



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÖKME DEMİR/BRONZ TALAŞLARININ
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE ELDE
EDİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Aydın GÜNEŞ

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Aydın GÜNEŞ tarafından hazırlanan “Dökme Demir/Bronz Talaşlarının Geri Dönüştürülmesiyle Elde Edilen Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ahmet AVCI

Danışman

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Üye

Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR


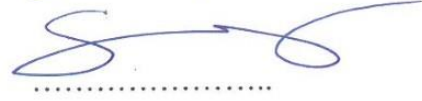
Üye

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

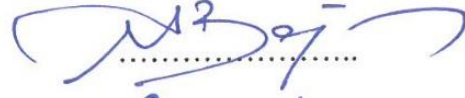
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Gürol ÖNAL

İmza


.....

.....


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 113M141 ve Konya Teknik Üniversitesi ÖYP Koordinatörlüğü 2014-ÖYP-86 no’ lu projeler 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.



Aydın GÜNEŞ

08.07.2019

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DÖKME DEMİR/BRONZ TALAŞLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİYLE ELDE EDİLEN KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Aydın GÜNEŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2019, 111 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Prof. Dr. Ahmet AVCI
Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Doç. Dr. Mehmet BAĞCI
Dr. Öğr. Üyesi Gürol ÖNAL

Bu tez çalışmasında atık metallerin çift etkili sıcak presleme yöntemi kullanılarak geri dönüştürülmesiyle elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin (MMK) aşınma davranışları incelenmiştir. Çift etkili sıcak presleme yöntemiyle geri dönüştürülen kompozit malzemelerin üretiminde kimyasal içerikleri bilinen CuSn10 (bronz) ve GGG40 (küresel grafitli dökme demir) malzemeleri kullanılmıştır. MMK malzemelerin üretimlerinde dört farklı karışım oranı belirlenmiş, üretimler üç farklı basınç ve iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri öncesinde mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla üretimleri gerçekleştirilen MMK malzemelerin gözenek, yoğunluk ve brinell sertlik testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mikro yapı görüntüleriyle beraber değerlendirilmiştir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi sonrasında aşınma davranışlarının belirlenmesi için aşınma testleri ASTM (G77-05) block on disc aşınma testi standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinin gerçekleştirilmesiyle temas bölgesinin anlık sıcaklık değişimleri, sürtünme katsayısı değişimleri ve ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Ayrıca aşınma testlerinde kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değişimleri testler öncesinde ve sonrasında düzenli bir şekilde ölçülmüştür. Aşınma testleri sonrasında MMK malzemelerin ve aşındırıcı disk malzemesinin yüzeylerindeki değişimler SEM ve EDS analizleriyle, aşınma esnasında faz dönüşümü olup olmadığı ise XRD analizleriyle incelenmiştir.

Elde edilen veriler neticesinde, farklı üretim parametrelerinin kompozit malzemenin aşınma davranışına etkisi incelenmiş ve kaymalı yatak malzemesi olabilirliği araştırılmıştır. Kompozit malzeme içerisinde ki takviye malzemesi GGG40' in miktarının artmasıyla yüzey sertliklerinde ve gözenek miktarlarında artışlar görülmüştür. Ayrıca GGG40 miktarının fazla olduğu kompozit malzemelerin aşınma testlerinde yüzey pürüzlülüğü ve temas bölgesi sıcaklıklarında artışlar gözlemlenmiştir. Takviye malzemesi içerisinde ki küresel grafitlerin yağlayıcı etkisiyle aşınmanın ilerleyen süreçlerinde sürtünme katsayısında belirgin düşüşler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, atık metaller, block on disc, geri dönüşüm, metal matrisli kompozit.



ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF WEAR PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS PRODUCED BY RECYCLING OF CAST IRON/BRONZE

Aydın GÜNEŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU**

2019, 111 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Prof. Dr. Ahmet AVCI
Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI
Asst. Prof. Dr. Gürol ÖNAL**

In this thesis, the wear behavior of metal matrix composite materials (MMC) obtained by recycling waste metals by using double acting hot pressing method is investigated. CuSn10 (bronze) and GGG40 (spheroidal graphite cast iron) materials with known chemical contents were used in the production of composite materials recycled by double-acting hot pressing method. Four different mixing ratios were determined in the production of MMC materials and composite materials were produced at three different pressures and two different temperatures. Poresity, density and brinell hardness tests of the MMC materials were performed to determine their mechanical properties before the wear tests. The results were evaluated with microstructure images.

After the determination of the mechanical properties, the wear tests were carried out in accordance with ASTM (G77-05) block on disc wear test standard. The instantaneous temperature changes of the contact area, friction coefficient changes and weight losses have been determined by carrying out the wear tests. Furthermore, the surface roughness changes of the composite materials during the wear tests were measured regularly before and after the tests. After abrasion tests, changes in the surface of MMC materials and abrasive disc materials were examined by SEM and EDS analysis and phase transformation during wear was examined by XRD analysis.

As a result of the data obtained, the effect of different production parameters on the wear behavior of composite material was investigated and the possibility of sliding bearing material was investigated. Increased amount of reinforcing material GGG40 in composite material increased surface hardness and pore amount. In addition, surface roughness and contact zone temperatures were increased in abrasion tests of composite materials with high GGG40 content. Significant decreases in friction coefficients were observed in the progressive processes of wear due to the lubricating effect of spherical graphites in the reinforcing material.

Keywords: Wear, waste metals, block on disc, recycle, metal matrix composite



ÖNSÖZ

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve bu artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli ham maddelerin temini zorlaşmaktadır. Ham maddeye ulaşımın zorlaşması nedeniyle maliyetler artmakta ve nihai ürün fiyatları yükselmektedir. Bu nedenle ham madde kullanımlarının sınırlı olması bu çalışmanın esasını oluşturan atık metallerin geri dönüştürülmesini önemli kılmaktadır. Günümüzde farklı geri dönüşüm teknikleri kullanılmaktadır fakat bu yöntemlerin önemli bir kısmında zamandan ve enerjiden yeterli düzeyde verim sağlanamamaktadır. Bu çalışmada kullanılan çift etkili sıcak presleme yöntemiyle beraber atık haldeki metallerin geri dönüştürülmesi daha ekonomik ve daha çevreci bir şekilde sağlanacaktır. Ayrıca bu geri dönüştürülen kompozit malzemelerin kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için aşınma testleri gerçekleştirilecektir.

Bu çalışma esas itibariyle iki kısımdan meydana gelmektedir. İlk kısımda literatür taraması, çalışmanın ana konusunu oluşturan atık metallerin tanımlanması, üretim yöntemlerinin sınıflandırılması ve bu atık metallerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci kısımda ise mekanik özellikleri belirlenen metal matrisli kompozit malzemelerin aşınma davranışları araştırılmış ve bu amaçla üretilen malzemelerin kendinden yağlamalı yatak malzemesi olabilirliği irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasının esasını oluşturan 113M141 no' lu Tübitak-1001 projesinin desteğiyle katkıda bulunan, uzun yıllardır beraber çalıştığım ve her alanda bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN' e, çalışmalarımın birçok aşamasında bilgi ve birikimlerini her daim aktaran tez 2. danışmanım Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU' na, değerli fikirleriyle çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR ve Prof. Dr. Ahmet AVCI' ya, gerek atık talaşların temini ve üretim ünitesinin kurulmasında gerekse üretim sonrası kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesindeki katkılarından dolayı Arş. Gör. Emin SALUR ve Arş. Gör. Dr. Abdullah ASLAN' a, her türlü deneysel çalışmalarım esnasında karşılaştığımız teknik sorunlarda çözüm odaklı yardımlarını esirgemeyen teknisyen İlker ÇAYIR ve Halit TUTAR' a, kompozit malzeme üretim ünitesi ve aşınma test cihazının oluşturulmasında ve kalıpların temininde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Mustafa KURŞUNEL ve Muzaffer KURŞUNEL' e, aşınma test numunelerinin hazırlanması esnasındaki destekleri için Fahrettin SAMANCI' ya, Konya' da bulunduğum süreç içerisinde manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEN ve Arş. Gör. İlker GÖKTEPELİ' ye ve bu tez çalışmasının yazımında teknik desteğini esirgemeyen değerli dostum Arş. Gör. Dr. Mehmet GÜRSOY' a teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca tez çalışmalarım süresi boyunca beni her zaman destekleyen değerli eşim başta olmak üzere aileme teşekkür ederim.

Aydın GÜNEŞ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Kompozit Malzemeler	12
3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler	13
3.2. Toz Metalürjisi.....	14
3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Sıcak Presleme ve Toz Metalürjisi Yöntemleri Arasındaki Farklar.....	15
3.3. Kaymalı Yatak Malzemeleri	16
3.3.1. Kaymalı Yatak Malzemelerinden Beklenen Özellikler	18
3.4. Sürtünme ve Aşınma.....	20
3.4.1. Sürtünme.....	20
3.4.2. Aşınma	25
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü	30
3.6. Kullanılan malzemeler ve özellikleri	32
3.6.1. Bronz (CuSn10)	33
3.6.2. Küresel Grafitli Dökme Demir (GGG40).....	34
3.7. Kompozit Malzemelerin Üretim Sistemi ve Numune Hazırlanması	36
3.7.1. Üretim Ünitesi.....	36
3.7.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	43
3.8. Aşınma Testleri Öncesi Kompozit Malzemelerin Mekanik Karakterizasyonu ...	48
3.8.1. Gözeneklilik Testi.....	48
3.8.2. Sertlik Testleri.....	49
3.9. Aşınma Test Numunelerinin ve Aşınma Test Düzeneginin Hazırlanması	51
3.9.1. Aşınma Test Numunelerinin Hazırlanması.....	51
3.9.2. Aşınma Test Düzenegi.....	54
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	60
4.1. Aşınma Testleri Öncesi Kompozit Malzemelerin Mekanik Karakterizasyonu ...	60
4.1.1. Yoğunluk ve Gözeneklilik Testi Sonuçları.....	60
4.1.2. Sertlik Testi Sonuçları	61

4.1.3. Mikro Yapı.....	66
4.2. Aşınma Testi Sonuçları.....	68
4.2.1. Aşınma Sonrası Ağırlık Kayıpları ve Özgül Aşınma Miktarı Değişimleri ..	68
4.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Değişimleri.....	74
4.2.3. Sürtünme Katsayısı Değişimleri	76
4.2.4. Sıcaklık Değişimleri	81
4.2.5. Aşınma Testleri Sonrası Mikro Yapı	85
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
5.1 Sonuçlar	102
5.2 Öneriler	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	110



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Takviye malzemesi geometrisine göre MMK malzemeler a) partikül takviyeli b) kısa fiber takviyeli c) sürekli fiber takviyeli.....	13
Şekil 3.2. Tane geometrileri.....	15
Şekil 3.3. a)Kuru sürtünme b)kuru sürtünmenin blok şema ile gösterilmesi	21
Şekil 3.4. Stribeck eğrisi	22
Şekil 3.5. Sınır sürtünme mekanizması	23
Şekil 3.6. Radyal kaymalı yataklarda hidrodinamik yağlamanın şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.7. Zamana bağlı aşınma eğrisi	26
Şekil 3.8. Adhezyon aşınmasının şematik gösterimi	28
Şekil 3.9. Abrazyon aşınması şematik gösterimi	29
Şekil 3.10. Yorulma aşınması şematik gösterimi	30
Şekil 3.11. R_a yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi	31
Şekil 3.12. R_z yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi	32
Şekil 3.13. GGG 40 mikro yapı görüntüsü (100X).....	35
Şekil 3.14. Hassas terazi	37
Şekil 3.15. Talaş karıştırıcı	38
Şekil 3.16. Çift etkili pres ünitesi	39
Şekil 3.17. Üretim kalıpları teknik resimleri a)dişi kalıp b) erkek kalıplar	41
Şekil 3.18. Fişek rezistanslar	42
Şekil 3.19. Yalıtım malzemelerinin kalıp üzerinde gösterimi	43
Şekil 3.20. Zayıf birleşmenin olduğu ön deney kompozit malzemeleri	44
Şekil 3.21. Bilyeli kırıcı	45
Şekil 3.22. 1 mm ve 2 mm elekler	45
Şekil 3.23. Talaş boyutları	46
Şekil 3.24. Erkek ve dişi kalıp arasında meydana gelen sıvamalar	47
Şekil 3.25. Üretim süreci	48
Şekil 3.26. Arşimed terazisi	49
Şekil 3.27. a) Brinell sertlik cihazı b) mikro yapı görüntüsü.....	50
Şekil 3.28. Temsili olarak Brinell sertlik ölçümü	51
Şekil 3.29. Aşınma numunesi a)kompozit b)aşındırıcı disk	52
Şekil 3.30. (a) Dekupaj cihazı (b) numunelerin kesilmesi.....	52
Şekil 3.31. Malzemelere yataklama izlerinin oluşturulması a)cnc b)malzeme	53
Şekil 3.32. Ultrasonik temizlik cihazı.....	54
Şekil 3.33. Aşınma test düzeneği a) yan görünüş b) ön görünüş c) şematik görünüş	56
Şekil 3.34. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	57
Şekil 3.35. Termal kamera a) Cihaz b) Ekran görüntüsü c)Ölçümün şematik gösterimi	59
Şekil 4.1. Brinell sertlik testi sonuçları a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D....	63
Şekil 4.2. a)Radyal konuma bağlı sertlik ölçüm noktaları b) 12,4 mm konumu kesiti ..	64
Şekil 4.3. Sertlik ölçüm sonuçları (450°C ve 820 MPa).....	65
Şekil 4.4. 60B40D malzemesinin 14,8 mm radyal konumunda mikroskop görüntüsü ..	65
Şekil 4.5. 60B40D malzemesinin 10 mm radyal konumunda mikroskop görüntüsü	66
Şekil 4.6. 60B40D Kompozit malzemesi mikro yapısı (450°C, 480 MPa).....	67
Şekil 4.7. 60B40D Kompozit malzemesi mikro yapısı (450°C, 480 MPa).....	67
Şekil 4.8. Farklı basınçlarda 400°C' de üretilen kompozit malzemelerin 2000 m aşınma sonrası ağırlık kayıpları (mg) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	69
Şekil 4.9. Farklı basınçlarda 450°C' de üretilen kompozit malzemelerin 2000 m aşınma sonrası ağırlık kayıpları (mg) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	70

Şekil 4.10. Aşınma testleri sonrası XRD sonuçları	71
Şekil 4.11. Özgül aşınma miktarları a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D	74
Şekil 4.12. R_a yüzey pürüzlülüğü değişimleri a)400°C b)450°C	75
Şekil 4.13. R_z yüzey pürüzlülüğü değişimleri a)400°C b)450°C	75
Şekil 4.14. Sürtünme katsayısının aşınma sürecinde değişimi (400°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	78
Şekil 4.15. Sürtünme katsayısının aşınma sürecinde değişimi (450°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	81
Şekil 4.16. Temas bölgesi sıcaklık değişimleri a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	83
Şekil 4.17. Temas bölgesi sıcaklık değişimleri a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa	85
Şekil 4.18. Aşınma testleri sonrasında kompozit malzemeler ve aşındırıcı diskler (450°C ve 820 MPa) a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D.....	87
Şekil 4.19. Aşınmanın zamanla gelişiminin şematik gösterimi.....	88
Şekil 4.20. Aşınma sonrası 90B10D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)	89
Şekil 4.21. Aşınma sonrası 80B20D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)	90
Şekil 4.22. Aşınma sonrası 70B30D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)	90
Şekil 4.23. Aşınma sonrası 60B40D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)	91
Şekil 4.24. Aşınma öncesi 70B30D' e ait SEM görüntüsü (450°C ve 820 MPa)	93
Şekil 4.25. Aşınma sonrası 100B yüzeyi (450°C ve 820 MPa).....	93
Şekil 4.26. Aşınma sonrası 90B10D yüzeyi (450°C ve 820 MPa).....	94
Şekil 4.27. Aşınma sonrası 80B20D yüzeyi (450°C ve 820 MPa).....	94
Şekil 4.28. Aşınma sonrası 70B30D yüzeyi (450°C ve 820 MPa).....	95
Şekil 4.29. Aşınma sonrası 60B40D yüzeyi (450°C ve 820 MPa).....	95
Şekil 4.30. Aşınma sonrası 80B20D numunesi aşındırıcı disk EDS analizi.....	97
Şekil 4.31. Aşınma sonrası 90B10D numunesi EDS analizi	99
Şekil 4.32. Aşınma sonrası 60B40D numunesi aşınan toz EDS analizi	101

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. CuSn10 Kimyasal birleşimi (%).....	34
Çizelge 3.2. GGG40 kimyasal kompozisyonu (%).....	35
Çizelge 3.3. KGDD nodül sayısı ve ortalama çap	36
Çizelge 3.4. Kompozit malzeme üretim parametreleri	44
Çizelge 4.1. Gözeneklilik ve yoğunluk test sonuçları	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P	: Temas noktasına uygulanan basınç (MPa)
F_n	: Uygulanan normal kuvvet (N)
F_s	: Sürtünme kuvveti (N)
μ	: Sürtünme katsayısı
V	: Aşınma hızı (m/sn)
W_s	: Özgül aşınma miktarı ($\text{mm}^3/\text{N.m.}10^{-5}$)
ΔV	: Hacimsel malzeme kaybı (cm^3)
Δm	: Ağırlık Kaybı (mgr)
ρ	: Yoğunluk (gr/cm^3)
L	: Kat edilen toplam yol (m)

Kısaltmalar

MMK	: Metal matrisli kompozit
TM	: Toz metalürjisi
dk	: Dakika
EDS	: Enerji dağılım spektrometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Elektron Microscope)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
HB	: Brinell Sertlik Değeri
R_a	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R_z	: Ortalama Pürüz Yüksekliği
KGDD	: Küresel Grafitli Dökme Demir
HRC	: Rockwell-C Sertlik Değeri
m	: metre
N	: Newton
XRD	: X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanların günlük yaşantılarını, kullanmış oldukları malzemeler önemli ölçüde etkilemiştir. Eski dönemlerin isimlendirmelerinde kullanılan bronz, taş ve demir çağı gibi isimlendirmeler o dönemde kullanılan yaygın malzemeleri yansıtmaktadır. O dönemlerde doğada hazır olarak bulunan malzemeler ihtiyaçların karşılanmasında kullanılırken, ilerleyen zaman dilimlerinde yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla yeni malzeme türleri keşfedilerek günlük hayatın kolaylaştırılması sağlanmıştır. Bu süreç aynı zamanda malzeme biliminin oluşmasına ve gelişmesine önemli katkı sunmuştur. Günümüzde ilerleyen teknolojinin etkisiyle kullanım şartlarına uygun olarak, farklı malzeme türlerinin en iyi özelliklerinin bir araya getirilerek kompozit malzeme olarak nitelendirilen malzeme grubu ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler, sağladığı aşınma direnci, tokluk ve hafiflik gibi avantajlar nedeniyle her geçen gün kullanım alanları artmaktadır.

Dünya nüfusunun her geçen gün artması ve insanların yaşam standartlarının yükselmesi doğal kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını önemli kılmaktadır. Artan bu talep durumuna karşın doğal kaynaklar hızla azalmakta ve bu nedenle maliyetler yükseltmektedir. Bu nedenle sahip olduğumuz malzemelerin kullanımları sonrasında geri dönüştürülmesi önemli bir gündem konusu olmuştur. Geri dönüşümün gerçekleştirilmesiyle beraber hem maliyetler düşürülmüş hem de doğal kaynakların kullanımının azaltılmasıyla çevreye önemli fayda sağlanmıştır. Son yıllarda birçok ülke geri dönüşümü yaygınlaştırarak enerji tasarrufu ve verimliliği arttırmış, bu süreçte de farklı geri dönüşüm yöntemlerini geliştirmişlerdir.

Metal malzemeler günlük hayatta kullanılan en yaygın malzeme türüdür. Nihai ürünün elde edilmesi sürecinde farklı üretim süreçlerinden geçerek oldukça fazla atık talaşlar meydana gelebilmektedir. Makine elemanlarında yaygın olarak kullanılan birçok parçanın üretiminde de bu atık talaşlar söz konusudur. Bu süreçte oluşan atık metal talaşlarının geri dönüştürülmesi ise çok yaygın olmasına karşın oldukça maliyetlidir. Gerek maliyetlerin düşürülmesi gerekse bunun yaygınlaştırılması amacıyla birçok çalışmalar yapılmaktadır.

Atık haldeki metal malzemelerin geri dönüştürülmesinde kullanılan en yaygın yöntem ergitme yöntemidir. Ergitme yönteminde atık metaller yüksek sıcaklıklarda uzun süren işlemlerden geçirilmektedir. Farklı ergitme yöntemleriyle demir, alüminyum, bronz, pirinç gibi malzemeler geri dönüştürülebilmektedir. Fakat ergitme yöntemleri çok fazla enerji gereksinimi duyması nedeniyle oldukça maliyetlidir. Bu nedenle çalışma konusunu oluşturan atık metallerin geri dönüştürülmesinde ergitme metodunun yerine yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Çift etkili sıcak presleme yöntemi olarak isimlendirilen yöntemde belirli basınç ve sıcaklık değerlerinde atık talaşların çift yönlü olarak preslenmesiyle geri dönüşüm sağlanmıştır (Şahin, 2015). Kullanılan bu yöntem ergitme yöntemine göre oldukça çevreci ve verimlidir.

Atık haldeki metal malzemelerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılması oldukça önemlidir ve bu tez çalışmasının ana konusudur. Bu şekilde elde edilen malzemelerin kullanımıyla hem üretim esnasında zaman ve enerjiden tasarruf hem de doğada atıl durumdaki atık metallerin geri dönüşümünün sağlanması amaçlanmıştır. Kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak bronz ve pirinç yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzeme üretimlerimizde CuSn10 ve GGG40 malzemeleri kullanılmıştır. Bu metal malzemelerin seçilmesinde CuSn10' un yaygın olarak makine elemanlarında yatak malzemesi olarak kullanılması ve GGG40' ın içerisinde barındırdığı küresel grafitler sayesinde iyi bir yağlayıcı takviye malzemesi olması etkili olmuştur.

Kompozit malzemelerin üretimlerinde dört farklı karışım oranıyla beraber üç farklı basınç ve iki farklı sıcaklık parametresi kullanılmıştır. Ayrıca aşınma deneylerinde bu kompozit malzemelerle beraber döküm haldeki saf bronz ve saf dökme demir de kullanılmış ve referans malzemeler olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak aşınma deneylerinde kompozit malzemelerin üretim parametrelerine bağlı olarak; yüzey pürüzlülüğü, ağırlık kayıpları, sürtünme katsayısı, mikro yapı ve temas bölgesi sıcaklık değişimleri incelenerek yatak malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasının konusunu oluşturan metal malzemeler ve bu malzemelerin geri dönüşümleriyle elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik/aşınma özellikleri hakkında, detaylı literatür araştırması yapmamıza rağmen yeterince çalışma tespit edilememiştir. Literatürde ki bu eksikliği giderme adına atık talaşların geri dönüştürülmesi, küresel grafitli dökme demir, bronz, çift etkili sıcak presleme, toz metalürjisi, atık metallere elde edilen kompozit malzemelerin mekanik ve aşınma özellikleri alanlarında yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde irdelenerek elde edilen sonuçlar bu çalışmada sunulmuştur.

Çalışmamızda kullanılan CuSn10 (bronz) malzemesi günümüzde yaygın olarak makine elamanlarında yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bronzun pahalı bir malzeme olması nedeniyle kullanımı sonrası meydana gelen atıkların değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Aynı şekilde takviye malzemesi olarak kullandığımız GGG40 (Küresel grafitli dökme demir) malzemesi de bünyesinde barındırdığı küresel grafitler sayesinde ürettiğimiz metal matrisli kompozit malzemelerin aşınma davranışına etkisi önemli olmaktadır. Bronz ve dökme demir malzemelerin üretimlerinde genellikle döküm yönteminin kullanılması, elde edilen nihai ürünün maliyetlerini ve verimliliğini oldukça olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan çift etkili sıcak presleme yöntemiyle beraber hem verimlilik hem de maliyet açısından avantaj elde edilerek literatüre fayda sağlanması amaçlanmıştır.

Matuszak ve Gronostajski, 1999, gerçekleştirdikleri çalışmada atık haldeki alüminyum ve alüminyum alaşımı talaşlarını herhangi bir ergitme işlemine gerek duymadan toz metalürjisi yöntemiyle bir araya getirip ekstrüzyon yöntemiyle kompozit malzeme haline getirmiştir. Elde ettikleri kompozit malzemenin üretiminde yağlayıcı olarak toz grafit kullanmışlardır. Kullanılan talaşların boyut ve geometrilerine bağlı olarak mekanik özelliklerin önemli oranda değiştiği belirlenmiştir (Gronostajski ve Matuszak, 1999).

Gronostajski ve Chmura, 2000 ve 2007 yıllarında yapmış oldukları çalışmalarda alüminyum bronz ve alüminyum talaşlarından elde edilen metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Takviye malzeme olarak CuAl12 ve CuAl13 alüminyum bronzları kullanılmıştır. Üretim metodu olarak ön sıkıştırma sonrası sinterlenen malzemelerin ekstrüzyon ile üretilmesi yöntemi seçilmiştir. Yapılan çalışmalarda sürtünme katsayısının takviye malzemesine bağlı

olarak değiştiği, takviye malzemesi arttıkça sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir (Chmura ve Gronostajski, 2000; Chmura ve Gronostajski, 2007). Ayrıca üretilen malzemelerin mekanik testlerinde tane boyutunun büyümesiyle mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir.

Gronostajski ve ark., 2000, yapmış oldukları çalışmada bakır alaşımı talaşlarını alüminyum talaşları içerisinde farklı üretim yöntemleriyle metal matrisli kompozit malzemeler üretmiştir. Üretim yöntemleri olarak soğuk presle n şekillendirme sonrasında ekstrüzyon ve elde edilen nihai malzemenin sinterlenmesi kullanılmıştır. retimler esnasında uygulanan basınca bağlı olarak talaşlar arasındaki birleşme yapısının değişmesi nedeniyle farklı basınçlarda üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin aşınma davranışları da değişmektedir (Gronostajski ve ark., 2000). Uygulanan basıncın artmasıyla beraber aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Fogagnolo ve ark., 2003, yaptıkları çalışmada farklı iki üretim yöntemiyle Al₂O₃ ile takviye edilmiş AA6061 matris malzemeli kompozit malzemeleri üreterek elde edilen metal matrisli kompozit malzemeleri mekanik özellikler açısından kıyaslamıştır. Üretim yöntemleri olarak soğuk presleme sonrası ve sıcak presleme sonrası ekstrüzyon kullanmıştır (Fogagnolo ve ark., 2003). Sıcak presleme sonrası ekstrüzyon ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Soğuk presleme sonrası ekstrüzyon yönteminin daha az maliyetli olmasına karşın yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlarda yapılan sıcak presleme sonrası ekstrüzyon ile daha mukavemetli malzemelerin elde edildiği belirtilmiştir.

Sethi ve Upadhyaya, 2007, yaptıkları çalışmada CuSn₁₂ kalay bronzunun üretimi esnasında uygulanan sinterleme işleminde alaşım elementlerinin mikro yapı ve göstermiş oldukları davranışları incelemiştir (Upadhyaya ve Sethi, 2007). alışmalarında farklı iki sıcaklıklarda sinterleme gerçekleştirilmiş ve bu işlem esnasında kullanılan mikrodalga ısıtma yöntemiyle daha iyi mekanik özelliklere sahip kalay bronzunu elde edilmiştir.

Guluzade ve ark, 2013, takviye malzemesi olarak kullandıkları AISI-1040 elik talaşlarını, AlMg₁SiCu alüminyum talaşlarıyla beraber kullanarak üretmiş oldukları metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kompozit malzemelerin üretiminde oda şartlarında n sıkıştırma sonrasında 650°C sıcaklıkta iki saat süreyle sinterleme yöntemi izlenmiştir (Guluzade ve ark., 2013). Mekanik

özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan testler sonrasında takviye malzemesi olan çeliğin artmasıyla beraber kırılma tokluğu azalırken basma mukavemeti ve sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.

Gronostajski ve Chmura, 2006, yaptıkları çalışmada alüminyum bronz ve alüminyum metal talaşlarını oda şartlarında ön presleme sonrası sıcak ekstrüzyon yöntemini kullanarak geri dönüştürmüş ve elde ettikleri kompozit yatak malzemelerinin mekanik özelliklerini araştırmıştır (Chmura ve Gronostajski, 2006). Kompozit yatakların üretimleri esnasında yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlar uygulanmış ve talaşlar arasındaki difüzyonun gelişimi gözlemlenmiştir. Bu işlemler esnasında ekstrüzyon sonrası ısıl işlemlerde uygulanmış ve difüzyon bölgelerinde ki gelişimler gözlemlenmiştir. Bu yapıların kompozit yatak malzemelerin mekanik özelliklerine olumlu etkisiyle beraber tribolojik özellikleri de etkilediği belirlenmiştir.

Abdoos ve ark., 2009, yaptıkları çalışmada farklı oranlarda karbon içeren matris malzemesinin içerisine Zn içeren yağlayıcı katarak meydana getirdikleri karışımı preslenmesi sonrasında sinterlemiştir (Abdoos ve ark., 2009). Sinterlenen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin yanı sıra yorulma davranışlarını incelemiş ve elde edilen sonuçlara göre karbon miktarının daha fazla olduğu malzemelerde daha iyi yorulma dayanımlarını tespit etmişlerdir.

Barbosa ve ark., 2010, yaptıkları çalışmada ağırlıkça farklı karışım oranlarında Cu, Co ve Fe metal tozlarının bir araya getirilmesi ve preslenerek sinterlenmesi sonrasında elde edilen MMK malzemenin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde gözeneklilik, sertlik ve aşınma davranışları irdelenmiştir (Barbosa ve ark., 2010). Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında Fe' nin artmasıyla beraber MMK malzeme içerisindeki gözeneklerin kapandığı ve neticesinde yoğunluğun arttığı belirlenmiştir. Ayrıca yine Fe' nin katkı oranının artmasıyla beraber elde edilen malzemelerin sertlik değerlerinde de artışlar tespit edilmiştir.

Özdemir ve ark., 2003, yapmış oldukları çalışmada argon gazı altında dökme demirler ön sıkıştırma sonrasında farklı sıcaklıklarda sinterlemiş ve elde edilen malzemeler yüzeysel kesitler alınarak sertlik değerleri incelenmiştir (Ozdemir ve ark., 2003). Ayrıca grafitli bölgelerdeki mikro yapı incelemeleri de değerlendirilmiş ve grafitin etkisi belirlenmiştir.

Tao ve ark., 2010, yapmış oldukları çalışmada AZ91 (Al %9, Zn %1) alaşımını farklı iki yöntemle geri dönüştürerek bu yöntemler arasında kıyaslama da bulunmuşlardır (Tao, 2010). Sıcak ekstrüzyon yöntemiyle üretilen malzemelere nazaran

diğer yöntemde daha ince taneli tane yapısı ve daha mukavemetli malzemeler elde edilmiştir.

Hirota ve ark., 2003, yaptıkları çalışmada Cu esaslı kompozit malzeme içerisine dış yüzeyleri bakır kaplı MoS₂ ve grafit partiküller ilave ederek mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Bu malzemelerin üretiminde toz metalürjisi esasına uygun olarak soğuk presleme sonrası sinterleme yapılmıştır. Elde edilen malzemeler değerlendirildiğinde bakır kaplanmış partiküllerin ana malzemedeki bakırlara sinterleme esnasında çok iyi difüze oldukları belirlenmiştir (Kato ve ark., 2003). Yapılan mekanik testler neticesinde ise takviye edilen bu grafitlerin malzemelerin eğilme davranışlarını olumsuz etkilediği, buna karşın bakır kaplı malzemelerin ise iyi birleşmeler sayesinde mekanik özellikleri arttırdığı tespit edilmiştir.

Wu ve ark., 2009, yapmış oldukları çalışmada magnezyum alaşımlı AZ31B talaşlarını farklı üretim metotları kullanarak geri dönüştürmüştür. Üretim metotları olarak ekstrüzyon, sıcak presleme ve soğuk presleme sonrası sinterleme yöntemlerini kullanmış ve elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri mikro yapı yardımıyla kıyaslanmıştır. Soğuk presleme sonrası sinterleme yöntemiyle üretilen malzemelerin daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına rağmen sıcak presleme ve ekstrüzyon ile üretilen malzemelerin daha ince taneli yapıda oldukları belirlenmiştir (Wu, 2009). Ayrıca elde edilen bir diğer bulgu ise sıcak presleme ve sıcaklık altında gerçekleştirilen ekstrüzyon ile üretimlerde elde edilen malzemelerde daha fazla çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

Sleboda ve ark., 1996, yapmış oldukları çalışmada alüminyum tozları içerisine bakır esaslı farklı malzemeler katarak mekanik özellikleri iyileştirmek ve toplam malzeme maliyetlerini düşürmeyi amaçlamışlardır (Szczepanik ve Sleboda, 1996). Elde edilen kompozit malzemelere ayrıca yaşlandırma işlemini de uygulanarak mukavemetlerinde artışların olduğu da tespit edilmiştir.

Abd El Aal ve ark., 2013, yapmış oldukları çalışmada AlSi8Cu8 alaşımı talaşların sıcaklık ve basınç altında burulma presi ile geri dönüştürülmesini araştırmışlardır (Abd El Aal ve ark., 2013). Malzemelerin geri dönüştürülmesi esnasında sıcaklık ve basıncın etkisiyle düşük miktarda gözenek ve döküm haldeki malzemeye nazaran daha iyi mekanik özellikler elde edilmiştir.

Karadağ, 2012, yapmış olduğu çalışmada talaş halinde ki çelik ve bronz talaşlarını bir araya getirip soğuk presleme sonrası sinterleyerek kompozit malzeme üretmiştir. Üretmiş olduğu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin yanı sıra

aşınma davranışlarını pin on disk aşınma testleriyle incelemiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan çeliğin artmasıyla beraber sertlik, mukavemet ve aşınma kabiliyetleri arttırılırken elastik davranışlarında düşüşler olduğu belirlenmiştir (Karadağ, 2012).

Aslan, 2015, yapmış olduğu çalışmada CuSn10 ve GGG40 malzemelerinin atık haldeki talaşlarını çift etkili sıcak presleme yöntemi kullanarak geri dönüştürmüştür. Elde edilen kompozit malzemelerin üretimleri esnasında farklı sıcaklık ve basınçlar altında üretimler gerçekleştirilmiş ve bu üretim parametrelerinin kompozit malzemelerin mekanik davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Buna ilaveten talaşların farklı işlem sürelerinde ultrasonik temizleyici yardımıyla temizlenmesiyle üretilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri de belirlenmiş, yaklaşık 40 dk temizlik sonrasında talaş yüzeylerinde oksit, kir vs. gibi istenmeyen durumların temizlendiği belirtilmiştir. Ayrıca üretim sonrasında kompozit malzemelerin mikro yapı incelemeleri ve mekanik test sonuçları sunulmuştur (Aslan, 2015b). Yapılan değerlendirmeler sonrasında üretim sıcaklığının ve basıncının artmasıyla beraber gözenek miktarında ciddi oranlarda düşüş olmuş, bu doğrultuda yoğunluk miktarlarında da artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla talaşlar arası daha iyi birleşmenin sağlanmasıyla basma mukavemetinde artışlar gözlemlenmiştir.

Salur, 2017, yapmış olduğu çalışmada talaşlardan geri dönüştürerek elde ettiği kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Çift etkili sıcak presleme yöntemiyle ürettiği kompozit malzemelerin üretim parametrelerinin yanı sıra kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme hızlarının değişimleri gözlemlenmiştir (Salur, 2017). Takviye malzemesi olarak kullanılan küresel grafitli dökme demir miktarının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerinde önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Demirel, 2017, yapmış olduğu çalışmada atık haldeki bronz ve dökme demir talaşlarını soğuk presleme sonrası sinterleyerek kompozit malzemeler elde etmiş ve elde ettiği kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Kompozit malzemelerin üretimleri esnasında farklı sinterleme sıcaklıklarını uygulamıştır. Bu farklı sinterleme sıcaklıklarının talaşlar arasındaki birleşmeye ve mekanik özellikler üzerine etkisi değerlendirilmiştir (Demirel, 2017).

Kaymalı yatak malzemelerinin mekanik özellikleri ve aşınma karakteristikleriyle ilgili olarak yapılan çalışmalar ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Günümüzde uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kendi kendini yağlayan toz metal yataklar demir ve bakır esaslı yataklardır. Daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için farklı alaşım elementleri ilave edilerek üretilmektedir (Ekşi, 1999). Üretilen kendinden yağlamalı yatakların mekanik özellikleri gözenek miktarına ve dağılımına bağlıdır (Varol R., 1996). Gözenek tipi, miktarı, dağılımı ve toz şekli yatakların kendi kendini yağlama şartlarını iyileştirmek ve emdirilen yağ miktarını düzenlemek üzere kontrol edilmektedir (Sarıtaş, 1992).

Yağ emdirilmiş kendinden yağlamalı yataklar genellikle toz metalürjisi tekniği ile üretilir. Maliyeti düşüktür. Devamlı yağlama imkânı olmayan elektrik motorları, otomobiller, dikiş makinaları, tarım ve paketleme makinalarında yaygın kullanılırlar. Bu yatakların gözenekleri yağ ile dolduğunda hidrodinamik yağlama şartları altında çalışırlar (Raman ve Chennabasavan, 1998).

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen yataklarda üretim esnasındaki presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı gibi üretim parametreleri yatak özelliklerini etkiler. Basıncın artmasıyla gözeneklilik azalır. Bunun sonucu mekanik özellikler ve özellikle radyal kırılma dayanımı artar (Arslan, 1996). Gözenek tipi, miktarı dağılımı ve toz şekli yatakların kendi kendini yağlama şartlarını iyileştirmek ve emdirilen yağ miktarını düzenlemek üzere kontrol edilmektedir (Şahin, 2015).

Cu-Sn-Grafit alaşımları kendini yağlayabilme özelliğinden dolayı uzun süredir kullanılmaktadır. Grafit oranı arttıkça yoğunluk ve sertlik düşmektedir. Buna karşın aşınma direnci artmaktadır. Artan Sn miktarıyla ise yoğunluk, sertlik ve aşınma direnci artmaktadır. Kendinden yağlamalı yataklar farklı sinterleme sıcaklık ve şartlarında farklı iç yapılar ve farklı yoğunluklara sahip olmaktadır (Justino, 1999).

Ünlü ve ark, 2007, yapmış oldukları çalışmada makine elemanlarında yaygın olarak kullanılan CuSn10 bronz malzemesinin aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Aşınma deneylerinde etkin parametre olarak kullanılan $p.v$ ' nin etkisini incelemek için farklı basınçlarda ve hızlarda aşınma deneyleri gerçekleştirmişlerdir (Ünlü, 2007). Burada p ifadesi aşınma temas bölgesinde oluşan basıncı, v ifadesi ise aşınma hızını belirtmektedir. Aşınma deneyleri radyal kaymalı yatak test cihazında 2.5 saat süreyle yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde kuru ortam şartlarında yapılan deneylerde daha fazla ağırlık kayıplarının olduğu belirlenmiş ve uygulanan basıncın artmasıyla beraber aşınma miktarının arttığı da tespit edilmiştir.

Ünlü ve Atik, 2010, yapmış oldukları çalışmada CuSn10 ve CuZn30 malzemelerinden elde edilen yatak malzemelerinin mekanik ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Bu malzemelerin yanı sıra Cu, Sn ve Zn malzemelerine de aynı testleri uygulayarak kıyaslamalarda bulunmuşlardır. Aşındırıcı mil malzemesi olarak SAE 1050 çeliğini kullanmışlardır. Aşınma deneyleri 20 N kuvvet altında, 1500 rpm hızda ve 2.5 saatlik deney süresinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülükleri, ağırlık kayıpları, sıcaklık değişimleri ve sürtünme katsayısı değişimleri grafikler halinde sunulmuştur (Unlu ve Atik, 2010). Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde bakır içerisine ilave edilen Sn ve Zn alaşım elementinin mekanik ve aşınma davranışını önemli ölçüde etkilediği, çalışma şartlarına bağlı olarak bronz ve pirinç malzemelerin saf metallere nazaran daha iyi aşınma davranışları gösterdiği belirlenmiştir.

Ünlü ve ark., 2009, yapmış oldukları çalışmada Alüminyum alaşımı yatak malzemelerinin mekanik ve aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Aşınma testleri toplamda 150 dakika sürmüş ve her 30 dakikada bir deneysel veriler alınmıştır. Aşındırıcı mil malzemesi olarak SAE 1050 malzemesi seçilmiştir. Aşınma testlerinde elde edilen yüzey morfolojisi mikro yapı resimleriyle beraber değerlendirilmiş ve saf Al malzemesine nazaran alaşım elementlerinin ilavesiyle beraber aşınma davranışlarının iyileştiği belirlenmiştir (Unlu ve ark., 2009). Ayrıca aşınma testleri sonrasında en az aşınma oranının AlMgSi malzemesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Su ve ark., 2017, yapmış oldukları çalışmada içerisine farklı oranlarda grafit katılan bakır alaşımı, alümina, ve zirkonya malzemelerin mekanik ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla gözenek, sertlik, eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğu değerleri hesaplanmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanılan grafitin miktarının artmasıyla beraber mekanik özelliklerde düşmeler gözlemlenmiştir. Aşınma özelliklerinin belirlenmesi için kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanımı göz önünde bulundurularak belirlenen geometrilere aşınma test numuneleri aşındırıcı bilyeler tarafından aşındırılmıştır. Aşınma testlerinde malzemeler içerisinde bulunan grafit katkıların aşınma testinin ilerleyen süreçlerinde ciddi oranda yağlayıcı film oluşturduğu belirlenmiştir (Su ve ark., 2017). Grafit katkı oranının artmasıyla beraber bu yağlayıcı bölgelerin oluşması daha kısa sürede gerçekleşmekte ve sürtünme bölgesindeki malzeme davranışlarını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir.

Çelik ve ark., 2017, yapmış oldukları çalışmada farklı oranlarda B₄C takviye malzemesini Alüminyum içerisine katarak toz metalürjisi yöntemiyle MMK malzemeler üretmiş ve üretilen bu malzemelere block on disc test cihazında aşınma davranışlarını araştırmıştır. Aşınma testleri sırasında temas bölgesi ve aşındırıcı milin sıcaklık değişimlerini anlık olarak ölçmüştür. Aşınma testlerini 5 N, 10 N ve 15 N olmak üzere üç farklı yük ve 250 m, 500 m, 750 m ve 1000 m olmak üzere dört farklı aşınma mesafesinde gerçekleştirmiştir (Çelik, 2017). Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonrasında B₄C miktarının artmasıyla aşınma miktarında önemli azalmalar ve belirgin abrazif aşınma davranışları gözlemlenmiştir.

Shamsudin ve ark., 2016, yapmış oldukları çalışmada katı haldeki atık metal malzemelerin geri dönüştürülmesiyle ilgili genel bir literatür çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında atık haldeki metal malzemelerin geri dönüştürülmesinde kullanılan farklı üretim yöntemleri ve elde edilen malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesindeki farklı deneysel parametreleri kıyaslamalı olarak sunmuşlardır (Shamsudin ve ark., 2016).

Bagchi, 1981, yapmış olduğu çalışmada yatak malzemelerinde yaygın olarak kullanılan bronz malzeme içerisine farklı oranlarda grafit ve MoS₂ katarak aşınma davranışlarını incelemiştir (Bagchi, 1981). Grafit miktarının artmasıyla beraber aşınma miktarının azaldığı ve sürtünme katsayısının zamana bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir.

Cui ve ark., 2016, yaptıkları çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak Co matris malzemesi içerisine farklı alaşım elementleri katarak ürettikleri malzemelerin kendinden yağlamalı malzeme olarak davranışını yüksek sıcaklıklarda incelemiştir. Takviye malzemesi olarak farklı oranlarda Ag ve Mo katmışlar ve deneysel çalışmalar sonrasında en iyi aşınma davranışının ağırlıkça %8 Mo ve %9 Ag katkılı malzemelerde olduğunu belirlemiştir (Cui ve ark., 2016).

Gao ve ark., 2015, yapmış oldukları çalışmada yüksek mukavemet ve iletkenliğe sahip Cu alaşımlarının aşınma davranışlarını incelemiştir. Sn, Ag ve Mg malzemelerinin Cu ile alaşımlanmasıyla elde edilen alaşım ekstürize edilerek aşınma numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen Cu alaşımları 0.1m/sn hızda ve farklı yüklerde gerçekleştirilen aşınma testleri sonrasında sürtünme katsayısı, SEM ve EDS analizleriyle incelenmiştir. En düşük sürtünme katsayısı Ag alaşımlarında elde edilmiştir (Gao ve ark., 2015). Ayrıca Mg alaşımlı malzemelerde en yüksek ağırlık

kaybının gerçekleştiği ve artan yüklerde daha fazla aşınmaların gerçekleştiği belirtilmiştir.

Babic ve ark., 2010, yaptıkları çalışmada block on disc test yöntemini kullanarak ZA-27 malzemesinin aşınma davranışını farklı yükler altında incelemiştir. ZA-27 malzemesinin aşınma testleri öncesinde farklı işlemlerden geçirilmesiyle de üretim esnasında ki farklı proseslerin aşınma davranışına etkisi incelenmiştir (Babic ve ark., 2010). Yapılan aşınma deneyleri neticesinde üretim proseslerinden ziyade uygulanan yükün aşınma karakteristiğinin belirlenmesinde daha etkin parametre olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatürde bulunan çalışmalar daha çok toz metalürjisi, MMK malzemelerin üretim yöntemleri, alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımı malzemelerinin geri dönüşümü üzerinde durulmuştur. Bunların yanında kaymalı yatak olarak kullanılan malzemelerin ve bu malzemelerin mekanik/aşınma davranışları genellikle döküm yöntemiyle yapılan malzemeler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen çalışmalarla atık metallere çift etkili presleme yöntemi kullanılarak MMK malzemeler üretilmiştir. Bu yöntemin kullanılmasıyla hem doğal çevreye katkı sağlanması hem de ekonomik verimlilik amaçlanmıştır. Üretilen malzemelerin sertlik ve gözenek yapıları detaylı bir şekilde incelenmiş, aşınma testleri öncesinde aşınma yüzeylerinin yapıları belirlenmiştir. Aşınma testlerinde, üretilen malzemelerin kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılacağı göz önünde bulundurularak uygun geometride test numuneleri hazırlanıp aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında bu konunun literatürde yeterince bulunmaması göz önünde bulundurularak, elde edilen sonuçlarla üretilen kompozit malzemelerin kaymalı yatak malzemesi olabilirliğiyle ilgili literatüre önemli katkı sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde sırasıyla kompozit malzemeler, kompozit malzeme çeşitleri ve üretimleri, toz metalürjisi, aşınma ve sürtünme kavramları hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan malzemelerle beraber deneysel çalışmaların gerçekleştirileceği cihazlar ve ekipmanlar tanıtılarak aşınma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, en az iki veya daha fazla malzemenin kullanım amacına uygun olarak daha iyi özellikler de malzeme elde etmek amacıyla bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Farklı türdeki malzemelerin bir araya getirilmesinde ki amaç her bir malzemenin daha iyi olan özelliklerin ön plana çıkarılmak istenilmesidir. Kompozit malzemelerin kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmaktadır. Özellikle de kullanım şartlarına bağlı olarak elde edilen malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirmesi noktasında birçok çalışmalar yapılmaktadır. Yoğunluk, korozyon, mukavemet, elektrik iletkenliği, termal iletkenlik, rijitlik ve maliyet gibi birçok özelliklerin kullanım amacına uygun olarak iyileştirilmektedir. Bu konuda temel esas bileşenlerin zayıf yönlerini yerine iyi yönlerini dikkate alarak bir araya getirilmesiyle daha iyi özelliklerde malzeme elde edilmesidir.

Kompozit malzemeler matris malzemesi olarak nitelendirilen esas malzeme ve elde edilecek kompozit malzemeye göre seçilen takviye malzemesinden meydana gelmektedir. Matris malzemeleri genellikle kompozit malzemenin plastik deformasyon esnasında ki hasarların gelişimini sınırlandırıcı rolü varken takviye malzemelerinin ise yük taşıma ve mukavemet arttırıcı rolü söz konusudur (Demirel, 2017).

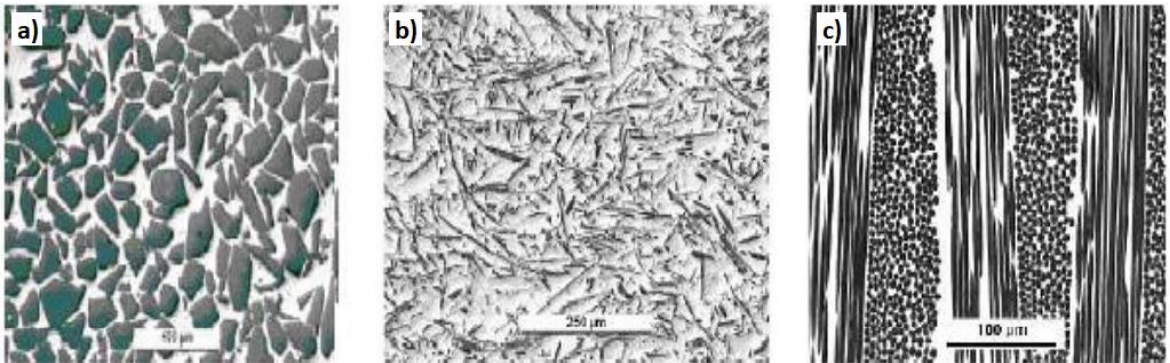
Günümüzde kompozit malzemelerin sınıflandırılması, kullanım alanlarının her geçen gün artması ve üretim parametrelerinin neredeyse sınırsız olması nedeniyle oldukça güçtür. Fakat matris malzemesi ve takviye malzemesi türünü bağlı olarak sınıflandırmak kısmen de olsa mümkündür. Genel olarak kompozit malzemeler matris malzemesine bağlı olarak; metal matrisli, polimer matrisli ve seramik matrisli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılırken takviye malzemesine bağlı olarak tabakalı kompozit, elyaf takviyeli kompozit, parçacık takviyeli kompozit ve karma kompozit olarak sınıflandırılabilir.

3.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK); matris malzemesinin metal olduğu, takviye malzemesinin ise metalin yanı sıra metal dışı malzemelerin de olabildiği kompozit malzeme türüdür. Kompozit malzemeleri oluşturan önemli bileşen matristir. Matris malzemesi kompozit malzemelerde takviye malzemelerini bir arada tutmanın yanı sıra üzerlerine gelen yükü homojen bir şekilde dağıtmak ve genellikle kırılma yapıdaki takviye elemanlarını çevresel etmenlere karşı korumaktadır.

MMK'lerin matris malzemesi genellikle mekanik özellikleri istenen düzeyde metal veya metal alaşımlarından, takviye malzemesi ise Şekil 3.1' de görüldüğü üzere farklı geometrik formlarda olabilmektedir. Şekil 3.1a' da görülen partikül şeklindeki takviye malzemelerinin matris malzemesine katılmasıyla MMK'lerde elastik ve mukavemet artışı sağlanabilmektedir. Takviye malzeme geometrisinin kısa parçacık şeklinde olduğu Şekil 3.1b' de ki MMK'lerde ise partikül takviyeli MMK'lere nazaran daha fazla yük iletimi sağlanabilmektedir. Şekil 3.1c' de görülen sürekli fiber takviyeli MMK malzemelerde ise takviye malzemesinin hemen hemen tüm mekanik özellikleri görülebilmektedir.

Yukarıda belirtilen MMK yapılarının her birinin de farklı avantaj ve dezavantajları olabilmektedir. Örneğin partikül takviyeli MMK malzemelerde daha düşük maliyetli ve daha homojen malzemeler elde edilirken mukavemet ve kırılma tokluklarındaki iyileştirmeler oldukça sınırlıdır. Kısa fiber takviyeli MMK malzemeler, oldukça üstün elastik ve mukavemet özellikleri olmasına karşın anizotropik olmaları ve maliyetleri nedeniyle kullanım şartlarına bağlı olarak zayıflık gösterebilmektedirler (Demirel, 2017).



Şekil 3.1. Takviye malzemesi geometrisine göre MMK malzemeler a) partikül takviyeli b) kısa fiber takviyeli c) sürekli fiber takviyeli (Aslan, 2015a)

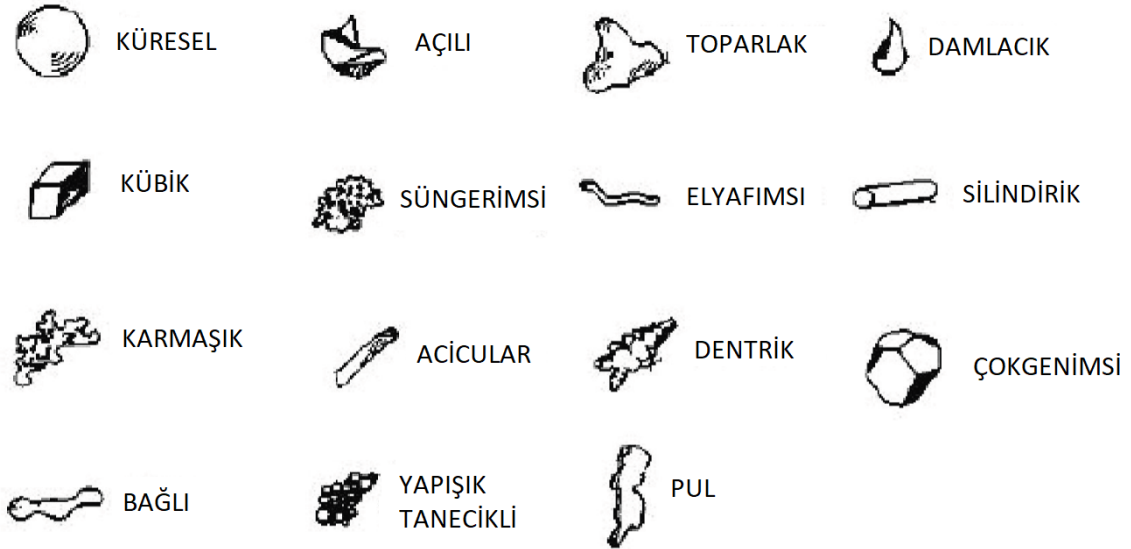
MMK malzemelerin üretimleri esnasında seçilen üretim parametreleri çok önemli olabilmektedir. Sıcaklığın yüksek seçilmesi nedeniyle takviye malzemesi ve matris malzemesi arasında olumsuz etkileşimler olabilir. Bu nedenle üretim sıcaklıklarının düşük tutulmasının yanı sıra istenmeyen fazların oluşumunun engellenebilmesi maksadıyla uygun termodinamik dengede bulunan malzemelerin seçilmesi gerekmektedir (Karadağ, 2012). Ayrıca MMK malzemelerin üretimleri esnasında kullanılan üretim metodu da oldukça önemlidir. Günümüzde yaygın olarak Toz metalürjisi yöntemi kullanılmakta, bu çalışma da ise esas itibariyle toz metalürjisine dayanan çift etkili sıcak presleme metodu kullanılarak kompozit malzemelerin üretimleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi (TM) metal veya metal alaşımlarını yüksek sıcaklıklarda ergitmeden farklı karıştırma teknikleri kullanarak yüksek basınçlar altında bir araya getirilmesi işlemidir. TM yöntemi genel anlamda üretimleri gerçekleştirilecek tozların karakterizasyonu, tozların bir araya getirilerek homojen bir şekilde karıştırılmasının sağlanması, karıştırılan tozların basınç altında istenen düzeyde birleşimlerinin sağlanması ve preslenen malzemelerin uygun bir sıcaklıkta sinterlenmesi işlemini kapsamaktadır.

Günümüzde MMK malzemelerin üretiminde bu yöntem yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle bu yöntemin küçük boyutlarda ve karmaşık geometrilere parçaların üretiminde sağladığı avantajlar nedeniyle kullanım alanları hızla artmaktadır. Uygun geometrilere malzemelerin üretimiyle ikincil talaşlı işlemlere gerek kalmadan daha az malzeme kaybı ve daha verimli bir şekilde üretimler gerçekleştirilebilmektedir. TM ile kompozit malzemelerin üretilmesindeki bir diğer amaç oda şartlarında preslenen talaşların belirlenen sıcaklıklarda sinterlenmesiyle taneler arasında birleşmenin daha iyi bir şekilde sağlanmasıdır. Böylece daha homojen ve daha mukavemetli bir yapının elde edilmesi amaçlanmıştır. Fakat burada uygulanacak basınç değerleri üretimin gerçekleştirileceği kalıbın mukavemetine bağlı olarak değişebilmektedir (Demirel, 2017).

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan TM yönteminde kullanılacak tozların tane boyutu ve yapısı oldukça önemlidir. Tane boyutlarının belirlenmesinden genelde elekler ve mikroskoplardan faydalanılmaktadır. Kullanılacak olunan tozların boyutunun küçülmesiyle karışımların homojen dağılması zorlaşırken daha mukavemetli yapılar elde edilebilmektedir. Ayrıca bir araya getirilen tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin de bilinmesi önemlidir. Şekil 3.2’ de gösterilen farklı geometrilere sahip tane yapılarında tozlar kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Her bir tanenin sahip olduğu farklı geometriler TM ile üretilen malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Sahip olduğu kimyasal özellikler ise sinterleme işlemi esnasında taneler arasında meydana gelebilecek difüzyon gibi durumları etkilemektedir.



Şekil 3.2. Tane geometrileri (German, 2007)

3.2.1. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Sıcak Presleme ve Toz Metalürjisi Yöntemleri Arasındaki Farklar

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan toz metalürjisi yöntemi sağladığı avantajların yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Üretimler esnasında kullanılan tozların karıştırılması ve sinterlenmesi işlemlerinin farklı şartlarda gerçekleştirilmesi genelde malzeme içerisinde homojenliği olumsuz etkilemektedir. Ayrıca üretimde kullanılan araç-gereçlerin ve metal tozlarının oldukça pahalı olması nedeniyle kompozit malzeme maliyeti artmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan sıcak presleme yönteminde ise belirlenen çalışma sıcaklığında ve kapalı bir ortamda tek ya da çift yönlü olarak tozların ve/veya talaşların sıkıştırılmasıyla kompozit malzemeler üretilmektedir. Öncelikle bu çalışmada toz malzemeler yerine atık haldeki metal talaşları kullanılacaktır. Ayrıca kullanılacak bu üretim yöntemiyle beraber hem sinterleme yöntemine nazaran enerjiden önemli ölçüde tasarruf sağlanacak hem de kompozit malzemenin üretilmesi için harcanan zamandan ciddi kazanımlar sağlanacaktır.

3.3. Kaymalı Yatak Malzemeleri

Dönmekte olan bir milin yüzeyi üzerinde kayarak dönmesini sağlayan ve destekleyen parçalara kaymalı yatak denmektedir. Kaymalı yatak malzemelerinde birincil amaç mil ile yatak malzemesi arasında bir yağ filmi oluşturarak metallere arası teması engellemek ve böylece sürtünmeyi minimize ederek aşınmanın olumsuz sonuçlarının ortadan kaldırmaktır.

Genellikle yatak malzemelerinde beklenen özellikler; çalışma esnasında yatak malzemesine dışardan uygulanan yüklere dayanabilmesi için yeterli basma mukavemetine sahip olması ve çalışmakta olan yatak malzemesinin yoğunluğunun düşük olmasıdır. Bu özelliklerin yanı sıra yatak malzemelerinden yüksek yorulma mukavemetinin yanı sıra düşük erime sıcaklıklarına sahip olması beklenmektedir (Karadağ, 2012). Yatak malzemelerinden belirtilen bu hususların dışında beklenen diğer bir özellikte oldukça yüksek elastik kabiliyetinin olmasıdır. Bu sayede yatak malzemeleri çalışma esnasında abrasif aşındırıcı bir etken söz konusu olduğunda sert partiküllerin etkisini bu elastik davranış sayesinde en az seviyeye indirebilir.

Yatak malzemelerinin seçimi esnasında dikkat edilmesi gereken diğer hususlar ise; işlenebilirliğinin iyi olması, düşük ısıl genleşme, yüksek ısıl iletkenlik, korozyon direncinin yüksek olması ve en önemlisi de maliyetlerinin düşük olmasıdır. Günümüzde endüstride sıklıkla kullanılan yatak malzemeleri; dökme demirler, bronzlar, alüminyum alaşımları, teflon ve gözenekli metallerdir (Karadağ, 2012).

Yaygın olarak kullanılmakta olan soğuk presleme sonrası yüksek sıcaklıklarda sinterleme yöntemiyle elde edilen kompozit malzemelerin gözenek miktarları oldukça yüksektir. Bu gözenekler sayesinde de kompozit malzemelere yataklama esnasında yağlama kabiliyeti sağlaması için uygun viskozite de yağlar emdirilmektedir. Bu şekilde

çalışma esnasında yağlama yerine yatak malzemesine öncesinde yağ emdirerek bu yağlama kabiliyetinin sağlandığı yataklara kendinden yağlamalı yataklar denmektedir. Oldukça eski ve yaygın bir kullanıma sahip olan kendinden yağlamalı yatak malzemeleri aktif bir şekilde günümüzde kullanılmaktadır.

Yatak malzemesinin çalışması esnasında temas noktası sürtünmeye bağlı olarak ısınacaktır, bu ısınma nedeniyle yatak malzemesi içerisindeki yağların akıcılığı artacak ve temas noktasına doğru akacaktır. Böylece çalışma esnasında malzemeler arasında yağlama yapılmış olup ortam sıcaklığının düşmesi sağlanacaktır. Çalışmanın tamamlanması sonrasında ortam sıcaklığının düşmesiyle beraber gözenekli yatak malzemesi içerisine yağların tekrardan transfer olduğu rapor edilmiştir (Hutchings, 1992).

Kaymalı yataklarda genellikle yatak malzemesi, mil malzemesine göre daha düşük aşınma dayanımına sahip malzemelerden seçilir. Böylece milin aşınması büyük oranda azaltılmış olur. Bu nedenle kaymalı yatak aşınma cihazları, yatak malzemelerinin aşınmasını incelemek üzere tasarlanmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan kaymalı yatak aşınma cihazı ile yatak malzemelerinin aşınma davranışlarının incelenmesinin yanı sıra, kolaylıkla takılıp sökülebilen ve milin sadece kaymalı yatak içinde çalışan kısmından oluşan numune kullanılarak, milin aşınma davranışlarını incelemek de mümkün olmuştur.

Kaymalı yatak malzemesi olarak farklı malzemeler kullanılabilir.

En çok kullanılan yatak malzemesi çeşitleri:

- Beyaz metal: Genellikle düşük basınçlı çalışma şartlarının olduğu durumlarda kullanılır, üstün kayma özelliklerine sahiptir.

- Kalay bronzu: Genellikle düşük hızlarda çalışan ortam ve yük miktarının yüksek olduğu ortamlarda kullanılır. Yüzey sertliklerinin oldukça iyi olmasının yanı sıra ortamda yağlamanın iyi olması beklenir.

- Kurşun bronzu: Genellikle orta düzeyde yük ve hızlarda kullanılmaktadır. En çok tercih edilen yatak malzemesi türlerindedir.

- Fosfor bronzu: Çalışma esnasındaki yük kapasitesinin oldukça fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca ani gelişebilecek çarpmalara karşı direnci de oldukça iyidir.

- Alüminyum alaşımları: Yüksek korozyon ve termal iletkenlik özelliklerinin yanı sıra yorulma direncinin de oldukça iyi olması gereken durumlarda sıklıkla

kullanılmaktadır. Bu özelliklerle beraber düşük maliyetleri nedeniyle oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır.

3.3.1. Kaymalı Yatak Malzemelerinden Beklenen Özellikler

Kaymalı yatak malzemelerinde çalışma esnasında yağlamanın yeterli düzeyde sağlandığı ve yükün tamamen sıvı sürtünme ile karşılandığı durumlarda yatak malzemesinin yeterli mekanik özelliklere sahip olması beklenir. Fakat pratikte bu şekilde çalışma koşullarını sağlamak pek mümkün olmadığı için yatak malzemelerinde bazı özelliklerin sağlanması gerekebilir. Çalışma esnasında yatak malzemesi yağlama durumuna bağlı olarak yüksek basınçlara maruz kalabileceğinden dolayı basma mukavemetinin oldukça yüksek olması beklenir. Ayrıca çalışma esnasında tekrarlı yüklemelere maruz kaldığı için yorulma mukavemeti de yüksek olmalıdır. Otomotiv ve havacılık sektöründen kullanılmakta olan yatak malzemelerin için bu oldukça önemlidir. Yatak malzemesinde zamanla oluşabilecek sehim ya da aşınan partiküllerin aralara girmesi neticesinde oluşabilecek plastik deformasyonlar kısa süre içerisinde malzemenin yapısını bozar. Dolayısıyla yatak malzemelerinde genellikle bu aşınan partiküllerin yüzeye gömülecek kadar yumuşak olması beklenir.

Yatak malzemesinin yağlı veya yağsız ortam şartlarında aşınmadan veya herhangi bir plastik deformasyona uğramadan çalışması, yağlamanın yetersiz olduğu ya da fazla yük altında çalışan yataklarda oldukça önemlidir. Bu özellik yatak malzemesi, yağlayıcı ve mil malzemesinin çalışma esnasındaki uyumuna bağlıdır. Birbirine yakın özellikteki malzemeler genellikle birbirlerini kolayca aşındırırlar. Bu nedenle yatak malzemesi ve mil malzemesi seçiminde birbirinden farklı malzemeler ya da farklı ısıl işlemlerden geçirilmiş malzemeler kullanılır. Günümüzde kullanılmakta olan yatak malzemeleri genelde mil malzemesine göre oldukça yumuşak malzemelerden seçilir. Böylelikle milin aşınma miktarı azaltılarak daha uzun süreli çalışma şartları sağlanmaktadır. Yatak malzemesi ve mil malzemesinin yüzey pürüzlülükleri de önemlidir. Çalışma esnasında yüzeylerdeki olabilecek mikro sivrilikler aşınmalara sebep olur. Ayrıca temas bölgesinde zamanla oluşan pürüzler nedeniyle gerçek basma yüzey alanı azalacaktır, dolayısıyla temas bölgesindeki pürüzler yükü taşıyamayacak ya da kayma gerilmesine maruz kalacaktır. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Ayrıca çalışma ortamında malzemeler arasında ısının daha

iyi ve homojen bir şekilde iletilebilmesi için termal genişleme katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı istenen değerlerde olmalıdır. Bir diğer etken ise kaymalı yatak malzemelerin seçiminde çalışma şartlarına bağlı olarak belirlenen p.V faktörüdür. Belirlenen kaymalı yatak malzemeleri uygun aşınma parametrelerinde aşındırılmalı, böylece daha uzun ömürlü şekilde faydalanılmalıdır.

p.V faktörü:

Genellikle kuru sürtünme şartlarının geçerli olduğu kaymalı yataklarda, malzemelerin aşınma davranışlarının belirlenmesinde p.V faktörü oldukça önemlidir. p.V faktörünün belirlenmesi uygulanan dikey kuvvetin temas bölgesi projeksiyon alanında oluşturduğu basıncın ve malzemeler arasında izafi hız nedeniyle meydana gelen hızın çarpılmasıyla gerçekleşmektedir. Temas bölgesi alanı aşınmanın ilerleyen zaman dilimlerinde değişmekte ve uygulanan dikey kuvvetin sabit kalması durumunda aşınmayı etkileyen yüzey basıncı da azalabilmektedir. Başlangıç şartlarına göre değişen bu durum malzemelerin aşınma davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca p.V faktörünün bir başka bileşeni olan, aşınan yüzeyler arasında oluşan hız ise aşınma ilerledikçe temas bölgesinde biriken tozlardan etkilenebilmektedir.

Belirtilen p.V faktörü bir yatak malzemesinin sürtünme esnasında meydana gelen enerjiyi absorbe edebilmesinin ölçüsüdür. Aşınma testlerine tabi tutulan malzemelere göre bu değer değişmektedir. Çalışma şartlarına bağlı olarak temas noktasında ki hızın yüksek ya da temas noktası basıncın yüksek olması, aşınma deneylerinde istenmeyen fazla aşınmalara veya malzeme hasarlarına sebep olabilir. Bunda temas bölgesi sıcaklığın çok fazla yüksek değerlere ulaşması ve meydana gelen aşınma mekanizmaları etkili olmaktadır. Yatak malzemesi olarak kullanılan farklı malzemelerin p.V değerleri de değişebilmektedir. Aşınma deney süresinin ilerleyen zamanlarında yüzey alanının artmasıyla oluşan basınçta kısmi azalmalar gerçekleşecektir. Çalışmanın konusu oluşturan kompozit malzemelerin p.V değerleri için matris malzemesi CuSn10 için yapılan çalışmalar dikkate alınmış (Ünlü, 2007; Unlu ve Atik, 2010) ve bu değer başlangıç anı için yaklaşık bir olacak şekilde aşınma parametreleri seçilmiştir.

3.4. Sürtünme ve Aşınma

Kullanılmakta olan makine veya yapı elamanları, kullanımları esnasında sürtünme ya da kayma esaslı etkilere maruz kalırlar. Bu maruz kalma esnasında malzeme yüzeylerinde meydana gelen deformasyon, malzeme ömrünü azaltmaktadır. Sürtünmenin az olmasının istendiği sistemlerin yanı sıra bazı durumlarda bu etkiden faydalanılan fren-balata gibi sistemler söz konusudur. Bu sistemlerde yüzeyler arasında sürtünmeyle beraber izafi hızın azaltılması istenirken kaymalı yatak malzemelerinde, izafi hızı azaltıcı etkilerin minimize edilmesi beklenir. Bu malzemelerin üretimleri esnasında bu etkiler göz önünde bulundurularak uygun özellikteki malzemelerin üretimleri gerçekleştirilir. Günümüzde sanayileşmiş veya sanayileşmekte olan ülkelerde bu aşınma kayıpları nedeniyle ülkelerin milli gelirlerinden önemli oranda kayıpların olduğu bilinmektedir. Bu nedenle çalışma şartlarına bağlı olarak malzemelerin aşınma özelliklerinin artırılması veya azaltılması üzerine çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

3.4.1. Sürtünme

Sürtünme, temas halinde olan ve birbirine göre izafi hareketleri söz konusu iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı göstermiş oldukları dirence denir. Bu şekilde birbirleriyle temas halindeki hareketli cisimler arasında kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma durumları söz konusu olabilir (Bağcı, 2005).

Sürtünme ifadesi sayısal olarak bazı durumlarda çok küçük olması nedeniyle yok sayılsa da uygulamada daima söz konusudur. Pratikte bu sürtünme direncini etkileyen farklı durumlar olabilmektedir. Bunlar sürtünmeyi oluşturan bağıl hareketin türü, malzemelerin fiziksel türü ve çalışma esnasında ortamda bulunabilecek yabancı maddeler olarak sıralanabilir. Sürtünme esasına göre çalışan sistemlerde sıcaklık, sürtünme katsayısı, aşınma miktarı, temas noktasında ki kayma hızı ve temas noktasında meydana gelen basınç olmak üzere beş önemli faktöre dikkat edilmektedir. Bu faktörler arasında sürtünen malzemelerin davranışını en çok etkileyen özellik sıcaklıktır. Sıcaklığın değişimine bağlı olarak sürtünme katsayısında değişimler söz konusu olur ve zamanla malzemeler görevlerini yapamaz hale gelirler.

Sürtünme mekanizmaları:

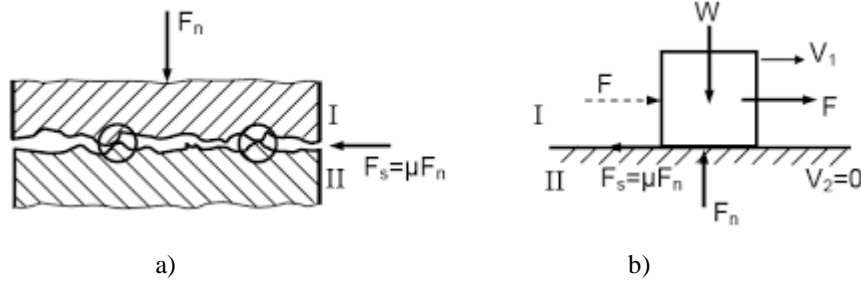
Temas yüzeyinde bulunan yağlayıcı rolündeki sıvıların varlığı malzemelerin sürtünme davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle sürtünme mekanizmaları, sürtünmenin gerçekleştiği temas yüzeylerinin yağlayıcı durumuna göre kuru sürtünme, sıvı sürtünme ve sınır (yarı sıvı) sürtünme olarak gruplandırılmaktadır (Karadağ, 2012).

a) Kuru Sürtünme:

Birbirlerine göre izafi hareketleri bulunan ve direk temas halinde ki malzemeler arasında meydana gelen sürtünmeye kuru sürtünme denir. Kuru sürtünmenin söz konusu olduğu fiziki şartlarda ara yüzeyde herhangi bir yağlayıcı bulunmamaktadır. Yüzeyler arasında direk temasın olması nedeniyle yüzey pürüzlülüğü değerleri (R_a) kuru sürtünme şartlarında oldukça yüksektir. Ayrıca temas halinde ki yüzeylerin dirençleri genel olarak yüzeylerin geometrilerine ve malzemelerin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Şekil 3.3' de kuru sürtünme modeli şematik olarak gösterilmiştir. Temas halindeki sürtünme yüzeyine dik olarak etkiyen normal kuvvetin (F_n) etkisiyle hareket doğrultusuna ters yönde sürtünme kuvveti (F_s) meydana gelir.

$$F_s = \mu \cdot F_n \quad (3.1)$$

ifadesiyle tanımlanan sürtünme kuvvetinin oluşumunda μ sürtünme katsayısını temsil etmektedir (Karadağ, 2012).

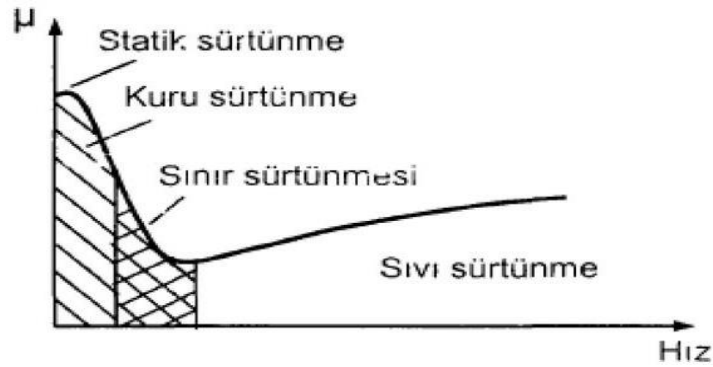


Şekil 3.3. a) Kuru sürtünme b) kuru sürtünmenin blok şema ile gösterilmesi (Akkurt, 1990)

Yukarıdaki Şekil 3.3' de görüldüğü üzere W ağırlığında ki duran bir cisim üzerine dışardan bir F kuvveti uygulandığında duran cismin iki tür davranış göstermesi beklenir. İlkinde uygulanan bu kuvvete karşı herhangi bir kayma hareketi göstermeyip sabit kalır. Bu durumda statik sürtünme esasları geçerli olur ve

$$F_s = F \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanan formülasyon ile sürtünme kuvveti uygulanan kuvvete yaklaşık olarak eşit olarak kabul edilir. Bu durum fren mekanizmaları gibi sürtünme esasına göre çalışmakta olan mekanik sistemlerde yaygın olarak görülmektedir. İkincisinde ise uygulanan kuvvete karşı direnç gösteremeyip cisimde kayma hareketi meydana gelir. Oluşan bu kayma hareketi esnasında meydana gelen sürtünme kuvveti ters yönde ve uygulanan F kuvvetinden daha küçüktür. Bu kuvvetin küçüklüğü sayesinde de hareket meydana gelerek yüzeyler arasında aşınma ve temas bağlı olarak da zamanla sıcaklık artışları meydana gelir. Şekil 3.4' de malzemelerin temas noktalarında meydana gelen izafi hızın değişimine bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimini karakterize eden stribeck eğrisi gösterilmektedir.

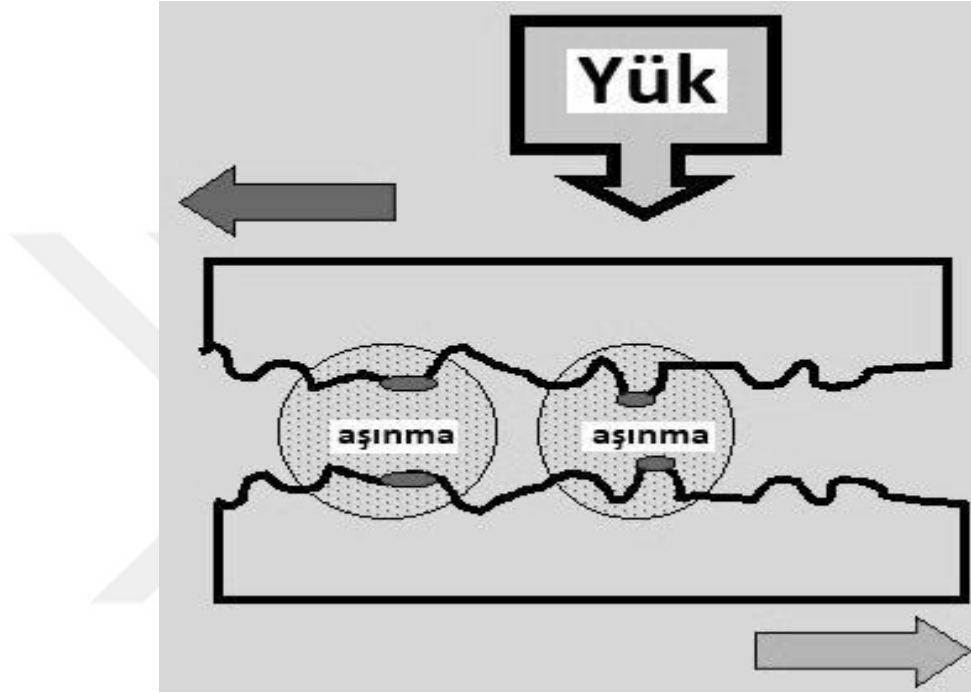


Şekil 3.4. Stribeck eğrisi (Akkurt, 1990)

Hızın düşük olduğu durumlarda statik sürtünme durumu söz konusu iken hızın artmasıyla beraber sürtünme katsayısı düşmektedir, böylece temas eden yüzeyler arasında izafi hareketler söz konusu olmaktadır. Belirli bir noktadan sonra malzemelerin ara yüzeyinde sürtünmeyi önemli ölçüde kolaylaştıran sıvı tabakalar oluşmaktadır.

b) Sınır Sürtünme:

Birbiriyle temas halinde ki yüzeyler arasında tamamen kuru sürtünmenin gerçekleşmediği bunun yerine yağlayıcı olarak tanımlanan maddelerin ara yüzeye gönderilerek kısmen sürtünmenin Şekil 3.5' de gösterildiği üzere yağlanmamış bölgelerde meydana geldiği sürtünme türüne sınır sürtünme denir (Akkurt, 1990).



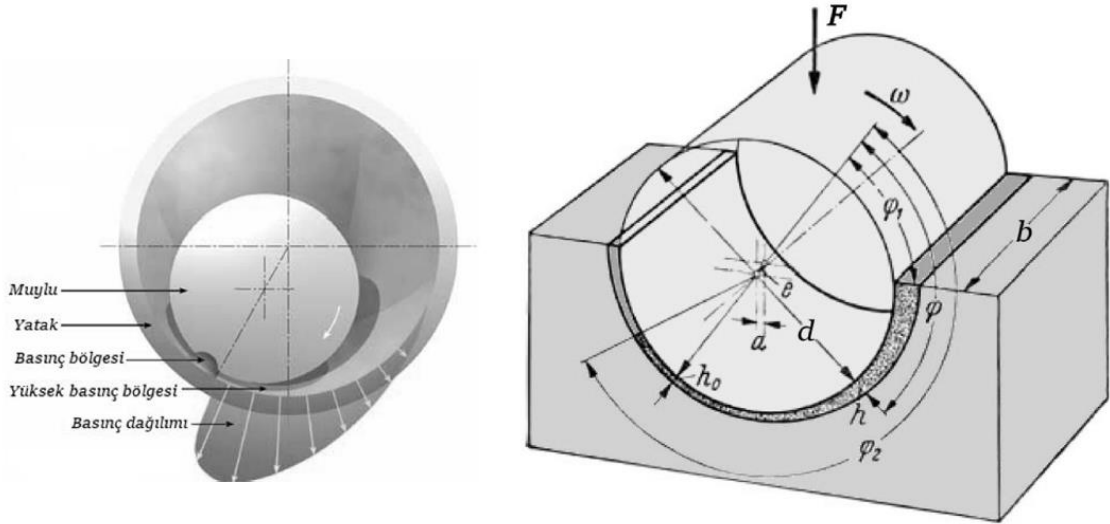
Şekil 3.5. Sınır sürtünme mekanizması

c) Sıvı Sürtünme:

Karşılıklı olarak izafi hareket gerçekleştiren iki cismin ara yüzeylerinde herhangi bir temasın olmadığı, mevcut izafi hareketin ara yüzeydeki ince bir yağ filmi sayesinde sağlandığı sürtünme türüne sıvı sürtünme denir. Sıvı sürtünme durumunda sürtünme tamamen yağlayıcı olarak kullanılan sıvı tabakalar arasında gerçekleşir. Bu yağ tabakaları arasında meydana gelen basınç sıvı sürtünmenin esasını oluşturur. Bu basınç sıvı sürtünme durumlarında hidrostatik ve hidrodinamik olmak üzere iki şekilde meydana gelebilmektedir (Bağcı, 2005).

Hidrostatik sıvı sürtünmesinde, ara yüzeylerin birbirinden ayrılması ve sıvı sürtünmenin sağlanabilmesi gerekli sıvı basıncı dışardan bir pompa vasıtasıyla sağlanarak yağlayıcı sıvı ara yüzeye gönderilir. Böylece sıvı sürtünme için uygun şartlar sağlanır. Hidrostatik sıvı sürtünme izafi hareketin olmadığı ortam şartlarında söz konusudur. Dolayısıyla yüzeylerde herhangi bir aşınma meydana gelmez.

Hidrodinamik sıvı sürtünmede, cisimlerin ara yüzeylerinde teması ortadan kaldıracak yağlayıcı sıvı basıncı yüzeyler arasında izafi hareketin oluşmasıyla kendiliğinden oluşur. Hidrodinamik yağlama Şekil 3.6' da gösterildiği gibi radyal kaymalı yataklarda yaygın olarak görülmektedir. Başlangıçta temas halinde olan mil ve yatak malzemeleri, hareketin başlamasıyla beraber yağlayıcı sıvının oluşturduğu hidrodinamik basınç etkisiyle sıvı sürtünmeyi meydana getirmektedir. Genellikle radyal kaymalı yataklarda mil sabit bir hızla dönmektedir. Böylece hidrodinamik sıvı sürtünmesinin meydana gelmesi için gereken izafi hız yerine getirilmektedir. Yağ tabakası kalınlığının hareket yönünde daralması ise milin yatağına göre eksantrik bir konum alması ile gerçekleşeceğinden milin yatak içine boşluklu olarak monte edilmesi gerekmektedir. Yatağın hidrodinamik olmayan diğer bölgesindeki yağ sadece yatağın soğumasını sağlamaktadır. Hidrodinamik teori düşük hızlı, salınım hareketi yapan, gresle yağlanan veya kuru ortamda çalışan yatakların hesaplamalarında kullanılmaz (Belevi, 2004).



Şekil 3.6. Radyal kaymalı yataklarda hidrodinamik yağlamanın şematik gösterimi (Belevi, 2004)

3.4.2. Aşınma

Birbirleriyle temas halinde olan malzemelerin, sürtünme neticesinde yüzeylerinde meydana gelen malzeme kopması ya da tabakalar halinde pulcukların ana yapıdan koparak yüzeyden ayrılmasına aşınma denmektedir. Malzeme yüzeylerinde meydana gelen değişikliklerin aşınma sonucu oluştuğunu söyleyebilmek için yüzeyler arasında izafi hareket ve temas bölgelerinde mekanik zorlamanın olması gerekmektedir.

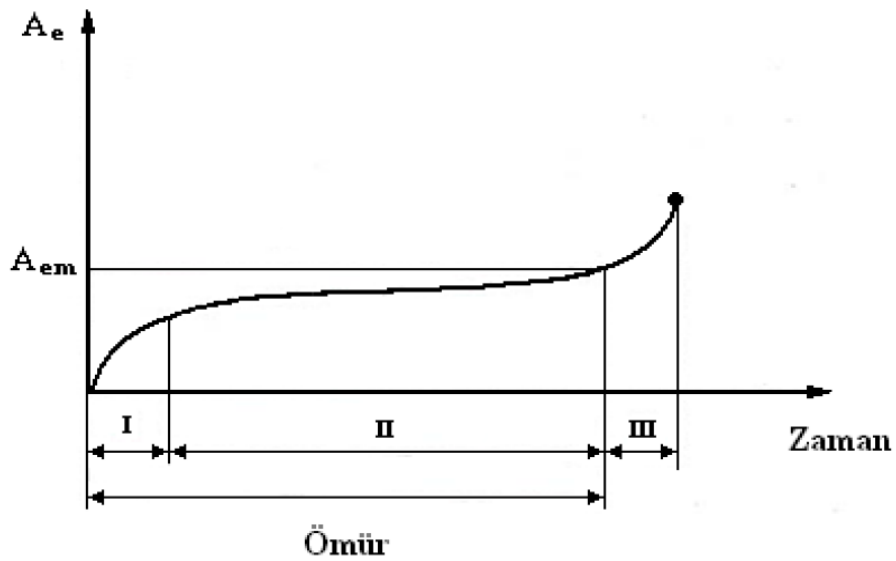
Aşınma, ifade olarak sadece malzeme kaybı olarak belirtilse de makine elemanlarının yapısal bütünlüğünü bozarak çalışma performanslarını da önemli oranda etkilemektedir. Buna rağmen günümüzde makine tasarımlarında aşınma ihmal edilen önemli bir husustur. Aşınan makine parçalarının tamir edilmesi veya değiştirilmesi gerekmekte olup bu da işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Tamir veya değişimlerin yapılamadığı durumlarda verim önemli oranda düşecektir. Dolayısıyla aşınmanın meydana getireceği maliyetlerde göz önünde bulundurulmalıdır.

3456780*

Aşınma genel olarak; seçilen malzeme çiftine, uygulanan yükün büyüklüğüne, kayma hızına, ortamın kimyasal yapısına, yağlama durumuna ve yüzeylerin fiziki yapısına bağlıdır. Malzeme seçimi aşınma dayanımını artırma açısından oldukça önemlidir. Temas halinde ki malzemelerin farklı seçilmesi veya farklı özelliklerde seçilmesi aşınma davranışı etkilemektedir. Seçilen malzemelerin yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü ise aşınmayı etkilen diğer önemli hususlardır. Diğer çalışma şartları sabit kalmak kaydıyla sertliğin azaltılması aşınmayı arttıracaktır. Dolayısıyla çalışma şartlarına uygun yüzey sertliği sağlanmalıdır. Genellikle yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla beraber uygulanan yükü taşıyacak olan temas alanları azaldığı için ($\tau = F/dA$ (Akkurt, 1990)) kayma gerilmesi daha etkili olacak, dolayısıyla sivri yüzeylerin kopması daha kolay gerçekleşecek ve aşınma azalacaktır, bu nedenle sürtünme katsayısı değişimlerinde rodaj bölgesi önemlidir. Fakat yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olduğu durumlarda bile çalışma esnasında ortamda oluşacak parçacıklar nedeniyle adhezif ya da abrazif aşınma türleri ortaya çıkabilmektedir. Aşınmaya etki eden diğer unsurlar ise ortam şartları ve zamandır. Ortamda bulunan oksijen nedeniyle oluşacak oksit tabakalar aşınmanın gerçekleştiği yüzeyde istenmeyen durumları oluşturabilirler, zaman ise malzemelerde yorulma hasarı ve deformasyon sertleşmesi oluşumunda etkin parametre olabilmektedir (Akkurt, 1990).

Aşınma Türleri:

Malzemelerde meydana gelen aşınmanın sınıflandırılmasında farklı kategorilerin oluşturulması mümkündür. Aşınan malzeme miktarına bağlı olarak az ya da çok aşınma deneceği gibi ortam şartlarına bağlı olarak oluşan fiziksel ve ya kimyasal aşınma olarak da isimlendirilebilir. Fakat günümüzde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma zamana bağlı olarak gelişen aşınma türleridir. Aşınmanın başladığı andan itibaren gelişen malzeme davranışı oldukça önemlidir. Şekil 3.7' de başlangıçtan itibaren aşınmanın zamana bağlı olarak gelişimi gösterilmektedir. Grafikte belirtilen üç aşama için gözlemlenen aşınma davranışları farklıdır. Rodaj olarak isimlendirilen birinci aşamada (I) malzemelerin aşınmasının ilk başladığı zaman dilimi belirtilmiştir. Bu süreçte temas halindeki malzemeler birbirine alışır ve genellikle aşınmanın bundan sonraki davranışını da önemli ölçüde etkiler. Aşınma başladıktan sonra aşınan parçacıklar aşınma bölgelerinde temas alanını azaltıcı rol oynar ve bu sivrilikler nedeniyle daha kolay kopmalar gerçekleşir. Dolayısıyla aşınmanın azaltılabilmesi için yüzey alanının artırılması gerekir. Rodaj olarak da belirtilen bu süreçte rodajın mümkün olduğunca kısa sürede ve çalışma şartlarına nazaran hafif yüklerde gerçekleştirilmesi önemlidir. İkinci aşama (II) aşındırılan malzemelerin aşınma davranışlarının gözlemlendiği asıl bölgedir. Bu bölge diğer bölgelere nazaran geniş zaman diliminde gerçekleşir. Üçüncü aşama (III) ise ilerleyen zaman dilimlerinde aşınmanın oldukça şiddetlendiği ve genellikle istenmeyen çalışma şartlarının olduğu kısımdır. A_{em} aşınan malzemenin faydalı bir şekilde kullanılabileceği emniyetli aşınma limitini göstermektedir.

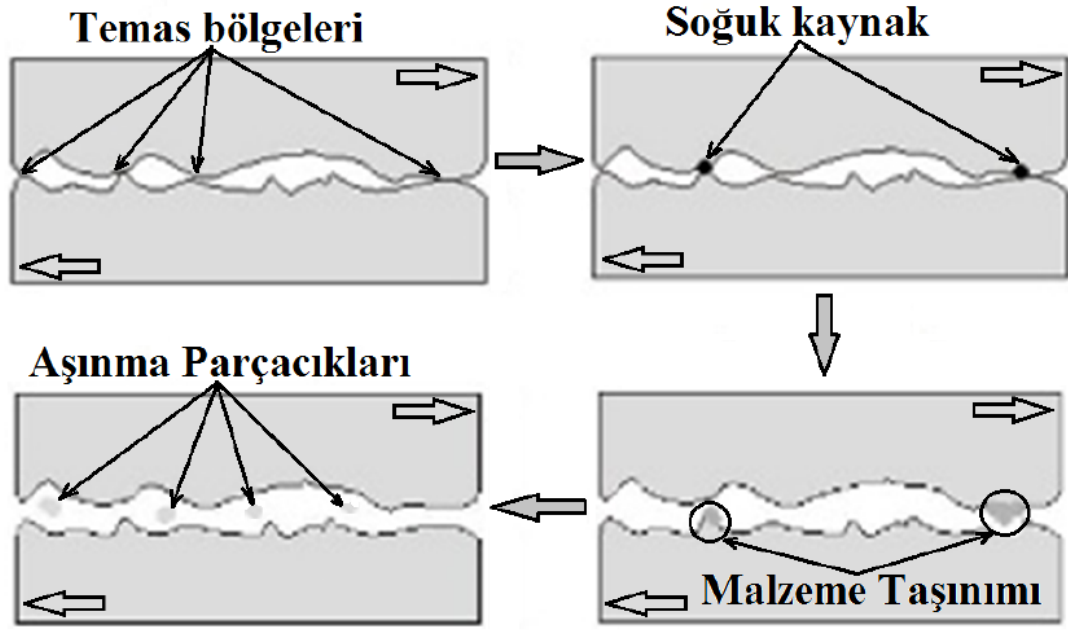


Şekil 3.7. Zamana bağlı aşınma eğrisi (Akkurt, 1990)

Aşınmanın sınıflandırılmasında göz önünde bulundurulan diğer bir husus ise; aşınma esnasında yüzeyin maruz kaldığı etki türüdür. Bu etkileri fiziksel ve kimyasal olarak kategorize edebiliriz. Fiziksel aşınma türü olarak adhezif, abrazif ve yorulma aşınmaları kimyasal aşınma türü olarak da korozif ve erozif aşınma türleri gösterilebilir. Fakat genel olarak aşınmanın sınıflandırılması malzemenin türüne, malzemenin sertliğine, uygulanan yüke, ortamın sıcaklığına ve çalışma ortamının yağlı olması durumunda yağlayıcının tipine göre değişmektedir.

a) Adhezyon aşınması

Diğer bir adıyla kayma aşınması olarak da isimlendirilen adhezyon aşınması herhangi bir yağlayıcının olmadığı izafi hareket halindeki kuru sürtünme şartlarında daima mevcuttur. Birbiriyle temas halindeki yüzeylerde zamanla meydana gelen aşınma, yüksek sıcaklıkta aşınma yüzeyi kimyasal bileşenlerinin birleşme isteği nedeniyle kaynakla oluşur. Temas bölgelerinde oluşan bu bölgeler Şekil 3.8' de gösterildiği gibi ilerleyen süreçte yüzeyden koparak ayrılırlar. Kopan bu parçacıklar aşınma bölgesinden tamamen ayrılır ya da aşınma bölgesinde kalarak abrazif aşınmaya sebep olurlar. Malzemelerin temas bölgelerinde meydana gelen bu aşınma türünde karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşim önemli rol oynamaktadır. Uygulanan basıncın yanı sıra bu aşınma türünde rol alan diğer önemli faktör de çevresel etkenlerdir. Çevresel etken olarak ortam sıcaklığıyla beraber aşınma esnasında ki temas bölgesinin sıcaklık değişimleri önemlidir. Kayma esnasında temas bölgesinde sıcaklığın yükselmesi bu bölgedeki kaynak oluşumunu kolaylaştırarak adhezif aşınma imkânı sağlayacaktır.



Şekil 3.8. Adhezyon aşınmasının şematik gösterimi (Varol, 2016)

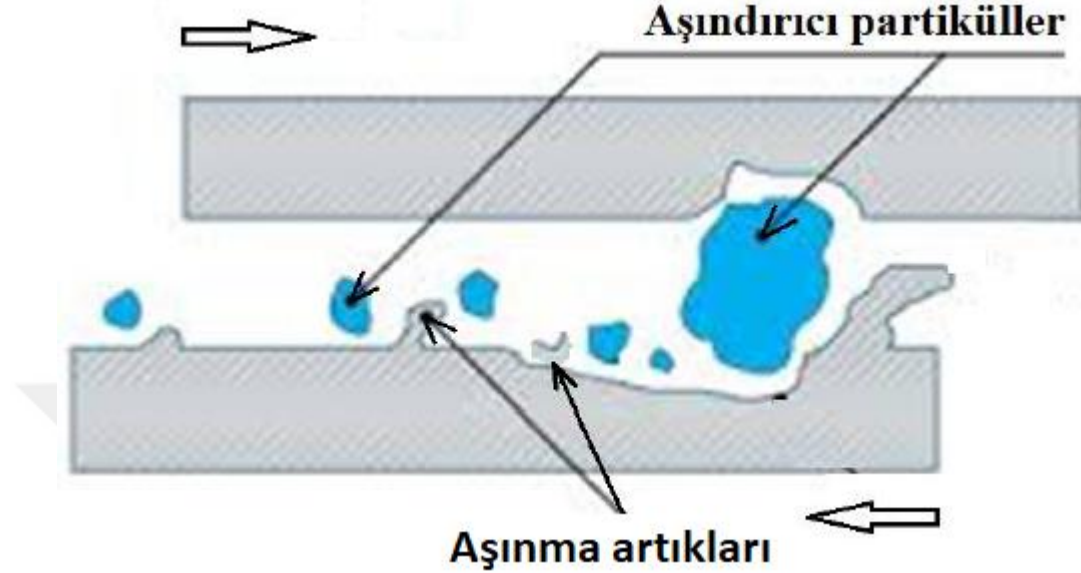
Farklı malzeme türlerinin aşınma davranışlarının incelenmesinde adhezif aşınma yaygın olarak görülmektedir. Bu aşınma türünün ortaya çıkmasında uygulanan farklı basınçlar, benzer malzemelerin kaymaya maruz bırakılması, ortam sıcaklığının artması ve aşınan yüzeylerin temizliğinin etkili olduğu yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Ayrıca karşılıklı temas halinde izafi hareketin gerçekleştiği malzemelerde yüzey sertliğinin düşük olduğu malzemeden yüzey sertliğinin yüksek olduğu malzemeye önemli miktarda malzeme taşındığı da görülmüştür (Akkurt, 1990).

Adhezif aşınmaların minimum düzeye indirilebilmesi için; seçilen malzeme çiftleri arasında yüzey sertliklerinin fazla olmaması, çalışma esnasında artan sıcaklık ve oluşan partiküllerin bölgeden uzaklaştırılması için iyi bir yağlama ve temas halinde ki malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün azaltılması gibi önlemler alınabilir.

b) Abrazyon aşınması

Abrazyon aşınması, sürtünme halindeki yüzeyler arasına dışarıdan gelen talaş, toz vb. veya aşınma esnasında kopan parçacıkların temas yüzeyi arasına girmesi nedeniyle meydana gelen aşınma türüdür. Dışarıdan gelen veya ortamda oluşan parçacıklar temas halindeki yüzeylerde Şekil 3.9' daki gibi kazıcıyı etki yaparak

malzeme kaybına neden olurlar. Abrazyon aşınmasında en önemli parametre sürtünme halinde ki malzemelerin yüzey sertliğidir. Bununla beraber uygulanan yük ve sürtünme hızının yanı sıra aşındırıcı roldeki partiküllerin geometrileri de önemlidir.



Şekil 3.9. Abrazyon aşınması şematik gösterimi (Varol, 2016)

Malzemelerin abrazif aşınmaya karşı direncini arttırmak amacıyla sürtünme halindeki malzemelerin yüzey sertlikleri artırılmalıdır. Bu işlem için yüzey kaplama yöntemlerinin yanı sıra ısıtma işlemleri yardımıyla da yüzey sertlikleri artırılabilir. Ayrıca aşınmanın gerçekleştiği ortamların temizliğine dikkat edilerek dışardan gelebilecek istenmeyen parçacıklara karşı önlemler alınmalıdır.

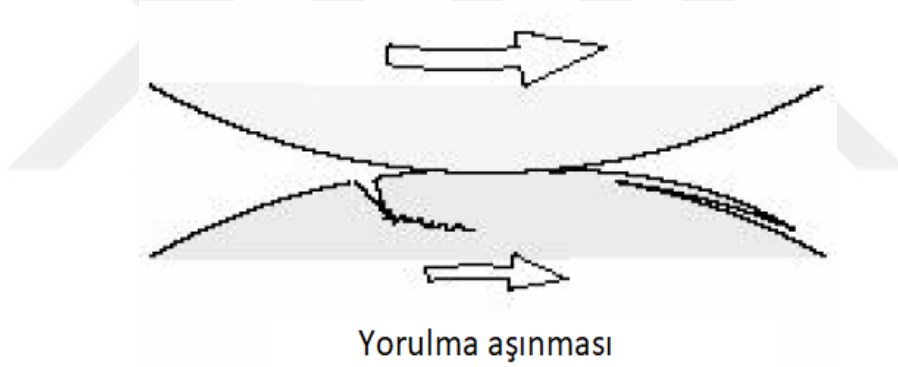
c) Korozyon aşınması

Aşınmanın gerçekleştiği ortam şartlarına bağlı olarak, ortamda ki nem, oksijen ya da farklı kimyasalların etkisiyle malzeme yüzeyinde reaksiyon sonucunda sert tabakalar oluşur. Bu sert tabakaların ilerleyen zamanlarda malzeme yüzeyinden koparak meydana getirdiği aşınma türüne korozyon aşınması denmektedir. Korozyon aşınması farklı çalışma koşullarında çalışan makine elemanlarında yaygın olarak görülmektedir. Korozyon tabakanın yüzeyden ayrılması sonrası bu bölge tekrardan korozyona maruz kalabilir, böylece korozyon aşınması şartları sürekli tekrarlanarak devam eder. Bu

istenmeyen durumun engellenebilmesi için sürtünme bölgesi korozyona karşı dirençli malzemelerle kaplanabilir ya da oksitlenmeye karşı dirençli yağlar bu tür sistemlerde kullanılabilir.

d) Yorulma aşınması

Yorulma aşınması tekrarlayan ve ya değişken yüklerin etkisi altında meydana gelen bir aşınma türüdür. Yorulma aşınmasında Şekil 3.10' da gösterildiği gibi yüke maruz malzeme yüzeyinin alt kısmında çok küçük mikro çatlaklar oluşur. Bu mikro çatlaklar ilerleyen zamanlarda malzeme yüzeyine doğru ilerleyerek yüzeyden parçacıkların kopmasına ve yüzeyin bozulmasına sebep olur. Bu nedenle yorulma aşınmasına karşı tokluğu yüksek malzemelerin seçilmesi ve yüzey sertliğinin artırılmasıyla beraber önlemler alınabilir (Akkurt, 1990).



Şekil 3.10. Yorulma aşınması şematik gösterimi (Akkurt, 1990)

3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

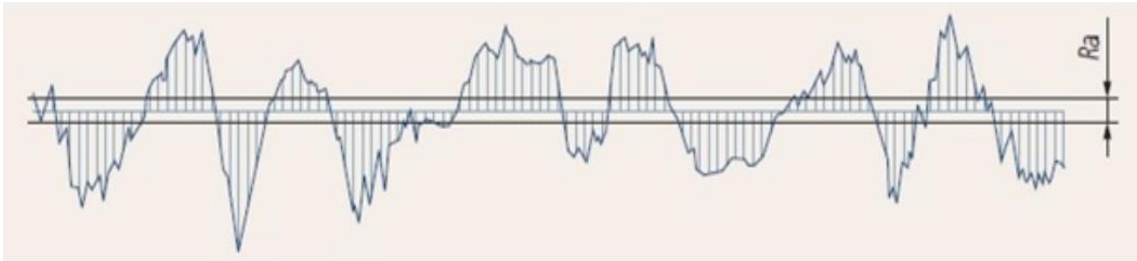
Malzemelerin talaşlı veya talaşsız şekillendirmeler sonrasında yüzeylerinde pürüzler kalabilmektedir. Bu oluşan yüzey pürüzlülükleri bazı durumlarda gözle görülebilirken bazı durumlarda ise özel ölçüm cihazlarıyla belirlenmektedir. Eski dönemlerde yüzey pürüzlülükleri gözle değerlendirilerek parlaklık ve matlık durumuna göre malzemeler sınıflandırıldı fakat ilerleyen zaman içerisinde farklı yöntemlerin geliştirilmesiyle yüzey pürüzlülüğün belirlenmesi yöntemleri değişmiştir. Bu farklı yöntemlerin oluşmasında malzemelerin kullanım şartlarına göre göstereceği davranışlar

etkili olmuştur. Yorulma ömrü, kimyasal özellikler, yüzey sertlikleri, kırılma tokluğu ve ortam şartları gibi özellikler yüzey pürüzlülüğünü etkileyebilmektedir. Makine parçalarının üretimlerinde talaşlı imalat yöntemlerinin kullanılmasıyla malzeme yüzeylerinde çıkıntı ve çukur gibi yapılar oluşmaktadır (Salur, 2017). Bu yapıların değerlendirilmesinde belirli standartlar esas alınmıştır. Bu standartlar esas alınarak yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde malzemelerin sahip olduğu mekanik özellikler, aşındırıcı malzemesinin özellikleri ve aşınma kabiliyetleri, yüzey pürüzlülüğüne sebep olan malzeme çiftinin rijitliği ve malzeme yapılarında meydana gelebilecek bozukluklar önemli rol oynamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde birçok parametre vardır. Fakat yaygın olarak pürüzlülüklerin değerlendirilmesinde R_a ve R_z parametreleri kullanılmaktadır. R_a yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalamasını, R_z ortalama pürüzlülük yüksekliği veya on nokta yükseklik parametresi olarak ifade edilmektedir.

R_a : Ortalama yüzey pürüzlülüğü parametresi (μm):

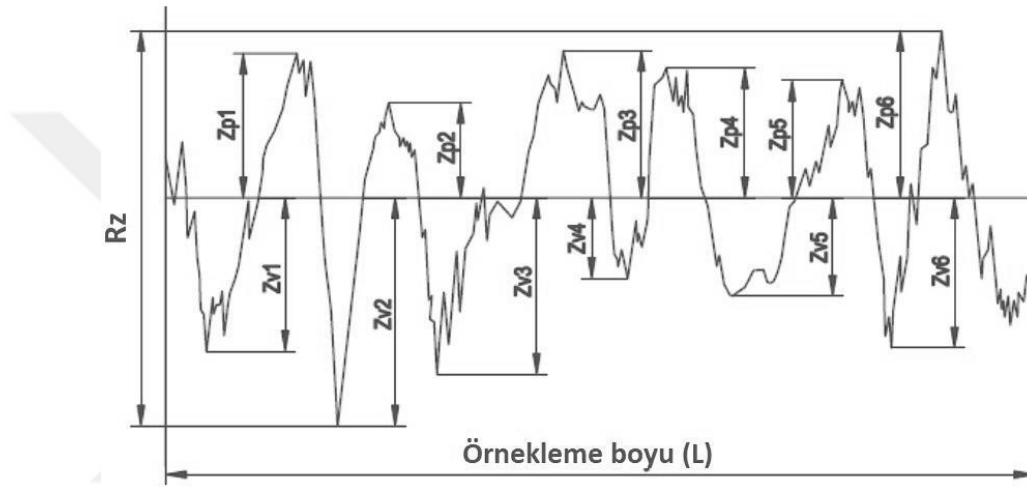
Ortalama yüzey pürüzlülüğü olarak bilinen R_a değeri günümüzde kullanılan en yaygın yüzey pürüzlülüğü parametresidir. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü verilerinin genel olarak ortalamasını esas almaktadır. Malzeme davranışlarının değerlendirilmesinde Şekil 3.11’ de gösterildiği üzere genel ortalamanın alınması nedeniyle tanımlaması kolay bir parametredir. Fakat malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ufak değişimlerin belirlenmesinde yeterince hassas değildir.



Şekil 3.11. R_a yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi

R_z : Ortalama pürüz yüksekliği veya on nokta yükseklik parametresi (μm):

Bu parametre R_a ' ya göre daha hassastır. İşlemler sonrasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde daha küçük çukur veya çıkıntıların belirlenmesinde kullanılabilir. Farklı ölçüm teknikleri bulunsa da esas olarak R_z parametresini: Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO); en yüksek beş tepenin ve en derin beş çukurun bulunduğu noktanın farkı (Şekil 3.12), Alman Standardı (DIN); en yüksek beş tepenin ve en derin beş çukurun toplamının ortalaması olarak tanımlamaktadır.



Şekil 3.12. R_z yüzey pürüzlülüğü şematik gösterimi

3.6. Kullanılan malzemeler ve özellikleri

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde kullanılacak metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak bronz (CuSn10), takviye malzemesi olarak ise küresel grafitli dökme demir (GGG40) talaşları kullanılmıştır. Talaşların temininde atık haldeki talaşların farklılıklar göstermesi nedeniyle kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenerek GGG40 talaşları Kondöksan, CuSn10 talaşları ise Alkor Döküm firmalarında silindirik çubuklar şeklinde dökülmüştür. Daha sonrasında tornalama yapılarak talaşlar elde edilmiştir.

3.6.1. Bronz (CuSn10)

Bakırın kalay, nikel, kurşun, alüminyum veya silisyum gibi farklı alaşım elementleriyle yapmış olduğu alaşımlara bronz denmektedir. Bu malzemeler sahip oldukları yüksek korozyon direncinin yanı sıra pirinçlere nazaran daha yüksek dayanıma sahiptirler. Herhangi bir alaşım elementinin bulunmadığı saf bronzlar zayıf mekanik özelliklerine rağmen bazı özel bakır alaşımları ısı işlem görmüş çeliklerle aynı mekanik özellikleri gösterebilmektedir. Bronz içerisinde bulunan kalay malzemenin tribolojik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle sahip olduğu yüksek korozif ve aşınma dayanımı, termal iletkenlik ve mekanik özellikler nedeniyle bronz malzemeler günümüzde yatak malzemeleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Yapıda matris eleman olarak kullanılan kalay bronzunun, endüstrideki kullanım alanları içerdiği kalay oranına göre farklılık arz etmektedir. Bunlardan bazıları;

- % 3–8 kalaylı bronzun kullanım alanı; levhadan para ve madalya yapmak tercih edilir. Aşınmaya karşı dayanıklıdır, kolay şekillenir, renk ve parlaklığını muhafaza eder. Bu bronzdan yapılan çubuk, tel ve benzerleri; mücevherat ve süs eşyaları yapımında kullanılır.

- % 8–12 kalaylı bronz deniz suyu ile diğer bazı kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı sebebiyle musluk, vana gibi malzemelerin ve makine parçalarının yapımında kullanılır. Ayrıca yapıdaki kalay aşınma direncini artırdığından yatak eleman olarak kullanılır.

- % 13–20 kalaylı bronz mekanik aşınmaya dayanıklıdır, metal yataklarda kullanılır.

- % 30–40 kalaylı alaşımı eski tip bronz, ayna yapımında kullanılırdı. Bu alaşımlar beyaz renkte, sert ve kırılıgandır.

Gerçekleştirilecek çalışmada %10 kalay oranına sahip CuSn10 bronz talaşı kullanılmıştır. Bu bronz talaşının seçilme nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- CuSn10 bronz malzemesi günümüz endüstrisinde yatak malzemesi olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. GGG40 talaşlarının takviyesiyle beraber elde edilecek kompozit malzemede daha iyi mekanik özelliklerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

- CuSn10 bronz malzemesi tıpkı GGG40 talaşlarına benzer olarak talaşlı işlem sırasında kırık talaşlar meydana getirir ve bu özelliğiyle boyut homojenizasyonu açısından elverişlidir.

• Ayrıca bronz malzemeler işlenirken herhangi bir kesme sıvısına ihtiyaç duymadığı için oluşan talaşlar nispeten temiz olmaktadır (Karadağ, 2012).

Bu çalışmada kullanılacak olan CuSn10 malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.1. CuSn10 Kimyasal birleşimi (%)

Malzeme	Cu	Sn	Pb	Zn
CuSn10	89,25	9,33	0,01	0,41

3.6.2. Küresel Grafitli Dökme Demir (GGG40)

Dökme demirlerin üretimleri esnasında içerisine değişen oranlarda ilave edilen magnezyum (Mg) ve/veya seryum (Ce) alaşım elementi ilavesiyle farklı mikro yapı ve mekanik özelliklerde dökme demirler elde edilmektedir. Elde edilen dökme demirlerin içerisinde oluşan grafitlerin küresel olması nedeniyle bu dökme demirler küresel grafitli dökme demir (KGDD) veya sfero dökme demirler olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde bu dökme demirler sahip olduğu mikro yapı türlerine göre ferritik KGDD, perlitik KGDD, beynitik KGDD ve martenzitik KGDD olmak üzere dört çeşittir. KGDD malzemelerin içerisindeki grafit yapılarının miktarını mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmemesi için belirli bir seviyede tutmak gerekir. Bu seviye genelde KGDD içerisindeki karbon miktarının mümkün olan en alt seviyede tutulmasıyla sağlanabilir. Birçok KGDD çeşidinde %3,6-3,7 civarlarında bulunan karbon miktarı, takviye malzemesi olarak belirlediğimiz GGG40’ da %3-3,3 civarlarında düşük tutulur. KGDD’ lerin üretimlerinde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise elde edilen yapının ferritik olmasıdır. Bunu sağlamak içinde kırılğan olma durumu dikkate alınarak %1 dolaylarında Silisyum ilavesi söz konusudur. Bu ferritik yapı daha sonrasında ısı işlemler yardımıyla perlitik hale getirilebilir (Aslan, 2015b).

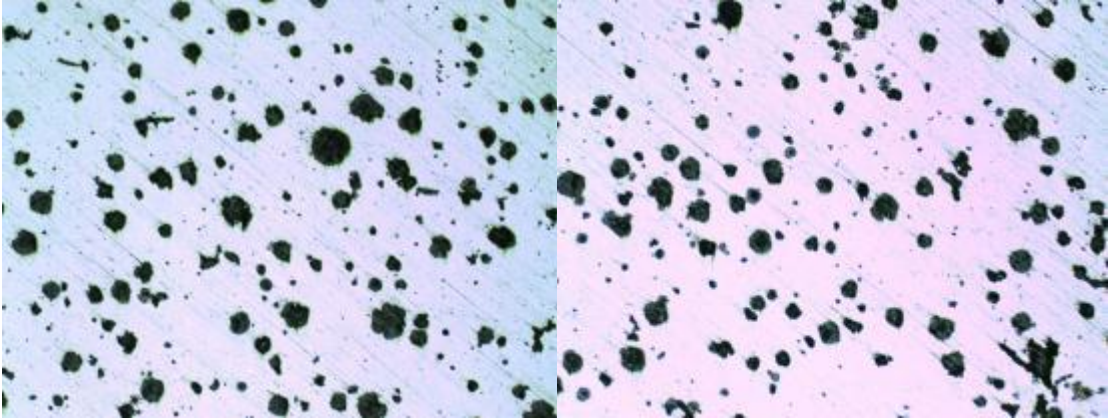
Takviye malzemesi olarak seçtiğimiz GGG40 mekanik özellikleri itibariyle çeliklere oldukça yakındır; çekme dayanımları 380-480 MPa, kopma uzamaları ise %10-%20 arasında değişmektedir. İmalat sanayinde mekanik özelliklerinin yanı sıra talaşlı işlenebilirliğinin oldukça iyi olması nedeniyle yatak gövdesi, krank mili, kama ve dişliler gibi birçok alanda da kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerimizde

kullanacağımız GGG40 malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2' de verilmektedir. Herhangi bir ısıl işlem ya da dışarıdan plastik deformasyon görmediğinden emin olmak amacıyla GGG-40 malzemesi silindirik çubukları şeklinde özel olarak dökülmüştür.

Çizelge 3.2. GGG40 kimyasal kompozisyonu (%)

	C	Si	Mn	S	Mg	P	Fe
GGG40	3,4	2,5	0,13	0,01	0,046	0,08	Kalan

Ayrıca grafit yapısını ve nodularite oranını belirlemek için 100X büyütme altında mikro yapı görüntüleri yardımıyla nodularite oranı %65, ortalama nodül çapı da 5,18 μm olarak belirlenmiştir. Nodül çapı belirlenirken küresellik oranı 1-0,8 arasında olan nodüllerin çaplarının ortalaması alınmıştır. Mikro yapı fotoğrafları Şekil 3.13' de gösterilmektedir. Küresellik oranına göre nodül sayısı ve ortalama nodül çapı tablosu Çizelge 3.3' de gösterilmektedir.



Şekil 3.13. GGG 40 mikro yapı görüntüsü (100X) (Şahin, 2015)

Çizelge 3.3. KGDD nodül sayısı ve ortalama çap

Nodül Küresellik Değeri	Nodül Sayısı	Ort. çap (μm)	Nodularite oranı	Ort. Nod. Çapı(μm)
1	368	3,6	65%	5,18
1-0,9	47	5,49		
0,9-0,8	51	6,458		
0,8-0,7	35	7,98		
0,7-0,6	56	10,25		
0,6>	166	38,08		

3.7. Kompozit Malzemelerin Üretim Sistemi ve Numune Hazırlanması

Bu çalışmada Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bünyesinde bulunan cihazlarla beraber istenilen ölçü ve özelliklerin elde edilmesi maksadıyla özel olarak ürettirilen ekipmanlar kullanılmıştır. Mevcut ekipmanlar göz önünde bulundurularak belirlediğimiz üretim parametrelerinde kompozit malzemelerimizin üretimleri gerçekleştirilmiştir.

3.7.1. Üretim Ünitesi

Bu çalışmada kullanılan üretim ünitesi, detaylı bir literatür araştırması sonucunda elde etmek istediğimiz malzemelerin üretimi göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Üretimlerimizde kullandığımız bazı cihazlar hali hazırda mevcutken bazı ekipmanlar ise üretim prosesine uygun olarak özel olarak tasarlanıp imal ettirilmiştir. Kompozit malzemelerimizin imalatında kullanılan ekipmanlar şunlardır.

- Hassas terazi
- Konik karıştırıcı
- Dişi kalıp
- Erkek zımba kalıplar
- Çift etkili pres
- Dört adet fişek rezistans ve sıcaklık kontrol panosu
- Kalıp yalıtım malzemeleri

a) Hassas Terazi

Deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği kompozit malzemelerin üretiminde GGG40 ve CuSn10 talaşları kullanılmıştır. Bu farklı talaşlar ağırlıkları oranlarında aşağıda belirtilen oranlarda tartılmıştır. Karışımların toplam ağırlıkları presleme öncesi dişi kalıp iç hacmi göz önünde bulundurularak 80 gr olarak belirlenmiştir. Ağırlık tartımlarında Şekil 3.14' deki Precisa marka 10^{-4} gr hassasiyetinde ki hassas terazi kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin üretimlerinde kullanılan ağırlıkça karışım oranları matris ve takviye malzemesinin etkisinin daha iyi gözlemlemek amacıyla aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- %90 CuSn10 - %10 GGG40
- %80 CuSn10 - %20 GGG40
- %70 CuSn10 - %30 GGG40
- %60 CuSn10 - %40 GGG40



Şekil 3.14. Hassas terazi

b) Konik Karıştırıcı

Toz metalürjisi ile kompozit malzemelerin üretiminde en önemli husus kompozit malzeme bileşenlerinin homojen bir şekilde karıştırılmasıdır. Farklı yoğunluk ve ebatlardaki malzemelerin karışımı esnasında veya üretim öncesinde, çevresel faktörlere bağlı olarak karışım içerisinde kümelenmeler olabilmektedir. Bu tür heterojen yapıların olması kompozit malzemelerin bir bütün olarak davranış göstermesini olumsuz etkilemektedir. Toz ve/veya talaşların karıştırılmasında farklı açı ve geometrilerde karıştırıcılar kullanılmaktadır. Genellikle bu karıştırıcılarda verimliliği yüksek tutmak için %30-40 hacimsel doluluğun olması tavsiye edilir.

Karıştırıcılar aracılığıyla toz ve/veya talaşların karıştırılmasında karıştırıcının dönüş hızı karıştırma işlemini etkilemektedir. Dönüş hızının yavaş olduğu karışımlarda işlem süresi uzayacak ve bu uzun süreç içerisinde bileşenler kendi içerisinde gruplaşacaktır. Bunun aksine yüksek dönme hızlarında ise meydana gelen merkez kaç kuvvetinin etkisiyle bileşenlerin homojen karışımı meydana gelmeyecektir. Bu durumlara uygun bir karıştırma hızı seçilmeli ve karıştırıcı içerisinde homojen bir türbülansa imkân sağlanmalıdır (German, 2007).

Bileşenlerimizin homojen bir şekilde karıştırılmasını sağlamak amacıyla Şekil 3.15’ de gösterilen karıştırıcı özel olarak imal ettirilmiş, 20 dk ve 200 d/dk hızda yapılan karıştırma işlemlerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Talaş karıştırıcı

c) Çift Etkili Pres

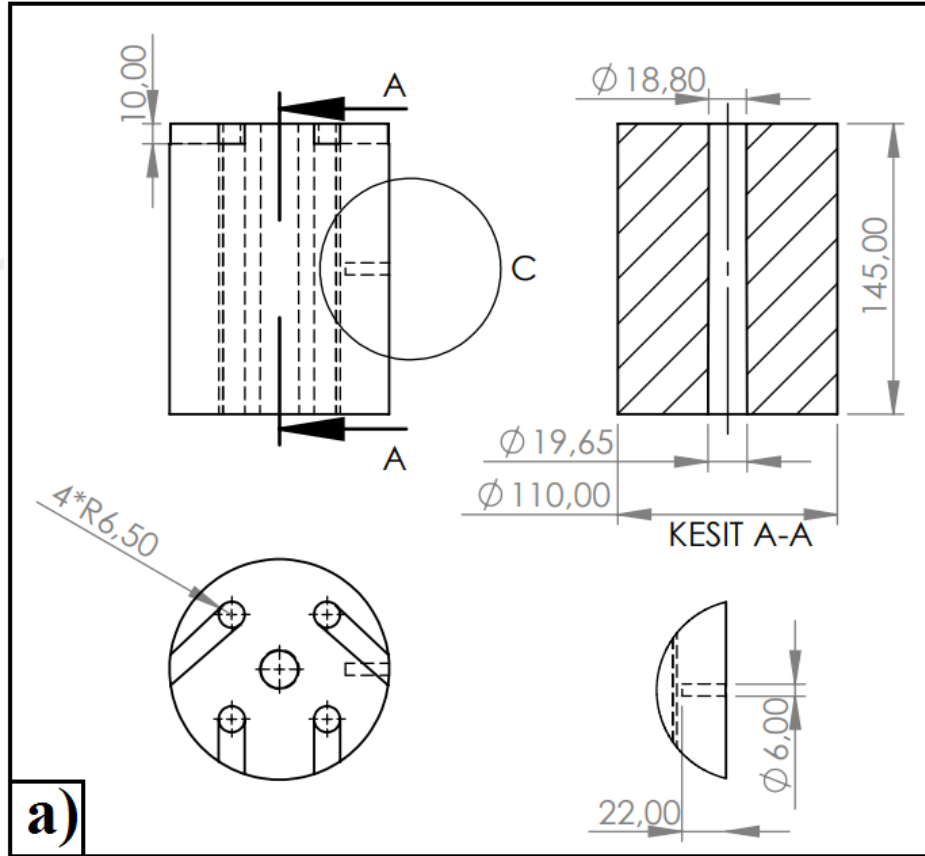
Bu çalışmada Selçuk üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Atölyesinde bulunan 100 tonluk çift etkili ve basınç kilitleme valfli pres kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan çift etkili pres Şekil 3.16' da gösterilmektedir. Üretimlerimizde çift etkili pres kullanılmasının başlıca sebebi kompozit malzeme sertlik profili dağılımının malzeme genelinde homojen olmasının istenilmesidir. Tek yönlü presleme ile yapılan üretimler neticesinde sertlik profilinin sıkıştırma yüzeyinden uzaklaştıkça azaldığı bilinmektedir. Ayrıca çift etkili presin basınç kilitleme valfi sayesinde üretimlerin yapılacağı basınca gelindiğinde pres kapatılarak, sabit basınçta çalışma imkanı sağlaması üretimlerimizi oldukça kolaylaştırmıştır. Pres üzerine 2 adet manometre takılarak birisinden sistem çalışırken ki presleme basıncı, diğerinden ise sistem kapalıyken (kilitleme valfi dengedeiyken) presleme basıncı ölçülerek sistemin basıncı sürekli kontrol edilmiştir.

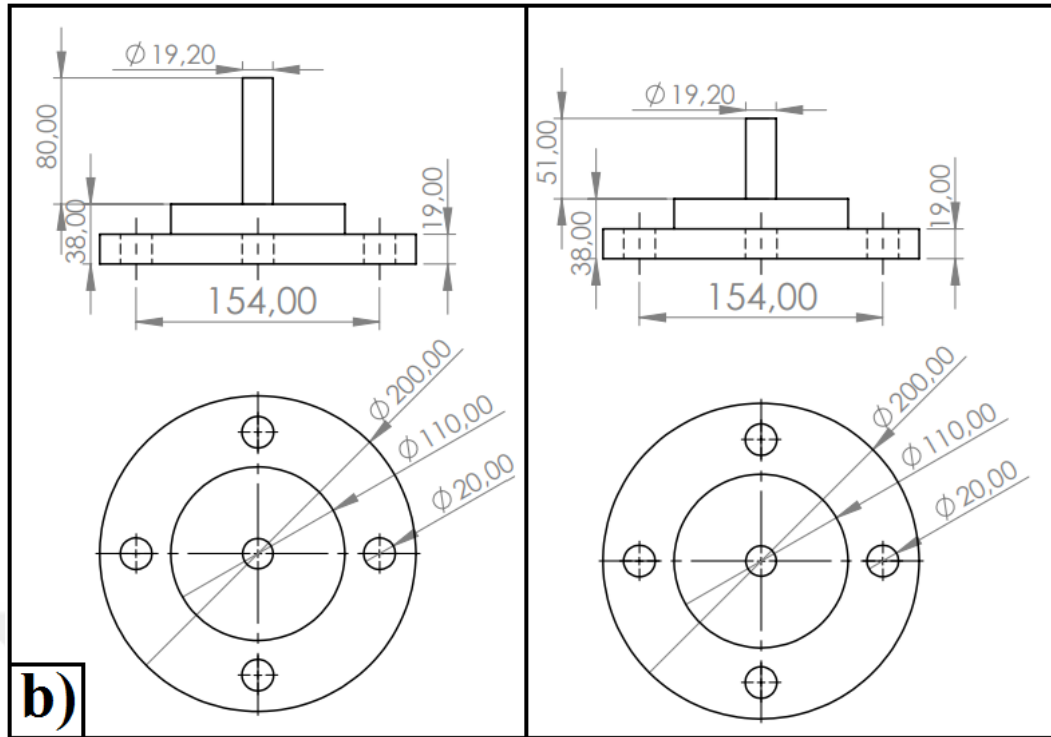


Şekil 3.16. Çift etkili pres ünitesi

d) Dişi ve Erkek Kalıplar

Silindirik kompozit malzemelerin üretimleri için 1 adet dişi kalıp ve 2 adet erkek kalıp özel olarak tasarlanmış ve Şekil 3.17' de gösterildiği üzere ürettirilmiştir (Şahin, 2015). Kompozit malzemelerin üretimlerin gerçekleştirilmesi çift yönlü olarak, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında olacağı için kalıpların üretiminde özel malzemeler seçilmiştir. Aşınma dayanımı ve mukavemetlerini yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında da muhafaza edebilen Qre 90 ve Orvar Suprame sıcak iş takım çelikleri uygun ısıl işlemlerle beraber kalıplarımızın üretiminde kullanılmıştır. Dişi ve erkek kalıplar arasında daha rahat hareket kabiliyeti sağlanması için 0,85 mm' lik bir koniklik ve 0,5 mm' lik bir tolerans boşluğu belirlenmiştir. Ayrıca kalıplarda ısıl işlemler sonrasında yüzeylerinde sertlikler 50-52 HRC aralığındadır.





Şekil 3.17. Üretim kalıpları teknik resimleri a) dişi kalıp b) erkek kalıplar

e) Fişek rezistanslar ve sıcaklık kontrol panosu

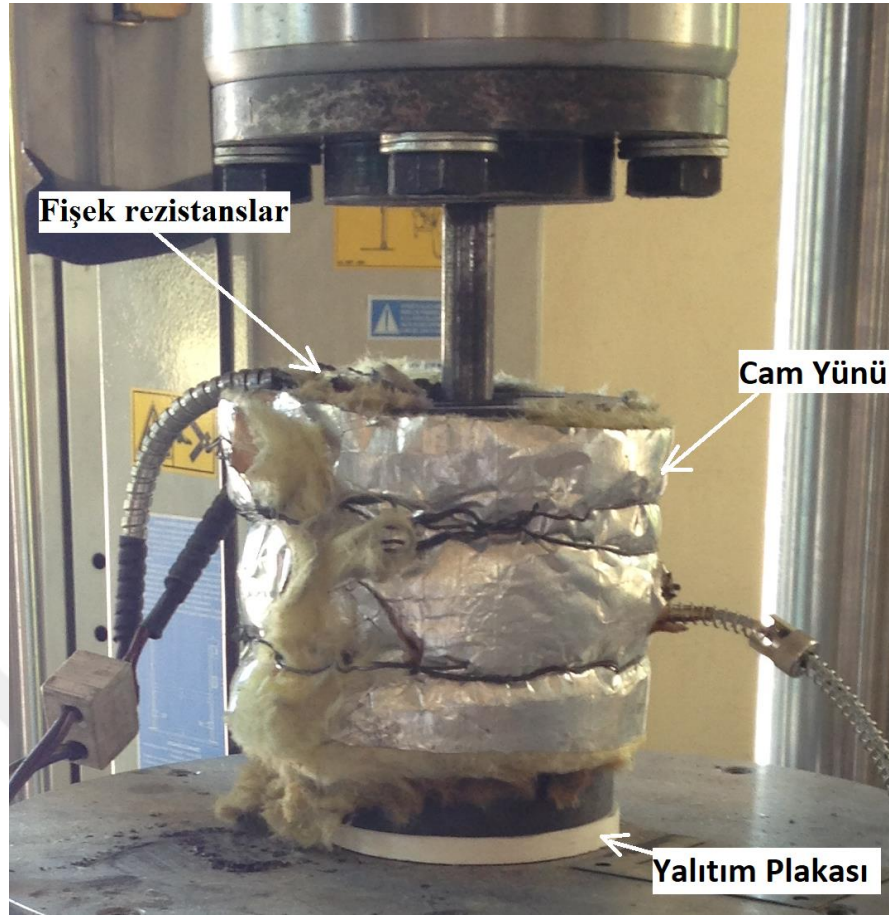
Kompozit malzemelerimizin üretimleri esnasında uygun sıcaklıklara ısıtılması ve bu sıcaklıklarda sıcaklığın üretimler boyunca muhafaza edilmesinde oldukça zorlanılmıştır. Dişi kalıbın dış yüzeyinden uygulanacak farklı ısıtma teknikleriyle çalışma sıcaklıklarına ulaşmak istendiyse de başarılı olunamamıştır. Yapmış olduğumuz detaylı araştırmalar sonrasında Şekil 3.18’ de gösterilen fişek rezistanslardan faydalanılmıştır. Dişi kalıbımızın geometrisine uygun olarak Şekil 3.18’ de gösterildiği gibi 130 mm boy ve 13 mm çap ölçülerinde özel olarak imal ettirdiğimiz fişek rezistanslar aracılığıyla ısıtma işlemlerimiz gerçekleştirildi. Dört adet fişek rezistansın aynı anda bağlanmasıyla beraber 2000 Watt’ lık bir ısıtma gücüyle yaklaşık bir saatte 700°C sıcaklıklara ulaşılabilen bir üretim sistemi kurulmuştur. Sıcaklığın kontrolü ve sabit sıcaklıkta talaşların ısıtılması işlemlerinde elektrik panosundan faydalanılmıştır.



Şekil 3.18. Fişek rezistanslar

f) Kalıp yalıtım malzemeleri

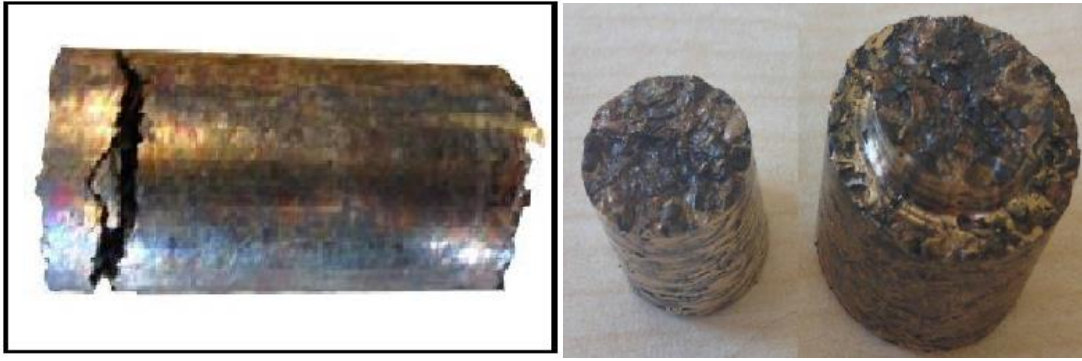
Çalışmalarımızda üretim esnasında yüksek sıcaklıkların söz konusu olması nedeniyle yalıtım ekipmanları temin edilmiştir. Dişi kalıbımızın üzerinde bulunduğu sehpanın kalıpla teması sırasında sıcaklığının artması nedeniyle bu olumsuz durumu gidermek için sehpa ile kalıplar arasına silindirik yalıtım plakası koyulmuştur. Şekil 3.19' de gösterilen bu yalıtım plakası yurtdışından özel olarak ithal edilen kalsiyum silikat esaslı ve yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklıdır. Yine dişi kalıbımızın sıcaklığının ortam şartlarına bağlı olarak değişimini minimize etmek amacıyla Şekil 3.19' de görülen cam yünleri dişi kalıbın etrafına sarılmıştır. Böylelikle çalışma şartları nedeniyle yüksek sıcaklıklarda meydana gelebilecek istenmeyen durumlar kontrol altına alınmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.19. Yalıtım malzemelerinin kalıp üzerinde gösterimi

3.7.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi

Kompozit malzemelerin üretimlerinde üç farklı basınç, iki farklı sıcaklık ve dört farklı karışım oranları belirlenmiştir. Bu parametrelerin belirlenmesinde literatür çalışmaları ve mevcut ekipmanları kapasiteleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca kompozit malzeme bileşenlerinin üretim parametrelerine bağlı olarak gösterebilecekleri davranışlar değerlendirmelerimizde dikkate alınmıştır. Seçmiş olunan sıcaklıkların altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda denenen olduğumuz ön deneysel çalışmalarda istediğimiz neticeler alınamamıştır. Düşük sıcaklık ve/veya basınç parametrelerinde talaşlar arasında iyi bir birleşimin elde edilemediği, yüksek sıcaklık ve/veya parametrelerinde ise gözeneklerin neredeyse tamamen kapanması ve kalıplarda sıvama problemiyle karşılaşılmıştır. Şekil 3.20' de torna ile talaşlı işlemler sırasında yetersiz birleşmeler nedeniyle meydana gelen kopmalar gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Zayıf birleşmenin olduğu ön deney kompozit malzemeleri

Üretimlerimiz Çizelge 3.4’ de belirtilen parametrelerde üçerli tekrarlanacak aşınma deneyleri göz önünde bulundurularak üretimler gerçekleştirilmiştir. Taguchi yöntemi kullanılarak daha az sayıda deneysel çalışma yapılması planlanmış olsa da deney sayısının oldukça fazla olacak olması çalışmalarımızı tam faktöriyel olarak yapmamızı sağlamıştır.

Çizelge 3.4. Kompozit malzeme üretim parametreleri

Malzeme Kodu	Karışım Oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)
100B	% 100CuSn10	400, 450	480, 640, 820
90B10D	% 90CuSn10-% 10GGG40		
80B20D	% 80CuSn10-% 20GGG40		
70B30D	% 70CuSn10-% 30GGG40		
60B40D	% 60CuSn10-% 40GGG40		

Çalışmalarımızda kullanılan CuSn10 ve GGG40 talaşlarının atık olarak temin edilmesi ve bu şekilde geri dönüşümüyle elde edilen kompozit malzemelerin davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Fakat yapılacak çalışmaların bilimsel yönünün olması nedeniyle farklı şekilde temin edilen talaşlar yerine fiziksel ve/veya kimyasal olarak içeriğinden emin olduğumuz talaşların kullanılması düşünülmüştür. Bu amaçla kimyasal bileşenlerini belirlediğimiz CuSn10 ve GGG40 malzemelerinden 22 mm çapa sahip silindirik çubuklar döktürülerek daha sonra talaşlı imalat yöntemleriyle talaşların temini sağlanmıştır. Silindirik çubuklar şeklinde temin edilen talaşlar daha sonrasında tornada tüm kesme parametreleri sabit kalacak şekilde işlenerek talaş haline getirilmiştir. Talaş haline getirilen malzemelerimiz Konya Teknik Üniversitesi

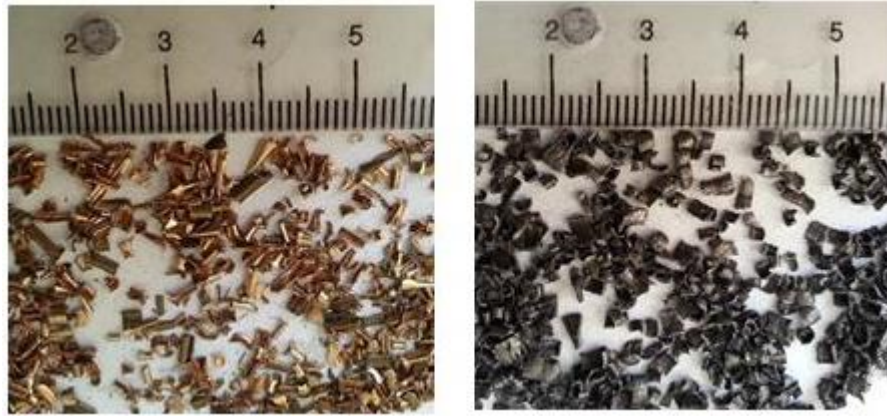
Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği atölyesinde bulunan Şekil 3.21’ de ki bilyeli kırıcı yardımıyla kırılarak boyutları büyük talaşlar küçültülmüştür. Daha sonrasında bilyalı kırıcıda boyutları ufaltılan talaşlar Şekil 3.22’ deki elekler aracılığıyla 1 mm ve 2 mm aralığında ayrılmıştır. Böylece benzer geometrilerde talaşların temini amaçlanmıştır. Bu işlemler sonrasında elde ettiğimiz metal talaşları Şekil 3.23’ de görülmektedir.



Şekil 3.21. Bilyeli kırıcı



Şekil 3.22. 1 mm ve 2 mm elekler



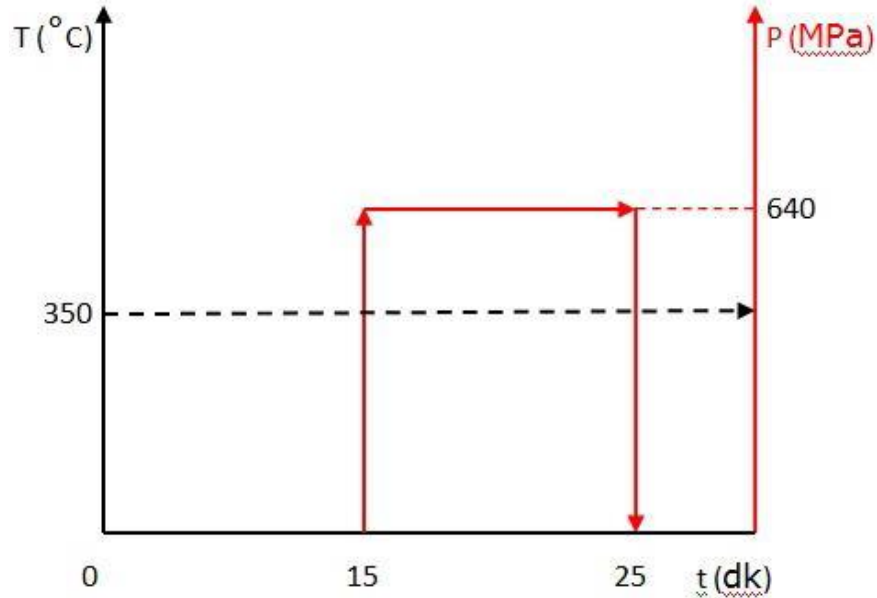
Şekil 3.23. Talaş boyutları

Kompozit malzemelerimizin üretiminde kullandığımız CuSn10 ve GGG40 malzemelerinin erime sıcaklıkları yaklaşık olarak 925 °C ve 1527 °C' dir. Çalışmalarımızda bu erime sıcaklıklarını göz önünde tutarak 650 °C sıcaklıkların herhangi bir problem oluşturmayacağı göz önünde bulundurulmuştur. Literatürde kullanacağımız malzemelerin erime sıcaklıklarıyla ilgili olarak verilen değerlerin kütük haldeki malzemeler için geçerli olmasına karşın kullanacağımız malzemelerin talaş formunda olması nedeniyle malzemelerimizin erime sıcaklıkları bu değerlerin altında kalmaktadır. Ayrıca çalışma basınçlarının yüksek tutulması halinde geometriye bağlı olarak malzemelerin erime sıcaklıkları da oldukça düşmektedir. Bu nedenle daha önce yapılan çalışmalar da göz önünde bulundurularak (Aslan, 2015a) çalışma sıcaklıklarımız maksimum 450 °C dolaylarında tutulmuştur. Üretim sistemimizde dişi ve erkek kalıp arasında ki tolerans boşlukları da sıcaklık ve basıncın yüksek seçilmesi halinde yumuşayan ve macun kıvamına gelen malzeme ile dolarak Şekil 3.24' de görüldüğü gibi ciddi şekilde erkek kalıplarda sıvama meydana getirmektedir. Erkek kalıplar, presleme esnasında yumuşayarak akışkan hale gelen bronzun etkisiyle hidrostatik basınca maruz kalarak kırılmaktadır. Bu basınç nedeniyle ön deneysel çalışmalarımızda dişi kalıplarda kırılmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle de çalışma basınçları 480 MPa, 640 MPa ve 820 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.24. Erkek ve dişi kalıp arasında meydana gelen sıvamalar

Gerçekleştirilen ön deneylerle beraber çalışma sıcaklık ve basınç aralıkları belirlendikten sonra üretim esnasında ki talaşların dişi kalıp içerisine dökülmesi ve üretimlerin gerçekleştirilmesinde zamanlamaların diğer bir etken parametre olduğu belirlenmiştir. Talaşların kalıp içerisine koyulur koyulmaz üretim prosesinin gerçekleştiği kompozit malzemelerde, malzemelerin iç kısımlarına doğru talaşlar arasında etkili bir birleşmenin olmadığı belirlenmiştir. Bu olumsuz durumu gidermek adına talaşlar dişi kalıp içerisine konduktan sonra 15 dakika herhangi bir işlem yapılmadan beklenmiş ve sonrasında üretim sıcaklığına talaşların tamamı da ulaştırılmıştır. Bu süre sonrasında çift taraflı erkek kalıplar, üretim sıcaklığında malzemelere uygulanmış ve bu basınçta sabit olarak 10 dakika bekletilmiştir. Daha sonrasında dişi kalıp içerisindeki konik yapıdan faydalanılarak kompozit malzemelerimiz dişi kalıp içerisinden çıkarılmıştır. Üretim zamanlamaları Şekil 3.25’ de 350°C ve 640 MPa’ da gerçekleştirilen üretim için gösterilmiştir. (Şahin, 2015).



Şekil 3.25. Üretim süreci (Şahin, 2015)

3.8. Aşınma Testleri Öncesi Kompozit Malzemelerin Mekanik Karakterizasyonu

Bu çalışmada gerçekleştirilecek aşınma testleri öncesinde söz konusu kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla gözeneklilik ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu testler hakkında genel bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

3.8.1. Gözeneklilik Testi

Üretilen kompozit malzemelerin kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılacak olması nedeniyle gözeneklilik en önemli parametredir. Kompozit malzeme bileşenlerinden CuSn10 malzemesi yapısal olarak kendi içerisinde gözenek ihtiva etmektedir. Bu nedenle içerdiği gözenekler sayesinde yoğunluğu düşüktür. Ayrıca bu gözenekler sayesinde kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılmasında avantaj sağlanabilir.

Kompozit malzemelerin gözeneklilik testlerinde Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan ve Şekil 3.26' da gösterilen Arşimed terazisi kullanılmıştır. Bu yöntem genellikle karmaşık geometrili malzemelerin yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yoğunluğu bilinmeyen maddelerin yoğunluğu bilinen sıvıların içerisinde hassas terazi aracılığıyla tartılması ve yoğunluğunun bulunması esasına dayanmaktadır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonuçları, araştırma sonuçları ve tartışma kısmında detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

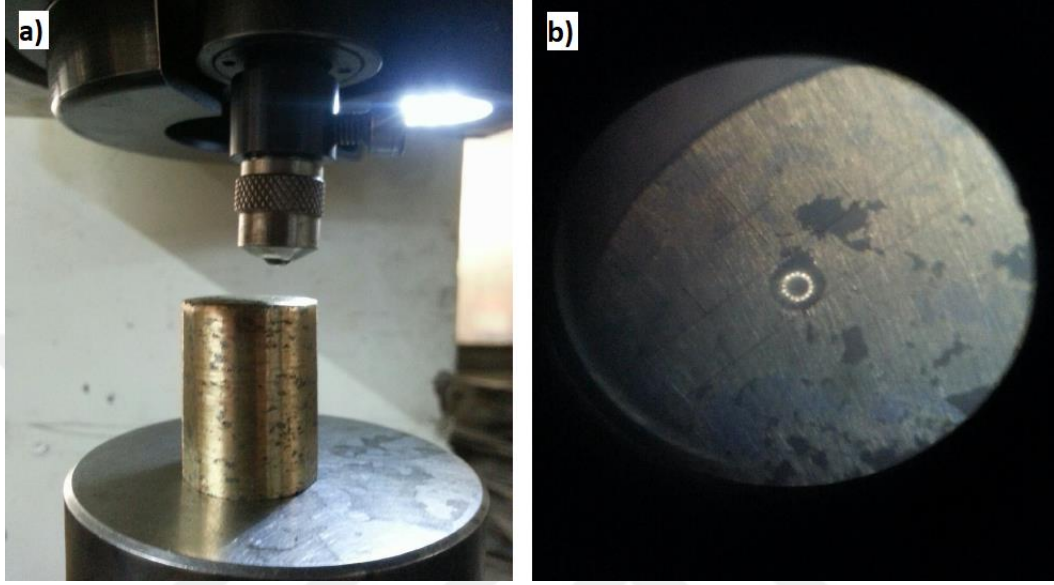


Şekil 3.26. Arşimed terazisi

3.8.2. Sertlik Testleri

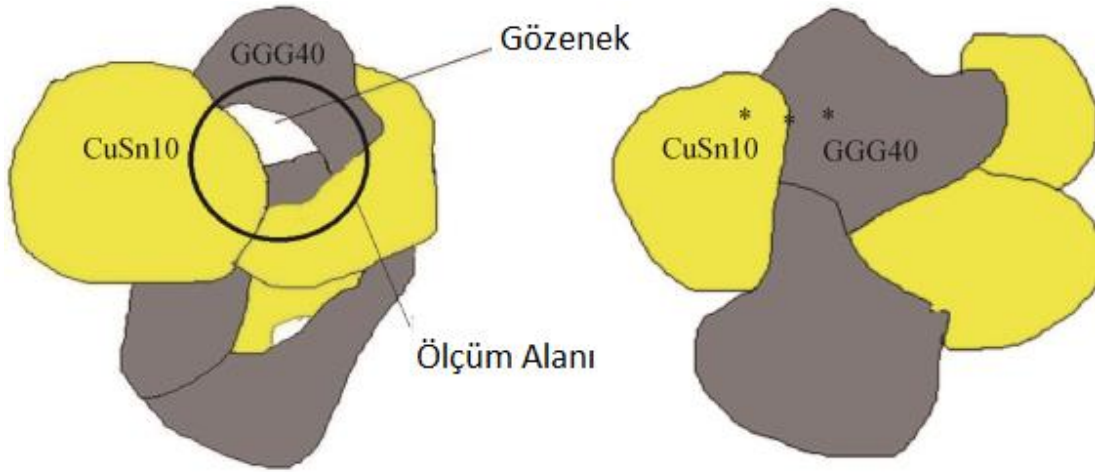
Sertlik, malzemelerin en genel anlamda kendisine karşı uygulanan plastik deformasyona göstermiş olduğu dirençtir. Bu direnç malzemelerin türüne göre değişmekte olup farklı ölçüm yöntemleriyle bunun tespiti de mümkündür. Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en yaygın yöntem olarak sertlik testleri kullanılmaktadır. Ölçüm yöntemlerinin basit olması, çok az ya da hasar oluşmadan ölçümlerin gerçekleştirilmesi, maliyetinin düşük olması ve en önemlisi de malzemelerin sertlikleriyle diğer mekanik özellikleri arasında bağ kurulabilmesi nedeniyle sertlik testleri yaygın olarak yapılmaktadır.

Sertlik testlerinin gerçekleştirilmesinde birbirinden farklı ölçüm yöntemleri mevcuttur. Fakat malzemelerimizin kompozit malzeme olması ve içerisinde gözenek içermesi nedeniyle Şekil 3.27' de gösterilen Teknik Isıl İşlem firması bünyesinde bulunan Brinell sertlik cihazıyla ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.27. a) Brinell sertlik cihazı b) mikro yapı görüntüsü (Şahin, 2015)

Brinell sertlik testlerinin gerçekleştirilmesinde 5 mm çapında bilya ucu kullanılmış ve bilya çapı (D) ile kompozit malzemelerimizde oluşan iz çapı (d) arasında ki oranların istenen aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Testler oda sıcaklığında 250 kgf yükün yüzeye 30 saniye boyunca uygulanıp çekilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Testler sonrasında malzeme yüzeylerinde oluşan iz çapları ile deneyde kullanılan 5 mm' lik bilye çapı arasında ki oranın deney güvenilirliği açısından 0,2-0,7 aralığında olması beklenir. Yapmış olduğumuz ölçümler sonrasında elde edilen değerlerin en küçük 0,39 en büyük 0,58 aralığında olması nedeniyle testler geçerli kabul edilmiştir (Şahin, 2015) . Şekil 3.28' de ölçümlerin yapılışı ile ilgili olarak temsili ölçüm resmi bulunmaktadır. Sertlik ölçümlerimiz üst ve alt yüzeylerle beraber yan yüzeylerden üçer tekrarlı olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarının birbirinden ve kenarlardan eşit uzaklıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Farklı noktalardan yapılan sertlik ölçümlerinin ortalamaları alınarak sonuçlar ve değerlendirmeler araştırma sonuçları ve tartışma kısmında sunulmuştur.

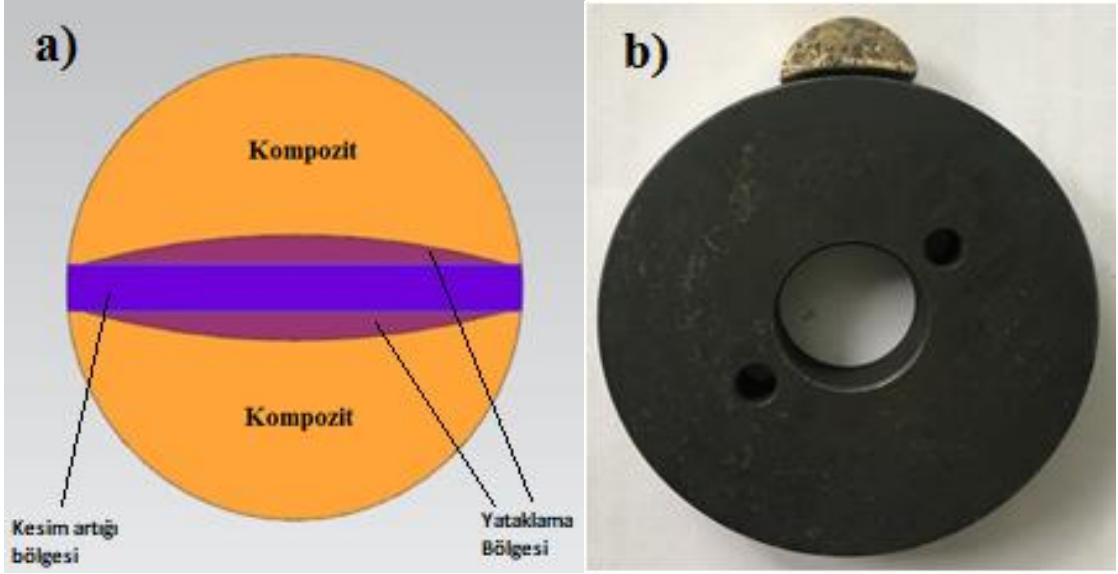


Şekil 3.28. Temsili olarak Brinell sertlik ölçümü (Şahin, 2015)

3.9. Aşınma Test Numunelerinin ve Aşınma Test Düzeneklerinin Hazırlanması

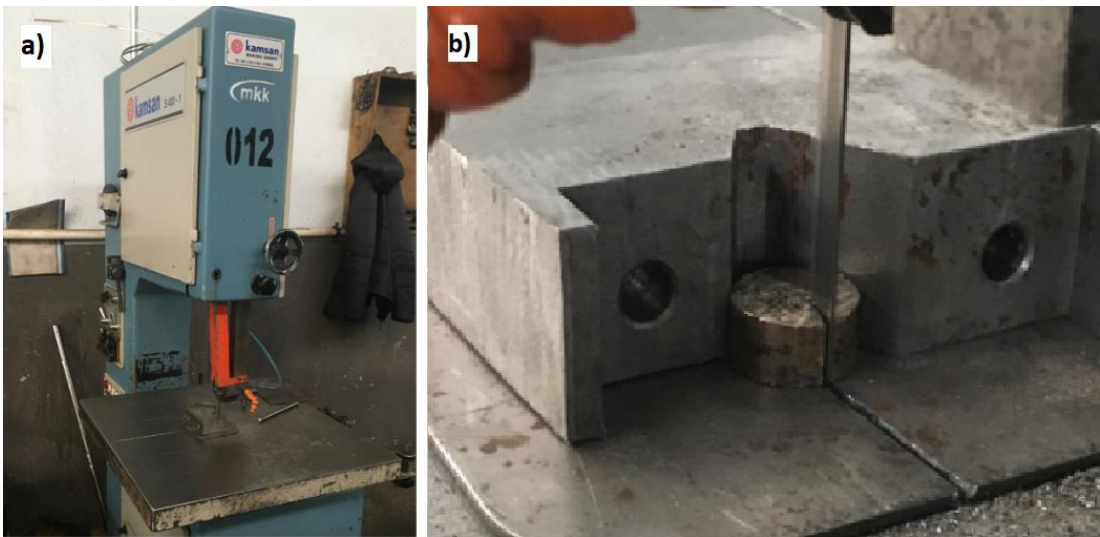
3.9.1. Aşınma Test Numunelerinin Hazırlanması

Üretilen kompozit malzemelerin kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla silindirik olarak 19,6 mm çap ve üretim parametresine bağlı olarak 32-35 mm yüksekliğinde üretilen kompozit malzemeler aşınma testleri için Şekil 3.29a’ da gösterildiği gibi işlenmiştir. Bu geometrilerin seçilmesinde kompozit malzemelerin yatak malzemesi olarak kullanılması düşünüldüğünden uygun yataklama şartlarında aşındırılması amaçlanmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerimizin bu yataklama geometrilerine sahip olmasında işlenebilirlik özelliklerine de dikkat edilmiştir (Salur ve ark., 2019). Aşınma test numunesinin kalınlığı 10 mm olup Şekil 3.29a’ da görülen mor kısımlar kesim sırasındaki kayıpları, pembe olan kısımlar ise aşındırıcı disk malzemesine olan yataklama geometrisini göstermektedir. Şekil 3.29b’ de ise aşındırıcı disk malzemesi deneysel çalışmaların yapılacağı kompozit malzemeyle beraber üst üste getirilerek gösterilmiştir. Aşındırıcı disk malzemesi olarak literatürden faydalanılarak AISI 4140 çeliği seçilmiş ve 69 mm çapındaki aşındırıcı çelik diskler sementasyon ısıl işlemi sonrasında 55-56 HRC yüzey sertliği değerlerine getirilmiştir. Daha sonrasında yüzey taşlama işlemleriyle beraber aşındırıcı disklerin yüzeyleri deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir. Aşınma testlerinde her bir deney için ayrı aşındırıcı disk kullanılmış, testler sonrasında her aşınma testi öncesinde aşındırıcı diskler değiştirilmiştir.



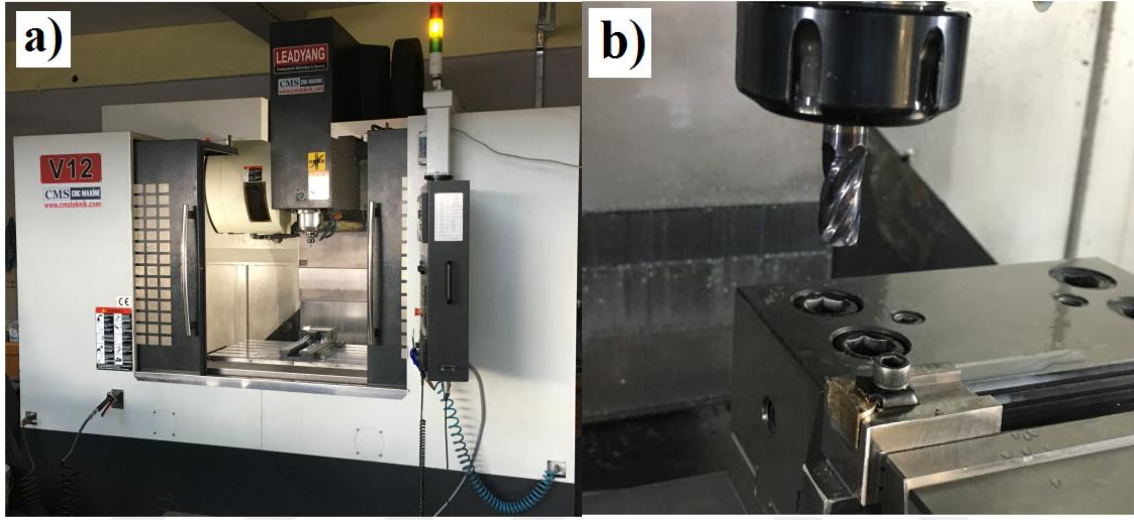
Şekil 3.29. Aşınma numunesi a)kompozit b)aşındırıcı disk

Kompozit malzeme üretim kalıplarından belirtilen ölçülerde çıkan silindirik kompozit malzemeler Şekil 3.30' da gösterilen Mustafa Kurşunel Kalıp firması bünyesinde bulunan dekupaj cihazında önce boyuna doğrultuda 10 mm' lik üç adet parçaya daha sonrada her bir parça ortadan ikiye Şekil 3.30b' de gösterildiği üzere bölünmüştür. Bu işlemlerin gerçekleştirildiği kesici şeritin kalınlığı 2 mm' dir. Herhangi bir soğutma sıvısı kullanılmayıp bölme işlemi esnasında kompozit malzemelerin tam ortadan düzgün bir şekilde kesilmesine özen gösterilmiştir. Dekupaj cihazıyla kesim esnasında Şekil 3.29a' da gösterilen mor kısımlar 2 mm kalınlığında ki testere kalınlığını nedeniyle meydana gelen kayıpları göstermektedir.



Şekil 3.30. (a) Dekupaj cihazı (b) numunelerin kesilmesi

Uygun geometrilere getirilen kompozit malzemeler aşınma deneyleri öncesinde son aşama olarak metal işleme merkezinde Şekil 3.31’ de gösterilen CNC aracılığıyla iç kısımlarına 0,05 mm toleransa sahip 69,05 mm eğrilik çapında yataklama boşlukları oluşturulmuştur. Yataklama boşluklarının oluşturulmasında aşındırıcı disk malzemesinin çapının 69 mm olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Bu izlerin oluşturulmasında kompozit malzemelerin yüzey morfolojisinin bozulmaması için uygun devir hızında işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.31. Malzemelere yataklama izlerinin oluşturulması a)cnc b)malzeme

Aşınma testleri için CNC işleme merkezinde uygun geometrilere getirilen ve istenen yüzey yapısındaki kompozit malzemelere aşınma testleri öncesinde son olarak ultrasonik temizlik işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için Şekil 3.32’ de gösterilen ultrasonik temizlik cihazı kullanılmış ve bu işlem her bir numune için de-iyonize su içerisinde yaklaşık üç dakika sürmüştür. Böylelikle yapılan işlemler sonrasında aşınacak yüzeydeki istenmeyen fazlalıklar giderilmiştir.



Şekil 3.32. Ultrasonik temizlik cihazı

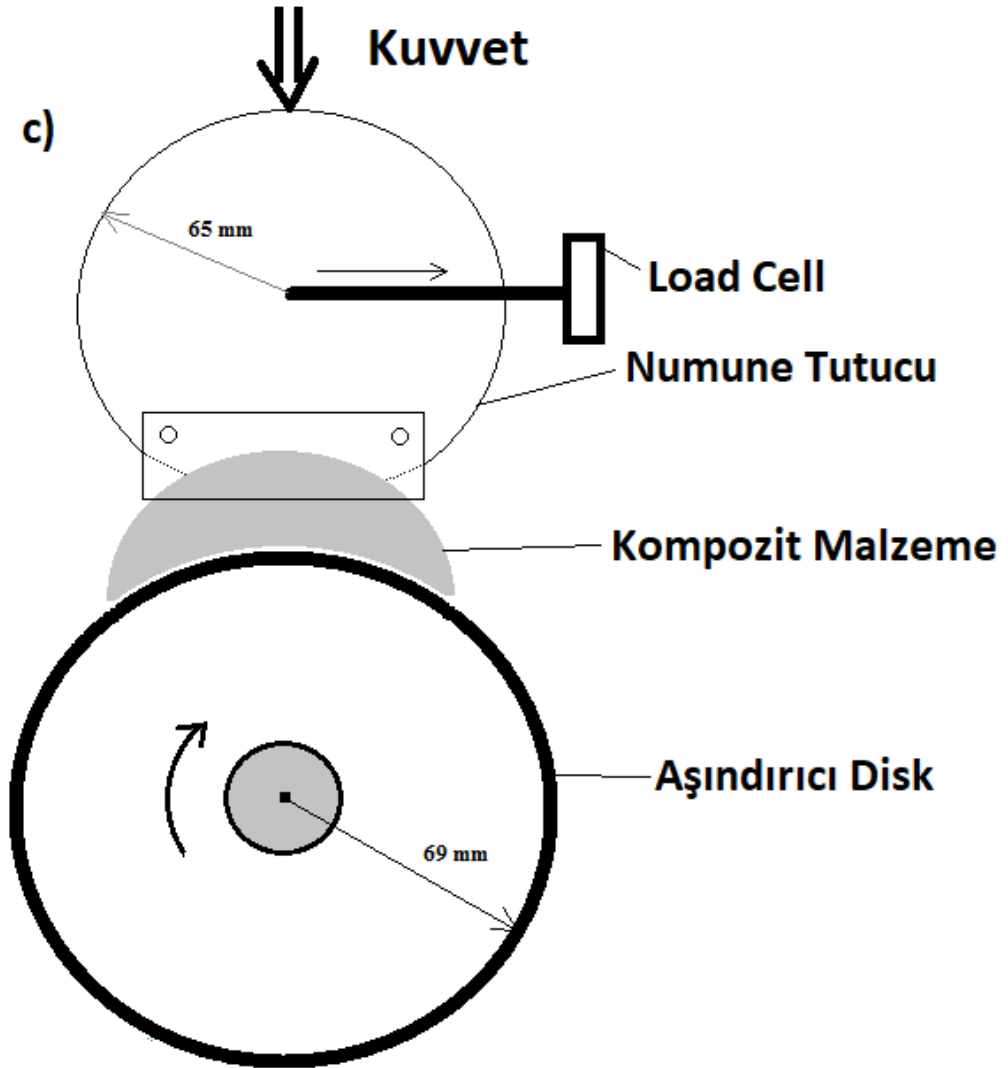
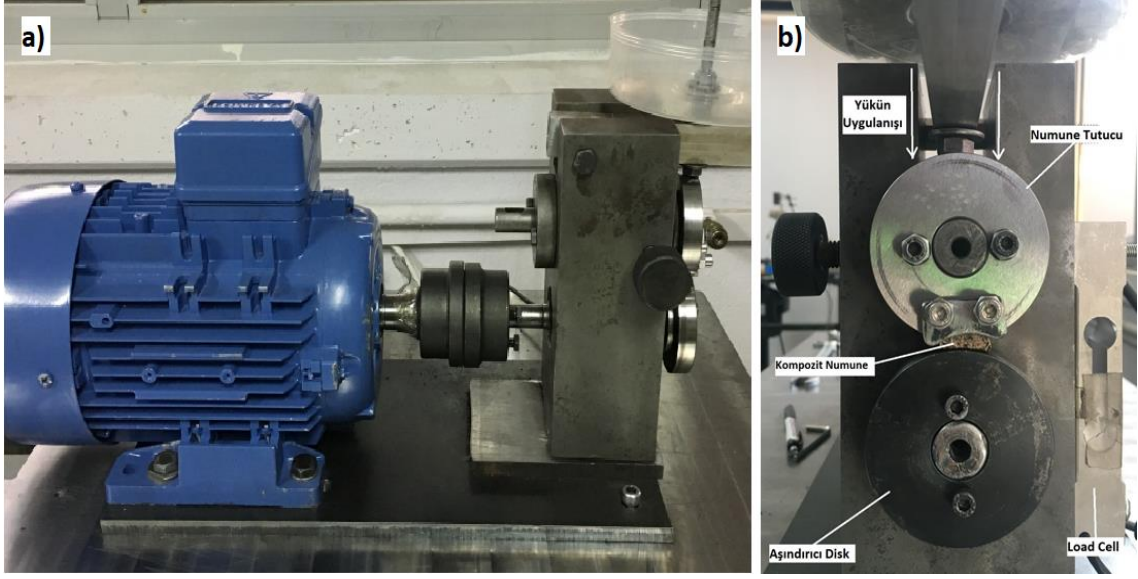
3.9.2. Aşınma Test Düzenegi

Aşınma testlerinin gerçekleştirilmesinde çalışma konusunun ilk zamanlarında yöntem olarak Pin on Disk yöntemi düşünülmüştür. Fakat bu yöntemde aşındırılacak kompozit malzemelerin aşınma öncesi sahip olduğu geometri başlangıçta noktasal olması nedeniyle deneysel çalışmalarımızda yanıltıcı olabileceği belirlenmiştir. Üretmiş olduğumuz kompozit malzeme bileşenlerinin makro düzeyde olması nedeniyle, temas noktalarında temas eden malzemenin özellikleri kompozit malzeme özelliklerinden daha belirgin olacaktır. Temas noktasının gözeneğe yada kompozit bileşenlerinden bronz yada dökme demire denk gelmesi aşınma davranışının belirlenmesini etkileyecektir. Bu nedenle sadece bir noktanın yerine başlangıçta belirli bir bölgenin aşındırıcı malzeme ile teması göz önünde bulundurulmuş ve Şekil 3.33’ de gösterilen block on disc aşınma test düzenegi ASTM (G77-05) standardı göz önünde bulundurularak tasarlanmış ve kullanılmıştır. Aşınma test düzeneginin üst kısımda ağırlığın uygulandığı kısım ve kompozit malzemelerin aşındırılmasını sağlayan numune tutucu bulunmaktadır. Numune tutucu sabit olup alt kısımda, 2,2 kW’ lık elektrik motorundan gücünü alan mil aracılığıyla ve 2,5 kW’ lık Delta marka devir ayarlayıcıyla dönen disk bulunmaktadır. Aşındırıcı diskler daha önce belirtildiği üzere sementasyon ısıl işleminden geçirilmiş AISI 4140 çelik malzemesinden yapılmış olup aşınmayı

gerçekleştirecek dış kısımları dikkatli bir şekilde taşlanmıştır. Diskin hareketi saat ibresi yönünde meydana gelmekte ve oluşan sürtünme kuvveti etkisiyle yatay yönde oluşan kuvvetler Kobestar marka load cell aracılığıyla anlık olarak bilgisayarda kayıt altına alınmaktadır.

Uygulanan dik kuvvetin yataydaki sürtünme kuvvetine oranı sürtünme katsayısını vermektedir. Bu değer deneysel çalışmalar esnasında düzenli bir şekilde anlık takip edilmiştir. Sürtünme katsayısı hesabı çok yönlü, genel amaçlı, 8 adet analog girişine sahip Squirrel marka datalogger ile kayıt altına alınmış ve SquirrelView ara yüz programı kullanılarak kaydedilmiştir. Aşınma deneyleri öncesi ve sonrası ağırlık kayıpları Şekil 3.14' de gösterilen hassas terazi aracılığıyla ölçülerek aşınma boyunca meydana gelen ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

Aşınma deneylerinin gerçekleştirilmesinde kompozit malzemelerin üretim parametrelerinin yanı sıra deneysel parametrelerin belirlenmesinde detaylı literatür araştırmasıyla beraber bir çok ön deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşınma karakteristiğinin gözlemlenebilmesi ve sıcaklık dağılımlarının verimli bir şekilde takibin sağlanması amacıyla 69 mm' çap ve 10 mm genişlikteki aşındırıcı disk malzemesinde, 0,05 mm toleransa sahip 69,05 mm iç yataklama çapında ki kompozit malzemeler aşındırılmıştır. Bu aşınma testlerinde yük olarak 30 N, aşınma mesafesi olarak 2.000 m ve aşınma hızı olarak 400 d/dk (1,06 m/sn) seçilmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde p.V değerinin aşınma deneyleri başlangıç anında literatüre uygun şekilde yaklaşık olarak bir olması gözetilmiştir. (Ünlü ve ark., 2007, Ünlü ve ark., 2010). Ayrıca aşınma mesafesinin belirlenmesinde literatür çalışmaları ve yapılan farklı ön deneysel çalışmalar neticesinde temas bölgesi sıcaklığının her malzeme türünde de 2.000 m mesafelerden sonra değişmemesi dikkate alınmıştır. Belirlenen bu aşınma deney parametrelerinde Şekil 3.33' de gösterilen aşınma test cihazında üçer tekrarlı olacak şekilde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.33. Aşınma test düzeneği a) yan görünüş b) ön görünüş c) şematik görünüş

Gerçekleştirilen aşınma testleri öncesi ve sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Şekil 3.34’ de gösterilen ve Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi’ nde bulunan Mitutoyo SJ-201 marka yüzey pürüzlülüğü cihazıyla yapılmıştır. Bu cihazla metallerin yanı sıra sert plastik ve ahşap gibi malzemelerde yüzey pürüzlülüğü ölçülebilmektedir. Cihaz ana gövde ve portatif uç kısımdan oluşmaktadır. Ayarlanabilir farklı üç ölçüm mesafesi olmakla beraber ölçümlerimizde iğne ucunun 2,5 mm’ lik mesafede tarama yaparak yüzey pürüzlülüğünü ölçmesi sağlanmıştır. Ölçümler esnasında herhangi bir yanlışlık olmaması için iğne ucu ve kompozit malzeme daima sabit tutulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla Ra ve Rz değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler daha sonra sonuç kısmında değerlendirilecektir.



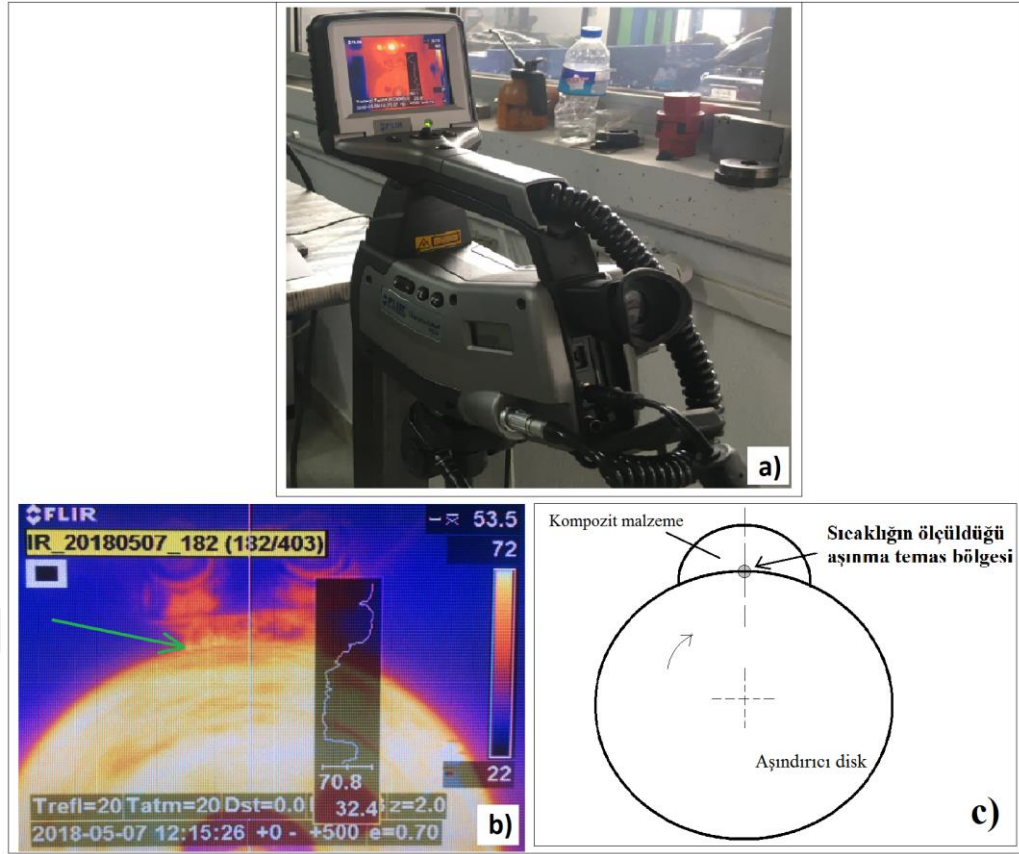
Şekil 3.34. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Aşınma deneyleri esnasında malzemelerin temas bölgesindeki sıcaklık takiplerinde Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği’ nde bulunan Şekil 3.35a’ da ki FLIR P65 marka termal kamera kullanılmıştır. Kompozit malzeme bileşenlerimizi oluşturan bronz ve dökme demir malzemelerin aşınma esnasında ısı iletimlerinin birbirinden farklı olması ve kompozit malzeme içerisinde ki gözenekli yapıların mevcudiyeti aşınma esnasındaki sıcaklık değişimlerinin etkilemektedir.

Termal kameralar genel itibariyle emisivite değeri olarak tanımlanan ve malzemenin malzemeye değişen bir sabiti esas alarak ölçümler yapmaktadır. Ölçümlerimizde matris malzemesi olarak kullandığımız bronzun (CuSn10) emisivite değeri 0,70 olarak belirlenmiştir. Bu belirlediğimiz emisivite değeri farklı karışım oranlarında ki kompozit malzemelerin termal kamera ölçümlerinde sabit alınmıştır. Ölçümlerimiz aşınma test cihazının aşınma bölgesinin tam karşısına sabitlenen termal kamera aracılığıyla yapılmıştır.

Şekil 3.35b-c' de ölçümler esnasında termal kameranın ekran görüntüsü ve ölçüm noktasının şematik görüntüsü gösterilmiştir. Aşınma deneylerinde yeşil ok ile gösterilen temas bölgesinden kompozit ve aşındırıcı çeliğin iç bölgelerine doğru sıcaklığın nasıl değiştiğini gözlemlemek için dikey olarak ölçüm skalası kullanılmıştır. Ayrıca deneyler esnasında sıcaklık ölçümleri $\pm 2^\circ\text{C}$ hassasiyette gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklık ölçümleri, başlangıç ve bitiş anıyla beraber yaklaşık 31 dakika süren deney sürecinin her bir dakikasında ekran görüntüsü alınmış ve deney süresince devam etmiştir. Alınan ekran görüntülerinde ki aşındırıcı disk malzemesi yüzeyinden görülen farklı tonda parlaklıklar dikkate alınmayıp sadece temas bölgesi ve civarındaki malzeme sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Farklı renk tonlarında kırmızı ölçüm alınan en yüksek sıcaklığı göstermektedir. Daha sonrasında alınan bu ekran görüntüleri üzerinden temas bölgesi sıcaklıkları belirlenmiş ve Excell programı yardımıyla grafik haline getirilmiştir. Ayrıca sıcaklık ölçümlerinde ortam sıcaklıklarının etkisi de dikkate alınmış üç kez tekrarlanan deneysel çalışmalarda deney tekrarları sabit ortam şartları olacak şekilde ayarlanarak kompozit malzemelerin ortalama aşınma davranışları belirlenmiştir.



Şekil 3.35. Termal kamera a) Cihaz b) Ekran görüntüsü c) Ölçümün şematik gösterimi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuçlar aşınma testleri öncesinde kompozit malzemelerin mekanik karakterizasyonu ve aşınma testleri sonucunda elde edilen veriler üzere iki kısımda değerlendirilmiştir.

4.1. Aşınma Testleri Öncesi Kompozit Malzemelerin Mekanik Karakterizasyonu

Bu bölümde üretimleri gerçekleştirilen kompozit malzemelerin aşınma testleri öncesinde mekanik karakterizasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılan gözeneklilik ve sertlik testi sonuçları verilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1.1. Yoğunluk ve Gözeneklilik Testi Sonuçları

Atık haldeki metallerin geri dönüştürülmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin yoğunlukları Arşimed terazisi yardımıyla ölçülmüştür. Kompozit malzemelerimizde kapalı gözenek mevcudiyeti söz konusu olduğu için Arşimed terazisinden elde ettiğimiz yoğunluk değerleri daha öncesinden karışım kuralı esas alınarak hesapladığımız teorik yoğunluk değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonrasında kompozit malzemelerimizin gözeneklilik oranları belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 4.1' de görüldüğü üzere üretim parametreleri üzerinden gruplandırılmıştır.

Çizelge 4.1 incelendiğinde genel itibariyle takviye malzemesi GGG40 miktarının artmasıyla beraber yoğunluk değerlerinin düştüğü, bununla beraber gözeneklilik değerlerinin arttığı görülmektedir. Karışım oranlarının yanı sıra üretim esnasında uygulanan sıcaklık ve basınç parametreleri de malzemelerin gözenek ve yoğunluğunu etkilemektedir. Üretim esnasında ki uygulanan basıncın artmasıyla beraber gözenek miktarında belirgin azalmalar görülmektedir. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla da talaşların birbirine daha çok yaklaşması nedeniyle gözenek miktarlarında azalmalar meydana gelmiştir. Burada sıcaklık artışı talaşların yumuşamasına, basınç artışı ise talaşların kompozit malzeme içerisindeki boşluklara yönelmesini ve gözenek miktarının azalmasını sağlamaktadır. Sertlik değerlerindeki artışın diğer bir sebebi ise üretim parametrelerinin yanı sıra matris malzemesi CuSn10' un yoğun bir plastik

deformasyona maruz kalmasıdır. Yüzeyle meydana gelen bu davranış kompozit malzemelerin sertliğini arttırmıştır.

Ayrıca üretmiş olduğumuz kompozit malzemelerin gözenek miktarını belirlemek amacıyla yağ emdirme testi uygulanmıştır. Bu test 70°C sıcaklıkta yağ içerisinde ve 700 mbar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Fakat kompozit malzemelerimizin üretimleri esnasında dış kısımlarında yoğun bir plastik deformasyon olması nedeniyle yağların iç kısımlara nüfuziyeti gerçekleşmemiştir. Bu nedenle kompozit malzeme de ki açık gözeneklerin dış kısımlarda kapanması yağ emdirme testlerinde beklenen neticeyi almamızı engellemiştir (Şahin, 2015).

Çizelge 4.1. Gözeneklilik ve yoğunluk test sonuçları

Basınç / MPa		480 MPa		640 MPa		820 MPa			
Sıcaklık / °C		400	450	400	450	400	450		
Yoğunluk gr/cm ³	Numune Kodu	Teorik Yoğunluk							
	90B10D	8,55		8,31	8,14	8,38	8,22	8,28	8,27
	80B20D	8,4		8,20	8,05	8,17	8,07	8,12	8,05
	70B30D	8,25		7,88	7,87	8,05	7,82	8,01	7,84
	60B40D	8,1		7,74	7,66	7,84	7,67	7,71	7,66
Gözenek %W	Numune Kodu								
	90B10D		2,77	2,78	2,02	3,61	3,20	3,73	
	80B20D		3,36	4,14	2,80	3,93	3,30	4,13	
	70B30D		4,44	4,57	2,83	5,16	3,02	4,93	
	60B40D		4,49	5,49	3,52	5,35	4,85	5,42	

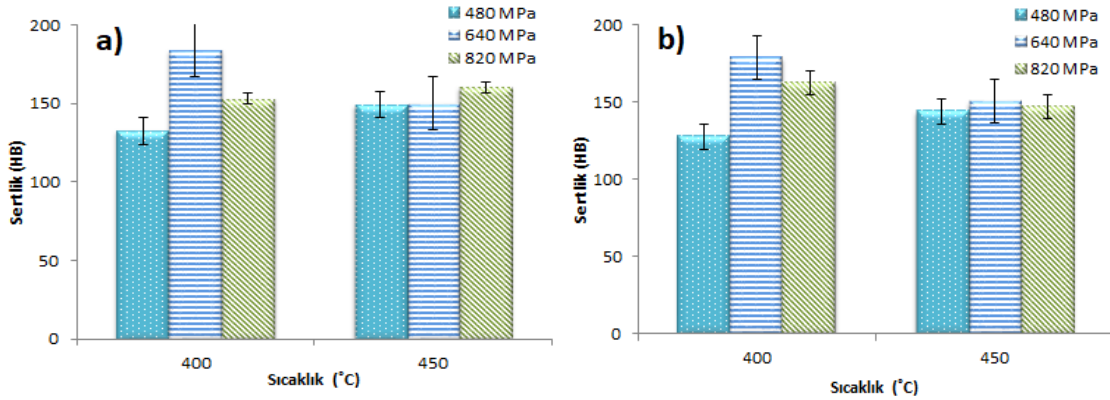
4.1.2. Sertlik Testi Sonuçları

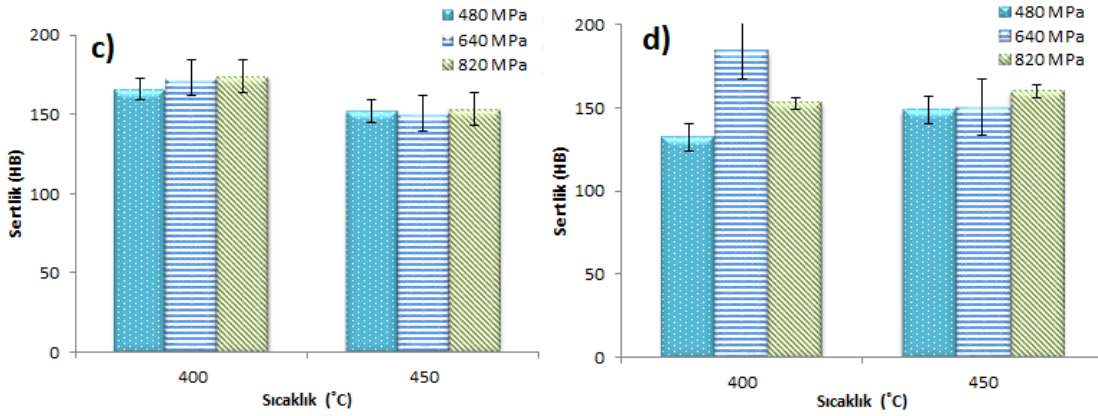
Şekil 4.1' de üretmiş olduğumuz silindirik kompozit malzemelerin brinell sertlik değerleri görülmektedir. Üretim esnasındaki farklı karışım oranlarına bağlı olarak elde edilen veriler üretim esnasında uygulanan sıcaklık ve basınç değerlerine göre gruplandırılmıştır. Grafiklerden görüldüğü üzere elde edilen sertlik değerleri üretim parametrelerinden etkilenmektedir. Brinell sertlik değerlerinin, kompozit malzemenin barındırdığı takviye malzemesi miktarından çok etkilenmediği fakat üretim esnasındaki uygulanan basınçtan önemli derecede etkilendiği tespit edilmiştir. Basıncın düşük olduğu 480 MPa durumlarında talaşlar arası birleşmenin zayıf olması nedeniyle elde edilen sertlik değerleri düşük gerçekleşmiştir.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan sıcaklık parametresi, matris malzemesi ve takviye malzemesi arasındaki bağların oluşturulması için kritik öneme

sahiptir. Üretimlerde kullandığımız talaşların yumuşama davranışları ve sonrasında uygulanan plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu direnç uygulanan sıcaklıklarla ilişkilidir (Şahin, 2015). Malzeme özelliklerine bağlı olarak uygun sıcaklık değerinin tespit edilmesi ve belirlenen sıcaklık değerlerinde üretimlerin gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Sıcaklığın olması gerekenden düşük tutulması talaşlar arasında yeterli yapısal bütünlüğün ve deformasyon sertleşmesinin oluşmasına engel oluşturacaktır, bununla beraber üretim sıcaklığının yüksek tutulması ise deformasyon sertleşmesini etkileyecektir. Ayrıca kompozit malzemelerin sahip olduğu gözenek miktarı da elde edilen sertlik değerlerini etkileyebilmektedir. Sertlik ölçümlerinin alındığı yüzey bölgesinde gözenek mevcudiyetinin fazla olması elde edilen sertlik değerlerini düşürmektedir.

Şekil 4.1' de görüldüğü üzere kompozit malzemelerin brinell sertlik değerleri ortalama olarak 155-165 HB değerlerine ulaşmaktadır. Döküm yöntemiyle elde edilmiş her iki malzemenin kütle haldeki CuSn10' un sertliği 107 HB, GGG40' ın sertliği 170-220 HB aralığındadır (Şahin, 2015). CuSn10' un sertlik değerinin göz önünde bulundurulmasıyla kompozit malzemelerin sertlik değerinde %54,2 oranında artan iyileştirme sağlanmıştır. Dolayısıyla gerçekleştirdiğimiz çalışmalar neticesinde kompozit malzemelerin üretimleri esnasında etkin deformasyon sertleşmesinin sağlandığı ve mukavemetli bir yapının elde edildiği gözlemlenmiştir.





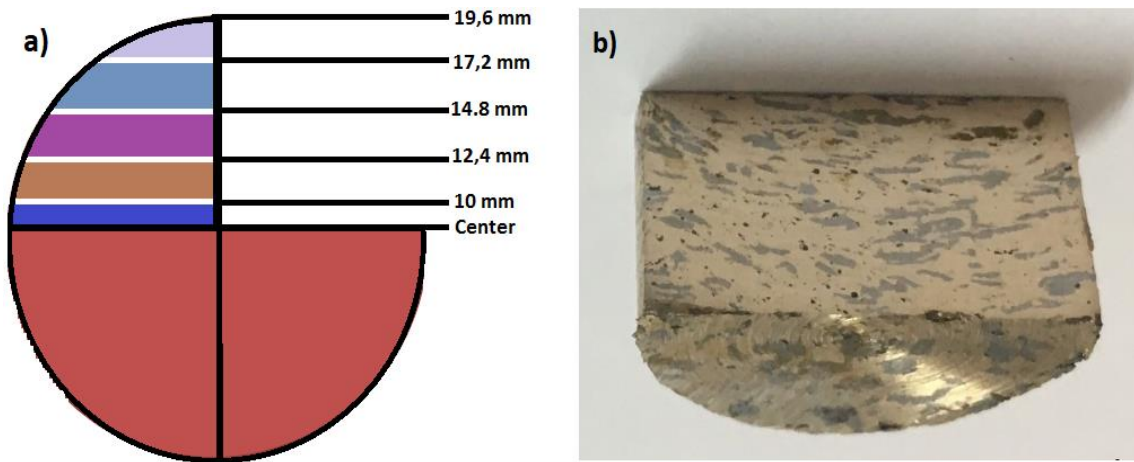
Şekil 4.1. Brinell sertlik testi sonuçları a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D

Radyal Konuma Bağlı Olarak Sertlik Değişimleri:

Aşınma testlerinde kullanılacak malzemelerin hazırlanmasında, özellikle kompozit malzemelerin sahip olduğu mekanik özelliklerin homojen bir şekilde olması oldukça önemlidir. Bu nedenle bu homojenliğin silindirik malzemelerin her bir radyal konumunda sağlanmasına dikkat edilmiştir.

Aşınma testlerinde başlangıç temas bölgesi ilerleyen süreçlerde aşınma davranışına bağlı olarak artmakta veya geometrik konumlamaya bağlı olarak azalabilmektedir. Bu amaçla 450 °C ve 820 MPa basınçta farklı karışım oranlarında üretilen silindirik kompozit malzemelerin öncelikle radyal konuma bağlı olarak mekanik özelliklerinde ki değişimler araştırılmıştır. Şekil 4.2’ de gösterildiği üzere 19.6 mm çapında ve 10 mm yükseklikte ki malzemeler dış yüzeyden iç kısma doğru 2.4 mm aralıklarla dilimlenerek her katmandaki gözenek yapısı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Her bir düzlem için tıraşlama işleminde freze tezgâhı kullanılmış, daha sonrasında yüzeyler zımpara yardımıyla temizlenmiştir. Böylece aşınma test numunelerinin hazırlanırken aşınma temas bölgesinin en uygun şekilde seçilmesi amaçlanmıştır.

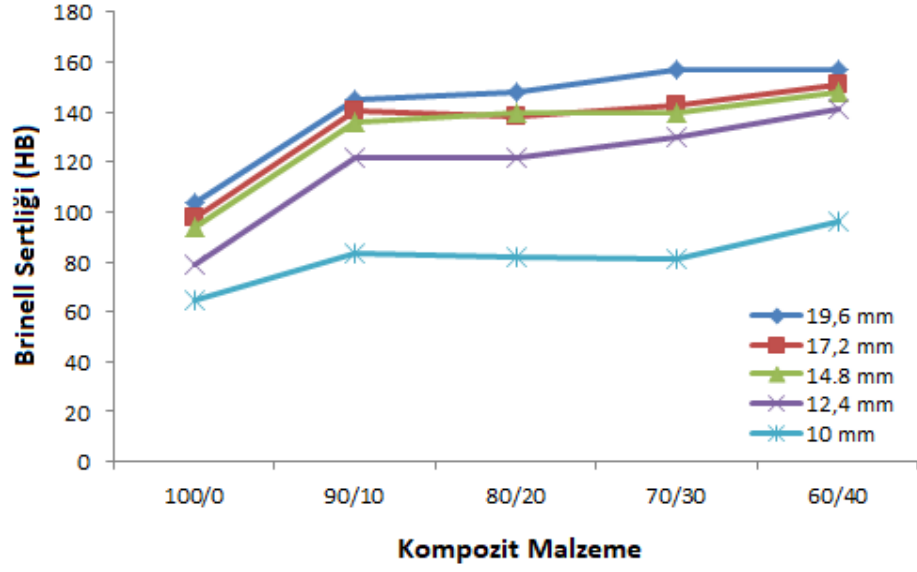
Ölçümlerimizde dıştan içe doğru her 2,4 mm’ de bir incelemeler yapılmıştır. Şekil 4.2’ de bu ölçümlerin yapıldığı noktalar belirtilmiştir. Dış yüzeyden itibaren iç kısımlara doğru 2,4 mm aralıklarla taşlama tezgâhında yüzeyleri alınmış ve yüzey parlatma cihazında yüzeyleri 400-800-1200’ lik kum zımparalarda yapılacak ölçümlere uygun hale getirilmiştir.



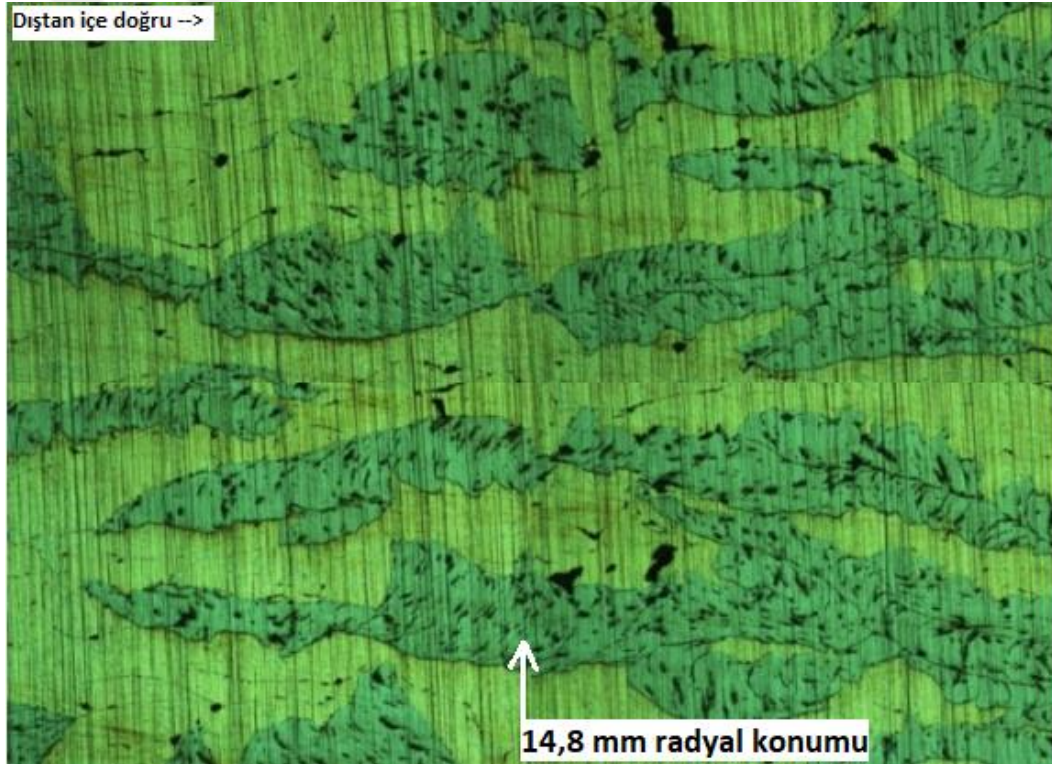
Şekil 4.2. a) Radyal konuma bağlı sertlik ölçüm noktaları b) 12,4 mm konumu kesiti (60B40D)

Şekil 4.3' de farklı karışım oranlarına bağlı olarak üretimi gerçekleştirilen metal matrisli kompozit malzemelerin farklı radyal konumlarda elde edilen sertlik değerleri görülmektedir. Üretim esnasında plastik deformasyona maruz kalan kompozit malzemelerin genel olarak dış kısımlarında en yüksek sertlik değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bununla beraber karışım oranlarına bağlı olarak GGG40 takviye malzemesinin miktarının artmasıyla beraber sertlik değerleri de artmaktadır. Ayrıca sertlik değerlerinden görüldüğü üzere alt referans noktasından 12,4-19,6 mm aralığında ki radyal konumlarda sertlik değerleri çok değişmemesine rağmen merkeze yaklaşıldıkça sertlik değerinde kısmen azalmalar olmaktadır. Bu azalmaları merkeze doğru yaklaştıkça gözenekli yapıların artması veya üretim esnasında ısı iletiminin iyi sağlanamamasından kaynaklı yetersiz birleşme şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' de farklı radyal konumlarda alınan mikroskop görüntülerinde açıkça görülmektedir. Fakat aşınma deneylerinde göz önünde bulundurulan bölgelerde belirgin değişimler olmaması nedeniyle kompozit malzemelerimiz homojen kabul edilmiştir. Ayrıca takviye malzemesi GGG40' ın CuSn10' a göre sertliğinin yüksek olması nedeniyle karışım oranında takviye malzemesinin fazla olduğu kompozit malzemelerde elde edilen sertlik değerleri yüksek çıkmıştır.

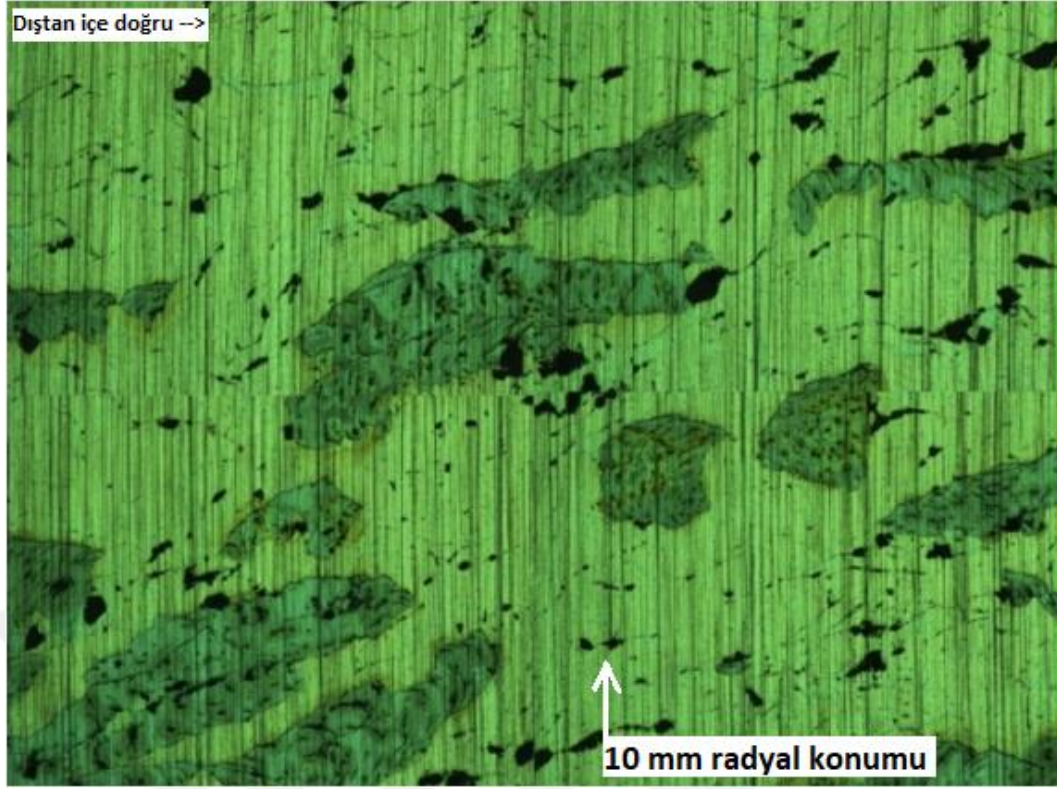
Aşınma testleri için kompozit malzemelerin belirlenen geometrilerinin belirlenmesinde radyal konuma bağlı olarak elde edilen sertlik verileri önemli rol oynamış ve sertlik değerlerinin düşmediği noktalar göz önünde bulundurularak aşınma deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.3. Sertlik ölçüm sonuçları (450°C ve 820 MPa)



Şekil 4.4. 60B40D malzemesinin 14,8 mm radyal konumunda mikroskop görüntüsü (50X)

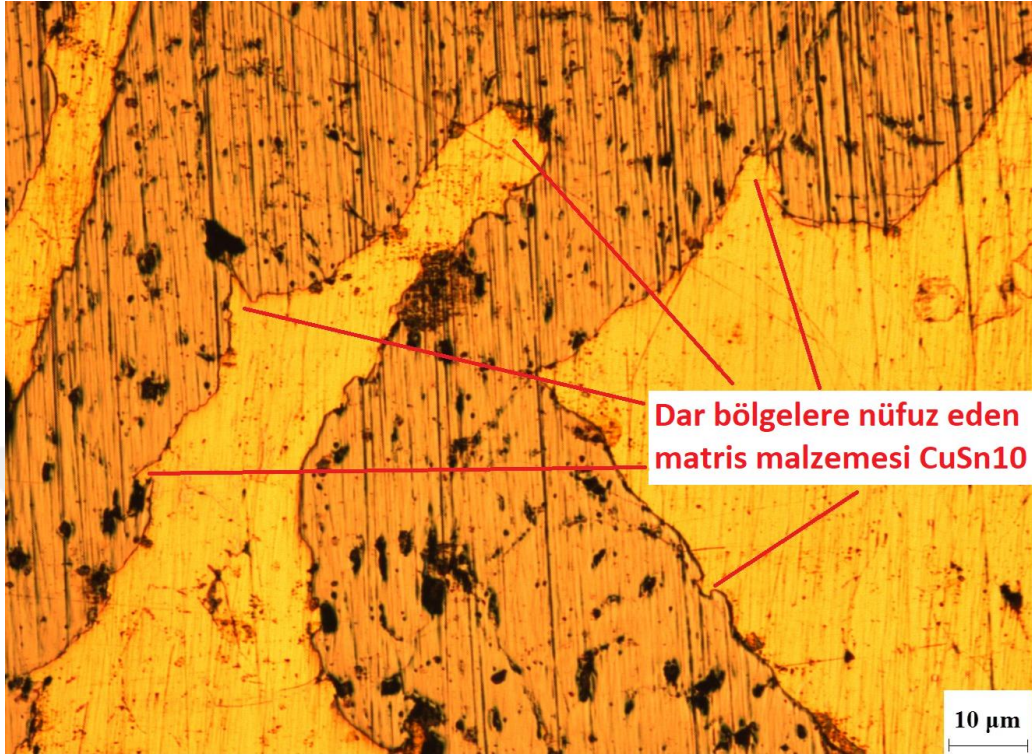


Şekil 4.5. 60B40D malzemesinin 10 mm radyal konumunda mikroskop görüntüsü (100X)

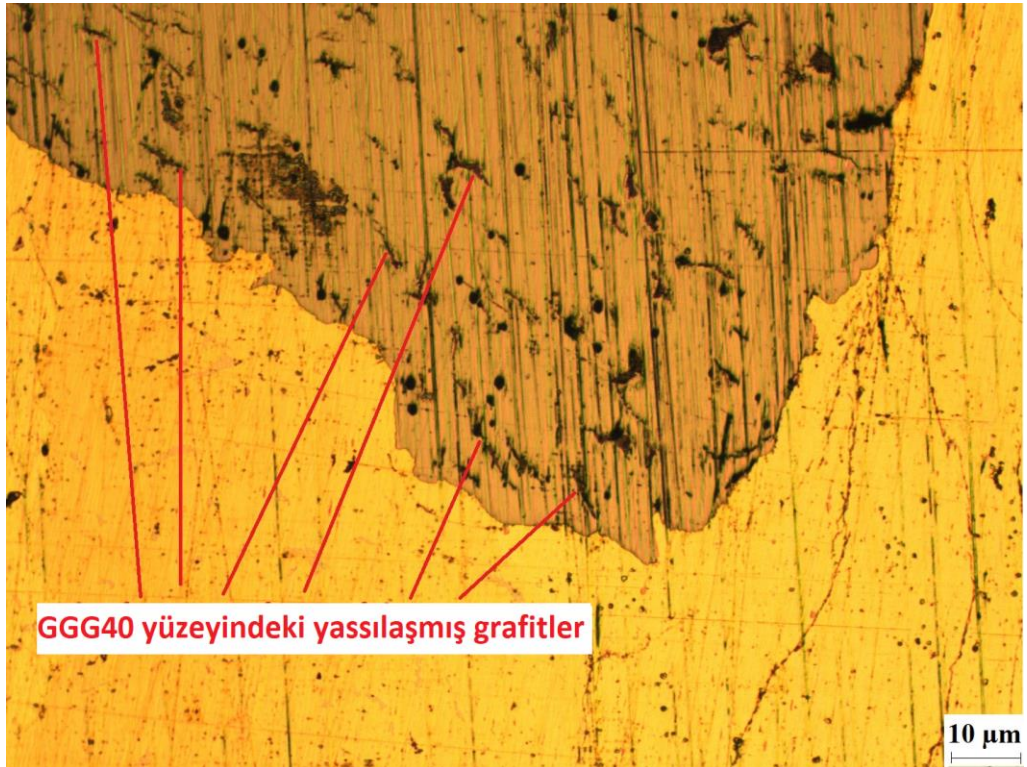
4.1.3. Mikro Yapı

Üretimler esnasında uygulanan farklı iki sıcaklık (400°C ve 450°C) ve farklı üç basınç (480 MPa, 640 MPa ve 820 MPa) türünde üretilen kompozit malzemelerin mikro yapı görüntülerinde birbirine benzer yapılar gözlemlenmiştir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de 450°C ve 480 MPa' da üretilen kompozit malzemelere ait mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Talaşlar arasında ki boşlukların ve gözenekli yapıların, talaşlar arası birleşmeyi etkilemeyecek şekilde minimize edildiği ve oldukça iyi bir birleşmelerin sağlandığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla belirlenen üretim parametrelerinin istenen özellikteki kompozit malzemelerin elde edilmesinde yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca mikro yapıların incelenmesiyle düşük sıcaklık veya basınçta talaşlar arası istenen birleşmenin sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzemelerin üretimleri esnasında Şekil 4.7' de görüldüğü üzere GGG40 talaşlarının uygulanan basınçla beraber şeklini değiştirebildiği ve mevcut grafit yapıların sünek yapılarını koruduğu görülmektedir. Bu durum basma yüküne maruz durumlarda

mukavemeti artırırken, çekme yüküne maruz kalması durumunda istenmeyen zayıflıklara sebep olabilmektedir. (German, 2007)



Şekil 4.6. 60B40D Kompozit malzemesi mikro yapısı (450°C, 480 MPa) (Şahin, 2015)



Şekil 4.7. 60B40D Kompozit malzemesi mikro yapısı (450°C, 480 MPa) (Şahin, 2015)

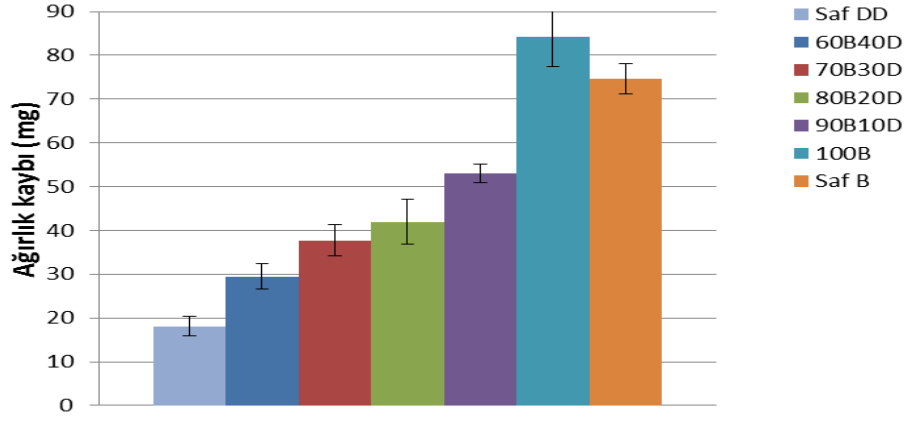
4.2. Aşınma Testi Sonuçları

Aşınma testleri öncesinde bir önceki bölümde sunulan mekanik test sonuçları aşınma testlerinin değerlendirilmesinde önemli katkı sağlamıştır. Bu bölümde çift etkili sıcak presleme yöntemiyle atık halden geri dönüşümleri sağlanan kompozit malzemelerin block on disc aşınma test sonuçları sunulmuştur. Ayrıca aşınma davranışlarının incelenmesi kompozit malzemelerin üretim parametreleri ve kompozit malzeme bileşenleri esas alınarak değerlendirilmiş ve elde edilen veriler neticesinde kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir.

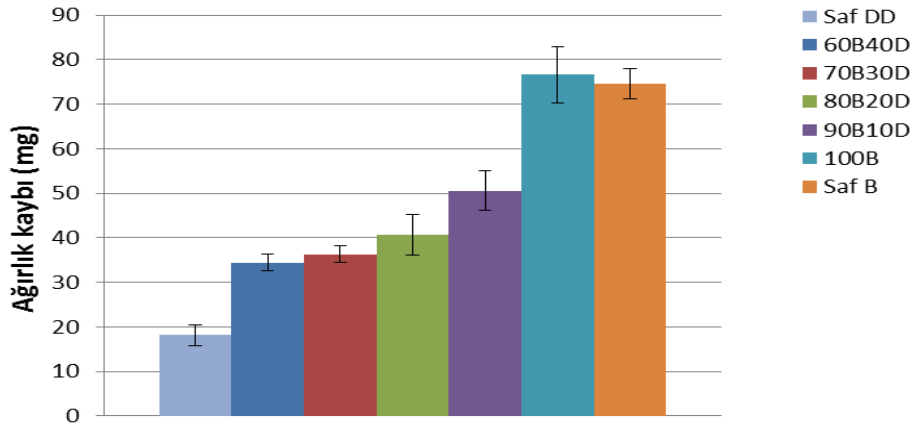
4.2.1. Aşınma Sonrası Ağırlık Kayıpları ve Özgül Aşınma Miktarı Değişimleri

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' de aşınma testleri sonrasında kompozit malzemelerde meydana gelen ağırlık kayıpları gösterilmiştir. Bu ağırlık kayıpları aşınma öncesi ve aşınma sonrası hassas terazide kompozit malzemelerin ağırlıklarının ölçülmesiyle belirlenmiştir. Şekil 4.8' de 400°C' de farklı basınçlarda üretilen kompozit malzemelerin ağırlık kayıpları gösterilmektedir. Üretim esnasında uygulanan basıncın artmasıyla beraber aşınma esnasındaki ağırlık kayıpları genel olarak azalmakta, aşınma esnasında ki yüzey yapısının değişimleri nedeniyle bu davranışta ufak farklılıklar görülebilmektedir. Farklı karışım oranlarının aşınma davranışına etkisi ise takviye malzemesi olarak kullanılan GGG40' ın miktarına bağlı olarak değişmektedir. GGG40 malzemesinin CuSn10 malzemesine nazaran daha sert bir malzeme olması, karışım oranı içerisinde ki GGG40 miktarının artmasıyla beraber aşınma miktarını da azaltmıştır. Şekil 4.9' de ise 450 C de farklı basınçlarda üretilen kompozit malzemelerin ağırlık kayıplarını göstermektedir. Her iki şekilde belirtilen grafiklerde saf bronz ve saf dökme demir malzemesinin aynı aşınma deneyi şartlarındaki aşınma kayıpları gösterilmiştir. Şekil 4.8-4.9' deki aşınma sonrası ağırlık kayıpları incelendiğinde saf dökme demirin ağırlık kaybının oldukça az olduğu buna karşın saf bronzun ağırlık kaybının ise oldukça fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca saf bronz ve tamamı bronz talaşlarından üretilen malzemelerin aşınma kayıpları da üretim esnasında ki basınca bağlı olarak değişmektedir. Kompozit malzemelerin üretim basıncının yüksek olması sıcaklığında etkisiyle talaşlar arasında daha iyi birleşme sağlamaktadır. Ayrıca takviye malzemesine bağlı olarak değişen gözenek yapısı aşınma davranışını etkilemektedir

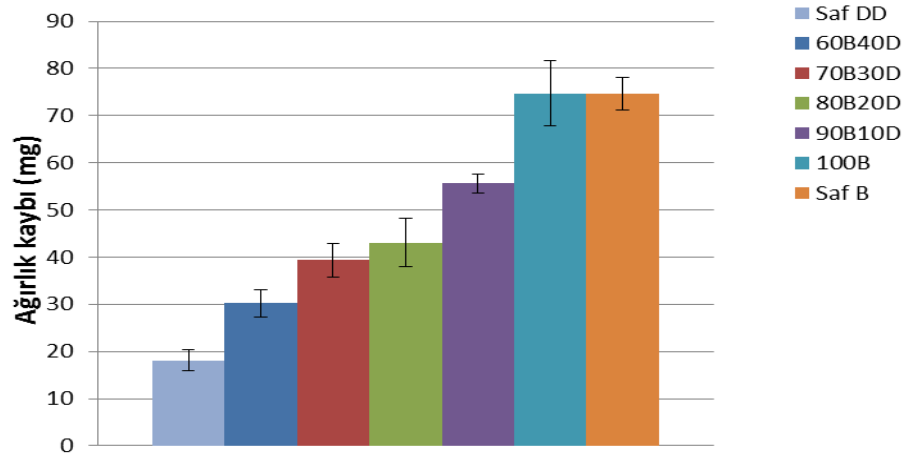
(Karadağ, 2012). Bu durum takviye malzemesi GGG40' ın artmasıyla gözenek miktarı artışına bağlı olarak aşınma miktarlarında artış olarak gözlemlenmiştir.



a)

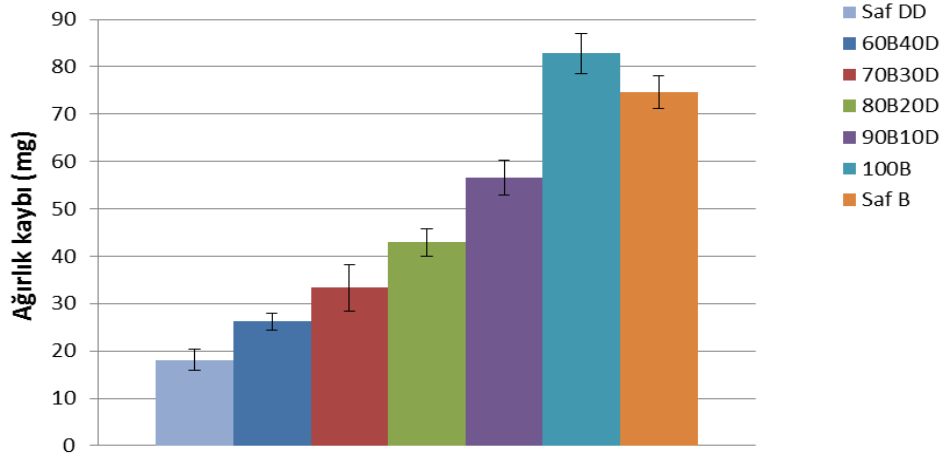


b)

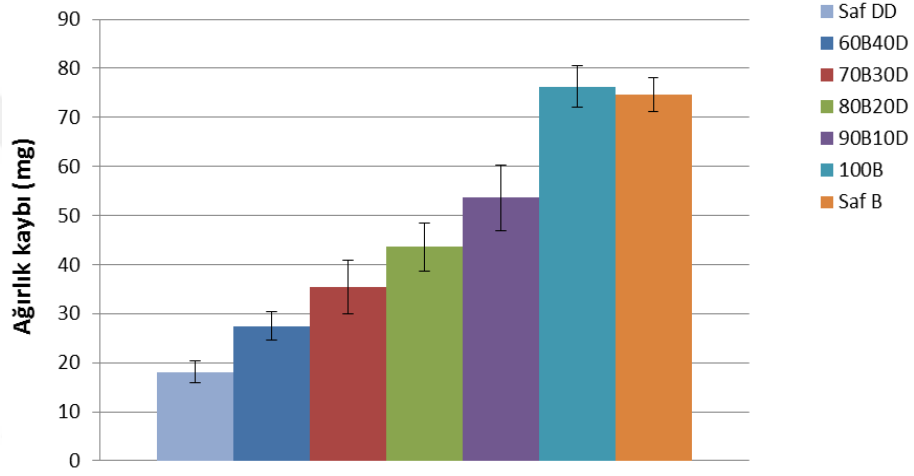


c)

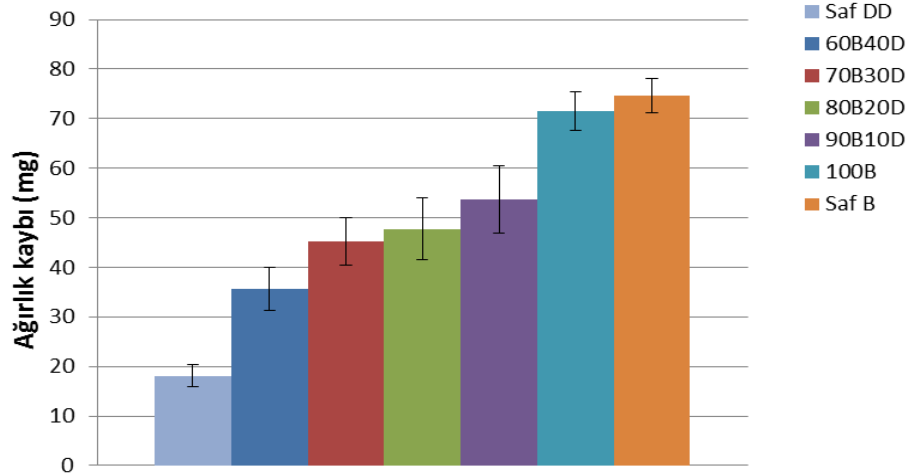
Şekil 4.8. Farklı basınçlarda 400°C' de üretilen kompozit malzemelerin 2000 m aşınma sonrası ağırlık kayıpları (mg) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa



a)



b)

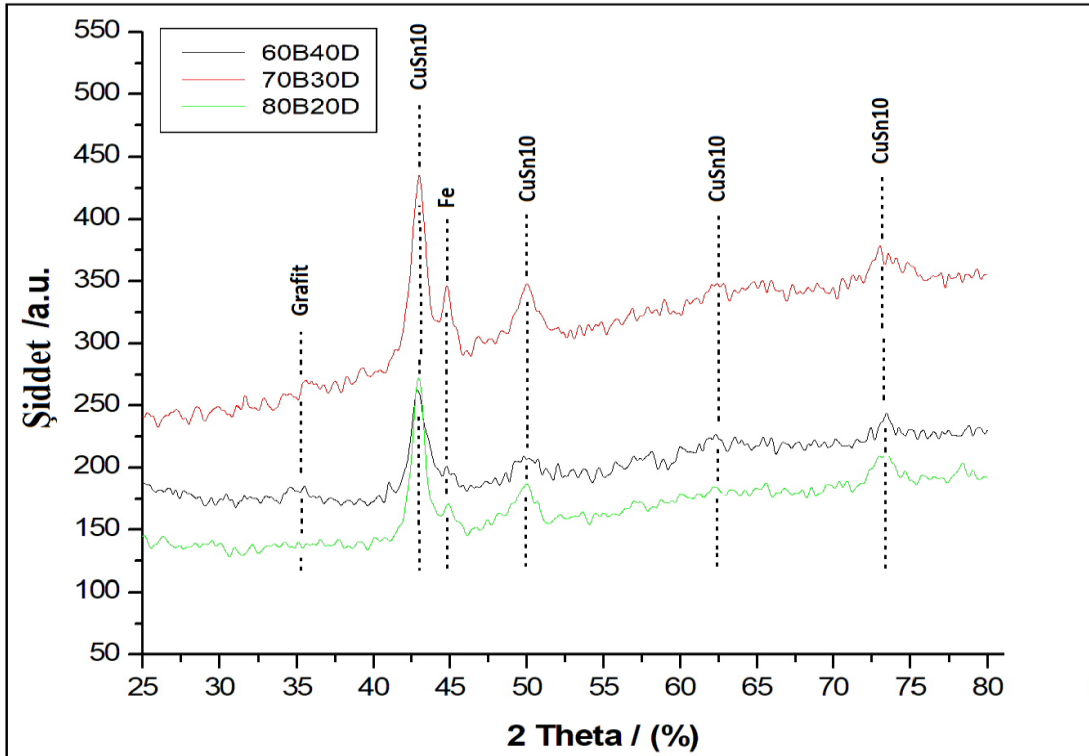


c)

Şekil 4.9. Farklı basınçlarda 450°C' de üretilen kompozit malzemelerin 2000 m aşınma sonrası ağırlık kayıpları (mg) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa

Aşınma sonrası XRD değerlendirmesi:

Atık metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin, sıcak presleme sonrası talaşlar arasında herhangi bir faz dönüşümünün olmadığı aşınma testleri öncesinde yapılan çalışmada belirlenmiştir (Şahin, 2015). Gerçekleştirilen aşınma testleri sonrasında aşınma bölgesi yüzeylerinden kopan belirli miktarda ki tozlar XRD analizinde incelenmiş ve Şekil 4.10' de ki grafik elde edilmiştir. XRD analizlerinde yapılar arasında herhangi bir intermetalik yapının oluşup oluşmadığı incelenmektedir. Şekil 4.10' de görüldüğü üzere 450°C' de ve 820 MPa' da üretilen farklı üç karışım oranında malzemelerin aşınma testleri sonrası XRD analizleri sunulmaktadır. 36.3°, 42.8°, 44.5°, 50°, 62° ve 73.3° noktalarında gözlemlenen ani yükseklikler farklı malzeme türlerini temsil etmektedir. Burada 42.8°, 50°, 62° ve 73.3° noktalarında ki ani yükseklikler CuSn10 malzemesini göstermektedir. Ayrıca 36.3° noktası yapıdaki grafiti, 44.5° noktası ise yapı içerisinde Fe' yi belirtmektedir (Şahin, 2015). Elde edilen bu sonuçlara göre aşınma sonrasında elde edilen XRD sonuçlarının benzer olduğu, aşınma sonrasında yeni oluşan veya kaybolan herhangi bir bileşenin olmadığı belirlenmiştir.



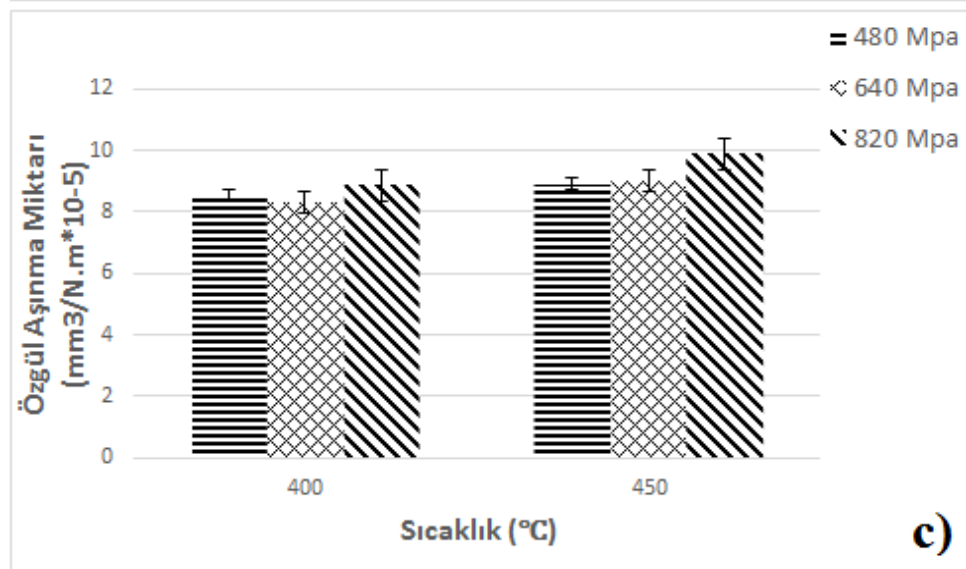
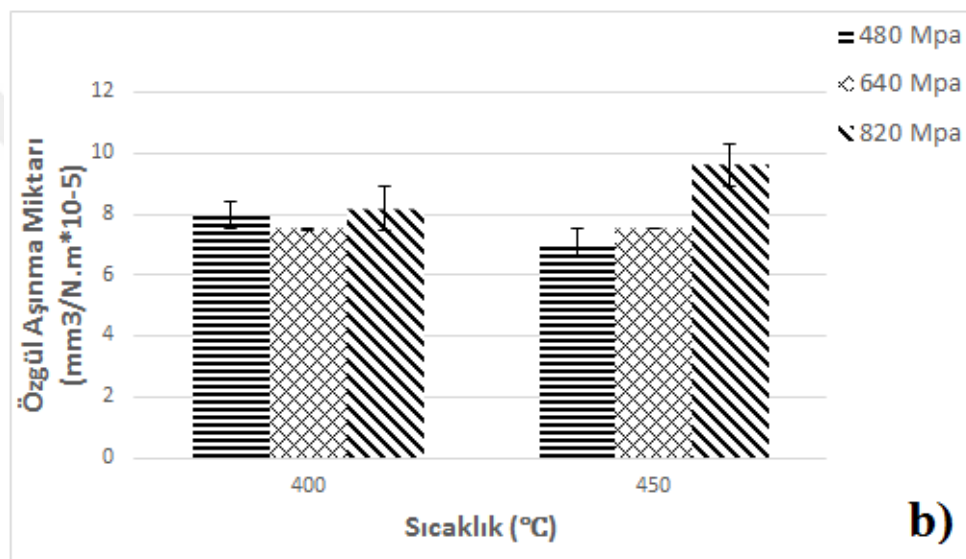
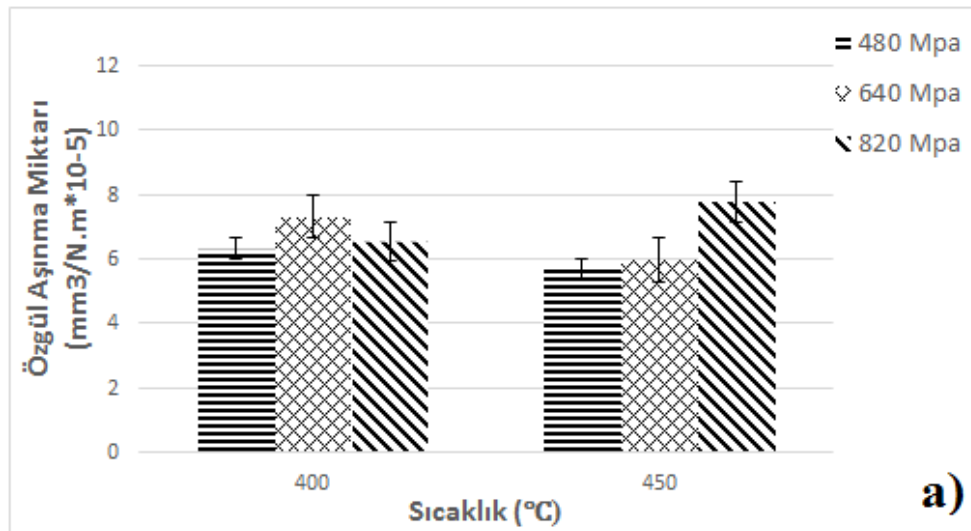
Şekil 4.10. Aşınma testleri sonrası XRD sonuçları

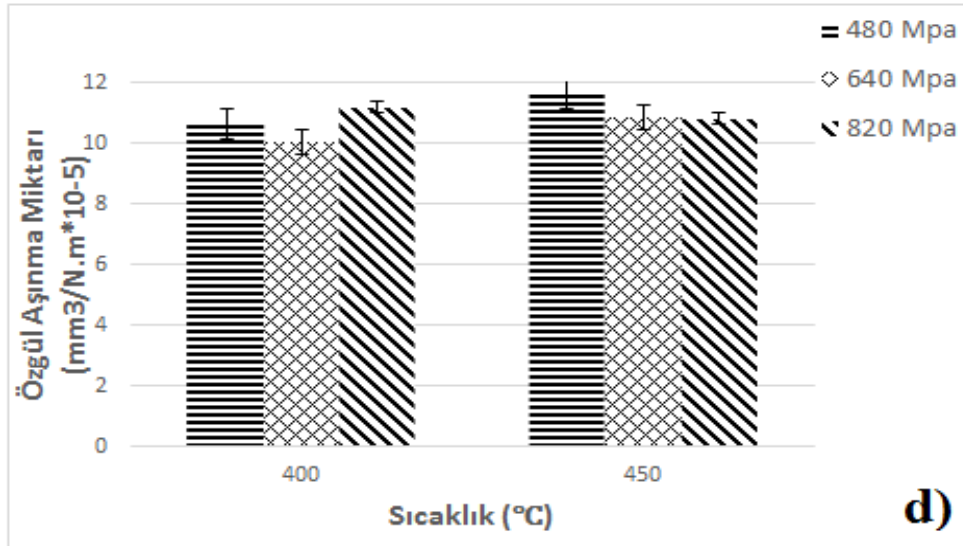
Şekil 4.11' de kompozit malzemelerin aşınma testleri sonrasında elde edilen özgül aşınma miktarları gösterilmektedir. Özgül aşınma miktarlarının belirlenmesinde aşağıda belirtilen özgül aşınma denklemi (4.1) esas alınmıştır. Bu denklemde W_s özgül aşınma miktarını, ΔV hacimsel malzeme kaybını, Δm ağırlık kaybını, ρ yoğunluğu, F_n uygulanan normal kuvveti, L ise kat edilen toplam yol uzunluğunu belirtmektedir.

$$\dot{W}_s = \frac{\Delta V}{F_n L} = \frac{\Delta m}{\rho F_n L} \quad (4.1)$$

Özgül aşınma miktarının hesaplanmasında her bir kompozit malzemenin yoğunluğu ve aşınma miktarı arasında bir ilişki olduğu ilgili denklemden anlaşılmaktadır. Aşınma esnasında malzeme yüzeyine uygulanan kuvvetin yüzeyde oluşturduğu basınç, yüzey yapısına bağlı olarak değişecektir. Dolayısıyla bu değişim p.V faktörü değerini de etkileyecektir. Aşınan yüzeylerdeki gözenek miktarının fazla olması özgül aşınma miktarını etkilemekte, aynı miktarlarda aşınma olsa bile sahip olduğu gözenekli yapı özgül aşınma davranışını değiştirmektedir (Karadağ, 2012). Özgül aşınma miktarı değerleri incelendiğinde, takviye malzemesi GGG40' ın miktarına bağlı olarak sonuçlar önemli oranda değişmektedir. 90B10D karışım oranında olduğu gibi GGG40 miktarının az olduğu karışım oranlarında daha yüksek özgül aşınma değerleri elde edilmiştir. Bunda karışım oranlarına bağlı olarak daha az gözenekli yapılarda daha fazla miktarda hacimsel aşınmanın gerçekleşmesi etkili olmuştur.

Ayrıca üçerli tekrarlar şeklinde yapılan aşınma deneyleri sonrasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde özgül aşınma miktarlarında kompozit malzemelerin üretimi esnasında kullanılan sıcaklık ve basınç parametrelerinin çok fazla etkili olmadığı gözlenmiştir. Üretim basıncının farklı olduğu kompozit malzemelerde elde edilen aşınma oranları ortalama olarak birbirine benzer davranışlar göstermiştir. Üretim sıcaklığının 450°C olduğu kompozit malzemelerde azalan gözenek miktarına bağlı olarak birim hacim içerisindeki aşınan malzeme miktarı artmıştır. Bu durum Şekil 4.11' de görülmektedir.





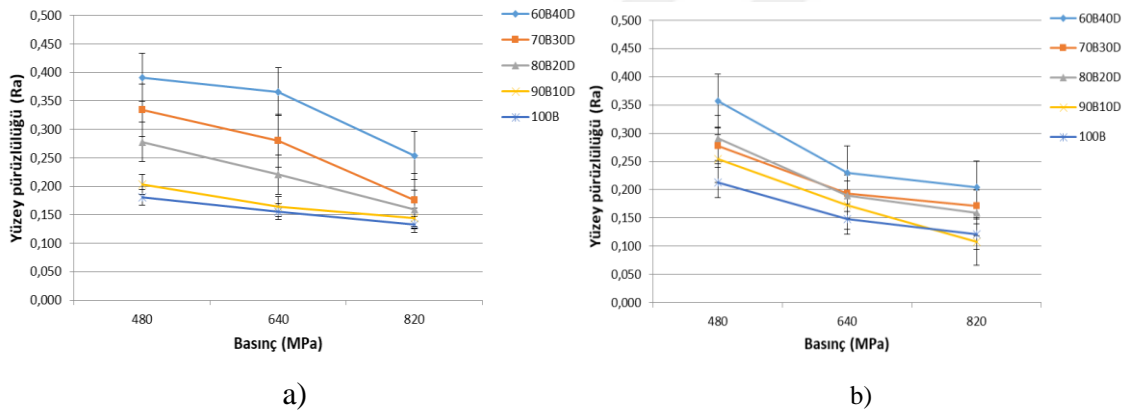
Şekil 4.11. Özgül aşınma miktarları a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D

4.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Değişimleri

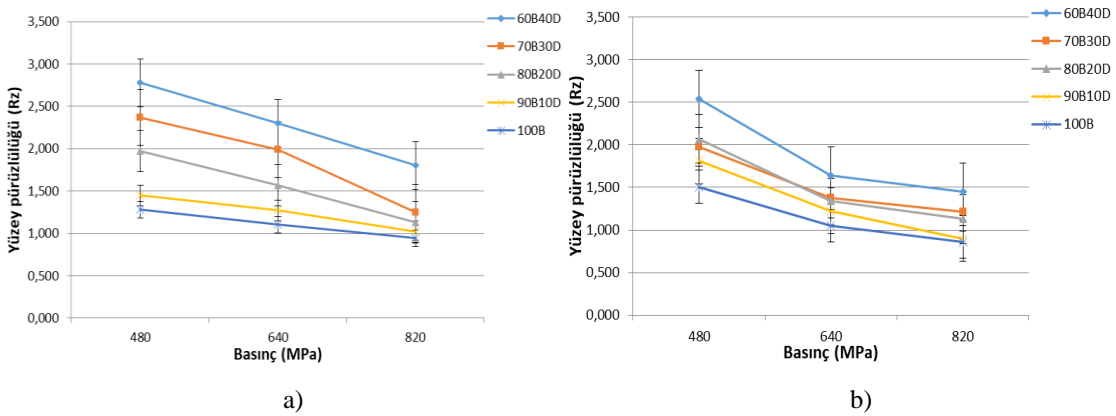
Şekil 4.12 ve Şekil 4.13' de aşınma testleri sonrasında kompozit malzeme yüzeylerinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişimleri gösterilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri aşınma doğrultusuna dik doğrultuda ve 2,5 mm' lik tarama aralığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12 ortalama yüzey pürüzlülüğü olarak ifade edilen R_a ' yı, Şekil 4.13 ise ortalama pürüzlülük yüksekliği olarak ifade edilen R_z ' yi ifade etmektedir. Aşınma testleri öncesinde bütün kompozit malzemeler R_a yüzey pürüzlülükleri 0,15-0,20 aralığında olacak şekilde taşlama tezgahında hazırlanmıştır. Şekil 4.12a 400°C' de, Şekil 4.12b ise 450°C' de üretilen kompozit malzemelerin R_a yüzey pürüzlülüğü değerlerini göstermektedir. Farklı karışım oranlarında üretilen kompozit malzemelerle beraber tamamı CuSn10 talaşlarından elde edilen malzeme aşınma testlerine tabi tutularak, referans malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Her iki sıcaklıkta da üretilen kompozit malzemelerde de 480 MPa basınçta üretilen kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri yüksek çıkmıştır. Üretim basıncının artmasıyla beraber aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır. Burada üretim basıncının artmasıyla talaşlar arası daha iyi bir birleşmenin sağlandığı, matris malzemesi bronzun artan plastik deformasyonu ile beraber mukavemetin arttığı ve aşınma esnasında kompozit malzeme yüzeylerindeki yüksek sertlik yapısının daha az yüzey bozulmalarına sebep olduğu görülmüştür. Grafiklerden görülen bir diğer husus ise 450°C' de üretilen kompozit malzemelerin 400°C' de üretilen kompozit

malzemelere nazaran her üretim basıncında da yüzey pürüzlülükleri birbirine daha yakın çıkmaktadır.

Farklı karışım oranlarında ki kompozit malzemelerde takviye malzemesi GGG40' in miktarının artmasıyla beraber aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bunda GGG40' in ağırlıkça fazla olduğu karışım oranlarında gözenek miktarının fazla olması ve aşınma esnasında aşınan parçacıklarla beraber bu gözenekli yapıların daha fazla yüzey yapısını bozmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.12' de görüldüğü üzere aşınma testleri sonrasında 60B40D karışım oranında ki kompozit malzemelerde R_a değerleri 400°C' de 0,25-0,38 değerlerine, 450°C' de 0,20-0,35 olarak gerçekleşmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan GGG40' in miktarına bağlı olarak bu değer azalmaktadır. Şekil 4.13' de gösterilen R_z değerleri de R_a sonuçlarında benzer ilişkili olarak görülmektedir.



Şekil 4.12. R_a yüzey pürüzlülüğü değişimleri a)400°C b)450°C



Şekil 4.13. R_z yüzey pürüzlülüğü değişimleri a)400°C b)450°C

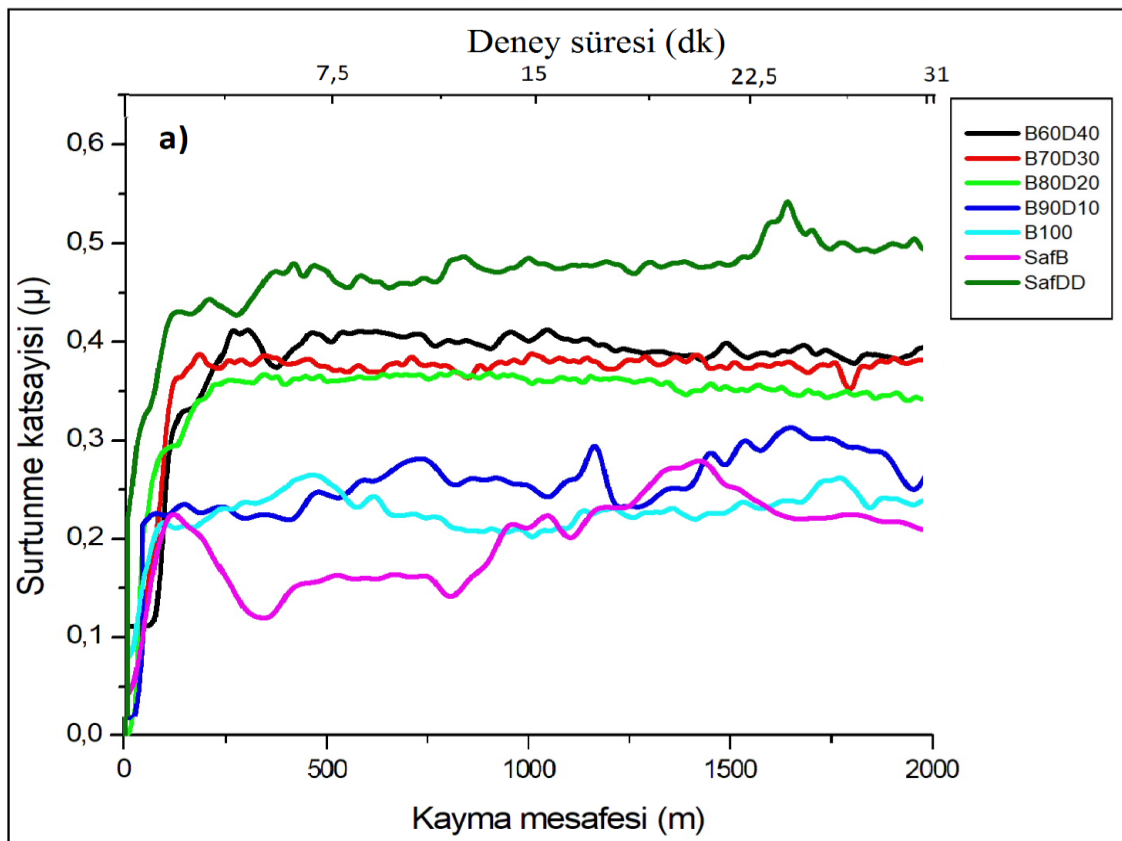
4.2.3. Sürtünme Katsayısı Değişimleri

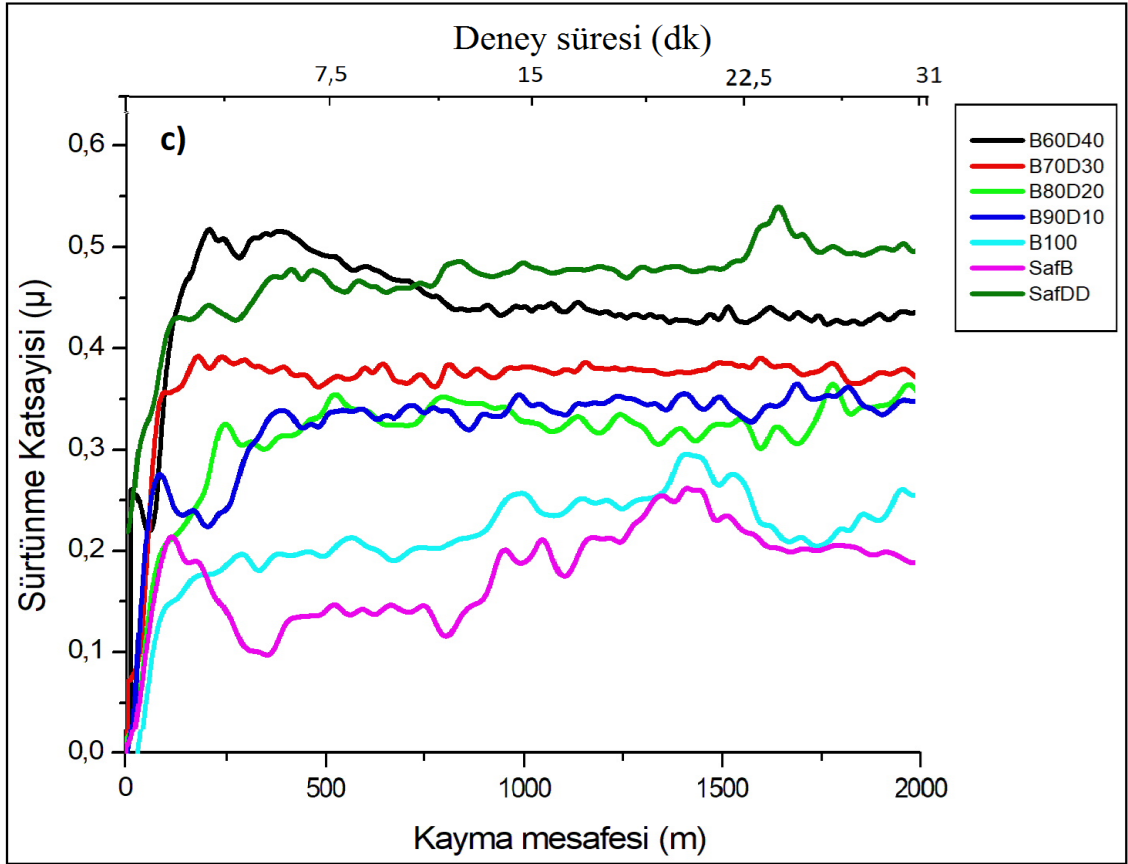
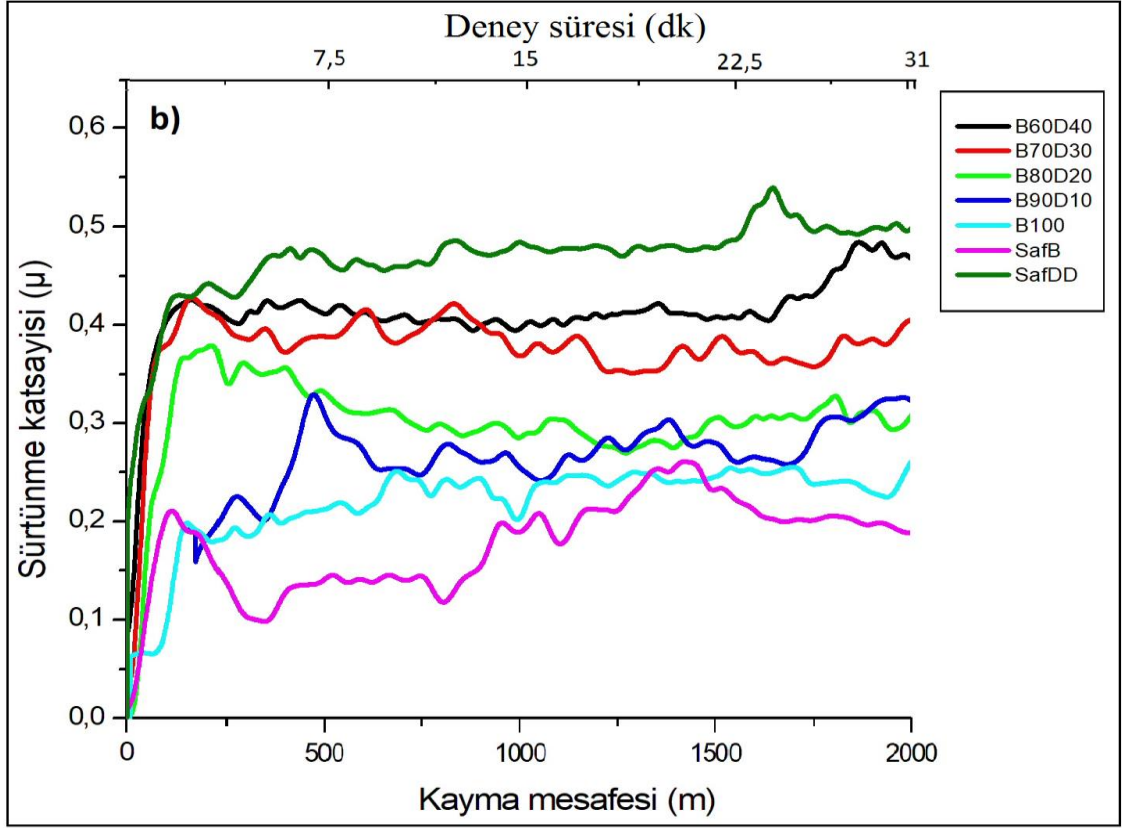
Şekil 4.14' de 400°C ve Şekil 4.15' de 450°C' de üç farklı basınçta üretilen kompozit malzemelerin aşınma deneyleri esnasında ölçülen sürtünme katsayısı değişimleri görülmektedir. Dört karışım oranıyla beraber saf bronz, saf dökme demir ve tamamı CuSn10 talaşlarından belirtilen sıcaklık ve basınçta üretilen malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri de aşınma mesafesine bağlı olarak sunulmuştur. Böylece birbirleriyle kıyaslanarak malzeme davranışlarının daha iyi değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Aşındırıcı disk hızının 400 d/dk (1,06 m/sn) olduğu deneysel çalışmalarda toplam aşınma mesafesi 2.000 m' nin tamamlanması yaklaşık 31 dakika sürmektedir. Sürtünme katsayısı veri alımı her iki saniyede bir olacak şekilde bu süre boyunca sürmüştür. Aşındırıcı disk hızının seçilmesinde matris malzemesi CuSn10 için daha önce yapılan yatak malzemesi olarak aşındırılması ile ilgili deneysel çalışmalar dikkate alınmıştır (Ünlü, 2007; Unlu ve Atik, 2010). Bu çalışmalarda kullanılan p.V faktörü değerlerine uygun olarak başlangıç hız ve yük değerleri seçilmiş ve aşınma testleri neticesinde takviye malzemesi GGG40' ın etkisi üretim parametreleri dikkate alınarak beklenildiği şekilde gözlemlenmiştir.

Grafiklerde genel itibariyle karışım oranına bağlı olarak değişen 160-210 m kayma mesafelerinde rodaj bölgesi tamamlanmaktadır. Rodaj, malzemelerin asıl aşınma davranışları öncesinde yüzeylerdeki tepelik veya sivriliklerin düşük yükte ve hızda ön aşındırma ile giderilmesidir. Böylece temas bölgesi alanı artarak malzemelerin aşınma davranışını etkileyen olumsuzluklar giderilmiş olur. Sürtünme katsayısının değişim eğrilerinde de başlangıçta yüzeylerde aşınma miktarı azdır fakat ilerleyen aşınma mesafelerinde yüzey alanının artmasıyla beraber aşınma miktarı da artmakta ve bu durum sürtünme katsayısını ani olarak yükselmektedir. Rodaj bölgesi sonrasında sürtünme katsayısı değişimleri malzeme davranışlarına göre değişmektedir. Saf dökme demir malzemesinin sürtünme katsayısı değişimleri kompozit malzeme ve saf bronz göre yüksektir. Karışım oranı içerisinde ki GGG40 miktarının artmasıyla beraber elde edilen sürtünme katsayısı değerleri artmaktadır. Ayrıca üretim basıncının 640 MPa olduğu Şekil 4.14b' de aşınma mesafesinin artmasıyla elde edilen sürtünme katsayısı eğrisindeki ani değişimler diğer iki basınçta üretilen kompozit malzemelere nazaran daha belirgindir. Bunda yüzey gözenek yapısı ve sertliklerdeki farklılıkların önemli rol oynadığı düşünülmüştür (Shamsudin ve ark., 2016). Daha önce belirtilen gözenek ve

sertlik değerleri göz önünde bulundurulduğunda Şekil 4.14a ve Şekil 4.14c' de elde edilen daha düzenli eğriler beklenen bir durumdur.

Her üç üretim basıncında 400°C' de üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri incelendiğinde 60B40D, 70B30D ve 80B20D karışım oranlarında ki aşınma numunelerinin benzer karakteristikte olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Şekil 4.14c' de her dört karışım oranında da yaklaşık 670-820 m aşınma mesafelerinden sonra benzer bir şekilde sürtünme katsayısında azalma rejimi gözlemlenmiştir. Bu davranış aşınan takviye malzemesi GGG40' ın içerdiği küresel grafitlerin zaman içerisinde aşınma bölgesinde oluşan yağlayıcı etkisi olarak değerlendirilmiştir. Bu etki 450°C' de üretilen kompozit malzemelerde de Şekil 4.15c' de belirgin bir şekilde görülmektedir.



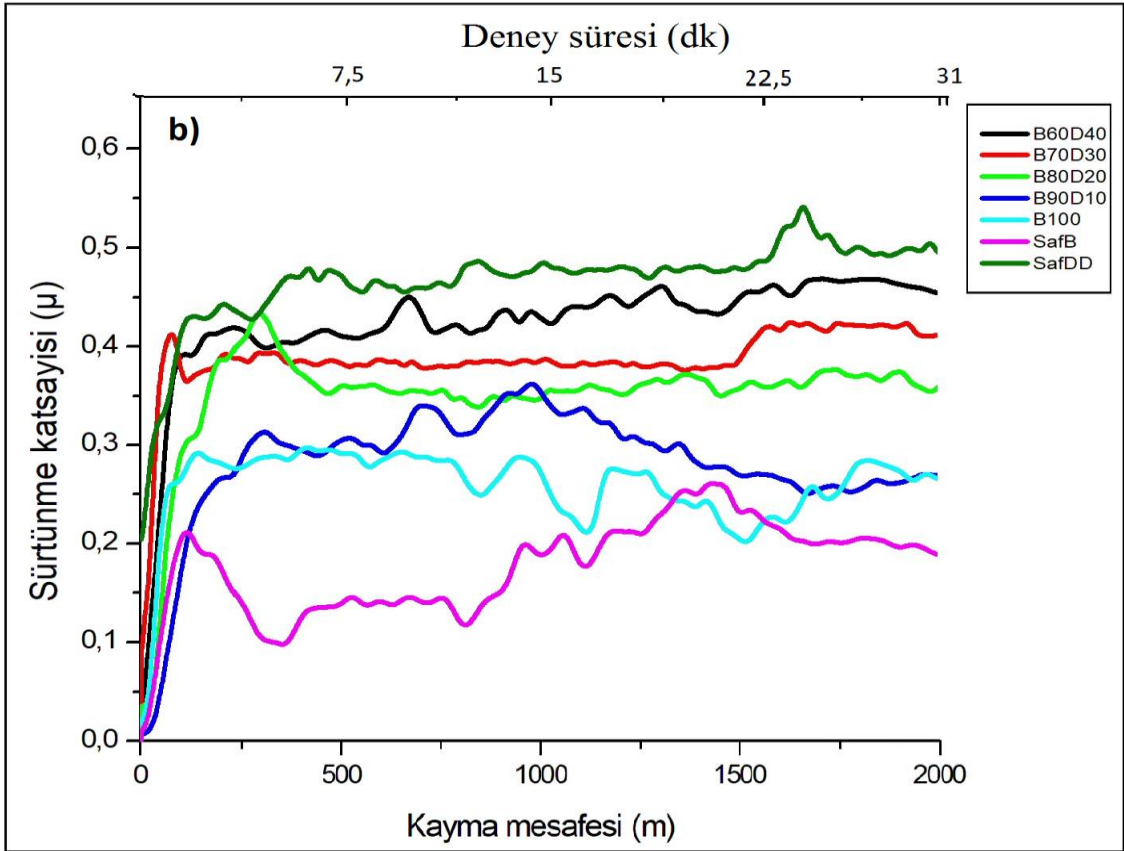
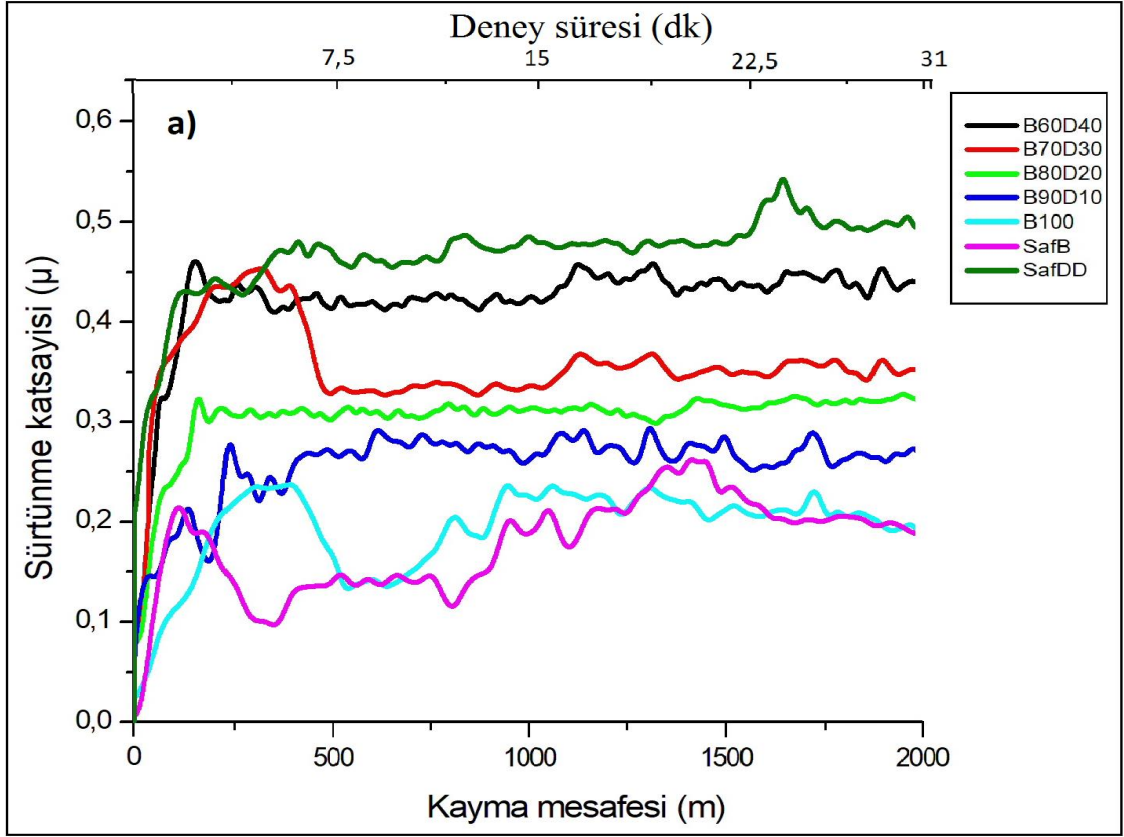


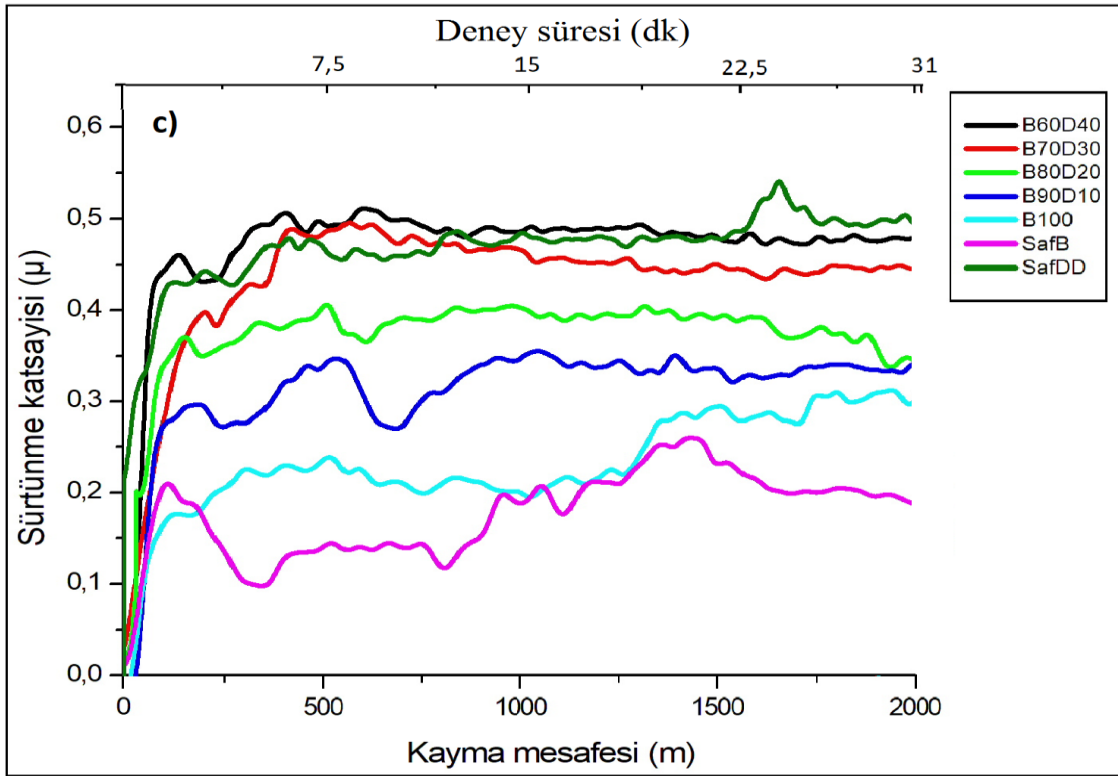
Şekil 4.14. Sürtünme katsayısının aşınma sürecinde değişimi (400°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa

Saf bronz ve tamamı CuSn10 talaşlarından elde edilen malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri incelendiğinde her üretim basıncında yüzey pürüzlülüğünde ani değişimler söz konusudur. Üretim parametrelerine bakılmaksızın bu değişimler 0,12-0,27 sürtünme katsayısı değeri aralığında değişmektedir. Bu durumun sebebi zaman içerisinde aşınan partiküllerin aşınma bölgesinde abrazif aşınma davranışı göstermesi ve kompozit malzeme yüzeylerinde deformasyonlara sebep olmasıdır (Ünlü, 2007). Takviye malzemesinin olduğu kompozit malzemelerde ise takviye malzemesi GGG40 içerisinde ki küresel grafitler sayesinde aşınmanın ilerleyen süreçlerinde oluşan yağlama rejimi bu tarz durumları engellemektedir (Justino, 1999).

Ayrıca iki farklı sıcaklıkta üretilen kompozit malzemelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı eğrileri incelendiğinde 450°C' de üretilen kompozit malzemelerin elde edilen eğrilerinin birbirine daha benzer olduğu görülmektedir. Özellikle kompozit malzeme üretim basıncının 820 MPa olduğu Şekil 4.14c ve Şekil 4.15c' de farklı takviye malzemesi miktarlarında eğrilerin birbirine daha yakın gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu davranışın ortaya çıkmasında yüksek üretim basınçlarında talaşlar arası daha iyi birleşmenin sağlanması ve aşınma sonrası ortamda bulunan aşınmış yapıların gözenekleri kısmen daha az doldurması nedeniyle, aşınan tozlar içerisinde ki grafitlerin yüzeyde daha iyi yağlayıcı rol alması şeklinde değerlendirilmiştir (Bagchi, 1981; Su ve ark., 2017).

Kendinden yağlamalı yatak malzemelerinde çalışma esnasında yatak malzemesinin ısınmasıyla gözeneklerden yağlayıcı akışkan temas bölgelerinde yağlama görevi gerçekleştirir. Aşınma sonrası soğumayla beraber bu yağlayıcı akışkan tekrardan yatak malzemesi gözeneklerine yönelir (Sarıtaş, 1992; Varol R., 1996; Raman ve Chennabasavan, 1998). Bu çalışma koşullarında, düşük devir hızlarında ve yüksek yüklerde radyal kaymalı yatak malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçekleştirdiğimiz deneysel çalışmalarda kompozit malzeme üretim basıncının yüksek olduğu 820 MPa' da, bu davranış ilerleyen kayma mesafelerinde farklı karışım oranlarında sürtünme katsayısında lineer düşüş olarak gözlemlenmiştir ve daha önce gerçekleştirilen çalışmalarla uyumludur (Justino, 1999; Ünlü, 2007; Unlu ve Atik, 2010; Su ve ark., 2017).





Şekil 4.15. Sürtünme katsayısının aşınma sürecinde değişimi (450°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa

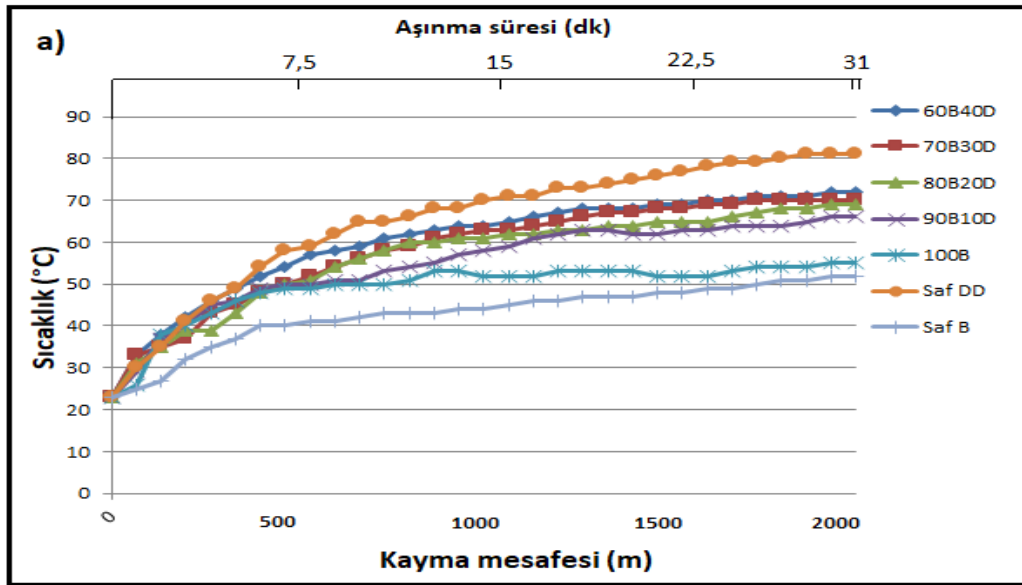
4.2.4. Sıcaklık Değişimleri

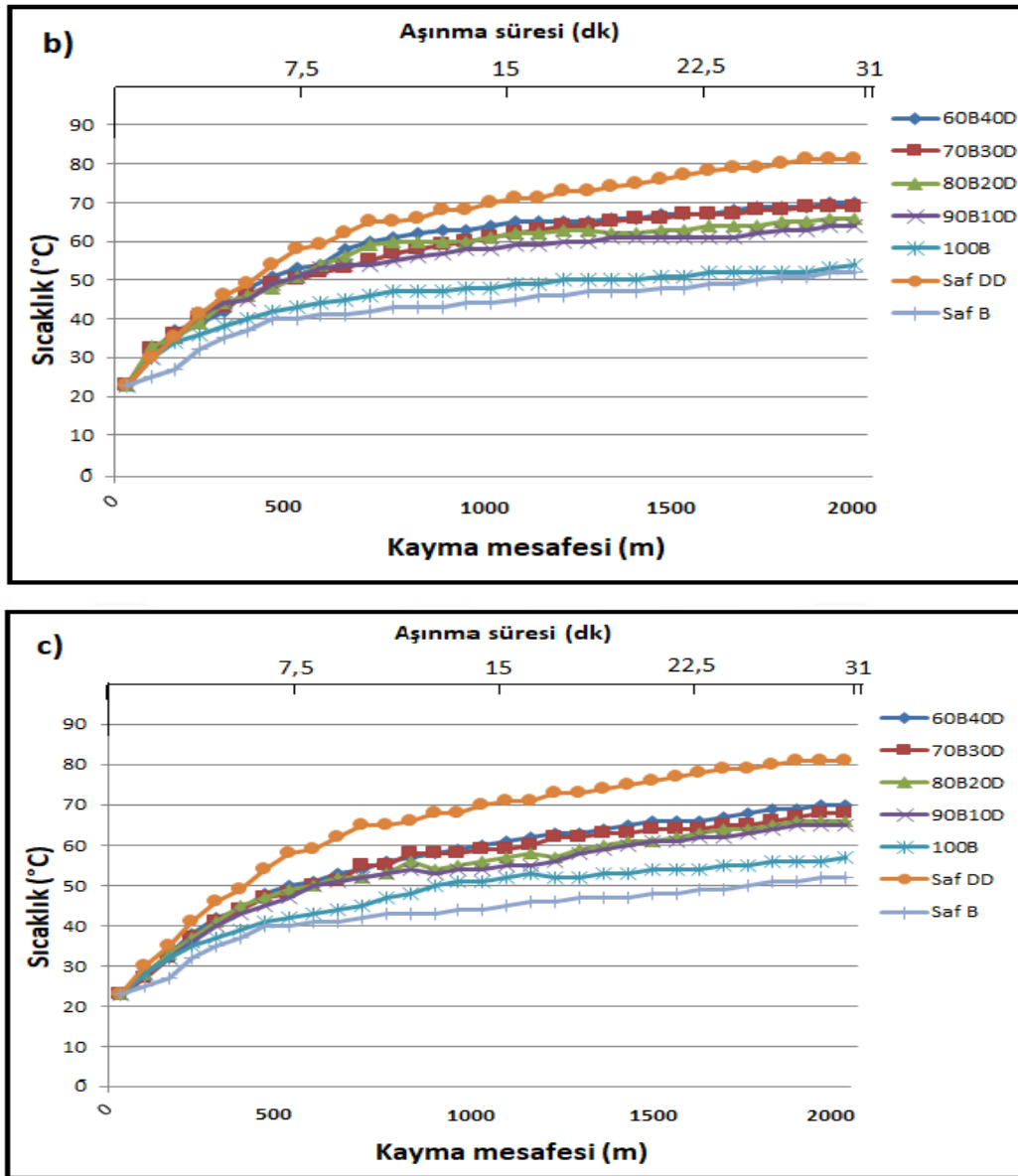
Aşınma deneyleri sırasında termal kamera yardımıyla anlık olarak temas bölgesinde ki sıcaklık değişimleri takip edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri aşınma sırasında 31 dakikalık deney süresi boyunca her dakikada bir kaydedilerek deney süresi boyunca sıcaklık değişim eğrileri elde edilmiştir. Termal kameranın sıcaklık ölçümlerinde emisivite değeri olarak literatürdeki CuSn10 ve GGG40 için kullanılan 0,7 değeri seçilmiştir. Emisivite değeri termal kameraların ölçüm almasında kullanılan ve malzemedeki malzemeye değişen bir sabittir. Kompozit malzemelerle beraber saf bronz ve saf dökme demirin sıcaklık dağılımları da grafiklerde sunulmuştur.

Sıcaklık değişimleri genellikle malzemelerin ısı iletim kabiliyetleri ile ilgilidir. Isı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerin çalışma esnasında ki ulaştığı sıcaklık değeri ısı iletim katsayısı düşük malzemelere nazaran oldukça düşüktür. Eğrilerden görüldüğü üzere termal iletkenliği oldukça yüksek olan saf CuSn10 malzemesinin aşınma deneyi boyunca ulaştığı maksimum sıcaklık 52°C iken, saf GGG40 malzemesinin ulaştığı sıcaklık değeri 82°C olarak gerçekleşmiştir. Termal kamera

aracılığıyla elde edilen bu değerler temas bölgesi ortalama sıcaklığı olarak nitelendirilmektedir. Aşınma esnasında anlık olarak ulaşılan ve flaş sıcaklığı olarak nitelendirilen sıcaklık değerleri bu temas bölgesi ortalama sıcaklık değerlerinden oldukça yüksektir. Bu durum aşınmanın ilerleyen safhalarında bronzun önemli miktarda adhezif aşınma davranışı göstererek sıvanmasına sebebiyet vermektedir.

Şekil 4.16' de üretimleri 400°C' de ve üç farklı basınçta gerçekleştirilen kompozit malzemelerin aşınma deneyleri boyunca elde edilen sıcaklık dağılım eğrileri gösterilmiştir. Farklı karışım oranlarındaki kompozit malzemelerin sıcaklıkları genel olarak 25-26. dakikalardan sonra sabit kalmaktadır. Genel itibariyle matris malzemesi CuSn10' un artmasına paralel olarak gözeneklerin azalması ve ısı iletiminin iyileşmesiyle temas noktasında ulaşılan sıcaklık değerleri düşmektedir. Şekil 4.16a' da kompozit malzemelerin ulaştığı maksimum sıcaklık 60B40D ve 70B30D için 69-70°C' de gerçekleşirken bu değer 90B10D malzemesinde 54°C' lere düşmektedir. Bu değişim bir önceki başlıkta belirtilen sürtünme katsayısı değişimlerine benzer niteliktedir; takviye malzemesi miktarına bağlı olarak sürtünme katsayısının artış ya da azalışları temas bölgesi sıcaklığını etkilemektedir. Sürtünme katsayısını artmasını sağlayan yüzeydeki değişimler aynı zamanda temas bölgesi sıcaklığını da arttırmaktadır.





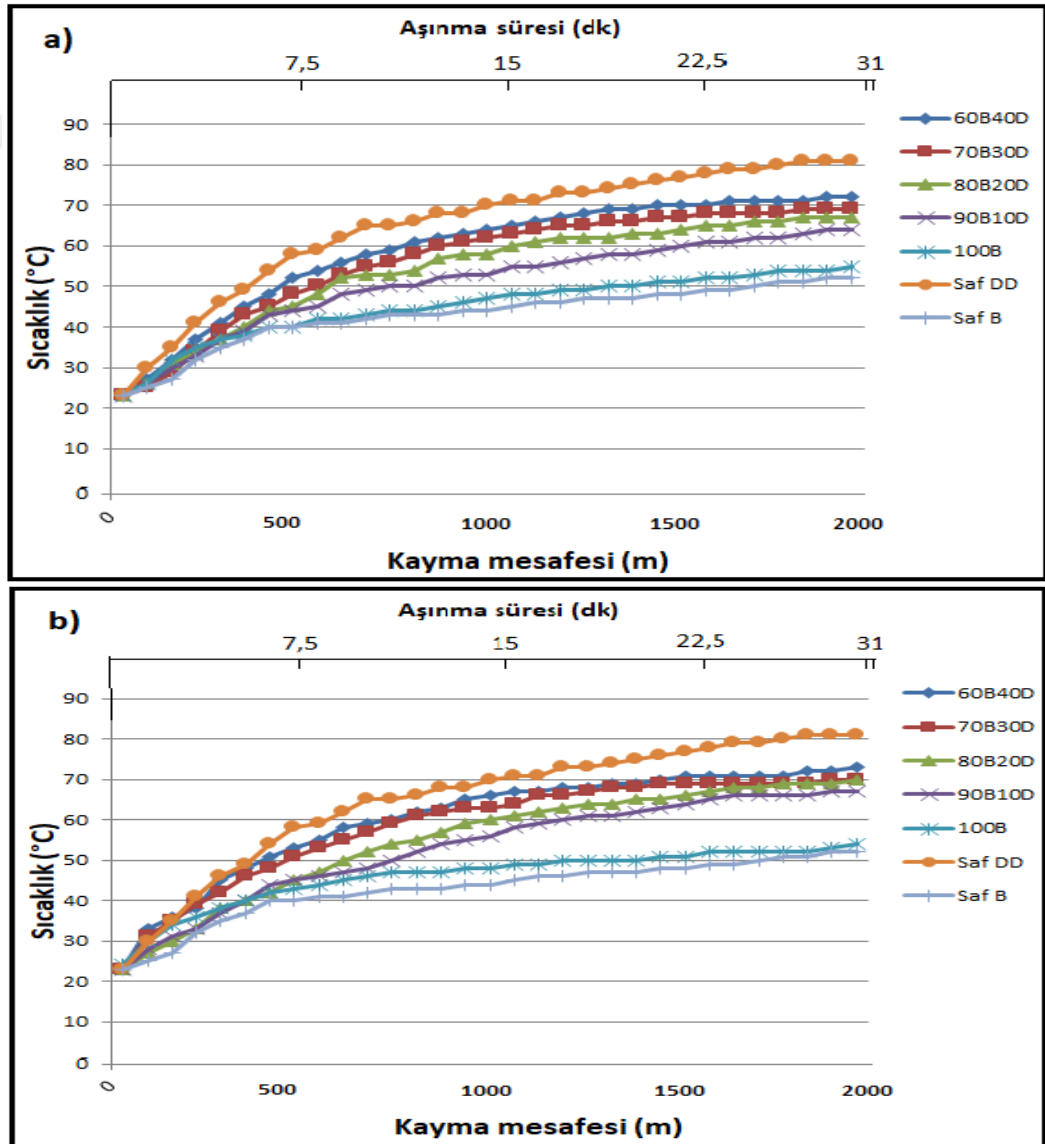
Şekil 4.16. Temas bölgesi sıcaklık değişimleri (400°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa

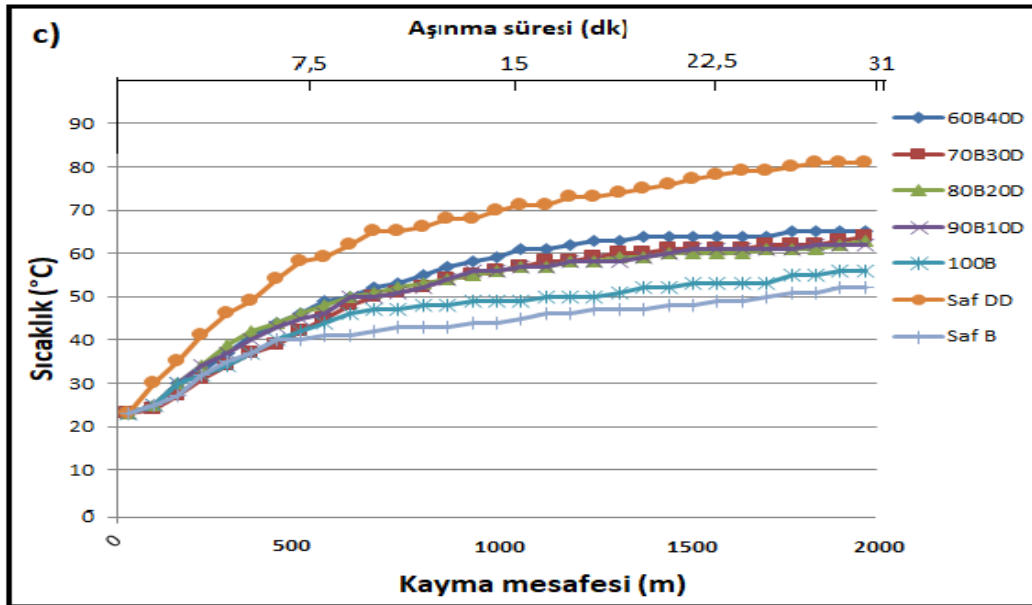
Şekil 4.17' de 450°C sıcaklıkta ve üç farklı basınçta üretimleri gerçekleştirilen kompozit malzemelerin aşınma deneyleri süresince elde edilen sıcaklık değişim eğrileri gösterilmiştir. Kompozit malzemelerle beraber saf bronz ve saf dökme demir malzemesinin de temas bölgesi sıcaklık değişimleri referans olarak değerlendirmek için aşınma deneyleri sonrasında beraber sunulmuştur.

Her üç basınçta üretilen kompozit malzemelerin genel sıcaklık eğrileri incelendiğinde farklı karışım oranlarında elde edilen eğriler 400°C' de üretilen kompozit malzemelerin eğrilerine nazaran birbirine daha yakın gerçekleşmiştir. Aşınma deneyi boyunca 400°C' de üretilen kompozit malzemelerin temas bölgesi sıcaklığı 25-26 dakikalarda sabit kalmaya başlarken, 450°C' de üretilen kompozit malzemelerde 19-

20. dakikalarda sıcaklıkların sabit kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle Şekil 4.17c' de görüldüğü üzere 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta bu süre 15. dakikalara kadar düşmektedir. Ayrıca temas bölgesi sıcaklıklar genel trend olarak 68-71°C' lere maksimum olmaktadır, bu aralık Şekil 4.17c' de görüldüğü üzere 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen kompozit malzemelerde 60-62°C' lere kadar düşmektedir.

Temas bölgesi ulaşılan sıcaklıkların bu şekilde gerçekleşmesi kompozit malzeme içerisindeki gözenekli yapıların ve talaşlar arası bağ yapısının iyi olmasının ısı iletim kabiliyetini önemli ölçüde etkilediği göstermektedir (Karadağ, 2012).





Şekil 4.17. Temas bölgesi sıcaklık değişimleri (450°C) a)480 MPa b)640 MPa c)820 MPa

4.2.5. Aşınma Testleri Sonrası Mikro Yapı

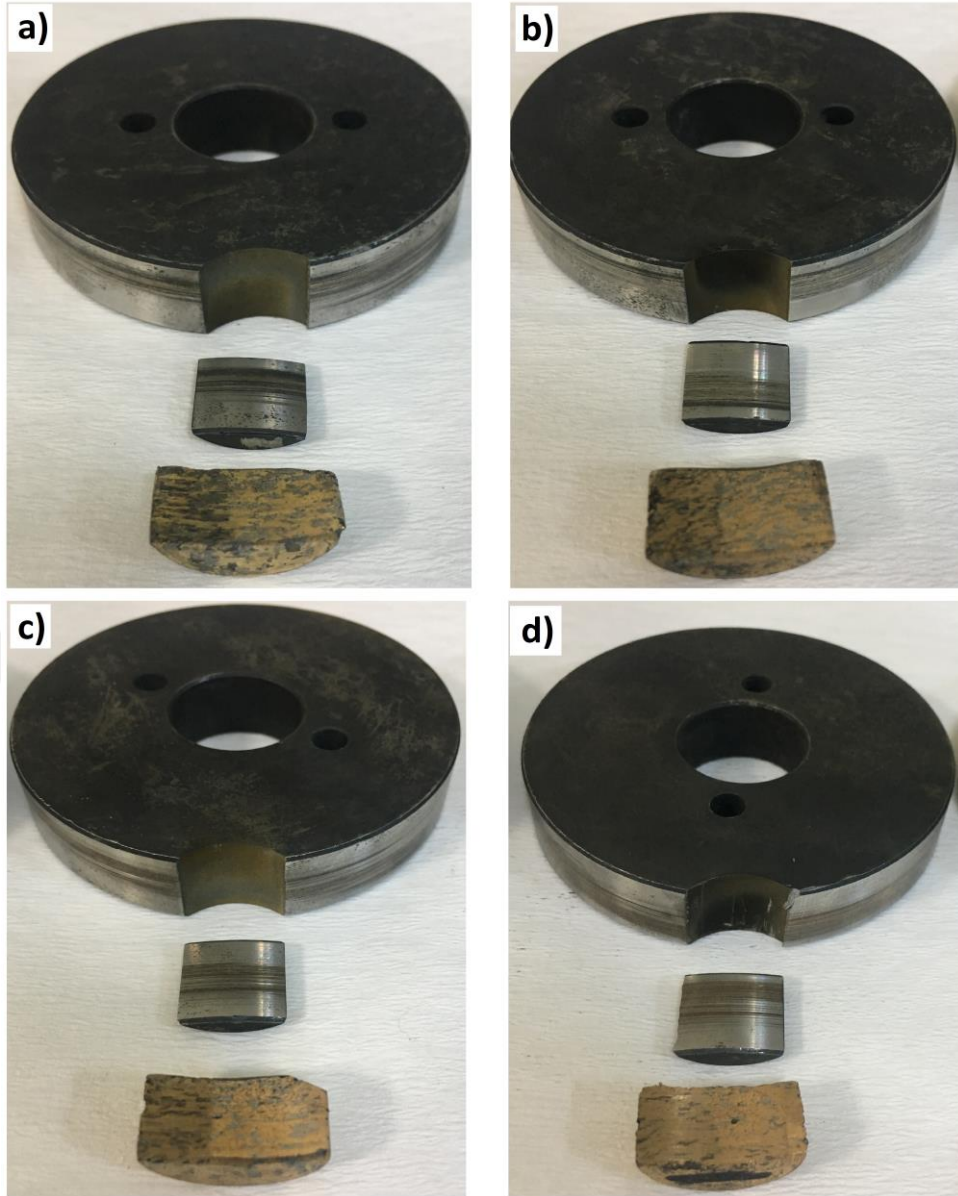
Gerçekleştirilen aşınma testleri sonrasında farklı karışım oranlarında kompozit malzemelerin mikro yapı incelemeleri bu bölümde sunulmuştur. Kompozit malzemelerin üretimleri sonrasında sahip olduğu mikro yapılar incelendiğinde talaşlar arasında yeterli birleşmenin sağlandığı ve gözenekli yapıların üretim parametrelerine bağlı olarak önemli oranda değiştiği görülmüştür (Şahin, 2015).

Aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı disk malzemesi ve aşınan kompozit malzemelerin mikro yapı incelemeleri, SEM görüntüleri ve EDS analizleriyle beraber yapılmıştır. Malzeme yüzeylerinin radyal olması nedeniyle mikroskop görüntülerinden faydalanılamamıştır. Şekil 4.18' de 450°C sıcaklıkta ve 820 MPa basınçta üretilen kompozit malzemeler aşınma sonrasında aşındırıcı diskle beraber gösterilmektedir. Aşındırıcı AISI 4140 malzemeleri, aşınma sonrası SEM analizleri için tel erozyonda kesilmiş haliyle bu şekilde sunulmuştur.

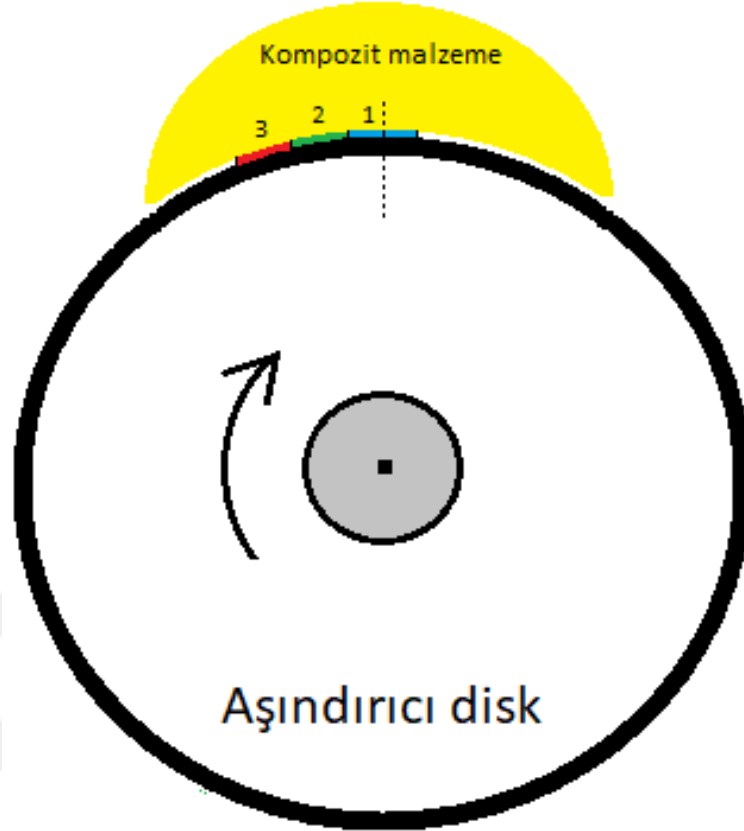
Kompozit malzemeler aşınma deneylerine başlamadan önce aşındırıcı diske üstten dik bir şekilde Şekil.4.19' de gösterildiği gibi tam ortadan konumlandırılmıştır. Aşınma sürecinin başlamasıyla beraber tam orta temas bölgesinde aşınma mavi ile belirtilen birinci bölgede başlamıştır. Aşınma deneyinin ilerleyen süreçlerinde kompozit malzemelerin aşınan yüzey bölgeleri önce yeşil olarak gösterilen ikinci bölgeye daha sonrasında ise aşınma deneyinin sonlarına doğru kırmızı ile gösterilen üçüncü bölgeye

doğru gelişmiştir. Bu şekilde aşınma b6lgesinin ilk temas b6lgesi tarafına doğru gelişmesi, aşınma deneyleri esnasında uygulanan y6k nedeniyle oluşan ve aşındırıcı diskin d6n6ř y6n6nden kaynaklı olarak oluşmaktadır. Kompozit malzeme y6zeyinde aşınma b6lgelerini etkileyen diğer bir fakt6r ise takviye malzemesi GGG40' ın i6erdiği k6resel grafitlerin sağladığı yağlayıcı etkidir (6z6elik, 2007; Atak, 2009; Sağlam, 2009). GGG40 malzemesiyle ilgili literat6rde bazı 6alışmalar mevcuttur fakat 6alışmamızın konusunu oluşturan kompozit malzemenin aşınma davranışını bu şekilde yağlayıcı etkiyle etkilemesi 6nemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak kullanılabilirliği a6ısından k6resel grafitlerin sağladığı bu durum, s6rt6nmeyi azaltarak malzeme 6mr6n6 uzatabilmektedir.

Aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı diskin y6zey yapısı kompozit malzemelerin karışım oranlarına bağlı olarak değerirmiştir. GGG40 takviye malzemesinin fazla olduğu karışım oranlarında aşındırıcı disk y6zeyinde 6ok fazla toz grafit tanelerinin bulunduğu g6zlemlenmiştir. Bu toz grafitlerin miktarı GGG40' ın miktarının azaldığı karışım oranlarında 6nemli 6l6de azalmaktadır. Ayrıca matris malzemesi CuSn10' un fazla olduğu kompozit malzemelerin, aşınması sonrasında disk y6zeyine 6nemli 6l6de adhezif aşınma davranışı g6stererek sıvandığı g6r6lm6ştir. Bunda aşınan toz CuSn10 par6acıklarının aşınmanın ilerleyen s6relerinde temas b6lgesinde artan sıcaklığında etkisiyle adezyonla sıvanması etkili olmuştur.



Şekil 4.18. Aşınma testleri sonrasında kompozit malzemeler ve aşındırıcı diskler (450°C ve 820 MPa)
a)60B40D b)70B30D c)80B20D d)90B10D



Şekil 4.19. Aşınmanın zamanla gelişiminin şematik gösterimi

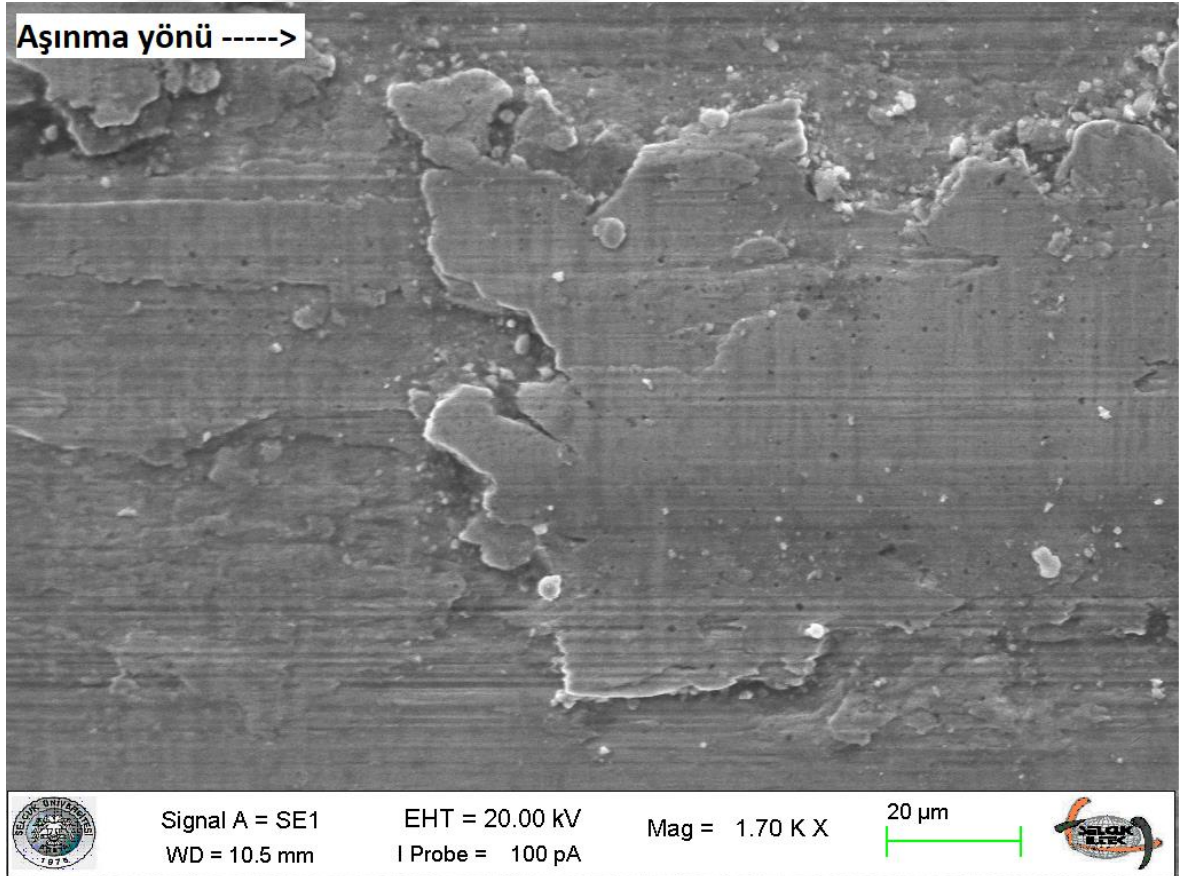
Şekil 4.20-4.23 arasında aşınma testleri sonrasında aşındırıcı AISI 4140 disk malzemesinin SEM görüntüleri gösterilmektedir. Aynı üretim şartlarında üretilen farklı karışım oranlarında kompozit malzemelerin yüzey yapısı incelenmiştir. Bu amaçla 30 N yükün uygulandığı, 1,06 m/sn aşınma hızı ve 2.000 m aşınma mesafesi sonrasında 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen kompozit malzemelerin görüntüleri sunulmuştur. Bütün analizlerde aşınma yönü soldan sağa doğrudur. Aşınma deneyleri öncesi ve sonrası diskin ağırlıkları ölçülmüş ve aşınma sonrasında ağırlıklarında kısmen artış olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle aşındırıcı disk malzememizde herhangi bir aşınma gözlemlenmemiş ve elde edilen disk yüzeyleri de mevcut sıvanmalar nedeniyle bunu desteklemektedir.

Aşındırıcı diskin SEM görüntüleri incelendiğinde kompozit malzeme içerisinde ki bileşenlerin katkı oranına bağlı olarak yüzey yapısının önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Matris malzemesi olarak kullanılan CuSn10' un GGG40' a nazaran daha sünek olması nedeniyle deformasyon kabiliyeti yüksektir. Aşınma testleri süresince aşınan CuSn10 tozlarının aşınma bölgelerinde birikmesi, ilerleyen aşınma zamanlarında

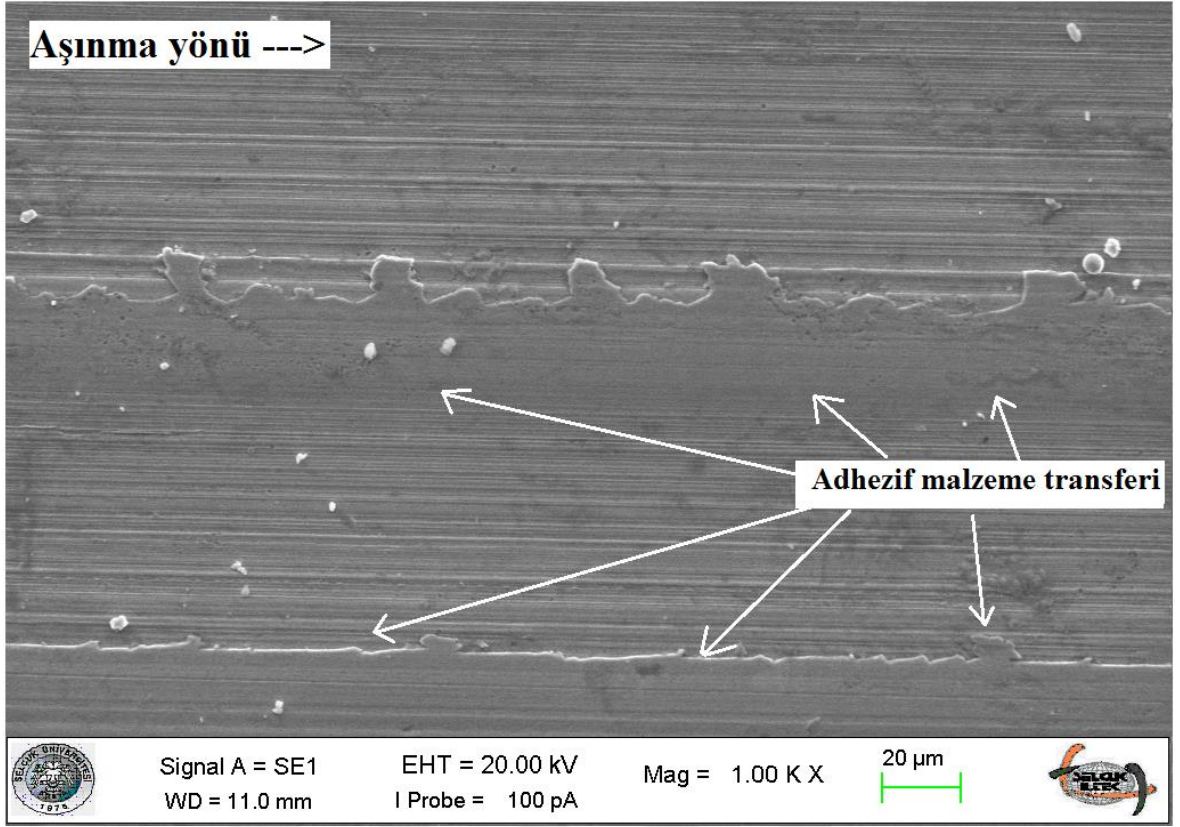
sıcaklığında etkisiyle aşındırıcı disk yüzeyinde biriken bu CuSn10 tozlarla daha fazla adhezif aşınma davranışını ortaya çıkaracaktır.

Şekil 4.20' de 90B10D ve Şekil 4.21' de 80B20D karışım oranında ki kompozit malzeme aşındırıcı diski gösterilmiş ve disk yüzeyinde ki sürekli CuSn10 ile sıvanmış bölgeler görülmektedir. Şekil 4.23' de ise 60B40D karışım oranında üretilen kompozit malzemenin aşındırıcı diski gösterilmiştir. Bu iki görüntüde görüldüğü üzere CuSn10' un fazla olduğu karışım oranlarında adhezif etkiyle belirgin sıvanmalar olurken, azalmasıyla beraber bu davranış daha az ve kesikli hali almaktadır. Ayrıca GGG40' ın miktarının artmasıyla aşınan grafit miktarı da artmakta ve aşınma yüzeyinde daha fazla yağlayıcı etki oluşturmaktadır.

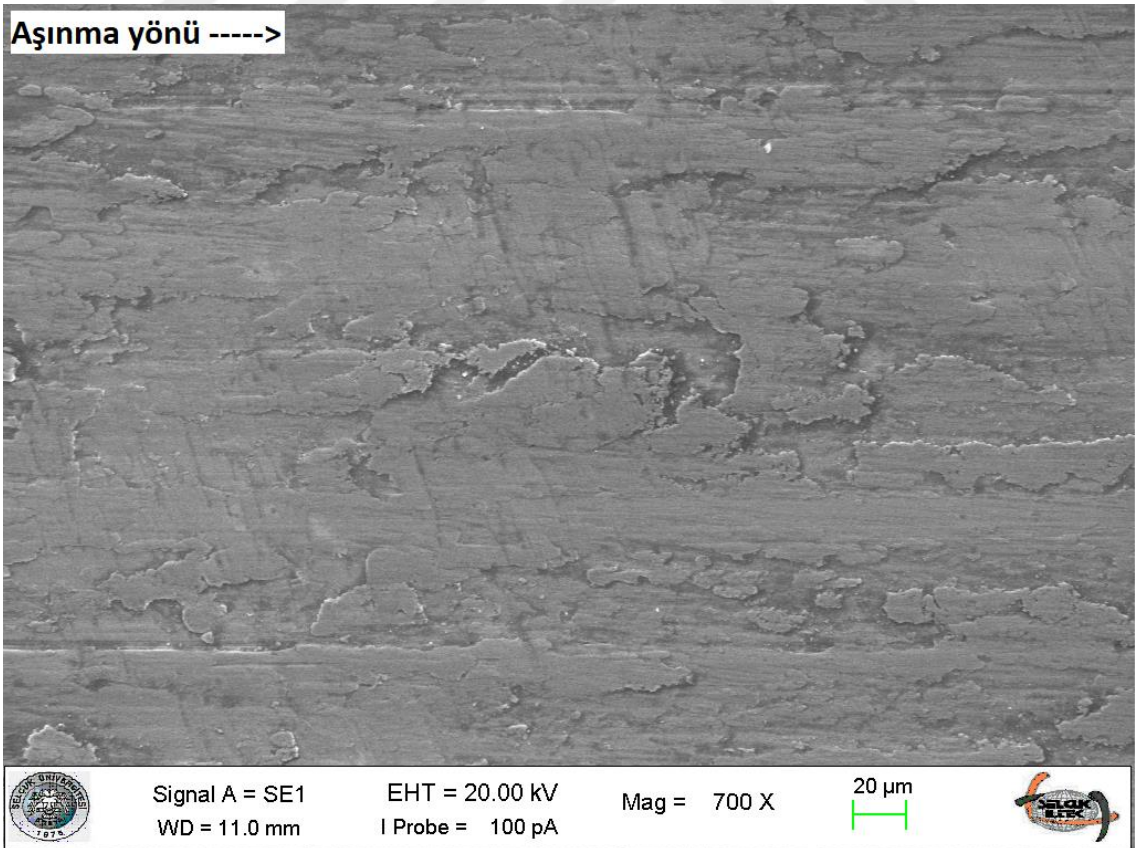
Şekil 4.22-4.23 incelendiğinde gözlemlenen bir diğer husus, aşındırıcı disk yüzeyinde aşınan küresel grafitlerin CuSn10 bölgelerinin arasına yoğun ve homojen bir şekilde dağılmasıdır. Bunun gerçekleşmesi kendinden yağlamalı yatak malzemesi olarak düşünülen kompozit malzemelerimiz için oldukça önemlidir. Homojen bir şekilde bu yağlayıcı etkinin sağlanmasıyla daha verimli malzeme kullanımı sağlanacaktır.



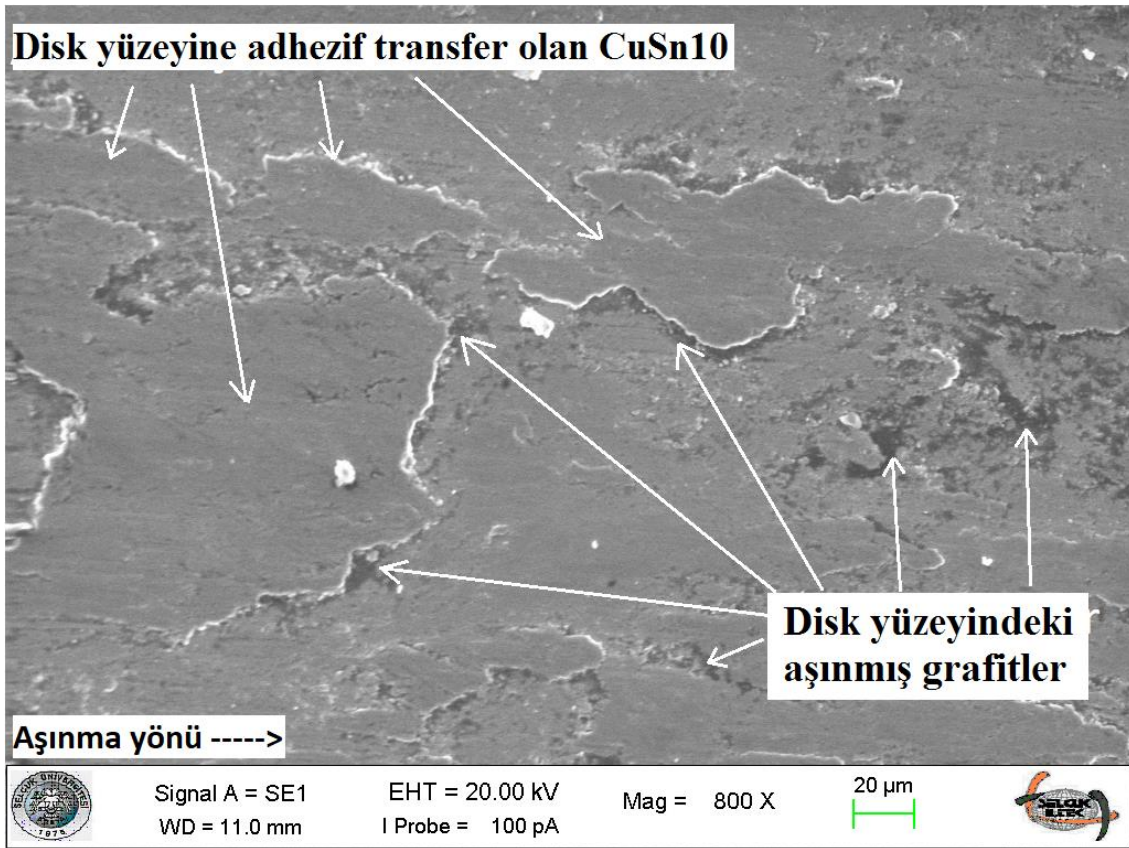
Şekil 4.20. Aşınma sonrası 90B10D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



Şekil 4.21. Aşınma sonrası 80B20D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



Şekil 4.22. Aşınma sonrası 70B30D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



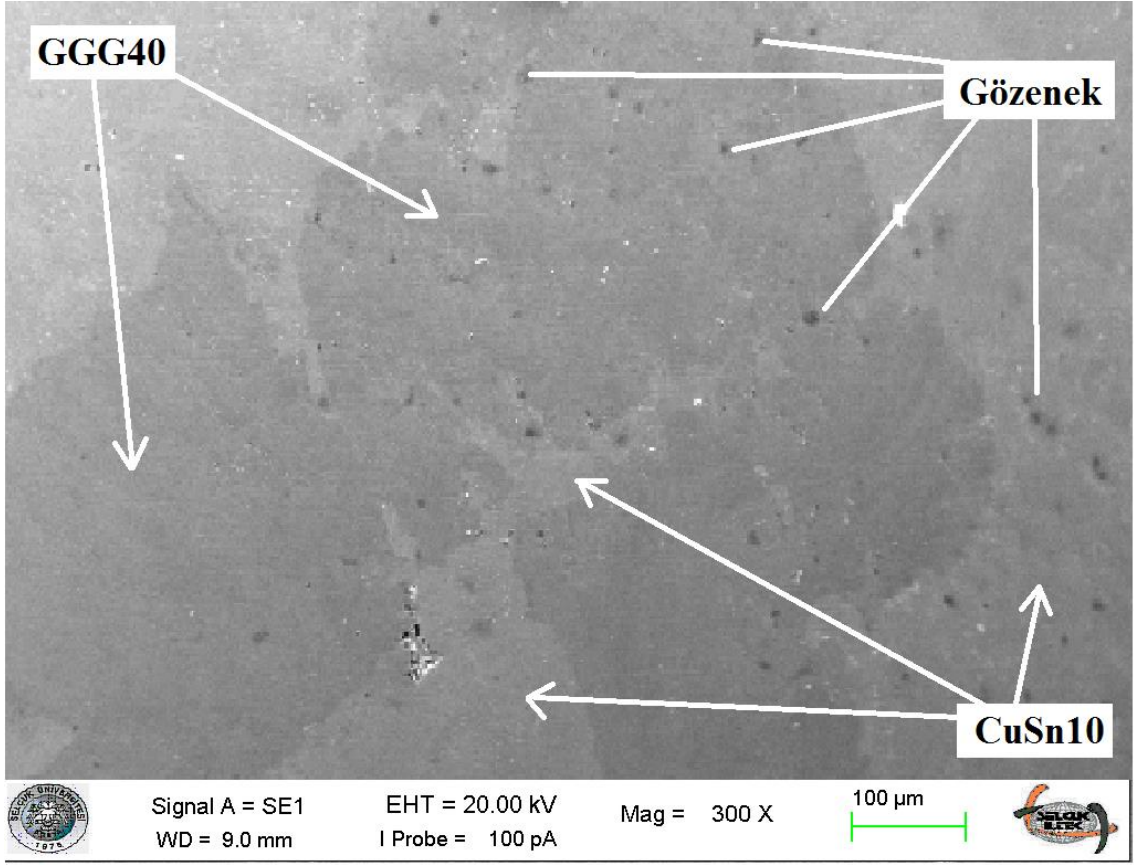
Şekil 4.23. Aşınma sonrası 60B40D ile aşındırılmış disk yüzeyi (450°C ve 820 MPa)

Şekil 4.24’ de aşınma testleri öncesinde 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen 70B30D malzemesine ait SEM görüntüsü gösterilmiştir. Aşınma öncesi matris ve takviye malzemesinin yanı sıra yüzeydeki gözenekli yapılar açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.25-4.29’ da 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta farklı karışım oranlarında üretilen kompozit malzemelerin, 30 N yükte ve 2.000 m aşınma mesafesinde yapılan aşınma testleri sonrasında temas yüzeyinde meydana gelen değişimlerin SEM görüntüleri gösterilmektedir. Bütün görüntülerde aşınma yönü soldan sağa doğrudur.

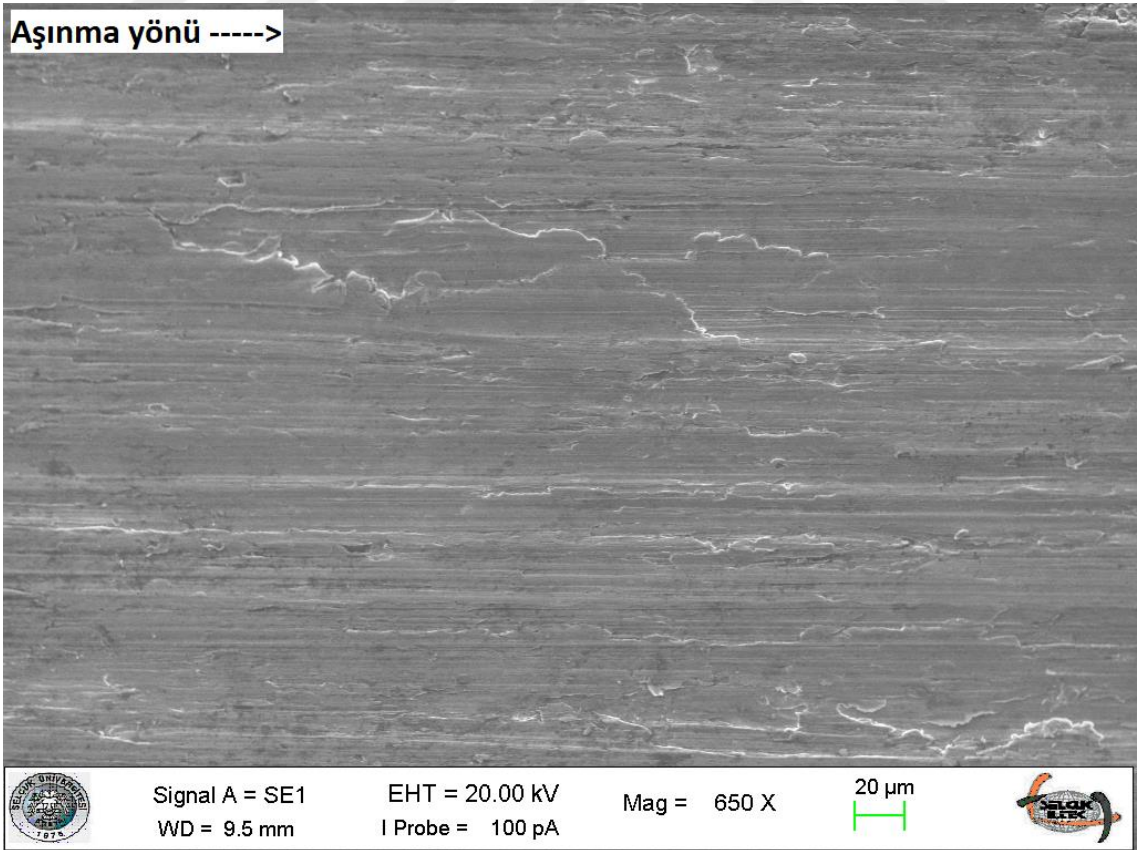
Şekil.4.25’ de tamamı CuSn10 talaşlarından oluşan 100B malzemesinin SEM görüntüleri sunulmuş, böylece takviye malzeme GGG40’ ın ve içerisinde ki yoğun küresel grafitlerin yüzey yapısına etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Şekilde görüldüğü üzere aşınma sürecinde temas bölgelerinde yoğun adhezif aşınma bölgeleri görülmüştür. Bu davranış aşınan CuSn10 tozlarının dönen aşındırıcı diskin etkisiyle tekrardan aşınma bölgesine gelmesi ve temas bölgesinde artan sıcaklık etkisiyle yoğun plastik deformasyon meydana getirmesi olarak değerlendirilmiştir (Karadağ, 2012 ve Şahin, 2015).

Farklı oranlarda GGG40 içeren kompozit malzemelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde ise sadece CuSn10 içeren malzemelerin yüzey yapısından farklı olduğu görülmektedir. Öncelikle aşınma davranışını etkileyen en önemli parametrelerden yüzey sertliği ve gözenek yapısı burada etkin olmuş ve aşınma karakteristiğini etkilemiştir. Şekil 4.26-4.28 görüldüğü üzere aşınma süresinin ilerlemesiyle birlikte yüzeyde bulunan gözenekli yapılara aşınan tozların dolması ve aşınma sonrası yüzeye yayılan küresel grafitli yapılar söz konudur. Özellikle Şekil 4.26' de 90B10D karışım oranında ki kompozit malzemenin aşınma bölgeleri gösterildiği üzere aşınan tozlardan yoğun bir şekilde etkilenmiştir. Bu aşınan tozların olduğu bölgelerde sıcaklık ve uygulanan kuvvet nedeniyle zaman içerisinde etkin adhezif aşınma görülmektedir fakat resmin alt kısımlarında işaretlendiği üzere abrazif aşınma bölgeleri de söz konusudur. Bu abrazif aşınma bölgeleri genellikle kompozit malzeme aşınma sürecinin ilk kısımlarında meydana gelmektedir. Rodaj bölgesi içerisinde gerçekleşen bu süreçte kompozit malzeme yüzeyinde belirgin aşınma izleri oluşur. Adhezif aşınma bölgeleri genellikle rodaj sonrası aşınan matris malzemesinin sıcaklık ve basınç etkisiyle yüzeye sıvanmasıyla oluşmuştur (Ünlü, 2007). Şekil 4.28' de gösterildiği gibi aşınmanın ilerleyen süreçlerinde yüzeyde bulunan gözenekli yapılara aşınan tozlar dolarak, gözeneklerin dolmasını sağlamıştır (Karadağ, 2012).

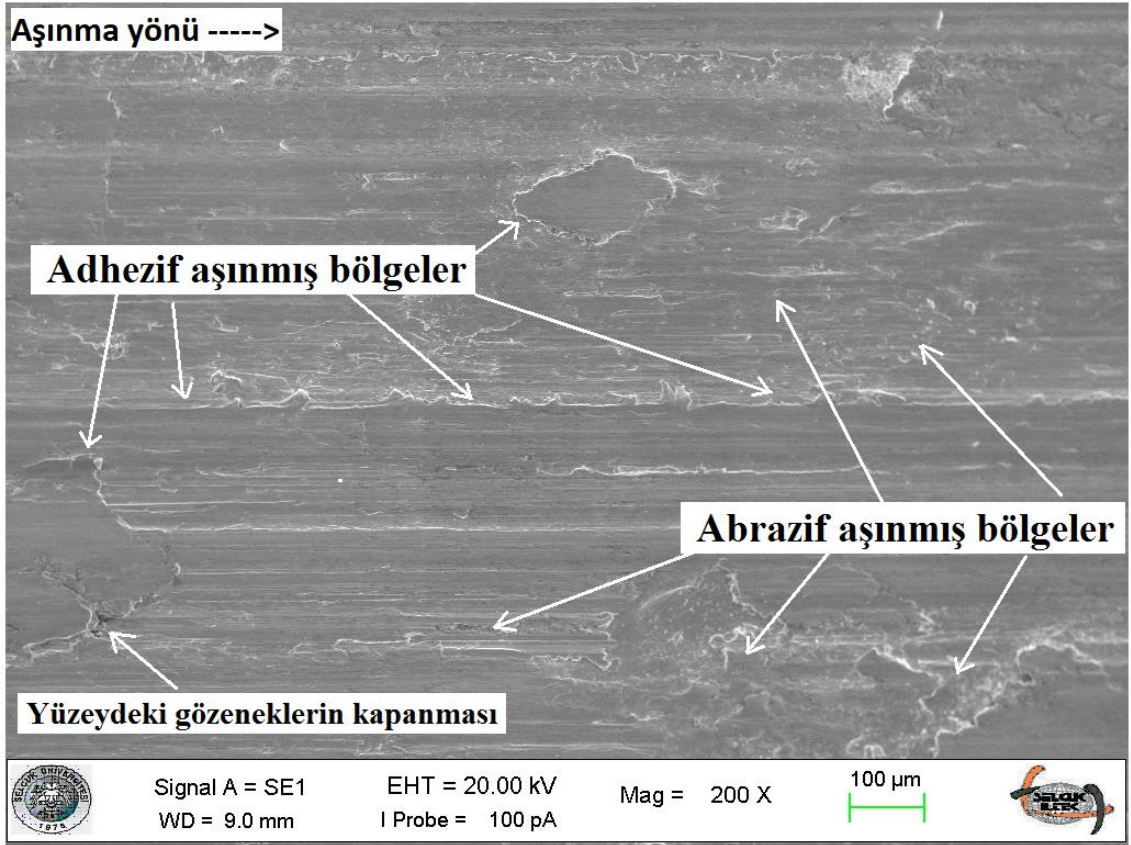
Şekil 4.29' de 60B40D karışım oranında ki kompozit malzemenin aşınma sonrası yüzey yapısı gösterilmektedir. Aşınma yüzeyinin sahip olduğu gözeneklerin, aşınma sonrasında büyük oranda aşınan malzemelerle kapandığı görülmüştür. Bu gözenekli yapıların zaman içerisinde kapanması, aşınma sırasında temas bölgesi yüzey alanının artmasını sağlayarak daha iyi bir ısı iletimi sağlar. Böylece temas bölgesinde kompozit malzemelerin fazla ısınması önlenerek adhezif etkiler minimize edilmiştir (Su ve ark., 2017).



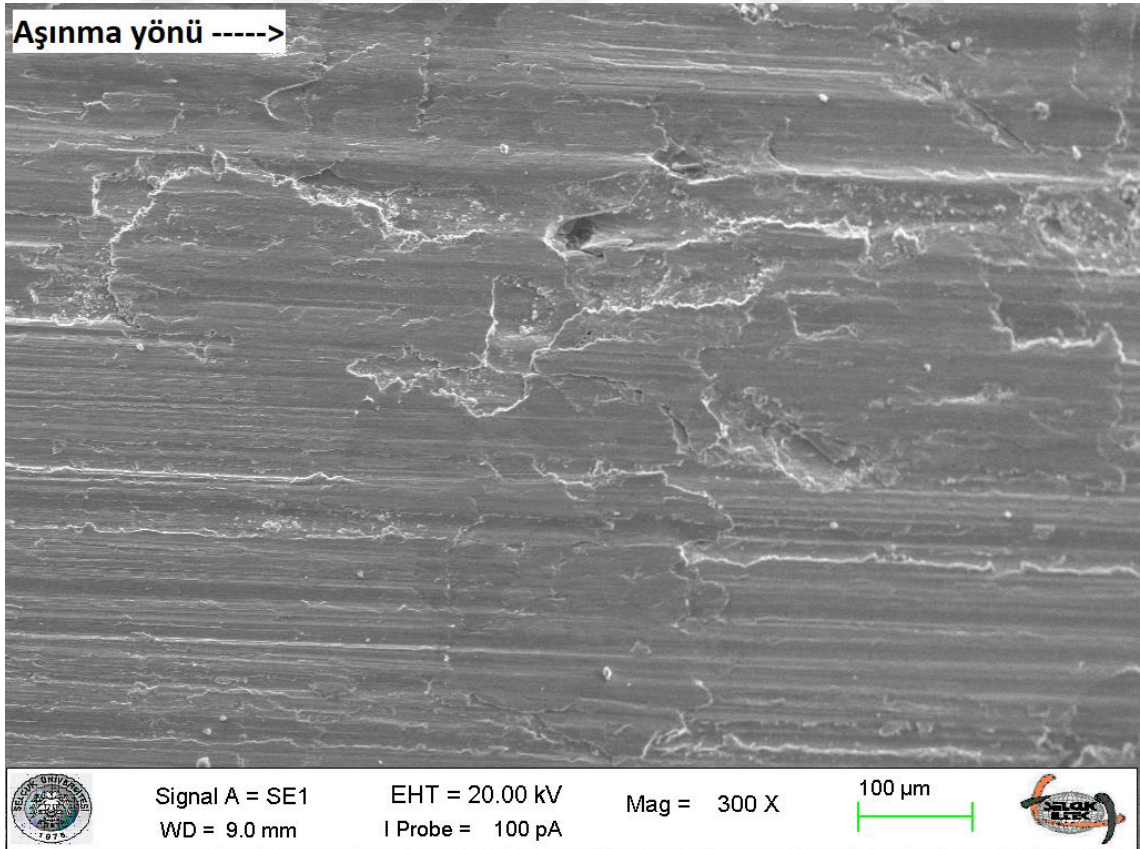
Şekil 4.24. Aşınma öncesi 70B30D' e ait SEM görüntüsü (450°C ve 820 MPa)



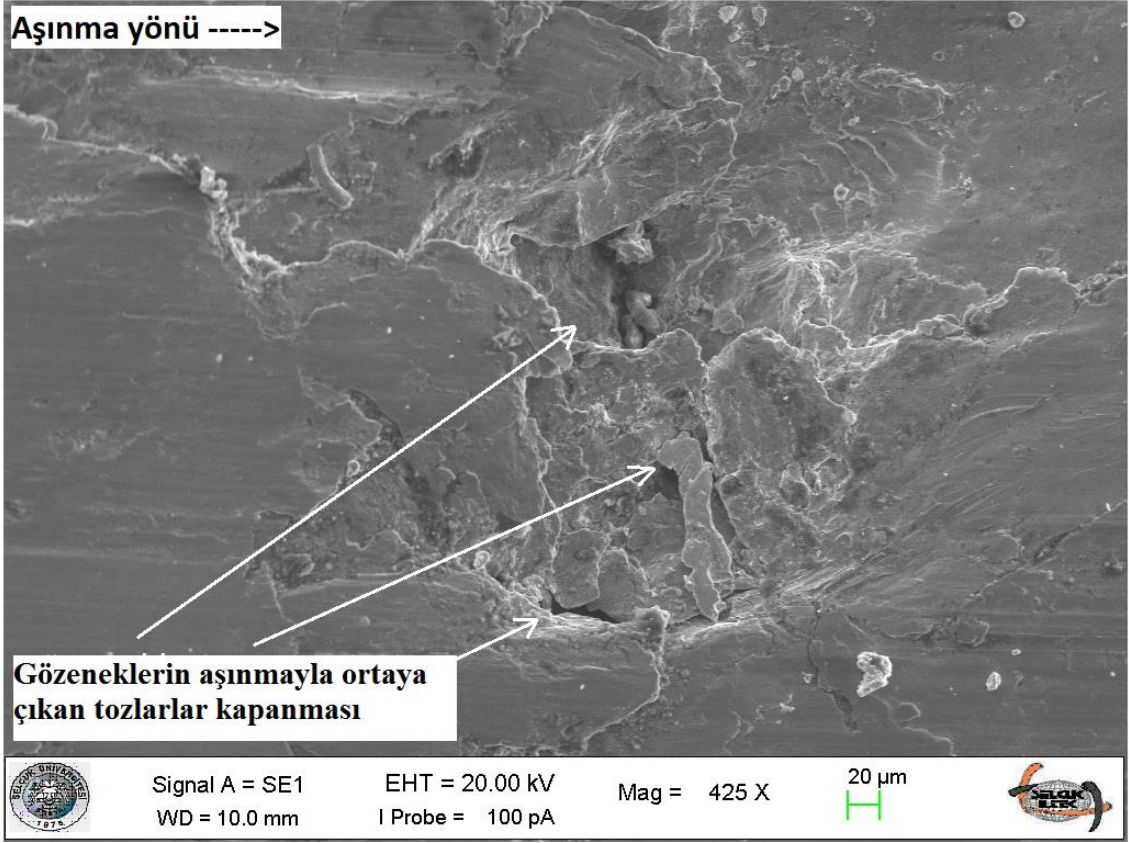
Şekil 4.25. Aşınma sonrası 100B yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



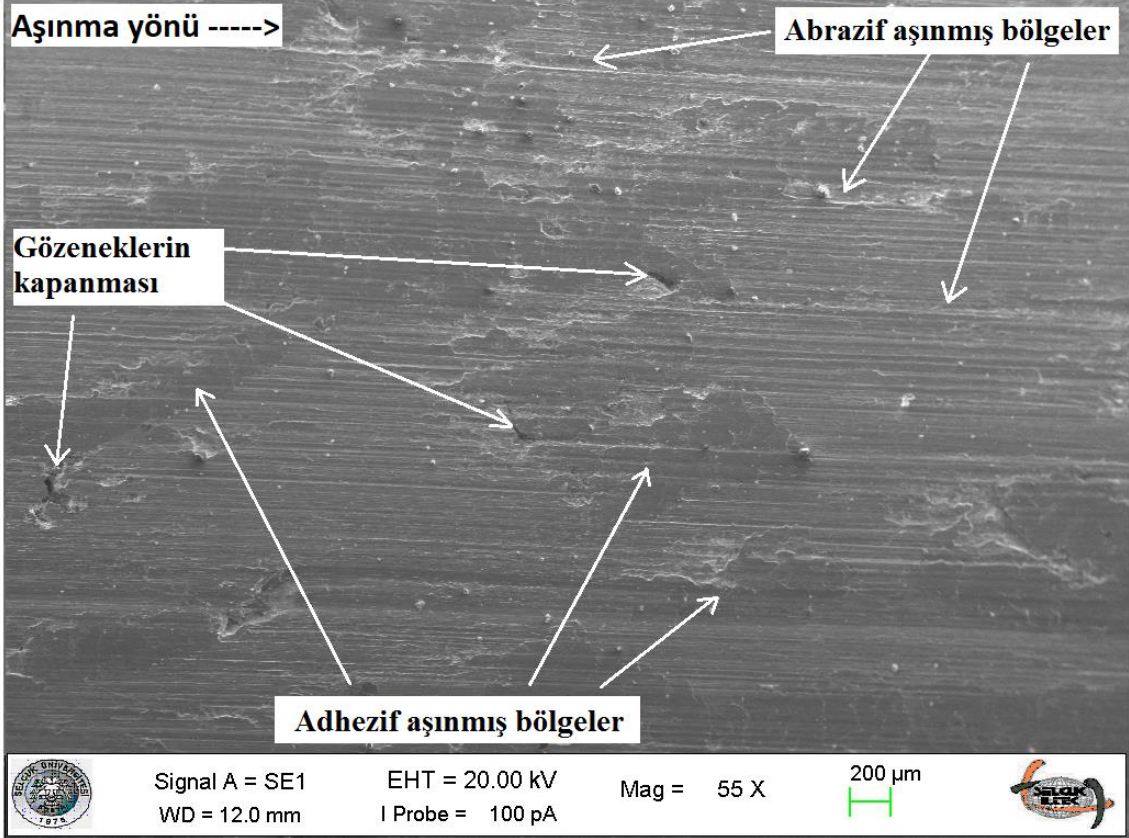
Şekil 4.26. Aşınma sonrası 90B10D yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



Şekil 4.27. Aşınma sonrası 80B20D yüzeyi (450°C ve 820 MPa)



Şekil 4.28. Aşınma sonrası 70B30D yüzeyi (450°C ve 820 MPa)

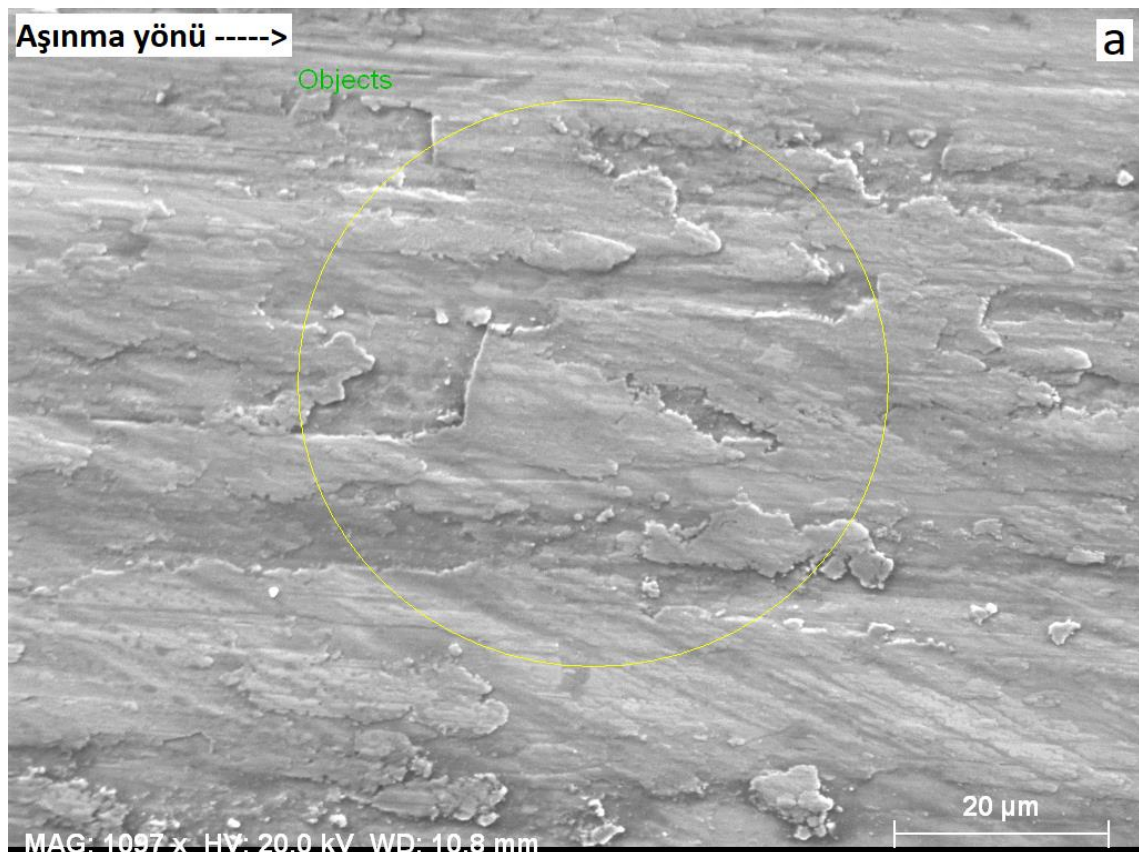


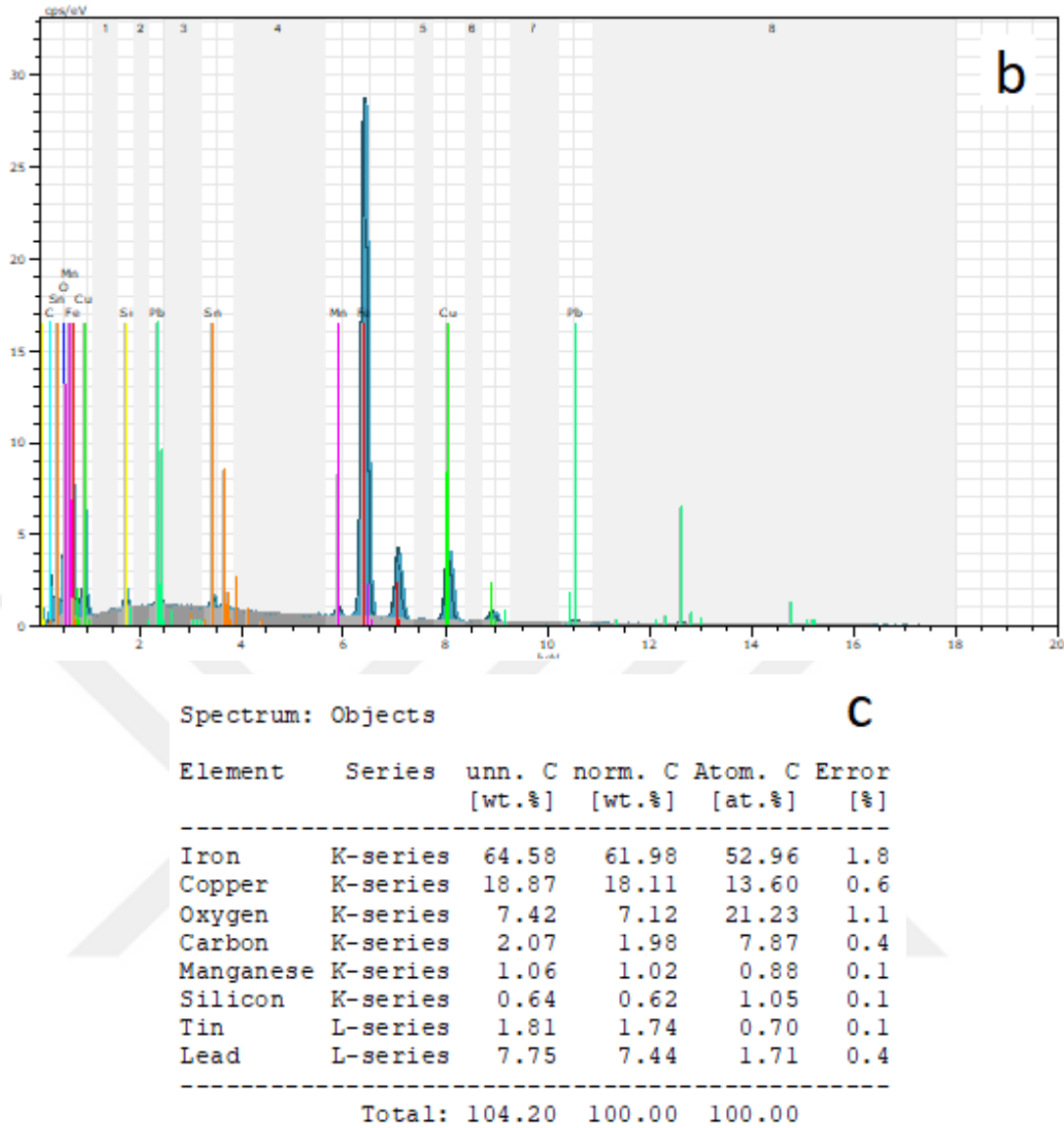
Şekil 4.29. Aşınma sonrası 60B40D yüzeyi (450°C ve 820 MPa)

Şekil 4.30' de aşınma deneyleri sonrasında 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen 80B20D kompozit malzemesini 30 N yükte, 1,06 m/sn hızda ve 2.000 m aşınma mesafesinde aşındıran disk malzemesinin yüzey EDS analizleri gösterilmiştir. Şekil 4.30a analizlerin yapıldığı bölgenin genel mikroskobik görüntüsünü göstermektedir. Ölçümün alındığı bölgenin seçiminde mümkün olduğu kadar homojen olmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 4.30b' de bulunan grafikte görülen pikler EDS analizlerinde taranan bölge içerisinde bulunan tüm bileşenleri göstermektedir. Şekil 4.30c' de ise bu bileşenler çizelge şeklinde sunulmuştur. 80B20D karışım oranına sahip kompozit malzemenin aşındırılması sonrasında disk yüzeyinde taranan bölge içerisinde %18,87 bakır, %1,81 kalay %2,07 grafit görülmüştür.

Grafit yapıların görülmesi kendinden yağlamalı yataklama şartlarında istenen bir durumdur. Bu yapıların yeterli düzeyde olması çalışma anında mil ve yatak arasında yağlamayı sağlayacaktır. Ayrıca aşındırıcı disk yüzeyinde Şekil 4.30' de gösterilen EDS analizine göre %7,42 oranında oksitlenmenin olduğu belirlenmiştir. Ortamda bulunan oksijenden yüzey yapısının etkilendiği ve deney esnasında temas bölgesinde ki artan sıcaklığın bu oluşumda etkili olduğu değerlendirilmiştir.





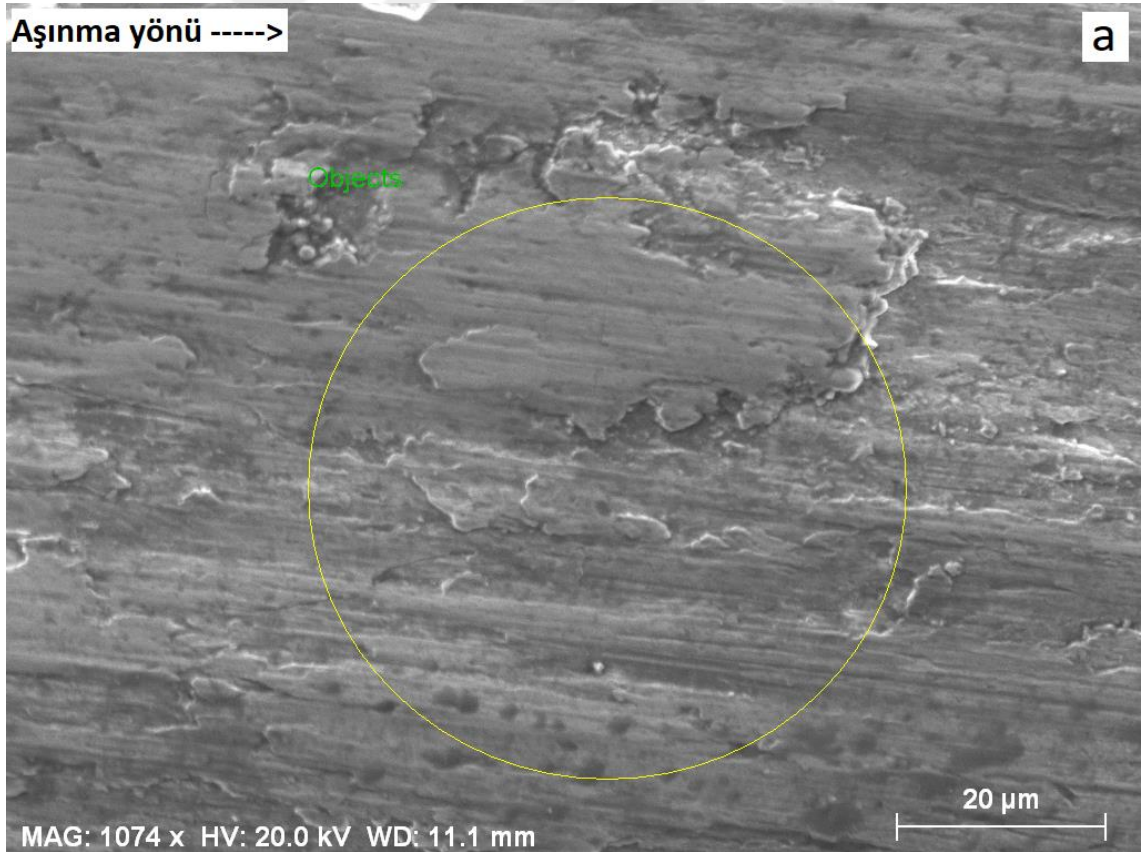
Şekil 4.30. Aşınma sonrası 80B20D numunesi aşındırıcı disk EDS analizi

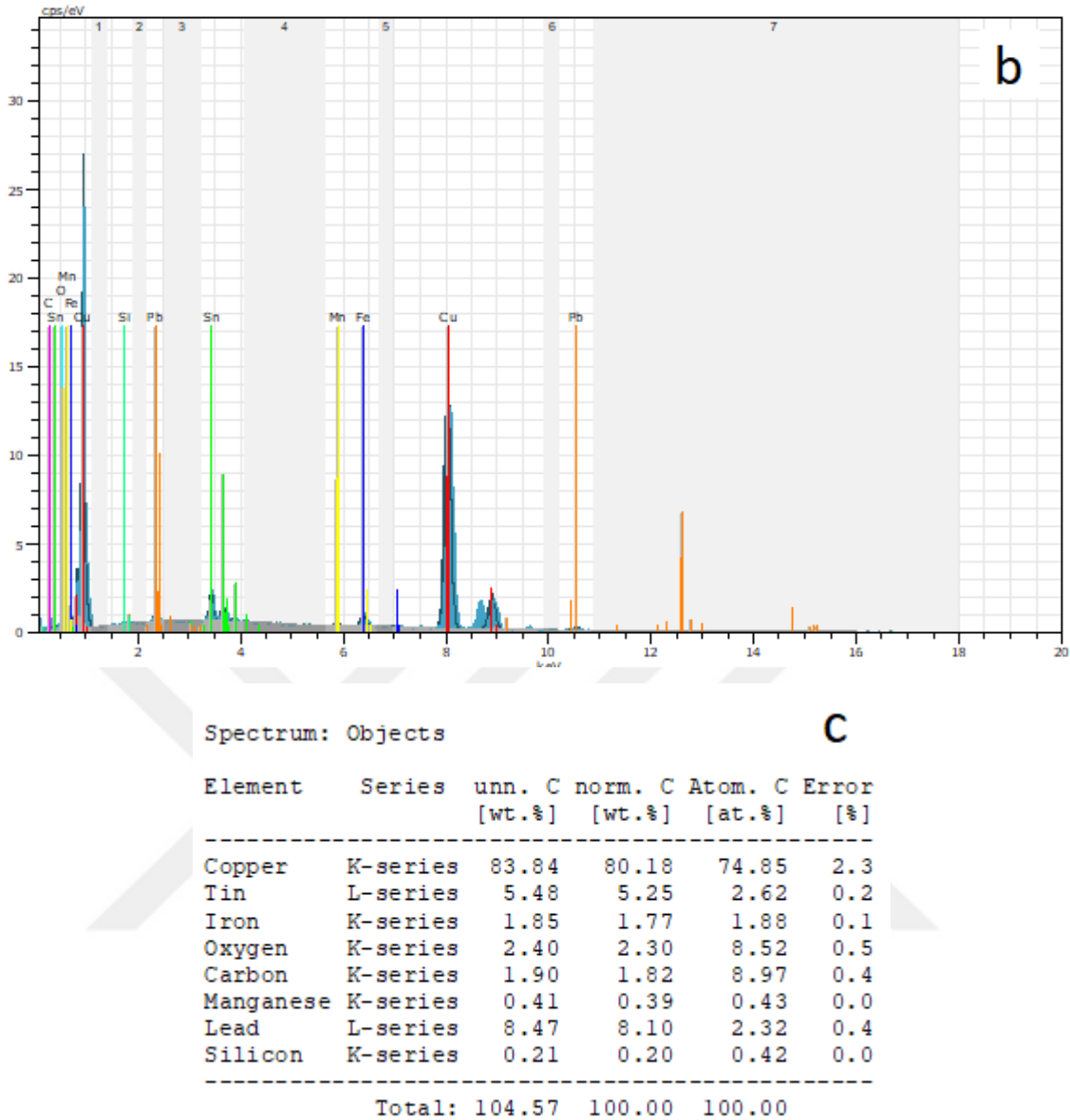
Şekil 4.31' de aşınma deneyleri sonrasında 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen 90B10D kompozit malzemesinin aşınma yüzeyi EDS analizleri gösterilmiştir. Şekil 4.31a' da ölçümün yapıldığı bölge mikroskobik olarak gösterilmiştir. Bu bölgenin seçiminde de kompozit malzemenin aşınma karakteristiğini homojen olarak yansıtmasına dikkat edildi.

Şekil 4.31b elde edilen sonuçları grafiksel olarak göstermektedir. Şekil 4.31c' de bu sonuçlar çizelge şeklinde sunulmuştur. Taranan bölge içerisinde %83,84 bakır, %5,48 kalay, %1,85 demir ve %1,90 grafitle beraber düşük oranlarda farklı alaşım elementleri de belirlenmiştir. Ayrıca tespit edilen %2,40 oranında oksitlenme aşınma esnasında kompozit malzemenin ortamda bulunan oksijenden etkilendiğini

göstermektedir. Bu oksitlenmenin olması oda şartlarında yapılan aşınma testlerinde beklenen bir durumdur.

Aşınma testleri esnasında kompozit malzeme içerisinde bulunan alaşım elementlerinin, üretim esnasında malzeme içerisine homojen bir şekilde dağılması oldukça önemlidir. Bunun gerçekleşmesiyle bir bütün olarak kompozit malzemenin aşınma davranışı değerlendirilebilir. Bunun olmadığı durumlarda aşınma esnasında temas bölgelerinde farklı malzeme davranışları gözlemlenir, bu durum malzeme kullanım ömrünü olumsuz yönde etkiler (Hutchings, 1992). Kompozit malzeme aşınma yüzeyinde bulunan bakır ve kalay oranları başlangıç şartlarıyla uyumlu olması nedeniyle aşınmanın homojen gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Özellikle ortamda bulunan grafitlerin sürtünme katsayısını düşürücü etkisi olması makine elemanlarında kullanılan yatak malzemeleri için avantaj sağlamaktadır. Ayrıca kompozit malzeme yüzeyinde tespit edilen demir nedeniyle aşındırıcı disk malzeme yüzeyinde az da olsa aşınmanın gerçekleştiği söylenebilir.



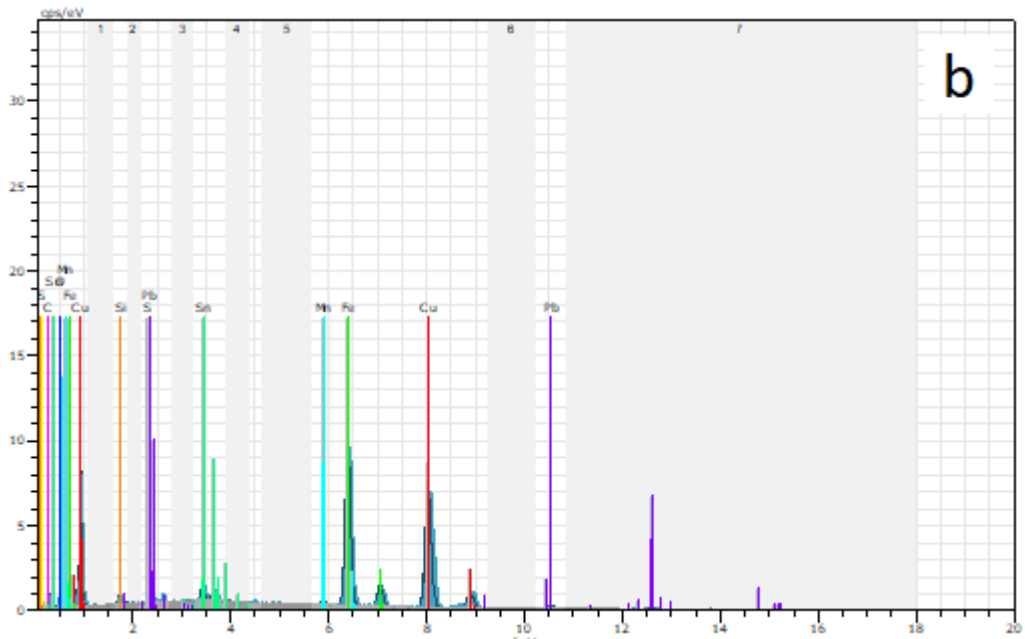
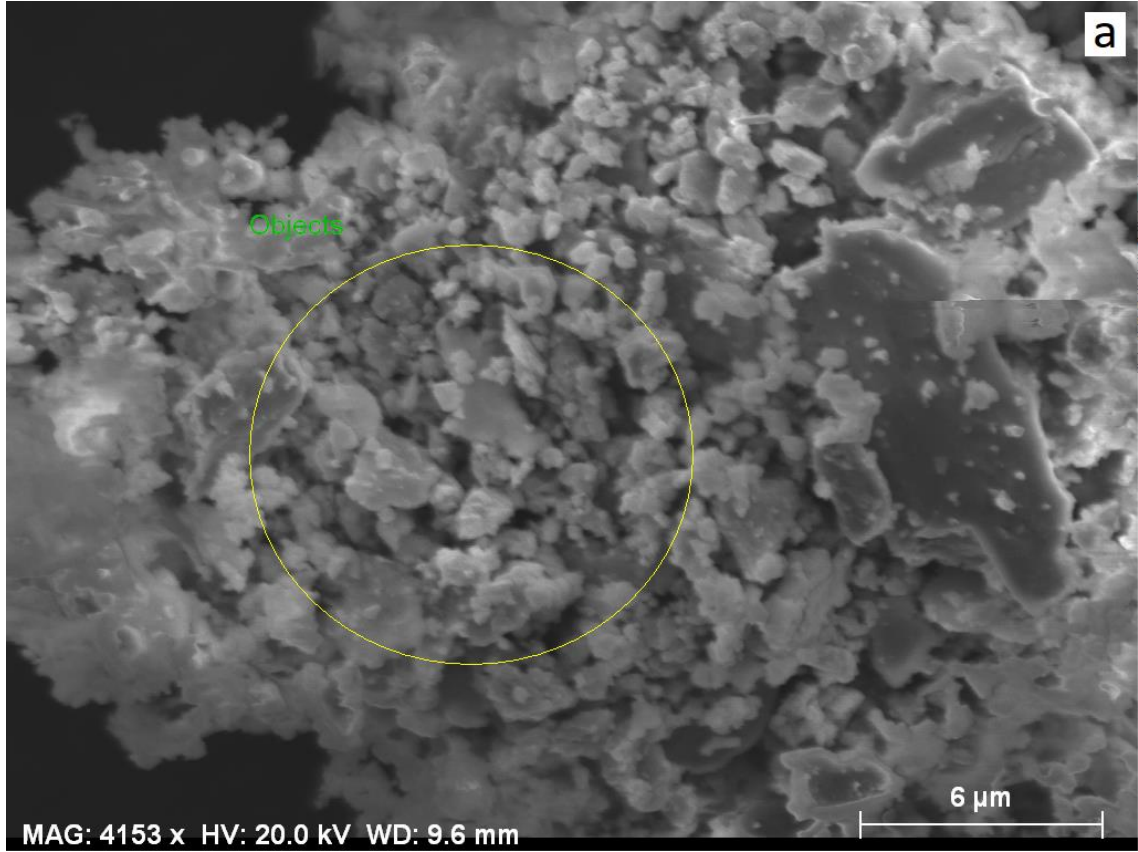


Şekil 4.31. Aşınma sonrası 90B10D numunesi EDS analizi

Şekil 4.32' de gerçekleştirilen aşınma deneyi sonrasında aşınma bölgesinin etrafından rastgele alınan tozların EDX analizleri sunulmuştur. Böylece aşınma sonrası oluşan tozların içeriği hakkında bilgi sahibi olunarak hangi malzemelerin aşındığı belirlenecektir.

Şekil 4.32a' da ölçümün yapıldığı taneciğin yüzeyi, şekil 4.32b' de ise analiz sonrasında elde edilen sonuçlar pikler şeklinde sunulmuştur. Daha önceki analizlerde olduğu gibi 450°C sıcaklık ve 820 MPa basınçta üretilen 60B40D kompozit malzemesi analiz edilmiş ve elde edilen bulgular Şekil 4.32c' de gösterilen çizelgede sunulmuştur. Aşınan tozların içerisinde %55,80 bakır, %33,30 demir, %5,75 oksit ve %1,36 grafit tespit edilmiştir. Bu değerlerin aşındırılan kompozit malzemenin içeriğine yakın olması

nedeniyle aşınmanın homojen olarak gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Ayrıca oksit yapıların varlığı aşınma esnasında ki sıcaklıktan ve ortamda ki oksijenden kaynaklı beklenen bir durumdur.



Spectrum: Objects C

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Copper	K-series	55.80	49.05	42.19	1.6
Iron	K-series	33.30	29.27	28.65	0.9
Oxygen	K-series	5.75	5.06	17.28	1.0
Manganese	K-series	0.78	0.68	0.68	0.1
Carbon	K-series	1.36	1.20	5.45	0.4
Sulfur	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0
Silicon	K-series	0.79	0.69	1.35	0.1
Tin	L-series	3.99	3.51	1.62	0.2
Lead	L-series	11.99	10.54	2.78	0.6
Total:		113.77	100.00	100.00	

Şekil 4.32. Aşınma sonrası 60B40D numunesi aşınan toz EDS analizi (450°C ve 820 MPa)



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

GGG40 ve CuSn10 metal talaşlarının dört farklı karışım oranında karıştırılarak, çift etkili sıcak preste farklı iki sıcaklık ve üç basınç parametresinde geri dönüştürülmesiyle kompozit malzemelerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin aşınma öncesi mekanik özellikleriyle beraber aşınma testleri sonrasında elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerde sunulmuştur. Ayrıca test sonuçlarıyla beraber SEM, EDS ve XRD analizleri de yapılarak değerlendirmelere katkısı sağlanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Literatür çalışmaları incelendiğinde sıcak ortam şartlarında üretilen kompozit malzemelerde genelde kalıplarda sıkışma sorunuyla karşılaşılmış ve bu sorunların giderilmesinde yağlayıcılardan faydalanılmıştır. Fakat kurmuş olduğumuz üretim sisteminde kalıplarda bu tarz durumlarla karşılaşmamıştır, bunda takviye malzemesi GGG40' ın içerdiği yoğun küresel grafitlerin kalıp cidarlarında yağlayıcı etki göstermesinin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Kompozit malzemelerin üretimleri sonrası yapılan mikroskop incelemelerinde uygun sıcaklık ve basınç parametresinde üretildiğinde talaşlar arası iyi birleşmelerin sağlandığı, yetersiz kaldığı durumlarda da gözeneklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca aşınma testleri öncesinde ve sonrasında detaylı bir şekilde yapılan XRD analizlerinde herhangi bir ara faz oluşmadığı belirlenmiştir.
- Yapılan testler neticesinde elde edilen yoğunluk ve gözeneklilik değerlerine göre üretim esnasında uygulanan basıncın düşük olmasıyla talaşlar arası birleşmeler yetersiz kalmakta ve gözenek miktarını arttırmaktadır. Literatür araştırmaları ve yapılan deneysel çalışmalar neticesinde gözenegin belirli miktarın üzerinde olması mekanik ve aşınma özelliklerini zayıflatmaktadır, bu nedenle üretim basıncının belirli bir seviyede tutulması önemlidir.
- Brinell sertlik testi sonuçları incelendiğinde üretim basıncının düşmesiyle elde edilen sertlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca matris malzemesi CuSn10' un miktarının artmasıyla elde edilen sertlik değerleri de birbirine yaklaşmaktadır. Bunda asıl etkenin sertlik ölçüm değerlerinin yüzeysel olması

ve üretim prosesinden kaynaklı kalıp cidarlarında kısmen plastik deformasyon nedeniyle benzer sertleşmelerin meydana gelmesidir. CuSn10 miktarının artmasıyla beraber bu davranışların benzerleşmesi ise matris malzemesi görevini gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ayrıca kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde matris malzemesi CuSn10' a göre %54,2 artışlar sağlanmıştır.

- Aşınma deneyleri sonrasında hesaplanan özgül aşınma oranların kompozit malzemenin sahip olduğu gözenek miktarlarıyla alakalı olduğu belirlenmiştir. Bu değer gözenek miktarının fazla olduğu 60B40D karışım oranında ki kompozit malzemelerde $6 \text{ mm}^3/\text{N.m.}10^{-5}$ iken gözeneğin azaldığı 90B10D karışım oranında ki kompozit malzemelerde $10 \text{ mm}^3/\text{N.m.}10^{-5}$ ' e çıkmaktadır.
- Aşınan kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri üretim basıncından önemli oranda etkilenmektedir. Basıncın 820 MPa olduğu kompozit malzemelerde bu değerler (R_a ve R_z) önemli oranda azalmaktadır. Bunda yüksek basınçta üretilen kompozit malzemelerin yüzey sertliğinin fazla olması ve üretim esnasında talaşlar arası daha iyi birleşmenin sağlanması etkili olmuştur. Ayrıca üretim basıncının 400° olduğu kompozit malzemelerden elde edilen değerler daha geniş aralıkta olurken, 450°C ' de üretilen kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirine oldukça yakındır. Takviye malzemesi GGG40' ın miktarının artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğü değeri aşınan grafitlerin yağlayıcı etkisiyle önemli oranda azalmaktadır.
- Aşınma deneyleri esnasında anlık olarak ölçülen sürtünme katsayısı değişimleri kompozit malzemelerin üretim basınçlarından önemli oranda etkilenmiştir. Düşük basınç 480 MPa' da üretilen malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri daha düzensiz bir dağılım göstermiştir. Bunda talaşlar arası yetersiz birleşme olmasının daha kolay aşınma meydana getirmesi sonucunda, aşınan tozların aşınma bölgesini etkilemesi ve sahip olduğu fazla gözenek miktarının etkili olduğu düşünülmüştür. 820 MPa basınçta üretilen kompozit malzemelerde aşınma mesafesinin ilerlemesiyle beraber aşınan grafitlerin etkisiyle sürtünme katsayısında belirli bir mesafeden sonra lineer azalmalar gözlemlenmiştir.
- Termal kamera yardımıyla aşınma sırasında düzenli sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde kararlı hal geçişi olarak tanımlanan sıcaklığın belirli bir zamandan sonra sabit kalması durumu 400°C ' de üretilen kompozitlerde 24-26 dk' larda, 450°C ' de üretilen kompozit malzemelerde 16-18 dk' larda

gözlemlenmiştir. Ayrıca basıncın artmasıyla beraber ulaşılan kararlı hal sıcaklıkları önemli oranda azalmıştır. Bunda aşınma bölgesinde bulunan gözenek yapısının etkili olduğu düşünülmektedir.

- Aşınma deneyleri sonrasında kompozit malzemelerin aşınma bölgeleri incelendiğinde aşınma davranışının grafitin yağlayıcı etkisinden önemli oranda etkilendiği, takviye malzemesi GGG40' ın artmasıyla bu etkinin arttığı görülmüştür. Farklı karışım oranlarında ki kompozit malzemelerde aşınma bölgesi grafitin yağlayıcı etkisiyle ilerleyen aşınma mesafelerinde ilk temas bölgesine doğru kaymıştır.
- SEM görüntüleri incelendiğinde karışım oranı içerisinde ki CuSn10 miktarına bağlı olarak aşınma davranışı değişmektedir. Kompozit malzeme içerisinde ki CuSn10 miktarı arttıkça başlangıçta abrazif aşınma gözlenirken, ilerleyen süreçte sıcaklığın etkisiyle adhezif aşınma davranışında artış gözlemlenmiştir.
- Aşınmış tozların EDS analizleri incelendiğinde yaklaşık olarak kompozit malzemelerin homojen bir şekilde aşındığı belirlenmiştir.
- Üretmiş olduğumuz kompozit malzemelerin birçok kullanım yeri olabilir fakat asıl kullanım amacı olarak kaymalı yatak malzemesi olması düşünülmüştür. Elde edilen aşınma deneyi sonuçlarına göre üretilen kompozit malzemeler; atık metallere geri dönüştürülmesi, üretim prosesinin yaygın olarak kullanılan ergitme yöntemine göre daha verimli olması, sürtünme katsayısı değişimlerinin daha istikrarlı olması ve takviye malzemesi içerisinde ki grafitin yağlayıcı etkisi nedeniyle avantajlar sağlamaktadır.

5.2 Öneriler

Atık haldeki CuSn10 ve GGG40 talaşlarının kullanıldığı bu tez çalışmasında daha sonrasında yapılabilecek çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

- Bu çalışmada kompozit malzemeler çift etkili sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Bu üretim yönteminin yanı sıra toz metalürjisi yöntemiyle yani soğuk presleme sonrası sinterlemeyle üretilen kompozit malzemelerin aşınma

davranışları incelenebilir. Böylece bu iki üretim yönteminin aşınma davranışına etkisi kıyaslanabilir.

- Aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı disk yüzeyinde EDS analizlerinde az da olsa oksitlenmeler görülmüştür. Aşınma deneylerinin vakum ya da oksitlenmeyi engelleyici gazlı ortam şartlarında yapılmasıyla bu oksitlenmelerin önüne geçilebilir.
- Kompozit malzemelerin üretimleri sırasında uygulanan bekletme süreleri artırılarak üretimleri gerçekleştirilebilir. Böylece daha etkili difüzyon sağlanarak aşınma davranışları iyileştirilebilir.
- Farklı aşınma yükü ve aşınma hızlarında deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek yatak malzemesi olarak kullanılması düşünülen kompozit malzemelerin aşınma davranışları detaylandırılabilir.
- Üretimler esnasında yüksek sıcaklıkta CuSn10' un göstermiş olduğu aşırı yumuşama ve kalıp boşluklarını tıkaması nedeniyle çift etkili sıcak presleme yönteminin yanı sıra ekstrüzyon üretim yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin aşınma davranışları incelenebilir.
- Termal kamera yardımıyla ölçümleri yapılan temas bölgesi sıcaklık değişimlerinin teorik ve nümerik olarak araştırılmasıyla gözenekli kompozit malzemelerin termal davranışları hakkında literatüre katkı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Abd El Aal, M. I., Yoon, E. Y. ve Kim, H. S., 2013, Recycling of AlSi8Cu3 alloy chips via high pressure torsion, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 560, 121-128.
- Abdoos, H., Khorsand, H. ve Shahani, A. R., 2009, Fatigue behavior of diffusion bonded powder metallurgy steel with heterogeneous microstructure, *Materials & Design*, 30 (4), 1026-1031.
- Akkurt, M., 1990, Makine Elemanları Cilt-1
- Arslan, F., Cinbat, S., Dönmez, A. G., 1996, Gözenekli bronz yatak imalinde üretim parametrelerinin yatak özelliklerine etkilerinin incelenmesi. 1. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı.
- Aslan, A., 2015a, Atık metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle metal matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Selçuk University*.
- Aslan, A., Gunes, A., Salur, E., Sahin, O. S., Karadağ, H. B. ve Akdemir, A., 2018, Mechanical properties and microstructure of composites produced by recycling metal chips, *International Journal of Minerals Metallurgy and Materials*, 25 (9), 1070-1079.
- Aslan, A., Salur, E., Güneş, A., Şahin, Ö. S., Karadağ, H. B., Akdemir, A., 2018, Production and mechanical characterization of prismatic shape machine element by recycling of bronze and cast iron chips, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* (33:3), 1013-1027.
- Aslan, A., Şahin, Ö. S., Salur, E., Güneş, A., Akdemir, A., Karadağ, H. B., 2015b, A New method for recycling of metal chips, *Journal of Selçuk University Natural and Applied Science*, 4 (1), 1-12.
- Atak, Y., 2009, Kendinden yağlamalı grafit katkılı bronz yatakların aşınma davranışının incelenmesi, *Gazi University*.
- Babic, M., Mitrovic, S. ve Jeremic, B., 2010, The influence of heat treatment on the sliding wear behavior of a ZA-27 alloy, *Tribology International*, 43 (1-2), 16-21.
- Bagchi, H., 1981, Performance of impregnated bronze bearings at low-speeds, *Wear*, 72 (3), 267-276.
- Bağcı, M., 2005, CuZn10 pirinç malzemede kayma hızının aşınmaya etkisi, *Selçuk University*.
- Barbosa, A. D., Bobrovnitchii, G. S., Skury, A. L. D., Guimaraes, R. D. ve Filgueira, M., 2010, Structure, microstructure and mechanical properties of PM Fe-Cu-Co alloys, *Materials & Design*, 31 (1), 522-526.

- Belevi, M., 2004, Makine tasarımı II ders notları.
- Chmura, W. ve Gronostajski, J., 2000, Mechanical and tribological properties of aluminium-base composites produced by the recycling of chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 106 (1-3), 23-27.
- Chmura, W. ve Gronostajski, Z., 2006, Bearing composites made from aluminium and aluminium bronze chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 178 (1-3), 188-193.
- Chmura, W. ve Gronostajski, Z., 2007, Bearing materials obtained by diffusion bonding of aluminium and aluminium bronze chips, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 7 (2), 53-66.
- Cui, G. J., Han, J. R. ve Wu, G. X., 2016, High-temperature wear behavior of self-lubricating Co matrix alloys prepared by P/M, *Wear*, 346, 116-123.
- Çelik, Y. H., Seçilmiş, K., 2017, Investigation of wear behaviors of Al matrix composites reinforced with different B4C rate produced by powder metallurgy method, *Advanced Powder Technology VII*, 28, 2218-2224.
- Demirel, H., 2017, Dökme demir/bronz talaş kompozitin toz metalürjisi esaslarıyla üretimi ve mekanik özellikleri, *Selçuk University*.
- Ekşi, A., Kurt A., 1999, Metal ve seramik tozların bilgisayar kontrollü tek eksenli kalıpta preslenmesi. II. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı. ODTÜ: 557-565.
- Fogagnolo, J. B., Ruiz-Navas, E. M., Simon, M. A. ve Martinez, M. A., 2003, Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion, *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 792-795.
- Gao, Y., Jie, J. C., Zhang, P. C., Zhang, J., Wang, T. M. ve Li, T. J., 2015, Wear behavior of high strength and high conductivity Cu alloys under dry sliding, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (7), 2293-2300.
- German, R. M., 2007, Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri, *Türk Toz Metalürjisi Derneği*, p. 2-197.
- Gronostajski, J. ve Matuszak, A., 1999, The recycling of metals by plastic deformation: an example of recycling of aluminium and its alloys chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 93, 35-41.
- Gronostajski, J., Marciniak, H. ve Matuszak, A., 2000, New methods of aluminium and aluminium-alloy chips recycling, *Journal of Materials Processing Technology*, 106 (1-3), 34-39.
- Guluzade, R., Avci, A., Demirci, M. T. ve Erkendirici, O. F., 2013, Fracture toughness of recycled AISI 1040 steel chip reinforced AlMg1SiCu aluminum chip composites, *Materials & Design*, 52, 345-352.

- Hutchings, I. M., 1992, Tribology-Friction and wear of engineering materials, University of Cambridge.
- Justino, J. G., Bernardini, P. A. N., 1999, Self-Lubricating bearings: Microstructural and dimensional evolution under industrial processing conditions, *Materials Science Forum*, 299, 356-363.
- Karadağ, H. B., 2012, Çelik/Bronz talaş kompozitin üretimi ve mekanik özellikleri, *Selçuk University*.
- Kato, H., Takama, M., Iwai, Y., Washida, K. ve Sasaki, Y., 2003, Wear and mechanical properties of sintered copper-tin composites containing graphite or molybdenum disulfide, *Wear*, 255, 573-578.
- Ozdemir, N., Aksoy, M. ve Orhan, N., 2003, Effect of graphite shape in vacuum-free diffusion bonding of nodular cast iron with gray cast iron, *Journal of Materials Processing Technology*, 141 (2), 228-233.
- Özçelik, S., 2007, Cu ve Fe esaslı T/M yatak malzemelerinin aşınma özelliklerinin deneysel incelenmesi, *Selçuk University*.
- Raman, R. ve Chennabasavan, T. S., 1998, Experimental investigations of porous bearings under vertical sinusoidally fluctuating loads, *Tribology International*, 31 (6), 325-330.
- Sağlam, D., 2009, Dökme demirlerin aşınma özellikleri, *Marmara University*.
- Salur, E., 2017, Atık Metal talaşlarının geri dönüştürülmesiyle üretilen metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması, *Selçuk University*.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., Güneş, A., Şahin, Ö.S., 2019, Experimental study and analysis of machinability characteristics of metal matrix composites during drilling, *Composite Part-B: Engineering*, 166, 401-413.
- Sarıtaş, S., 1992, Toz Metalürjisi, Ankara Makina Mühendisleri Odası, p. 64-82.
- Shamsudin, S., Lajis, M. A. ve Zhong, Z. W., 2016, Solid-state recycling of light metals: A review, *Advances in Mechanical Engineering*, 8 (8).
- Su, Y. F., Zhang, Y. S., Song, J. J. ve Hu, L. T., 2017, Tribological behavior and lubrication mechanism of self-lubricating ceramic/metal composites: The effect of matrix type on the friction and wear properties, *Wear*, 372, 130-138.
- Szczepanik, S. ve Sleboda, T., 1996, The influence of the hot deformation and heat treatment on the properties of P/M Al-Cu composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 60 (1-4), 729-733.
- Şahin, Ö. Ş., 2015, Dökme demir ve bronz talaşlarının geri dönüştürülmesi ile metal matris kompozit malzemelerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve kendiliğinden

yağlamalı kaymalı yatak olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *TÜBİTAK-113M141 Sonuç Raporu*.

- Tao, Y., Ming-yi, Z., Xiao-shi, H., Kun, W., 2010, Recycling of AZ91 mg alloy through consolidation of machined chips by extrusion and ECAP, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20, 604-607.
- Unlu, B. S., Durmus, H. ve Akgun, S., 2009, Tribological and mechanical properties of Al alloyed bearings, *Journal of Alloys and Compounds*, 487 (1-2), 225-230.
- Unlu, B. S. ve Atik, E., 2010, Evaluation of effect of alloy elements in copper based CuSn10 and CuZn30 bearings on tribological and mechanical properties, *Journal of Alloys and Compounds*, 489 (1), 262-268.
- Upadhyaya, A. ve Sethi, G., 2007, Effect of heating mode on the densification and microstructural homogenization response of premixed bronze, *Scripta Materialia*, 56 (6), 469-472.
- Ünlü, B. S., Atik, E., Meriç, C., 2007, Effect of loading capacity (pressure-velocity) to tribological properties of CuSn10 bearings, *Materials and Design*, 28, 2160-2165.
- Varol R., S. S., 1996, Bilyalı dövme işleminin demir esaslı T/M parçaların yorulma özellikleri üzerine etkisinin araştırılması, I. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı, Ankara, Gazi University: 407-418.
- Wua, S., Ji, Z., Zhanga, T., 2009, Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy recycled by solid-state process from different size chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5319-5324.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aydın GÜNEŞ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırşehir, 17.02.1987
Telefon : 0 535 505 97 35
Faks :
E-Posta : aydingns@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kocasinan Lisesi	Kayseri	2005
Üniversite	: Erciyesi Üni.	Kayseri	2010
Yüksek Lisans	: Selçuk Üni.	Konya	2013
Doktora	: Konya Teknik Üni.	Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2019	Selçuk/Konya Teknik Üniversitesi	Arş. Gör.
2014-Halen	Abdullah Gül Üniversitesi	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Metallerin geri dönüştürülmesi, atık metaller, kompozit malzemeler, malzemelerin mekanik davranışları.aşınma.

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

A-Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

Şahin, Ö.S., Güneş, A., 2014, The Free Vibration Behaviors Of Hybrid Stacked Composite Plates With A Hole, Journal of Selcuk University Natural and Applied Science, vol 3, No 1.

Aslan, A., Şahin, Ö.S., Salur, E., Gunes, A., Akdemir, A., Karadağ, H.B., 2015, A New Method for Recycling of Metal Chips, Journal of Selcuk University Natural and Applied Science, vol 4, No 1.

Şahin, Ö.S., Güneş, A., Karadağ, H.B., 2016, Effect of Impactor Mass on Dynamic Response and Retention Properties of Composite Plates under Successive Impacts, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol 12, issue1

Güneş, A., Şahin, Ö.S., Düzcükoğlu, H., Aslan, A., Salur, E., 2016, Wear Behavior of Metal Matrix Composites by Recycling Metal Chips, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 10(15), 78-81.

Aslan, A., Güneş, A., Salur, E., Şahin, Ö.S., Karadağ, H.B., Akdemir, A., 2018, Mechanical Properties and Microstructure of Composites Produced by Recycling Metal Chips, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 25:9, 1070-1079. (Bu akademik yayın bu tez çalışmasından yapılmıştır.)

Aslan, A., Salur, E., Güneş, A., Şahin, Ö.S., Karadağ, H.B., Akdemir, A., 2018, Production And Mechanical Charecterization of Prismatic Shape Machine Element By Recycling of Bronze And Cast Iron Chips, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:3, 1013-1027.

Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., Güneş, A., Şahin, Ö.S., 2019, Experimental Study and Analysis of Machinability Characteristics of Metal Matrix Composites During Drilling, *Composite Part-B: Engineering*, 166;401-413.