Pascal
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum Karbür
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum karbon
TM	: Toz Metalurji
%	: Yüzde
°C	: Santigrat

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Al6061 Matrisli SiC AlN ve Oltu Taşı Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Fiziksel ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi

Yener ERGİN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan ATEŞ

Nisan, 2024

Bu tez çalışmasında Al6061 matrisli, SiC, AlN ve kolayca bulunabilen Oltu Taşı atıklarından elde edilen tozlar takviye elemanı olarak kullanarak çevre dostu ve uygun maliyetli hibrit kompozitler toz metalurjisi yöntemi ile üretildi. Oltu taşında madenden çıkarılıp nihai ürüne dönüşene kadar yaklaşık olarak %90 oranında atık meydana gelir. Söz konusu atıkların bertaraf edilmesinin hem çevresel etkileri hem de maliyeti göz önüne alındığında yeniden kullanımına yönelik metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği bu tez çalışmasının odağını oluşturmuştur. Bunun yanı sıra atık Oltu Taşı tozunun geleneksel takviye elemanlarından SiC ve AlN ile uyumu araştırıldı.

Erzurum ilinin Oltu ilçesinde bulunan taş işlemeciliği alanında faaliyet gösteren atölyelerden atık olarak temin edilen Oltu Taşları bilyalı değirmende toz haline getirilip, piyasadan temin edilen SiC ve AlN tozları ile birlikte sarsma cihazında eleklerden geçirildi. 75µm elekten geçen ve 63µm elekten geçmeyen tozlar toplanılarak takviye elemanı olarak kullanıldı. Hassas terazide deney tasarımına uygun olarak tartılarak hazırlanan tozlar, 10dk süre ve 250dev/dk sabit hızda mekanik olarak karıştırılarak numunelere ait tozlar hazırlandı. 2 farklı ölçü ve biçimde tasarlanıp imal ettirilen pres kalıplarına yerleştirilen tozlar hidrolik preste 450MPa basınçta 1dk süre ile basıldı. Ardından 660°C sıcaklıkta 360dk sürede sinterleme işlemine tabi tutularak kompozitler üretildi. Üretilen kompozitlerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenerek takviyelerin varlığı ve homojen dağılımları tespit edildi. Kompozitlerin sertlikleri Mikro Vickers sertlik ölçüm yöntemi, aşınma miktarları Pin-On disk yöntemi ve ısıl iletkenlikleri ise Laser Flash tekniği kullanılarak belirlendi. Kompozit içerisinde Oltu taşı tozunun artması ile kompozitin sertlik ve ısıl iletkenliğinin artarken, aşınma miktarının azaldığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Oltu taşı, Al6061, sertlik, aşınma, ısıl iletkenlik

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0851-YL-22 No'lu proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Production of Al6061 Matrix SiC AlN and Oltu Stone Reinforced Hybrid Composites with Powder Metallurgy and Investigation of Their Physical and Thermal Properties

Yener ERGİN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan ATEŞ

April, 2024

In this thesis study, environmentally friendly and cost-effective hybrid composites with Al6061 matrix, SiC, AlN and powders obtained from easily available Oltu Stone waste were produced by the powder metallurgy method, using powders obtained from Oltu Stone waste as reinforcement elements. Approximately 90% of the waste is generated in Oltu stone until it is extracted from the mine and turned into the final product. Considering both the environmental effects and the cost of disposing of the waste in question, its usability as a reinforcement material in the production of metal matrix composites for reuse has been the focus of this thesis study. In addition, the compatibility of waste Oltu Stone powder with SiC and AlN, which are traditional reinforcement elements, was investigated.

Oltu Stones, which were obtained as waste from workshops operating in the field of stone processing in Oltu district of Erzurum province, were pulverized in the ball mill and sieved in the shaking device together with SiC and AlN powders obtained from the market. The powders that passed through the 75 μ m sieve and did not pass through the 63 μ m sieve were collected and used as reinforcement elements. The powders of the samples were prepared by weighing them on a precision balance in accordance with the experimental design, and mechanically mixing them for 10 minutes and at a constant speed of 250 rpm. The powders placed in press molds designed and manufactured in 2 different sizes and shapes were pressed in a hydraulic press at 450MPa pressure for 1 minute. Then, composites were produced by sintering at 660°C for 360 minutes. The microstructures of the produced composites were imaged with a scanning electron microscope and the presence of reinforcements and their homogeneous distribution were determined. The hardness of the composites was determined using the Micro Vickers hardness measurement method, the wear amount was determined using the Pin-On disk method and the thermal conductivity was determined using the Laser Flash technique. It was determined that as the Oltu stone powder increased in the composite, the hardness and thermal conductivity of the composite increased, while the amount of wear decreased.

Keywords: Oltu stone, Al6061, hardness, wear, thermal conductivity.

The present M.Sc. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinatorship under the Project number of 0851-YL-22.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler 20. yüzyılın ortalarında ortaya çıkmış ve günümüzde teknolojinin önemli araştırma konularından biri olmuştur. Kompozit malzemeler üstün özellikleri sayesinde havacılık, inşaat, otomotiv, spor ve birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemli özelliklerinden olan özgül mukavemet değerinin yüksek, kimyasal korozyona ve mekanik aşınmalara karşı dayanıklı olması kompozit malzemelerin olağanüstü yapısal ve mekanik özelliklerini ön plana çıkarmaktadır (Rajak vd., 2019).

Geleneksel malzemelerin yetersiz kaldığı durumlarda, yeni metal matrisli kompozit malzemeler için arayış giderek artmaktadır. Metal matrisli kompozitler (MMK), birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle istenen özellikleri taşıyan malzemelerdir. Bu kompozitler, takviye elemanı ve bu elemanları bir arada tutan bir matris malzeme içerir (Şahin, 2000). Metal matrisli kompozit (MMK) üretiminin temel amacı, yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, yüzey sertliği ve elastisite modülü gibi üstün özelliklere sahip, aşınma miktarı ve yoğunluğu düşük yeni malzemeler oluşturmaktır. Bu, metallerin ve seramiklerin mevcut özelliklerinin birleşimi ile sürekli faz olan matris metali ve süreksiz faz olan takviye arasındaki ara mekanik özelliklere sahip yeni bir malzeme geliştirmeyi hedefler (Hashim vd., 1999; Kala vd., 2014).

Yaygın olarak kullanılan matris malzemelerinin başında titanyum, magnezyum, berilyum, nikel, demir ve alüminyum alaşımları gelmektedir. Matris malzemeleri içerisinde alüminyum alaşımları düşük yoğunluğu, mekanik özelliklerinin iyi olması ve korozyona karşı dirençli olmasından dolayı özellikle havacılık ve otomobil endüstrisinde çokça kullanılan matris malzemelerinden biridir (Hayat vd., 2019; Shankar vd., 2016). Bunun yanı sıra 6 serisi alüminyum alaşımları orta gerilime sahip olup, kolayca işlenebildiklerinden (Murthy ve Rao, 2020), Al6061 alaşımı bu tez çalışmasında matris malzeme olarak tercih edilmiştir. Alüminyum matrisli hibrit kompozit malzeme üretirken, kullanılan seramik takviye malzemeler TiO_2 , Al_2O_3 , TiB_2 , SiC , TiC , B_4C 'dür (Marin vd., 2012; Selvam vd., 2013). Silisyum karbürün sertlik değeri yüksektir. Bu sebeple üretilen kompozitler, yüksek mukavemet değerine, düşük yoğunluğa ve iyi derecede tribolojik özelliklere sahiptir ve MMK'lerin imalatında takviye elemanı olarak sıklıkla kullanılmaktadır. İstenilen tane boyutlarında ve kolayca temin edilebilmektedir (Vlack vd., 1970). SiC 'ün bu avantajlarından yararlanmak için takviye malzeme olarak silisyum karbür (SiC) tercih edilmiştir. Matris malzeme olarak kullandığımız Al6061

alaşımı için diğer bir takviye elemanı olarak, düşük yoğunluğa, yüksek elastisite modülüne ve yüksek termal iletkenliğe sahip olduğundan dolayı Alüminyum nitür (AlN) seçilmiştir.

Otomotiv, havacılık ve denizcilik endüstrileri alanında kullanılan alüminyum matrisli kompozitlerin (AMK) daha birçok farklı endüstri alanında da kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Alüminyum matrisli kompozitlere yüksek talep, üretilen ürünlerin sürdürülebilirliği ve ekonomikliği önem taşımaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan malzemelerin üretimi yüksek teknoloji gerektirdiği ve bu teknolojilere ise belirli ülkeler sahip olduğu için takviye elemanı maliyeti oldukça yüksektir. Araştırmacılar endüstriyel atık malzemelerin, takviye elemanı olarak kullanıldığı, düşük maliyetli, yüksek performanslı alüminyum matrisli kompozit geliştirmek için çalışmaktadırlar.

Bu çalışmada atık takviye elemanı olarak kullanılan Oltu taşı tozu, Erzurum ilinin Oltu ilçesinde yaygın olarak süs eşyası yapımında kullanılan Oltu taşının madenden ürüne dönüşüm aşamalarında bol miktarda farklı büyüklüklerde atık olarak ortaya çıkan parçalar kullanılarak elde edilmiştir. Söz konusu atıklar bölgede üretim yapan atölyelerden temin edilmiştir. Geleneksel takviye elemanlarından SiC ve AlN ise piyasadan 75µm boyutunda temin edilmiş ve Oltu taşı ile benzer bir elek prosesinden geçirilerek, 75µm boyutundaki elekten geçen, 63µm boyutundaki eleğin üstünde kalan tozlar toplanarak, kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler sertlik, tokluk ile hafiflik ve korozyon direnci gibi birçok iyi özelliğe sahip olduklarından endüstride kullanımları önemli ölçüde artmıştır (Lindroos vd., 1995). Kompozit malzeme üretiminde amaç, farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilerek, kompoziti oluşturan matris ve takviyeden daha iyi özelliklere sahip yeni bir malzeme üretebilmektir (Zhang vd., 1996). Üretilen kompozit malzemenin özellikleri, matris ve takviyenin sahip olduğu özelliklerle karşılaştırıldığında daha üstün özellikler ortaya çıkmaktadır (Şahin, 2006). Kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

- Yoğunluk ve mukavemet oranının yüksek olması
- Rijitlik oranının yüksek olması
- Korozyon dayanım direncinin yüksek olması

- Aşınma direncinin yüksek olması
- Sıcaklık dayanımının yüksek olması
- Kimyasal direncinin yüksek olması
- Açık hava koşulları ve UV ışınlarına karşı dayanımının yüksek olması
- Çok iyi termal ve ısı iletkenliğinin olması
- Çok iyi elektrik ve ısı yalıtım özelliklerinin olması
- Kalıcı renklendirme
- Kolay işlenebilme
- Hafiflik
- Titreşim sönümlleme (Strong, 2008; Mazumdar, 2002).

Kompozit malzeme, matris ile takviye malzemesinin makro düzeyde kimyasal bağ yapmaksızın birleşimidir. Matris, takviye malzemelerini çevreleyip bağlandığı için bağlayıcı olarak da adlandırılır. Takviye malzemeleri genel olarak, doğal veya sentetik malzemelerden partikül, uzun (fiber) veya kısa lifler (whisker) şeklindedir (Froes vd., 1996; Ullrich, 1986). Matris malzemeleri genellikle şekil verme işlemlerine uygun, sünek ve yüksek ısı iletkenlik gibi belirgin fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir (Voss, 1981). Yüksek dayanıma sahip kompozit malzeme imal edilirken, takviye malzemesinin yüksek sertlik ve düşük ısı genleşme vb. özelliklerine sahip olması gerekir. Takviye elemanları, kompozit malzemeye uygulanan yükü taşıdığından genellikle matristen daha güçlü ve daha sert yapıdadırlar.

Kompozit malzemenin özellikleri, kompoziti oluşturan matris ve takviye elemanının özelliklerinden doğrudan etkilendiğinden, bunların sınıflandırılmasına ve farklı özelliklerinin iyice araştırılmasına ihtiyaç vardır (Shih vd., 1996). Kompozit malzemeler endüstride çok çeşitli uygulamalar için kullanıldığından, birçok araştırmacı üretkenliği ve verimliliği artırmak için çeşitli ileri kompozit üretim tekniği geliştirmeye başlamıştır (Baker, 1996).

2.1.1. Matris

2.1.1.1. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

PMK'ler, cam, karbon, kevlar, metal fiber takviye ile termoset veya termoplastik matrislerden oluşur (Ray, 2006; Mukherjee vd., 2006). Termosetler, termoplastiklere göre daha yüksek mukavemet değerleri ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Dang vd., 2012). Termosetler istenilen

kalınlığa ulaşıncaya kadar ince fiber ve polimer katmanlarının istiflenerek yapıştırılmasıyla elde edilen laminar yapılarıdır. Kullanımı oldukça yaygındır. PMK'lerin üretim teknikleri basit ve kolay olduğundan düşük maliyetli kompozitlerdir (Thoppul vd., 2009).

2.1.1.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK)

SMK'ler çoğunlukla silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (SiN), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve karbon liflerinden oluşan ve seramik matrisli yapılarıdır (Zhang, 2014). Monolitik seramikler, SMK'lerin kırılgenlik yapılarının üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Seramik matrisli kompozitlerde, seramik malzemenin kırılgenliği nedeniyle, kompozitin kopma gerilimi, tek başına fiberlerin kopma geriliminden daha düşüktür. Bu durum, ters kompozit olarak adlandırılmalarına sebep olur. Polimer veya metal matrisli kompozitlerde ise tam tersi bir durum gözlemlenir. Bu nedenle, yükleme altında, kırılgen liflerin erken hasar görmesini engellemek için ilk bozulan malzeme matristir (David ve William, 2018). Seramik matrisli kompozitler, liflerin özel bir ortamda gaz veya sıvı kimyasallar ile kaplanmasıyla üretilir. Bu işlem sonucunda, lifler seramik bir matris içinde gömülür ve iç faz oluşur (Kopeliovich, 2014).

2.1.1.3. Metal matrisli kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler (MMK) de genellikle matris malzemesi olarak alüminyum (Al), magnezyum (Mg), bakır (Cu) ve titanyum (Ti) kullanılır. Takviye elemanı olarak ise karbürler ve oksitler gibi seramik esaslı malzemeler veya metal esaslı kurşun, molibden ve tungsten gibi malzemeler kullanılır (Hunt, 2000). Al bazlı MMK'ler otomobil, havacılık ve denizcilik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır. SiC, B_4C ve Al_2O_3 gibi takviyeler, kompozit malzemeye kazandırdıkları yüksek mukavemet ve sertlik değeri, azaltılmış yoğunluk ve kontrollü termal genleşme gibi istenen özellikleri elde etmek için Al matris içerisine kolay ve etkili bir şekilde ilave edilir (Mallick, 2012).

2.1.2. Takviye

2.1.2.1. Fiber (lif) takviyeler

Fiber takviyeli kompozit malzemelerde, cam, karbon, bazalt ve kevlar gibi sentetik lifler takviye elemanı olarak kullanılır. Fiber takviyelerin, matris içerisinde dağılmış vaziyette bulunması, kompozit malzemenin mukavemet ve sertlik artışı, kimyasallara, ısıya ve aşınmaya karşı direnç gibi gelişmiş malzeme özelliklerini ortaya çıkarmıştır (De Araujo, 2011). Yüksek darbe ve yorulma dayanımına sahip olmaları, piyasada ucuz

fiyatlarda ve bol miktarda bulunmaları, biyolojik olarak parçalanabildiğinden çevre dostu olmaları ve düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeni ile doğal lif takviyesinin kullanımı günümüzde araştırmacılar arasında büyük bir popülerlik göstermektedir (Dixit ve Goel, 2017).

2.1.2.2. Parçacık takviyeler

Farklı boyutlarda takviye parçacıklarının matris malzemesine gömülmesiyle üretilen parçacık takviyeli kompozitler, aşınma, ısı ve mekanik dayanım gibi birçok açıdan oldukça gelişmiş özellikler sergiler. Bu üstün mekanik özellikler, parçacıklar ile matris arasındaki güçlü bağlanmadan kaynaklanır. Hem maliyet hem de performans açısından sunduğu avantajlar, parçacık takviyeli kompozitlerin kullanım alanlarını her geçen gün genişletmektedir. Takviye elemanları küp, küre veya farklı geometrilerde tek tip veya farklı tip parçacıklardan oluşabilir. Bu parçacıklar matris içerisinde rastgele dağılım gösterebilir veya istenilen yönde yönlendirilerek malzemeye belirli bir yönde gelişmiş mukavemet kazandırılabilir (Ertok, 2011). Metal matrisli kompozitler için yüksek orandalar demir bazlı camsı parçacıklar takviye malzeme olarak kullanıldığında, Al matrisinin önemli ölçüde sertleştiği ve bunun da kompozitin mukavemet ve plastisitesini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir (Balcı vd., 2017).

2.1.2.3. Tabakalı takviyeler

Levha bazlı kompozitler, genellikle cam elyafıyla güçlendirilmiş ve sıkıştırma yöntemiyle şekillendirilen termoset kalıplama malzemeleridir (Fang, 2019). Bu tür kompozitler, yüksek mukavemet elde etmek amacıyla uzun cam lifleri ve doymamış reçine kullanılarak üretilir. Yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip oldukları için büyük yapısal bileşenlerin üretiminde idealdirler. Ayrıca, parça tasarımlarında sabitleme aparatları ve alt montajlar gibi ek avantajlar sağlarlar. Silindirik kabuk panellerle karşılaştırıldığında, küresel panellerin burkulma sıcaklığı daha yüksektir (Narayana vd., 2018).

2.2. Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları

2.2.1. Otomotiv Uygulamaları

2.2.1.1. Fren sistemi

Yüksek sıcaklıklara ve aşındırıcı yüklere maruz kalan fren disklerinin bu sıcaklıklara yapısal kararlılığını uzun süreler boyunca devam ettirmesi gerekir. Yüksek sıcaklıklarda iyi aşınma direnci gösteren karbon seramik fren diskleri yüksek

performanslı araçlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Günümüzde karbon fiber takviyeli silisyum karbür fren disklerinin popüleritesi oldukça yüksektir. Bu fren diskleri performans otomobillerinin yanı sıra yüksek hızlı tren, ağır vasıtalar, acil frenli vinçlerde de yaygın olarak kullanılır (Uyyuru vd., 2007).

2.2.1.2. Elektrikli araçlar

Asimetrik süper kapasitörler konusunda yapılan bir araştırmada, nikel kobalt oksit indirgenmiş grafit oksit ($\text{NiCO}_2\text{O}_4\text{-rGO}$) kompozit malzeme, çok aşamalı şarj-deşarj döngülerine karşı daha iyi stabiliteye sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, $\text{NiCO}_2\text{O}_4\text{-rGO}$ 'nun elektrikli araçların bataryaları gibi yüksek enerji depolama gerektiren uygulamalarda umut vadeden bir seçenek olduğunu göstermektedir (Wang vd.,2012). Geçtiğimiz birkaç yıldır, siyah fosforun nano-elektronik, nano-fotonik ve optoelektronik alanlarında lityum ve sodyum iyon pilleri ve süper kapasitörler gibi elektrokimyasal enerji depolama cihazlarındaki uygulamaları ile ilgili özellikleri anlaşılmaya çalışılmaktadır. Siyah fosfor, geniş yüzey alanı, anizotropik özellikleri, ayarlanabilir yapısı ve doğrudan bant aralığı gibi dikkat çeken fotonik, elektronik ve mekanik niteliklere sahiptir (Ren vd., 2017; Zhou vd.,2017).

2.2.1.3. Gövde güçlendiricisi

Hafif yapılar, enerji ve ulaşım sektöründe verimlilik standartlarını yakalamak için gereklidir. Karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP), elektriksel özellikleri nedeniyle elektrikli araçlarda metalin yerini almaya adaydır. CFRP, bagaj kapağı ve gövde güçlendirici gibi otomobil gövde bileşenleri, motor kaputu altında ekstra alan yaratarak enerji depolama görevini üstlenen süper kapasitörler olarak kullanılabilir (Kong, 2016).

2.2.1.4. Kablosuz sinyal iletimi

Araçlarda veri toplamak için kullanılan sensörlerde veya çeşitli cihazların çalıştırılmasında birçok kablo kullanılır. Normalde yedek bir kablo ağı olsa bile, karbon takviyeli fiberler elektrik sinyallerini iletmek için kullanıldığında kablolar tamamen ortadan kalkar. Bu durumda, iletişim cihazı olarak, iletken fiber kompozit katmanları arasına yalıtım yerleştirilmiş bir fiber kompozit yapı kullanılır. Böylece vericiler gibi cihazlar bağlandığında ayrı kablo ihtiyacı ortadan kalkar. Kompozitin herhangi bir katmanına voltaj uygulandığında elektrik enerjisi elektrikli cihazlara iletiildiği için kablo karmaşası ortadan kalkar (United States Patent No. US 8903311, 2014). (Maryanka vd., 2014).

2.2.2. Havacılık Uygulamaları

2.2.2.1. Uçak frenleri

Uçaklarda yüksek sıcaklığa maruz kalan egzoz nozülü gibi parçalarda, seramik matrisli kompozitler tercih edilir. Bu malzemelerin yanı sıra, yüksek sürtünme katsayısı, uzun ömür ve oksidasyon vb. çevresel koşullara dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması nedeniyle, karbon fiber takviyeli silisyum karbür, 1200°C'ye kadar ulaşabilen sıcaklıklarda çalışan uçak frenlerinde kullanılır (Fan vd., 2016).

2.2.2.2. Uçak yapısı

Havacılık yapılarında kullanılan malzemelerin çok önemli iki özelliği karşılaması gerekir. Uçaklar, yüksek irtifalarda çok soğuk ve iniş sırasında çok sıcak ortamlara maruz kaldıklarından geniş sıcaklık değişimlerine dayanabilmeli ve kullanılan malzemeler bu sıcaklık değişimlerinden etkilenmeden sahip oldukları fiziksel ve mekanik özelliklerini korumalıdır. Uçaklarda hasar kaçınılmaz bir durumdur. Malzeme, küçük hasarlara maruz kaldığında kırılmadan ya da aşırı derecede zayıflamadan uçuşa devam edebilecek toleransa sahip olmalıdır. Bu özellikleri karşılayabilmek adına, havacılık mühendisliğinde geleneksel alüminyum alaşımlarının yerini giderek polimer matris kompozitler almaktadır. Polimer matris kompozitler, geleneksel alaşımlara göre daha yüksek mukavemet ve esneklik sunmaktadır (Katnam vd., 2013; Sharma vd., 2019).

2.2.2.3. Gaz türbini

Gaz türbini geliştirmede, entegre dokuma seramik matris kompozitleri kullanarak hem yanma odası giriş sıcaklığını artırmak hem de yanma odası gömlek soğutması için gerekli soğutucu gaz miktarını en aza indirmek mümkündür. Bu çok delikli soğutmalı seramik matris kompozitleri, önemli bir yanma kazanımı sağlar (Yvon ve Carre, 2009; Zhong ve Brown, 2009).

2.2.2.4. Uçak koltuğu

Çok katmanlı polimer ve titanyum dioksit (TiO₂) kompozitleri, foto-oksidasyon ve kir tutmama işlevlerini bir arada sunan çift etkili kendi kendini temizleme yeteneği taşır. Bu özellikleri sayesinde, malzeme uçak koltukları ve halı kumaşlarında tercih edilmektedir. (Soliveri vd., 2015).

2.2.3. Diğer Mühendislik Uygulamaları

2.2.3.1. Isı eşanjörleri

Havanın sıcak ve nemli olduğu bölgelerde, sıvı-gaz ısı eşanjörleri soğutma amacıyla kullanılır. Bu eşanjörler, geri dönüştürülmüş hava akımında ısı ve nemi transfer etmek için gözenekli seramik kompozit malzemelerden faydalanır. Gözenekli seramik borulardaki su, havayı soğutur. Aynı zamanda kışın ise besleme havasını nemlendirmek için de kullanılabilir (Sommers vd., 2010).

2.2.3.2. Denizcilik

Gemi pervaneleri yüksek yük ve titreşimlere maruz kalır. Dönen makine parçaları olduklarından dinamik yüklere, eğilmeye, eksenel ve merkezkaç kuvvetlerine maruz kalırlar. Alüminyum, paslanmaz döküm çelik alaşımları, alüminyum bronz ve mangan bronz, geleneksel olarak pervane yapımında kullanılan malzemelerdi. Ancak, bu malzemelerin korozyon, kavitasyon, galvanik hücre oluşumu ve dolayısıyla yüksek bakım maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktaydı. Bu nedenlerden ötürü, günümüzde pervane malzemesi olarak karbon fiber takviyeli plastik tercih edilmeye başlanmıştır. Bu malzeme, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, geliştirilmiş yorulma özellikleri, deniz ortamında korozyona dayanıklılık, yüksek ısı direnci ve düşük bakım maliyetleri gibi avantajlar sunmaktadır (Young, 2008; Kumar vd., 2019).

Gemi gövdesi ve deniz taşıtları için sandviç kompozit paneller tercih edilir. Bu paneller, polimerik bir çekirdek üzerine kaplanmış cam veya karbon esaslı dış cidarlardan oluşur. Kompozit malzemeler hafiflikleri, hızlı üretim olanakları, yüksek dayanıklılıkları ve uzun ömürleri sayesinde denizcilik sektöründe sayısız uygulama alanı bulmaktadır. Karbon nanotüp içerikli epoksi esaslı kompozitler, denizcilik sektöründe en çok tercih edilen kompozit çeşididir (Vincenzo Fiore vd., 2011).

2.2.3.3. Deniz yapıları

Denize maruz kalan tüm metal, alaşım veya kompozitlerin mekanik özellikleri zamanla kötüleşir, yani zayıflar. Düz cam ve karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerle karşılaştırıldığında, hibrit kompozitlerin (GCG₂C)_s su tutma eğilimi düşüktür. Ayrıca hibrit kompozitler, normal cam elyaf takviyeli plastik kompozitlere göre mekanik özelliklerini daha iyi korur. Hibrit kompozitler (GCG₂C)_s, en düşük su emilimini ve 462 MPa gibi en yüksek eğilme mukavemetini gösterir. Bu özellik, gemi gövdelerinin, çerçevelerin ve diğer deniz yapılarının üretiminde faydalıdır (Davies ve Rajapakse, 2014; Jesthi ve Nayak, 2019).

2.2.3.4. Radyasyona dayanıklı malzemeler

Bazalt lifleri, nükleer radyasyonu emme özelliğine sahip değildir. Bu sebeple, radyoaktif nükleer maddelerin nakliyesi ve saklanması tercih edilirler. Ayrıca bazalt esaslı geokompozitler, nükleer atık depolama alanlarında radyasyon geçirmez koruyucu kapaklar olarak uygulama alanı bulur ve yüzey altındaki nükleer atıkların yüzeye çıkmasını yüzyıllar boyunca önler (Baştürk vd., 2014; Liv vd., 2017).

2.2.3.5. Harç

Çimento matrisli harçlara takviye olarak doğranmış bazalt lifleri eklenerek üretilen yeni nesil harçlar, birçok açıdan geleneksel harçlara göre önemli avantajlar sunar. Bu lif takviyeli harçlar, yüksek mukavemet, artan kırılma esnekliği, tekrarlanan darbelere karşı direnç, geliştirilmiş stabilite, kurumadan kaynaklanan büzülmenin azalması, artan tokluk ve ısıl-kimyasal etkenlere karşı direnç gibi üstün özellikler gösterir. Bu sayede bazalt lif takviyeli harçlar, inşaat sektöründe öncü uygulamalara imkan tanımaktadır (Ralegaonkar vd., 2018).

2.2.3.6. Bisiklet kadrosu

Bisiklet kadrosunun maliyetinin yüksek olması ve darbeye karşı dayanıklılığının düşük olması gibi dezavantajları aşmak için, karbon fiber atık doğal keten lifleri ile hibritleştirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Keten, alüminyum, karbon fiber, titanyum ve çelik ile kıyaslandığında daha üstün sönümleme özelliğine sahiptir. Yaklaşık %70 keten lifi ve %30 karbon fiberden oluşan prototip bir bisiklet kadrosu yaklaşık 2,1 kg ağırlığındadır (Amiri vd., 2017).

2.3. Alüminyum Matrisli Kompozitler (AMK)

Alüminyum matrisli kompozitler (AMK), yüksek performanslı ve düşük yoğunluğa sahip malzemelerdir. Takviye malzemesi, alüminyum matrisli kompozitlerde fiberler ve partiküller olarak hacim oranların %70'e kadar çıkabilir, Endüstride alüminyum matrisli kompozitlerden istenilen özellikler matris bileşimi, takviye ve üretim yöntemi değiştirilerek elde edilebilmektedir. Son dönemlerde, alüminyum matrisli kompozitler, yüksek teknoloji gerektiren yapısal ve işlevsel uygulamalarda uzay, otomotiv, savunma sanayi, spor ve eğlence sektörlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Surappa, 2003).

Alüminyum matrisli kompozitlerin, takviye katılmamış malzemeye göre üstünlükleri şunlardır:

- Dayanım oranının yüksekliği

- Düşük yoğunluk (ağırlık)
- Yüksek rijitlik (stiffness-bükülmezlik)
- İstenilen yüksek sıcaklık özellikleri
- Geliştirilmiş ısı genleşme katsayısı
- Yüksek sönümlenme yeteneği
- Geliştirilmiş elektriksel performans
- Aşınma direncinin yüksekliği
- Yığın kontrolü (piston hareketli uygulamalarda)
- Termal/ısı yönetimi

Çeşitli mühendislik alanlarında, alüminyum matrisli kompozitlerin kullanımı hem yapısal hem de yapısal olmayan fonksiyonel uygulamalarda yaygın olarak görülmektedir. Alüminyum matrisli kompozitlerin tercih edilme sebepleri arasında performans, ekonomik ve çevresel avantajlar öne çıkmaktadır. Bu materyallerin tasarımda kullanılmasının sağladığı avantajlar, yakıt tüketimini, gürültüyü ve atmosfere salınan emisyon gazlarını azaltmasıdır. Bu sektördeki kullanımın zamanla artması beklenmektedir (Surappa, 2003).

2.3. Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozitin üretim yöntemi, matris ve takviye malzemeleri kadar önemli hatta bazen daha önemlidir. Aynı matris ve takviye elemanını kullanarak farklı üretim yöntemleri ile üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri birbirinden farklı olacağından kullanılacak üretim yöntemi, üretilecek kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Seçilecek matris ve takviye elemanı ise özgül mukavemet, yoğunluk gibi birçok konuda belirleyici olmaktadır.

Genellikle, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan teknikler, katı hal, sıvı hal ve katı-sıvı hal yöntemleri olarak gruplandırılabilir. Bu yöntemler, matris ve takviye elemanının birleşim şekline göre adlandırılır (Nishida, 2013).

2.3.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

Sıvı hal üretim yöntemleri matrisin ve takviye elemanın her ikisinin de sıvı olduğu yöntemleri içermektedir. Bu yöntemlerden In-Situ tekniği, metal matrisin içine gaz veya toz enjekte edilerek anında takviye elemanının oluşturulduğu bir yöntemdir. Bu yöntemle oluşturulan takviye elemanı kimyasal reaksiyonlarla meydana gelir. Üretilen kompozitler düşük oranda takviye elemanı içermektedirler. Bu yöntem güçlü bir arayüz bağı ve çok

düşük takviye/hacim oranına sahip kompozit üretimine imkan sağlamaktadır (Mortensen vd., 2002).

2.3.2. Katı Hal Üretim Yöntemleri

Bu üretim yönteminde matris malzeme ve takviye elemanı katı haldedir. Toz metalurjisi ve difüzyon katı hal üretimi, en yaygın kullanılan katı hal üretim yöntemleridir.

Toz metalurjisi yönteminde matris ve takviye elemanı toz haldedir. Bu tozlar istenilen takviye/hacim oranlarında homojen biçimde karıştırılır. Homojen şekilde karıştırılan toz karışım kalıp içine konularak preslenir. Presleme işlemi sonrası ön şekil verilmiş ürün elde edilir. Ön şekil verilmiş kompozitin mukavemetinin artırılması için sinterleme işlemi yapılır. Toz Metalurjisi yöntemi kalıp ve presleme işlemi yapıldığından karmaşıktır ve çok büyük parçaların imalatı için uygun değildir, çünkü yüzey alanları değişken olan parçaların üretiminde kuvvet dağılımı dengesiz olabilir ve bu durum problemlere yol açabilir (Lloyd, 1994).

Bir başka katı hal kompozit üretim yöntemi, difüzyon kaynağı olarak bilinir. Bu teknik, matris ve takviye elemanın birleştirilmesini sıcaklık ve basınç etkisi altında gerçekleştirir. Üretim sürecinde kullanılan sıcaklık, basınç ve süre, esas parametrelerdir. Ancak, difüzyon yöntemi uygulanırken sıcaklık ve basıncın uygun şekilde dengelenmemesi, son üründe şekil bozukluklarına neden olabilir (Altinkök, 2014).

2.3.3. Katı-Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

Bu üretim tekniklerinde, matris malzemesi sıvı halde bulunurken takviye elemanı katı formdadır. Katı-Sıvı Hal üretim yöntemlerinden biri de İnfiltrasyon yöntemidir. İnfiltrasyon yöntemi iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi bir hazne içerisine yerleştirilen matris ve takviyeden oluşan toz karışımının içerisine eriyik halde bulunan matrisin basınçla enjekte edilmesi, ikinci yöntemde ise eriyik haldeki matrisin vakumla toz karışımına emdirilmesidir. Nadir de olsa bazı durumlarda eriyik matris yerçekimi etkisi ile toz karışım içerisine emdirilmektedir. Bu teknikte, güçlendirme elemanları genellikle kısa lif veya parçacık formunda bulunur. İnfiltrasyon yöntemleri, basınç uygulama yöntemlerine bağlı olarak adlandırılır. Bu yöntemler arasında gaz basıncıyla infiltrasyon, vakumla infiltrasyon ve basınçsız (gravitif) infiltrasyon bulunur (Totten vd., 2003).

İnfiltrasyon yönteminde basınçlı bir hazne içinde kompozit üretildiğinden genellikle küçük hacimlerde üretim yapılmaktadır. Tüm sistemin yüksek basınca dayanabilmesi, üretimdeki önemli bir gerekliliktir, ancak bu durum maliyetleri artırır. Bu yöntemde takviye/hacim oranı yüksek olan kompozit malzemeler üretilebilmektedir (Ahlatci vd., 2006).

Bir başka katı-sıvı hal üretim tekniği ise ergiyik metal karıştırma tekniğidir. Bu teknikte, matris sıvı haldeyken takviye elemanları katıdır. Takviye elemanları tipik olarak parçacık veya kısa lif formundadır. Temelinde bir karıştırıcı vasıtasıyla ergitilmiş matris içerisine katılan katı haldeki takviye elemanının karıştırılmasına dayanmaktadır. Nihai ürün, katı-sıvı veya sıvı aşamada döküm işlemiyle elde edilen bir kompozit malzemedir. Bu yöntemde orta düzeyde takviye/hacim oranına sahip kompozit malzemeler üretilebilir (Friedrich vd., 2006).

2.4. Toz Metalurjisi Yöntemi

Toz metalurjisi yöntemi, bir karıştırıcı yardımıyla matris malzeme ile takviye elemanı tozlarının homojen şekilde karıştırılması ve daha sonra karıştırılan tozların preslenerek nihai şeklini alması ve sinterlenmesi işlemlerinden oluşur.

Bu metotta, matris ve takviye tamamen katı haldedir, bu nedenle gerekli sıcaklık diğer tekniklere göre daha düşüktür. Bu süreçte, istenmeyen güçlü ara yüzey reaksiyonlarının oluşmaması ve matris ile takviye arasında minimum istenmeyen reaksiyonların gerçekleşmemesi, yöntemin sağladığı avantajdır (Halverson vd., 1989).

Seramik partiküllerin sıvı matris tarafından ıslatılmasındaki zorluklar nedeniyle geliştirilen ilk kompozit üretim yöntemi Toz Metalurjisi Yöntemi'dir. Bu teknikte, takviye elemanı olan partiküller veya whisker'lar alaşım veya metal tozlarıyla karıştırılır. Oluşturulan homojen karışım daha sonra soğuk veya sıcak presleme işlemine tabi tutulur. Soğuk presleme sonrasında, ürünün mukavemetini artırmak için sinterleme işlemi uygulanır. Bu yöntemde takviye elemanı ile matris malzeme arasındaki reaksiyon çok az olduğundan, diğer yöntemlerden daha düşük sıcaklıklar kullanılarak kompozit üretilir. İyi bir mikroyapıya elde etmek için, karışımda bütün parçacıkların homojen şekilde dağılması çok önemlidir (Torralba vd., 2003).

Toz metalurjisi yöntemi, ekonomik açıdan cazip olmasını sağlayan yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların üretimini mümkün kılar. Çeşitli boyutlarda ve şekillerdeki tozlar, hassas, dayanıklı ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülerek işlenir. Bu işlem;

kariştırılan tozların preslenmesiyle şekillendirme sonrası ön şekil verilmiş kompozitin sinterleme yoluyla ısıl bağlanması basamaklarını içerir (Torralba vd., 2003).

2.5. Toz zellikleri ve Karakterizasyonu

Toz metalurjisi yöntemi ile imal edilen kompozitlerin özelliklerini büyük oranda üretimde kullanılan matris ve takviye tozlarının özellikleri belirlemektedir. Bu nedenle kullanılan tozların özellikleri önem taşır. Üretilen kompozitlerin özelliklerin de belirleyici olan tozların boyutu, dağılımı ve yüzey koşulları gibi faktörlerdir. Tozların fiziksel nitelikleri, toz şekli, boyut dağılımı ve spesifik yüzey alanı gibi faktörlerin yanı sıra ham yoğunluk, kalıba dökme sırasında akış davranışı, sıkıştırılabilirlik ve sinterleme sonrası davranışları gibi unsurlar, üretilen kompozitlerin özelliklerini etkiler. Tozların saflığı da son derece kritiktir; içerdikleri yabancı maddelerin seviyesi, bileşenlerin yapı ve durumunu büyük lde etkiler (Sağırlı, 1990).

2.6. Toz Metalurjisi İmalat Safhaları

2.6.1. Tozların Kariştırılması

Karişım işlemi, homojen bir toz dağılımı elde etmek amacıyla gerçekleştirilir. Bu işlem, toz içindeki nemin ve oluşabilecek segregasyonun önlenmesinin temel nedenlerinden biridir. Tozun içindeki fazla nem miktarından oluşabilecek aglomerasyonu ortadan azaltmak için, karişımdan önce düşük sıcaklıklarda kurutma işlemi uygulanabilir (Tan vd., 1998).

Toz metalurjisiyle parça üretimine ilk adımı atan süreç, tozların homojen bir karişım oluşturacak şekilde birbirleriyle iyice entegre edilmesidir. Bu karişımın niteliğini belirleyen faktörlerden biri, tozların boyutu ve şeklidir, ayrıca katkı maddelerinin miktarı da önemlidir. Yağlayıcı eklenerek, n şekillendirme sırasında kalıp ve zımba aşınmaları en aza indirilir, bu da tozun şekillenmesini kolaylaştırır ve üretilen parçaların kalıptan kolayca çıkarılmasını sağlar. Kariştırıcı tipi ve süresi de karişımın kalitesini etkiler. Bilyalı ve atritör değirmenler sıklıkla kariştırıcı olarak kullanılır. Karişım süresi önemlidir ancak belirli bir noktadan sonra etkisini kaybeder, çünkü homojen bir karişım elde edildikten sonra artan süre fayda sağlamaz (Sağırlı, 1990).

2.6.2. Tozların Preslenmesi (Yoğunlaştırma Safhaları)

Tozların preslenmesi, serbest yapıdaki toz parçacıklarının istenilen şekil ve formu alması için yoğunlaştırma işlemi olarak tanımlanabilir. En yaygın preslenme yöntemi, çelik veya sert metal bir kalıp içinde 300-800MPa basınç altında eksenel olarak uygulanan sıkıştırmadır. Preslenen tozlar, kalıptan çıkarılabilir mukavemet seviyesine ulaşırlar. Toz metalurjisi üretim yöntemiyle elde edilen parçanın dayanımı, preslenme ve sinterleme işlemlerinden sonra kazandığı yoğunlukla doğrudan ilişkilidir (Sağırlı, 1990). Presleme esnasında kalıba yerleştirilen tozlar tanecikleri arasında büyük boşluklar vardır. Kalıbı titreştirmek toz partikülleri arasında boşluğu azaltarak, tozlar kalıp içerisinde yoğunluğu artırır ve düzene girmesini sağlar. Bu işleme “paketlenme safhası” denir. Bu safhadan sonra kalıbın içerisindeki tozlar sıkıştırılır. Toz partikülleri, belirli bir basınçtan sonra öncelikle elastik ve daha sonra plastik bir şekil değiştirirler. Şekil değiştirme yeteneği düşük olan tozlar kırılır. Toz taneciklerinin yüzeylerindeki kayma deformasyonu, simetrik ve asimetrik kuvvetlerin etkisiyle meydana gelir. Bu deformasyonlar, toz partiküllerinin birbirlerine kenetlenmesine neden olur. Bu aşama, "elastik ve plastik şekil değiştirme aşaması" olarak adlandırılır. Mekanik kenetlenme sonucunda, toz partiküllerinin birbirlerine temas eden yüzey alanı artar. Sıkıştırma sonucunda partiküller arasındaki adezyon kuvveti artar ve soğuk kaynak oluştururlar (Palacı, 2001). Presleme işlemi tek ya da çift etkili yapılabilir.

2.6.2.1. Tek etkili presleme yöntemi

Alt zımbanın sabit olduğu, üst zımbanın ise hareket ettiği tek etkili presleme yönteminde, tozlar kalıba yerleştirildikten sonra kuvvet yalnızca tek bir yönden uygulanır. Kuvvetin etkisinin en az olduğu kısım genellikle kalıbın ortasında bulunur, bu nedenle bu bölgede yoğunluk düşüktür. En yüksek yoğunluk ise basıncın uygulandığı tarafta, yani üst zımbanın alt yüzeyi ve çevresinde oluşur. Tek etkili preslemenin dezavantajı olarak, bu yöntem genellikle ince ve tek kademeli parçaların imalatında kullanılırken, kalınlığı fazla olan parçalar için uygun değildir (Sağırlı, 1990).

2.6.2.2. Çift etkili presleme

Çift etkili preslemede kalıp sabit, alt ve üst zımba hareketlidir. Bu yöntem ile üretilen parçaların yükseklikleri bir hayli fazla olabilir. Ayrıca ince parçaların üretimini de bu yöntemle gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle üretilen parçaların içinde yoğunluk dağılımının homojene yakındır (Akın, 2006).

2.6.2.3. İzostatik presleme

Bu sistemde sıkıştırma basıncı parçaya bir sıvı ya da gaz yardımıyla uygulanır. Parçaya basınç her yönden ve eşit şekilde uygulanır. Üretilen parçanın her bölgesinde yoğunluk, büzülme miktarı ve mukavemet değeri eşittir (Sağırlı, 1990).

2.6.2.4. Sıcak presleme

Bu teknik, parçaların preslenip sinterlenmesini aynı anda gerçekleştirir. Bu süreçte hem tozlar hem de önceden ön şekillendirilmiş parçalar preslenerek işlenebilir (Akın, 2006).

2.7. Sinterleme

Sinterleme, tozların birbirine bağlanmasını sağlayarak, mukavemetinin artmasını ve mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlayan bir ısıtma işlemidir. Toz metal ve seramik parçalar, mukavemet kazandırmak amacıyla ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle sinterlemeye tabi tutulurlar. Bazı durumlarda az miktarda sıvı faz oluşumu sinterlemeyi kolaylaştırır. Sinterleme, toz metalurjisi yönteminin en önemli üretim süreçlerinden birisidir. Bu işlemde ön şekil verilmiş tozların belli bir süre ve sıcaklıkta birbirlerine bağlanması, koherant bir kütleye dönüşmesi sağlanır (Palacı, 2001). Sinterleme, gözenekli yapıda ön şekillendirme kazandırılmış tozların spesifik yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıtma işlemi olarak tanımlanabilir. Sinterleme, partiküllerin temas yüzeylerini artırır ve atomlar ile iyonlar arasında fiziksel bağlar oluşturur. Bu tür bağ oluşumu, kristal kafes sistemlerindeki güçlü atomik bağlantıya benzer. Eğer sinterleme sıcaklığı malzemenin erime sıcaklığının altında seçilirse, bu "katı faz sinterlemesi" olarak adlandırılır. Bu süreçte yüzeysel taşınma ve buharlaşma yoğunlaşması gerçekleşir. Hacim taşınması ise latis yayılması, tane sınırı yayılması ve plastik akışı içerir. Hacimsel taşınım yoğunlaşmayı sağlarken yüzeysel yayılma, tozlar arasındaki bağları güçlendirir ve kaynaşmayı teşvik eder. Eğer sinterleme sıcaklığı, bileşenlerden en az birinin erime sıcaklığının üzerinde seçilirse, bu durumda "sıvı faz sinterlemesi" adı verilir. Bu süreçte yüksek yoğunluklu parçalar elde edilir (Bakkaloğlu, 2023).

2.8. Son İşlemler

Sinterleme sonrası üretilen kompozitlere istenilen özellikleri kazandırmak için; yapıda oluşan porların doldurulması, tekrar presleme, yağ emdirme, tekrar sinterleme, yüzey sertleştirme, yüzey kaplama gibi işlemler uygulanır (Akın, 2006).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan çalışmada; matris malzeme olarak Al alaşımına, 50-80 μm ve 25-50 μm tane boyutunda silisyum karbür (SiC), %5 - 12 arasında değişen oranlarda ilave edilerek, karıştırılmalı döküm yöntemi ile başarılı şekilde kompozitler üretilmiştir. Uygulanan yük, takviyenin tane boyutu ve hacim oranının değişimi ile yüksek basınçlarda kompozitin abrasiv aşınma değişimi incelenmiştir. Alaşıma ilave edilen takviye miktarının artması ile abrasiv aşınmanın azaldığı görülmüştür. Aşınma testi esnasında uygulanan yük arttıkça abrasiv aşınma miktarının doğrusal oranda arttığını tespit edilmiştir. Abrasiv aşınmanın kritik değerine kadar aşınmanın sabit kaldığı ve kritik abrasiv aşınma değerine ulaşıldıktan sonra aşınmada artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Mondal ve Das, 2005).

Başka bir çalışmada, asbest içermeyen otomotiv fren balataları geliştirmek için deniz salyangozu kabuğu parçacıklarını takviye malzeme olarak kullanmışlardır. Sıkıştırılmalı kalıplama yöntemi ile farklı boyutlarda (710-125 μm) deniz salyangozu kabuğu parçacıkları ve %35 reçine içeren beş kompozit fren balatası üretmişlerdir. Deniz salyangozu kabuğu bazlı fren balatalarının fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemiş ve asbest bazlı fren balataları ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, deniz salyangozu kabuğu parçacık boyutunun 710 μm 'den 125 μm 'ye düşürülmesiyle fren balatası numunelerinin basınç dayanımının, sertliğinin ve yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Aynı zamanda, parçacık boyutunun küçülmesiyle yağ emme, su emme ve aşınma hızının da azaldığı gözlemlenmiştir. 125 μm tane boyutuna sahip deniz salyangozu kabuğu parçacıkları kullanılarak üretilen fren balatası numunesinin ticari fren balataları ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Yawas vd., 2016).

Diğer bir çalışmada, matris malzemesi olarak Al4147 alaşımı seçilmiş takviye elemanı olarak kullanılan, değişen takviye/hacim oranlarında (%10, %15 ve %20) bor karbür (B₄C) ve silisyum karbür (SiC) kullanılarak, sıvı hal üretim yöntemi ile kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin aşınma miktarları ölçüldüğünde, aynı test koşullarında katkısız Al4147 alaşımında abrasiv ve adhesiv aşınma yüksek

miktarlarda gözlemlenirken, B_4C takviyeli kompozit de ise çok az miktarda adhesiv aşınma meydana geldiğini görülmüştür. Silisyum karbürün (SiC) yüksek sıcaklıklarda kompozitin aşınma direncini arttırdığı ve yüksek ısılatılabilirlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer şartlarda aşınma testine tabi tutulan %20 silisyum karbür (SiC) ve %20 bor karbür (B_4C) içeren kompozitlerin aşınma miktarları karşılaştırıldığında %20 bor karbür (B_4C) içeren kompozitin, %20 silisyum karbür (SiC) içeren kompozitten daha çok aşındığı tespit edilmiştir (İpek, 2005).

Benzer bir çalışmada, geleneksel takviye maddelerinin dışında hurma çekirdeği kabuğu kullanılmış, üretilen asbestsiz fren balatalarının üretim süreci incelenmiştir. Hurma çekirdeği kabuğu farklı boyutlarda öğütülmüş ve fren balatası üretiminde reçine, grafit, çelik ve SiC ile birlikte kullanılmıştır. Üretilen fren balatalarının; sertlik, basınç dayanımı, mikroyapı, yoğunluk, ısı direnci, yağ ve su emme kapasiteleri çeşitli testler yapılarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, hurma çekirdeği kabuğunun fren balatası üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Mikroyapısal analizler, hurma çekirdeği kabuğu parçalarının reçine içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını ve bu sayede balatanın dayanıklılığını artırdığını ortaya koymuştur. Daha küçük tane boyutuna sahip takviye kullanımı, fren balatalarının özelliklerinin iyileşmesine yol açmıştır. 100µm tane boyutuna sahip hurma çekirdeği kabuğu ile üretilen balatalar, en iyi sonuçları vermiştir (Elakhame vd., 2014).

Yapılan başka bir çalışmada, matris malzemesi olarak 150µm tane büyüklüğüne sahip saf alüminyum, takviye elemanı olarak ise sırasıyla 40µm ve 30µm tane büyüklüklerine sahip alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum karbür (SiC) kullanmıştır. Kompozitlerin imalatı, toz metalurjisi yöntemiyle çeşitli bileşim oranlarında gerçekleştirilmiştir. Takviye/hacim oranındaki artış, mekanik dayanıklılığın azalmasına yol açarken, sertlikte bir yükselme meydana getirmiştir. Yağlayıcı kullanılarak yapılan aşınma testlerinde ise aşınmanın neredeyse hiç olmadığı gözlemlenmiştir (Hiçyılmaz, 1999).

Başka bir araştırmada, %6 bor oksit ve %7 fındık kabuğu tozu içeren asbestsiz kompozit fren balatalarının yanı sıra, on yedi farklı bileşen de kullanılarak üretim yapılmıştır. Yapılan testlerde, üretilen numunelerin sertlik, gözeneklilik, sıkıştırılabilirlik, kesme ve aşınma özellikleri incelenmiş ve bu sonuçlar ticari fren balatalarıyla karşılaştırılmıştır. Fındık kabuğu ve bor oksit katkılı deneysel numunelerin sertlik değerlerinin ticari numunelerle benzer veya daha yüksek olduğu, ısıl iletkenlik değerlerinin ise uluslararası standartlara uyduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüleri

incelendiğinde, takviyenin, matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını göstermiştir. Her üç tip fren balatası da sürekli dalgalanan sürtünme katsayıları eğilimi gösterse de fındık kabuğuyla güçlendirilmiş balataların yapısının daha sert olması nedeniyle sürtünme katsayısının en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra yüzey pürüzlülüğü yüksek olan numunelerin daha yüksek sürtünme katsayılarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak fındık kabuğu ve bor oksit katkılı fren balatalarının, ticari balatalarla mukayese edildiğinde eşit veya daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir (Akıncıoğlu vd., 2018).

Yapılan bir başka çalışmada ise; matris olarak magnezyum kullanılırken, silisyum karbür (SiC) takviye elemanı olarak kullanılmış ve üretilen kompozitlerin aşınma miktarları ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Aşınma deneyleri 10N ve 30N yük altında, 0,2m/s ve 5m/s kayma hızlarında, pin-on disk cihazında gerçekleştirilirken, aşındırıcı olarak sertleştirilmiş takım çeliği kullanmıştır. Aşınma testi sonrasında kompozitin mikro yapısını incelediklerinde tabakalaşma, oksitlenme, abrasiv, adhesiv ve erime aşınma mekanizmalarının aşınma da etkili olduğu belirlenmiştir. Silisyum karbür (SiC) ile güçlendirilmiş kompozitlerin düşük yükler altında oldukça yüksek aşınma direncine sahip olduğunu, ancak yük arttıkça bu kompozitlerin aşınma miktarının da arttığını belirtmişlerdir (Lim vd., 2003).

Başka bir çalışmada asbest ve fenolik reçineyi (fenol formaldehit) bağlayıcı olarak kullanmak yerine %5 ile %30 arasında değişen oranlarda karbonize edilmiş muz kabuğu kullanarak yeni bir fren balatası üretilmiştir. Üretilen fren balatalarının morfolojisi, fiziksel, mekanik ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, muz kabuğu oranı arttıkça fren balatasının basınç dayanımının, sertliğinin ve özgül ağırlığının da arttığını göstermiştir. Aynı zamanda, muz kabuğu oranı arttıkça yağ ile ıslatma, su ile ıslatma, aşınma oranı ve kömürleşme yüzdesinin de azaldığı gözlemlenmiştir. En iyi sonuçlara %25 ve %30 oranlarında karbonize muz kabuğu ile takviye edilmiş numunelerde ulaşılmıştır. Bu araştırma, muz kabuğu parçacıklarının fren balatası üretiminde asbest ve fenolik reçineye alternatif olarak kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur (İdris vd., 2015).

Bu çalışmada ise; Alüminyum matrisli silisyum karbür (SiC) takviyeli kompozitler basınçlı vorteks metoduyla üretilmiş ve silisyum karbürün (SiC) tane büyüklüğü ile takviye/hacim oranının, kompozitin gözenekliliği ve aşınma direncine etkileri incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin gözenek miktarlarının düşük olduğu, takviye/hacim oranının artması ve takviyenin tane büyüklüğünün azalmasının kompozitin gözenek

miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Kuru ve sulu kayma şartlarında pin-on disk yöntemi ile aşındırıcı olarak rulman çeliği kullanılarak yapılan aşınma testlerinde, kompozitin aşınma direncinin alüminyum alaşımına göre yüksek olduğu ve takviye/hacim oranı ve tane boyutunun artması ile arttığı bildirilmiştir (Özdin, 2006).

Diğer bir çalışmada, deniz ürünlerinden çıkan atıklardan biri olan yengeç kabuğunu kullanarak fren balatalarını geliştirmeye yönelik bir çalışma yapılmış ve üç farklı fren balatası üretilmiştir. Fren balatası üretiminde yengeç kabuğu tozu, kimyasal veya ısıtılmış işlem görmüş şekilde kullanılarak 2 farklı balata üretilmiş, kontrol grubunda üretilen fren balatasında ise yengeç kabuğu tozu kullanılmamıştır. Geliştirilen fren balataları, endüstriyel standartlara göre fiziksel, kimyasal, termal ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Kimyasal işlem görmüş yengeç kabuğu tozu içeren fren balataları, diğerlerine göre daha yüksek aşınma direncine sahipken, ısıtılmış işlem görmüş yengeç kabuğu tozu içeren fren balataları ise daha iyi termal kararlılık göstermiştir. Sonuç olarak; yengeç kabuğu tozunun, fren balatalarında dolgu maddesi olarak etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve deniz ürünlerinden çıkan atıkların değerlendirilmesi ve yenilikçi ürünlere dönüştürülmesinin mümkün olduğu bildirilmiştir (Singaravelu vd., 2019).

Bir başka araştırmada, ağırlıkça %10 ile %20 arasında değişen oranlarda ve farklı tane büyüklüklerine sahip silisyum karbür (SiC) ile güçlendirilmiş alüminyum alaşım matrisli kompozitler, inert gaz altında sıkıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Silisyum karbür (SiC) eklenirken karıştırma işlemi grafit çubuk kullanılarak yapılmıştır. Mikroskobik incelemeler, yoğunluk, sertlik ve gözenek ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemenin iç yapısı incelendiğinde, homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Takviyenin tane büyüklüğü küçüldükçe yoğunluğun azaldığı, buna karşılık gözenek miktarının arttığı, tane büyüklüğü arttıkça ise gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan tüm testlerde kesme hızındaki artışın takım ömrünü azalttığı belirlenmiştir. Kesme takımları arasındaki deneylerde, Al_2O_3 kaplı takımın aşınma direncinin, SiC takviyeli kompozitin işlenmesinde, kırıcı çentiği olmayan takımlardan daha üstün olduğu bulunmuştur (Şahin, 2003).

Yapılan diğer bir çalışmada, asbest yerine atık madde olan yumurta kabuğu parçaları ve bağlayıcı olarak Arap zıncı kullanarak çevre dostu fren balataları üretilmiş ve özelliklerini incelemiştirler. Farklı oranlarda Arap zıncı (ağırlıkça %3 ila %18) içeren fren balatası formülasyonları hazırlanmıştır. Yumurta kabuğu parçaları ve Arap zıncı karıştırılarak fren balataları üretilmiştir. Arap zıncı oranının artmasıyla birlikte, basınç dayanımı, sertlik ve yoğunluk artmıştır. Yağ emme, su emme ve aşınma hızı ise

azalmıştır. Ağırlıkça %18 Arap zımkı içeren balata formülasyonu en iyi özellikleri vermiştir. Bu formülasyonun, ticari fren balataları ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Edokpia vd., 2014).

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Al6061

Al6061 alaşımı yüksek mukavemet ve tokluk, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde otomobil, havacılık ve uzay sektöründe çokça kullanılmaktadır (Tandoğan, 2009). Kullanım açısından Al6061 alaşımı, Al2024 ve Al1100 (Saf Alüminyum) alaşımlarına kıyasla endüstride daha fazla kullanılmaktadır. Al2024 alaşımı yüksek mukavemet değerine sahip, Al1100 alaşımı ise üstün darbe dayanımına sahiptir. Al6061 ise iyi bir mukavemet ve tokluk kombinasyonu ile korozyon direncine sahiptir. Al6061 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de ve elektriksel ve ısı özellikleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir (Schwartz, 1997).

Dişli çarklar, kamyon yayları, sürünmeye dirençli manyetik malzemeler, nükleer reaktörler, elektrik kontak malzemeleri ve deniz araçları yapımında da Al6061 alaşımları tercih edilmektedir (Gui ve Kang, 2000).

Çizelge 4.1. Al6061 alaşımının kimyasal bileşimi (URL-1, 2023)

Bileşen	Al	Cu	Cr	Mg	Si	Mn	Fe	Ti	Zn
Ağırlıkça (%)	95,8 98,6	0.15 0.4	0.04 0.35	0.8 1.2	0.4 0.8	Max 0.15	Max 0.7	Max. 0.15	Max 0.25

Al6061 alaşımında yer alan çeşitli alaşım elementleri ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Demir (Fe), belirli alaşımlarda düşük miktarlarda kullanıldığında, bu alaşımların sertlik ve dayanıklılığını artırır ve dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. Ancak, demir alüminyum alaşımlarında kırılganlığı artırdığı için bu tür uygulamalarda kullanılmaması tavsiye edilir.
- Bakır (Cu), %12'ye kadar alüminyuma eklendiğinde, dayanıklılığını artırır, ancak

daha yüksek oranlarda gevrekliğe neden olur. Yüksek sıcaklıklarda işlenebilirlik özelliğini yükseltir. %4-6 arasında ilave edildiğinde, yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Bununla birlikte, döküm sürecini zorlaştırır ve gerilim yenimini azaltır.

- Silisyum (Si), metalin döküm sırasında akışkanlığını ve aşınma direncini iyileştirirken, aynı zamanda sıcak çatlamaya olan eğilimini de düşürür.
- Magnezyum (Mg), katı çözelti sertleşmesi sağlayarak Al-Si alaşımlarının dayanıklılığını artırır. Ayrıca, bu alaşımlar yüksek korozyon direncine sahiptir.
- Çinko (Zn); İçeriğinde yüksek miktarda çinko bulunan alaşımlar soğuma sırasında çekme ve sıcak çatlama eğilimi gösterir. Çinko, diğer alaşım elementleriyle birlikte kullanıldığında dayanımı büyük ölçüde artırırken, dökülebilirliği olumsuz etkiler. %3'e kadar çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında ise bu etkiler belirgin bir şekilde ortaya çıkmaz.
- Mangan (Mn), demir ile birleştirilerek döküm işlemlerinde iyileştirici bir etkiye sahiptir. Metal alaşımlarının özelliklerini değiştirir, onlara esneklik ve dayanıklılık kazandırırken çekme mukavemetini azaltır.

Çizelge 4.2. Al6061 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri (URL-1, 2023)

Yoğunluk	2,7 g / cc
Sertlik, Vickers	107 HV
Çekme Mukavemeti	310 MPa
Esneklik Modülü	68.9 GPa
Kesme Mukavemeti	207 MPa
Özgül ısı	0,896 J/(g°C)
Akma dayanımı	270 MPa

Çizelge 4.3. Al6061 alaşımının elektriksel ve termal özellikleri (URL-1, 2023)

Elektriksel Direnç	3.99 x10-6 ohm.cm
Termal İletkenlik	167 W / m.K
Erime Noktası	582-652 °C

4.1.2. Oltu Taşı

Oltu Taşı reçine bakımından zengin ağaç fosillerinin uzun yıllar boyunca yeraltında yüksek basınçlara maruz kalmasıyla oluşmuş, siyaha yakın koyu kahverengi bir renktedir. Toprak altında çıkarılırken yumuşak ve işlemeye elverişli olan Oltu taşı havayla temas

ettikçe sertleşen bir yapıya sahiptir. Ayrıca herhangi bir yüzeye sürtündüğünde elektriklenme özelliğine sahiptir. Oltu Taşı organik bir yapıdadır (Kınacı, 2013).

Oltu Taşı çıkarıldıktan sonra bileklik, yüzük, kolye, küpe ve tespih yapımında ve çeşitli eşyalarda süs taşı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca araştırmalar sonucunda Oltu Taşı üzerine altın ve gümüş işlemeciliği de yapıldığı görülmüştür. Fakat en yaygın kullanımı tespih yapımıdır (Alparslan, 2010).

Günümüzde madenden çıkarılıp, nihai ürün elde edilinceye kadar geçen süreçlerde %90'a yakın atık Oltu taşı parçaları ve tozu ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu atıklar değerlendirilmemektedir (Toy vd., 2016). Yapılan araştırmalara göre de bu tip taşlar ülkemizde oldukça fazla çıkmasına rağmen gerek pazarlama aşamasında gerekse hammaddenin doğru kullanılamaması Oltu Taşı sektörünü bitiren en önemli sebeplerin başında gelmektedir (Babalık, 2009). Oltu Taşının ocaktan çıkarılması ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi sektöre yeni bir kaynak oluşturacaktır. Topraktan çıkarılan hammadde sayesinde oluşan süs eşyası üretim sektörü gibi atıklarında başka sektörlerde kullanılması Oltu taşının daha fazla değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Oltu taşı kimyasal özellikler bakımından yüksek karbon içerir. Yöre halkı tarafından yakacak olarak da kullanılabilir. Yapısında yüksek oksijen ve karbon bulunduran Oltu Taşında düşük oranlarda Al, S, K ve Ca içerikleri de bulunmaktadır. Oltu taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir (Bilgin, 2019).

Çizelge 4.4. Oltu Taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Kalkan, 2012)

Kimyasal yapı	C10H16O kehribar asidi
Kristal sistem	Amorf
Sertlik Derecesi	3 mohs
Öz kütle (g/cm ³)	1,5
Karbon oranı	78
H2 (%)	6,72
O2 (%)	0,9
Kül (%)	0,3
Uçucu madde (%)	45,35 (Bochmer), 51,73 (ASTM)
Nem (%)	2,18
Kalori (K.cal/g)	8064

Çizelge 4.4. Oltu Taşının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Kalkan, 2012) (Devam)

Özkütlesi (g/cm ³)	1,25
Bağıl Yoğunluk	1,26

4.1.3. Silisyum Karbür (SiC)

Karbür bileşiklerinden biri olan silisyum karbür, doğada bileşik olarak bulunmaz; ancak, silisyum ve karbon elementleri bol miktarda mevcuttur. Silisyum karbürün ticarileşmesini mümkün kılan özelliklerinden biri, malzemenin olağanüstü sertliğidir. Bu malzeme, çok yüksek sürünme ve aşınma direncine sahiptir ve indirgeyici atmosferlerde erozyon ve kimyasal etkileşimlere karşı üstün bir direnç gösterir. SiC'ün fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.5'te sunulmuştur (Öğünç, 2006).

Bu özellikleri sayesinde, SiC olağanüstü bir ısıl şok direnci gösterir. Isıl iletkenlik, kristal yapı içinde çözünen safsızlıklardan etkilenir. Yüksek saflıkta silisyum karbür elde etmek oldukça zordur. Sinterlenmiş silisyum karbür, seramik malzemeler arasında en dayanıklı olanlardan biridir. Mukavemet, kristal aglomeratlar, aşırı büyüme, uzamış taneler ve porozite gibi kusurlar nedeniyle sınırlanır (Pierson, 1996).

Çizelge 4.5. SiC'ün fiziksel ve mekanik özellikleri (Şen, 2018)

Yoğunluk	3,2 g/cm ³
Maksimum kullanım sıcaklığı	1500°C
Eğme mukavemeti (200°C'de)	450 MPa
Basma mukavemeti (200°C'de)	2650 MPa
Elastik modül	425 GPa
Poission oranı	0,27
Sertlik (HV)	2200
Ergime Sıcaklığı(1atm'de)	~2545 °C'de dekompoze olur .
Isıl İletkenlik	α -SiC : 41,0 W/m.°C, β -SiC : 25,5 W/m.°C
Isıl Genleşme	α -SiC : 5,12 10 ⁻⁶ /°C, β -SiC : 3,810 ⁻⁶ /°C
Dielektrik Sabiti (300K'de)	α -SiC(6H) : 9,66-10,03, β -SiC : 9,72
Elektriksel Direnç	α -SiC : 0,0015-103 Ω .cm, β -SiC : 10 ⁻² -106 Ω .cm
Vickers Sertliği	24,5-28,2 GPa
Elastisite Modülü	441-475 GPa
Kayma Modülü	192 GPa

Silisyum Karbürün Kullanım Alanları

- SiC döküm sektöründe, granül veya briket şeklinde,
- İndüksiyon ocaklarında, dökme demirlerin silisyum ve karbon kaynağı olarak,
- Küresel grafitli dökme demirlerde ön aşılama, gri dökme demirlerde ise aşılama olarak,
- Oksidasyonu önlemek için potalı ocaklarda, hurda ergitilen ocaklarda ise katalizör olarak,
- Çelikhanelerde katalizör ve oksit giderici olarak,
- Ferro alyajların üretiminde verim artırıcı olarak,
- SiC, cürufu oksit halinde bulunan W, Mo ve Mn gibi kıymetli metalleri yeniden eritilmesinde yüzeydeki ısı derecesinin artırılması ve eriyikteki C ve Si oranının ayarlanmasında kullanılır (Şen, 2018).

4.1.4. Alüminyum Nitrür (AlN)

Alüminyum ile azot arasında oluşan bileşiklerden sadece AlN kararlıdır. AlN, yüksek sıcaklıklarda erimez fakat 2300°C'nin üzerinde hızla alüminyum ve azota ayrışır. Yüksek saflıkta olduğunda, AlN renksiz ve yarı saydam bir yapıya sahiptir. Ancak safsızlıkların varlığı çeşitli renklerin absorbe edilmesine neden olmaktadır. Geçiş metalleri, karbon ve diğer metaller alüminyum nitrürün opaklaşmasına yol açmaktadır (Mroz, 1996; Knudsen, 1995).

Malzemelerdeki ısı enerjisinin bir kısmı genişleme yolu ile potansiyel enerjiye, bir kısmı da atomsal titreşimlerle kinetik enerjiye, dönüşmektedir. Atomlar arasındaki bağ kuvvetleri elastik bir yay gibi davranarak titreşimleri atomlar arasında taşırlar. Termoelastik dalgalar biçiminde olan bu kafes titreşimleri, fononlar olarak da bilinir. Metalik malzemelerde ısı iletimine fononların yanı sıra elektronlar da katkıda bulunmaktadır. Termal iletkenliği yüksek malzemeler Çizelge 4.6'da verilmiştir (Onaran, 1999).

Çizelge 4.6. Termal iletkenliği yüksek malzemeler (Weimer, 1997; Baik ve Drew, 1996)

Malzeme	Termal İletkenlik W/m.K	Termal Genleşme Katsayısı $10^{-6}/K$
Elmas	1000-10000	1,2
Ag	410	18

Çizelge 4.6. Termal iletkenliği yüksek malzemeler (Weimer, 1997; Baik ve Drew, 1996) (Devam)

Cu	400	17
SiC	270	3,7
BeO	250	8,0
AlN	100-170	4,5
Si	120	3,2
Al ₂ O ₃	20	7,3

Aynı elementten ya da benzer atomik kütleyle sahip elementlerden oluşan, katı eriyik halindeki atomları veya anyon boşlukları olmayan, kusursuz malzemelerde fonon iletimi daha etkili olmaktadır. AlN, SiC ve B₄C, benzer atomik kütle ve boyuta sahip elementlerden yapıldığı için düşük fonon saçılımı gösterir ve bu nedenle yüksek ısı iletkenliğe sahip seramiklerdir. Örneğin, ZrO₂, ağır Zr atomu ile hafif O atomunun birleşimi nedeniyle uyumsuz kafes titreşimleri oluşturur, bu yüzden daha düşük ısı iletkenliği vardır (Lee ve Rainford, 1994).

Al₂O₃, iyi mekanik ve elektriksel özellikleri ile maliyetinin düşük olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanılan elektronik altlık malzemesidir. Ancak silisyuma göre yüksek ısı iletkenliği ve düşük termal iletkenliği nedeniyle ileri entegre devreler için yeterli gereksinimleri karşılayamamaktadır. Yüksek termal iletkenliğine sahip bir başka malzeme olan berilyum oksitinin olumsuz özellikleri de yüksek ısı iletkenliği ve çok toksik olmasıdır (Baik ve Drew, 1996).

Yüksek termal iletkenlik, silisyuma benzer termal genleşme katsayısı, mükemmel elektriksel yalıtım ve uygun mekanik özellikler nedeniyle, alüminyum nitrür (AlN) alternatif bir malzeme olarak kendini göstermiştir (Chen vd., 1994). Alüminyum nitrürün özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Alüminyum nitrürün özellikleri (Weimer, 1997)

Yoğunluk	3,26 kg/m ³
Ayrışma Sıcaklığı, K	2572 (~2300 °C)
Lineer Genleşme Katsayısı, 10 ⁻⁶ /K	5
Termal İletkenlik, W/(m K)	180
Elektriksel Direnç, 10 ⁸ ohm.m	>1019

Çizelge 4.7. Alüminyum nitrürün özellikleri (Weimer, 1997) (Devam)

Elastik modül	320 GPa
1 N yükte mikrosertlik	15,3 GPa
Eğme Mukavemeti	320 MPa
Basma Mukavemeti	3,8 GPa

4.2. Aletler ve Cihazlar

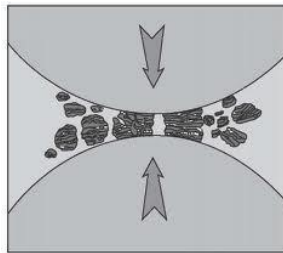
4.2.1. Bilyalı Değirmen ve Sarma Cihazı

Bilyalı değirmen, (Şekil 4.1) farklı çaplarda çelik bilyaların öğütücü olarak kullanıldığı; madenleri, seramikleri ve toz karışımları öğütürerek daha küçük tane boyutu elde etmek için kullanılan bir cihazdır.



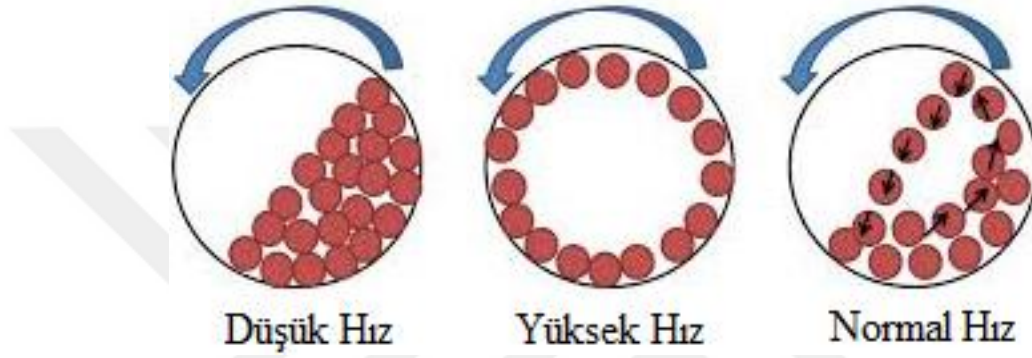
Şekil 4.1. Bilyalı değirmen

Öğütme işlemi bir eksen etrafında elektrik motoru tahriki ile dönen silindirik metal bir kap ile çelikten yapılmış öğütme topları yardımı ile gerçekleştirilir. Öğütme işlemi, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi toprak, numune ve öğütme kabı duvarı arasındaki etkileşim sonucunda gerçekleşir. Genel olarak küçük çaplı öğütme topları ve uzun öğütme süresi ile parçacık boyutunun küçülmesi sağlanır (Suryanarayana, 2001).



Şekil 4.2. Öğütme işleminin şematik gösterimi (Suryanarayana, 2001).

Bilyalı değirmende öğütme esnasında silindirik kabın dönme hızı çok önemlidir. Düşük devirlerde bilyalar silindirik kabın en üst noktasına ulaşamadıkları için yerçekimi etkisiyle düşemeyeceklerinden öğütme işlemini gerçekleştiremezler. Yüksek devirlerde de merkezkaç kuvvetinin etkisi ile bilyalar silindirik kabın yüzeyine yapışacak ve öğütme işlemini gerçekleştiremeyeceklerdir. Öğütme işleminin gerçekleşebilmesi için dönme hızının, hem bilyaların üst noktaya ulaşabilecekleri kadar yüksek hem de kabın duvarına yapışmayacakları kadar düşük seçilmesi gerekmektedir. Öğütme işleminde çeşitli hızlarda bilya hareketlerinin şematik gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Öğütme işleminde çeşitli hızlarda bilya hareketlerinin şematik gösterimi

Bu tez çalışmasında kullanılan bilyalı değirmene ait teknik özellikler Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Laboratuvar tipi LB220 model bilyalı değirmenin teknik özellikleri

Değirmen Silindirleri	3 lt kapasiteli
Motor Gücü	1.5 HP-900d/d-380V.
Dönme Hızı	0-300dev/dak.
Hız Kontrol ünitesi	Monofaze 220 V
Öğütücü Bilyalar	20 KG CrNi Esaslı



Şekil 4.4. Kullanılan Bilyalı Değirmen

4.2.2. Sarsma Cihazı

Bilyalı değirmende öğütülen tozların, kompozit üretiminde kullanılan tane büyüklüklerinde ayrıştırılması için Sieve Shaker ANALYSETTE 3 PRO model sarsma cihazı kullanılmıştır. Sarsma cihazına ait teknik özellikler Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Sieve Shaker ANALYSETTE 3 PRO model sarsma cihazı teknik özellikleri

Elek çapları	100 mm, 200 mm veya 8" Maksimum elek sayısı: 10 x 50 mm (tam) veya 16 x 25 mm (yarım) yükseklikte
Elekler	Örgülü metal elekler
Ölçüm aralığı	20µm - 100µm
Numune miktarı	2 kg'a kadar (kullanılan numune malzemesine ve eleğe bağlı olarak)
Eleme süresi	3 ila 20 dakika
Güç kaynağı	100-240 V/1~, 50-60 Hz, 50 W
Boyutlar (G x D x Y)	370 x 400 x 200 mm
Net ağırlık	21 kg



Şekil 4.5. Sieve Shaker ANALYSETTE 3 PRO sarsma cihazı ve elekler

4.2.3. Hassas Terazı

Kompozit üretiminde kullanılan 63µm ila 75µm aralığında tane büyüklüğüne sahip tozlar, deney tasarımında belirlenen ağırlıkça yüzdelere uygun olarak hassas terazide tartılmıştır. Tartım 1/1000 hassasiyette yapılmıştır. Kullanılan hassas terazi Ohaus marka PA214C modeldir. Hassas teraziye ait teknik özellikler Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Ohaus marka PA214C model hassas terazinin teknik özellikleri

Kapasite	210 gr
Hassasiyet	0.0001 gr
Tekrarlanabilirlik	0.0001 gr
Doğrusallık	±0.3
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10 °C... 40 °C
Çalışma Nem Aralığı	10... 80% RH
Kalibrasyon	Dahili
Dara Aralığı	1
Stabilizasyon Zamanı	3 sn
Tartım Modları	Tartım, parça sayma, yüzde hesabı
Tartım Birimleri	mg, g, ct, oz, dwt, tical, tola, mommes, baht, tahıl, mesghal, newton, ozt
Platform Çapı	90 mm
Terazi Ebatları	19.6 cm x 9.2 cm x 32 cm
Ağırlık	4.5 kg



Şekil 4.6. Ohaus PA214C hassas terazi

4.2.4. Hidrolik Pres ve Pres Kalıpları

Hazırlanan toz karışımlarının sıkıştırılması işlemi için, 50 ton kapasiteli Hidrokar marka atölye tipi hidrolik pres kullanılmıştır. Kompozitler 450MPa basınç değeri kullanılarak üretilmiştir.

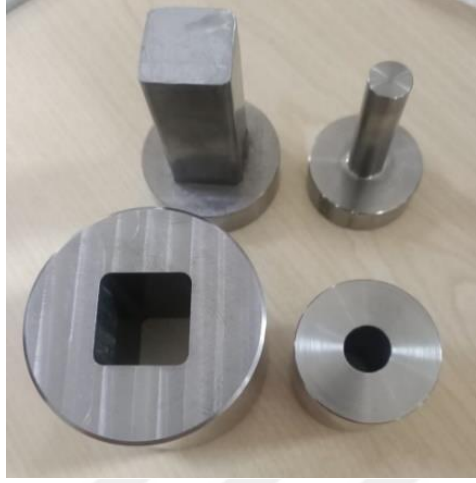


Şekil 4.7. 50 ton kapasiteli hidrolik pres

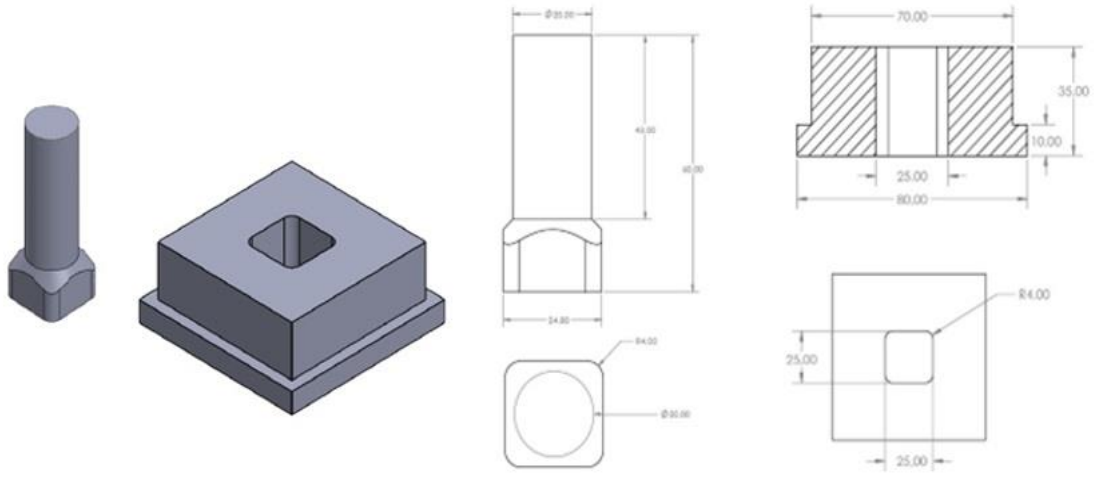
4.2.4.1 Pres kalıpları

Tozların preslenmesinde kullanılacak kalıplar AISI A serisi takım çeliğinden iki farklı geometride imal edildi. Aşınma ve sertlik ölçümlerinde kullanılacak numunelerin üretimi için 25mmx25mm ölçülerine sahip kare kalıp üretilirken, ısıl özelliklerin

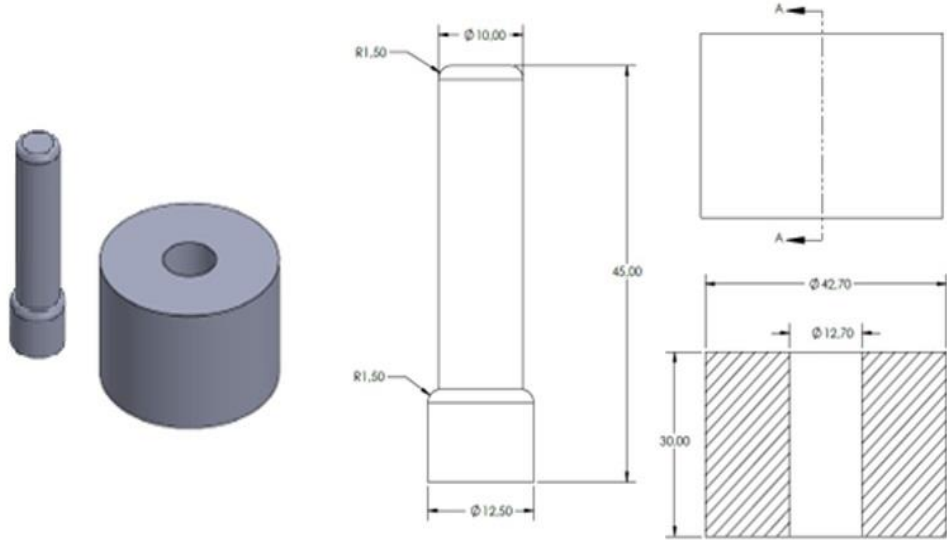
belirlenmesinde kullanılacak numunelerin hazırlanması için 12.7mm çapında dairesel kalıp imal edildi. Hidrolik pres kalıpları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Hidrolik pres kalıpları



Şekil 4.9. Aşınma ve sertlik numuneleri için pres kalıpları



Şekil 4.10. Isıl özellik numuneleri için pres kalıpları

4.2.5. Tav Fırını (Isıl işlem Fırını (Protherm PLF 110/45))

Isıl işlem, esasen malzemelerin belirli sıcaklık aralıklarında dikkatlice ısıtılıp ardından soğutulması sürecidir. Bu süreç sayesinde, malzemelerde çeşitli içyapılar ve özellikler oluşturulabilir. Genellikle, malzemelere tavlama ve sertleştirme gibi ısıtılma işlemler uygulanarak arzu edilen nitelikler kazandırılmaktadır. Presleme işlemi ile ön şekil verilmiş kompozit numuneler oldukça kırılgan olduklarından tav fırınlarında sinterleme işlemine tabi tutulurlar. Bu işlemde numuneler Protherm marka PLF 110/45 model tav fırınında 660°C’de 360dk sinterleme işlemine tabi tutulduktan sonra havada soğutuldu. Kullanılan tav fırınına ait teknik özellikler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Protherm marka PLF 110/45 model tav fırını teknik özellikleri

İç ölçüleri	30 cm x 30 cm x 50 cm
Hacim	45 Lt
Maksimum sıcaklık	1100 °C
Maksimum sıcaklığa çıkış süresi	60 dak
Maksimum güç	6 kW
Sıcaklık sapması	± 2 °C



Şekil 4.11. Protherm marka PLF 110/45 model tav fırını

4.3. Yöntem

Bu tez çalışmasında, toz metalürjisi yöntemi ile matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, takviye elemanı olarak Oltu taşı, silisyum karbür (SiC) ve alüminyum nitrür (AlN) kullanılarak alüminyum esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen parçaların mekanik, tribolojik, mikro yapı ve ısı iletimi özellikleri incelenmiştir. Üretim süreci; bilyalı değirmende öğütme, sarsma makinası ile elek analizi yaparak boyutlandırma, mekanik karıştırıcı ile karıştırma, presleme, sinterleme, sertlik ölçümü aşınma ölçümü, mikroyapı analizleri ve ısı iletimi ölçümü gibi işlemlerden oluşmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan 75µm aralığında tane büyüklüklerine sahip Al6061 alaşımı tozu, silisyum karbür (SiC) tozu ve alüminyum nitrür (AlN) tozu Nanokar Kimyevi Maddeler San.ve Tic. Ltd. Şti. firmasından, takviye elemanı olarak kullanılan Oltu taşı ise Erzurum ilinin Oltu ilçesinde bulunan taş işlemeciliği alanında faaliyet gösteren atölyelerden atık olarak temin edilmiştir. Oltu taşları SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan LB 220 model CrNi esaslı bilya kullanan bilyalı değirmende 1 saat boyunca öğütülerek toz haline getirilmiştir. Bilyalı değirmende öğütülmüş olan Oltu taşı tozu SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Sieve Shaker marka sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilmiş ve 75µm-63µm tane aralığında olanlar takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.12. Üretilen kompozitlerin ağırlıkça yüzdelik oranları

Numune No	Al6061	SiC	AlN	Oltu Taşı
1	97	3	0	0
2	95	5	0	0
3	93	7	0	0
4	97	0	0	3
5	96	0	0	4
6	95	0	0	5
7	94	0	0	6
8	93	0	0	7
9	92	0	0	8
10	91	0	0	9
11	90	0	0	10
12	87,5	0	0	12,5
13	85	0	0	15
14	82,5	0	0	17,5
15	80	0	0	20
16	92	5	0	3
17	90	5	0	5
18	88	5	0	7
19	92	3	0	5
20	88	7	0	5
21	97	0	3	0
22	95	0	5	0
23	93	0	7	0
24	92	0	5	3
25	90	0	5	5
26	88	0	5	7
27	92	0	3	5
28	88	0	7	5

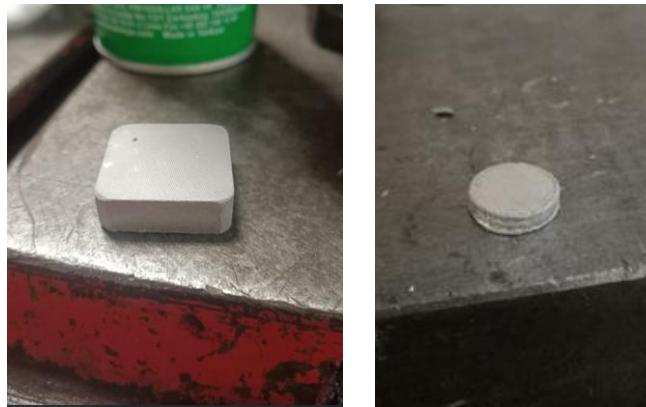
Yukarıdaki tabloda mekanik, tribolojik ve ısı özelliklerini belirlemek için üretilecek kompozitlerin ağırlıkça yüzdelik oranları verilmiştir. Oltu taşı tozu takviyeli

kompozitler %3 ila %20 arasında değişen oranlarda 12 farklı kompozisyonda üretilmiştir. Dünyada ilk kez metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan Oltu taşı tozunun kompozitin mekanik, tribolojik ve ısı özelliklerine etkisi ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Bunun yanı sıra kompozit üretiminde sıklıkla kullanılan SiC ve AlN ikinci takviye elemanı olarak seçilmiş ve Oltu taşı tozunun bu takviye elemanları ile uyumuna odaklanılmıştır.

Elde ettiğimiz Oltu taşı tozu ve piyasadan temin ettiğimiz Al6061 alaşımı tozu, silisyum karbür (SiC) tozu ve alüminyum nitrür (AlN) tozu tabloda belirtilen miktarlarda Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Gıda laboratuvarında bulunan Ohaus marka PA214C model hassas terazide tartılan tozlar, 10dk süre ve 250dev/dk sabit hızda tarafımızdan geliştirilen eksantrik bir aparat vasıtası ile mekanik olarak karıştırıldı. Karıştırılan tozlar, AISI A serisi takım çeliğinden Enelsa Endüstriyel Elektronik fabrikasında iki farklı geometride tasarlanıp imal ettirilen pres kalıplarına yerleştirildi. Aynı fabrikada bulunan Hidrokar marka atölye tipi 50 ton presleme kapasitesine sahip hidrolik preste 450MPa basınçta 1dk süre ile preslenerek ön şekil verilmiş numuneler üretildi.



Şekil 4.12. Tozların preslenmesi



Şekil 4.13. Preste basılan numuneler

Preste ön şekil verilmiş numuneler, blok parçalardaki partiküller arası atomik yayınmayla kimyasal bağlanmayı gerçekleştirmek ve böylece blok parçada hedeflenen mukavemet ve yoğunluğa ulaşmak amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM laboratuvarında bulunan Protherm marka PLF 110/45 model tav fırınında (Şekil 4.14) 660°C sıcaklıkta 360dk tutulup ardından havada soğutularak sinterleme işlemine tabi tutuldu. Böylece hedeflenen kompozitler toz metalurjisi kullanılarak başarıyla üretildi.



Şekil 4.14. Tav fırınında sinterleme

Üretilen kompozitler aşınma, sertlik ve ısıl özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra mikro yapı incelemeleri için hazırlandı.

4.4. Deneyler

4.4.1. Sıcak Bakalite Alma

Kalıplama, pratikte sıkça "bakalite alma" olarak bilinir. Bu süreç, sıcak kalıplamanın yanı sıra soğuk kalıplamayı da içerir. Sıcak bakalite almada, bir tank cihaz içerisinde bulunur. İncelenecek örnek, bakalit cihazının tankına yüzeyi aşağıya bakacak şekilde yerleştirilir. Daha sonra sıcak bakalit tozu örneğin üzerine dökülür. Bu aşamada, bakalit tozunun örneğin arka yüzeyini tamamen kapladığından emin olunmalıdır. Tankta yerleştirilen örnek ve bakalit tozları, yaklaşık 150°C sıcaklıkta ve 30 MPa basınç altında belirli bir süre bekletilir, ardından soğutulur ve çıkarılır. Epoksi, akrilik ve bakalit reçineleri gibi maddeler sıcak kalıplama için kullanılabilir. Ancak, en yaygın olarak kullanılan bakalit olduğu için bu işlem "bakalit alımı" olarak adlandırılır. Sıcak bakalite alma işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM Metalografi laboratuvarında bulunan Opal 410 model sıcak bakalite alma cihazı (Şekil 4.15) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.15. Sıcak bakalite alma cihazı

4.4.2. Numune Hazırlama

Sinterleme işleminden sonra numunenin yüzeyi pürüzlüdür. Elektron mikroskopunda mikro yapı incelemeleri, mikro vickers sertlik ölçümleri için son derece düzgün bir yüzeye ihtiyaç vardır. Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi için numune zımparalanmalı ve parlatılmalıdır. Zımparalama ve parlatma işlemleri, aşamalı olarak yürütülür ve her adımda daha ince aşındırıcılar tercih edilir. Bu sayede, her aşamada numunede meydana gelen çizikler ve deformasyonlar en aza indirilir.

Zımparalama işleminin ilk aşamasında, 10µm-100µm aralığında olan yüzey pürüzlülüğü, 1µm'ye kadar indirilebilir. Ardından, numuneye ayna gibi parlak bir yüzey elde etmek için parlatma işlemi uygulanır. Zımparalar, SiC, Al₂O₃ gibi sert ve aşındırıcı tanelerin, suya dayanıklı kağıt veya kumaş üzerine yapıştırılmasıyla üretilir. Zımparaların numaralandırılması, içerdikleri aşındırıcı taneciklerin büyüklüğüne göre (elektron mikroskopundaki taneciklerin sayısına göre) yapılır. Zımpara kağıdının numarası, içerdiği aşındırıcı tanecik sayısı ile ilişkilidir. Tanecik boyutu azaldıkça, bir inç kareye düşen tanecik sayısı artar. Bu nedenle, zımpara numarası arttıkça, aşındırıcı tanecik boyutu küçülür ve zımpara incelir. Numunelerin zımparalama ve parlatma işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM Metalografi Laboratuvarında bulunan Saphir 520 model zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 4.16) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Zımparalama ve parlatma cihazı

4.4.3. Mikroyapı İncelemeleri (SEM)

Elektron taramalı mikroskop, malzemelerin topoğrafik özellikleri ve bileşimleri hakkında bilgi sağlar. Ölçümler, düşük vakum, yüksek vakum ve çevresel SEM (ESEM) gibi üç farklı vakum modunda gerçekleştirilebilir. Bu mikroskop, malzemelerin yüzey morfolojilerini incelemenin yanı sıra element analizi (EDS/EDAX) de yapabilir. Şekil 4.17'de taramalı elektron mikroskopunun (SEM) bir örneği gösterilmiştir.

- FEG teknolojisine sahip bir elektron tabancası bulunmaktadır.
- 1.4 nm çözünürlükte hassas ölçümler yapabilmektedir (SE - HV).
- 14 ile 1.000.000 kat arasında büyütme kapasitesine sahiptir.
- EDS dedektörü ile nokta, çizgi ve haritalama yoluyla element analizi yapabilir.
- İkincil elektron (SE) dedektörü mevcuttur.
- Geri saçılan elektron dedektörü (DBS) bulunmaktadır.
- Geniş alan dedektörü (LFD) ile 10 – 200 Pa aralığında çalışabilmektedir.
- Gaseous ESEM (GSED) dedektörü ile 10 – 4000 Pa basınç aralığında çalışabilir ve nemli örneklerin iletken kaplama gerekmeksizin görüntülenmesini sağlar.
- 20 V – 30 kV aralığında demet hız kesme özelliği (Beam Deceleration) bulunmaktadır.



Şekil 4.17. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

4.4.4. Sertlik Ölçümleri

Vickers sertlik değeri (HV), uygulanan yükün izin piramitsel alanına bölünmesiyle hesaplanır (kgf/mm^2). Geniş bir kullanım alanına sahip olan Vickers deneyi, çok yumuşak ve çok sert malzemeler yerine ince tabakalar için daha uygundur. Vickers sertlik ölçümlerinde elde edilen sayısal değerler 3 HV ile 1500 HV arasında değişir. Deney sonucunda sertliği belirlemek için kare şeklindeki izin köşegenleri hassas bir şekilde ölçülmelidir. Bu ölçüm metalürji mikroskobu ile yapılmaktadır. Numune üzerinde oluşan iz, mikroskop ile ölçüm ekranına aktarılır ve köşegenler arası uzunluklar ölçülerek ortalaması alınır. Hesaplama sertlik değeri kgf cinsinden deney yükü, alan ise mm^2 cinsinden kullanılır (Thelning, 1984).

4.4.4.1 Mikro Vickers sertlik ölçme yöntemi

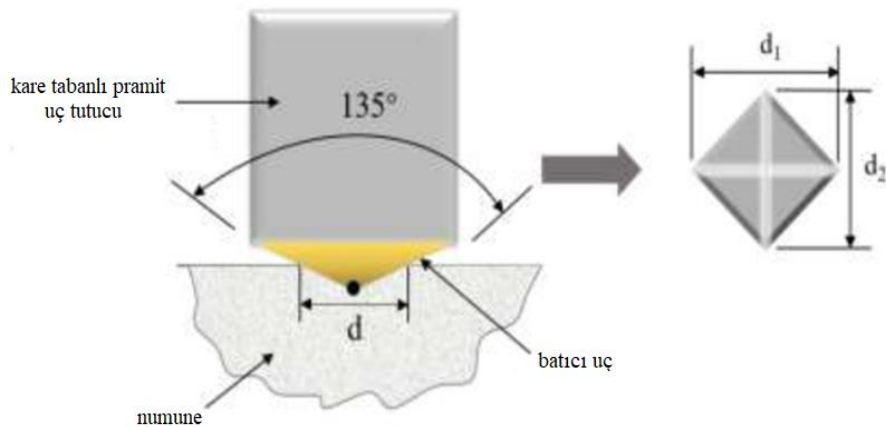
Bu yöntem, özellikle küçük örneklerin ve ince metal levhaların sertlik ölçümleri için uygundur. Sertleştirilmiş veya kaplanmış yüzeylerin sertliği de bu teknikle tespit edilebilir. Ayrıca, malzemenin iç yapısındaki farklı fazların ve bölgelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülebilir. Bu yöntemde batma derinliği genellikle 1 mikronu geçmez. Numunelerin sertlik değerleri Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM Metalografi laboratuvarında bulunan TTS Matsuzawa marka HWMMT-X3 model (Şekil 4.18) sertlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.18. TTS Matsuzawa marka HWMMT-X3 model sertlik ölçüm cihazı

Küçük numunelerin ve ince saç tellerinin sertliklerini ölçmek için bu deney özellikle uygundur. Kaplanmış veya sertleştirilmiş yüzeylerin sertlikleri de bu yöntemle belirlenebilir. Dahası, malzemenin iç yapısındaki farklı fazların ve bölgelerin sertlikleri de bu teknikle ölçülebilir. Tipik olarak, bu yöntemdeki penetrasyon derinliği 1 mikrondan fazla olmaz. Mikrosertlik deneylerinde, tabanı kare olan ve 136 derece tepe açısına sahip piramit bir uç kullanılır.

Mikro sertlik ölçüm cihazı, hassasiyetiyle dikkat çeken bir aygıttır ve otomatik olarak kontrol edilir. Bu cihazın makro sertlik ölçüm cihazlarından farkı, içerdiği komple metal mikroskop sistemidir. Sertlik ölçümü için örnek, mikroskop tablasına yerleştirilir ve tablanın hareketi, net bir görüntü elde edilene kadar ayarlanır. Ardından, sertlik ölçümü yapılacak bölge belirlenir ve otomatik olarak yüklenirken bir düğmeye basılır. Bu süreçle bir iz oluşturulur ve izin boyutları genellikle manuel olarak ayarlanan bir sistem tarafından belirlenir.



Şekil 4.19. Vickers sertlik ölçüm yöntemi

$$VSD = \frac{1.8544 \cdot P}{d^2}, \quad d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1.1)$$

P = uygulanan yük (kgf)

d₁, d₂ = köşegen uzunlukları

Mikro Vickers sertlik ölçümlerinin yapıldığı sertlik ölçüm cihazına ait teknik özellikleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. TTS Matsuzawa marka sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri

Standart Yük	49.03-9807 mN
Opsiyonel Yük	9.807-19.614 mN
Yük Uygulama Hızı	50 µm/sn
Yük Uygulama Süresi	5-99 sn
Maksimum Ölçüm Uzunluğu	250 µm
Maksimum Numune Yüksekliği	120 mm
Maksimum Numune Derinliği	160 mm
Standart Yük	49.03-9807 mN

4.4.5. Aşınma Ölçümleri

Pin-on-Disk yöntemi, sürtünme ve aşınma araştırmalarında kullanılan temel bir deneysel yöntemdir. Bu test, malzemelerin tribolojik davranışını, yani test numunesi ile aşındırıcının kayma veya temas halindeyken nasıl etkileşime girdiklerini incelemek için kullanılır (Andres, 2015; McKeen, 2010). Aşınma ölçümleri için kullanılan bu yöntemde, elektrik motoru ile tahrik edilerek kendi eksenini (y eksenini) etrafında dönen bir tabla üzerine bağlama pabuçları vasıtasıyla bağlanan numunelere y eksenini doğrultusunda aşağı yönde bir aşındırıcı bilya vasıtasıyla 5N değerinde yük, kuru sürtünme şartlarında, sabit yol değerinde uygulanmıştır. Numunenin ilk ağırlığı ile aşınma testi sonrası ağırlığı hassas terazi ile ölçülerek, numunenin ağırlık kaybı hesaplanmış, % olarak ağırlıkça aşınma miktarı tespit edilmiştir. Aşınma testleri, Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM Metalografi Laboratuvarında bulunan UTS Tribometer T20 marka Universal aşınma deney cihazı (Şekil 4.20) kullanılarak yapılmıştır. UTS Tribometer T20 marka universal aşınma deney cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.20. UTS Tribometer T20 marka aşınma deney cihazı

Çizelge 4.14. UTS Tribometer T20 marka universal aşınma deney cihazının teknik özellikleri

Hareket Mekanizması	Lineer (Reciprocating)
Test numuneleri	Test standardına uygun hazır halde gelmelidir.
Kuru ortam maksimum kuvvet	50N
Yağlı ortam maksimum kuvvet	100N
Devir Sayısı	50-500 d/dak
Maksimum tork	400 N.mm
Sürtünme kuvveti ölçüm hassasiyeti	± 0.1 N
Maksimum kayma çapı	100mm
Kayma çapı adımı	0.1 mm
Aşınma derinliği ölçümü	0-5 mm
Bilye çap aralığı	4-6 mm, 8-10mm
Disk çapı ayar aralığı	0-100 mm
Disk kalınlığı ayar aralığı	0.5-25 mm
Test standardı	ASTM G-99
Yazılım	Turquoise2.0
Veri toplama ve işleme hızı	5-20 1/s

4.4.6. Isı İletim Katsayısı Ölçümü

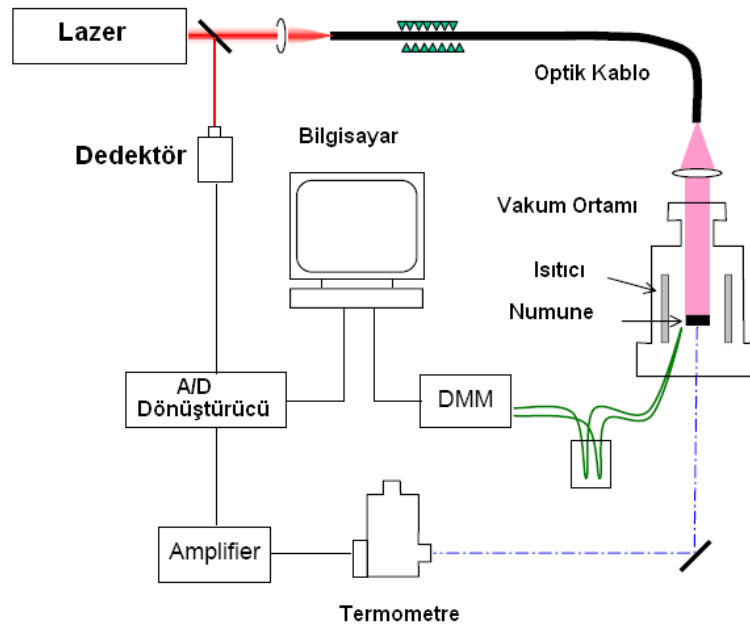
Lazer Flaş yöntemi, yüzey yönüne dik olarak orta ila iyi termal iletken malzemeler (yaklaşık $>0,5$ W/m K) için termal yayılımı ölçmek için en sık kullanılan tekniktir. Bu teknik temelde malzemenin enerjiyi ne kadar iyi aktarabileceğini ölçen bir tekniktir.

Düzlem içi ölçümler, bir "nokta" enerji kaynağı ve arka yüzey boyunca radyal sıcaklık ölçümlerini içeren yöntemin modifikasyonları kullanılarak yapılabilir.

Temel yöntem, ön yüzeyde kısa bir enerji darbesinin neden olduğu ince disk numunesinin arka yüzündeki sıcaklık artışının ölçülmesine dayanır. Zamanın ve sıcaklığın eğilimi ölçülür ve eğilimden çeşitli yükseliş süreleri belirlenir. Ölçülen yarı yükselme süresi, bir malzemenin termal yayılımını belirlemek için bir modele girilebilir. Spesifik ısı, bilinen spesifik ısı kapasitesine sahip bir numunenin çalıştırılması ve ardından bilinmeyen numunenin çalıştırılmasıyla belirlenebilir. Bu yöntemle metaller, polimerler, seramikler ısı iletim katsayıları ölçülür. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı Şekil 4.21 ve Lazer Flaş deney düzeneği şematik gösterimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı



Şekil 4.22. Lazer Flaş deney düzeneği şematik gösterimi (Altun, 1998).

Çizelge 4.15. FLASH LINE 2000 cihazının teknik özellikleri

Numune türleri	Katı (yuvarlak veya kare), film, sıvı, toz, fiber, erimiş metaller
Termal yayılma aralığı	0,001 cm ² /s ile 10 cm ² /s
Termal iletkenlik aralığı	0,1 W/mK ile 2000 W/mK'den fazla
Plakanın maksimum sıcaklığı	300° C'ye kadar
Lazer	Yüksek hızlı Xenon deşarj darbe kaynağı

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

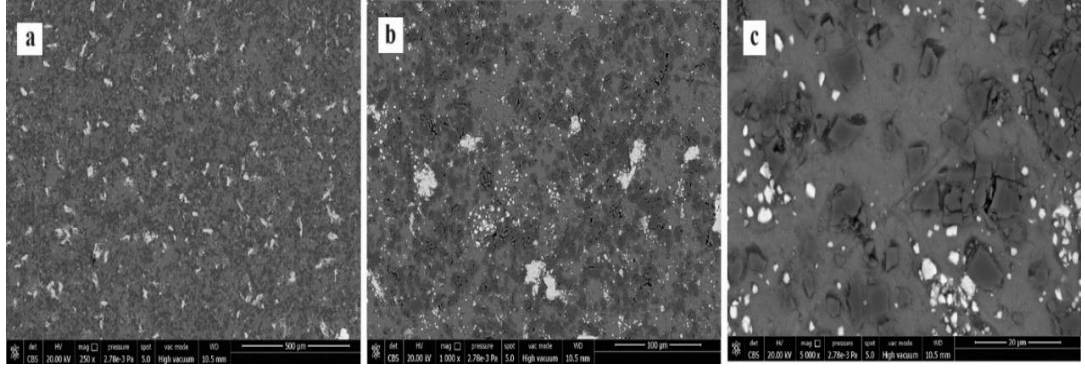
5.1. Mikroyapı İncelemeleri

Sinterleme işleminden sonra bakalit alma işlemi yapılmış elde edilen kompozitler, mikroyapı incelemeleri için özel olarak tasarlanmış bir cihaz kullanılarak 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarla sırasıyla işlenmiştir. Bu işlem, 5 dakika boyunca 400 d/d hızında gerçekleştirilmiş ve ardından bir keçe ile parlatılmıştır. SEM görüntüleri alınan numunelerin içerikleri ve yüzdelik oranları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

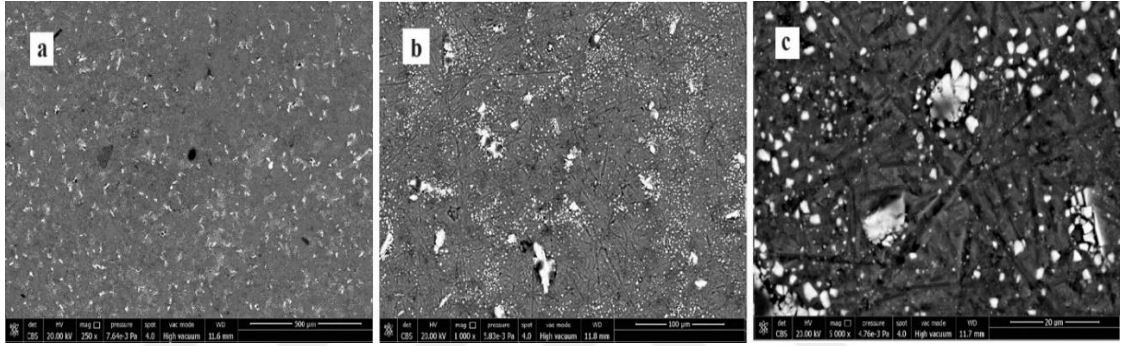
Çizelge 5.1. SEM görüntüleri alınan numunelerin içerikleri

NUMUNE NO	AĞIRLIKÇA % ORANI			
	Al6061	SiC	Oltu Taşı	AlN
Al 6061	100	0	0	0
Y3	93	7	0	0
Y8	93	0	7	0
Y24	80	0	0	7
Y17	90	0	20	0
Y15	95	5	5	0
Y26	92	0	5	5

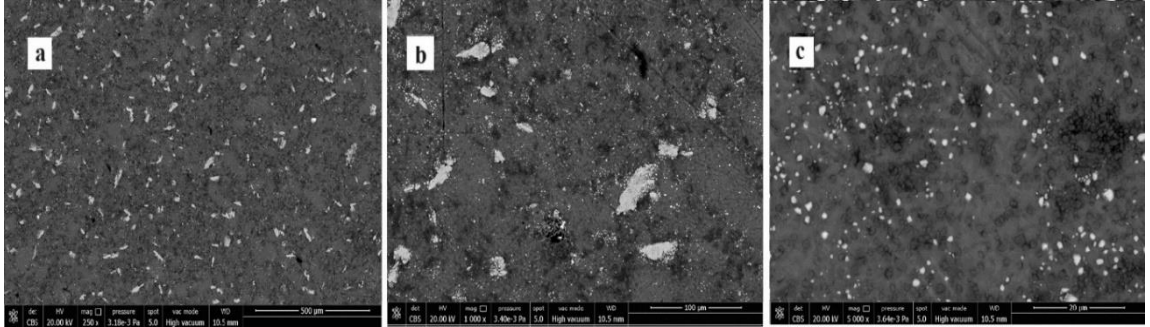
Taramalı elektron mikroskopundan alınan 250x, 1000x ve 5000x mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir.



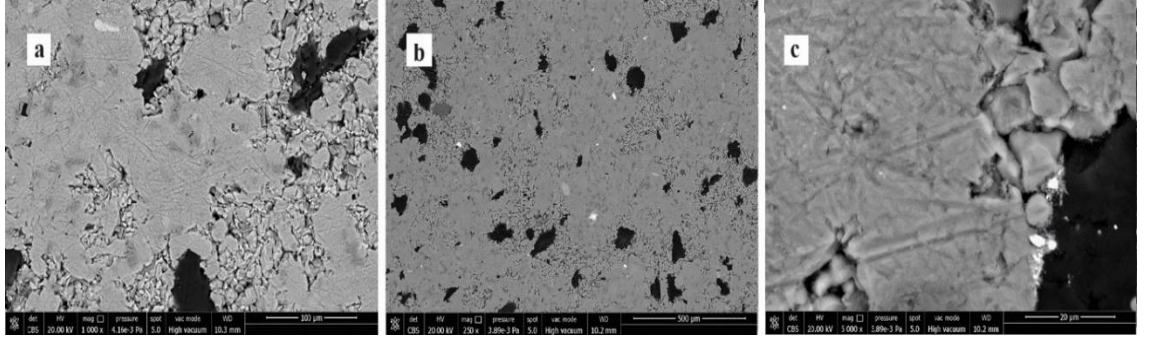
Şekil 5.1. Al6061+%7 SiC takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x



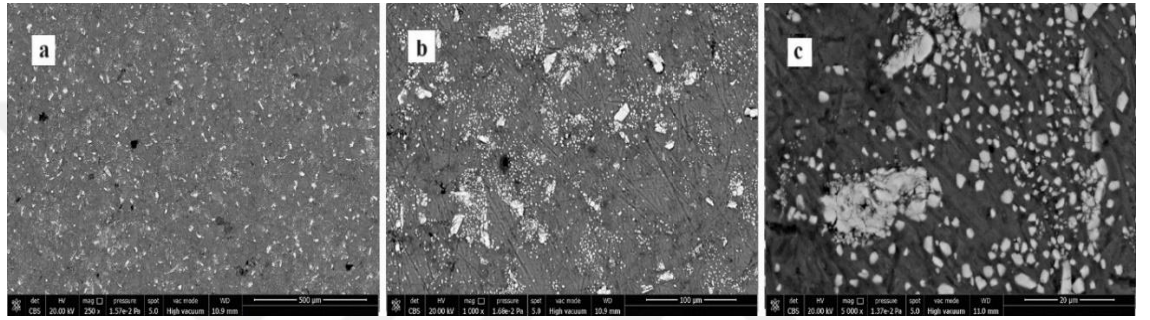
Şekil 5.2. Al6061+%7 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x



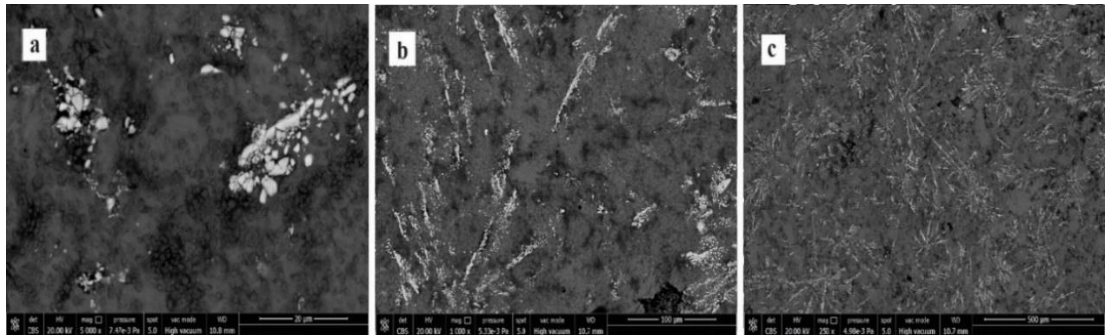
Şekil 5.3. Al6061+%7 AlN takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x



Şekil 5.4. Al6061+%20 Oltu Takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x



Şekil 5.5. Al6061+%5 SiC+%5 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x



Şekil 5.6. Al6061+%5 AlN+%5 Oltu takviyeli kompozitin mikroyapı görüntüleri; a)250x b)1000x c)5000x

Taramalı elektron mikroskopunda incelenen kompozitlerin yüzeyleri, iç yapılarında Oltu tozunun varlığına, takviye elemanlarının yüzeyde homojen bir şekilde dağıldığına ve takviye elemanı ile matris arasında güçlü bir bağlantının olduğuna işaret etmektedir. Bu benzer durum daha önce Chaithanyasai ve arkadaşlarının 2014'teki çalışmalarında ve Jannet ve arkadaşlarının da 2021'deki çalışmalarında da belirtilmiştir.

Çoğunlukla takviye ile matris arasında güçlü bir bağ olduğu bulgulanmış olmasına rağmen, bazı bölgelerde gözenek oluştuğu belirlenmiştir. Bu benzer durumu, Ramachandra ve Radhakrishna'nın 2006'da yaptıkları çalışmada gözlemlemişlerdir. Onlar, karıştırmalı döküm yöntemiyle hazırlanan Al (LM25) alaşımına, SiC takviyesini %5-10 oranında ekleyerek üretmişler ve 500°C'lik bir ön ısıtmaya tabi tutmuşlardır.

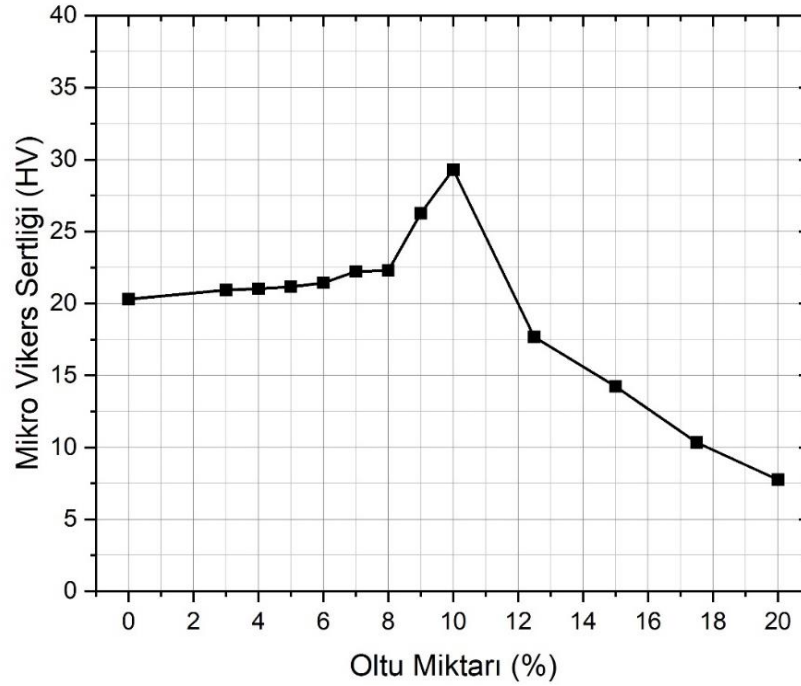
5.2. Sertlik Ölçümleri

Çizelge 5.2. SiC ve Oltu takviyeli kompozitlerin mikro vickers sertlik değerleri

NUMUNE NO	AĞIRLIKÇA % ORANI			MİKRO VİCKERS
	Al6061	SiC	Oltu Taşı	
Al 6061	100	0	0	20,30
A1	97	3	0	29,10
A2	95	5	0	33,57
A3	93	7	0	35,87
A4	97	0	3	20,93
A5	96	0	4	21,03
A6	95	0	5	21,17
A7	94	0	6	21,43
A8	93	0	7	22,23
A9	92	0	8	22,30
A10	91	0	9	26,27
A11	90	0	10	29,30
A12	87,5	0	12,5	17,67
A13	85	0	15	14,23
A14	82,5	0	17,5	10,33
A15	80	0	20	7,77
A16	92	5	3	34,97
A17	90	5	5	35,40
A18	88	5	7	37,07
A19	92	3	5	25,63
A20	90	5	5	35,40
A21	88	7	5	30,57

Çizelge 5.3. AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin mikro vickers sertlik değerleri

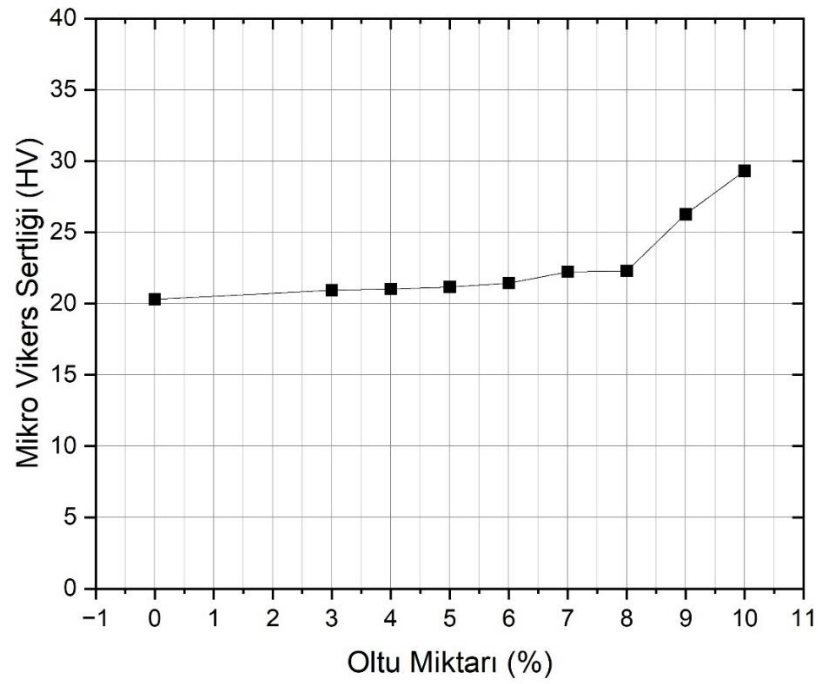
NUMUNE NO	AĞIRLIKÇA % ORANI			MİKRO VİCKERS
	Al6061	AlN	Oltu Taşı	
Al 6061	100	0	0	20,30
A22	97	3	0	23,07
A23	95	5	0	25,57
A24	93	7	0	28,67
A25	92	5	3	27,50
A26	90	5	5	28,77
A27	88	5	7	29,39
A28	92	3	5	23,90
A29	90	5	5	28,77
A30	88	7	5	29,70



Şekil 5.7. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Kompozitlerle benzer şekilde üretilen takviye edilmemiş Al6061 alaşımı ISO 6507-1:2023 standardına göre tabanı kare, tepe açısı 136° piramit olan elmas uç kullanılarak 10N yük altında, 20 sn batma süresi ile mikro Vickers sertlik testine tabi tutulmuştur. Daha sonra piramit ucun numune yüzeyinde bıraktığı izin köşegen uzunlukları bir

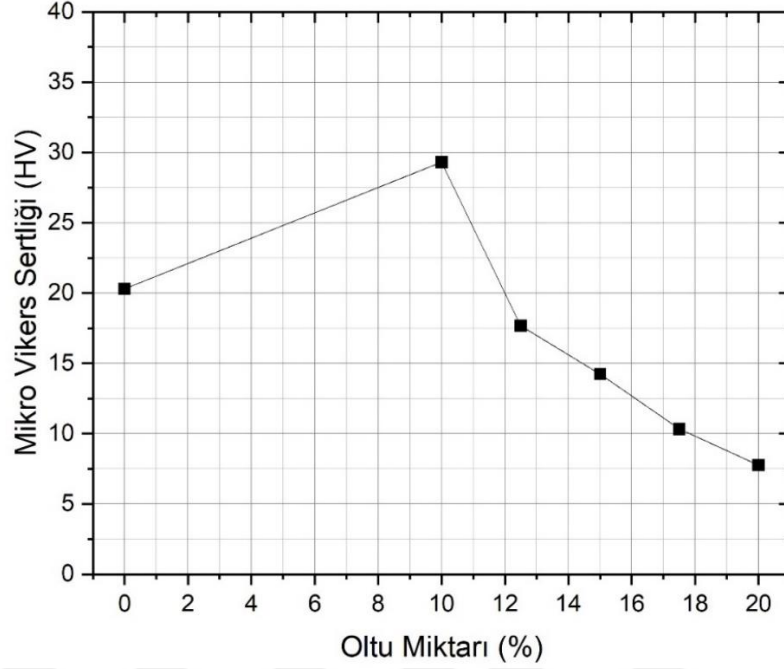
mikroskop yardımıyla ölçülmüş ve numuneye ait micro Vickers sertlik değeri tespit edilmiştir. Mikro Vickers sertlik ölçümleri aynı şartlarda üretilmiş 3 adet numune üzerinde de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak numuneye ait mikro Vickers sertlik değeri belirlenmiştir. Buna göre takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin mikro Vickers sertlik değeri 20,30 olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına %3 ila %10 oranlarında değişen Oltu ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 20,93'den 29,30'a yükselmiştir. Al6061 alaşımı içerisindeki oltu taşı oranı %10'dan %20'ye yükseltildiğinde kompozitin mikro Vickers sertlik değerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Al6061 alaşımına ilave edilen %20 Oltu ile kompozitin mikro Vickers sertlik değeri 7,77 ile katkısız Al6061 alaşımının ölçülen mikro Vickers değeri olan 20,30'un da oldukça altına düşmüştür. Bu durum matrise ilave edilen takviyenin belli bir değerin üstüne çıktığında kompozitin gözeneklilik miktarının artması ve matris takviye arasında kötü bağlanma hatta bağlanamama durumu ile izah edilebilir.



Şekil 5.8. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (%0 - %10) kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

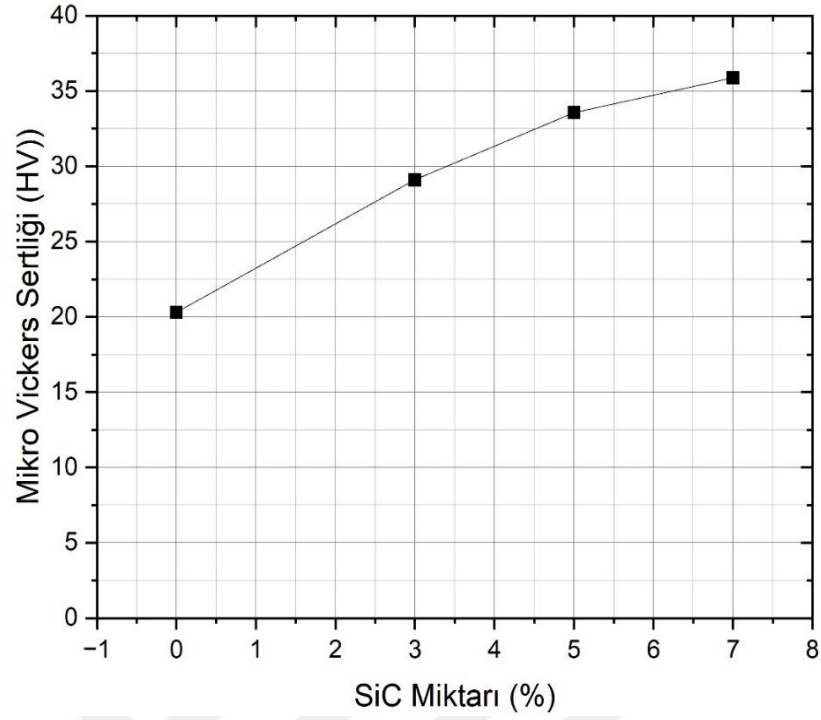
Al6061 alaşımına %3 oranında Oltu ilave edildiğinde sertlik mikro Vickers sertlik değeri 20,93 %5 ilave edildiğinde 21,17; %10 oranında Oltu ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 29,30'a yükselmiştir. Al6061 alaşımı içerisindeki Oltu oranı %10'a

kadar matris malzemenin sertliğine belirgin bir katkıda bulunmuştur. Takviye oranını %10' a kadar kompozitin gözeneklilik miktarını azaltarak, bağ yapısını iyileştirdiği ve mikro Vickers sertlik değerini artırdığı ile izah edilebilir.



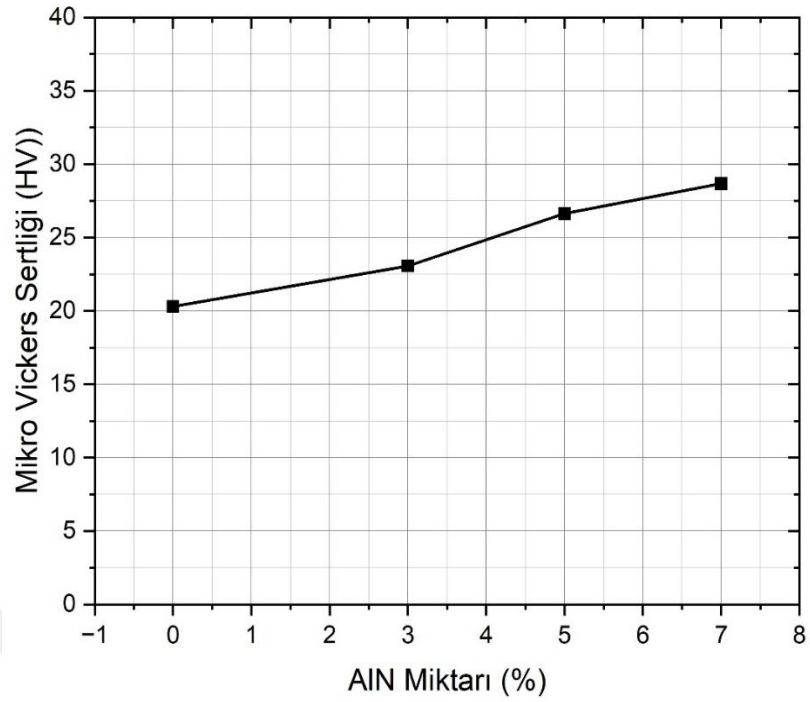
Şekil 5.9. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (%10 - %20) kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Al6061 alaşımına %10 oranında Oltu ilave edildiğinde sertlik mikro Vickers sertlik değeri 29,30 %15 ilave edildiğinde 14,23; %20 oranında Oltu ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 7,77'ye düşmüştür. Katkısız Al6061 alaşımının ölçülen mikro Vickers değeri olan 20,30'un da oldukça altına düşmüştür. Bu durum matrise ilave edilen Oltunun belli bir değerin üstüne çıktığında kompozitin gözeneklilik miktarının artması ve matris takviye arasında kötü bağlanma hatta bağlanamama durumu ile izah edilebilir.



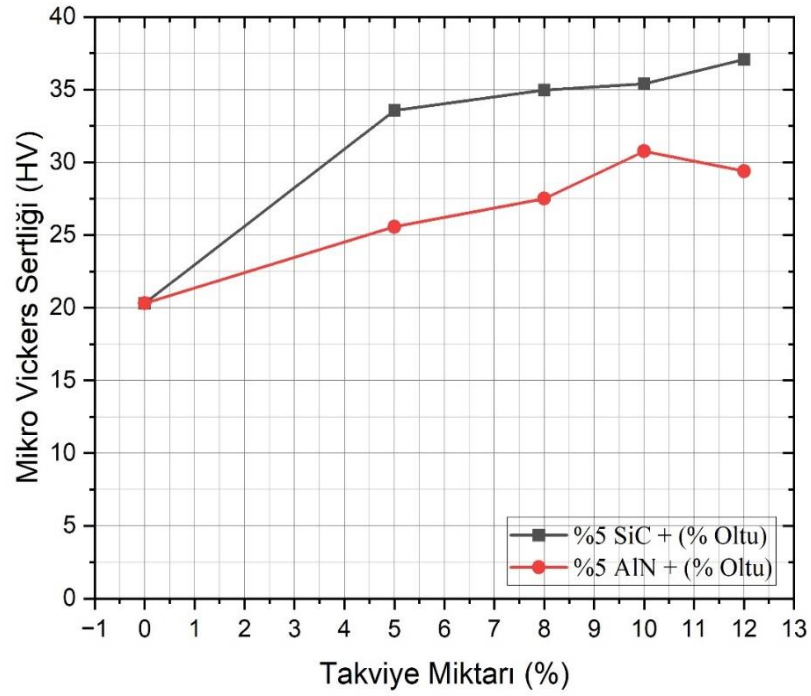
Şekil 5.10. Al6061 alaşımına katılan SiC miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Al6061 alaşımına %3 oranında SiC ilave edildiğinde sertlik mikro Vickers sertlik değeri 29,10; %5 ilave edildiğinde 33,57; %7 oranında SiC ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 35,87'e yükselmiştir. Al6061 alaşımı içerisindeki SiC oranının artışı matris malzemenin sertliğine belirgin bir katkıda bulunmuştur. Al6061 alaşımı ile SiC sertliği karşılaştırıldığında Al6061 SiC nano kompozitlerin sertliğindeki artış, matris malzeme olan Al6061 alaşımı yumuşak fazı ile SiC partiküllerinin sert fazının homojen bir şekilde matris içinde dağılmasına ile açıklanabilir. Reddy ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptıkları bir çalışmaların da benzer bir şekilde, numunenin bileşimdeki SiC miktarı arttıkça sertlikte de bir noktaya kadar artış gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11. Al6061 alaşımına katılan AlN miktarının kompozitin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

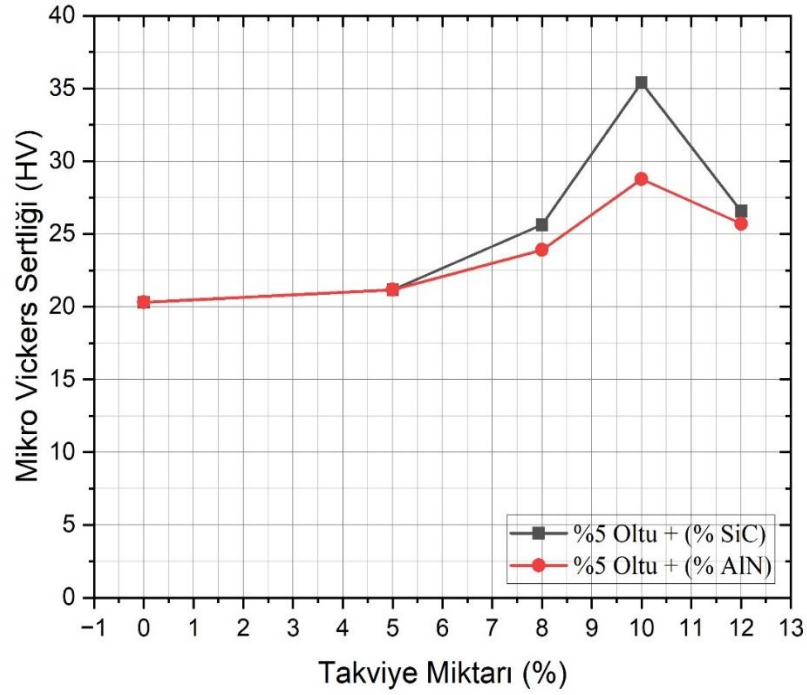
Al6061 alaşımına %3 oranında AlN ilave edildiğinde sertlik mikro Vickers sertlik değeri 23,07; %5 ilave edildiğinde 25,57; %7 oranında AlN ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 28,67'e yükselmiştir. Al6061 alaşımı içerisindeki AlN oranının artışı matris malzemenin sertliğine belirgin bir katkıda bulunmuştur. Kumar ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada karıştırma döküm yöntemiyle Al2618 matrisli ağırlıkça %0, 2, 4, 6, 8 Si3 N4, AlN, ZrB2 takviyeli kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin artan takviye maddelerin, sertlik, çekme ve basma dayanımı arttırdığı belirlenmişlerdir.



Şekil 5.12. Oltu'nun ikili hibrit kompozitin (%5 SiC ve % 5 AlN) mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Takviyesiz Al6061 alaşımına ait numunenin mikro Vickers sertlik değeri 20,30 olarak ölçülmüştür. %5 SiC takviyeli hibrit malzemeye, %3 Oltu takviye edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 34,97; %5 ilave edildiğinde 35,40; %7 ilave edildiğinde 37,07 olarak bulundu.

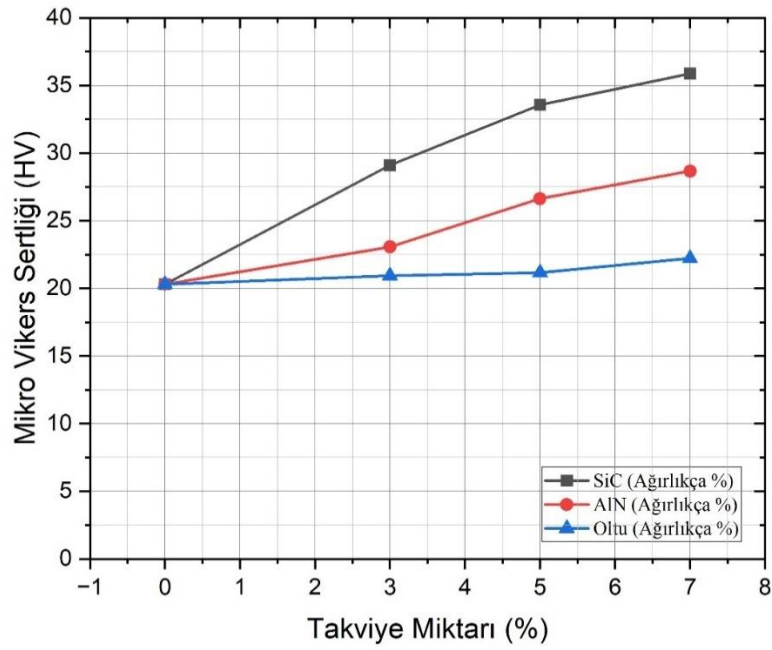
%5 SiC takviyeli hibrit malzemenin mikro Vickers sertliği, %5 SiC ve Oltu takviyeli kompozitin sertlik değeri daha düşük bulunmuştur. %5 AlN takviyeli hibrit malzemeye, %3 Oltu takviye edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 27,50; %5 ilave edildiğinde 28,77; %7 ilave edildiğinde 29,39 olarak bulundu. Al6061+ %5 AlN kompozitin, Oltu takviyeli hibrit alaşımdan mikro Vickers sertlik değeri daha düşük bulunmuştur. Her iki hibrit malzemeye de (Al6061+%5 SiC ve Al6061+%5 AlN) Oltu ilave edildiğinde, kompozitin sertliğini arttırdı. Bu durum kompozitin gözeneklilik miktarının azalması ve matris ve takviye malzemelerin bağ yapısındaki hataları ile izah edilebilir.



Şekil 5.13. SiC ve AlN'ün ikili hibrit kompozitin (%5 Oltu) mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Al6061 alaşımı ile %5 Oltu takviyeli kompozit malzemeye, %3 SiC takviye edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 25,63; %5 ilave edildiğinde 35,40, %7 ilave edildiğinde 30,57 olarak bulundu. Kompozit malzemede SiC belirli bir orana kadar arttıkça sertliğinin arttığı görüldü.

%5 Oltu takviyeli hibrit malzemeye %3 AlN takviye edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 23,90; %5 ilave edildiğinde 28,77; %7 ilave edildiğinde 29,70 olarak bulundu. %5 Oltu takviyeli hibrit malzemeye ayrı ayrı SiC ve AlN ilave edildiğinde, her iki kompozitte de %10 oranına kadar mikro Vickers sertlik değerinin arttığı görüldü. Bu durum Oltu'nun belirli bir orana kadar kompozitin gözeneklilik miktarının azalması ve hibrit malzemenin malzemelerin bağ yapılarında hataların azaldığı söylenebilir.



Şekil 5.14. Kompozit malzemede takviyelerin mikro Vickers sertlik değerine etkisi

Takviyesiz Al6061 alaşımına ait numunenin mikro Vickers sertlik değeri 20,30 olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına %3 ila %7 oranlarında değişen SiC ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 29,10'dan 35,87'e, %3 ila %7 oranlarında değişen AlN ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 23,07'den 28,67'e ve %3 ila %7 oranlarında değişen Oltu ilave edildiğinde mikro Vickers sertlik değeri 20,93'den, 22,23'e yükselmiştir. Kompozit malzemeye eklenen takviye malzemelerin, üretilen kompozit malzemenin sertliğine farklı oranlarda katkı sağladıkları bulunmuştur. Bu durum kompozitin gözeneklilik miktarında azalmasına ve matris ve takviye malzemelerin bağ yapılarındaki hataların azaldığı ile izah edilebilir.

5.3. Aşınma Ölçümleri

Çizelge 5.4. SiC ve Oltu takviyeli kompozitlerin aşınma değerleri

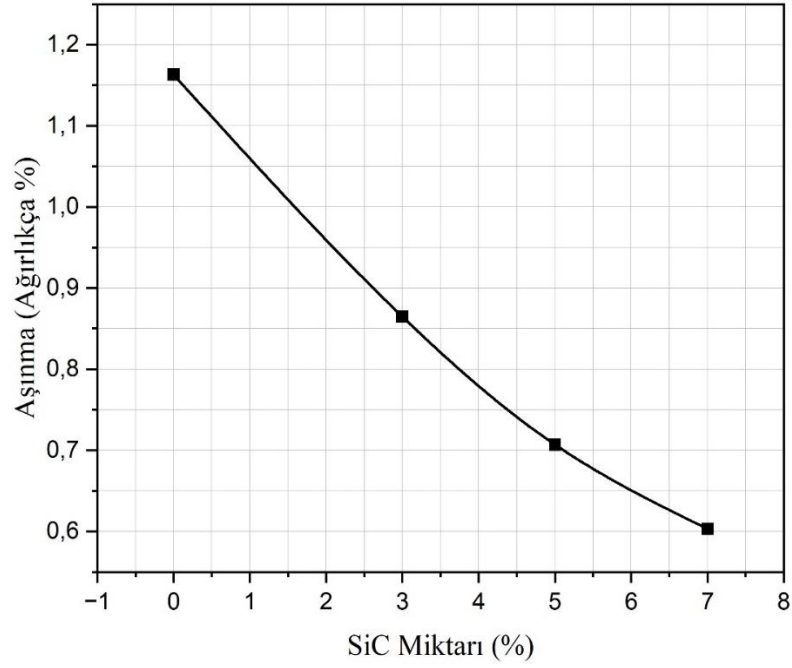
NUMUNE NO	AĞIRLIKÇA % ORANI			AĞIRLICA % KAYIP
	Al6061	SiC	Oltu Taşı	
Al 6061	100	0	0	1,1633
A1	97	3	0	0,8650
A2	95	5	0	0,7070
A3	93	7	0	0,6030
A4	97	0	3	0,9590

Çizelge 5.4. SiC ve Oltu takviyeli kompozitlerin aşınma değerleri (Devam)

A5	96	0	4	0,9128
A6	95	0	5	0,9071
A7	94	0	6	0,8211
A8	93	0	7	0,8089
A9	92	0	8	0,6466
A10	91	0	9	0,6361
A11	90	0	10	0,5469
A12	87,5	0	12,5	1,6907
A13	85	0	15	5,5300
A14	82,5	0	17,5	14,8232
A15	80	0	20	19,5366
A16	92	5	3	0,4933
A17	90	5	5	0,4475
A18	88	5	7	0,5035
A19	92	3	5	0,5551
A20	90	5	5	0,4750
A21	88	7	5	0,4853

Çizelge 5.5. AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin aşınma değerleri

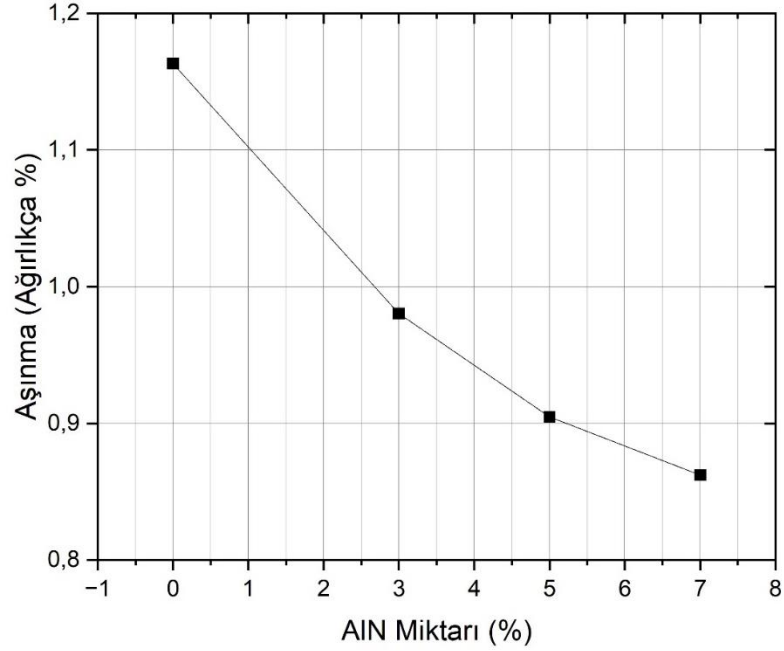
NUMUNE NO	AĞIRLIKÇA % ORANI			AĞIRLICA % KAYIP
	Al6061	AlN	Oltu Taşı	
Al 6061	100	0	0	1,1633
A22	97	3	0	0,9804
A23	95	5	0	0,9048
A24	93	7	0	0,8623
A25	92	5	3	0,6507
A26	90	5	5	0,6278
A27	88	5	7	0,6839
A28	92	3	5	0,7756
A29	90	5	5	0,7278
A30	88	7	5	0,7795



Şekil 5.15. Al6061 alaşımına katılan SiC miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi

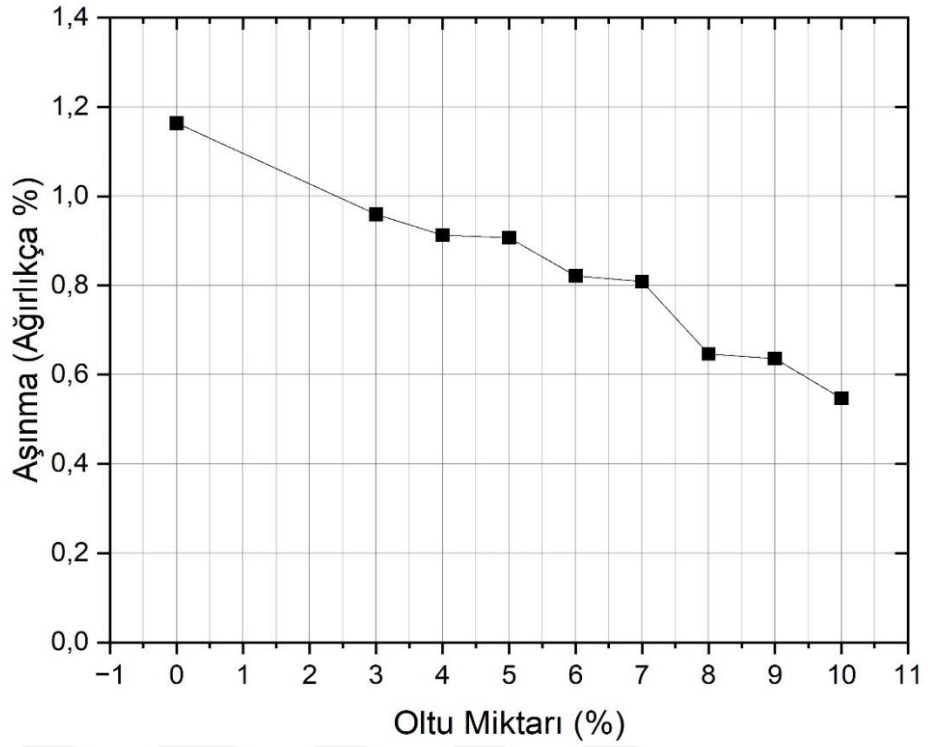
Kompozitlerle benzer şekilde üretilen takviye edilmemiş Al6061 alaşımı sabit yük, sabit hız ve sabit yol şartlarında Pin-On Disk cihazında kuru sürtünme şartlarında aşınma testine tabi tutulmuştur. Teste başlamadan önce numunenin ağırlığı tartılmış, test sonrasında basınçlı hava ile toz ve çapaklardan arındırılan numune tekrar tartılmış ve numunenin % olarak ağırlık kaybı aşınma değeri olarak kaydedilmiştir. Tüm testler aynı şartlarda üretilmiş 3 adet numune üzerinde de gerçekleştirilmiş ve elde edilen aşınma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak numuneye ait aşınma değeri belirlenmiştir. Buna göre takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numune de %1,1663 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Al6061 alaşımına %3 oranında SiC ilave edildiğinde kütle kaybı %0,8650; %5 SiC ilavesinde %0,7070 kütle kaybı, %7 SiC ilavesinde ise kütle kaybı %0,6030 şeklinde azalmaktadır. Bu durum SiC parçacıklarının sertliğinin Al6061 alaşımına göre daha yüksek olmasının yanı sıra takviyenin matrise iyi bir şekilde bağlanmış olması ile açıklanabilir Alüminyum matris kompozit malzemelerin gerek mekanik özelliklerinin gerekse aşınma davranışlarının geliştirilmesine yönelik literatürde çalışmalar mevcuttur. Benzer sonuçlara Reddy ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmalarında da ulaşmışlardır. Yaptıkları çalışmada alüminyum matrisli kompozite SiC ilave ettiklerinde aşınmanın azaldığını tespit etmişlerdir. Ganesh ve arkadaşları, 2015 yılında Ganesh ve arkadaşları 2015 yılında, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al2219 alüminyum matris alaşımlı kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemişler çalışmada,

%10, %15 ve %20 oranlarında SiC partikül takviyesi içeren kompozitler kuru ortamda aşınmalarını test edilmişler farklı yükler ve kayma mesafeleri altında oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma testlerinde, SiC partikül takviye miktarının artmasıyla da, aşınma miktarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.



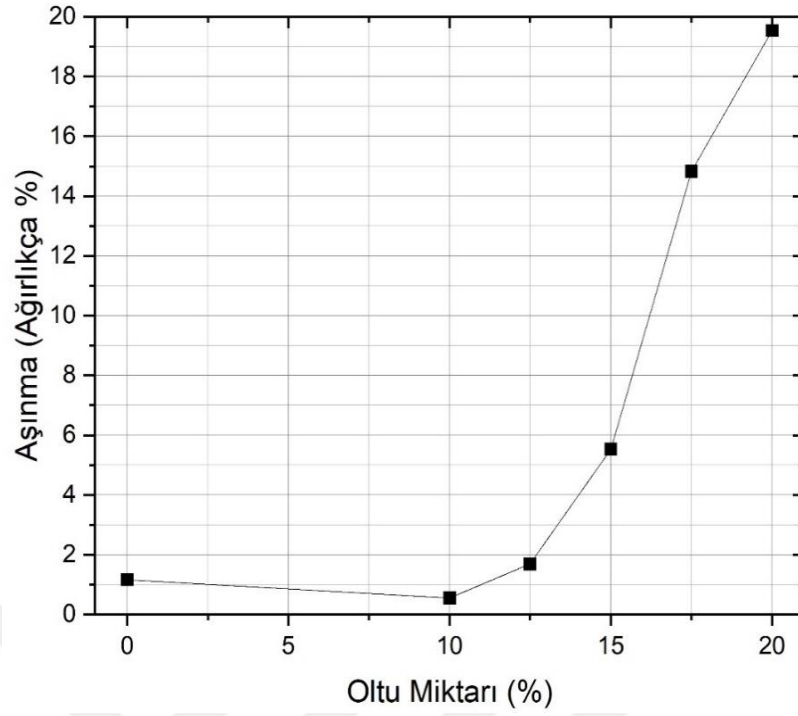
Şekil 5.16. Al6061 alaşımına katılan AlN miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi

Takviyesiz Al6061 alaşımına ait numune de %1,1663 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Ancak, Al6061 alaşımına AlN parçacıkları eklendiğinde kütle kaybı önemli ölçüde azaldığı görüldü %3 AlN eklendiğinde kütle kaybı %0,9804'e, %5 AlN eklendiğinde %0,9048'e ve %7 AlN eklendiğinde ise %0,8623'e düştüğü görülmektedir. Bu durum AlN parçacıklarının matris malzeme içerisinde gözenekliliği azaltarak bağ hatalarının azaldığını gösterir. Kumar ve arkadaşlarının 2016'da gerçekleştirdikleri bir araştırmada, Al2618 matrisli kompozitin, farklı sıcaklıklarda aşınma davranışı üzerinde etkili olan Si_3N_4 , AlN ve ZrB_2 takviyelerinin ağırlıkça %0, 2, 4, 6, 8 oranlarının incelendiği belirlenmiştir. Aşınma testlerinde sıcaklık, hız, yük ve kayma mesafesi gibi faktörlerin, aşınma direnci, aşınma oranı, özgül aşınma oranı ve sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Takviye oranının artmasıyla birlikte kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği ve aşınmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Örneğin, %8 Si_3N_4 takviye oranına sahip kompozit için, 200°C sıcaklık, 10 N yük, 5m/s hız ve 2000m kayma mesafesi koşullarında minimum aşınma oranına (0,000523 mm³/m) ulaşılmıştır.



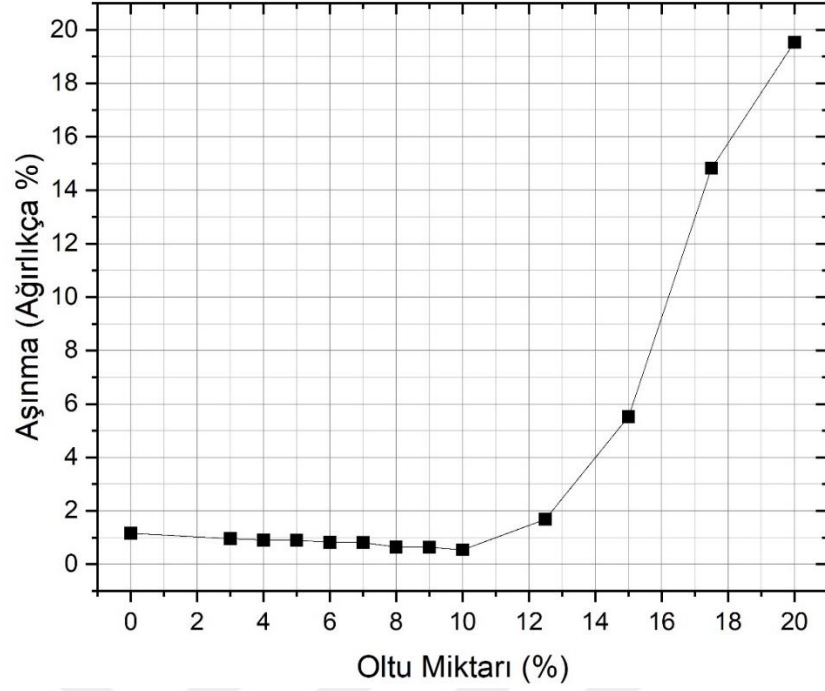
Şekil 5.17. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (kütlece %0-10 aralığı) kompozitin aşınma değerine etkisi

Al6061 alaşımına %3 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı %0,9590; %5 Oltu ilavesinde %0,9071 kütle kaybı, %7 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %0,8089 şeklinde azalmaktadır. Al6061 alaşımına Oltu takviyesinin kütle kaybını azalttığı, böylece Oltu oranın artıkça aşınma miktarında azalma olduğu görülmüştür.



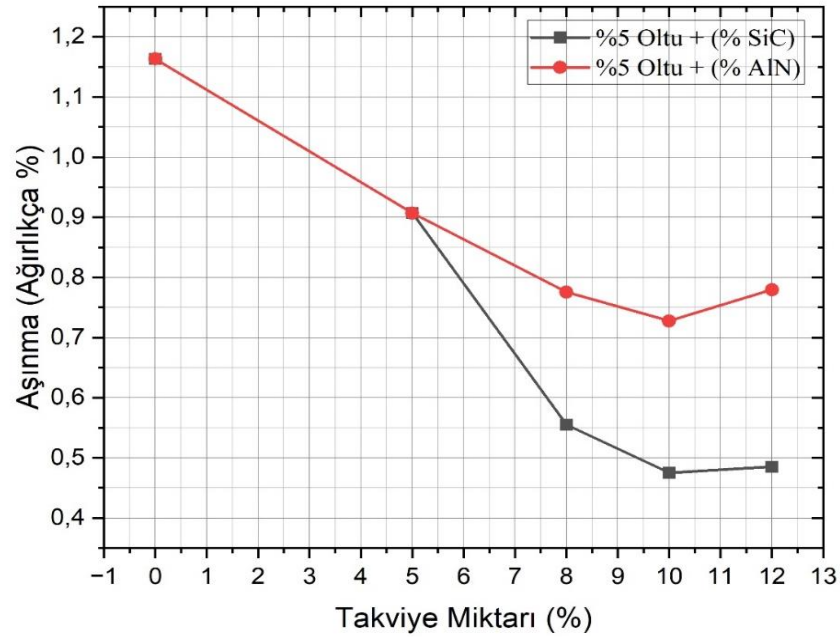
Şekil 5.18. Al6061 alaşımına katılan Oltu miktarının (kütlece %10-20 aralığı) kompozitin aşınma değerine etkisi

Al6061 alaşımına %10 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı en düşük seviye olan %0,5469, inmektedir. %12,5 oranında Oltu ilavesinde %1,6907 kütle kaybı, %15 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %5,5300; %20 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı 19,5366 şeklinde artmaktadır. Kompozit içerisinde %10 Oltu oranı en düşük aşınmanın meydana geldiği oran olarak edilmiştir. %-10 oranından sonra aşınma miktarında yüksek oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Bu durum Oltu takviyenin %10 oranına kadar matrisin bağ yapısını güçlendirdiği, %10 oranı matris içerisinde homojen dağılımın azaldığı ve topaklaşmanın meydana geldiği için bağ hatalarının arttığı, dolayısıyla aşınma miktarının da artması ile açıklanabilir.



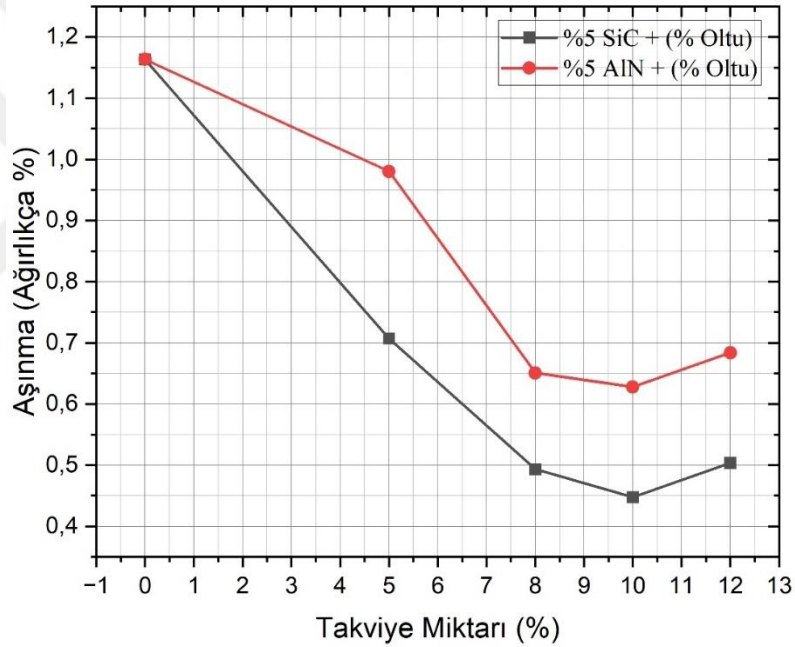
Şekil 5.19. Al6061 Alaşımına katılan Oltu miktarının kompozitin aşınma değerine etkisi

%3 oranında Oltu ilavesinde %0,9590 kütle kaybı, %5 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %0,9071, %7 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %0,8089; %10 Oltu ilavesinde %0,5469 şeklinde azalmaktadır. Al6061 alaşımına %10 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı en düşük seviyeye ulaşılmıştır.



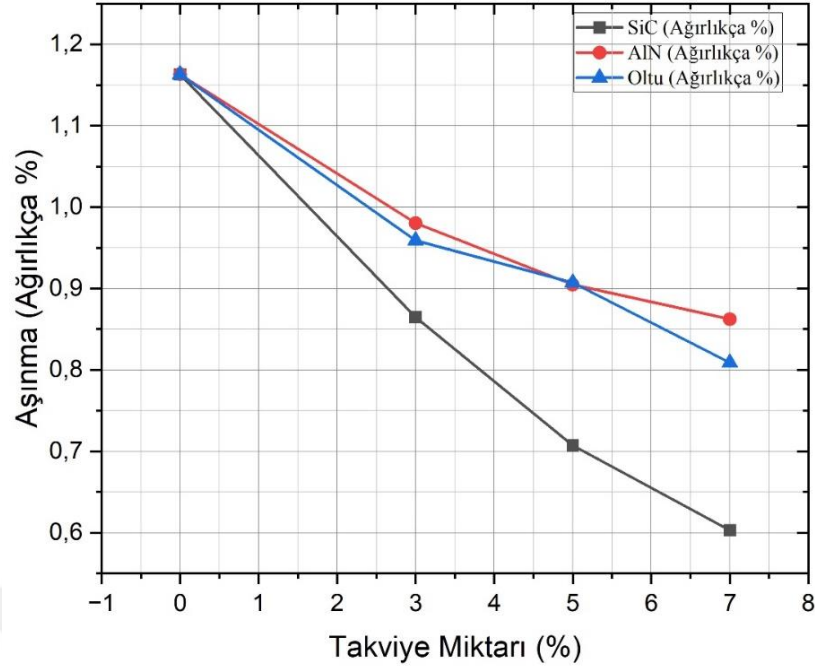
Şekil 5.20. SiC ve AlN ün ikili hibrit kompozitin (Al6061+ %5 Oltu) aşınma miktarına etkisi

Takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numune de %1,1663 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Hibrit Al6061 %5 Oltu kompozite %3 oranında SiC ilave edildiğinde kütle kaybı %0,5551; %5 oranında SiC ilave edildiğinde kütle kaybı %0,4750; %7 oranında SiC ilave edildiğinde kütle kaybı %0,4853 elde edilirken, Hibrit Al6061 %5 Oltu kompozite, %3 AlN ilavesinde % 0,7056 kütle kaybı, %5 AlN ilavesinde ise kütle kaybı %0,6278; %7 AlN ilavesinde % 0,6795 kütle kaybı şeklinde olmuştur. SiC hibrit kompozitte belirli bir orana kadar aşınma direnci, AlN den daha fazla olarak görülmüştür. Walczak ve arkadaşları 2015 yılında, bir araştırma ekibi SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin aşınma özelliklerini incelerken, matris malzemesiyle kompozitin aşınma davranışlarını kıyasladı. Yapılan çalışmalar sonucunda, SiC takviyeli kompozitin aşınma direncinin, AlSi9Mg alaşımından daha yüksek olduğu tespit edildi.



Şekil 5.21. Oltu'nun ikili hibrit kompozitin (Al6061 + %5 SiC ve Al6061 + %5 AlN) aşınma miktarına etkisi

Hibrit Al6061 %5 SiC kompozite %3 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı %0,4933; %5 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı %0,4750; %7 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı %0,5035 elde edilirken, Hibrit Al6061 %5 AlN kompozite, %3 Oltu ilavesinde %0,6839 kütle kaybı, %5 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %0,6278; %7 Oltu ilavesinde %0,6507 kütle kaybı şeklinde olmuştur. Her iki hibrit kompozitte en az aşınma %5 Oltu oranıyla elde edilmiştir. Al6061 %5 SiC hibrit kompozitin aşınma direnci Al6061 %5 AlN hibrit kompozitten daha fazla olarak bulunmuştur.



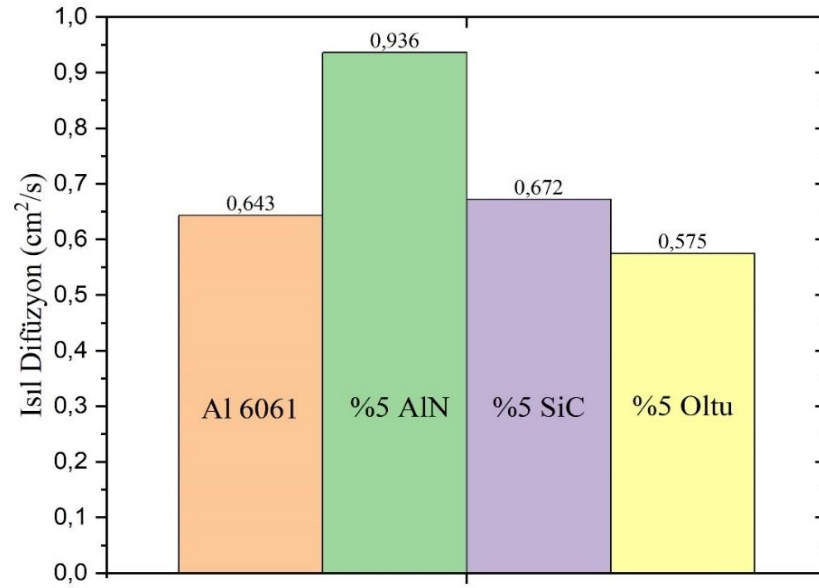
Şekil 5.22. Al6061 Alaşımına katılan takviyelerin aşınmaya etkilerinin karşılaştırılması

Takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numune de %1,1663 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Al6061 alaşımına %3 oranında Oltu ilave edildiğinde kütle kaybı %0,9590; %5 Oltu ilavesinde %0,9071 kütle kaybı, %7 Oltu ilavesinde ise kütle kaybı %0,8089 şeklinde, %3 oranında SiC ilave edildiğinde kütle kaybı %0, 0,8650; %5 SiC ilavesinde %0,7070 kütle kaybı, %7 SiC ilavesinde ise kütle kaybı % 0,6030 şeklinde, %3 oranında AlN ilave edildiğinde kütle kaybı % 0,9804; %5 AlN ilavesinde %0,9048 kütle kaybı, %7 AlN ilavesinde ise kütle kaybı %0,8623 şeklinde azalmaktadır. Bu durum takviyelerin matrise iyi şekilde bağlanarak aşınma miktarını azalttığı görülmüştür. Aşınma direnci en fazla olan Al6061 %7 SiC kompoziti olmuştur.

5.4. Isı İletim Katsayısı Ölçümleri

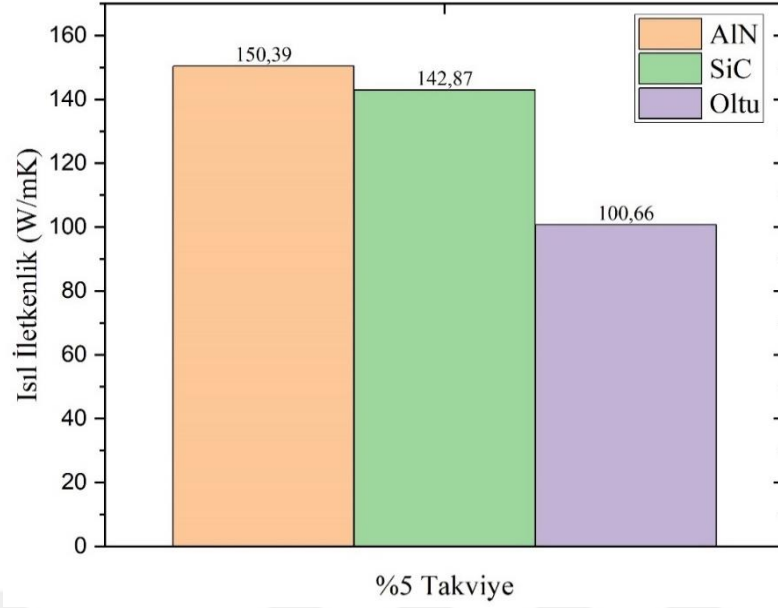
Çizelge 5.6. SiC, AlN ve Oltu takviyeli kompozitlerin ısıl değerleri

Takviye Miktarı (Ağırlıkça %)				Isıl Özellikler		
Al 6061	AlN	SiC	Oltu Taşı	Isıl İletkenlik (W/mK)	Isıl Difüzyon (cm ² /sn)	Özgül Isı (J/kgK)
100	0	0	0	167,24	0,643	896,84
95	0	5	0	142,87	0,672	890,69
95	0	0	5	100,66	0,575	876,68
95	5	0	0	150,39	0,936	820,45



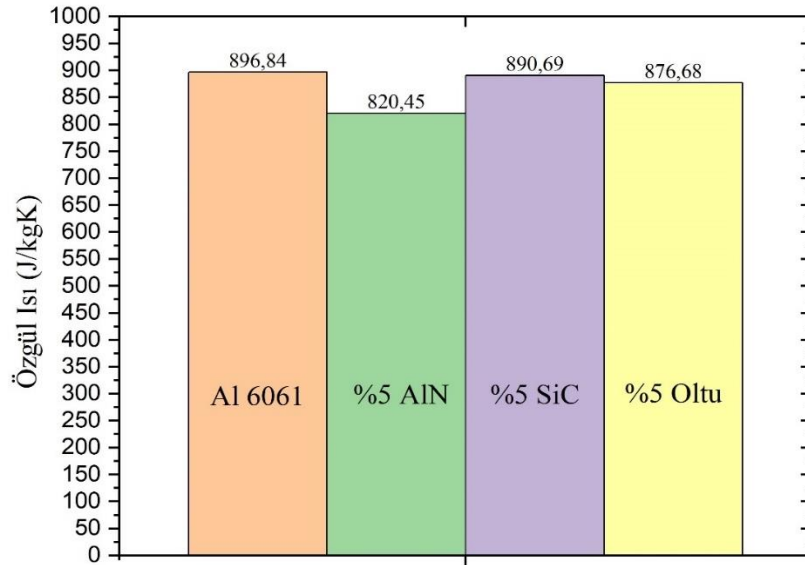
Şekil 5.23. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan %-5 takviye elemanlarının kompozitin ısı difüzyon değerine etkileri

Kompozitlerle benzer şekilde üretilen takviye edilmemiş Al6061 alaşımının ısı difüzyon değeri Laser Flash Line yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Isıl difüzyon ölçümleri aynı şartlarda üretilmiş 3 adet numune üzerinde de gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak numuneye ait ısı difüzyon değeri belirlenmiştir. Buna göre takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin ısı difüzyon değeri $0,643 \text{ cm}^2/\text{s}$ olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına %5 oranında AlN, SiC ve Oltu eklendiğinde kompozitlerin ısı difüzyon değeri sırasıyla $0,936 \text{ cm}^2/\text{s}$, $0,672 \text{ cm}^2/\text{s}$ ve $0,575 \text{ cm}^2/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre Al6061 alaşımına katılan %5 AlN alaşımın ısı difüzyon miktarını %50 oranında arttırmıştır. Bu artış, üretilen kompozitin fren diski olarak kullanılabilirliği konusunda cesaret vericidir.



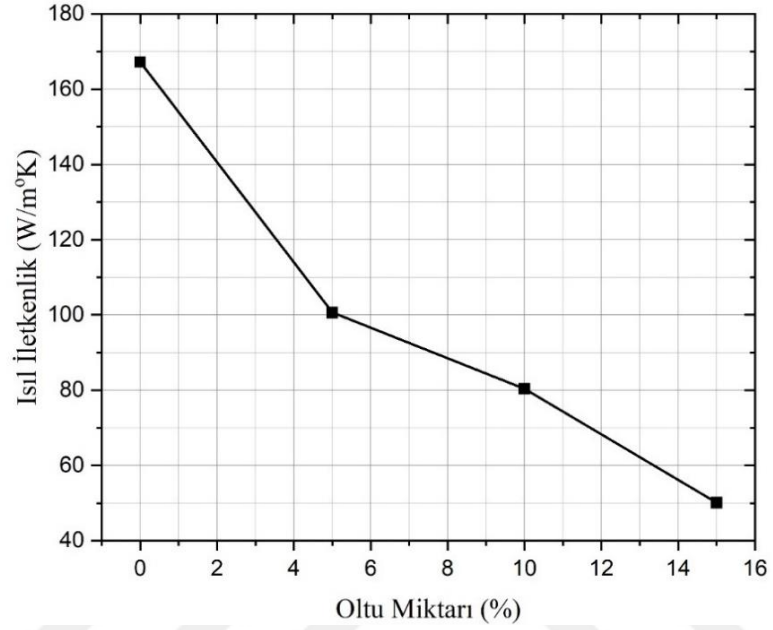
Şekil 5.24. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan %-5 takviye elemanlarının kompozitin ısı iletkenlik değerine etkileri

Elde edilen verilere göre takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin ısı iletkenlik değeri 167,24 W/mK olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına %5 oranında AlN, SiC ve Oltu eklendiğinde kompozitlerin ısı iletkenlik değeri sırasıyla 150,39 W/mK, 142,87 W/mK ve 100,66 W/mK olarak belirlenmiştir. Buna göre Al6061 alaşımına katılan %5 takviye madde ısı iletim miktarını düşürmüştür.



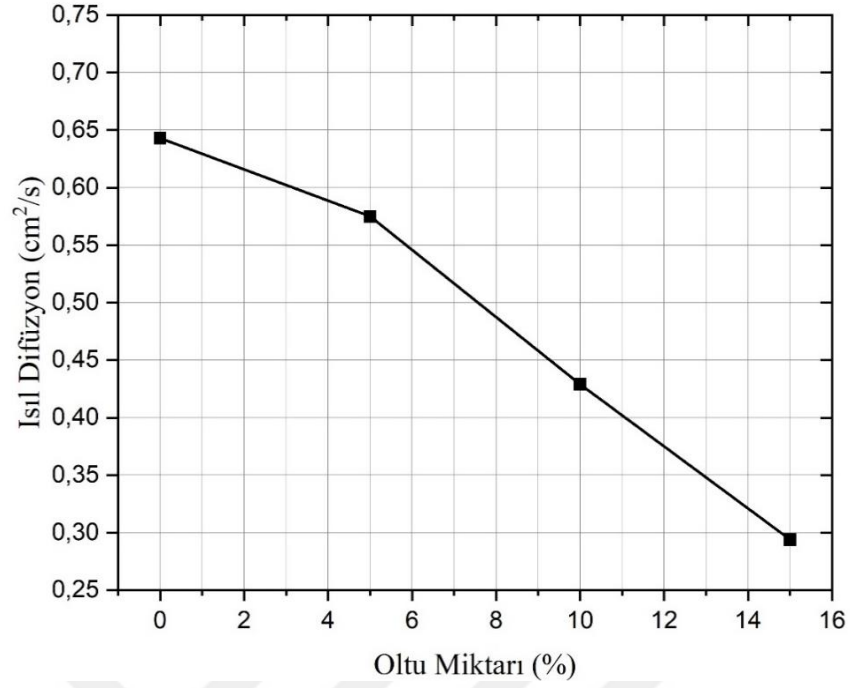
Şekil 5.25. Al6061 alaşımı ve alaşıma katılan % 5 takviye elemanlarının kompozitin özgül ısı değerine etkileri

Takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin özgül ısı değeri 896,84 167,24 J/kgK olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına %5 oranında AlN, SiC ve Oltu eklendiğinde kompozitlerin ısı iletkenlik değeri sırasıyla 820,45 J/kgK, 890,69 J/kgK- ve 876,68 J/kgK olarak belirlenmiştir. Buna göre Al6061 alaşımına katılan %5- takviyenin özgül ısı miktarlarında önemli bir değışik yapmamıştır.



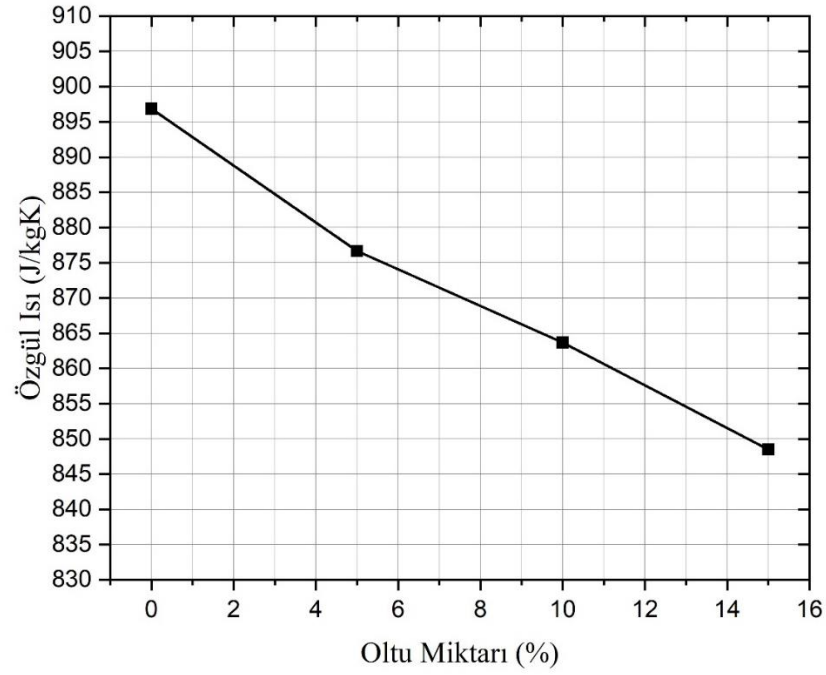
Şekil 5.26. Oltu miktarının Al6061 alaşımının ısı iletkenlik değeri etkileri

Elde edilen verilere göre takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin ısı iletkenlik değeri 167,24 W/mK olarak ölçülmüştür. Kompozit içerisinde Oltu oranı artıkça kompozitinin ısı iletkenlik değeri azalmanın olduğu görülmüştür.



Şekil 5.27. Oltu miktarının Al6061 alaşımının ısı difüzyon değerine etkileri

Takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin ısı difüzyon değeri 0,643 cm²/s olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına Oltu eklendiğinde, Oltu oranı artıkça kompozitin ısı difüzyon değerinde yüksek oranda azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.28. Oltu miktarının Al6061 alaşımının özgül ısı değerine etkileri

Takviye edilmemiş Al6061 alaşımına ait numunenin özgül ısı değeri 896,84 J/kgK olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımına takviye olarak Oltu eklendiğinde, Oltu oranı artıkcı kompozitin özgül ısı miktarında azalma meydana gelmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel takviye elemanlarından SiC ve AlN, atık takviye elemanı olarak ise Erzurum'un Oltu ilçesinde faaliyet gösteren taş işleme atölyelerinden atık olarak toplanan Oltu taşı parçaları kullanılarak, Al6061 matrisli kompozit malzemeler toz metalurjisi yöntemiyle farklı kompozisyonlarda başarıyla üretilmiştir. Bu tez çalışması ile ülkemizde ve dünyada ilk kez Oltu taşı tozunun takviye elemanı olarak kullanıldığı alüminyum matrisli kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hem atık yönetimi hem de endüstriyel takviye elemanlarının üretimi esnasında ortaya çıkan karbon salınımının azaltılması hedefine bir adım daha yaklaşıldığı düşünülmektedir.

Üretilen kompozitlerin mikro yapı görüntüleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak alınmış ve bu görüntüler incelendiğinde iç yapıda Oltu tozu, SiC ve AlN'ün varlığı belirlenmiştir. Mikro yapı görüntülerinden tane dağılımları incelendiğinde üretilen kompozitlerin neredeyse tamamında homojen bir dağılım belirlenmiştir. Takviye-matris arayüzey bağları incelendiğinde ise matris ile takviye arasında istenilen bağlanmanın gerçekleştiği görülmüştür. Mikro yapıda bazı bölgelerde topaklaşma ve ara yüzeyde yapışmama durumu tespit edilse de bu durumun oldukça nadir gözlenmesi, bazı kompozitlerin üretimleri esnasında insan kaynaklı hataların oluşabileceğini düşündürmektedir.

Üretilen kompozitlerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde mikro Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde kompozitlerle benzer şartlarda toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Al6061 alaşımının sertlik değeri 20.30HV olarak belirlenmiştir. Alaşıma katılan Oltu tozu miktarının ağırlıkça %10 değerine kadar kompozitin sertliği artarak 29.30HV değerine yükselmiştir. Ancak Oltu tozu miktarı kompozit içerisinde %10 değerini aştığında kompozitin sertliği oldukça düşmüş ve 7.77HV değerine kadar azalmıştır. Bu değer aynı zamanda üretilen tüm kompozitler arasında ölçülen en düşük sertlik değeridir. Bu durum kompozite eklenen takviye miktarının artması ile, matris-takviye arayüzeyindeki yapışmanın ortadan kalkması ve iç yapıda artan gözenek miktarı ile açıklanabilir. Benzer sonuçlara literatür araştırmaları esnasında çokça rastlanılmıştır. Alaşıma ilave edilen SiC ve AlN miktarının artması ile

kompozitin sertliği artmıştır. Alaşıma %7 oranında SiC ilavesi ile kompozitin sertliği 35.87HV ölçölürken, %7 oranında AlN ilave edilen kompozitin sertliği ise 28.67HV ölçölmüştür. Üretilen kompozitler arasında en yüksek sertlik değerı, %5 SiC + %7 Oltu tozu ilaveli hibrit kompozit için ölçölen 37.07HV değeridir. Böylece Al6061 alaşımına %5 SiC + %7 Oltu tozu ilavesi alaşımın sertliğini %90 oranında arttırmıştır.

Üretilen kompozitlerin aşınma miktarları Pin-on Disk yöntemi kullanılarak sabit yol ve sabit yük altında kuru kayma şartlarında belirlenmiştir. Kompozitlerin ağırlıkları hem aşınma testi öncesinde hem de aşınma testi sonrasında ölçölerek, hesaplanan ağırlıkça (%) kütle kaybı aşınma miktarı olarak belirlenmiştir. Al6061 alaşımının aşınma miktarı %1.1633 olarak hesaplanmıştır. %7 SiC takviyeli kompozit %0.6030 aşınırken %7 AlN takviyeli kompozit ise 0.8623 aşınmıştır. %10 Oltu tozu takviyesi ile aşınma miktarı %0.5469 olurken, Oltu tozu miktarı %20 ye çıkarıldığında en yüksek aşınma değerı olan %19.5366 belirlenmiştir. En düşük aşınma değerı ise %5 SiC + %5 Oltu tozu takviyeli kompozitte %0.4750 olarak belirlenmiştir. Gerek sertlik gerekse aşınma ölçömleri SiC ve Oltu tozu uyumunun mükemmel olduğu sonucuna ulaşılmasını mümkün kılmaktadır.

Kompozitlerin ısıl özellikleri Flash Line tekniği kullanılarak belirlenmiş ve en yüksek ısıl iletkenlik değerı takviyesiz Al6061 alaşımı için 167,24W/mK olarak belirlenmiştir. En düşük ısıl iletkenlik değerine ise %5 Oltu tozu takviyeli kompozitte 100,66W/mK olarak ulaşılmıştır. Bu durumda Oltu tozunun yalıtım gereken yerlerde kullanımının mümkün olabileceği söylenebilir. Kompozitlerin ölçölen ısıl difüzyon değerleri incelendiğinde ise en yüksek değer 0.936cm²/sn ile %5 AlN takviyeli kompozitte ölçölürken, en düşük değer ise 0.575cm²/sn ile %5 Oltu tozu takviyeli kompozitte ölçölmüştür.

Sonuç olarak, Oltu tozunun kompozit üretiminde, endüstriyel takviye elemanlarına iyi bir alternatif veya onların yanında iyi bir ikinci takviye elemanı olabileceği düşünölmektedir. Ülkemizin yer altı zenginliklerinin ileriki araştırmalarda daha fazla çalışılarak, endüstriyel nitelikte takviye elemanlarının ortaya çıkması olasıdır.

KAYNAKLAR

- Ahlatci, H., Koçer, T., Candan, E. ve Çimenoglu, H. (2006). Wear behaviour of Al/(Al₂O₃p+SiCp) hybrid composites. *Tribology International*, 39, 213-220.
- Akın, G. (2006), *Toz Metalurjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akıncıoglu, G., Öktem, H., Uygur, I. ve Akıncıoglu, S. (2018). Determination of friction-wear performance and properties of eco-friendly brake pads reinforced with hazelnut shell and boron dusts. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(9), 4727-4737.
- Alparslan, E. (2009). *Oltu Taşı İşletmeciliği ve Yörede Üretilen Ürünlerin Bazı Özellikleri*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ev Ekonomisi (El Sanatları) Anabilim Dalı, Ankara.
- Altinkök, N. (2014). Optimization of mechanical properties of hybrid Al₂O₃/SiCp reinforced composites produced by pressure-assisted aluminum infiltration. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 66, 909-919.
- Altun, Ö. (1998). Lazer Flaş yöntemini kullanarak malzemelerin ısı iletim katsayısının deneysel olarak tayin edilmesi ve örnek bir uygulama, (375-380). *VII. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi*. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Tepekule Kongre Ve Sergi Merkezi, İzmir.
- Amiri, A., Krosbakken, T., Schoen, W., Theisen, D. ve Ulven, C.A. (2017). Design and manufacturing of a hybrid flax/carbon fiber composite bicycle frame. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232 (1), 28-38.
- Andres, R. M. (2015). *Tribological behaviour of Dp600 dual phase steel on uniand bi-directional discontinuos sliding wear. (Doktora Tezi)*. Universidad Complutense De Madrid Facultad De Ciencias Fisicas, İspanya.
- Babalık, H. (2009). *Türkiye Değerli Taş Potansiyeli ve Pazarlama Sorunları. (Yüksek Lisans Tezi)*. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Aydın.
- Baik, Y. ve Drew, R.A.L. (1996). Aluminum Nitride: Processing and Applications. *Key Engineering Materials*, 122-124, 553-570.
- Baker, T. N., Gorton, A. J., Song, Y., Ni, X., Carvalho, M. H., Marcelo, T. M. ve Carvalhinhos, H. (1996). Powder processing of AA6061 aluminium metal matrix composites using hot forging as means of consolidation. *Powder Metallurgy*, 39(3), 223-229.

- Bakkaloğlu, A. (2023). Yıldız Teknik Üniversitesi İleri Toz Metalurjisi Ders Notları. Erişim adresi <https://avesis.yildiz.edu.tr/abakkal/dokumanlar>
- Balcı, O., Prashanth K.G., Scudino, S., Somer, M. ve Eckert, J. (2017). Powder metallurgy of Al-based composites reinforced with Fe-based glassy particles: effect of microstructural modification. *Chair of Materials Physics*, (430), 1-6.
- Baştürk, S., Uyanık, H. ve Kazancı Z. (2014). An analytical model for predicting the deflection of laminated basalt composite plates under dynamic loads. *Composite Structures*, 116, 273-285.
- Bilgin, Ö. (2019). Examination of analysis results of Oltu stone / Side Rock Samples. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*, 12(3), 23–29.
- Chaithanyasai, A., Vakchore, P.R., ve Umasankar, V. (2014). The micro structural and mechanical property study of effects of egg Shell particles on the aluminum 6061. *Procedia Engineering*, 1(97), 961-967.
- Chen, C.F., Perisse, M.E., Ramirez, A.F., Padture, N.P. ve Chan, H.M. (1994). Effect of grain boundary phase on the thermal conductivity of aluminum nitride ceramics. *Journal of Materials Science*, 29, 1595- 1600.
- Dang, Z.M., Yuan, J.K., Zha, J.W., Zhou, T., Li, S.T. ve Hu, G.H. (2012). Fundamentals, processes and applications of high-permittivity polymer–matrix composites. *Prog Mater Sci*, 57(4), 660-723.
- David, W.R. ve William, E.L. (2018). Properties, processing, and use in design. *Modern Ceramic Engineering, Fourth Edition*, CRC Press Taylor Francis Group.
- Davies, P., ve Rajapakse, Y.D. (2014). *Durability of composites in a marine environment*, Berlin, Germany: Springer.
- De Araujo, M. (2011). Natural and man-made fibres physical and mechanical properties. *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications*, 3-28.
- Dixit, S. ve Goel, R. (2017). Natural Fibre reinforced polymer composite materials a review, *Polymers from Renewable Resources*, 8 (2), 71-78.
- Edokpia, R. O., Aigbodion, V. S., Obiorah, O. B., ve Atuanya, C. U., (2014). Evaluation of the properties of ecofriendly brake pad using egg shell particles–Gum Arabic. *ScienceDirect Elsevier*.
- Elakhame, Z. U., Alhassan, O. A., ve Samuel, A. E. (2014). Development and production of brake pads from palm kernel shell composites. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(10), 735-744.
- Ertok, Ş. (2011). *Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Fan, S., Yang, C., He, L., Du, Y., Krenkel, W., ve Greil, P. (Eds.). (2016). Progress of ceramic matrix composites brake materials for aircraft application. *Reviews on Advanced Materials Science*, 44 (4), 313-325.
- Fang, K. (2019). Encapsulation process technology. *Encapsulation technologies for electronic applications*, William Andrew, 123-181.
- Fiore, V., Di Bella, G. ve Valenza, A. (2011). Glass–basalt/epoxy hybrid composites for marine applications. *Materials & Design*, 32 (4), 2091-2099.
- Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L. (2006). *Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications*, Germany: Springer.
- Froes, F.H., Suryanarayana, C., Taylor, P.R., Ward-Close C.M. ve Goodwin, P. (1996). Synthesis of advanced lightweight metals by powder metallurgy techniques. *Powder Metall*, 39 (1), 63-65.
- Ganesh, R., Subbiah, R. ve Chandrasekaran, K. (2015). Dry sliding wear behavior of powder metallurgy aluminium matrix composite. *Materials Today: Proceedings*, 2, 1441-1449.
- Halverson, D.C., Pyzik, A.J., Aksay, I.A. ve Snowden, W.E. (1989). Processing of boron carbide-aluminium composites. *Journal Of The American Ceramic Society*, 72 (5):775-780.
- Hiçyılmaz, N. (1999). *TM Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi)*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hunt, W.H. (2000). Metal Matrix composites. *Comprehensive Composite Materials*, 57-66.
- Idris, U. D., Aigbodion, V. S., Abubakar, I. J., ve Nwoye, C. I. (2015). Eco-Friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27(2), 185-192.
- İpek, R. (2005). Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/ B₄C-Al/ SiC). *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 71-75.
- Jannet, S.R., Ruban, S.R., Khosla, S., Sasikumar, U., Sai, N.B., ve Teja, P.M. (2021). Effect of egg shell powder on the mechanical and microstructure properties of AA 2024 metal matrix composite. *Materials Today: Proceedings*, 44(1), 135-140.
- Jesthi, D.K. ve Nayak, R.K. (2019). Improvement of mechanical properties of hybrid composite through interply rearrangement of glass and carbon woven fabrics for marine applications. *Composites Part B: Engineering*, 168, 467-475.

- Kalkan, E., Bilici, Ö. ve Kolaylı, H. (2012). Evaluation Of Turkish black amber: A case study of Oltu (Erzurum), Ne Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 7 (15), 2387–2397.
- Katnam, K.B., Da Silva, L.F.M., ve Young, T.M. (2013). Bonded repair of composite aircraft structures: a review of scientific challenges and opportunities
- Kınacı, E. H. (2013). *Mineralogical and Gemmological Investigation and Genesis of Oltu Stone (Carbon Black)*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Knudsen, A.K. (1995). Aluminum Nitride. *American Ceramic Society Bulletin*, 74 (6), 97-101.
- Kong, C. ve Lee, H. (2016), H. Park, Design and manufacturing of automobile hood using natural composite structure. *Composites Part B: Engineering*, 91, 18-26
- Kopeliovich, D. (2014). Advances in the manufacture of ceramic matrix composites using infiltration techniques. *Advances in Ceramic Matrix Composites*, 79-108.
- Kumar, A., Lal Krishna, G. ve Anantha Subramanian, V. (2019). Design and analysis of a carbon composite propeller for podded propulsion. *Multi-Target Drug Design Using Chem-Bioinformatic Approaches*, 203-215.
- Kumar, N. M., Kumaran, S.S. ve Kumaraswamidhas, L. A. (2016). Wear behaviour of Al2618 alloy reinforced with Si3 N4 , AlN and ZrB2 in situ composites at elevated temperatures. *Alexandria Engineering Journal*, 55, 19-36.
- Lee, W.E. ve Rainford, W.M., (1994). *Ceramic Microstructures: Property Control by Processing*. London: Chapman & Hall.
- Li, R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M. ve Zhang, Z. (2017). radiation shielding property of structural polymer composite: continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composite containing erbium oxide. *Compos Sci Technol*, 143, 67-74.
- Lim, C.Y.H., Lim, S.C. ve Gupta, M. (2003). Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites. *Wear*, 255(1-6), 629-637.
- Lindroos, V.K. ve Talvitie, M.J. (1995). Recent advances in metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 53, 273-284
- Lloyd, D. (1994). Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites. *International Materials Reviews*, 39, 1-23.
- Mallick, P.K. (2012). Advanced Materials for automotive applications an overview. *Advanced Materials in Automotive Engineering*, 5-27.
- Maryanka, Y., Meidar, M. I. ve Curless, R.A. (2014). United States Patent, Method of signal transmission using fiber composite sandwich panel, Patent No. US 8903311, New York.

- Mazumdar, S. K., (2002). *Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*. London: CRC Press.
- McKeen, L. W. (2010). Fatigue and tribological properties of plastics and elastomers. *Plastics Design Library*, 25-38.
- Mondal, D.P. ve Das, S. (2005). High stress wear behaviour of aluminium hard particle composites: effect of experimental parameters, particle size and volume fraction. *Tribology International*, 1-9.
- Mortensen, A., Sanmarchi, C. ve Degischer, H. (2002). *Glossary of Terms Specific to Metal Matrix Composites*. MMC-Assess Thematic Network.
- Mroz, T.J. (1996). Aluminum Nitride. *American Ceramic Society Bulletin*, 75 (6), 96-100.
- Mukherjee, M., Das, C.K. ve Kharitonov, A.P. (2006). Fluorinated and oxyfluorinated short Kevlar fiber-reinforced ethylene propylene polymer. *Polym Compos*, 27(2), 205-212.
- Narayana, D.A., Ganapathia, M., Pradyumna, B. ve Haboussi, M. (2018). Investigation of thermo-elastic buckling of variable stiffness laminated composite shells using finite element approach based on higher-order theory. *Compos Struct*, 211, Elsevier, 24-40.
- Nishida, Y. (2013). *Introduction to Metal Matrix Composites: Fabrication and Recycling*. Tokyo: Springer.
- Onaran, K. (1999). *Malzeme Bilimi*. İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi.
- Öğünç H. (2006). *Sıcak presleme ile Sinterlenmiş α -SiC matrisli B4C kompozitlerinin özelliklerinin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özdin, K. (2006). *Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması. (Doktora Tezi)*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Palacı, Y. (2001). *Alüminanın Özelliklerine, Şekillendirme Yönteminin, Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi. (Doktora Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Penchal Reddy, M., Shakoor, R.A., Parande, G., Manakari, V., Ubaid, F., Mohamed, A.M.A. ve Gupta, M. (2017). Enhanced performance of nano-sized sic reinforced al metal matrix nanocomposites synthesized through microwave sintering and hot extrusion techniques. *Progress in Natural Science Materials International*, 27(5), 606-614.

- Pierson, H. O. (1996). *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*, New Jersey: Noyes Publications. *Prog Aerosp Sci*, 61, 26-42.
- Rajak, D. K., Pagar, Durgesh D., Kumar, R. ve Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354-6374.
- Ralegaonkar, R., Gavali, H., Aswath, P. ve Abolmaali, S. (2018). Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: a review. *Constr Build Mater*, 164, 589-602.
- Ramachandra, M., ve Radhakrishna, K. (2006). Sliding Wear, Slurry Erosive Wear, And Corrosive Wear of Aluminium/SiC Composite. *Journal of Materials Science-Poland*, 24(2/1), 333-349.
- Ray, B.C. (2006). Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites, *J Colloid Interface Sci*, 298(1), 111-117.
- Ren, X., Zhou, J., Qi, X., Liu, Y., Huang, Z., ve Li, Z. (Eds.). (2017). Few-Layer black phosphorus nanosheets as electrocatalysts for highly efficient oxygen evolution reaction. *Advanced Energy Materials*, 7 (19), 1-8.
- Sağırlı, A. (1990). *Mekanik Ekzantrik Toz Metal Presi ve Toz Metal Teknolojisi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schwartz, M.M. (1984). *Composites Materials Handbook*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Sharma, V.K., Kumar, V. ve Joshi, R.S. (2019). investigation of rare earth particulate on tribological and mechanical properties of Al-6061 alloy composites for aerospace application. *J Mater Res Technol*, 8 (4), 3504-3516.
- Shih, H.C., Ho, N.J. ve Huang, J.C. (1996). Precipitation behavior in Al-Cu-Mg and 2024 aluminum alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27, 2479-2494.
- Singaravelu, D. L., Vijay, R., Manoharan, S., ve Kchaou, M. (2019). Development and performance evaluation of eco-friendly crab shell powder based brake pads for automotive applications. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 16(2), 6502-6523.
- Soliveri, G., Sabatini, V., Farina, H., Ortenzi, M.A., Meroni, D. ve Colombo, A. (2015). Double side self-cleaning polymeric materials: the hydrophobic and photoactive approach. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 483, 285-291.
- Sommers, A., Wang, Q., Han, X., T'Joel, C., Park, Y. ve Jacobi, A. (2010).ceramics and ceramic matrix composites for heat exchangers in advanced thermal systems-A review. *Applied Thermal Engineering*,30 (11-12), 1277-1291.
- Strong, A. B., (2008). Composites manufacturing fundamentals of materials, methods, and applications, second edition. *Society of Manufacturing Engineers*, 2, 395-457.

- Surappa, M.K. (2003). Aluminum matrix composites: challenges and opportunities. *Sadhana*, 28, 319-334.
- Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and minnling. *Progress in Materials Science*, 46, 1-184
- Şahin, Y. (2003). Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites. *Materials and Design*, 24, 671-679.
- Şahin, Y. (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Şen N. (2018). *Lamel Grafitli dökme demirlerin üretiminde metalurjik Silisyum Karbür ve Ferro Silisyum katkılarının malzeme üzerindeki mekanik, metalurjik ve ekonomik etkisinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi)*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Tan, M.J., Zhang, X. (1998). Powder Metal Matrix Composites : Selection and Processing. *Materials Science & Engineering*, A244, 80-85.
- Thelning, K.E. (1920), *Steel and its heat treatment book*. London, Boston: Butterworths.
- Thoppul, S.D., Finegan, J. ve Gibson, R.F. (2009). Mechanics of mechanically fastened joints in polymer–matrix composite structures-A review. *Compos Sci Technol*, 69(3–4), 301-329.
- Torralba, J.M., Costa, C.E., Velasco, F. (2003). P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview. *Journal of Metarials Processing Technology*, 133, 203-206.
- Totten, G.E. ve Mackenzie, D.S. (2003). *Handbook of Aluminum, Physical Metallurgy and Processes*, New York: CRC Press.
- Toy, S., Eymirli, E. B. ve Gürbüz, G. (2016). Oltu Taşı değer zinciri analizi. *MEGARON / Yıldız Technical University, Faculty of Architecture E-Journal*, 12(1), 120–129.
- URL-1. (2023). Aluminum 6061-T6. <https://asm.matweb.com>, 08.11.2023.
- Uyyuru, K., Surappa, M.K. ve Brusethaug, S. (2007). Tribological behavior of Al–Si–SiCp composites/automobile brake pad system under dry sliding conditions. *Tribol International*, 40 (2), 365-373.
- Vlack, V. ve Lawrence, H. (1970). *Materials Science for Engineers*, Addison: Wesley.
- Voss, D.P. (1981). Modern Developnents in powder metallurgy. *Powder Metall*, 13, 467-481.
- Walczak, M., Pieniak, D., ve Zwierzchowski, M. (2015). The tribological characteristics of SiC particle reinforced aluminium composites. *Archieves of Civil Mechanical Engineering*, 15, 116-123.

- Wang, X., Liu, W.S., Lu, X. ve Lee, P.S. (2012). Dodecyl sulfate-induced fast faradic process in nickel cobalt oxide–reduced graphite oxide composite material and its application for asymmetric supercapacitor device. *J Mater Chem*, 22 (43), 365-373.
- Weimer, A.W. (1997). *Carbide, Nitride, and Boride Materials Synthesis and Processing*, London: Chapman & Hall
- Yawas, D. S., Aku, S. Y., ve Amaren, S. G. (2016). Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(1), 103-109.
- Young, Y.L. (2008). Fluid–structure interaction analysis of flexible composite marine propellers. *Journal of Fluids and Structures*, 24 (6). 799-818.
- Yvon, P. ve Carre, F. (2009). Structural materials challenges for advanced reactor systems. *Journal of Nuclear Materials*, 385 (2), 217-222.
- Zhang, C. (2014). Understanding the wear and tribological properties of ceramic matrix composites, *Advances in Ceramic Matrix Composites*, 312-339.
- Zhang, T., Evans, J.R., Evans, G. ve Bevis, M.J. (1996). Control of orientation in short fibre-reinforced metal matrix composites. *International Journal of Powder Metallurgy*, 32(4), 331-339.
- Zhong, F. ve Brown, G.L. (2009). Experimental study of multi-hole cooling for integrally-woven, ceramic matrix composite walls for gas turbine applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (3-4), 971-985.
- Zhou, Y., Zhang, M., Guo, Z., Miao, L., Han, S.T., ve Wang, Z. (Eds.). (2017). Recent advances in black phosphorus-based photonics, electronics, sensors and energy devices. *Materials Horizons*, 4 (6), 997-1019.