

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE EĞİTİM BÖLÜMÜ

BİR KRANK MİLİ KOL YATAĞININ YÜZEY YAPISININ
GELİŞTİRİLMESİ

Ömer CİHAN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hanbey HAZAR

NİSAN-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE EĞİTİM BÖLÜMÜ

BİR KRANK MİLİ KOL YATAĞININ YÜZEY YAPISININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer CİHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19.04.2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.05.2011

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hanbey HAZAR
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Aydın DİKİCİ
Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ

NİSAN – 2011

ÖNSÖZ

“Bir Krank Mili Kol Yatağının Yüzey Yapısının Geliştirilmesi” konulu tezin hazırlanması esnasında değerli görüş ve önerileriyle çalışmalarına yön veren ve her türlü yardımlarını esirgemeyen başta hocam Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Hanbey HAZAR’a teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca yardımlarından dolayı Fırat Üniversitesi T.E.F. Metal Eğitimi Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ’a, Fırat Üniversitesi T.E.F. Otomotiv Atölyesi teknisyenlerine ve bu çalışmalarım süresince manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ömer CİHAN
ELAZIĞ - 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	XIII
1. Giriş	1
2. YATAKLAR	3
2.1. Kaymalı Yataklar	4
2.1.1. Radyal Kaymalı Yataklar	5
2.1.1.1. Gövde Kısmı Tek Parça Olan Kaymalı Radyal Yataklar	5
2.1.1.2. Gövde Kısmı İki Parça Olan Kaymalı Radyal Yataklar	6
2.1.2. Eksenel Kaymalı Yataklar.....	6
2.1.3. Radyal Eksenel Kaymalı Yataklar	7
2.2. Kaymalı Yatakların Yapısı.....	9
2.3. Kaymalı Yatakların Özellikleri ve Kullanımı	11
2.4. Rulmanlı (Yuvarlanmalı) Yataklar	12
2.5. Yatak Yükleri	13
2.6. Müsaade Edilen Yatak Yükleri	15
2.7. Krank Mili Ana Yatakları	16
2.8. Krank Mili Kol Yatakları	17
2.8.1. Yatakların Yapısı	17
2.8.2. Yatak Özellikleri.....	17
2.8.2.1. Yatak Yaygınlığı.....	18
2.8.2.2. Yatak Kenar Çıkıntısı	18
2.8.2.3. Yatak Tespit Şekilleri	19
2.8.3. Yatak Hasarları.....	19

2.9.	Yatak Şelleri.....	20
3.	YATAK MALZEMELERİ.....	23
3.1.	Yatak Malzemesi Çalışmaları	23
3.2.	Bakır.....	25
3.3.	Bakır Alaşımaları	26
3.3.1.	Pirinçler (Cu-Zn)	26
3.3.2.	Bronz.....	28
3.3.2.1.	Kalay Bronzu.....	28
3.3.2.2.	Alüminyum Bronzu	28
3.3.2.3.	Nikel Bronzları	29
3.4.	Alüminyum.....	29
3.5.	Çinko.....	30
3.6.	Çinko Alüminyum Esaslı Alaşımalar	30
4.	AŞINMA, SÜRTÜNME VE YAĞLAMA	31
4.1.	Aşınma	31
4.1.1.	Adhesiv Aşınma	32
4.1.2.	Abrasiv Aşınma	32
4.1.3.	Yorulma Aşınması (Pitting)	33
4.1.4.	Korozif Aşınma	33
4.2.	Sürtünme	34
4.2.1.	Kuru Sürtünme	34
4.2.2.	Sınır (Yarı Sıvı) Sürtünme	35
4.2.3.	Sıvı Sürtünme	36
4.2.4.	Yuvarlanma Sürtünmesi.....	38
4.3.	Yağlama	39
4.3.1.	Yağlamanın Önemi	39
4.3.2.	Yataklarda Yağlama Şekilleri	40
4.3.2.1.	Hidrodinamik Yağlama.....	40
4.3.2.2.	Hidrostatik Yağlama	41
5.	ISIL PÜSKÜRTME KAPLAMA TEKNİKLERİ	43
5.1.	Alevle Püskürtme	44
5.1.1.	Alevle Tel Püskürtme	45
5.1.2.	Alevle Toz Püskürtme.....	46

5.2.	Patlamalı Püskürtme (D-Gun)	47
5.3.	Elektrik Ark Püskürtme	48
5.4.	Plazma Püskürtme	49
5.5.	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme	49
6.	PLAZMA SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ.....	51
6.1.	Giriş	51
6.2.	Plazmanın Tanımı ve Avantajları	53
6.3.	Plazmanın Özellikleri.....	54
6.4.	Plazma Püskürtme Sistemi	55
6.5.	Plazma Spreyin Sınıflandırılması	57
6.6.	Plazma Partikül Etkileşimi	58
6.7.	Sprey Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi.....	58
6.8.	Prosesin Endüstriyel Uygulama Alanları.....	59
7.	MATERYAL VE METOD.....	61
7.1.	Amaç	61
7.2.	Kapsam.....	61
7.3.	Çalışmada Kullanılan Malzemeler	61
7.4.	Numunelerin Hazırlanması ve Üretilmesi.....	62
7.5.	Metalografik Çalışmalar	64
7.6.	Aşınma Deneyi	64
7.6.1.	Aşınma Deney Setinin Özellikleri	64
7.6.2.	İşlem Değişkenleri	69
7.7.	SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri.....	69
7.8.	EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) Analiz Çalışmaları	69
7.9.	X-Işınları Difraksiyonu (X-Ray Diffraction) Çalışmaları.....	69
7.10.	Mikrosertlik Ölçümleri	70
8.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	71
8.1.	Aşınma Deney sonuçları	71
8.1.1.	42, 67 ve 92 N Yük Altında Yapılan Aşınma Deney Sonuçları ve Sürtünme Katsayısı Ölçümleri	71
8.2.	SEM ve EDS Analiz Sonuçları.....	78
8.2.1.	Kaplama Tozlarının Şekli	78
8.2.2.	Aşınma Öncesi ve Sonrası SEM ve EDS İncelemeleri.....	80

8.3.	X-Ray Analiz Sonuçları	132
8.4.	Mikrosertlik Sonuçları	140
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	143
	KAYNAKLAR.....	145
	ÖZGEÇMİŞ.....	153

ÖZET

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlarda kullanılan geleneksel krank mili kol yatak malzemesine alternatif olabilecek altı adet krank mili kol yatak malzemesi geliştirilmiş, yeni formülasyonlu çinko esaslı yataklar ve orijinal yatağın aşınma davranışı ve sürtünme katsayısı deneysel olarak incelenmiştir. Yatak olarak 6LD400 Lombardini marka krank mili kol yatağı kullanılmıştır. Krank mili kol yatakları çok farklı etki ve zorlanmalara maruz kalmaktadır. Bu zorlu koşullara uyabilecek, Zn-Al-Cu-O-C farklı kombinasyonlarda altı alaşım, alüminyum alaşımli yatağın çalışma yüzeyine atmosferik plazma püskürtme yöntemi ile kaplanmıştır.

Yatakların aşınma davranışları, ring on ring aşınma deney düzeneğinde incelenmiştir. Aşınan malzeme olarak yeni üretilen yatak numunelerinden ve orijinal yataktan birer kesit alınarak ve aşındırıcı malzeme olarak krank milinden numune alınarak, aşınan ve aşındırıcının çalışma yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde çalıştırılmıştır.

Deney düzeneğinde her numune için; 1690 m aşınma mesafesi boyunca, 300 d/dk'da, yük başına 30 dakika süresince, 42N, 67N ve 92N yük uygulanmıştır. Her 30 dakikada bir deney düzeneği durdurularak numune sökülmüş daha sonra tartılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Deney esnasında numunelerin sürtünme kuvvet değerleri alınmış ve mevcut formülle numunelerin sürtünme katsayıları bulunmuştur.

Kaplamalı yataklar ve orijinal yatağın, aşınma testi öncesi ve sonrası çalışan yüzeylerinden SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınıp mikro yapısı yorumlanmıştır. Ayrıca EDS (enerji dağılım spektrometresi) analizi yapılarak elementer yapıları incelenmiştir. Numunelerin X-Ray analizi yapılarak elde edilen sonuçlarla, EDS analiz sonuçları karşılaştırılmış ve mikrosertliklerine bakılmıştır.

Elde edilen bulgulara dayanılarak, üretilen yatakların orijinal yataklara göre aşınma direncinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Krank Yatakları, Zn, Atmosferik Plazma Püskürtme, Aşınma

SUMMARY

THE DEVELOPMENT OF SURFACE STRUCTURE OF A CRANKSHAFT BEARING

In this study, six crankshaft bearing materials were developed as alternative to conventional crankshaft bearing materials that are used in internal combustion engines and wear behaviour and friction coefficient of zinc based bearings with new formulation and original bearings was experimentally investigated. As a bearing, 6LD400 Lombardini brand crankshaft bearing was used. Crankshaft bearings are exposed to different effects of loads and strenghts. Six alloys like Zn-Al-Cu-O-C with different combinations that can adapt to these hard conditions were coated on the surface of aluminum alloyed bearing by atmospheric plasma spray coating method.

Wear behaviour of bearings was investigated on ring on ring wear testing apparatus. As the wearing material, by taking a sample from newly-produced bearing and original bearing and as the abrasive material by taking a sample from the crankshaft bearing, the surfaces of wearing material and abrasive material were operated reciprocally.

On the testing apparatus, for every sample throughout 1690 m wearing distance, 42N,67N and 92N loads were applied per load for 30 minutes with 300 rpm. In every 30 minutes, the testing apparatus was stopped and the sample was detached then it was weighed and the weigh loss was specified. During the experiment, friction force values of the samples were taken and with the available formula, the friction coefficient of the samples were found.

From the surface of coated bearings and original bearing that worked before and after the wear testing, SEM (Scaning Electron Microscopy) images were taken and their microstructures were interpreted. Also, by doing EDS (Energy Dispersive Spectrograpy) analysis their elementary structures were investigated. The results of X-Ray analysis of the samples and EDS analysis were compared and their microhardness were examined. According to the findings obtained, the wear resistance of the bearings that were produced were higher than the original bearings.

Keywords: Crankshaft Bearings, Zn, Atmospheric Plasma Spray, Wear

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Kaymalı ve Rulmanlı Yatak.....	3
Şekil 2.2. Kaymalı Yataklar.	4
Şekil 2.3. Radyal Kaymalı Yatak.....	5
Şekil 2.4. Eksenel Kaymalı Yatak	6
Şekil 2.5. Radyal Eksenel Yatak.....	7
Şekil 2.6. Kaymalı Yatak Tipleri	8
Şekil 2.7. Kaymalı Yatak Tipleri	9
Şekil 2.8. İçten Yanmalı Motorda Yatakların Kesit Görüntüsü [12].	11
Şekil 2.9. Yuvarlanma Dirençli Yatak Kesitleri[23].	12
Şekil 2.10. Kaymalı Yatak Yük Dağılımı [12].	14
Şekil 2.11. Hidrodinamik Yağlamanın Oluşması [17].	14
Şekil 2.12. Krank Mili Ana Yataklarının Blok Üzerindeki Görünümü [18].	16
Şekil 2.13. Yatakların Yapısı [19].	17
Şekil 2.14. El ile Yatağın Yuvasına Oturtulması [21].	18
Şekil 2.15. Yatak Kenar Çıkıntısı [21].	18
Şekil 2.16. Tespit Tırnakları ve Tespit Pimi [21].	19
Şekil 2.17. Yatak Şeli[12].	21
Şekil 2.18. Ana Yatak Şellerinin Kesit Görüntüsü[12].	22
Şekil 3.1. Çeşitli Pirinçlere Ait Mikro Yapılar [39].	27
Şekil 4.1. Dört Aşınma Türünün Şematik Gösterimi[60].	34
Şekil 4.2. Kuru Sürtünme Prototipi [14].	35
Şekil 4.3. Sınır (Yarı Sıvı) Sürtünme [9].	36
Şekil 4.4. Sıvı Sürtünmesi (a) Yağlayıcı Tabaka, (b) Tabakalar Arası Hızlar [14].	36
Şekil 4.5. Hidrodinamik Sıvı Sürtünmesi [9].	37
Şekil 4.6. Hidrostatik Sıvı Sürtünmesi [6].	37
Şekil 4.7. Yuvarlanma Sürtünmesi Prototipi [1].	38
Şekil 5.1. Isıl Püskürtme Kaplama Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi[87].	44
Şekil 5.2. Tel ve Çubuk İle Gerçekleştirilen Alevle Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü[87].	46
Şekil 5.3. Alevle Toz Püskürtme ile Gerçekleştirilen Kaplama İşlemi[12].	46
Şekil 5.4. Alevle Toz Püskürtme Yönteminin Şematik Görünüşü[88].	47
Şekil 5.5. Patlamalı Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü[87].	48
Şekil 5.6. Silindirik Altlık Malzemesinin Patlamalı Püskürtme Yöntemiyle Kaplanması[87].	48
Şekil 5.7. Elektrik Ark Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü[90].	49
Şekil 5.8. HVOF Püskürtme Tabancasıyla Kaplamanın Şematik Gösterimi[87].	50
Şekil 6.1. Plazma Sprey (APS) Şematik Gösterimi[91].	52
Şekil 6.2. Plazma Spreyin Tarihsel Gelişimi[93].	52
Şekil 6.3. Nötr Bir Atomun Şematik Gösterimi[94].	53
Şekil 6.4. Kontrol Panelli Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Şekli[87].	55
Şekil 6.5. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Güç Kaynağı[87].	56
Şekil 6.6. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Toz Besleme Ünitesi[87].	56
Şekil 6.7. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Plazma Tabancası[87].	57

Şekil 6.8.	Plazma Sprey Yönteminin Sınıflandırılması[93].	58
Şekil 6.9.	Termal Spreyin Genel Kullanım Alanları[97].	60
Şekil 7.1.	Atmosferik Plazma Püskürtme Tabancası [65].	62
Şekil 7.2.	Orijinal Yatağın Üstten İç Yüzeyinin Görünümü.	63
Şekil 7.3.	Orijinal Yatağın Yandan Görünümü.	63
Şekil 7.4.	Kaplanmış Yatağın Yandan Görünümü.	63
Şekil 7.5.	Kaplanmış Yatağın Üstten İç Yüzeyinin Görünümü.	64
Şekil 7.6.	PLINT Marka Üiversal Sürtünme ve Aşınma Cihazının Şematik Görünümü.	66
Şekil 7.7.	PLINT Marka Ring on Ring Aşınma Cihazı.	67
Şekil 7.8.	Aşınma Cihazının Devri, Sayacı, Deplasman ve Sürtünme Kuvvetini Gösteren Makine.	67
Şekil 7.9.	Kaymalı Yatakta Sürtünme Kuvvetinin Oluşumu[66].	68
Şekil 7.10.	SEM Cihazı[99].	70
Şekil: 8.1.	Numunelerin 42, 67 ve 92 N Yük Altındaki Aşınma Davranışları	71
Şekil 8.2.	(a) Kaplanmamış Yatak, (b) 1 Nolu Numune, (c) 2 Nolu Numune, (d) 3 Nolu Numune, (e) 4 Nolu Numune, (f) 5 Nolu Numune, (g) 6 Nolu Numune. Aşınma Sonrası Parçaların Yüzey Görünümü	74
Şekil 8.3.	Numunelerin 42, 67 ve 92 N Yük Altında Sürtünme Davranışları	75
Şekil 8.4.	Kaplama Tozlarının SEM Görüntüleri a) Al b) Al c) Zn d) Zn e) Cu f) Cu	79
Şekil 8.5.	Kaplanmamış Malzemenin 1 ve 2 Noktalarından Alınan EDS Analizi.	80
Şekil 8.6.	Kaplanmamış Malzemenin Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X	81
Şekil 8.7.	Kaplanmamış Malzemenin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	83
Şekil 8.8.	Kaplanmamış Malzemenin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi	84
Şekil 8.9.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.	85
Şekil 8.10.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O SEM Görüntüsü	85
Şekil 8.11.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 3 Noktasından Alınan EDS Analizi.	87
Şekil 8.12.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	88
Şekil 8. 13.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X	89
Şekil 8.14.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	91
Şekil 8.15.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	92
Şekil 8.16.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.	93
Şekil 8.17.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C SEM Görüntüsü.	93
Şekil 8.18.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	95
Şekil 8.19.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.	96
Şekil 8. 20.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X	97

Şekil 8.21.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	99
Şekil 8.22.	Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	100
Şekil 8.23.	Zn-20Al-5O-15C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.	101
Şekil 8.24.	Zn-20Al-5O-15C SEM Görüntüsü.....	101
Şekil 8.25.	Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.	103
Şekil 8.26.	Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 4 Noktasından Alınan EDS Analizi.	104
Şekil 8.27.	Zn-20Al-5O-15C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X.....	106
Şekil 8.28.	Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.	108
Şekil 8.29.	Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.	109
Şekil 8.30.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.....	110
Şekil 8.31.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O SEM Görüntüsü.	110
Şekil 8.32.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	111
Şekil 8.33.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	112
Şekil 8.34.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X	113
Şekil 8.35.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	115
Şekil 8.36.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	116
Şekil 8.37.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.....	117
Şekil 8.38.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C SEM Görüntüsü.	117
Şekil 8.39.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	119
Şekil 8.40.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	120
Şekil 8.41.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X	121
Şekil 8.42.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	123
Şekil 8.43.	Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.....	124
Şekil 8.44.	Zn-10C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.	125
Şekil 8.45.	Zn-10C Kaplı Yüzeyin 4 Noktasından Alınan EDS Analizi.	126
Şekil 8.46.	Zn-10C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X.....	128
Şekil 8.47.	Zn-10C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi	130
Şekil 8.48.	Zn-10C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi	131
Şekil 8.49.	Kaplanmamış Yatağa Ait X-Işınları Difraksiyonu.....	134
Şekil 8.50.	Zn-30Cu-20Al-10C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.....	135
Şekil 8.51.	Zn-30Cu-10Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.....	136
Şekil 8.52.	Zn-20Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.	137
Şekil 8.53.	Zn-10C Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.	138
Şekil 8.54.	Zn-25Cu-10Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.....	139
Şekil 8.55.	Zn-15Cu-20Al-5C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.	140

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Farklı Malzemelerden Yapılmış Yataklarda Müsaade Edilen Yatak Yükü Değerleri	15
Tablo 3.1. Bakırın Fiziksel Özellikleri	26
Tablo 3.2. Çinkonun Genel Özellikleri	30
Tablo 7.1. Alaşım İçerisinde Kullanılan Elementlerin Ağırlıkça Yüzdesi	62
Tablo 8.1. Numunelerin Mikrosertlik Değerleri	141

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

W	: Açısal Hız
P_{max}	: Maksimum Basınç
P	: Basınç
F_t	: Toplam Yük
d	: Yatak Çapı
F_n	: Normal Kuvvet
μ	: Sürtünme Katsayısı
W	: Ağırlık
F	: Kuvvet
F_s	: Sürtünme Kuvveti
y	: Mesafe
U	: Hız
F_t	: Teğetsel Kuvvet
f	: Yuvarlanma Sürtünme Katsayısı
HVOF	: High Velocity Oksi Fuel
APS	: Air Plasma Spray
VPS	: Vacuum Plasma Spray
IPS	: Inert Plazma Sprey
UPS	: Underwater Plasma Spray
ICP	: Inductively Coupled Plasma
N	: Newton
gr	: Gram
Sn	: Saniye
d/dk	: Devir/Dakika
HV	: Harness Vickers

1.GİRİŞ

Gelişen ve değişen dünyada fosil yakıt rezervlerinin hem giderek azalması hem de çevreye zarar verici etkilerinin gün geçtikçe artması otomobil üreticilerini daha verimli ve düşük emisyonlu araçlar imal etmeye sevk etmiştir. Diğer taraftan hükümetlerin, üreticileri bu konuyla ilgili zorlaması ve bununla birlikte müşterilerin düşük yakıt sarfiyatına sahip araçlara olan talebi, üreticileri ve tasarımcıları bu konuda teknolojik gelişmeleri kullanmaya yöneltmiştir [1-3].

Bu itibarla günümüz otomobil motorlarının dizaynı yapılırken yüksek devir, yüksek çıkış gücü, düşük gürültü seviyesi ve özgül yakıt tüketiminin düşük olması koşullarını sağlaması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu gereksinimlere karşılık verebilmek için motor yataklarının yüksek yük ve sıcaklık şartlarında çalışması gerekmektedir [4].

Motor yataklarının uzun süre yüksek yük altında çalışması için, krank mili yataklarının yorulma direncine sahip olması; bu yatakların ısıl direnç ve aşınmaya karşı dayanımının artırılmasına gerek duyulmuştur. Teknolojinin gelişmesi sebebiyle mil ve yataklar arasındaki yağ kalınlığının git gide azalması, yatağın çalışma koşullarını daha da güçleştirmiştir. Yağ filmi inceldikçe yatak ile mil yüzeyleri temas etmekte, bu durum ise anormal olarak aşınma ve yatak sarma tehlikesini meydana getirmektedir [4].

Makine parçaları olarak yataklar, birbirine temas eden metal parçalardan en önemli numuneleri oluşturur. Yağlı yataklarda, devinen parçalar arasındaki yağ filmi yeterli durumdaysa yatak malzemesinin ne olduğu, fazla önem arz etmemektedir. Yüzeye sıkıca yapışan filmleri oluşturan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını engeller. Fakat film kırılğan yapıda ve yüzeye sıkıca bağlı değilse, aşınma büyük miktarda hız kazanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmlerde çatlama olur ve malzemeye bağlı oldukları noktalarda kopma yaşanır [5].

Motor maliyetlerinin düşük olması doğrultusundaki talepler artmaktadır. Bu sebepten krank millerinin aşınmalarını azaltacak uzun ömürlü yatak malzemesinin geliştirilmesi zaruri hale gelmiştir [4].

Bu koşullara uyum sağlayabilmesi için geleneksel yataklardan farklı malzeme içeren kaymalı yatak üretim çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada krank mili kol yatağı farklı oranlarda altı numune çinko esaslı olmak üzere yatağın yüzey yapısı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu yatak formülasyonları, yanmayla oluşan yüksek basınç kuvvetlerine cevap verebilecek aşınma direncinin ve basma gerilmesinin yüksek olması için tasarlanmıştır. Bununla birlikte krank mili muylusunu daha az aşındıran, bunun sonucunda krank mili muylusunun ömrünü uzatan yatakların üretilmesi amaçlanmıştır.

Bahsi geçen bu özellikleri tek bir malzemedan karşılama ihtimali yoktur. Bu itibarla yatak metalleri alaşımlardan hazırlanır. Yoğunluğu düşük olan hafif metal yatak malzemeleri bu fonksiyonları başarılı bir şekilde yerine getirmektedir. Fakat hafif alaşımlı yatak malzemelerinin dökülebilirliği ve yatağa yapışması oldukça güçleşmekte bu da maliyeti artırmaktadır. Bu çalışmada yatak yüzeyine kaplama işlemini yapmak üzere çinko esaslı yatak kaplamaları için atmosferik plazma sprey yöntemi kullanılmıştır.

Kaplamada kullanılan yöntem plazma püskürtme yöntemidir. Günümüz endüstrisinde ihtiyaç duyulan yüksek performanslı yüzeylerin üretimi için faydalanılan en önemli teknolojilerden birisidir [6,7]. Plazmanın iyi bir elektrik ve ısı iletkeni oluşu, yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahip olması yöntemin özelliklerindedir [8].

2. YATAKLAR

Yataklar, iki parça arasındaki bir ya da birkaç yöndeki izafi harekete asgari bir sürtünme ile müsaade eden fakat kuvvet doğrultusundaki harekete engel olan mekanizmalardır. İzafi hareketin dönme olması durumunda destekleyen elemana yatak, hareketin doğrusal olma durumuna ise kızak denir [9]. Yatakların yüzeylerine ise yatak yüzeyi adı verilir [10].

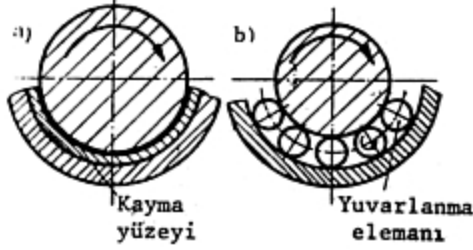
Herhangi bir makine dizaynında yataklar güç aktarma organlarının en önemli elemanlarıdır [11].

Motorların gelişme kaydedebilmesi, yatakların tasarım yetkinliğine ulaşabilmesiyle yakından ilgilidir. Motor gücünün performansının artması ve çalışma düzeni üzerinde yataklar büyük önem taşır [12].

Yataklar iki gruba ayrılır.

I - Kaymalı yataklar














II- Rulmanlı yataklar [9].



Şekil 2.1. Kaymalı ve Rulmanlı Yatak [9].

2.1. Kaymalı Yataklar

Motorun çalışma esnasında yatak herhangi bir yerinden hareket almıyor ve muylu, yatak içerisinde sürtünerek dönme hareketi meydana getiriyorsa, bu tür yataklara kaymalı yatak adı verilir [10,13].

	Ana tip	Çeşitleri		
Hidrodinamik sabit lokmalı	Tam 	Serbest hareketli zarflı 		
	Kısmi 	Parçalı, tek merkezli 	Parçalı, çok merk. simetr. 	Parçalı, çok merk. asimetr. 
		Setli 	Sabit 	
Hidrodinamik oynak lokmalı	Oynak lokmalı 	Michell-Seggell 	Nomy 	
Hidrostatik	Basit 	Karşılıklı 		

Şekil 2.2. Kaymalı Yataklar [9].

Kaymalı yataklar üç grupta toplanır. Bunlar:

I - Radyal kaymalı yataklar

II - Eksenel kaymalı yataklar

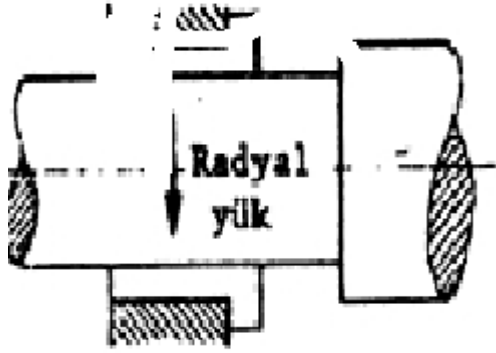
III- Radyal Eksenel kaymalı yataklar [14].

2.1.1. Radyal Kaymalı Yataklar

Yatak üzerine gelen kuvvetin doğrultusunun yatak merkezi veya mil merkezine doğru ya da mil eksenine dik doğrultuda olması durumuna radyal (enine) kaymalı yataklar denir [15]. Kaymalı radyal yataklar, gövde kısmı tek parça ya da iki parça şeklindedir. Bu itibarla radyal kaymalı yataklar gövde yapısına göre ikiye ayrılmaktadır [10,13].

I - Gövde kısmı tek parça olan kaymalı radyal yataklar

II- Gövde kısmı iki parça olan kaymalı radyal yataklar



Şekil 2.3. Radyal Kaymalı Yatak [9].

2.1.1.1. Gövde Kısmı Tek Parça Olan Kaymalı Radyal Yataklar

Bu tip yataklar kolay yapıda olup, fazla güçlükle karşılaşmayan, dönme sayısı az, devamlı çalışmayan muylular için kullanılmaktadır. Bu tür yataklara gözlü yataklar denmektedir. Gözlü yataklarda burç varsa yatağın ömrü uzun olur. Çünkü burç, hem yataklığa uygun bir malzemedan yapılması hem de aşırı şekilde aşınması halinde değiştirilebilir. Bu yatak türlerinin en büyük dezavantajı; muylunun yatak içine sadece eksen doğrultusunda girebilmesidir. Bu tip yataklar içten yanmalı motorların piston biyel kolu bağlantılarında geniş çapta kullanılmaktadır [15].

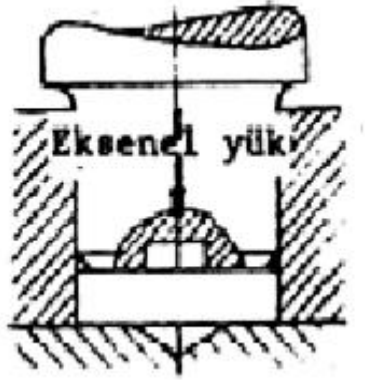
2.1.1.2. Gövde Kısımı İki Parça Olan Kaymalı Radyal Yataklar

Parçalı halde bulunan bu yataklar alt ve üst parça olmak üzere iki kısımdan oluşur. Gövde kısmı iki parçadan oluşan bu yataklar genel itibariyle Şu elemanlardan meydana gelmektedir [12]:

- a- Yatak gövdesi
- b- Yatak kapağı
- c- Kapağı gövdeye bağlayan düzen
- d- İç yatak
- e- Yağlama düzeni

2.1.2. Eksenel Kaymalı Yataklar

Yatak zerine binen kuvvetin doğrultusunun, yatak merkezi veya mil merkezine doğru eksen doğrultusunda olması durumuna eksenel kaymalı yataklar denir [14].

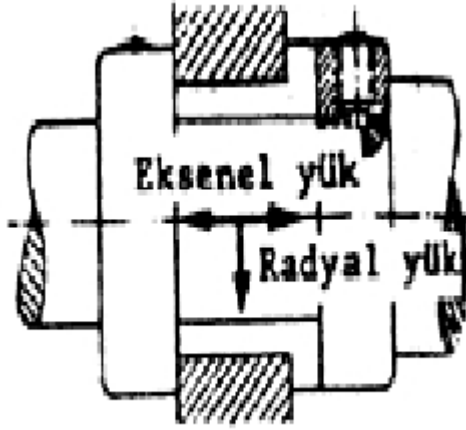


Şekil 2.4. Eksenel Kaymalı Yatak [9].

2.1.3. Radyal Eksenel Kaymalı Yataklar

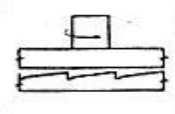
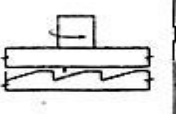
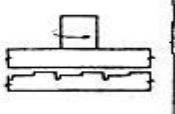

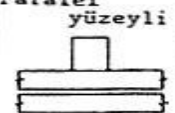
Yatak merkezine hem eksenel hem de radyal yük taşıyan radyal eksenel yatak adı verilir [14].

Yağlama yönünden kaymalı yataklar sıvı ve sınır sürtünmeli olabilir. Bu son durumdaki yataklara kuru yataklar da denir. Sıvı sürtünmeli yataklar hidrodinamik, gazodinamik, hidrostatik ve gazostatik olmak üzere dört kısımdan oluşur [9].

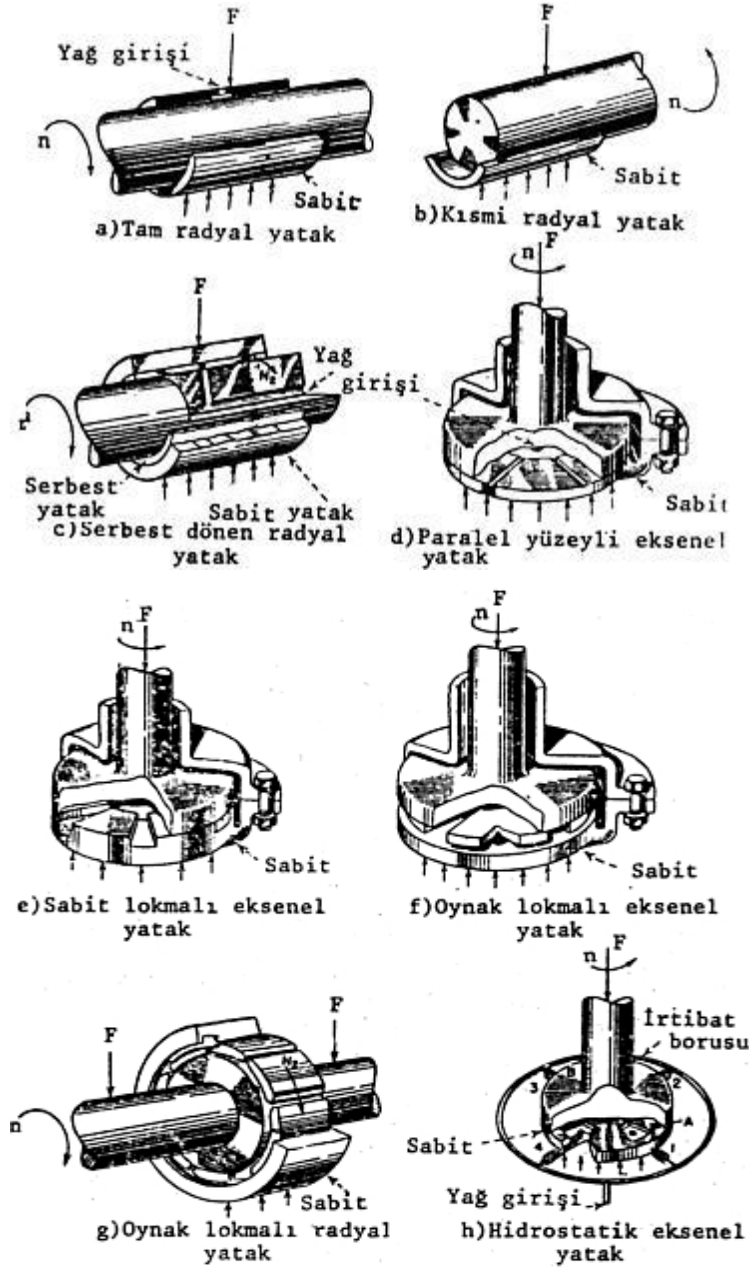


Şekil 2.5. Radyal Eksenel Yatak [9].

Kaymalı yataklarda sıvı durumda sürtünmeyi sağlamak amacıyla tatbik edilen şekillere göre sınıflandırılması Şekil 2.2 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekil 2.7'de ise bazı yatak türlerinin perspektifi verilmiştir [9].

	Ana şekil	Çeşitleri			
		Sabit	Bileşik	Setli	Spiral kanallı
Hidrodinamik	Sabit lokmalı				
	Paralel yüzeyle		Kanallı		
	Oynak lokmalı	Oynak, düz lokmalı	Oynak, bombeli lokmalı		
Esnek lokmalı	Ayrı yaylı mesnetli	Ortak yaylı mesnetli	Elastik mesnetli		
	Hidrostatik	Tek taraflı	İki taraflı		

Şekil 2.6. Kaymalı Yatak Tipleri [9].



Şekil 2.7. Kaymalı Yatak Tipleri [9].

2.2. Kaymalı Yatakların Yapısı

Günümüzde otomobil motorlarından daha yüksek performans ve daha düşük yakıt sarfiyatı beklenilmektedir. Bu beklentiler yatakların zor şartlar altında çalışmasını beraberinde getirmektedir. Bu itibarla, motor yatakları daha yüksek yükler altında ve daha yüksek sıcaklıklar altında çalışmaktadır. Yeni teknolojiye sahip verimi yüksek motorlarda hem motor yağı viskozitesinin düşük olması hem de mil ve taşıyıcı arasında bulunan yağ filmi kalınlığının düşürülmesi gerekmektedir. Bu koşullar altında kullanılan geleneksel

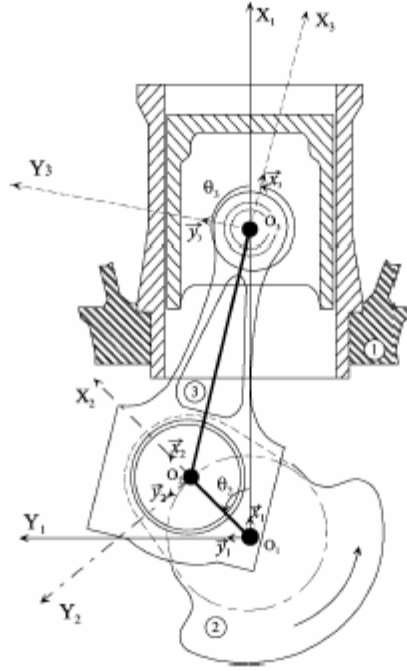
yatak malzemelerinin en önemli sorunu, aşınma direncine yeterli ölçüde karşı koyamamasıdır.

Motor yatakları, yanma sonucu oluşan kuvvetlerin değişik etkilerine direnç göstermelidir. Ayrıca uzun ömürlü olması, kolay kolay arıza vermemeli, muyluları aşınma ve bozulmalardan korumalı ve milin sessizce dönmesine imkan sağlamalıdır. Aşağıda Şekil 8'deki yatak üzerine gelen yükler gösterilmiştir. Kaymalı yatakların bu yüklerle karşı dayanım göstermesi gerekir.

Yataklar, yukarıdaki beklenen özellikleri karşılamak için farklı malzemelerden yapılırlar. Bu malzemeler kusnet ve metalik olmak üzere ikiye ayrılır. Kusnetler genellikle çelik ya da bronzlardan yapılırlar. Geniş çapta kullanılanlar ise çelik kusnetlerdir. Yatak malzemeleri yatakların göstermesi istenilen tüm özellikleri içeren tek bir metal bulunmadığından, farklı elementleri bir araya getiren alaşımlardan oluşur. Alaşım içerisinde bulunacak elementlerin türü ve miktarı yatağın kullanıldığı motorun özelliğine ve çalışma şartlarına göre farklılık gösterir. Bundan dolayı yatak malzemesinin mukavemeti, soğuk ve sıcak durumdayken yeterli değerde olmalıdır. Bununla birlikte sürtünme katsayısı düşük, korozyon direnci yüksek, ısıl iletkenliği iyi, yağ tutma kabiliyeti iyi, sert partikülleri içerisinde barındıracak kadar sert, dökülebilirliği ve işlenmesi kolay olmalıdır. İstenilen bu özelliklerin hepsini bir yatakta görmek uygulamada imkansızdır. Bu özelliklerin optimum değerine alaşımlarla ulaşılabilir. Bu itibarla uygulamada farklı içeriklerde ve formülasyon oranları farklı kaymalı yatak malzemesi üretilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan kaymalı yataklara genelde "Düz yataklar" veya "Jurnal yataklar" da denilir. Silindirik metal yataklar, "Kep" denilen iki silindir parçası şeklinde imal edilir. İki yatak kepi de muylu çevresinde gerçek bir yüzey oluşturacak şekilde tasarlanır. Bozulma, aşınma ve saran yatakları kolaylıkla değiştirebilmek için keplerin içine yarım silindir şeklindeki şel'ler yerleştirilir. Bazı yatak şel'leri burç gibi ya da tek parça şeklinde üretilerek, basınçla yerlerine takılır. Piston kol yatağı buna örnek gösterilebilir.

Şel yüzeyindeki metallerde uzun süre ve devamlı çalışması sonucu aşınma meydana gelir. Beraberinde yatak ile mil arasındaki boşluklarda çoğalır. Böyle bir arızanın giderilmesi için yataklar bir üst çapta olanları ile değiştirilir. Yataklar mil çaplarına göre küçükse yatak tornalama tezgahında yenileştirmeye gidilir [12].



Şekil 2.8. İçten Yanmalı Motorda Yatakların Kesit Görüntüsü [12].

2.3. Kaymalı Yatakların Özellikleri ve Kullanımı

Taşıma yüzeylerinin geniş olması, kaymalı yataklarda, titreşimi, vuruntuyu ve sesi indirger. Kaymalı yataklar sarsıntıya toz girmesine (gresle yağlandığında) karşı daha hassastır. Kaymalı yataklar yatak boşluğunun daha küçük olması ve öte yandan daha büyük geçme toleransına müsaade eder. Yapısı ve üretilmesi basittir. Tek veya iki parçadan oluşabilir ve özellikle büyük çaplı rulmanlardan daha ucuzdur. Ayrıca kaymalı yatağın üst çapının mil çapına oranı rulmanlı yatağa nazaran daha küçük olup konstrüksiyon koşullarına kolay şekilde uydurulabilmektedir.

Buna karşı yağ filmi ancak bir kayma hareketi sonunda teşekkül ettiğinden, özellikle başlangıçtaki sürtünme bir hayli yüksektir. Fakat en önemlisi kayma sürtünmesinin gereğinden fazla yağ kullanması, bundan ötürü yağ ikmali ve bakım için özel bir düzeneğe (özellikle düşey millerde) gereksinim duymasındır. Diğer taraftan rulmanlı yataklara kıyasla daha geniş olması, alışması için belli bir süre geçmesi ve mil yüzeyinin etkisi gözden kaçırılmamalıdır.

Kaymalı yatakların tercih edilme sebepleri:

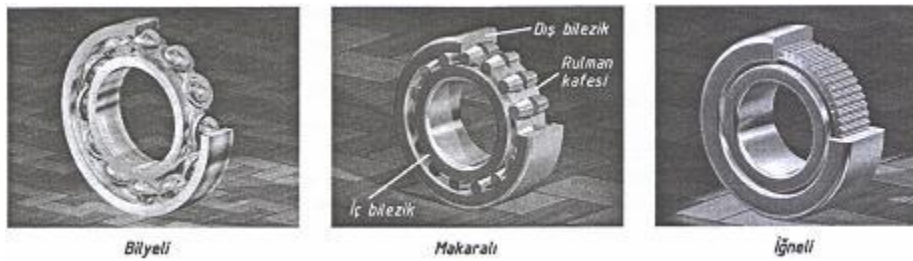
- Daha sessiz çalışması önemli ise
- Kuvvetli sarsıntı ve titreşimlerde
- Yatağın parçalı olması isteniyor veya yatak dış çapın küçük olması gerekiyorsa
- Şayet kaymalı yataklar yeterli ve dezavantajları önemli değilse kaymalı yataklar tercih edilebilir [16].

Kaymalı yatak malzemelerinden istenen özellikler şu şekilde belirtilebilir: İyi bir basma ve yorulma direnci, aşınmaya ve korozyona karşı dayanım, gömülebilirlik yani yağda mevcut ya da dışarıdan gelen sert parçacıkları abrazyon aşınmasını engellemek için bünyesine gömebilmesi, sürtünme katsayısı düşük olmalı, iyi bir yapışma özelliği olmalı, kolayca işlenebilmeli ve mümkün mertebe ucuz olmalıdır. Teknikte kullanılan yatak malzemelerinin hiçbiri istenilen tüm bu özelliklere cevap veremez. Yatak malzemelerinin herbirinin artı ve eksi yönleri vardır. Bu nedenden çalışma ortamına göre yatak malzemesi seçimi önem taşır [24].

2.4. Rulmanlı (Yuvarlanmalı) Yataklar

Krank miline destek sağlar. Kaymalı yataklarda olduğu gibi millerin dönme ve doğrusal hareketlerinin iletiminde görev alır. Hareket, kayma yerine yuvarlanma şeklinde oluşur. Böylelikle kaymaya oranla sürtünme direncini düşürür ve büyük dönme hızları oluşturur.

Dönen millere destek olan, dönmeyi bilye ve makarayla yapan standart makine elemanlarına Rulmanlı (yuvarlanmalı) yataklar denir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yuvarlanma Dirençli Yatak Kesitleri [23].

Yuvarlanmalı yataklar, çeşitli koşullar için birbirinden farklı biçimlerde imal edilmiştir. Ancak aslında hepsi yuva içerisine geçirilen dış bilezik mil üzerine yerleştirilen

iç bilezik, bilezikleri birbirinden ayıran yuvarlanma parçaları ve bu parçaların birbirine değmesini engelleyen kafesten meydana gelmiştir [23].

2.5. Yatak Yükleri

Krank milleri ve piston aracılığıyla motorun ana yataklarını etkileyen yükler, pistonun herhangi bir anında yatak yüklerinin şiddeti, Şekil 2.8’de gösterilen üç kuvvetin bileşkesi verilmiştir. Bunlar:

1. Eksenel veya doğrusal makine parçalarının atalet kuvveti (x_2, y_2, x_3, y_3)
2. Piston kafasını etkileyen gaz basınç kuvveti (x_1)
3. Piston kolunun ağırlık merkezi altındaki kütesinin oluşturduğu, krank mili ve ana yatağı etkileyen kuvveti merkezkaç kuvveti oluşturur. (y_1)

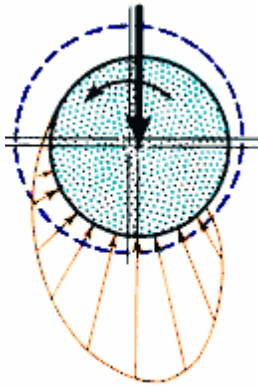
Piston üzerine etkileyen gaz basınç kuvvetlerindeki farklılıklar, endikatör diyagramıyla sağlanır. Sonrasında bu diyagramlardan yola çıkarak gaz basınç kuvvetleri diyagramı elde edilir. Piston üzerini etkileyen azami gaz basınç kuvveti ise azami basıncın piston tepesi yüzey alanı ile çarpılarak elde edilir.

Yataklara etkiyen atalet kuvvetleri; piston, eğer var ise piston kolu ve piston kolu ile ağırlık merkezi arasında kalan kısmın kütesinden kaynaklanır. Bunlar birincil harmonik ve ikincil harmonik diye isimlendirilir.

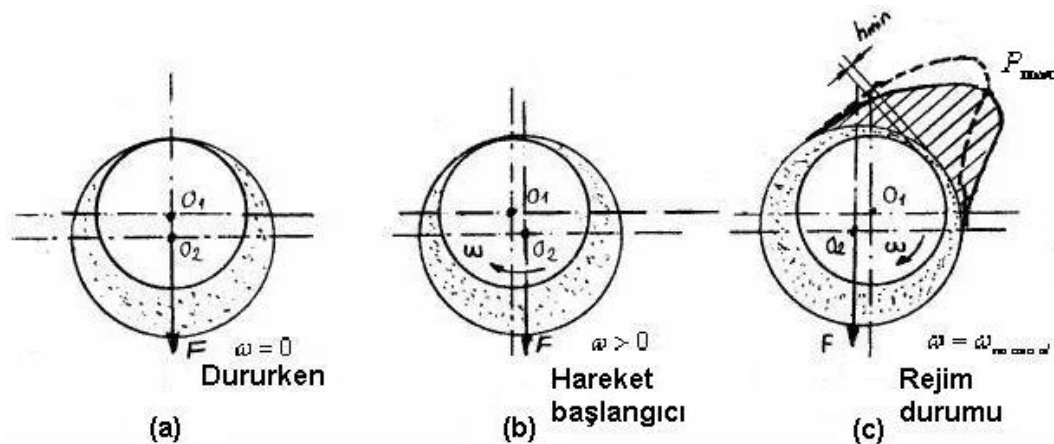
Döner hareketli kütlelerin atalet kuvvetleri “merkezkaç kuvvet” olarak tanımlanır. Merkezkaç veya santifürüj kuvvetin şiddeti, makine devir sayısı değişmedikçe aynı oranda kalır. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi yüklerin yönü kranka bağlı olarak devamlı değişir. Yükler elipsi andırır şekilde karşı tarafta yoğun halde olduğu gözlenir. Yataklarla miller arasında meydana gelen bu tür yüklere cevap verebilmesi için mil ile yatak arasında yağın dolaşmasına izin vermelidir. Böylece hidrodinamik hareketi sağlayacak bir boşluk oluşur. Bu tür yataklar sessiz çalışma, büyük darbeli yüklere karşı direnç göstermesi ve titreşimi söndürme gibi taleplerin olduğu yerlerde kullanılır [12].

Hidrodinamik yağlama, yüzeyler arasındaki boşluğa ve bağlı hıza bağlı olarak yüzeyleri birbirinden tamamen ayıracak basınca sahip bir yağ tabakası oluşturan yağlama biçimidir. Radyal yataklarda sıvı sürtünmesinin (hidrodinamik yağ tabakası) oluşabilmesi için mil ile yatak birbirine boşluklu geçme şeklinde tasarlanır. Milin açılma hızının sıfır olduğu anda yani mil durağanken yüzeyler direkt temas halinde olduğundan (Şekil 2.11.a) hareketin başlangıcında kısa bir zaman için kuru bir sürtünme meydana gelir. Böylece mil,

yatak zarfı içerisinde hareket yönünün ters tarafına doğru tırmanır. (Şekil 2.11.b) Bu durumdan itibaren hareket nedeniyle yağ, yüzeyler arasına dağıldığından sınır sürtünmesi olur ve sürtünme katsayı değeri düşmeye başlar. Belli bir süreçten sonra tamamen sıvı sürtünmesi kısmına geçilir. Ve mil muylusu da yatak zarfı içerisinde hareket yönüne doğru kayarak eksantrik duruma gelir. (Şekil 2.11.c) Böylelikle yağ içerisinde oluşan hidrodinamik basınç, yüzeyleri tamamen birbirinden ayırmış ve sıvı sürtünmesini ortaya çıkarmıştır. Sıvı sürtünme kısmında mil merkezi arasındaki eksantriklik hıza bağlı olarak değişme gösterir. Bu eksantriklik, yağlamanın sürekliliği yönünden hiçbir zaman sıfır olmamaktadır. Çünkü Şekil 2.11.c’de görüldüğü gibi yatak yükünü taşıyan P_{max} basıncı, ancak bu eksantriklik yönünden dolayı oluşan yağ kaması vasıtasıyla (daralan yağ tabakası) süreklilik kazanır [17].



Şekil 2.10. Kaymalı Yatak Yük Dağılımı [12].



Şekil 2.11. Hidrodinamik Yağlamanın Oluşması [17].

Bütün atalet kuvvetleri ve merkezkaç kuvvetlerinin şiddetleri, makine devir sayısının karesi ile değişken olduğundan, yüksek devirli makinelerin yatak yüklerini kayda değer oranda etkilemektedir. Adı geçen makinelerde pistonların alüminyum alaşımlardan yapılması, hareketli parçaların ağırlıklarının hafifletilmesi, piston pimlerinin ve krank millerinin içlerinin boş yapıma sebepleri her zaman atalet ve merkezkaç kuvvetleri olmuştur. Böylece adı geçen kuvvetlerin maksimum değerlere ulaşmalarına mani olunur [12].

2.6. Müsaade Edilen Yatak Yükleri

Aynı tür ve hacimdeki motorların yatak yükleri, aynı koşullar altında ve devir sayısında çalışsalar bile her biri eşit olmayabilir. Çünkü yatak yükleri, yukarıda sözü geçen kuvvetlerden başka dizayn karakteristikleri, yağlama metotları ve yağlama yağı yakıt v.b. etmenlerin de etkisi altındadır. Bu sebeple farklı malzemelerden yapılan yataklar için izin verilen yük sınırlarına ihtiyaç vardır. Tablo 2.1’de müsaade edilen yatak yükleri gösterilmiştir [12].

Tablo 2.1. Farklı Malzemelerden Yapılmış Yataklarda Müsaade Edilen Yatak Yükü Değerleri [12].

ÇELİK ŞELLİ YATAKLARDA METAL KALINLIĞI	MÜSAADE EDİLİR YÜKLER Bar (10^5 pa)
Kalay kökenli babet 0.508 mm	81.6-102
Kurşun kökenli babet 0.508 mm	95.2-115.6
Mikro kalay 0.0762-0.0107 mm	136.0-170.0
Mikro kurşun 0.0762-0.0107 mm	136.0-170.0
Bakır-kurşun 0.508 mm	136.0-204.0
Alüminyum şelli veya tüm alüminyum	238-306
Bronz şel veya tüm bronz	544-680
Trimetal 0.0254 mm kalınlığında:	
Bakır-kurşun	272-340
Kurşun-bronz	272-340
Alüminyum alaşımı	272-408

Genelde bu yatak yüküne yatak basıncı da denilmektedir. Yatak yükü ya da yatak basıncını veren bağıntı şu şekilde yazılır:

$$P=F_v/d.l \text{ (kgf/m}^2, \text{ Pa)}$$

Bu bağıntıda:

F_t = toplam yük (kgf,N)

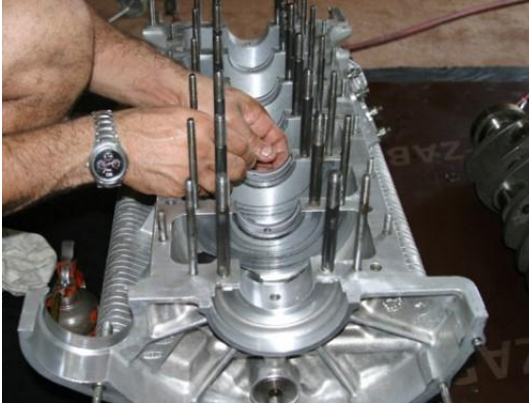
d = yatak çapı (cm)

l = yatak boyu (cm)

Gerçek basınç yatakla mil arasındaki yağlama ve sürtünme yüzeylerine bağlıdır. Ortalama alınan değerler yatağın fonksiyonunu belirleme açısından faydalıdır [12].

2.7. Krank Mili Ana Yatakları

İçten yanmalı motorlarda krank milini taşımak ve yatak içerisinde çalışmasını sürdürmesine olanak tanıyan yataklara krank mili ana yatağı adı verilir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi ana yataklar bloğun alt kısmında bulunmaktadır. Ana yataklar blok üzerinde bölüm ve ana yatak kepi olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Aslında bu kısımlar yatak gövdesini oluşturmaktadır. Bu gösterilen kısım içerisine iki parçalı yatak şeli Şekil 2.12’deki gibi yuvalara takılır. Yatak Şellerinin yuvalara takılması sırasında yağ delikleri ile hizada olmasına dikkat edilmelidir [12].



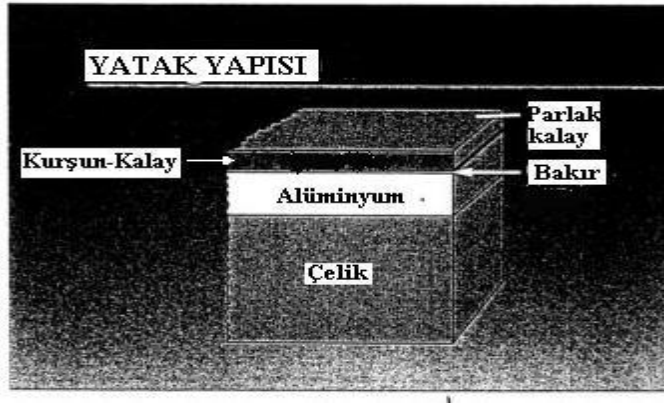
Şekil 2.12. Krank Mili Ana Yataklarının Blok Üzerindeki Görünümü [18].

2.8. Krank Mili Kol Yatakları

Biyel kolunun küçük bölümü, silindir dikey ekseninde aksenal veya doğrusal yönde hareket gösterir. Bu sırada büyük bölümü (alt ucu) ise yatak ile bağlı olduğu krank mili kol muylusuna bağlıdır. Bu şekilde mekanizma krank milini döndürür. Biyel kolunu krank miline bağlayan bu yatağa krank mili kol muylu yatağı denir [12].

2.8.1. Yatakların Yapısı

Krank kol yatakları genellikle çelik malzeme üzerine alüminyum, bakır, kurşun ve kalay tabaka kaplanarak imal edilmektedir (Şekil 2.13) [19].



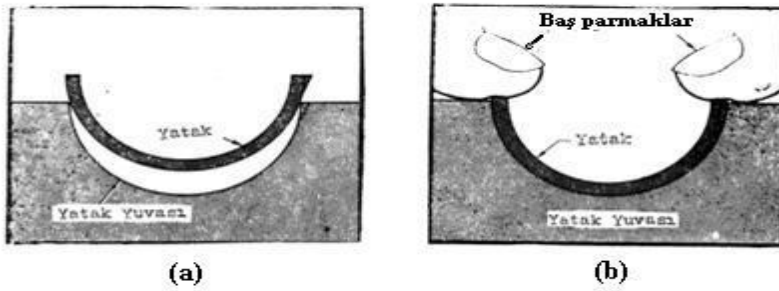
Şekil 2.13. Yatakların Yapısı [19].

2.8.2. Yatak Özellikleri

Yatakların kusursuz görev yapabilmeleri için kusinetlerin yatak yuvasına tam olarak yerleşmesi ve yatakta merkezden çevreye doğru bir basınç olması gereklidir. Böylece yatağın takılması esnasında ve çalışırken yuvasında dönmesine engel olarak yatakta oluşan ısının yatak yuvasına kolayca oturması sağlanır. Bu maksatla yatak kusinetlerine bazı özellikler verilmiştir [20].

2.8.2.1. Yatak Yaygınlığı

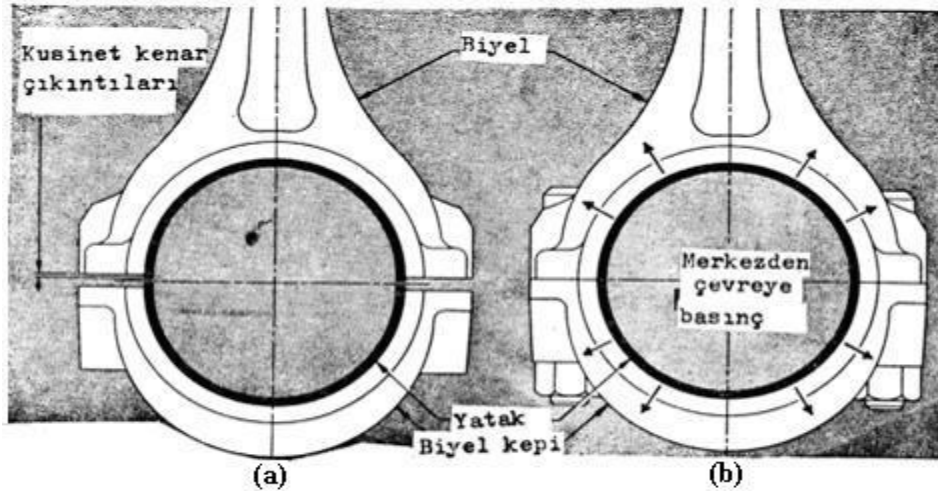
Tüm ana yatak ve kol yatak kusinetleri, kusinet yuvasına kıyasla biraz açık üretilmiştir (Şekil 2.14. a.). Yatak yaygınlığı diye adlandırılan bu özellik yardımıyla kusinet yuvasına bastırılarak geçirilir ve böylelikle yataklar yuvalarına sıkı bir şekilde geçtiği için yuvalarında dönmelerinin önüne geçilmiştir (Şekil 2.14. b.) [21].



Şekil 2.14. El ile Yatağın Yuvasına Oturtulması [21].

2.8.2.2. Yatak Kenar Çıkıntısı

Kusinet yuvasına bastırılarak geçirildiğinde, hafifçe sıkışarak daralır ve yuvanın tam şeklini uyar. Bu halde kusinet çeneleri kep çenelerine oranla biraz çıkıntı yapar ki buna yatak çıkıntısı adı verilir (Şekil 2.15. a.).



Şekil 2.15. Yatak Kenar Çıkıntısı [21].

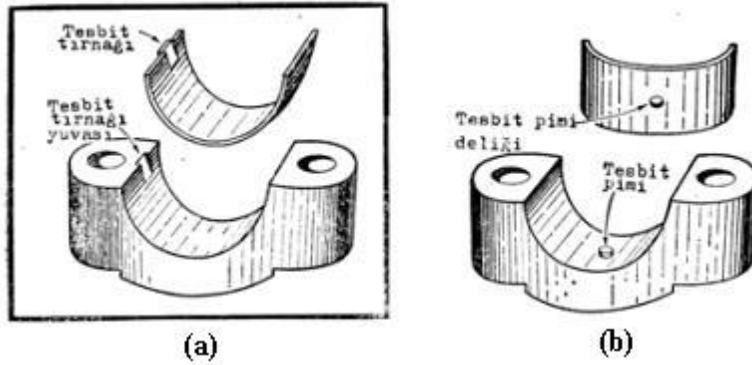
Biyel ve ana yatakların takılması sırasında, yatak kepleri sıkılmadan önce Şekil 2.15. a'da görüldüğü gibi, önce kusinet çeneleri birbirine temas eder. Sonradan kepler sıkıldıkça

kusinetler yuvalarına iyice geçerek, yatakta merkezden çevreye doğru bir basınç oluşur (Şekil 2.15. b.). Böylelikle yatak kusinetlerinin yuvalarında dönmeleri engellendiği gibi, yatakta oluşan ısının kolayca yuvasına oturmasına olanak tanır [21].

2.8.2.3. Yatak Tespit Şekilleri

Yatak keplerinin takılması esnasında, kusinetlerin yuvasında dönmeden uygun bir şekilde kalabilmesi için çeşitli yatak tespit sistemleri vardır. Bunlardan en rağbet göreni yatak tespit tırnaklarıdır (Şekil 2.16.a.). Yatak kusinetinde bir tespit tırnağı ve yatak yuvasında ise tespit tırnağı yuvası vardır.

Bazı motorlarda yatak kusinetleri yuvalarına tespit pimleri ile monte edilir (Şekil 2.16.b.). Bu pimler şekilde gösterildiği gibi, yatak yuvasında ya da yatak sırtında bulunabilir. Büyük motorlarda, yatak kusinetleri yuvalarına havşa başlı özel tespit vidalarıyla da saptanabilir [21].



Şekil 2.16. Tespit Tırnakları ve Tespit Pimi [21].

2.8.3. Yatak Hasarları

Yataklar makinelerde hareket ve yük iletimini aynı zamanda sağlayan mekanizmalardır. Yatakların, makinelerde hareketli ve sabit parçaları birbirine karşı sabit konumda tutması temel görevidir.

Yataklarda kayan yüzeylerin direkt teması sürtünme ve bunun sonucu hızlı aşınma ve metal yorgunluğuna yol açar. Sürtünmeyi azaltan yağlama, yatakların çalışma süreleri ve çalışma verimleri uygun düzeye çıkartılır.

Yatakların hasarsız çalışma koşullarını sağlamak ve devamlı hale getirmek için gerekli hesaplamaların yanında bakımın, yağlamanın ve hasar analizlerinin yapılması mecburidir.

- Hasarın mahiyeti
- Görünüş
- Hasar nedenleri
- Arızalı mekanizma
- Önemli hasarlar

Hasar analizinin doğasında, daima arıza nedenlerinin araştırılması yatar. Yatağın görünüşü tam bir teşhis için yeterli ölçüt sağlamamaktadır.

Hatanın nedenlerinin saptanabilmesi için;

- Çalışma zamanı
- Çalışma koşulları
- Servis
- Yağ ikmali

Aşırı yükler ve diğer parçalardaki hasarlar arızayı tespit etmek için lüzumludur.

Yatak hasarlarının başlıca sebepleri:

- Kir %47
- Hiza ayarsızlığı %15
- Kötü montaj %12
- Fazla yükleme %10
- Yetersiz yağlama %9
- Korozyon %5
- Diğer sebepler %2 [22]

2.9. Yatak Şelleri

Bugünkü yatakların büyük bir kısmında, şel malzemesi olarak bronz, çelik veya dökme demir kullanılmaktadır. Bronz, beyaz metalle neredeyse aynı genleşme katsayısına sahiptir. Fakat bu durum dökme demir ve çelik yatak şelleri için geçerli değildir. Kullanım açısından büyük bir alanı kapsayan şel malzemesi çeliktir.

Bu maksatla, çok düşük (0.15) karbonlu çeliklerden yararlanılmaktadır. Bazı ağır devirli, yüksek güçlü makinelerin büyük yataklarında şel malzemesi olarak dökme

demirden istifade edilir. Yüksek devirde ve küçük güçteki makinelerde saf alüminyum alaşımlar da yatak şeli olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.17’de böyle bir yatak şeli gösterilmiştir. Krank miliyle beraber dönmelerinin önüne geçmek için, yatak şelleri kep içerisine takılmalıdır.



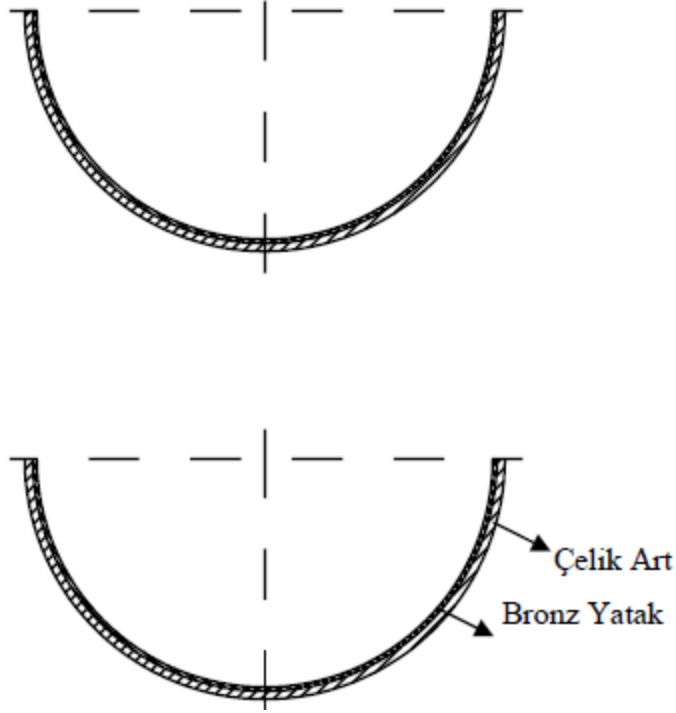
Şekil 2.17. Yatak Şeli [12].

Yatak şellerinin tasarımı, önemli şekilde yatak malzemesinin kalınlığına, kullanılacak malzeme ve yağlama sistemiyle ilişkilidir. İnce duvarlı şeller, yapımları ve yatak keplerine geçirilmeleri esnasında büyük bir hassasiyet gerektirir. Buna karşın kontrol ve yatağın değiştirilmesi bakımından kalın duvarlı şellere nazaran daha uygundur.

1980’li yılların sonlarına kadar kam millerinin yataklanmasında kullanılan dairesel şekilde yapılmış şeller, kep ile iyi bir kombinasyon sağlayacak şekilde ve gerçek ölçülerinde imal edilir.

İyi bir uyumla şelin aşınmasına ve beyaz metalin çatlamasına mani olur, dahası sürtünme ile oluşan ısının iyi bir biçimde, yağlama yağına transferine yardımcı olur. Şellerin milleri taşıyacak yüzeyleri beyaz metal, bakır-kurşun veya başka bir yatak malzemesi ile kaplanabilir.

Şekil 2.18’de çelik kusinetli ya da yatak metali alüminyum olan yatak şeli görülmektedir. Bu tip yatak şelleri daha çok yüksek devirli motorlarda kullanılmaktadır. Yatak türleri nasıl olursa olsun, şellerinin iç yüzeylerinin beyaz metal veya çok fazla kullanılmadığı takdirde alüminyumla da kaplanabilir [10].



Şekil 2.18. Ana Yatak Şellerinin Kesit Görüntüsü [12].

Gelişen teknolojiyle birlikte bugün yukarıda gösterilen yatak kalınlığının üstünde yataklar kullanılmaktadır. Bu yataklarda problem oluştuğu söylenemez. Fakat bu tip yataklarda tam yük taşıma kapasitesi ve malzemenin yorulmaya karşı dayanımı iyi değildir [12].

3. YATAK MALZEMELERİ

3.1. Yatak Malzemesi Çalışmaları

Motorlarda verimlilik anlayışının bir ölçüsü de daha küçük boyuttaki motordan daha fazla güç sağlamaktır. Bu çalışmalarla bugünkü otomobil motorları, git gide kıyasıya bir mücadele içinde yer almaktadır. Bu itibarla yatak üzerine gelen yüklerde de artış olmakta ve yatağın çalışma ömrü kısalmaktadır. Bir taraftan da yatak ile mil arasındaki yağ filmi kalınlığının peyderpey azalması durumunda yatak sarması hasarlarıyla karşı karşıya kalmaktadır.

Günümüz araçlarından beklenen yüksek performanstaki motorlardan, maksimum motor zorlanmalarına cevap verebilecek ve yatak ömrünü uzatabilmek için yeni yatak malzemelerinin üretimi üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir.

Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ergimiş çinkoda Co, Al tozları kullanılarak çelik yatak üzerine kaplama yapılmıştır. Gerçek deney şartlarında kaplama yapılan numunelerde aşınma oranına bakılmıştır. Deney sonuçları, yataklardaki aşınmayı ve özellikle de yatakta oluşan oyukların (derinlemesine, genişlemesine) azalmasıyla yatak tasarımının etkili bir şekilde değiştiğini göstermiştir [25].

Zhang yaptığı çalışmada, ergimiş çinkodaki bir muylu yatağın tribolojik davranışlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda, bu yataklarda maksimum devir hızlarında yumuşak bir çalışma koşuluna sahip olduğu görülür. Ayrıca aynı yükte test edildiğinde, yataklarda sürtünme ve aşınma hızında azalma görülmüştür. Bu tip yataklarda yüzey yorulma aşınmasının başlıca sorumlusunun aşınma olduğu saptanmıştır [26].

Sudhakar, Bimetal otomobil yataklarının hasar analizini yapmıştır. İş parçası üzerindeki hasarlı alanlar taramalı elektron mikroskobu ile kontrol edilmiş, metalin temel mikro yapısını tespit etmek amacıyla optik mikroskop kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda hasarın gerilme çatlamaının sebebiyet verdiği kanaatine varılmıştır [27].

Toru ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Alüminyum alaşımlı ve sert kaplama tozu içerikli bir yatak malzemesi geliştirmiştir. Kaplanan bu yatağı bir aşınma deney düzeninde aşınma direncine bakılmıştır. Aşınma deneyinden sonuç olarak katılan sert malzeme tozunun aşınmaya karşı dayanımı artırdığı tespit edilmiştir [28].

Ünlü ve arkadaşı, pirinç ve bronz alaşımlarını oluşturan elementlerden Cu, Sn ve Zn'nin yatak malzemesi olarak kullanılabilirliği ve tribolojik özellikleri incelenmeye

alınmıştır. Sonuç olarak, saf elementlerden oluşan Cu,Sn ve Zn'nin ayrı ayrı yatak malzemesi olarak kullanıldığında aşınma direncinin iyi fakat mukavemeti düşüktür. Dayanımı artırmak için Cu içerisine belli oranlarda bu elementler katılarak bronz ve pirinçten üretilen yataklar kullanılması gerekir [29].

Can, çalışmasında Pb-Sn-Cu-ZrO katkılı bir yatak malzemesi toz püskürtme yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Bu yatak belli bir süre çalıştırılarak SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotoğrafı alınarak aşınma yorumlanmıştır. Sonuçta üretilen yatak numunesinin orijinal yatağa oranla aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür [12].

Ünlü, bakır esaslı CuSn10 bronz ve CuZn30 pirincinden oluşan malzemeler yatak yüzeyine kaplanmıştır. Cu, Zn ve Sn'den oluşan yatak malzemelerinin aşınma ve mekanik özellikleri incelenmiş ve bu elementlerin özelliklere olan etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, alaşım yatak malzemesinin kaplanmamış yatağa kıyasla aşınma direnci yüksek, yüzey pürüzlülük değeri düşük ve mekanik özellikleri daha iyidir. Bundan dolayı yatak malzemesinin bakır alaşım yatak olarak kullanılması uygun bulunmuştur [30].

Pürçek, çinko alüminyum esaslı yatak geliştirmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda orta hız ve aşırı yüklemeye gerektiren uygulamalarda bakır ve silisyum katkılı çinko-alüminyum esaslı imal edilen yatakların geleneksel yataklara nazaran daha üstün aşınma dayanımı gösterdiği belirlenmiştir [31].

Ünlü ve arkadaşlarının yaptıkları diğer bir çalışmada, CuSn10 ile üretilen yatağın yağlayıcı koşullar altında yatak sıcaklığı, yatak ağırlık kaybı, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gibi parametrelerde kuru ortamda çalışan yatağa oranla daha düşük değerlerde olduğu yapılan deneyler sonucu ortaya çıkmıştır [32].

Zeren, yaptığı çalışmada kuru koşullar altında kalay esaslı geliştirilen yatak malzemesinde gömülebilirlik araştırılmıştır. Yapılan deneylerde böyle bir yatağın orijinal yatağa göre 1400 devirde sürtünme katsayısının düşük olduğu, metal metale sürtünme oranı düşmüştür. Ayrıca yumuşak tabakadan oluştuğu ve yüzeyinde oyukların bulunduğundan dışarıdan gelen sert parçacıkları yüzeyine gömebilme, yağlayıcılığı artırma ve abrazyon aşınmaya karşı direnç gösterdiği saptanmıştır [33].

Ünlü ve arkadaşının yaptıkları diğer bir çalışmada, borlama tekniği ile demir esaslı SAE 1020 ve DDK 40 muylu yatağı imal edilmiştir. Değerlendirmeler sonucu, aşınma oranı ve sürtünme katsayı değerlerinde azalma olmuştur. Borlama yöntemiyle yüzey son derece homojen bir görünüm kazanmış, ayrıca bu yöntem yatak sıcaklık değerini düşürmüştür ve bu tip yatakların orta yükte çalışması, yapılan çalışmada kanıtlanmıştır [34].

Ünlü ve arkadaşının yaptığı diğer bir çalışmada, kalay ve kurşun esaslı SnPbZnAl alaşımı ve bu alaşımı oluşturan saf halde Sn, Pb, Zn, Al elementleri birbirine karşı aşınma ve sürtünme özellikleri mukayese edilmiştir. Çalışma sonunda, saf halde Sn, Pb, Zn, Al elementleri ve SnPbZnAl alaşımının sürtünme katsayıları aynı fakat alaşım daha fazla aşınma mukavemeti göstermiştir [35].

Ünlü ve arkadaşı yaptığı diğer bir çalışmada, saf alüminyum içerisine (3% Al₂O₃ + 3% SiC) ve 3% (Al₂O₃ and SiC) ile güçlendirilmiş ve yatak aşınma deneyinde test edilmiştir. Yatağın çalışma sonunda, alaşım saf alüminyuma göre yüzey pürüzlülük değerinde düşme ve sertliğinde artış, yatak sıcaklık değerinde ve sürtünme katsayısında azalma, aşınma mukavemeti ise yüksek çıkmıştır [36].

SAVAŞKAN ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada iki numune çinko-alüminyum-bakır, iki numunede çinko-alüminyum-bakır-silisyum kokil yöntemiyle üretmiştir. Her iki alaşımda geleneksel yatak malzemesi olan CuSn12 yatağından gerek sürtünme ve aşınma gerekse sertlik ve yüzey parlaklığı yönünden üstünlük sağladığı yapılan deneylerde görülmüştür [37].

Ünlü ve arkadaşlarının yaptıkları diğer bir çalışmada, alüminyum alaşımından imal edilen muylu yatağın, saf alüminyum yatağına göre mekanik ve tribolojik özellikleri araştırmıştır. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki AlMgSi alaşımının saf alüminyum kaplı yatağa kıyasla yatağın çalışma sıcaklığı düşük, sürtünme katsayısı düşük, aşınma direnci daha yüksek, sertlik ve mekanik özellikleri daha iyi olduğu yapılan tetkiklerde ortaya konmuştur [38].

Araştırmalardan da anlaşıldığı üzere içten yanmalı motorlarda yatak malzemesi olarak farklı malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Her malzemenin yararlı yönleri vardır. Bu malzemelerden değişik oranlarda bir alaşım elde edilerek tribolojik ve mekanik özelliği iyi olması için yatak üzerine çalışmalar devam etmektedir.

3.2. Bakır

Bakır insanlar tarafından kullanılan ilk metal, çağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra gelen ikinci metaldir. Tarih öncesi dönemde bulunmuş ve yaklaşık olarak M.Ö. 4000'den hatta daha önceden kullanımına başlandığı düşünülmektedir [39].

Kimyasal simgesi Cu ile gösterilen bakır, kübik şekilde, kırmızımsı renkte, ince tel ve levha haline dönüştürülebilen, ısı ve elektrik iletkenliği oldukça yüksek, kullanım alanı

geniş çapta olan bir metaldir. Sülfütlü ve oksitli bakır cevherlerinden zenginleştirme ve metalleri eriterek sıvı hale getirme yöntemiyle metalik bakır oluşmaktadır [40]. Ayrıca bakır iyi bir işlenebilirlik ve biçimlendirilebilirlik özelliğine sahiptir [41].

Tablo 3.1. Bakırın Fiziksel Özellikleri [42,43].

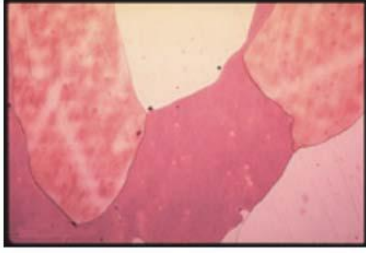
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluğu	8,92 - 8,93 (gr/cm ³)
Ergime noktası	1083 °C
Kaynama noktası	2300 °C
Ergime veya donma ısısı	43 KCal/kg, 13,26 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	300,4 kJ/mol
Isı kapasitesi (25 °C' de)	24,440 J/(mol·K)
Isıl iletkenlik	401 W/(m·K)
Isıl genleşme (25°C'de)	16,5 µm/(m·K)
Elektrik direnci (20°C'de)	16,78 nΩ·m
Brinell sertliği	874 MPa
Mohs sertliği	3,0

3.3. Bakır Alaşımları

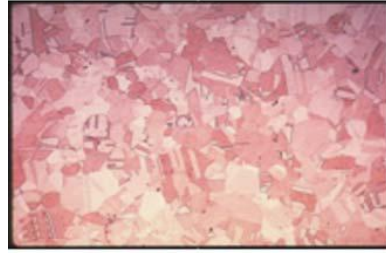
3.3.1. Pirinçler (Cu-Zn)

Bakırın (Cu) Çinko (Zn) ile farklı oranlarda birleşerek yapmış olduğu alaşımlara pirinç denir. Pirinç malzemelere ülkemizde sarı renkte olduğunda “sarı” da denilir. Mukavemet ve korozyon direnci yüksek olan pirinçler, içyapı ve mekanik özellikleri çinkoyla doğru orantılıdır.

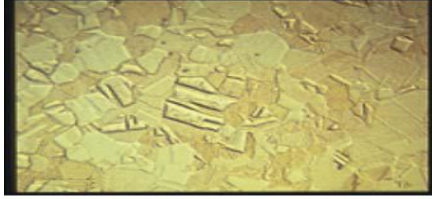
Pirinçlerin en önemli özellikleri, atmosferik korozyona karşı dayanıklı olması, sıcak ve soğuk şekilde biçimlendirilebilmesi, derin çekilmeye, sıcak dövülmeye ve preslenmeye elverişli olması ve kolay lehimleme fonksiyonlarına sahiptir.



Pirinç
(% 97.0-98.0 Cu, % 1.9-3.0 Zn)



Pirinç
(% 89-90.0 Cu, % 8.9-11.0 Zn)



Pirinç
(% 84-86 Cu, %13.9- 16 Zn)

Şekil 3.1. Çeşitli Pirinçlere Ait Mikro Yapılar [39].

Pirinçler birçok üstünlüğe sahiptir. Bu üstünlüklerin başlıcaları aşağıda verilmiştir [39]:

- Üstün işleme özelliği
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği
- Aşınma dayanımı
- Özelliklerinde azalma olmadan tekrar kullanabilme özelliği
- 200⁰C altında özelliklerinde azalma olmaması
- Güneş ışını ile renk değiştirmemesi
- Kolay kaynak olma
- Uygun maliyette bir malzeme olması
- Kolay dövülebilirlik
- Mukavemet özelliğinin iyi olması
- İyi korozyon direnci

3.3.2. Bronz

Bronzlar esasında kalay içeren bakır esaslı alaşımlardan oluşur. Bakırın çinko içermeyen diğer alaşımlarına genel itibariyle bronz denilmekte ve çeşitleri matriks alaşım elementleri ile ifade edilir. Geleneksel olarak bronzlar bakır-kalay alaşımlarıdır ve kalay bronzu veya fosfor deoksida girdikten sonra fosfor bronzu da denilmektedir. Bronzlar ana alaşım elementlerine göre alüminyum, kalay, nikel bronzları olmak üzere dövme ve döküm alaşımları şeklinde üçe ayrılır [44].

3.3.2.1. Kalay Bronzu

Kalay miktarları belirli alan dâhilinde olan bakır-kalay alaşımları endüstriyel bakımdan piyasada en önemli bronzlardır. Pirinçlerdeki gibi kalayın bakıra eklenmesiyle bir seri katı solüsyonları meydana gelir.

Kalay bronzların başlıca özellikleri atmosferik ve su korozyonuna karşı iyi, dayanım ve aşınmaya karşı iyi direnç göstermesidir. Bununla birlikte mükemmel yağlama özelliği vardır. Düşük oranda kalay içeren kalay bronzları aşınarak veya sarma yoluyla sertliğin düşük olması nedeniyle yapışarak verimin düşmesine yol açar. %10-12 kalay içeren bronzların mekanik özellikleri oldukça yüksektir. Bu tür bronzlar döküm parçalarında rağbet görmektedir [44].

3.3.2.2. Alüminyum Bronzu

Alüminyum bronzları içerisinde %14'e kadar alüminyum katkılı bakır esaslı alaşımlardır. Diğer alaşımlarda bulunmayan mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyum bronzlarda mevcuttur. Bu tür özellikler alüminyum bronzlara birçok getirisi vardır. Sertlik yönünden 40 ila 42 RC arasında değişiklik gösteren türleri vardır.

Alüminyum bronzların en önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Üstün mukavemet. Bu özelliği ile düşük alaşımlı çeliğe benzemektedir [44].
- Korozyon direnci yüksek
- Optimum yüksek sıcaklık özellikleri
- Malzemede yorulmaya karşı yüksek mukavemet
- Oksidasyon dayanımı
- Döküm ve işlenebilirlik kolaylığı
- Sertlik ve aşınma direncinin yüksek olması
- İyi kaynak edilebilirlik
- Döküm ve dövülebilir halde bulunuşu

3.3.2.3. Nikel Bronzları

Düşük oranlarda nikel kullanımı kurşun segregasyonunu indirger. Doğrudan kullanılması düşünülen yataklarda nikel miktarının % 2'yi geçmemesi gerekir. Nikel içeriği eğer %2'yi geçerse yatak malzemesinin kötüleştiği kanaatine varılır.

Nikel bronzları, yataklar, dişliler, somunlar, vidalı konveyörler, aşınma kılavuzları, nozullar, pompa ve valf parçaları, devre kesici parçalar, elektrik kontakları ile makine ve yapısal parçalarda kullanım bulmaktadır [44].

3.4. Alüminyum

Alüminyum tozları 1900'lü yılların başlarında pul ürünlerde kullanılmıştır T/M (toz metalurji) tekniği ile mukavemeti yüksek, alüminyum alaşımlı parçaların imalatı ise 20. yüzyılın ortalarında bulunmuştur [45].

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok düşük olması safsızlığın var olmasından kaynaklanır. Saf alüminyum galvanik seride aktif bir metal olmasıyla birlikte, yüzeyinde kolayca oluşan koruyucu oksit tabakası alüminyumun kullanım alanını genişletir. Alüminyum saflaştırıldıkça korozyona karşı dayanımı ve iletkenliği artar. Diğer yandan saf alüminyumun dezavantajı olan düşük mukavemete sahip olması soğuk işleme yükseltilebilir [46].

3.5. Çinko

Çinkoya ait genel özellikler aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.2. Çinkonun Genel zellikleri [47].

Çekme Dayanımı (σ_{φ})	138 Mpa
Uzama %	50
Özgül Ağırlık	7,14 gr/cm ³
Ergime Sıcaklığı	420 ⁰ C
Akma Sınırı	-
Genleşme Katsayısı	çok yüksektir

Çinko (Zn) oda sıcaklıklarında dahi gerinim sertleşmesi geçiren birkaç metalden biridir. Oda sıcaklığında düşük gerilimler çinko üzerinde kalıcı bozulmalara neden olur. Bu sebeple çinkonun tek başına kullanılma hacmi oldukça dardır. Çinko elementinin kullanılmasının en büyük avantajı yüksek korozyon direncine sahip olmasıdır [47].

3.6. Çinko Alüminyum Esaslı Alaşımlar

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların yatak malzemesi olarak kullanılmasına ve geliştirilmesi yönündeki çalışmalar sürmektedir [48,49]. Son zamanlarda kullanımı gitgide artan çinko-alüminyum alaşımları geleneksel yatalara nazaran birçok avantaj sağlamaktadır.

Bu avantajların başında, çinko-alüminyum esaslı alaşımların aşınma direncinin yüksek olması, özgül mukavemetlerin (mukavemet/yoğunluk) maksimum olması, imalatının kolay ve ucuz olması, sert parçaları yutma özelliği olması ve aşırı yükleme yapma, yetersiz yağlamada, yüksek hızdaki çalışma şartlarında dahi ideal tribolojik özellikleri göstermesi gelmektedir [50-52]. Bu alaşımlar avantajların yanında bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında, bilhassa bakır içeren alaşımlarda, faz dönüşümler sonucunda ortaya çıkan boyut değişimleri oluşmaktadır [53,54]. Bu problem alaşımlara ısı işlem uygulamak ya da uygun alaşım elementi ilave edilmesiyle giderilir [55-57].

4. AŞINMA, SÜRTÜNME VE YAĞLAMA

4.1. Aşınma

Aşınma tanımı çeşitlilik yönünden geniş yer tuttuğu için kabul gören bazı tanımlar şöyledir: Aşınma bir yüzeyden başka bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu sonucunda meydana gelen malzeme kaybıdır. Diğer bir tanımda ise; aşınma, bir yüzey üzerinden tribolojik zorlamalar sonucunda sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır. 1979'da Alman DIN50320'ye göre aşınma, kullanılan malzemenin başka malzemelerle (katı, sıvı ve gaz) teması sonucu mekanik etmenlerle yüzeyden küçük parçaların kopması ile ortaya çıkan ve istenmeyen yüzey bozukluğudur. Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde oluşabilir. Bu kayıplar; bölgesel ergimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel kopmalardır. Aşınmalar daha fazla yüzeyden fiziksel anlamda kopan malzemenin neden olduğu hasarlardan oluşmaktadır. Sonuçta elemanlar arasındaki boşluğun genişlemesiyle biçimlerini kaybeder ve görevlerini yerine getiremez hale gelir.

Bundan ötürü makine ve makine elemanlarından daha verimli ve daha uzun süre yararlanmak için makineyi oluşturan parçaların ömürlerini belirleyen en önemli faktörlerden, aşınma ve sürtünme gibi etmenleri azaltmak gerekir. Bir makine veya makinenin parçasında aşınma oranı azaltılırsa bu parçaların ömrü uzar, bunun yanında sürtünme kayıplarında azalma olduğunda enerji kaybında da bir düşüş yaşanır. Azımsanmayacak kadar fazla ekonomik kayba yol açan aşınma mercek altına alınması gereken teknolojik önemi olan bir konudur.

Malzeme kaybının ölçüsü, malzemenin özelliği ve mikro yapısı ile yakından ilgilidir. Ortaya konan uygulamalarda malzeme seçimi önem arz etmektedir. Birbiri ile devamlı hareket halinde olan makine parçaları büyük öneme sahiptir. Aşınarak deforme olan iş parçalarının direnci azalmakta veya kopma, kırılma ve yağsız ortamda birbirine yapışma gibi aksaklıklar doğabilir. Aşınmanın minimuma indirilmesi, birbirine uyum sağlayan malzemelerin seçimi ve bunun yanında çalışma koşulları da oldukça önemlidir. Birbirine sürtünerek hareket eden iş parçalarının aşınması, yağlayıcılığın iyi sağlanmasıyla en aza çekilir.

Sanayide tribolojik sistemlerin korozyon ve yorulma sorunları kadar aşınma da, makine parçaları için kaçınılmaz bir olaydır ve komplike bir özellik gösterir. Mühendislik malzemelerin ömürlerini kısaltan, çözümü bulunmayan aşınma, birbiriyle sürtünen makine parçalarının temas eden yüzeylerini değişikliğe uğratmaktadır.

Aşınmanın başlaması ve sürekli olması için sürtünmenin olması gerekir. Birbirine sürtünen iki cismin temas yüzeyi, aşınma yönünden büyük önem teşkil eder. Gerçek temas alanı görünen temas alanından epey küçüktür. Hassasiyet gerektiren işlerde dahi katı malzemelerin yüzeyi hiçbir şekilde düz olmamıştır. Yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunmaktadır. Temas halinde bu pürüzler etkileşime geçer. İlk temas pürüzlü tepelerde oluşur. Pürüzlü tepeler arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temas halinde olan pürüzlerin toplam alanına eşittir [58].

4.1.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma (abhezyon aşınma) makine parçalarında geniş çapta görülen aşınma tipidir. Bu aşınmanın temeli kaynak bağı teorisi ile açıklanabilir. Bilhassa kayma sürtünmesi yapan ve metalografik yapıları andıran metallerin kaynaklaşmasıdır. İyi bir şekilde parlatılmış yüzeylerin dahi az da olsa bazı bölümleri temas eder. Yüzeyde mevcut oksit tabakasının parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaşma oluşur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar kesilerek kopma başlar. Kopan parçacıklar yüzeyde çizilmelere yani aşınmaya sebebiyet verir [59].

4.1.2. Abrasiv Aşınma

Hareket halinde bulunan yüzeylerden sert olanın yumuşak yüzeyden küçük parçacıkları koparması (kesme yada kazma yoluyla) veya yüzeyler arasında bulunan sert cismin yüzeylerin birinden ya da ikisinden de parçacık koparmasına abrasiv aşınma denir (Şekil 4.1).

Birbirine sürtünen malzemelerin yüzey sertlikleri arasındaki fark ve sert malzemenin yüzey pürüzlülüğü ne kadar artarsa abrasiv aşınma da bir o kadar artar.

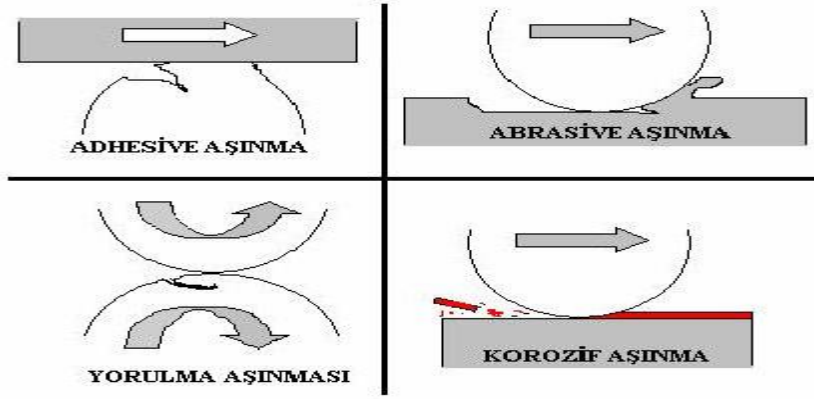
Bu aşınmayı engellemek için malzeme yüzeyleri sertleştirilmelidir. Diğer yandan sert malzemelerin parçalar arasına girmesinin önüne geçmek için iyi bir sızdırmazlık düzeneği oluşturulmalıdır. Makineler ve sistemler devamlı olarak temizlenmeli, talaş ve pislikler ortadan kaldırılmalıdır [58].

4.1.3. Yorulma Aşınması (Pitting)

İki eleman arasındaki temasın tekrar edilen dönüşleri, aşınma parçalarının oluşması bakımından adhesive ve abrasive aşınma gerek duyulmamaktadır. Fakat burada, aşınma parçalarının oluşması için esas olan temas, tekrarlarının belirli bir miktarının olduğu kısımlardaki aşınmanın diğer durumları vardır. Bu biçimde temas dönüşleri sonrası oluşan aşınma, yorulma aşınması olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.1’de yorulma aşınması aparatı görülmektedir [60].

4.1.4. Korozi Aşınma

Korozi ortamda çizilerek yahut yapışarak aşınmanın hızlı bir biçimde meydana gelmesidir. Arzu edilmeyen durumda kimyasal ve elektrokimyasal etki sonucu yüzeyde başlayan malzeme değişikliği korozyon olarak adlandırılır. Burada metallerin büyük bir bölümü, korozyon etkisiyle kararlılıkları bozulmaya çalışılır. Bu aşınma çeşidi en tehlikeli tiptir. Tehlikenin kapsamı Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi kopan parçacıklar etraf ve etraftakiler için oldukça önemlidir [60].



Şekil 4.1. Dört Aşınma Türünün Şematik Gösterimi [60].

4.2. Sürtünme

Genel manada sürtünme, temas halinde olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete ya da hareket olasılığına karşı gösterilen mukavemettir. Birbirine temas eden hareketli elemanlar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma olabilir.

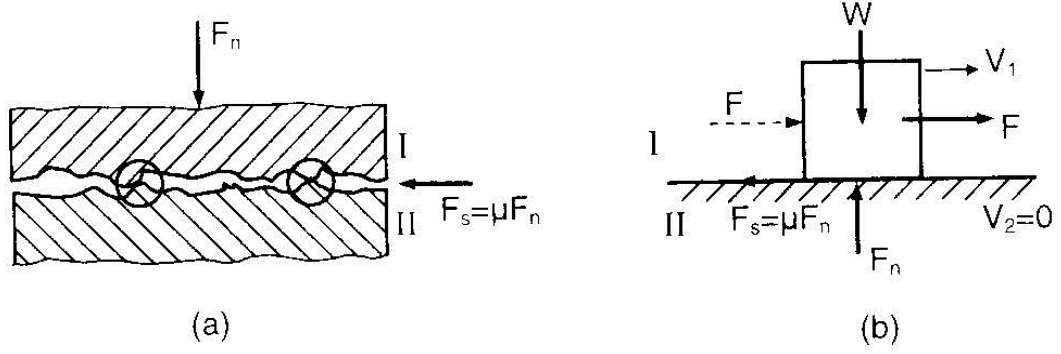
İzafi hareket oluşturan yüzeyler arasında bir yağlayıcının olması veya olmaması yönünden sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır [20]. Bunların dışında birde yuvarlanma sürtünme çeşidi vardır [9].

4.2.1. Kuru Sürtünme

İzafi hareket durumunda olan iki kuru (yağsız) elemanın temas yüzeylerinde sürtünme meydana gelir ve yüzeyler üzerindeki pürüzlerde temas ederek kayar. Yüzey pürüzlülüğünün yüksek olması yağlama alanında sürtünmenin artmasına neden olmuştur [63]. Kuru sürtünmeli yüzeyler arasında bir ara madde ya da yağlayıcı bulunmamaktadır (Şekil 4.2 a.). Teorik olarak kuru sürtünme prototipi Şekil 4.2 b’de verilmiş olup Coulomb kanunu baz alınırsa izafi harekette bulunan ve normal kuvvet etkisinde bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında harekete ters olan ve

$$F_s = \mu F_n$$

biçiminde tarif edilen bir sürtünme kuvvetinin meydana geldiği görülür. Buradaki μ sürtünme katsayısını gösterir.



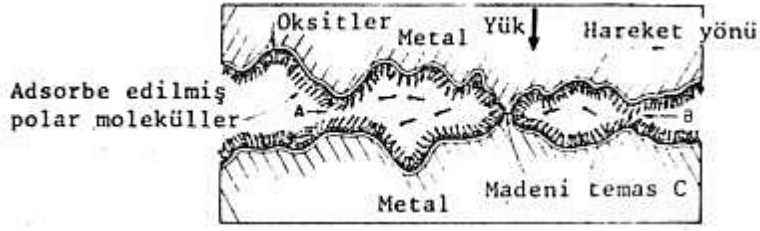
Şekil 4.2. Kuru Sürtünme Prototipi [14].

Şekil 4.2. b’de görülen W ağırlığındaki bloğa bir F kuvveti uygulandığında (çekme ve itme tarzında) iki pozisyon oluşur; Birinci pozisyon, kuvvete karşın cisimlerin birbiri üzerinde kayma halinde bulunan yüzeyler arasında statik veya durgun sürtünme biçiminde ifade edilen bir mukavemet oluşur. Bu durum için kuvvetler dengesinden $F_s = F$ bağıntısı yazılır. Pratikte kavrama ve frenler gibi sürtünme esaslı parçalarda bu tip sürtünme görülmektedir. İkinci pozisyon ise F kuvvetinin etkisinde yüzeyler birbiri üzerinde kayma yapar. Kinematik sürtünme diye adlandırılan bu durumda F_s sürtünme kuvveti F kuvvetine göre daha küçük ve harekete ters doğrultudadır.

Uygulamada bu tür sürtünmenin olması aşınma sıcaklık yükselişi ve enerji kaybı gibi haller sürtünme sonucu meydana gelir [14].

4.2.2. Sınır (Yarı Sıvı) Sürtünme

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye karşın sıvı sürtünmesi oluşturulamadığında sınır sürtünme durumu söz konusudur. Yüzeyler arasındaki sıvı yağ yüzeylerdeki pürüzlerin sürtünmesini engelleyemez (Şekil 4.3). Uygulamada en çok önümüze çıkan bu sürtünme halinde sürtünme katsayısı genel itibariyle 0.03 ila 0.1 aralığındadır [9].

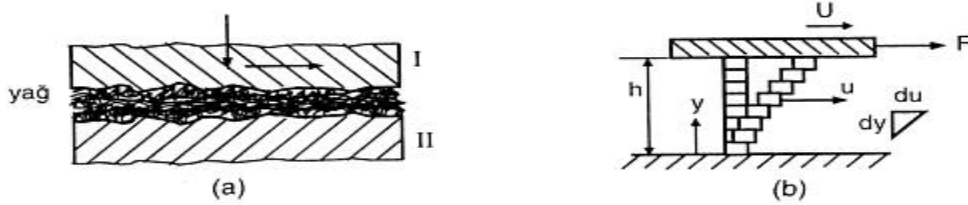


Şekil 4.3. Sınır (Yarı Sıvı) Sürtünme [9].

4.2.3. Sıvı Sürtünme

Karşılıklı izafi hareket yapan iki katı cisim arasında yüzey pürüzleri birbiri ile temasta bulunmayacak şekilde ince bir yağ filminin oluşması hali sıvı sürtünme olarak adlandırılır (Şekil 4.4 a.). Böyle çalışma halinde sürtünme direkt olarak yağlayıcı sıvının tabakaları arasında oluşur. Metal yüzeyler arasındaki yağ tabakasında meydana gelen basınç dış kuvveti dengeleyecek bir konuma geldiğinde, yüzeyler birbirinden tamamen ayrılmış olur.

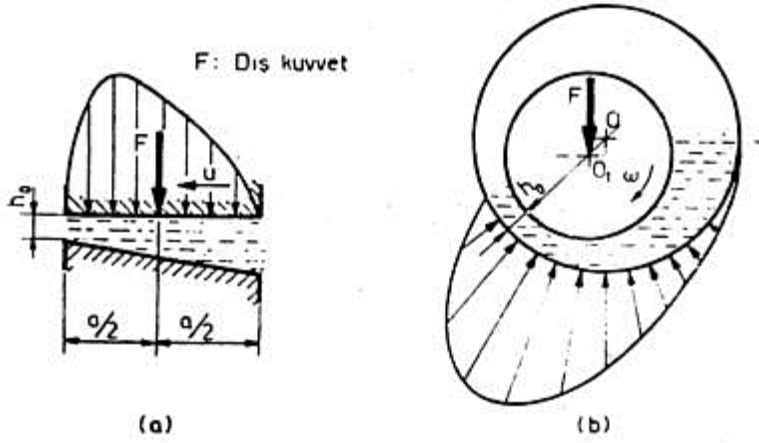
Yağlama hesaplamalarında sıvı sürtünme halinde muylunun yatak yüzeyine değmesine mahal vermeyen bu yağ filminin kalınlığı saptanmaya çalışılır.



Şekil 4.4. Sıvı Sürtünmesi (a) Yağlayıcı Tabaka, (b) Tabakalar Arası Hızlar [14].

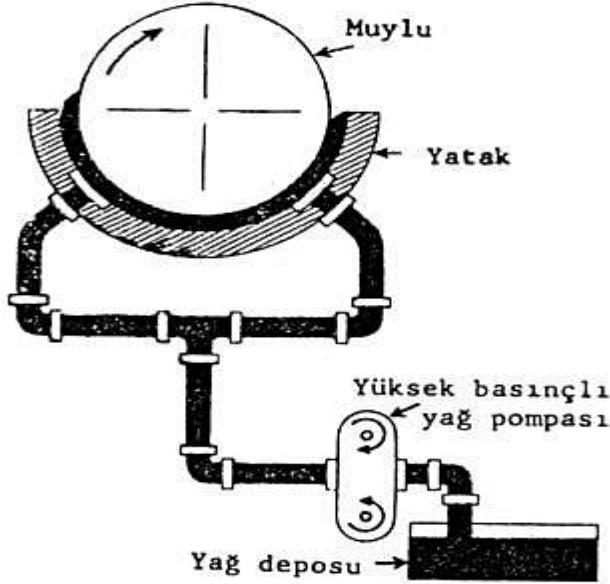
Metal yüzeylerle direkt temasta bulunan yağ tabakalarının absorpsiyon dolayısı ile iki yüzey boyunca tamamen yapıştığı görülür. Açıklanacak olursa, U hızıyla hareket yapan yüzeye (Şekil 4.4 b.) yapışmış olan tabakanın hızı U ; durağan yüzey arasındaki tabakanın hızıysa sıfırdır. Ara tabakaların hızı y mesafesine bağlı olarak U ile sıfır arası değişiklik gösterir. Böylelikle sıvı sürtünmesi durumunda sürtünme esasına göre birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşur ve bu tabakalar arasında oluşan kayma gerilmelerine ilintili olmak durumundadır [14].

Sıvı sürtünmesinin oluşmasında paya sahip olan esas etmen yağ tabakasında oluşan basınçtır. Basınç oluşumu hidrodinamik ve hidrostatik olmak üzere iki koldan ibarettir.



Şekil 4.5. Hidrodinamik Sıvı Sürtünmesi [9].

Hidrodinamik sıvı sürtünmede yüzeylerin kinematik ve geometrik koşullara bağlı olarak yağ tabakasında kendiliğinden bir basınç oluşturur. Basıncılı yağ filminin meydana gelebilmesi için kinematik ve geometrik koşullar, yüzeylerin birbirine göre izafi hıza sahip olması ve yağ tabakasının hareket doğrultusunda küçülmesidir. Uygulamada bu iki koşul, eğik düzlemsel yüzeylerde (eksenel yataklarda, Şekil 4.5 a.) ve birbirleriyle eksantrik konumda olan silindirik yüzeylerde (Radyal yataklarda Şekil 4.5 b.) oluşur [9].

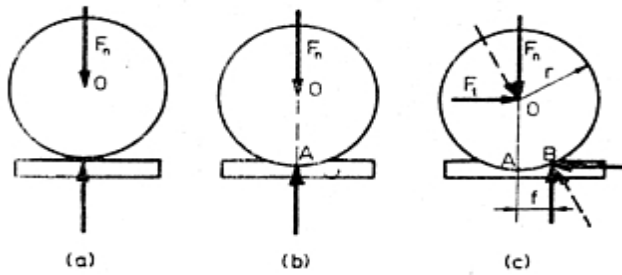


Şekil 4.6. Hidrostatik Sıvı Sürtünmesi [6].

Hidrostatik sürtünme durumunda, dış kuvvetin dengelenmesi ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gerekli basınç bir pompa aracılığıyla elde edilir ve yağ, basınçla yüzeyler arasına iletilir (Şekil 4.6) [6].

4.2.4. Yuvarlanma Sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, yuvarlanma hareketine karşı temas yüzeylerinde meydana gelen dirençtir. Teorik yönde tam rijit ve yüzeyi pürüzsüz olan tam silindirik ve küre biçimindeki bir parçanın sert pürüzsüz bir düzlemde serbestçe yuvarlanmasında (Şekil 4.7-a.) hiçbir sürtünme kuvveti oluşmaz. Esasında bu tip parçaların temas yüzeylerinde elastik ve daha az bir oranda da plastik deformasyonlar meydana gelir (Şekil 4.7-b). Yani temas yüzeyleri doğru ya da nokta değil de alan şeklindedir.



Şekil 4.7. Yuvarlanma Sürtünmesi Prototipi [1].

Diğer taraftan hareket doğrultusu yönünde temas alanında bir dalga oluşur (Şekil 4.7-c). Böylece dönel elemanı yuvarlamak için F_n kuvvetinin B noktasına dengeli bir şekilde oturması gerekir. Bu dengeleme F_t teğetsel kuvvetinin uygulanmasıyla olur. Kuvvetlerin B noktasına göre momentleri yazılırsa,

$$F_t r = F_n f$$

Şeklinde bağıntı oluşur. Buradan,

$$f = F_t / F_n$$

yuvarlanma sürtünme katsayısı elde edilir.

Yüzeyler birbiri üzerinde dönme hareketi yanında az da olsa kayma hareketi yapıyorsa yüzeyler arasında kayma-yuvarlanma sürtünmesi de oluşmaktadır [9].

4.3. Yağlama

4.3.1. Yağlamanın Önemi

Kayma işlemi esnasında üretilmiş olan ısı ve atık parçacıklarını çalışma ortamından uzaklaştırmak, kayma yüzeylerindeki sürtünme ve aşınmayı minimuma çekmek için iki katı kayma yüzeyi arasında katı, sıvı ya da gaz yağlama maddelerinin eklenmesiyle yapılan bu tür işleme yağlama denilmektedir. Bu yöntemi inceleyen bilim ve teknoloji dalına triboloji denir.

Herhangi bir makinenin kusursuz bir şekilde çalıştırılması, o makinenin hareketli ve hareketsiz elemanları arasında yapılan ve metale temasını engelleyen yağ filmi ve yağ katmanı ile ilintilidir.

Bütün yağlama yağları, metal yüzey üzerine dağılma ve yapışma fonksiyonuna sahip olduklarından, hareketli elemanlar arasında çok ince bir yağ tabakası ya da yağ filmi meydana getirir. Yağ filmi kalınlığına bağlı olarak, metal yüzeyler arasındaki temas ya azalır ya da tamamen ortadan kalkar.

Yağ, sürtünme ve aşınmayı indirgeyip motor parçaları için güvenli bir çalışma ömrü ile pürüzsüz şekilde çalışmayı öngören bir maddedir. Yağların büyük bir kısmı madeni yağlar, sentetik esterler, silikon akışkanlar ve su gibi sıvılardır.

Hâlbuki metallerin birbirine olan teması yok edilse dahi, değişken karakterli birtakım dirençler, yüzeylerin birbirleri üzerinde kayması sebebiyle yok etmek imkânsızdır. Bu haldeki yüzeylerin girinti ve çıkıntıları arasında mevcut ve metal yüzeylere yapışmış olan yağ parçacıkları, başka metal yüzeye yapışma eğiliminde bulunur. Buna akışkanın sürtünmesi denilmektedir.

İzafi harekette bulunan iki metal yüzey arasında yapılan yağ katmanının kalınlığı;

- a. Metal yüzeylerin düzgünlüğü
- b. Yatak basıncı
- c. Yağlama yağının viskozitesi
- d. Hareketli parçaların bağıl hızı
- e. Yatak ile mil arasındaki boşluk
- f. Yatak yüzeyinin şekli veya yatak boyu/çap oranına bağlıdır.

İki metalin yüzeyini birbirinden tamamen ayıran yağ tabakasına kalın film denir. Motorlarda yağ filmi kalınlığı takribi olarak 0,00254 – 0,01778 mm değerleri arasında

değişiklik göstermektedir. Bu doğrultuda metal yüzeyler arasında aşınma olmamaktadır. Şayet yağın viskozitesi azalır ya da yağ filmi, yüzeydeki çıkıntılar birbirine değinceye kadar incelme gösterir. Ancak ana yükün yağ katmanını aracılığıyla taşınması devam ettirilir. Bu durumda ince yağ katmanlı veya yetkin bir şekilde olmayan yağlama adı verilmektedir. Bu gibi yağlama biçimlerinde kalın yağ filminin azalmasına bağlı olarak metal yüzeyinde de aşınmalar meydana gelecektir [12].

4.3.2. Yataklarda Yağlama Şekilleri

Birbiri ile temas eden iki metalin yağ filmi tarafından birbirinden tamamen ayrıldığı duruma sıvı sürtünme denir. Bu, rağbet oranı oldukça yüksek bir çalışma şeklidir. Bunu elde etmenin iki yolu vardır.

Basıncın kendiliğinden meydana geldiği hidrodinamik yağlama ve dışarıdan bir pompa vasıtasıyla basıncın oluşturulduğu hidrostatik yağlamadır [12].

4.3.2.1. Hidrodinamik Yağlama

Hidrodinamik yağlamanın çalışma ilkesi oldukça enteresandır. Beauchamp Tower adlı bir İngiliz, yatak sürtünmeleri ile alakalı bir deney esnasında ilginç bir olay keşfetmiştir. Şayet kaymalı yatakta yeteri kadar olursa, mil döndüğünde kendi kendine yükü karşılayabilecek bir basınç meydana gelmektedir. Bu durum şu şekilde izah edilir:

Dönmeyen bir milde, yatak boşluğu nedeniyle, mil yükün olduğu doğrultuda ufak bir eksen kaçıklığı ile yatak yüzeyine geçer. Mil dönmeye başladığında, viskoz sıvı mil aracılığı ile harekete geçirilerek milin yaslandığı yöne doğru itilir. Bu, sıvı kama etkisinde bulunarak o alanda basıncın artmasını sağlar. Sıvıda spontane bir şekilde oluşan bu basınç mili taşıyacak kapasitededir ve mil yağ filmi üzerinde tamamen sıvı sürtünme halinde döner.

Yükün, dönme etkisiyle oluşan basınç tarafından karşılanmasına hidrodinamik yağlama denir.

Kaymalı yataklarda aşınmaların büyük bir kısmını hareketin başlangıç ve bitimi oluşturmaktadır. Hidrodinamik yağlama, milin dönme hareketine bağlı olduğundan hareketin başlangıcı ve bitiminde kısmen sıvı kısmen de kuru sürtünme oluşur. Bu da ilk harekette daha fazla kuvvet ve aşınma anlamına gelir.

Yağlama kanallarının şekli ve konumu önem arz etmektedir. Hidrodinamik prensibe göre çalışan yataklarda dikkat edilecek en önemli nokta, yatakta açılacak yağ kanallarının şekli ve konumundan ibarettir. Bu kanalların basıncın olduğu alanda veya etraflica açılması basıncı kötü şekilde etkileyecektir. Kanalların olduğu bölgede ve yakın yerlerde kama etkisi oluşamayacağından yatak yüzeyinin her tarafında basınçta bir azalma yaşanacaktır.

Ayrıca yağın yanlardan gelmesi yerine ortadan gelmesi yeğlenir. Ortadan uç kesimlere doğru giden yağ daha iyi bir şekilde akış ve soğutma elde edecektir [12].

4.3.2.2. Hidrostatik Yağlama

Dönmenin ağır veya hiç olmadığı hallerde ya da yatakta meydana gelen ısı, yağın kendi akışı ile ortadan kaldırılamadığı hallerde dışarıdan bir yağ pompası ile basınç gönderilerek sıvı sürtünmesi elde edilebilir. Böyle yağlama şekline hidrostatik yağlama adı verilir.[12].

Hidrostatik yağlamanın üstünlüklerine bakıldığında;

- Yük kabiliyeti yüzeyler arasındaki göreceli harekete bağlı değildir. Sıvı sürtünmesi göreceli hareket yokken de oluşur. Bu yüzden ilk harekette ve frenleme esnasında hidrodinamikte oluşan aşınma hidrostatikte önüne geçilir.
- Mil yatak ile aynı merkezde olduğunda veya biraz eksenden kaçık olduğunda da çalışır. Bundan dolayı takım tezgâhlarında kullanılır.
- Oldukça fazla rijitlik ve sönümlenme kabiliyeti gösterirler.
- Yük kabiliyeti dıştan bir pompa vasıtasıyla olduğundan büyük değerler alabilir. Bu sebeple büyük yataklarda (jeneratör, su türbinleri gibi elemanların yataklanmaları) hidrostatik yağlama kullanılabilir.
- Hidrostatik yağlamada aşınma, sürtünme ve yağlama değerlerinin daha iyi olmasından ötürü yatağın ömrü uzun olur.

Hidrostatik yağlamanın sakıncaları ise;

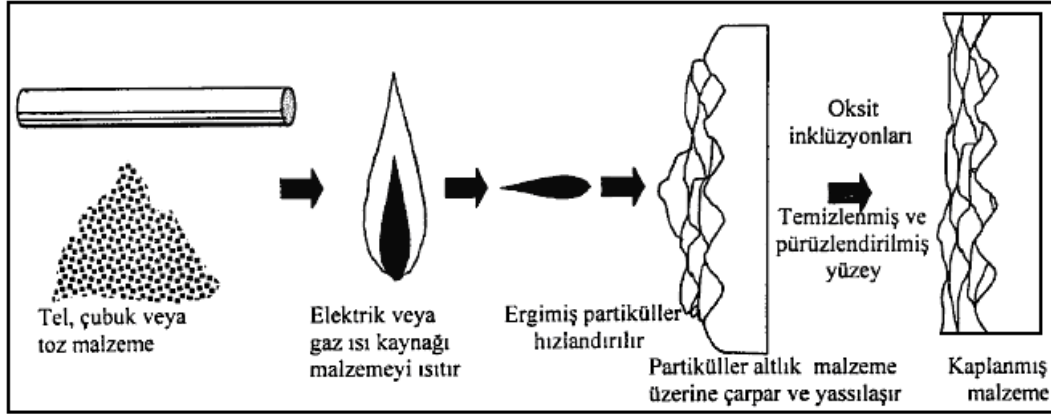
- Gerekli düzenek (pompa, supaplar, borular) oldukça karmaşık ve pahalıdır.
- Bu yağlamada sürtünme değeri küçüktür. Ancak hidrostatik yataklarda enerji kaybında pompa gücünde göz önünde bulundurulmalıdır.

- Herhangi bir sebepten dolayı yatağa yağ iletimi kesildiğinde, yüksek hızda çalışan yüzeyler birbiri ile temasa geçer ve bütün sistemin bozulmasına sebebiyet verir [64].

5. ISIL PÜSKÜRTME KAPLAMA TEKNİKLERİ

Isıl püskürtme yöntemi yüzeylerin aşınma ve korozyona karşı direnç göstermede geniş çapta kullanım sahasına sahip bir işlemdir. Son 20 yılda kullanılan tekniklere kıyasla daha yeni bir kaplama yöntemidir. Bu yöntemin en yaygın kullanım sahası, makine parçalarından oluşur. Yöntem süper alaşımların özel kaplamalarında ve gaz tribün mühendisliğinde rağbet görmektedir. Aşınmış ya da yanlış işlenmiş parçalar, üzerinde durulan probleme göre seçilmiş olan metal püskürtülerek önceki ya da istenilen ölçülere getirilebilir. Isıl püskürtme makinesinde bulunan işlem parametreleri ve kullanılan malzeme oluşumunda kaydedilen teknolojik ilerlemeler, yeni ve potansiyel uygulamalarda çeşitlilik göstermesini de beraberinde getirmiştir. Isıl püskürtme işlemi; ince şekilde öğütülmüş metal, metal oksit veya plastikleri, ergimiş ya da yarı ergimiş halde, uygun bir alt malzeme üzerine yapışarak kaplanma veya bir yapısal biçim oluşturmak üzere yapılan bir dolgu metodudur. Isıl bariyer kaplama yüzey boyunca ısı akışında limiti koyan düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerden meydana gelir. Isıl bariyer uygulamalarıyla ana malzemenin daha yüksek sıcaklıklarda kullanılmasına olanak tanır. Isıl bariyer kaplama olarak düşünülen malzemeler genel itibarıyla oksitler, sonra karbürler ve nitrürlerdir [85,86].

Isıl püskürtme kaplama yöntemleri, tel veya toz halindeki kaplama malzemelerinin bir püskürtme tabancasında taşıyıcı, yanıcı ve yakıcı gazlarla birlikte püskürtülerek altlık üzerinde biriktirilmesi ve koruyucu tabakanın oluşturulması mantığına dayanan işlemlerdir. Isıl püskürtme torcu; yanıcı gazlar elektrik arkı ya da plazma arkıyla kaplama malzemesini eritmek için gerekli sıcaklığı elde eder. Toz püskürtmede ince parçacıklar yüksek ısı kaynağının içinden geçerek ergimiş veya yarı ergimiş hale gelirler. Ergiyen kaplama malzemesi, kaplama yapılacak olan parçanın soğuk yüzeyine doğru püskürtülür. Yüzeye darbe etkisiyle vuran parçacıklar düzleşmekte ve esas metale olan ısı transferiyle soğuyarak katılır. Birbiriyle temas halinde olan bu parçacıklar malzeme yüzeyinde kaplama tabakasını oluşturur. Kaplama genelde mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli gruplarda kimyasal bağ kuvvetleriyle oluşmaktadır. Bağlanmanın daha iyi bir şekilde oluşması için malzeme yüzeyi kaplama öncesinde yüzey pürüzlendirme işlemine sokulur [87].



Şekil 5.1. Isıl Püskürtme Kaplama Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi [87].

Metal püskürtme işleminin diğer yöntemlere göre farklı yönleri aşağıda verilmiştir.

1. Alt tabakaya tutunma: malzemeye uygulanan tekniğe bağlı olarak kaplama ve alt tabaka arasındaki bağın kuvvetli olması büyük önem taşır.
2. Bileşim ve distorsiyondan ötürü kaynak yoluyla kaplama işlemine elverişli olmayan yüzeye kaynak yapılmasına imkan verir.
3. Püskürtülen dolgu, kaynak yöntemiyle kaplamaya göre daha ince tabakalar oluşturacak şekilde uygulanabilir.
4. Genellikle kararlı sıvı faz içeren malzemelerde; metaller, seramikler, karbürler, kompozitler ve plastiklerde bu yöntem kullanılır.

Isıl püskürtme yöntemlerinin farklı farklı özellikte malzemelerin oluşturulması için farklı ısı püskürtme teknikleri geliştirilmiştir. Sıcaklık, partikül hızı, kullanılan gaz gibi kaplama tabakasının özelliklerini etkileyecek değerlerin değiştiği bu yöntemler; alevle püskürtme, yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF), plazma püskürtme, patlamalı püskürtme, ark püskürtme vb. yöntemlerden oluşur [87].

5.1. Alevle Püskürtme

Alevle püskürtme sistemi yüzeye kaplanması düşünülen tel ya da tozların, püskürtme memesi içerisinde ergitilerek kaplanacak olan iş parçasının yüzeyine püskürtülmesi şeklinde çalışmaktadır. Yanıcı oksijen gazı alevinde püskürtülen telin ergimesi için bir hayli yüksek bir alev sıcaklığı gerekmektedir.

Bu da ancak oksijen-yanıcı gaz alevi ile elde edilebilir. Alevle püskürtmede hava-yanıcı gaz alevi kullanılmaz. Yanıcı gaz çoğunlukla asetilen olup düşük ergime noktasına

sahip malzemeler için kimi zaman bütan/propan ve ince tozların püskürtülmesi halinde hidrojenle kullanılmaktadır. Bütan ve propan gazlarının yerine asetilen gazının tercih edilme sebebi, asetilenin daha yüksek alev sıcaklığına ve tutuşma sıcaklığına mazhar olmasıdır. Öte yandan hidrojenin depolanmasının oldukça zor olması, hem hidrojenin yapılan işlemlerde tehlike arz eder hem de daha fazla güvenlik tedbirinin alınması icap eder. Asetilenin oksijenle oluşturduğu maksimum sıcaklık 3200⁰C, propanın ise 2800⁰C'dir. Düşük ergime sıcaklığına sahip metallerin püskürtülmesinde, daha fazla propan gazı kullanılır. Fakat yüksek sıcaklıklarda ergiyen metallerin püskürtülmesi halinde asetilen gazı kullanılması gerekir.

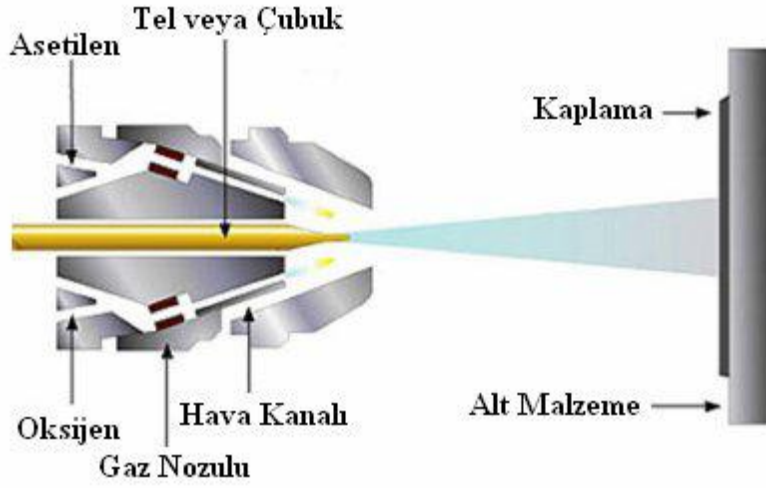
Alevle püskürtme; yıpranmış parçaları kurtarmak, yüksek sıcaklık ve ortam sıcaklığında korozyonun önüne geçmek için kullanılabilmesine rağmen, işlemin en popüler kullanım alanı aşınmaya maruz kalan parçaların kaplanma durumudur. Seramik metal veya kaplamalar gaz türbini motorlarında, yanma çemberlerinde ve aktarma borularında kullanım sahasına sahiptir [87].

Alevle püskürtme yöntemleri, püskürtülen ilave metalin şekli, durumu ve tabancanın özelliğine göre iki gruba ayrılır [87]. Bunlar:

- 1) Alevle tel püskürtme
- 2) Alevle toz püskürtmedir.

5.1.1. Alevle Tel Püskürtme

Alevle tel püskürtmede kaplanacak olan tel, devamlı bir şekilde makara veya halkadan tabancaya gönderilerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Başka bir çeşit olarak da kesilmiş metal çubuklar kullanılır. Şekil 5.2'de tel ve çubuk kullanılarak oluşturulan alevle püskürtme sisteminin şematik olarak gösterilmiştir [87].



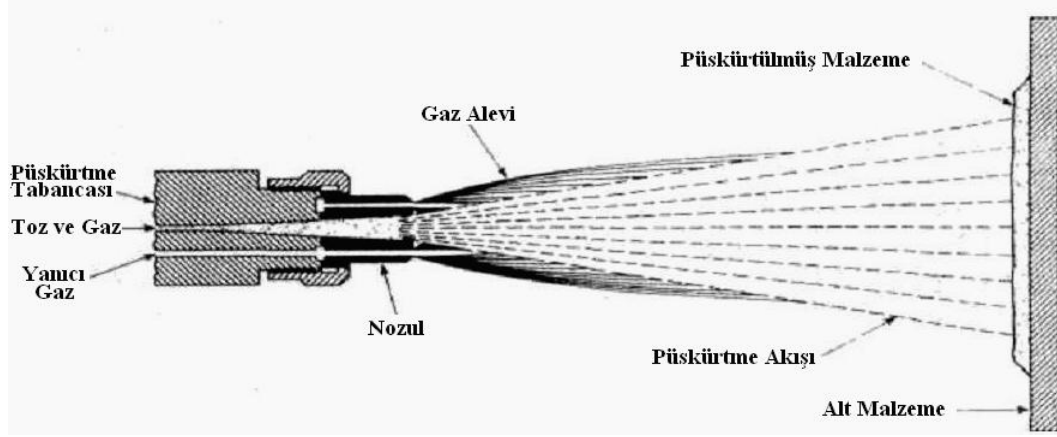
Şekil 5.2. Tel ve Çubuk İle Gerçekleştirilen Alevle Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü [87].

5.1.2. Alevle Toz Püskürtme

Şekil 5.3'te bir iş parçasına, alevle toz püskürtme sistemi kullanılarak oluşturulan kaplama işlemi görülmektedir. Şekilde görülen püskürtme torcu üzerinde mevcut silindirik kap içerisinde alt malzeme yüzeyine kaplanacak olan toz malzeme doldurulur. Asetilen ve oksijen gazının yanması ile ortaya çıkan alev içerisinde toz haznesinden kaplanacak olan tozlar hava ile birlikte püskürtülmektedir. Burada eriyen tozlar malzeme yüzeyine püskürtülerek kaplama tabakası oluşturulur. Alevle toz püskürtme sisteminin şematik görünüşü Şekil 5.4'de gösterilmiştir [87].



Şekil 5.3. Alevle Toz Püskürtme ile Gerçekleştirilen Kaplama İşlemi [12].

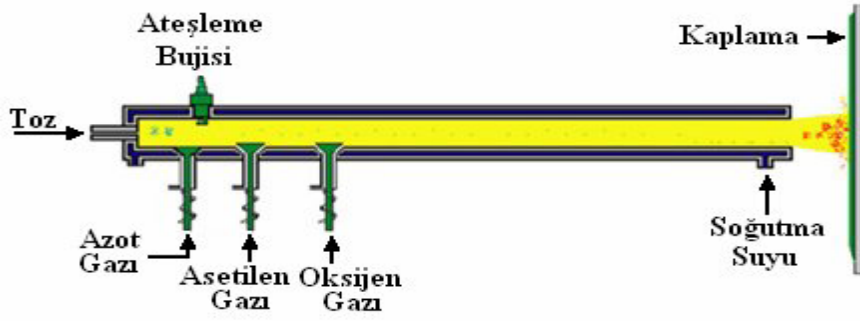


Şekil 5.4. Alevle Toz Püskürtme Yönteminin Şematik Görünüşü [88].

Alevle toz püskürtme yönteminde de ergiyen ve yarı katı haldeki tozlar kaplanacak olan malzeme yüzeyine püskürtülür. Tozlar malzeme yüzeyine çarptıkları zaman yassılaşılarak katman biçiminde tabakalı bir yapı halinde katılaşır [87].

5.2. Patlamalı Püskürtme (D-Gun)

Patlamalı püskürtme tekniği, silindire azotun taşıdığı tozla beraber $C_2H_2+O_2$ gazları kullanılarak seri patlamalarla ergimiş ve hızlandırılmış taneciklerin kaplanacak malzemeye gönderilmesiyle sağlanır. Şekil 5.5'te patlamalı püskürtme sisteminin silindirik şekli şematik olarak gösterilmiştir. Her patlama sonrasında, kapsül içerisine azot püskürtülerek temizlenir ve işlem saniyede birkaç kez yinelenir. Patlamalı püskürtmeyle yüksek kalitede kaplamalar oluşturulur. Püskürtme sisteminde zerreciklerin yüksek hızlara ulaşması, kaplama yapılan malzeme yüzeyinde yoğun ve yüksek bağlanma mukavemetine sahip kaplamaların meydana gelmesine olanak tanır. Patlamalı püskürtme sisteminin uygulanmasının kısmen pahalı oluşu yöntemin en büyük dezavantajlarından birisidir. Yöntemin diğer bir dezavantajı ise 140 desibel gibi tehlikeli ve yüksek gürültü çıkarması sebebiyle, özel ses yalıtımı ve patlamaya dayanabilen hücrelerin olmasıdır. Şekil 5.6'da silindirik bir parçanın patlamalı püskürtme sistemi kullanılarak kaplamasının yapılış resmi görünmektedir [87].



Şekil 5.5. Patlamalı Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü [87].

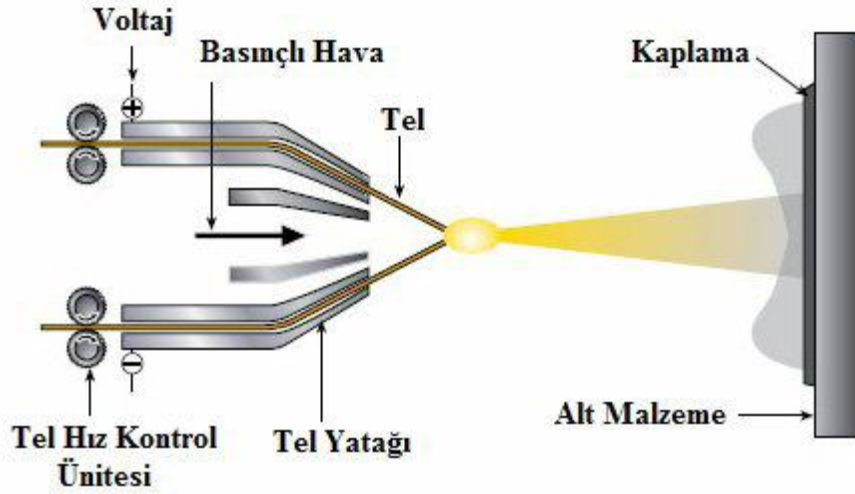


Şekil 5.6. Silindirik Altlık Malzemesinin Patlamalı Püskürtme Yöntemiyle Kaplanması [87].

5.3. Elektrik Ark Püskürtme

Bu yöntemde sistem içerisinde iki tel arasında sürekli bir ark oluşturulmaktadır. Bu telleri eritmek için gerekli olan ısı, elektrik arkı tarafından elde edilmektedir. Oluşturulan ark tel uçlarını eritmektedir. Ergitilen tel uçları Şekil 5.7'deki gibi hızlı fakat soğuk hava jeti aracılığıyla atomize edilmekte ve daha sonra kaplamayı oluşturmak üzere altlık malzemesi yüzeyine spreylenecektir. Bu işlemde kullanılan teller, tel ile alev püskürtme işleminde kullanılan tellerle aynıdır. Elektrik ark püskürtülmüş kaplamalar alevle püskürtülmüş kaplamalar ile karşılaştırıldığında üstün özelliklere haiz olduğu görülmüştür [89].

- 1) Çökme hızı daha yüksektir.
- 2) Yüksek bağ mukavemetine sahiptir.
- 3) Kaplamanın maliyeti daha düşüktür.
- 4) Kaplamadaki oksit miktarı azaltılabilmektedir.



Şekil 5.7. Elektrik Ark Püskürtme Sisteminin Şematik Görünüşü [90].

5.4. Plazma Püskürtme

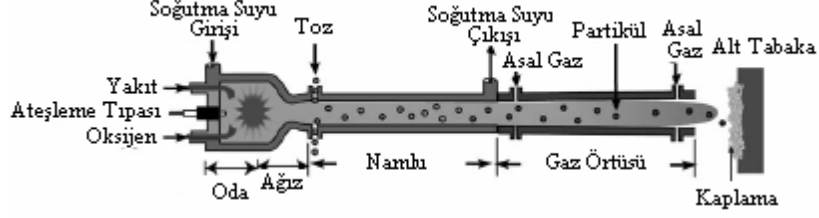
Plazma püskürtme; ısı bariyer özellikli, oksidasyona karşı dirençli, aşınma ve korozyona dayanıklı farklı özellikteki kaplamaların oluşturulmasında kullanılan çok yönlü bir kaplama yöntemidir. Bu yöntemle düşük maliyette seramik ya da yüksek ergime sıcaklığına sahip metal veya alaşımların hızlı bir biçimde, farklı altlık malzemeler üzerinde oluşturulması ve şekillendirilmesine imkan tanınır. Plazma püskürtme yöntemine bölüm 6'da geniş bir şekilde yer verilmiştir [87].

5.5. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme

Yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme (HVOF) yöntemi, yetkin mekanik özellikleri olan kaplamaların oluşturulmasında kullanılan yöntemdir. Püskürtme yönteminde olduğu gibi yüksek kinetik enerji ve oldukça düşük sıcaklıklarda, döküm parçasıyla bir başka parçayı birbirine dayanacak şekilde bağlamada kullanılır. Korozyon ve aşınmanın var olduğu ortamlarda bu gibi kaplama malzemeleri önem arz eder. Bu yöntem, yüksek gaz debisinde ve sıcaklıklarda yüksek kaliteye elverişli kaplamalarda sık sık kullanılmaktadır.

HVOF yöntemi, yüksek basınç odasında yakıt ve tutuşturma için oksijenin ve değişik gazların yanma reaksiyonu sonunda nozulda bir noktadan birleşerek çıkması ve yüksek hızda alt tabaka üzerine püskürtülmesiyle oluşmaktadır. Kaplama yöntemlerinden biri olan ısı püskürtme kaplama yöntemi; yüzey aşınma, erozyon ve kırılma direnci özellikleri

bakımından iyidir. Ayrıca HVOF ile yapılan kaplamaların korozyon direnci, diğer termal püskürtme yöntemlerine nazaran daha iyidir [87].



Şekil 5.8. HVOF Püskürtme Tabancasıyla Kaplamanın Şematik Gösterimi [87].

6. PLAZMA SPREY KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

6.1. Giriş

Teknolojinin mühendislik alanlarında hızla ilerlemesi sonucu, makine yapı elemanları ve malzemeleri sürekli artan karmaşık talep profillerine cevap verme durumundadır. Malzemelerin üretiminde kullanılan hammadde rezervlerinin azalması ve malzeme maliyetlerinin artması da mevcut malzemelerin farklı talepleri karşılayacak şekilde tasarlanmalarını gerektirmektedir.

Plazma kaplama yöntemi bir tabakanın kuvvetlendirilmiş yüzey özellikleri ile bir ana metalin farklı nitelikli bir tabaka ile birleşmesini sağlar. Endüstride kullanılan plazma sprey yardımıyla aşınma, ısınma ve korozyon ile bozulmuş bölgelerin kaplanmasıyla sorun giderilebilir. Plazma kaplama aynı zamanda işlem sırasında ana metal sıcaklıklarını düşük tutarak hassas parçaların ısıl deformasyonlara uğrama kaygısını ortadan kaldırmaktadır.

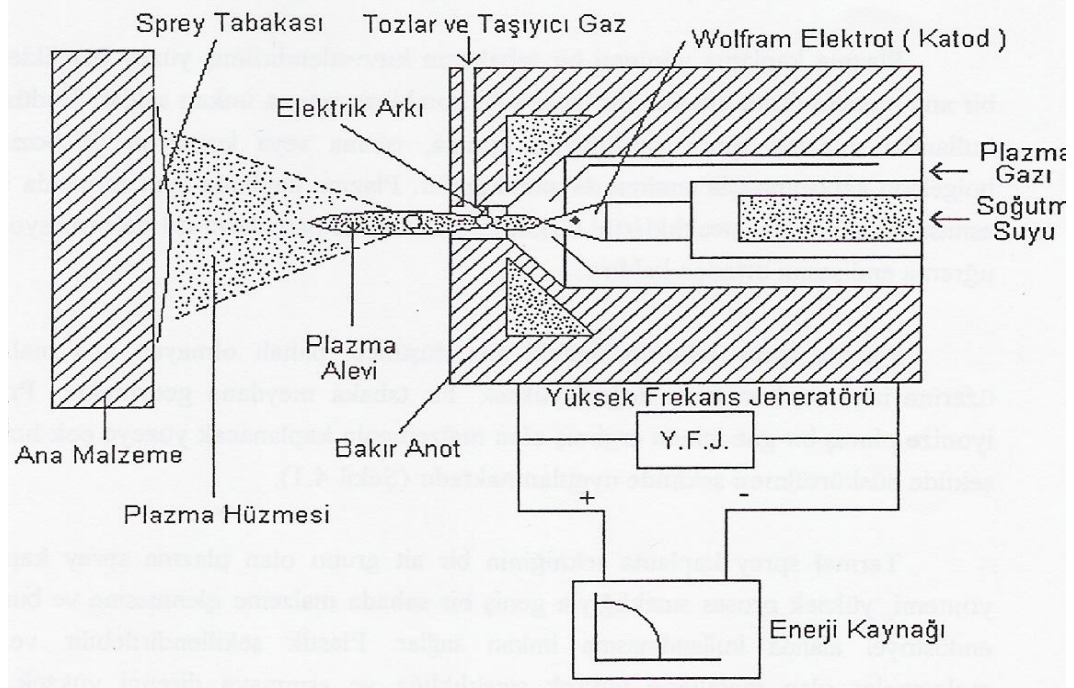
Plazma sprey teknolojisindeki ana düşünce pahalı olmayan ana malzeme üzerine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka oluşturmaktır.

Proses, iyonize olmuş bir gaz içerisinde ergimiş olan malzemenin kaplanacak yüzeye çok hızlı bir şekilde püskürtülmesiyle uygulanmaktadır (Şekil 6.1).

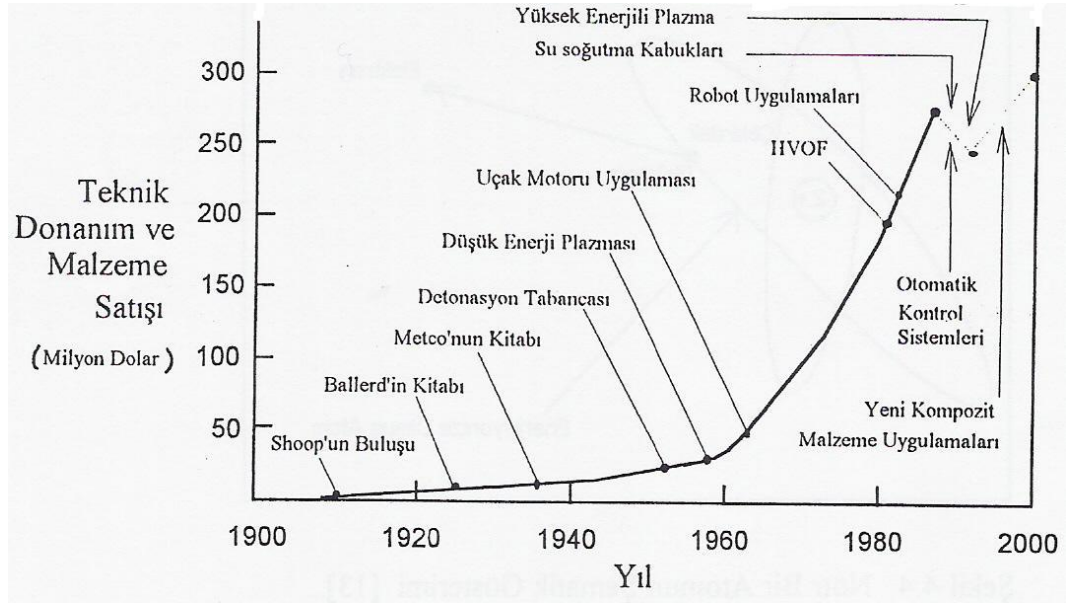
Termal sprey kaplama tekniğinin bir alt grubu olan plazma sprey kaplama yöntemi, yüksek proses sıcaklığıyla geniş bir alanda malzeme işlenmesine ve bunların kullanılmasına imkan verir.

Termal sprey kaplama tekniği, endüstriyel olarak ilk defa 1939'da Reinecke tarafından kullanılmış ve sonraları Amerikan şirketleri aracılığıyla geliştirilmiştir. Bu teknik, spesifik yüzey özellikleriyle kaplama alanında farklı farklı yöntemlerin gelişmesini sağlamıştır. Bu yöntemle üretilen malzemelerin universal bir karaktere sahip olmasından ötürü proses hızlı bir şekilde ilerleme kaydetmiş ve önem arz etmektedir [91].

Termal sprey konusundaki ilk çalışmalar, 1920'li yıllarda Schmeizer M.U. Shoop tarafından gerçekleştirilmiştir. Önceleri bir eriyik metal sıvısının püskürtülmesini kapsayan yöntem, daha sonraları çok hızlı bir ilerleme sağlamıştır. Şekil 6.2'de termal spreyin tarihsel gelişimi gösterilmiştir. Proses sırasında ergiyen partiküller yüksek bir hızla malzeme yüzeyine püskürtülür ve soğuyarak katılaşır, yüzeyde tabakalı bir yapı oluşur. Püskürtülen partiküllerin erime ve katılaşma gibi fiziksel dönüşümleri proses sırasında oluşur [92].



Şekil 6.1. Plazma Sprey (APS) Şematik Gösterimi [91].

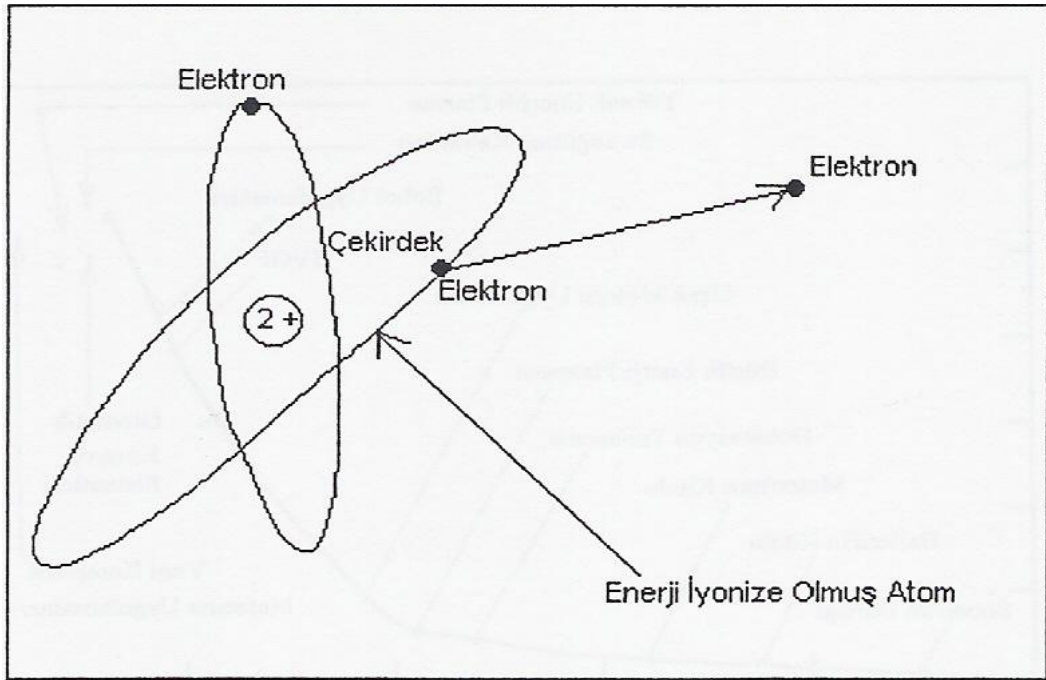


Şekil 6.2. Plazma Spreyin Tarihsel Gelişimi [93].

6.2. Plazmanın Tanımı ve Avantajları

Plazma, eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulduran genellikle maddenin 4. hali olarak adlandırılan yoğunlaştırılmış bir gazdır. Normal gazlar (CO, CO₂, SO₂) ısıtıldıklarında klasik fizik ve termodinamiğe uyan davranış sergiler. Plazma ise bu kanunların dışında davranış sergiler. Bu nedenle bilinen gaz halinden daha yüksek enerji düzeyine ulaşmış gaz halinin tanımını yapmak için plazma kavramı kullanılır.

Plazma durumunu incelemek için gazları meydana getiren atom ve moleküllerin pozisyonu gözden geçirilmelidir. Şekil 6.3'te nötr bir atom şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görülen atomda iki pozitif elektrik yükü vardır ve çekirdek çevresinde dönen iki elektronla nötr durumdadır. Bu durumdaki atoma şayet yeterince enerji uygulanırsa en azından bir elektron yörüngesinin dışına çıkarılır. Bu işlem için gereken enerji ise, o atom için "iyonizasyon enerjisi" olarak nitelendirilir [94].



Şekil 6.3. Nötr Bir Atomun Şematik Gösterimi [94].

İki ya da daha fazla nötr atomun kombinasyonu molekülün tanımını oluşturur ve tek bir parça olarak kabul görür. Bu atomlar diatomik gazlar dediğimiz azot ya da hidrojen gibi gazlardaki durumu da göstermektedir. Azot gibi diatomik gazlarda moleküllerin ayrıştığı 4

molekül gözlenir. Yeterli enerji uygulandığında moleküldeki bağ parçalanır ve ayrışan atomlar birbiri arasındaki mesafe artar.

Atomların iyonlaşması neticesinde meydana gelen bu gaz daha öncede bahsedildiği gibi “plazma” olarak adlandırılır. İyonların (+) yüklü elektronların (-) yüklü olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. İyonlaşma sonucu sağlanan plazma gazı elektrik yüklü partiküller içermekte ve olaya tamamiyle bakıldığında elektriksiz olarak nötrdür. Çünkü, plazma içindeki tüm (+) ve (-) yüklerin sayıları birbirine eşdeğerdir.

Plazma iki önemli avantaja sahiptir. Birincisi oldukça yüksek sıcaklık, ikincisi maddelere daha iyi ısı transferi oluşturabilmesidir. Isıtılan ortam ile ısıtılan malzeme arasındaki sıcaklık ne kadar yüksek olursa ısıtma hızı da o kadar yüksek olur [95].

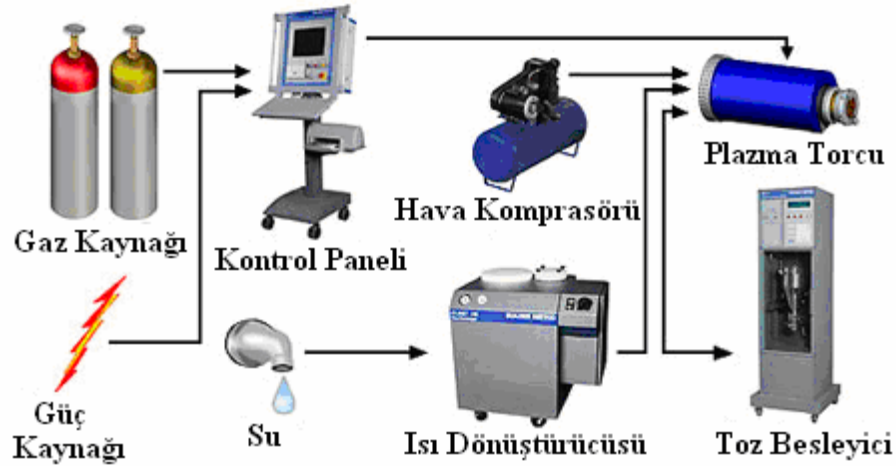
6.3. Plazmanın Özellikleri

Plazmanın genel özellikleri şu şekilde verilebilir [8]:

- Plazma dış ortama karşı elektriksiz olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin sayısı, negatif yüklerin sayısı ile aynı değerdedir. Proseste disosasyon, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları devamlı olarak oluşur.
- Plazma iyi bir ısı ve elektrik iletkenliği gösterir. Bu sebeple plazma içerisindeki parçacıklar enerji taşıyıcısı konumundadır. Plazma içindeki hızların yüksek olması sebebiyle özellikle elektronlar elektrik ve ısı iletiminde büyük paya sahiptir.
- Plazma rotasyonsimetrik bir yapısı vardır. Buradaki silindirik simetrisini oluşturan katottan çıkıp anoda kadar süren plazma akışıdır.
- Plazmada yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğu mevcuttur. Plazmanın sıcaklığı, enerji yoğunluğu plazma ekseninde maksimum değerde olup, Radyal yönde dışa doğru bu değerler hızla azalma gösterir. Plazma sıcaklığı, akım şiddeti ve plazma kesitine göre değişkenlik gösterir.
- Plazmayı magnetik ve termik olarak sıkıştırmak, böylece enerji yoğunluğunu ve sıcaklığını sınırsız bir şekilde yükseltme imkanı verir. Plazma anizotropiktir, yani özellikleri farklı yönlerde değişkendir. Plazmaya elektrik ve manyetik alan etki eder.

6.4. Plazma Püskürtme Sistemi

Plazma püskürtme sistemi, çeşitli bölümlerden meydana gelen karmaşık bir yapıdır. Güç kaynağı, toz besleme ünitesi, gaz tüpleri ve kontrol paneli, soğutma sistemi ve plazma torcundan meydana gelen bir sistemdir(Şekil 6.4).



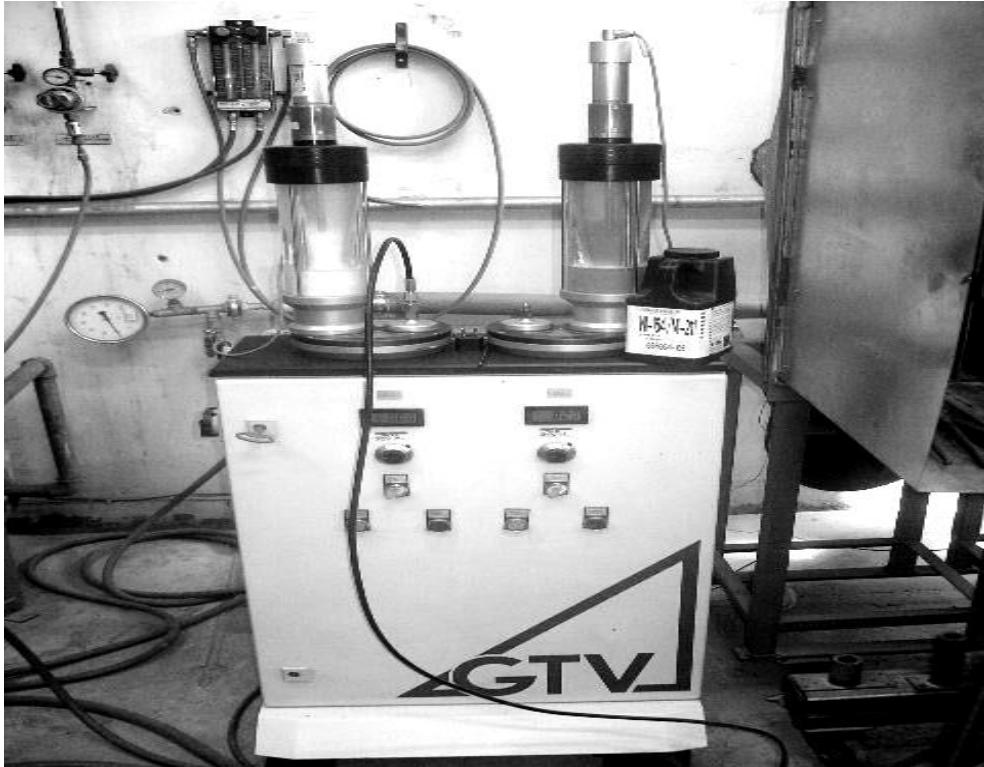
Şekil 6.4. Kontrol Panelli Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Şekli [87].

Sistemin çalışabilmesi için gereken elektrik enerjisini tedarik eden güç kaynağı (Şekil 6.5) uygulanan kaplamaların özelliklerine etkimektedir. Başlarda 40 kW gücünde olan güç kaynakları zaman geçtikçe değerleri yükseltilerek 80, 120 ve 220 kW gücünde güç kaynakları imal edilmeye başlanmıştır. Güç kaynakları değerlerindeki bu artışla anot ile katot arasındaki potansiyel fark artmış olur. Dolayısıyla katottan yayılan ve anoda doğru yönelen serbest elektronların hızında bir artma yaşanır. Bu artış püskürtme hızına etkir. Kaplanacak tozların yüzeye hızlı bir şekilde çarpması yoğun bir yığılma sağlayarak kaplamadaki kaliteyi artırmaktır [87].



Şekil 6.5. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Güç Kaynağı [87].

Kaplama sırasında malzeme yüzeyine kaplanacak tozların taşınmasını toz besleme ünitesi üstlenmektedir (Şekil 6.6). Farklı ebat ve şekle sahip tozların saptanmış olan oran ve hızlarda, malzeme yüzeyine püskürtme işlemini yapan plazma tabancasına (Şekil 6.7) taşınmasını sağlar. Toz besleme ünitesinin parametreleri en uygun sonucu sağlamak için tozları üreten firmanın belirlediği şekilde düzenlenip uygulanır [87].



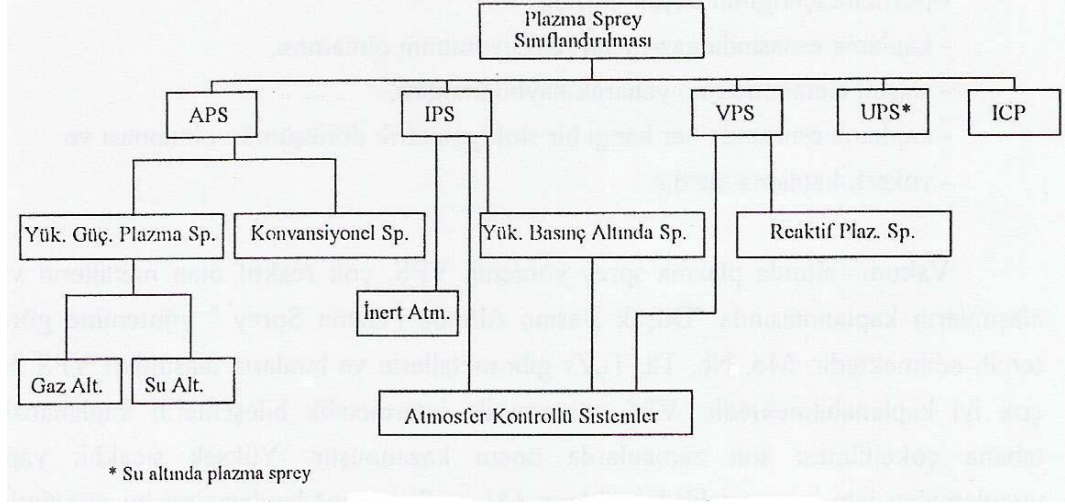
Şekil 6.6. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Toz Besleme Ünitesi [87].



Şekil 6.7. Atmosferik Plazma Püskürtme Sisteminin Plazma Tabancası [87].

6.5. Plazma Spreyin Sınıflandırılması

Plazma sistemin sınıflandırılması genel itibariyle benzer prensiplerden oluşmaktadır. Bu varyasyonların farklılığı her şeyden önce atmosfer şartlarına (Hava, İner gaz, Vakum, Su vb), plazma üflecinin tasarımına ve kullanılan plazma parametrelerine bağlılık gösterir. Şekil 6.8’de plazma spreyn sınıflandırılması gösterilmiştir. Endüstriyel platformda geniş kullanıma sahip olan “Atmosferik plazma sprej”, (APS), “Vakum altında plazma sprej”, (VPS) ve “İner gaz atmosferi altında”, (IPS), yapılan kaplama yöntemlerindedir. Bugün “Su altında plazma sprej” ve “İndüktif plazma sprej” yöntemler üzerinde araştırmalar sürmektedir [93].



Şekil 6.8. Plazma Sprey Yönteminin Sınıflandırılması [93].

6.6. Plazma Partikül Etkileşimi

Plazma gazı ile partiküller arasında plazma spreylemede kullanılan gazların inert yapısı sebebiyle kimyasal reaksiyonun oluşmadığı öngörülmektedir. Bununla beraber yüksek hızdaki sıcak metalik partiküller hava içerisinde bir altlık malzeme üzerine iletilirse ortamdaki hava plazma gazı içerisine çekilmekte, havadaki O_2 ve N_2 plazma jetiyle reaksiyona girebilmekte ve meydana gelen oksit veya nitrürler sonradan kaplamaya girebilmektedir. Metalik kaplamaların püskürtülmesi sırasında toz partiküllerin muhafaza edilmesi ve kaplamaların kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla püskürtme işleminin inert gaz ya da vakum ortamı içerisinde oluşturulmasıyla yüksek kalitede kaplamalar sağlanmaktadır [93].

6.7. Sprey Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi

Kaplama tabakalarının özellikleri ve kullanım çehreleri tabaka içerisinde bulunan fazlara, oksitlere, inklüzyonlara ve gözenek yüzdesine endekslidir. Ayrıca kaplama kalitesi, kaplanacak yüzeye çarpan partiküllerin hızına sıcaklığına ve sprej parametrelerine de bağlıdır. Genel itibari ile taban malzemeleri ve sprej parametreleri kullanım amacına göre seçim yapılmaktadır.

Plazma sprey parametreleri; tabanca ile yüzey arasındaki mesafe, kaplama tozunun tane boyutu ve boyut dağılımı, tabancanın gücü, plazma gazları, karışım oranları, toz besleme hızı ve kaplanacak yüzeyin sıcaklığı şeklinde sıralanabilir.

Kaplama parametreleri; kaplamadaki kalıntı gerilmelere, gözenek miktarına ve dağılımına, kaplamanın kalınlığına, sertliğine, oksit içeriğine ve kaplamanın yapışma mukavemetine etkir. Ayrıca püskürtme partiküllerinin kaplanacak malzemeye yüksek hızla ve aynı zamanda soğumadan yüksek sıcaklıklara varması, kaplama özelliklerini, kaplama yoğunluğunu ve yapışma mukavemetini yükseltir.

Tabanca ile kaplama yüzeyi arasındaki mesafenin çok olması, kaplama tabakası içerisindeki gözenek miktarını etkiler. Yine bu aranın fazla olması sebebiyle, ergimiş tozlar kaplama yüzeyine varmadan, soğuyup katılaşabilir. Sonuçta kaplamanın yapışma mukavemeti kötü bir şekilde etkilenir.

Kaplama özelliklerine etkiyen bir diğer unsur, kaplama tozlarının tane büyüklüğü ve boyut dağılımıdır. Kullanılan tozların sprey parametrelerine uyacak şekilde seçilmesi önem taşır. Tozlar sisteme düzenli bir biçimde ve sabit bir miktarda verilmelidir. Çoğunlukla bu işlem pnömatik olarak yapılır.

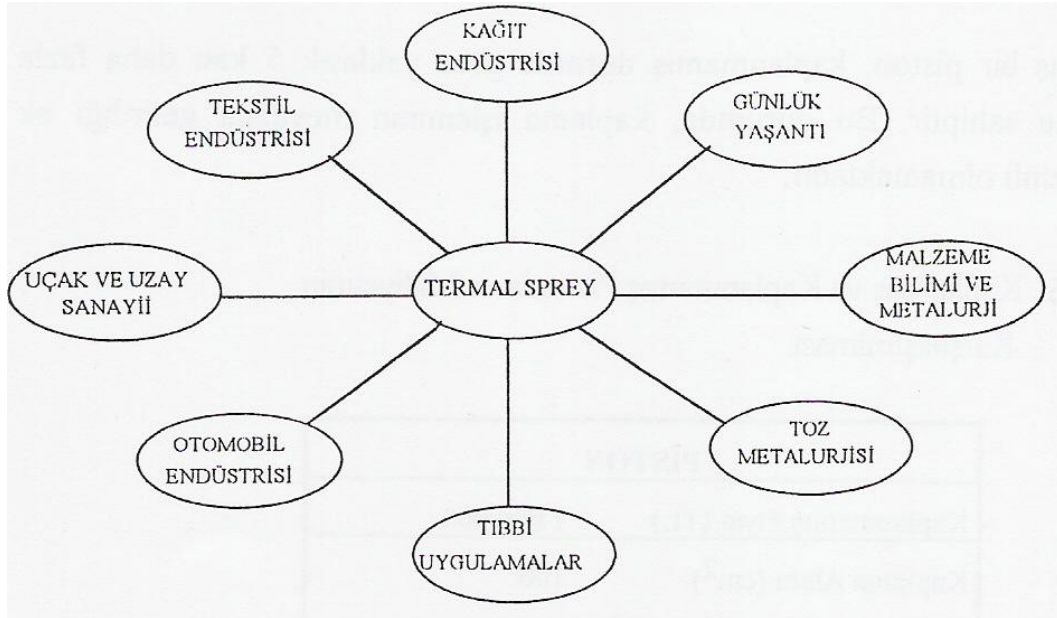
Sprey yönteminde kullanılan tabancanın güçlü olması halinde ergimiş kaplama malzemesi daha yüksek bir hızda ve daha yüksek bir sıcaklıkla kaplama yüzeyine gelerek oldukça yoğun ve düşük gözenekte kaplamalar sağlanabilmektedir [93].

6.8. Prosesin Endüstriyel Uygulama Alanları

Plazma sprey ile kaplanmış malzemelerin bazı kullanım alanları şu şekilde verilmiştir (Şekil 6,9):

- Uçak ve uzay endüstrisinde yüksek sıcaklığa karşı, türbin kanatçıklarında, roket gövde kabuğunda, yanma odasında, pervane alanlarında termal bariyer kaplama olarak,
- Termik santraller, gaz ve dizel türbinlerinde, dizel motorlarında, uçak motorlarındaki türbin panellerinde erozif aşınmaya karşı,
- Matbaa ve kâğıt endüstrisinde, kesme bıçaklarında ve hadde silindirlerinde aşınmaya karşı,

- Makine imalat endüstrisinde sürtünme ve aşınmaya dayanamayan hareketli parçalarda,
- Tekstil endüstrisinde özellikle bobin ve çözgü makineleri, katlama, büküm makineler, ipliğin hızla geçtiği iplik yönlendiricilerinde aşınmaya karşı,
- Otomotiv motorlarında piston başları, supaplar, silindir kapaklarında, egzoz supaplarında termal izolasyon maksadıyla,
- Elektrik santrallerinde kızdırma boruları, yanma kamaraları ve ısıtıcı duvarları,
- Bio-medikal uygulamalarında suni eklemler ve kemikler olarak,
- Günlük yaşantıda tavaların iç yüzeyinde ve ütülerin tabanlarında,
- Kimya endüstrisinde, ayrışma kulelerinde, termo element koruyucu borularda vb. alanlarda kullanılır [97].



Şekil 6.9. Termal Spreyin Genel Kullanım Alanları [97].

7. MATERYAL VE METOD

7.1. Amaç

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, 6LD400 lombardini marka model motorlarda kullanılan mevcut krank mili kol muylu yatağı, alternatif malzemeler kullanılarak kaplanmıştır. Çinko, bakır ve alüminyum kaplama tozlarından oluşturulan farklı formülasyonlarda çinko esaslı altı adet kol yatağı üretilerek malzemenin mekanik özelliklerine, sabit devir ve mesafede ve değişken yüklerde aşınma ve sürtünme oranlarına bakılmış ve yüzeyin mikro analizlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

7.2. Kapsam

Bu çalışma kapsamında, 6LD400 lombardini model dizel motorunun kol yatağı, farklı elementlerin oluşturduğu kaplama tozlarıyla kaplanarak değişken yüklerde aşınma testine tabi tutulmuştur. Daha sonra kaplanan yatakların ve orijinal yatağın yüzeyleri mikro yapısal yönden ele alınmıştır.

7.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada, kaplanmamış yatak malzemesi olarak %99.0 safiyette ve 20 µm ila -45 µm partikül boyutuna sahip alüminyum, %99.0 safiyette ve 45 µm ila -90 µm partikül boyutunda bakır ve %99.0 safiyette ve 45 µm ila -90 µm partikül boyutunda olan çinko tozları kullanılmıştır. Ara bağlayıcı toz olarak ise 20 µm ila -53 µm partikül boyutunda Ni20Cr, astar tozu olarak kullanılmıştır. Oksitlenmeyi engellemek için kaplama tozları optimum seviyede muhafaza edilmiştir.

7.4. Numunelerin Hazırlanması ve Üretilmesi

Numuneler aşağıda görüldüğü gibi farklı yüzdelik bileşenlere sahiptir.

Tablo 7.1. Alaşım İçerisinde Kullanılan Elementlerin Karışım Oranı.

	Zn	Al	Cu	O	C
1 nolu numune	35	20	30	5	10
2 nolu numune	40	10	30	5	15
3 nolu numune	60	20		5	15
4 nolu numune	45	10	25	5	15
5 nolu numune	55	20	15	5	5
6 nolu numune	90				10

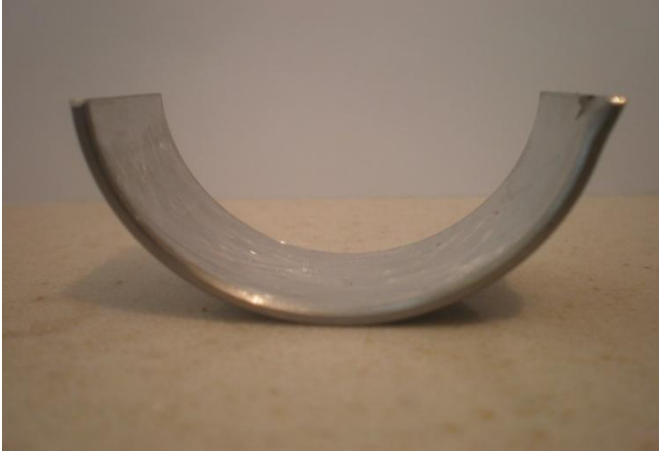
Toz karışımı bu şekilde olan numuneler, atmosferik plazma püskürtme yöntemi (APS) kullanılarak kaplama yapılmıştır. Kaplama tabanca modeli Sulzer Metco 80 kW 9MB plazma tabanca cihazıdır. Şekil 7.1’de tabancanın resmi gösterilmiştir. Bu tabancanın besleme hızı birim saatte 3 libredir, kaplama kalınlığı 280 ila 330 μ olup tabanca ile iş parçası arasındaki mesafe 85 mm’dir. Şekil 7.2’de ve Şekil 7.3’de ise orijinal yatağın fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Atmosferik Plazma Püskürtme Tabancası [65].



Şekil 7.2. Orijinal Yatağın Üstten İç Yüzeyinin Görünümü.



Şekil 7.3. Orijinal Yatağın Yandan Görünümü.

Oluşturulan toz karışımıyla yatağın iç yüzeyine kaplamalar yapılmıştır. Kaplamadan sonraki yatağın resmi Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Kaplanmış Yatağın Yandan Görünümü.



Şekil 7.5. Kaplanmış Yatağın Üstten İç Yüzeyinin Görünümü.

7.5. Metalografik Çalışmalar

Numunelerin mikro yapısını incelemek amacıyla yataktan alınan kesitler dik bir şekilde kaba yerleştirilerek bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin yan yüzeylerine işlem uygulanmıştır. Mikro yapı çalışmaları için numunelerin yan yüzeyleri, 80 mesh'den 1200 mesh'e kadar zımpara kâğıdına tutulmuştur. Daha sonra 60/40 mikronluk elmas pasta ile yüzeyler parlatılmıştır. En son olarak da numuneler 5 gr $FeCl_3$, 10 ml HCl ve 240 ml Alkol [98] çözeltisinde kimyasal olarak dağlanmış ve böylece mikro yapısal çalışmalar için numuneler hazırlanmıştır.

7.6. Aşınma Deneyi

7.6.1. Aşınma Deney Setinin Özellikleri

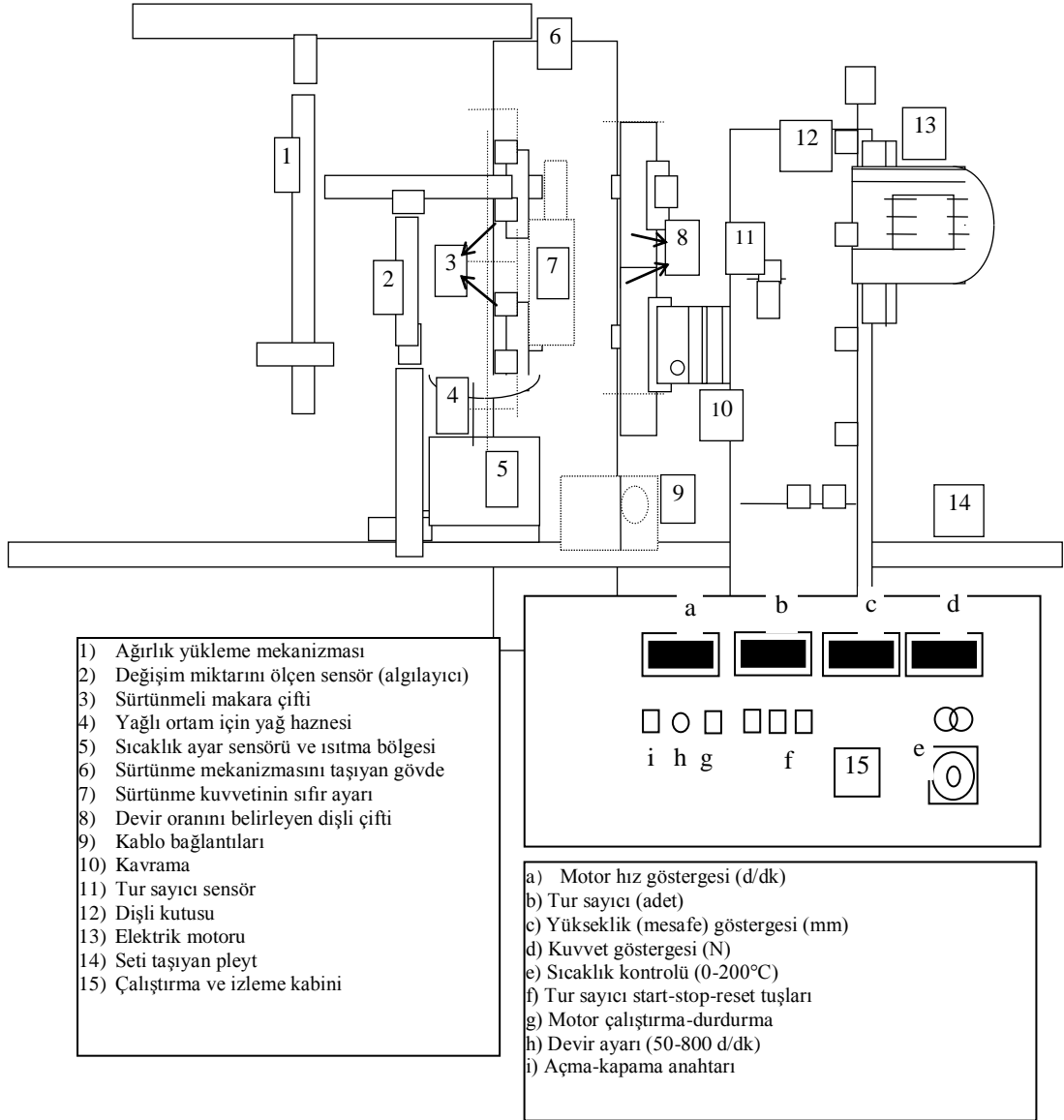
Atmosferik plazma sprey yöntemi ile kaplanan numuneler ve orijinal yatağın aşınma deneyleri cihaza monte edilecek şekilde özel olarak bir krank mili kol muylusu (aşındırıcı) ve yatağın yerleştiği bir aparat hazırlanmıştır. Deney ring on ring aşınma test cihazında statik yük altında yağlı ortamda gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.7'de ring on ring aşınma test cihazının resmi görülmektedir.

D deney başlangıcında sartorius marka hassas dijital terazide 10^{-5} g hassasiyetle tartılan numunelere belirlenen yük ve çevresel hızda aşınma deneyleri uygulanmış ve her 1690 m yol alındıktan sonra tezgâh durdurulmuş, numuneler çıkartılarak üzerinde kalan kopmuş metal artık ve yağlar alkolle temizlendikten sonra tartılmış ve kütle kayıpları kaydedilmiştir. Bu test Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır.

Deneyde aşındırıcı olarak 6LD400 Lombardini dizel motorun orijinal krank mili kol muylusu kullanılmış ve yataklar bu mil üzerinde aşındırılarak değerler tespit edilmiştir. Muylu üzerine iki delik açılarak cihaz üzerindeki yuvaya geçirildikten sonra iki bağlantı noktası sıkılmıştır.

Muylu üzerinde çalışan yatakların ise bir kenarı matkap tezgâhında delinerek yatak tutucusu dediğimiz bir kenarı faturalanmış çeneye monte edilmiştir. Çene denilen kısım aşındırıcı üzerine gelecek şekilde cihaza takılmıştır.

PLINT marka üniversal ring on ring sürtünme ve aşınma cihazının şematik resmi Şekil 7.6'da, Şekil 7.7'de aşınma test cihazı ve cihaza bağlı teknik verilerin olduğu makine Şekil 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.6. PLINT Marka Ünlversal Sürtünme ve Aşınma Cihazının Şematik Görünümü.



Şekil 7.7. PLINT Marka Ring on Ring Aşınma Cihazı.

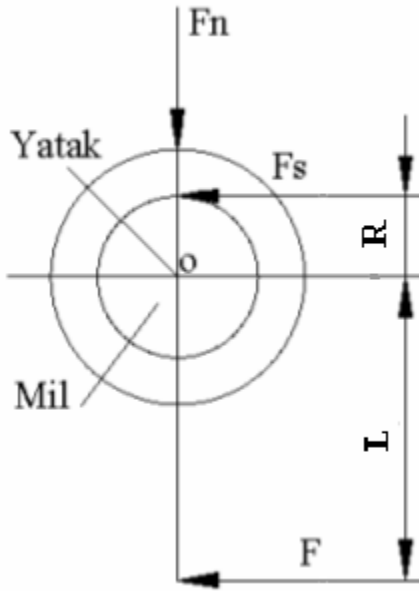


Şekil 7.8. Aşınma Cihazının Devri, Sayacı, Deplasman ve Sürtünme Kuvvetini Gösteren Makine.

Kaymalı yataklarda genellikle yatak malzemesi, mil malzemesine göre daha düşük aşınma dayanımına sahip malzemelerden oluşturulur. Böylelikle milin aşınması büyük çapta minimum seviyeye çekilmiş olur. Bu nedenle kaymalı yatak aşınma cihazları, yatak malzemelerinin aşınmasını incelemek üzere dizayn edilmiştir.

Bu çalışmada ring-on-ring aşınma cihazı ile yatak malzemelerinin aşınma davranışları incelenmiştir. Test düzeneğinde aynı zamanda sürtünme kuvveti de elde edilmektedir. Bu aşınma test cihazı; yatağın bulunduğu tutucu üzerinde rijit bir çubukla basılı bir ağırlık ve bu ağırlık üzerine yük eklenebilen, yağlı ortamda çalıştığı için aşındırıcı altında yağın bulunduğu hazne ve yağın sağa ve sola sıçramasını engellemek ve yağın tekrar hazneye girmesi için koruma panelinden oluşmaktadır. Ayrıca aşınma testinde kullanılan yağ makine yağıdır.

Yatağın dönme yönünde oluşan sürtünme kuvveti ve buna bağlı olarak çubuğa uygulanan yüklerle sürtünme katsayısı tespit edilir. Yağlı ortamda yapılan deneylerde, 42N, 67N ve 92N değişken yüklerde sürtünme kuvvetleri elde edilmiştir. Sürtünme kuvveti ve yüklerin oluşumu Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Kaymalı Yatakta Sürtünme Kuvvetinin Oluşumu [66].

Şekil 7.9'da görülen F_s sürtünme kuvveti;

$$F_s = F_N \cdot \mu \text{ [66].}$$

Burada; F_N uygulanan yük, F_s sürtünme kuvveti, μ sürtünme katsayısıdır. Bu denklemde de görüldüğü üzere uygulanan yük ve sürtünme kuvveti değerleri bilindiğinde sürtünme katsayısı bulunabilmektedir.

7.6.2 İşlem Değişkenleri

Yük: Deneyleerde 42N, 67N ve 92N'luk yükler, aşınma cihazında yatağa uygulanmıştır.

Devir sayısı: Yapılan çalışmada devir sayısı 300 d/d'dır.

Mesafe: 300 d/d'da, 30 dakikada sayaç 9000 tur'u gösterdiğinde kat edilen yol 1690 metredir.

7.7. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri

Hazırlanan numuneler JEOL JSM-7001F marka taramalı elektron mikroskobu ile tarandı. Kaplamaların ve kaplanmamış yatağın yapıları incelendi. Numunelerin aşınma öncesi ve aşınma sonrası olacak şekilde farklı büyütmelerde fotoğrafları çekildi. SEM ve EDS incelemelerinin yapıldığı cihaz Şekil 7.10'da gösterilmiştir.

7.8. EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) Analiz Çalışmaları

SEM'in bir ünitesini oluşturan EDS cihazında numunelerin mikro yapısında noktasal analiz çalışmaları yapıldı. Bu analizlerden elde edilen piklerle numuneler hakkında yorum yapıldı.

7.9. X-Işınları Difraksiyonu (X-Ray Diffraction) Çalışmaları

Numunelerin X-Ray analizleri Bruker-D8 Advance cihazında yapılmıştır. Çalışma koşulları 40V ve 40A olarak seçilmiştir. Cu- K_α X-Ray tüp radyasyon spektrumunda ve dalga boyu 1,5406 olan X-Ray ışınları yardımıyla oluşturulan grafikler değerlendirilmiştir.

7.10. Mikrosertlik Ölçümleri

Kaplamaların ve kaplanmamış yatağın sahip oldukları mikrosertlik değerleri, numunelere dik bir şekilde 10 sn boyunca 100 gr yük uygulanarak HV skalasında ölçüldü. Ölçümler Future-Tech FM 700 marka mikro sertlik cihazında yapılmıştır.



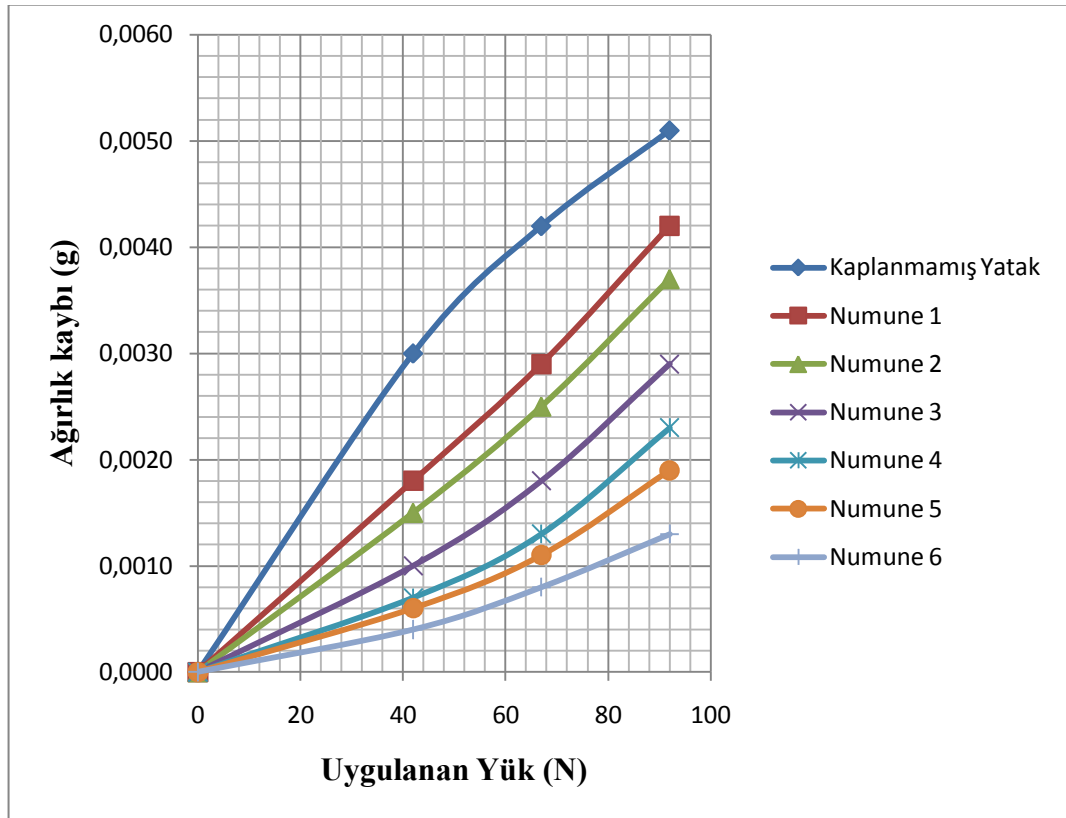
Şekil 7.10. SEM Cihazı [99].

8. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

8.1. Aşınma Denei sonuçları

Yapılan aşınma denei sonucunda, aşınma testi öncesi ölçülen numunenin ağırlığı ile aşınma sonrası ölçülen numune ağırlığının farkı kütle kaybını verir. Bu deneide her bir numune için aynı şartlarda aşındırılan yedi adet numune üzerinde çalışılmıştır. 42N, 67N ve 92N yüklerde her numune için yük başına otuz dakika aşındırma işlemi uygulanmış ve sonrasında da elde edilen aşınma davranışı ve sürtünme katsayısına bakılmıştır.

8.1.1. 42, 67 ve 92 N Yük Altında Yapılan Aşınma Denei Sonuçları ve Sürtünme Katsayısı Ölçümleri



Şekil: 8.1. Numunelerin 42, 67 ve 92 N Yük Altındaki Aşınma Davranışları

Şekil 8.1’de 42, 67 ve 92N yük altında, numunelerdeki ağırlık kaybına bakılmıştır. Şekil genel hatlarıyla incelendiğinde yükün 42N’den 67N’ye çıkmasıyla numunelerdeki aşınma miktarında da artış görülmektedir. Bunun sebebi ise, yükün artmasıyla muylu ile numunenin temas eden yüzeylerinde zorlanma artar. Zorlanmanın artmasıyla temas sağlanan noktalarda sıcaklık da artış gösterir. Sıcaklıktaki artış temas yüzeylerinde kaynaklanmaları artırır ve ardından da kaynak tabakalarında kırılma meydana gelir. Bu da aşınma miktarının artmasındaki kıstas olarak düşünülebilir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiş ve numuneye uygulanan yükün artmasıyla kütle kaybının arttığı ve dolayısıyla aşınma miktarında artma olduğu tespit edilmiştir [66-69].

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlardan oluşturulan grafikte, en fazla ağırlık kaybı kaplanmamış yatakta meydana gelmiştir. Burada böyle bir sonucun çıkmasının nedeni, özellikle yükün artmasıyla birlikte yatak iç yüzeyinde sıcaklık artışı meydana gelmesi ve yapısındaki malzeme gereği kaplanmamış yataktaki aşınma miktarının diğer numunelerden daha fazla olmasıdır.

Yataklarda hidrodinamik şekilde yağlama yapılır. Eğer yatak çalışma esnasında mevcut yükten daha fazla yüke tabi tutulursa, yatakta kullanılan yağ viskozite özelliğini yitirir. Öte yandan yatakların üzerine binen kuvvet arttığından dolayı yatağın yük taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bu bağlamda Şekil 8.1’de uygulanan yükün artmasıyla 1 nolu numunenin 2 nolu numuneye göre kütle kaybının daha fazla olmasının sebebi, yatağın yük taşıma kabiliyetini ve yağlayıcılık özelliğini düşürdüğü şeklinde açıklanabilir.

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi 2 nolu ve 3 nolu numunelerin uygulanan yükler sonunda farklı aşınma miktarları gösterdiği tespit edilmiştir. Ağırlık kaybının farklılık göstermesi, 3 nolu numune alaşımının ergime sıcaklığının 2 nolu numuneye göre düşük olmasından kaynaklanabilir. Yatak alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması yatakta beklenen bir özelliktir [100]. Böylece yatağın ergime sıcaklığını düşürdüğümüzde, yatağın kullanım ömrü artmaktadır. Ömrünün uzun olması aşınmaya karşı da dayanımının iyi olduğunun bir kanıtıdır denilebilir.

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların kayma yüzeylerinde oluşan sürtünme tabakalarının da katı yağlayıcı gibi davranarak, yatak-mil ara yüzeyindeki sürtünmeyi azalttığı ve bu nedenle yatakların aşınma direncini artırdığı ileri sürülmektedir [31].

Bu yönde Şekil 8.1'e bakıldığında alaşım içerisinde oran olarak daha fazla olan çinko-alüminyum esaslı alaşımdan meydana gelen 3 nolu numunenin 2 ve 1 nolu numunelere göre ağırlık kaybının daha az yani aşınma dayanımının yüksek olması bu görüşü destekler niteliktedir.

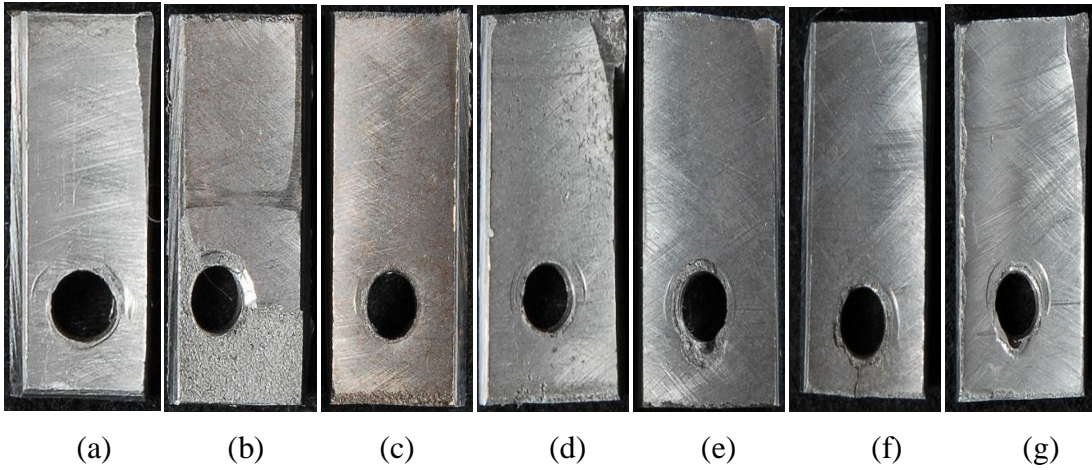
Çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen yatakların üstün tribolojik özellikleri, bu yatak alaşımlarının ideal içyapıları ile yatakların aşınma yüzeylerinde oluşan çinko-alüminyum oksit tabakalarına dayandırılarak izah edilmektedir [31]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların içyapılarında bulunan alüminyum ve bakırca zengin fazlar üretilen yataklarda yük taşıma görevi yaparken, çinko fazı ise yumuşak malzeme olduğu için sert parçacıkların yatağa gömülmesini ve bunun yanında sürtünme kuvvetini de azaltarak kaymayı kolay hale getirdiği düşünülmektedir. Bu yönde Şekil 8.1'de 5 nolu numunenin 4 nolu numuneye göre aşınma direncinin daha iyi olmasında, yatak alaşımının da üstün olduğu ve 5 nolu numunede kullanılan metallerin, yatağa faz oranı bakımından daha etkin olmasından kaynaklanabilir.

Şekil 8.1'de gösterilen 5 nolu numune, 3 nolu numuneye göre daha az ağırlık kaybına uğramıştır. Bu sebebi olarak bakır elementinin yatak malzemesinde var olması, yatağın darbeleri ve değişik zorlanmalara karşı dayanıklı olması ve termal iletkenliğini iyileştirmesi ayrıca yatağın kendi kendine yağlayabilme yetisini artırdığı gösterilebilir.

Muyulu-yatak çalışma sisteminde meydana gelen aşınmayı azaltmak için yataklar optimum düzeyde yağlanması gerekir. Bununla birlikte yatak yüzeylerinin bir miktar yağ tutma özelliğine sahip olması istenir. Bu sebeple yatak malzemelerinde yağ tutma özelliği iyi olan metaller seçilir. Bakırın yatak yapısına elverişli olması, yağ tutma fonksiyonu bulunması ve yabancı partikülleri de bünyesinde barındırması açısından yatakta tercih edilir.

Metalin metale teması üzerine binen yük arttıkça metal teması artmaktadır. Yük arttıkça yağ özelliğini kaybeder, bu bölgede yüksek sıcaklıklar ortaya çıkar ve yük taşıma kapasitesini azaltmakta en nihayetinde aşınma miktarı artar. Burada uygulanan yük, yatak için büyük önem arz etmektedir.

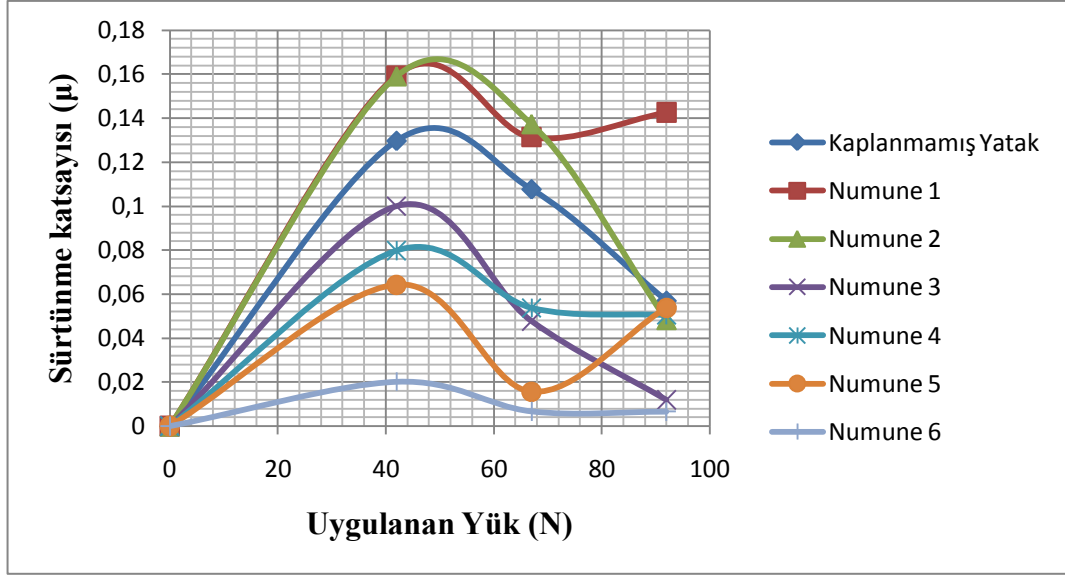
Şekil 8.1’de de görüldüğü gibi 6 nolu numune diğer alaşımlara ve kaplanmamış yatağa göre ağırlık kaybı daha düşüktür. Bu da yatağın daha az aşındığını göstermektedir. Yumuşak kaplanmamış yatak içerisine dağılmış olan çinko parçacıkları, yatağa gelen yükü diğer yataklara oranla daha iyi taşımakta olduğundan çinkoca yüzdelik dilimi yüksek olan 6 nolu numune daha az kütle kaybına uğramıştır denilebilir. Fakat çinkonun tek başına yatakta kaplama malzemesi olarak kullanılması uygun görülmez. Çünkü çinko tek başına yatakta kullanıldığında çalışma sırasında işlem sıcaklığı 60°C ’nin üzerine çıktığında kaplama yapısı bozulma gösterecektir ve bu da yatak için istenmeyen bir durumdur. Ayrıca çinko kendi başına yatakta tribolojik özellik, yüksek yükleme kapasitesi, iyi ısıl iletkenlik, düşük ısıl genleşme ve yabancı partikülleri gömme özelliklerinin hepsini barındırmamaktadır. Kaplanacak yatakta çinkonun bir alaşım içerisinde yer alması, yatağın uzun ömürlü olması açısından önem arz ettiği şeklinde ifade edilebilir. Şekil 8.2’de işleme alınan numunelerin aşınma sonrası resimleri görülmektedir.



Şekil 8.2. (a) Kaplanmamış Yatak, (b) 1 Nolu Numune, (c) 2 Nolu Numune, (d) 3 Nolu Numune, (e) 4 Nolu Numune, (f) 5 Nolu Numune, (g) 6 Nolu Numune. Aşınma Sonrası Parçaların Yüzey Görünümü

Şekil 8.2’de görüldüğü gibi yüzeyde oluşan bu izlerin bir kısmının otuz dakika sonrasında elde edilen aşınmadan meydana geldiği söylenebilir. Bir kısmının da deneyin başında yağsız ortamda milin yatağın iç kısmını birdenbire aşındırmasından (chipping off) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Numunelerden alınan kütle kayıpları yükün artmasıyla eğimlerin aynı düzende ve sırada lineer bir şekilde artması aşınma testinden olumlu sonuçlar alındığı düşünülmektedir.



Şekil 8.3. Numunelerin 42, 67 ve 92 N Yük Altında Sürtünme Davranışları

Sürtünme katsayısı; deneylerde değişken parametre olarak seçilen mil devir sayısı, yatak yükü, yatak sıcaklığı ve yatak malzemesi, milin yüzey pürüzlülüğü, yatağın yüzey pürüzlülüğü, mil yatak toleransı, malzemelerin sertlikleri, sinter yatakların gözeneklilik durumları gibi birçok özelliğe bağlıdır [66]. Üretilen yatakların ve orijinal yatağın aşınma deneyinde sürtünme kuvvetleri alınmış ve uygulanan yüke göre daha önce belirtilen formüle göre hesaplanarak numunelerin sürtünme katsayıları bulunmuştur.

Şekil 8.3'te aşınma testindeki her numune için 30 dakika sonunda 42, 67 ve 92 N yük altında parçaların sürtünme katsayısı grafiği oluşturulmuştur.

30 dakika aşınma sonrası 42, 67 ve 92 N'da numunelerden elde edilen sürtünme katsayıları sırasıyla; kaplanmamış yatağın sürtünme katsayısı 0,12976-0,10774-0,05706, 1 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,15952-0,13134-0,14265, 2 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,15904-0,13731-0,04836, 3 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,1-0,04776-0,01195, 4 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,07976-0,05373-0,05041, 5 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,06428-0,01567-0,0538, 6 nolu numunenin sürtünme katsayısı 0,02023-0,00671-0,00658 olarak bulunmuştur.

Şekil 8.3'deki grafikte 42 N yük altında yapılan deneyden elde edilen sonuçta, en yüksek sürtünme katsayısı 0.15952 ile 1 nolu numune en düşük sürtünme katsayısını ise 0.02023 değerle 6 nolu numune oluşturmaktadır.

Şekil 8.3'de 42 N'da numunelere bakıldığında 1 nolu numune ve 2 nolu numunede hesap edilen sürtünme katsayı değerleri takribi olarak aynıdır. Bu da her iki numune için kaplama yüzeyinin muyluya karşı hemen hemen aynı karakteristik özellik taşıdığı düşünülebilir. Sonuçlar incelendiğinde 1 nolu numune ve 2 nolu numunenin kaplanmamış yatağa göre daha fazla sürtünme katsayısı değeri göstermiştir. Bu istisnai bir durumdur. Burada, sürtünme katsayısının arttığı yerde parçanın çalışma sıcaklığı da artmakta ve buna paralel olarak yatakların ısınmasıyla da yağın kimyasal özelliklerinin kaybolduğu şeklinde açıklanabilir. Bu şekilde düşünüldüğünde 1 nolu numune ve 2 nolu numune, kaplanmamış yatağa göre sürtünme katsayısı daha fazladır denilebilir.

Şekil 8.3'de 42 N'da 6 nolu numunenin yani çinko esaslı kaplamada şekle bakıldığında sürtünme katsayısının diğer numunelere göre düşük olduğu bariz bir şekilde görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da çinkonun sürtünme katsayısı, diğer alaşım ve elementlere göre düşük olduğu görülmüştür [29, 35]. Çinko; aşınma direncinin iyi olmasına karşın, malzemenin mukavemet değerinin düşük olması nedeniyle yatak üretiminde tek başına kullanılamaz. Fakat çinko içerisine belirli oranlarda bakır ve alüminyum eklenerek kaplama yapılan yüzeyin mukavemet değeri iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

Şekil 8.3'de uygulanan 67 N'lik yükte çıkan sonuçlara göre, en büyük sürtünme katsayısı 0.13731 değeriyle 2 nolu numune ve en küçük sürtünme katsayı değeri ise 0.00671 ile 6 nolu numunede meydana gelmiştir.

Şekil 8.3'e bakıldığında 67 N'da, 1 ve 2 nolu numunelerin sürtünme katsayılarının birbirine yakın olması, her iki numunenin de benzer mekanik ve tribolojik özellikler taşıdığı için olabilir. Bu kaplanmış iki numunenin sürtünme katsayısı, kaplanmamış yataktan fazladır. Sürtünme katsayısının kaplanmış bu iki numunede fazla çıkmasının sebebi, kaplanmamış yatağa göre üzerinde oluşan ısıdan dolayı yatakların yağlama özelliklerini yitirmesi numunelerde sürtünme oranını artırdığı düşünülmektedir.

Ayrıca kaplanmamış yatağa uygulanan çeşitli işlemlerle yoğunlukları daha iyi seviyeye çekilebilmekte ve böylece elde edilen mekanik özellikler, tam yoğun malzemelerin mekanik özelliklerinden de üstün olabilmektedir [66].

Yatak, uygulanan yük karşısında çeşitli zorlanma ve darbelere maruz kaldığından optimum seviyede direnç sağlaması gerekir. Diğer taraftan kullanılan alaşımın yataktaki gözenekler çalışma esnasında ortamda bulunan yağın, sürtünen yüzeyleri daha iyi bir şekilde yağlaması sürtünme direncine büyük katkı sağlayacağı söylenebilir. Bu itibarla Şekil 8.3'e bakıldığında 67 N'da, 5 ve 6 nolu numunelere bakıldığında 6 nolu numunenin sürtünme direncinde daha iyi olmasının, bahsi geçen sebeplerden dolayı üstünlük sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

Yapılan literatür taramalarında da çinkonun diğer alaşım malzemelere göre sürtünme katsayısının düşük çıktığı görülmüştür [30].

Şekil 8.3'de yatağa binen 92 N'lik yükte en yüksek sürtünme katsayısı 0.14265'lik değerle 1 nolu numunede, en düşük sürtünme katsayısı ise 0.00658 ile 6 nolu numunede tespit edilmiştir.

Yük, kayma hızı ve temas sıcaklığı ile aşınma ve sürtünme katsayısı arasında gerçek bir ilişki kurulmuş, yapılan deneyler sonucunda, sürtünme katsayısı üzerine sıcaklık faktörü, hız/yük ve yük/sıcaklık değişkenlerinin önemli derecede etkili olduğu bulunmuştur [70]. Bu şekilde numunelere bakıldığında Şekil 8.3'de 92 N için, yük ve sıcaklık, sürtünme katsayısı için düşünüldüğünde artan yük ve krank yatak arasında artan temas sıcaklığı, 1 nolu numunenin sürtünme katsayısını kaplanmamış yatak ve diğer numunelerden keskin bir eğimle ayırmıştır.

Şekil 8.3'de 92 N'da 6 nolu numunenin 5 nolu numuneye göre sürtünme katsayısının düşük çıkması, 6 nolu numunedeki alaşımın çinkonun yüzdelik diliminin fazla olmasına bağlanabilir.

Yüzeyde oluşan sert alüminyum oksit tabakasının yük taşıma görevi yaparak aşınma direncini artırdığı, çinko oksit tabakasının ise özellikle sınır ve karışık sürtünme durumlarında yağlayıcı gibi davranarak kaymayı kolaylaştırdığı öne sürülmüştür [71]. Bu doğrultuda bakıldığında Şekil 8.3'de 92 N'da, çinko zengin 6 nolu numunenin yağlayıcı gibi davranarak sürtünme katsayısı, diğer numunelere ve kaplanmamış yatağa göre azaldığı söylenebilir.

Genel itibarıyla 42N, 67N ve 92N yüklerde numunelerin sürtünme katsayıları düşünüldüğünde, düşük yüklerde sürtünmenin daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yataklardaki yüzeyin ısınmamış ve yağlayıcılığın ön plana çıkmamış olmasıdır [66]. Bazı numunelerde artan yük ile birlikte sürtünme katsayıları dalgalanmalar göstermiştir.

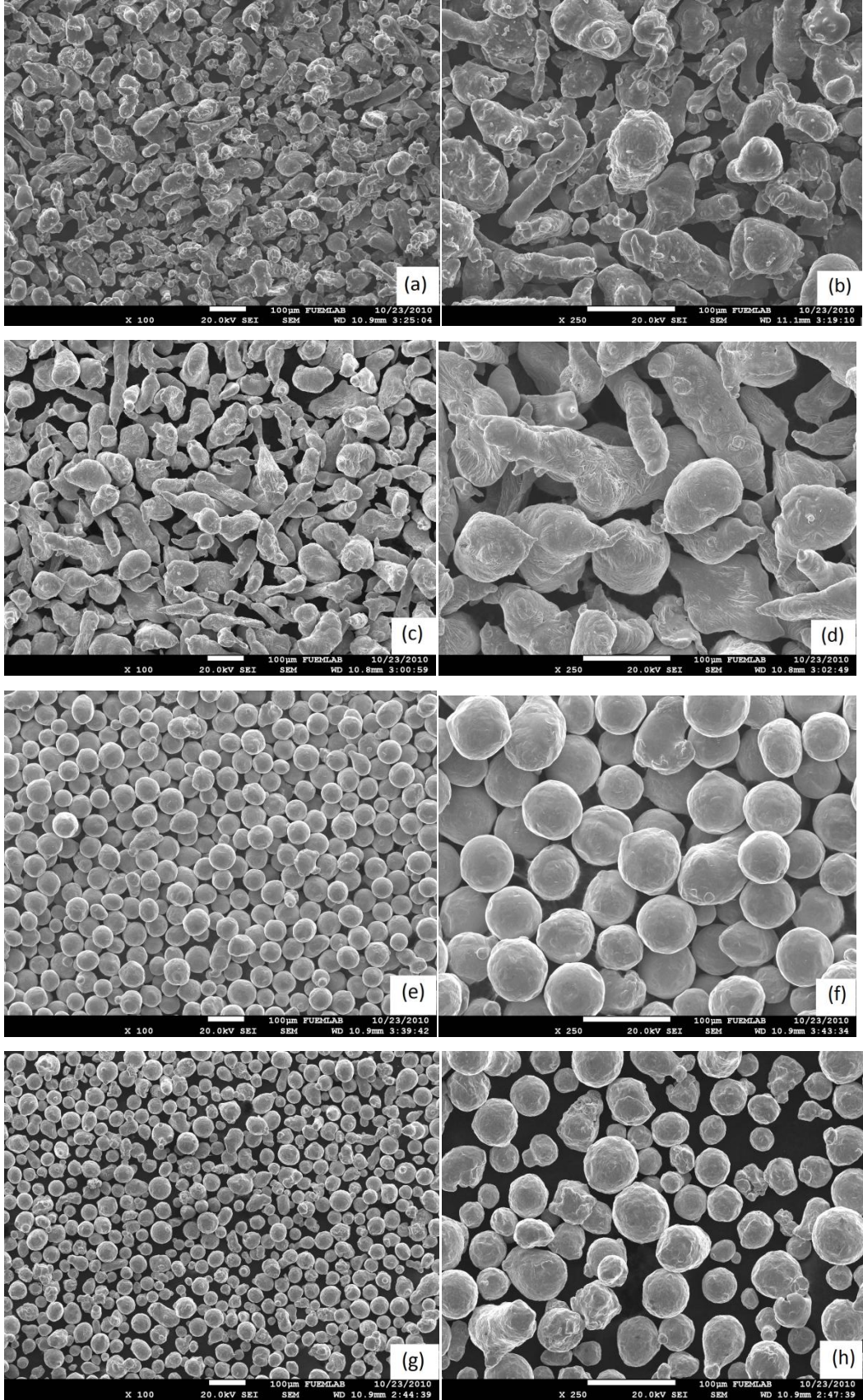
Sürtünme katsayısının tekrar artmasının nedeni yatağa emilen yağ miktarında buharlaşmanın olması, akma sonucu yatağa emilen yağın azalması, yağın yağlayıcılık özelliğini kaybetmesi, gözeneklere aşınma partiküllerinin girerek gözenekleri kapaması ve yatak veya muylunun pürüzlü olması gösterilebilir.

8.2. SEM ve EDS Analiz Sonuçları

8.2.1. Kaplama Tozlarının Şekli

Yatağın kaplanmasında kullanılan alüminyum, çinko, bakır ve astar tozu olan nikel krom tozlarının SEM görüntüleri Şekil 8.4'de verilmiştir.

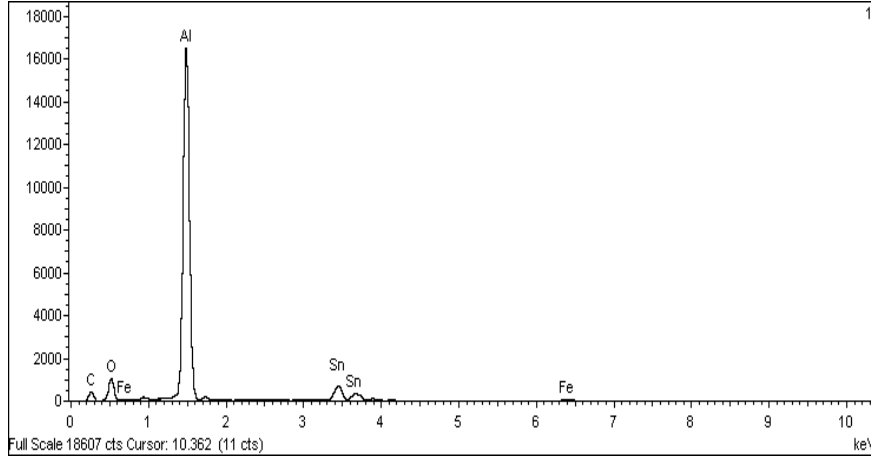
Tozların şekline bakıldığında alüminyumun tam küresel olmadığı, çinkonun keskin uç hatlarına sahip geometrik şekil görülmektedir. Bakırın toz şekli küresel bir biçimi olan sık dokuya sahiptir, ara bağlayıcı toz olarak kullanılan nikel krom ise küresel toz şeklinde ve kompleks bir yapısı vardır.



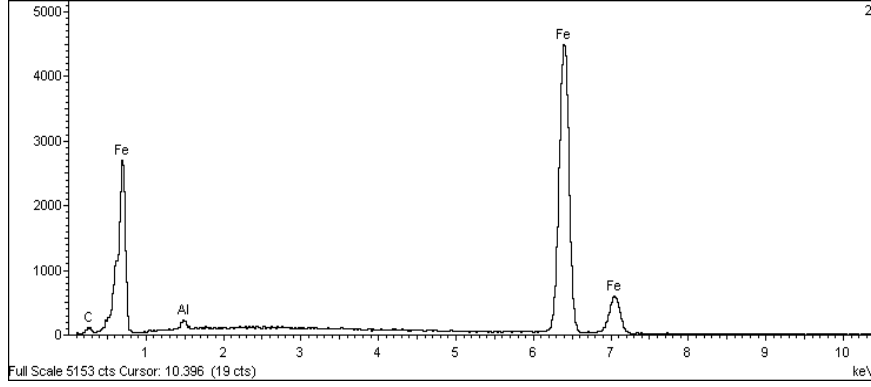
Şekil 8.4. Kaplama Tozlarının SEM Görüntüleri a) Al b) Al c) Zn d) Zn e) Cu f) Cu g) NiCr h)

NiCr

8.2.2. Aşınma Öncesi ve Sonrası SEM ve EDS İncelemeleri



(1)

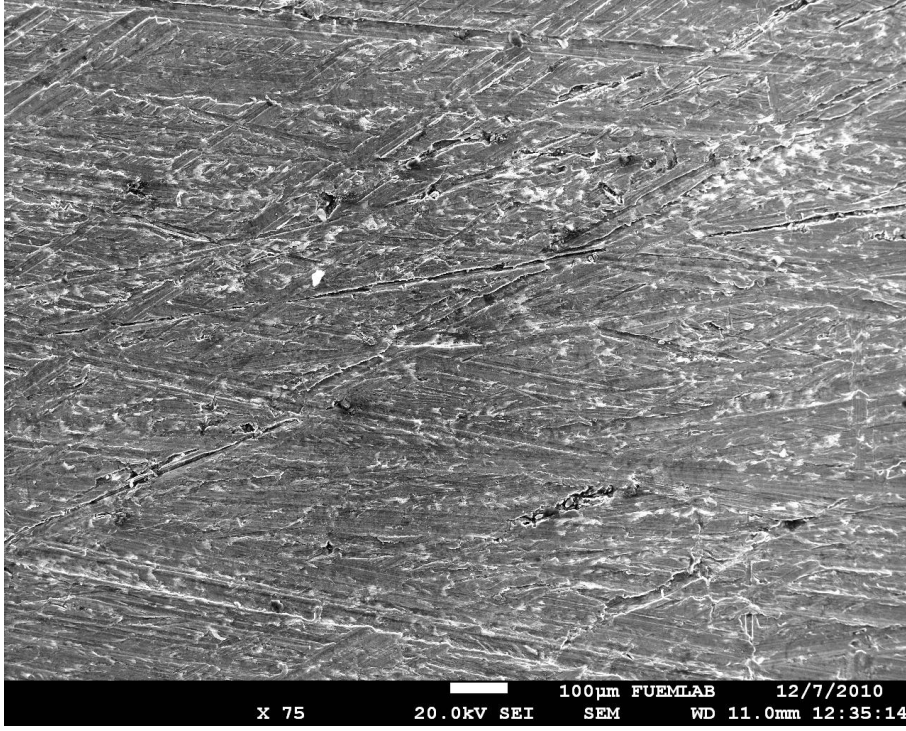


(2)

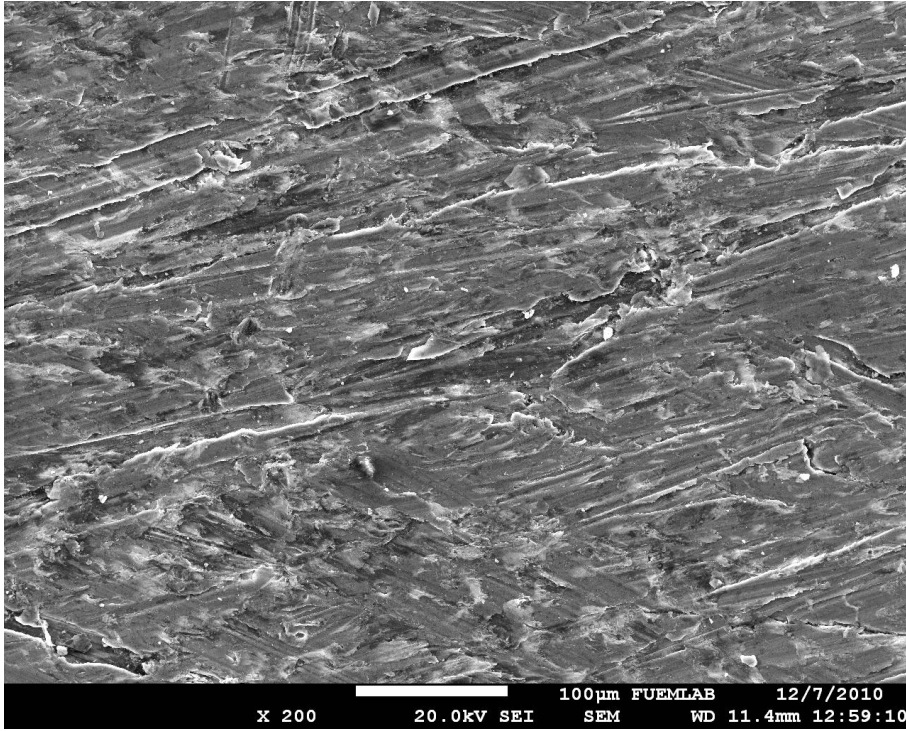
Şekil 8.5. Kaplanmamış Malzemenin 1 ve 2 Noktalarından Alınan EDS Analizi.

Şekil 8.5’de gösterilen aşınma öncesi farklı bölgelerden alınan EDS analizi sonucunda üst tabakadan alınan 1 noktasının alüminyumca zengin %44.97 Al, %1.54 Fe, %9.96 Sn, %22.34 O, %21.19 C bir bölge olduğu görülmektedir. 2 noktasından alınan EDS analizi %93.52 Fe, %1.11 Al, %5.37 C şeklindedir. 2 nolu spektrum yüksek oranda demir içermektedir. Burada yapılan noktasal analizde 1 nolu spektrumda düşük oranda demir, 2 nolu spektrumda ise düşük oranda alüminyum yüzdesi bulunmuştur.

Şekil 8.5’deki EDS analizi baz alındığında, krank kol yatak numunesinin alüminyum esaslı olduğu görülmüştür.



(a)



(b)

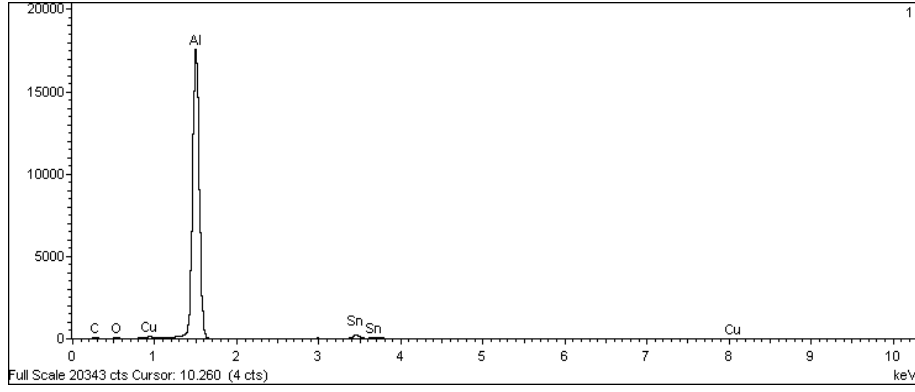
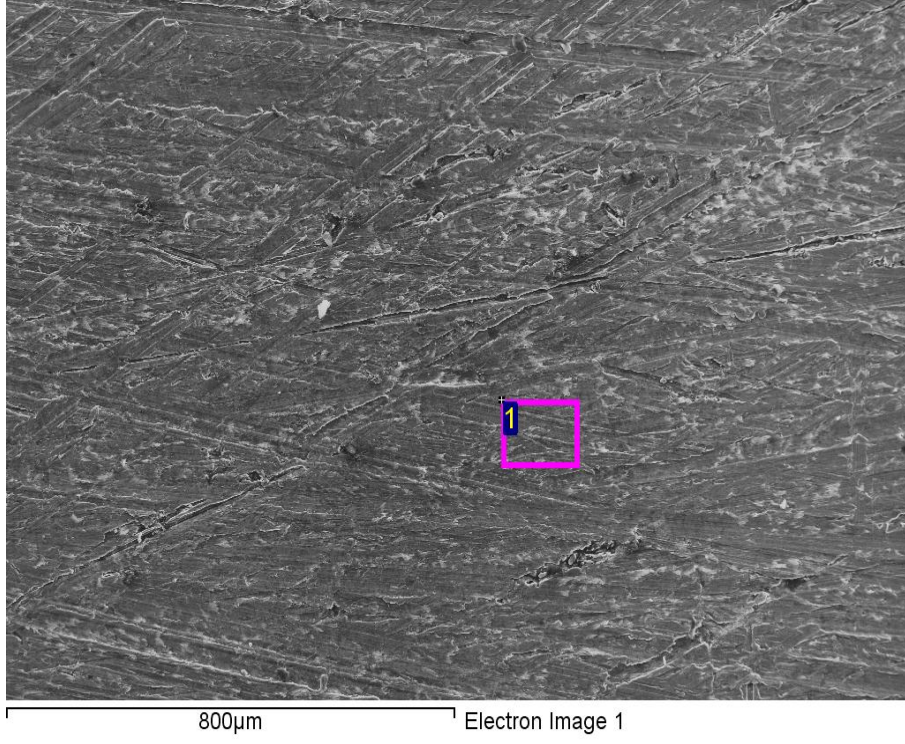
Şekil 8.6. Kaplanmamış Malzemenin Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Aşınma deneyinde ana malzemeye uygulanan 42N, 67N ve 92N yükün SEM görüntüleri birbirine benzer yapıda oldukları için 75X ve 200X büyütmedeki kaplanmamış yatağın görüntüleri Şekil 8.6'da verilmiştir.

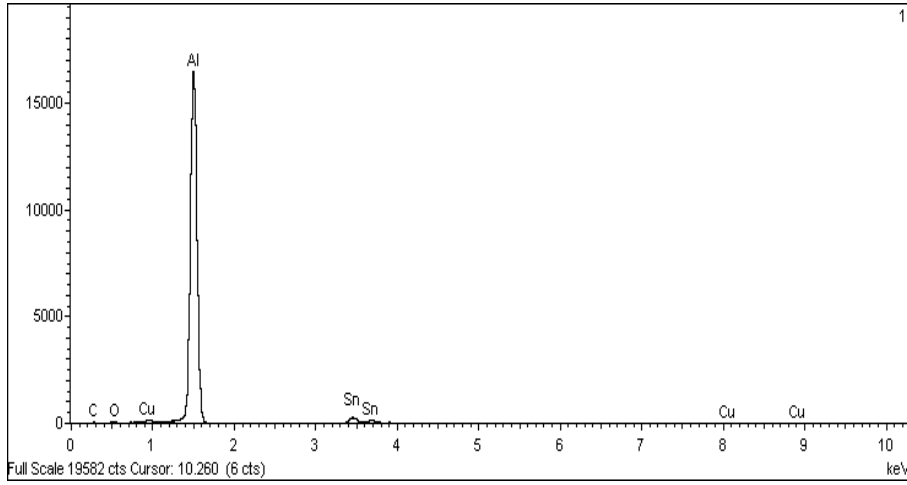
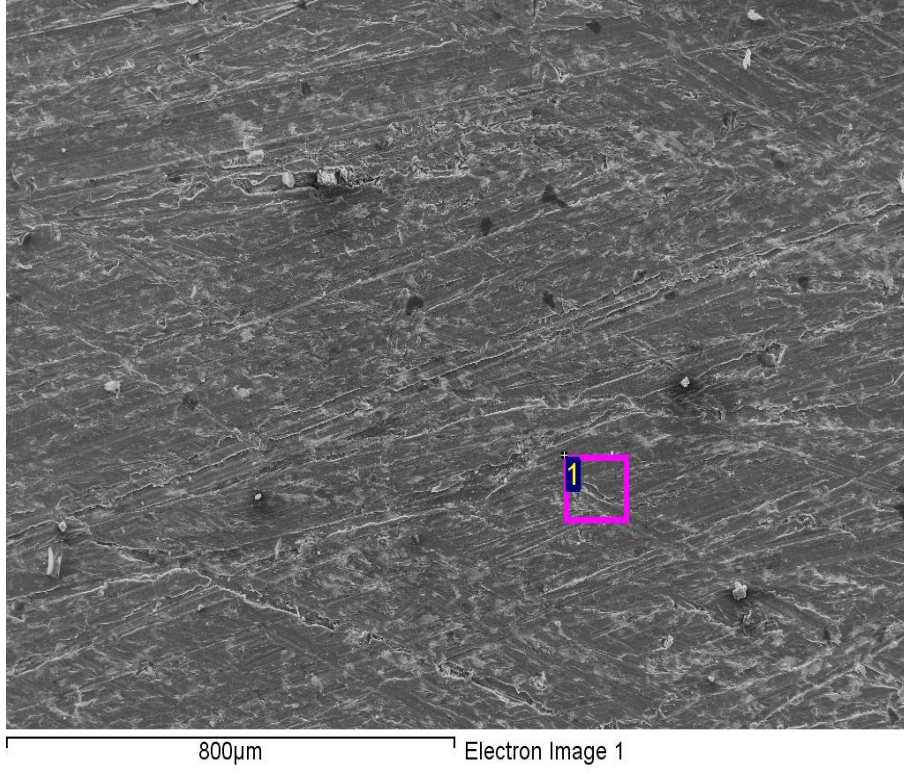
Alüminyum esaslı krank kol yatağının yüzeyinde çizikler görülmektedir. Bu görünen aşınma izleri metal-metal aşınması yani adhezyon aşınma oluştuğunu düşündürmektedir. Aşınma testinde yatağın krank'a karşı temas noktalarında kaynak bağlar oluşur. Bir süre sonra malzeme molekülleri aşındırıcıyla doğrudan temasa geçer ve bölgesel kaynak bağları meydana gelir. Böylece yatakta malzeme kaybı olmaktadır.

Kaplanmamış yatak üzerine binen yük arttıkça sürtünen yüzeyde temas sıcaklığı arttığından ve yatağın yük taşıma kapasitesi azaldığından numunenin aşınma direnci düşmektedir.

Şekil 8.6'da yer yer gözenekler görülmektedir. Bu gözeneklerin malzeme yapısında bulunmasının nedeni ilk çalışma esnasında yatakta hidrodinamik yağlamanın gerçekleşmemesi. ve gözeneklerde biriken yağların devreye girerek sürtünmeyi azaltmasıdır. Yapılan literatür taramalarında da bu görüş desteklenmektedir [12].



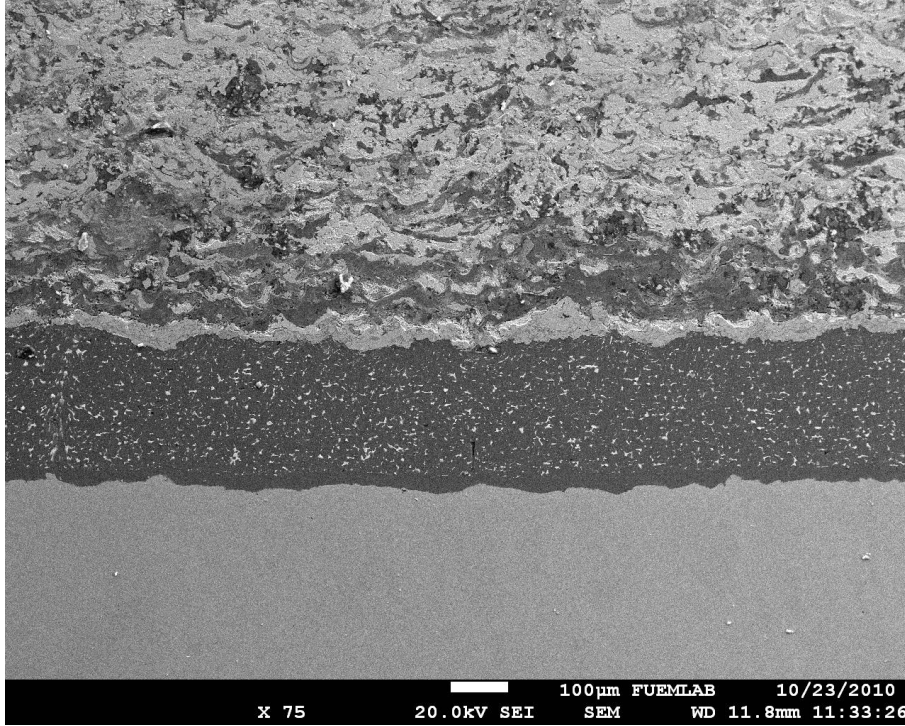
Şekil 8.7. Kaplanmamış Malzemenin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



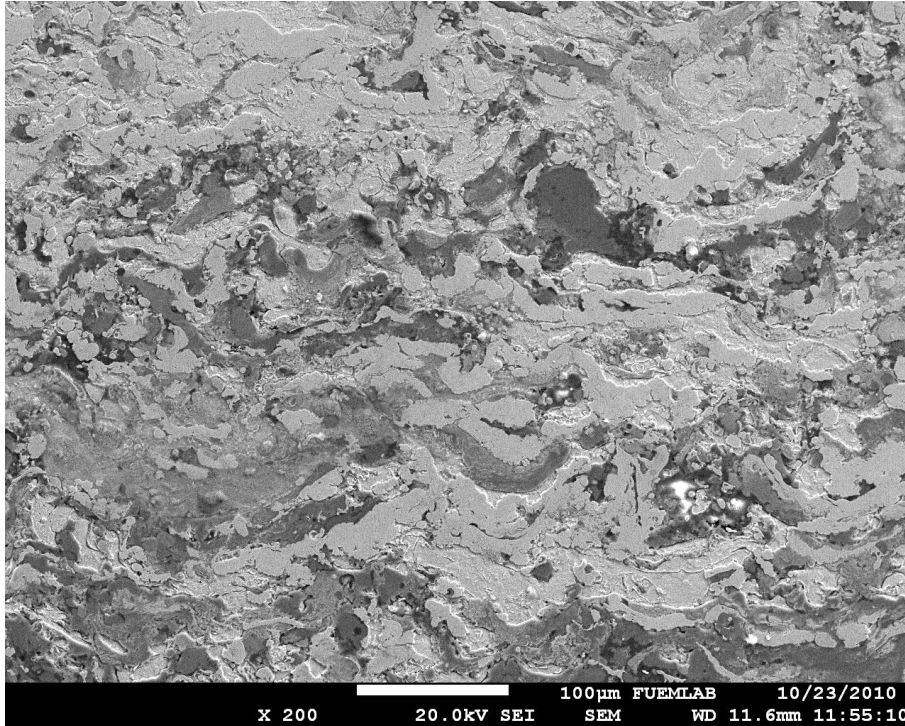
Şekil 8.8. Kaplanmamış Malzemenin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi

Kaplanmamış yatağın aşınma sonrası farklı bölgelerden 75X büyütmede alınan EDS analizleri Şekil 8.7 ve Şekil 8.8’de verilmiştir. EDS sonuçlarına göre Şekil 8.7’nin elementer içeriği %74.58 Al, %14.59 C, %5.80 Sn, %4.22 O ve %0.80 Cu olarak tespit edilmiştir. EDS için Şekil 8.8’de farklı bir bölgeden alınan spektrumda %76.82 Al, %10.45 C, %7.66 Sn, %4.08 O ve %0.99 Cu olarak bulunmuştur. Her iki analizde de ana fazın Al olduğu, Al dışında O, C, Sn ve Cu elementleri de bulunmuştur.

Şekillere bakıldığında da en yüksek piki alüminyum yapmıştır. Aşınma sonrası Şekil 8.7 ve 8.8'den alınan EDS analiz sonuçları karşılaştırıldığında elementlerin yüzdelik dilimlerinde büyük sapmalar görülmemektedir.



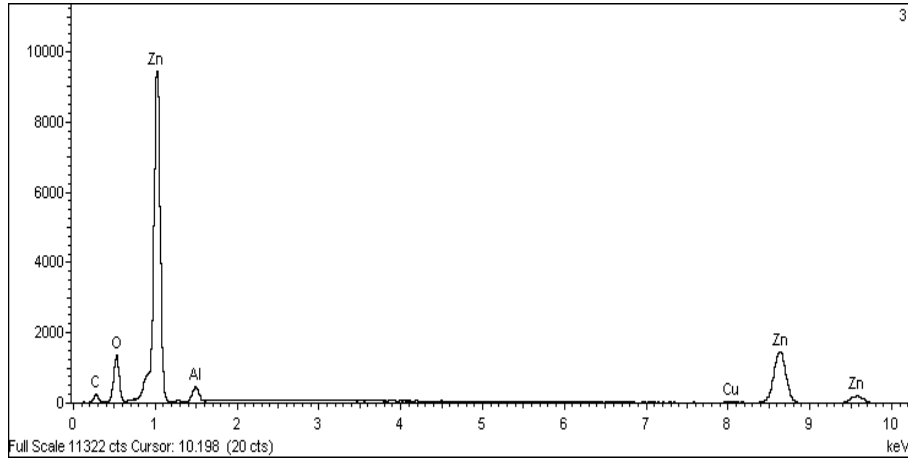
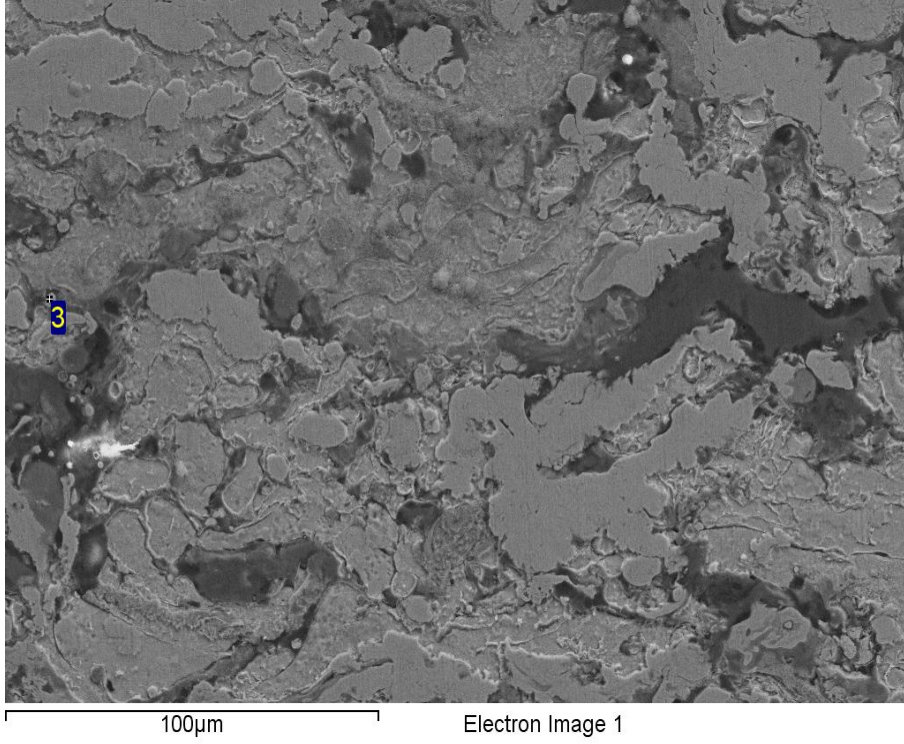
Şekil 8.9. Zn-30Cu-20Al-10C-5O, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü



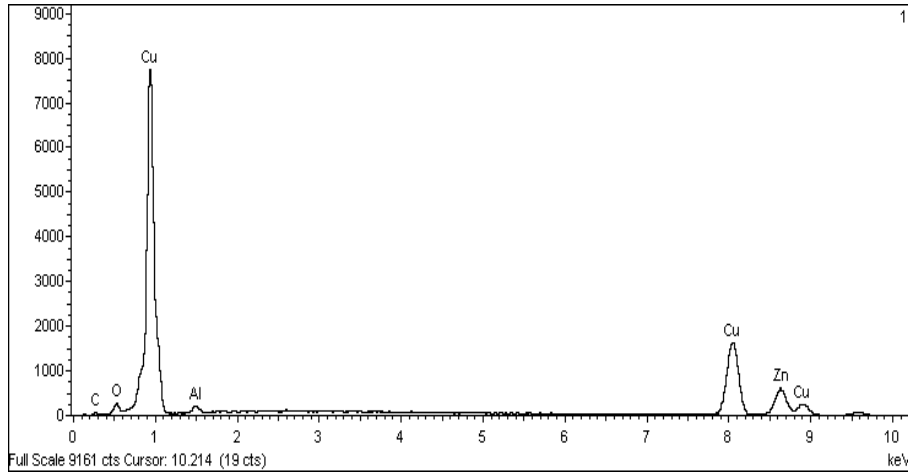
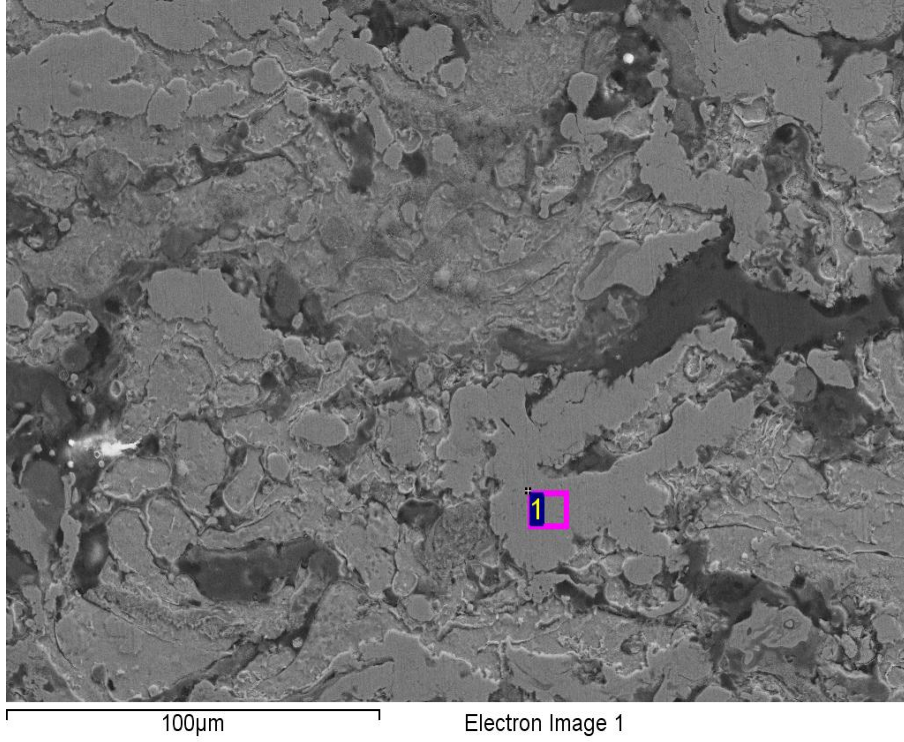
Şekil 8.10. Zn-30Cu-20Al-10C-5O SEM Görüntüsü

Zn-30Cu-20Al-10C-5O'dan oluşan alaşımın aşınma öncesi kaplama, ara yüzey ve ana malzemenin 75X büyütmedeki SEM görüntüsü Şekil 8.9'da, aşınma öncesi 200X büyütmede kaplama tabakasının mikro yapısı ise Şekil 8.10'da gösterilmiştir. Şekil 8.9'a baktığımızda kaplanmamış yatak, bond malzeme ve üzerine kaplaması yapılan takviye alaşımının iyi bir bağ kurduğu ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği düşünülebilir. Şekil 8.10'daki kaplama tabakasının mikro yapısı incelendiğinde, ısıl işlem görmüş Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımını alüminyumca zengin α dendritleri ile bunları çevreleyen çinkoca zengin ve bakırca zengin fazlardan oluşmuştur.

Çinko esaslı alaşımlar geleneksel yataklara göre fiziksel, mekanik ve tribolojik yönden üstünlük göstermektedir [72]. Bu çinko esaslı alaşımların yatağa kaplanmasıyla yatağın yüzey yapısı iyileştirilmektedir.



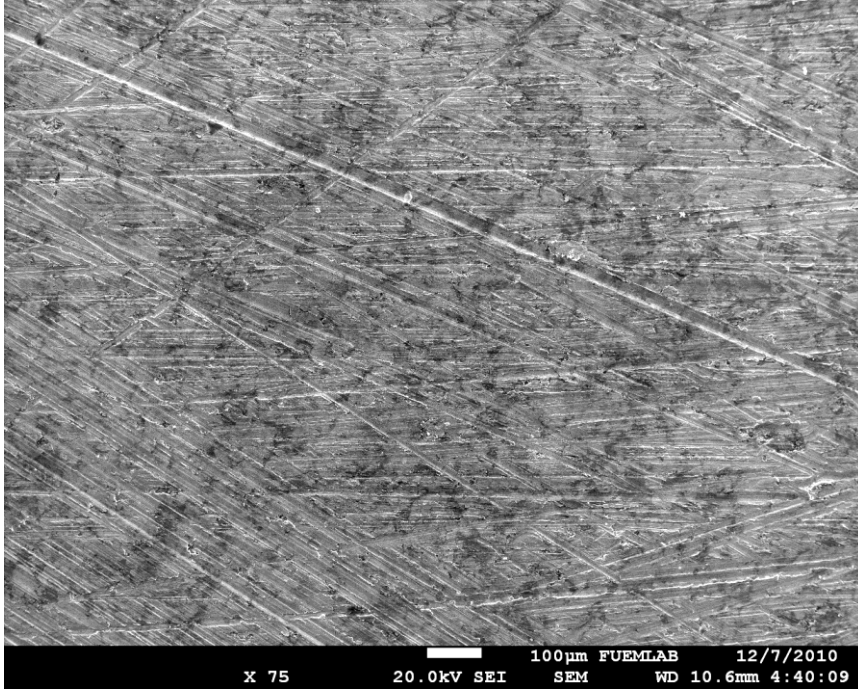
Şekil 8.11. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 3 Noktasından Alınan EDS Analizi.



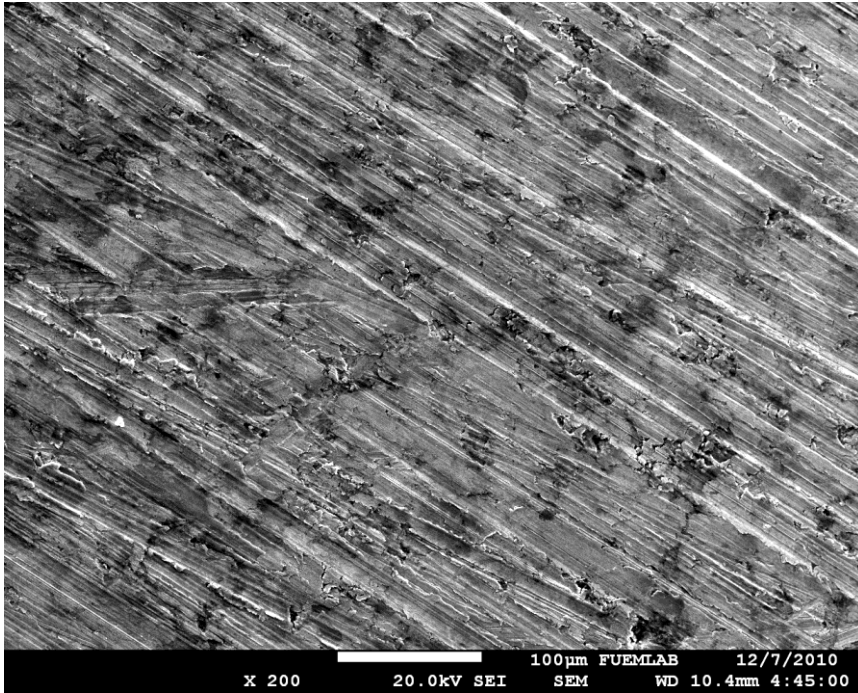
Şekil 8.12. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Aşınma öncesi Zn-30Cu-20Al-10C-5O Şekil 8.11 ve Şekil 8.12’de 500X büyütmede farklı yerlerden spektrumlar alınarak EDS analizi yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre Şekil 8.11’deki 3 nolu bölgede %61.75 Zn, %0.95 Cu, %3.08 Al, %21.56 O ve %12.67 C bulunmuştur. Bu bölgenin çinko bakımından zengin olduğu bakır ve alüminyum oranlarının düşük olduğu görülmektedir. Şekil 8.12’deki 1 nolu bölgede ise %63.23 Cu, %27.08 Zn, %1.66 Al, %3.82 O ve %4.21 C olduğu tespit edilmiştir.

1. Bölge 3. Bölgeye göre bakır oranı yükselmiş çinko alüminyum oksijen ve karbon'un yüzdelik dilimleri düşmüştür. Şekil 8.11 ve Şekil 8.12'deki SEM görüntülerine bakıldığında çinkonun bakıra göre daha koyu renkte olduğu görülmektedir.



(a)

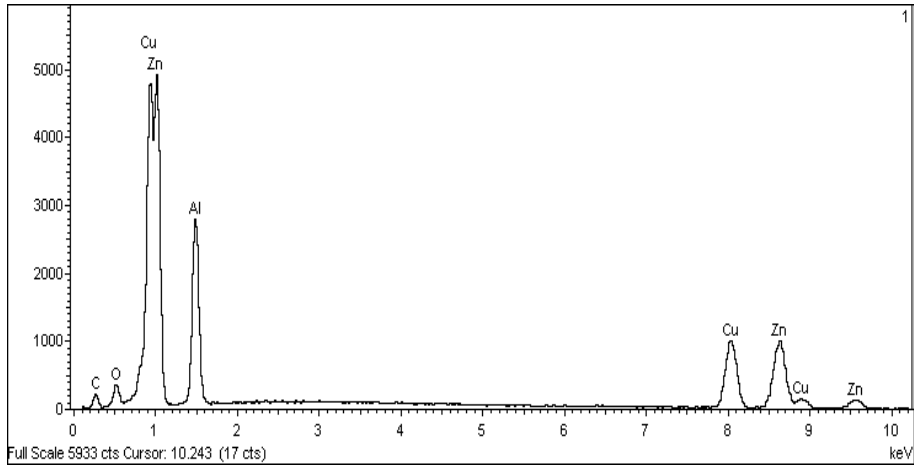
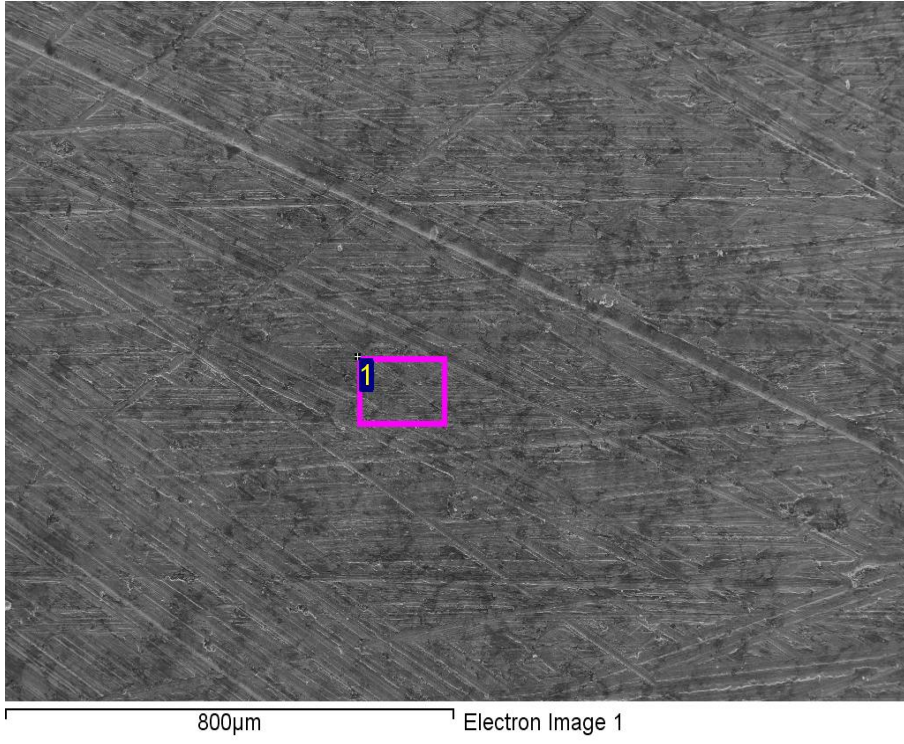


(b)

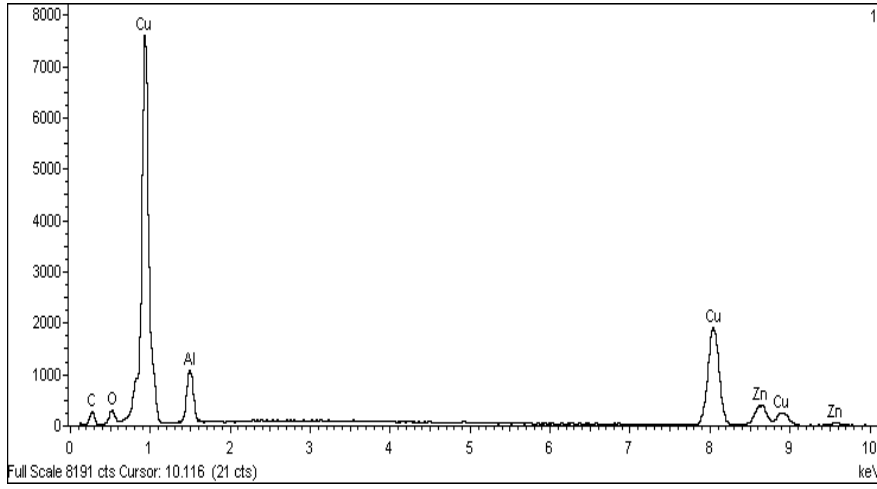
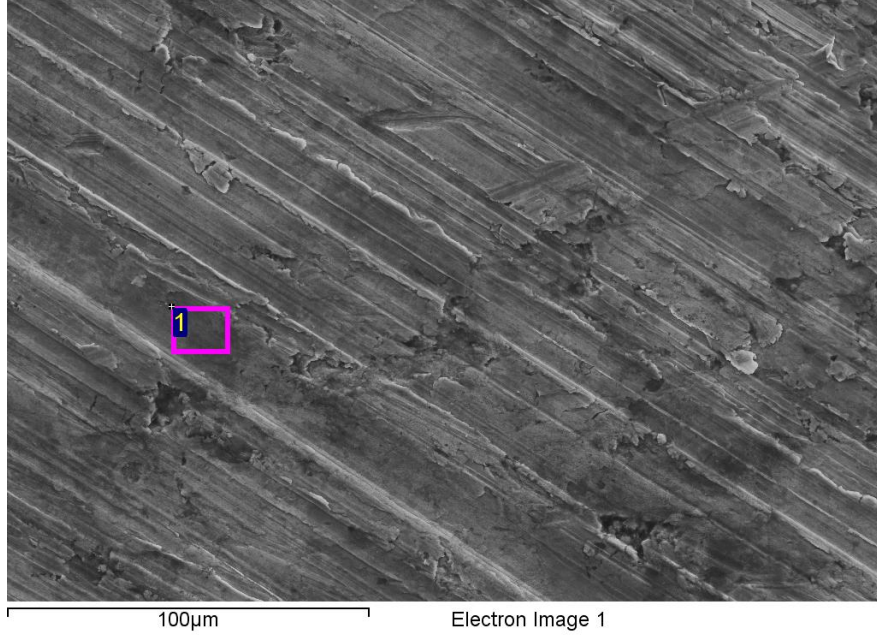
Şekil 8. 13. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Zn-30Cu-20Al-10C-5O numunesine aşınma deneyinde 42N, 67N ve 92N'da tatbik edilen yüklerde alınan SEM görüntüleri birbirine benzediğinden dolayı sadece 75X ve 200X büyütmede SEM görüntüleri Şekil 8.13'de verilmiştir. Şekil 8.13'e bakıldığında Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımının aşınma yüzeylerinde çizikler meydana geldiği bu çiziklerin yüzey boyunca devam ettiği görülmektedir. Bu da adhesiv aşınma tipini göstermektedir. Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımı SEM görüntüsünde gözenekler görülmektedir. Şekil 8.13'e bakıldığında gözeneklerin küçük ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum yağ emmede ve çalışma sırasında krank ile yatak arasında yağ filminin oluşmasında önemli katkı sağlamaktadır.

Yatağın mikro yapısında ise gözenek boyutunun büyük olması istenilmez [66]. Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımı kaplanmamış yatağa göre gözenek sayısının fazla olmasının ve dağılımının yapıda homojen olması yatağı yağlanmasını iyileştirdiği söylenebilir.

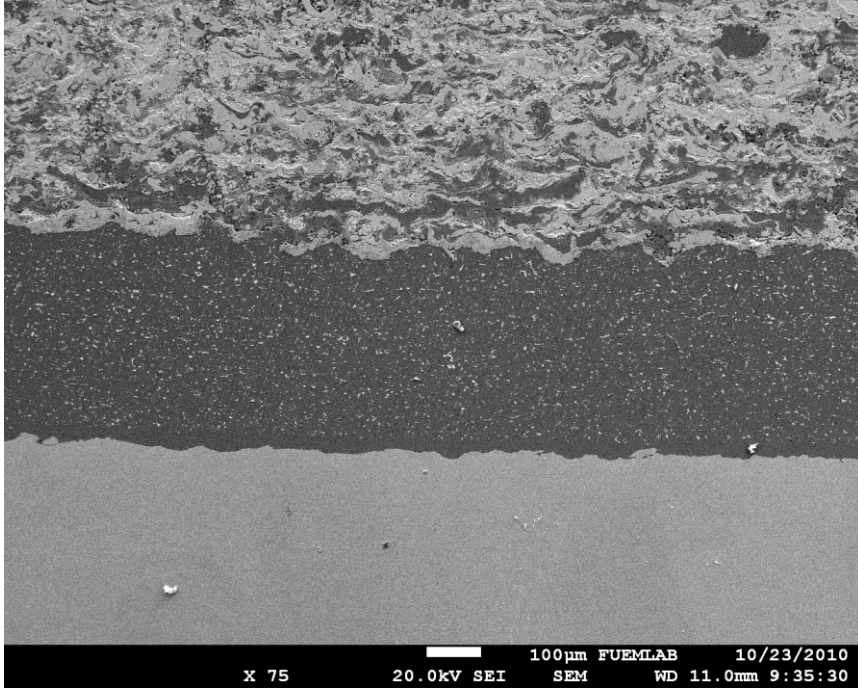


Şekil 8.14. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

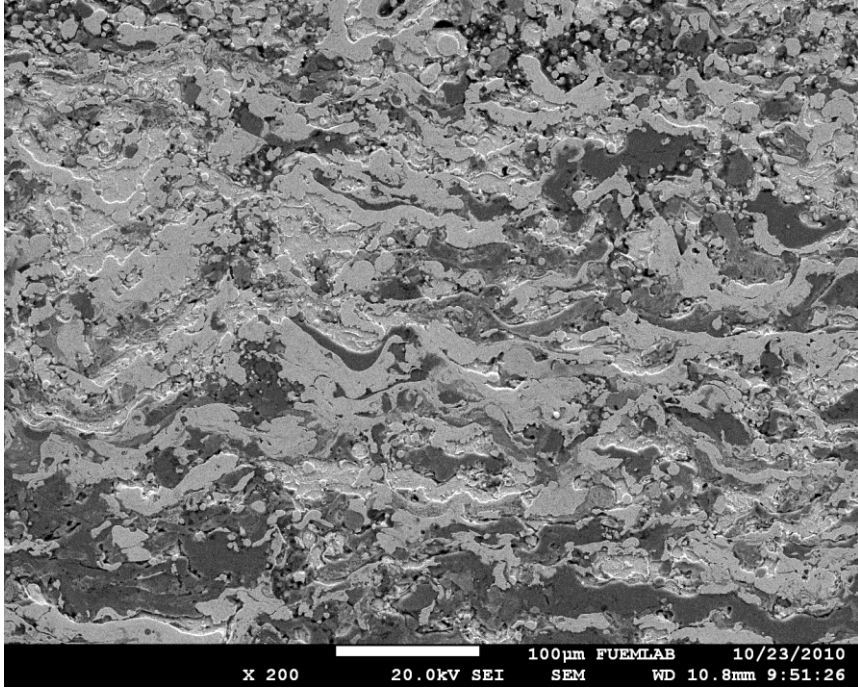


Şekil 8.15. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Aşınma testi sonrası Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımının 75X büyütmede Şekil 8.14 ve 500X büyütme olarak Şekil 8.15’de farklı noktalarından spektrumlar alınmıştır. Şekil 8.14’deki EDS analiz sonucuna göre %35.79 Zn, %28.48 Cu, %17.72 Al, %5.24 O ve %12.77 C tespit edilmiştir. Şekil 8.15’den alınan noktasal analize göre %15.10 Zn, %57.72 Cu, %7.41 Al, %4.31 O ve %15.46 C saptanmıştır. Şekil 14’ de bulunan oranlar alaşım oranları ile yaklaşık olarak aynı değeri göstermektedir. Şekil 8.15’deki 1 nolu bölgede yoğun olarak bakır elementi görülmektedir. Şekil 8.14’de alınan spektrumda bölgenin çinko ağırlıklı olduğu görülmüştür.



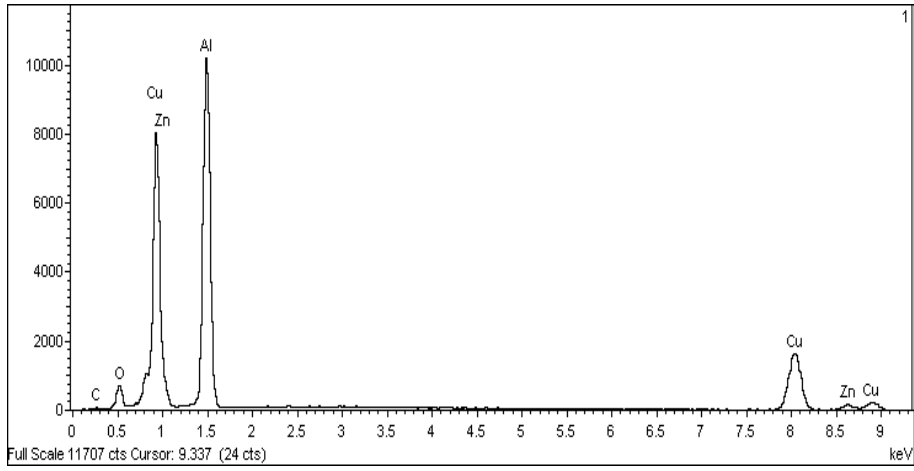
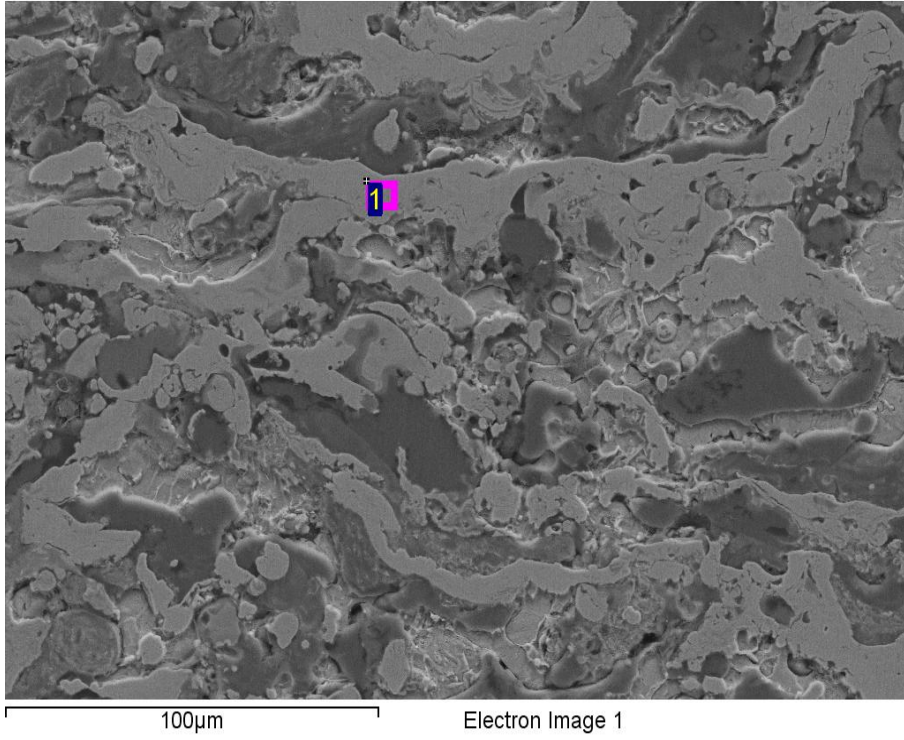
Şekil 8.16. Zn-30Cu-10Al-5O-15C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.



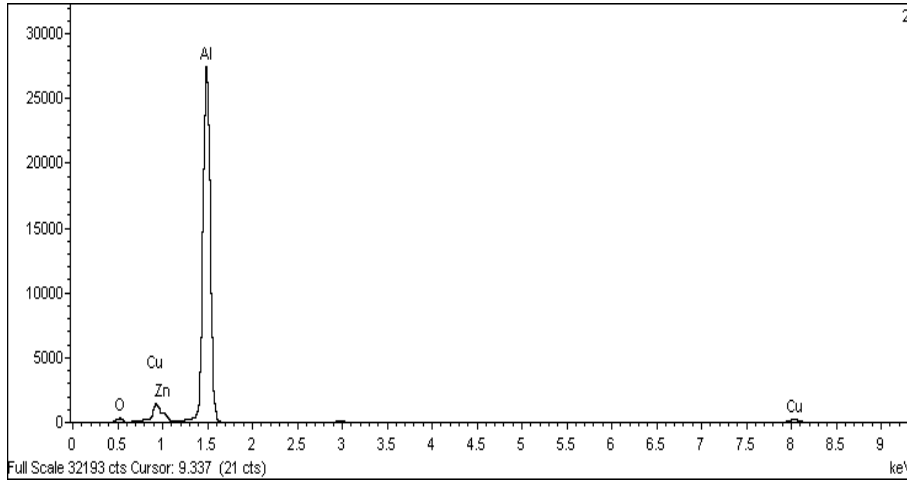
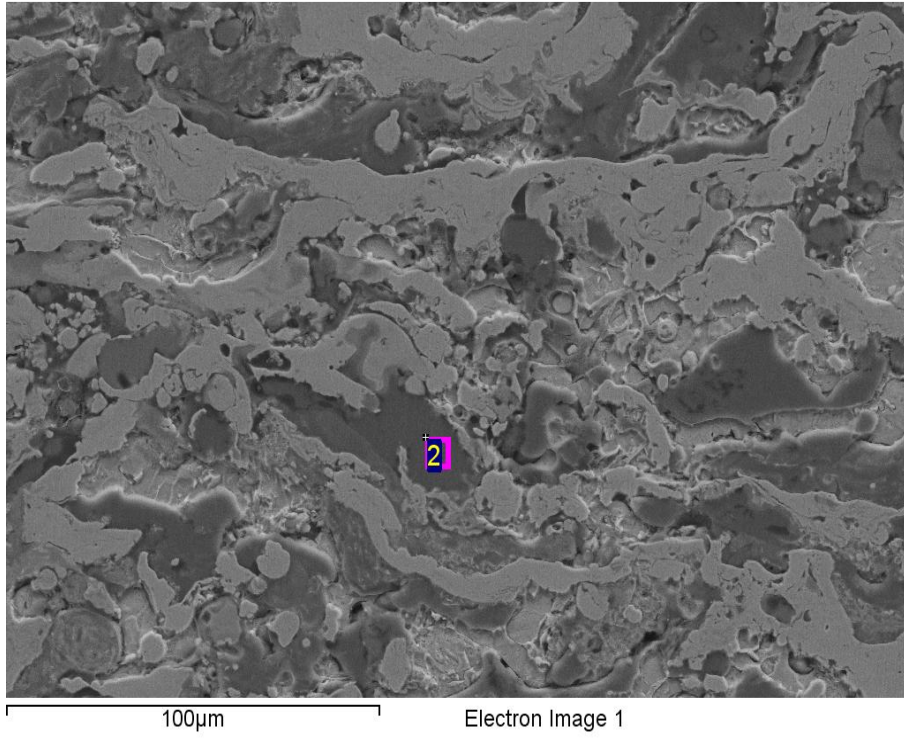
Şekil 8.17. Zn-30Cu-10Al-5O-15C SEM Görüntüsü.

Aşınma öncesinde çinko esaslı Zn-30Cu-10Al-5O-15C kaplama, ara tabaka ve kaplanmamış yatağı gösteren 75X büyütmede SEM görüntüsü Şekil 8.16'da, Zn-30Cu-10Al-5O-15C alaşımını gösteren 200X büyütmede SEM fotoğrafı ise Şekil 8.17'de verilmiştir. Astar tozu olarak nikel kromun çinko-alüminyum alaşımları ile birbirine tutunması oldukça iyidir. Bu bağlamda Şekil 8.16'ya bakıldığında çinko esaslı alaşım ile astar malzeme arasında iyi bir yapışmanın olduğunu söyleyebiliriz.

Çinko esaslı alaşımlar fiziksel, mekanik ve triboloji yönünden iyi bir performans, düşük maliyette ve aşınma karşı dayanımın yüksek olması nedeniyle yataklarda kullanılır [30]. Şekil 8.17'ye bakıldığında Zn-30Cu-10Al-5O-15C alaşımının kaplanmamış yatağa oranla çinkoca zengin olması ve bunun yanında bakır ve alüminyum taneciklerinin yatak yüzeyinde iyi bir tabaka oluşturması yatak yüzey yapısını geliştirmiştir.



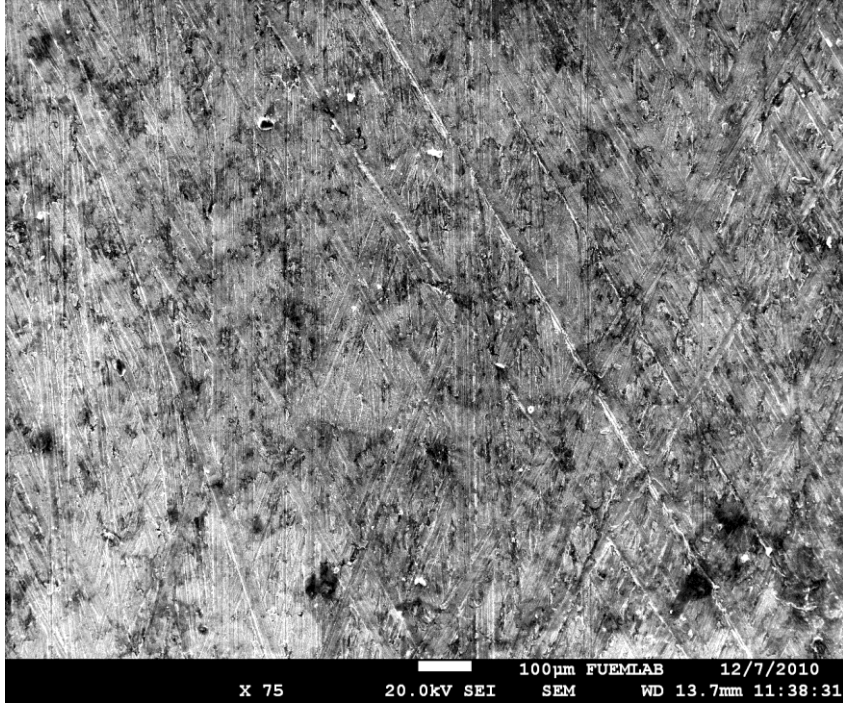
Şekil 8.18. Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



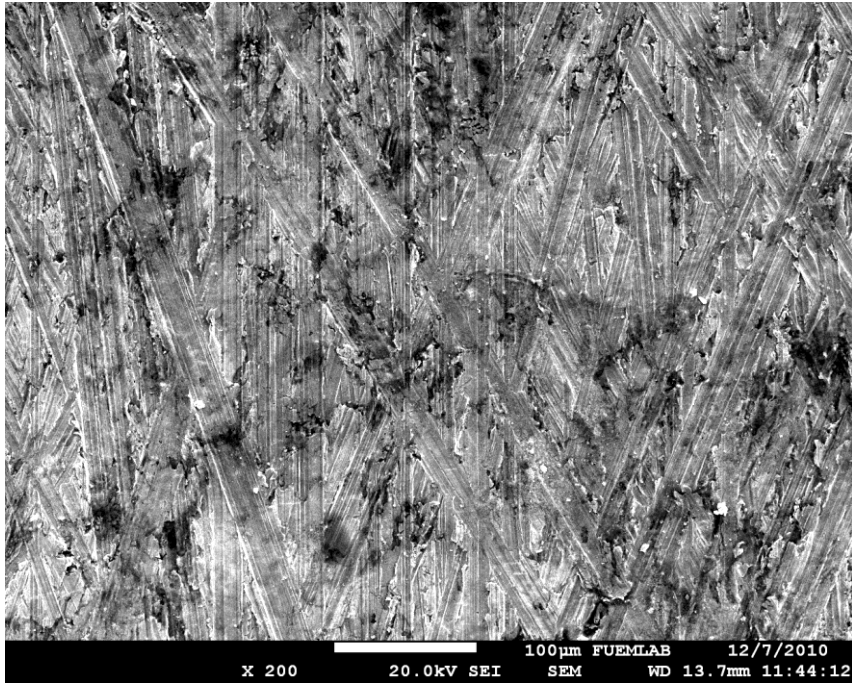
Şekil 8.19. Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Aşınma öncesi Zn-30Cu-10Al-5O-15C numunesi için yapılan EDS analizleri 500X büyütmede Şekil 8.18 ve Şekil 8.19’da gösterilmiştir. Şekil 8.18’de 1 nolu noktada %41.33Cu, %42.85Al, %4.21 Zn, %8.51 O ve %3.10 C oranları analizde görülmüştür. Alınan spektrum bakır ve alüminyumca zengin bir yapıya sahiptir. Şekil 8.19’da 2 nolu bölgenin elementer yapısı %79.72Al, %7.67 Cu, %3.60 Zn, %5.78 O, %3.23 C’den meydana gelmiştir.

EDS analiz sonuçlarına göre Şekil 8.18'deki bölgede alüminyum ve karbon oranında artış, diğer elementlerin yüzdelik oranında düşüş görülmüştür. Şekil 18 ve Şekil 19 karşılaştırıldığında alüminyumun bakıra kıyasla daha koyu renkte olduğu gözlenmiştir.



(a)

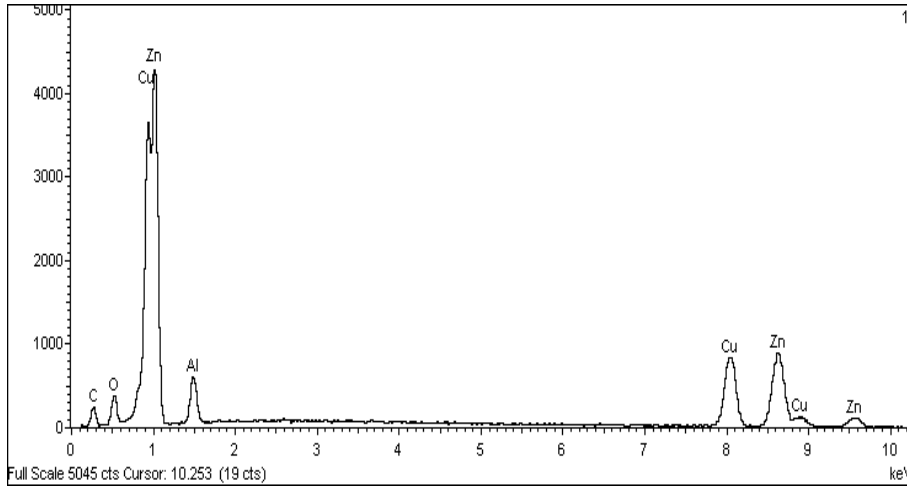
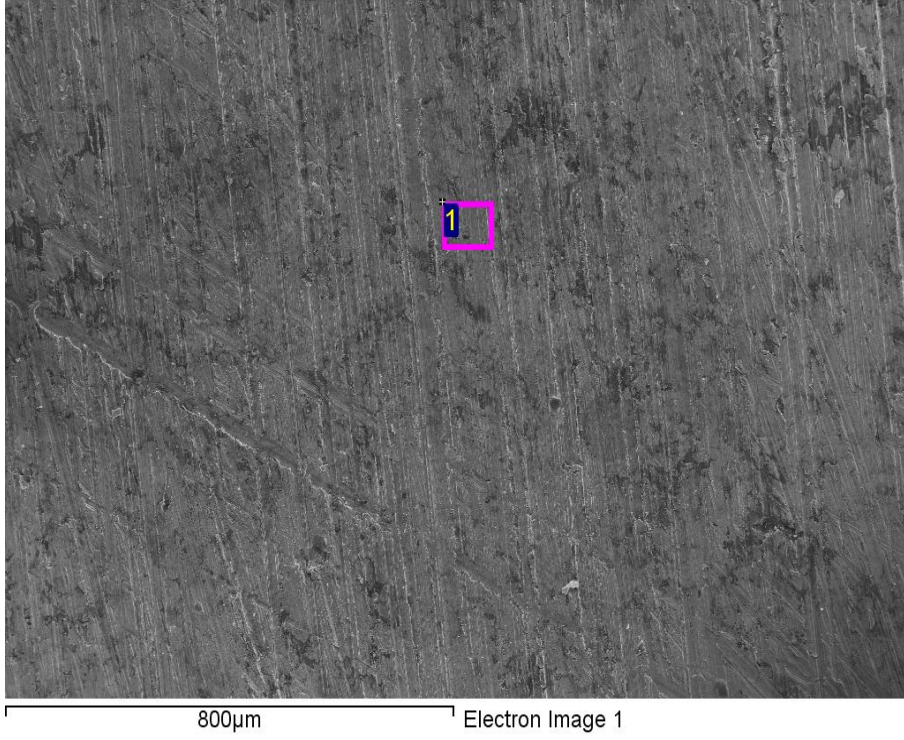


(b)

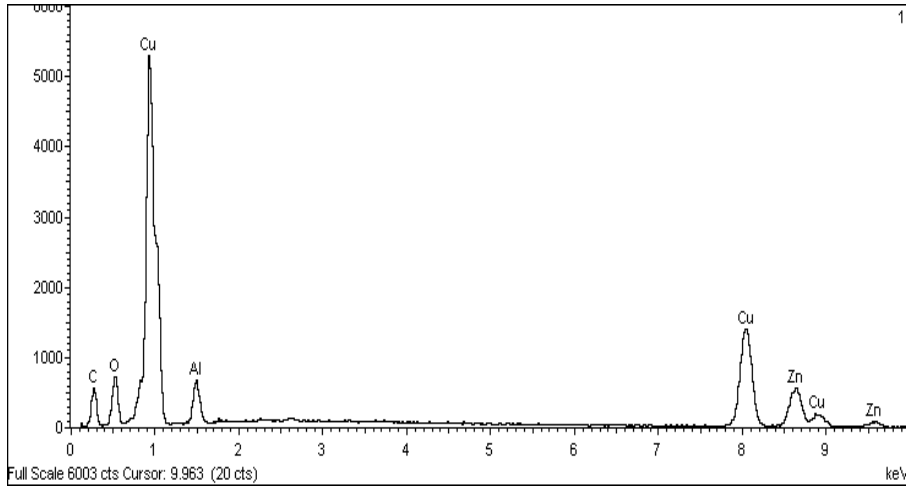
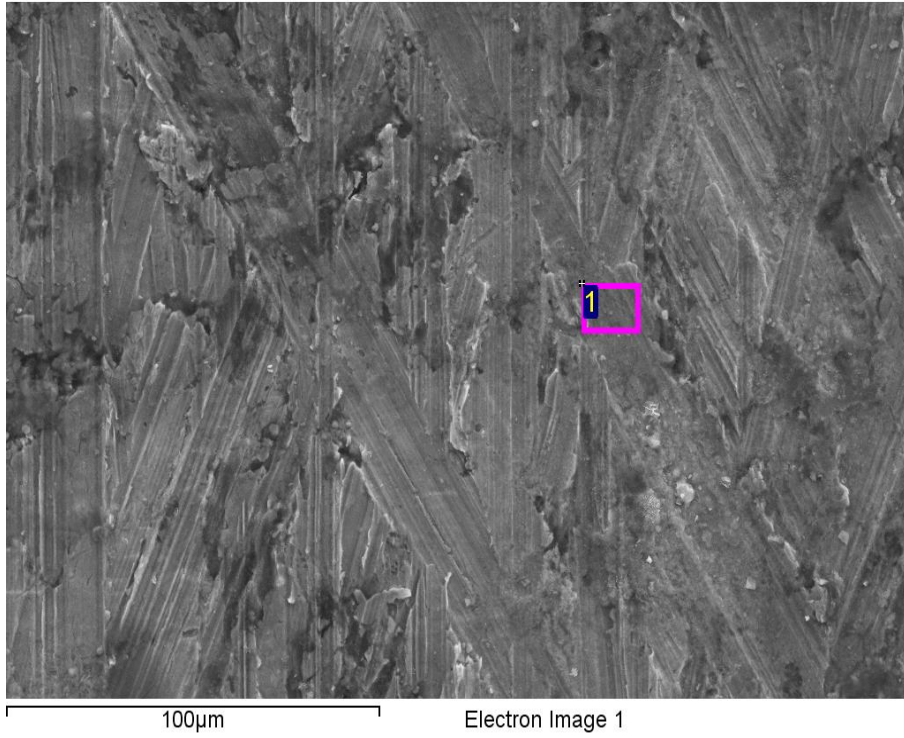
Şekil 8. 20. Zn-30Cu-10Al-5O-15C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Aşınma testinde yatak üzerine binen 42N, 67N ve 92N'luk yükler sonrasında elde edilen SEM görüntüleri arasında bir farklılık olmadığı için Zn-30Cu-10Al-5O-15C alaşım ile kaplı numuneden 75X ve 200X büyütmede iki görüntü Şekil 8.20'de verilmiştir. Şekil 8.20'de aşınma yüzeylerinde çizikler görülmektedir. Aşınma sonrası SEM görüntülerine bakarak Zn-30Cu-10Al-5O-15C numunesinin Zn-30Cu-20Al-10C-5O numunesine oranla daha az aşınma izlerine rastlanıldığı ve bunun da yapıdaki alaşım türünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 8.20'de aşınma yüzeyinde gözenekler görülmektedir. Söz konusu yatak yüzeyinin yağlanması ise yağın yapıdaki gözeneklerin içerisine nüfuz ederek yatağın yağlanmasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Motor birkaç gün çalışmadığında yatak yüzeyi yağsız kalır ve kurur. Motor çalıştırıldığı anda yağsız kalan yatak yüzeyi büyük bir aşınmaya maruz kalır. Zn-30Cu-10Al-5O-15C alaşımıyla modifiye edilmiş yatak yüzeyindeki yağ çukurcuklarının yani gözeneklerin ilk çalışma esnasında yağlamaya ve hidrodinamik yağlama rejimine katkıda bulunduğu tahmin edilmektedir.



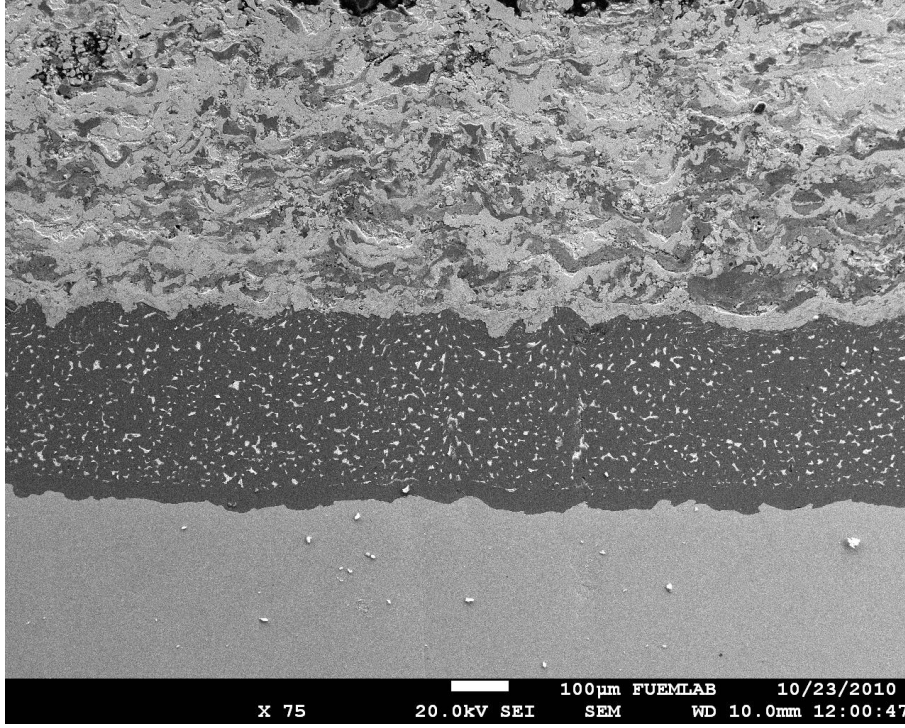
Şekil 8.21. Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



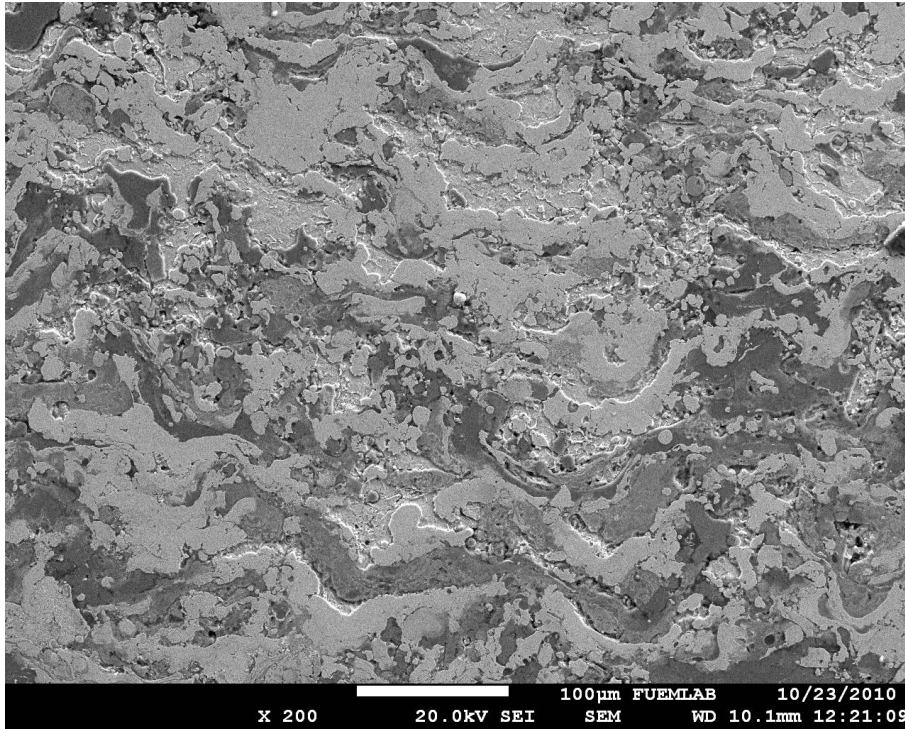
Şekil 8.22. Zn-30Cu-10Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Zn-30Cu-10Al-5O-15C Alaşımıyla kaplanmış yatak yüzeyini aşınma sonrası farklı noktalardan alınan EDS analizleri 75X büyütmeli Şekil 8.21 ve 500X büyütmeli olarak Şekil 8.22’de verilmiştir. Şekil 8.21’deki EDS analizine göre %40.27 Zn, %30.74 Cu, %4.86 Al, %7.50 O, %16.62 C’den oluşmuştur. Bu noktasal analizde çinko ve bakır konsantrasyon düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 8.22’deki sonuca göre %19.91 Zn, %39.73 Cu, %3.62 Al, %12.35 O, %24.40 C tespit edilmiştir.

Bu sonuç Şekil 8.21'e göre, bölgede çinko ve alüminyum konsantrasyon miktarında düşme yaşanırken bakır, oksijen ve karbon konsantrasyonları ise artmıştır.

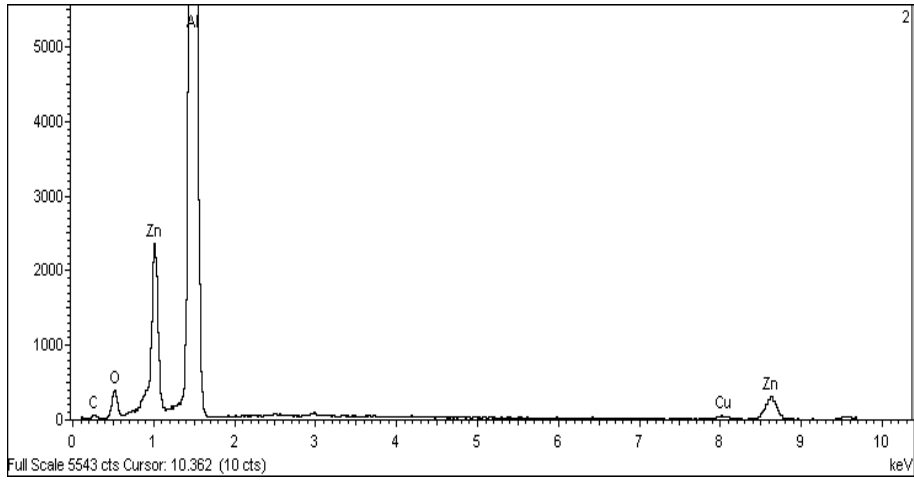
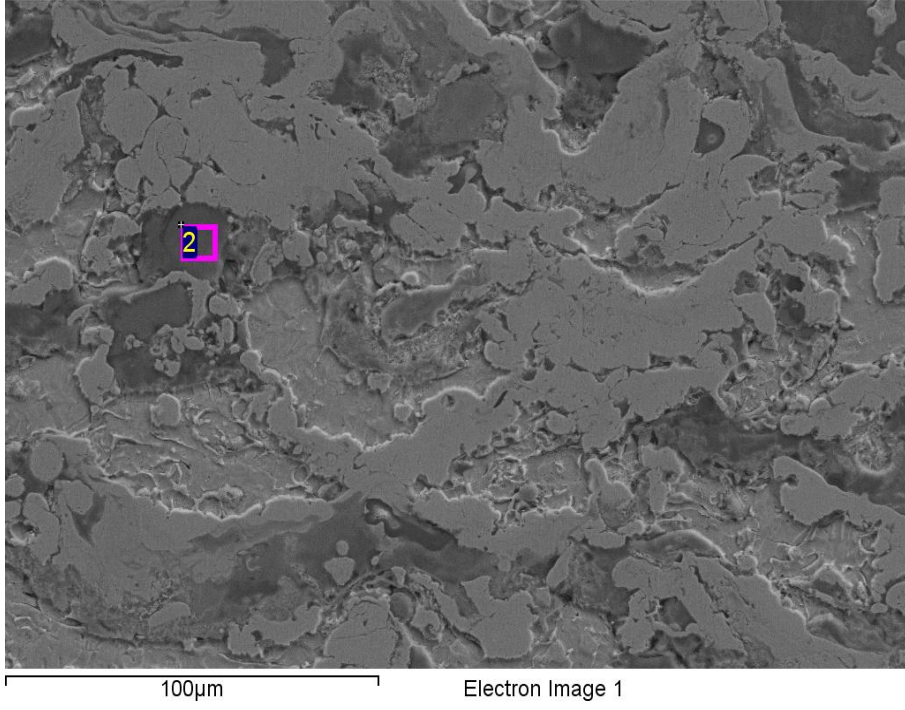


Şekil 8.23. Zn-20Al-5O-15C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.

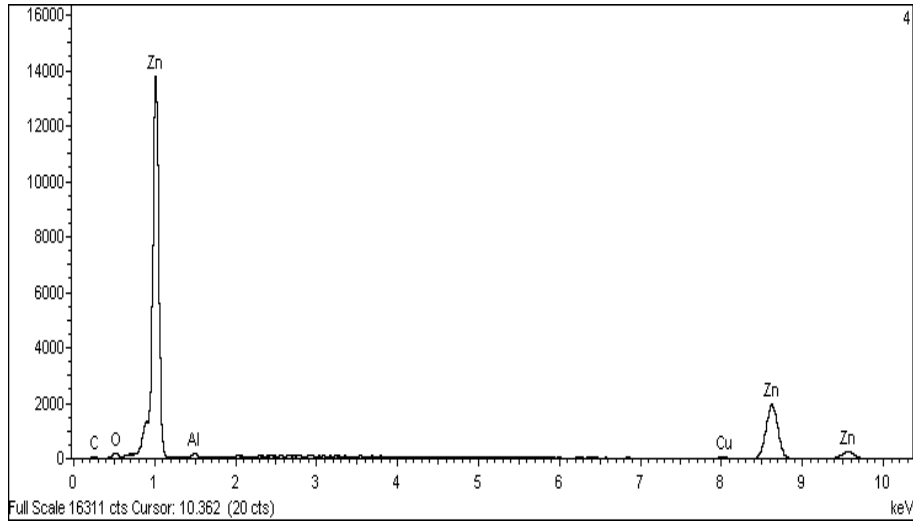
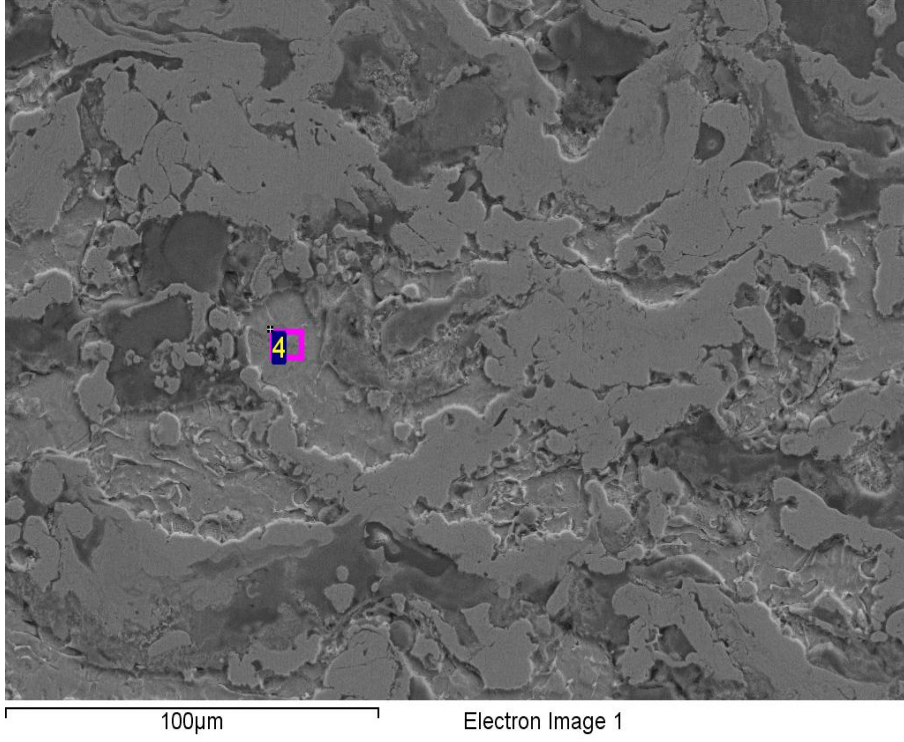


Şekil 8.24. Zn-20Al-5O-15C SEM Görüntüsü.

Aşınma testi öncesinde ana malzeme, ara bağlayıcı ve kaplama tabakalarını gösteren SEM görüntüsü Şekil 8.23’de 75X büyütmede, Şekil 8.24’de ise Zn-20Al-5O-15C alaşımıyla kaplı yatağın yüzey görünümü 200X büyütmede verilmiştir. Daha öncede bahsedildiği gibi bond malzeme, çinko esaslı malzeme ve ana malzeme arasında iyi bir bağlayıcı görevi görmektedir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi poroziteler kaplama yüzey yapısında yer yer bulunmaktadır. Bununla birlikte Şekil 8.24’de kaplama mikro yapısındaki çinko ve alüminyumun bazı bölgelerde yığılma şeklinde olduğu fakat genel itibariyle homojen bir görünüme sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca alaşımın yatak yüzeyinde homojen olmasının ve kaplanmamış yatak alanlarının azalması ile yüzey mukavemetini artırdığı düşünülmektedir.



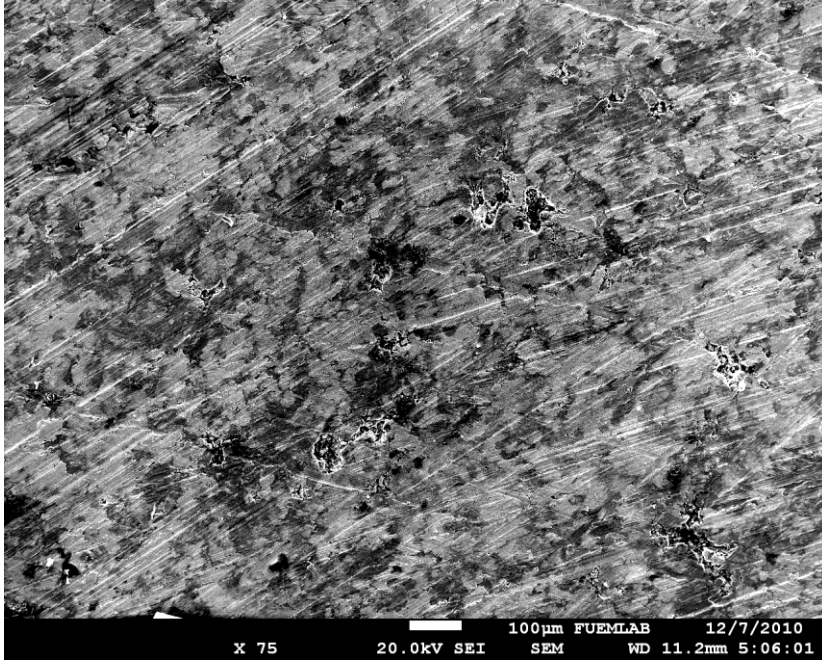
Şekil 8.25. Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.



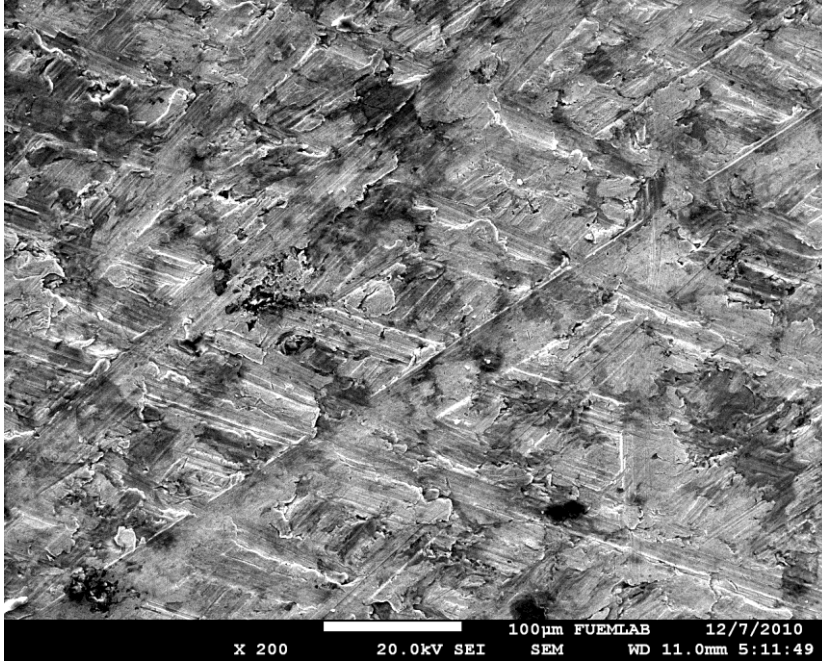
Şekil 8.26. Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 4 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Zn-20Al-5O-15C alaşımının aşınma öncesinde 500X büyütmede iki noktadan alınan EDS analizleri Şekil 8.25 ve Şekil 8.26'da görülmektedir. Şekil 8.25'de 2 nolu yerden alınan spektrumda %13.49 Zn, %71.25 Al, %1.49 Cu, %7.76 O ve %6.01 C olarak bulunmuştur. Şekil 8.26'da 4 nolu yerde yapılan analiz %89.57 Zn, %1.25 Al, %0.97 Cu, %2.41 O ve %5.79 C oranlarıyla sonuçlanmıştır. Her iki Őekilden de alınan spektrumlardan yola çıkararak çinkonun kaplamadaki alüminyuma göre açık renkte olduğu tespit edilmiştir. Şekil 8.25 ve Şekil 8.26'daki görüntülere göre yatak yüzeyinin mikro yapısında çinko yığılmalarının daha fazla olduğu görülmüştür. Analizde bakıra rastlanılmıştır. Yatağın Zn-20Al-5O-15C alaşımıyla kaplanması sırasında önceki kaplamalardan kalan bakır partiküllerinin yüzeye pskrtldğu tahmin edilmektedir.

Çinko-Alüminyum içerisine %2 oranına kadar yapıya bakır eklenmesi, çinko-alüminyum alaşımlarına sertlik, mukavemet, korozyon ve aşınma direncini önemli ölçüde artırmıştır [73,74].



(a)



(b)

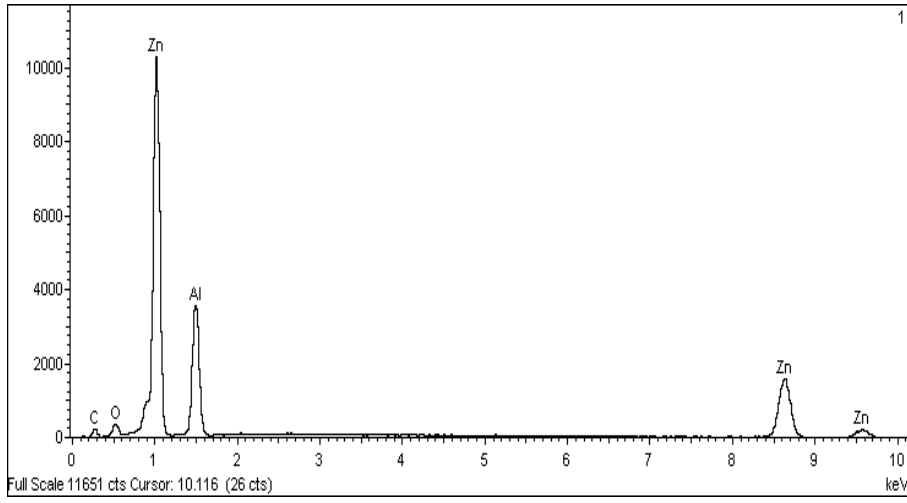
Şekil 8.27. Zn-20Al-5O-15C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Krank yatağının Zn-20Al-5O-15C alaşımıyla kaplanması sonucu aşınma sonrası elde edilen yüzey mikro yapı SEM görüntüleri 75X ve 200X büyütmelerde Şekil 8.27'de verilmiştir.

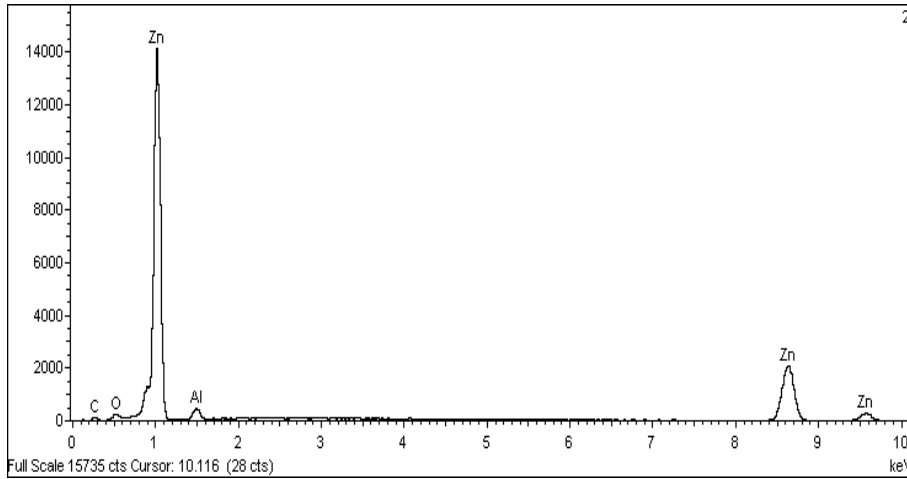
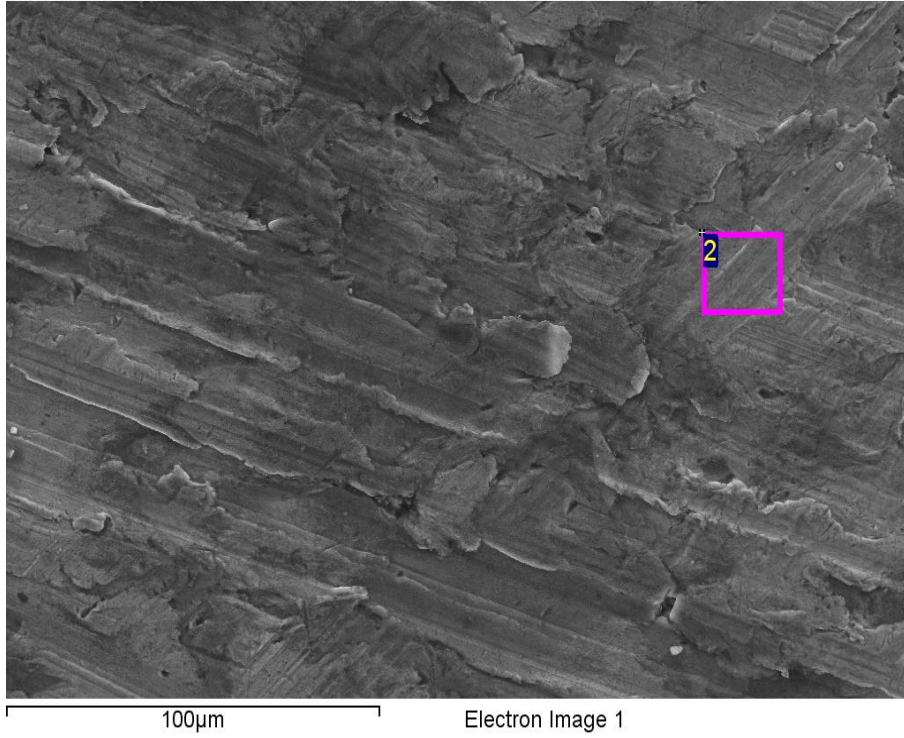
Aşınma testinde Zn-20Al-5O-15C alaşımına 42N, 67N, ve 92N yük uygulanmasının ardından elde edilen SEM görüntüleri hemen hemen aynı olduğundan iki SEM fotoğrafı Şekil 8.27’de verilmiştir.

Kaplama tabakasında yüzeylerde aşınma çizgileri görülmektedir. Yüzey boyunca görülen aşınma çizgileri metal-metal aşınma tipinin etkin olduğunun göstergesidir. Şekle baktığımızda yüzey yapısında herhangi bir sıvanma çökme veya yırtılma halleri görülmemektedir.

Şekil 8.27’de yüzeyi Zn-20Al-5O-15C alaşımıyla kaplı yatağın yapısında porozitelerin var olduğu ve bu poroziteler önceden de bahsedildiği gibi yağlama ve hidrodinamik yağlamaya yardımcı olmaktadır. Fakat yapıdaki bazı poroziteler iri boyuttadır. Bu da bir mikro yapıda arzu edilmeyen bir durumdur [66].

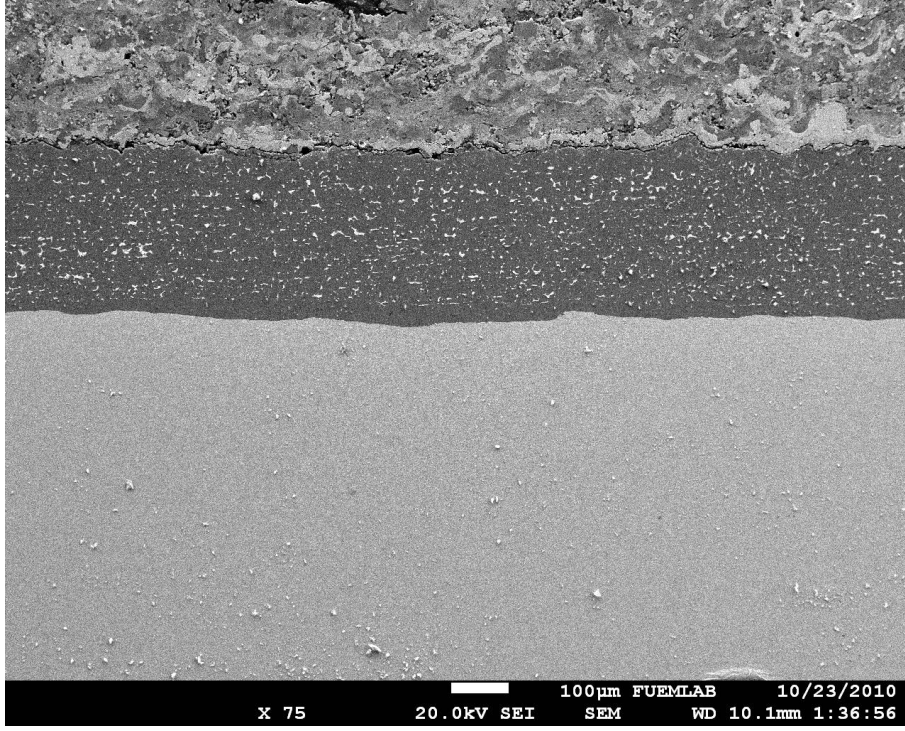


Şekil 8.28. Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

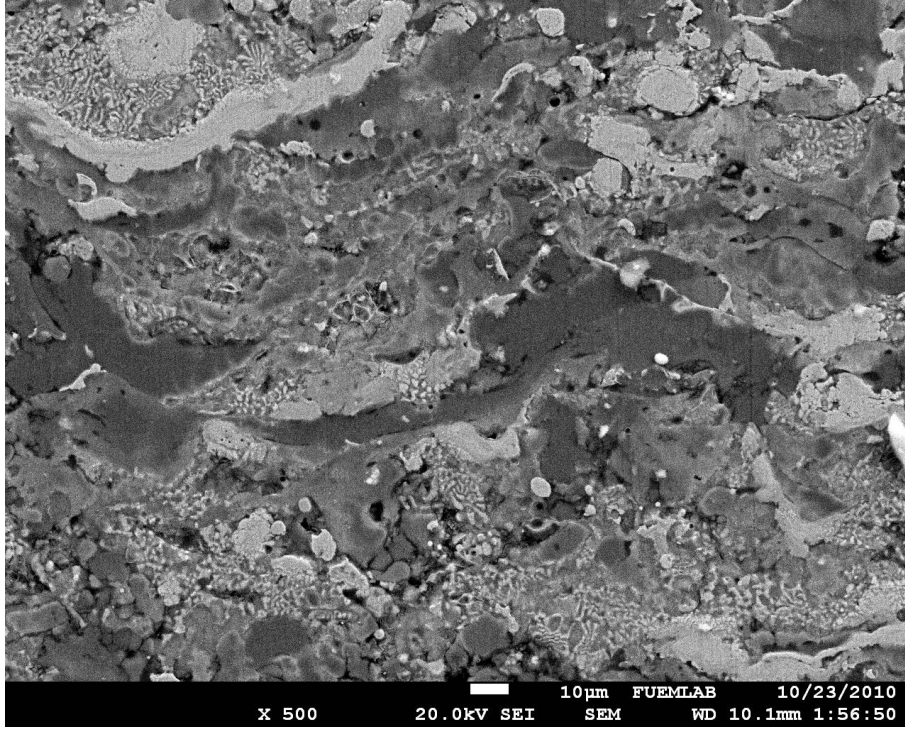


Şekil 8.29. Zn-20Al-5O-15C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Zn-20Al-5O-15C Alaşımının aşınma sonrası 75X büyütmede Şekil 8.28'de ve 500X büyütmede Şekil 8.29'da 1 ve 2 nolu bölgelerden alınan EDS analiz görüntü ve grafiği gösterilmiştir. 1 nolu bölgedeki EDS analizine göre %57.71 Zn, %21.57 Al, %5.77 O ve %14.95 C elde edilmiştir. 2 nolu bölgedeki analizde ise %82.61 Zn, %3.60 Al, %3.75 O ve %10.05 C çıkmıştır. 1 nolu noktasal analizdeki elementer yapı yatak alaşım oranına benzerlik gösterir. Fakat 2 nolu bölgeye baktığımızda çinko taneciklerinin yoğun olduğu bir alandan oluştuğu görülmektedir.



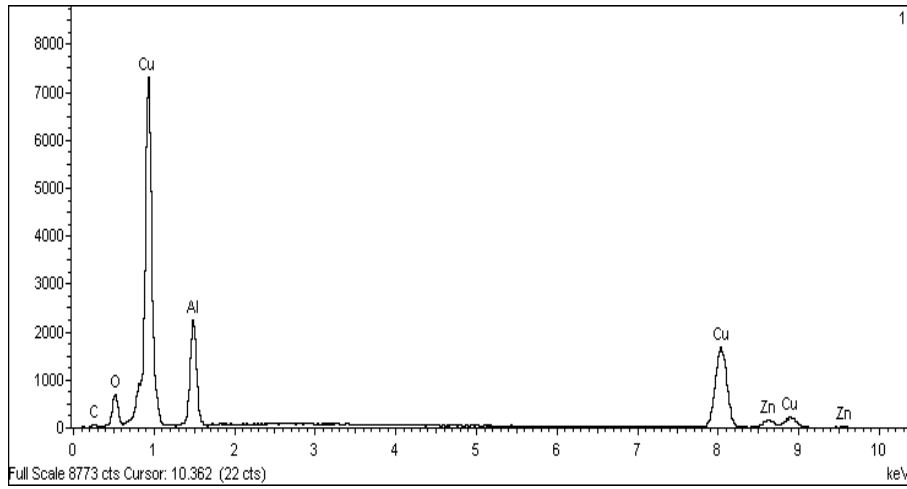
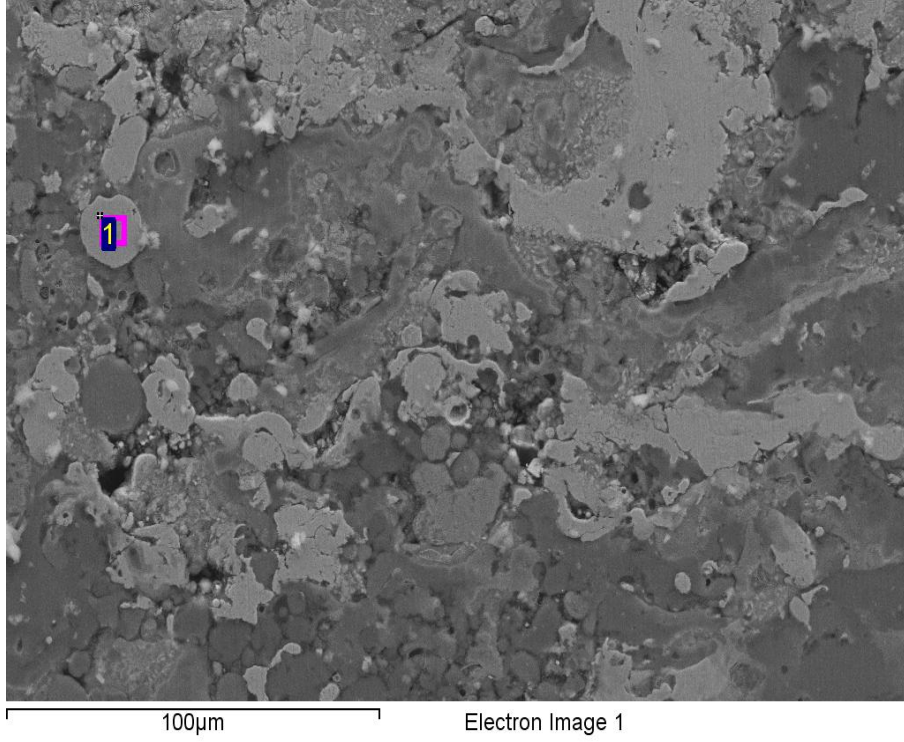
Şekil 8.30. Zn-25Cu-10Al-15C-5O, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.



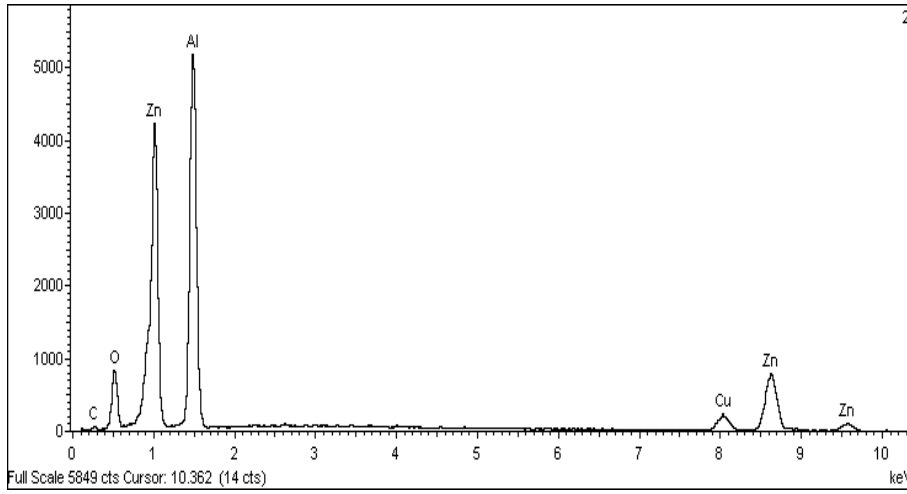
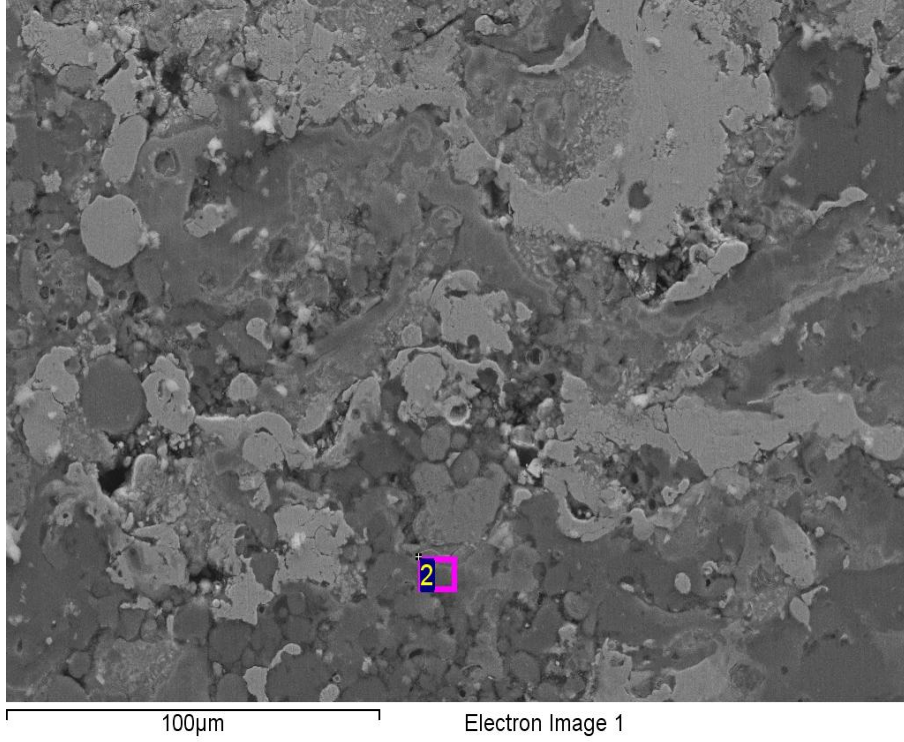
Şekil 8.31. Zn-25Cu-10Al-15C-5O SEM Görüntüsü.

Numunenin aşınma testi öncesinde Zn-25Cu-10Al-15C-5O kaplı tabaka, ara yüzey ve ana malzemenin mikro yapısı 75X büyütmede Şekil 8.30'da, kaplı tabakanın 500X büyütmedeki SEM görüntüsü ise Şekil 8.31'de verilmiştir.

Şekil 8.30 ve 8.31’de kaplama tabakası görülmektedir. Burada çinko, alüminyum bakır ve yer yer oksijen ve karbon konsantrasyonları görülmektedir. Yapıda oluşan çinko, alüminyum ve bakır fazlarının düzenli morfolojileri ve yüzey boyunca dağılımları bir yerde birikmemeleri kompozit yapıda mekanik özellikleri iyileştirdiği tahmin edilmektedir. Ayrıca mikro yapıda oldukça fazla tane içi poroziteye rastlanılmaktadır.



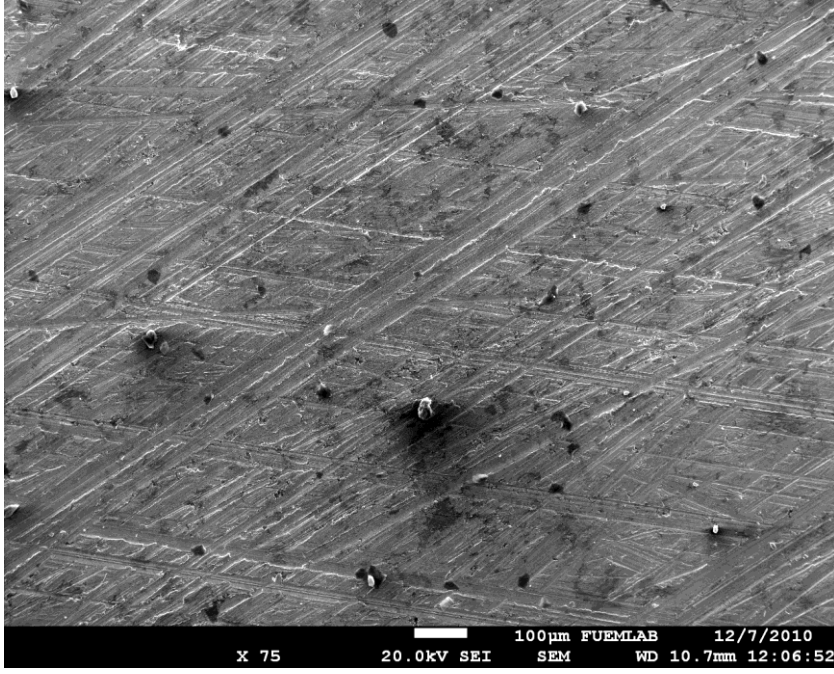
Şekil 8.32. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



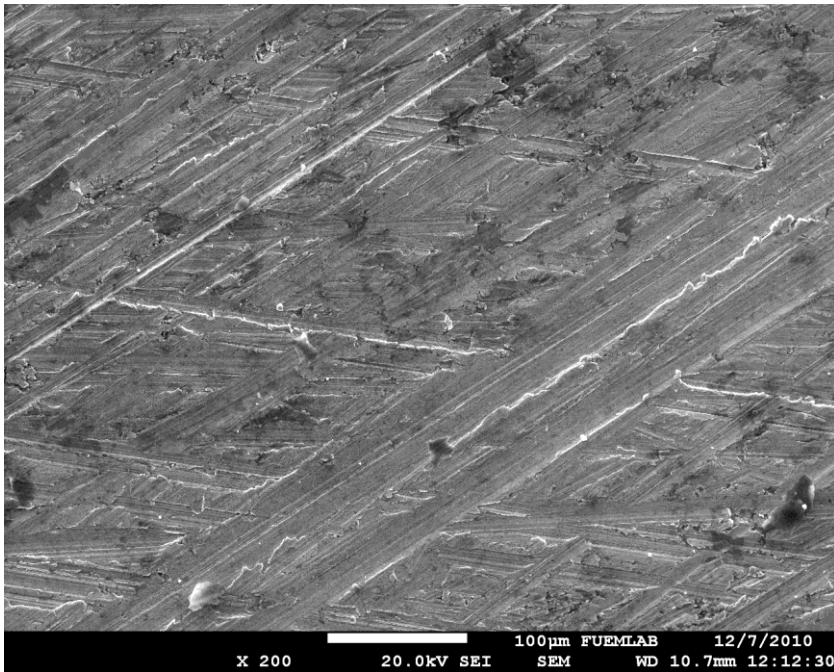
Şekil 8.33. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Şekil 8.32’de aşınma öncesi Zn-25Cu-10Al-15C-5O alaşım kaplı yatak numunesinin 500X büyütmede SEM mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarına göre 1. bölge ağırlık yüzdesine göre %6.74 Zn, %59.64Cu, %16.90 Al, %11.60 O ve %5.13 C içermektedir. Şekil 8.33’de aşınma öncesi 2. bölge ağırlık yüzdesine göre %37.37 Zn, %7.45 Cu, %34.64 Al, %15.45 O ve %5.08 C olarak saptanmıştır. Şekil 8.32’de 1. bölgeden alınan EDS analizinden; bu noktanın esas itibariyle bakırdan oluştuğu, yapı içerisinde çinko ve alüminyumun ayrıştığı ve ayrıca oksijen ve karbonun da bulunduğu belirlenmiştir. Şekil 8.33’de 2. bölgede yine aynı elementlere rastlanılmıştır.

Bu noktada 1. bölgeye göre çinko alüminyum ve oksijenin arttığı bakır ve karbon oranının düştüğü görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.32 ve Şekil 8.33'deki SEM görüntülerine baktığımızda bakırın, çinko ve alüminyuma kıyasla daha açık renkte olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

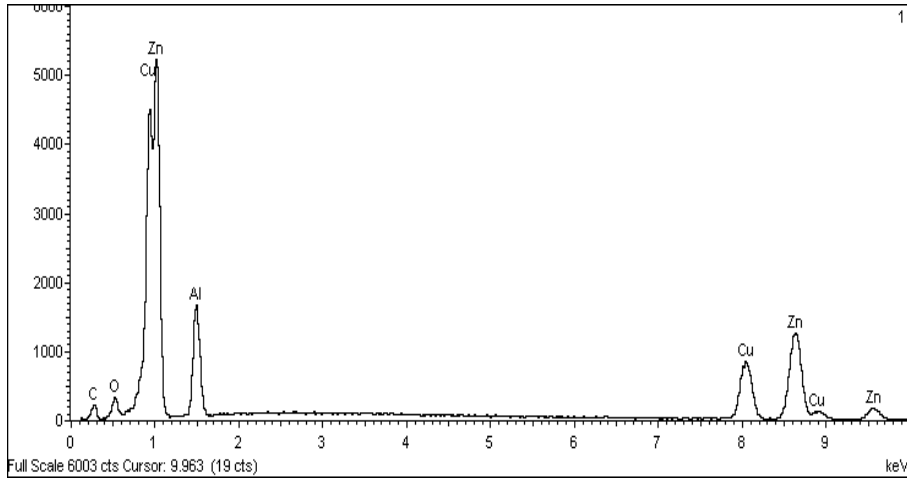
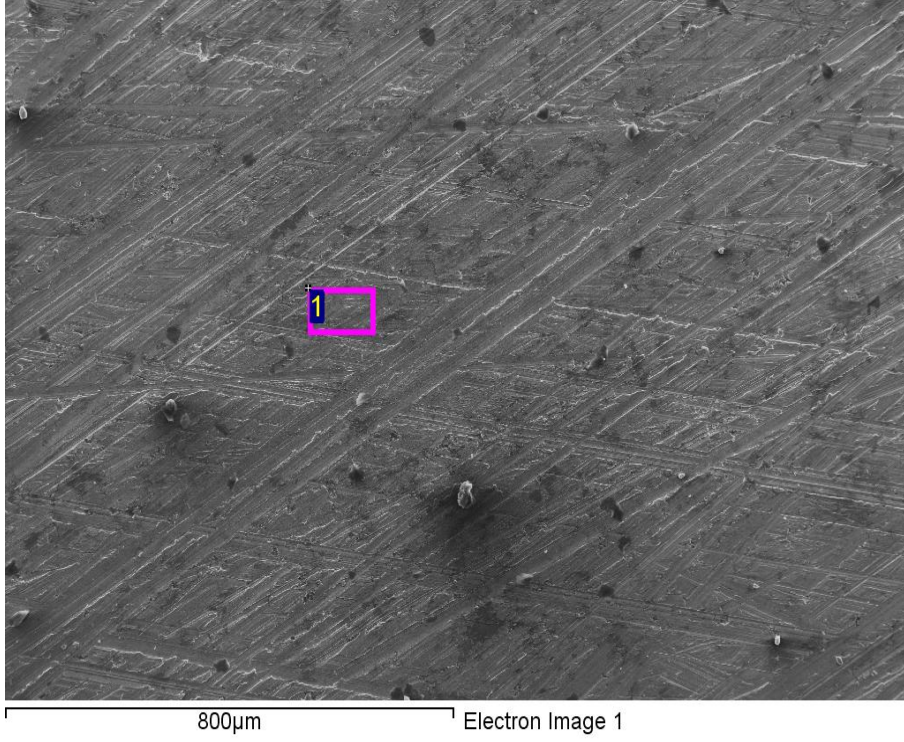
Şekil 8.34. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Zn-25Cu-10Al-15C-5O alaşım kaplı yatağa uygulanan 42N, 67N ve 92N yükler sonrası benzeri SEM görüntüleri elde edildiğinden iki mikro görüntüsü Şekil 8.34'de verilmiştir.

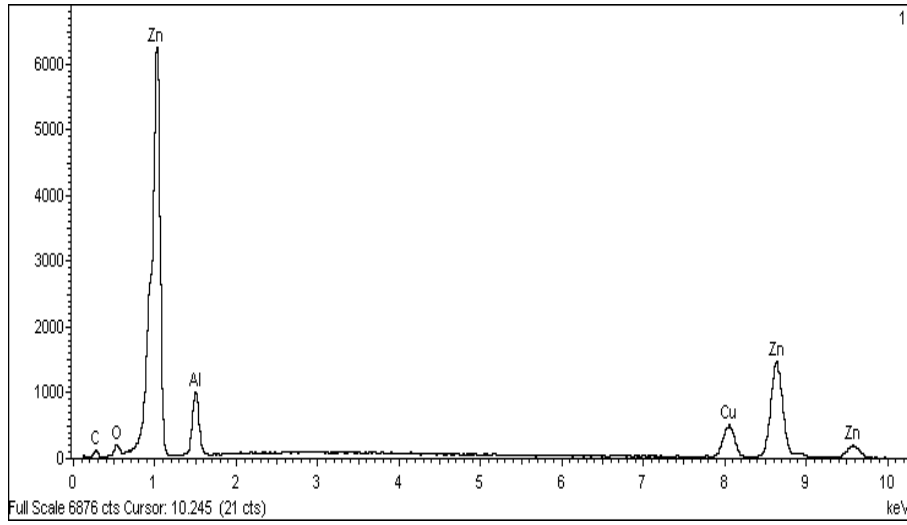
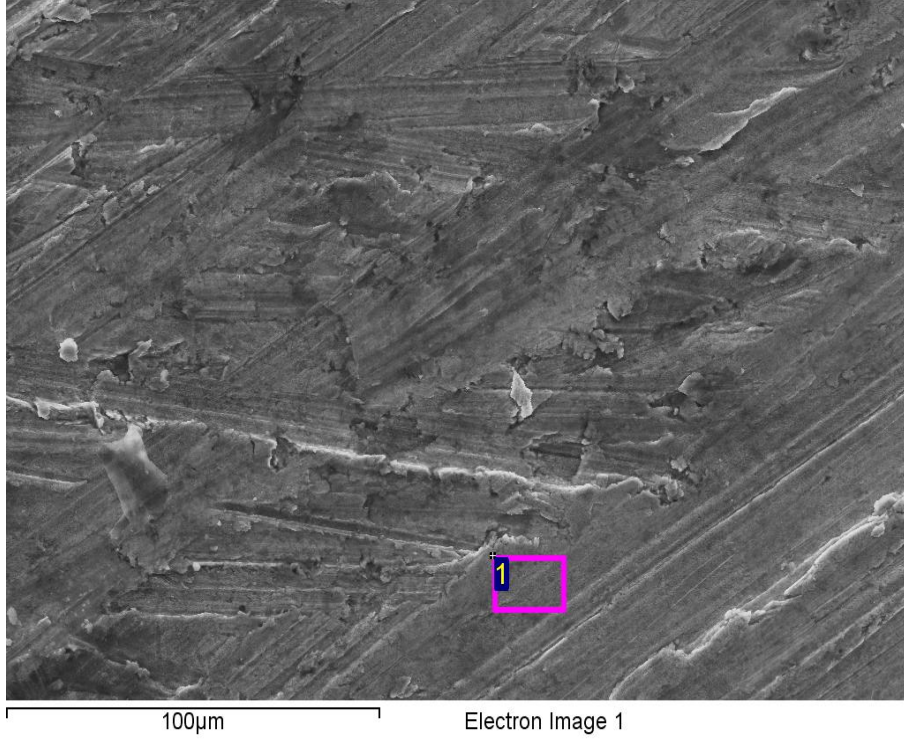
Şekil 8.34'de aşınma yüzeylerinde aşınma çizikleri ve gözenekler görölmektedir. Aşınmaya ait aşınma çizikleri net olarak görölmektedir. Malzemenin çinkoca yoğun bir faza sahip olmasının sert malzemelerin yapıya gömülebilirliğini ve sürtünmeyi azalttığı ayrıca alaşımdaki bakır ve alüminyum fazı yük taşıma görevi yaptığı yatağın aşınma direncinde böylece iyileşmenin olduğu söylenebilir.

Orijinal yataklar çoğu zaman yağlamanın yetersiz olduğu anlar olabilmektedir. Yatağın yağsız kalması sonucu yüksek sürtünme ısısından dolayı yatak hasara uğramaktadır.

ZA alaşımlı yapıların yağlayabilirliği daha yüksek olduğundan dolayı yatak özelliklerini daha uzun koruyabilir [75]. Ayrıca bakırın ağırlık yüzdesinin fazla olması ve gözenekli bir yapıya sahip olması nedeniyle yatak yağlanabilirliğinin arttığı düşünölmektedir.



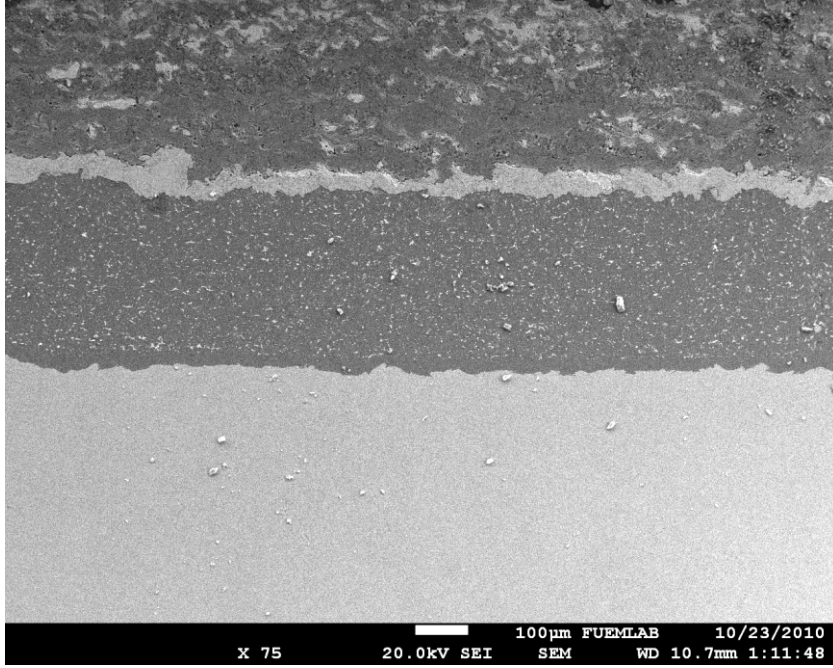
Şekil 8.35. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



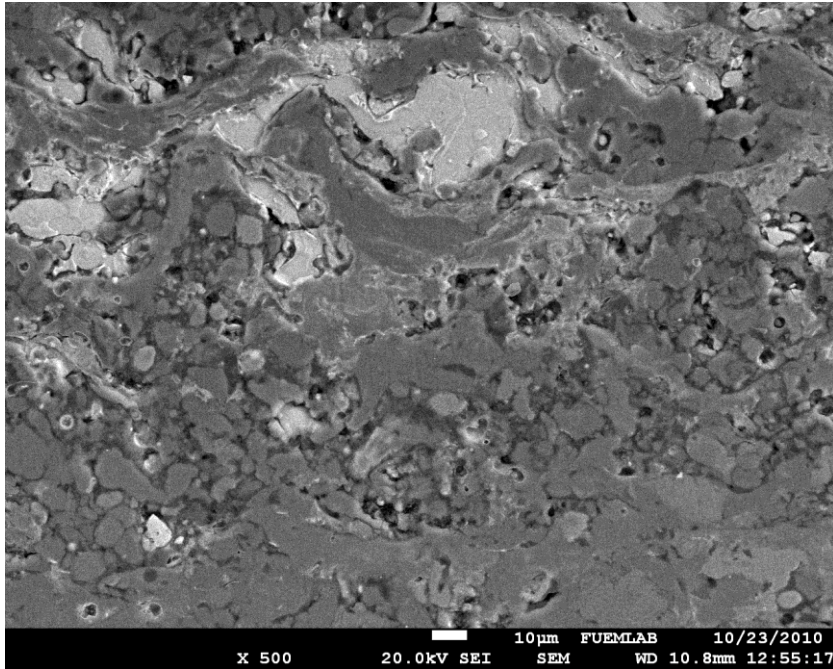
Şekil 8.36. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Aşınma sonrası Zn-25Cu-10Al-15C-5O ile kaplanmış numunenin yüzeyinden farklı noktalardan EDS analizi ve SEM mikro görüntüleri 75X ve 500X büyütmelerde sırasıyla Şekil 8.35 ve Şekil 8.36'da gösterilmiştir. Şekil 8.35'deki SEM fotoğrafından alınan noktasal yüzey analizi (EDS) sonuçlarına göre 1 nolu bölgenin %46.15 Zn, %24.59 Cu, %11.26Al, %4.59 O ve %13.42 C içerdiği, resimde açık renkte görülen noktanın çinko ağırlıklı ve bakırca zengin bir bileşimden meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 8.36'da ise 1 nolu bölgede %63.20 Zn, %16.49 Cu, %8.64 Al, %3.17 O ve %8.50 C bulunduğu ve bu noktada Şekil 8.35'e göre çinkoda artış olduğu, yapıyı oluşturan diğer elementlerin ağırlık oranlarında ise diğer analize göre düşüş görüldüğü saptanmıştır.



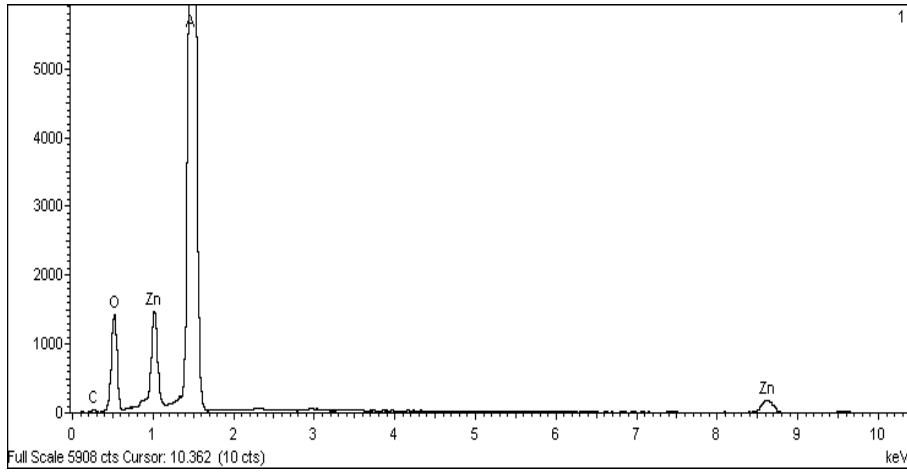
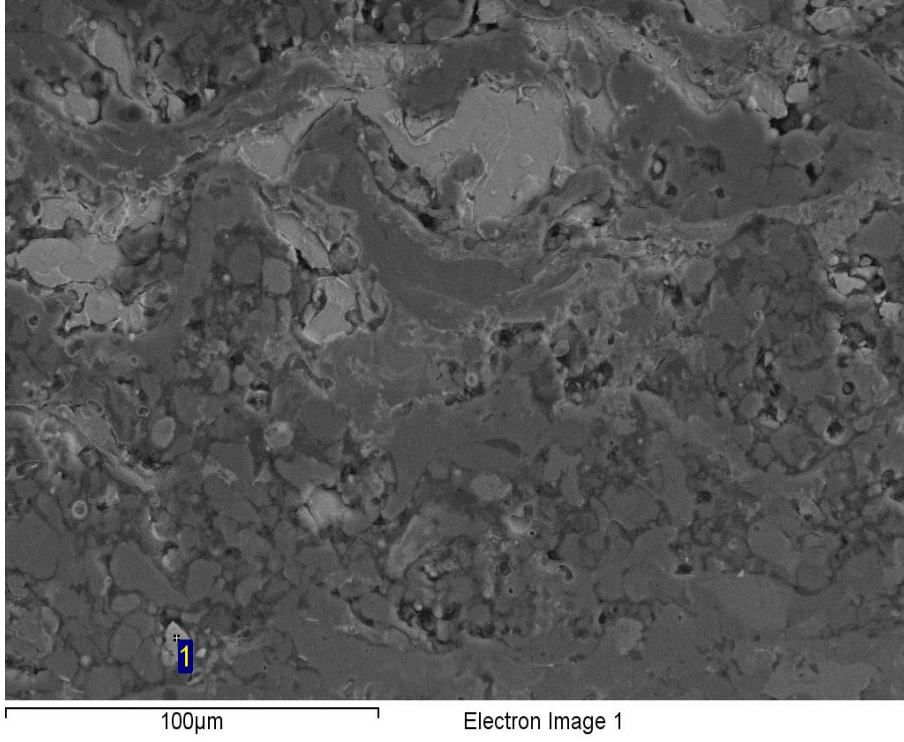
Şekil 8.37. Zn-15Cu-20Al-5O-5C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.



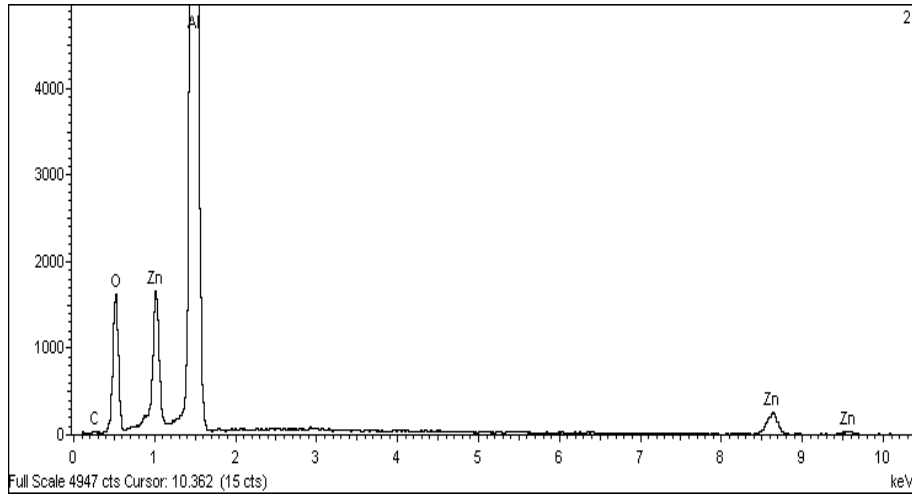
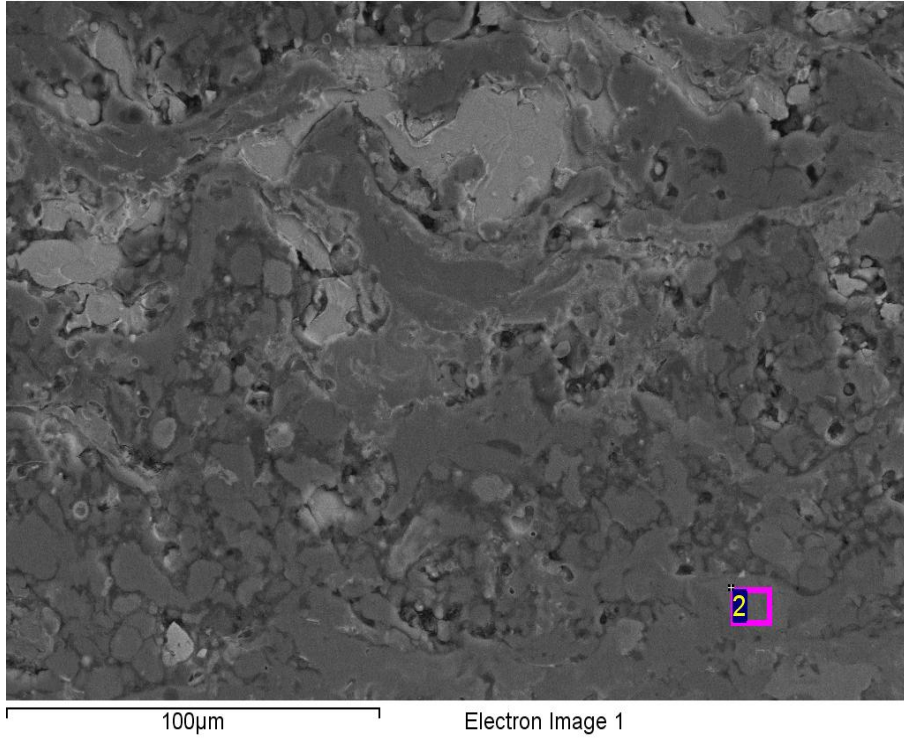
Şekil 8.38. Zn-15Cu-20Al-5O-5C SEM Görüntüsü.

Aşınma testi öncesinde Zn-15Cu-20Al-5O-5C alaşımı ile kaplı alüminyum esaslı yatağın tabakalar halinde SEM fotoğrafı 75X büyütmede Şekil 8.37’de, Zn-15Cu-20Al-5O-5C kaplı yatağın yüzey görünümü 500X büyütmede Şekil 8.38’de gösterilmiştir.

Şekil 8.38’de Zn-15Cu-20Al-5O-5C alaşımı ile kaplanmış yatağın kaplama tabakasına bakıldığında kaplama tozlarının bazı yerlerde yığılmanın olduğu görülmektedir. Fakat tabakaya genel itibariyle bakıldığında homojen bir yapıdan oluştuğu söylenebilir. Ayrıca kaplama gözenekli bir dokuya sahiptir. Kaplamada kullanılan tozlardan biri olan alüminyum fazının yatağın morfolojisinde bulunmasının, yatağın mukavemetini artırdığı düşünülebilir. Çünkü çinko-alüminyum esaslı alaşımların mukavemet değerleri, alüminyum miktarındaki artışa bağlı olarak bir yere kadar artış gösterir [31]. Ana malzeme üzerine yapılan kaplama sonucu kaplamayı, kaplanmamış yatakla karşılaştırıldığında, kaplama ile birlikte mukavemet değerinin arttığı söylenebilir.



Şekil 8.39. Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



Şekil 8.40. Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 2 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Aşınma öncesinde Şekil 8.39’da 1. nolu bölgeden alınan analize göre ağırlıkça %9.02 Zn, %60.04 Al, %27.07 O ve %3.87 C’den oluştuğu görülmüştür. Burada ilk olarak göze çarpan alışımda bakır olmasına rağmen alınan spektrumda bakırın çıkmaması, bölgede çinko ve alüminyumca yoğun bir katmandan meydana geldiği düşünülmektedir. 1 nolu bölgede Al’nin maksimum pik yaptığı görülmüş bunun yanında Zn ve O pikleri de görülmüştür. Şekil 8.40’da 2 nolu bölgedeki EDS sonuçlarına göre %10.37 Zn, %59.88 Al, %26.16 O ve %3.59 C içermektedir.

Bu analize göre bakır pik olarak gözükmemekte bu da bir önceki analizdeki sebeplerden kaynaklandığı söylenebilir. 2 nolu bölge analizi 1 nolu bölge analizi ile yaklaşık olarak benzer sonuçları ve içerikleri göstermektedir.



(a)



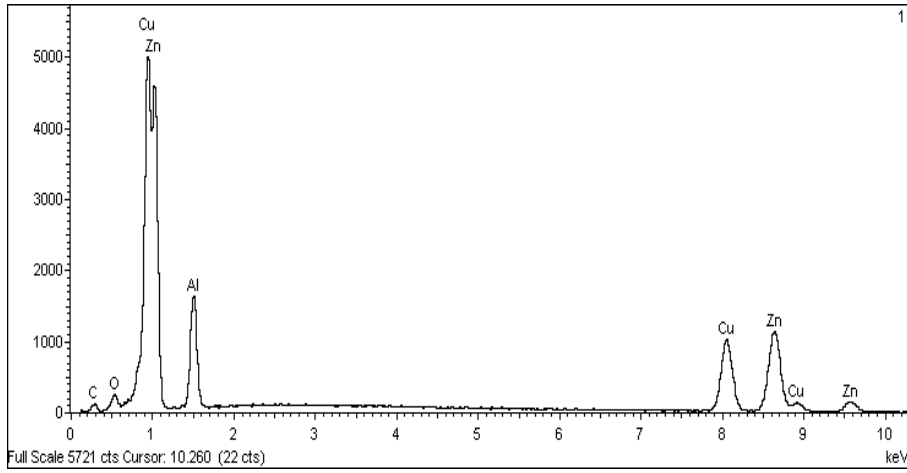
(b)

Şekil 8.41. Zn-15Cu-20Al-5O-5C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

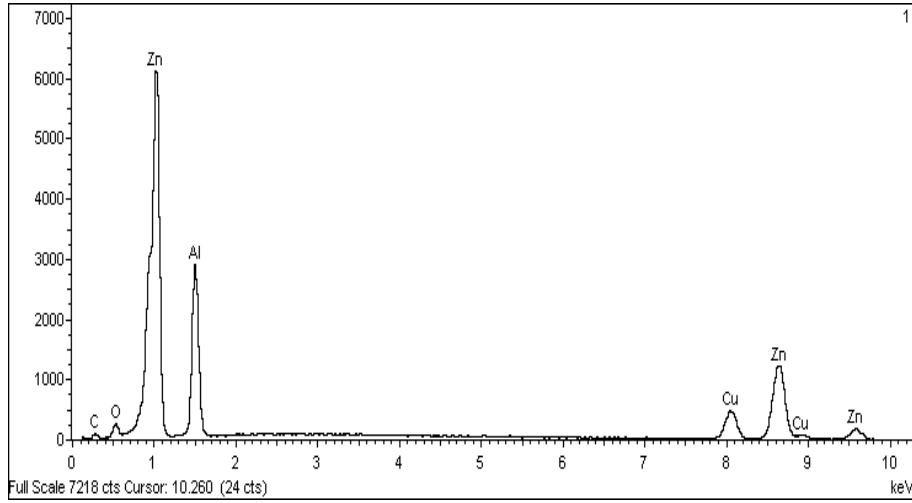
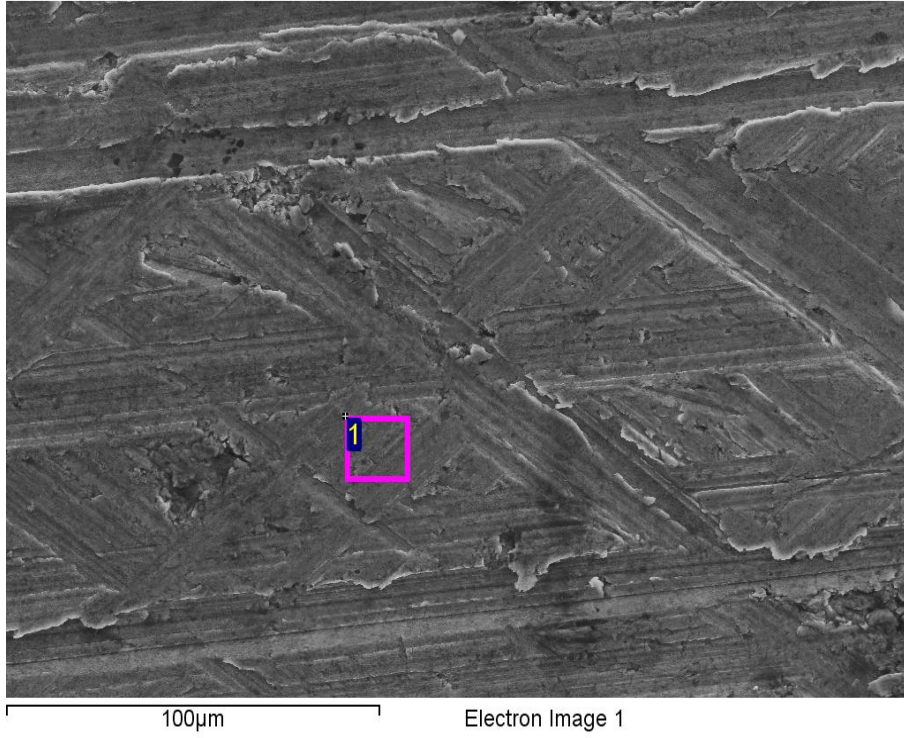
Çinko esaslı alaşımlardan üretilen ve statik yük altında aşınma deneylerine tabi tutulan kaplanmış yatağın farklı yüklerde alınan SEM görüntüleri benzer görünüme sahip olduğu için değişik büyütmelerde iki fotoğrafı Şekil 8.41’de verilmiştir.

Şekil 8.41’deki resimler incelendiğinde yüzey topografyasında yer yer derin şekilde aşınma çizikleri ve gözenekler görülmektedir. Motor ilk çalıştırıldığında yataklar alıştırma devresinde olduğundan alaşımlardan üretilen yatakların aşınma yüzeylerinde pürüzleri kapatacak şekilde yağ filminin oluşmamasından dolayı metal-metal teması meydana gelmiştir. Yatak yüzeylerinde yağ filmi kalınlığının yeterli olmayışı, yatakların aşınmasında malzemenin özellikleri öne çıkmaktadır [31]. Üretilen yatakta bakırın var olması yatağa ekstrasdan yağlayıcılık özelliği katmaktadır. Bu da numunenin kaplanmamış yatağa oranla bakırdan dolayı yağlama hususunda daha iyi olduğu kanısına varılabilir. Bunun yanı sıra yüzeydeki gözenekler hidrodinamik yağlamaya katkıda bulunmaktadır.

Ayrıca çinko-alüminyum alaşımlardan üretilen yatakların kayma yüzeylerinde meydana gelen sürtünme tabakalarının katı yağlayıcı gibi davranarak, yatak-mil arasındaki sürtünmeyi azalttığı ve bu nedenle aşınmaya karşı dayanımın arttığı iddia edilmiştir [76].



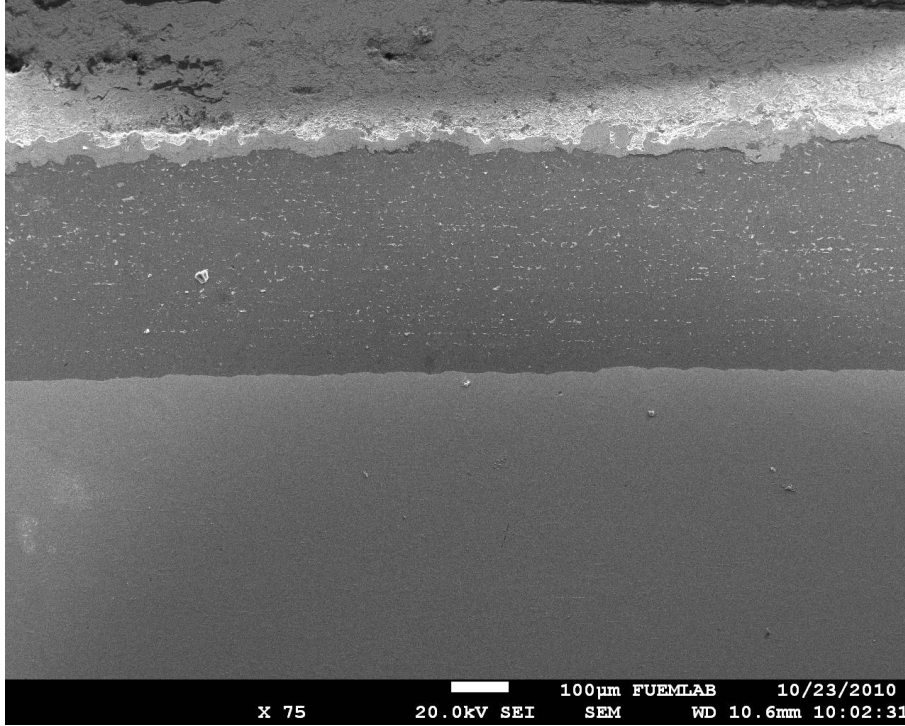
Şekil 8.42. Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.



Şekil 8.43. Zn-15Cu-20Al-5O-5C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Zn-15Cu-20Al-5O-5C alaşımıyla kaplı yatak yüzeyinin aşınma sonrası Şekil 8.42’de 75X büyütmeden SEM fotoğrafından alınan spektrumdan çıkan EDS analizine göre %45.19 Zn, %31.14 Cu, %12.80 Al, %3.43 O ve %7.44 C olarak bulunmuştur. Şekil 8.43’de aşınma sonrası 500X büyütmedeki görüntüden alınan spektruma göre ağırlıkça %52.48 Zn, %15.18 Cu, %21.63 Al, %3.96 O ve %6.75 C olduğu görülmüştür. Şekil 8.42’deki analizde bünyesinde çinko ve bakırca zengin bir yapıda bunun yanında alüminyum bakır ve oksijen pikleri de görülmüştür.

Şekil 8.43'deki noktasal analize göre çinko ve alüminyum elementlerinin Şekil 8.42'deki EDS analizinden daha fazla olduğu görülmüştür. Çinko fazına sahip kaplama tabakası ana yapıya kıyasla aşınma yüzeylerinde çinkoca zenginleşmiş bir sürtünme tabakası oluşturduğu söylenebilir.

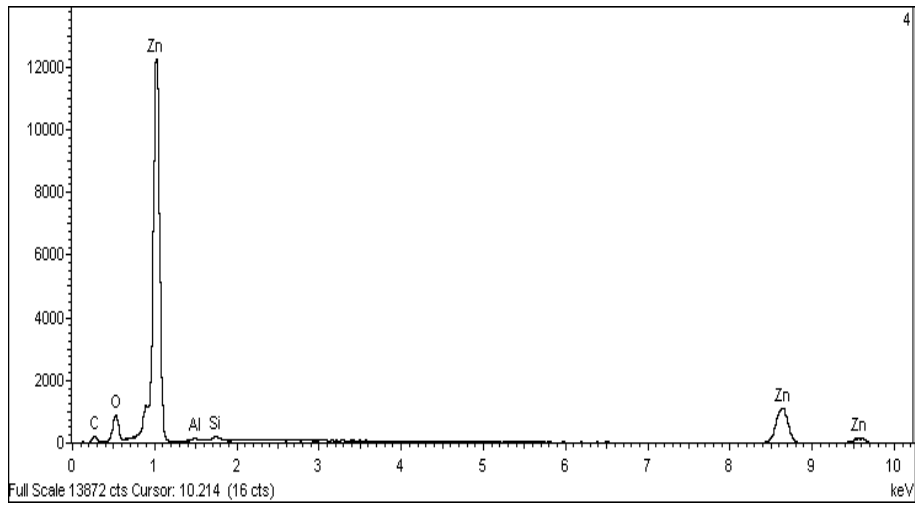
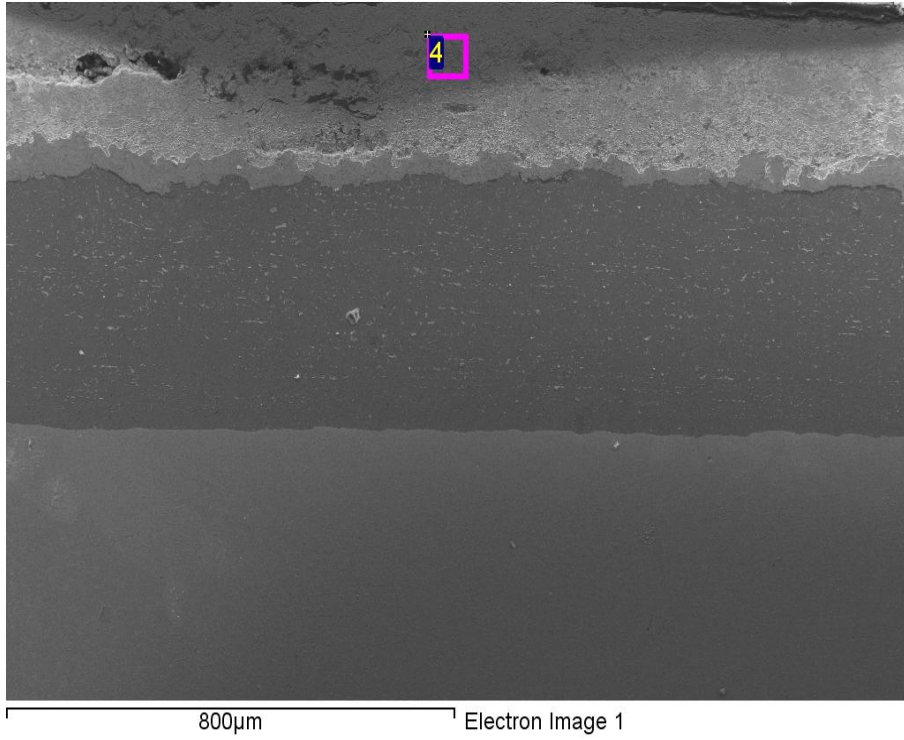


Şekil 8.44. Zn-10C, Ara Yüzey ve Ana Malzemenin SEM Görüntüsü.

Çinko esaslı Zn-10C alaşımının alüminyum esaslı yatağa plazma püskürtme sonucu kaplandıktan sonraki alaşım, ara bağlayıcı ve kaplanmamış yatak tabakalarından oluşan yatağın aşınma öncesi SEM görüntüsü Şekil 8.44'de verilmiştir. Çinkonun yumuşak faza sahip olması nedeniyle astar tozu olan NiCr'a iyi tutunma göstermesi tabakalar arası iyi bir yapışmanın olduğu düşünülmektedir.

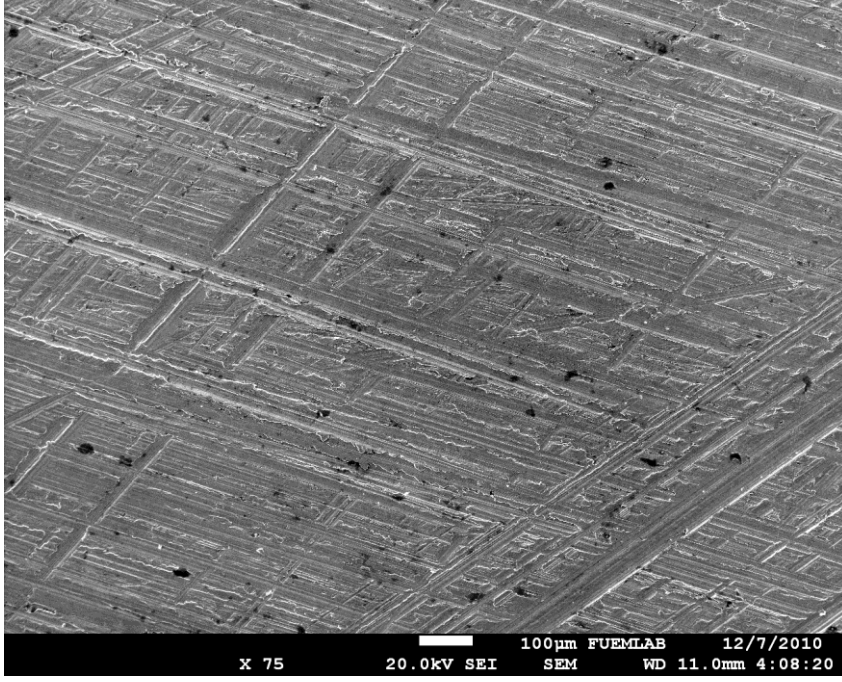
Çinko esaslı alaşımlar, kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılmasına olan ilgi büyümekte, birçok mühendislik ve tribolojik uygulamalarda bronz, dökme demir ve alüminyum alaşımlardan daha iyi performans göstermektedir [51,77]. Çinko esaslı alaşımların ana avantajları; düşük maliyet, abrazyon ve aşınma direncinin yüksek olması, yüksek yüklere dayanabilme kabiliyeti ve tehlikeli veya kuru çalışma karakteristikleri iyi olması olarak özetlenebilir [78].

Diğer taraftan Ünlü ve arkadaşı yaptığı çalışmada çinkonun saf olarak kullanılmasının aşınma direncinde iyi fakat mukavemetinin oldukça düşük olması sebebiyle, tek başına değil de bir alaşım içerisinde kullanılması gerektiğini göstermişlerdir [29]. Buna göre yatak malzemesi olarak çinkonun yatağa kaplanması, yatağa kaplama malzemesi olarak Zn-Al-Cu alaşımının kaplanmasına nazaran yüzey yapısının daha kötü olduğu söylenebilir.

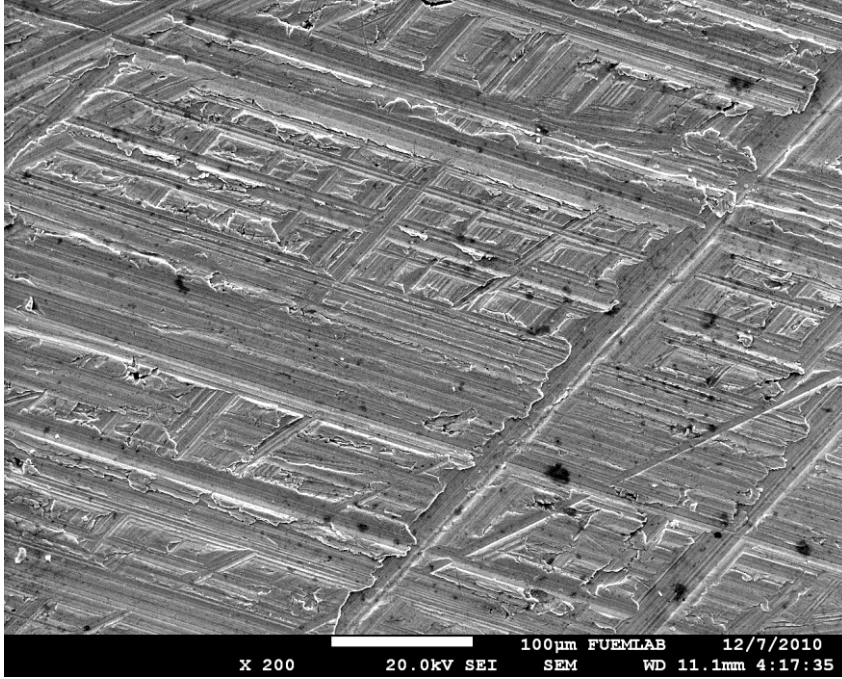


Şekil 8.45. Zn-10C Kaplı Yüzeyin 4 Noktasından Alınan EDS Analizi.

Şekil 8.45’de tabakalar halinde görülen SEM görüntüsünden 4 nolu bölgede aşınma öncesi EDS analizi yapılmıştır. 4 nolu bölgede yapılan noktasal analize göre %63.65 Zn, %1.15 Si, %0.67 Al, %19.48 O ve %15.05 C elementer yapıdan oluştuğu görülmüştür. Yatakta çinko yüzdelik diliminin oldukça yüksek olmasına rağmen bu noktasal analizde çinko yığılması düşük kalmıştır.



(a)



(b)

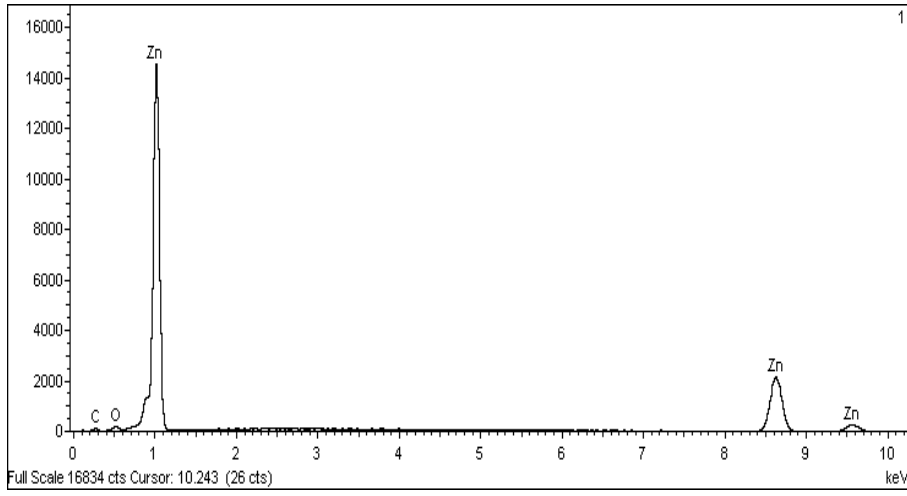
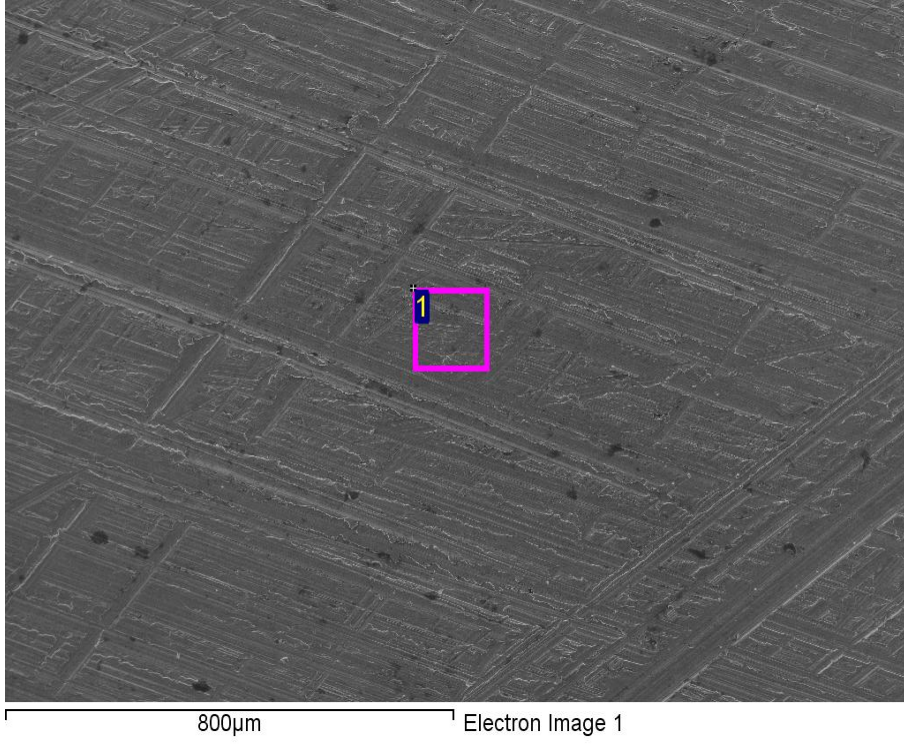
Şekil 8.46. Zn-10C Aşınma Sonrası SEM Görüntüleri a) 75X b) 200X

Çinkoca oldukça zengin olan Zn-10C alaşımının aşınma sonrası 42N, 67N ve 92N statik yük altında elde edilen SEM görüntüleri benzer görünüme sahip olduğundan dolayı farklı iki büyütmede alınan SEM görüntüleri Şekil 8.46'da gösterilmiştir.

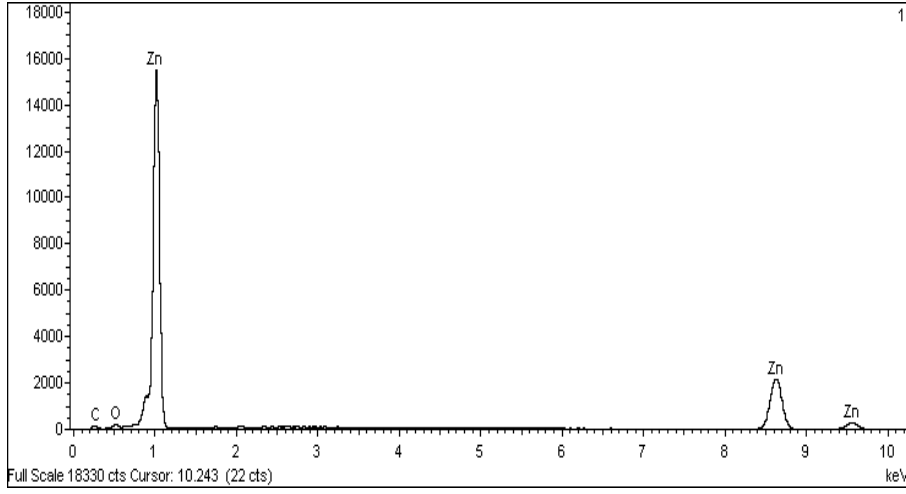
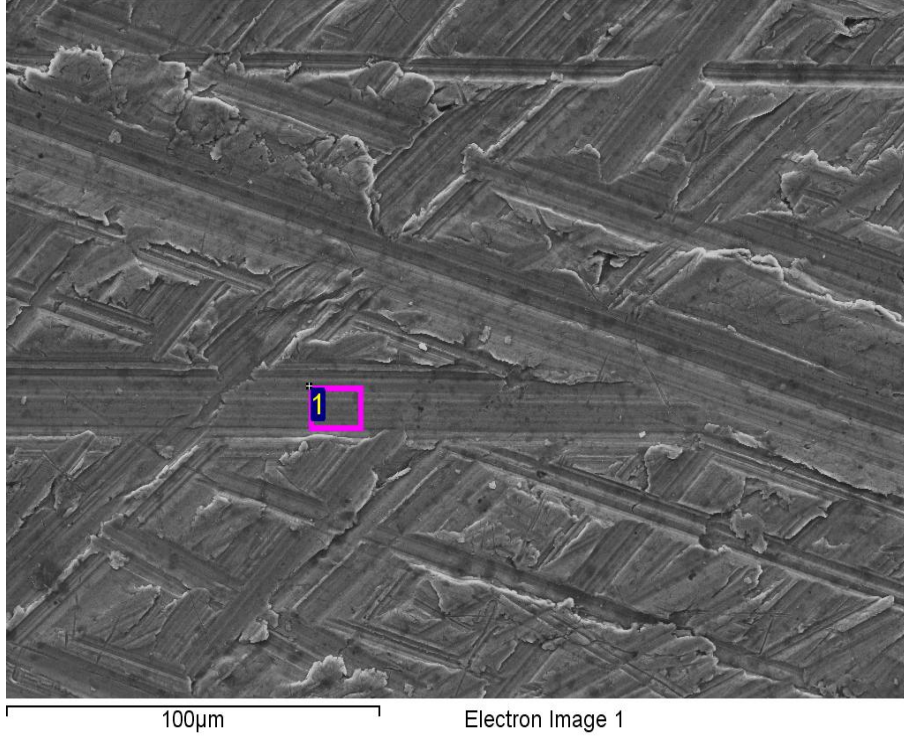
Şekil 8.46'da görüldüğü gibi aşınma yüzeylerinde meydana gelen aşınma izleri ve gözenekler görülmektedir. Bu aşınma izleri, birbiri üzerinde kayma sürtünmesi yapan metal-metal aşınma şeklinde meydana geldiğini gösterir. Yüzeyde adhezyon aşınma sonucu izler görülmektedir. Adhezyon (yapışma) aşınması belli bir sıcaklık aralığında, karşılıklı olarak çalışan yüzeyler arasındaki yakınlık ve basınçla meydana gelen yüklerin birleşmesi sonucunda ortaya çıkar [79].

Ayrıca çinkonun çok iyi bir yatak malzemesi olduğu ve sürtünme katsayısını azalttığı fakat saf olarak yatakta gösterdiği karakteristik özellikler gereği tek başına kullanılması istenmeyen bir durumdur. Bu kanı yapılan literatür çalışmalarında görülmüştür [35].

Motorun ilk çalışma esnasında yataklara yağlama sağlanamaz. Şekil 8.46'da gözenekli bir yapı görülmektedir. Bu gözeneklerin biriken yağlar sayesinde yağlamaya olumlu yönde katkı yaptığı düşünülmektedir [12].



Şekil 8.47. Zn-10C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi



Şekil 8.48. Zn-10C Kaplı Yüzeyin 1 Noktasından Alınan EDS Analizi

Aşınma sonrası Zn-10C kaplı yüzeyin farklı noktalarından Şekil 8.47 ve Şekil 8.48’de sırasıyla 75X ve 500X büyütmede spektrumlar alınmıştır. Şekil 8.47’deki SEM görüntüsünden alınan noktasal analizde %86.98 Zn, %2.62 O ve %10.40 C olarak tespit edilmiştir. Şekil 8.48’de yapılan EDS analiz sonucuna göre %88.61 Zn, %2.95 O ve %8.45 C bulunmuştur. Bu kaplama yüzeyinden elde edilen her iki analizde de oksijen elementine rastlanılmıştır.

Bunun çinko elementinin oksitlenmeye karşı elverişli bir yapısı olduğundan dolayı yüzeyde oksijenin görüldüğü düşünülmektedir. İki analizde de çinko segregasyonunun yoğun bir biçimde olduğu gözlemlenmiştir.

8.3. X-Ray Analiz Sonuçları

Modifikasyon yapılmamış krank kol yatağı üzerinden alınan numuneye yapılan X-Ray sonucu Şekil 8.49'da verilmiştir. Kaplanmamış yatağa uygulanan analizde, Şekil 8.49'da da görüldüğü gibi Al elementi yapıda yüksek oranda görülmektedir. Daha önce verilen Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'deki EDS çalışmalarında da kaplanmamış yatağın alüminyum esaslı malzemedan oluştuğu görülmüştür. Bu faz dışında kaplanmamış yatakta ara faz olarak Al_2Cu , $AlCu_3$ bileşikleri görülmüştür.

Şekil 8.50'de, Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşımı ile kaplı kol yatağının belirli yerlerinden alınan numunede X-Ray analizi yapılarak yapıdaki fazlar belirlenmiştir. Şekil 8.50'de görüldüğü gibi bu fazlar Zn-Cu-Al, Al_4Cu_9 , O, C, Al_2Cu_3 , $AlCu$ ve $CuZn$ 'dir. XRD analizine dayanılarak, bu noktalarda kaplama tabakasının Zn-Cu-Al bileşiminden oluştuğu şekilde pik şiddetlerinden de anlaşılmaktadır. Oluşan bu piklerde O ve C fazları ise bazı noktalarda az da olsa görülmüştür. Analizde Şekil 8.14 ve Şekil 8.15'de yapılan EDS analiz sonuçlarında da bu fazlar görülerek XRD sonuçlarını doğrulamaktadır.

Şekil 8.51'de Zn-30Cu-10Al-15C-5O alaşımı ile modifiye edilmiş yatağın herhangi bir kesitinden X-Ray analiz sonuçları alınmıştır. Yapılan analize göre bu alaşım $AlCu$, $CuZn$, O_2 , CO_2 , C bileşiklerinden oluşmuştur. Burada $AlCu$ bileşiğinin yüzeyde hâkim bir yapı sergilediği görülmüştür. Ayrıca numunede C ve O elementleri oksitlenerek CO_2 ve O_2 bileşenleri oluşmuştur. Bu analizde bulunan fazlar Şekil 8.21 ve Şekil 8.22'deki EDS sonuçlarında da görülmüştür.

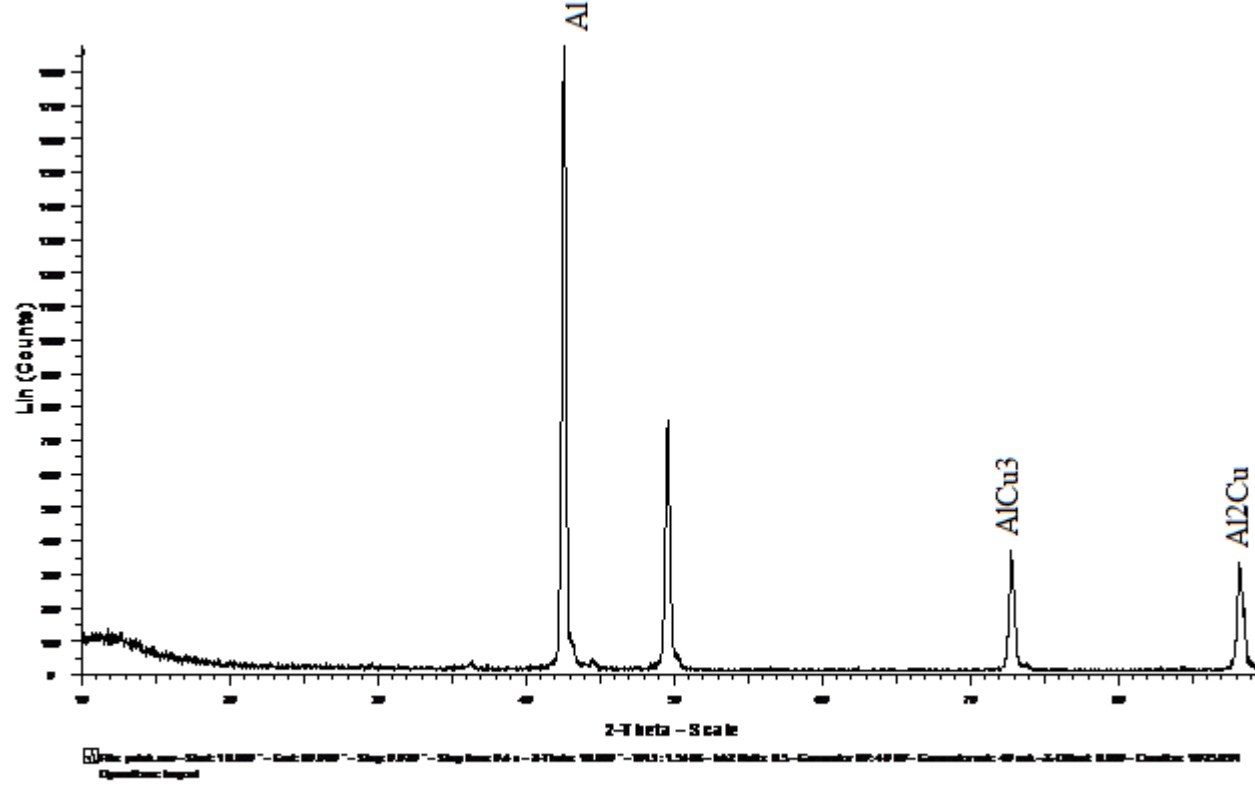
Aşağıda Şekil 8.52'de görüldüğü üzere Zn-20Al-15C-5O alaşımli krank yatağının XRD analizi yapılmış ve Zn, Al, $AlZn$, C ve O fazları tespit edilmiştir. Burada Zn elementinin maksimum seviyede pik yapması, çinkoca zengin bir kompozitten oluşan tabakadan meydana gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Diğer taraftan şekildeki XRD paterninde O elementinin eser miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Bu analiz sonuçlarını, Şekil 8.28 ve Şekil 8.29'da yapılan EDS analizleri de desteklemektedir.

Şekil 8.53'deki Zn-10C alaşımla kaplı numunenin XRD analizi incelendiğinde yapının Zn, C ve O fazlarından oluştuğu görülmüştür. Şekil 8.53'de hâkim faz yüksek pikten ötürü Zn fazıdır. Yapıda az miktarda da olsa O fazına rastlanılmıştır.

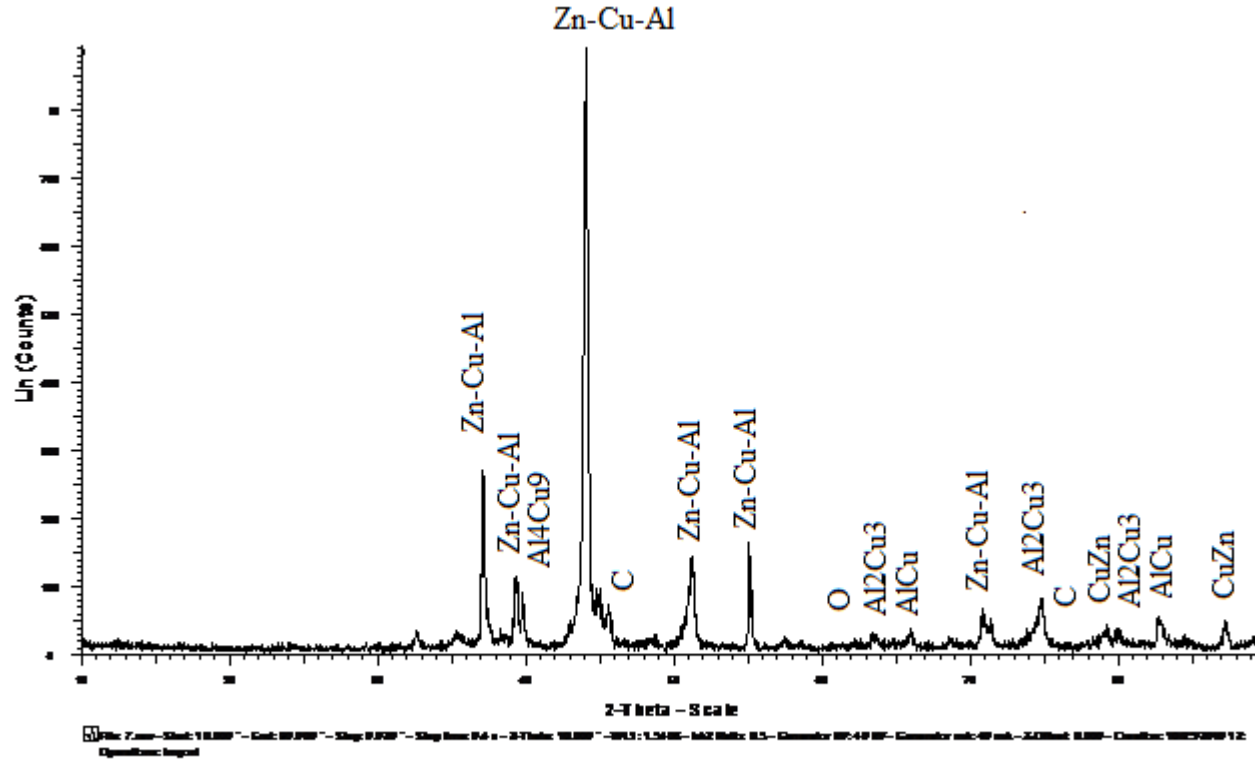
Çinko esaslı alaşımlar fiziksel, mekanik ve tribolojik açıdan iyi bir performans göstermesi, düşük maliyet ve yüksek aşınma direncinden dolayı yataklarda kullanılır [30]. X-Ray analizinde görülen fazlar Şekil 8.47 ve Şekil 8.48'de EDS için alınan spektrumlarda görülmüştür.

Şekil 8.54'de Zn-25Cu-10Al-15C-5O alaşımlı numunenin XRD analizi verilmiştir. Bu analize göre bu alaşımın AlCu, AlCuZn, CuZn, Cu₃Al₂, Zn, C ve O fazlarından oluştuğu saptanmıştır. En yüksek pik şiddeti AlCu bileşiminde oluşmuştur. Sonuçta çıkan fazlar, Şekil 8.35 ve 8.36'da verilen EDS analizi ile karşılaştırıldığında farklı bir faz bulunmamıştır.

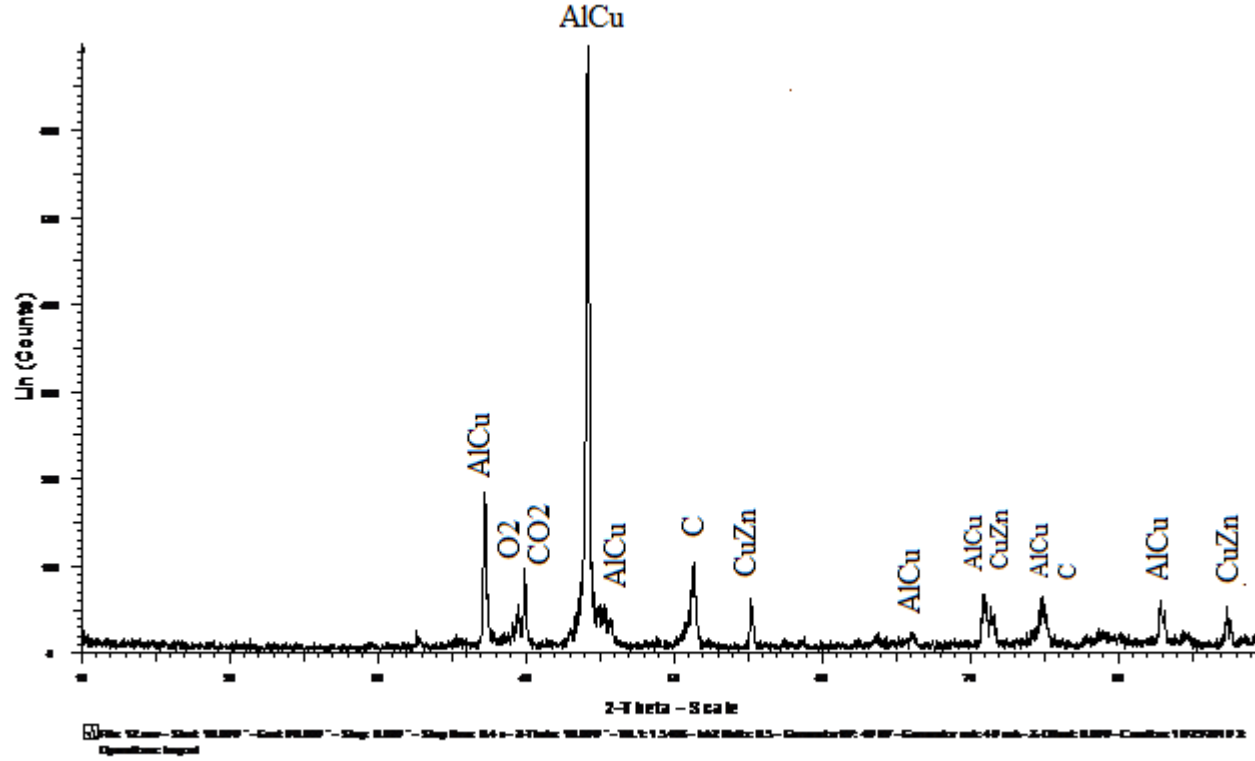
Şekil 8.55'te Zn-15Cu-20Al-5C-5O alaşımı ile kaplı yataktan alınan kesite X-Ray analizi gösterilmektedir. Yapılan analiz sonucunda alaşımın AlCu, AlCuZn, AlZn, CuZn, Al₄Cu₉, O₂ ve C fazlarından meydana gelmiştir. Burada AlCu bileşimi maksimum pik seviyesindedir. Ayrıca Şekil 8.42 ve Şekil 8.43'teki malzemenin kimyasal kompozisyonunu oluşturan EDS sonuçları belirlenen sonuçlar ile uyumaktadır.



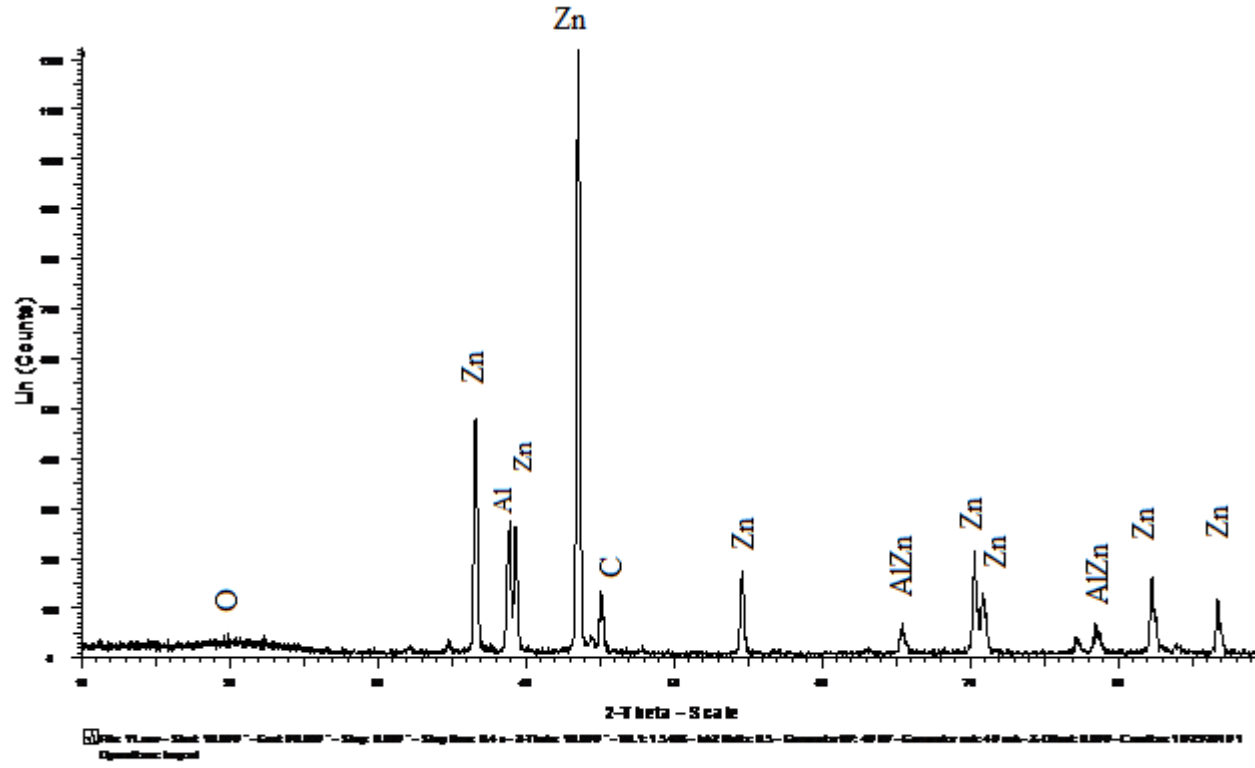
Şekil 8.49. Kaplanmamış Yatağa Ait X-Işınları Difraksiyonu.



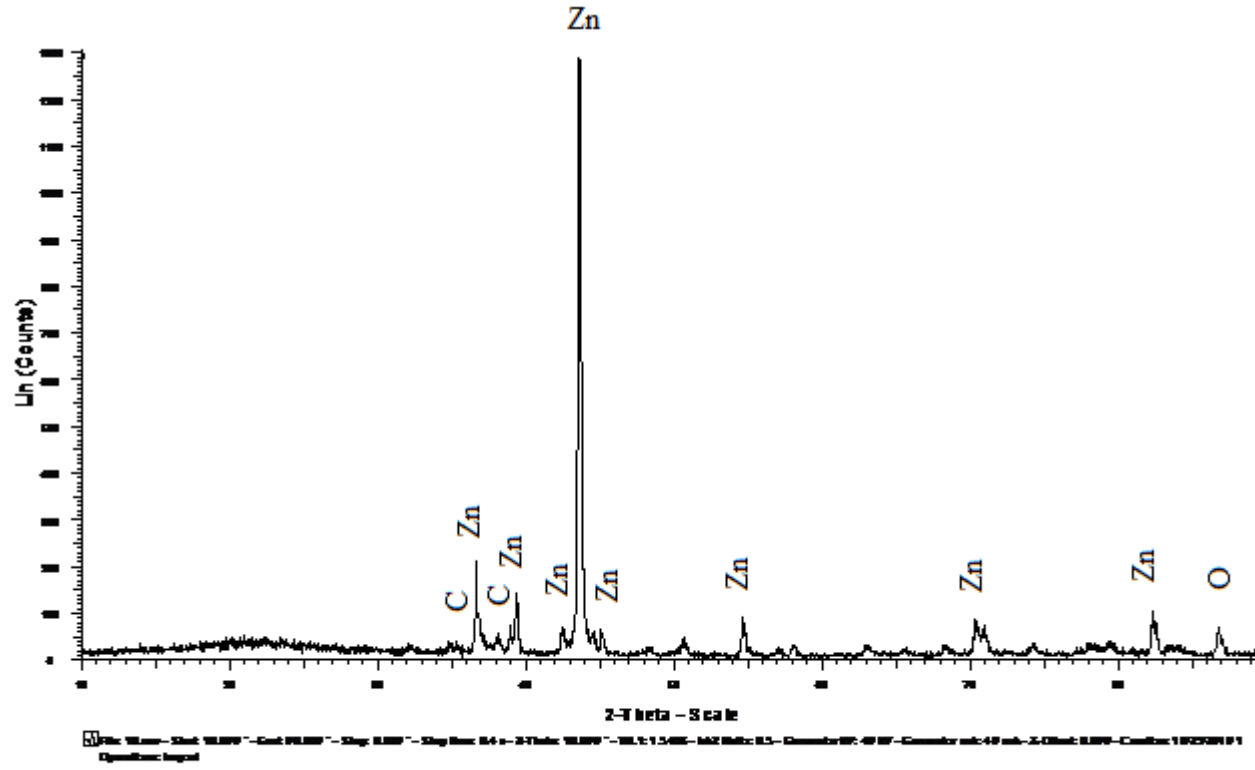
Şekil 8.50. Zn-30Cu-20Al-10C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.



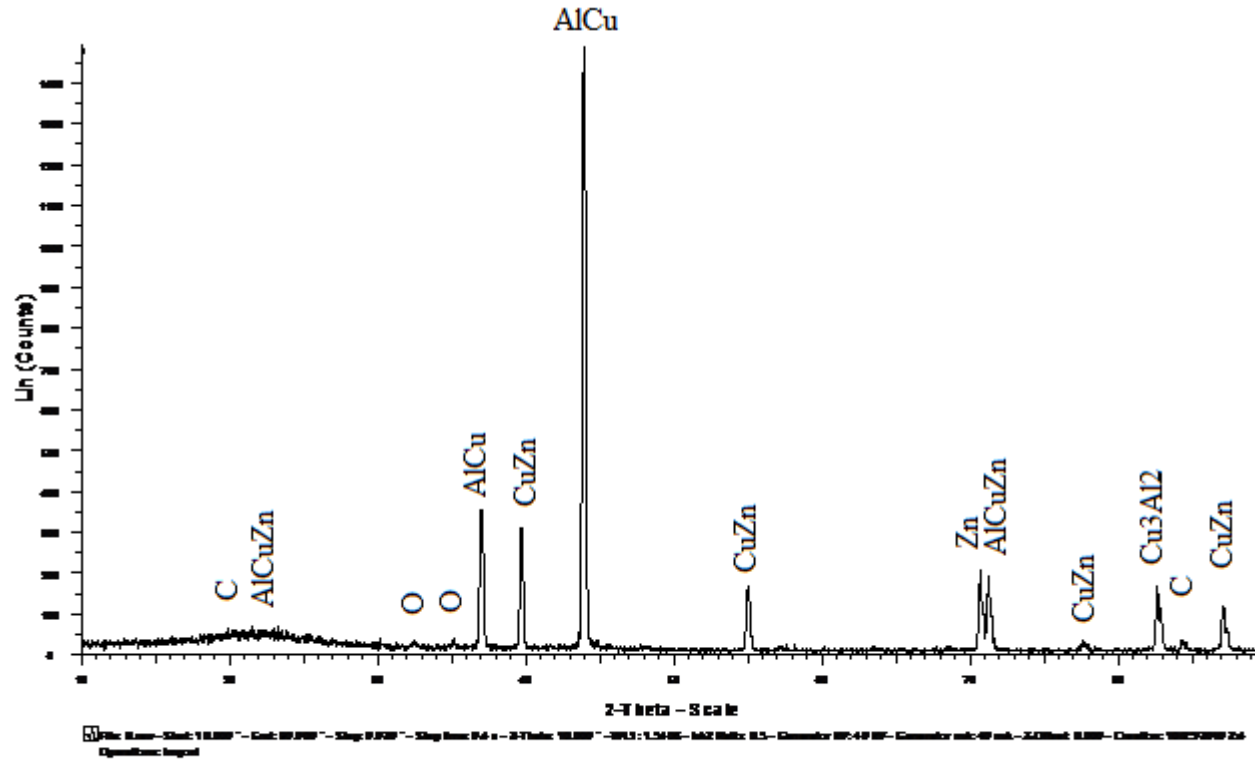
Şekil 8.51. Zn-30Cu-10Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.



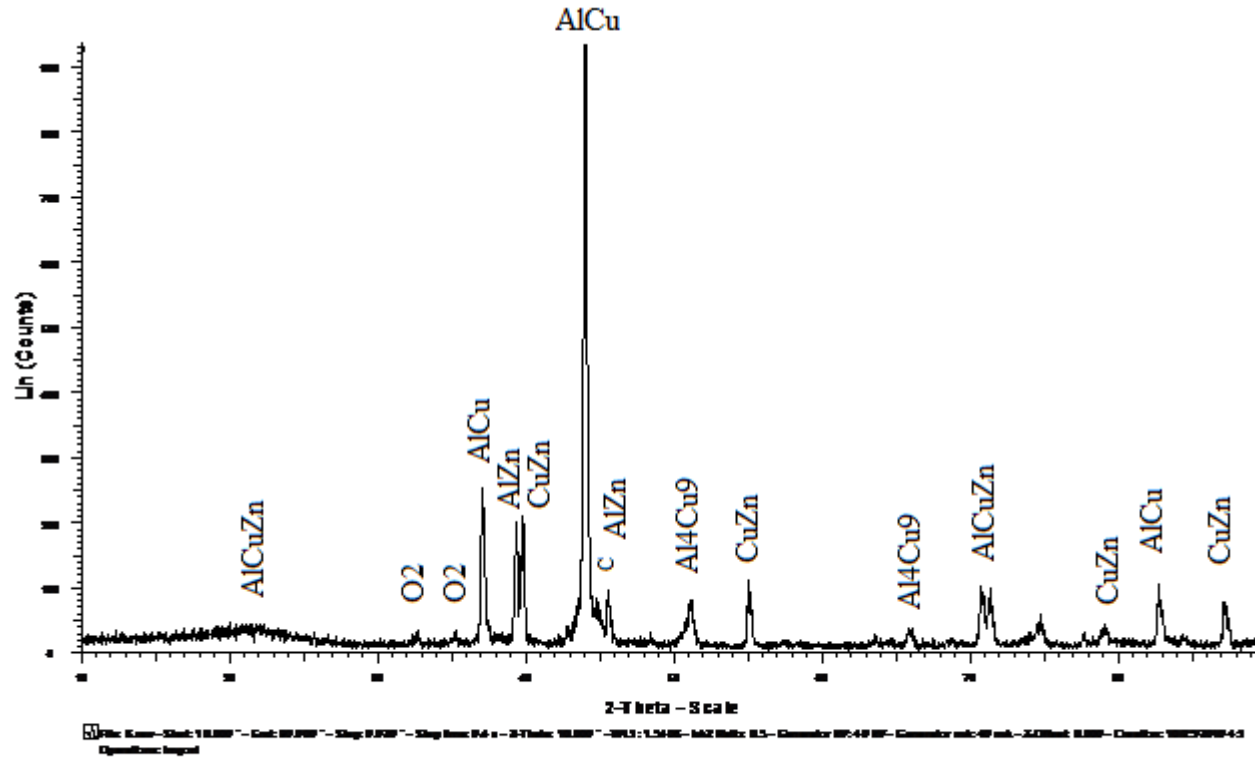
Şekil 8.52. Zn-20Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.



Şekil 8.53. Zn-10C Numuneye Ait X-Işımları Difraksiyonu.



Şekil 8.54. Zn-25Cu-10Al-15C-5O Numuneye Ait X-Işınları Difraksiyonu.



Şekil 8.55. Zn-15Cu-20Al-5C-5O Numuneye Ait X-Işımları Difraksiyonu.

8.4. Mikrosertlik Sonuçları

Tablo 8.1. Numunelerin Mikrosertlik Değerleri.

Malzeme	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
Krank Mili	221.5
Kaplanmamış Yatak	42
Numune 1	63.5
Numune 2	55.5
Numune 3	63
Numune 4	49.5
Numune 5	52.5
Numune 6	51.5

Numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla Vickers mikrosertlik testi uygulanmıştır. Yüzeyleri hazırlanan numuneler üzerinde 10 sn süresince 100 gr yük uygulanarak mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

Krank mili, kaplanmamış yatak, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numunelerine ait ortalama mikrosertlik değerleri Tablo 8.1’de verilmiştir. Bu tablo 8.1’de 10 sn’de, her bir numuneden farklı iki bölgeden iki sertlik değerinin ortalaması alınarak tabloda gösterilmiştir.

Tablo 8.1’e bakıldığında ise krank mili 221.5 HV değeriyle sertlik testinden en sert malzeme olarak çıkmıştır. Krank milinin en sert malzeme olarak çıkması beklenen bir durumdur. Krank mili muylularının kullanılan yatak malzemesine göre çok sert olması gerekir [12]. Krank milinin yatağa oranla çok sert olması, krank milinin yatak tarafından aşındırılmasını önlemektedir.

Tablo 8.1’deki kaplanmamış yatak 42 HV değeriyle krank mili ve diğer numunelere göre en düşük sertliğe sahiptir. Yataklar, çalışırken dinamik zorlanmalarla karşılaştıklarından, dayanımları optimum seviyede tutulmalıdır. Bu da yatakların yapısal özelliklerinin iyileştirilmesiyle ilişkilidir [12]. Yatak yapısına çinko, alüminyum ve bakır gibi malzemelerin katılması ile tabloda görüldüğü gibi yatak sertliğini artıracaktır.

Mikrosertlik tablosuna bakıldığında 1 nolu numune, 63.5 HV sertlik değeriyle krank milinden sonra en sert malzeme yapısına sahip yatak olarak tespit edilmiştir.

Bu numunenin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde bakır ve alüminyumca zengin çinko esaslı bir yatak görülmektedir. Alüminyum ve özellikle bakırın bulunmasının sertliği artırdığı düşünülmektedir. Yapılan literatür taramaları da bu görüş doğrultusundadır [80,81].

Tablo 8.1'de 3 nolu numune ve 6 nolu numune sırasıyla 63 ve 51.5 vickers sertliğindedir. Her iki numunenin sertliği kaplanmamış yatağa kıyasla yüksektir. Bu numunelerin sertliğinin kaplanmamış yataktan yüksek çıkması, kaplama tozu olarak kullanılan çinkonun karakteristik özelliğine bağlanabilir. Alüminyum esaslı yatak üzerine atılan çinko esaslı alaşımla, yatak yüzey yapısının sertliği artmıştır. Savaşkan ve Azaklı yaptıkları çalışma sonucunda SAE 65 bronz yatağı çinko esaslı malzeme ile kaplanarak yatak sertliği yükseltilmiştir [82]. 3 nolu numunenin, 6 nolu numuneye göre ortalama sertlik değeri yüksektir. 3 nolu numunede alaşımda kullanılan alüminyumun, sertliği büyük oranda etkilediği düşünülmektedir. Çünkü alüminyum çinkoya göre daha sert bir elementtir. Sonuç olarak çinko-alüminyumlu alaşımlarda artan alüminyum oranı ile sertliğin arttığı görülmüştür [83].

Tablo 8.1'de 2 nolu numune ve 5 nolu numune sertlik değerleri sırasıyla 55.5 ve 52.5 olarak verilmiştir. Tablo 8.1'de her iki numunenin de ortalama sertlik değeri kaplanmamış yataktan yüksektir. Genel olarak yataklarda partikül eklenerek yapının güçlendirilmesi, yatağın sertlik değerini yükseltir [36]. Bu iki numune için bulunan ortalaması sertlik değerleri bakıldığında, 2 nolu numune 5 nolu numuneye göre sert bir malzeme olarak bulunmuştur. Bir numunede sertliğin yüksek çıkmasında, alaşımda kullanılan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri önemli bir etkidir. 2 nolu numunedeki alaşımda bulunan bakırın, içerikçe 5 nolu numuneden fazla olmasından dolayı sertliğinin arttığı söylenebilir. Yapılan literatür çalışmasında, Al-40Zn-Cu alaşımında bakırın oranı %3'ün üzerinde arttıkça, alaşımın sertliği de artış göstermiştir [84].

Mikrosertlik testinden elde edilen sonuçlarda Tablo 8.1'de 4 nolu numunede 49.5 vickers sertlik değeri bulunmuştur. 4 nolu numune kaplanmamış yatağa göre sert bir yapıya sahiptir. Fakat diğer numunelere oranla sertlik oranı düşüktür. 4 nolu numunenin elementer yapısı incelendiğinde, oluşturulan alaşımdaki elementlerin konsantrasyonlarının iyi olmamasından dolayı kaplama yüzey mikro yapısında ortalama sertlik değerinin diğer kaplanmış numunelere göre düşük çıktığı söylenebilir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Yatak üzerine uygulanan yük arttıkça kütle kaybı miktarı da artmıştır. Bunun sebebi yük arttıkça muylu yatak arasında zorlanma olmasıdır. Bu zorlanma yatak sıcaklığının artmasına neden olur. Sonuç olarak yatakta aşınma miktarı artmıştır.
2. Aşınma testinde 42, 67, 92 N'da yüklerin yatak numunelerine uygulanması sonucu elde edilen kütle kayıplarında numunelerin sırası değişmemiştir. En az kütle kaybı Zn-10C alaşımlı yatak numunesinde, en fazla kütle kaybı ise kaplanmamış yatakta görülmüştür.
3. Aşınma testinde her numune için ayrı ayrı yüklerde alınan sürtünme kuvvetleriyle hesap edilen sürtünme katsayı değerleri, farklı yüklerde numuneler arasında değişkenlik göstermiştir. Böyle bir sonucun; yataktaki yağ miktarının artmasına-azalmasına, yağlayıcılık özelliğinin kaybolmasına, gözeneklere aşınma partiküllerinin girerek gözenekleri kapatmasına ve yatak veya muylunun pürüzlülüğüne bağlı olduğu söylenebilir. Uygulanan 42 ve 67 N'lik yüklerde 1 ve 2 nolu numunelerin sürtünme katsayıları kaplanmamış yataktan yüksek çıkmıştır. 92 N'da ise 1 nolu numunenin sürtünme katsayı değeri kaplanmamış yataktan fazladır. Bu numunelerin sürtünme katsayı değerlerinin kaplanmamış yataktan fazla çıkmasının sebebi, numunelerin çalışma esnasında yağlamanın iyi olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
4. Numunelerin aşınma testi öncesi ve sonrası olmak üzere SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan EDS analizlerinde, elementer yapı oluşturulan alaşımdaki fazlarla uyuşmaktadır.
5. SEM görüntülerine bakıldığında genel itibariyle, yüzeylerde homojen bir görünümün olduğu ve yüzeyde herhangi bir sıvanma, çökme veya yırtılma halleri görülmemiştir.
6. SEM görüntülerinde gözenekler görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, bu gözenekler yüzeye homojen ve sık bir şekilde yayılmıştır. Bu gözeneklere çalışma esnasında yağ dolarak yatak yağlanmasına katkıda bulunur. Ayrıca motorun ilk çalışma esnasında yeterli yağlama sağlanmadığı için gözeneklere dolan yağ, yağlama görevi yapar. Sonuç olarak gözenekler aşınmayı azaltıcı bir etkiye sahiptir.

7. Numuneler için yapılan X-Ray analiz sonuçları incelendiğinde, görülen element ve bileşimler EDS analizindeki elementer yapıya uygundur.
8. Yapılan mikrosertlik testinde krank milinden sonra en sert malzeme 63,5 HV ortalama sertlik değeri Zn-30Cu-20Al-10C-5O alaşım ile kaplı yatakta çıkmıştır. 42 HV ile ortalama sertlik değeri en düşük olan malzeme ise kaplanmamış yataktır. Bir numunede sertlik değerinin yüksek çıkmasında, alaşımda kullanılan elementlerin yüzdelik dilimleri önemli rol oynar. Üretilen alaşımlarda alüminyum ve bakır oranları sertliği belirleyici unsurlardır.
9. Alüminyum, bakır ve çinko, yatağa ve yatağın çalışma koşullarına uygun bir alaşım oluşturularak yatağın mukavemet değeri yükseltilebilir ve böylece yatak yüzey yapısı iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Priest, M., and Taylor, C. M., Automobile Engine Tribology Approaching The Surface , Wear, 241 (2), 193-203, 2000.
- [2]. Edward, P. Becker, Trends in Tribological Materials and Engine Technology, Tribology International, 37 (7), 569-575, 2004.
- [3]. You-Bai Xie, On The Tribology Design, Tribology International, 32 (7), 351-358, 1999.
- [4]. Halamoğlu, T., Metal Püskürtme Yöntemiyle Aşınmaya Dayanıklı Kaplamalar, Yüzey İşlemler Dergisi, Syf.154-159, 2003.
- [5]. Domke, W., Werkstoffkunde and Werkstoffprüfung. Verlag W. Girardet. Essen, Germany. 224-228; 332-341, 1987.
- [6]. Pamuk, U., Çimenoğlu, H., Plazma Spreylenmiş Cr₃C₂-NiCr Kaplamaların Abrasiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 291-296, 1997.
- [7]. Villat, M., Functionally Effective Coatings Using Plasma Spraying, Sulzer Technical Review, 3, 41-45, 1986.
- [8]. Thorpe, L.M., " Thermal Spray Industry ", Advanced Materials & Processes, 50-60, Oktober 1993.
- [9]. Akkurt, M., Makine Elemanları Cilt II, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1980.
- [10]. F.Küçükşahin, Diesel Motorları, 1999.
- [11]. Taylor, C. F., The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice Volume 2, Massachusetts Institute of Technology Press, Massachusetts, 1985.
- [12]. Can, İ., Kurşun Esaslı Krank Mili Kaymalı Yatak Malzemesinin Aşınma Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Elazığ, 2005.
- [13]. Çerik, H.V., 1996. Makine Bilgisi ve Makine Elemanları Cilt 1. Vefa Yayınevi, Ankara, 254 s.
- [14]. Koç, E., Makine Elemanları Cilt 2, Nobel Kitabevi, Adana, 2004.
- [15]. Akkurt, M., (1998) Makine Elemanları III Cilt.
- [16]. Niemann, İ.G., Makine Elemanları 2, Çev: Harzadın, G., Yurdakonar, S., Fon Matbaası, Ankara, 1973.”

- [17]. Uysal, Ü., Dairesel Cepli Hidrostatik Yataklarda Kayma Yüzeyindeki Sıcaklık Dağılımının Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1993.
- [18]. http://www.lamboweb.com/Repairs_Section/Diablo_Repairs_Removing_Engine_2.htm
- [19]. Engine Bearings, Applied Failure Analysis Reference Book, Caterpillar Inc., 1988.
- [20]. Kara, K., Krank Kol Yataklarının Aşınma Davranışının İşlem Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 1-112, 2006.
- [21]. Özdamar, İ., Yelken, B., Benzin Motorları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1979.
- [22]. Özsarac, U., Findik, F., and Durman, M., The Wear Behaviour Investigation of Sliding Bearings with a Designed Testing Machine , Materials & Design, In Press, Corrected Proof, Available online 25 July 2005.
- [23]. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi Kitabı, Makine Teknolojileri, Ankara. 2006.
- [24]. Akkurt, M. 1990. Makine Elemanları, Cilt I, İstanbul.
- [25]. Zhang, K. N.-Y. Tang., and A.B. Filc., A Practical Approach to Enhance Wear Resistance of Bearings in Molten Zinc, Sheridan Science and Technology Park 2380 Speakman Drive Mississauga, Ontario, Canada L5K 1B4, Ontario, Canada L5K 1B4.
- [26]. Zhang, K. Effects of Test Conditions on The Tribological Behaviour of a Journal Bearing in Molten Zinc, Science Direct, 1248-1253, 2005.
- [27]. Sudhakar, K.V., Failure Analysis of Automobile Bimetal Bearings, Engineering Failure Analysis, 221-225, 2002.
- [28]. Toru, D., Yasuaki, G., and Soj, K., Development of The Aluminium Alloy Bearing with Higher Wear Resistance, JSAE Review, 321-325, 2000.
- [29]. Ünlü, B.S., and Köksal, N.S., Saf Cu, Sn, Zn' den Üretilen Yatakların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 37-42, 2004.
- [30]. Ünlü, B.S., Bakır Esaslı CuSn10 ve CuZn30 Yataklardaki Alaşım Elementlerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklere Etkisi., Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 11-17, 2006.

- [31]. Pürçek, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Statik ve Dinamik Yük Altındaki Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 2000.
- [32]. Ünlü, B.S., Atik, E., Meriç, C., Effect of Loading Capacity (Pressure–Velocity) to Tribological Properties of CuSn10 Bearings, *Materials and Design*, 2160-2165, 2007.
- [33]. Zeren, A., Embeddability Behaviour of Tin-Based Bearing Material in Dry Sliding, *Materials and Design*, 2344-2350, 2007.
- [34]. Ünlü, B.S., Atik, E., Investigation of Tribological Properties of Boronized Fe-Based SAE 1020 and TS DDK 40 Journal Bearings At High Loads, *Materials and Design*, 1-26, 2009.
- [35]. Ünlü, B.S., Atik, E., Kalay -Kurşun Esaslı Yataklardaki Alaşım Elementlerinin Aşınmaya Etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1-5, 2005.
- [36]. Ünlü, B.S., Atik, E., Tribological Properties of Journal Bearings Manufactured from Particle Reinforced Al Composites, *Materials and Design*, 30, 1381-1385, 2009.
- [37]. Savaşkan, T., and Pürçek, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri, *Tr J Engin Environ Sci*, 25-34, 2000.
- [38]. Ünlü, B.S., Durmuş, H., and Akgün, S., Tribological and Mechanical Properties of Al Alloyed Bearings, *Journal of Alloys and Compounds*, 225-230, 2009.
- [39]. Koçak, H., Bakır Alaşımları El Kitabı, Sağlam Metal, SF. 9-62, İstanbul.
- [40]. Arslan, O., Bakır Sektör Profili, İstanbul Ticaret Odası, SF.1, 2006.
- [41]. Popescu, C. R., Processing and Characterisation of SiC-Fibre Reinforced Cu-Matrix Composites, Max Planck Enstitute, pp. 35-36, 2003.
- [42]. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Bakır>
- [43]. Ethem, M. Y., Bakırın Özellikleri, Alaşımları ve Mineralleri, Karadeniz Bakır İşletmeleri A.Ş, SF. 3, Ankara.
- [44]. Altınsoy, İ., Alümina Takviyeli Bakır Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 2009.

- [45]. Feng, A.H., Geng, L., Zhang, J., Yao, C.,K., "Hot Compressive Deformation Behaviour of Eutectic Al-Si Alloy Based Composite Reinforced with A-Si₃N₄ Whiskers", Materials Chemistry and Physics, Chiana,82:618-621, 2003.
- [46]. Ekinci, V.Ş., Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 2007.
- [47]. Turhan, H., Düşük Katkılı Kalay İçerikli Bronz Yatakların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 1998.
- [48]. Gıvertz, A.C., Zinc Casting Alloy-A Comparative Properties Analysis, Society of Automotive Engineers, Paper no 871953, 104-1067, 1988.
- [49]. Barnhurst, R.J., Bearing Design Manual, Noranda Sales Corporation Ltd, Toronto, 1988.
- [50]. Calayag, T., Zinc Alloys Replace Bronze in Mining Eguipment Bushing and Bearing, Mining Engineering, 727-728, 1983.
- [51]. Gervais, E., Levert, H. and Bess, M., The Development of a Family of Zinc-Based Foundry Alloys, Trans. Am. Foundrym. Soc, 183-194, 1980.
- [52]. Geng, H., and Ma, J., Friction and Wear of Al-Zn-Pb Bearing Alloy, Wear, 201-207, 1993.
- [53]. Zhu, Y., Yan, B., and Huang, W., Bearing Wear Resistance of Monotectoid Zn-Al Based Alloy (ZA-35), Materials Science and Technology, 109-113, 1995.
- [54]. Savaşkan, T and Murphy, S., Mechanical Properties and Lubricated Wear of Zn-25Al Based Alloy, Wear, 211-224, 1987.
- [55]. Savaşkan, T., The Structure and Properties of Zinc-Aluminium Based Bearing Alloys, Ph.D. Thesis, University of Aston in Birmingham, 1980.
- [56]. Ma, T., Chen, D. Q., Li, S.C. and Wang, H.M., Effect of Mn on Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-Al Alloy, Louyang Institute of Technology, Louyang, People's Repuclic of Chine, 1990.
- [57]. Durman, M. and Murphy, S., Precipitation of Metastabil ϵ -Phase İn A Hypereutectic Zinc-Aluminium Alloys Containing Copper, Acta Metal. Matter, 39, 2235-2242, 1991.
- [58]. Ekinci, S., Tuz Banyosunda Nitrürlemenin AISI 4140 Çeliği Üzerindeki Aşınmaya Etkisi, Y.Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005.

- [59]. Levent, M. Dişli Çarklarda Aşınma, Lisans Tezi, Konya, 2005.
- [60]. Yıldız, T., Gür, A.K. 2006. Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ.
- [61]. Ay, İ., Demircioğlu, T.K. 2006. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Balıkesir.
- [62]. Çaydaş, U., Hasçalı, A. 2005. CNC Tornada İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Teknoloji Dergisi, Sayı 2, Cilt 8, Sayfa 167-172. Elazığ.
- [63]. Çuvalcı, H., and Baş, H., Investigation of The Tribological Properties of Silicon Containing Zinc–Aluminum Based Journal Bearings, Tribology International, 37 (6), 433-440, 2004.
- [64]. Erdoğan, B., Dairesel Cepli Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yatakların Performansında Etkili Olan Parametrelerin Optimum Tasarımı, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, 2008.
- [65]. <http://itulabs.itu.edu.tr/Cihaz.aspx?CihazId=b3a6bed5-c610-42e7-9dc7-6065b9a2284e>
- [66]. Özçelik, S., Cu ve Fe Esaslı T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Konya, 2007.
- [67]. Demiral, M., C95200 ve C95300 Alüminyum Bronzlarının Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Karabük, 2005.
- [68]. Moustafa, S.F., EL-Badry, S.A., Sanad, A.M., and Kieback, B., Friction and Wear of Copper-Graphite Composites Made with Cu-Coated and Uncoated Graphite Powders, Wear, 253, 699-710, 2002.
- [69]. Alam, S., Sasaki, S., and Shimura, H., Friction and Wear Characteristics of Aluminum Bronze Coatings on Steel Substrates Sprayed by A Low Pressure Plasma Technique, Wear, 248, 75-81, 2001.
- [70]. Davim, J.P., An Experimental Study of The Tribological Behaviour of The Brass/Steel Pair, Journal of Materials Processing Technology, Volume 100, Issues 1-3, 273-277, 2000.
- [71]. Marczak, R.J., and Ciach, R., Tribological Properties of The Concentrated Al-Zn Alloys, Proct. 1st Europe Tribology Congress, London, 223-227, 1973.

- [72]. A. Bektaşoğlu, and T. Savaşkan, “Zn-60Al-(1-5) Cu Alaşımlarının Kuru Sürtünme Durumundaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi,” Mühendis ve Makine, vol. 46, pp. 31-39, 2005.
- [73]. Barnhurst, R.J., Metals Handbook, 10th Edition, Vol. 2, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 528-542, 1991.
- [74]. Savaşkan, T., and Ayar, H.H., Çinko-Alüminyum Alaşımlarının %2 HCl Sulu Çözelti Ortamındaki Korozyon Davranışının İncelenmesi, Korozyon, 8, 3-9, 1996.
- [75]. Özer, A., ZA8 Alaşımına Element İlavesinin Aşınma Özelliklerine Etkisi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Sakarya, 2006.
- [76]. Wakefield, E.C., Copper-Aluminium Zinc Alloy Excels in Tough Conditions, Design Engineering, 1-4., 1973.
- [77]. Lee, P.P., Savaşkan, T., and Laufer, E., Wear Resistance and Microstructure of Zn-Al-Si and Zn-Al-Cu Alloys, Wear, 117, 79-89, 1987.
- [78]. Pürçek, G., Savaşkan, T., Küçükömeroğlu, T., and Murphy, S., Dry Sliding Friction and Wear Properties of Zinc-Based Alloys, Wear, 252, 894-901, 2002.
- [79]. Halling, J., Principles of Tribology, The MacMillan Press, London, 214-219, 1975.
- [80]. Abou El-Khair, M.T., Daoud, A., and Ismail, A., Effect of Different Al Contents on The Microstructure, Tensile and Wear Properties of Zn-Based Alloy, Materials Letters, 58, 1754-1760, 2004.
- [81]. Savaşkan, T., Hekimoğlu, A.P., and Pürçek, G., Effect of Copper Content on The Mechanical and Sliding Wear Properties of Monotectoid-Based Zinc-Aluminium-Copper Alloys, Tribology International, 37, 45-50, 2004.
- [82]. Savaşkan, T., and Azaklı, Z., An Investigation of Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Comparison with SAE 65 Bearing Bronze, Wear, 264, 920-928, 2008.
- [83]. Aydın, M., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların Değişik Ortamlardaki Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Trabzon, 2001.
- [84]. Alemdağ, Y., and Savaşkan, T., Mechanical and Tribological Properties of Al-40Zn- Cu Alloys, Tribology International, 42, 176-182, 2009.

- [85]. Bach, F.W., and Duda T., Moderne Beschichtungsverfahren, DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V, Wiley-VCH, Weinheim-New York, 80-103, 2000.
- [86]. Alpay, A., Plazma Sprey ZrO₂ Termal Bariyer Kaplamasına Siliyum Karbür İlavesinin Kaplama Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 2000.
- [87]. Özel, S., Alüminyum Alaşımı ve Bronzu Yüzeyine Oksit ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması Araştırılması, Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Elazığ, 2009.
- [88]. Tucker, R.C., Thermal Spray Coatings, ASM Handbook, ISBN: 0-87170-384-2, Vol 5, Surface Engineering, Ohio, 499-509, 1994.
- [89]. Hazar, H., Bir Dizel Motoru Silindir Yüzeyinin Seramik Malzeme İle Kaplanarak Aşınma Davranışının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Elazığ, 2004.
- [90]. www.sulzermetco.com
- [91]. Lucscheider, E., and Jokiel, P., "Plasmaspritzen-Verfahren, Anwendungen, Entwicklungen", Metall, Heft 3 , 230-235, 1993.
- [92]. Esschnauer, H., and Lucscheider, E., Fortschritte Beim Thermischen Spritzen, Metall, Heft 3, 218-224, 1985.
- [93]. Kaya, A.Ö., Plazma Püskürtme ve HVOF Yöntemleri Kullanılarak, Cr₃C₂-NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı ve Yüzey Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Gebze, 2007.
- [94]. Herman, H., Plasma Spray Coatings, Scientific American, 78-83, 1988.
- [95]. Janes, S., Flame and Plasma Spraying, Handbook of Ceramics, Schmid Verlag, 1987.
- [96]. Metco Technical Bulletin, Beschichtungstechnologien, 1990.
- [97]. Kvernes, I., Lucscheider, E., and Lindblom, Y., Protection Materials: Coatings for Thermal Barrier and Wear Resistance, Proceedings II nd European Symposium on Engineering Ceramics, 48-79, 1987.
- [98]. ASM Handbook, Metallography and Microstructures of Zinc and Its Alloys, Metallography and Microstructures, ASM International, Vol 9, 933-941, 2004.
- [99]. <http://web.firat.edu.tr/fuemlab/sem.html>

- [100]. Kartal, M., Pb-Sn-Cu Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Mo, Sb, B ve B₂O₃ İlavelerinin Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğretim Kurumu Tez Arşivi, Elazığ, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Balıkesir’de doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Balıkesir’de tamamladım. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği programından mezun oldum. 2009 yılından bu yana aynı yerde Otomotiv Ana Bilim Dalı yüksek lisans eğitimime devam etmekteyim. 2009-2010 yılları arasında Balıkesir’de Balsür sürücü kursunda motor eğitmenliği yaptım. 2010 eylül ayından bu yana Hakkâri Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Ana Bilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.