



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE
ÜRETİLMİŞ FARKLI ORANLARDA B₄C
TAKVİYELİ Al MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI**

Kübra SEÇİLMİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**NİSAN-2017
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Kübra SEÇİLMİŞ tarafından hazırlanan “Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilmiş Farklı Oranlarda B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması” adlı tez çalışması 18/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Doç. Dr. Çetin ÖZAY

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdürü

*Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2016-Yüksek Lisans-1 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Kübra SEÇİLMİŞ

Tarih:18.04.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOZ METALÜRJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ FARKLI ORANLARDA B₄C TAKVİYELİ Al MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Kübra SEÇİLMİŞ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr.Yahya Hışman ÇELİK

2017, 86 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

Doç. Dr. Çetin ÖZAY

Toz metalürjisi yöntemi sayesinde metal tozlarının istenilen şekle çok kısa zamanda dönüştürülmesi ekonomik anlamda seri imalatı mümkün kılmaktadır. Bu durum, malzemelerde talaşlı işleme ihtiyacını ortadan kaldırarak çok az malzeme kaybıyla, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle alüminyum ve alaşımları, ticari alanlarda vazgeçilmez malzemeler olarak toz metalürjisi yöntemi ile üretimde yerini almıştır. Bu tez çalışmasında, toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin farklı takviye oranlarının aşınma davranışına olan etkileri incelenmiştir. Saflıkları %99,9 ve boyutu 325 mesh olan Al ve B₄C tozları, saf Al, %4 B₄C/Al, %8 B₄C/Al, %12 B₄C/Al ve %16 B₄C/Al olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar 350 MPa basınç altında preslenerek 580°C’de 90 dakika boyunca atmosferik ortamda sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin mikrosertlik ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitlerin aşınma deneyleri özel olarak imal edilen test düzeneği ile 0,46 m/s sabit hızda, farklı uygulama yüklerinde (5N,10N ve 15N) ve farklı kayma mesafelerinde (250m,500m,750m ve 1000m) yapılmıştır. Ayrıca üretilen malzemelerin aşınmış ve aşınmamış yüzeylerindeki mikroyapısal değişimleri belirlemek için optik mikroskop, SEM, EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Al matrisli kompozitlerde B₄C takviye oranının artması sertliğinin artmasına ve aşınma kaybının azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca kayma mesafesi ve uygulanan yükün artması ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Bu durum, SEM görüntüsü ve EDS analizlerinden de görüldüğü gibi mikroyapıdaki takviye oranının sıklığı ve matris içerisindeki dağılımı ile ilgili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma davranışı, Bor karbür, Kompozit, Mikroyapı, Sertlik.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIORS OF Al MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT B₄C RATE PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHODS

Kübra SEÇİLMİŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2017, 86 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Assoc. Prof. Dr. Ali Kaya GÜR

Assoc. Prof. Dr. Çetin ÖZAY

The conversion of metal powders into a desired shape in a very short time thanks to the powder metallurgy method is to economically enable mass production. This case allows to be produced of parts with complex and high dimensional accuracy by eliminating the machining needs. Particularly aluminum and its alloys have taken place as indispensable materials in commercial areas in production with powder metallurgy method. In this study, the effects of wear behaviors of Al matrix composites reinforced with different B₄C rate produced by powder metallurgy method were investigated. Al and B₄C powders with a purity of 99.9% and a size of 325 meshes were prepared as pure Al, 4% B₄C/Al, 8% B₄C/Al, 12% B₄C/Al and 16% B₄C/Al. These prepared mixtures were sintered for 90 minutes at 580 °C in atmospheric environment by pressing under a pressure of 350 MPa. Microhardness and wear tests of the produced samples were carried out. Wear experiments of these composites were performed with specially manufactured test equipment at different application loads (5 N, 10 N and 15 N), different sliding distances (250 m, 500 m, 750 m and 1000 m) and a constant speed of 0.46 m/s. In addition, optical microscope, SEM, EDS analyses were used to determine the microstructural changes in the worn and unworn surface of the manufactured composite materials. As a result of experimental studies, it has been detected that the increasing the B₄C reinforced rate in composites with Al matrix has been lead to increase of the hardness and to reduce of wear loss. It is also seen that the amount of wear has been increases with increasing of the sliding distance and the applied load. It has been observed that this situation related to the frequency of reinforced rate in microstructure and the distribution of reinforced rate in matrix from SEM images and EDS analysis.

Keywords:Boron carbide, Composite, Hardness, Microstructure, Wear behavior.

ÖNSÖZ

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş farklı oranlarda B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının araştırılması başlıklı tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklere etkileri ile yapılmış bilimsel çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde kompozit malzemelerin tarihçesi, gelişimi, avantajları, dezavantajları, sınıflandırılması ve toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozitler ele alınarak sürtünme ve aşınma hakkında genel bilgiler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde toz metalürjisi yöntemiyle Al/B₄C kompozitin üretim aşamaları, mekanik özelliklerinin tespiti, aşınma deneylerinin yapılışı gibi materyal ve yöntem ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen araştırma sonuçları yorumlanmıştır ve tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

Her geçen gün artan bilimsel çalışmalar ve mühendislik gelişmelerinin aydınlığında, aşınmaya maruz kalan makine elemanlarına yararlılık sağlayabilmek amacıyla yaptığım bu çalışmamın planı, araştırılması ve tüm tez çalışmalarım süresince engin bilgi ve desteğini esirgemeyen, tecrübeleri ve bilgilendirmeleriyle çalışmalarına ışık tutan, çalışma azmini her zaman örnek aldığım danışman hocam Doç. Dr. Yahya Hışman Çelik'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Erol Kılıçkap'a ve tüm hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2016-Yüksek Lisans-1 nolu proje kapsamında yaptığım çalışmalara desteklerinden dolayı Batman Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgmeden beni daima sabır ve anlayışlılıkla karşılayan annem Gülizar Seçilmiş, babam Bedir Seçilmiş ve kardeşlerime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Kübra SEÇİLMİŞ
BATMAN-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLoların LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER.....	xiii
KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	10
2.1. Kompozit Malzemeler	10
2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi	10
2.1.2. Kompozit malzemelerin özellikleri	11
2.1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	11
2.1.4. Kompozit malzemelerin avantajları.....	11
2.1.5. Kompozit malzemelerin dezavantajları	12
2.1.6. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	12
2.1.6.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler.....	13
2.1.6.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler	13
2.1.6.3. Metal matrisli kompozit malzemeler	13
2.1.7. Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit üretimi	14
2.2. Sürtünme ve Aşınma Mekanizmaları	15
2.2.1. Sürtünme	16
2.2.1.1. Sürtünme mekanizması.....	16
2.2.1.2. Yüzeylerin sürtünme özellikleri.....	17
2.2.1.3. Sürtünme çeşitleri	18
2.2.1.4. Sürtünme kanunları.....	19
2.2.1.5. Sürtünme katsayısı.....	20
2.2.1.6. Sürtünmenin ölçülmesi	21
2.2.2. Aşınma	22
2.2.2.1. Aşınmaya etki eden faktörler	23
2.2.2.2. Aşınma-zaman ilişkisi.....	26
2.2.2.3. Aşınma ve yüzey deformasyonu.....	27
2.2.2.4. Aşınma mekanizmalarının sınıflandırılması.....	29
2.2.2.5. Aşınma deney yöntemleri	35
2.2.2.6. Aşınma deney cihazları.....	37
2.2.2.7. Aşınma ölçüm metotları.....	39

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
3.1. Çalışmanın Amacı.....	43
3.2. Deneylerde Kullanılan Tozlar.....	43
3.3. Toz Karışımlarının Hazırlanması.....	44
3.4. Tozların Karıştırılması.....	45
3.5. Tozların Presleme İşlemi	46
3.6. Sinterleme Koşulları	47
3.7. Metalografik Numune İşlemleri.....	48
3.8. Sertlik ve Basma Değerleri	49
3.9. Aşınma Deneyleri	51
3.10. SEM ve EDS Analizleri.....	52
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	54
4.1. Elde Edilen Numuneler İçin Optimum Sinterleme Koşullarının İncelenmesi	54
4.1.1. Sertlik ölçümü ve sinterleme sıcaklığının incelenmesi.....	54
4.1.2. Basma gerilmesinin incelenmesi	55
4.2. Optimum Sinterleme Koşullarının Numunelerde İncelenmesi.....	56
4.3. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	57
4.4. Numunelerdeki Sertlik Ölçümlerinin İncelenmesi	58
4.5. Aşınma Deneylerinin İncelenmesi.....	59
4.5.1. Uygulanan yüke bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi	60
4.5.2. Kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi	63
4.5.3. Takviye oranına bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi	65
4.5.4. Takviye oranına ve uygulanan yüke bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi	67
4.6. Numunelerdeki Isı Oluşumu ve Yapışmaların İncelenmesi	70
4.7. SEM ve EDS İncelemeleri.....	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
5.1. Sonuçlar	78
5.2. Öneriler	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	86

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Aşınmaya etki eden faktörler	24
Tablo 2.2. Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya olan etkileri (Owsalou, 2012)	31
Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan tozların yaklaşık ağırlık birleşim oranları ...	45
Tablo 3.2. Aşınma deney parametreleri	52
Tablo 3.3. Ti-6Al-4V alaşımının özellikleri ve içinde bulunan bileşimlerin oranları ...	52
Tablo 4.1. %8 B ₄ C/Al kompozitin sinterleme sıcaklığına bağlı sertlik değerleri.....	54
Tablo 4.2. Farklı takviye oranlarındaki kompozitlerin sertlik değerleri	58
Tablo 4.3. Aşınma parametreleri ve takviye oranına bağlı ağırlık kaybı değerleri.....	60
Tablo 4.4. %8 B ₄ C/Al kompozit yüzeyinde bölgesel olarak belirlenen kimyasal kompozisyonlar.....	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.Kerpiçten yapılan ve günümüzde de halen kullanılan en eski yapılardan Harran Evleri(http://www.fotokritik.com).....	10
Şekil 2.2.Toz metalürjisi yönteminin temel aşamaları	15
Şekil 2.3. Tribosistemin genel “Giriş-Çıkış” tanımı (Sevim, 1998).....	15
Şekil 2.4. Sürtünme esnasındaki gerçek temas noktaları (Şafak, 2008).....	17
Şekil 2.5. Kayma sürtünmesi ve kayma hızı ilişkisi (Koç, 2009)	18
Şekil 2.6. Sürtünme yüzeylerindeki tabakalar (Kılıç, 2007)	19
Şekil 2.7. Statik sürtünme katsayısının kontak süresiyle, kinetik sürtünme katsayısının kayma hızıyla değişimi (Şenel, 2008).....	20
Şekil 2.8. Sürtünme ölçümü için basit düzlem (Şafak, 2008)	21
Şekil 2.9. Aşınma-zaman grafiği (Koç, 2009).....	26
Şekil 2.10. Aşınmanın sınıflandırılması (Kılıç, 2013).....	28
Şekil 2.11. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler (Büyükkelleci, 2008)	29
Şekil 2.12. Adhezif aşınmada oluşan kaynak bağı (İlivan, 2012)	30
Şekil 2.13. Abrasif aşınma mekanizmaları (Çam, 2012)	32
Şekil 2.14. a) İki elemanlı, b)Üç elemanlı abrasif aşınma (Taşdelen, 2007)	32
Şekil 2.15. Çarpma açısına bağlı erozyon aşınma oranı (Palavar, 2014)	34
Şekil 2.16. Aşınma test modellerinin şematik olarak gösterilmesi (Palavar, 2014).....	35
Şekil 2.17. Sürtünme aşınma deney düzenekleri (Büyükkelleci, 2008).....	36
Şekil 2.18. Dört bilya aşınma deney aparatı (Şahin, 2012)	38
Şekil 2.19. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenler (Şahin, 2012).....	38
Şekil 2.20. Levha-kayış aşınma deney cihazı (Şahin, 2012)	39
Şekil 3.1. Temin edilen tozların görüntüleri.....	44
Şekil 3.2. Radwag marka AS 220/C/2 model hassas terazi görüntüsü.....	44

Şekil 3.3. %4 B ₄ C/Al oranındaki tozların hazırlanma görüntüleri	45
Şekil 3.4. Planetary Ball Mill, XQM-2 mekanik karıştırma cihazı, aparatı ve çelik bilyeler	46
Şekil 3.5. Kalıp içerisine konulan tozların zımba ile preslenmesi.....	46
Şekil 3.6. Farklı takviye oranlarına sahip B ₄ C takviyeli Al matrisli kompozit numuneler	47
Şekil 3.7. Nabertherm marka fırın	48
Şekil 3.8. %8 B ₄ C/Al numunelerin farklı sinterleme sıcaklıklarındaki görüntüleri	48
Şekil 3.9. Presi Minitex 233 model parlatma cihazı ve Grit yapışkanlı disk zımpara kâğıdı	49
Şekil 3.10. Shimadzu HMT mikrosertlik ölçüm cihazı.....	49
Şekil 3.11. Shimadzu universal test cihazı	50
Şekil 3.12. Leica DM 2500 P optik mikroskop	50
Şekil 3.13. JETCO JML-3010Y universal torna tezgâhı.....	51
Şekil 3.14. Aşınma deney düzeneği.....	51
Şekil 3.15. SEM cihazının resmi	53
Şekil 4.1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında %8 B ₄ C/Al kompozitlerin sertlik ölçüm görüntüleri.....	54
Şekil 4.2. %8 B ₄ C/Al kompozitlerin farklı sinterleme sıcaklıkları için basma gerilmesi diyagramı	55
Şekil 4.3. 580 °C sıcaklıkta sinterlenen numuneler	56
Şekil 4.4. Farklı takviye oranlarına sahip B ₄ C takviyeli Al matrisli kompozit numuneler	56
Şekil 4.5. Farklı B ₄ C takviye oranına bağlı Al matrisli kompozitlerin 10x büyütme optik görüntüleri	57
Şekil 4.6. Takviye oranına bağlı ortalama sertlik değerlerinin değişim grafiği	58
Şekil 4.7. Saf Al ve farklı B ₄ C takviye oranına bağlı Al matrisli bazı kompozitlerin aşındırılmış görüntüleri.....	59
Şekil 4.8. 250m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları.....	61

Şekil 4.9. 500m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları.....	61
Şekil 4.10. 750m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları.....	62
Şekil 4.11. 1000m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları.....	62
Şekil 4.12. 5N uygulama yük için kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları	63
Şekil 4.13. 10N uygulama yük için kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları	64
Şekil 4.14. 15N uygulama yük için kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları	64
Şekil 4.15. 250m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları.....	65
Şekil 4.16. 500m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları.....	66
Şekil 4.17. 750m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları.....	66
Şekil 4.18. 1000m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları.....	67
Şekil 4.19. 5N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları	68
Şekil 4.20. 10N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları	68
Şekil 4.21. 15N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları	69
Şekil 4.22. Numunelerdeki sürtünmeye bağlı ısı oluşumu	70
Şekil 4.23. B ₄ C takviyeli Al matrisli kompozitin aşınmış görüntüsü.....	71
Şekil 4.24. Saf Al numunesinin SEM görüntüsü (300X büyütme)	72
Şekil 4.25. Saf Al numunesinin EDS grafiği.....	72
Şekil 4.26. %4 B ₄ C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)	73
Şekil 4.27. %4 B ₄ C/Al numunesinin EDS grafiği	73
Şekil 4.28. %8 B ₄ C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)	74
Şekil 4.29. %8 B ₄ C/Al numunesinin EDS grafiği	74
Şekil 4.30. %12 B ₄ C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)	75
Şekil 4.31. %12 B ₄ C/Al numunesinin EDS grafiği	75
Şekil 4.32. %16 B ₄ C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)	76
Şekil 4.33. %16 B ₄ C/Al numunesinin EDS grafiği	76

SİMGELER

A	: Hareketli yüzeyin temas alanı (mm ²)
A_a	: Aşınma
A_{em}	: Müsaade edilen aşınma sınırı
D	: Yoğunluk (g/cm ³)
D₀₁	: Aşınma öncesi uç köşegenin ölçüsü (mm)
D₀₂	: Aşınma öncesi uç köşegenin ölçüsü (mm)
D₁	: Aşınma öncesi uç köşegenin ölçüsü (mm)
D₂	: Aşınma öncesi uç köşegenin ölçüsü (mm)
F	: Kuvvet (N)
F_N	: Normal kuvvet (N)
F_s	: Sürtünme kuvveti (N)
l	: Tabakalar arası mesafe (mm)
P	: Yükleme ağırlığı (N)
R	: Bağlı aşınma direnci
S	: Kayma yolu (m)
V_s	: Aşınma orantı sayısı
W_a	: Aşınma oranı (mm ³ /N.m)
W_r	: Aşınma direnci (N.m/mm ³)
W_s	: 1 km aşınma yoluna denk gelen yükseklik kaybı (µm.km)
ΔG	: Ağırlık kaybı (mg)
ΔH	: Aşınma Miktarı
α	: Uç tepe açısı (°)
$\frac{du}{dy} = \frac{v}{l}$	: Hız değişimi
μ	: Sürtünme katsayısı
μ_k	: Kayma sürtünmesi
τ	: Kayma gerilmesi
η	: Yağ viskozitesi

KISALTMALAR

Al	Alüminyum
Al₂O₃	Alüminyum Oksit
B₄C	Bor Karbür
CNT	Karbon Nanotüp
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
SiC	Silisyum Karbür
SRP	Yüzey Rafine İşlemi (surface refining process)

1. GİRİŞ

Malzeme kayıpları, doğal kaynakların aşırı tüketilmesine ve buna bağlı olarak çevrenin aşırı kirletilmesine sebep olmaktadır. Bu doğrultuda, çevreye minimum etkiye sahip ürünler tasarlayıp üretilmeye çalışılmalıdır (Xian-Qing ve arkadaşları, 2003). Teknolojinin gelişmesiyle beraber metal matrisli kompozitler (Wan ve arkadaşları, 2007; Rao ve Das, 2011), fiber takviyeli kompozitler (Fei ve arkadaşları, 2015; Xu ve arkadaşları, 2014), toz metalürjisi ile elde edilen kompozitler (Abarghouie ve Reihani, 2010) ve yüzeyi kaplanmış kompozitler (Cao ve arkadaşları, 2015) üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Böylelikle farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin istenilen özellikleri bir arada toplanabilmektedir (Tang ve arkadaşları, 2008).

Kompozit malzemeler, özellikleri birbirinden farklı olan birden çok malzemenin farklı özelliklerinden yeni ve istenen nitelikte malzeme oluşturulabilmeye imkân sağladığından en çok tercih edilen malzeme çeşididir ve farklı üretim yöntemleri ile elde edilmektedirler. Bu üretim yöntemlerinin önemli olanlarında biri toz metalürjisidir. Metal tozlarının karmaşık ve boyutsal hassasiyette yüksek parçalar haline getirilmesine olanak sağlayan toz metalürjisi yöntemi gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir. Bunun başlıca iki ana sebebi vardır. Bunlardan birincisi, toz metalürjisi ile üretilen kompozitlerin ikinci bir işleme ihtiyaç duyulmadan çok az malzeme kaybı ile birlikte belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip parçaların seri imalatına olanak sağlamasıdır. İkincisi ise farklı tozların karıştırılmasıyla kompozite istenilen yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı gibi üstün özelliklerin kazandırılmasıdır. Bu üstün özellikler toz metalürjisi ile üretilen kompozitlerin değişik alanlarda kullanımına imkân sağlamaktadır. Toz metalürjisi yöntemi ile şekillendirilen parçaların kullanım alanlarından uzay, otomotiv, savunma sanayi ve elektronik endüstrisi bunlardan bazılarıdır (Abarghouie ve Reihani, 2010; Orhan ve arkadaşları, 2007; Xian-Qing ve arkadaşları, 2003).

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemeler arasında özellikle alüminyum (Al) ve alaşımları ekonomik, hafif olma ve kolay işlenebilme niteliklerinden dolayı en çok tercih edilen matris malzemeleridir. Ayrıca, toz halde bulunan bu matris malzemelere farklı özelliklerde takviye elemanı ilave edilerek istenilen fiziksel ve mekanik özellikler kazandırılabilir. B_4C , SiC ve Al_2O_3 takviye elemanları düşük yoğunluk, yüksek sertlik, yüksek mukavemet, iyi kimyasal kararlılık ve

tribolojik özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen takviye elemanlarıdır (Tang ve arkadaşları, 2008; Li ve arkadaşları, 2017).

Malzemelerde istenen özellikler olduğu gibi istenmeyen özellikler de vardır. İstenmeyen bu özelliklerden biri de aşınmadır. Günümüzde toz metalürjisi yöntemi ile üretilen malzemeler değişik çalışma şartları altında farklı yük ve momentlere maruz kalmaktadır. Özellikle birbiriyle etkileşim halinde çalışan malzemelerde sürtünme faktörü de önemli bir parametredir. Çünkü sürtünen malzemeler, sıcaklık artışına ve aşınmaya neden olmaktadır (Thakur ve Dhindaw, 2001). Aşınma, malzemelerin etkileşim yüzeyleri arasında yerel bir ilişkinin sonucu olarak izafi hareket esnasında malzeme kaybı olarak tanımlanabilir (Deuis ve arkadaşları, 1997). Bu sebeple etkileşim halinde çalışan malzemelerde, çalışma şartlarına bağlı olarak az veya çok aşınma gözlemlenebilir.

1.1. Literatür Taraması

Farklı üretim yöntemleri ile üretilen metalik alaşımların ve kompozit malzemelerin aşınma davranışları ve aşınma mekanizmaları ile ilgili yapılan literatür çalışmalara aşağıda ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Ataç ve arkadaşları [2014], mekanik alaşımlama ile üretilmiş çinko-alüminyum alaşımlarının kuru kayma şartları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Bu alaşımları sıcak şekillendirilerek sinterlenmeye tabi tutmuşlardır. Alaşımların kuru sürtünme aşınma testlerini, disk üzeri aşınma test cihazında, farklı yük, kayma hızı ve kayma mesafesinde gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarında, alüminyum oranının artmasıyla alaşımların sertliğinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek oranda alüminyum içeren çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının ve sürtünme katsayılarının düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Bastwros ve arkadaşları [2013], Al-karbon nanotüp (CNT) kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını uygulanan yüke ve kayma hızına bağlı olarak araştırmışlardır. Ayrıca, aşınan yüzeylerin morfolojik araştırmalarını taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile gerçekleştirmişlerdir. Araştırmaları sonucunda kompozit içerisindeki CNT içeriğinin artmasıyla kompozitteki sertlik ve aşınma direncinde ciddi bir artış olduğunu, CNT'nin kompozitte baskın bir rol oynadığını, CNT'nin kompozit yüzeyinde parçalı olarak ya da tamamen yüzeyi kaplayan bir karbon filmi

oluşturduğunu ve katı bir yağlayıcı madde olarak aşınma davranışına önemli bir biçimde katkı sağladığını gözlemlemişlerdir.

Çuvalcı [2001], çinko-alüminyum esaslı ticari ZA-27 kaymalı yatağının sürtünme davranışlarını incelemiştir. Yapacağı deneyler için çinko-alüminyum esaslı ZA-27 alaşımını kokil döküm yöntemi ile ürettikten sonra bu alaşımdan ve piyasadan tedarik ettiği ticari bronzdan talaşlı imalat yöntemi ile kaymalı yatakları imal etmiştir. Ürettiği yatakları laboratuarda değişik çalışma koşullarına tabi tutarak yatakların sürtünme davranışlarını belirlemiştir. Deneyler sonucunda yatak basıncının sürtünme faktörünü değiştirdiğini ve artan basıncın sürtünme faktörü değerinin düşmesine neden olduğunu görmüştür. Ayrıca, ZA-27 yatağının yüzeyinde etkili olan aşınma çeşidinin adhezif aşınma olduğunu tespit etmiştir.

Deuis ve arkadaşları [1997], alüminyum kompozitlerin kuru kayma şartları altındaki aşınmalarını incelemişlerdir. Deneylerinde kompozit numunelere farklı yükler uygulayarak artan yüklerin ve kompozit numuneler içerisindeki silikon oranının aşınma üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Ayrıca, sürtünmeden dolayı oluşan yüksek sıcaklıklarda aşınma oranının arttığı sonucuna varmışlardır.

Gopi ve arkadaşları [2014], ağırlıkça %4 bakır (Cu) içeren Al-Cu alaşımının sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı üzerine yüzey rafine işleminin (SRP) etkisini incelemeye çalışmışlardır. Al-Cu alaşımını kum kalıba döküm yöntemiyle üretmişlerdir. Yüzey rafine işlemlerinde ısı kaynağı olarak Gaz Tungsten Arkı, sertlik deneylerinde Vicker's sertlik ölçme yöntemini ve aşınma deneylerinde ise disk üzeri aşınma cihazını kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde aşınma oranının artan sertlikle düştüğünü, artan yüklerle arttığını ve değişken hız durumlarında sabit kaldığını gözlemlemişlerdir. Sürtünme katsayısının ise tüm deney şartlarında sabit olarak elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ısı davranışının modifiyeli tabakada önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır.

Gül [2014], AlSi10Mg döküm alaşımlarının bazı mekanik özellikleri üzerine ikincil yaşlandırma işleminin etkisini araştırmıştır. Çalışmasında Al10SiMg alaşımlı numuneleri 170°C'de 4 saat yaşlandırmıştır. İkincil yaşlandırma işleminde 170°C'de 10 ve 30 dakika yaşlandırılmış olan numuneleri 100°C'de 135 saat yeniden yaşlandırmıştır. Yaptığı abrazif aşınma test sonuçlarında, 170°C'de 30 dakika yaşlandırılan, ardından 100 °C' de 135 saat yeniden yaşlandırma işlemi yapılan numunenin, en yüksek abrazif aşınma direncine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Jiang ve arkadaşları [2014] , toz metalürjisi ve doğal reaktif sentez teknolojisi ile üretilmiş Al_2O_3 takviyeli Al-5%Si alaşım matrisli kompozitlerin farklı kayma hızı, yük ve kayma mesafesindeki sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Al-%5 Si- Al_2O_3 kompozitlerinin sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesinde M-2000 test cihazını kullanmışlardır. Yükün aşınma kaybını ve sürtünme katsayısını arttırdığını, kayma mesafesinin artması ile aşınma kaybının arttığını belirtmişlerdir. Al-5%Si- Al_2O_3 kompozitlerin aşınma testlerinde aşınma mekanizmalarının abrezif aşınma, adhezif aşınma ve oksidasyon aşınma olarak gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Karaoğlu ve arkadaşları [2001], plazma nitrülenmiş az alaşımlı (AISI 5140) çeliğin kuru kayma şartlarındaki aşınma davranışını incelemişlerdir. Plazma nitrürasyon işleminde süre, sıcaklık ve ortamın azot yüzdesini işlem değişkenleri olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında optik ve taramalı elektron mikroskopundan ve mikrosertlik ölçümlerinden yararlanmışlardır. Numunelerin aşınma direncini, pim-halka deney düzeneği ile tespit ederek aşınma kaybını sürtünme mesafesine bağlı olarak ölçmüşlerdir. Aşınmış yüzeyleri ve aşınma artıklarını mikroskobik olarak inceleyerek aşınma mekanizmalarını belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, plazma nitrürasyonu ile aşınma dayanımında önemli artışlar elde ederek maksimum aşınma dayanımı için proses parametrelerinin ince beyaz tabaka, yüksek yüzey sertliği ve kalın difüzyon tabakası verecek şekilde optimize edilmesi gerektiğini görmüşlerdir.

Kumar ve arkadaşları [2014], ASTM G99-95 standartlarına göre döküm yöntemi ile üretilen hibrit metal matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında Al2219 matris alaşımını B_4C ve MoS_2 takviyeleri ile güçlendirerek Al2219/ B_4C kompozit ile Al2219/ B_4C/MoS_2 hibrit kompoziti üretmişlerdir. Aşınma testleri için kullandıkları parametreler kayma mesafesi, kayma hızı ve yüküdür. Çalışmaları neticesinde kompozite ilave edilen B_4C takviyesinin kompozitin aşınma oranını yavaşça düşürdüğünü, MoS_2 yüzdeliğinin artmasıyla aşınma oranının düştüğünü görmüşlerdir. Düşük kayma hızının aşınma oranını düşürdüğünü ve kayma hızının artmasıyla aşınma oranının yükseldiğini, kayma mesafesinin ve yükün artmasıyla aşınma oranının keskin bir biçimde yükseldiğini görmüşlerdir.

Hasırcı ve Gül [2010], toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Al matrisli B_4C parçacık takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve sertliklerini inceleyerek kuru kayma koşullarındaki abrazif aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kompozit sertliğinin B_4C parçacık ilavesi ile arttığını, % 20 B_4C parçacık takviyeli kompozitin en yüksek sertlik

gösterdiğini ve %10 B₄C parçacık takviyeli kompozitin en yüksek aşınma direnci gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Kumaran ve arkadaşları [2015], döküm yöntemiyle üretilen B₄C ve SiC takviyeli AA6351 metal matrisli kompozitin kuru kayma şartları altındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma testlerini diskteki mil üzerine 20-100 N yük uygulayarak gerçekleştirmişler ve kayma hızını 1-5 m/s'e kadar uygulamışlardır. Aşınan yüzeylerin detaylı incelemelerinde SEM'den faydalanmışlardır. Gözlemleri neticesinde kompozitteki B₄C partiküllerinin yüzdelik oranının artmasıyla, yüksek yükleme ve kayma hızı durumlarında kompozitin iyi bir aşınma dayanımı gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Koçak ve arkadaşları [2014], nikel alüminyum bronz olan CuAl10Ni5Fe4 ile kalay bronz olan CuSn11'nin sürtünme ve aşınma özelliklerini karşılaştırmak için birtakım deneyler yapmışlardır. Deneyleri, kuru ortam atmosferik koşullarında, yüksek ve düşük yükleme şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler sonucunda, her bir alaşımın farklı çalışma şartlarındaki hacimsel olarak aşınma kayıplarını, sürtünme katsayısının değişimlerini ve aşınma mekanizmalarının türlerini belirleyerek bronz malzemelerin mikroyapı, mekanik özellik ve etkin aşınma mekanizmalarına göre bir biriyle kıyasını yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre, CuAl10Ni5Fe4 bronzunun özellikle yüksek yükleme şartlarında CuSn11 bronzuna göre çok daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, CuAl10Ni5Fe4 bronz bütünü yüklemeye şartlarında CuSn11 bronzuna göre daha düşük bir sürtünme katsayısı sergilediğini görmüşlerdir.

Abarghouie ve Reihani [2010], Al₂O₃ ve Al₂O₃/SiCp kompozitlerinin yüksek sıcaklıklarda sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. İncelemelerini 20-250 °C sıcaklıklar arasında gerçekleştirmişlerdir. Kuru kayma aşınma deneylerini 0,5 m/sn sabit kayma hızında, 20 N yükte ve 2500 m kayma mesafesinde yapmışlardır. Aşınma atıklarını ve aşınan yüzeyleri incelerken SEM ve EDS'den yararlanmışlardır. Yaptıkları çalışmalardan orta aşınma rejiminde bileşik numunelerinin aşınma oranları ve sürtünme katsayılarının, güçlendirilmemiş alaşımlardan daha yüksek olduğunu, SiC parçacıklarının kritik hal değişim sıcaklığında ve şiddetli aşınma rejiminde önemli bir etmen olduğu sonucuna varmışlardır.

Orhan ve arkadaşları [2007], gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş %99 saflıktaki Al ve B₄C tozlarını farklı takviye oranında kompozitler elde etmek için toz metalürjisi yönteminde sıcak presleme yöntemi kullanarak üretmişlerdir. B₄C takviye

elemanlarının matris içerisindeki birleşim oranlarını %10,%20 ve %30 olarak belirlemişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin metalografik incelemelerinde SEM'den yararlanmış ve kompozitlerin mikrosertlik sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Numunelerinin mikrosertlik grafiğini incelediklerinde takviye oranlarının değişmesiyle mikrosertlik değerlerinin de değiştiğini tespit etmişlerdir. İncelemeleri sonucunda Al matrisli B₄C takviyeli kompozit numunelerinin matris içindeki takviye dağılımlarının homojen şekilde gerçekleştiğini ve %10, %20, %30 B₄C takviyeli kompozitin üretilebileceğini ancak ağırlık oranlarına paralel olarak numunelerin mekanik özellikleri arasındaki değişimin fazla olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Özyürek ve arkadaşları [2009], toz metalürjisi yöntemi ile üretilen ve daha sonra beş farklı sürede yaşlandırılan A356 alüminyum alaşımında yaşlandırma süresinin aşınma davranışına olan etkisini incelemişlerdir. Bu incelemelerinde tribolojik özellikleri Pin-On-Disk aşınma cihazı ile belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, tarama elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) kullanmışlardır. Aşınma deneylerinde uygulanan yük ve kayma hızlarını değiştirerek sonuca etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, kayma hızı ve yükün aşınma davranışlarına etkisinin büyük olduğunu görmüşlerdir. Kayma hızı ve yükün artmasıyla aşınma miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yüksek kayma hızlarında ve yüklerde daha düşük sürtünme katsayısı değerlerini elde etmişlerdir. Aşınma mekanizmasının daha çok adhezif olduğu, yüksek kayma hızı ve yüklerde yapılan aşınma deneylerinde aşınan yüzeylerde oksitlenme görüldüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Ramesh ve arkadaşları [2011], döküm yolu ile üretilen Al6063 metal matris malzemenin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerinde kullanacakları esas alaşımı Al-%10Ti ve Al-%3B'den ekzotermik reaksiyonla üretmişlerdir. Kuru kayma şartları altındaki sürtünme ve aşınma testlerinde aşındırıcı olarak 60 HRC' ye sahip çelik disk kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Testlerinde 0,209 m/s ile 1,256 m/s arasında değişen kayma hızlarını ve 10 N ile 50N arasında değişen yükleri kullanmışlardır. Farklı numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri testlerinde artan kayma hızı ve yük ile aşınma oranının arttığı sonucuna varmışlardır.

Ravindran ve arkadaşları [2013],toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş alüminyum hibrit kompozitin tribolojik davranışını incelemişlerdir. Araştırmalarında Taguchi deney düzeneğini kullanarak optimal test parametreleri için varyans analizi yapmışlardır. Aşınma deneylerini farklı kayma mesafelerinde, 3m/s sabit kayma hızı ve 15N sabit

yükte gerçekleştirmişlerdir. Kayma mesafesinin artmasıyla aşınma kaybının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca ağırlık olarak %5 grafit içeren hibrit kompozitlerde grafitin kendi kendini yağlama özelliğinden dolayı en düşük aşınma kaybının ve sürtünme katsayısının elde edildiğini tespit etmişlerdir. Araştırmalarında, özellikle yüksek dayanım ve aşınma direncine sahip seramik takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin havacılık ve otomotiv sektörlerinde çok özel bir malzeme olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Sinha ve arkadaşları [2015], döküm yoluyla üretilmiş Al A380M ve sinterlenmiş Al6061 alaşımlarındaki gözenek etkisinin tribolojik davranış üzerine etkisini incelemişlerdir. Al 380M ve Al6061 alaşımlarının tribolojik özelliklerini, kuru kayma şartları altında karşı aşındırıcı olarak AISI 52100 çelik kullanarak, 5 N ve 15 N yükler arasında belirlenmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında aşınma oranının gözeneklilik artışıyla arttığını görmüşlerdir. Gerçekleştirdikleri tüm testlerde ve gözlemlerde Al A380M ve Al6061 arasındaki sürtünme ve aşınma davranışındaki farklılıkların bu malzemelerin sertlik farklılıklarına dayandığı sonucunu tespit etmişlerdir.

Taşçı ve arkadaşları [2013], yaptıkları çalışmada toz metalürjisi yöntemini kullanarak AA2014 toz metal alaşımına farklı oranlarda B₄C takviyesi yaparak kompozitler üretmişlerdir. Hazırladıkları kompozitlerin yoğunluk, gözeneklilik, sertlik ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Takviye oranındaki artışın sertliğin artmasına katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Şahin ve arkadaşları [2014], toz metalürjisi yöntemi ile Al/SiC/Grafit ve Al/FeB/Grafit hibrit kompozitlerin üretimini yapmışlardır. Çalışmalarında alüminyum matrise %10 ile %20 arasında silisyum karbür ve ferrobore takviyeleri eklemişler, ayrıca %0,5 ile %1,5 arasında grafit ilave etmişlerdir. Deneylerinde grafit oranının, takviye türünün, takviye oranının ve takviye miktarının kaplama direncine etkisini araştırmışlardır. Kaplama direncinin takviye oranının artmasıyla arttığını görmüşlerdir. Ayrıca kompozit içerisindeki grafit miktarının artması kaplama direncinin negatif olarak etkilenmesine neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ünal ve arkadaşları [2010], çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) ve PA-6 mühendislik polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerde polimerleri AISI 4140 çelik yüzeyine karşı çalıştırarak aşınma ve sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Ayrıca, kullanılan polimerlerin aşınma ve sürtünme davranışlarına, kayma hızı ve uygulanan yükün etkisini de araştırmışlardır. Deneyleri, kuru ortam şartlarında ve pim-disk aşınma cihazında

gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, ÇYMAPE ve PA-6 polimerlerinin sürtünme katsayısının ve spesifik aşınma oranının uygulanan yükün artması ile azaldığını fakat sürtünme katsayısının ve spesifik aşınma oranının kayma hızının artması ile arttığını gözlemlemişlerdir. ÇYMAPE polimerinin spesifik aşınma oranını yaklaşık $10\text{-}15 \text{ m}^2/\text{N}$ olarak bulurken PA-6'nın spesifik aşınma oranını yaklaşık $10\text{-}13 \text{ m}^2/\text{N}$ olarak tespit etmişlerdir.

Ünlü ve arkadaşları [2005], CuSn10 yatak malzemesinin tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. İncelemelerinde CuSn10 bronzundan üretilen kaymalı yatakların farklı yük ve hızlarda, kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme ve aşınma özelliklerini inceleyerek birbiriyle karşılaştırmışlardır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanmışlardır. İncelemeleri ve deneyleri sonucunda kuru ortamdaki sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerlerinin yağlı ortamdakilere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Yıldızlı ve arkadaşları [2003], çalışmalarında borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışını incelemişlerdir. Borlanan numunelerin aşınma testlerini farklı sıcaklık ve sürelerde, sıvı ortamda partikül püskürterek gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deney sonucunda ise borlanan numunelerin işlem görmeyen numuneye göre yaklaşık 9 kat daha fazla direnç gösterdiğini belirlemişlerdir.

Ayvaz ve Çetinel [2014], yaptıkları çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile üretilen alüminyum esaslı kompozitlerin ve B_4C takviye oranının mikrosertlik ve mikroyapı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Presleme basıncındaki ve takviye oranındaki artışın mikrosertliğin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca sinterleme süresinin önemine değinmişlerdir.

Zhu ve arkadaşlar [2015], Reçine/Grafit kompozitin kuru kayma altında sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. İncelemelerinde Pin-On Disk kullanmışlardır. Ayrıca Reçine/Grafit kompozitinin mikroyapısını SEM analizleri ile incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde grafitin sürtünme katsayısı 3 MPa yükte 0,21 olmuş, daha sonra normal yük 10 MPa'a yükselttiklerinde sürtünme katsayısı 0,29'a yükselmiş ancak 8 MPa yük uyguladıklarında sürtünme katsayısının düştüğünü görmüşlerdir. İncelemeleri neticesinde kompozitin yüksek yükleme ile uzun süreli kaymalarda kullanılabileceği ve mekanik mühürleme yapılabileceği sonucuna varmışlardır.

Xian-Qing ve arkadaşları [2003], ahşap seramikler/Al-Si kompozitlerin kuru kayma şartları altındaki sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir.

İncelemelerini kuru ortamda, oda sıcaklığında, çember üzeri blok test yöntemiyle, çeşitli yük ve kayma hızlarında yapmışlardır. Ayrıca kompozitlerin yüzey incelemeleri için SEM analizlerinden faydalanmışlardır. Yaptıkları aşınma testlerinde yükün artmasıyla sürtünme katsayısının arttığını dolayısıyla aşınma oranının da arttığını gözlemlemişlerdir.

Topcu ve arkadaşları [2009], Al matrisli Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozitler üzerine çok sayıda bilimsel çalışma olduğunu ve Al matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin Al matrisli Al_2O_3 ve SiC takviyeli kompozitlerden daha sert ve yoğunluğunun düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden Al matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Takviye oranındaki artışın kompozitin sertliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Varol ve arkadaşları [2013], toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Al2024- B_4C kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine takviye oranının etkisini belirlemek için yapay sinir ağ modeli geliştirmişlerdir. Takviye oranının sertlik, yoğunluk ve çekme mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirterek, yapay sinir ağının Al2024- B_4C kompozitlerin özelliklerini tahmin etmek için alternatif bir yöntem olduğuna değinmişlerdir.

Yapılmış literatür çalışmaları incelendiğinde takviye oranlarının, sinterleme sıcaklıklarının, sinterleme sürelerinin, presleme basınçlarının, uygulanan yüklerin, kayma mesafelerinin, matris ve takviye parçacık boyutlarının üretilen kompozitin mekanik özelliklerini ve aşınma dirençlerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Farklı kompozit malzemelerin aşınma davranışları ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen özellikle toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş B_4C takviyeli Al metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışları üzerine hâlâ bilimsel çalışmaların yapılmasına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu sebep ile yapılan çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen B_4C takviyeli Al metal matrisli kompozitlerin optimum sinterleme sıcaklığının ve bu sıcaklıklarda sinterlenen B_4C /Al kompozitlerdeki takviye oranının sertlik ve aşınma davranışı üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, en az iki malzemeden elde edilen ve bu iki malzemeden daha üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemelerin özellikleri onu oluşturan malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Kompozit malzemelerin oluşma amacı talebe uygun nitelikli en iyi malzemeyi oluşturmaktır. Çünkü günümüzde ilerleyerek gelişen ve büyüyen teknoloji artık daha üstün nitelikteki malzemelerin üretimini zorunlu hale getirmektedir. Bu sebeplerle mühendisler ve bilim insanları için kompozit malzemeler oldukça gözde bir yer edinmiştir.

2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel gelişimi

Kompozit malzemeler eski dönemlerden beri kullanılan malzemelerdendir. Malzemeler ile insanlar arasındaki ilişkiler insanlığın tarihi kadar eskidir. İnsanların doğada var olan maddelere müdahale etmesiyle ve bu var olan maddeleri kullanılabilir yaptığı zamanda kompozitlerin ilk örneklerine ulaşılmıştır. Bu örneklerden biri M.Ö. 1500 yıllarında Mısır'da evlerin yapımında kullanılan çamurlara bambu lifleri eklenerek elde edildiği bilinmektedir. Yine bir kompozit malzeme olan kerpiç çok eski dönemlerden itibaren kil hamuru ile saman ve bitki esaslı liflerin karıştırılmasıyla elde edilerek kullanılmıştır (Ersoy,2001). Şekil2.1'de kerpiçten yapılan ve hala günümüzde kullanılan yapılar görülmektedir.



Şekil 2.1. Kerpiçten yapılan ve günümüzde de halen kullanılan en eskilerden Harran Evleri(<http://www.fotokritik.com>)

2.1.2.Kompozit malzemelerin özellikleri

Kompozit malzemeler, özellikleri bakımından çok farklı malzemeler olarak kabul edilmektedir. Bu kabulün sebebi olarak;

- Hafif olması,
- Rijitliği,
- Aşınma ve darbelere karşı direnci,
- Korozyona karşı direnci,
- Çok yüksek sıcaklıklarda bile özelliklerini yitirmemeleri,
- Çatlak yayılmasına karşı dayanma direncini (kırılma tokluğu) sayabiliriz.

Kompozit malzemelerin birçoğu sadece iki fazdan meydana gelir. Bu fazlardan birincisi matris fazı, ikincisi ise saçınmış fazdır. Kompozit malzemelerdeki saçınmış faz, matris fazını sararak matris fazının sürekli olmasını sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin özellikleri onları oluşturan fazların özelliklerine, bağlı miktarlarına ve saçınmış fazın geometrisine göre değişmektedir. Saçınmış faz geometrisi kompozit malzemeyi oluşturan parçacıkların şekli, tane büyüklüğü, dağılışı ve yönlmesi anlamına gelmektedir (Callister ve Rethwisch,2013).

Ayrıca kompozit malzemelerin özellikleri; kompozit malzemeyi meydana getiren bileşen malzemelerin özelliklerine, kompozit malzemeyi meydana getiren bileşen malzemelerin kimyasal uygunluğuna, kompozit malzemenin hangi metod ile üretildiği ve üretilirken kullanılan parametrelere bağlı olarak değişmektedir (Şahin,2006).

2.1.3.Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemeler çok farklı ve çok özellikli olduklarından dolayı kullanım alanları oldukça geniştir. Bu kullanım alanlarından bazılarına havacılık, otomotiv, gemicilik, petrokimya ve biyomühendislik uygulamaları örnek olarak verilebilir (Şahin, 2006;Callister ve Rethwisch, 2013).

2.1.4.Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemeler gösterdikleri üstün özelliklerinden ötürü birçok avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Kompozit malzemelerden hafif olduklarından dolayı birçok sanayi kolunda yararlanılır,
- Kompozit malzemeler sayesinde kompleks parçaların bir bütün olarak üretilmesi mümkündür. Bu sebeple çok küçük parçaların üretimi ve montajının yapılması için gereken süre azalır,
- Kompozit malzemeler yardımıyla farklı fiziksel ve mekaniksel koşullara sahip istenilen özellikte malzemelerin üretimi mümkünleşir,
- Kompozit malzemeler çelik ile kıyaslandığında daha yüksek mukavemet gösterirler,
- Kompozit malzemelerin aşınmaya, bazı kimyasallara ve hava şartlarına göre dayanıklılığı yüksektir (Babalık ve Çavdar, 2012).

2.1.5. Kompozit malzemelerin dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlarından bazıları aşağıda verilmiştir.

- Yüksek maliyetli oluşu,
- Üretiminin güçlüğü,
- İşlenmesinin güç olması,
- Gerekli yüzey kalitesinin elde edilememesi,
- Bazı malzemeler gibi tekrar geriye dönüşümün olmaması,
- Kırılma uzamasının az oluşu (Şahin,2003),
- Mekanik karakterinin metal yapılardan daha karmaşık oluşu (Kaw,2014).

2.1.6. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri sınıflandırırken kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının biçimi ve türüne göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. Bunlardan;

1. Tabakalı kompozitler,
2. Partiküllü kompozitler,
3. Levhasal kompozitler,
4. Fiber kompozitler,

takviye elemanına yani yapısal bileşene göre sınıflandırmaya girerler. Kullanılan matris elemanına göre sınıflandırmada ise üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Polimer matrisli kompozitler,
2. Metal matrisli kompozitler,
3. Seramik matrisli kompozelerdir.

2.1.6.1.Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimerler, malzeme yapıları seramik ve metal malzemelerin yapılarından daha kompleks endüstriyel bir malzeme çeşididir. Bu malzemelerin ucuz olması ve çalışmalarındaki rahatlığı tercih edilme sebeplerindendir. Ayrıca elastisite modülünün ve gravitelerinin düşük olması, bazı mekanik nitelikleri, yalıtkan olmaları da polimer matrisli kompozit malzemelerinin avantajlarındandır. Ancak bu kompozitlerin en büyük dezavantajı da düşük termal dayanımlara sahip olmasıdır(Ay,2014; Işık, 2014).

2.1.6.2.Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik matrisli kompozit malzemeler oldukça yüksek sıcaklıklarda mukavemetli ve polimer matrisli kompozitler gibi düşük gravitelere sahip olduğundan malzeme biliminde önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple yüksek sıcaklıklarda ve aşınmaya maruz kalan yerlerde çalışan bazı makine elemanlarının üretiminde tercih edilirler. Malzeme yapılarının sert olması avantajları iken kırılgan olmaları ve kopma uzamasının aşırı biçimde düşük olması dezavantajlarındandır. Bu durumlarını düzeltmek amacıyla liflerle kuvvetlendirilirler (Işık,2014). Seramik matrisli kompozit malzemeler zırhların yapımında, havacılık ve uzay sanayisinde kullanılırlar (Ay,2014).

2.1.6.3.Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemeleri oluşturan elemanların başlıcası metal malzemelerdir, yardımcı elemanları ise genelde karbürler, nitrürler ya da metaller arası bileşikler olabilmektedir. Bu malzemelerde metal malzemenin ve yardımcı elemanın daha yüksek nitelikleri birleştiğinden mükemmel ve istenilen niteliklerde metal matrisli kompozitler elde edilir (Ay, 2014;Işık,2014). Uçak sanayisi ve uzay sanayisi metal matrisli kompozit malzemelerin en çok kullanıldığı alanlardır (Biçer,2015).

Metal matrisli kompozit malzemelerin diğer tüm malzemeler gibi avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

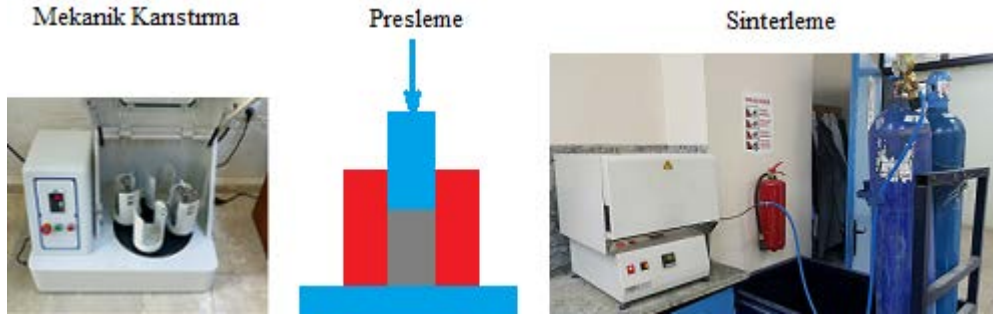
- Yorulma dayanımının uygunluğu,
- Yüksek termal dayanımlara sahip olması,
- Aşınma dayanımının yüksek olması,
- Mukavemetli olması,
- Elastisite modülünün daha iyi olması,
- Termal genleşme katsayısının düşük olması,
- Geri dönüşümünün sağlanabilmesi,
- Gravitelerinin düşük olması,
- Elektriği ve ısıyı çok daha fazla iletebilmesi avantajları arasındadır(Biçer,2015;Işık,2014).

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminin;

- Kompleks olması,
- Ekonomik olmaması,
- Üretimde kullanılacak ekipman bulma sıkıntısı dezavantajlarından bazılarıdır (Biçer,2015).

2.1.7.Toz metalürjisi yöntemiyle kompozit üretimi

Toz metalürjisi toz durumundaki metal ve seramik malzemelerin çeşitli şartlarda birleştirilmesi yöntemine verilen isimdir. Bu yöntemde iki eleman mevcuttur. Bu elemanlardan biri matris yani ana malzeme, diğeri takviye yani ilave edilen malzemedir. Bunlardan Al_2O_3 , B_4C ,Grafite,Ni, SiC ve Ti takviye elemanlarına; alüminyum, bakır, nikel, kobalt, titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler de matris malzemelerine örnek verilebilir. Toz metalürjisi yöntemi ile tozlar istenen şekli elde etmek üzere tasarlanmış farklı oranlarda karıştırılıp bir kalıp içine konularak preslenir. Presleme işlemleri sıcak ya da soğuk yapılabilir. Ancak partikül kırılmasını önlemek ve ara yüzey bağını iyileştirmek amacıyla sıcak preslemede üretim daha kalitelidir. Ayrıca üretilecek malzemelerdeki taneciklerin homojen dağılabilmesinin sağlanması amacıyla metal tozlarının tanecik boyutu da oldukça önemlidir (Şahin,2006).Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit üretiminin temel aşamaları Şekil 2.2'deki gibidir. Bu yöntemde öncelikle temin edilen tozlar karıştırılır. Ardından karıştırılan tozlar şekli verilecek kalıp içine yerleştirilir. Belirli bir yük altında preslenir ve elde edilen numuneler malzemenin özelliklerine bağlı olarak uygun sıcaklık ve süre zarfında sinterlenir. Sinterlenerek kuvvetlendirilen ürünler kompozit haline dönüştürülür.

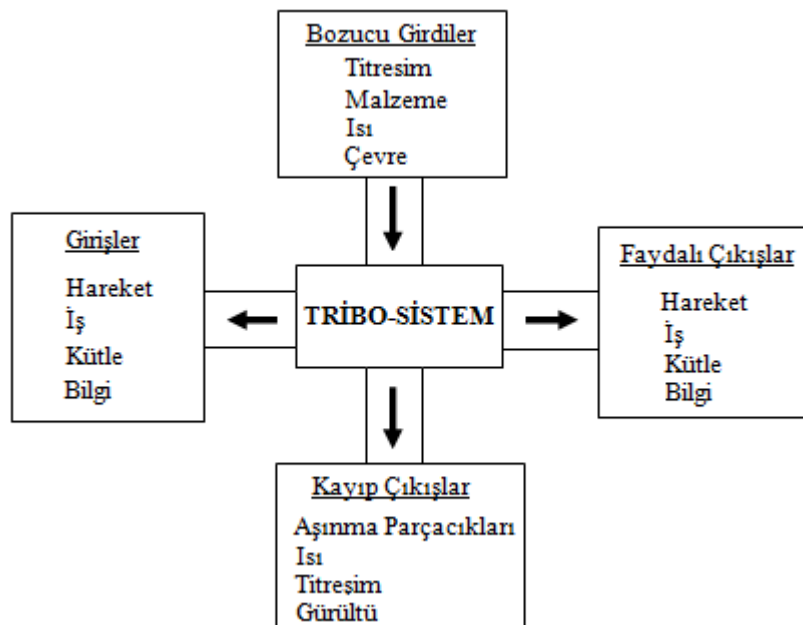


Şekil 2.2. Toz metalürjisi yönteminin temel aşamaları

2.2.Sürtünme ve Aşınma Mekanizmaları

Bir izafi hareket sonucu birbirine etki eden yüzeyler ve bunlarla ilgili olayların incelendiği bilim ve teknoloji triboloji olarak tanımlanır (Palavar, 2014). Triboloji kelimesi Yunan kökenli Tribos kelimesinden türetilerek “sürtme, ovalama” anlamına gelir (Sevim, 1998). Bu bilim sürtünme, aşınma ve yağlamanın bilimsel incelenmesi ve tribolojik bilgilerin tekniğe uygulanmasını kapsar (Taşdelen, 2007).

Aşınma olayına etki eden değişkenlerin birleşik etkileri dikkate alınarak incelenmelidir. Çünkü aşınma bütün bir sistemi ele alır. Bu sistemin hepsine birden tribosistem adı verilir. Bu sistemlerin analizi için tribolojik sistemin parametreleri tam olarak tanımlanmalıdır. Tribolojik sistemde teknik olarak Giriş ve Faydalı Çıktıların dönüşümü sırasında Bozucu (Disturbance) Girdiler ve Kayıp Çıktılar bulunur (Sevim, 1998). Şekil 2.3’te bir tribosistemin genel olarak Giriş-Çıkış şeması görülmektedir.



Şekil 2.3. Tribosistemin genel “Giriş-Çıkış” tanımı (Sevim, 1998)

Şekilde görüldüğü gibi faydalı giriş ve çıkış arasındaki ilişki tribosistemin teknik bir fonksiyonu olarak düşünülebilir.

2.2.1. Sürtünme

Birbirleriyle etkileşim halinde olan yüzeylerde meydana gelen sürtünme ve bu sürtünmenin neden olduğu aşınma makine parçaları ve konstrüksiyonlarının önemli sorunlarından biridir. Bu sebeplerden ortaya çıkan sorunları geçmişten bugüne kadar en aza indirebilmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Gün geçtikçe azalan enerji ve hammadde kaynakları daha verimli kullanmayı gerektirmiştir. Bu azalma sonucunda makine ve makineyi oluşturan elemanların daha uzun süre ve verimde kullanılması için istenmeyen sürtünme ve aşınmalar iyi araştırılmalıdır. Çünkü sürtünme kaybı azalırsa enerji büyük çoğunlukla tasarruf edilecek, aynı zamanda aşınma miktarının azalması ile de makine ve makine parçalarının ömrü uzayacaktır (Gültaş, 1998).

2.2.1.1. Sürtünme mekanizması

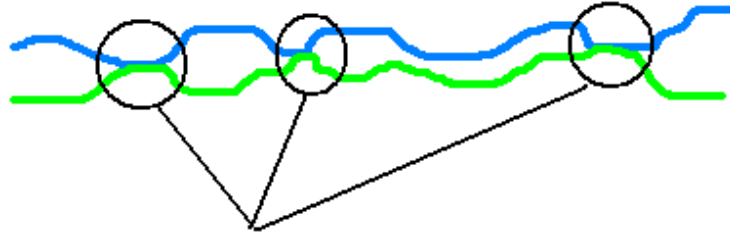
Birbiriyle temas halinde olan yüzeylerin birbirine göre bağıl hareket yapan elemanları arasındaki hareket sürtünme olarak ifade edilebilir (Şahin, 2012). Sürtünme kuvveti ise harekete teğetsel olarak ancak ters yönde etki eden kuvvettir (Gültaş, 1998). Bir cismi hareket ettirebilmek için temas noktasında cisme etki eden hareket, cisme zıt yönde etkileyen sürtünme kuvvetinden büyük olmalıdır. Aksi takdirde etki eden kuvvet, sürtünme kuvvetine eşit veya daha küçükse cisim hareket edemez. Sürtünme, hareketli parçalar arasında olduğundan dolayı zaman, enerji ve maddi açılardan kayıplara yol açar. Bu sebeple sürtünmeyi kontrol edilebilir seviyeye getirmek ve küçültmek oldukça önem taşır (Şahin, 2012). Sürtünmeyi en az seviyeye indirebilmek için temas yüzeyleri arasında kaymayı mümkün olan en kolay hale getirmek gerekir. Bunun için kaymanın kolay gerçekleşmesi için yağlamanın yapılması ve atomların birbirine temasını önlemek amacıyla etki yüzeyine basınç uygulanması gerekmektedir (Koç, 2009).

Sürtünme, bazı teknik durumlarda aranan bir durumken, bazı durumlarda ise kaçınılmak istenen durum haline gelebilir. Örneğin, araba motorlarının dişli çarklarında sürtünmeden kaçınılırken fren yapılarında ise bu durum aranan bir özelliktir. Sürtünmeden dolayı dinamik enerjinin bir bölümü ısı enerjisine çevrilerek aşınmaya

sebepe olur ve bu da gösterir ki aşınma sürtünmenin bir sonucudur (Kurbanoglu, 2009). Sürtünme kuvveti statik sürtünme kuvveti ve dinamik (kinetik) sürtünme kuvveti olarak ikiye ayrılır. Temas halindeki katı yüzeylerden birinin diğerinin üzerinde kayma hareketine başlaması için gereken kuvvete statik sürtünme kuvveti, yapılan kayma hareketini devam ettirebilmesi için gereken kuvvete de kinetik (dinamik) sürtünme kuvveti denir. Sürtünme hareketi tamamen sürtünen malzemelerin özelliklerine bağlı değildir. Kayma hızı, sıcaklık, nem, etki basıncı gibi nedenler sürtünme kuvvetini değiştirir (Muratoglu, 1997).

2.2.1.2. Yüzeylerin sürtünme özellikleri

Görünürde yüzeyler her ne kadar düz görünüyor olsa da, mikroskop altında incelendiğinde girinti ve çıkıntıların olduğu görülür. İki yüzey birbiri üzerine gelirse yüzeyler arasındaki temas bu iki yüzeyin tepe noktaları arasında gerçekleşir (Şekil 2.4). Böylece gerçek temas alanı görünen temas alanından daha küçük olur. Uygulanan yükten dolayı temas alanındaki noktalarda bölgesel kaynaklar ve yapışma meydana gelir. Bu cisimler birbiri üzerinde hareket ettirilmeye çalışılırsa öncelikle meydana gelen bu bölgesel kaynakların koparılması gerekir. Böylelikle cisimlerin yüzeylerindeki pürüzler ne kadar fazla ise sürtünme kuvveti de o kadar fazladır (Şafak, 2008).



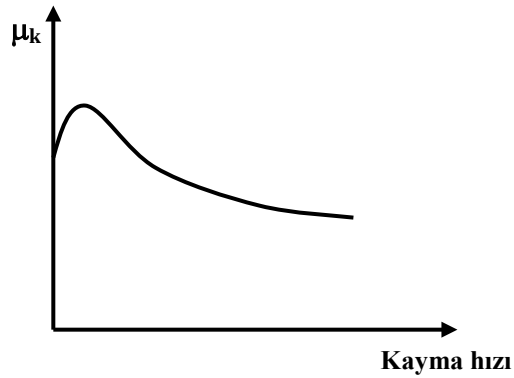
Şekil 2.4. Sürtünme esnasındaki gerçek temas noktaları (Şafak, 2008)

Sürtünen yüzeylerin tabaka yapıları sürtünme özelliklerine en büyük etkiyi yapar. Sürtünme sonucunda sürtünen yüzeylerde çok ince çizgiler oluşur. Ayrıca birinden diğerine malzeme transferi ile bir yüzeydeki çıkıntılar diğer yüzey üzerinde genelde düzensiz ve geniş izler bırakır (Kılıç, 2007). Yüzeyler arasındaki temas noktaları sürtünme ile ilgili olduğu için yüzeyler arasındaki teması azaltmak veya tamamen kesmek için yağlayıcı kullanmak sürtünmenin azalmasında en yaygın yöntem olarak kullanılır (İlivan, 2012).

2.2.1.3. Sürtünme çeşitleri

Kayma sürtünmesi, yuvarlanma sürtünmesi, kuru sürtünme ve sıvı sürtünme olmak üzere dört çeşit sürtünme vardır.

Kayma sürtünmesi: Birbiri üzerinde kayan ve birbirine etki eden yüzeyler her ne kadar hassas işleme tabi tutulursa tutulsun görünür etki alanı ile gerçek etki alanı birbirinden farklıdır (Şahin, 2012). Sürtünme kuvveti kayma hızına bağlı değildir. Kayma hızı arttıkça sürtünmenin azaldığı (Şekil 2.5) tespit edilmiştir (Koç, 2009).



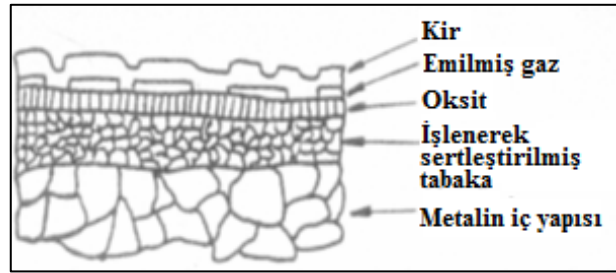
Şekil 2.5. Kayma sürtünmesi ve kayma hızı ilişkisi (Koç, 2009)

Birbiri üzerinde kayan malzemelerden biri yumuşak biri sert ise yumuşak olan malzeme sert olan malzemeyi kendi parçalarından meydana gelen ince bir yüzey halinde kaplayarak iki yumuşak malzeme birbiri üzerinde kaymış gibi olur (Koç, 2009).

Yuvarlanma sürtünmesi: Cisimlerin yuvarlanma hareketine karşı etki yüzeylerinde oluşan direnç ya da yuvarlanan cismin etki yüzeyinde direncin oluşturduğu deformasyon yuvarlanma sürtünmesi olarak tanımlanır. Ancak teorik olarak yüzey pürüzsüz ve rijit olan bir küre ve silindir biçimindeki elemanın rijit pürüzsüz düzlem üzerinde serbest halde yuvarlanmasından dolayı hiçbir sürtünme kuvveti oluşmaz (Koç, 2009).

Kuru sürtünme: İki kuru yüzeyin birbirine etki noktalarında ortaya çıkan sürtünme kuru sürtünmeyi ifade eder. Sıcaklık artışı, aşınma ve enerji kaybı kuru sürtünmeden dolayı oluşur. Kuru sürtünmenin oluşabilmesi için atmosfer şartlarında yüzeylerin yabancı maddelerden uzaklaştırılması gerekir. Çünkü atmosferi çevreleyen gazlar, tozlar ve kimyasal bileşenler birer yağlayıcı konumunda olduğundan sürtünmeyi

engeller. Etki yüzeylerindeki bu tür yabancı maddeler uzaklaştırıldığında kuru sürtünme tam anlamıyla gerçekleşir (Gültaş, 1998;Şahin, 2012).



Şekil 2.6. Sürtünme yüzeylerindeki tabakalar (Kılıç, 2007)

Sıvı sürtünme: Sıvı sürtünmesi birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında ve bu tabakaların oluşturduğu kayma gerilimlerince meydana gelir. Bu sürtünmede yağlayıcı sıvı tabakalarının arasında oluşur. Sıvı sürtünmede, yüzeyler arasındaki yağ filmi bu yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırdığı için burada etkili rol oynayan özellik yağın viskozitesidir (Koç, 2009).Newton Kanunu'na göre viskoz bir akışkanda kayma gerilmesi;

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \text{ ve } \frac{du}{dy} = \frac{v}{l} \quad 2.1$$

olduğundan sürtünme kuvveti;

$$F_s = \eta \cdot A \cdot \frac{v}{l} \quad 2.2$$

elde edilir. Burada; $\frac{v}{l}$ hız değişimi, η = yağın viskozitesi, A = hareketli yüzeyin temas alanı, l = tabakalar arası mesafedir. Sıvı sürtünmesindeki sürtünme katsayısı ise;

$$\mu = \frac{F_s}{F_N} \quad 2.3$$

dir. Bu bağıntı F_N kuvveti hesaplandığında μ 'yü elde etmek için kullanılabilir (Çengel, 2011).

2.2.1.4. Sürtünme kanunları

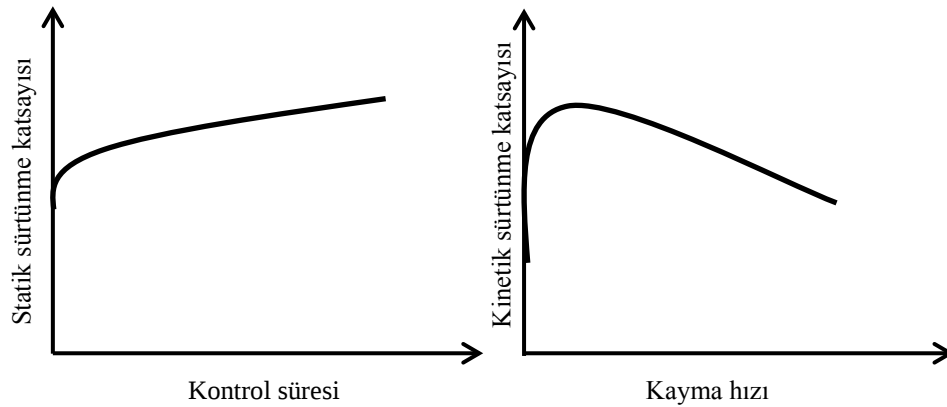
Tarihte sürtünme kuvveti ile ilgili ilk çalışmaları Leonardo Da Vinci tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan sürtünme kuvvetinin temas alanına bağlı olmadığı sonucunu ortaya çıkmıştır. Genel olarak elde edilen sürtünme kanunları şunlardır;

1. Kinetik sürtünme, statik sürtünmeden daha küçüktür.
2. Sürtünme, kayma hızından ve temas alanından bağımsızdır.
3. Sürtünme kuvveti uygulanan yükle doğrusal olarak değişir (Koç, 2009).

Sınır sürtünme: Temas halindeki yüzeyler arasındaki yağlayıcı tabakanın kalınlığının yeterli olmaması sonucu sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Bu sürtünme sıvı sürtünmesi ile kuru sürtünme arasında bir ara sürtünme şeklidir. Sınır sürtünme, pratikte çokça karşılaşılan bir sürtünme hali olmakla birlikte sürtünme katsayısı 0,03 ile 0,1 arasında değişir. Bu sürtünme çeşidinde temas eden yüzeyler tamamen metal olmadığı için sürtünmeden dolayı temas yüzeyleri daha hızlı ısınır (Koç, 2009).

2.2.1.5. Sürtünme katsayısı

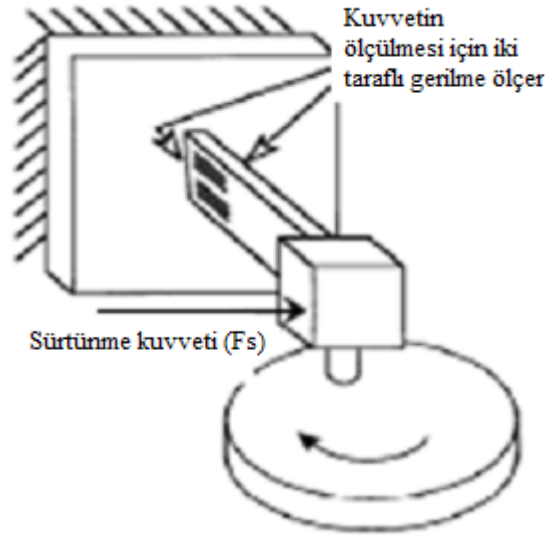
Sürtünme katsayısı (μ), boyutsuz ve skaler bir değer olmakla birlikte kullanılan malzemeye göre değişir. Sürtünme katsayısı genellikle 0 ile 1 arasındadır. Ancak bazı durumlarda 1,7'ye kadar yükselebilir. Statik sürtünme katsayısı ve kinetik (dinamik) sürtünme katsayısı olmak üzere 2 çeşit sürtünme katsayısı vardır. Birbirine göre hareketsiz yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti statik sürtünme kuvvetidir. Maximum sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün normal kuvvet büyüklüğüne oranı da statik sürtünme katsayısını verir. Hareket halindeki yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetidir. Kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün normal kuvvet büyüklüğüne oranı ise kinetik sürtünme katsayısını verir. Kinetik sürtünme katsayısı hızın bir fonksiyonu iken statik sürtünme katsayısı temas süresinin fonksiyonudur (Şekil 2.7). Kinetik sürtünme katsayısı yüksek hızlarda negatif eğime, düşük hızlarda ise pozitif eğime sahiptir. Fakat hız değişim aralığı çok büyük alındığında eğim oldukça küçülür (Şenel, 2008).



Şekil 2.7. Statik sürtünme katsayısının kontak süresiyle, Kinetik sürtünme katsayısının kayma hızıyla değişimi (Şenel, 2008).

2.2.1.6. Sürtünmenin ölçülmesi

İki katı cisim birbirine etki edecek şekilde yerleştirildiğinde bu iki cismin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan normal kuvvete (F_N) dik olacak şekilde bir sürtünme kuvveti (F_S) meydana gelir. Denklem 2.3'te görüldüğü gibi ' μ ' sürtünme katsayısı, ' F_S ' sürtünme kuvvetinin ' F_N ' yüzeye etkiyen normal kuvvete oranı ile elde edilmektedir. Statik ve dinamik sürtünme hallerinde sürtünme katsayısı farklı değerler alır. Sürtünme katsayısının ölçülmesi için bazı deney cihazları bulunmaktadır. Bunlardan biri olan Pim-Disk tipi (Şekil 2.8) sistem endüstriyel ve akademik laboratuvarlarda çok yaygın kullanılan sistemdir (Şafak, 2008).



Şekil 2.8. Sürtünme ölçümü için basit düzlem (Şafak, 2008)

Bu sistemde kiriş, sıkı bir şekilde sabitlenerek ayarlanabilir ve tabana dik olarak tutturulmuştur. Ayarlanabilir taban, pimin disk ile temas etmesi amacıyla indirilerek ikisinin arasında normal yük üretilene kadar ayarlanır. Disk döner ve pime F kuvveti uygular. F kuvveti de kiriş köküne yakın maksimum gerilme üretecek biçimde kirişi eğer, böylece kirişin dikey yüzeylerinde bulunan gerilme ölçerler tarafından uygulanan bu kuvvet ölçülür. Tabanın aşağı yukarı bir servomotor yardımıyla hareket ettirilerek numune yüklemesinin değiştirilebilmesi bu sistemin avantajıdır. Disk yüzeyi destek shaftına göre numune yüklemesinin düz veya dik olmadığı zamanlarda değişmesi ise sistemin dezavantajıdır. Sürtünen yüzeylerin tabaka yapıları, sürtünme özelliklerine en büyük etkiyi yapar. Sürtünme sonucunda sürtünen yüzeylerde çok ince çizgiler oluşur.

Ayrıca, birinden diğerine malzeme transferi ile yüzey üzerinde genelde düzensiz ve geniş izler oluşur (Kılıç, 2007) .

Yüzeyler arasındaki temas noktaları sürtünme ile ilgili olduğu için yüzeylerin arasındaki teması azaltmak veya tamamen kesmek için yağlayıcı kullanmak sürtünmenin azalmasında en yaygın yöntemdir (İlivan, 2012).

2.2.2. Aşınma

Birbiri ile temasta bulunan yüzeyler arasında fiziksel, kimyasal ve mekanik etkiler nedeniyle mikro taneciklerin koparak yüzeyden ayrılması sonucu yüzeylerdeki kayıp ve istenmeyen yapı değişikliği aşınma ile açıklanabilir (Muratoğlu,1997; Topuz, 2012).Sürtünerek çalışan bütün sistemlerde mutlaka aşınma gerçekleşir. Aşınmanın yol açtığı bazı sorunlar şunlardır;

1. Yüzeyin veya makine elemanın şeklini bozarak hasara yol açar,
2. Parçalar arasında boşlukları arttırarak amaçlanan fonksiyonun yerine getirilememesine sebep olur,
3. Makinelere beklenen verim alınamaz,
4. Büyük miktarda enerji ve malzeme israfına neden olur,
5. Ekonomik kayıplara yol açar,
6. Makine parçalarının ömrünü azaltır.

Aşınmanın yol açtığı bu sorunlardan dolayı günümüz teknik sistemlerinde aşınmayı azaltmak ve kontrol etmek için çok sayıda araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır (Gültaş, 1998).

Aşınma çok karmaşık şekilde gerçekleştiğinden aşınmanın birçok tanımı bulunur. DIN 50320 Alman standardı aşınmayı “Mekanik nedenlerden dolayı kullanılan malzeme yüzeylerinin katı, sıvı ve gaz gibi başka malzemelerle teması neticesinde yüzeylerden küçük parçacıkların kopması sonucunda istenmeyen yüzey bozukluğu” olarak tanımlar. Organisation For Economic Cooperation and Development (O.D.E.C.D)’ın aşınma tanımı da “izafi bir hareket nedeniyle bir cisim yüzeyinde oluşan sürekli malzeme kaybı” şeklindedir. American Society of Lubrication Engineers (A.S.L.E) “Mekanik etkilerle malzeme kaldırma” şeklinde bir tanım yapmışlardır. Bir başka tanımda ise “Tribolojik etkilerle katı cisimlerin sürekli malzeme kaybı” aşınma diye nitelendirilmiştir (Sevim, 1998).

Aşınma genel olarak tekerleklerde, frenlerde, pistonlarda, yataklarda, subaplarda, kesici uçlarda, dişlilerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde, türbin kanatlarında, maden cevherleri üretim makinelerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde meydana gelir (Muratoğlu, 1997).

Yukarıda verilen bazı tanımlamalardan da anlaşıldığı gibi hiçbir açıklama yapmadan genel bir tanım yapmak oldukça zordur. Bu bakımdan aşınmayı niteleyen bazı şartların mevcut olması gerekir (Güldaş, 1998).Malzemelerde oluşan yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için;

- Mekanik bir etkenin olması,
- Sürtünme yani bağıl hareketin olması,
- Hareketin yavaş ve devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişikliğe yol açması,
- İstem dışı meydana gelmesi gibi şartların oluşması gerekir (Owsalou, 2012).

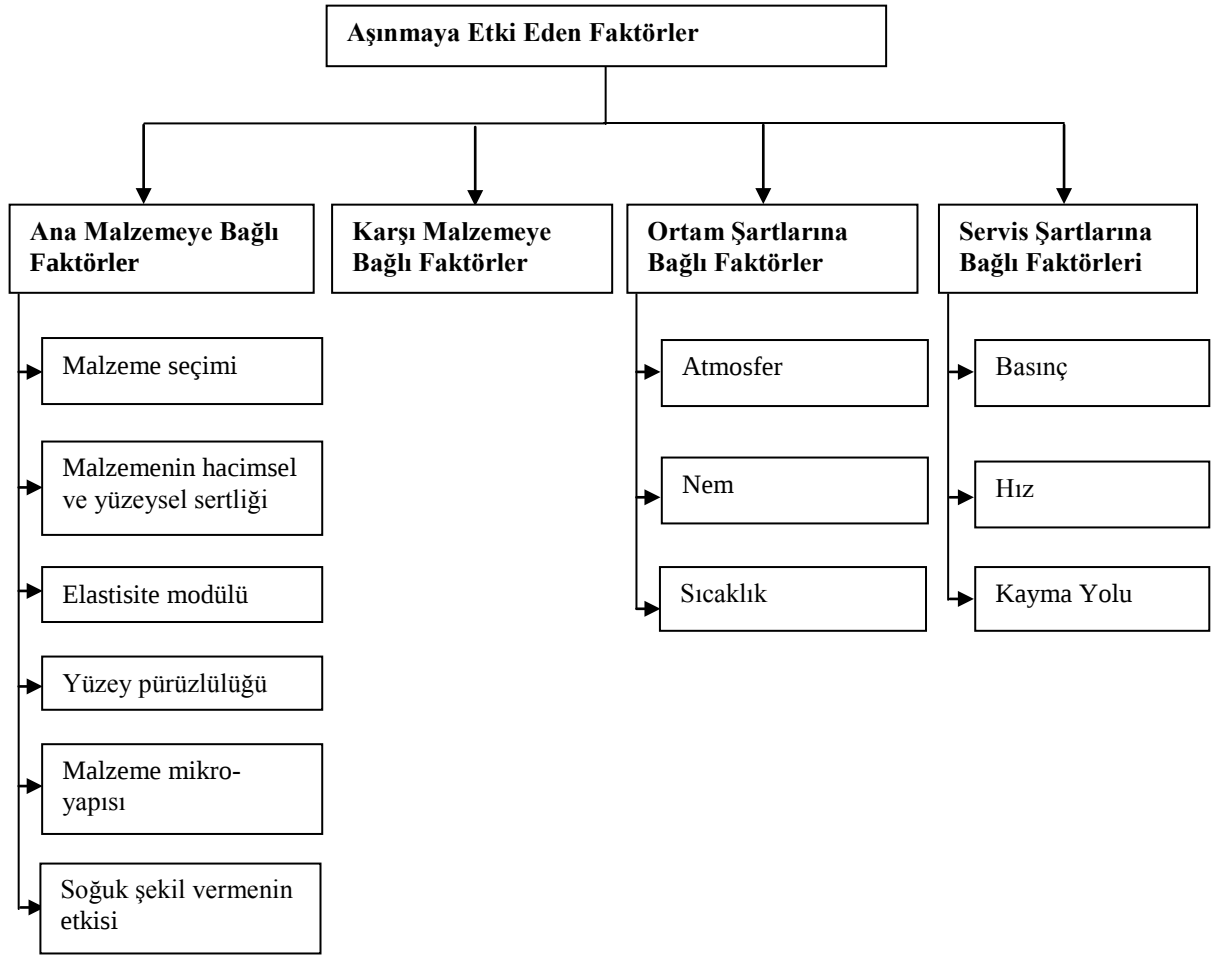
Aşınmanın sayısal büyüklüğü; malzeme seçimi ve işlem koşullarına bağlı olarak mikrokırılma sebebiyle fiziksel, kimyasal ya da ara temas yüzeyindeki ergimeyle 1.10^{15} - 1.10^{14} mm³/Nm arasında değişebilir. Aşınmayı azaltmak için tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kayma hızı düşük tutulmalıdır.
2. Temas basıncı düşük tutulmalıdır.
3. Yatak yüzeyleri seçilirken az pürüzlü yüzeyler seçilmelidir.
4. Yüksek sıcaklıklardan kaçınılmalıdır.
5. Daha sert malzemeler kullanılmalıdır.
6. Sürtünme katsayısı düşük malzeme kullanılmalıdır.
7. Yağlayıcı kullanılmalıdır (Kurgun, 2014).

Ancak tüm bu önlemlere rağmen aşınma asla tamamen önlenemez (Kılıç, 2013).

2.2.2.1. Aşınmaya etki eden faktörler

Aşınma olayına etki eden birçok faktör bulunur. Bunlar ana malzemeye, karşı malzemeye, ortam şartlarına ve servis şartlarına bağlı faktörler olmak üzere 4 ana grup halinde toplanabilir. Bu faktörlerde kendi içerisinde sınıflandırılabilir. Aşınmaya etki eden faktörler Tablo 2.1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 2.1. Aşınmaya etki eden faktörler

Ana malzemeye bağlı faktörler;

Malzeme seçimi: Aşınma olayı ile malzeme seçimi birbiriyle yakından ilişkilidir. Malzeme seçimi doğru yapıldığında hedeflenen durumlar elde edilerek maddi kayıpların önüne geçilir (Topuz, 2012). Örneğin, belirli şartlardaki bir malzeme yüksek aşınma direnci gösterirken değişik şartlarda düşük aşınma direnci gösterebilir. Bu sebeple aşınmanın meydana geldiği şartlar göz önüne alınarak aşınmaya karşı dayanıklı malzeme seçilmelidir (Kılıç, 2007).

Malzemelerin hacimsel ve yüzeysel sertliği: Aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden biri sertliktir. Çünkü malzemenin sertliği ile aşınma azaltılabilir ve aşınmadan kaynaklanan deformasyonlar belirli değerde tutulabilir (Şahin, 2012).

Elastisite modülü: Malzemelerde elastiklik modülü arttıkça malzemelerin aşınmaya karşı direnci de artar. Bu durumun sebebi elastiklik ve akma sınırı yüksek olan malzemelerin gerçek temas alanının azalmasıdır. Örneğin, elastisite modülü farklı olan iki malzemenin aşınmasında elastisite modüllü malzemenin gerçek temas alanı diğerine göre biraz daha fazla olduğundan izafi hareket esnasında bu malzemede soğuk kaynak olma ihtimalini arttırır, dolayısıyla biraz daha çabuk aşınır (Kılıç, 2007).

Yüzey pürüzlülüğü: Yüzey pürüzlülüğü gerçek temas alanı nedeniyle sürtünme ve aşınma olaylarını etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Malzeme yüzeylerinde kaba işleme sonucunda temas alanları azalır. Bu durum yüzeydeki temas alanının azalmasıyla da tek bir pürüze etkiyen yükleri arttırır. Bu noktalarda artan yükler sebebiyle gerilme yığılmaları oluşarak temas noktaları şekil değiştirir ve aşınmanın artmasına sebep olurlar (Kılıç, 2007). Eğer yüzeyler çok temiz işlenmişse yüzeyler arasında soğuk kaynak artışı gözlenir. Yüzeyler kaba işlenmişse de aşınmanın daha çok artmasına sebep olur.

Malzemenin mikroyapısı: Malzemelerin mikroyapısında bulunan fazlar ve tanecik boyutları malzemelerin mekanik özelliklerini çok etkiler. Örneğin, lamelli perlitik yapıdaki malzemenin lameller arası sertliğinin fazla olması, tanecikli perlitik yapıya sahip malzemeye göre aşınma direncinin daha çok artmasına sebep olur (Kılıç, 2007).

Soğuk şekil vermenin etkisi: Soğuk şekil değiştirmede oluşan pekleşme malzemelerin sertliğinin artmasına yol açar. Artan bu sertlik de malzemenin aşınmaya olan direncini arttırır (Kılıç, 2007).

Karşı malzemeye bağlı faktörler;

Karşı malzemeye bağlı faktörler; malzemenin tane büyüklüğü, şekil ve dağılımı olarak sıralanabilir. Tane büyüklüğü arttıkça aşınma azalır ve aşındırıcı tanenin parabolik şekli keskin köşeli tanelere göre aşınmayı azaltır (Kılıç, 2007).

Ortam şartlarına bağlı faktörler;

Aşınma ortamının atmosferi, nemi ve sıcaklığı aşınmayı etkileyen faktörlerdendir. Birbirine temasta bulunan yüzeylerde sürtünmeden dolayı sıcaklık artar.

Meydana gelen bu sıcaklık artışı malzemenin birçok özelliğini değiştirerek aşınmaya karşı direncini de etkilemiş olur (Kılıç, 2007).

Servis şartlarına bağlı faktörler;

Aşınma yüzeyindeki basıncın büyüklüğü, birim yüzeye etki eden kuvvetin büyümesine neden olacağı için aşınmayı da artırır (Kılıç, 2007). Sürtünme hızının artması ile aşınmada artış meydana gelir. Kayma mesafesinin artması ile aşınma miktarında zamana bağlı olarak artma olur.

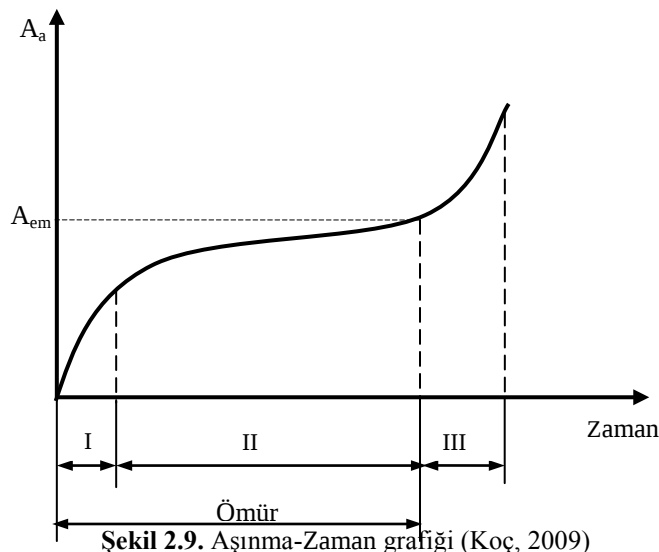
2.2.2.2. Aşınma-Zaman ilişkisi

Pratik uygulamalarda aşınma, meydana gelmesi bakımından 2 grupta incelenir:

1. Aniden Meydana Gelen Aşınma,
2. Zamanla Meydana Gelen Aşınma.

Aniden meydana gelen aşınma: Aniden meydana gelen aşınmalar genellikle, birbiriyle eş çalışan malzemeler seçilirken yapılan hatalardan ve yetersiz yağlamalardan dolayı meydana gelir. Bu aşınma şekli, mukavemet alanındaki statik zorlamalar etkisi altında kopmaya benzer. Aşınma aniden gerçekleştiğinden parça yüzeyleri bozulur, bazen de birbirine kilitlenerek çalışamaz hale gelir (Topuz, 2012).

Zamanla meydana gelen aşınma: Zamanla meydana gelen aşınmalar 3 aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar Şekil 2.9'daki aşınma-zaman grafiğinde verilmiştir. Şekil 2.9'da verilen bir makine elemanına ait aşınma-zaman grafiğinden bu makine elemanının normal çalışma zamanı yani ömür tespiti yapılabilir. Grafikte (A_{em}), çalışma şartlarına bağlı müsaade edilen bir aşınma sınırı olarak belirlenebilir (Owsalou, 2012).



Şekil üzerinde roma rakamları ile gösterilen I, II ve III aşınmanın aşamalarını göstermektedir. **I. Aşama:** Rodaj safhası olarak ifade edilir. Bu aşamada eş çalışacak olan parçaların birbirine alıştırılması gerçekleştirilir. Parçalarda ilk çalışma esnasındaki büyük miktardaki aşınma bu bölümde oluşur. Gerçekleşen bu aşınma daha sonra meydana gelecek aşınmayı büyük oranda etkileyeceği için parça rodajları iyi yapılmalı ve en kısa sürede tamamlanmalıdır. Yapılan rodajların kısa sürede ve iyi yapılması için bu aşamada özel yağlar kullanılmalıdır. **II. Aşama:** Birinci aşamaya göre daha yavaş ilerleyen bu aşamada zamanla aşınma oranı artar ve şiddetli aşınmalar bu aşamadan sonra gerçekleşir. Ayrıca bu aşamadaki aşınma çalışma esnasındaki temas noktalarında oluşur. **III. Aşama:** Önceki aşamalarda artan aşınma hızları bu aşamada devam ederek parçalarda şiddetli aşınmalar meydana getirir. Oluşan bu şiddetli aşınmalar sistemde önemli hasarlar oluşturur (Owsalou, 2012; Topuz, 2012).

2.2.2.3. Aşınma ve yüzey deformasyonu

Malzemelerde meydana gelen aşınmalar gerçekte bir yüzey hasarı yani yüzey deformasyonu olarak karşımıza çıkar. Bu aşınmalar yüzeyde malzeme kayıpları ile kaymalar, kırılmalar, talaş oluşumları, yorulma, kimyasal çözülmeler ve difüzyon yoluyla meydana gelir. Aşınmalarda meydana gelen hasarı belirlemek, bu hasarı önlemek için alınacak tedbirlerin doğru olması yönünden oldukça önemli bir yere sahiptir (Kılıç, 2013). Yüzey deformasyonu ve bozulma nedenleri çok fazla olduğundan önemli tribolojik yüzey bozulmaları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 2.10'daki gibidir.

Yüzey aşınması ve deformasyon sınıflandırılması açıklanırsa;

- Yüzey kaplama veya kristalleşme gibi yüzeydeki yapısal değişiklikler yüzeyin mekanik deformasyonuna neden olur. Yüzeylerdeki bu yapısal değişiklikler aşınmayı gerektirmez, ancak dış yüzeyin mekanik özelliklerini değiştirebilir, aşınma durumunu başlatabilir ya da yüzeydeki çatlaklara sebep olabilir (Palavar, 2014) .
- Yüzeydeki termal genleşme ve azalmalar ya da mekanik gerilme etkileri plastik deformasyon oluşturur. Yüzeyde gerçekleşen plastik deformasyon dereceli aşındırmayı gerektirmez. Ancak, sonuçta önemli çatlaklara yol açabilecek yüzey hasarları meydana getirebilir (Çam, 2012).

- Yorulma deformasyonları, tekrar eden termal değişiklikler ya da aşırı yüzey gerilmeleri sebebiyle yüzey bölgesinde çatlaklar oluşturur (Palavar, 2014).
- Korozyon ve diğer kimyasal etkiler de aşınmaya neden olur. Bu kimyasal etkiler çatlağın genişlemesini hızlandırarak yüzey kayıplarını artırır (Çam, 2012).
- Aşınma ve yüzey deformasyonu, bazı aşınma çeşitleriyle mikroskobik boyutta parçalar halinde yüzeyden sürekli malzeme kayıplarına yol açar. Böylece aşınma mekanizması hem mekanik hem de kimyasal olabilir (Palavar, 2014).

Yüzeylerde aşınan malzeme tanecikleri aşınma sonucunda karşı yüzeye geçer. Sürtünmeden dolayı meydana gelen aşırı ısınma etkisiyle aşınan toz zerrecikleri toplanarak ara yüzeyde 3. bir yüzey tabakası oluşturur. Kayma sürtünmesinin nedeni de bu durumdur (Çam, 2012).

Yüzeylerin yapısında meydana gelen faz dönüşümü ve yeniden kristalleşme gibi değişiklikler, yüzeyin mekanik özelliklerini değiştirir.

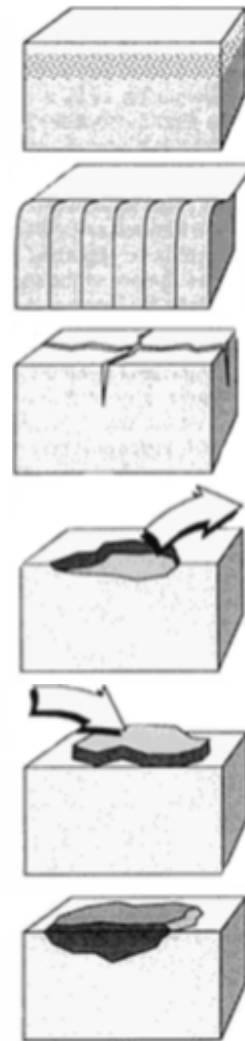
Yüzey tabakasında meydana gelecek lokal ya da büyük çaplı plastik deformasyon, çatlak oluşumuna neden olabilir.

Artan mekanik temasın meydana getirdiği ısıyla birlikte meydana gelebilecek çatlaklar bir ağ oluşturursa hasar büyük olabilir.

Aşınma, yüzeyden malzeme kaybına ve kopmalara neden olur

Aşınmada, aşınan yüzeylerden ayrılan parçaların karşı yüzeye transferi gözlemlenebilir.

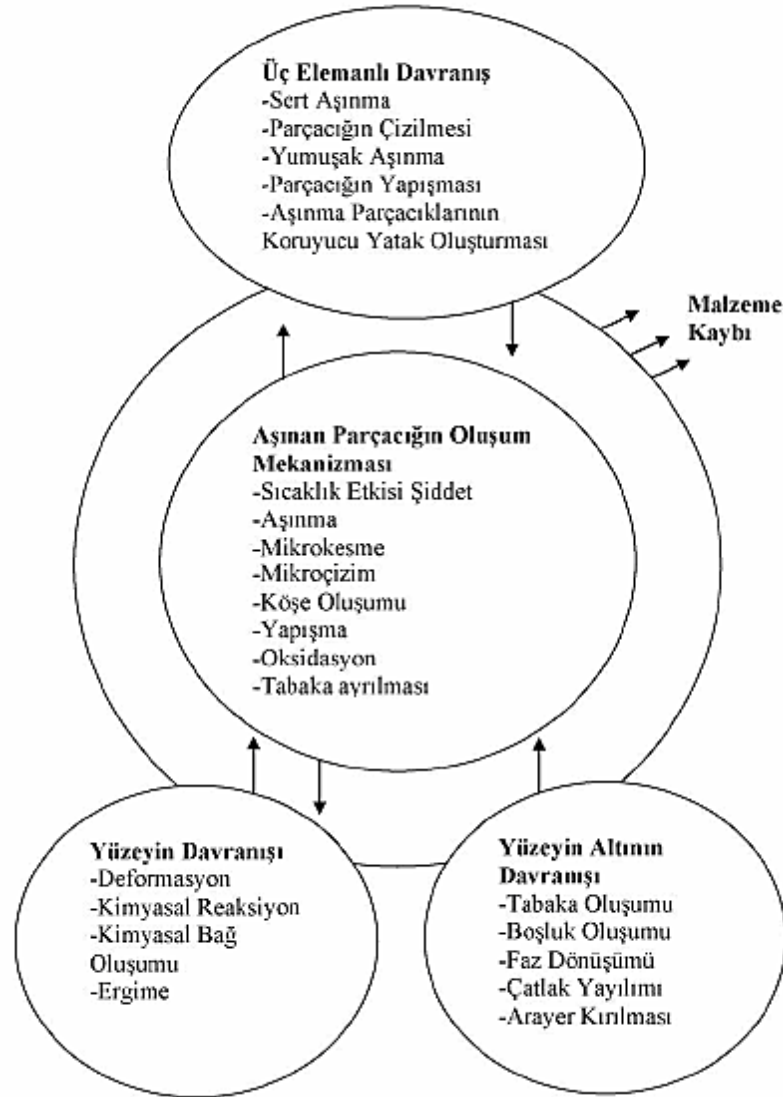
Korozyon aşınmayı hızlandırmaya sebebiyet verir.



Şekil 2.10. Aşınmanın sınıflandırılması (Kılıç, 2013)

2.2.2.4. Aşınma mekanizmalarının sınıflandırılması

Tribosistem parametrelerine bağlı olarak çeşitli aşınma mekanizmaları meydana gelir (Sevim, 1998). Aşınmanın oluşması ve devamlılığı için bazı parametrelerin tribolojik sistemde yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerin iletimine göre aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler Şekil 2.11’de gösterildiği gibidir (Büyükkelleci, 2008).



Şekil 2.11. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler (Büyükkelleci, 2008)

Karmaşık bir yapıya sahip olan aşınma mekanizmasının sınıflandırılması farklı şekillerde yapılmaktadır (Gültaş, 1998). Aşınmanın miktarına göre hafif ve şiddetli aşınma olarak yapılabileceği gibi oluşum mekanizmaları açısından ve fiziksel olarak hasar tespitine göre de sınıflandırma yapılabilir.

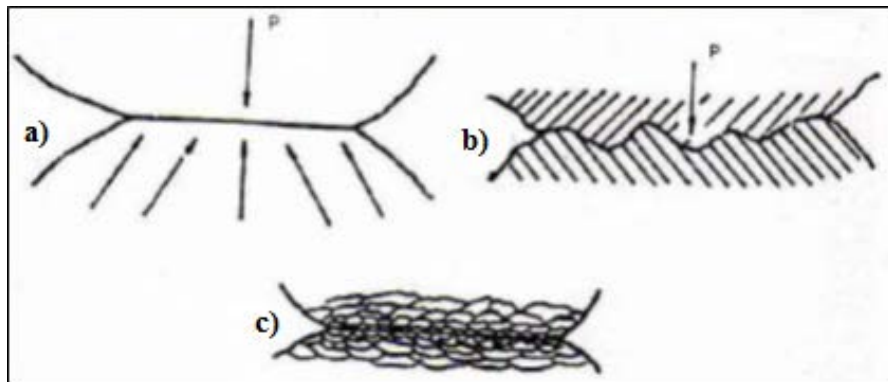
Oluşum mekanizması açısından aşınma tipleri;

1. Adhezif aşınma,
2. Abrazif aşınma,
3. Titreşim aşınması,
4. Tabaka aşınması olarak sınıflandırılır.

Fiziksel olarak hasar tespitine göre aşınma tipleri;

1. Korozyon aşınması,
2. Erozyon aşınması,
3. Kayma aşınması,
4. Yuvarlanma aşınması olarak sınıflandırılır.

Adhezif aşınma: Yapışma ve kayma aşınması olarak da bilinen adhezif aşınma en fazla oluşan aşınma çeşididir. Bu aşınma şekli birbiriyle benzer ya da kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında oluşur (Yılmaz, 2013). Önemli aşınma türlerinden biri olan adhezif aşınma, sürtünme elemanlarının temas yüzeylerinde, yüksek mekanik gerilmeler neticesinde “mikrokaynak” bölgelerindeki malzeme transferi şeklinde gerçekleşir (Kılıç, 2007). Her ne kadar parçacıklar şeklinde malzeme transferi sonucu kayıplar oluşsa da, aşınma sonucu bu parçacıklar şekillerini kaybedebilirler (Büyükkelleci, 2008). Adhezif aşınma en fazla kristal kafes yapıları benzeyen malzemelerde görülür. Çünkü benzer kafes yapılarına sahip olan metallerde hareket ve sürtünme sebebiyle artan sıcaklık yüzeylerde kaynamanın gerçekleşmesini kolaylaştırır. Yani malzemeler yüksek sıcaklıktan dolayı birbirleriyle bağ oluştururlar. Şekil 2.12’de adhezif aşınmadaki kaynak bağının oluşumu verilmiştir (İlivan, 2012).



a) Temas etme, b) Plastik deformasyon, c) Kaynama
Şekil 2.12. Adhezif aşınmada oluşan kaynak bağı (İlivan, 2012)

Adhezif aşınmayı engellemek amacıyla alınması gereken önlemler şunlardır:

1. İyi bir yağlama sağlanarak uygun yağlayıcı maddeler kullanılmalıdır (Yılmaz, 2013).
2. Birbiriyle eş çalışacak malzeme çiftleri uygun seçilmelidir. Çünkü adhezif aşınma benzer ve kolay alaşımlanabilen malzemeler arasında oluşur. Bu sebeple malzemelerden biri sert ise (örneğin; çelik) diğeri yumuşak (örneğin; bronz) seçilmelidir (Yılmaz, 2013).
3. Adhezif aşınma genelde yüksek sıcaklıklarda oluştuğu için tribosistemin aşırı ısınması engellenmelidir (Taşdelen, 2007).
4. Parlak ve düz yüzeyli malzeme kullanımı adhezif aşınmayı engeller (Taşdelen, 2007).
5. Birbiriyle temas halindeki yüzeyleri kirli tutmak da aşınmayı önleyici önlemler arasındadır (Taşdelen, 2007).

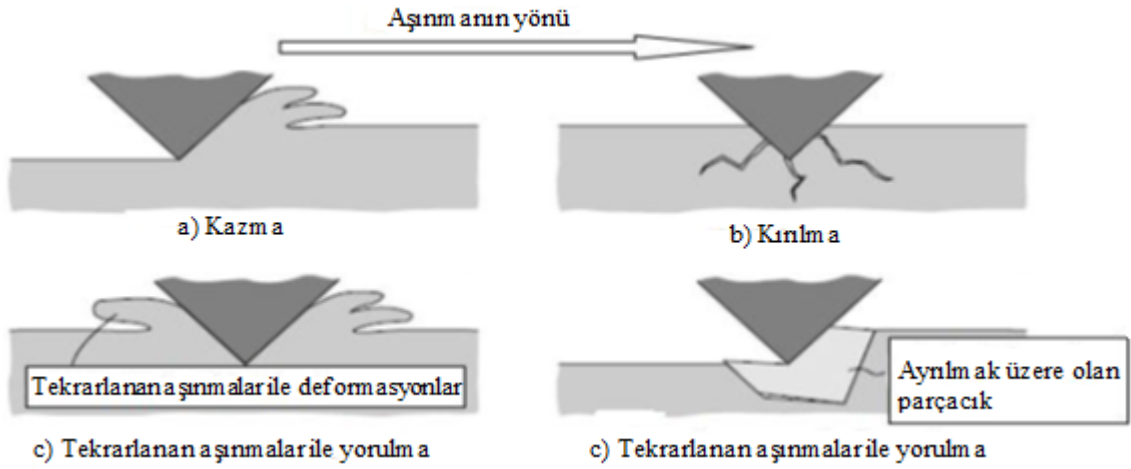
Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya etkileri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya olan etkileri (Owsalou, 2012)

Malzeme Özelliği	Adhezif Aşınmaya Etkisi
Yüksek Sertlik	Az
Küçük Atom Yarıçapı	Çok
Hegzagonal Kristal Yapı	Az
Oksitli Yüzey	Az
Yüksek Deformasyon Sertleşmesi	Çok
Kübik Kristal Yapı	Çok
Yüksek Elastik Modülü	Çok
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Çok
Yüksek Ergime Noktası	Çok

Abrazif aşınma: Yırtılma ve çizilme aşınması olarak da bilinen abrazif aşınma sistemde hızlı hasara neden olduğundan önemli bir aşınma mekanizması çeşididir (Muratoğlu, 1997). Abrasif aşınma malzemelere uygulanan yük ve hareket etkisi ile sürtünen iki cisimden sert olanı yüzeydeki pürüzler sebebiyle diğeri çizerek üzerinden mikrotalaş kaldırması sonucu oluşur. Bu aşınma katı-katı, katı-mineral, katı-sıvı gibi birçok sürtünme elemanında meydana gelir (Palavar, 2014). Abrasif aşınma için en önemli şart, sürtünme esnasında abrazif sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha yüksek olmasıdır. Bu aşınma kazınma, kesilme ve tekrarlanan deformasyonlar gibi

yüzeyleri hasara uğratan çeşitli mekanizmalardan dolayı meydana gelir (Çam, 2012). Şekil 2.13'te abrazif aşınma mekanizması verilmiştir.

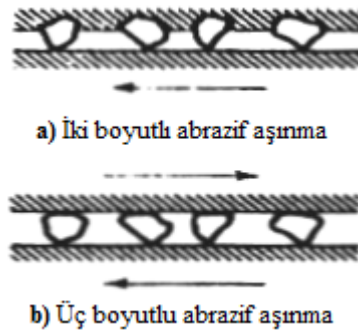


Şekil 2.13. Abrazif aşınma mekanizmaları (Çam, 2012)

Çok hızlı meydana gelen bir aşınma mekanizması olan abrazif aşınma önlem alınmadığında büyük hasarlara ve maddi kayıplara neden olabilir (İlivan, 2012). Bu nedenlerden dolayı malzeme açısından abrazif aşınmayı azaltmak için;

- Sertlik artışı için ısıtma işlemi uygulanmalıdır,
- Daha sert malzeme kullanılmalıdır,
- Malzeme yüzeyi sert bir tabaka ile kaplanmalıdır,
- Aşınma hızını azaltmak için yüzeye etkiyen yük düşürülmelidir (Taşdelen, 2007).

Abrazif aşınmada aşındırıcı malzeme, iki metal arasında serbest halde ise ya da sadece tek bir metali aşındırıcı sabite veya serbest tanelere sahip ise bu aşınma 2 şekilde gruplandırılır. Bunlar; iki elemanlı abrazif aşınma ve üç elemanlı abrazif aşınmadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. a) İki elemanlı, b) Üç elemanlı abrazif aşınma (Taşdelen, 2007)

Titreşim aşınması: Yorulma aşınması olarak da bilinen bu aşınma, temas yüzeylerinde çok küçük çukurların oluşması ile meydana gelir (Taşdelen, 2007). Makine elemanlarında tekrarlı yüklere maruz kalma ve titreşim nedeniyle yorulmalar ortaya çıkar. Bu elemanların yüzeyleri devamlı ve değişken yüklerle karşı karşıya olduğundan yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları meydana gelir. Mikro düzeydeki bu çatlaklar zamanla artarak malzeme yüzeylerinden parçacıkların ayrılmasına neden olurlar (Büyükkelleci, 2008).

Titreşim aşınması, rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde daha fazla olur (Muratoğlu, 1997). Titreşim aşınması; basit ve tahrip edici yorulma aşınması olmak üzere iki çeşittir. Basit yorulma aşınmasındaki çukurlar yüzeye yayılmadan ve fazla büyümeyerek çok küçük kalır. Tahrip edici yorulma aşınmasında ise çukurlar zamanla giderek büyüyerek yayılırlar. Ayrıca basit yorulma aşınması makine elemanlarının normal çalışmasına engel olmaz ancak tahrip edici yorulma aşınması makine elemanlarını iş göremez duruma getirir (Owsalou, 2012).

Korozyon aşınması: Tribokimyasal-tribokimyasal aşınması olarak da bilinen korozyon aşınmasında, ana malzeme ile karşı malzeme arasında tribolojik zorlanmalar nedeniyle meydana gelir. Bu aşınma daha çok metalik yüzeylerde görülür (Taşdelen, 2007). Korozyon aşınması, aşınmanın hafif bir çeşididir. Ancak bu durum nemli ortamlarda ve yüksek sıcaklıklarda aşırı şekle dönüşebilir (Topuz, 2012). Korozyon aşınmasının bağlı olduğu faktörler şunlardır;

- Tane sınırları,
- Kontak yüzeylerinin kimyasal kompozisyonu ve mikroyapısı,
- Yüzey içinde bulunan gerilme durumu,
- Kontak yüzeylerinin rijitliği,
- Kontak yüzeylerinde oluşan çalışma sertleşmesi derecesi,
- Kontak bölgesindeki basınç ve sıcaklık (Kurgun, 2014).

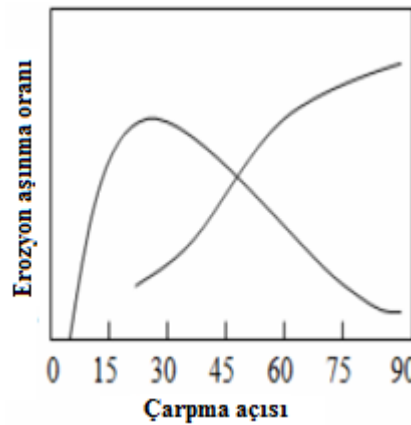
Korozyon aşınmasını engellemek için;

- Ortamın hava ile teması kesilmelidir,
- Yüksek sertliğe ve korozyon direncine sahip kaplama malzemeleri ile yüzeyler kaplanmalıdır,
- Malzeme seçimine dikkat edilmelidir,
- Kromat ve nitrat gibi önleyici kullanılmalıdır (Taşdelen, 2007).

Erozyon aşınması: Erozyon aşınması, erozyon ortamıyla malzeme yüzeyi arasında çok yüksek hızın olması sebebiyle oluşan bozulmalardır (Ay, 2014). Akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınma şeklidir (Taşdelen, 2007). Gazlar ve sıvılar akış esnasında parçanın sınır yüzeyinden çarpma ve patlama etkisi oluşturarak yüzeyden parçacıklar kopmasına neden olurlar. Bu durum girdapların etkisi ile dalgali yüzey oluşturur. Böylelikle aşınma daha da hızlanmış olur (Taşdelen, 2007). Erozyon aşınması bazı yönleriyle abrazif aşınmayla benzer özellik gösterir. Erozyon aşınması, abrazif aşınmada oluşan sert partiküllerin yüzeyi kazımasından çok yüzeye çarpması sonucunda meydana gelir ve bu durum iki aşınma arasındaki temel farktır. Bir diğer fark ise sert partiküllerin bağıl hareketleri katı yüzeye paralel olduğu zaman abrazif aşınma, sert partiküllerin bağıl hareketleri yüzeye dik olduğu zamanda ise çarpma erozyonu oluşur (Topuz, 2012). Erozyon aşınmasına etki eden faktörler şunlardır;

1. Aşındırıcının boyutu, şekli ve sertliği,
2. Aşınmaya maruz kalan malzemenin kimyasal yapısı, yüzey kalitesi ve sertliği,
3. Partikülün çarpma hızı ve çarpma açısı,
4. Birim zamanda etki eden partikül miktarı (Topuz, 2012).

Parçacıkların yüzeye çarpma açısı erozyon aşınma oranına bağlıdır. Şekil 2.15'te çarpma açısına bağlı erozyon aşınma oranı verilmiştir.



Şekil 2.15. Çarpma açısına bağlı erozyon aşınma oranı (Palavar, 2014)

Kayma aşınması: Kayma aşınması taneli mineraller tarafından meydana gelen ve metal-metal aşınması ile meydana gelen kayma aşınması olarak 2 grupta ele alınabilir. Taneli mineraller tarafından meydana gelen kayma aşınmasında mineral sertliği

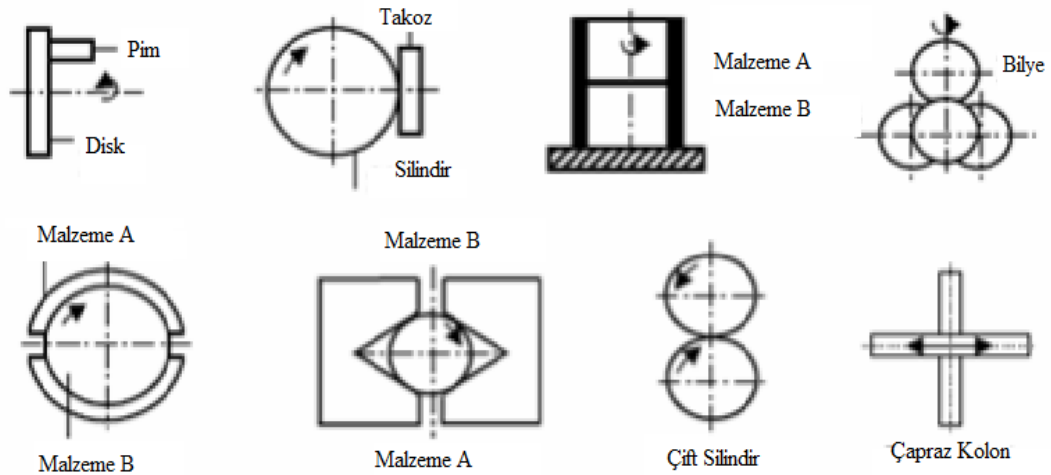
belirleyicidir. Metal dışı sert malzemelerde aşınma, metal yüzeylerinde olduğu gibi mineral taneciklerinin sertliğinin artması ile artar ancak sert malzemenin yüzeyinde gevrek kırılmalar oluşur. Malzeme sertliği, aşınma sırasında aşınma direnci büyüklüğünü etki eden önemli bir faktördür.

Metal-metal sürtünme çeşitlerinden hidrodinamik sürtünmede genelde hiçbir aşınma meydana gelmez ve malzeme çifti önemli değildir. Çünkü malzemeler aynı anda birbirine temas etmez. Ancak tam yağlamanın oluşması için minimum hız gerekir. Karışık yağlamada kuvvetin bir kısmı hidrolik, diğer bir kısmı da katı cisimlerle temastan sağlanır. İşte bu temas noktalarında malzeme özellikleri ve kayma yapan malzeme çiftleriyle yağlayıcı etkilidir.

Yuvarlanma aşınması: Birbiri üzerinde yuvarlanma hareketi yapan malzemelerde görülen aşınma çeşididir. Yuvarlanma aşınmasında malzeme özellikleri oldukça önemli yer tutar. Yuvarlanma sırasında aşınma sadece bir malzemede meydana gelebileceği gibi her iki malzemede de meydana gelebilir. Deformasyon ve oksit tabakanın etkisi yuvarlanma aşınmasını etkiler. Ayrıca, yüzeylerin yağlanması da oldukça etkili bir durumdur (Taşdelen, 2007).

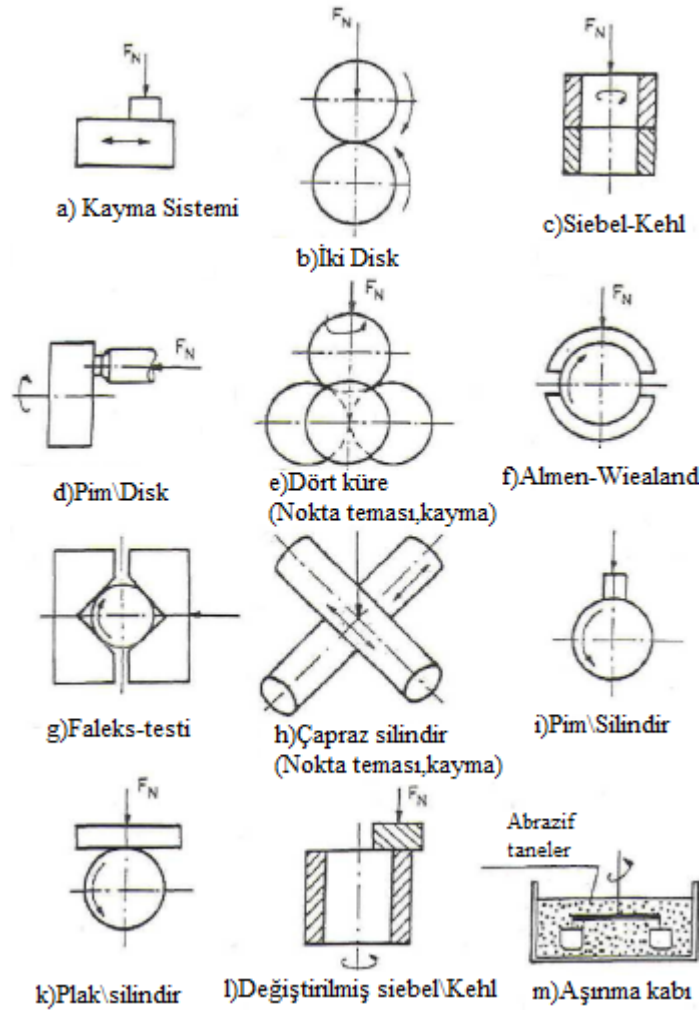
2.2.2.5. Aşınma deney yöntemleri

Günümüzde malzemelerdeki aşınma oranları ve aşınmaya etki eden değişkenleri belirlemek için birçok deney yöntemleri geliştirilmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan bu deneysel uygulamalar, malzeme seçimi hakkında fikirler üretilmesine yardımcı olur (Şahin, 2012). Bazı aşınma test modelleri Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16. Aşınma test modellerinin şematik olarak gösterilmesi (Palavar, 2014)

Sürtünme ve aşınmanın azaltılması için ya da kontrolü için sistemli araştırmalara gerek duyulur. Sürtünme ve aşınma olaylarının özelliklerini incelemek için iki çeşit deney yöntemi vardır. Bunlardan biri işletme deney yöntemi ve diğeri model deney yöntemidir. İşletme deney yönteminde malzemelerin aşınma mekanizmaları büyük ölçüde işletme koşullarına bağlı olduğundan geliştirilmiştir. Bu deney yönteminde işletme şartlarında gerçek bir makine kullanılarak çalışan elemanın belli bir süredeki performansı ölçülmüş olur. Fakat işletme şartlarının değişkenliği ve kontrolünün zor olması yapılan deneylerin tekrarlanmasını zorlaştırır. İşletme deney yöntemi çok pahalı ve fazla zaman gerektirdiğinden çok tercih edilmez. Bu sebepten dolayı model deney yöntemi geliştirilmiştir (Büyükkelleci, 2008). Ayrıca model deney yönteminde tribosistemi oluşturan unsurların gerçek sisteme olan yakınlığı ve sonuçlarının tekrar edilebilmesi gibi özellikleri bu yöntemi üstün kılmıştır (Çam, 2012). Şekil 2.17’de sürtünme-aşınma deney düzeneklerinden yaygın olarak kullanılan düzenekler şematik olarak verilmiştir (Büyükkelleci, 2008).



Şekil 2.17. Sürtünme aşınma deney düzenekleri (Büyükkelleci, 2008)

Model aşınma deney cihazları ile yapılan deneylerin amaçları şunlardır:

- Malzeme kayıplarını araştırmak,
- Sistem elemanlarının kalite kontrolünü yapmak,
- Sistem elemanlarının ömrünü, verimini, güvenilirliğini, bakım ve onarımının gerektiği durumları belirlemek,
- Sürtünme ve aşınma azaltıcı yöntemler ile yeni malzeme geliştirmek,
- Malzemelerin yağlayıcı ve tribolojik davranışlarını tespit etmek amaçlanır (Palavar, 2014).

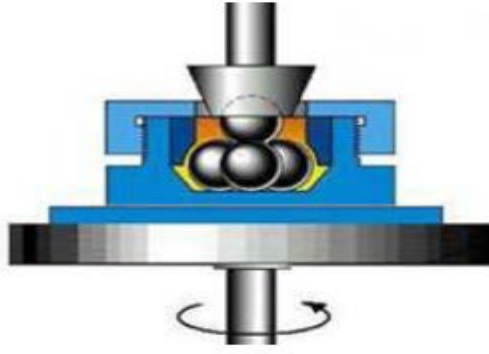
Model deney yöntemi işletme koşullarına ne kadar uygun olursa deney sonuçlarının gerekli sisteme aktarılması sonucu da o derece azalır. Gerçek sistem özellikleri bu deney yönteminde önemle göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Model deney yöntemi yapılırken şu basamaklar uygulanır;

- Deney numuneleri pratik uygulamalarda kullanılan malzeme çiftlerinden kullanılarak malzeme özellikleri ve yüzey karakteristikleri belirlenmelidir.
- Çevre durumu ara madde malzemeleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri tanımlanmalıdır.
- İşletme koşullarına en yakın hareket, yük, hız, sıcaklık ve deney zamanına en uygun deney düzeneği seçilmelidir (Büyükkelleci, 2008).

2.2.2.6. Aşınma deney cihazları

Aşınma deney cihazları; dört bilya aşınma cihazı, Disk-Pim aşınma deney cihazı ve levha-kayış deney cihazı olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

Dört bilya aşınma deney cihazı: Bu deney düzeneğinde numune olarak 4 tane aynı boyutta bilya kullanılır. Kullanılan bilyalardan üçü deney şartlarında rahat hareket edebilecekleri bir kabın içindedir. Dördüncü bilya ise bu bilya şekline uygun olarak açılan bir milin içerisinde bulunarak diğer 3 bilyanın üzerine gelecek bir konumda yerleştirilir (Şekil 2.18). Mil döndürülmeye başladığında üstteki bilyaların etkisiyle alttaki bilyalar zıt yönde dönmeye başlarlar. Dönen bilyalarda çok az miktarda radyal yük artışı yorulma ömründe çok büyük azalışlar meydana getirir. Bu durumun nedeni temas alanlarında gerilmelerin artışıdır (Şahin, 2012).



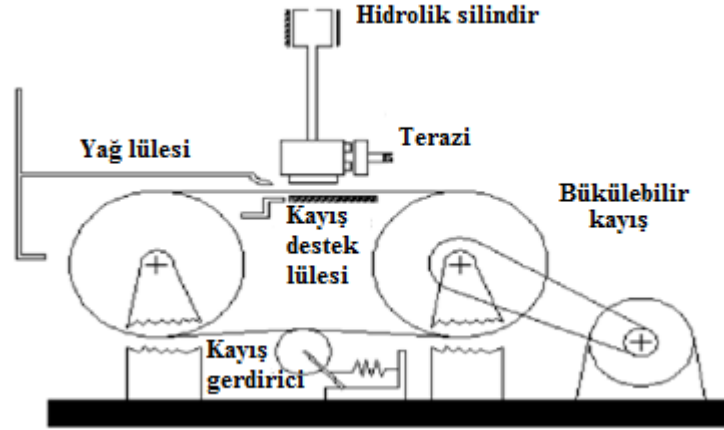
Şekil 2.18. Dört bilya aşınma deney aparatı (Şahin, 2012)

Disk-Pim aşınma deney cihazı: Disk üzerine pim yöntemi model test yöntemlerinin en yaygın kullanılan ve yapıcı en basit olanlarındandır. Bu deneyde kullanılan yatay döner disk genelde metal bileşiklerden meydana gelir. Bu cihaz ile küre, koni ya da silindir biçimindeki numunenin aşınması incelenir. Bu deney cihazı ile kuru kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları incelenebilir (Şahin, 2012). Şekil 2.19’da aşınma için kullanılan geometrik düzenler verilmiştir.



Şekil 2.19. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenler (Şahin, 2012)

Levha-Kayış deney cihazı: İki geniş silindir ve bu silindirlerin üzerinden geçen elastik özellikli bir kayış bu sistemi meydana getirir (Şekil 2.20). Silindirlerin etrafındaki kayış dönerek, kayışın gerginliği basit bir gerdirme mekanizması ile ayarlanabilir. Sistemdeki silindirlerden biri hız ayarına sahip olup, silindirin devrinin değişmesi şartıyla kayışın hızı değiştirilebilir. Deneyde aşındırmaya sebep olacak yüzey, kayışın bir yüzüne zımpara kâğıdı yapıştırılarak ya da aşındırıcı örtülerek oluşturulur. Bu kayış malzemesi lastik, çelik şerit veya takviyeli kompozitten yapılabilir (Şahin, 2012).



Şekil 2.20. Levha-kayış aşınma deney cihazı (Şahin, 2012)

2.2.2.7. Aşınma ölçüm metotları

Aşınma miktarı ölçülürken yeteri kadar hassasiyet, ekonomiklik, standartlaştırılmış kolay ve seri uygulanabilme özellikleri aranır. Aşınma miktarını ölçmek için aşağıdaki ölçüm metotları kullanılmaktadır.

1. Ağırlık farkı metodu,
2. Kalınlık farkı metodu,
3. İz değişim ölçüm metodu,
4. Radyoizotop ölçüm metodu,
5. Optik metot,
6. Ultrasonik ölçüm metodu,
7. Mekanik ölçüm metodu,

Ağırlık farkı metodu: Bu yöntem ekonomik ve ölçüm aletinin oldukça duyarlı olması sebebiyle en çok kullanılan metottur. Deney numunelerinin her bir ölçüm için yerinden çıkarılarak ölçüm yapılması yani numune yerindeyken üzerinde ölçü alınamaması fazla zaman kaybına neden olduğu için bu durum metodun dezavantajıdır (Taşdelen, 2007). Ağırlık kaybının ölçümü için 0,001 ya da 0,0001 hassasiyetindeki duyarlı teraziler kullanılır. Aşınma miktarı gram (g) ya da miligram (mg) türünden ifade edilirse, alınan yol metre (m) ya da kilometre (km) olarak elde edilmiş kayma yoluna göre birim kayma yoluna denk gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km) veya (mg/m) ile ifade edilebilir (Büyükkelleci, 2008). Ayrıca, ağırlık kaybı birim alan için hesaplanacaksa (g/cm^3) gibi birim kullanılabilir. Yine ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak hesap edilecekse

ağırlık kaybından yola çıkılarak kullanılan malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine etkiyen ağırlık miktarı da hesaba katılarak birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından hareket edilerek de bulunabilir (Topuz, 2012). Yukarıdaki tanımlamalara göre ağırlık ölçüm metodunda kullanılan formüller şu şekildedir;

$$W_a = \frac{\Delta G}{D.S.P} = \frac{(mg)}{(\frac{g}{cm^3}.N.m)} = \frac{mm^3}{Nm} \quad 2.4$$

Burada; W_a : Aşınma oranı ($mm^3/N.m$), ΔG : Ağırlık kaybı (mg), P: Yükleme ağırlığı (N), S: Kayma yolu (m) ve D: Yoğunluktur (g/cm^3). Aşınma oranının (W_a) ters değeri ile (W_r) aşınma direncini elde eder.

$$W_r = \frac{1}{W_a} = (\frac{N.m}{mm^3}) \quad 2.5$$

Abrazif aşınmanın hesaplanmasında kullanılan bir diğer bağıntı da bir kilometre yoluna denk gelen yükseklik kaybı bağıntısıdır.

$$W_s = \frac{10^4 . \Delta G}{A.D.S} = \frac{g}{cm^2.g/cm^2.km} = (\mu m.km) \quad 2.6$$

Bu bağıntıda; W_s : 1 km aşınma yoluna denk gelen yükseklik kaybı, G: Ağırlık kaybı (g), A: Aşınma yüzeyi (cm^3), D: Yoğunluk (g/cm^3), S: Kayma yolu (km) 'dir (Taşdelen, 2007). Deney malzemesi yükseklik kaybının referans malzemesi (örnek olarak Fe37 çeliğinin) yükseklik kaybına oranı aşınma orantı sayısı (V_s) 'yi verir.

$$V_s = \frac{W_s (Deneynumunesi)}{W_s(Fe 37)} \quad 2.7$$

R bağıl aşınma direnci de bu orantı sayısının ters değeri ile elde edilir.

$$R = \frac{1}{V_s} \quad 2.8$$

Genellikle DIN 50320'de verilen boyutsuz aşınma formülü üç elemanlı abrazif aşınmada yaygın olarak kullanılan formüldür. Deney başlangıcındaki ve sonundaki (ΔG) ağırlık farkı hassas bir terazi yardımıyla ölçülerek aşınma sonucundaki malzeme kaybı bulunabilir. Sürtünme yüzey büyüklüğü (A) ve sürtünme elemanının özgül ağırlığı (d) bu metotla bulunan aşınma miktarının diğer metotlarla bulunan aşınma miktarlarının sonuçlarının karşılaştırılabilmesine imkân verir. Denklem 2.9 (Topuz, 2012).

$$\Delta H = \frac{\Delta G}{A.d} \quad 2.9$$

Kalınlık farkı metodu: Bu metottaki değerler aşınma sırasında meydana gelecek boyut değişikliği ölçülerek başlangıçtaki değerler ile karşılaştırılarak bulunur. Kalınlık farkı olarak bulunan bu değerden hareketle hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı bulunur. Bulunan kalınlıklar duyarlılıkta hassas ölçüm aletleriyle ölçülmelidir (Taşdelen, 2007).

İz değişim ölçüm metodu: Plastik deformasyonlar sürtünme yüzey bölgesinde belirli bir iz meydana getirir. İz değişim metoduyla bu izin karakteristik boyut değişimi yani çapı ölçülür (Büyükkelleci, 2008). Vickers ya da Brinell sertlik ölçme uç aletleri uygulamalarda en çok kullanılan aletlerdir. Elmas piramit veya bilya ucun bıraktığı iz boyutlarının değişimi mikroskop yardımıyla ölçülerek belirlenebilir (Taşdelen, 2007). Bu metotla aşınma sonucu miktarı;

$$\Delta H = \frac{D_{01}+D_{02}.D_1.D_2.0.5}{2tg\alpha} \quad 2.10$$

formülüyle bulunur. Burada; D_{01} ve D_{02} : Aşınma öncesi uç köşegenleri ölçüleri, D_1 ve D_2 : Aşınma sonrası uç köşegenleri ölçüleri, α : Uç tepe açısıdır (Topuz, 2012).

Radyoizotop ölçüm metodu: Diğer ölçüm metotlarına göre daha yeni ancak hassasiyeti daha çok olan metottur. Bu metotta sürtünme yüzeyi proton, nötron ya da yüklü alfa parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilir. Aşınma sonucu radyoizotopların yüzeyden ayrılması sonucu meydana gelen aktivite değişimiyle ölçülür (Büyükkelleci, 2008). Deney masraflarının ve süresinin çok fazla olduğu teknik sistemlerde (örneğin otomobil sektöründe) ve diğer metotların uygulanmadığı açık sistemlerde (örneğin ray-tekerlek aşınmasında) kullanılan tek metot sayılabilir. Ancak, ekonomik olmadığı için sadece özel amaçlarla kullanılır. Bazı özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılmaz (Topuz, 2012; Taşdelen 2007).

Optik metot: Bu metotta, bir yüzey üzerine boyutu belli bir mikrosertlik izi oluşturularak aşınma sonrası bu izin boyutundaki azalmalar optik olarak incelenir. Optik metodun yatay saptama sınırı 0,0001 cm civarında olup 1/5 kadar bir iz için 0,00001 cm'lik bir derinlik sınırı mevcuttur (Topuz, 2012).

Ultrasonik ölçüm metodu: Bu metot, bölüm kalınlığı ölçülecek olan malzemeye yüksek frekansta ses dalgaları iletilmesiyle yapılır. Dalgaların iletilme ve geri dönüşü arasındaki geçen zaman arası belirlenir. Yöntem avantajları aşağıda verilmiştir.

1. Parçaların etrafında biriken kirlenmelerden dolayı ölçüm hataları bu metotla önlenir,
2. Farklı ölçüm tekniklerine bağlı hatalar giderilir,
3. Çok sayıdaki parça için bilgi depolanmasına imkân verir (Topuz, 2012).

Mekanik ölçüm metodu: Otomobil motoru silindirleri gibi büyük boyuttaki kayar parçalara uygulanabilen bir ölçüm metodudur. Devamlı aşınmaların meydana geldiği iş makinelerinin parçalarında, işletme şartlarında uygulanabilen en uygun metottur (Topuz, 2012).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmalarda tozların hazırlanması, karıştırılması, presleme işlemleri, sinterlenmesi, numunelerin zımparalanması ve parlatma işlemleri Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Metalografi Laboratuvarında, elde edilen numunelerin sertlik ölçümleri, mikroskopik görüntü incelemeleri ve aşınma testleri Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Üretim Laboratuvarında SEM ve EDS analizleri ise Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı SEM Laboratuvarı biriminde yapılmıştır.

3.1.Çalışmanın Amacı

Teknolojinin gelişmesiyle beraber kompozit malzemelere olan ilgi artmakta ve bu malzemeler içerisinde özellikle metal matrisli kompozitler önemli bir yer tutmaktadır. Böylelikle farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin istenilen özellikleri bir arada toplanabilmesi ve bu özelliklerin bir malzemede toplanması kompozit malzemelerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yapılan literatür incelemeleri ve araştırmalar doğrultusunda Al matrisli B_4C takviyeli kompozitler hakkında sınırlı sayıda çalışmanın olması ve bu kompozitlerin aşınma davranışlarının ayrıntılı bir şekilde incelenmemiş olması bu çalışmanın yapılmasına büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda belirli bir geometrik boyut ve basınç altında preslenen B_4C takviyeli Al matrisli kompozit için en uygun sinterleme sıcaklığının belirlenmesi, takviye oranına bağlı sertlik değerinin, aşınma davranışının, sıcaklık oluşumunun gözlemlenmesi, kompozit yüzeyindeki aşınmış ve aşınmamış yüzeyin optik görüntüsü, SEM ve EDS analizlerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

3.2.Deneyde Kullanılan Tozlar

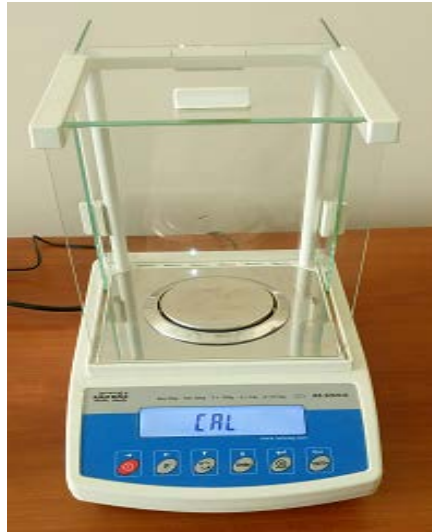
Deneysel çalışmalar için 325 mesh boyuta ve %99 saflığa sahip Al tozu ve 325 mesh boyuta ve %99 saflığa sahip B_4C tozu ticari olarak temin edilmiştir. Temin edilen tozlardan Al tozu üretilecek kompozit malzemelerde matris elemanı olarak kullanılmış, B_4C tozunun farklı oranları ise takviye elemanını oluşturmuştur.



Şekil 3.1. Temin edilen tozların görüntüleri

3.3.Toz Karışımlarının Hazırlanması

Toz metalürjisi yöntemiyle B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin tartılması için 1 mg hassasiyetteki Radwag Marka AS 220/C/2 Model hassas terazi kullanılmıştır. Hassas terazinin görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



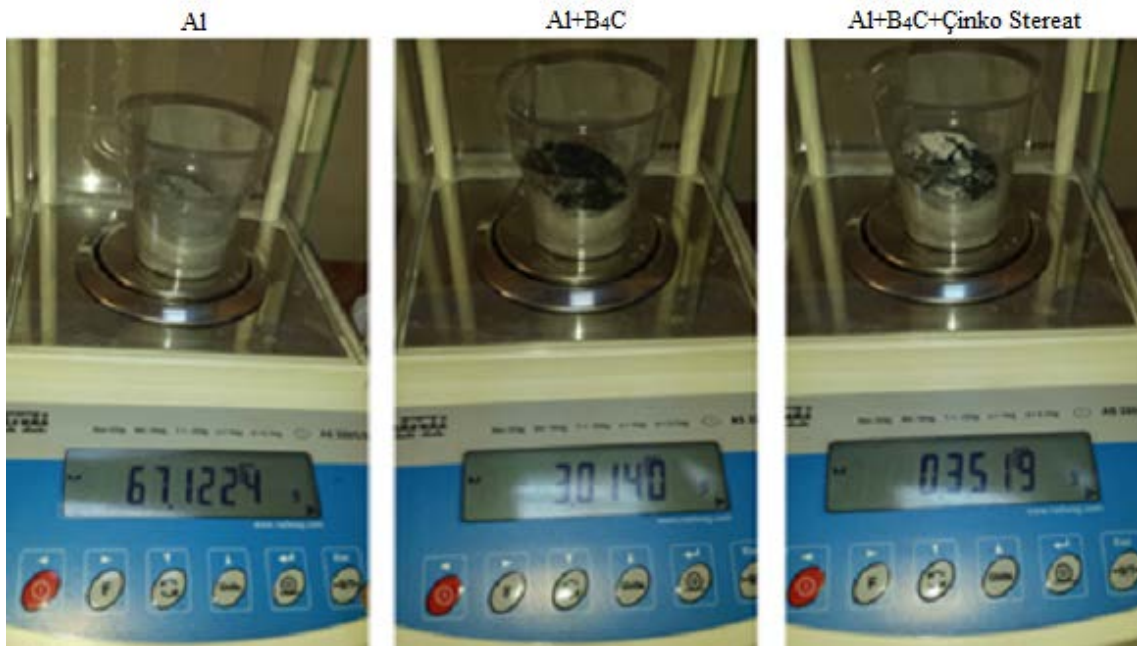
Şekil 3.2.Radwag marka AS 220/C/2 model hassas terazi görüntüsü

B₄C ve Al tozları belirlenen (70 gr) ağırlık oranlarında tartılmıştır. Tozların içerisine yağlayıcı özelliğinden dolayı 5/1000 oranında çinko stearat tozu ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozlara ait yaklaşık ağırlık birleşim oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan tozların yaklaşık ağırlık birleşim oranları

Numune Adı	Tozların Ağırlık Oranları (gr)		
	Al Tozu	B ₄ C Tozu	Çinko Stereat Tozu
Saf Al	70	-	0,35
%4 B ₄ C/Al	67	3	0,35
%8 B ₄ C/Al	64,5	5,5	0,35
%12 B ₄ C/Al	61,5	8,5	0,35
%16 B ₄ C/Al	59	11	0,35

Tablo 3.1’de verilen farklı oranlarda B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneler üretmek için tozların yaklaşık birleşim oranları saf Al, %4 B₄C/Al , %8 B₄C/Al, %12 B₄C/Al ve %16 B₄C/Al olacak şekilde elde edilmiştir. Takviye oranı %4 olan B₄C/Al tozlarının hassas terazide tartılması Şekil 3.3’te verilmiştir.

**Şekil 3.3.** %4 B₄C/Al oranındaki tozların hazırlanma görüntüsü

3.4.Tozların Karıştırılması

Hassas terazide tartılarak istenilen takviye oranları ayarlanan tozların birbiri içerisinde homojenize dağılımını sağlamak için karıştırma işlemine geçilmiştir. Bu

işlem Planetary Ball Mill, XQM-2 cihazında 5mm çapındaki çelik bilyelerle 300 dev/dk dönme devrinde 20 dakika boyunca karıştırılarak yapılmıştır (Şekil 3.4).

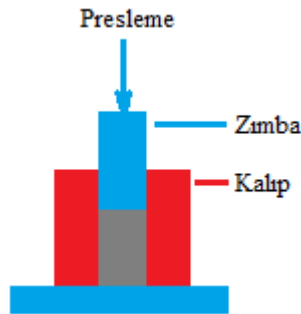


Şekil 3.4. Planetary Ball Mill, XQM-2 mekanik karıştırma cihazı, aparatı ve çelik bilyeler

Karıştırma işlemi biten tozlar tekrar hassas teraziye konularak üretilecek numunenin ağırlığında eşit parçalara bölünmüştür.

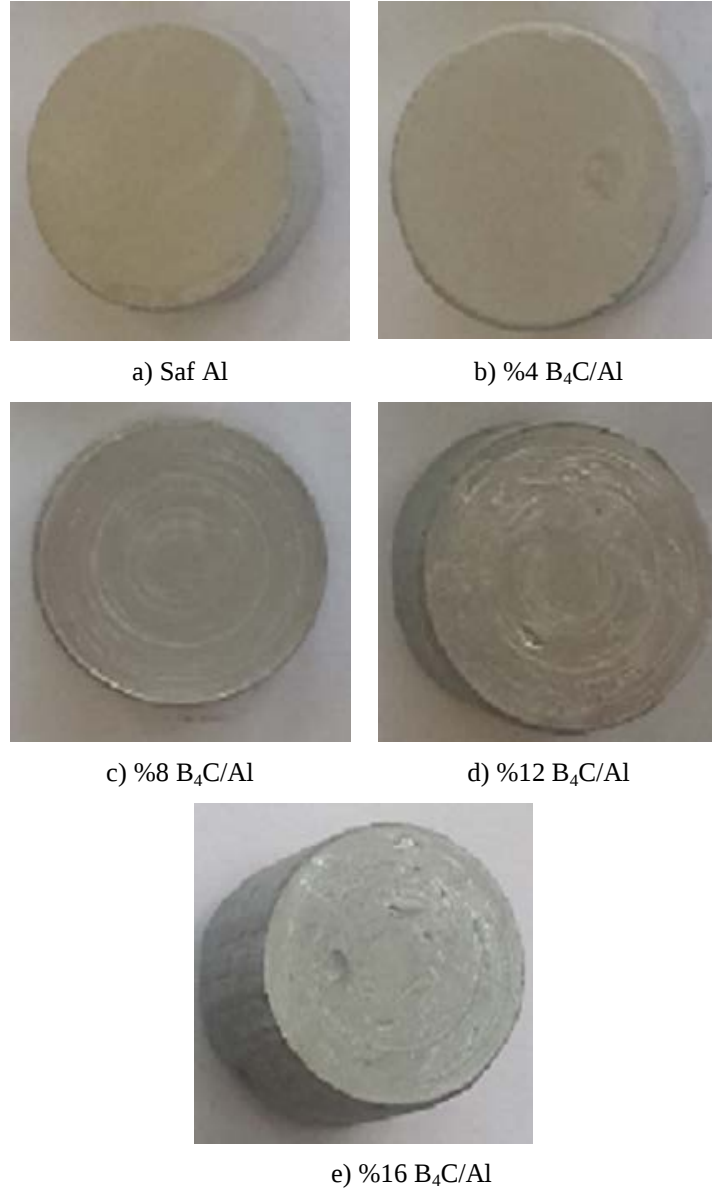
3.5.Tozların Presleme İşlemi

Saf Al, %4 B₄C/Al , %8 B₄C/Al, %12 B₄C/Al ve %16 B₄C/Al karışıma sahip tozlar silindirik bir kalıp içerisine konularak 10 mm/dk ilerleme hızında 350 MPa basınç altında preslenmiştir. Toz metalürjisinde, tozların preslenmesiyle ilgili kalıp ve zımbaya ait çizim resmi Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kalıp içerisine konulan tozun zımba ile preslenmesi

Preslenen tozlardan çapı 27 mm boyu 40 mm olan silindirik numuneler elde edilmiştir. Şekil 3.6’da preslenmiş B₄C takviyeli Al matrisli numuneler verilmiştir.



Şekil 3.6. Farklı takviye oranlarına sahip B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneler

3.6.Sinterleme Koşulları

Toz metalurjisi yöntemiyle numune üretilirken mukavemet dayanımının artırılması için sinterleme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak istenen sonuçlara ulaşabilmek adına sinterleme sıcaklığının ve sinterleme süresinin de optimum olması gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan deney çalışmaları için preslenerek elde edilen numuneler sinterleme işlemine tabi tutulmadan önce uygun sinterleme sıcaklığının belirlenebilmesi için %8 B₄C takviyeli Al tozu atmosferik ortamda Nabertherm marka fırında 560 °C, 580 °C ve 600 °C’de 90 dakika boyunca sinterlenmiştir. Şekil 3.7’de

sinterleme işleminin yapıldığı fırın, Şekil 3.8’de farklı sıcaklıklarda sinterlenen %8 B₄C/Al kompozitin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7. Nabertherm marka fırın



a) 560 °C

b) 580 °C

c) 600 °C

Şekil 3.8. %8 B₄C/Al numunelerin farklı sinterleme sıcaklıklarındaki görüntüleri

3.7.Metalografik Numune İşlemleri

Sinterleme işlemi biten numunelerde oluşan oksit tabakasının giderilmesi ve presleme esnasında bozulan yüzeyin temizlenmesi amacıyla numunelerde parlatma işlemleri yapılır. Parlatma işlemleri için farklı boyutlarda zımpara kâğıtları, parlatma keçeleri ve gerekli olduğu durumlarda özel süspansiyonlu karışımlar kullanılarak yüzeyler parlatılır. Yapılan çalışmada sinterleme işlemlerinden sonra daha iyi sertlik değerlerinin alınması, aşınma analizinin yapılması, mikroyapı ve SEM incelemeleri için kompozitlerin yüzeyleri parlatılmıştır. Bu işlem Presi Marka Minitch 233 Model

parlatma cihazında sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 zımpara kâğıtları, HS-V 3 mikron parlatma keçesi ve 3 mikron Metspre marka elmas süspansiyon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9.'da Presi Minitech 233 parlatma cihazı ve yapışkanlı zımpara kâğıdının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.9. Presi Minitech 233 model parlatma cihazı ve Grit yapışkanlı disk zımpara kâğıdı

3.8. Sertlik ve Basma Değerleri

Sertlik deneyleri Shimadzu HMV mikrosertlik ölçüm cihazında 1N yük, 15 saniye boyunca uygulanarak belirlenmiştir (Şekil 3.10). Bu kompozitlerin yüzeyinden 5 farklı noktadan sertlik değerleri alınarak ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 3.10. Shimadzu HMV mikrosertlik ölçüm cihazı

Basma deneyi ise Shimadzu 250 kN yük hücresine sahip üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Shimadzu üniversal test cihazı

En yüksek sertlik ve basma mukavemet değerlerine göre optimum sinterleme sıcaklığının 580 °C sıcaklıktan elde edildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre saf Al ile %4 B₄C, %8 B₄C, %12 B₄C ve %16 B₄C takviye ağırlık oranlarına sahip Al matrisli kompozit numuneler 580 °C sıcaklığında 90 dakika boyunca sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi biten numunelerin yüzeyleri parlatılarak sertlik değerleri alınmıştır. Sertlik değerleri 5 farklı noktadan ölçülmüş olup ortalaması alınmıştır. Ayrıca, numunelerin mikroyapısı Leica DM 2500 P optik mikroskop ve Leica DFC450 C dijital kamera ile incelenmiştir (Şekil 3.12).



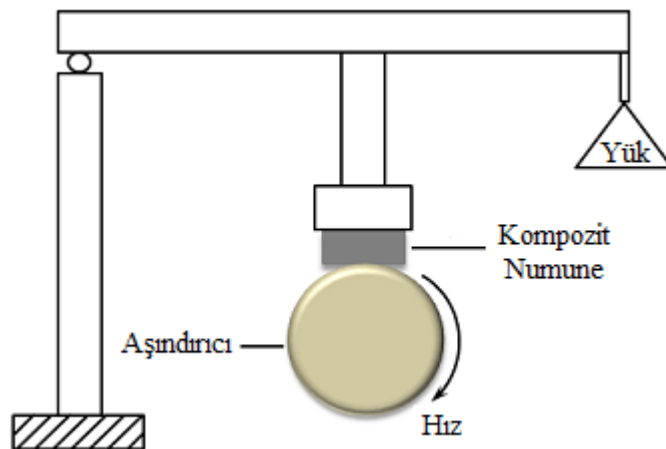
Şekil 3.12. Leica DM 2500 P optik mikroskop

3.9.Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri özel olarak hazırlanan test aparatıyla JETCO JML-3010Y universal torna tezgâhında yapılmıştır (Şekil 3.13). Aşınma deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 3.14’de verilmiştir. Aşınma parametreleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.13.JETCO JML-3010Y universal torna tezgâhı



Şekil 3.14. Aşınma deney düzeneği

Tablo 3.2.Aşınma deney parametreleri

Kayma Hızı (m/s)	0,46
Yük (N)	5, 10 ve 15
Kayma Mesafesi (m)	250, 500, 750 ve 1000

Aşınma deneylerinde karşı aşındırıcı olarak Ti-6Al-4V alaşımı kullanılmıştır. Ti-6Al-4V alaşımına ait özellikler Tablo 3.3’ te verilmiştir.

Tablo 3.3. Ti-6Al-4V alaşımının özellikleri ve içinde bulunan bileşimlerin oranları

Ti-6Al-4V alaşımının özellikleri		İçinde bulunan elementler ve oranı	
Dış çapı	40mm	N	%0,05
Ortalama yüzey pürüzlülüğü	2,4 µm	C	%0,08
Çekme mukavemeti	895 MPa	H	%0,015
Akma mukavemeti	828 MPa	Fe	%0,40
Kopma uzaması	%10	O	%0,20
Kesitdaralması	%25	Al	%5,5 ~ 6,75
Elastisite modülü	105-120 MPa	V	%3,5 ~ 4,5
Poissonoranı	0,31	Ti	%90,255 ~ 88,005

Aşınma deneylerinde, ağırlık kaybına bağlı olarak aşınma miktarının hesaplanması için deneye başlamadan ve deney tamamlandıktan sonra kompozit numunelerin ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir.

3.10. SEM ve EDS Analizleri

Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilen, saf Al ile %4 B₄C, %8 B₄C, %12 B₄C ve %16 B₄C takviye ağırlık oranlarına sahip Al matrisli kompozit numunelerin aşınma ve diğer tüm deneyleri tamamlandıktan sonra mikroyapıları hakkında bilgi sahibi olabilmek için SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri için Zeiss marka EVO LS 10 modelinde SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.15).



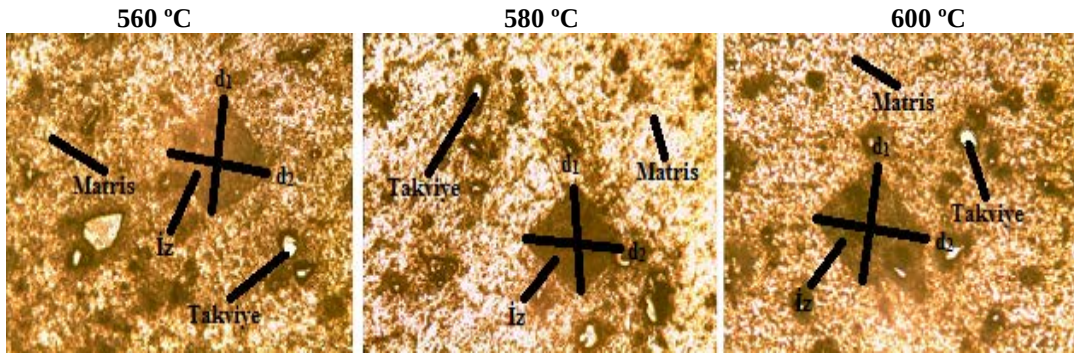
Şekil 3.15.SEM cihazının resmi

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1.Elde Edilen Numuneler İçin Optimum Sinterleme Koşullarının İncelenmesi

4.1.1. Sertlik ölçümü ve sinterleme sıcaklığının incelenmesi

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozitlerin uygun sinterleme sıcaklığının belirlenmesi %8 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitler 560 °C, 580 °C ve 600 °C’de 90 dakika boyunca sinterlenmiştir. Sinterleme işlemleri biten kompozitlerin sertlikleri ölçülmüştür. %8 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitin sertlik ölçümü esnasında kompozite ait mikroyapı ve mikroyapı içerisindeki matris, takviye ve iz görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı sinterleme sıcaklıklarında %8 B₄C/Al kompozitlerin sertlik ölçüm görüntüleri

Şekil 4.1’de 40X büyütme ile büyütülen kompozit malzemelerin mikroyapılarında önemli bir fark olmamasına rağmen izlerin büyüklükleri arasında fark gözlemlenmiştir. Bu durum da sertliğin büyüklüğünü vermiştir. 560 °C, 580 °C ve 600 °C’de sinterlenmiş %8 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin her birinin yüzeyinden 5 farklı noktadan alınan sertlik değerleri ile ortalama sertlik değeri Tablo 4.1’de verilmiştir.

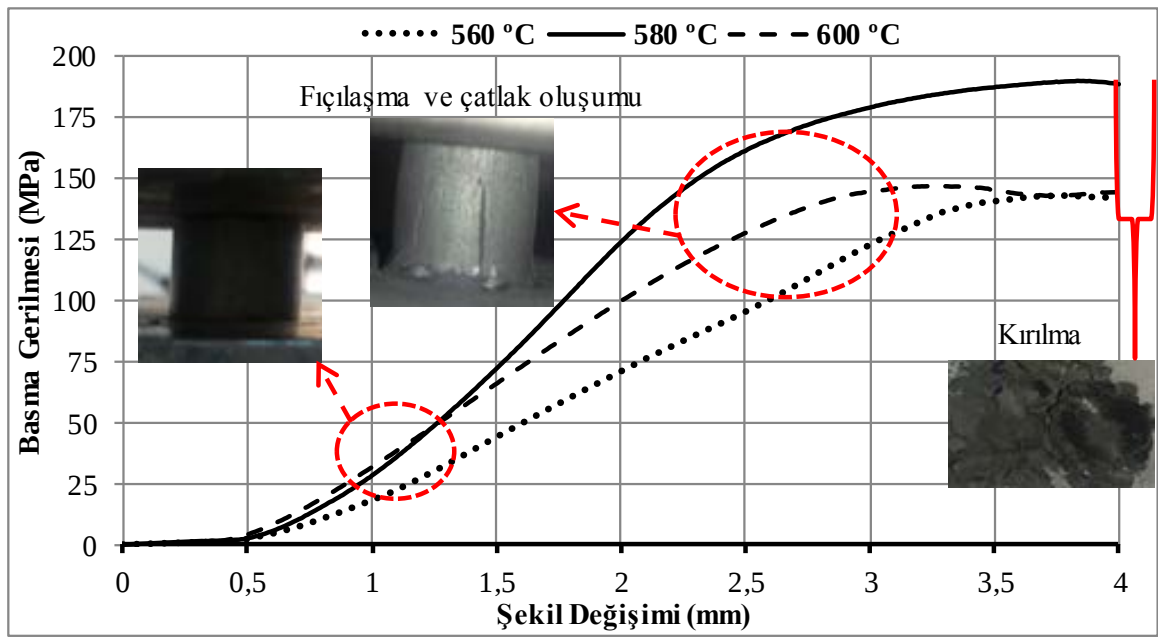
Tablo 4.1. %8 B₄C/Al kompozitin sinterleme sıcaklığına bağlı sertlik değerleri

Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Numune Üzerinden Ölçülen Sertlik Değerleri (HV)					Ortalama Sertlik Değeri (HV)
	1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer	
560	44,9	45,1	45,3	44,8	45,2	45,1
580	55,2	57,4	56,5	57,2	55,7	56,4
600	49,8	51,2	51,8	51,5	49,7	50,8

Tablodan görüldüğü gibi en düşük sertlik değeri 560 °C sinterleme sıcaklığından 45,1 HV olarak elde edilirken en yüksek sertlik değeri 580 °C sinterleme sıcaklığında 56,4 HV elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı 600 °C'ye çıktığında ise sertlik değeri düşmüştür.

4.1.2. Basma gerilmesinin incelenmesi

560 °C, 580 °C ve 600 °C'de sinterlenmiş %8 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin Gerilme/Şekil değişimleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

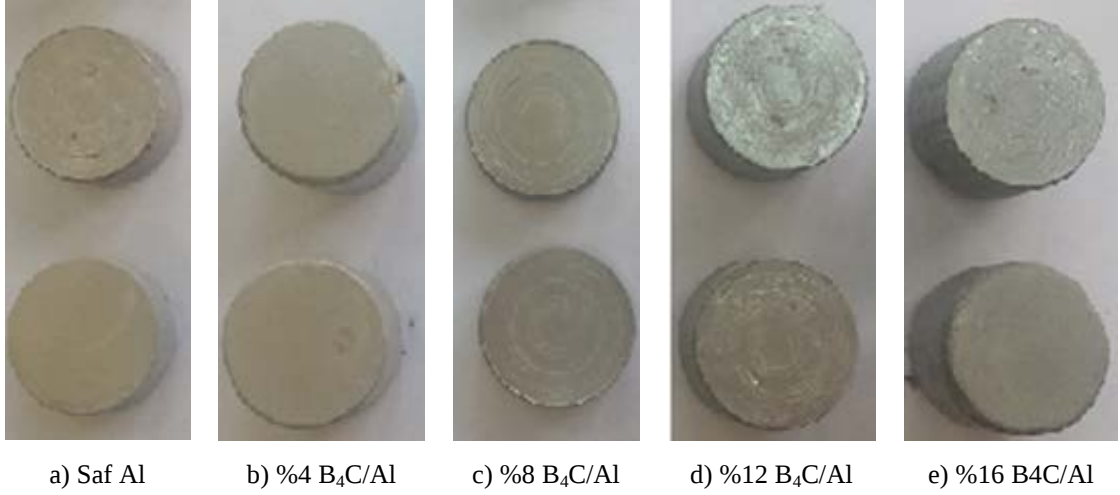


Şekil 4.2. %8 B₄C/Al kompozitlerin farklı sinterleme sıcaklıkları için basma gerilmesi diyagramı

Şekil 4.2'de birim alana düşen kuvvetin artmasıyla numunelerde fıçılamanın meydana geldiği ve bu fıçılasmış yüzeylerde çatlaklar olduğu görülmüştür. Malzemenin birim alanına uygulanan kuvvet maksimum seviyeye ulaştığında çatlakların oldukça fazlaştığı ve akabinde malzemede kırılmanın olduğu görülmüştür. En düşük basma gerilmesi 560 °C sinterleme sıcaklığında yaklaşık 142 MPa en yüksek basma gerilmesi 580 °C sinterleme sıcaklığında yaklaşık 189 MPa olarak elde edilmiştir. 600 °C sinterleme sıcaklığında ise basma gerilmesi yaklaşık 144 MPa'dır. Sonuç olarak, hem sertlik hem de basma mukavemet değerlerine göre optimum sinterleme sıcaklığının 580 °C olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, farklı B₄C takviye oranına bağlı Al matrisli numuneler 580 °C'de sinterlenerek optik görüntü ve sertlik değerleri incelenmiştir.

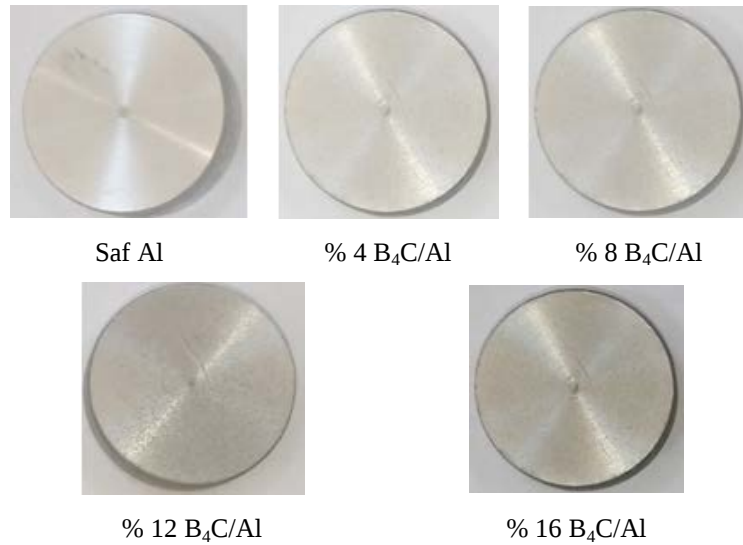
4.2. Optimum Sinterleme Koşullarının Numunelerde İncelenmesi

Elde edilen sonuçlara göre saf Al ile %4 B₄C, %8 B₄C, %12 B₄C ve %16 B₄C takviye ağırlık oranlarına sahip Al matrisli kompozit numuneler 580 °C sıcaklığında 90 dakika boyunca sinterlenmiştir. Şekil 4.3'te sinterleme işlemi yapılan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 580 °C sıcaklıkta sinterlenen numuneler

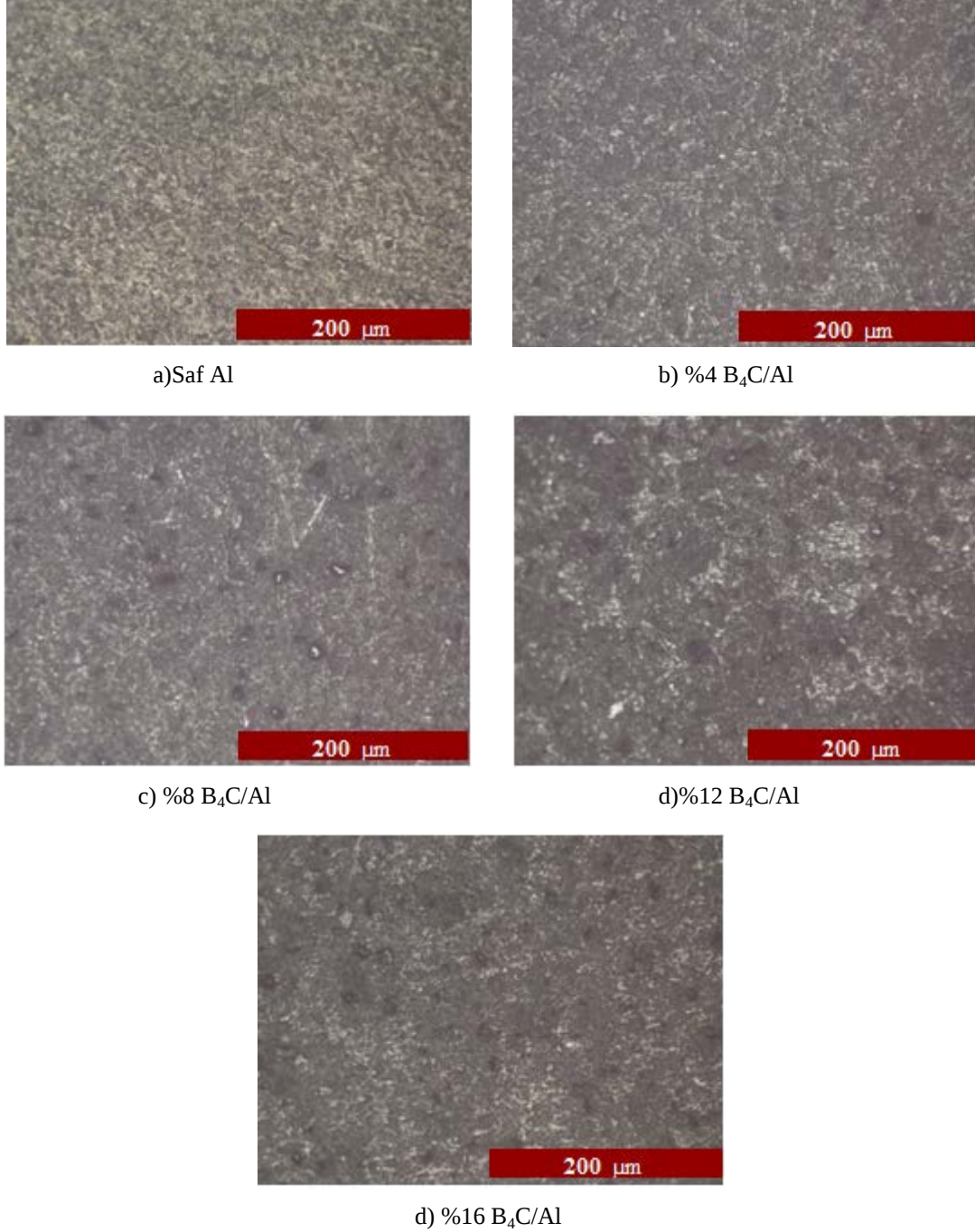
Sinterleme işlemi bütün numunelerden optik görüntü alabilmek ve sertlik ölçümü yapabilmek amacıyla yüzeyleri parlatılarak hazır hale getirilmiştir. Yüzeyi temizlenen farklı takviye oranlarına sahip B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numunelere ait görüntüler Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı takviye oranlarına sahip B₄C takviyeli Al matrisli kompozit numuneler

4.3. Optik Mikroskop İncelemeleri

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozitlerin içyapısını ve B_4C takviye elemanlarının mikroyapıdaki dağılımı Şekil 4.5’ te verilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı B_4C takviye oranına bağlı Al matrisli kompozitlerin 10x büyütmeli optik görüntüleri

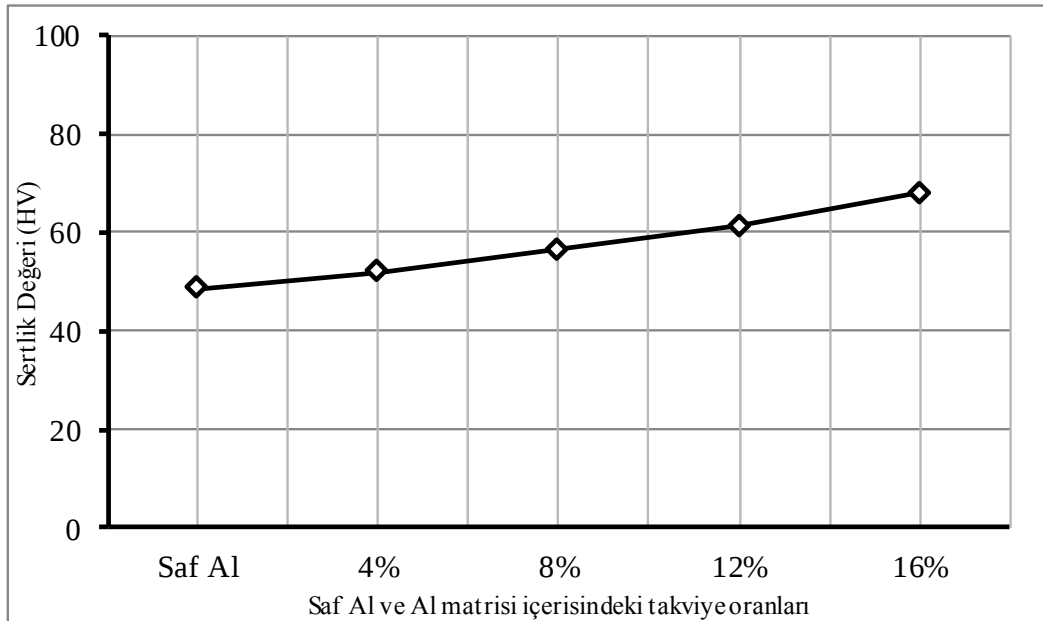
Şekil 4.5’te takviye parçacıklarının matris içerisinde homojen olarak dağıldığı ve takviye oranının artması ile matris içerisinde takviye parçacık sayısının arttığı gözlemlenmiştir.

4.4. Numunelerdeki Sertlik Ölçümlerinin İncelenmesi

Artan takviye oranının sertlik üzerindeki etkilerini incelemek için bu kompozitlerin 5 farklı yüzeyinden sertlik değerleri alınarak ortalaması hesaplanmıştır. Farklı takviye oranına sahip kompozitlere ait 5 farklı noktadan alınan sertlik değerleri ile ortalama sertlik değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Takviye oranına bağlı ortalama sertlik değerlerinin değişim grafiği ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı takviye oranlarındaki kompozitlerin sertlik değerleri (580 °C)

Takviye Oranı	Numune Üzerinden Ölçülen Sertlik Değerleri (HV)					Ortalama Sertlik Değeri (HV)
	1. Değer	2. Değer	3. Değer	4. Değer	5. Değer	
Saf	49,3	47,7	48,7	48,5	48,2	48,5
%4 B ₄ C/Al	50,8	52	52,5	51,8	52,2	51,9
%8 B ₄ C/Al	55,2	57,4	56,5	57,2	55,7	56,4
%12 B ₄ C/Al	62,2	61,7	60,8	61,1	60,1	61,2
%16 B ₄ C/Al	68,3	67,9	67,8	68,1	68,4	68,1



Şekil 4.6. Takviye oranına bağlı ortalama sertlik değerlerinin değişim grafiği

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen saf Al ile farklı takviye oranına sahip Al matrisli kompozitlerin ortalama sertlik değerleri incelendiğinde en düşük sertlik değerinin saf Al'den 48,5 HV olarak elde edildiği görülmüştür. Al matris içerisindeki B_4C takviye oranının artması sertliğin artmasına katkı sağlamıştır. En yüksek sertlik değeri takviye oranının %16 olduğu durumda 68,1 HV olarak elde edilmiştir.

Takviye oranının artması üretilen kompozitin sertlik değerinin artmasına katkı sağlamıştır. Çünkü takviye elemanı olarak kullanılan B_4C takviye elemanı oldukça sert bir malzemedir (Guo ve arkadaşları, 2016). Bu yüzden B_4C takviye elemanı ilave edildiği malzemenin sertleşmesine neden olmaktadır.

4.5.Aşınma Deneylerinin İncelenmesi

Bu aşamada, alüminyum metal matrise B_4C takviyesi ilave edilerek toz metalürjisi yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerin kuru kayma şartları altındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri 0,46 m/s sabit hızda, 250, 500, 750 ve 1000 m kayma mesafelerinde ve 5, 10 ve 15 N yükler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen farklı takviye oranlarındaki kompozit malzeme türlerine ve aşınma parametrelerinin kombinasyonuna bağlı olarak toplam 60 adet aşınma deneyi yapılmıştır. Her bir aşınma deneyi için deney başlamadan ve deney tamamlandıktan sonra kompozit malzemenin ağırlığı hassas terazide ölçülmüştür. Kompozit malzemelerde meydana gelen ağırlık kayıpları belirlenerek aşınma davranışları elde edilmiştir. Şekil 4.7'de aynı aşınma parametrelerinde aşındırılan saf Al, %12 B_4C ve %16 B_4C takviyeli Al matrisli kompozitlerin görüntüleri verilmiştir. Tüm deney şartları için kompozitlerden elde edilen ağırlık kayıpları Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.7. Saf Al ve farklı B_4C takviye oranına bağlı Al matrisli bazı kompozitlerin aşındırılmış görüntüleri

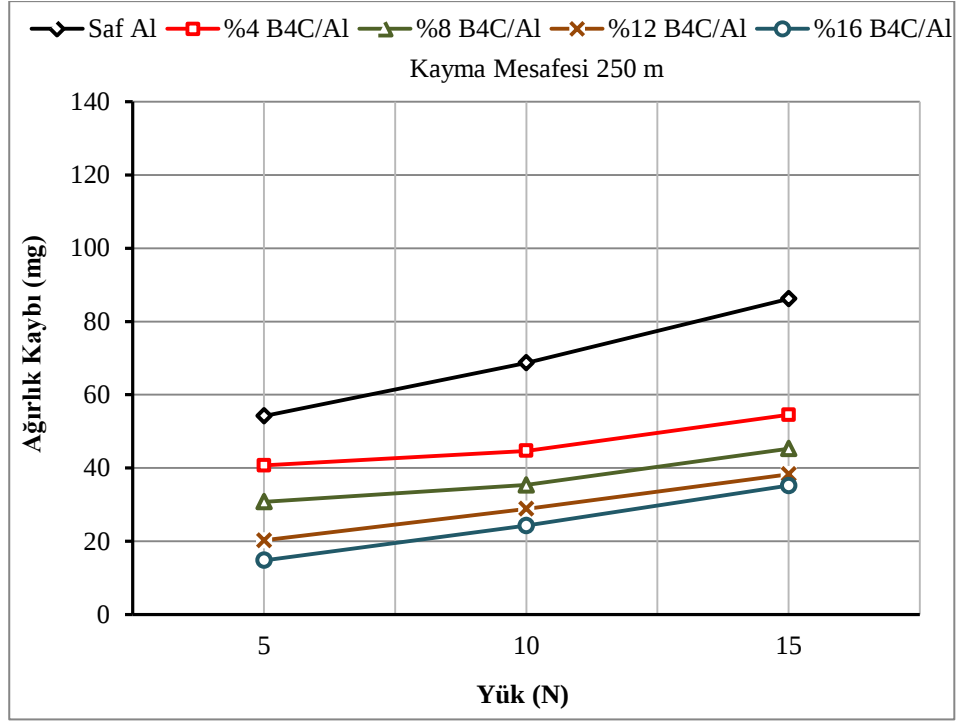
Tablo 4.3.Aşınma parametreleri ve takviye oranına bağlı ağırlık kaybı değerleri

Aşınma Parametreleri		Ağırlık Kaybı (mg)				
Uygulanan Yük (N)	Kayma Mesafesi (m)	Saf Al	%4 B ₄ C/Al	%8 B ₄ C/Al	%12 B ₄ C/Al	%16 B ₄ C/Al
5	250	54,2	40,7	30,8	20,3	14,8
5	500	60,6	42,2	35,5	21,8	18,1
5	750	64,5	54,7	44,3	38,2	30,6
5	1000	78,8	64,3	60,1	58,1	41,8
10	250	68,7	44,7	35,4	28,9	24,3
10	500	77,5	48,2	41,7	34,4	30,8
10	750	85,1	59,4	49,4	47,7	39,7
10	1000	98,3	82,6	64,3	61,4	44,6
15	250	86,2	54,5	45,3	38,3	35,2
15	500	109,1	65,8	57,5	44,6	41,7
15	750	116,7	83,9	69,6	58,4	47,6
15	1000	138,2	93,3	89,4	67,2	56,4

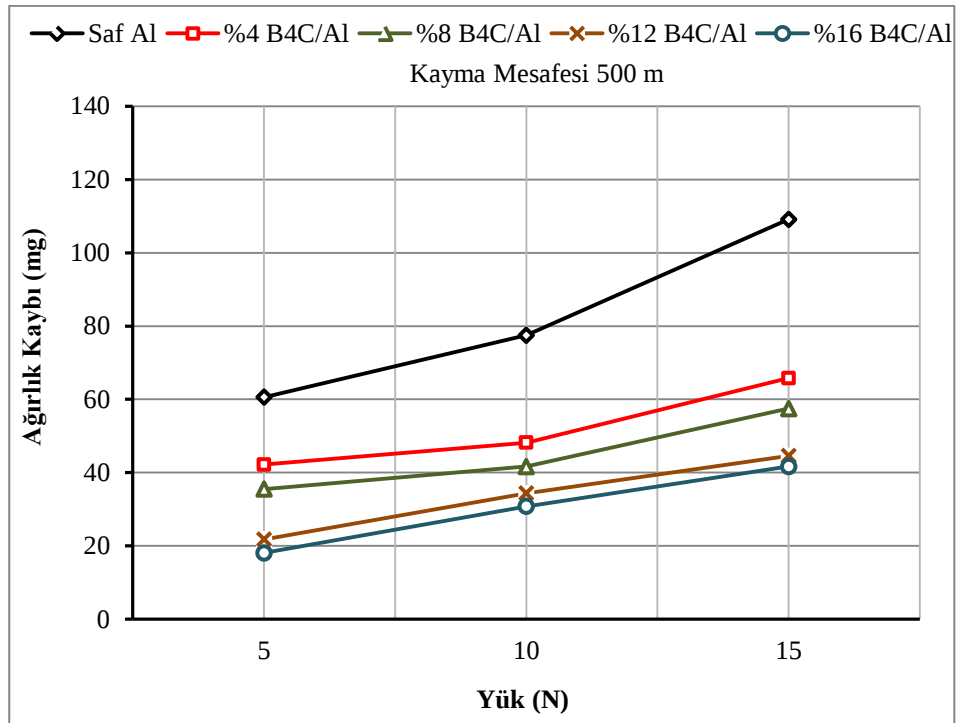
4.5.1.Uygulanan yüke bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi

Saf Al ile B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altında uygulanan yüke bağlı olarak elde edilen ağırlık kaybı değişimleri 250m kayma mesafesi için Şekil 4.8’de 500m kayma mesafesi için Şekil 4.9’da, 750m kayma mesafesi için Şekil 4.10’da ve 1000m kayma mesafesi için Şekil 4.11’de verilmiştir.

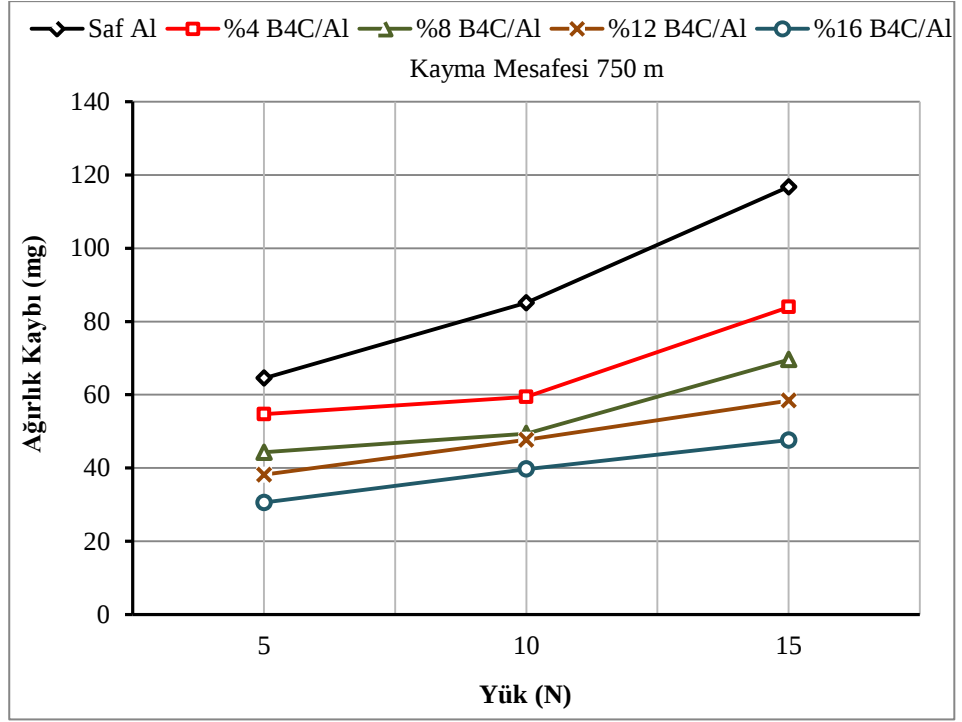
Farklı takviye oranlarındaki B₄C/Al kompozitlerinin yüke bağlı ağırlık kayıpları incelendiğinde uygulanan yükün artmasıyla ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Yüke bağlı ağırlık kayıplarında en fazla ağırlık kaybı 15N uygulama yükünde gerçekleşirken, en az ağırlık kaybı dolayısıyla da aşınma miktarı 5N uygulama yükünde gerçekleştiği görülmüştür.



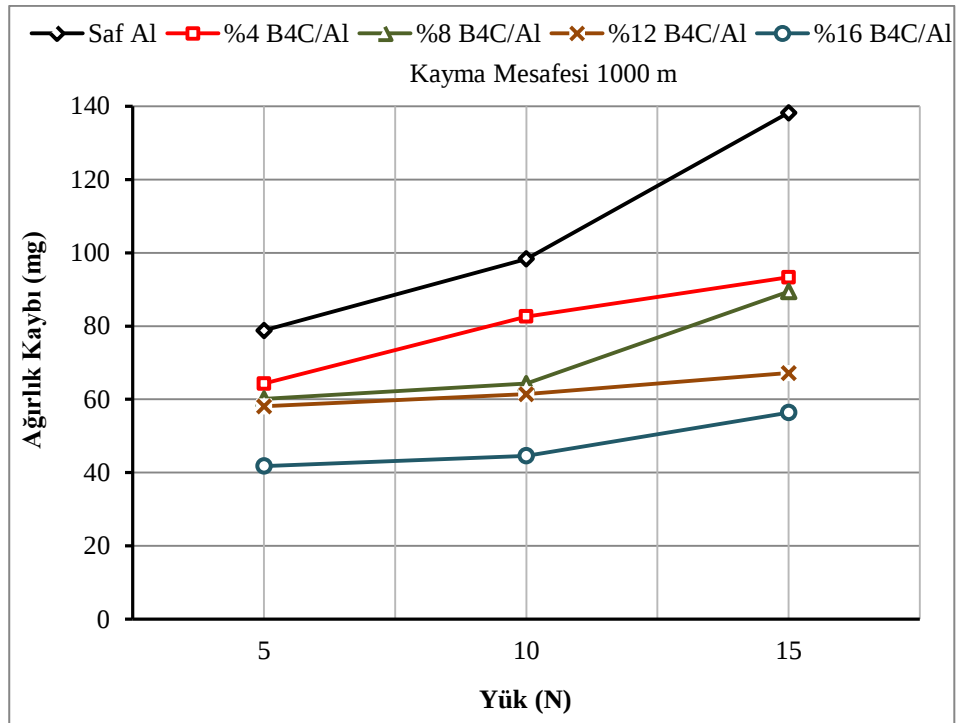
Şekil 4.8. 250m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları



Şekil 4.9. 500m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları



Şekil 4.10. 750m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları

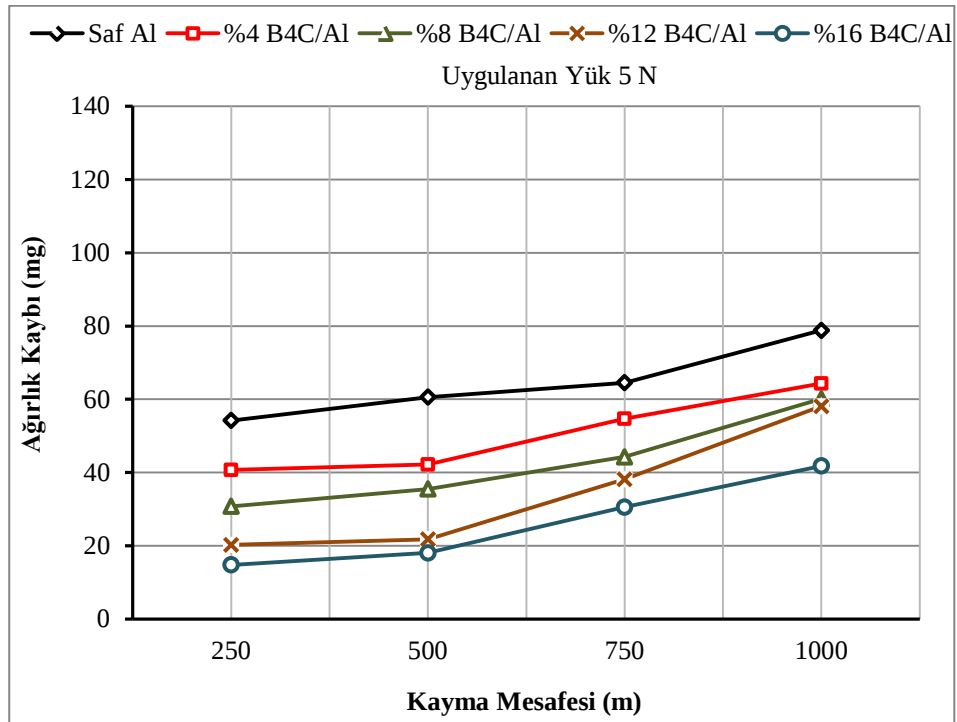


Şekil 4.11. 1000m kayma mesafesi için yüke bağlı ağırlık kayıpları

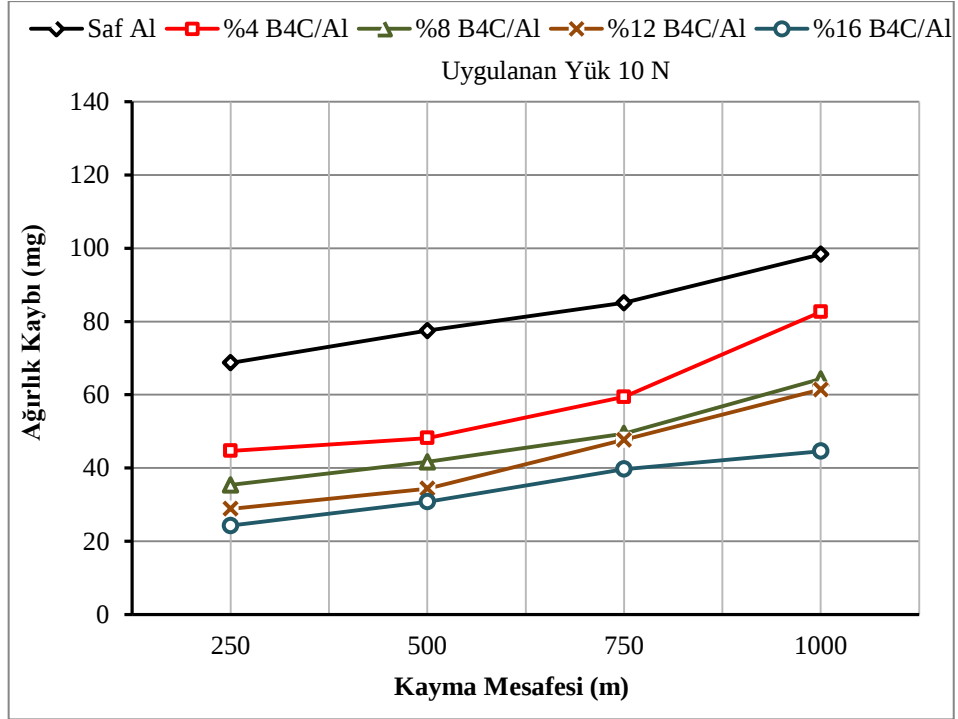
4.5.2. Kayma mesafesine bağı ağırlık kayıplarının incelenmesi

Saf Al ile B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altında kayma mesafesine bağı ağırlık kayıpları uygulanan yükün 5N olduğı durum için Şekil 4.12’de, uygulanan yükün 10N olduğı durum için Şekil 4.13’te ve uygulanan yükün 15N olduğı durum için Şekil 4.14’te verilmiştir.

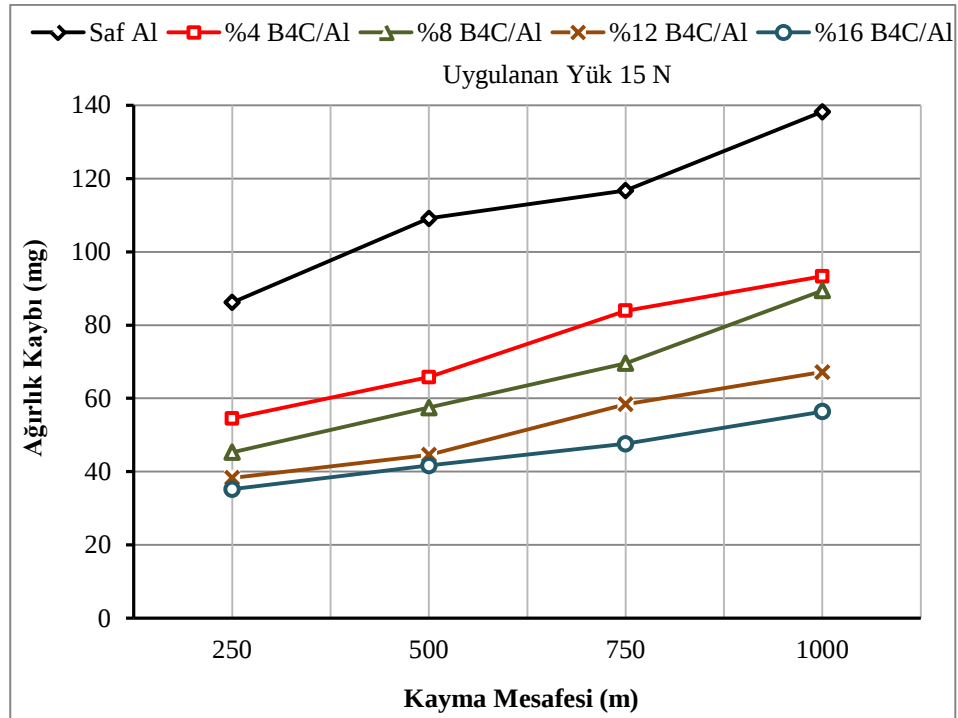
Malzemelerin aşınmasında önemli bir etkiye sahip olan yükün yanı sıra kayma mesafesinin de aşınmaya etkisi oldukça büyüktür. Şekillerde görüldüğü gibi kayma mesafesinin artması aşınmayı arttırmıştır. Farklı takviye oranlarındaki B₄C/Al kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi için yapılan bu çalışmada kayma mesafesine bağı olan aşınma miktarı 250m kayma mesafesinde en düşük iken 1000m kayma mesafesinde en yüksek olduğı bulunmuştur.



Şekil 4.12. 5N uygulama yük için kayma mesafesine bağı ağırlık kayıpları



Şekil 4.13. 10N uygulama yük için kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları



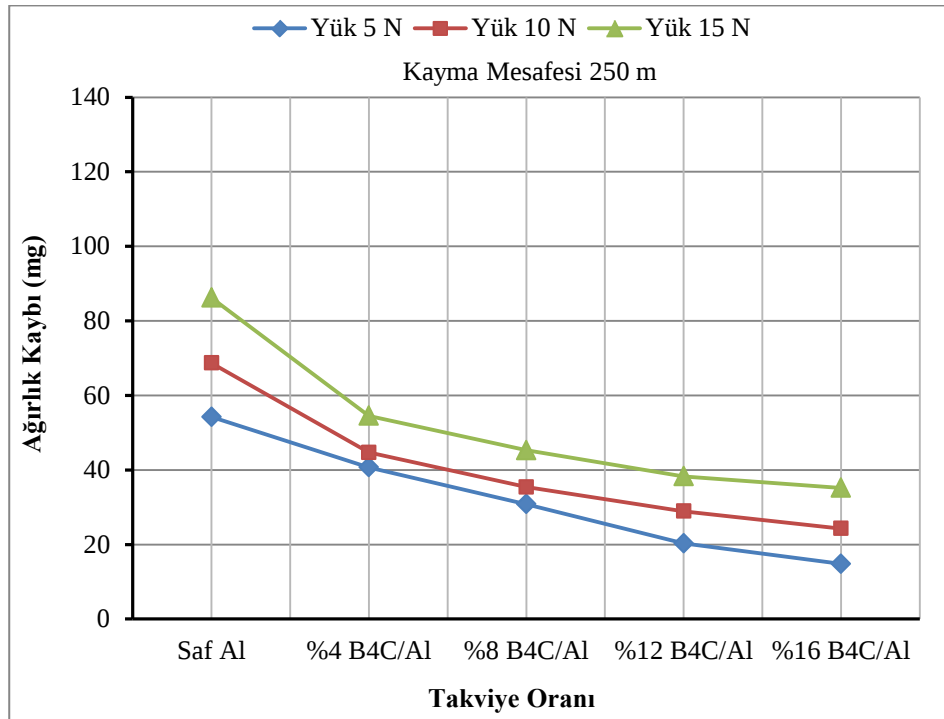
Şekil 4.14. 15N uygulama yük için kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıpları

4.5.3. Takviye oranına ve kayma mesafesine bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi

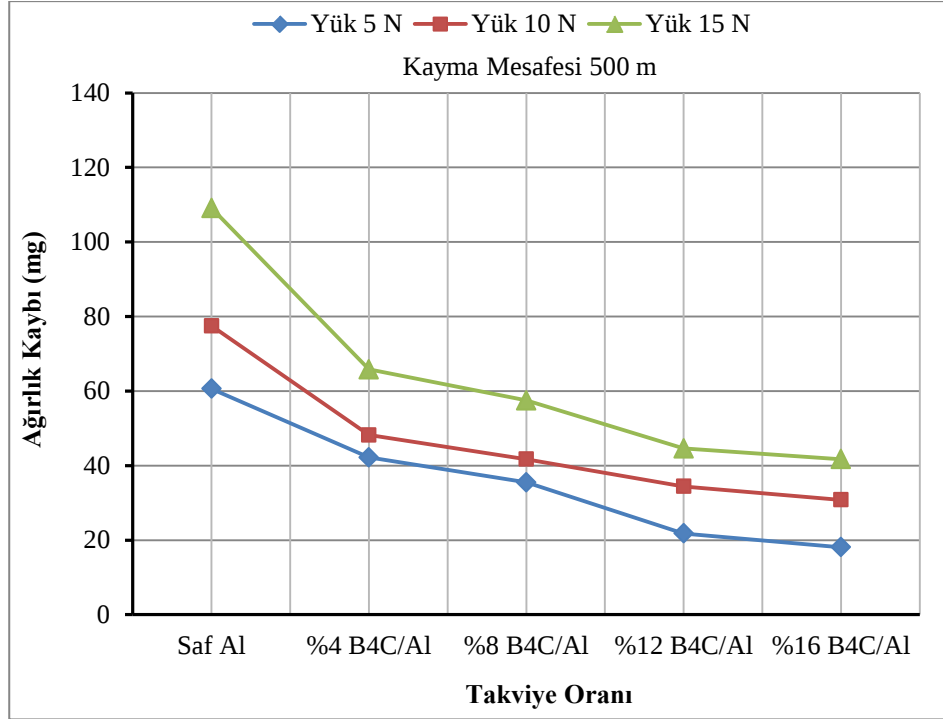
Saf Al ile B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altında takviye oranına bağlı olarak elde edilen ağırlık kayıpları kayma mesafesinin 250m, 500m, 750m ve 1000m olduğu durumlar için sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.

Şekillerden de görüldüğü gibi toz metalürjisi yönteminden faydalanılarak üretilen kompozit numunelerdeki aşınma davranışının takviye oranına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Numunelerdeki artan takviye oranının ağırlık kaybını azaltarak aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Aşınma olaylarında, artan takviye oranıyla ağırlık kaybının azalmasının nedeni takviye oranının kompozitin sertlik değerine katkı sağlamasındandır. Maksimum aşınma saf Al’de gözlemlenirken, minimum aşınma ise %16 B₄C takviyeli Al matrisli kompozitte gözlemlenmiştir.

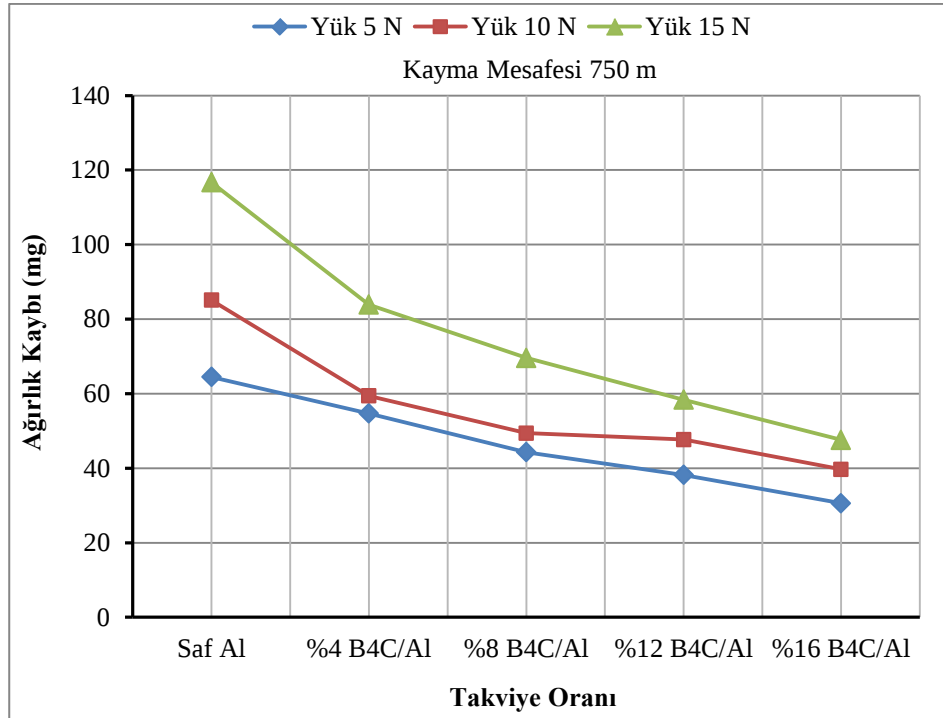
Aşınma deneylerindeki kayma mesafesi ve uygulanan yük arttıkça da ağırlık kaybının dolayısıyla da aşınma miktarının arttığı görülmüştür.



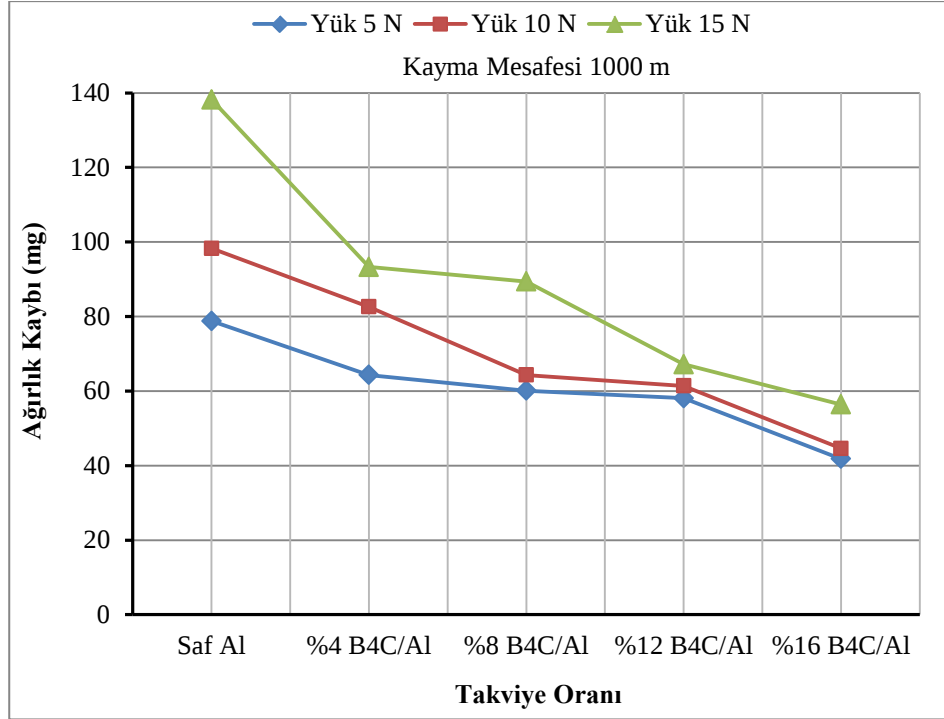
Şekil 4.15. 250m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları



Şekil 4.16. 500m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları



Şekil 4.17. 750m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları

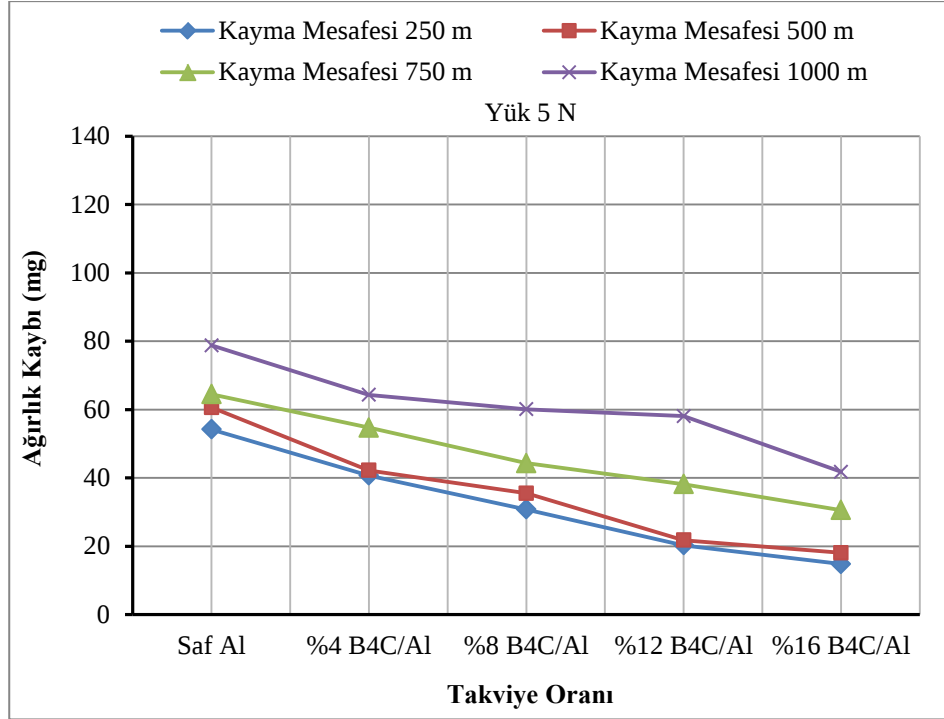


Şekil 4.18. 1000m kayma mesafesi için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları

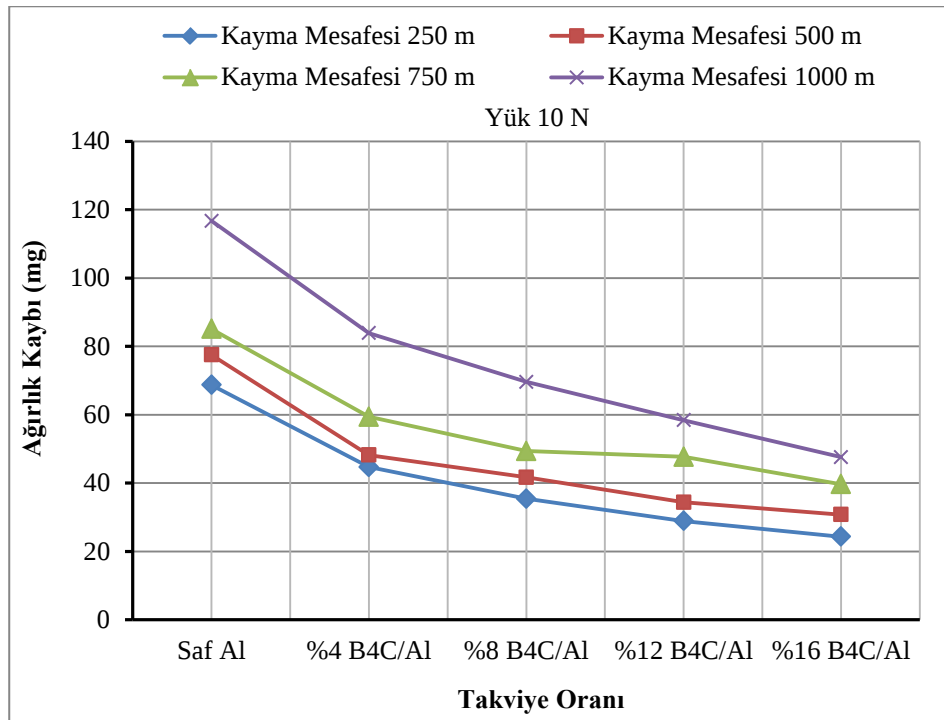
4.5.4. Takviye oranına ve uygulanan yüke bağlı ağırlık kayıplarının incelenmesi

Saf Al ile B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin kuru kayma şartları altında takviye oranına bağlı olarak elde edilen ağırlık kayıpları uygulanan yükün 5N, 10N ve 15N olduğu durumlar için sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.

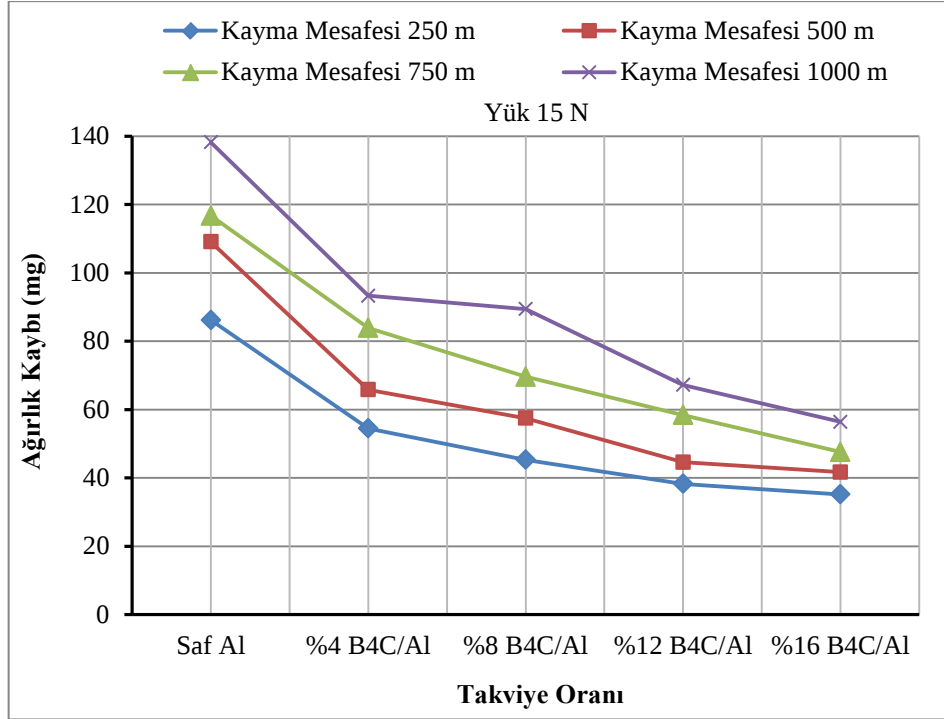
Hem kayma mesafesinin hem de uygulanan yükün ağırlık kaybının artmasına, takviye oranının artması ise ağırlık kaybının azalmasına neden olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi birbiri ile etkileşim hâlinde çalışan karşıt yüzeylerde bağıl hareketin sonucu olarak sürtünme ve ısı oluşmaktadır. Bunun neticesinde ise malzeme hasara uğramaktadır. Bu hasarlar özellikle plastik deformasyonun sonucu olarak malzeme kaybı ve mikroçatlaklar olarak gözlemlenmektedir. Yükün ve kayma mesafesinin artması plastik deformasyonu arttırdığından dolayı kompozit malzemelerdeki ağırlık kaybı artmıştır.



Şekil 4.19.5N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları



Şekil 4.20.10N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları



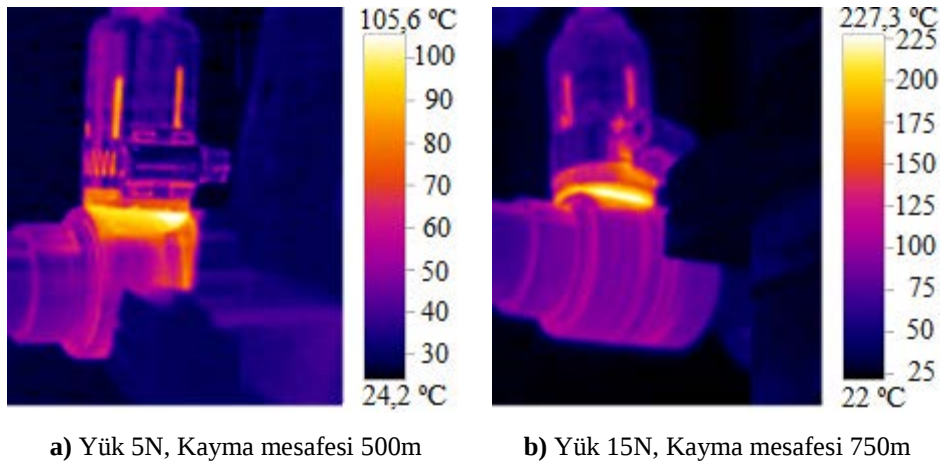
Şekil 4.21.15N uygulama yükü için takviye oranına bağlı ağırlık kayıpları

Minimum ağırlık kaybı, uygulanan yükün 5N ve kayma mesafesinin 250m olduğu durumda %16 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzemeden 14,8 mg olarak elde edilmiştir. Maksimum ağırlık kaybı ise uygulanan yükün 15N ve kayma mesafesinin 1000m olduğu durumda saf Al'den 138,2 mg olarak elde edilmiştir. Saf Al'de minimum ağırlık kaybı 54,2 mg elde edilirken, %16 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzeme maksimum ağırlık kaybı 56,4 mg olarak elde edilmiştir. Saf Al'nin minimum ağırlık kaybı neredeyse %16 B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzemenin maksimum ağırlık kaybına eşit olduğu görülmüştür.

Chowdhury ve arkadaşları [2013], malzemelerin aşınma davranışlarında yağlayıcıların, sürtünme yüzeyinin, malzeme cinsinin, uygulanan yükün, bağlı hareketin ve sıcaklığın önemli olduğunu bildirmiştir. Yapılan bu çalışmada tüm deney şartları kuru kayma şartları altında ve aynı yüzey pürüzlülüğüne sahip ortamda yapıldığı için ağırlık kaybına etki eden önemli parametrelerin malzemenin cinsi, uygulanan yük ve kayma mesafesinin olduğu anlaşılmıştır.

4.6. Numunelerdeki Isı Oluşumu ve Yapışmaların İncelenmesi

Uygulanan yükün ve kayma mesafesinin artması, B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzeme ile aşındırıcı olarak kullanılan Ti-6Al-4V alaşımı arasında sürtünme artışına neden olmaktadır. Sert parçacıklar ise temas halindeki sürtünen parçalar arasındaki etkileşim alanını azaltmaktadır. Aşınma deneylerinde, aşındırıcı olarak kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının özellikle sahip olduğu yüksek mukavemet ve düşük ısı iletim kat sayısı gibi mükemmel mekanik özellikler (Çelik ve arkadaşları, 2016) sürtünme esnasında B₄C takviyeli Al matrisli kompozit malzemenin hem aşırı aşınmasına hem de aşırı ısınmasına neden olmuştur. Aşınma esnasında kompozit malzeme ile aşındırıcı Ti-6Al-4V alaşımının sürtünen yüzeyleri arasında oluşan ısı termal kamera (Testo 881-2) ile ölçülmüştür. Uygulama yükünün 5N ve kayma mesafesinin 500m olduğu durum ile uygulama yükünün 10N ve kayma mesafesinin 750m olduğu durum için sürtünmeye bağlı ısı oluşumu Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Numunelerdeki sürtünmeye bağlı ısı oluşumu

Aşınma deneyleri esnasında oluşan sıcaklık hem yükün hem de kayma mesafesinin düşük olduğu durumda 105,6 °C olarak ölçülmüştür, yük ve kayma mesafesinin artmasıyla beraber sıcaklığın 227,3 °C’ye yükseldiği görülmüştür. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozitteki takviye oranının artması ise ısı oluşumunun kısmen azalmasına neden olmuştur. Jiang ve arkadaşları [2014], sert parçacıklı takviye elemanlarının sürtünen parçalar arasında kontak alanının etkisini azaltabileceğini belirtmişlerdir. Sürtünen parçalar arasındaki kontak etkisinin azalması, aşırı ısı oluşumunun önlenmesinde önemli bir etmen olarak düşünülmektedir. Ayrıca düşük takviye oranına sahip kompozitlerde ise hem oluşan ısının kısmen yüksek olması

hem de sert takviye elemanlarının matris içerisinde az olmasından kompozitin aşındırıcıya sıvanması söz konusu olmuştur. Şekil 4.22’de aşındırıcı olarak kullanılan mükemmel mekanik özelliklere sahip Ti-6Al-4V alaşımındaki sıcaklığın 100 °C civarlarında olduğu görülmektedir. Aşındırıcı üzerinde yerel bölgelerde bulunan yüksek sıcaklıklar aşındırıcıya yapışan kompoziti göstermektedir.

Aşınma deneyi tamamlanan numunelerde aşınmış yüzeyler, aşınmamış yüzeyler ve yapışma yüzeyleri elde edilmektedir. B₄C takviyeli Al matrisli kompozit üzerinde aşınma deneyleri yapılan kompozit numuneye ait farklı görüntüler Şekil 4.23’te verilmiştir.

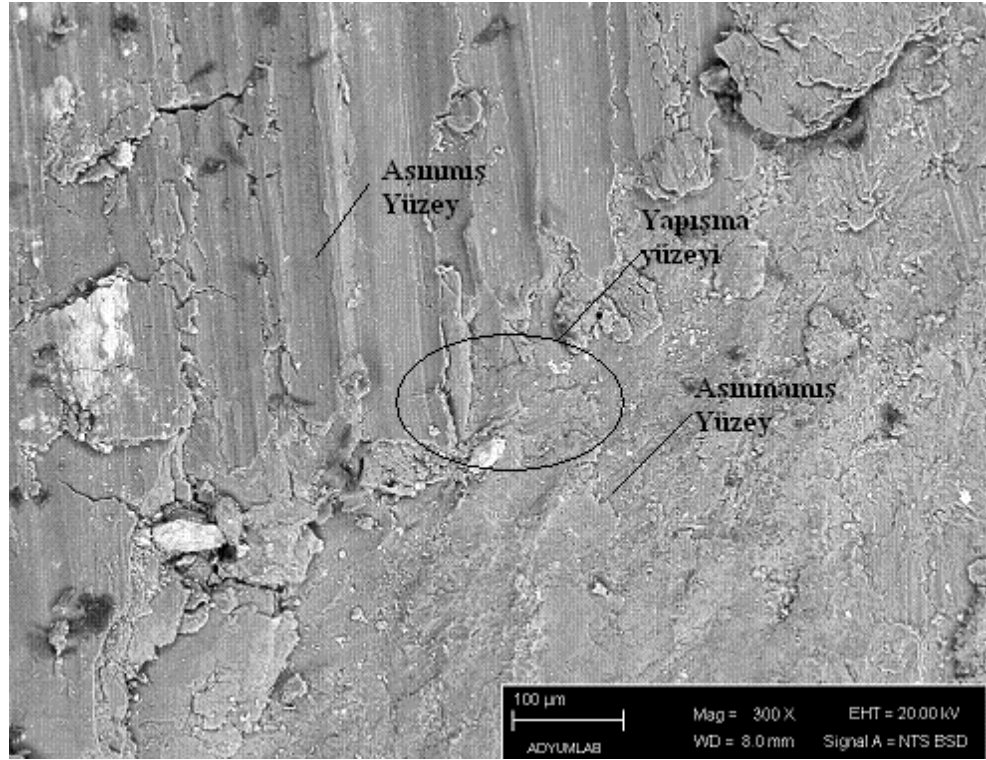


Şekil 4.23. B₄C takviyeli Al matrisli kompozitin aşınmış görüntüsü

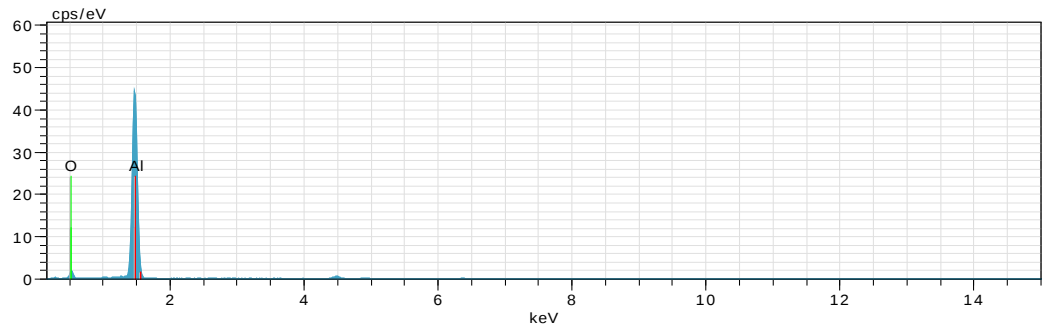
Şekil 4.23’te görüldüğü gibi kompozit numune yüzeylerinde farklı yük ve kayma mesafesine bağlı olarak aşınmalar meydana gelmiştir. Numune yüzeyinde gerçekleşen aşınma sebebiyle kopan parçacıkların numune yüzeyine yapışarak numunede aşınma yüzeyini oluşturduğu görülmektedir. Aşınmış ve yapışmanın meydana geldiği bölgeleri daha iyi analiz edebilmek için kompozit malzemelerin SEM ve EDS analizlerinin incelenmesi gerekmektedir.

4.7.SEM ve EDS İncelemeleri

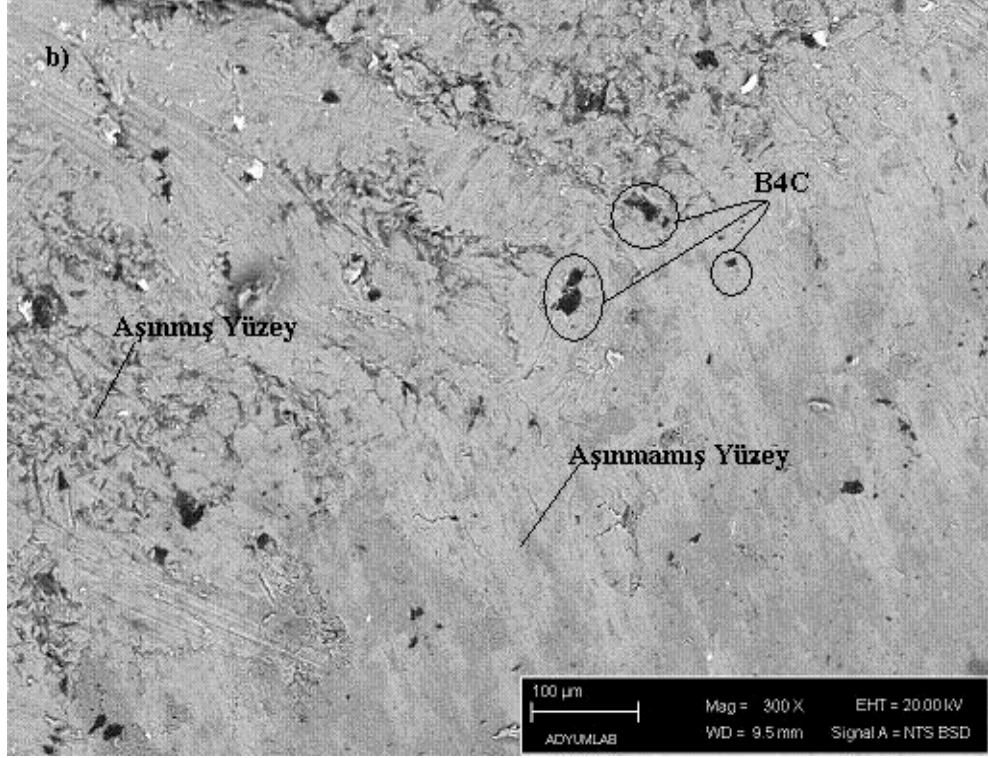
Aşınma testleri yapılan numunelerin aşınma testleri tamamlandıktan sonra SEM görüntüleri çekilmiş ve kimyasal kompozisyonu hakkında bilgi edinmek için EDS analizleri yapılmıştır. Numunelerin SEM görüntüleri ve EDS grafikleri her bir kompozit malzeme için Şekil 4.24 ile Şekil 4.33 arasında verilmiştir.



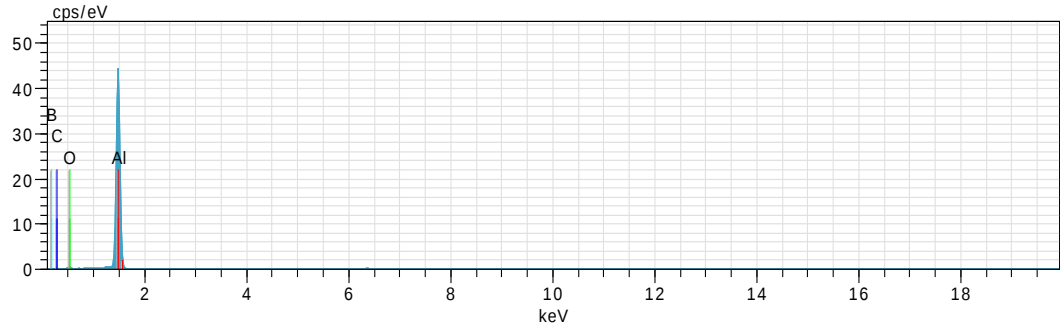
Şekil 4.24.Saf Al numunesinin SEM görüntüsü (300X büyütme)



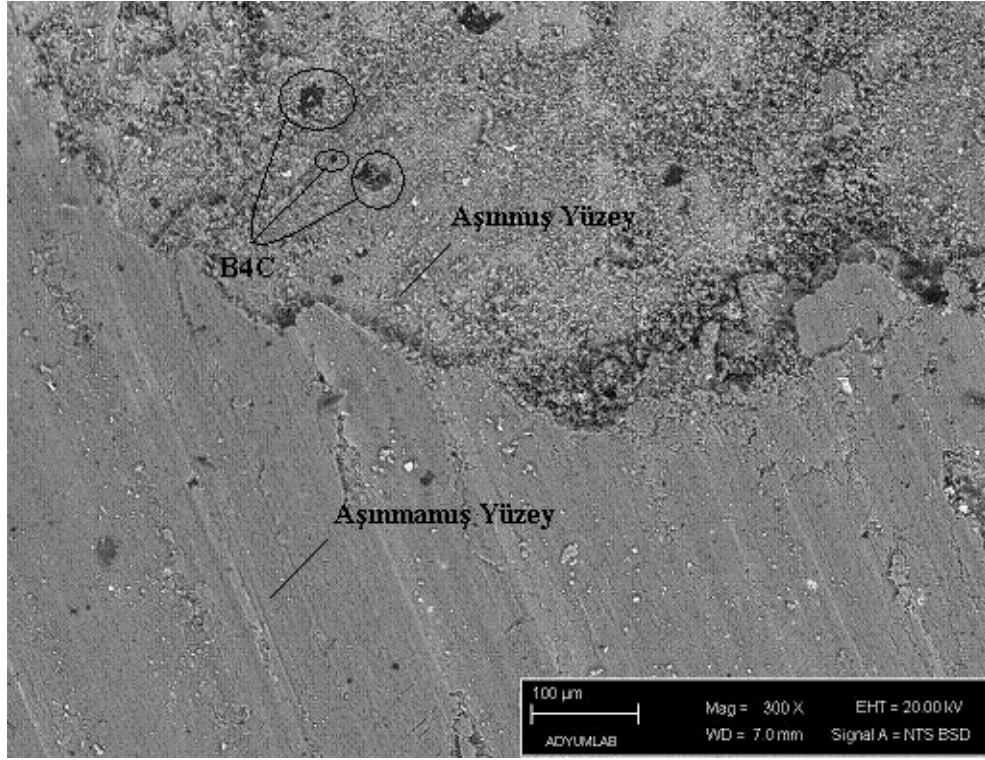
Şekil 4.25.Saf Al numunesinin EDS grafiği



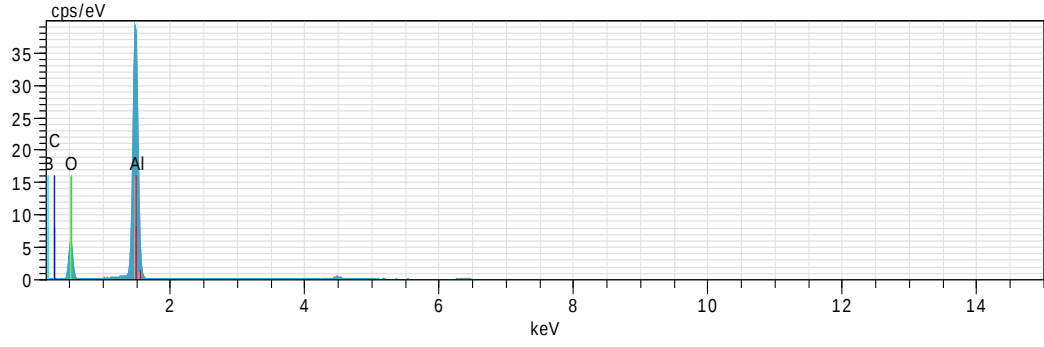
Şekil 4.26.%4 B₄C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)



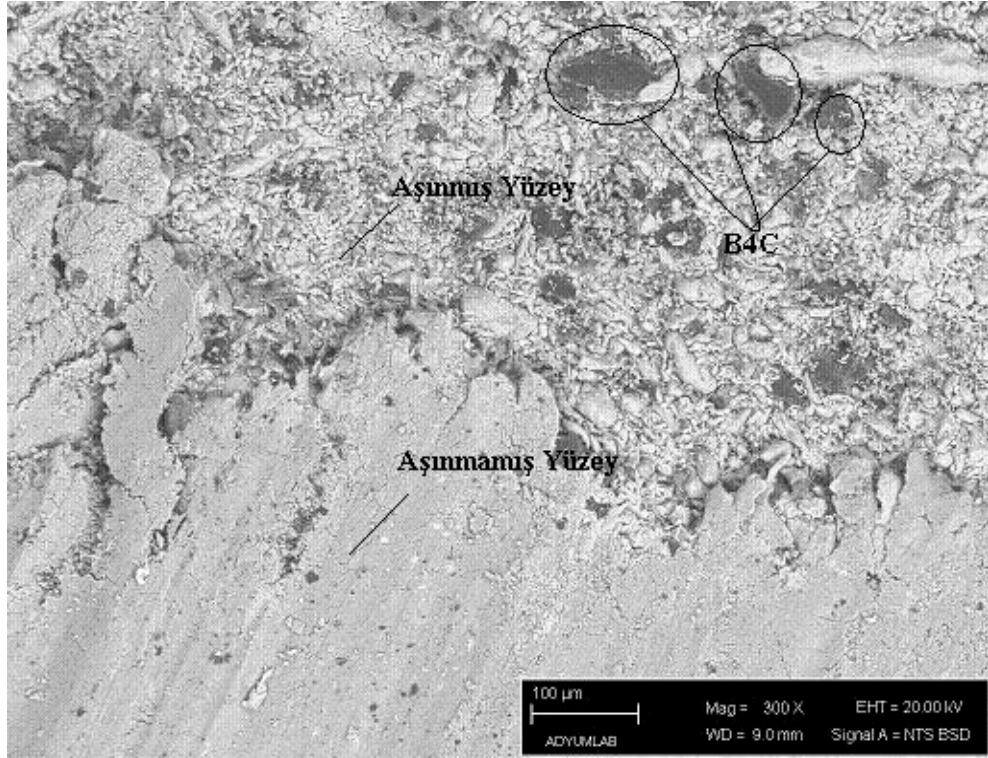
Şekil 4.27.%4 B₄C/Al numunesinin EDS grafiği



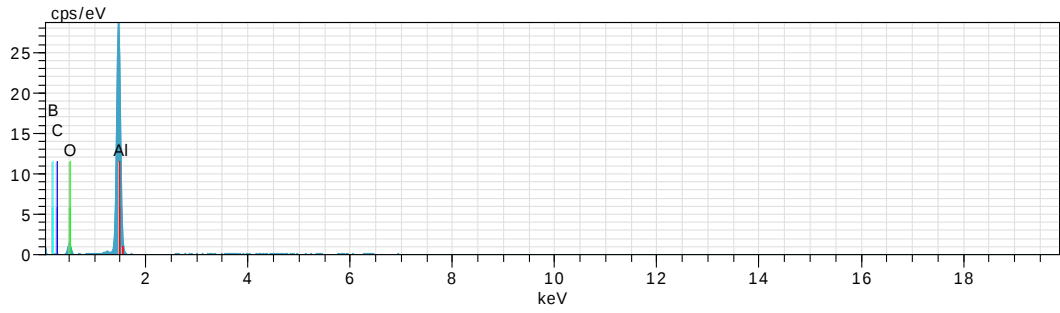
Şekil 4.28.%8 B₄C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)



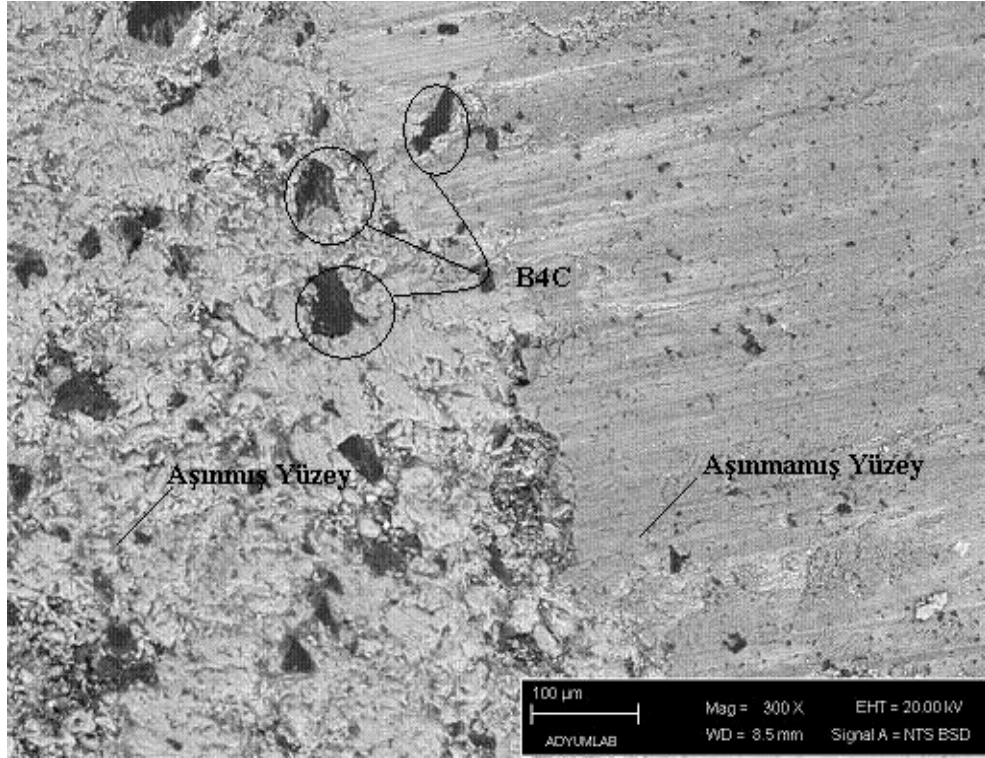
Şekil 4.29.%8 B₄C/Al numunesinin EDS grafiği



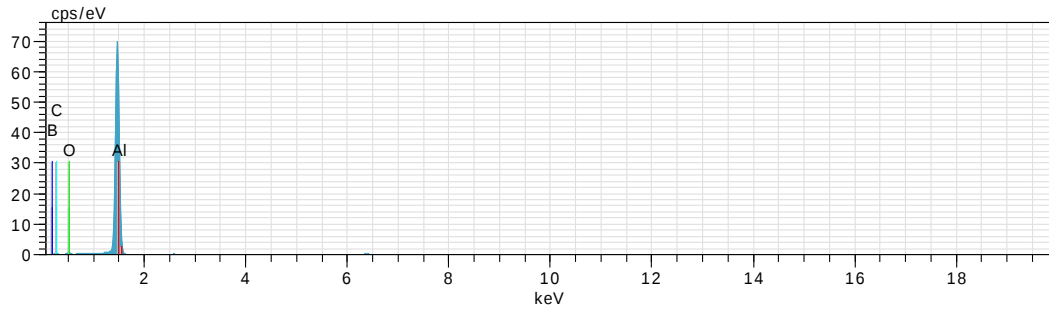
Şekil 4.30.%12 B₄C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)



Şekil 4.31.%12 B₄C/Al numunesinin EDS grafiği



Şekil 4.32.%16 B₄C/Al numunesinin SEM görüntüsü(300X büyütme)



Şekil 4.33.%16 B₄C/Al numunesinin EDS grafiği

SEM görüntüleri incelendiğinde matris içinde takviye oranının artması ile B₄C takviyeli numunelerde taneciklerin birikme ve kümeleşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca aşınma ile birlikte numune yüzeylerinde çizikler, çatlaklar ve çukurlaşmalar izlenerek aşınma yüzeylerinde yapışmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Kompozit malzemelerin üretimindeki takviye elemanlarının homojen dağılması en önemli faktörlerdendir. Tanecik boyutu çok küçük Al ile B₄C tozları malzemenin metal matris yapısında artan takviye oranına bağlı olarak homojen bir dağılım gösterdiği izlenmiştir. Fakat sinterleme işlemi atmosferik ortamda yapıldığı için üretilen kompozit malzemelerin dış yüzeylerinde oldukça fazla oksitlenme meydana gelmiştir. Oksitlenme

oluşumuna neden olan diğer etmen ise Al ve alaşımlarının kararlı hale gelmek için oksijenle kolaylıkla tepkimeye girmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden oksijen elementi SEM analiz işlemlerinde oldukça belirgin olarak görülmüştür. Kompozit malzemelerin içerisindeki kimyasal kompozisyon ve oksitlenme hakkında daha ayrıntılı bilgi için kompozit yüzeyinden alınan 3 farklı bölgenin (1=Aşınmamış bölge, 2=Aşınmış bölge, 3= Yapışma bölgesi) kimyasal analizlerine bakmak gerekmektedir. %8 B₄C takviyeli Al kompozit malzemelerin 3 farklı bölgesinden ölçülen kimyasal bileşimler Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. %8 B₄C/Al kompozit yüzeyinde bölgesel olarak belirlenen kimyasal kompozisyonlar

Element	1. Bölge		(1+2). Bölge		(1+2+3). Bölge	
	Ağırlık	Atomik	Ağırlık	Atomik	Ağırlık	Atomik
Al	59,29	45,15	80,57	66,48	67,09	50
O	35,32	45,37	6,90	9,59	13,73	17,25
C	4,01	6,86	9,18	17,03	15,81	26,47
B	1,38	2,62	3,35	6,90	3,37	6,28
Toplam	%100	%100	%100	%100	%100	%100

Aşınmamış 1. bölgede atomik olarak Oksijen elementi Alüminyum elementi ile neredeyse aynı orana sahip elde edilmiştir. Bu durum kompozit malzemenin sinterlenmesi esnasında dış yüzeyinin atmosferik ortamdan korunmaması ve dolayısıyla kompozitin kararlı hale gelmesi için Oksijenle bileşik haline gelmesinden kaynaklanmaktadır. Aşınma deneyi yapıldığı zaman alt katmandaki yüzeyde Oksijen elementi neredeyse hiç bulunmamaktadır. Bu bağlamda aşınmamış ve aşınmış bölgedeki toplam atomik ağırlığa bakıldığında zaman Oksijen elementi %9,59 oranına kadar düşmüştür. Aşınmamış, aşınmış ve yapışma yüzeylerine bakıldığında Oksijen elementi %17,25 olarak elde edilmiştir. Bu durum diğer B₄C takviye Al matrisli kompozitlerin SEM görüntülerine bakıldığında benzer şekilde elde edildiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş farklı takviye oranlarında B_4C/Al kompozitlerin mikroyapısı, sertlik değerleri ve aşınma değerleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilen kompozit numunelerin 90 dakika sinterleme süresi için optimum sinterleme sıcaklığı $580^{\circ}C$ olarak elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının optimum değerinde seçilmesi üretilen kompozitin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.
- Saf Al ile %4, %8, %12 ve %16 oranlarındaki B_4C takviyesinin Al matris yapısındaki dağılımı mikroskopik yapı görüntüleri ile ortaya çıkarılmıştır. Takviye parçacıklarının matris içerisinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür.
- Kompozitlerdeki B_4C parçacık takviye oranının artışıyla birlikte, sertlik değerinde bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri %16 B_4C takviyeli Al matrisli kompozit numuneden elde edilmiştir. Bu değer 68,1 HV olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri de Saf Al kompozit numuneden 48,5 HV elde edilmiştir.
- Etkileşim halinde çalışan malzemelerde, çalışma şartlarına (uygulanan yük, kayma mesafesi ve kuru sürtünme) ve kompozit malzemeye (malzeme cinsi, takviye elemanı, takviye oranı) bağlı olarak aşınma gözlemlenmiştir.
- Kayma mesafesinin ve uygulanan yükün artması sonucu ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. En fazla aşınma miktarı saf Al'den elde edilmiştir. En iyi aşınma direnci ise %16 B_4C takviyeli Al matrisli kompozitten elde edilmiştir.
- Uygulama yükünün ağırlık kaybı dolayısıyla aşınma dayanımı için oldukça önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir.
- Numune yüzeyinde gerçekleşen aşınmalardan dolayı kopan parçacıkların numune yüzeyine yapışarak numunede aşınma yüzeyi oluşturduğu izlenmiştir.
- SEM görüntüleri incelendiğinde matris içinde takviye oranının artmasıyla B_4C takviyeli numunelerde taneciklerin birikme ve kümeleşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Ayrıca aşınma ile birlikte numune yüzeylerinde

çizikler, çatlaklar ve çukurlaşmalar izlenerek aşınma yüzeylerinde yapışmalar olduğu görülmüştür.

- Sinterleme işlemi atmosferik ortamda gerçekleştirildiği için üretilen kompozit numunelerin dış yüzeylerinde oksitlenmenin olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerde, sinterleme sıcaklıkları, sinterleme süreleri, presleme basıncı, matris ve takviye parçacıklarının boyutu üretilen kompozitin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Yapılan bu çalışmadaki presleme basıncı 350 MPa'dır ve tozların tanecik boyutu 325 mesh'tir. Bundan sonra toz metalürjisi yöntemi ile üretilecek kompozitlerin mikroyapıları, sertlik değerleri, basma mukavemetleri ve aşınma davranışları hakkında bir çalışma yapılacaksa aşağıda verilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Farklı presleme basınçları,
- Farklı toz tanecik boyutları ve saflığı,
- Yüksek takviye oranları,
- Mekanik karıştırma cihazındaki karıştırma süresi ve karıştırma devri,
- Sinterleme esnasında kompozit malzemenin atmosferik ortamdan korunması'dır.

KAYNAKLAR

- Abarghouie, S. M. R. M. and Reihani, S. M. S., 2010, Investigation of friction and wear behaviors of 2024 Al and 2024 Al/SiCp composite at elevated temperatures, *Journal of Alloys and Compounds*, 501, 326–332.
- Ataç, A. M., Özyürek, D. ve Güral, A., 2014, Mekanik alaşımlama ile üretilmiş çinko-alüminyum (ZnA) alaşımlarının kuru sürtünmeli aşınma davranışlarının incelenmesi, *GU J. Sci. Part:C*, 2(4), 309-313.
- Ay, H., 2014, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına Ti VE B₄C ilavesinin aşınma davranışına olan etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Ayvaz, M. ve Çetinel, H., 2014, Farklı kompozisyonları ve takviye oranları için alüminyum esaslı kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi ve karakterizasyonu, *C.B.Ü Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (1), 45-53.
- Babalık, F.C. ve Çavdar, K., 2012, Makine mühendisliğine giriş, Dora Yayıncılık, ISBN:978-605-4485-54-3, Osmangazi, Bursa.
- Bastwros, M.M.H., Esawi, A.M.K. and Wifi, A., 2013, Friction and wear behavior of Al–CNT composites. *Wear*, 307, 164-173.
- Biçer, A., 2015, Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Ni₃Al partikülleriyle pekiştirilmiş metal matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Büyükkelleci, Ü., 2008, Yeni bir aşınma test cihazı tasarımı ve bazı metallerin aşınma davranışlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Callister, W., D., Jr. and Rethwisch, D., G., 2013, Malzeme bilimi ve mühendisliği, Nobel Yayınevi, 8. Basımdan Çeviri, Yayın No: 514, ISBN: 978-605-133-418-9, İskitler, Ankara.
- Cao, T., Lei, S. and Zhang, M., 2015, The friction and wear behavior of Cu/Cu-MoS₂ self-lubricating coating prepared by electrospark deposition, *Surface & Coatings Technology*, 270, 24–32.
- Chowdhury, M.A., Nuruzzaman, D.M., Roy, B.K., Samad, S., Sarker, R., Rezwan, A.H.M., 2013, Experimental investigation of friction coefficient and wear rate of composite materials sliding against smooth and rough mild steel counter-faces. *Tribology in Industry*, 35(4), 286-296.

- Çam, S., 2012, A356 alüminyum alaşımında titanyum miktarının aşınma davranışı üzerinde etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Çelik, Y.H., Kılıçkap, E. and Güney, M., 2016, Investigation of cutting parameters affecting on tool wear and surface roughness in dry turning of Ti-6Al-4V using CVD and PVD coated tools. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, DOI 10.1007/s40430-016-0607-6.
- Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M., 2011, Akışkanlar mekaniği temelleri ve uygulamaları, Güven Yayınları, İstanbul 2011.
- Çuvalcı, H., 2001, Çinko-Alüminyum esaslı ticari ZA-27 kaymalı yatağın sürtünme davranışının incelenmesi, *Turk. J. Engin. Environ. Sci.*, 25, 199-204.
- Deuis, R. L., Subramanian, C. and Yellup, J. C., 1997, Dry Sliding wear of aluminum composites-a review, *Composites Science and Technology*, 57, 415-435.
- Ersoy, H., Y., 2001, Kompozit malzeme, Literatür Yayınları, No:66, İstanbul.
- Fei, J., Luo, W., Huang, J.F., Ouyang, H., Xu, Z. and Yao, C., 2015, Effect of carbon fiber content on the friction and wear performance of paper-based friction materials, *Tribology International*, 87, 91–97.
- Gopi, V., Sellamuthu, R. and Sanjivi, A., 2014, Measurement of hardness, wear rate and coefficient of friction of surface refined Al-Cu alloy, *Elsevier*, 1355 – 1360.
- Guo, W-M., Zhang, Z-L., Li, J-X., You, Y., Wu, S-h. and Lin, H-T., 2016, Improvement of densification and mechanical properties of Al₂O₃-B₄C ceramics, *Ceramics International*, 42, 11486–11489.
- Gül, F., 2014, AlSi10Mg döküm alaşımlarının bazı mekanik özellikleri üzerine ikincil yaşlandırma işleminin etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 30-37.
- Güldaş, A., 1998, Aşınma deney aparatının tasarımı, üretimi ve metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Hasırcı, H. ve Gül, F. (2010). B₄C /Al kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi, *SDU International Technologic Science*, 2(1), 15-21.
- Işık, E., 2014, SiC takviyeli Al-12Si matrisli kompozitin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- İlivan, M., 2012, Kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplanmış DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

- Jiang, X., Wang, N. and Zhu, D., 2014, Friction and wear properties of in-situ synthesized Al_2O_3 reinforced aluminum composites, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24, 2352-2358.
- Karaoğlu, S., Karadeniz, S. ve Karaoğlu, Ç., 2001, Plazma nitrülenmiş az alaşımlı bir çeliğin aşınma davranışının incelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt: 3 Sayı: 3, 85-92.
- Kaw, A., K., 2014, Kompozit malzeme mekaniği, Efil Yayınevi, 1.Basım, Genel Yayın No:201, ISBN:978-605-4579-63-1, Çankaya, Ankara.
- Kılıç, E. F., 2007, Alüminyum alaşımlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kılıç, M., 2013, Tungsten alaşımlarına ilave edilen demir ve bakırın aşınma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Koç, E., 2009, Makine elemanları, Cilt 2, Nobel Kitabevi, 3. Baskı, ISBN: 975 8561 32-4.
- Koçak, T. Ü., Yanar, H., Pürçek, G. ve Birol, F., 2014, Bir nikel alüminyum bronz (CuAl10Ni5Fe4) ile kalay bronzunun (CuSn11) sürtünme ve aşınma özellikleri açısından karşılaştırılması, 2. *Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu*, Karabük.
- Kumar, S. N. G., Ravindranath, V. M. and Shakar, G. S. S., 2014, Dry sliding wear behavior of hybrid metal matrix composites, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2321-7308.
- Kumaran, S., T., Uthayakumar, M., Aravindan, S. and Rajesh, S., 2015, Dry sliding wear behavior of SiC and B_4C -reinforced AA6351 metal matrix composite produced by stir casting process, *Journal of Materials: Design and Applications*, 1-8.
- Kurbanoglu, C., 2009, Makine elemanları, Nobel Yayın Dağıtım, Gözden geçirilmiş 2. Baskı, Ankara, Ağustos 2009.
- Kurgun, S., 2014, Molibden kaplı piston segmanlarının aşınma davranışlarının incelenmesi ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Li, X., Gao, Y., Wei, S. and Yang, Q., 2017, Tribological behaviors of B_4C -hBN ceramic composites used as pins or discs coupled with B_4C ceramic under dry sliding condition, *Ceramics International*, 43, 1578-1583.
- Muratoğlu, M., 1997, SiC katkılı 2124 alüminyum kompoziti ve yaşlandırılmış kompozitinin aşınma davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

- Orhan, A., Gür, A. K. ve Çalgül, U., 2007, Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 8-13.
- Owsalou, R. G., 2012, Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Özyürek, D., Kibar, E. ve Yılmaz, R., 2009, Toz metalürjisi ile üretilen A356 alüminyum alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- Palavar, O., 2014, Toz metalürjisi ile üretilen inconel süper alaşımlarda yaşlanma parametrelerinin aşınma davranışlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Rao, R. N. and Das, S., 2011, Effect of sliding distance on the wear and friction behavior of as cast and heat-treated Al-SiCp composites, *Materials and Design* 32, 3051–3058.
- Ramesh, C.S. and Ahamed, A., 2011, Friction and wear behaviour of cast Al 6063 based in situ metal matrix composites, *Wear*, 1928– 1939.
- Ravindran, P., Manisekar, K., Narayanasamy, R. and Narayanasamy, P., 2013, Tribological behavior of powder metallurgy-processed aluminium hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant, *Ceramics International*, 39, 1169-1182.
- Sevim, İ., 1998, Çeliklerin abrasif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine etkisi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sinha, A. And Farhat, Z., 2015, A study of porosity effect on tribological behavior of cast Al A380M and sintered Al 6061 alloys, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1-16.
- Şafak, H. E., 2008, Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Şahin, F. H., 2012, Titanyum-nikel alaşımlı malzeme üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Şahin, S., Yüksel, N., Durmuş, H., İrizalp, S.G., 2014, Wear behavior of Al/SiC/Graphite and Al/FeB/Graphite hybrid composites, *Materials and Technology*, 48(5), 639-646.
- Şahin, Y., 2003, İmal usulleri, Gazi Kitabevi, ISBN:975-8640-56-9, Ankara.
- Şahin, Y., 2006, Kompozit malzemelere giriş, Seçkin Yayıncılık, ISBN:975-02-0328-3.

- Şenel, E., 2008, Alüminyum içerdiği iz elementlerinin yüzey segregasyonu ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tang, F., Wu, X., Ge, S., Ye, J., Zhu, H., Hagiwara, M. and Schoenung, J. M., 2008, Dry sliding friction and wear properties of B₄C particulate-reinforced Al-5083 matrix composites, *Wear*, 264, 555–561.
- Taşçı, U., Gökmeşe, H. ve Bostan, B., 2013, AA2014 Al matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve aşınma davranışlarının incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C*, 1(4), 161-168.
- Taşdelen, Y., 2007, Polimer malzemelerin sfero döküm karşısında aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Thakur, S. K. and Dhindaw, B. K., 2001, The influence of interfacial characteristics between SiC_p and Mg/Al metal matrix on wear, coefficient of friction and microhardness, *Wear*, 247, 191-201.
- Topcu, I., Gulsoy, H. O., Kadioglu, N. and Gulluoglu, A. N., 2009, Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites, *Journal of Alloy and Compounds*, 482, 516-521.
- Topuz, A., 2012, Döküm ve toz metalürjisi yöntemleri ile üretilen AA 2014-Al₄C₃ metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ünal, H. ve Yetgin, S. H., 2010, ÇYMAPE ve PA-6 mühendislik polimerlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarının incelenmesi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 3(2), 145-152.
- Ünlü, B. S., Köksal, N. S., Atik, E. ve Meriç, C., 2005, CuSn10 yatak malzemesinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 41-45.
- Wan, D. T., Hu, C. F., Bao, Y. W. and Zhou, Y. C., 2007, Effect of SiC particles on the friction and wear behavior of Ti₃Si(Al)C₂-based composites, *Wear*, 262, 826–832.
- Xian-Qing, X., Tong-Xiang, F., Bing-He, S., Di, Z., Sakata, T., Mori, H. and Okabe, T., 2003, Dry sliding friction and wear behavior of wood ceramics/Al-Si Composites, *Materials Science and Engineering*, 342, 287-2932.
- Xu, J., Yan, H. and Gu, D., 2014, Friction and wear behavior of polytetrafluoroethene composites filled with Ti₃SiC₂, *Materials and Design*, 61, 270–274.
- Varol, T., Canakci, A. and Ozsahin, S., 2013, Artificial neural network modeling of reinforced properties on the physical and mechanical properties of Al₂₀₂₄-B₄C composite produced by powder metallurgy, *Composites: Part B*, 54, 224–233.

- Yıldızlı, K., Odabaş, D. ve Nair, F., 2003, Borlanmış AISI çeliğin erozif aşınma davranışının incelenmesi, *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 130-140.
- Yılmaz, M., 2013, Kompozitlerin kuru kaymadaki aşınma davranışlarının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Zhu, Z., Bai, S., Wu, J., Xu, L., Li, T., Ren, Y. and Liu, C., 2015, Friction and wear behavior of resin/graphite composite under dry sliding, *Journal of Materials Science&Tecnology*, 31, 325-33.
- <http://www.fotokritik.com/3198392/toprak-evler-harran-1>, [Ziyaret Tarihi: 9 Mart 2017]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kübra SEÇİLMİŞ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Adıyaman/Merkez -1992
Telefon : (0543) 571 44 18
Faks : -
e-mail : kubra.secilmiss@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Rekabet Kurumu Lisesi, Adıyaman	2010
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Batman	2014
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	-
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

Konstrüksiyon ve İmalât

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR*

Seçilmiş, K., Çelik, Y.H., (2016), Investigation of hardness and microstructures of B₄C/Al composites in different reinforcing rates. *International Engineering, Science and Education Conference, Diyarbakır 1-3 December 2016*, 667-673.