

**Cu-Cr-Zr ALAŞIMINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN, ELEKTRİK  
İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**İbrahim SAĞLAM**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

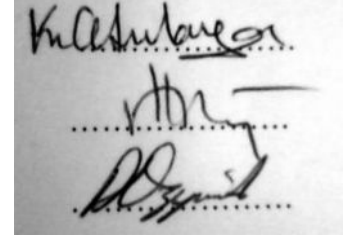
**KARABÜK**

**Ocak 2008**

## KABUL:

İbrahim SAĞLAM tarafından hazırlanan “Cu-Cu-Zr ALAŞIMINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN, ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17/01/2007

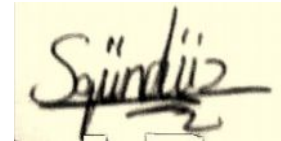
Başkan: Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Dursun Özyürek (KBÜ)



---

## ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 29/01/2008



Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

İbrahim SAĞLAM



## ÖZET

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **CU-CR-ZR ALAŞIMINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN, ELEKTRİK İLETKENLİĞİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**İbrahim SAĞLAM**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**Ocak 2008, 77 sayfa**

Bu çalışmada, 470°C, 500°C ve 530°C’de 60 dakika, 120 dakika ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımı kullanılmıştır. Yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımlarında yapıda oluşturulan çökeleklerin malzemenin elektrik iletkenliği ve aşınma dayanımına etkisi incelenmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesinde 920°C’de 60 dakika homojenize edilmiştir. Yaşlandırılan tüm malzemeler optik ve tarama elektron mikroskopları (SEM), EDS analizleri, X-ışını kırınımı (XRD), sertlik ölçümleri yapılarak karakterize edilmiştir. Karakterize edilen numunelerin elektrik iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde pin-on-disk tipi standart aşınma ünitesi kullanılmıştır. Bu testlerde 15N, 30N ve 45N olmak üzere üç farklı yük ve 250 metre, 500 metre, 750 metre ve 1000 metre olmak üzere dört farklı aşınma mesafesi kullanılmıştır. Kayma hızı 2.08 m/s olarak seçilmiştir. Yapılan testler sonucunda elektrik iletkenliğinin yaşlanma ısıl işlemi öncesine göre 60 dakika yaşlandırılan numunelerde azalırken 120 dakika ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerde arttığı belirlenmiştir. Yine

## **ÖZET (devam ediyor)**

EDS analizlerinde çökelekler incelendiğinde Cr oranının artmasıyla elektrik iletkenliğinin artığı tespit edilmiştir. 470°C, 500°C ve 530°C’de 60 dakika ve 120 dakika yaşlandırılan numunelerin sertlikleri artarken 180 dakika yaşlandırılan numunelerin sertliklerinde düşme olduğu belirlenmiştir. Yapılan aşınma testlerinde uygulanan yük ve aşınma mesafesindeki artışa paralel olarak aşınma miktarında artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en fazla aşınma yaşlandırılmamış ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerde gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cu-Cr-Zr, Aşınma, Yaşlandırma, Elektrik iletkenliği

**Bilim Kodu** : 626.08.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **AN INVESTIGATION ON WEAR BEHAVIOUR ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF A CU-CR-ZR ALLOY**

**İbrahim SAĞLAM**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Machine**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Kerim CETINKAYA**

**January 2008, 77 pages**

In this study, Cu-Cr-Zr alloy were aged at 470°C, 500°C and 530°C for the ageing times of 60, 120 and 180 min respectively. The effect of precipitates occurred after ageing on electrical conductivity and wear behaviour of alloy was investigated. Before ageing process, Cu-Cr-Zr alloy was solution treated at 900°C for 60 min. Test pieces aged under different conditions were characterised in terms of optic microscope, SEM, EDS, XRD and hardness. Electrical conductivity of aged test pieces was also measured. Wear test was carried out by using pin-on-disk type machine. In the wear test three different load (15, 30 and 45N) and four different distance (250, 500, 750 and 1000m) were used for the wear speed of 2 m.sn<sup>-1</sup>. It was observed that electrical conductivity decreased in the samples aged for 60 min compared to as-received sample. However, it increased in the samples aged for 120 and 180 min. Also EDS analysis indicated that an increase in electrical conductivity. Test pieces aged 470°C, 500°C and 530°C for 60 and 120 min showed an increase in hardness, but it decreased when the test pieces were aged for 180 min. Wear test showed that wear lost increased with the increase in

## **ABSTRACT (continued)**

load and distance. The highest wear lost was obtained for the as-received and samples aged for 180 min.

**Key Words:** wear, aging, CuCrZr alloys, Electrical conductivity

**Science Code:** 626.08.01



## TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmaların her safhasında yardımlarını esirgemeyen katkılarıyla beni sonuna kadar destekleyen ve yönlendiren değerli danıőman hocam Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA'ya ve bütün tez çalıőmalarımda laboratuvar imkânlarını sonuna kadar açan, beni sonuna kadar yönlendiren ve desteğini hiç esirgemeyen bilgilerinden ve tecrübelerinden devamlı yararlandığım saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e, ayrıca SEM ve EDS cihazlarında analiz yapabilmem için destek veren ve laboratuvarlarını bana açan değerli hocam Prof. Dr. Süleyman TEKELİ ve Öğr. Gör. Dr. Bülent BOSTAN 'a teşekkür ederim. Ayrıca yine çalıőmalarımda yardımlarından dolayı yüksek lisans öğrencisi Erkan KİBAR, Alper AYTAÇ'a, lisans mezunu Hüseyin Yalçınkaya 'ya ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini hep yanımda gördüğüm özellikle annem, kardeşlerime ayrıca sevgili eşim Elif SAĞLAM'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 BAKIR- KROM- ZİRKONYUM ALAŞIMLARI .....	3
2.1. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMININ TARİHÇESİ .....	4
2.2 ÇÖKELME MUKAVEMETLENMESİ .....	5
2.2.1 Çökeltme Sertleşmesi İşıl İşlemi .....	5
BÖLÜM 3 ELEKTRİK İLETİMİ VE ÖZELLİKLERİ .....	9
3.1.İLETKENLERİN ÖZELLİKLERİ .....	9
3.2 METALLERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ .....	10
BÖLÜM 4 AŞINMA.....	11

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1 AŞINMANIN TEMEL UNSULARI .....	12
4.1.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	12
4.2. TRİBOLOJİK SİSTEM.....	13
4.3. AŞINMA TEST MODELLERİ .....	15
4.4 AŞINMA VEYA YÜZEY DEFORMASYONU.....	17
4.5. AŞINMA ÇEŞİTLERİ .....	18
4.5.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması) .....	19
4.5.2 Abrasiv Aşınma Mekanizması .....	21
4.5.3 Yorulma Aşınması .....	23
4.5.4. Eroziyon Aşınma.....	24
4.5.5. Öğütme Aşınma.....	25
4.5.6. Oymalı Aşınma.....	26
4.5.7. Kazımalı Aşınma .....	26
4.5.8. Tribosüblimasyon ve Difüzyon Aşınması.....	26
4.5.9. Termal Aşınma (Termal etkenler) .....	28
4.6 AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	28
4.6.1 Tribolojik Sistemlerin Elemanlarına Bağlı Faktörler .....	28
<b>BÖLÜM 5 MALZEME VE METOT.....</b>	<b>31</b>
5.1 DENEYSEL MALZEME.....	31
5.2 DENEYSEL YÖNTEM .....	31
5.2.1. Yaşlanma Isıl İşlemleri .....	31
5.3 ELEKTRİK İLETKENLİK TEST İŞLEMLERİ.....	32
5.4. AŞINMA DENEY CİHAZI .....	32

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.5. AŞINMA TEST İŞLEMİ .....	34
5.6. KARAKTERİZASYON.....	35
5.6.1 Metalografik Numune Hazırlama.....	35
5.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ .....	35
5.8. OPTİK MİKROSKOP İNCELENMELERİ.....	35
5.9. TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ .....	35
5.10. ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMELESİ.....	35
5.11. X-RAY DİFFRAKTİYON (XRD) KIRINIMI.....	36
BÖLÜM 6 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA .....	37
6.1. MİKRO YAPI KARAKTERİZASYONU SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	37
6.1.1 Sertlik Değerlerinin İncelenmesi.....	37
6.1.2 SEM ve EDS İncelemeleri .....	39
6.1.3 XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	43
6.2. ELEKTRİK İLETKENLİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	44
6.3. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
6.3.1 Aşınma Testi Sonuçları.....	46
6.3.2 Aşınma Yüzeylerinin incelenmesi.....	52
BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	71

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.1 SONUÇLAR.....	71
7.2 AŞINMA DENEYLERİ İLE İLGİLİ ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Çökelme sertleşmesi faz diyagramı .....	5
4.1 Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı.....	15
4.2 Tribolojik sistemin elemanları.....	15
4.3 Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri.....	16
4.4 Şematik abrasiv aşınma test modelleri.....	16
4.5 Yüzey aşınma ve bozulmalarının sınıflandırılması .....	17
4.6 Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi a. iki çıkıntının buluşması ve bağ oluşturması b. bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu c. uzanmış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu. ....	20
4.7 Abrasiv aşınma şeması.....	22
4.8 İki elamanlı abrasiv aşınma.....	22
4.9 Üç elamanlı abrasiv aşınma.....	22
4.10 Yorulma aşınması şeması.....	24
4.11 Parçacıkların yüzeye çarpma açısının erozyon aşınma oranına bağlılığı .....	24
4.12 Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşum mekanizması.....	25
4.13 Yüzeyler arası malzeme transferi. ....	27
5.1 Elektrik iletkenliği deney cihazı.....	32
5.2 Aşınma test cihazının şematik görünüşü.....	33
5.3 Aşınma test cihazının veri-akış şeması.....	34
6.1 Cu-Cr-Zr alaşımının yaşlandırma sıcaklığına göre sertlik değerleri .....	38
6.2 a. Yaşlandırılmamış, b.500°C 60 dakika, c. 500°C 120 dakika ve d. 500°C 180 dakika yaşlandırılan numunelerin SEM ve EDS sonuçları.....	41
6.3 Cu-Cr-Zr alaşımının XRD sonuçları.....	44
6.4 Yaşlandırma sıcaklığına göre elektrik iletkenlik (% IACS) değerleri.....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 15 Newton yük uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış, 470°C 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları	47
6.6 30 Newton yük uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış, 470°C, 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları.....	49
6.7 45 Newton yük Uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış (920-60) , 470°C 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 Dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları.....	51
6.8 Yaşlandırılmamış numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri. a)15N, b)30N, c) 45 N.....	52
6.9 Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımının numunenin aşınma oranları .....	53
6.10 Yaşlandırılmamış numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	54
6.11 470°C'de yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeylerinin SEM Görüntüleri.....	55
6.12 470°C'de yaşlandırılan numunenin aşınma oranları.....	56
6.13 470°C'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin, sürtünme katsayısı sonuçları.....	57
6.14 470°C'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin, sürtünme katsayısı sonuçları.....	58
6.15 470°C'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	58
6.16 500°C yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri. ....	60
6.17 500°C yaşlandırılan numunenin aşınma oranı.....	61
6.18 500°C 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları .....	62
6.19 500°C 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	63
6.20 500°C 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	63
6.21 530°C Yaşlandırılan numunelerin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri .....	65
6.22 530°C'de yaşlandırılan numunenin aşınma oranı.....	66
6.23 530°C 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları .....	67
6.24 530°C 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	67
6.25 530°C 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları.....	68



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan Cu-Cr-Zr alaşımının kimyasal bileşimi.....	31



## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

mg	: mili gram
F	: kuvvet
Cu	: bakır
N	: newton
Cr	: krom
m	: metre
Zr	: zirkonyum
g	: gram
$\Delta m$	: kütle kaybı
$\rho$	: yoğunluk
t	: alınan yol
V	: hacim kaybı
dv/dk	: devir/dakika

### **KISALTMALAR**

GP	: guiner-preston
----	------------------



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz teknolojileri her zaman gelişme ve daha iyi malzeme üretme arzusunda. Yeni ve en iyiyi üretme de insan ihtiyaç ve isteklerine göre şekillenir. Otomotiv gibi insanların bu isteklerine göre gelişen sektörlerde kaynak ve kaynak teknolojileri büyük önem taşır. Bu açıdan sektörde kullanılan bazı ekipmanların elektrik iletkenliğinin ve aşınma dayanımının iyi olması istenir.

Bakır alaşımları yüksek performansları sebebiyle iletkenliğin önemli olduğu alanlarda yaygın olarak kullanılan çok önemli alaşımlardır. Bu alaşımların en büyük dezavantajları mekanik özelliklerinin (özellikle aşınma dayanımı) düşük olmasıdır. Alaşımlandırma işlemlerinin yanında, uygulanan ısı işlemlerle bu özellikleri geliştirilmektedir (Juan-hua Su et al., 2006). En yaygın kullanılan ısı işlemi ise yaşlandırma ısı işlemleridir. Yaşlandırma ısı işlemi bakır alaşımlarının mekanik ve elektrik iletkenliği özelliklerinin olumlu bir şekilde artmasına neden olan ve en çok kullanılan yöntemlerden birisidir (Holzwardt et al., 2002; J.P. Tu et al., 2002). Bu yüzden Cu-Cr-Zr alaşımlarında iyi dayanım ve elektrik iletkenliği istendiğinde yaşlandırma ısı işlemi kullanılmaktadır. Cu-Cr-Zr alaşımlarında yüksek sertlik, yaşlanma ile yapıda çökelekler boyunca meydana gelen dislokasyonlar ve çökeleklerin oluşmasıyla elde edilen dağılım mukavemetlenmesi sebebiyle elde edilmektedir.

Cu-Cr-Zr alaşımları otomotiv sektörünün yanı sıra yüksek elektrik iletkenliklerinden dolayı metro ve raylı sistemlerde akım geçiş hatlarında bağlantı elemanları olarak tercih edilmektedir (Durashevich et al., 2003). Bu nedenle bu alaşımların elektrik iletkenliklerinin yanı sıra aşınma özellikleri de önemli olmaktadır. Bu alaşımlar demir esaslı malzeme ile karşılaştırıldığında daha düşük aşınma direncine sahiptir (Straffelini et al., 2005). Yapılan yaşlandırma ile mukavemet sertliği artırılarak aşınma dayanımları (özellikle yüzey sertlikleri artırıldığında, düşük oranlarda alaşımlandırılarak yüksek termal iletkenlik de arttırmaktadır) iyileştirilebilir (Straffelini et al., 2005).

Bu çalışmada, düşük oranlarda alaşımlandırılarak katı eriğik mukavemetlenmesi ile dayanımı artırılmış Cu-Cr-Zr alaşımları kullanıldı. Bu alaşım dayanımı ve elektrik iletkenliği daha da arttırmak ve optimum dayanım/iletkenlik değerlerinin elde edilmesi için yaşlandırma ısıl işlemleri uygulandı. Deneysel alışmalar ile yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında elektrik iletkenliği/aşınma dayanımı üzerine yapıda oluşan çökeleklerin etkilerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

## BÖLÜM 2

### BAKIR- KROM- ZİRKONYUM ALAŞIMLARI

Yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda Cu-Cr-Zr alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır. Kullanım alanlarına her geçen gün bir yenisi eklenen ve özellikleri sürekli geliştirilmekte olan bu alaşımların uygulama alanları olarak; kontak malzemeleri, elektrik direnç kaynağı elektrotları, motor parçaları ve son yıllarda kırılma tokluğunun istenen değerlere ulaşması sonucunda nükleer uygulamalarda özellikle füzyon reaktörleri gösterebiliriz. Cu-Cr-Zr alaşımları çökeltme sertleştirilmesi ve yaşlandırma işlemlerinden sonra sahip oldukları yüksek sertlik, mukavemet ve yüksek yorulma dayanımı özelliklerini kazanırlar (Yıldız, 2006).

Yüksek elektrik iletkenliği Cr ve Zr'un Cu içerisinde çok az çözünebilmesinden dolayıdır. Bu elementlerin az çözünmesi ile bakır atomlarının dış yörüngesinde ki elektronların birbirine daha yakın olması elektrik iletkenliğinin artma nedenidir. Böylelikle doğal yaşlanma ve bölgesel dispersiyon dayanım mekanizmaları sayesinde yüksek dayanımlar elde edilebilmektedir. Mikroyapının kontrolü ve alaşımlama üretim tekniklerinin optimize edilmesi gibi özelliklerin geliştirilmesi için Cu-Cr-Zr alaşımının faz bileşimi büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, alaşımın fazları için tam bir fikir birliği oluşmamıştır (Yıldız, 2006).

Yapılan bir çalışmada 873-1313 °K sıcaklıkları arasında %3,5 Cr-%3,5 Zr aralığındaki bileşimler ile Cu-Cr-Zr üçlü faz diyagramının Cu zengin köşelerin oluşturulması üzerine yoğunlaşmıştır. 1213 °K'de Cu fazı Cr, Cr<sub>2</sub>Zr, Cu<sub>3</sub>Zr ve sıvı faz ile denge oluşturmakta ve böylece Cu + Cr + Cr<sub>2</sub>Zr, Cu + Cr<sub>2</sub>Zr + L ve Cu + L + Cu<sub>3</sub>Zr izotermal kesitte üç faz üçgeni gözükmemektedir (Yıldız, 2006).

Günümüzde yürütülen araştırmalarda ve yapılan çalışmalarda, tekniğin ve endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, arı malzemeler çeşitli yöntemlerle geliştirilmekte ve istenilen özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmektedir (Yıldız, 2006).

İşte bu nedenle, özellikle yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra ısı ve elektrik iletkenliklerinin de birlikte istendiği durumlarda Cu-Cr-Zr alaşımlarının kullanımı önem kazanmaktadır (Yıldız, 2006).

Koruyucu atmosfer altında gerçekleştirilen çözeltiye alma işlemi ile eriyik metalin oksitlenmesi önlenmekte ve uygun sıcaklık ve sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanarak optimum mekanik ve elektriksel özellikler sağlanabilmektedir. Ayrıca bakır-krom alaşımlarına kompozit malzeme üretiminde kullanılan mikro alaşımlama yöntemi ile ilave edilen zirkonyum ile artan sıcaklıkta sertlik değerlerinde yüksek artışlar sağlandığı yapılan bilimsel çalışmalarda öne sürülmüştür (Yıldız, 2006).

## **2.1. BAKIR-KROM-ZİRKONYUM ALAŞIMININ TARİHÇESİ**

İlk zamanlarda ticari alanda pek rağbet görmeyen Cu-Zr alaşımları ancak 1936 yılında kullanılma fırsatı bulmuştur. Patenti Mallory'e verilen, %0.1-0.5 Zr içeren Cu-Zr alaşımı direnç kaynağında elektrot malzemesi olarak ve patenti Philips'e verilen, %0.1 - 3 Zr içeren Cu-Zr alaşımı elektronik uygulamalarda destekleyici tel malzemesi olarak kullanılmıştır (Yıldız, 2006).

1830' dan beri gümüş kaplama uygulamalarında yüksek iletkenlik gereksiniminden dolayı yüksek sıcaklıkta tavlınmış yüksek iletkenlikli bakır kullanılmaktaydı. Zaman içerisinde yaklaşık % 1 Cd yada Cr içeren bakır alaşımlarının %15-20 düzeyinde iletkenlik kaybına uğramaları pahasına, bakır-gümüş alaşımlarına nazaran daha yüksek tavlama sıcaklığına sahip oldukları anlaşıldı (Yıldız, 2006).

Yapılan çalışmaların amacı makul fiyatlarda olmak üzere en az %90 elektrik iletkenliğine ve 400 °C üzerinde tavlama sıcaklığına sahip, oda sıcaklığında Cu-Ag alaşımlarına göre daha yüksek dayanıma sahip değiştirici malzemeleri elde etmektir. 1956-1957 yıllarında serbest



oksijenli bakıra %0,18-0,35 zirkonyum ilavesiyle elde edilen alaşımın istenen özelliklere sahip olduğu görüldü (Yıldız, 2006).

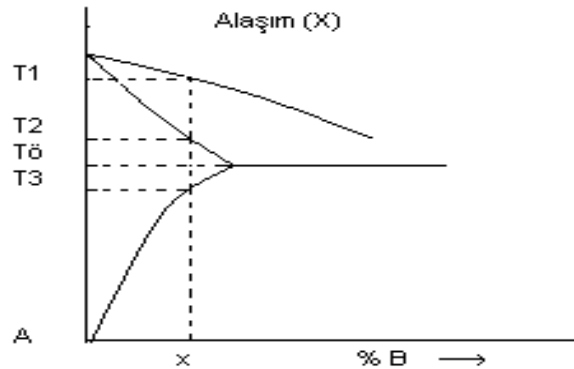
1960 yılında Saarivita zirkonyumun bakır içindeki katı çözünürlüğünü yeniden incelemiş ve 980 °C olan ötektik sıcaklığında maksimum %0,15 çözünürlüğe ulaştığını belirtmiştir (Esiz, 2003).

## 2.2 ÇÖKELME MUKAVEMETLENMESİ

Bir malzemenin plastik şekil değiştirmeye karşı direncinin artırılmasında farklı mukavemetlenme mekanizmaları aktiftir. Malzeme içerisine alaşım elementleri, malzemede arzu edilen özellikleri sağlayabilmek amacıyla ilave edilir. Alaşım elementlerinin katı çözelti içerisine alınması malzemede elektrik iletkenliği ve süneklik değerinde azalma, sertlik ve mekanik özelliklerde artma şeklinde kendini gösterir (Yıldız, 2006).

### 2.2.1 Çökeltme Sertleşmesi Işıl İşlemi

Çökeltme sertleşmesi, bazı alaşımlar için sertlik ve dayanımı arttırmak için geliştirilmiş temel sertleştirme mekanizmasıdır ve çözünme temel karakteristiği ile ilgilidir. Bu yöntem genelleştirilmiş olarak Şekil 2.1 'deki şematik diyagramla ifade edilebilir. Sıvı X alaşımı hızlı (denge dışı) soğutulursa, T1 sıcaklığında katılaşmanın başladığını T2 sıcaklığında bittiği bilinmektedir. T3'e erişine kadar fazda herhangi bir değişiklik olmaz (Yıldız, 2006).



Şekil 2.1 Çökeltme sertleşmesi faz diyagramı

Hızlı soğutma ile ikinci faz tane sınırları boyunca ve kayma düzlemlerinde çökeler. Bu çökelen faz aslında esas metal, eriyik metal veya bir ara faz olabilir. Başka bir deyişle, aşırı soğutma hızında aşırı doymuş katı eriyik elde edilir. Gerçekte T2 ve T3 sıcaklıkları arasında, hızlı soğuma, çoğu alaşımda, çözeltideki bütün ikinci faz içeriğini muhafaza etmeye müsaade etmek için yeterlidir. Çözeltideki B elementi atomları fazla olduğundan çökeltme oluşma eğilimi vardır. İşlem boyunca çökeltmenin meydana gelip gelmemesi difüzyon hızına bağlıdır. Difüzyon yeterince hızlı ise, çökeltme oda sıcaklığında meydana gelir. Bu durumda alaşım doğal yaşlanır. Çoğu alaşımda, oda sıcaklığında difüzyon çok yavaştır. T3'den daha düşük sıcaklıklara ısıtma, difüzyonu artırır ve çökeltmeye müsaade eder. Bu durumda alaşım yapay olarak daha hızlı yaşlanır. Çökeltme sertleşmesi üç temel aşamayı izleyen işlem gerektirir (Yıldız, 2006).

1. Çözündürme ısıl işlemi
2. Hızlı soğutma
3. Yaşlandırma işlemi

#### **2.1.1.1 Çözündürme Isıl İşlemi**

Alaşım, Şekil 2.1'de belirtilen T3 sıcaklığının üzerine (solvüs bölgesine) ısıtılması ve homojen yapı elde etmek için bir süre bekletilmesi gerekir. T3, müsaade edilen tam çözünme için en düşük sıcaklıktır ve T<sub>0</sub>-T2 yarı kararlı olabilen ötektik erimesinden kaçınmak için kullanılan maksimum sıcaklıktır. Pratikte mümkün olan en yüksek sıcaklık, en hızlı difüzyon şartlarının sağlanması için kullanılır (Yıldız, 2006).

#### **2.1.1.2 Hızlı Soğutma**

Solusyona alınarak çözündürme işlemi yapılan malzeme düşük sıcaklığa (genelde oda sıcaklığına) hızlı olarak soğutulur (suda soğutma). Soğutma ortamı oda sıcaklığında ve genellikle sudur. Suda hızlı soğutmadan sonra alaşım (yapı) aşırı doymuş katı çözelti içerir. Herhangi bir alaşımın yapısı, düşük sıcaklığa hızlı soğutmadan sonra  $\alpha$  fazının aşırı doymuş katı çözeltisini içerir (Yıldız, 2006).

### 2.1.1.3 Yaşlandırma (Çökeltme) İşlemi

Yaşlandırma işlemi, sertlik ve dayanımda arzu edilen artma meydana gelinceye kadar malzemeyi uygun sıcaklıkta tutmayı gerektirir. Alaşımda ince dağılımlı çökeltinin oluşturulması, çökeltme sertleşmesi işleminin temel amacıdır. Aşırı doymuş çökelti kararsız olduğundan, ikinci faz çökeltmesine eğilimlidir. İşlem sıcaklığında  $\alpha$  çözeltisinin kabul etmek istemediği fazla B elementi atomları belli kristalografik düzlemlere doğru difüze ederler (Yıldız, 2006).



## BÖLÜM 3

### ELEKTRİK İLETİMİ VE ÖZELLİKLERİ

Bir maddenin iletkenliğini belirleyen en önemli faktör, atomlarının son yörüngesindeki elektron sayısıdır. Bu son yörüngeye "Valans Yörünge" üzerinde bulunan elektronlara da "Valans Elektron" denir. Valans elektronlar atom çekirdeğine zayıf olarak bağlıdır. Valans yörüngesindeki elektron sayısı 4'den büyük olan maddeler yalıtkan 4'den küçük olan maddeler de iletkenlerdir. Örneğin bakır atomunun son yörüngesinde sadece bir elektron bulunmaktadır. Bu da bakırın iletken olduğunu belirler. Bakırın iki ucuna bir elektrik enerjisi uygulandığında bakırdaki valans elektronlar güç kaynağının pozitif kutbuna doğru hareket eder. Bakır elektrik iletiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sebebi ise maliyetinin düşük olması ve iyi bir iletken olmasıdır. En iyi iletken altın, daha sonra gümüştür. Fakat bunların maliyetinin yüksek olması nedeniyle elektrik iletiminde kullanılmamaktadır (URL-1, 2007).

#### 3.1.İLETKENLERİN ÖZELLİKLERİ

- Elektrik akımını iyi iletirler.
- Atomların dış yörüngesindeki elektronlar atoma zayıf olarak bağlıdır. Isı, ışık ve elektrikselsel etki altında kolaylıkla atomdan ayrılırlar.
- Dış yörüngedeki elektronlara valans elektron denir.
- Metaller, bazı sıvı ve gazlar iletken olarak kullanılır.
- Metaller, sıvı ve gazlara göre daha iyi iletkenlerdir.
- Metaller de, iyi iletken ve kötü iletken olarak kendi aralarında gruplara ayrılır.

- Atomları 1 valans elektronlu olan metaller, iyi iletkenlerdir. Buna örnek olarak, altın, gümüş, bakır gösterilebilir.
- Bakır tam saf olarak elde edilmediğinden, altın ve gümüşe göre biraz daha kötü iletken olmasına rağmen, ucuz ve bol olduğundan, en çok kullanılan metaldir.
- Atomlarında 2 ve 3 valans elektronu olan demir (2 dış elektronlu) ve alüminyum (3 dış elektronlu) iyi birer iletken olmamasına rağmen, ucuz ve bol olduğu için geçmiş yıllarda kablo olarak kullanılmıştır.

### **3.2 METALLERİN ELEKTRİK İLETKENLİĞİ**

- Bir kristale elektrik akımı verdiğimizde elektronların, kristaldeki bağ türüne bağlı hareket kazanmaları ile ya iletkenlik oluşur veya elektronlar elektrik akımı altında hiç hareket edemezler, o zaman da kristallerde yalıtkanlık özelliği meydana gelir.
- Metal atomları arasında metalik bağ vardır. (demir atomunun kristal yapısının modeli) Metallerde elektrik akımı iletkenliği değerlik elektronlarının hareketliliği ile ilgilidir. Metallerin son yörüngelerinde az sayıda elektron ve bu elektronların hareket edebileceği boş değerlik orbitalleri vardır.
- Elektronların bu değerlik orbitallerinde hareketli, bir elektrona birden fazla atoma ait olma özelliği kazandırır. Metal kararlı yapı kazanır. Bu hareketlilik aynı zamanda elektrik akımı iletkenliğine sebep olur (URL-1, 2007).

## BÖLÜM 4

### AŞINMA

Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenlere bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybıdır. Birbiriyle temas halindeki iki cisim arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir. Bu şekilde, yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon yerine getirilemez (Sağlam, 2006).

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve karmaşık bir sistem özelliği gösteren aşınma, korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenle araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji ve malzeme israfı da önlenmiş olur (Sağlam, 2006).

Çeşitli makine elemanlarının, mühendislik malzemelerinin kullanım ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma verilememekle ve birbiri ile sürtünerek çalışan makine elemanlarının temas yüzeyleri zamanla aşınarak değişikliğe uğramaktadır (Sağlam, 2006).

Aşınmanın bir tanımı yapılacak olursa;

1) Relatif hareket ve yüzey basıncı altında kalan iki cismin teması sonucu oluşan mekanik enerjinin tesiri ile malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması sonucu meydana gelen malzeme yıpranmasıdır (Meyveci, 2007).

2) Mekanik etkenler ile cisimlerin yüzeyinde zamanla oluşan malzeme kaybıdır (Meyveci, 2007).

Ayrıca aşınma, dış etkiler altında temas yüzeylerinde meydana gelen fiziki değişmelerin sonucu meydana gelmektedir (Sağlam, 2006). Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için bazı şartların gerçekleşmesi gerekir. Bunlar;

- 1) Mekanik bir etken olması,
- 2) Sürtünmenin (bağlı hareketin) olması,
- 3) Yavaş ve devamlı olması,
- 4) Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- 5) İstem dışında meydana gelmesidir.

#### **4.1 AŞINMANIN TEMEL UNSULARI**

Aşınmanın gerçekleşmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir (Meyveci, 2007). Çünkü üretim tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkânsızdır. Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki pürüzler karşılıklı etkileşir. İlk temas, pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yüklemenin şekli ve yük temas alanının büyüklüğünü etkiler. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekil değişimine uğrar, yani ezilir ve bunun sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler birbiri ile temas ederler. Yüklemenin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır (Meyveci, 2007). Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır. Temasta olan cisimlere bağlı hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme enerjisine ve aşınmaya dönüşür (Meyveci, 2007).

##### **4.1.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

###### **4.1.4.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler**

- Malzemenin kristal yapısı,
- Sertliği,



- Elastik modülü,
- Deformasyon özellikleri,
- Yüzey pürüzlülüğü,
- Boyutu dur.

#### **4.1.4.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi Ortamın Etkisi**

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

#### **Servis koşulları**

- Basınç
- Hız
- Kayma mesafesi

## **4.2. TRİBOLOJİK SİSTEM**

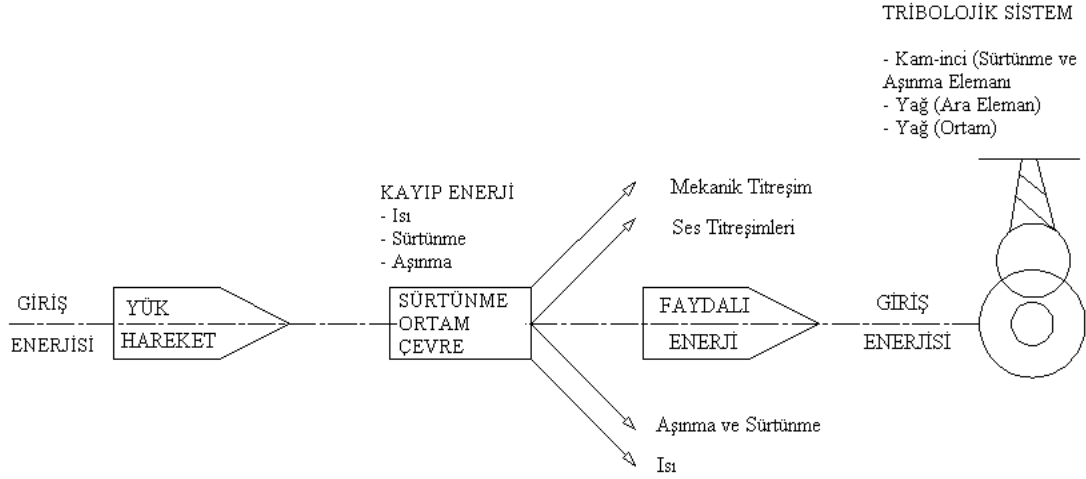
Triboloji, “bir izafi hareket içinde bulunarak birbirlerine etki eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimi veya tekniği” olarak tanımlanmaktadır. Triboloji; sürtünme, aşınma ve yağlamanın bilimsel incelenmesini ve tribolojik bilgilerin teknik uygulanmasını içermektedir (Sağlam, 2006).

İçinde aşınma ve sürtünme olaylarının gerçekleştiği teknik sistemlere tribolojik sistem denilmektedir. Mühendislik malzemelerinin aşınma davranışlarının araştırılmasında mekanik sistemleri bir tribolojik sistem olarak dikkate almak gerekir. Yani aşınma olayı bir sistem bütünlüğü içinde ele alınmalıdır (Sağlam, 2006). Şekil 4.1’de bir tribolojik sisteme giren enerji dağılımı, Şekil 4.2’ de ise tribolojik sistemin elemanları görülmektedir.

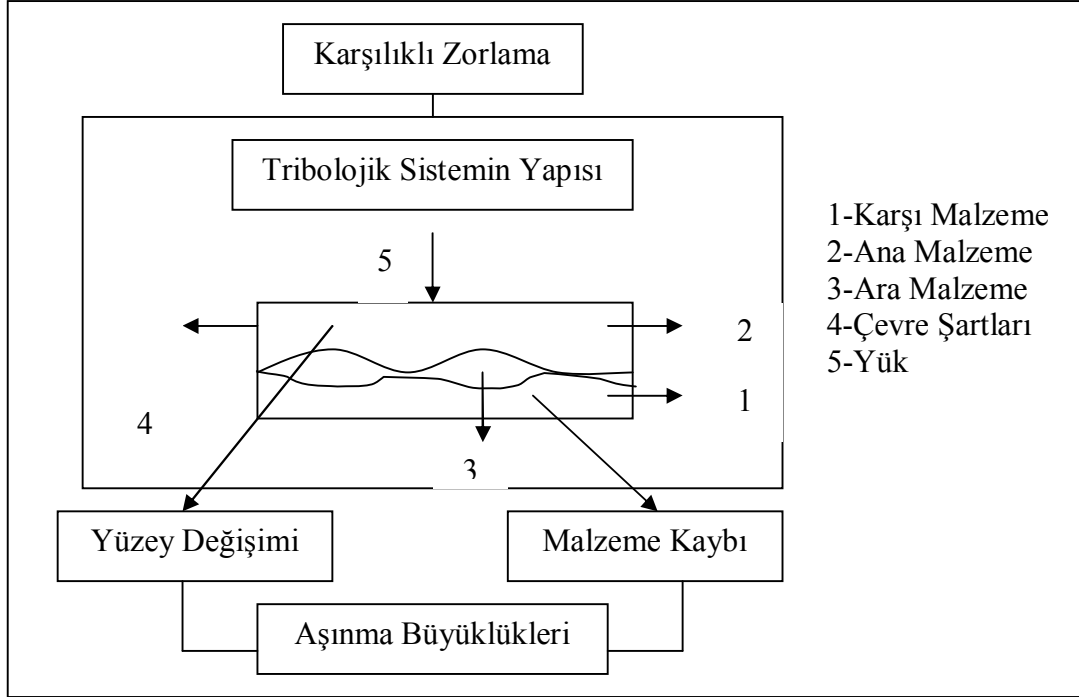
Tribolojik sistemi oluşturan unsurlar, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, hareket ve çevreden oluşmaktadır. Bir tribolojik sistem bu unsurların birçoğunu içinde bulundurur. Aşınma çiftini oluşturan ana malzeme ve karşı malzeme aralarında belirli bir ara malzeme varken az veya çok yük altında hareket ettiklerinde aşınma başlar. Ana malzeme; metal, mineral, plastik, kauçuk, ağaç, deri v.s. gibi aşınma karakteristiğine önem verilen katı cisimdir. Aşındıran malzeme ise metal, mineral, plastik, ağaç v.s. şeklinde katı olabileceği gibi sıvı veya gazlarla karışım durumunda da olabilir. Ara malzeme ise yağlar, aşınma parçacıkları v.b. olabildiği gibi bazen hiçbir madde olmayabilir. Endüstride çoğu zaman aşınma parçacıkları yüzeylerden temizlenememektedir. Böyle durumlarda arada yağlayıcı da yoksa teknik de kuru sürtünmeden söz edilir. Çevre çalışma ortamıdır. Yükleme darbeleri, darbesiz, sabit, değişken v.s. şeklinde veya bunların birden fazlasının bir arada bulunması halinde olabilmektedir. Hareket ise kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, darbe gibi biçimlerde olabilir (Sağlam, 2006).

Tribolojik sistemde ortaya çıkan aşınma mekanizmaları da farklıdır. Adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, triboksidasyon aşınması gibi mekanizmalarla tanımlanan aşınma, tribolojik sistem içerisinde genellikle tek başlarına bulunmazlar ve etkin oranları kesin olarak belirlenemez. Ancak etken olan aşınma mekanizmasına göre önlemler yoğunlaştırılabilir (Sağlam, 2006).

Tribolojik test cihazları, gerçek sistemlerde etkenlerinin analiz edilebilmesinin zorluğu ve ölçümlerin uzun sürelerde ve güçlkle yapılabilmesinden dolayı model sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Araştırmacılar genellikle inceledikleri sistemi dikkate alarak çalışmalarında kullanacakları aşınma test cihazlarını seçerler ve tasarlarlar. Bu seçim veya tasarımlarda, gerçek sistemi oluşturan tribolojik unsurları sağlayabilen ve sonuçları büyük oranda tekrarlayabilen cihazların belirlenmesi önemlidir. Aşınma test cihazları kısmen standartlaştırılmıştır (Sağlam, 2006). Ancak standart test cihazlarında her sistemin şartlarını bulmak mümkün olmamaktadır.



Şekil 4.1 Tribolojik sisteme giren enerji dağılımı (Meyveci, 2006).

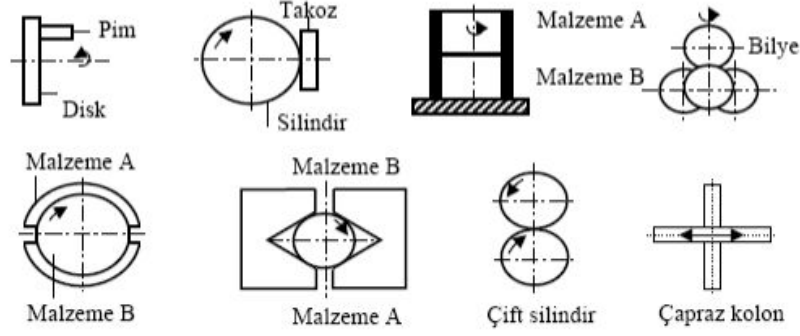


Şekil 4.2 Tribolojik sistemin elemanları (Meyveci, 2007).

### 4.3. AŞINMA TEST MODELLERİ

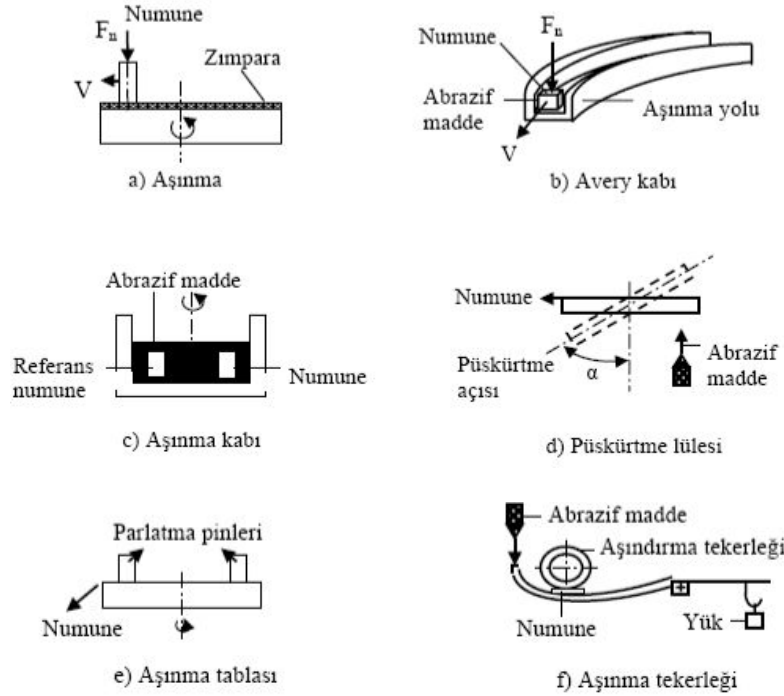
Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standartlaştırılan model cihazların geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribo sistemi oluşturan unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması, sonuçların tekrarlanabilir olması bu cihazlardan

beklenen özelliklerdir. Kayma sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil 4.3 'de şematik olarak gösterilmiştir (Sağlam, 2006).



Şekil 4.3 Şematik kayma sürtünmesi ve aşınma test modelleri (Handbook, 1992).

Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında ve yalnız karşı malzeme aşınmasının ölçüldüğü aşınma test cihazı modelleri de şematik olarak Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Şematik abrasiv aşınma test modelleri (Handbook, 1992).

Model aşınma test cihazlarıyla yapılan testlerin amaçları genellikle aşağıdaki gibi sıralanabilir (Sağlam, 2006);

- Sistem elemanlarının verimini, ömrünü, güvenilirliğini, fonksiyonunu, bakım yapılıp yapılmaması gerektiğini belirlemek, kalite kontrolünü yapmak,
- Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarını belirlemek,
- Malzeme kayıplarını araştırmak,
- Yeni malzeme veya sürtünme ve aşınma azaltıcı yöntemleri geliştirmek.

#### 4.4 AŞINMA VEYA YÜZEY DEFORMASYONU

Yüzey deformasyonu ve bozulma nedenleri çok geniştir. Önemli tribolojik yüzey bozulmalarının sınıflandırılması Şekil 4.5 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Yüzey aşınma ve bozulmalarının sınıflandırılması (Handbook, 1992).

Yüzey aşınma ve bozulmalarının sınıflandırılmasını sırası ile açıklarsa;

- Yüzeydeki yapısal değişiklikler, yüzey kaplama veya kristalleşme gibi yüzey değişiklikleri yüzeyin mekanik deformasyonuna yol açabilir. Yüzeydeki yapısal değişiklikler aşınmayı gerektirmez, fakat dış yüzeyin mekanik özelliklerini değiştirebilir ve aşınma durumunu başlatabilir veya diğer çeşitli yarılmaları oluşturabilir (Sağlam, 2006).

- Plastik deformasyon, yüzeyde termal genişleme ve azalmalar veya mekanik gerilmelerin etkisiyle oluşur. Yüzey bölgesinin plastik deformasyonu, dereceli aşındırmayı gerektirmemesine rağmen sonuçta tehlikeli yarılmalara öncülük edebilecek önemli yüzey hasarlarının meydana gelmesi muhtemeldir (Sağlam, 2006).

- Yüzey bölgesindeki çatlamlar, aşırı yüzey gerilmeleri, yorulma deformasyonları ya da tekrar eden termal değişikliklerin nedeni olabilir (Sağlam, 2006).

- Korozyon ve diğer kimyasal etkiler, başlıca aşınma mekanizmasında yer alabilir. Kimyasal etkiler çatlağın genişlemesini hızlandırır ve yüzey kayıplarının da nedenidir (Sağlam, 2006).

- Aşınma veya yüzey hasarı, çeşitli aşınma çeşitleri ile mikroskobik parçacıklar şeklinde yüzeyden sürekli malzeme kayıplarını içerir. Neticede aşınma mekanizması hem mekanik hem de kimyasal olabilir (Sağlam, 2006).

- Aşınan malzeme taneleri karşı yüzeye transfer olur. Yüzeyde sürtünmeden dolayı oluşan aşırı ısınmanın etkisi ile aşınan tozlar toplanarak ara yüzeyde üçüncü yüzey tabakası meydana getirirler bu durum uygun kayma sürtünmesinin de nedenidir (Sağlam, 2006).

#### **4.5. AŞINMA ÇEŞİTLERİ**

Birçok araştırmacı, malzemelerin aşınması üzerine yaptıkları araştırmalar sonucu aşınmayı farklı farklı sınıflandırmışlardır (Meyveci, 2007).

- 1) Adhesiv aşınma
- 2) Abrasiv aşınma
- 3) Ablativ aşınma

- 4) Yorulma aşınma
  - 5) Eroziyon aşınması
  - 6) Öğütme aşınma (Grinding wear)
  - 7) Oymalı aşınma (Gouging wear)
  - 8) Kazımalı aşınma (Fretting wear)
  - 9) Tribosüblimasyon ve difüzyon aşınması
  - 10) Termal aşınma (Termal etkenler)
- En genel olarak bilinenleridir.

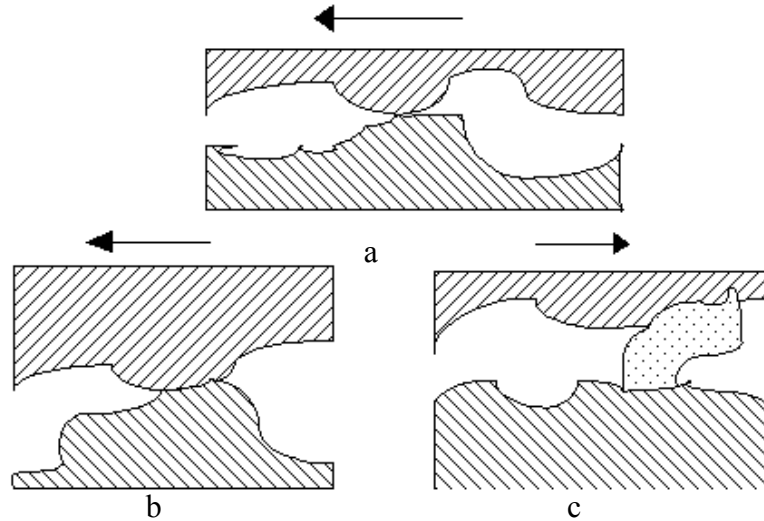
#### **4.5.1. Adhesiv Aşınma Mekanizması (Yapışma Aşınması)**

Kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen bir kuvvet, temasla olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç, bu noktalardaki gerilme pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaklanmalarına neden olurlar. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro adhesiv temas yüzeyi boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklanmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur (Meyveci, 2007).

Aşınma çiftinin yüzeyleri arasındaki tutma kuvvetleri (adhesiv bağ mukavemetleri) eşit büyüklükte ise veya adhesiv bağ mukavemeti büyük ise pürüz kopar ve malzeme kaybına neden olur. Eğer adhesiv bağ kuvveti pürüz mukavemetinden küçükse, pürüz kaynak noktasından kopar ve hiç bir malzeme kaybına neden olmaz. Adhesiv aşınması sırasında iki sürtünme yüzeyi arasında üçüncü bir cisim meydana gelmektedir. Özellikle adhesiv aşınmada kırılan parçalar ara yüzeyde serbest kalabileceği gibi metallere birine bağlı kalarak da taşınabilirler. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye taşınmasına metal transferi denir (Meyveci, 2007).

Adhesiv aşınma sırasındaki oksitlenme olayını, korozif aşınma ile karıştırmamak gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma malzeme moleküllerinin direk temasa geçmelerine imkân verir. Bunun neticesinde de bölgesel kaynak bağları oluşur (soğuk kaynaklanma). Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir ve ergime noktasına kadar ulaşabilir. Böylece kaynaklanma yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest parçacıklar halinde kalabilecekleri gibi metallere birine bağlı şekilde de bulunabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı (aşınma) meydana gelmekle beraber, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusudur (Sağlam, 2006).

Kristalografik olarak benzer kafes yapılı malzemelerde adhesiv aşınma mekanizmasını açıklanabilmesine rağmen farklı yapıdaki (mineral malzemeler gibi) malzemeler arasındaki aşınma, adhezyonla başlamaz. Bu gibi malzemelerde Şekil 4.6'da görüldüğü gibi yüksek gerilme ve basıncın etkisiyle pürüzler birbirine geçerek plastik şekil değiştirir. İzafi hareket başladığında zayıf olan malzemenin pürüzleri kopar ve serbest tanecikler meydana gelir. Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Eğer sıcaklık yükselir ve ısıl difüzyon artışı bölgesel kaynak bağları da meydana gelir, difüzyon az ise kaynama olmayacağından kırılan parçacıklar serbest hale geçerler.



Şekil 4.6 Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi a. iki çıkıntının buluşması ve bağ oluşturması b. bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu c. uzanmış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu (Handbook, 1992).



#### 4.5.2 Abrasiv Aşınma Mekanizması

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu tanım, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasiv aşınmayı kapsar.

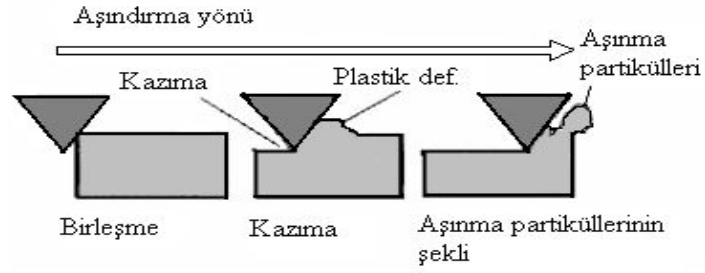
Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasiv aşınma, 'İki Cisimli Abrasiv Aşınma'dır. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür aşınmaya 'Üç Cisimli Aşınma' denir. Bu tanecikler ara yüzeye dışarıdan girebilecekleri gibi aşınma enkazları da olabilirler (Sağlam, 2006).

Genellikle aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde iki cisimli abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç cisimli abrasiv olarak devam eder. Üçüncü cisim olarak ortaya çıkan toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları olabilir. Üçüncü cisim abrasiv aşınma, aşınmayı hızlandırır. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasiv aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarır (Sağlam, 2006). Khruschov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki prosesin meydana geldiğini teşhis etmişlerdir (Sağlam, 2006). Bunlar;

1- Basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu çiziklerin oluşması (Metal kalkmadan, yüzeyin plastik şekil değiştirmesi),

2- Mikro talaş şeklinde metal parçacıkların ayrılması (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması)

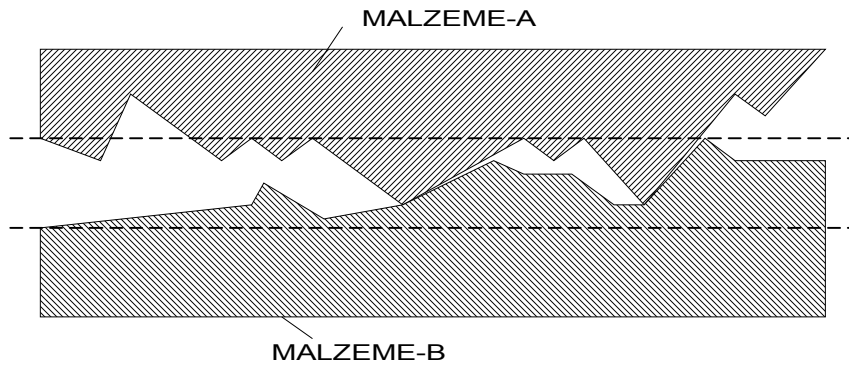
Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma ve tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahrip eden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelir. Abrasiv aşınma için en önemli şart, sürtünme sırasında, abrasivin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olması gerekir. Abrasiv Aşınma şeması Şekil 4.7'de gösterilmektedir (Sağlam, 2006).



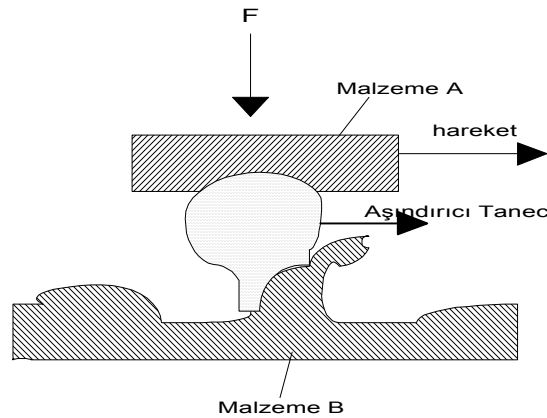
Şekil 4.7 Abrasiv aşınma şeması (Handbook, 1992).

İki cisimli abrasiv aşınmayı göstermektedir. Daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek mikro talaş kaldırmaktadır (Sağlam, 2006).

Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacık, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elamanlı ve üç elamanlı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu mekanizma Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.8 İki elamanlı abrasiv aşınma (Handbook, 1992).



Şekil 4.9 Üç elamanlı abrasiv aşınma (Handbook, 1992).

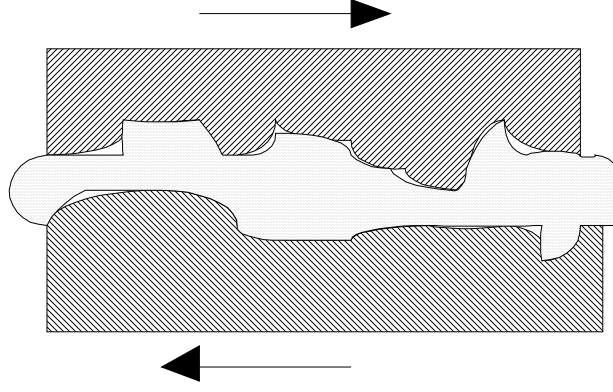
İki elemanlı abrasiv aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbiriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir.

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp, üç elemanlı abrasiv olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro taşlar ve parçalanmış oksit parçaları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. Serbest hale geçen mikro talaş parçaları, genellikle ana malzemedenden daha sert olduklarından dolayı aşınmayı hızlandırır.

#### **4.5.3 Yorulma Aşınması**

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla meydana gelir. Yorulma aşınması mekanizması malzemenin yüzeyinden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep oldukları mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir. Bu olay esnasında içyapıda parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi çözümler olur (Sağlam, 2006).

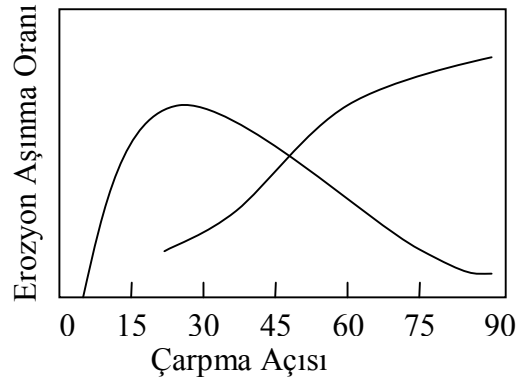
Maksimum kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar meydana gelmektedir. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi Şekil 4.10'da gösterilmektedir (Sağlam, 2006).



Şekil 4.10 Yorulma aşınması şeması (Handbook, 1992).

#### 4.5.4. Eroziyon Aşınma

Erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tanımlanabilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpması ile oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur ve yüzeyde aşınma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Yumuşak malzemeler erozyon aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısının değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir. Şekil 4.11’de erozyon aşınma oranı ve çarpma açısı gösterilmektedir (Handbook, 1992).

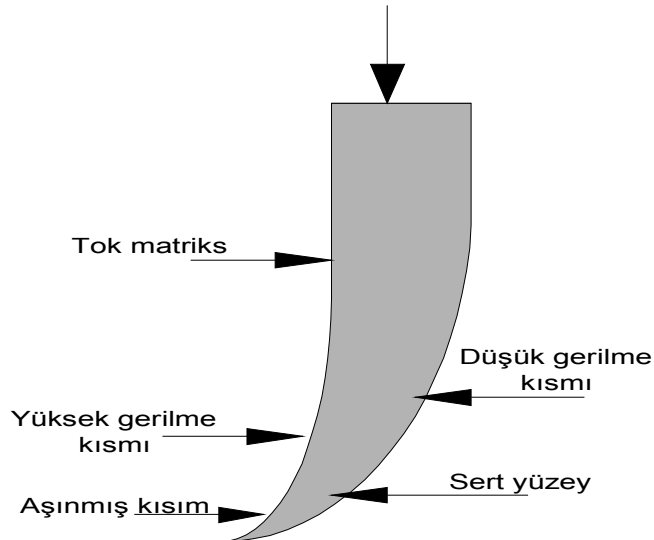


Şekil 4.11 Parçacıkların yüzeye çarpma açısının erozyon aşınma oranına bağlılığı (Handbook, 1992).

#### 4.5.5. Öğütmeli Aşınma

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki parçacıkların metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinde parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması ile meydana gelir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelir. Kepçelerde kullanılan kesici ve batıcı uçların, öğütmeli aşınma sonucunda şekil değişimi meydana gelerek körlenme oluşur.

Bu tip aşınmayı engellemek için yapılan girişimlerin başarısızlığa uğraması nedeniyle, malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendine bilenererek, körlenme sebebiyle meydana gelen performans düşüklüğü önlenir. Bu mekanizma ile meydana gelen kendi kendine bilenmenin oluşumu, Şekil 4.12’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, kesici takım malzemesinin düşük gerilmeli yüzeyine sert metal takviyesi yapılarak aşınma hızı azaltılmıştır. Diğer yüzeyde ise hem malzeme sertliğinin düşük olması, hem de yüksek gerilme etkisinde kalması nedeniyle aşınma hızı, diğer yüzeye göre daha fazladır. Meydana getirilen bu farklı aşınma hızları nedeniyle, malzeme kendi kendine keskinleşir (Donald, 1999).



Şekil 4.12 Bir kesici uçta meydana gelen kendi kendine bilenmesinin oluşum mekanizması (Donald, 1999).

#### **4.5.6. Oymalı Aşınma**

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Bu tip aşınmaya genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan malzemelerin kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülür. Bu işlemler sırasında sert abraziv parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir.

Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır.

#### **4.5.7. Kazımalı Aşınma**

Kazımalı aşınma, karşılaşılan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhezif aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise, şu şekilde açıklanabilir: Adhezif aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genellikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynak oluşmasıyla meydana gelir.

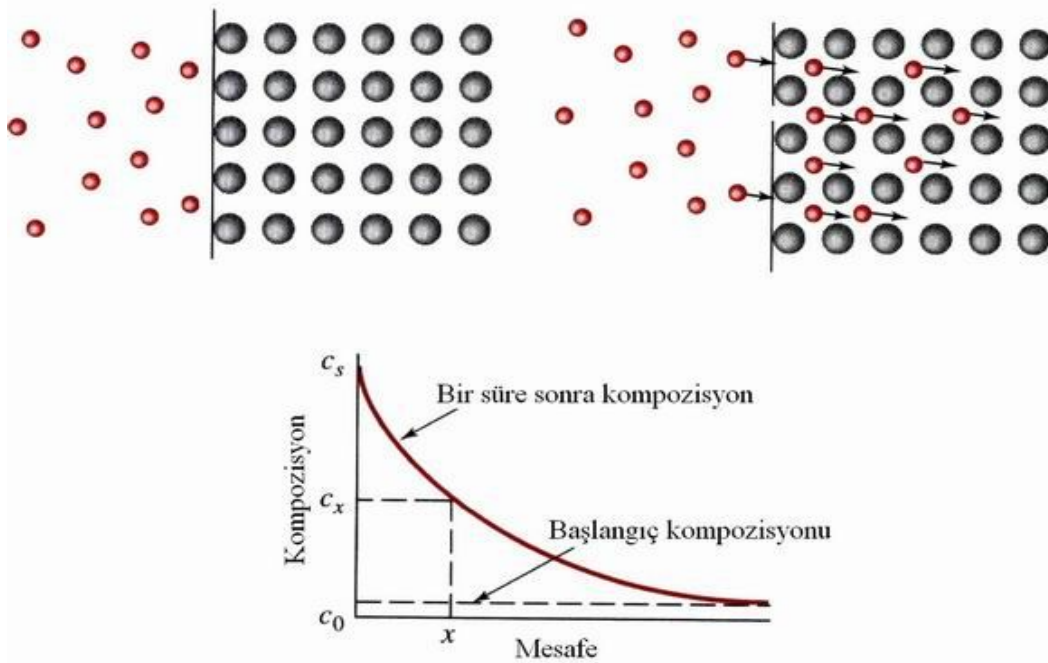
Kazımalı aşınma vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanlarıyla gelişmiş sistemlerde, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda en yaygın olarak kullanılan hasar oluşum mekanizmasıdır. Kazımalı aşınma, temas yüzeylerinde yorulma otomobil şaft gibi parçalarda önemli bir problemdir. Gerçekte, şaftlarda meydana gelen yorulma kırılmalarının sebebini kazımalı aşınma meydana getirmektedir (Sağlam, 2006).

#### **4.5.8. Tribosüblimasyon ve Difüzyon Aşınması**

Sürtünme ısısı ile yüzey bölgesi sıcaklığının çok yükselmesi halinde ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıkta atom veya moleküllerin malzeme içine girmesi difüzyon esasına ve çevreye transferi tribosüblimasyon esasına dayanan aşınma mekanizmalarıdır (Donald, 1999).

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında, sürtünmeden dolayı sıcaklık yükselmesi ile birlikte, temas yüzeyinde bulunan atomların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket etmeleriyle meydana gelir. Şekil 4.13 'de yüzeler arası malzeme transferi görülmektedir (Donald, 1999).

Sistem çalışırken uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak, malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte temas noktalarında akma ve sürünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalır ve bunun sonucunda da temas alanları büyür.



Şekil 4.13 Yüzeyler arası malzeme transferi (Donald, 1999).

Yüzeyler arası atom alışverişi meydana gelerek mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka, sürtünme ve bağıl hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya difüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay ve havacılıkta kullanılan araçlar ve takım tezgâhlarında görülür. Demiryollarında kullanılan fren pabuçları ile tekerlek arasındaki sürtünmeden dolayı difüzyon aşınması meydana gelebilir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom veya moleküllerin çevreye transfer olması ile "tribosüblimasyon aşınması" meydana gelir (Donald, 1999).

#### **4.5.9. Termal Aşınma (Termal etkenler)**

Mekanik ve kimyasal aşınma mekanizmalarının oluşumunu kolaylaştıran ve bu mekanizmalarla eş zamanlı işleyen bir oluşumdur. Bu mekanizmada sıcaklık etkisi ile atomik hareketler hızlanır. Malzemenin yumuşaması ile atomik aşınma gerçekleşir. Termal şok ve yüksek sıcaklıkta ki oksidasyonda termal aşınmaya sebep olur (Güldaş, 1998).

#### **4.6 AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Yapılan çeşitli çalışmalar ile aşınmaya etki eden faktörler belirlenmiştir. Ancak aralarındaki ilişki tam olarak tespit edilememiştir. Aşınmaya etki eden değişkenler ise şunlardır.

##### **4.6.1 Tribolojik Sistemlerin Elemanlarına Bağlı Faktörler**

a) Esas sürtünme elemanına bağlı olanlar:

- Malzemenin Cinsi
- Kimyasal Bileşimi
- Mikroyapısı
- Hacimsel ve Yüzeysel Sertliği
- Elastiklik Modülü
- Akma ve Kırılma Özellikleri
- Yüzeyin Pürüzlülük Durumu
- Şekli ve Boyutları
- Soğuk Şekillendirme Durumu
- Gördüğü Isıl İşlem

b) Karşı elemana bağlı olanlar:

- Aşındırıcı Tane Büyüklüğü
- Tane Şekli
- Tane Dağılımı



c) Ortama bağlı olanlar:

- Nem
- Sıcaklık

Farklı yüksek basıncı ve çalışma hızlarında yürütülen deneyler neticesinde yüzey basıncının artması ile aşınmanın hızlandığı aynı yükte çalışma hızının artması ile aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir. Basıncı artışına paralel olarak çalışma hızının da artması aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca sürtünmeyi artıran yk aşınmanın artmasına neden olmaktadır (Sağlam, 2006).

Sürtünme enerjisinin ısıya dönüşmesi ile gerçek temas alanının sıcaklığı artar. Artan sıcaklığın etkisi ile sürtünen yüzeylerde bölgesel ergimeler olur ve yüzeylerden küçük parçacıklar koparak aşınmayı hızlandırır. Sürtünme ve aşınma sonucu meydana gelen yapı dönüşümleri de ısı çatlamalara ve sürtünme esnasında parçacıkların koparak aşınmanın artmasına sebep olur. Bu nedenle katı cisimlerin aşınmasında sürtünen yüzeylerin sıcaklığı çok önemlidir (Sağlam, 2006).

Metal – metal sürtünme aşınmasında aşınma miktarı, zamana ve kayma yoluna bağlı olarak belirtilir. Aşınma miktarları aşınan parçanın şekil ve ağırlık değişimine ait sayısal bir büyüklük olup aşınma (olay) ve aşınma miktarı (sonuç) olarak birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Buna göre aşınma miktarı parçanın ağırlık kaybı ve hacimsel aşınma veya sürtünme yüzeyinin ykseklık kaybı olarak ifade edilir (Meyveci, 2007).



## BÖLÜM 5

### MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, tasarımı imalatı Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Bölümünde yapılan Pin-On-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının aşınma ve sürtünme davranışlarını incelenmiştir. Ayrıca elektrik iletkenliği testleri, Gazi Üniversitesi Kimya mühendisliğinde yapılmıştır.

#### 5.1 DENEYSEL MALZEME

Yaşlandırma ısıl işlemlerine tabi tutulan aşındırılacak Cu-Cr-Zr malzemeler; De Le Bronze Industrial firması tarafından üretilmiştir. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan Cu-Cr-Zr alaşımının kimyasal bileşimi

%	Cr	Co	Be	Zr	Ni	Cu
Cu-Cr-Zr	0,65	-	-	0,07	-	Kalan

#### 5.2 DENEYSEL YÖNTEM

##### 5.2.1. Yaşlanma Isıl İşlemleri

Cu-Cr-Zr alaşımından alınan numuneler 920°C’de solüsyona alındıktan sonra katı eriyiğin tamamen çözünmesi için 60 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra yaşlanma işleminin ikinci adımı olarak 920°C’de 60 dakika bekletilen bu numuneler suda (hızlı) soğutulmuştur. Son aşamada ise su verilen ve ocak ortamında bekletilen bu numuneler 470

°C, 500 °C, 530 °C' de 60 dakika, 120 dakika ve 180 dakika yaşlandırılarak fırın ortamında oda sıcaklığına soğutulmuştur.

### 5.3 ELEKTRİK İLETKENLİK TEST İŞLEMLERİ

Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Solartron 1296 Elektrik interface, SI 1287 Elektrochemical interface marka iletkenlik cihazı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan elektrik iletkenlik ölçüm cihazı Şekil 5.1'de verilmiştir.



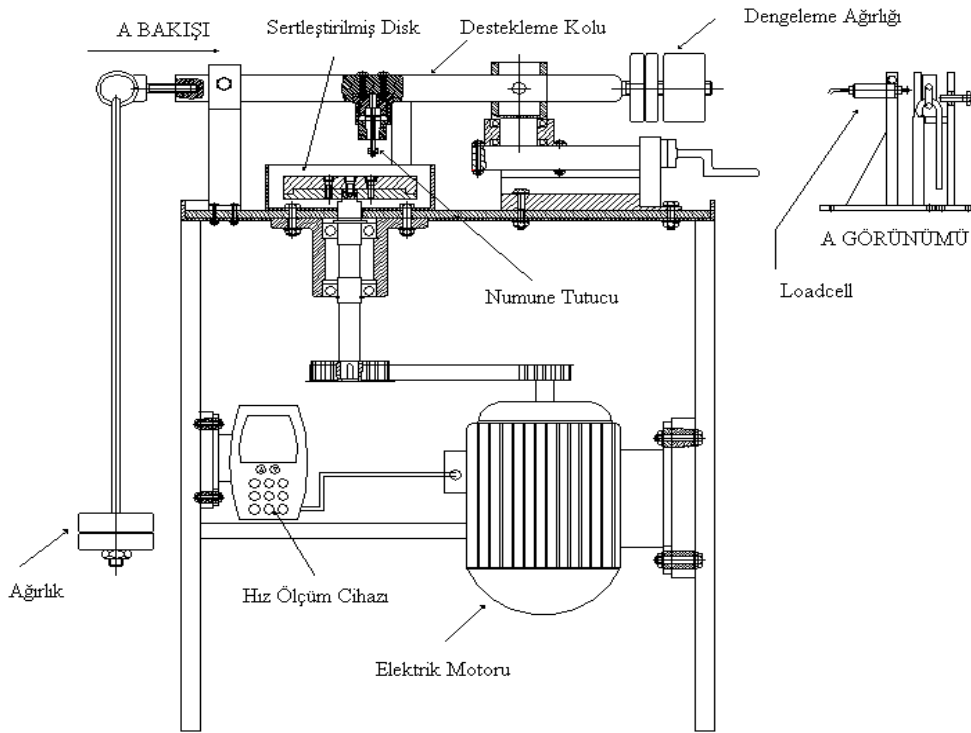
Şekil 5.1 Elektrik iletkenliği deney cihazı

### 5.4. AŞINMA DENEY CİHAZI

Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney aparatının komple (montaj) resmi Şekil 5.2 'de verilmiştir. Bu cihaz her türlü yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanıp, imal edilmiştir. Farklı kayma şartları ve farklı devirlerde çalışabilmek amacı ile sistem hız kontrol cihazına bağlanarak istenilen hızda kullanılabilir hale getirilmiştir. Böylelikle farklı kayma hızları veya sabit kayma hızında her periyotta istenilen devir sayıları hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Yapılan bu deney cihazında farklı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler test edilmiştir.

Deney aparatının başlıca önemli parçaları, 1,5 kW'lık 3 Faz AC motor, hız kontrol cihazı, düşey dönel hareketi sağlayan sertleştirilmiş disk, destekleme kolu, numune tutma mekanizması, yük hücresi (ESİT STCS 50 kg Cs Loadcell), tabla, dengeleme parçası ve ağırlıktır. Şekil 5.2' de görüldüğü gibi numune ile kayış kassak sistemi kullanılarak 1/3 oranında çalışacak dönel disk 1,5 kW'lık 1500 d/d AC motor ile tahrik edilmektedir. Diskin salgısız dönebilmesi için motordan hareketi alan mil iki yerden rulman ile yataklanmıştır.

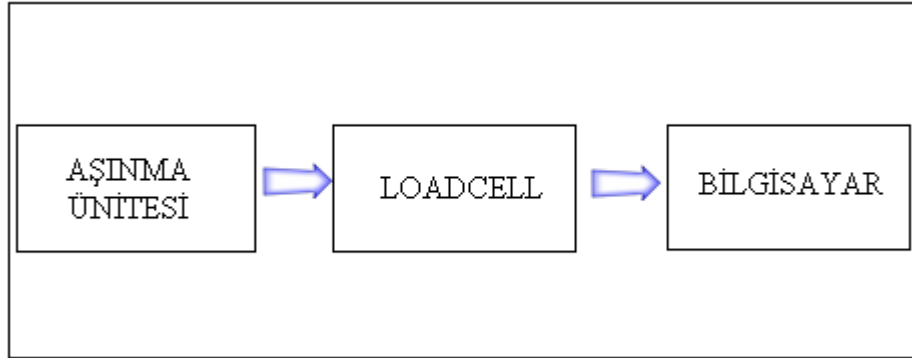
Numunelerin bağlandığı ve yükün asılacağı taşıyıcı kol tek noktadan yataklanmıştır. Numune bağlama aparatı kol üzerine monte edilmiştir. İki ucunda ağırlık bulunan taşıyıcı kolun bir tarafındaki ağırlık, sisteme ağırlık asılmadan önce numune üzerine gelen yükü sıfırlamaktadır. Taşıyıcı kolun diğer ucuna asılan ağırlıklar ile de numune üzerine istenilen kuvvet uygulanabilmektedir.



Şekil 5.2 Aşınma test cihazının şematik görünüşü

Taşıyıcı kolun bağlandığı yatak hem kendi ekseninde dönmekte hem de ileri geri hareket edebilmektedir. Hareketli yatağın ileri geri hareketi ile disk üzerine gelen numune disk merkezinden uzaklaşıp yaklaşabilmektedir. Diski döndüren elektrik motoruna bağlanan hız kontrol cihazı motorun değişken devirlere ayarlanabilmesini sağlamaktadır. Şekil 5.3'de

aşındırılan numunelerden elde edilen verilerin bilgisayara aktarılmasını gösteren veri-akış şeması görülmektedir.



Şekil 5.3 Aşınma test cihazının veri-akış şeması

Cu-Cr-Zr numunesi ile çalışılacak dönel disk için RJ45 Ç4140 malzemesi  $\phi 230$  mm çapında, 20 mm kalınlığında üretilmiş ve vakum ortamında sertleştirilerek 56 Rc sertliği elde edilmiştir. Sertleştirme işleminden sonra disklere düzlem taşlama işlemi yapılmıştır.

## 5.5. AŞINMA TEST İŞLEMİ

Aşınma testleri pin-on-disk tipi deney cihazında yapılmıştır. Test cihazının devrinin ölçülmesi için “COMPACT” Marka (Advent optical tachmeter) Takometre (0-1000dv/dk, 0-5 V çıkış marka) ile devir/dk diski devir hızı ölçülmüştür. Aşınma parçaları 1/10000 hassasiyetindeki “PRESİCA” marka terazide tartılmıştır. Taşıyıcı kol üzerindeki denge ağırlığı ile pime gelen yük sıfırlandıktan sonra kolun diğer ucundaki taşıyıcı kola ağırlığın asılması ile istenilen kuvvet uygulanmıştır. Aşındırma işlemi bittikten sonra numuneler pamuk ile temizlenerek tekrar tartılmıştır. İlk ağırlık ile aşındıktan sonraki ağırlık arasındaki fark olan kütle kaybından aşınma miktarı hesaplanmıştır.

Aşınma deneylerinde parametrik olarak üç farklı yük (15N, 30N ve 45N) kullanılmıştır. Aşınma mesafesi olarak 250, 500, 750 ve 1000 metre olarak dört farklı mesafe test edilmiştir. Aşınma testleri 2 m/s’lik hızda yapılmıştır.

## **5.6. KARAKTERİZASYON**

### **5.6.1 Metalografik Numune Hazırlama**

Standart metalografik işlemlerin yapılması için numuneler “PRESİ” marka Mecapol P262 model cihazında 300 d/d (RPM) hızda 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Bu işlemden sonra bütün numuneler ”PRESİ” marka Mecapol P262 model cihazda 0.1µm’ lik alümina pasta ile parlatılmıştır. Bu işlemlerden sonrasında, numuneler 50 ml Etanol, 1 ml HF, 8 ml HNO<sub>3</sub> ve 4 ml HCl ile dağlanmıştır. Dağlama süresi 30-60 saniyedir.

## **5.7. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ**

Sertlik ölçümleri K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi döküm laboratuvarlarında bulunan üniversal “AFFRI” marka RSD251 model cihazda (HV5) yapılmıştır.

## **5.8 OPTİK MİKROSKOP İNCELENMELERİ**

Optik incelemeler Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Atölyesi Metalografi Laboratuvarlarında bulunan MEIJI” marka ML7100 model mikroskop ile yapılmıştır.

## **5.9 TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ**

Cu-Cr-Zr alaşımları alınmış ve yaşlandırılmış numuneleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki “JEOL JSM-6060” tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

## **5.10 ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMESİ**

Yaşlandırma ısıl işlemleri sonucunda mikroyapıda oluşan özelliklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak amacı ile Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde yapılmıştır.

## 5.11 X-RAY DİFFRACTION (XRD) KIRINIMI

Yüzey görüntülerine ait fazları belirlemek amacıyla Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki “RIGAKU D\MAX\2200” faz analizi x-ışınları difraksiyonuyla incelenmiştir. Ölçümlerde Bakır (Cu)  $K\alpha$  ışınımı, 36 kV gerilim ve 26 mA akım,  $0,05^0/2$  sn ölçüm hızı ve  $30^0 - 80^0$  aralığı kullanılmıştır.



## BÖLÜM 6

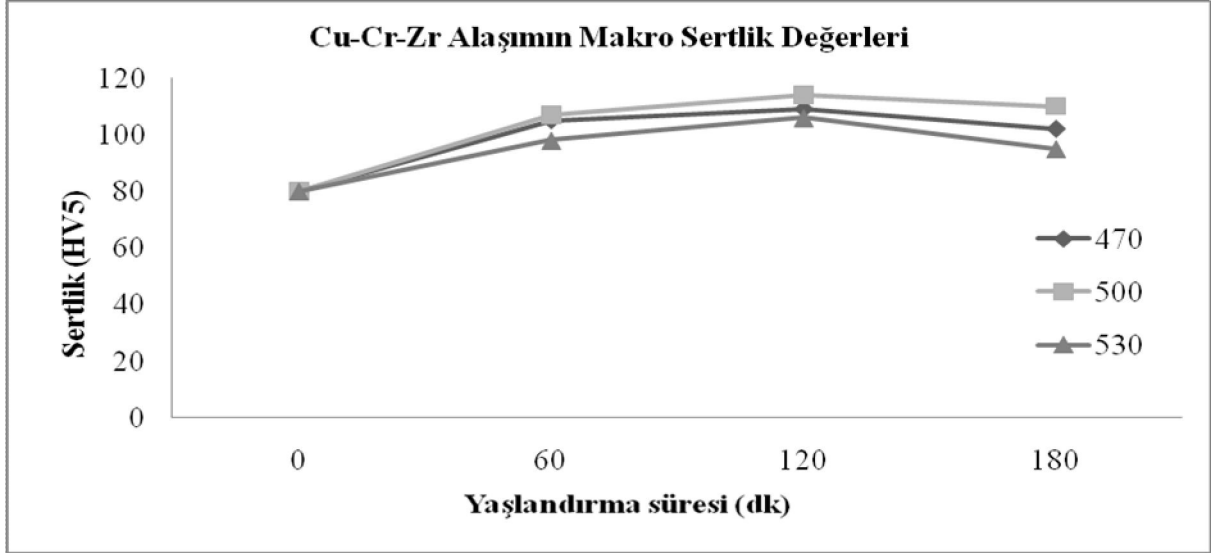
### DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

#### 6.1. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

##### 6.1.1 Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Cu-Cr-Zr alaşımından alınan numuneler 920 °C 'de solüsyona alındıktan sonra katı eriyiğin tamamen çözünmesi için 60 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Solüsyona alma işlemi sonrasında sertlik değeri 80 HV bulunmuştur. Yaşlandırma işleminin ikinci adımı olarak hızlı soğutma işlemi yapıldıktan sonra numuneler 470 °C, 500 °C ve 530 °C' de 60, 120 ve 180 dakika sürelerde elektrikle ısıtılan fırın ortamında soğutularak yaşlandırılmıştır. Üç farklı sıcaklıkta (470 °C, 500 °C ve 530 °C) ve sürede (60, 120, 180 dakika) yaşlandırılan numunelerden alınan sertlik ölçümleri (HV) Şekil 6.1' de verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi solüsyona aldıktan sonra yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasında Cu-Cr-Zr alaşımının sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda en yüksek sertlik değerleri 500 °C' de yapılan yaşlandırma sonucunda elde edilmiştir. Her üç sıcaklıkta da 60 ve 120 dakika yaşlandırma sıcaklıklarında sertlikte lineer bir artış gözlenirken 180 dakika yaşlandırılan numunelerin sertliğinde bir miktar azalma görülmektedir. 470 °C yapılan yaşlandırma işleminde sırayla 105 HV, 109 HV ve 102 HV sertlik ölçülürken, 500°C' de yapılan yaşlandırma işlemi sonucunda ise; 107 HV, 114 HV ve 110 HV olarak ölçülmüştür. En düşük değerler 530 °C' de yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir. Bu değerler 60 dakika yaşlandırma sonrası 98 HV, 120 dakika yaşlandırma sonrası 106 HV ve 180 dakika yaşlandırma sonrası 95 HV olarak tespit edilmiştir.

Yaşlandırma ısısal işlemi ile Cu-Cr-Zr alaşımlarındaki yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir. Bunun nedeni yaşlanma ile yapıda oluşan ve çökelekler boyunca meydana gelen dislokasyonlar ve çökeleklerin oluşmasıyla elde edilen dağılım mukavemetlenmesi sebebiyledir.



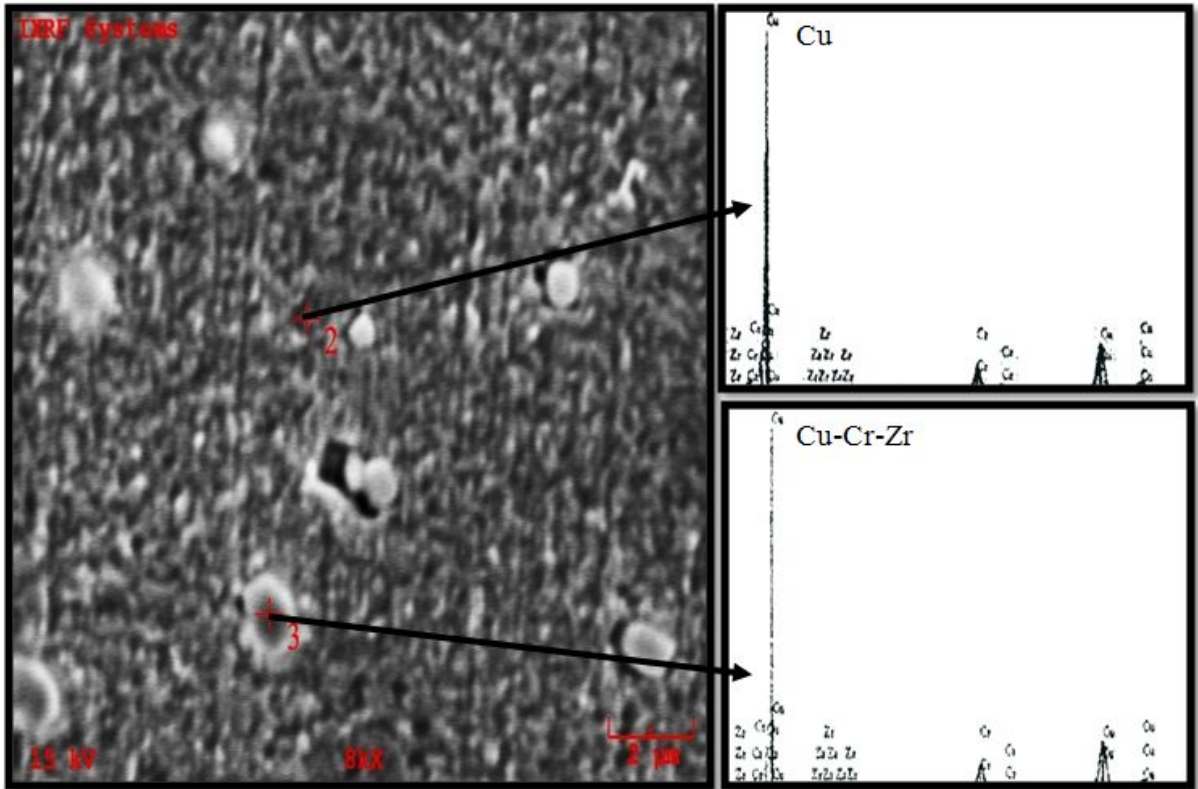
Şekil 6.1 Cu-Cr-Zr alaşımının yaşlandırma sıcaklığına göre sertlik değerleri

CrCu<sub>2</sub>(Zr, Mg) bileşiminin HMK (Hacim Merkez Kübik) kromun ve Cu<sub>3</sub>Zr/Cu<sub>4</sub>Zr parçacıklarının içerisinde iyi bir dağılım göstermesinin hemen ardından ayrışması ile kompleks intermetalik fazın (Heusler faz) yarı kararlı çökmesi sonucunda oluşmaya başlar. Düşük sıcaklıklarda yaşlanma yalnızca Guinier–Preston (GP) bölgelerinin oluşması sonucu olur. Isıl işlem (yaşlandırma) yüksek sıcaklıklarda yapırsa aşırı yaşlanma meydana gelir ve çökelekler kabalaşır. Sertlik değeri Cu-Cr-Zr alaşımın başlangıçtan itibaren yaşlanma sıcaklığına paralel olarak artmakta ve 500°C derecede tepe noktasına çıkmaktadır. Bunun nedeni Heusler fazının ölçekli olarak çökerek dağılmasından ve matrisin çok tutarlı bir şekilde parçalanmasıdır. Şekil 6.2’de verilen SEM görüntüleri ve EDS analizlerinden de anlaşılacağı gibi alaşım içerisindeki bu şekillenmiş parçacıklar zirkonyumca ve kromca zengin bölgelerin dağılarak çökmesi sonucu oluşmuştur. Bu sonuçlar son zamanlarda yapılan Cu-Cr-Zr üçlü sistemlerinin deneysel sonuçlarıyla da uyum içerisinde. Yaşlanma sıcaklığının daha da artması, alaşım matrisi içerisinde aşırı yaşlanmanın meydana gelmesinden ve düzgün çökelmelerin, kaba ve birbiriyle bağlantıları olmayan parçacıklarla yer değiştirmesinden dolayı sertlikte bir düşme göstermektedir (Qi et al., 2002).

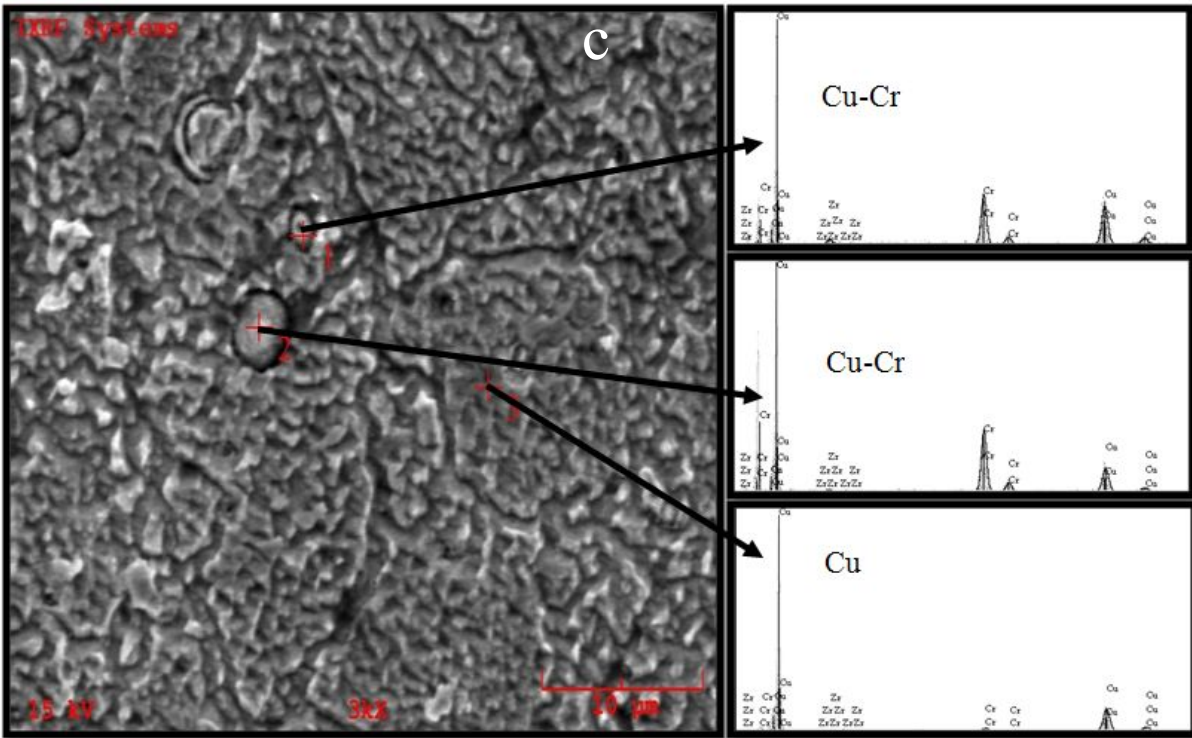
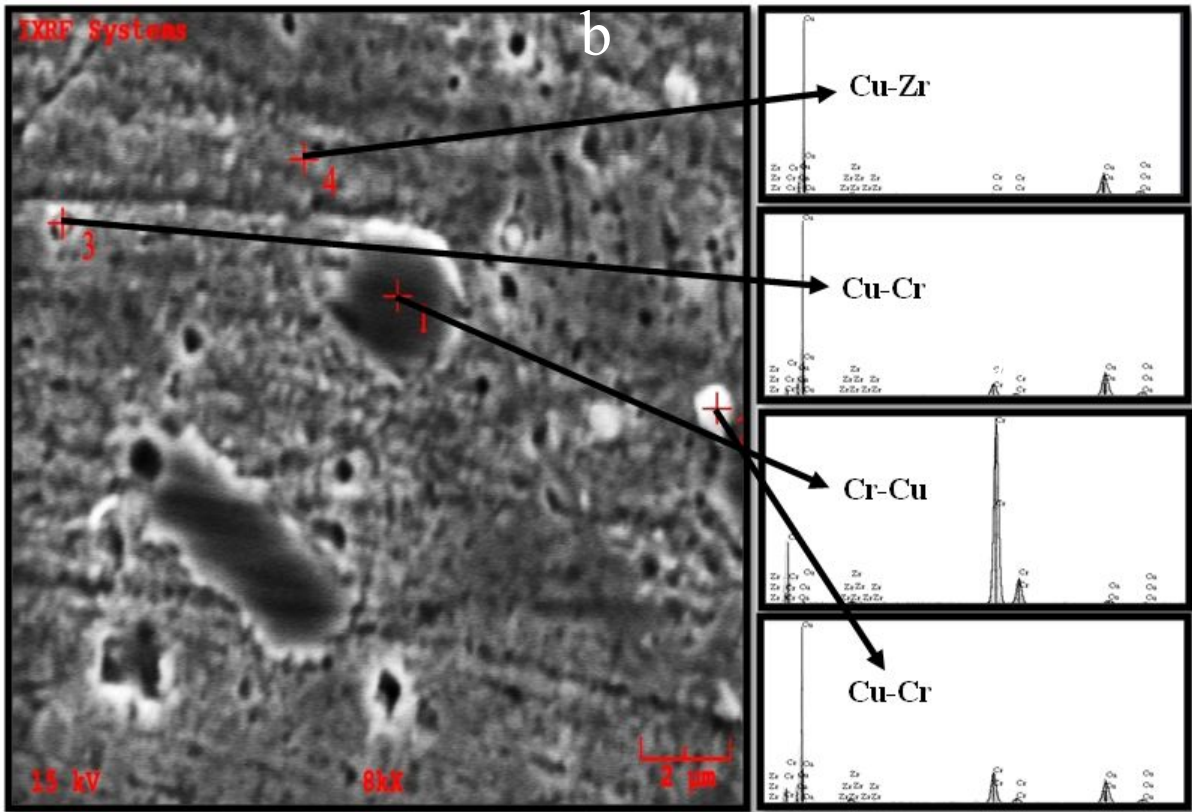
A. Vinogradov ve arkadaşları Cu-Cr-Zr alaşımını 375°C, 425°C, 500°C, 550°C ve 625°C’de yaşlandırma ışıl işleminden sonra Qi söylediği gibi 500°C sıcaklıkta Cu-Cr-Zr alaşımlarının maksimum sertlik değerine ulaştığını görmüştür. 500°C göre sırasıyla 550°C ’de %10, 600°C ’de %20 ve 625°C’de yaklaşık %25 civırında çökeleklerin aşırı yaşlanması sonucunda sertlik değerlerinde düşme olduğunu belirtmektedirler (Vinogradov et al., 2002).

### 6.1.2 SEM ve EDS İncelemeleri

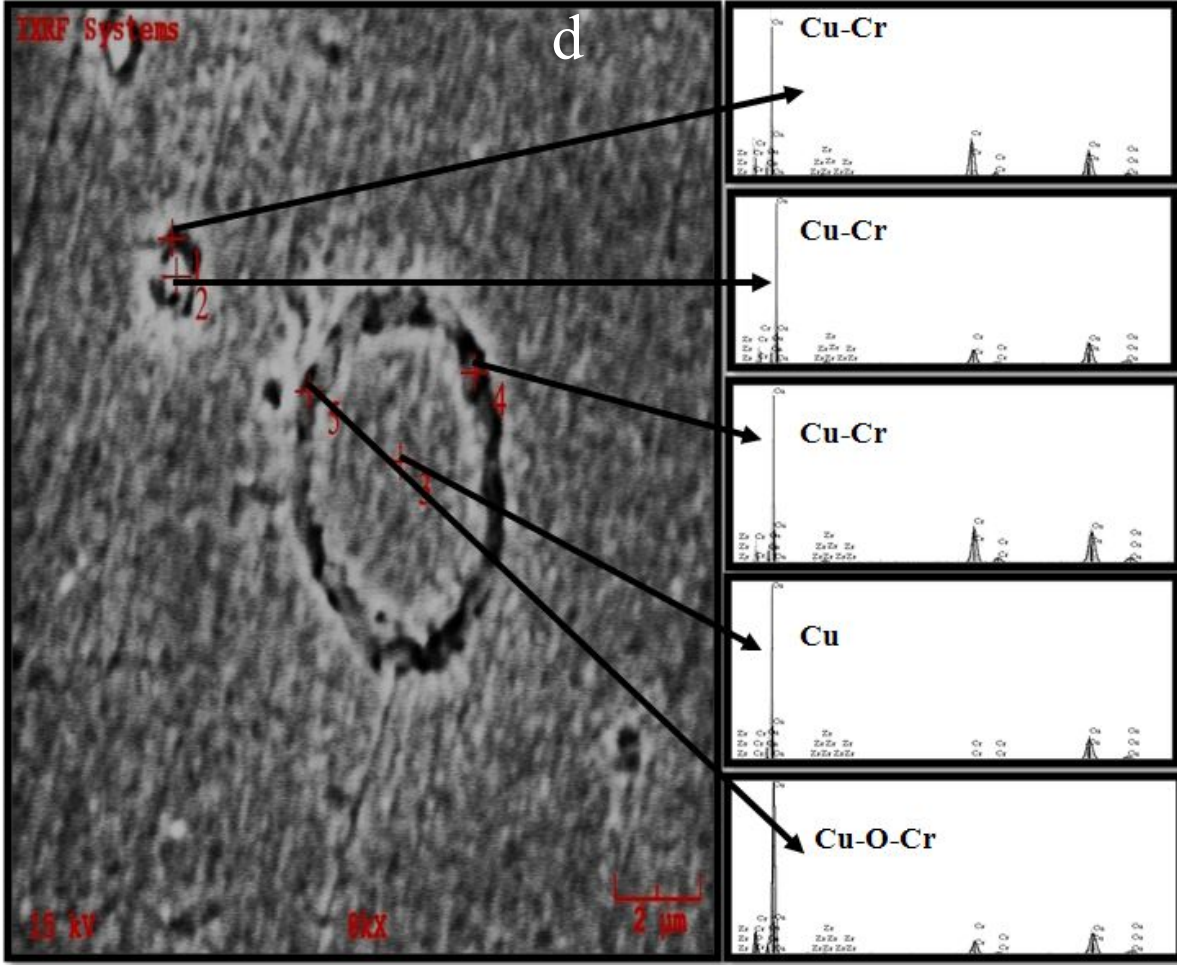
Yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımından alınan numunenin tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 6.2’ de verilmiştir.



Şekil 6.2 (devam ediyor)



Şekil 6.2 (devam ediyor)



Şekil 6.2 a. Yaşlandırılmamış, b.500°C 60 dakika, c. 500°C 120 dakika ve d. 500°C 180 dakika yaşlandırılan numunelerin SEM ve EDS sonuçları

SEM görüntüsünde de anlaşıldığı gibi yaşlandırılmamış (Şekil 6.2 a) Cu-Cr-Zr alaşımında ana matris % 97 oranında bakır içermektedir (2 ile gösterilen bölge). 3 ile gösterilen bölgelerden (beyaz ve gri bölgeler) alınan EDS sonuçları, bu bölgenin kromca zengin bölgeler olduğunu ve başlangıç malzemesinde yapıda segregasyonlar (Cr ve Zr'ca zengin) olduğunu kanıtlamaktadır. Burada 2 ayrı faz bulunmaktadır. Cu fazı ana matris bölgelerdir. Cu, Cr ve Zr'ca zengin fazlar ise daha küresel ikinci faz bölgelerdir. Bu bölgelerde Cu spektrum piklerinin yanı sıra Cr ve Zr pikleri de görülmektedir. Genel olarak bakıldığında yapıda segregasyonlar istenmemekle birlikte Cr'ca zengin bu bölgeler malzemenin elektrik iletkenliğini artırma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle Şekil 6.4'de belirtildiği gibi 81 % IACS olmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.2 b 500°C' de 60 dakika yaşlandırılan numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları verilmektedir. Cu fazı içerisinde Zr da yer alarak ana matris bölgelerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile ikinci faz partükülleri Cr'ca zengin bir faz

oluşturduğu ve bu fazında büyüme eğilimi ile %5,9 Cu %94 Cr oranına ulaşmıştır. Yine ana matris içerisindeki beyaz bölgeler Cr'ca zengin ve küresel bir yapıya sahiptir. 500°C' de 60 dakika yaşlandırılan numunede 1 ile gösterilen % 5,9 oranında Cr olduğu anlaşılmaktadır. Bu bölge Cr'ca zengin segragasyonları tanımlamaktadır. Beyaz bölgelerde (2) ise Cr oranı % 26'ya kadar çıkmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda oluşan bu çökelekler Cu-Cr-Cr alaşımının sertliği artırırken (Şekil 6.1) 72,45 %IACS iletkenlik değerleri (Şekil 6.4) ölçülmüştür. Yapılan yaşlandırma ısıl işlemiyle yapıda çökelekler elde edilmiştir.

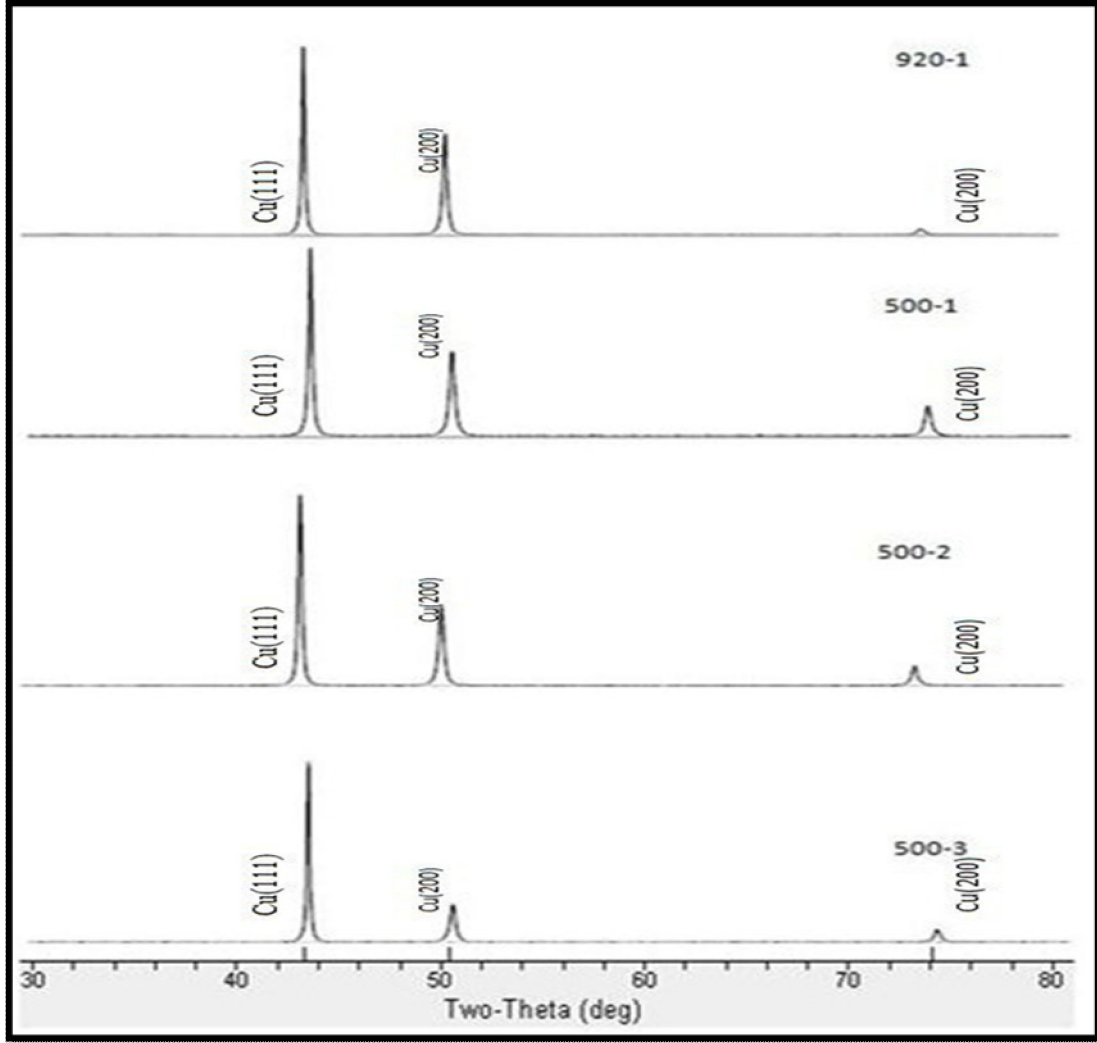
Şekil 6.2 c'de ise 500°C' de 120 dakika yaşlandırılan numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları verilmektedir. Cu fazı içerisinde çok az Cr ve Zr da yer alarak ana matris bölgelerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile ikinci faz partükülleri Cr zengin bir faz oluşturduğu ve bu fazında büyüme eğilimi ile %57 Cu ve %41 Cr oranı ulaşmıştır. Yine ana matris içerisindeki beyaz bölgeler Cr zengin ve küresel bir yapıya sahiptir. 120 dakikalık yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda oluşturulan Cr zengin çökelek boyutu büyüdükçe Cr oranı artmaktadır. Cr oranı artması veya diğer bir ifade ile çökelek boyutunun büyümesi sertlikle beraber (Şekil 6.1) elektrik iletkenliği de (Şekil 6.4) artmaktadır.

Şekil 6.5 d'de 500°C' de 120 dakika yaşlandırılan numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizi sonuçları verilmektedir. Cu fazı içerisinde çok az krom ve zirkonyum da yer alarak ana matris bölgelerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile ikinci faz partükülleri kromca zengin bir faz oluşturduğu ve bu fazında büyüme eğilimi ile %41 krom ve %57 Cu oranı ulaşmıştır. Yine ana matris içerisindeki beyaz bölgeler kromca zengin ve küresel bir yapıya sahiptir. %98 Cu fazı içerisinde çok az Cr ve Zr da yer alarak ana matris bölgelerini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile ikinci faz parçacıkları Cr zengin bir faz oluşturduğu, bu fazında büyüme eğilimi ile %71 Cu ve %29 Cr oranı ulaşmıştır. Yine ana matris içerisindeki beyaz bölgeler kromca zengin ve küresel bir yapıya sahiptir. Yaşlandırma ile oluşturulan çökeleklerde Cr oranı %14-29 arasında değişmektedir (çökelek boyutuna göre). Bu durum 120 dakika yaşlandırılan numuneye göre çelişki sergilemektedir. Çökelek büyüdükçe Cr oranında artışın daha fazla olması beklenirken bu artış burada sınırlı kalmıştır. Bunun nedeni  $Cr_2O_3$  oluşumu olur. Çökelekte bulunması gereken bir miktar Cr, oksijen ile bileşik oluşturma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle çökelek irileştiği halde Cr oranında beklenen artış görülmemiştir (David et al., 2006).

Yaşlandırma ısı işleminden sonra ikinci faz olan kromun miktarı artması ile çökeğin büyüklüğü de arttı (Şekil 6.2 b) 500°C 60 dakika yaşlandırılan numune, (Şekil 6.2 c) 500°C 120 dakika yaşlandırılan numune ve (Şekil 6.2 d) 500°C 180 dakika yaşlandırılan numunede görülmektedir. İkinci faz çökeğinin büyüklüğü en çok 500°C 180 dakikada sonra 500°C 120 dakika ve az da 500°C 60 dakikada numunelerinde görülmüştür. Bu çökeğin büyüklüğü yaşlandırma süresine bağlı olarak arttığı sanılmaktadır. Şekil 6.4 elektrik iletkenliği değerleri incelendiğinde J.P. Tu ve arkadaşları yapmış oldukları elektrik iletkenliği deneylerinde, yaşlandırma zamanının artması ile bakır matris içerisinde aşama aşama artan kromca zengin tanelerin kabalaşmasından dolayı elektronların daha iyi iletildiğini bulmuştur (J.P. Tu et al., 2002).

### **6.1.3 XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Şekil 6.3'de yaşlandırmamış Cu-Cr-Zr ve 500°C 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerin X ışını kırınımı analizi sonuçları verilmiştir. Yaşlandırma süresine bağlı olarak 2 sin  $\theta$  50°'de (200) düzleminde Cu oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Fakat deneysel çalışmaların yapıldığı cihaz %5'in altındaki oranları tespit edemediği için çökeleklerin analiz sonuçları tespit edilememiştir.



Şekil 6.3 Cu-Cr-Zr alaşımının XRD sonuçları.

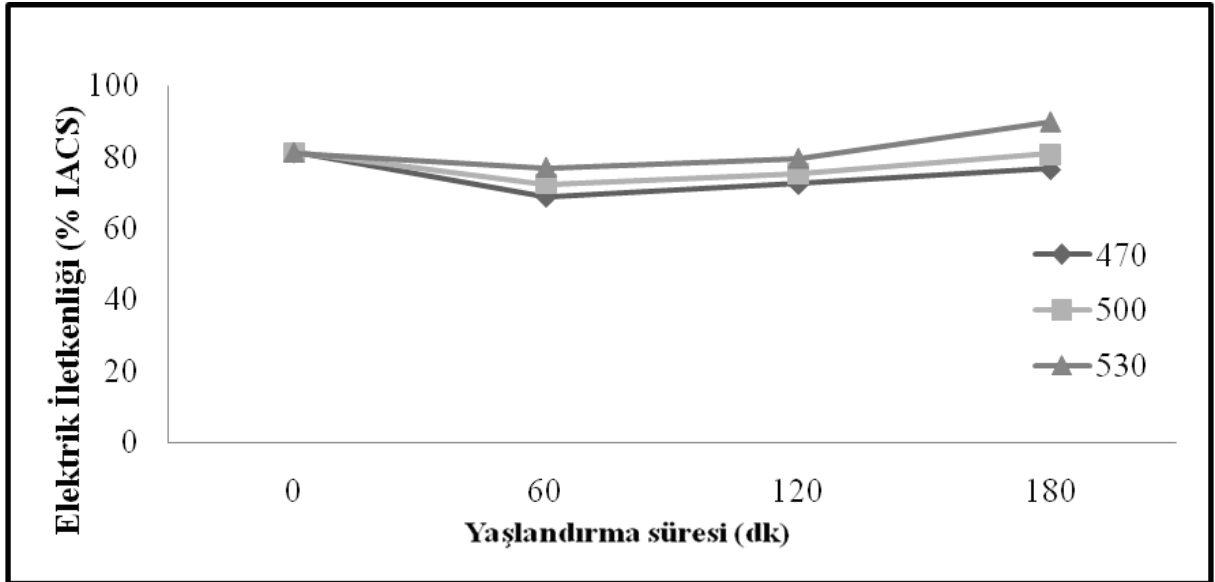
## 6.2. ELEKTRİK İLETKENLİK TEST SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaşlandırma öncesi Cu-Cr-Zr alaşımlarının elektrik iletkenlik değeri 81,25 %IACS olarak ölçülmüştür. 470°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerin iletkenlik değerlerinde 60 dakikadan itibaren lineer bir artış kaydedilmiştir. 60 dakika yaşlandırılan numunede iletkenlik 68,7 %IACS olarak ölçülürken, bu değer 120 dakikada yaşlandırılan numunede 72 %IACS ve 180 dakika yaşlandırılan numunede ise 76,5 %IACS olarak kaydedilmiştir. 500°C’de yaşlandırılan numunede ise 60 dakikada yaşlandırılan numune 72,26 %IACS, 120 dakikada yaşlandırılan numunede 75,26 %IACS ve 180 dakika yaşlandırılan numunede ise 80,79 %IACS olarak ölçülmüştür. 530°C’de yaşlandırılan aynı alaşımda 60



dakikalık yaşlanma sonrasında 77,03 %IACS, 120 dakikalık yaşlanma sonrasında 79,6 %IACS ve 180 dakikalık yaşlandırma işlemi sonunda 89 %IACS elektrik iletkenliği ölçülmüştür.

Şekil 6.4’de görüldüğü gibi en yüksek iletkenlik değeri 530°C’de 180 dakika yaşlandırılan numunede elde edilmiştir. Şekil 6.1’de verilen sertlik sonuçları da göz önüne alındığında aşırı yaşlanma periyoduna giren malzemelerde sertlikte düşme kaydedilirken iletkenlikteki artış aşırı yaşlanma periyodunda hala devam etmektedir. Katı çökelti oluşumunun elektrik iletkenliğini düşürmesine karşın (470°C), çökeltme sertleşmesinde uygun yaşlandırma koşulları seçilerek iletkenlik ve dayanım değerleri birlikte yükseltilebilir (500°C).



Şekil 6.4 Yaşlandırma sıcaklığına göre elektrik iletkenlik (% IACS) değerleri

Juan-hua Su ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 920°C’de 1 saat solüsyona alınan ve 420°C’de 4 saat yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımlarında tane sınırı bölgelerinde  $CuCu_2$ ,  $Cu_4Zr$  ve Cr olmak üzere üç farklı çökelek olduğunu belirlemiştir. Tane sınırı boyunca oluşan Cr fazı sertliği ve elektrik iletkenliğini artmıştır. %60 haddeleme ve 470°C’de 1 saat yaşlandırma sonucunda Cu matrisde uyumlu Cr fazı sertliğin %60 artırırken elektrik iletkenliğinde çok az bir azalmaya neden olmuştur (Juan-hua Sua et al., 2002).

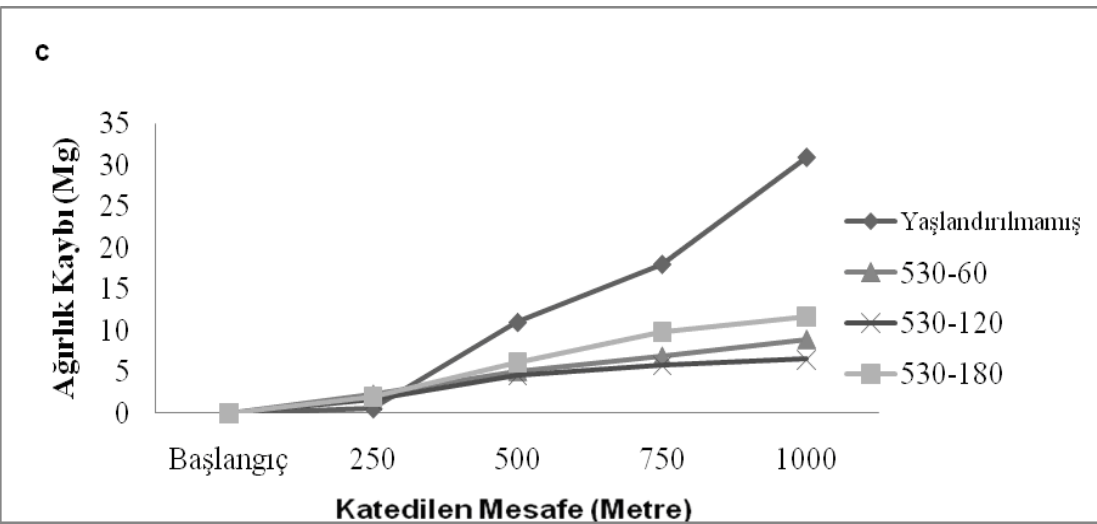
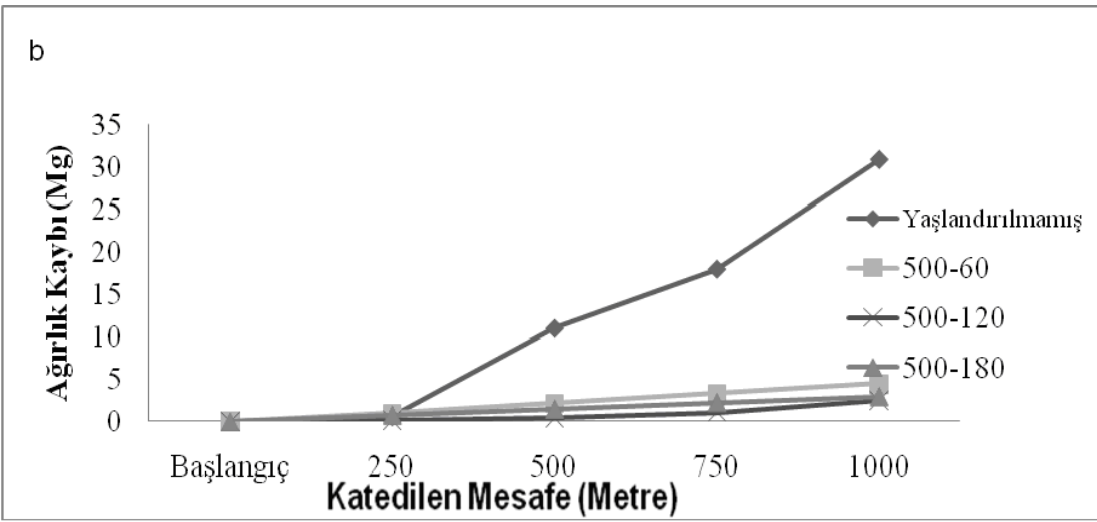
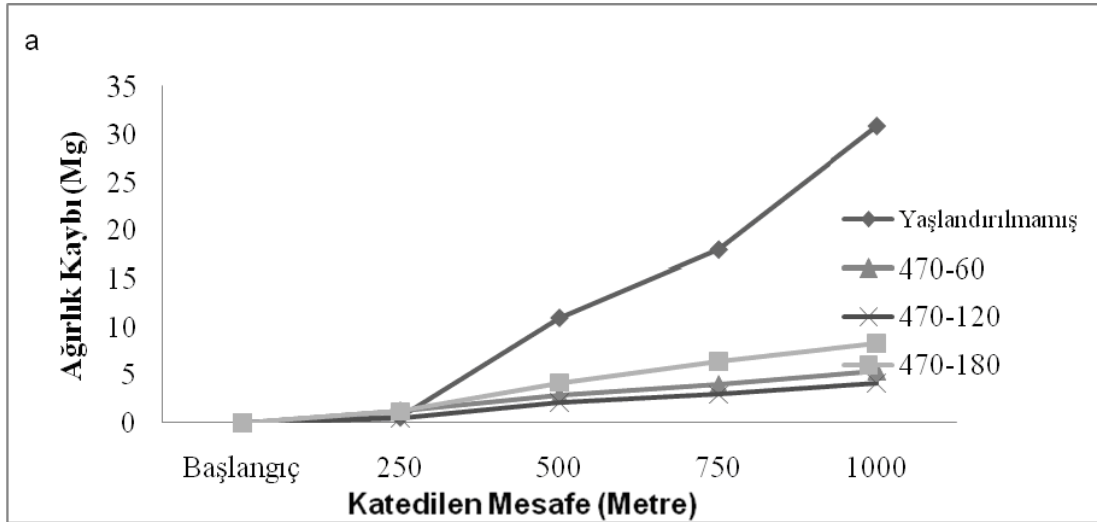
J.P. Tu ve arkadaşları yapmış oldukları Cu-Cr-Zr alaşımının yaşlandırma işleminden sonra yaptığı elektrik iletkenliği deneylerinde, yaşlandırma zamanının artması ile elektrik iletkenliğinin arttığını ve elektrik iletkenliğindeki artışı, bakır matris içerisinde aşama aşama artan kromca zengin tanelerin kabalaşmasından dolayı elektronların daha iyi iletildiğini bulmuştur (J.P.Tu et al., 2002).

### **6.3 AŞINMA TESTİ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ**

Aşınma işlemlerinde kayma hızı 2 m/s'de sabit tutulmuş, 15N, 30N ve 45N olmak üzere 3 farklı yük ve 250, 500, 750 ve 1000 metre aşınma mesafesi kullanılmıştır.

#### **6.3.1 Aşınma Testi Sonuçları**

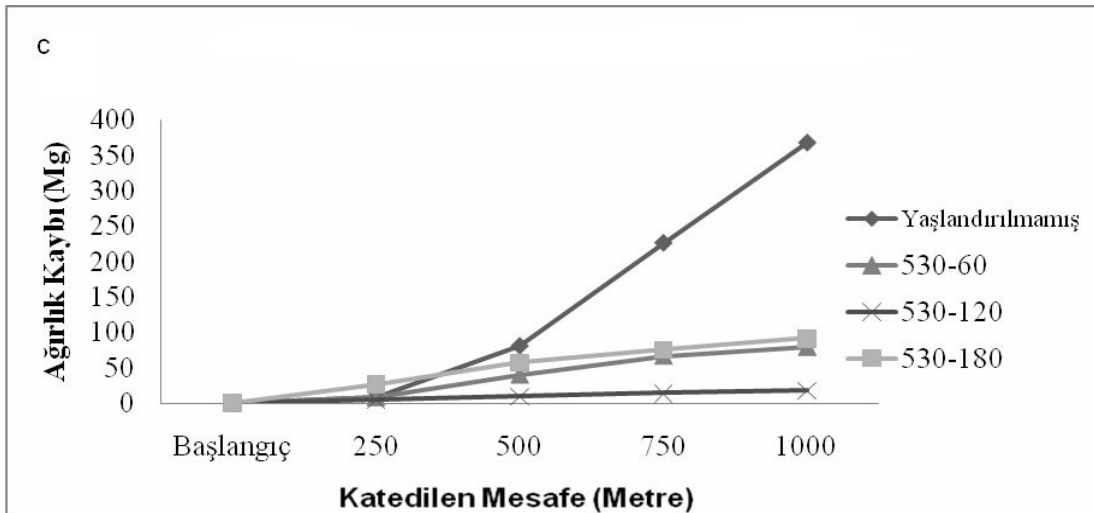
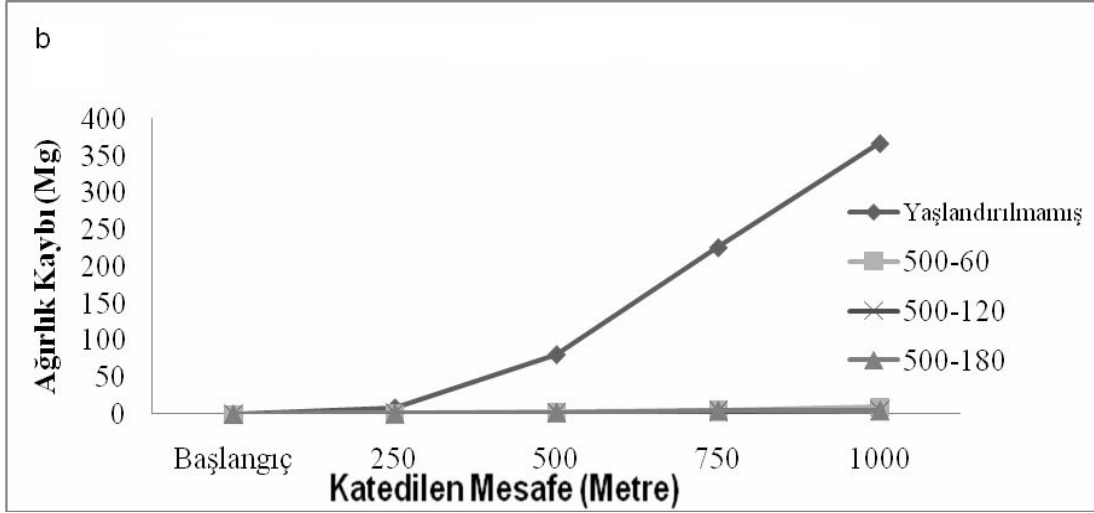
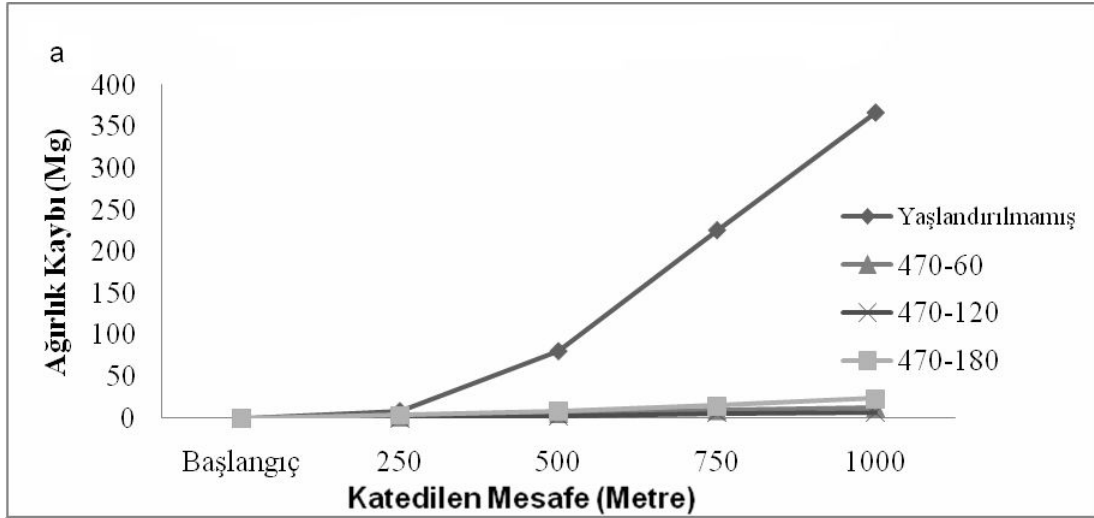
Şekil 6.5 a'da yaşlandırılmamış ve 470°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 15N yük altındaki aşınma kayıpları verilmiştir. Aşınma mesafesi arttıkça ağırlık kaybında düzenli bir artış gözlenmiştir. Bu ağırlık kaybındaki artış sertlik değerleri arasında Şekil 6.1'de görüldüğü gibi ters orantı söz konusudur. Yani sertlik arttıkça aşınma kaybı miktarı azalmaktadır. Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımından sertlik değeri düşük olduğu için en fazla aşınma miktarı bu malzeme de görülmüştür. 470°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırma ısı işlemi sonrasında oluşan ikinci faz parçacıkları ve Şekil 6.2 SEM ve EDS analizlerinde görüldüğü gibi çökeleklerin sertliği artırması sonucunda aşınma direncinde bir artış meydana gelmiştir.



Şekil 6.5 15 Newton yük uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış, 470°C 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları

Şekil 6.5 b’de yaşlandırılmamış ve 500°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 15N yük altındaki aşınma kayıpları görülmektedir. Burada aşınma mesafesine bağlı olarak aşınma miktarında bir artış söz konusudur. Şekil 6.1’de verilen sertlik değerlerine uygun olarak yaşlandırılmamış numunelerde aşınma kaybı fazla olmuştur. 500°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırma ısı işlemi sonrasında aşınma kayıplarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. 500°C’de yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımlarında her üç sürede (60, 80 ve 120 dakika) yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri birbirine yakın olduğu için aşınma kayıpların da birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Şekil 6.5 c’de yaşlandırılmamış ve 530°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 15 N yük altındaki aşınma kayıpları incelendiğinde 60 dakika ve 120 dakika yaşlandırılan numunelerden elde edilen değerlere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada da yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri ile aşınma kaybı miktarı arasında bir ilişki söz konusudur. 530°C’de yaşlandırılan numunenin sertlik değerlerinde bir azalma olduğu yapılan sertlik ölçümlerinde belirlenmiştir. Bu durum yaşlandırma ısı işlemi ile yapıda oluşturulan ikinci faz çökeleklerin aşırı büyüme (aşırı yaşlanma) periyoduna girdiğinin bir kanıtıdır. Aşırı yaşlanma sonucu irileşen kararlı  $\beta$  fazının deformasyon sırasında dislokasyonlar tarafından kolay deforma edildiğini göstermektedir.



Şekil 6.6 30 Newton yük uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış, 470°C, 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları

Şekil 6.6 a'dan da anlaşıldığı gibi uygulanan yük 15 N'dan 30 N'a çıkarıldığında özellikle yaşlandırılmamış numune oldukça fazla miktarda aşınma kaybı olduğu belirlenmiştir. 15N yük altında yaşlandırılmamış numunenin yaklaşık 10 katı bir artış söz konusudur. Bu artış yaşlandırılmış numunelerde bu değer yarısından daha az olduğu tespit edilmiştir.

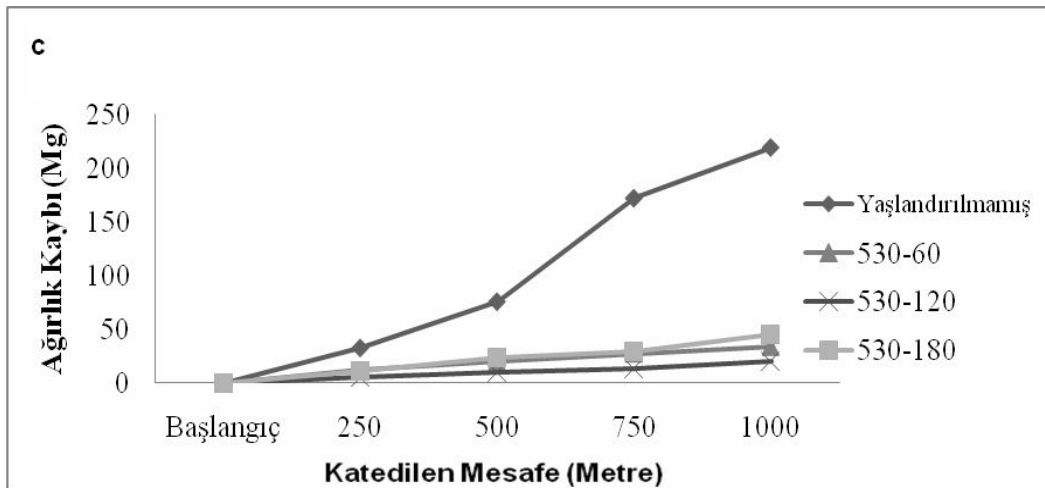
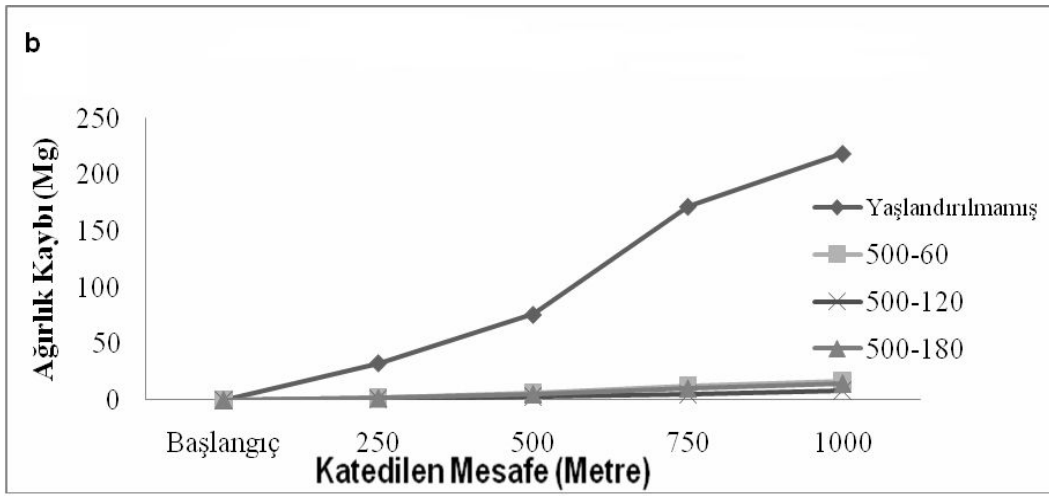
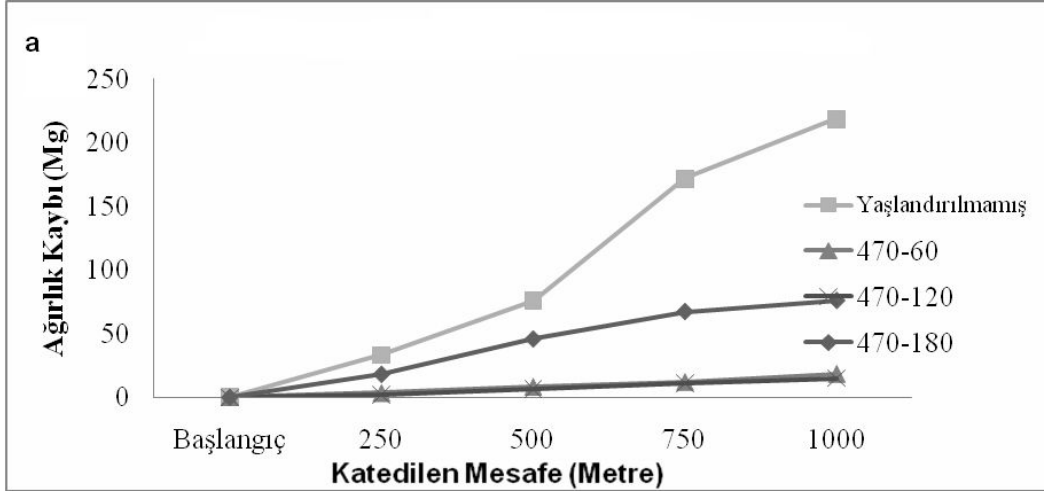
Şekil 6.6 b'de ise yaşlandırılmamış numunede aşınma kaybı miktarı aynı kalırken 500 °C'de yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımında aşınma kaybı miktarının 470 °C'de yaşlandırılan numunelerden daha az olduğu görülmektedir. Elde edilen aşınma kayıpları ile Şekil 6.1'de ölçülen sertlik değerleri arasında bir ilişki söz konusudur. Bu numunenin sertlikleri daha yüksek olduğu için elde edilen aşınma kayıpları da düşük olmuştur (470 °C'de yaşlandırılan numunelere göre).

Şekil 6.6 c'de 530 °C'de yaşlandırılan numunenin 30 N yük altında aşınma kaybı görülmektedir. 15N yük altında yaşlandırılmamış numunede yaklaşık 10 katlık bir artış söz konusudur. 530 °C'de yaşlandırılan numunelerde 30 N ile 15 N yük arasında yaklaşık 10 katı bir artmıştır. Bunun nedeni yaşlandırılmamış numune ile (Şekil 6.1) sertlik değerleri birbirine yakın olduğu için elde edilen aşınma kayıpları da birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 6.7 a'da yaşlandırılmamış ve 470°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 45 N yük altında aşınma kayıpları verilmiştir. Uygulanan kuvvet 15 N'dan 30 N'a çıkarıldığında aşınma kaybı artarken 45 N yük uygulandığında azalma meydana gelmektedir. Şekil 6.8 c'de incelendiğinde 45 N'da numunede sıcaklığın etkisi ile sıvanma meydana geldiği ve aşınma direncinin arttığı görülmektedir.

Şekil 6.7 b'de 500°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımının 45 N yük altında aşınma kayıpları görülmektedir. 30 N yük altında ağırlık kaybı 45 N çıkarıldığında birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 6.7 c' 530°C'de yaşlandırılan numune 15N'dan 30N yüke çıkıldığında ağırlık kaybında yaklaşık 10 kat artarken 45 N yüke çıkıldığında yaklaşık 5 kat arttığı görülmektedir. Bunun nedeni 45 N'da yükün etkisi ile parçacıklar tekrar yüzeye yapıştığı ve sıvandığı ve numunenin aşınma direncinin yükseldiği görülmektedir.



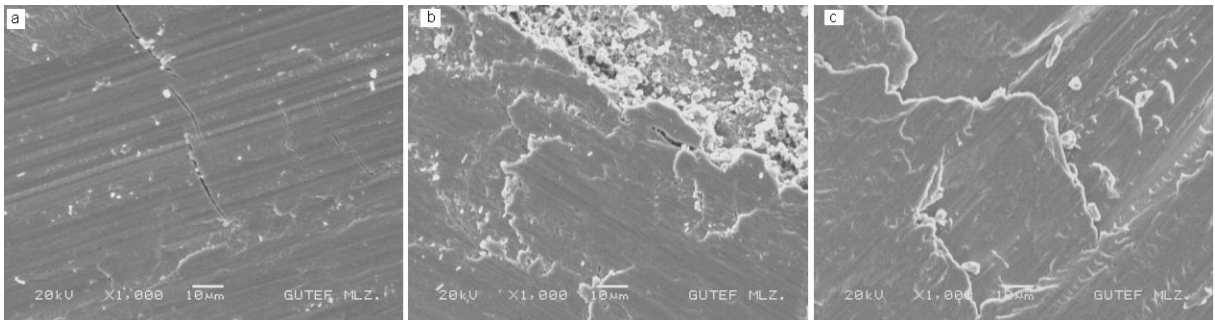
Şekil 6.7 45 Newton yük uygulanmış Cu-Cr-Zr alaşımın yaşlandırılmamış (920-60) , 470°C 500°C ve 530°C sırasıyla 60, 120 ve 180 Dakika yaşlandırılan numunelerinin aşınma işlemi sonrası ağırlık kayıpları

Şekil 6.7 b’de yaşlandırılmamış ve 500°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 45N yük altında aşınma kayıpları verilmiştir. Aşınma mesafesi arttıkça lineer artış gözlenmiştir. Bu artış sertlik değerlerine (Şekil 6.1) ters orantılı olarak değişmektedir. Yaşlandırılmamış (920-1) sertlik değeri en düşük olduğu halde en fazla aşınmaya uğradığı gözlenmiştir. 500°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında aşınma kayıpları birbirine yakın çıkmaktadır. Cu-Cr-Zr alaşımında yaşlandırma ısıl işleminde 500°C’de maksimum sertlik değerini bulduğu için aşınma dayımları birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 6.7 c’de yaşlandırılmamış ve 530°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 45N yük altındaki aşınma kayıpları verilmiştir. Aşınma mesafesi arttıkça lineer artış gözlenmiştir. Bu artış sertlik değerlerine (Şekil 6.1) ters orantılı olarak değişmektedir. Yaşlandırılmamış sertlik değeri en düşük olduğu halde en fazla aşınmaya uğradığı gözlenmiştir. 530°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında aşınma kayıpları en az 120 dakika, sonra 60 dakika ve en fazla 180 dakikada bulunmuştur. Cu-Cr-Zr alaşımında yaşlandırma ısıl işleminde 530°C’de çökeleklerin aşırı yaşlanması sonucunda aşınma direnci düştüğü gözlenmektedir.

### 6.3.2 Aşınma Yüzeylerinin incelenmesi

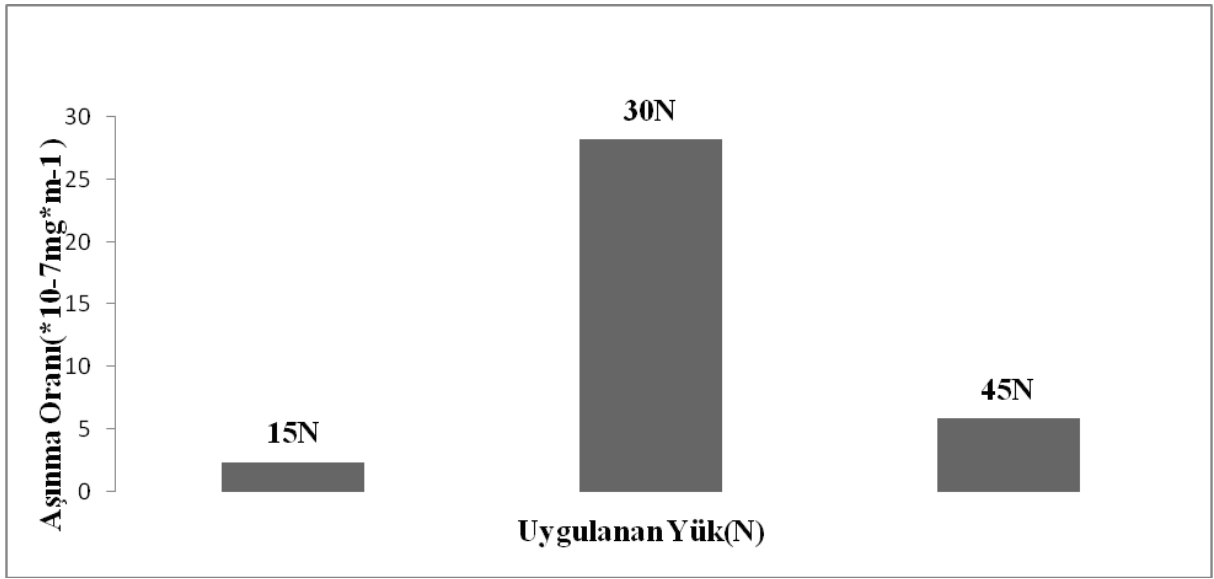
Şekil 6.8’de yaşlandırılmış Cu-Cr-Zr alaşımının 15 N, 30 N ve 45 N yük altında aşındırılması sonrasında alınan SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 6.8 Yaşlandırılmamış numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri. a)15N, b)30N, c) 45 N

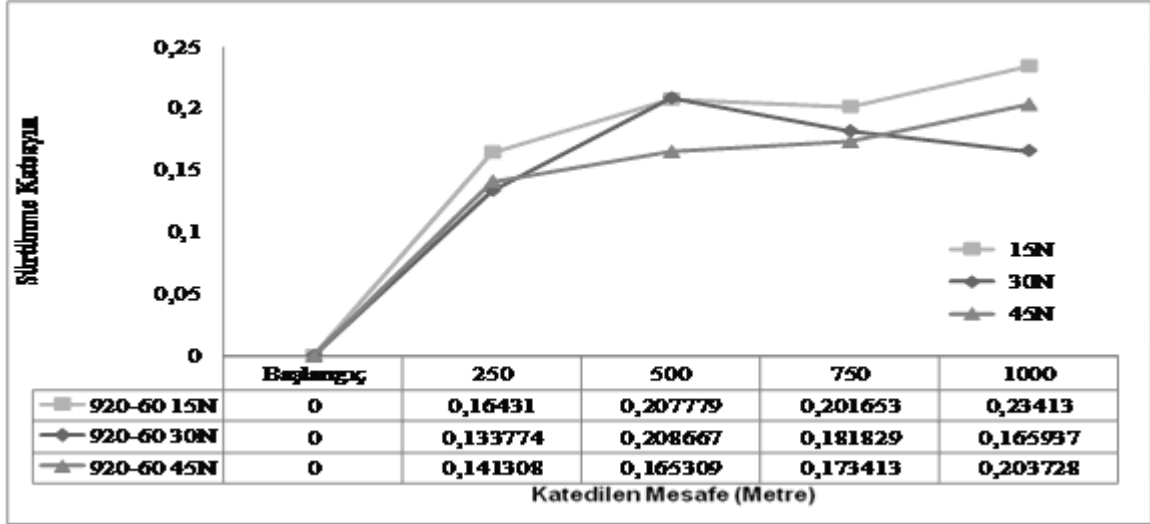


Yaşlandırılmamış numunenin 15N yük altında aşındırıldıktan sonra oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.8 a) incelendiğinde metal-metal temasından dolayı yüzeyde aşınma izleri ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. 30 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.8 b) yüzeye uygulanan kuvvet dökülmeler gözlenmiştir. 45 N yük altında oluşan aşınma yüzeyinde (Şekil 6.8 c) incelendiğinde plastik deformasyona uğradığı ve 45 N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapışmaktadır. Bu durum aşınma kaybında kısmen azaltmaktadır.



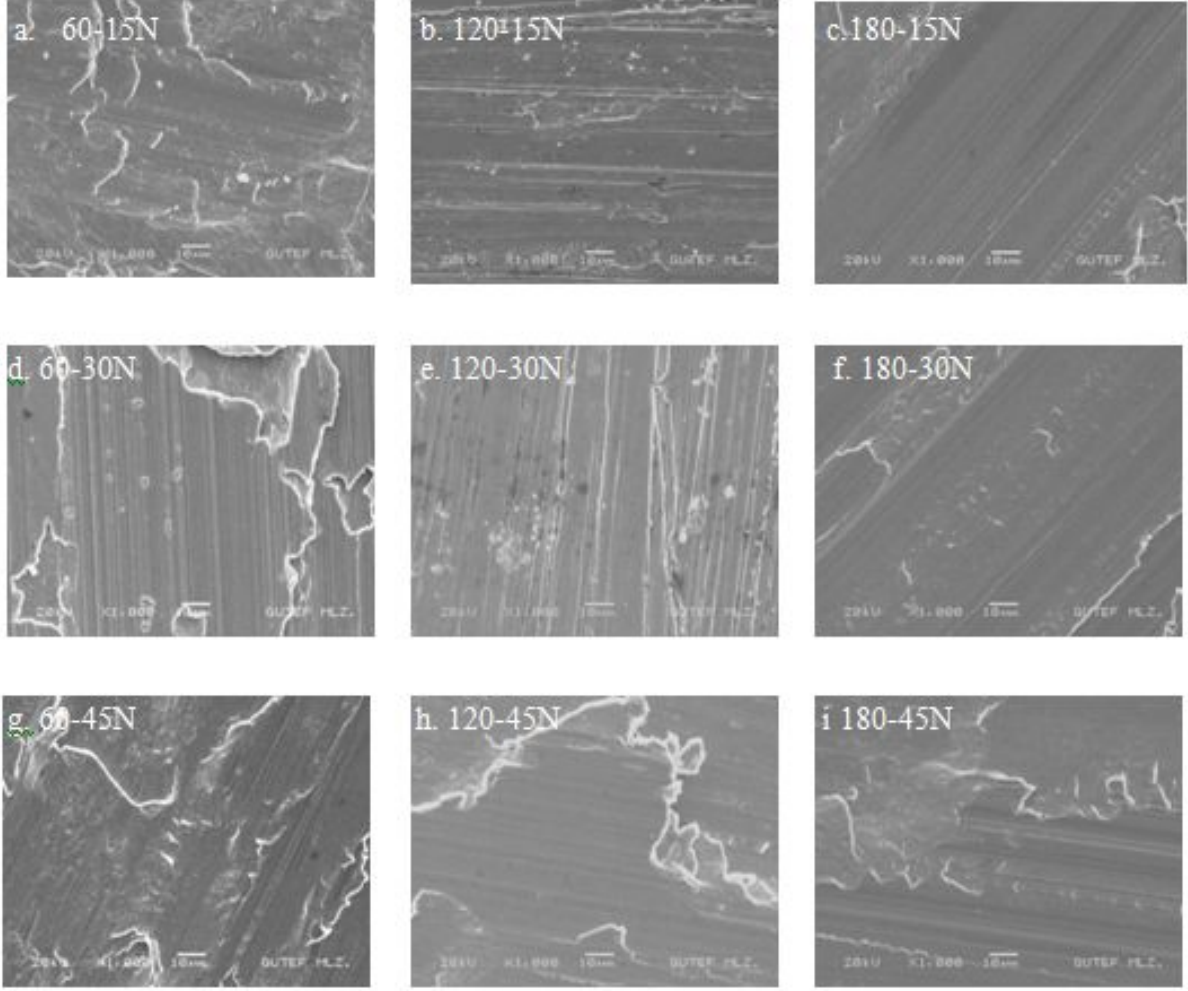
Şekil 6.9 Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımının numunenin aşınma oranları

Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımının aşınma oranları Şekil 6.9'da verilmiştir. 15N yük uygulandıktan sonra aşınma oranı  $5,96 \times 10^{-7} \text{ mg m}^{-1}$ , 30N yük uygulandıktan sonra  $140,23 \times 10^{-7} \text{ mg m}^{-1}$  yükselmiş, 45N yük uygulandıktan sonra  $43,96 \times 10^{-7} \text{ mg m}^{-1}$  düşmüştür. Grafikten de görüldüğü gibi en fazla aşınma oranı 30N ve 45N' da elde edilirken 15N'da en düşük aşınma oranı elde edilmiştir. Bunun nedeni 30N yük altında Şekil 6.8 b'de görüldüğü gibi malzemede kırılmanın meydana geldiği, 45N ile kıyaslandığında Şekil 6.8 c'de görüldüğü gibi malzemeden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı ve bunda aşınma oranını düşürmesidir.



Şekil 6.10 Yaşlandırılmamış numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımının numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.10'da verilmiştir. Yaşlandırılmamış numunenin 30N yük altında 500 metreye kadar numunede aşınmaya karşı bir direnç meydana geldiği ve 500 metreden sonra aşınma direnci düşmektedir. Buna bağlı olarak (Şekil 6.8 b) numune yüzeyinde kırılmaların meydana gelerek, (Şekil 6.9) aşınma oranında da artırmaktadır. Yaşlandırılmamış numunenin 45N yük altında numunede lineer sürtünme direnci oluşmaktadır. Bunun nedeni (Şekil 6.8c) aşınma yüzeyi ve (Şekil 6.9) aşınma oranları incelendiğinde, yüke ve (Şekil 6.1) sertliğe bağlı olarak aşınma işlemi ile numuneden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapışması ve yağlayıcı etki göstermesi sonucudur. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.8 a) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve bunun etkisi ile aşınma oranının da düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının yükselmektedir.



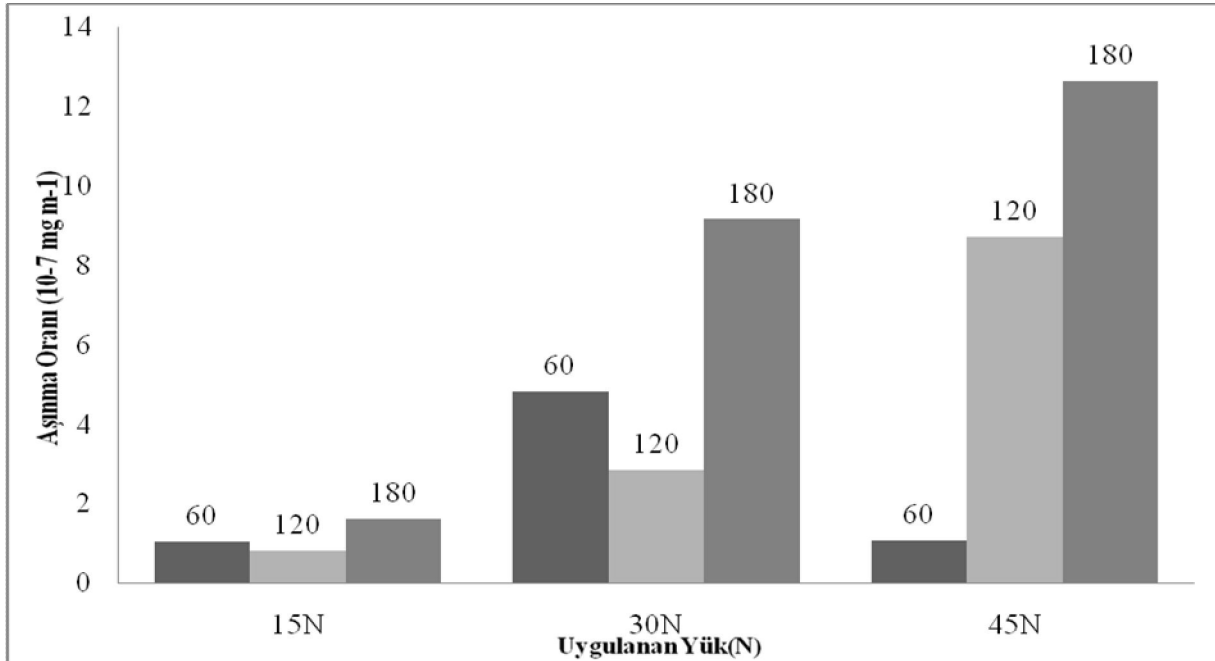
Şekil 6.11 470°C’de yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeylerinin SEM Görüntüleri.

Şekil 6.11’de 470°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımının aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri verilmiştir.

Cu-Cr-Zr alaşımının 470°C ’de 60 dakika yaşlandırılan numunenin 15 N yük altında aşındırılması ile elde edilen oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü (Şekil 6.11 a) incelendiğinde sürtünme etkisiyle yüzeyde deformasyon olduğu görülmektedir. 30 N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.11 d) incelendiğinde yüzeyden uygulanan kuvvet sonucunda, yüke ve kayma mesafesine bağlı olarak deformasyonun arttığı ve aşınma yüzeyinden kopmalar ve derin yırtılmalar olduğu anlaşılmaktadır. 45 N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.11 g) incelendiğinde plastik deformasyonun daha da arttığı uğradığı ve 45 N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların ısının etkisiyle tekrar yüzeye yapıştığı gözlenmiştir.

470°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.11 b) aşınma testinde deformasyona izleri oluşmuştur. 30N yük altında yapılan aşınma testinde aşınma yüzeyleri (Şekil 6.11 e) yüzeyden uygulanan kuvvet (yük) etkisiyle, deformasyon artışa ve yüzeyde çatlaklar oluşmuştur. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.11 h) incelendiğinde aşırı plastik deformasyon etkisi görülmüştür.

470°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde deformasyon etkisi söz konusudur (Şekil 6.11 c). 30N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.23 f) incelendiğinde ise aşınma testi sonucunda yüzeyden kopmalar ve dökülmeler olduğu tespit edilmiştir. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.11 i) incelendiğinde plastik deformasyona uğradığı ve 45N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı (soğuk kaynaklandığı) anlaşılmaktadır.

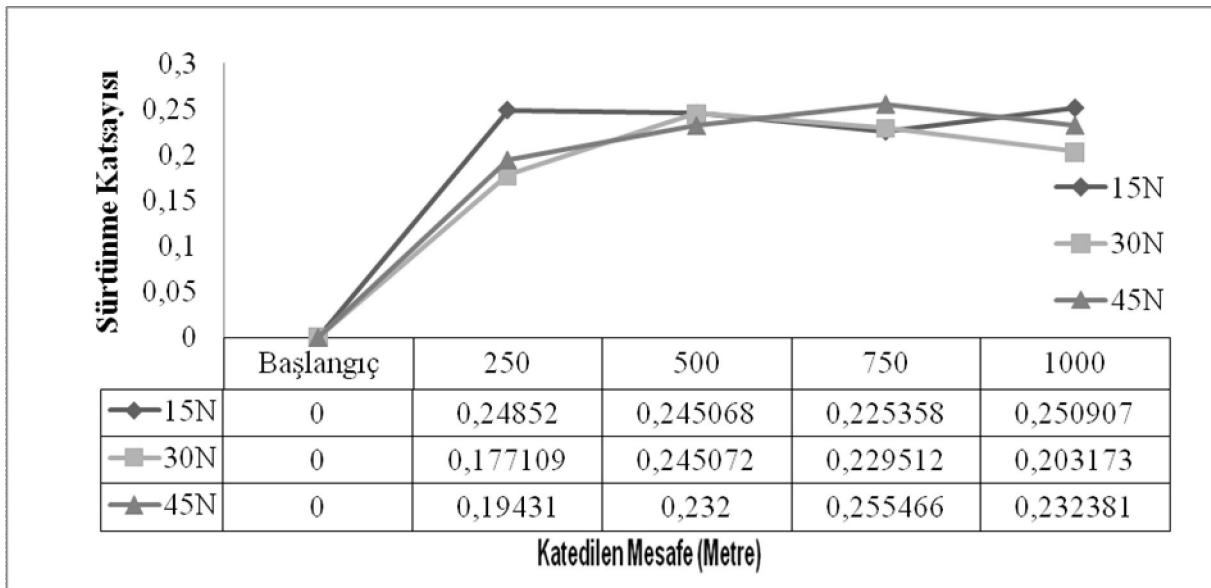


Şekil 6.12 470°C'de yaşlandırılan numunenin aşınma oranları

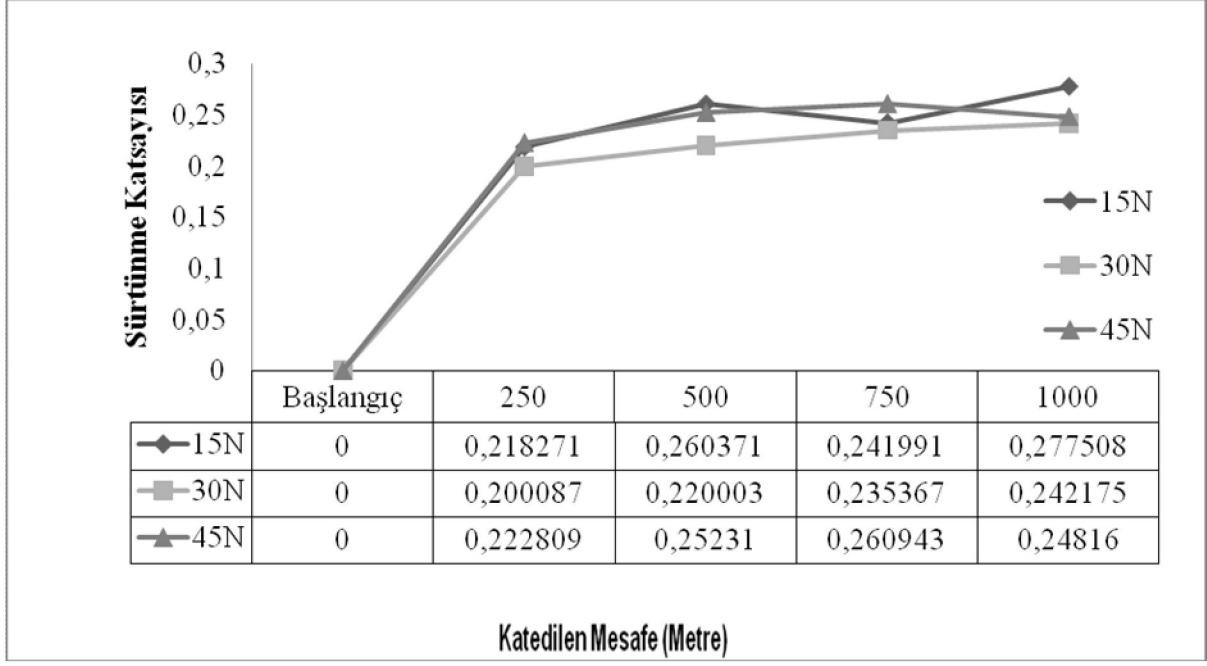
470°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranları Şekil 6.12'de verilmiştir. 15N, 30N ve 45N yük uygulanan 470°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numuneleri aşınma oranları incelendiğinde en fazla 180 dakika, sonra 60 dakika ve en az aşınma oranı 120 dakika yaşlandırılan numunede görülmüştür. Numunelerin (Şekil 6.1) sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerine sahip 470°C'de 120 dakika en az aşınmıştır. 470°C'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin 45N yük uygulandığında aşınma

oranı belirgin olarak düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ile (Şekil 6.13) sürtünme katsayısına incelendiğinde aşınmaya karşı bir direnç oluşmakta ve (Şekil 6.11 g) aşınma yüzeyinde yağlayıcı etki gösterdiği düşünülmektedir.

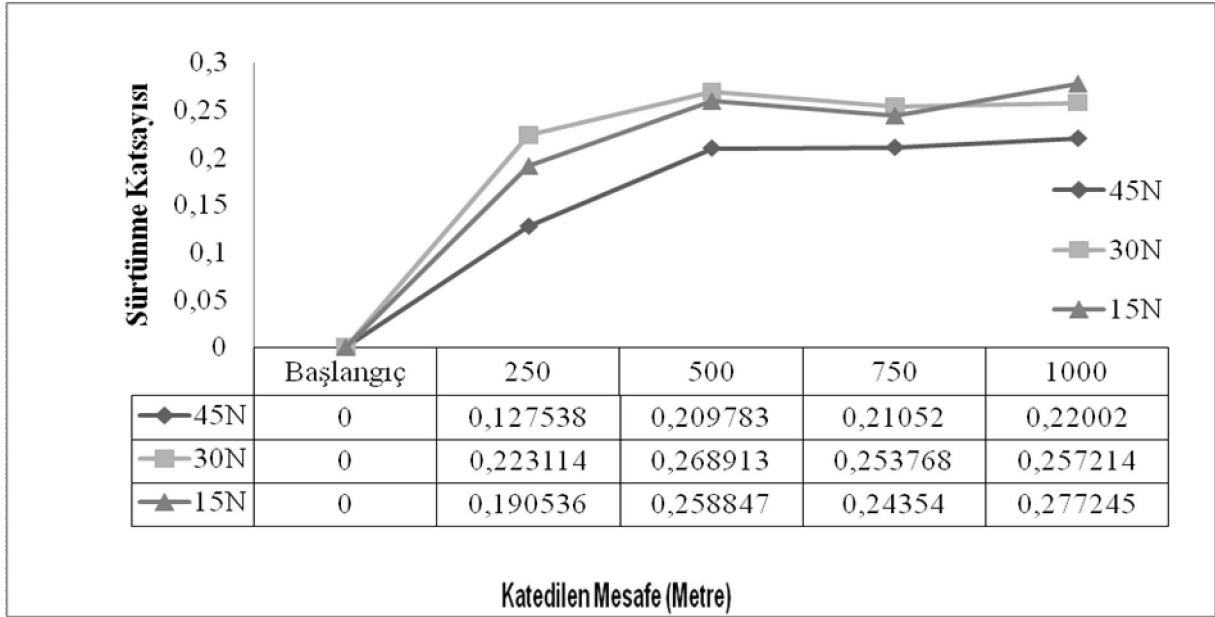
470°C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin (470-1) sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.13'de verilmiştir. 30N yük altında 500 metreye kadar numunede aşınmaya karşı bir direnç meydana geldiği ve 500 metreden sonra aşınma direncinin düştüğü ve buna bağlı olarak (Şekil 6.11 b) numune yüzeyinde kırılmaların meydana geldiği, (Şekil 6.12) aşınma oranı da artmıştır. 45N yük altında numunede sürtünme direncinde lineer bir artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni (Şekil 6.11 c) aşınma yüzeyi ve (Şekil 6.12) aşınma oranları incelendiğinde, yüke ve (Şekil 6.1) sertliğe bağlı olarak aşınma işlemi ile numuneden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapışması ve katı yağlayıcı etkisi gösterdiği düşünülmektedir. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.11 a) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği 750 metreye kadar sürtünme katsayısı düştüğü ve 750 metreden sonra sürtünme katsayısı arttığı ve bunun etkisi ile aşınma oranının da düşük çıktığı düşünülmektedir.



Şekil 6.13 470°C'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin, sürtünme katsayısı sonuçları.



Şekil 6.14 470°C’de 120 dakika yaşlandırılan numunenin, sürtünme katsayısı sonuçları.



Şekil 6.15 470°C’de 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

470°C’de 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.14’de verilmiştir. 15N yük altında 500 metreye kadar numunede aşınmaya karşı bir direnç meydana geldiği ve 750 metre sürtünme katsayısı düştüğü ve 1000 metrede arttığı görülmektedir. 45N yük altında numunede 750 metreye kadar lineer sürtünme direnci olduğu ve 750 metreden sonra düşüşe geçtiği görülmektedir.

470°C’de 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.15’de verilmiştir. 45N yük altında 500 metreye kadar numunede aşınmaya karşı direnç olduğu ve 500 metreden sonra bir miktar aşınma direncinin düştüğü görülmektedir. 30 N yük altında 500 metreye kadar numunede aşınmaya karşı direnç gösterdiği ve 500 metreden sonra aşınma direncinin gözle görünür şekilde azaldığı buna bağlı olarak 45N yüke göre (Şekil 6.12) aşınma oranı azalmıştır. 15N yük altında 500 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği, 750 metrede aşınma direncinin bir miktar düştüğü ve 1000 metrede de aşınma direncinin arttığı görülmektedir.

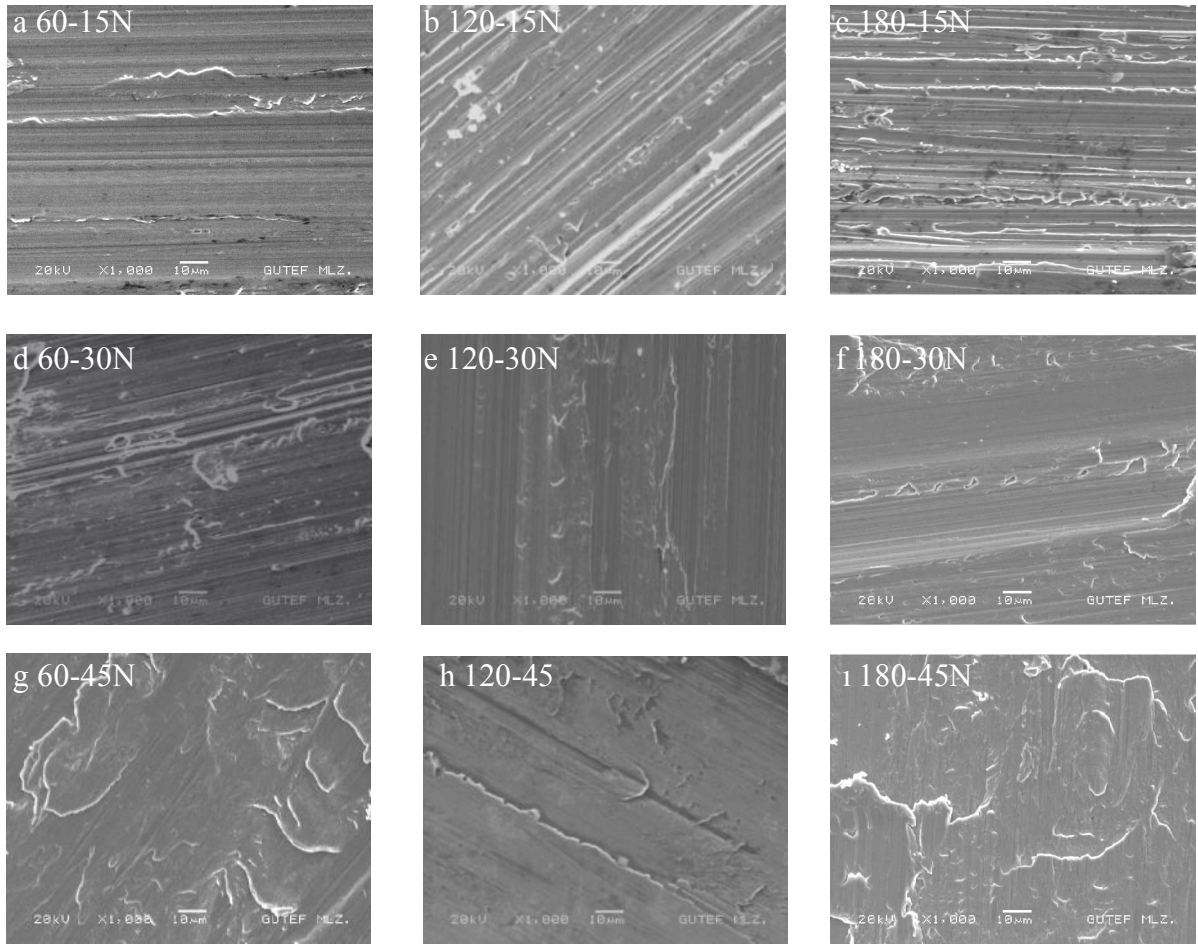
470°C ’de 60 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, 30N yük altında numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.11 d) meydana gelen kırılmalar, dökülmeler ve kopmalar aşınma oranını (Şekil 6.12) artırmaktadır. Sürtünme katsayısının bu nedenden dolayı (Şekil 6.25) düşük çıktığı tahmin edilmektedir. 45N yük altında numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.11 g) incelendiğinde yüzeyden kopan parçacıkların uygulanan kuvvetin etkisi ile tekrar yüzeye yapıştığı, aşınma oranını düşürdüğü ve sürtünme katsayısının da yüksek çıktığı belirlenmiştir. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.11 a) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının da yüksek çıktığı tahmin edilmektedir.

470°C ’de 120 dakika yaşlandırılan numunenin (470-2) aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, 45N yük altında numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.11 h) meydana gelen kırılmalar, kopmalar aşınma oranını (Şekil 6.12) artırdığını ve dolayısıyla sürtünme katsayısı (Şekil 6.12) düşük çıkmıştır. 30N yük altında numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.11 e) incelendiğinde uygulanan kuvvet paralelinde 45N yük altında numunenin göre aşınma oranı azaldığı, sürtünme katsayısını da azaltmaktadır. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.11 b) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısını da artırmaktadır.

470°C ’de 180 dakika yaşlandırılan numunenin (470-3) aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, 45N yük altında numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.11 i) meydana gelen kırılmalar, kopmalar aşınma oranını (Şekil 6.12)

artırdığını ve dolayısıyla sürtünme katsayısının (Şekil 6.15) düşük çıktığı tahmin edilmektedir. 30N yük altında numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.11 f) incelendiğinde uygulanan kuvvet paralelinde 45N yük altında numunesine göre aşınma oranı azaldığı, sürtünme katsayısının azaldığı sanılmaktadır. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.11 c) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısını da artırmaktadır.

Şekil 6.16'da 500°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımının aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.16 500°C yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri.

500 °C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.16 a) deformasyon izler oluşmuştur. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.16 d) incelendiğinde yüzeyden uygulanan yükün etkisiyle numune yüzeyinden kopmalar ve derin kazınmalar (fretting wear) meydana geldiği gözlenmiştir. 45N

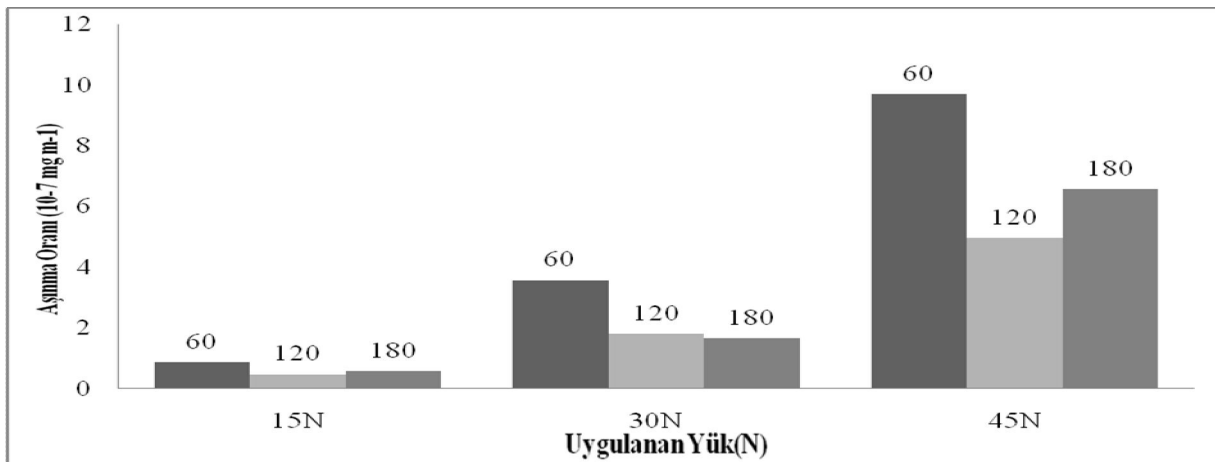


yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.16 g) incelendiğinde plastik deformasyona uğradığı ve 45N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı anlaşılmıştır.

500°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin 15N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.16 b) incelendiğinde metal-metal teması sonucunda oluşan aşınma izleri görülmektedir. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.16 e) yüzeyden uygulanan kuvvetin artması sonucunda, plastik deformasyonun da etkisi ile numune yüzeyinden yırtılmalar meydana geldiği gözlenmiştir. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.16 h) plastik deformasyon ve ayrıca kopan parçacıkların yükün etkisiyle yüzeye yapışığı görülmektedir.

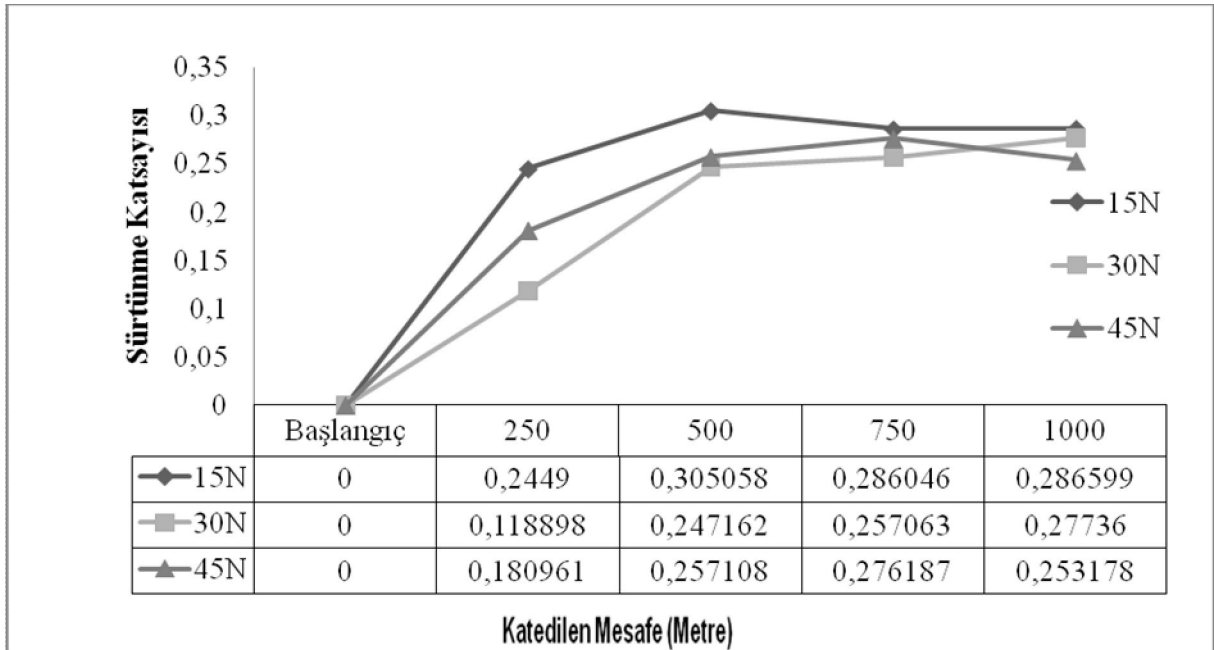
500°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin (500-3) aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.16 c) incelendiğinde plastik deformasyona uğrayarak aşındığı belirlenmiştir. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.16 f) yüzeye uygulanan kuvvet sonucunda, plastik deformasyonun da etkisi ile numune yüzeyinden kopmalar ve derin yırtıkları oluşmuştur. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde ise (Şekil 6.16 i) incelendiğinde plastik deformasyona uğradığı ve 45N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkları tekrar yüzeye yapıştığı anlaşılmıştır.

500°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranları Şekil 6.17'de verilmiştir.



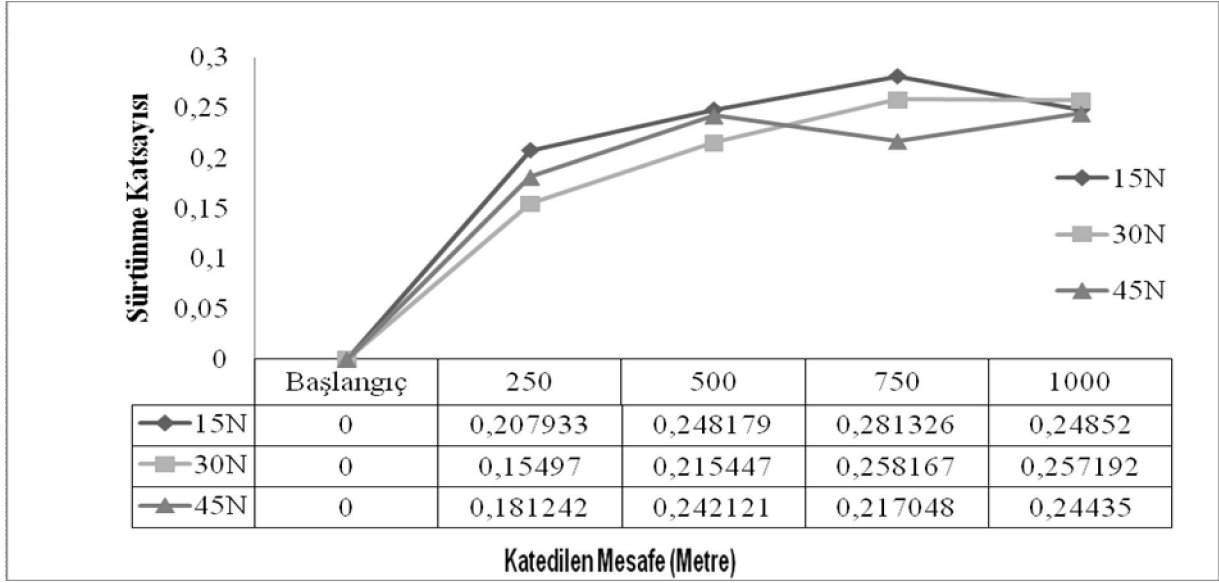
Şekil 6.17 500°C yaşlandırılan numunenin aşınma oranı

15N, 30N, 45N yük uygulanan 500°C 'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numuneler incelendiğinde en fazla 60 dakika, sonra 180 dakika ve en az aşınma oranı 120 dakika yaşlandırılan numunede görülmüştür. Numunelerin (Şekil 6.1) sertlik değerleri incelendiğinde 60 (107HV) ve 180 (110HV) dakika yaşlandırılan numunelerde değerler birbirine yakın olduğu ve bu yüzden de aşınma oranlarında çok büyük fark olmadığı görülmektedir. 30N yük altında 500°C'de 180 dakika ve 120 dakika yaşlandırılan numuneler incelendiğinde aşınma oranlarında Şekil 6.16 d, e, f aşınma yüzeyleri incelendiğinde Şekil 6.16 d ve Şekil 6.16 e numunelerinde kazımalı aşınma olduğu, Şekil 6.16 f numunesinde çok fazla deformasyon izi görülmekle birlikte bu durum aşınma sırasında meydana gelen ısınma etkisiyle olabileceği düşünülmektedir.

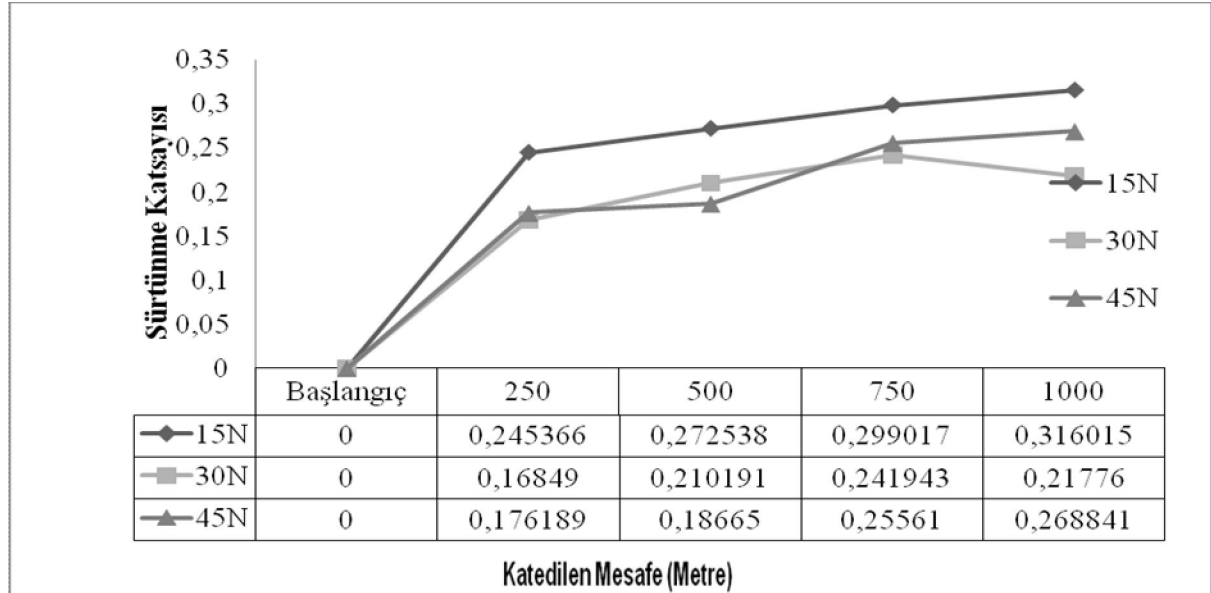


Şekil 6.18 500°C 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

500°C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.18'de verilmiştir. 45N yük altında 750 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği ve 750 metreden sonra belirgin şekilde aşındığı, (Şekil 6.17) aşınma oranı ve aşınma miktarlarında da görülmektedir. 30N yük altında 500 metreye kadar aşınma direnci gösterdiği ve 500 metreden sonra sabit bir seyirde sürtünme katsayısı çıkmıştır. 15N yük altında 500 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği 500 metreden aşınma direnci düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 6.19 500°C 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları 500°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.19'da verilmiştir. 45N yük altında 500 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği ve 500 metreden sonra belirgin şekilde aşındığı, (Şekil 6.17) aşınma oranı ve aşınma miktarlarında da görülmektedir. 30N yük altında 750 metreye kadar aşınma direnci gösterdiği ve 750 metreden sonra sabit bir seyirde sürtünme katsayısı çıkmıştır. 15N yük altında lineer olarak aşınmaya direnç gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6.20 500°C 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

500°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.20'de verilmiştir. 45N yük altında olarak aşınmaya direnç gösterdiği görülmektedir. 30N yük altında

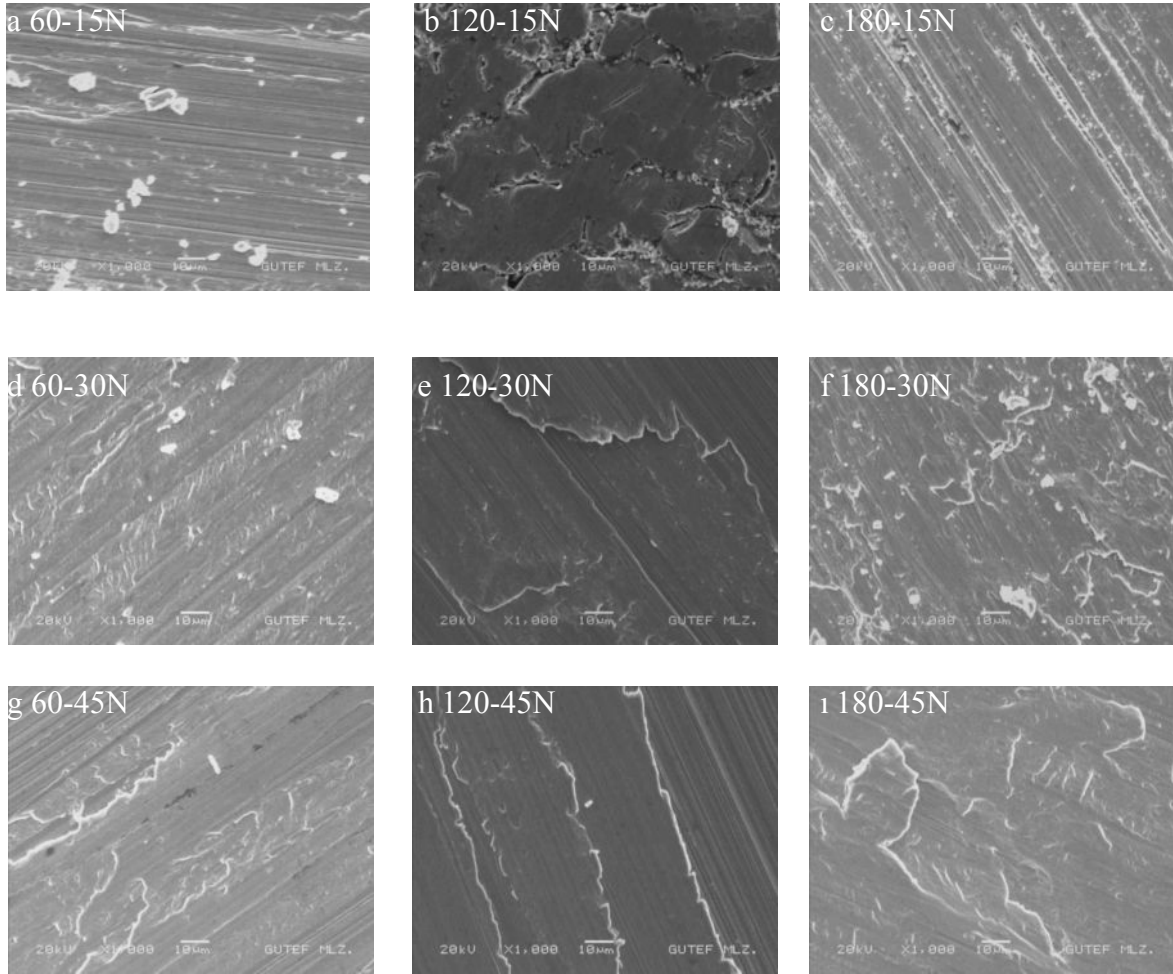
750 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği ve 750 metreden sonra aşınma direncinin düzenli olarak devam ettiği görülmektedir.

500°C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri değerlendirildiğinde, 45N yük uygulanan numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.16 g) meydana gelen kırılma, kopma ve tekrar ısı etkisiyle yüzeye yapışmalar aşınma oranını (Şekil 6.17) artırdığını ve dolayısıyla sürtünme katsayısının (Şekil 6.18) düşük çıktığı belirlenmiştir. 30N yük uygulanan numunede (Şekil 6.16 d) uygulanan kuvvete paralel olarak, 45N yük uygulanan numuneye göre aşınma oranı ve sürtünme katsayısı azalmaktadır.

500°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri, 45N yük uygulanan numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.16 h) meydana gelen kırılmalar, kopmaların aşınma oranını (Şekil 6.17) artırdığı ve dolayısıyla sürtünme katsayısının da (Şekil 6.19) azaldığını göstermektedir. 30N yük uygulanan numunenin SEM görüntüleri, (Şekil 6.16 e) uygulanan kuvvete paralel olarak 45N yük uygulanan numuneye göre aşınma oranının azaldığını ve buna bağlı olmakla sürtünme katsayısının düştüğü düşünülmektedir. 15N yük uygulanan numunede aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının da yüksek çıktığı görülmektedir. Buna sebep olarak (Şekil 6.2) SEM görüntüleri ve EDS analizlerinde görülen Cr zengin mikro segragasyonlar olabileceği düşünülmektedir.

500°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeyleri değerlendirildiğinde; 45N yük uygulanan numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.16 i) meydana gelen kırılmalar, kopmalar aşınma oranını (Şekil 6.17) artırdığını ve dolayısıyla sürtünme katsayısının (Şekil 6.20) düşük çıktığı belirlenmiştir. 30N yük uygulanan numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.16 f) incelendiğinde uygulanan kuvvet paralelinde 45N yük uygulanan numuneye göre aşınma oranı azaldığı, sürtünme katsayısının azaldığı belirlenmiştir. 15N yük uygulanan numunenin yüzeyi (Şekil 6.16 c) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının da yüksek çıktığı görülmektedir. Buna sebep olarak (Şekil 6.2) SEM görüntüleri ve EDS analizlerinde görülen Cr zengin mikro segragasyonlar olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 6.21’de 530°C’de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan Cu-Cr-Zr alaşımlarının aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmiştir.

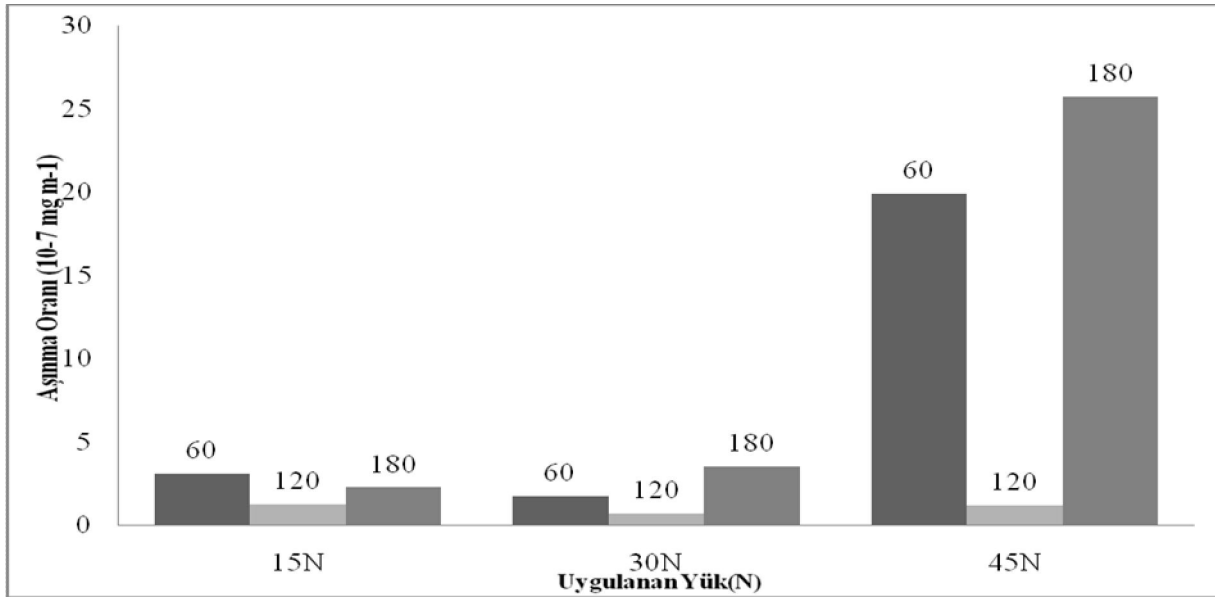


Şekil 6.21 530°C Yaşlandırılan numunelerin aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri.

530°C’de 60 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 a) incelendiğinde metal-metal temasından dolayı oluşan aşınma izler görülmektedir. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.21 d) aşınmanın az olduğu ve bunun katı yağlayıcı etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 g) incelendiğinde aşırı deformasyona uğradığı ve 45N yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı görülmektedir.

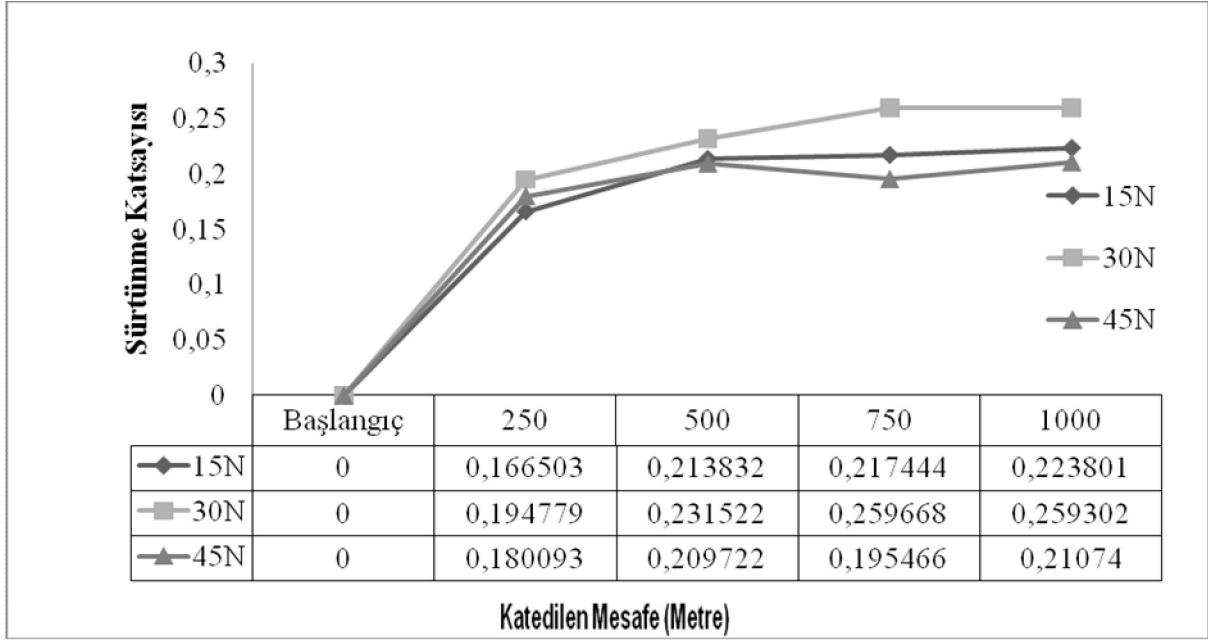
530°C ’de 120 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinde (Şekil 6.21 b) aşınma miktarının düşük olduğu anlaşılmaktadır. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 e) yüzeyden uygulanan kuvvet sonucunda, plastik deformasyonun da etkisi ile numune yüzeyinden yarıklar meydana geldiği, 45N yük altında ise (Şekil 6.21 h) incelendiğinde çizgisel aşınmaya uğradığı gözlenmektedir.

530°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma yüzeyleri 15N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 c) deformasyon etkisiyle aşınma yüzeyleri oluşmuştur. 30N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 f) yüzeyden uygulanan kuvvet sonucunda, deformasyonun da etkisi ile numune yüzeyinden kopmalar meydana geldiği görülmektedir. 45N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri (Şekil 6.21 i) deformasyon bağlı ve 45N'luk yükünde etkisi ile yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı görülmektedir.



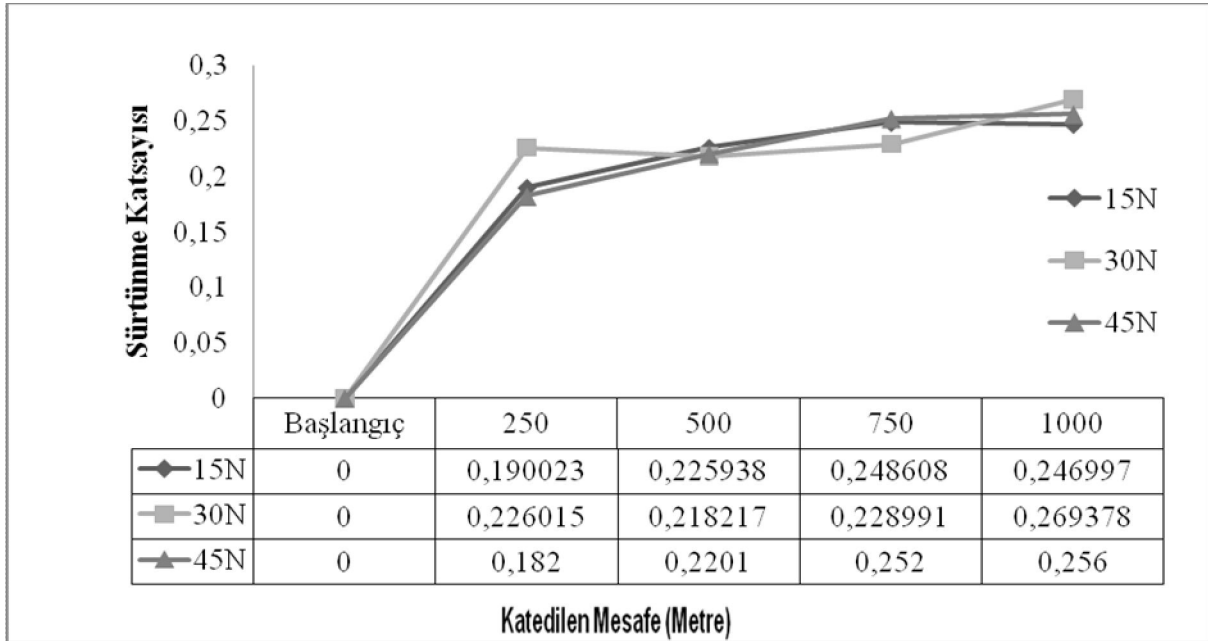
Şekil 6.22 530°C'de yaşlandırılan numunenin aşınma oranı

530°C 'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranları Şekil 6.22'de verilmiştir. 15N, 30N ve 45N yük uygulanan 530°C'de 60, 120 ve 180 dakika yaşlandırılan numunelerde en fazla 180 dakika, sonra 60 dakika ve en az aşınma oranı 120 dakika yaşlandırılan numunede görülmüştür. Numunelerin (Şekil 6.1) sertlik değerleri incelendiğinde 180 (95HV) ve 60 (98HV) dakika yaşlandırılan numunelerde değerler birbirine yakın olduğu ve bu yüzden de aşınma oranlarında çok büyük fark olmadığı görülmektedir.



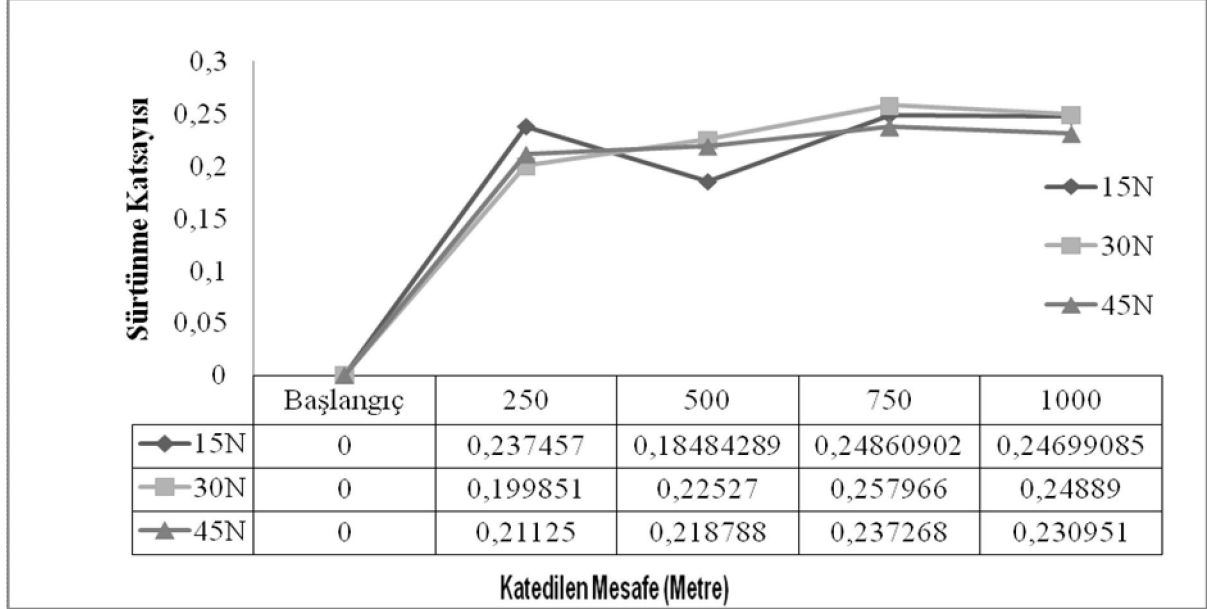
Şekil 6.23 530°C 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

530°C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.23'de verilmiştir. 45N yük altında 500 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği, 500 metreden sonra aşınma direnci düştüğü görülmektedir. 30N yük altında aşınmaya direnç göstermektedir. 15N yük altında 500 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği ve 500 metreden sonra aşınma direncinin sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 6.24 530°C 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

530°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.24'de verilmiştir. 45N ve 30N yük altında aşınmaya direnç gösterdiği belirlenmiştir. 15N yük altında 250 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği, 250 metreden 750 metreye kadar aşınma direnci sabit kalmış ve 750 metreden sonra aşınma direnci yükseldiği görülmektedir.



Şekil 6.25 530°C 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları

530°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6.25'de verilmiştir. 45N ve 30N yük altında aşınmaya direnç gösterdiği görülmektedir. 15N yük altında 250 metreye kadar aşınmaya direnç gösterdiği, 250 metreden 500 metreye kadar aşınma direnci düştüğü ve aşınmanın arttığı, 500 metreden 750 metreye kadar aşınma direnci arttığı ve aşınmanın azaldığı ve 750 metreden 1000 metreye aşınma direnci sabit kaldığı görülmektedir.

530°C 'de 60 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeyleri incelendiğinde, 45N yük altında numunenin aşınma oranı (Şekil 6.22) yüksek çıkmış ve sürtünme kat sayısının da (Şekil 6.23) düşük çıktığı görülmektedir. 30N yük altında numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.21 d) incelendiğinde katı yağlayıcı etkisinin olduğu ve aşınma oranının azaldığı, sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.21 a) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının da yüksek çıktığı görülmektedir.



530°C 'de 120 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeyleri incelendiğinde, 30N yük altında numunenin aşınma oranı (Şekil 6.22) düşük çıkmış ve dolayısıyla sürtünme katsayısının (Şekil 6.24) yüksek çıktığı görülmektedir. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.21 b) incelendiğinde aşınmanın nerdeyse hiç meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısı da yüksek çıkmıştır.

530°C 'de 180 dakika yaşlandırılan numunenin aşınma oranı, sürtünme katsayıları ve aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri değerlendirildiğinde; 45N yük altında numunenin aşınma yüzeyinde (Şekil 6.21 i) meydana gelen kırılmalar, kopmalar aşınma oranını (Şekil 6.22) artırdığını ve dolayısıyla sürtünme katsayısının (Şekil 6.25) düşük çıktığı belirlenmiştir. 30N yük altında numunenin aşınma yüzeyi (Şekil 6.21 f) incelendiğinde uygulanan kuvvet paralelinde 45N yük altında numuneye göre aşınma oranı azaldığı, sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. 15N yük altında numunenin yüzeyi (Şekil 6.21 c) incelendiğinde plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma oranında düşük çıkması sonucunda sürtünme katsayısının da yüksek görülmektedir.



## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1 SONUÇLAR

Bu çalışmada otomotiv sanayinde ve elektrik akımı iletiminde yüksek dayanım ve aşınma direncine sahip olan Cu-Cr-Zr alaşımı 470 °C, 500 °C ve 530 °C sıcaklıklarda 60, 120, 180 dakika yaşlandırılarak aşınma davranışları ve elektrik iletkenlikleri incelenmiştir. İnceleme sonuçlarına göre;

- Yaşlandırma ısı işlemi ile Cu-Cr-Zr alaşımlarındaki yüksek sertlik değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni yaşlanma ile yapıda oluşan ve çökelekler boyunca meydana gelen dislokasyonlar ve çökeleklerin oluşmasıyla elde edilen dağılım mukavemetlenmesi sebebiyledir.
- Cu-Cr-Zr alaşımlarının SEM görüntüleri ve EDS analizleri incelendiğinde yaşlandırma ısı işleminden sonra ikinci faz olan kromun miktarı artması ile çökeleğin büyüklüğü de arttığı ve bu büyüklük yaşlandırma süresi yaşlandırma süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür. İrileşen Cr zengin çökelekler elektrik iletkenliğini artırdığı görülmüştür.
- Cu-Cr-Zr alaşımlarının elektrik iletkenliği deneylerinde, 530°C’de 180 dakika yaşlandırma ile elde edilmiştir. Sertlik sonuçları göz önüne alındığında aşırı yaşlanma periyoduna giren malzemelerde sertlikte düşme kaydedilirken iletkenlikte artış olmaktadır. Yaşlandırma ısı işlemi ile yapıda oluşturulan katı çökelti elektrik iletkenliğini düşürmesine karşın (470°C), çökelti sertleşmesinde uygun yaşlandırma koşulları seçilerek iletkenlik ve dayanım değerleri birlikte yükselmektedir (500°C).

- Yaşlandırma ısı işlemleri ile ikinci faz parçacıkları ve SEM ve EDS analizlerinde görüldüğü gibi çökeleklerin sertliği artırması sonucunda aşınma direncinde bir artış meydana gelmiştir.
- Yaşlandırılmamış Cu-Cr-Zr alaşımının sertlik değeri düşük olduğu için en fazla aşınma miktarı bu malzeme de görülmüştür.
- Cu-Cr-Zr alaşımının 530°C’de yaşlandırma ısı işlemleri ile yapıda oluşturulan ikinci faz çökeleklerin aşırı büyüme (aşırı yaşlanma) periyoduna girdiği ve aşırı yaşlanma sonucu irileşen kararlı  $\beta$  fazının deformasyon sırasında dislokasyonlar tarafından kolay deforma edildiğini bununla beraber aşınma direncinde bir düşme meydana gelmektedir.
- Yaşlandırmamış Cu-Cr-Zr alaşımına uygulanan kuvvet 15N’den 30N’a çıkarıldığında aşınma kaybı artarken 45N yük uygulandığında aşınma kaybında azalma meydana gelmektedir. 45N’da numunede sıcaklığın etkisi ile sıvanma meydana geldiği ve aşınma direncinin arttığı görülmektedir.
- 530°C’de yaşlandırılan numune 15N’den 30N yüke çıkıldığında ağırlık kaybında yaklaşık 10 kat artarken 45N yüke çıkıldığında yaklaşık 5 kat arttığı görülmektedir. Bunun nedeni 45N’da yükün etkisi ile parçacıklar (depris) tekrar yüzeye yapıştığı, sıvandığı ve numunenin aşınma direncinin yükseldiği görülmektedir.
- Cu-Cr-Zr alaşımında aşınma işlemlerinde aşınma oranı değerleri sertlik artıkça azalmaktadır. 500°C’de yaşlandırılmış numune ile yaşlandırılmamış numune arasında yaklaşık %350 aşınma oranı farkı çıkmıştır.
- Cu-Cr-Zr alaşımında sürtünme katsayısı, yaşlandırma ısı işlemleri sonucu sertlik artıkça yükselmiştir. 500°C’de yaşlandırma ısı işlemleri uygulanan numune ile yaşlandırılmamış numune arasında %30 sürtünme katsayısı farkı bulunmuştur.

## 7.2 AŞINMA DENEYLERİ İLE İLGİLİ ÖNERİLER

- 1) Aşınma deneyleri yapılırken kullanılan test üniteleri geliştirilebilir. Isının aşınmaya etkisini daha derin irdelenmek için, numunenin ünite üzerinde takıldığı yere ısı bir fırın yerleştirilebilir.
- 2) Deney esnasında numunenin disk ile temasından oluşan ısıyı ölçmek için sisteme lazer sensör monte edilerek aşınmanın algılanmasında artı bir parametre daha kullanılabilir.
- 3) Cu-Cr-Zr numunesinin kuru sürtünme davranışlarının yanı sıra yağlı ve diğer tür aşınma davranışlarının irdelenmesi için sistem üzerine yapısal değişiklikler kazandırılabilir.
- 4) Sistemde kullanılan yük hücresi ve ara yüz kartlar vasıtasıyla, alaşımların sürtünme davranışlarının irdelenmesi yanı sıra sistem üzerine bir deplasman ölçer eklenerek aşınma sırasında numunelerin yükseklik kayıpları elde edilerek aşınmanın algılanmasında ek bir parametreye sahip olunur.
- 5) Aşınma deneyleri yapılırken daha fazla kayma hızları, yükler ve yollar kullanılabilir.
- 6) Karakterizasyon işlemlerinde TEM incelemeleri yapılarak yapıdaki deformasyon ve çökelek boyutları incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- David L. Ellis** (2006) Observations Of a Cast Cu-Cr-Zr Alloy. *NASA Glenn Research Center*, TM-2006-213968: 1-9.
- Donald, R. A.** (1999) The Science and Engineering of Materials Third Edition, *PSW Publishing Company*, s.123.
- Durashevich G., Cvetkovski V. and Jovanovich V** (2002) Effect of thermomechanical treatment on mechanical properties and electrical conductivity of a CuCrZr alloy. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 25: 59-62.
- Güldaş, A M** (1998) Aşınma Deney Aparatının Tasarımı, Üretimi ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 90 s.
- Handbook ASM** (1992), Friction, Lubrication, and Wear Technology, *ASM International Handbook Committee*, Vol. 18, 1879 s.
- Holzwarth U., Stamm H** (2000) On the recovery of the physical and mechanical properties of a CuCrZr alloy subjected to heat treatments simulating the thermal cycle of hot isostatic pressing. *Journal of Nuclear Materials*, 279: 31-45.
- Juan-hua Sua, He-jun Li, Ping Liu, Qi-ming Dong, Ai-jun Li** (2007) Aging rocess optimization for a copper alloy considering hardness and electrical conductivity. *Computational Materials Science*, 38: 697-701.
- Juan-hua Sua** (2005) Research on aging precipitation in a Cu–Cr–Zr–Mg alloy. *Materials Science and Engineering A*, 392: 422-426.
- J.P. Tu, L. Meng, M.S. Liu** (2002) Effect of aging treatment on the electrical sliding wear behavior of Cu–Cr–Zr alloy. *Wear*, 249: 1021-1027.
- Meyveci A** (2007) Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 87 s.
- Mutlu H** (1996) Al – SiC Kompozitlerin Termomekaniksel İşlem Sonrası Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 87 s.
- QI, W. X., Tu, J. P** (2002) Effect of aging treatment on the electrical sliding wear behavior of Cu-Cr-Zr alloy. *Wear*, 249: 1021-1027.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sağlam İ** (2006) Mekanik Alaşım Yolu ile Üretilen Alüminyum Bazlı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, 116 s.
- Straffelini G, Maines L, Pellizzari M, Scardi P** (2005) Dry sliding wear of Cu–Be alloys. *Wear*, 259: 506-511.
- URL 1** (2007) [http:// www .aof. edu. tr/ kitap/ ioltp/ 2279/ unite06.pdf](http://www.aof.edu.tr/kitap/ioltp/2279/unite06.pdf), 27 Aralık 2007
- W.A. Glaeser** (1992) Materials for Tribology. *Elsevier*, Tribology Series 20: 56-59.
- Vinogradov A** (2002) Structure and properties of ultra-fine grain Cu–Cr–Zr alloy produced by equal-channel angular pressing. *Acta Materialia*, 50: 1639-1651.
- Yıldız B** (2006) CuCrZr VE CuBe Alaşımlarının Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 94 s.



## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim SAĞLAM 1984' de ERZURUM' un İspir ilçesinde doğdu. İlkokul öğrenimini Bursa' ın Orhangazi ilçesinde, Ortaokul öğrenimini İstanbul' un Kartal ilçesinde bitirdi; Medine Tayfur Sökmen Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Öğretmenliği'ne girdi; 2006'de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra İntek Kalıp İskele A.Ş.'de Ar-Ge bölümünde Ar-Ge Şefi olarak göreve başladı; halen 2006 yılında girdiği KBÜ Fen Bilimleri Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### ADRES BİLGİLERİ

Adres: İntek Kalıp Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Barış Mah. Dr. Zeki Acar Cad. No : 10 Tübitak Karşısı  
41400 Gebze / KOCAELİ

Tel: (262) 642 19 62

Faks: (262) 642 19 63

E-posta: saglam.ibrahim@intekkalip.com.tr