

**YAŞLANDIRILMIŞ 2XXX VE 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Ahmet MEYVECİ**

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

**KARABÜK**

**Eylül 2007**

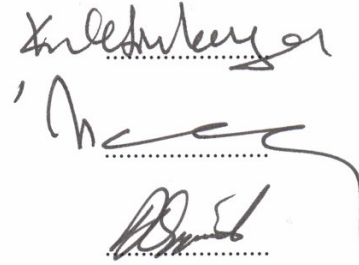
**KABUL:**

Ahmet MEYVECİ tarafından hazırlanan “YAŞLANDIRILMIŞ 2XXX VE 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 20/09/2007

Başkan: Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)

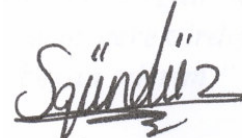
Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



**ONAY:**

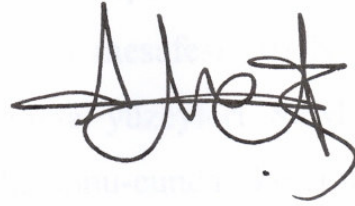
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 20/09/2007



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.”*

Ahmet MEYVECİ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ahmet Meyveci', with a stylized, cursive script. The signature is positioned below the printed name.



## ÖZET

### Bilim Uzmanlığı Tezi

## YAŞLANDIRILMIŞ 2XXX ve 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ahmet MEYVECİ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN

Eylül 2007, 87 sayfa

Bu çalışmada, AA 2024 ve AA 6063 alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işlemine aşınma davranışları üzerine etkisi incelenmiştir. Deney malzemelerinden olan AA 2024 ve AA 6063 alüminyum alaşımları sırasıyla, farklı iki sabit sıcaklıkta solüsyona alınmıştır. AA 2024 alüminyum alaşımı 490 °C’de, AA 6063 ise 520 °C’de solüsyona alınıp her iki deney malzemesi de oda sıcaklığında su verme işleminden sonra 3 farklı sabit sıcaklıkta (140°C, 180°C, 220°C) ve 5 farklı zaman aralığında (2, 4, 6, 8 ve 10 saat) yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra yaşlandırma ısı işlemi uygulanmayan ve uygulanan numunelerin optik mikroskop, tarama elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS) ve sertlik ölçümleri karakterize edilmiştir. Karakterize edilen parçalardan aşınma testleri için numuneler hazırlanarak pin-on disk tipi aşınma cihazında aşınma testleri yapılmıştır. Bu testlerde, 2 ms<sup>-1</sup>’lik kayma hızı, 400 m, 800 m, 1200 m ve 1600 m aşınma mesafesi, 10 N, 20 N ve 30 N yük uygulanmıştır. Yapılan testler sonrasında aşınma yüzeyleri SEM (Scanning Electron Microscope) ile incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ikinci faz çökeltilerinin

## **ÖZET (devam ediyor)**

etkisiyle yaşlandırma ısııl işlemler uygulanan numunelerin, yaşlandırma ısııl işlemler uygulanmayan numunelere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Aşınma testleri sonucunda bu numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları da düşük çıktığı belirlenmiştir. Bu nedenle daha yüksek sertlik artışı olduğu ve bunun neticesinde aşınma kaybının azaldığı ve aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Alüminyum alaşımları, Aşınma, Yaşlandırma.

**Bilim Kodu** : 626.12.00

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOURS OF AGED ALUMINIUM 2XXX AND 6XXX ALLOYS**

**Ahmet MEYVECİ**

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

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. İsmail KARACAN**

**September 2007, 87 pages**

In this study, the effect of aging heat treatment on the wear behaviors of AA 2024 and AA 6063 aluminum alloys was investigated. AA 2024 and AA 6063 aluminum alloys were solution treated at two different temperatures of 490 °C and 520 °C. Then both samples were cooled to room temperature. After this process, the samples were aged at three different temperatures (140 °C, 180 °C, 220 °C) for five different periods of time (2, 4, 6, 8 and 10 h.). The as-cast and the aged samples were fully characterized by optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) equipped with energy dispersive detector (EDS) and hardness surveys. The wear behaviour of the investigated alloys was carried out on a pin-on-disc wear test machine. In these tests, 400 m, 800 m, 1200 m and 1600 m of the sliding distances and 10 N, 20 N and 30 N of the applied loads were used. The sliding velocity was 2 ms<sup>-1</sup>. After the tests the worn surfaces were examined by SEM. As a result of this study, the hardness of the second phase precipitated samples was found

## **ABSTRACT (continued)**

to be higher than that of the as-cast samples and increased with increasing the solution temperature and aging periods. The study also revealed that the wear rate and friction coefficient can be decreased with increasing the solution temperatures and aging times.

**Key Words** : Aluminium alloys, Wear, Aging.

**Science Code:** 626.12.00



## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her safhasında yardımlarını esirgemeyen değerli yardım ve katkılarıyla beni sonuna kadar destekleyen ve yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN'a ve laboratuvar imkanlarını sonuna kadar açan, beni sonuna kadar yönlendiren ve kıymetli tecrübelerinden devamlı faydalandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e, ayrıca SEM, EDS, XRD cihazlarında analiz yapabilmem için destek veren değerli hocam Prof. Dr. Burhanettin UYSAL'a ve Prof. Dr. Dilek DADAYLI PAKTAŞ'a, SEM, EDS çekimlerindeki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Süleyman TEKELİ ve Öğr. Gör. Dr. Bülent BOSTAN'a teşekkür ederim. Ayrıca yine çalışmalarımda yardımlarını dolayı Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ, Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR, Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK, Doç. Dr. Mustafa ACERER, Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ, Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN, Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI ve Öğr. Gör. Fatih YAPICI'ya ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini hep yanımda gördüğüm özellikle annem ve babama ayrıca sevgili eşim ve çocuklarım Züleyha ve Muhammed Faruk'a da sonsuz teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	3
BÖLÜM 3 ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....	7
3.1 ALÜMİNYUMUN ENDÜSTRİDEKİ YERİ .....	7
3.2 ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ .....	8
3.3 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....	8
3.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Kodlama Sistemleri .....	8
3.3.1.1 Mekanik İşlem (Dövme. Alaşımları) .....	9
Alüminyum 1xxx Serisi .....	9
Alüminyum 2xxx Serisi .....	10
Alüminyum 3xxx Serisi .....	10
Alüminyum 4xxx Serisi .....	10
Alüminyum 5xxx Serisi .....	10
Alüminyum 6xxx Serisi .....	11
Alüminyum AA 6063 Alüminyum Alaşımının Özellikleri .....	11
Alüminyum 7xxx Serisi .....	11

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.4 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ .....	12
3.4.1 Bakırın Etkisi .....	12
3.4.2 Silisyumun Etkisi .....	13
3.4.3 Magnezyumun Etkisi .....	13
3.4.4 Manganezin Etkisi .....	14
3.4.5 Çinkonun Etkisi .....	14
3.4.6 Titanyumun Etkisi .....	14
3.4.7 Demirin Etkisi .....	14
BÖLÜM 4 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ISIL İŞLEMLER.....	15
4.1 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SEMBOLLEŞTİRİLMESİ.....	15
4.1.1 Temel Temper Tasarımları.....	15
4.1.2 Soğuk İşlem İle Sertleştirilmiş Alt Bölümler.....	15
4.1.3 Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler .....	16
4.2 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER .....	16
4.2.1. Yaşlanma Isıl İşlemi .....	18
4.2.1.1 Solüsyona Alma İşlemi .....	19
4.2.1.2 Su Verme (Soğutma. ....	21
4.2.1.3 Yaşlanma İşlemi .....	23
4.2.1.4 Çökelme Sertleşmesi İle Dayanım Artışı .....	27
4.2.1.5 Aşırı Yaşlanma .....	29
BÖLÜM 5 AŞINMA .....	31
5.1 AŞINMA.....	31
5.2 AŞINMANIN TEMEL NEDENLERİ.....	31
5.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	33
5.2.1.1 Ana Malzemeye Göre Faktörler .....	33

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.2.1.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi.....	33
5.3 AŞINMA MEKANİZMALARI .....	34
5.3.1 Adhesiv Aşınma .....	34
5.3.2 Abrasiv Aşınma.....	35
5.4 AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER .....	37
5.4.1 Malzemenin Cinsi .....	37
5.4.2 Malzemenin Mikro Yapısı .....	38
5.4.3 Malzemenin Şekli ve Boyutları.....	38
5.4.4 Ortamın Etkisi (Sıcaklık, Nem, Atmosfer) .....	38
5.4.5 İşletme Koşullarının (Basınç, Hız, Kayma Yolu) Etkisi .....	39
5.5 AŞINMA TESTLERİ ve ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....	39
BÖLÜM 6 DENEYSEL MALZEME ve METOT .....	41
6.1 GİRİŞ .....	41
6.2 YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ .....	41
6.3 METALOGRAFİK İŞLEMLER ve SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	42
6.3.1 Optik Mikroskop İncelemeleri .....	43
6.3.2 Tarama Elektron Mikroskobu (Sem) İncelemeleri .....	43
6.3.3 Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS) incelemesi .....	43
6.3.4 Sertlik Ölçümleri.....	43
6.4 AŞINMA TEST CİHAZI .....	43
6.4.1 Karşılık Diski ve Malzemesi.....	45
6.4.2 Aşınma Testleri .....	45
BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA .....	47

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
7.1 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Mikro yapı İncelemeleri.....	47
7.2 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Sertlik İncelemeleri.....	49
7.3 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi.....	53
7.4 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Zamanla Sürtünme Katsayısının Değişimi .....	65
7.5 Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile İncelenmesi .....	71
BÖLÜM 8 SONUÇ ve ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	AA 6063 Malzemesine Yaşlandırma Süresinin ve Sıcaklığının Çekme Dayanımına Etkisi .....	4
2.2	AA 6063 Malzemesine Yaşlandırma Süresinin ve Sıcaklığının Akma Dayanımına Etkisi .....	5
3.1	Yıllara Göre Alüminyumun Dünyada Üretimi .....	7
3.2	Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları ve Özellikleri .....	12
4.1	Yaşlandırma Isıl İşlemi Sıcaklık-Zaman Faz Diyagramı .....	19
4.2	Al-Cu Faz Diyagramı .....	20
4.3	Yaşlandırma Isıl İşleminde Faz Diyagramına Göre İşlem Sıcaklıklarının Gösterilmesi .....	21
4.4	Al-Cu Faz Diyagramı ve Al-%4 Cu Alaşımının Çözeltiye Alma İşlemi, Su Verme ve Çökeltme Sertleşmesi Safhalarında Mikro Yapı Değişimleri.....	23
4.5	Yaşlandırma Isıl İşlemi Aşamaları ve Mikro Yapıları .....	26
4.6	Yaşlanma Süresine Bağlı Olarak Malzemenin Sertlik veya Mukavemetindeki Değişimi .....	26
4.7	Yaşlandırma Sırasındaki Çeşitli Ara Durumların Gösterimi a. Çözünen Atomun Çözen Atom İçerisindeki Dağılımı, b. Kendisini Çevreleyen Matris İle Uyumlu Çökelti, c. Kendisini Çevreleyen Matris İle Uyumsuz Çökelti .....	27
4.8	Çökelti Arasında Oluşan Yarım Halka Şeklindeki Dislokasyonlar .....	28
4.9	Aşırı Büyük Çökelti Arasında Oluşan Yarım Halka Şeklindeki Dislokasyonlar Tarafından Kesilmesi .....	28
4.10	$\alpha$ -Matris Katı Eriyiği İçerisindeki Çökeltinin ( $\theta$ , İkinci Faz Partikülleri). Yaşlandırma Isıl İşlemi Sonucunda a. Yaşlandırmanın İlk Safhası, b. Yaşlandırmanın İkinci Safhası, c. Yaşlandırmanın Üçüncü Safhası, d. Yaşlandırmanın Dördüncü Safhası Oluşumlarının Mikro Yapı Resimleri .....	30
5.1	Tribolojik Sistemin Şematik Gösterimi .....	32

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.2 Adhesiv Aşınmanın Meydana Gelişinin Şematik Olarak Gösterimi, a. İki Çıkıntının Buluşması ve Bağ Oluşumu, b. Bağın Koparak Bir Yüzden Diğesine Malzeme Transferinin Oluşumu, c. Uzamış Olan Çıkıntının Diğ Yüzeydeki Çıkıntıyla Etkileşimi Sonucunda da Yüzeyde Kırıntı Oluşumu.....	35
5.3 Üç Elemanlı Abrasiv Aşınma.....	36
5.4 İki Elemanlı Abrasiv Aşınma .....	36
5.5 Abrasiv Aşınma Mekanizması .....	37
6.1 Aşınma Test Cihazının Şematik Görüntüsü.....	44
7.1 AA 2024 Alaşım numunelerin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri; a. 180 °C' de 2 saat Yaşlandırılmış, b. 180 °C' de 6 saat Yaşlandırılmış.....	47
7.2 AA 6063 Alaşım Numunelerin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri; a. 140 °C' de 10 Saat Yaşlandırılmış, b. 180 °C' de 10 Saat Yaşlandırılmış.....	48
7.3 a. 140 °C, b. 180 °C ve c. 220 °C' de 2, 4, 6, 8 ve 10 Saat Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 Numunelerinin Sertlik Değerleri. ....	50
7.4 a. 140 °C, b. 180 °C ve c. 220 °C' de 2, 4, 6, 8 ve 10 Saat Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 6063 Numunelerinin Sertlik Değerleri. ....	52
7.5 140 °C' de 2, 4, 6, 8 ve 10 Saat Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 Numunelerinin A. 10 N, B. 20 N, C. 30 N Yük Altındaki Aşınma Kayıpları.....	54
7.6 AA 2024 Alaşımı Numunelerin 180 °C' De Yaşlandırma Sonrası a. 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30 N Yük Altında Aşınma Kaybı Miktarı. ....	55
7.7 AA 2024 Alaşımı Numunelerin 220 °C' De Yaşlandırma Sonrası a. 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30 N Yük Altında Aşınma Kaybı Miktarı. ....	57
7.8 AA 6063 Alaşımı Numunelerin 140 °C' de Yaşlandırma Sonrası a. 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30 N Yük Altında Aşınma Kaybı Miktarı. ....	58
7.9 AA 6063 alaşımı Numunelerin 180 °C' de Yaşlandırma Sonrası	



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
a. 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30 N Yük Altında Aşınma Kaybı Miktarı.....	60
7.10 AA 6063 alaşımı Numunelerin 220 °C' de Yaşlandırma Sonrası a. 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30 N Yük Altında Aşınma Kaybı Miktarı.....	62
7.11 AA 2024 Alaşım Numunelerin a. 140 °C' de 2 Saat, b. 140 °C' de 10 Saat, c. 180 °C' de 2 Saat, d. 180 °C' de 10 Saat, e. 220 °C' de 2 Saat, f. 220 °C' de 10 Saat Yaşlandırma Sonrası Aşınma Yük, Mesafe ve Ağırlık İlişkisi.....	63
7.12 AA 6063 Alaşım Numunelerin (a. 140 °C' de 2 Saat, b. 140 °C' de 10 Saat, c. 180 °C' de 2 Saat, d. 180 °C' de 10 Saat, e. 220 °C' de 2 Saat, f. 220 °C' de 10 Saat Yaşlandırma Sonrası Aşınma Yük, Mesafe ve Ağırlık İlişkisi.....	64
7.13 AA 2024 Alaşım 140 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış Numunelerinin 10N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği Ve SEM Görüntüleri a. ve d., 20N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği ve Aşınma SEM Görüntüleri b. ve e., 30N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği ve Aşınma SEM Görüntüleri c. ve f.....	67
7.14 AA 6063 Alaşım 140 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış Numunelerinin 10N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği Ve SEM Görüntüleri a. ve d., 20N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği ve Aşınma SEM Görüntüleri b. ve e., 30N Yük Altında Sürtünme Katsayısı Grafiği ve Aşınma SEM Görüntüleri.....	68
7.15 Uygulanan Yüke Göre Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	70
7.16 AA 2024 Aşınma Yüzeyleri a. 140 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış 10 N Yük Altında, b. 20N Yük Altında c. 140 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış 30 N Yük Altında, d. 140 °C' de 10 Saat Yaşlandırılmış 10 N Yük Altında, e. 140 °C' de 10 Saat Yaşlandırılmış 20N Yük Altında,	

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
f. 30 N Yük Altında, g. 180 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış 10 N Yük Altında, h. 20 N Yük Altında, i. 180 °C' de 2 saat Yaşlandırılmış 30 N Yük Altında, ı. 180 °C' de 8 Saat Yaşlandırılmış 10N Yük Altında, j. 20 N Yük Altında, k. 30 N Yük Altında Aşınma Yüzeylerinin SEM Görüntüleri.....	72
7.17 AA 6063 Aşınma Yüzeyleri a. 140 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış 10 N Yük Altında, b. 20 N Yük Altında, c. 30N Yük Altında, d. 140 °C' de 10 Saat Yaşlandırılmış 10 N Yük Altında, e. 10 N Yük Altında, f. 20 N Yük Altında, g. 30 N Yük Altında i. 180 °C' de 2 Saat Yaşlandırılmış 30 N Yük Altında, ı. 180 °C' de 8 Saat Yaşlandırılmış 10N Yük Altında, j. 20 N Yük Altında, k. 30 N Yük Altında Aşınma Yüzeylerinin SEM Görüntüleri.. ..	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Saf alüminyumun özellikleri.....	8
3.2	Mekanik işlem (dövme. alaşımlarının kodlama sistemi .....	9
3.3.	AA 6063 alaşımının kimyasal kompozisyonu .....	11
4.1	AA2024 ve 6063 alaşımın çözeltiye alma sıcaklık sınırları .....	20
4.2	AA2024 ve 6063 alaşımın yaşlanma ısıl işlem sıcaklık aralığı .....	24
6.1	AA 6063 ve AA 2024 alaşımlarının kimyasal analiz sonuçları.....	41
6.3	Deneyde kullanılan ısıl işlem parametreleri .....	42



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A°	:	amstrong
Al	:	alüminyum
°C	:	santigrat derece
Cr	:	krom
Cu	:	bakır
Fe	:	demir
L	:	çökeltiiler arası mesafe
L <sub>1</sub>	:	sıvı
m	:	metre
mg	:	mili gram
m/s	:	metre/saniye
Mg	:	magnezyum
Mn	:	mangan
N	:	newton
Si	:	silisyum
Ti	:	titanyum
To	:	solüsyona alma sıcaklığı
T <sub>1</sub>	:	su verme sıcaklığı
T <sub>2</sub>	:	yaşlandırma sıcaklığı
µm	:	mikrometre

### **KISALTMALAR**

AA	:	alüminyum alaşımı
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
GP	:	Guiner-Preston
SiC	:	silisyum karbür



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Son yıllarda, hem esnek hem de katı otomasyon endüstrilerinden olan uçak, roket sistemleri, nükleer reaktörler ve bunun gibi pek çok ileri teknolojinin bulunduğu sistemler için aşınma en önemli tasarım kriteri olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle özellikle son yıllarda tribolojik (aşınma, yağlama, sürtünme) tasarım üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Mekanik sistemlerde meydana gelen arızalara ve konstrüksiyon elemanlarının kullanım dışı kalmalarına neden olan en önemli problem aşınmadır. Yataklar ve birbirleriyle temas ederek çalışan mekanik sistemler gibi birçok yerde kullanılan malzemeler, sürtünmeye bağlı olarak zamanla aşınmaktadır. Bu nedenle aşınma direncinin artırılması yönünde yapılan çalışmalar gittikçe önem kazanmaktadır (Soydan ve Ulukan, 2004).

Gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmalarda, kullanılan enerjinin büyük bir kısmının aşınma direncini arttırmak için kullanıldığı görülmektedir. Aşınma ile ilgili yapılacak araştırmalar enerji ve malzemelerde önemli ölçüde tasarruf sağlayacaktır. Gelişmiş ülkelerin milli gelirlerinin aşınmayı arttırmaya yönelik çalışmaları sonucunda yaklaşık % 1 ila % 4 oranlarında tasarruf sağladıkları, özellikle ABD'nin aşınma direncini arttırmaya yönelik çalışmalar neticesinde yıllık 100 milyar dolar tasarruf sağladığı tahmin edilmektedir (Haque and Sharif, 2001; Gavgali et al., 2003). İngiltere'de 1997 yılında, 650 milyon Sterlin'lik bir kaybın, aşınma ve buna bağlı malzeme kaybı nedeniyle gerçekleştiği belirtilmektedir (Soydan ve Ulukan, 2004).

Malzeme bilimi alanında, yüksek aşınma direnci, yüksek dayanım/yoğunluk, iyi korozyon dayanımı sergileyen hafif malzemelerin geliştirilmesi için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Önemli endüstri dallarından otomotiv, elektronik, spor, havacılık ve uzay gibi uygulama alanlarında malzeme performansının artırılmasına yönelik bu özellikler önem kazanmaktadır (Fang and Chuang, 1999; Haque and Sharif, 2001; Çiftçi, 2003).

Malzeme bilimi alanında en önemli özellikleri kendi bünyesinde bulunduran mühendislik malzemelerinden birisi de alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının en önemli avantajları kolay işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğidir. Ayrıca alüminyum ve alaşımları, düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olmasına rağmen bu malzemeler endüstrilerde özellikle tribolojik uygulamalarda, demir ve çelikten sonra en fazla kullanılan mühendislik malzemesidir (Sun et al., 1999; Kaçar et al., 2003; Gavgali et al., 2004; Liao et al., 2004; Ghazali et al., 2005; Man et al., 2007).

Alüminyum alaşımları, günümüz teknolojisinin vazgeçilmez malzemelerinden biri haline gelmiştir. Alüminyumun kullanımı sırasında önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle mekanik özelliklerinin yetersizliği ve aşınma problemleri nedeniyle alüminyuma alaşım elementleri ilave edilmesiyle birlikte çeşitli ısı işlemler uygulanarak, aşınma direncinin artırılmasına yönelik çalışılmalar çok fazla önem kazanmıştır (Sun et al., 1999; Aydın, 2002). Alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısı işlemidir. Endüstri ve diğer uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan ısı işlem yöntemi, yaşlandırma ısı işlemidir. Bu yöntemle, ikinci faz çökeltilerinin mikro yapı içerisinde oluşması sağlanmaktadır. Oluşturulan bu fazlar, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak malzemenin sertliğini ve mekanik dayanımını arttırmaktadır (Kaçar et al., 2003).

Alüminyum alaşımları; silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangan ana alaşım elementlerinden birini ya da birkaçını içerirler. Demir, krom ve titanyum gibi elementler ise düşük miktarlarda bulunabilmektedir. Bunların yanı sıra özel bazı alaşımlarda nikel, kobalt, kalay, kurşun ya da vanadyum bulunabilmektedir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinden Cu, Mg, Mn, Fe, Pb, Bi gibi elementler alüminyumun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler, malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğinden aşınma direncini artırıcı yönde etkili olmaktadır (Aydın, 2002).

Bu çalışmada, AA 2024 ve AA 6063 alüminyum alaşımlarına, yaşlanma ısı işlemiyle, yapıda oluşturulan II. faz çökeltilerinin bu alaşımların aşınma özelliklerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı yaşlandırma sürelerinin ve yaşlandırma sıcaklıklarının malzemenin mikro yapısı üzerindeki etkileri ile yapıda oluşturulan II. faz çökeltilerinin aşınma özelliklerine etkisinin artırılması amaçlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

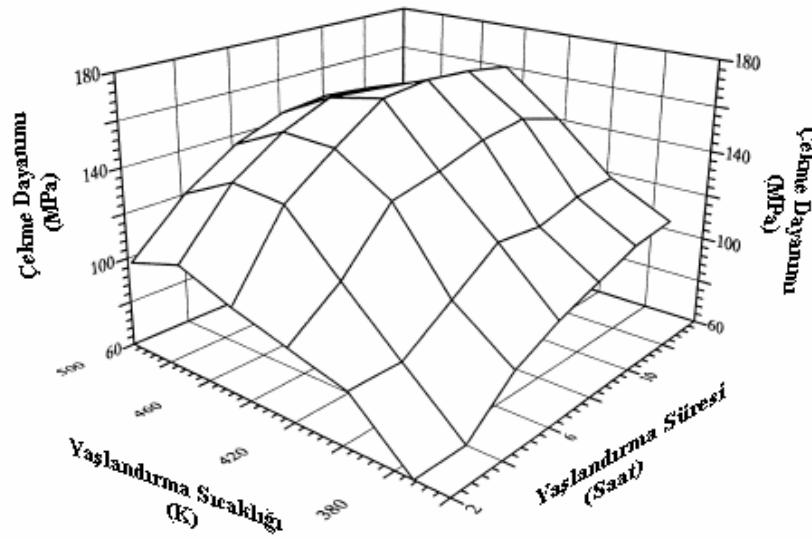
Dünyada kullanılan enerjinin büyük bir kısmı sürtünme ile kaybolmakta ve malzemelerin önemli bir kısmı ise aşınma sonucunda istenmeyen formlara dönüşmektedir (Soydan ve Ulukan, 2003). Bu nedenle gelişen ve değişen günümüz teknolojisinin en ciddi problemlerinden biri hiç şüphesiz malzemelerde meydana gelen aşınmadır.

Gavgali vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada, AA 6063 alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işlemi aşınma davranışları üzerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, deney numunelerinin bir kısmı 510 °C'de dört farklı sıcaklıkta (2, 4, 6, 8 saat) fırın içerisinde solüsyona alınıp su verme işleminden sonra 180 °C'de 4 saat yaşlandırılmıştır. Diğer numuneler ise 510 °C'de 6 saat fırın içerisinde solüsyona alınıp su verme işleminden hemen sonra 180 °C'de beş farklı sıcaklıkta (1, 2, 3, 4 ve 5 saat) yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanmayan ve uygulanan numunelerin sertlikleri ölçülerek ve pin-on disk tipi aşınma cihazında test edilmiştir. Aşınma testlerinde kullanılan parametreler ise 10 N yük, 0,08 m/s<sup>-1</sup> kayma hızı, 50 metre kayma mesafesi ile adhesiv aşınmalar test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda sertlik değeri, solüsyona alma sıcaklığına paralel olarak arttığını belirtmişlerdir. Yaşlanma işlemi esnasında oluşan Mg<sub>2</sub>Si, AlFeSi ve CuAl<sub>2</sub> ikinci faz çökeltilerinin, yapının dayanımını ve aşınma direncini arttırdığı belirlenmiştir. Isıl işlemle oluşturulan çökeltiler, yaşlandırma işlemi ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Yaşlandırma işleminin özellikle 510 °C'de 6 saat solüsyona alınan ve 180 °C'de 5 saat yaşlandırmaya maruz bırakılan numunelerin aşınma katsayısının düştüğü ve en düşük sürtünme katsayısının bu yaşlandırma parametresinde olduğu bulunmuştur (Gavgali et al., 2003).

Siddiqui vd. (2000) yapmış oldukları çalışmada, yaşlandırma ısı işlemi parametrelerinin, AA 6063 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. AA 6063 alüminyum alaşımı yaşlandırılarak, yaşlanmanın en tepe noktası (pik noktası) ve aşırı

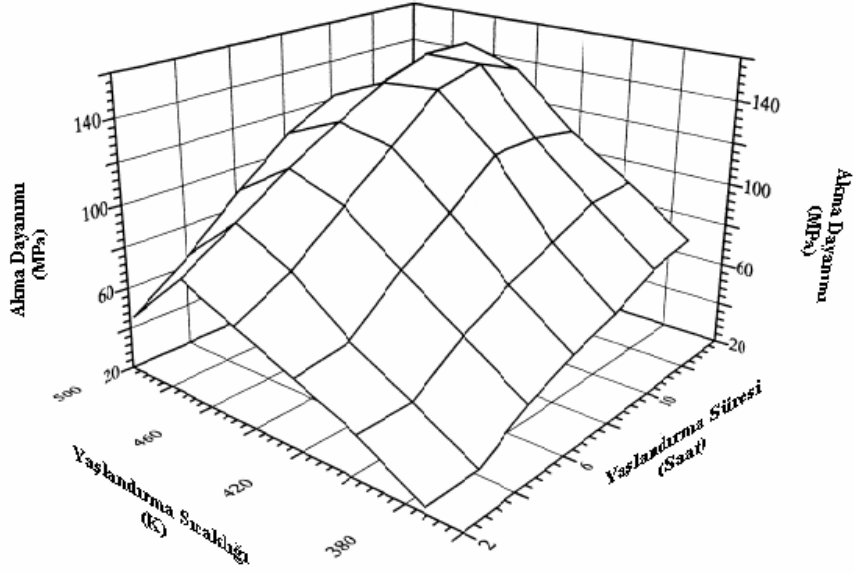
yaşlanma süreci tespit edilmiştir. AA 6063 alaşımli numuneler öncelikle 520 °C’de 2 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra yapay yaşlandırma ısıl işlemi dokuz farklı sıcaklık ve yedi farklı sürede gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi çekme dayanımı, yaşlandırma süresi ve sıcaklığının artmasıyla beraber bir artış gösterdiği görülmektedir. AA 6063 malzemesinin çekme dayanımı özellikle 200 °C ve 225 °C sıcaklıkları arasında 10 ila 12 saat yaşlandırma süresi aralığında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1 AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının çekme dayanımına etkisi (Siddiqui et al., 2000).

Yaşlandırma ısıl işlemi yapılan alaşımın akma dayanımı, yaşlanma süresine ve sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Maksimum akma dayanımı 200 °C’de 10 ve 12 saat yaşlandırma süreleri arasında gözlemlenmiştir. Yaşlanma sıcaklığı arttırıldığında ise Şekil 2.2’de görüldüğü gibi malzemenin akma dayanımını sürekli olarak azaldığı görülmüştür.



Şekil 2.2 AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının akma dayanımına etkisi (Siddiqui et al., 2000).

Yaşlandırma ısıl işlemi ile sürekli bir şekilde artmakta olan sertlik değeri, yaşlanma süresi ve yaşlanma sıcaklığının artışıyla ilişkilidir. AA 6063 malzemesinin maksimum sertlik değeri 200 °C’de 8 saat yaşlandırma süresiyle elde edilmiş ve yaşlanma süresi ve sıcaklık artışıyla sertlik değerinde düşüş kaydedilmiştir. AA 6063 malzemesinde gerinim, yaşlanma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak azalmaktadır. Aşırı yaşlanma sürecindeki numuneler ile 225 °C’de 14 saat yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulan numuneler, yaklaşık olarak % 6 oranında süneklilik gösterirler. Süre ve sıcaklığın, AA 6063 malzemesinin yaşlanma sertleşmesi üzerinde önemli bir rolü olduğu için yorulma kırılması üzerine çalışmalar daha çok olmuştur.

Deney sonuçları neticesinde, maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı ve sertlik değeri içeren uygun yaşlandırma sıcaklığı 175 °C ve yaşlandırma süresi olarak 8 ile 10 saat arası olarak ortaya çıkmıştır.

Aşırı yaşlanma sürecindeki yaşlanma sıcaklığı ve süresiyle beraber oluşmuş olan çökeltilerin birleşmesinden dolayı iri partikülleri ve sürekli olarak büyüyen tane boyutlarını meydana getirmiştir. Bu süreçte, dislokasyon hareketlerini engelleyici faktörler çok azalmış ve sonuç olarak da malzemenin mekanik özelliklerinin gittikçe düşmesine neden olmuştur (Siddiqui et al., 2000).

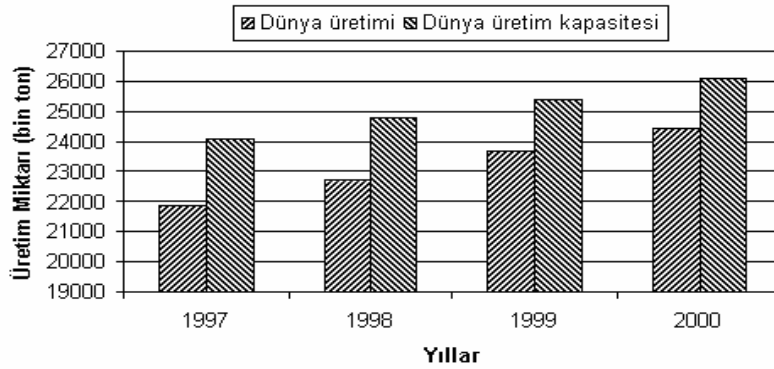
Kaçar vd. (2003) yapmış oldukları çalışmada, AA 2024 malzemesinin aşınma davranışlarını yaşlandırma işlemi uygulayarak incelemişlerdir. 495 °C’de solüsyona alındıktan sonra oda sıcaklığında su verme işlemiyle ani soğutulan numuneler 1 hafta boyunca oda sıcaklığında doğal yaşlandırma, 120 °C’de 24 saat, 150 °C’de 18 saat, 160 °C’de 16 saat ve 200 °C’de 2 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulanan numuneler ise 5 µm, 11 µm, 18 µm, 30 µm SiC zımpara kağıtlarıyla pin-on disk aşınma cihazıyla 6,45 N, 9 N, 9,3 N ve 11 N yük altında aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma deney sonucunda maksimum aşınma direncinin 1 hafta süreyle doğal yaşlandırma yapılan numunelerde tespit edilmiştir. Metalografik verilere göre CuAl<sub>2</sub> faz çökeltilerinin ve intermetalik yapıların yaşlandırma sıcaklığıyla birlikte büyümeye başladığını göstermiştir. Kullanılan zımpara kağıdının tane boyutunun ve yükün artmasıyla aşınmanın arttığı ve aşınma kaybının fazla olduğu incelenmiştir (Kaçar et al., 2003).

## BÖLÜM 3

### ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

#### 3.1 ALÜMİNYUMUN ENDÜSTRİDEKİ YERİ

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir (URL-1, 2007). Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. 1900'lü yılların başlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanan alüminyumun birçok üstün özellikleri sayesinde endüstride kullanım alanı her geçen gün artmaktadır (Doğan, 1989; Aydın, 2002). Şekil 3.1'de 1997-2000 yıllarına göre alüminyumun dünyadaki üretim miktarları verilmiştir. Alüminyum, taşıt araçları, uzay mekiği, uçak, ambalaj ve paketlenme, dekorasyon, iletişim, ısı yalıtımı ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır. Alüminyum, üretiminden tüketimine kadar çevreyle dost ve geri dönüşümlü olması nedeniyle önemli bir avantaja sahiptir (URL-2, 2007).



Şekil 3.1 Yıllara göre alüminyumun dünyada üretimi (URL-1, 2007).

### 3.2 ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok az miktarda da olsa diğer elementlerin ilavesinden büyük ölçüde etkilenir. Çizelge 3.1’de % 99,995 saflıktaki alüminyumun özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Saf alüminyumun özellikleri (Sun, 1998).

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yoğunluğu	2,7 gr/cm <sup>3</sup>
Ergime noktası	660 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150 °C-300 °C
Buharlaşma noktası	2450 °C
Özgül ısısı	0,224 cal/gr (100 °C)
Elastisite modülü	72x10 <sup>3</sup> MPa
Poisson oranı	0,33
Kayma modülü	27x10 <sup>3</sup> MPa
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması	% 30-40

Alüminyum korozyona dayanıklı bir malzemedir. Alüminyumun yüzeyinde oluşan kararlı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakası korozyonu önler ve metali korur. Alüminyum saflaştıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Ayrıca dayanımı soğuk işleme önemli ölçüde arttırılabilir (Karakışlak, 1978; Doğan, 1989).

### 3.3 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

#### 3.3.1 Alüminyum Alaşımlarının Kodlama Sistemleri

Alüminyum alaşımları ürüne şekil verme yöntemine göre mekanik işlem (dövme) alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

### 3.3.1.1 Mekanik İşlem (Dövme) Alaşımaları

Dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi olan mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşımlarını belirlemek için kullanılır. Dört basamaklı sayısal simgenin ilk rakamı alaşımın hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi 1XXX serisi saf alüminyumunu ifade eder. Son iki basamak alüminyumun saflığını gösterir. İkinci basamak orijinal alaşımın modifikasyonunu veya impurite sınırlarını gösterir (Erdoğan, 2001). Mekanik işlem (dövme) alüminyum alaşım grupları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Mekanik işlem (dövme) alaşımlarının kodlama sistemi (Erdoğan, 2001).

Dövme alüminyum alaşım grupları	Yaşlandırılma Kabiliyeti
1XXX % 99.0 veya daha fazla Al içerir	Yaşlandırılmaz
2XXX Cu ana alaşım elementidir	Yaşlandırılabilir
3XXX Mn ana alaşım elementidir	Yaşlandırılmaz
4XXX Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir.	Eğer Mg varsa yaşlandırılabilir.
5XXX Mg ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılmaz
6XXX Mg ve Si ana alaşım elementidir.	Yaşlandırılabilir
7XXX Zn ana alaşım elementi	Yaşlandırılabilir
8xxx Diğer elementler	-----
9xxx Yaygın olarak kullanılmayan seri	-----

Alüminyum alaşım grupları ve kullanım alanları aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

#### Alüminyum 1XXX Serisi

1XXX Serisi ticari olarak saf alüminyumunu ifade eder ve en az % 99 alüminyum içerir. Bu malzemelerin, şekillendirilmesi, elektrik iletkenlikleri ve korozyon dirençleri oldukça yüksektir. 1XXX serisinin son iki rakam ise, % 99 değerinden sonraki kısmı belirlemede kullanılır. Örneğin 1100 malzemesinin % 99.00 oranında, 1050 malzemesinin % 99.50 oranında ve 1060 malzemesinin ise % 99.60 oranında saf alüminyum içerdiğini belirtir (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **Alüminyum 2XXX Serisi**

Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları, ilk olarak çökelme sertleştirilmesi yapılabilen alaşımlardır. Çökelme sertleştirilmesi yapılan ilk alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşımlar yapı içerisinde özellikle % 4 Cu, % 0,6 Mg ve % 0,7 Mn bulunmaktadır. Yapı içerisinde ağırlıkça bulunan % 4,4 Cu, % 0,5 Mg, % 0,8 Mn ve % 0,8 Si'lu 2014 alaşımı yapay yaşlandırmaya 2017 alaşımından daha fazla tepki vermesi için daha sonra geliştirilmiştir. Bugün en çok kullanılan Al-Cu-Mg alaşımlarından biridir. Yüksek dayanım, magnezyum içeriğini % 0,5'den % 1,5'e çıkarmakla elde edilmiştir. Magnezyumun, alüminyum-bakır alaşımlarına ilavesi alüminyum bakır alaşımlarında çökelti sertleşmesini oldukça hızlandırır ve yoğunlaştırır (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **Alüminyum 3XXX Serisi**

Alüminyum 3XXX serinin en önemli alaşım elementi manganezdır. Alaşımında, düşük oranlarda yani % 1,2 oranında manganez dayanımı arttırmaktadır. Bu serideki, 3003, 3004 ve 3105 alaşımlarının, korozyon direnci ve işlenebilirliği yüksektir. 3XXX serisi alaşımlar, yaygın olarak çeşitli konstrüksiyonlarda, çatı sistemleri ve çatı kaplamaları gibi mimari alanlarda kullanılır (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **Alüminyum 4XXX Serisi**

Alüminyum 4XXX serisindeki alaşımlara, silisyum ilave edilerek, kaynak ve lehimleme işlemlerinde ergime noktası düşürülmekte, böylece alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti iyileştirilmektedir. Silisyumun alaşımın akıcılık özelliğini arttırması nedeni ile özellikle döküm teknolojisinde, geometrisi karmaşık şekillerin üretilmesine imkan vermektedir. Alüminyum 4043 alaşımı, yaygın olarak kaynak dolgu teli olarak kullanılmaktadır (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **Alüminyum 5XXX Serisi**

Alüminyum 5XXX serisi, yüksek dayanım ve korozyon direnci sağlayan magnezyum elementini içermektedir. Gemi iskeletleri ve diğer denizcilik uygulamalarında, kaynak



tellerinde kullanılır. Bu serideki alaşımların dayanımı, magnezyum miktarının oranına bağlı olarak değişir (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **Alüminyum 6XXX Serisi**

Alüminyum 6XXX alaşımlar, belirli oranlarda magnezyum ve silisyum içermesi nedeni ile  $Mg_2Si$  çökeltisi oluşturur. İyi derecede dayanım ve korozyon direncine sahiptir. AA 6061 alaşımı ise, düşük karbon çelikleri ile kıyaslanabilecek akma dayanımına sahip, en yaygın kullanılan alaşımlardan biridir (Altenpohl, 1998, Öz, 2007).

### **AA 6063 Alüminyum Alaşımının Özellikleri**

Son yıllarda kullanım alanı gittikçe artan alüminyum alaşımlarındandır. Yaşlanabilen alüminyum alaşımlarından olan AA 6063 alüminyum alaşımı, şekillendirilme kabiliyeti yüksek, kaplanabilme özelliği ve ısı işlem ile mekanik değerleri önemli ölçüde iyidir. Ayrıca bu alaşım genel olarak Al-Mg-Si alaşımıdır. AA 6063 malzemesinin kullanım alanları, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya), otomotiv (iç ve dış gövde panelleri tampon takviyeleri, koltuk kızıkları), elektrik/elektronik ve makine imalat sektörleridir. Alüminyum 6063 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.3’de verilmiştir.

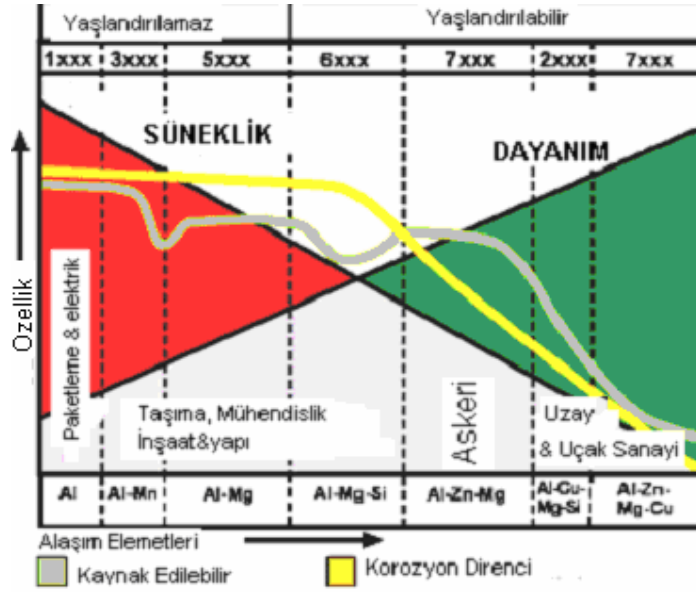
Çizelge 3.3 AA 6063 malzemesinin kimyasal kompozisyonu.

<b>Si</b>	% 0,20-0,60	<b>Cr</b>	% 0,10 maksimum.
<b>Mg</b>	% 0,45-0,90	<b>Cu</b>	% 0,10 maksimum.
<b>Fe</b>	% 0,35 maksimum.	<b>Mn</b>	% 0,10 maksimum.
<b>Ti</b>	% 0,10 maksimum.		
<b>Diğer:</b> Her biri % 0,05, toplam % 0,15 maksimum.			

### **Alüminyum 7XXX Serisi**

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur. 7XXX serisi, alüminyum–çinko–magnezyum alaşımları (örneğin 7005) ve alüminyum–çinko–magnezyum –bakır alaşımları (örneğin 7075 ve 7178) olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Minimum çekme

dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, uçak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bakır ile desteklenen 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, Şekil 3.2’de belirtildiği gibi 1XXX, 3XXX, 5XXX veya 6XXX serisi alüminyum alaşımlarından daha düşüktür (Altenpohl, 1998; Öz, 2007).



Şekil 3.2 Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve özellikleri (URL-2, 2007).

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi alüminyum ve alaşımlarından olan 1XXX, 3XXX ve 5XXX serilerinin taşıma, mühendislik, inşaat ve yapı uygulama alanlarında kullanıldığı, 7XXX ve 2XXX alaşımlarının ise askeri, uzay ve uçak sanayi uygulama alanlarında kullanıldığı gösterilmiştir. 7XXX ve 2XXX serisi alüminyum alaşımları en yüksek dayanıma sahip olmasına rağmen sünek bir yapıya sahip değildir. 1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX alüminyum alaşımları ise düşük dayanıma sahip olmalarına rağmen yüksek sünekliliğe sahiptir.

### 3.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ

#### 3.4.1 Bakırın Etkisi

Alüminyumla alaşım elementi olarak kullanılan ilk element bakırdır. Bakır, alaşıma sertlik kazandıran başlıca elementtir (Doğan, 1989; Sun, 1998). Döküm alaşımlarında ise en fazla % 12 oranında kullanılır ve bu orana kadar mukavemeti artırır. % 12’den fazlası yapıda

gevreklik meydana getirir. Dövmeye alaşımlarında % 3 ila % 5 oranında kullanılır. % 5'ten fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü arttırır. Ayrıca elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür (Aydın, 2002). Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlı olarak artar. Bu nedenle bakır içeren alüminyum alaşımlarını ısı ile işlemle çökelme sertleşmesi ile sertleştirmek mümkündür. Çökelme için gerekli zaman, alaşımın bileşimine ve sıcaklık ile ilişkilidir. Çökelenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır (Sun, 1998).

### **3.4.2 Silisyumun Etkisi**

Alüminyuma ilave edilen elementler içerisinde Cu'dan sonra en önemli element silisyumdur. Alüminyum içerisinde en fazla % 13 oranında bulunmalıdır. % 13'den fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarının işlenmesi çok zor olmaktadır. Özellikle bakır, nikel ve magnezyum ile birlikte ilave edilirse ısı ile işlem görebilen alaşım elde edilir. Fakat bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir ve mukavemet artışı silisyum artışı ile orantılıdır (Aydın, 2002).

Silisyum ilavesi ile akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirlik özelliği sağlanır. Ayrıca sıvı alüminyumun akışkanlığını arttırır ve sıcak çatlama eğilimini azaltır. Mekanik özellikler alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekil ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve primer faz yüksek mukavemet verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Sun, 1998).

### **3.4.3 Magnezyumun Etkisi**

Önemli alaşım elementlerinden birisidir. Magnezyum, Al-Mg alaşımına yüksek mukavemet ve süneklik, mükemmel korozyon direnci kazandırır. % 8'den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımları ısı ile işleme tabi tutulabilir ve mekanik özellikleri bu şekilde geliştirilebilir. Dövmeye alaşımlarda % 1 ila % 6 Mg ise şekil verme kolaylığı sağlamak için kullanılır. Genel olarak Mg ilavesi mukavemeti, haddelenebilme kabiliyetini ve işlenebilirliği arttırır (Doğan, 1989; Sun, 1998; Aydın, 2002).

#### **3.4.4 Manganezin Etkisi**

Alaşım içinde dökülebilirliği arttırmak için demirle birlikte kullanılır. Aynı zamanda metaller arası bileşiklerin özelliklerini değiştirir. Alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini arttırır ve işlenebilirliği olumlu yönde etkiler (Aydın, 2002).

#### **3.4.5 Çinkonun Etkisi**

Çinko, alüminyuma ilave edilmesiyle yüksek mukavemete sahip Al-Zn alaşımları meydana getirir. Alüminyum alaşımlarının kopma mukavemeti bu şekilde artar ve haddelenebilme kabiliyeti artar. AA 7075 ve AA 7078 alaşımlarının temel alaşım elementleridir (Sun, 1998; Aydın, 2002; Doğan, 2002). Çinko, sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşım elementlerinden olan bakırın ilave edilmesiyle yetersiz olan bazı özellikler giderilmiş olur (Sun, 1998). Genellikle magnezyumla birlikte karıştırılarak ilave edildiğinde haddeleme kabiliyetini arttırdığı gibi yüksek çekme ve darbe mukavemeti de kazandırır. Al-Zn alaşımlarında ise % 20'e kadar çinko bulunabilmektedir. Bu alaşımlar genelde uçak sanayinde kullanılan Al-Mg-Zn alaşımları olup Zn ve Mg oranı % 1'den fazladır (Doğan, 1989; Sun, 1998; Aydın, 2002).

#### **3.4.6 Titanyumun Etkisi**

Titanyumun tane küçültücü etkisi vardır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesini ve artmasını sağlar. Alüminyuma ilave edilme miktarı en fazla % 20'dir. En iyi etkisi bor ile kullanıldığı zaman görülür. Titanyum, çekme mukavemetini ve sünekliliği arttırır ve ısı iletkenliği düşürür (Sun, 1998).

#### **3.4.7 Demirin Etkisi**

Demir, alüminyum cevheri içerisinde doğal olarak bulunur. Bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını az miktarda arttırmaktadır. Döküm alaşımların sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde etki etmektedir (Aydın, 2002).

## BÖLÜM 4

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ISIL İŞLEMLER

#### 4.1 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SEMBOLLEŞTİRİLMESİ

Alüminyum alaşımlarının sembolleştirilmesi, alaşım elementlendirme sisteminden daima bir harf ilavesiyle ayırt edilir. Bundan başka bazı işaretler sadece dövme mamüllere, bazıları yalnız dökme mamüllere, bazıları da her ikisine tatbik edilmiş olduğunu gösterir (Doğan, 1989). Alüminyum alaşımlarına mekanik veya ısıl işlemlerin ya da her ikisinin uygulanması, alaşımın temper durumunu belirtir. Temper durumunun gösterilişi döküm ve mekanik işlem (dövme) alaşımları için aynıdır. Temper simgesi alaşım kodundan sonra gelir ve birbirinden (-) ile ayrılır. Değişik temper işlemleri varsa temperi ifade eden ana harf yazıldıktan sonra, temper işlemleri yapılış sırasına göre yazılır. Temper işlemleri F, O, H, W ve T harfleri ile ifade edilir (Sun, 1998).

##### 4.1.1 Temel Temper Tasarımları

F, Üretildiği şekilde; üzerinde hiçbir işlem yapılmamış işlem ve dökümleri için kullanılır.  
O, Tavlanmış ve yeniden kristalleştirilmiş; en düşük dayanım ve en yüksek sünekliğe sahip döküm ürünler için kullanılır.

H, Soğuk işlem ile sertleştirilmiş (yalnız işlem alaşımları için); soğuk işlemle deformasyon işlemine tabi tutulmuş alaşımı ifade eder (Doğan, 1989; Topbaş, 1993; Sarıtaş, 1995; Sun, 1998).

##### 4.1.2 Soğuk İşlem İle Sertleştirilmiş Alt Bölümler

H1, Sadece soğuk işlem ile sertleştirilmiş.

H2, Soğuk işlem ile sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış.

H3, Soğuk işlemle sertleştirilmiş ve kararlı yapılmış (Sarıtaş, 1995; Sun, 1998).

### 4.1.3 Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler

W, Solüsyona alma ısıl işlemi görmüş kararsız bir temper işlemidir. Yalnızca solüsyona alma ısıl işlemiden sonra oda sıcaklığında kendi kendilerine yaşlanabilen alaşımlar için kullanılır. T, Kararlı bir temper elde etmek için alaşıma F, O veya H işleminden başka uygulanan temper işlemi gösterir. Kararlı temperi ifade eden T harfinden sonra 1'den 10'a kadar rakam kullanılır.

T1, Sıcak işlenmiş, fabrikasyon sıcaklığında soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T2, Fabrikasyon sıcaklığında soğutulmuş, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırılmış.

T3, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış soğuk işlenmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış. (işlem (dövme) alaşımları için).

T4, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T5, Fabrikasyon sıcaklığında soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmıştır.

T6, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış ve yapay yaşlandırma uygulanmış.

T7, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış ve dengeli duruma getirilmiş (döküm alaşımları için).

T8, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırma uygulanmış (işlem alaşımları için).

T9, Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlandırma uygulanmış.

T10, Yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş (işlem alaşımları için) (Brooks, 1982; Doğan, 1989; Sarıtaş, 1995; Sun, 1998; Aydın, 2002).

## 4.2 ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Isıl işlem, metallerde istenilen özellikleri geliştiren bir ısıtma işlemi veya işlemler zinciri olarak bilinmektedir. Bir diğer ifadeyle metallerin ısıtılmasını ve soğutulmasını gerektiren durumlarda ve kimyasal bileşiminde herhangi bir değişme yapmadan sadece mekanik özelliklerini istenilen şekilde olmasını sağlayan işlemler olarak tarif edilebilir (Beton and Rollason, 1958; Doğan, 1989). Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinin ısıl işlem uygulanması neticesinde dayanımı arttırdığı gibi bazı alaşım elementlerinin ilavesiyle de ısıl işleme tabi tutulmasına engel olmaktadır. Bu sebepten dolayı, ısıl işleme karşı gösterdikleri hassasiyete göre dövme veya dökme alüminyum alaşımları, ısıl işlem

uygulanabilen veya ısı işlem uygulanamayan alaşımlar olarak iki gruba ayrılmaktadır (Su, 1988; Doğan, 1989; Yüksel, 1991; Aydın, 2002).

Isıl işlem yapılabilen alaşımların içinde bulunan elementler, yüksek sıcaklıklarda büyük ölçüde katı halde erime özelliklerine sahip olmakla beraber, düşük sıcaklıklarda katı halde eriyebilme özellikleri sınırlı kalmaktadır. Bu önemli neden alaşımın ısı işlem yapılabilmesine imkan sağlamaktadır (Aydın, 2002).

Dövme alaşımları arasında ısı işleme tabi tutulabilenler grubuna dahil olanlar: 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileridir. 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061, 6063 ve 7075'dir (Doğan, 1989; Aydın, 2002).

Alüminyum alaşımlarına uygulanan sertleştirme amaçlı ısı işlemle sertlik artışı, ikinci faz çökeltilerinin ince ve homojen olarak matris içinde çökmesiyle sağlanır. Bu nedenle sertleştirme yöntemi "çökeltme sertleşmesi" olarak adlandırılmıştır. Demir dışı metallerin mukavemetini arttırmada kullanılan en önemli yöntemlerden birisi de çökeltme sertleşmesidir. Özellikle uçak sanayisinde kullanılan hafif alüminyum alaşımları çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilmektedir. Bu işlem malzemenin sadece mekanik özelliklerini değil, aynı zamanda manyetik ve iletkenlik özelliklerini de etkilemektedir. Bu nedenle yaşlandırma ısı işlemi, elektronik malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla da uygulanmaktadır (Çimenoglu vd, 1989; Sun, 1998).

Yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulabilen önemli alaşımlarından biri olan AA 2024, sıcak ekstrüzyon ve haddeleme ile imal edilirler. Alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek sertliğe sahip alaşımdır. Elastisite modülü ve dayanımı alaşımlar içerisinde en yükseğidir. Mühendislik uygulamalarından olan uzay, uçak yapımlarında, ortopedik tabanlarda, perçin ve çekme tekerleklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlar doğal ve yapay olarak yaşlandırılabilirler. AA 2024 alüminyum alaşımı içerisinde magnezyum bulundurur bu yüzden üretimi özel metotlarla yapılır. Şekillendirilebilmesi çok iyidir. Fiziksel ve mekanik özellikleri diğer alaşımlara göre daha iyidir (Kaçar et al., 2003).

Yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulabilen önemli alaşımlarından birisi de AA 6063'tür. Alüminyum aslında iyi döküm ve mekanik özelliklerine sahip değildir. Bu özellikleri en iyi sağlayan elementler ise magnezyum ve silisyumdur. Alüminyum içerisine ilave edilen Mg

ve Si ile ısıtıl işlem yapılmasını sağlamasıyla  $Mg_2Si$  çökeltilerinin oluşması sayesinde korozyon direncini ve dayanımını arttırmaktadır ve bu şekilde de aşınma direnci de artmaktadır. Bu alaşımlardan birisi ise AA 6063 olarak bilinmektedir. Al-Mg-Si alaşımları mimari ve dekoratif uygulamalarda kullanılır. Kolay ekstrüde edilebilme özelliği, iyi yüzey kalitesi ve dayanımıyla bilinen bir alaşımdır. İngiltere’de ekstrüzyon edilmiş alüminyum ve alaşımlarının yaklaşık olarak % 50’si en çok inşaat ve bina yapılarında kullanılmaktadır (Siddiqui et al., 2000).

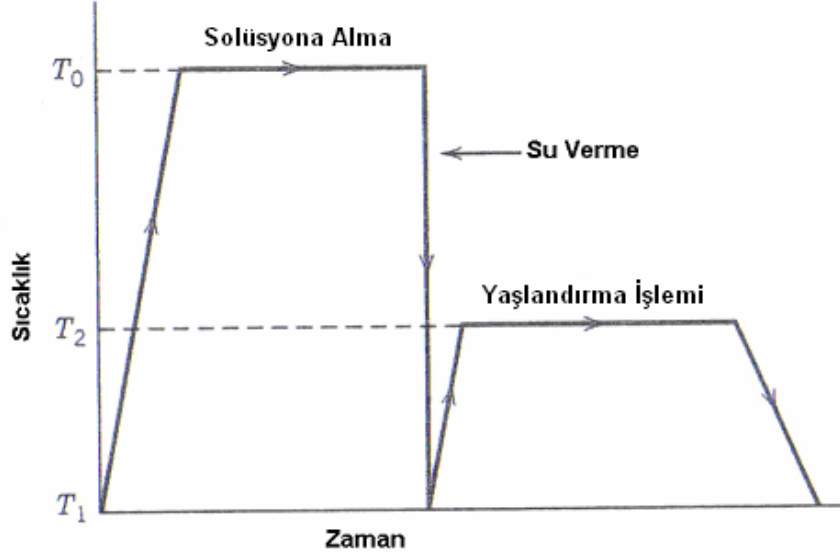
Çökelme ile sertleşebilen alüminyum alaşımlarında mekanik özellikleri arttıran çökeltiler farklı alaşımlarda ve farklı bileşiklerden oluşmaktadır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- a) Al-Cu alaşımları,  $CuAl_2$  bileşiği ile dayanım kazanır.
- b) Al-Cu-Mg alaşımları, Mg’un yoğun olarak bulunduğu bileşiklerle dayanım kazanır.
- c) Al-Mg-Si alaşımları,  $Mg_2Si$  bileşiği ile dayanım kazanır (Aydın, 2002).

#### 4.2.1 Yaşlanma Isıl İşlemi

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında yaşlanma ısıl işlemi, üç ana safhadan oluşmaktadır (Ersümer, 1960; Doğan, 1989; Aydın, 2002;). Plastik şekil değiştirmesine ihtiyaç duyulmaksızın ve üretimi sırasındaki istenen bir kademede malzemenin sertleştirilmesi, çökelme sertleşmesi yönteminin üstünlükleri olarak özetlenebilir. Çökelme sertleşmesi, ancak denge diyagramlarında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda oluşur. Sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı ergiyik bileşimlerinde meydana gelebildiğini Şekil 4.2’de açıkça gösterilmiştir. Yani alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Çökelme sertleşmesinin aşamalarından birincisi öncelikle solüsyona alma işlemi, ikincisi su verme (soğutma), üçüncü olarak yaşlandırma işlemi olarak bilinmektedir (Sun, 1998). Şekil 4.1’de yaşlandırma ısıl işleminin aşamaları gösterilmektedir.



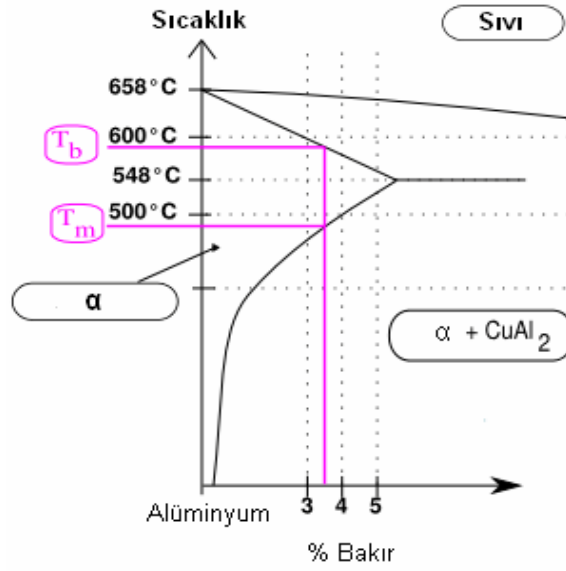


Şekil 4.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı (Callister, 2002).

#### 4.2.1.1 Solüsyona Alma

Çökeltme sertleşmesi ile malzemenin dayanımının artırılmasında ilk aşama solüsyona alma işlemidir. Solüsyona almada amaç mukavemet arttırıcı alaşım elementlerinden maksimum miktarını katı ergiyik içine almaktır. Bu nedenle alaşım, artan alaşım elementi miktarıyla yükselen tek fazlı bölgeye girme sıcaklığına ulaşıldığına emin olunan sıcaklığın yani solvüs sıcaklığının birkaç derece üzerine kadar ısıtılmalıdır. Bu aşamada alaşımın ötektik ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır (Aydın, 2002).

Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda Şekil 4.2'de görüldüğü gibi solvüs sıcaklığı artan alaşım elementi miktarıyla birlikte daha yukarı sıcaklıklara yükselmektedir. Bundan dolayı ısıl işlem uygulanacak malzemenin kimyasal bileşimini tespit ederek çözelti ısıl işlem sıcaklığının belirlenmesi büyük faydalar sağlamaktadır. Bazı alüminyum alaşımlarının çözeltiye alma sıcaklıkları Çizelge 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Al- Cu faz diyagramı (URL-3, 2007).

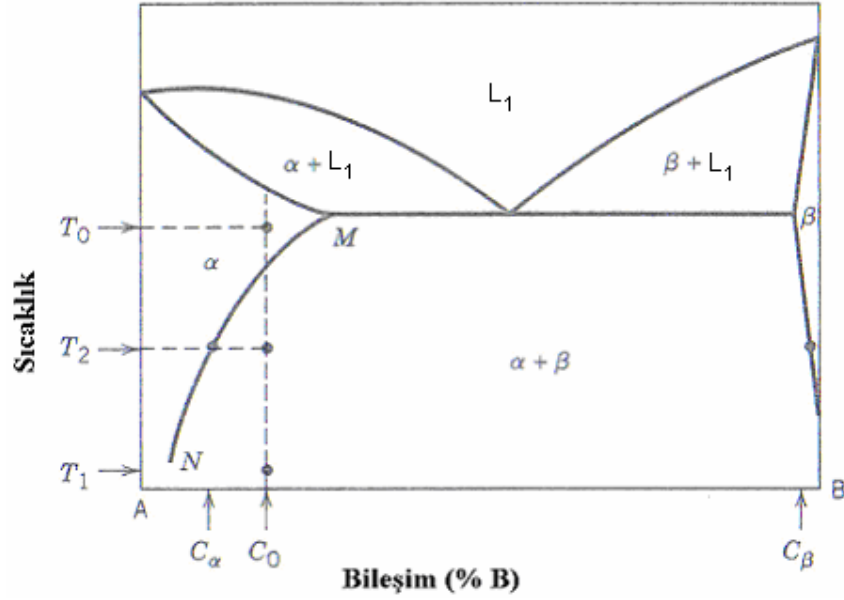
Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşırsa tane sınırı ergimesi meydana gelir ve malzemenin mekanik özelliklerinde azalma olur. Solüsyona alma işleminde ısıtma hızı, dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir. Çünkü ısıtma hızı, dengesiz ergimelere sebep olmaktadır. Örneğin, % 4 Cu içeren Al alaşımının F durumunda (döküm, sıcak işlenmiş vb.)  $\text{CuAl}_2$  çökeltileri bulunur. Bu çökeltiler ancak uygun ısıtma hızlarında  $500^\circ\text{C}$ 'de çözünürken hızlı ısıtmalarda  $\text{CuAl}_2$ 'nin bir çoğu çözünmeden kalmaktadır (Aydın, 2002).

Çizelge 4.1. AA 2024 ve 6063 alaşımın solüsyona alma sıcaklık sınırları (Aydın, 2002).

Alaşım tipi (AA)	Solüsyona alma sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Ötektik ergime sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )
2024	487-498	502
6063	480-530	540

Solüsyona alma işleminde diğer önemli nokta ise solüsyonda bekleme süresidir. Bu süre, malzeme yapısında çözünmemiş faz bırakmayacak ve homojen bir yapı verecek şekilde ayarlanmalıdır. Solüsyona alma süresi, ince kesitli malzemelerde düşük olup artan kesit miktarıyla birlikte artmaktadır (Aydın, 2002).

Ötektik başlangıç sıcaklığının aşılmasına dikkat edilmelidir. Şekil 4.3'deki faz diyagramına göre  $T_0$  sıcaklığından daha fazla bir sıcaklık üzerine yani ötektik ergime sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır. Alt sıcaklık değeri ise, katı ergiyiğe alma işlemlerinin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır. Yani  $T_0$  sıcaklığından daha az bir sıcaklık seçilir.



Şekil 4.3 Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi (Callister, 2002).

Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşırsa, tane sınırlarında ergime oluşur ve malzeme kırılgan olur. Eriyebilen elemanların alüminyum içinde katı ergiyik halinde kalması için işlem sıcaklığı dikkatli seçilmelidir. Çözünebilen alaşımlarının difüzyonunu engellemek ve tane büyümesine fırsat vermemek için ısıtma hızı yeterli dereceye kadar yüksek olmalıdır (Doğan, 1989).

#### 4.2.1.2 Su Verme (Soğutma)

Yaşlanma ısıl işleminin en önemli aşaması su verme işlemi olarak düşünülebilir. Su vermede amaç solüsyona alma işlemiyle oluşturulan aşırı doymuş katı eriyiğin hızlı soğuma ile toparlanmasına fırsat vermeden oda sıcaklığına soğutulmasıdır (Aydın, 2002). Su verilmezse katı ergiyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökelerek şekil değiştirme kabiliyetini azaltır, taneler arası korozyon mukavemeti düşer

(Karakışlak, 1980; Doğan, 1989). Bu Şekilde Şekil 4.3'deki faz diyagramına göre  $T_1$  sıcaklığında ani olarak su verme işlemi yapılır.

Çözeltiye alınan alaşımın su verilmesiyle oluşan aşırı boŐluk konsantrasyonu beklenen denge difüzyonundan daha hızlı difüzyon oluşması ile çözünen atomlar toparlanarak GP (Guiner-Preston) bölgelerinin oluşmasına neden olurlar (Aydın, 2002). Su verme esnasında çökelme olması için fırın ile su ortamı sırasındaki zaman az olmalı ve su verme ortamının ısı absorbe etme katsayısı çok düşük olmalıdır. Pratikte su verme işlemi normal olarak azami su verme gecikmesi ve azami su sıcaklığı ile kontrol edilir. (Karakışlak, 1980; Doğan, 1989).

Malzemeler fırında su verme ortamına ister mekanik olarak isterse de otomatik olarak gönderilsin; bu süre azami su verme gecikmesini aŐmamalıdır. Standart su verme gecikmesi, fırın kapısının açılmaya başlaması ile malzemenin su verme ortamına dalmasıyla biten süredir. İzin verilen maksimum zaman sıcaklık ve oda sıcaklığındaki havanın hızına ve parçaların kesitlerine bağlıdır (Karakışlak, 1980; Doğan, 1989).

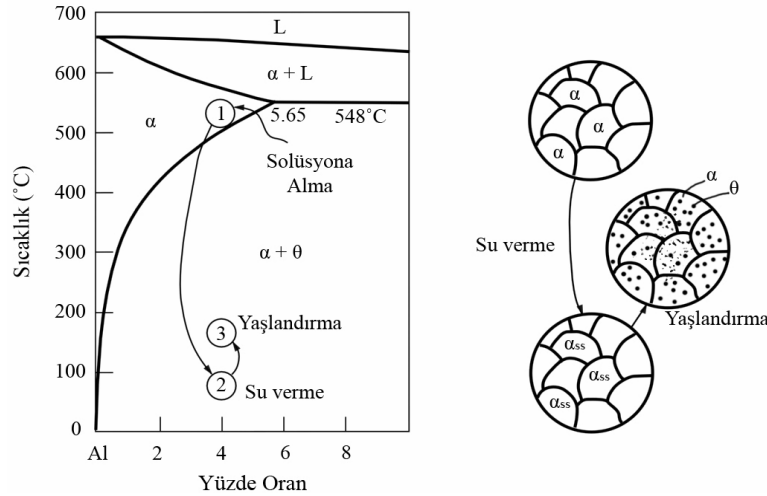
Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı, 10 ila 20 saniyelik gibi sürelerde olmalıdır (Doğan, 1989).

Genel kural olarak en iyi maksimum dayanım ve tokluk hızlı soğuma ile elde edilir. Daha hızlı su verme, çözündürme işleminin kalıcılığını daha fazla arttıracak, bu da daha sonra çökelme sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. UlaŐılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla eriŐilebilir (Doğan, 1989; Aydın, 2002).

Dayanımı arttırma işlemlerinde kırılmalardan sakınmak için, dayanımı arttırma işlemi mümkün olduğu kadar su vermeden hemen sonra olmalıdır. Bu işlem genellikle 24 saat içinde yapılmalıdır (MMO, 1978; Doğan, 1989).

### 4.2.1.3 Yaşlanma İşlemi

Aşırı doymuş katı eriyiğin çözeltiye alınması ve su vermeden sonra oda sıcaklığında (doğal yaşlanma) veya denge solvüs eğrisinin altında (suni yaşlanma) bir sıcaklıkta çökelmeye alınması olayı yaşlandırma veya çökelti ısıl işlemi olarak bilinir. Bir diğer ifadeyle aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın oluşmasına çökeltme sertleşmesi (yaşlanma) adı verilir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi solüsyona alma işleminde sonra su verme işlemi sonucunda yaşlandırma işlemi yapılmaktadır. Yaşlandırma işleminin yapılabilmesi için alaşımın hangi sıcaklıklarda yaşlandırılması gerektiği bilinmelidir. Çizelge 4.2’de bazı alüminyum alaşımlarının yaşlanma ısıl işlem sıcaklık aralığı verilmiştir. Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları, tam olarak uygun bir sertlik ve mukavemete ulaşamazlar. Bu alaşımlarda maksimum sertlik ve mukavemeti elde etmek için alaşım yaşlandırılır (Doğan, 1989; Aydın, 2002).



Şekil 4.4. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri (Erdoğan, 1996).

Çökelti sertleşmesinin ana mekanizması çözünen atomların uyumlu bir topluluk oluşturmasını sağlamaktır. Bu oluşum ile bir araya toplanan çözünen atomlar bir taraftan matris kristal yapısına uyum gösterirken atom boyutları arasındaki farktan dolayı büyük miktarda gerilme meydana gelir. Bu nedenle çökeltinin gerilme alanının varlığı malzemede dislokasyon hareketine engel olduğundan malzemeye daha fazla mukavemet veya gerilme kazandırır. Malzeme mukavemetinin artmasında önemli bir etki ise çökelti veya çözünen

atom gruplarının uyumlu veya uyumsuz olmasına bağlıdır. Çökelmenin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazınkine benzer bir kristal yapısı katı ergiyikle sıkı temas halinde büyümektedir. İki yapı arasındaki atom dizilişi uygun ise katı ergiyik distorsiyona uğramaktadır. Bu küçük boyutlu çökelti parçacıkları ilk olarak 1938'de Guinler-Preston tarafından x ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP zonları denir (Doğan, 1989). Guiner-Preston (GP) bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çökeltileri kristal ve mikro yapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli derece de etkili olurlar. GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alaşımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısıl işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskoplarıyla ile görülebilir. Çözen ve çözünen atom boyutlarının birbirine yakın olduğu durumlarda GP bölgeleri küresel şekildedir (Al-Ag ve Al-Zn). Ancak atom boyutları arasındaki fark büyükse (Al-Cu sistemi) GP bölgesi disk şeklinde olur. GP bölgeleri boyut itibariyle yaklaşık 100 Å çapında 10-15 Å yüksekliğinde olup açıkça yeni bir faz veya yeni bir kristal yapı oluşturmaktan ziyade matris kafesinde distorsiyona uğramış bir bölge oluştururlar. Bu tür oluşum tamamen dengeli bir yapı oluşturduğundan mikro yapıda önemli bir değişim olmadan ürettikleri geniş bir deformasyon ve dislokasyon hareketlerini kısıtlayan gerilme alanlarının oluşturmalarından dolayı malzemenin mekanik özelliklerini artırır (Doğan, 1989; Aydın, 2002).

Çizelge 4.2 AA 2024 ve 6063 alaşımın yaşlanma ısıl işlem sıcaklık aralığı (Aydın, 2002).

Alaşım tipi (AA)	Sıcaklık aralığı (°C)
2024	120-200
6063	120-200

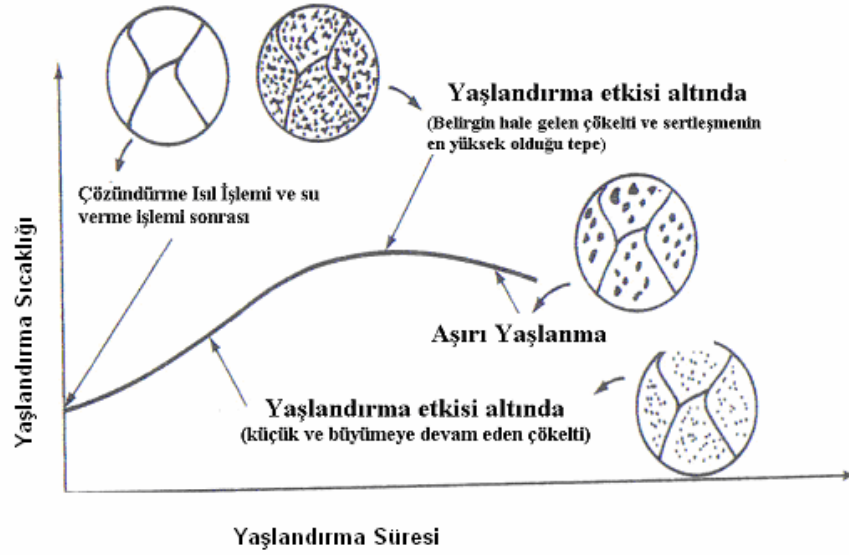
Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi esnasında çeşitli bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler; GP-1, GP-2,  $\theta^{11}$  ve  $\theta^I$  bölgeleri olarak sıralanmaktadır. Alüminyum-bakır içeren alaşımların çoğunda GP-1 bölgeleri (100) düzlemleri boyunca alüminyum matris kafes yapısıyla uyumlu zengin bakır içeren yaklaşık 100 Å uzunluğunda ve birkaç atom kalınlığında bakır atomları kümeleri şeklindedir. Bakır atomunun atomik yarıçapı (r) alüminyumun atomik yarıçapından küçük olması nedeniyle ( $r_{Al}=0,143$  nm,  $r_{Cu}=0,128$  nm) GP bölgesinin çevresindeki matris düzlemi bakır katmanına doğru yaslanır (Aydın, 2002).

GP-2 bölgeleri GP-1 bölgelerinden daha kalın (yaklaşık olarak  $150 \text{ \AA}$ ) ve daha geniş (yaklaşık olarak  $1500 \text{ \AA}$ ) çapta tetragonal kristal yapıları disk şeklinde çökelen parçacıklardan oluşur. GP-2 bölgeleri Al ve Cu atomları  $\text{Cu}_2\text{Al}_5$  bileşiği kapsayan bir yapı meydana getirirler (Aydın, 2002).

Gerilme yaşlandırması, uyumlu çökelti mesafelerinin düzenlenmesini kontrol etmede en önemli yöntemlerden biridir. Çökeltilerin anizotropik dağılımı yaşlandırma esnasında gerilim uygulayarak belirlenebilir. Bu anizotropik dağılım iki fazlı malzemenin anizotropik davranış göstermesini sağlar (Aydın, 2002).

Al-Cu alaşımında, çökelti fazı ( $\theta^1$ ) tetragonal kristal yapıya sahiptir.  $A\theta^1=4,04 \text{ \AA}$  ve  $\text{Cu}\theta^1=5,80 \text{ \AA}$  matrisin  $AA\theta^1=4,049 \text{ \AA}$  dur. Bu  $\theta^1$  fazı ve matris (Al) arasındaki yapısal farklılık düzensiz çökelti oluşumuna sebep olur (Aydın, 2002).

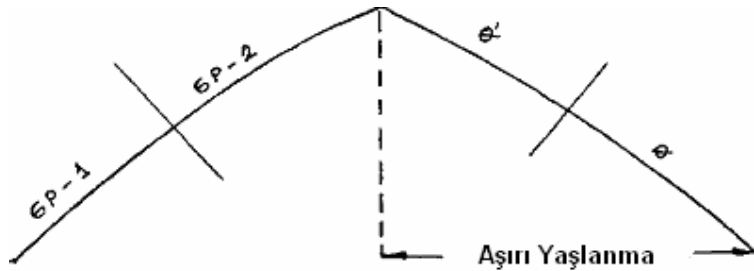
Yaşlandırma ısıl işlemi sayesinde elde edilen maksimum özellikler  $\theta^1$  bölgesinde elde edilir. Isıl işleme devam edildiğinde çökeltilerin boyutları ve dağılımı ideal olmaktan çıkarak komşu çökeltiye birleşip aşırı derecede büyürler (Şekil 4.5). Bu durumda oluşan bölgeler  $\theta$  bölgeleri olarak bilinmektedir. Çökeltilerin aşırı derecede büyümesinden, çökelti arası mesafe de artmaktadır. Bu durumda oluşan çökelti arası mesafe dislokasyon hareketlerini önleyemeyecek durumdadır. Böylece alaşım  $\theta^1$  bölgesinde kazanmış olduğu üstün özellikleri  $\theta$  bölgesinde kaybeder (Aluminium, 1967; Aydın, 2002).



Şekil 4.5 Yaşlandırma ısı işlemi aşamaları ve mikro yapıları (Askeland, 1998).

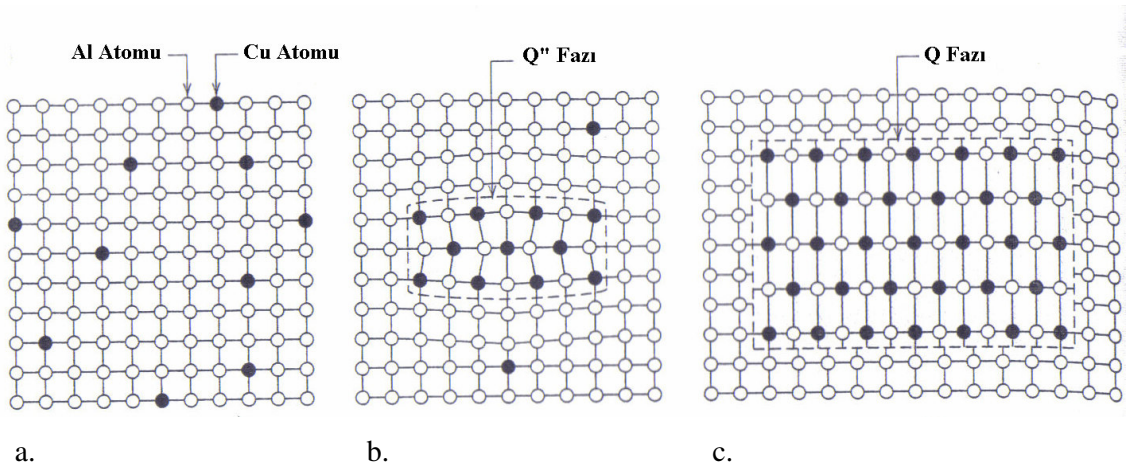
Çökelmenin başlangıcında çökelti boyutları çok küçük olduğundan deformasyon sırasında dislokasyon hareketine engel teşkil etmezler ve bu sebeple malzemenin sertliğinde önemli bir değişiklik olmaz. Fakat çökeltinin boyutları arttıkça; çökelti dislokasyon hareketi için engel teşkil ederler ve malzemenin mukavemeti artar (Doğan, 1989).

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi GP-1 ve GP-2 bölgelerinin oluşmasıyla malzemenin sertliğinde artış meydana gelir. Fakat yaşlanma süresi uzadıkça sertlik değerinde bir düşme meydana gelir. Bu durumda çökeltinin yapısı  $\Theta^1$  veya  $\Theta'$ 'dir. Yaşlanma süresinin artması ile sertlik veya mukavemette meydana gelen yaşlanmaya "aşırı yaşlanma" denir (Doğan, 1989). Şekil 4.7'de ise yaşlandırma ısı işleminin nasıl olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6 Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik veya mukavemetindeki değişimi (Doğan, 1989).





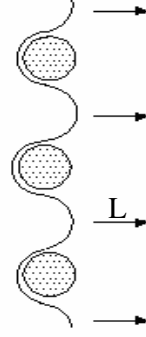
Şekil 4.7 Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların gösterimi a. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı, b. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, c. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti (Askeland, 1998).

#### 4.2.1.4 Çökeltme Sertleşmesi İle Dayanım Artışı

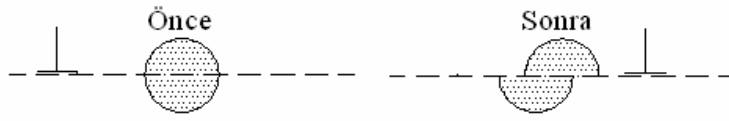
Çökelen partiküller dislokasyon hareketine engel oldukları zaman malzemenin sertliği artar. Çökelti partikülleri genellikle matristen daha serttir ve deformasyon esnasında dislokasyon hareketini engeller. Bu durumda çökelti arasında kalan dislokasyon parçası çökelti partiküllerini aşmak için uygulanan gerilime bağlı olarak hareket eder ve partiküllerin çevresini sasar. Dislokasyonlar her yönde hareket ettiği için çökelti etrafındaki halka sayısı artar ve malzemede dislokasyon yoğunluğunun artışına sebep olur. Şekil 4.8 ve 4.9'da açıkça dislokasyon hareketleri gösterilmiştir.

İnce çökelti fazı içeren malzemede dayanım veya sertliğin artmasının başlıca sebepleri;

- Dislokasyon yoğunluğunun artması.
- Dislokasyon hareketlerinin zor olması.



Şekil 4.8 Çökeltiler arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar (Öz, 2007).



Şekil 4.9 Aşırı büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi (Öz, 2007).

Dislokasyon hareketi için gerilim miktarı teorik olarak 4.1’de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\tau_a = \frac{2Gb}{L} \quad (4.1)$$

Burada;

a- Kayma modülü

b- Burgers vektörü

L- Çökeltiler arası mesafe

Bu bağıntıya göre çökeltiler mesafe azaldıkça dislokasyon hareketini engelleyici etkileri artmakta ve buna bağlı olarak da malzemenin mukavemetinde artış olmaktadır (Doğan, 1989).

Aşırı yaşılanma bölgesindeki 4.1 bağıntısı geçerlidir. Çünkü çözelti ile matris ara yüzeyindeki dislokasyonlar öncelikle hareket ederler ve bu da mukavemetin düşmesine

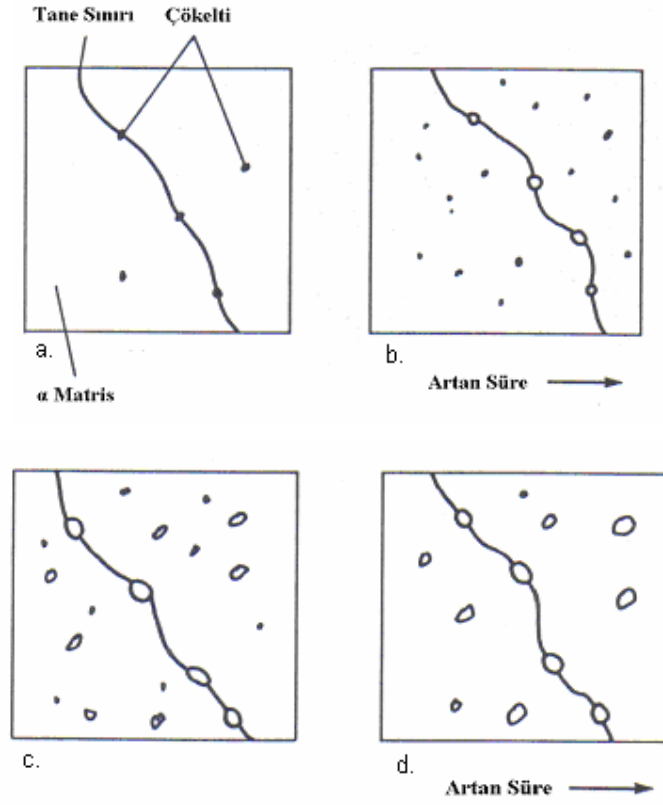
sebepl olur. Eğer özelti aşırı derecede büyük ise dislokasyonlar çökeltiyi keserek mukavemetin düşmesine sebepl olur (Doğan, 1989).

#### **4.2.1.5 Aşırı yaşlanma**

Çökelen partiküllerin birbirleriyle birleşmeleri ve büyümeleri sonucu, dislokasyon hareketine engel olmazlar. Ancak mekanik özelliklerde düşme görülür. Buna aşırı yaşlanma denir. Bu durumda dislokasyonlar taneler arasından kıvrılarak geçerler. Bu kıvrılma esnasında eğrilik yarıçapı ne kadar büyük olursa elastisite limiti de o kadar küçük olur (Doğan, 1989).

Eritme ısıll işlemeine tabi tutulmuş malzemeyi düşük sıcaklıklarda (-6 ila -10 °C arasında) depolamak suretiyle yaşlanma sertlenmesi geciktirilebilir veya durdurulabilir. Bu özellik pratik yönden aşağıda bahsedilen şekilde istifade edilir. Yaşlanma sertleşmesi sürekliliği azaltır ve bu sebepten ötürü herhangi bir soğuk işlemin tatbiki ile yürütülecek imalat metalin hâla yumuşak olduğu bir zaman içinde yapılmalı ve 2 ila 3 saat zarfında (yaşlanma sertleşmesi önemli bir alana yayılmadan önce) tamamlanmalıdır. Böyle bir işlem mümkün olmayabilir. Bu şekilde alaşımın imalat safhasında dar boğazların (sıkışmaların) meydana gelmesine sebebiyet verebilir. Eritme ısıll işlemeine tabi tutulmuş alüminyum alaşımını, sıfırın altındaki sıcaklıklarda depolamak suretiyle, donmadan dolayı yaşlanmaya mani olmuş (geciktirilmiş) olur. Daha sonra malzeme ihtiyaç duyulduğu zaman depodan alınabilir ve kolaylıkla işlenebilme şartlarında imal edilebilir (Doğan, 1989).

Yaşlandırma ısıll işleminin başlamasıyla birlikte yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 4.10 a.'da görüldüğu gibi yapı içerisinde ve tane sınırlarında çökeltilerin oluştuıkları fark edilmektedir. Yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 4.10 b.'de görüldüğu gibi yapı içerisindeki çökeltilerin miktarının ve boyutunun biraz daha arttığı Şekil 4.10 d.'de ise daha fazla belirginleştiği ve boyutunun arttığı görülmektedir. Yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber yapı içerisindeki çökeltilerin büyümesi neticesinde dislokasyonların etkisiyle malzemenin dayanımında azalma olup, aşırı yaşlanma sürecine girmesine sebepl olmaktadır.



Şekil 4.10  $\alpha$ -Matris katı eriyiği içindeki çökeltinin ( $\theta$ , ikinci faz partikülleri) yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda a. yaşlandırmanın ilk safhası, b. yaşlandırmanın ikinci safhası, c. yaşlandırmanın üçüncü safhası, d. yaşlandırmanın dördüncü safhası oluşumlarının mikro yapı resimleri (Brooks, 1982).

## **BÖLÜM 5**

### **AŞINMA**

#### **5.1 AŞINMA**

Günümüzün büyüyen ve gelişen endüstri ve sanayisinde, aşınma çok karşılaşılan bir hasar tipidir. Birbiriyle temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri (tabii tabakalar) ve yağlayıcılar ile korunmaktadır. Fakat mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle temasına neden olur. Bu temasla oluşan sürtünme, malzemelerin çalışma şartlarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur (Yılmaz, 1996). Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini ve performanslarını azaltan, parçaların bozulmasına ve kullanılmayacak duruma gelmesine sebep olan bir hasar türü olup, makine ve teçhizatın kullanılmasında çok büyük ekonomik kayıplara (enerji, iş gücü, malzeme vb.) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve teçhizat dizaynında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Aşınma ile ilgili terminoloji, ASTM 640'da yer almaktadır (Turhan, 2002; Sun, 2004). Aşınmayı en aza indirmek için uygun yağlama, malzeme ve tasarım seçimi yapılmalıdır.

Aşınma, temelde bir yüzey hasarı ve bir yüzey olayıdır. Yüzeyi etkileyen her durum aşınma davranışını etkiler (Kayalı, 1987).

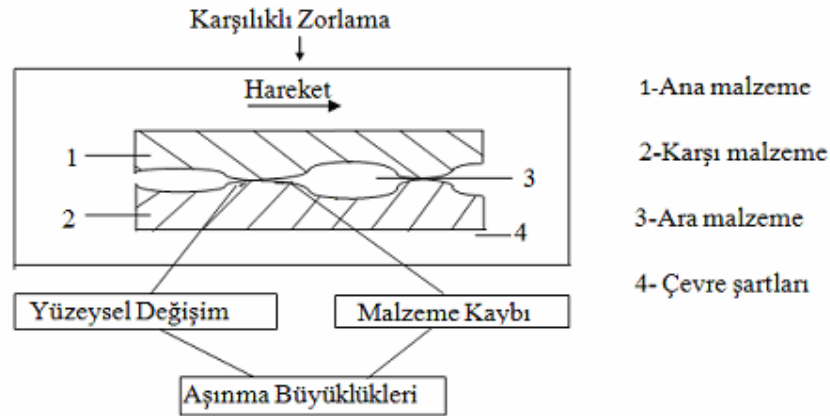
#### **5.2 AŞINMANIN TEMEL NEDENLERİ**

Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi 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 (Cöcen vd, 1997). Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkansızdır. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itina ile hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani

yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur (Portakal, 1974). Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki karşılıklı pürüzler etkileşir. İlk temas birkaç 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 (İpek, 1987; Odabaş, 1991; İpek, 1992). Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır (Pigors, 1979). 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 (İpek, 1987; Odabaş, 1991; İpek, 1992).

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi bir aşınma sisteminde öncelikle ana malzeme, karşı malzeme, ara malzeme ve çevre şartları önem teşkil etmektedir.

Aşınma olayını iyi bir şekilde analiz edebilmek için aşınma olayını oluşturan temel unsurların bilinmesi gerekir. Tribolojik sistemi oluşturan bu unsurlar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi (Kayalı, 1987; Gültaş, 1998; Turhan, 2002).

## **5.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

- a) Ana malzemeye bağlı faktörler.
- b) Karşıt malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi.
  - 1. Ortamın Etkisi.
  - 2. Servis Koşulları.

### **5.2.1.1 Ana malzemeye bağlı faktörler**

- a) Malzemenin kristal yapısı
- b) Malzemenin sertliği
- c) Elastisite modülü
- d) Deformasyon davranışı
- e) Yüzey pürüzlülüğü
- f) Malzemenin boyutu

### **5.2.1.2 Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi**

#### **Ortamın etkisi**

- a) Sıcaklık
- b) Nem
- c) Atmosfer

#### **Servis koşulları**

- a) Basınç
- b) Hız
- c) Kayma yolu (Sur, 2002).

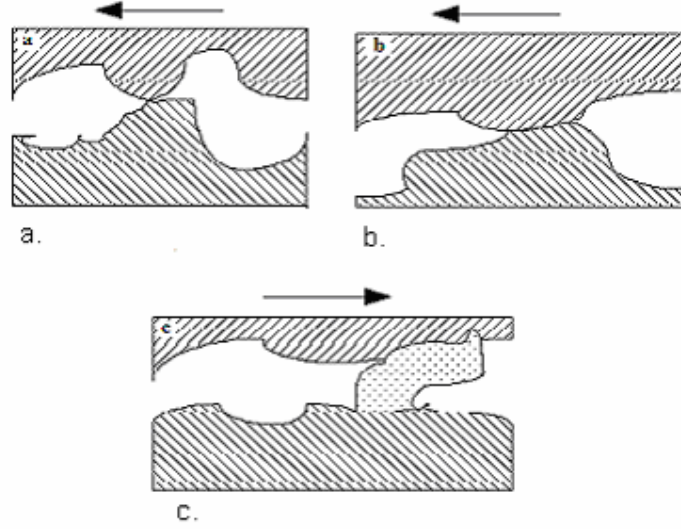
## 5.3 AŞINMA MEKANİZMALARI

### 5.3.1 Adhesiv Aşınma

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 etkileyen bir kuvvet, temasla olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç, yani bu noktalardaki gerilme pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynak olmasına 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 kaynaklaşmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur (Demiral vd., 2006).

İki ayrı metal yüzeyi basınç altında Şekil 5.2'de görüldüğü gibi bir araya getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisi nedeniyle birbiriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, birleşen çıkıntılarının diğer bölgelerindeki bağ yapısından daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında birçok kere tekrarlaması ile adhesiv aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır (Aytaç, 2007).



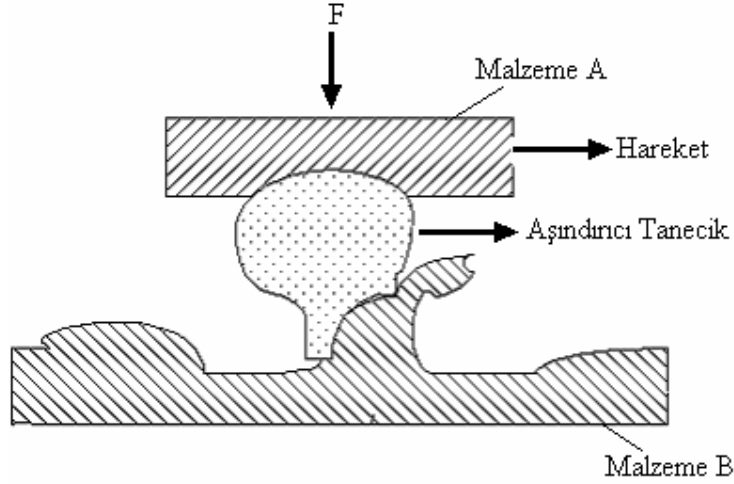


Şekil 5.2 Adhesiv aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi, a. iki çıkıntının bulaşması ve bağ oluşumu, b bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu c. uzamış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu (Aytaç, 2007).

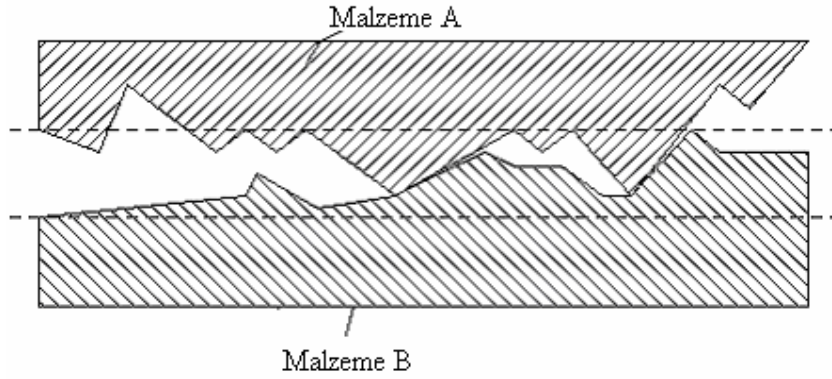
### 5.3.2 Abrasiv aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasiv aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanabilir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir.

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. (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Üç elemanlı abrasiv aşınma (Aytaç, 2007).



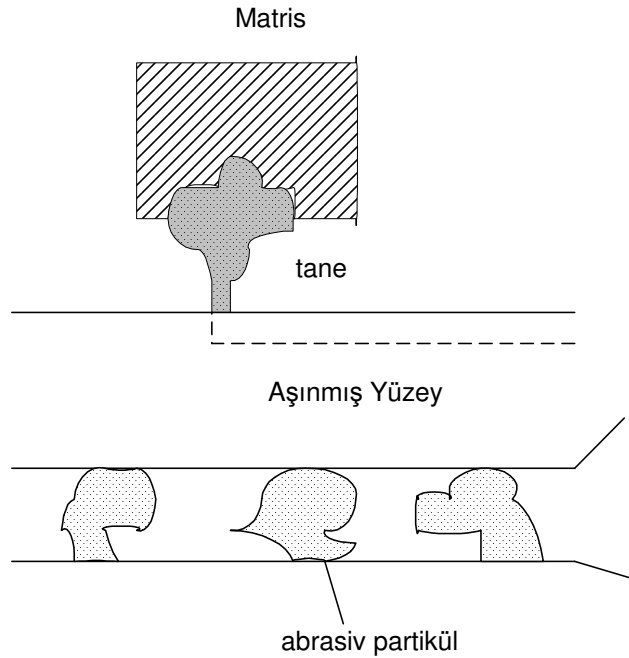
Şekil 5.4 İki elemanlı abrasiv aşınma (Aytaç, 2007).

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 (Aytaç, 2007).

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 malzemedan daha sert olduklarından dolayı aşınmayı hızlandırır (Aytaç, 2007).

Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı parçacık ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması açısından daha az iz bırakması sağlanır (Aytaç, 2007).



Şekil 5.5 Abrasiv aşınma mekanizması (Aytaç, 2007).

## 5.4 AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER

### 5.4.1 Malzemenin Cinsi

Deney malzemesi olarak seçilen malzemelerden, mekanik ve kimyasal özelliklerinin istenilen özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı çalışma şartları gerçeğe uygun bir şekilde belirlenmeli ve kullanılacak malzemenin türü (çelik, demir, Al vs.) bu şartları karşılayabilecek şekilde seçimi yapılmalıdır (Aytaç, 2007).

#### **5.4.2 Malzemenin Mikro Yapısı**

Deney için kullanılacak olan malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyen en önemli faktörden birisi mikro yapıdır. Mikro yapıda bulunan fazlar, tane boyutu, şekli, kristal kafes yapısı vb. birçok özelliğe bağlı olarak mekanik özellikler değişiklik göstermektedir. Malzemelerde değişiklik gösteren sertlik, akma mukavemeti, sürtünme katsayısı, kopma mukavemeti, elastikiyet modülü gibi birçok özellik mikro yapıyla değiştirilebilmektedir. Bu nedenle hangi metotla malzeme üretilirse üretilsin uygulanan işlem basamakları istenilen mikro yapıya göre şekillendirilmelidir (Aytaç, 2007). Örneğin AA 6063 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısıl işlem yöntemi ile; deney malzemesinin kimyasal bileşimini değiştirmeksizin yapılacak ısıl işlem sıralaması ve oluşturulmak istenen II. faz çökeltileri ile mikro yapı değişmektedir.

#### **5.4.3 Malzeme Şekli Ve Boyutları**

Malzemenin şekli ve boyutu gerçek temas alanını etkilediğinden dolayı aşınmayı da etkiler. Yapılan araştırmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığı ve parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur. Ayrıca geometrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin daha az aşındığını ve aşınma sonunda ideal daireye yaklaşma olduğu tespit etmiştir (Mutlu, 1996).

#### **5.4.4 Ortamın Etkisi (Sıcaklık, Nem, Atmosfer)**

Atmosfere açık çalışan sistemlerde bu faktörleri çevre şartları oluşturur. Böylece çevre sıcaklığı, ortam basıncı ve ortamda bulunan nem, aşınma sistemini etkileyen en önemli faktörleri oluştururlar. Yüzeyle arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı sistemlerde mikro yapı değişikliğine bile sebep olmaktadır (Yılmaz, 1996).

Araştırmalarda, atmosfer basıncı ve sıcaklığın çeşitli çeliklerin aşınma direncine etkileri incelenmiş ve 300 °C'ye kadar aşınma miktarının fazla etkilenmediği, 350 °C civarında ise farklı değerlerin çıktığı bulunmuştur. Bu sonuç düşük sıcaklıkta yüzey oksidasyonunun aşınmaya direnç teşkil edecek bir rol oynayabilmesi şeklinde açıklanmıştır. Aynı çalışmada

argon gazı, yüksek basınç ve açık atmosfer kullanılmak suretiyle değişik basınç ve sıcaklıklarda çalışılmış ve ortamın etkisi incelenmiştir. Sonuçta sıcaklığın artışının aşınmayı belli bir sıcaklık değerine kadar etkilemediğini daha sonraki sıcaklıklarda etkisini hissettirdiğini göstermiştir (Yılmaz, 1996).

#### **5.4.5 İşletme Koşulları (Basınç, Hız, Kayma Yolu) Etkisi**

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmanın artmasına da sebep olacaktır. Araştırmacıların birçoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda değer olarak belirlenmiştir. Hacimsel aşınmanın yük ile doğrusal olarak arttığını, fakat yükün daha fazla artmasıyla birim yük başına düşen aşınma miktarının, belli bir kayma (aşınma) yolundan sonra dengeye geldiğini tespit etmiştir (Yılmaz, 1996).

Bütün teorik uygulamalı çalışmalar, kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. 0-0,25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir (Yılmaz, 1996).

Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir. Aşınma miktarı, abrasiv tanelerin büyümesiyle doğru orantılı olarak artma gösterir (Yılmaz, 1996).

### **5.5 AŞINMA TESTLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

Gelişen ve değişen endüstri ve sanayi alanlarında kullanılan alet ve makinelerde istenilen en önemli özellik kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu nedenle makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti içinde birçok laboratuvar testlerinin yapıp daha sonra kullanılması gerekmektedir (Aytaç, 2007).

Laboratuar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit bir geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak, her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir (Aytaç, 2007).

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür (Aytaç, 2007).

- a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü testler.
- b) Katı, sıvı ve gaz halinde ki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü testler.

ASLE (American Society Of Lubrication Engineers, 1978) tarafından yüz kadar test sistemi belirlenmiştir. Bu aşınma testlerinde, aşınma ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişimi ve radyoizotop metotları gibi metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar aşağıda sırayla açıklanmaktadır. Bir sürtünme sisteminde, aşınma miktarlarını ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Sürtünme elemanlarının malzeme özelliklerine ve sistemin yapısına bağlı olarak yöntem seçimi yapılmalı veya beklenenleri yerine getirecek şekilde yöntem kombinasyonu geliştirilmesi yoluna gidilmelidir Bir ölçme yönteminde öncelikle yüksek hassasiyet, kolay ve seri uygulama ve son olarak ekonomik olması beklenen özelliklerdir (İzciler M ve Öcal İ, 2001).

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL MALZEME VE METOT

#### 6.1 GİRİŞ

Bu çalışmada, AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemleri yapılmıştır. Yaşlanma işlemleri üç farklı sıcaklıkta (140°C, 180°C ve 220°C) ve beş farklı sürede (2, 4, 6, 8 ve 10 saat) yapılmıştır. Daha sonra yaşlandırma ısıl işlemi yapılan bu numunelerin aşınma ve sürtünme davranışlarını belirlemek amacıyla aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde pin-on-disk tipi bir aşınma ünitesi kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının kimyasal bileşimleri malzemelerin temin edildiği üretici firma tarafından belirlenmiştir. Çizelge 6.1’de ise deney malzemesi olan AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 6.1 AA 6063 ve AA 2024 alaşımlarının kimyasal analiz sonuçları.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
AA 6063	0,5	0,15	0,05	0,1	0,6	0,05	0,04	0,06
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
AA 2024	0,37	0,38	4,28	0,43	1,45	0,18	0,016	0,019

#### 6.2 YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ

Yaşlandırma ısıl işleminin ilk aşamasında AA 6063 alaşımlı numuneler, 520 °C sıcaklıkta, AA 2024 alüminyum alaşımları ise 490 °C sıcaklıkta solüsyona alınmıştır. İkinci aşamada, her iki malzeme de solüsyona alma sıcaklıklarında, 2 saat bekletildikten sonra suda soğutulmuştur. Üçüncü aşamada ise yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma

işlemleri AA 6063 ve AA 2024 alüminyum alaşımları için 140°C, 180°C ve 220°C sıcaklıklarda ve 2, 4, 6, 8 ve 10 saat olmak üzere beş farklı zaman aralığında yapılmıştır. Yaşlandırma ısı işlemi yapılan malzemeler, fırın ortamında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Çizelge 6.2’de yaşlandırma ısı işlem parametreleri verilmektedir.

Çizelge 6.2 Deneyde kullanılan ısı işlem parametreleri.

Malzeme	Solüsyona alma	Su Verme	Yaşlandırma ısı işlemi	Süresi
AA 6063	520 °C/2 saat	Oda Sıcaklığı (20 °C )	140 °C	2 saat
				4 saat
				6 saat
				8 saat
				10 saat
AA 2024	490 °C/2 saat		180 °C	2 saat
				4 saat
				6 saat
				8 saat
				10 saat
		220 °C	2 saat	
			4 saat	
			6 saat	
			8 saat	
			10 saat	

### 6.3 METALOGRAFİK İŞLEMLER VE SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

AA 6063 ve AA 2024 alaşımlarının metalografik incelemesi için her iki malzeme grubu içinde yaşlandırma işlemi uygulanmamış ve yaşlandırılmış numuneler mikro yapı incelemeleri için soğuk gömme yöntemi ile poliestere alınmıştır. Zımparalama ve polisaj işlemlerinde Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm laboratuvarında bulunan PRESİ MECAPOL P 262 model polisaj cihaz kullanılmıştır. Metalografik incelenmesi yapılacak numuneler sırasıyla 180, 320, 600, 800 ve 1200 grit zımparalar ile yüzeyleri hazırlanarak 3 µm ve 1 µm elmas solüsyon ile parlatılmıştır. Standart metalografik işlemlere tabi tutulan numuneler hazırlandıktan sonra optik mikroskop



incelemeleri için dağlanmıştır. Dağlama işlemi; 90 ml H<sub>2</sub>O, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 3 ml HCl ve 2 ml HF solüsyonunda 30 sn süre ile yapılmıştır.

### **6.3.1 Optik Mikroskop İncelemeleri**

Optik mikroskop incelemeleri, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm bölümü laboratuvarlarında bulunan MEIJI ML 7100 marka mikroskop ve BOSH DINION XF CAMERA ile yapılmıştır.

### **6.3.2 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri**

Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış ve uygulanmış numunelerin mikro yapı incelemeleri ve aşınma testleri sonrası aşınma yüzeylerinin incelenmesi amacıyla, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki “JEOL JSM-6060” tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

### **6.3.3 Enerji Dağımlı X-Işım Spektroskopisi (EDS) İncelemesi**

Yapı içerisindeki elementleri belirlemek amacıyla Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan EDS analiz cihazı kullanılmıştır.

### **6.3.4 Sertlik Ölçümleri**

Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış ve uygulanmış numunelerin, HV 2 Vickers sertlik değerleri, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm bölümü laboratuvarlarında bulunan AFFRI SYSTEM sertlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

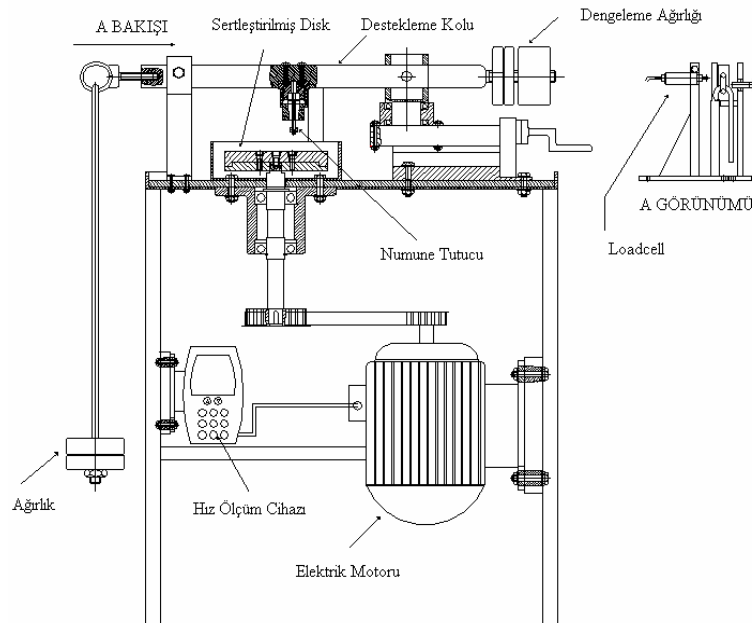
## **6.4 AŞINMA TEST CİHAZI**

Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney ünitesinin şematik görüntüsü Şekil 6.1’de verilmektedir. 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 periyod da 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 şunlardır, 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. Komple resimde görüldüğü gibi numune ile kayış kasnak sistemi kullanılarak 1/3 oranında çalışacak dönel disk 1,5 KW'lık 1500 dev/dak 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 6.1. Aşınma test cihazının şematik görüntüsü.

Taşıyıcı kolun bağlandığı yatak hem kendi eksenini etrafında dönebilmekte hem de ileri geri hareket edebilmektedir. Hareketli yatağın ileri geri hareketi ile disk üzerine gelen numune disk merkezinden uzaklaşıp yaklaşabilmektedir. Disk döndüren elektrik motoruna bağlanan hız kontrol cihazı motorun değişken devirlere ayarlanabilmesini sağlamaktadır.

#### **6.4.1 Karşılık Diski, Malzemesi ve Numune**

Aşınma deneyi, AA 2024 ve AA 6063 numuneleri ile çalışacak dönel disk için RJ45 Ç1140 malzemesi 230 mm çapında, 20 mm kalınlığında üretilmiş olup 900°C'ye kadar ısıtılıp suda sertleştirilerek 56 Rc sertliği elde edilmiştir. Sertleştirme işleminden sonra diskler düzlem taşlama işlemi yapılmıştır. Diskin ve AA 2024 ve AA 6063 numune yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerekmektedir. Bu nedenle teste başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Karşılık disk çelik malzemeden ve 56 Rc sertlik değerindedir. Her numune farklı bir iz oluşturacak şekilde yerleştirilerek her test için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Tüm izler kullanıldıktan sonra disk yeniden taşlanarak teste hazır hale getirilmektedir.

#### **6.4.2 Aşınma Testleri**

Aşınma testi tasarlanıp imal edilen standart pin-on-disk tipi deney cihazında yapılmıştır. Test cihazının devrinin ölçülmesi için "COMPACT" Marka (Advent optical tachmeter) Takometre (0-1000 dev/dak, 0-5 V çıkış marka) ile devir/dak 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. İlk ağırlık ile aşındıktan sonraki ağırlık arasındaki fark olan kütle kaybından aşınma miktarı hesaplanmıştır.

Aşınma deneylerinde parametre olarak üç farklı yük (10 N, 20 N ve 30 N) kullanılmıştır. Aşınma mesafesi olarak 400, 800, 1200 ve 1600 metre olarak dört farklı mesafe test edilmiş ve kayma hızı olarak da 2,08 m/s'lik hız seçilmiştir.



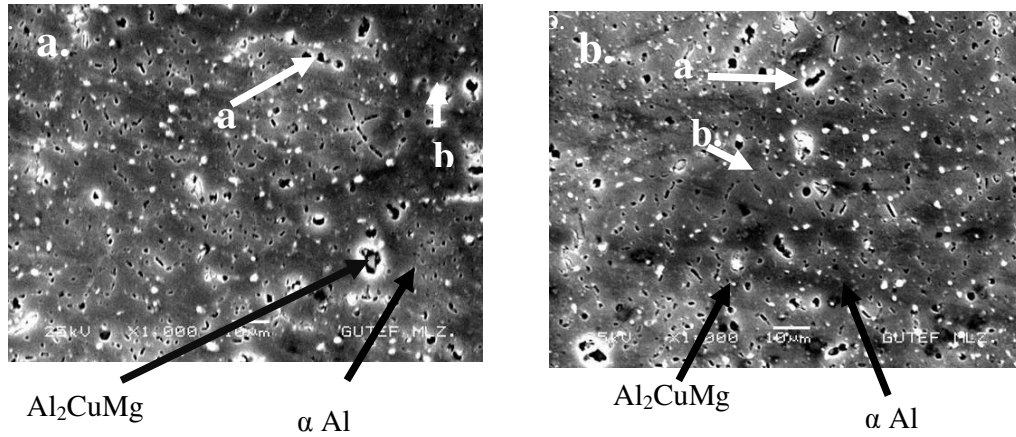
## BÖLÜM 7

### 7. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

#### 7.1. Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Mikro Yapı İncelemeleri

490 °C’de 2 saat solüsyona alındıktan sonra 140 °C, 180 °C, 220 °C’de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat yapay yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 alüminyum alaşımlarının Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 7.1’de verilmiştir.

Şekil 7.1’de verilen SEM görüntülerinden anlaşıldığı gibi AA 2024 alaşımların yaşlandırma ısıl işlemi sonrası mikro yapı içerisinde oluşan çökelti miktarında artış meydana gelmiştir. Yapı da yaşlanma ısıl işlemi ile ısıl işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak çökelti miktarı değişmektedir. Şekil 7.1’de a. ile gösterilen koyu bölge  $\alpha$  Al matris bölgesidir, b. ile gösterilen beyaz bölgeler ise içerisinde % 72,904 alüminyum, % 1,009 magnezyum ve % 0,958 Silisyum, % 19,653 bakırca zengin bölgelerdir ( $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ).

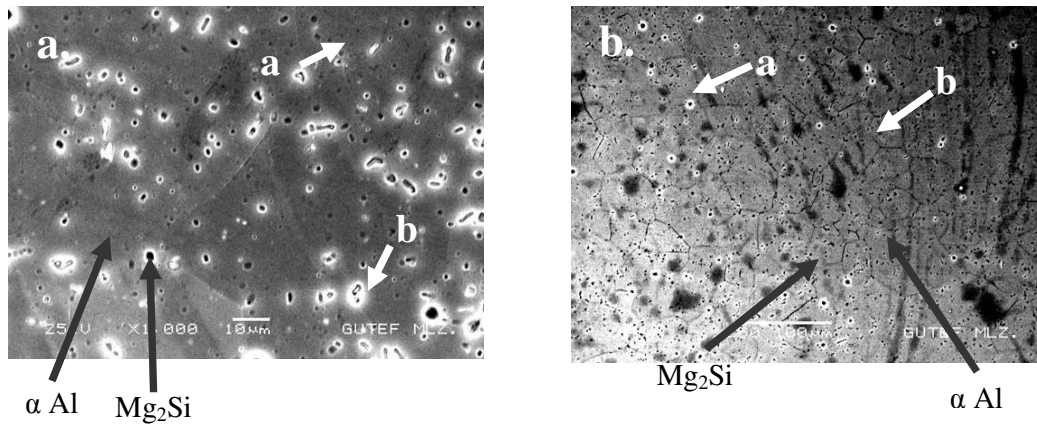


Şekil 7.1 AA 2024 Alaşımlı numunelerin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri; a. 180 °C’de 2 saat yaşlandırılmış, b. 180 °C’de 6 saat yaşlandırılmış.

AA 2024 alaşımları içerisinde bulunan ana alaşım elementi olan bakır, yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde intermetalik fazlardan  $\text{CuAl}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  çökeltilerini oluşturmaktadır. Yaşlandırma ısıl işlem sonrası oluşan intermetalik fazların içerisinde oluşan yüksek orandaki bakır oranı magnezyum ile GP bölgelerinde  $\text{CuAl}_2$  çökeltilerini oluşturur. Şayet düşük orandaki bakır oranı magnezyum ile GP bölgelerinde  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  çökeltilerini oluşturmaktadır. Bu iki farklı çökelti ise ana yapının mekanik ve fiziksel özelliklerini olumlu şekilde etkilemektedir (Kaçar et al., 2003).

Şekil 7.2’de verilen SEM görüntülerinde görüldüğü gibi AA 6063 alaşımların yaşlandırma ısıl işlemi sonrası mikro yapı içerisinde oluşan çökelti miktarında yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış yapıya göre devamlı bir artış meydana gelmiştir. Yapıda yaşlanma ısıl işlemi ile ısıl işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak çökeltiler devamlı olarak boyutlarında ve miktarında değişme olmaktadır. Şekil 7.2’de a. ile gösterilen koyu bölge  $\alpha$  Al matris bölgesidir, b. ile gösterilen beyaz bölgeler ise içerisinde % 97 oranında Alüminyum, % 0,955 Magnezyum, % 0,421 Silisyum ve % 1,408 demir, % 0,215 bakır bulunan bölgelerdir ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{AlFeSi}$ ).

Yaşlandırma ısıl işlemi görmüş AA 6063 alaşımlı numunelerden alınan SEM görüntüleri Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2 AA 6063 alaşımlı numunelerin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri; a. 140 °C’de 10 saat yaşlandırılmış, b. 180 °C’de 10 saat yaşlandırılmış.

Yapay yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 alaşımları için yaşlandırmanın sıcaklığa ve süreye bağlı olarak yapı içerisinde EDS ve XRD analizleriyle  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{AlFeSi}$  ve  $\text{CuAl}_2$  çökeltileri olduğu tespit edilmiştir (Gavgali et al., 2004).

Yapılan SEM ve EDS analizler sonucunda, AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının mikro yapı içerisinde oluşan çökeltilerin yaşlandırma ısıl işlem sonrası sıcaklığa ve süreye bağlı olarak oluştuğunu ve bu çökeltilerin boyutunun ve miktarının önemli derecede değiştiği görülmüştür.

## **7.2 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Sertlik İncelemeleri**

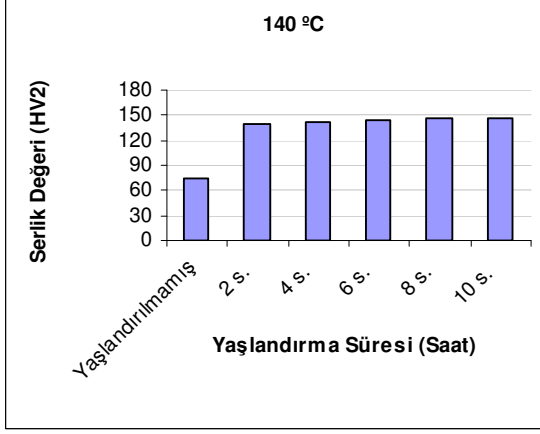
AA 2024 numunelerinin yaşlandırma sıcaklıkları ve sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri Şekil 7.3’de verilmiştir. Yaşlandırma işleminde artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak artan sertlik değeri belli bir sıcaklık ve süreden sonra azalmaktadır.

140 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri Şekil 7.3 a.’da verilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesi sertlik değeri 74 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 139 (HV2)’a ulaşmıştır. Şekilde de görüleceği gibi yaşlandırma ısıl işlemi süresindeki artışla beraber sertlik değerlerinde de bir artış devam etmektedir. 140 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında sertlik değeri en yüksek değer olan 147 (HV2)’ye ulaşmıştır.

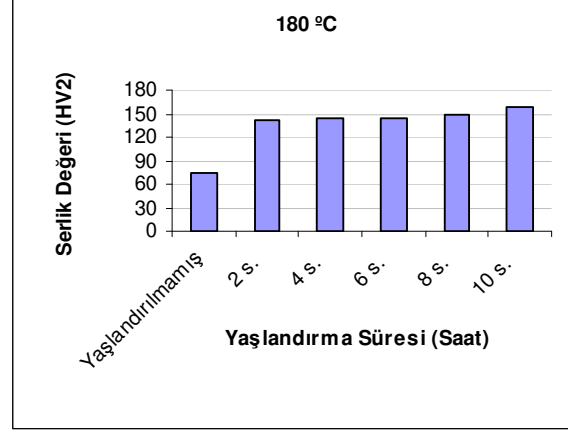
180 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri Şekil 7.3 b.’de verilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesi sertlik değeri 74 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 141 (HV2)’e ulaşmıştır. Şekilde de görüleceği gibi yaşlandırma ısıl işlemi süresindeki artışa paralel olarak sertlik değerlerinde de artış devam etmektedir ve 180 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında en yüksek sertlik değeri olan 159 (HV2)’ye çıkmıştır.

220 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri Şekil 7.3 c.’de verilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesi sertlik değeri 74 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 117 (HV2)’ye ulaşmıştır. Şekilde de görüleceği gibi yaşlandırma ısıl işlemi süresindeki artışa paralel olarak sertlik

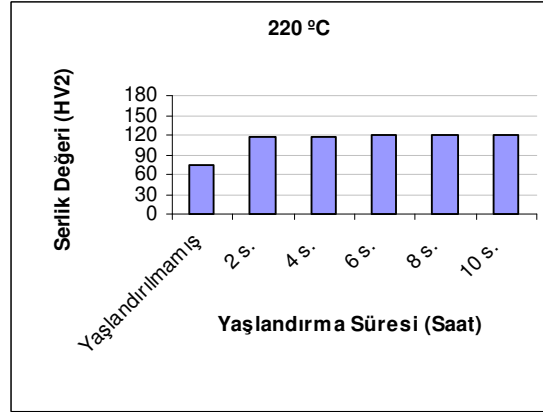
değerlerinde de artış devam etmektedir ve 220 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında en yüksek sertlik değeri olan 120 (HV2)’ye çıkmıştır.



a.



b.



c.

Şekil 7.3 a. 140 °C, b. 180 °C ve c. 220 °C’de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin sertlik değerleri.

AA 6063 numunelerinin yaşlandırma sıcaklıkları ve sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri Şekil 7.4’de verilmiştir. Yaşlandırma işleminde artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak artan sertlik değeri belli bir sıcaklık ve süreden sonra azalmaktadır.

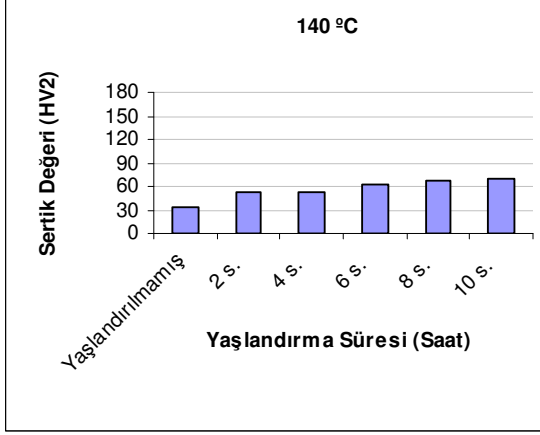
140 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri Şekil 7.4 a.’da verilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi öncesi sertlik değeri 34 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 52 (HV2)’e ulaşmıştır. Şekilde



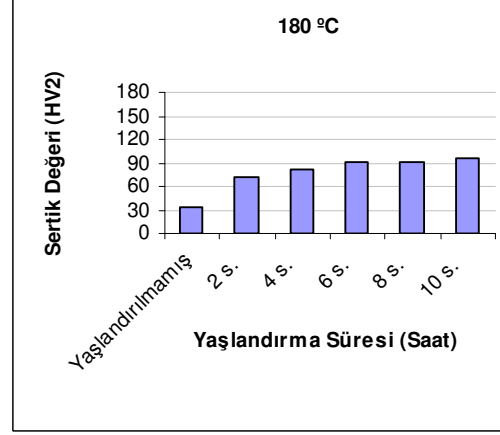
de görüleceği gibi yaşlandırma ısıı işlemi süresindeki artışa paralel olarak sertlik değerlerinde de artış devam etmektedir ve 140 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıı işlemi sonrasında en yüksek sertlik değeri olan 70 (HV2)’ye çıkmıştır.

180 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıı işlemi yapılan AA 6063 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıı işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri şekil 7.4 b.’de verilmiştir. Yaşlandırma ısıı işlemi öncesi sertlik değeri 34 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıı işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 72 (HV2)’e ulaşmıştır. şekilde de görüleceği gibi yaşlandırma ısıı işlemi süresindeki artışa paralel olarak sertlik değerlerinde de artış devam etmektedir ve 180 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıı işlemi sonrasında en yüksek sertlik değeri olan 97 (HV2)’ye çıkmıştır.

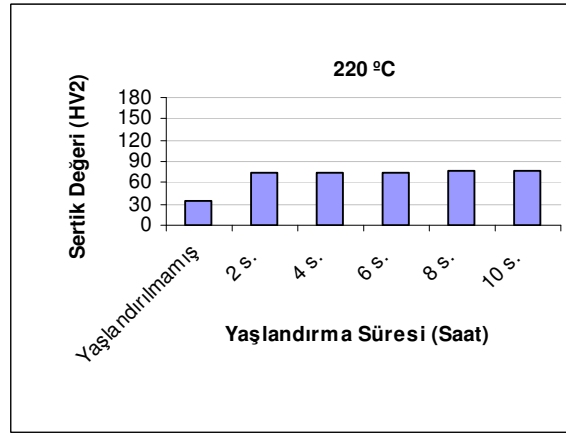
220 °C’de beş farklı sürede yaşlandırma ısıı işlemi yapılan AA 6063 numunelerinin sertlik değerleri ve yaşlandırma ısıı işlemi uygulanmamış olan numunenin sertlik değeri şekil 7.4 c.’de verilmiştir. Yaşlandırma ısıı işlemi öncesi sertlik değeri 34 (HV2) iken 2 saatlik yaşlandırma ısıı işlemi sonrasında numunenin sertlik değeri 73 (HV2)’e ulaşmıştır. şekilde de görüleceği gibi yaşlandırma ısıı işlemi süresindeki artışa paralel olarak sertlik değerlerinde de artış devam etmiş ve 220 °C’de 10 saatlik yaşlandırma ısıı işlemi sonrasında en yüksek sertlik değeri olan 76 (HV2)’ya ulaşmıştır.



a.



b.



c.

Şekil 7.4 a. 140 °C, b. 180 °C ve c. 220 °C’de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 numunelerinin sertlik değerleri.

Yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelerin sertlik değerlerinin artması, yaşlandırma süresi ve sıcaklığının artışı ile kafes sistemi içerisinde bulunan boşluklar yardımıyla oluşan difüzyon etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu boşlukların çözen atomların sayıca zengin olmasından dolayı GP bölgelerinin oluşumu için önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Cavazos and Colas, 2001). Bölgesel segregasyon, GP bölgesi içerisinde kafes düzlemlerinin distorsiyonuna yol açar ve matris içerisindeki birçok atom tabakalarının genişlemesine sebep olur. GP bölgelerin miktarının artmasıyla kafes sisteminin distorsiyonu artar. Yaşlandırma başlangıcı ve sertlik değeri artışının en tepe noktasındaki yaşlandırma koşullarındaki çökeltilerin oluşumuna bağlı olarak dislokasyon hareketinin

engellenmesinin sonucu olarak dayanım artışı meydana gelmektedir. Dayanım artışıyla beraber sertlik değerinde de bir artış meydana gelir (Cavazos and Colas, 2001).

AA 2024 ve AA 6063 alaşımli numunelerin yaşlandırma ısıl öncesi düşük olan sertlik değerinin yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artan sertlik değeri 220 °C’de azalmaya başlamıştır. Bunun nedeni, yaşlanma sıcaklığı ve süresiyle beraber numunelerin yapısı içerisinde oluşmuş olan çökeltilerin birbiriyle birleşmesi sonucu iri çökeltilerin oluşması, sayıca çökeltilerin azalması ve devamlı olarak çökelti boyutlarının büyümesi neticesinde aşırı yaşlanma sürecine girmiştir. Bu süreçte, dislokasyon hareketlerini engelleyici faktörler çok azalmış ve malzemenin mekanik özelliklerinin azalmasına neden olmuştur (Cavazos and Colas, 2001).

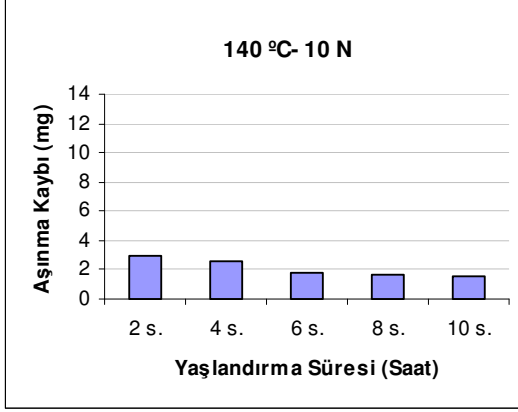
### **7.3 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi**

AA 2024 numunelerinin yaşlandırma ısıl işlemi sonrası mikro yapıda oluşan çökeltiler sayesinde malzemenin mekanik özellikleri iyileşmektedir. Özellikle aşınma direnci, yaşlanma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak sertlik değerlerine paralel olarak artmaktadır. Bu nedenle malzemenin aşınma kaybı azalmaktadır. Aşınma testlerinde kullanılan 10 N, 20 N ve 30 N yük altında elde edilen aşınma miktarları Şekil 7.5’de verilmiştir.

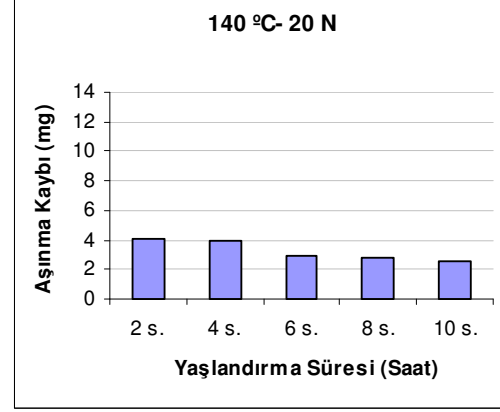
Şekil 7.5 a.’daki grafikler incelendiğinde AA 2024 alüminyum alaşımli numunelerin 10 N yük altında 140 °C’de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 3 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 1,5 mg’a kadar düşmüştür.

Şekil 7.5 b.’de görüldüğü gibi 20 N yük altında 140 °C’de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı ise 4,1 mg’a kadar artmış, 140 °C’de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 6 mg’a kadar düşmüştür.

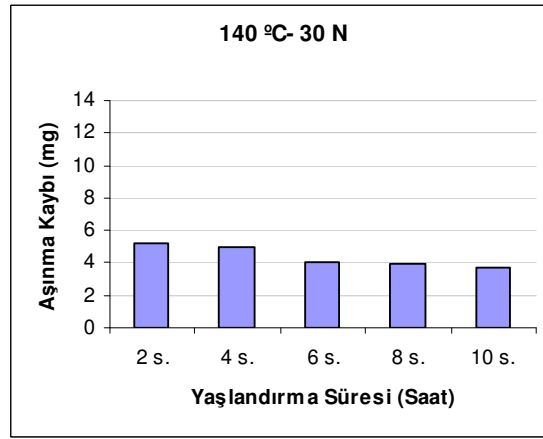
Şekil 7.5 c.’de görüldüğü gibi 30 N yük altında 140 °C’de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 5,2 mg’a kadar artmış, 140 °C’de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 3,7 mg’a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür.



a.



b.



c.

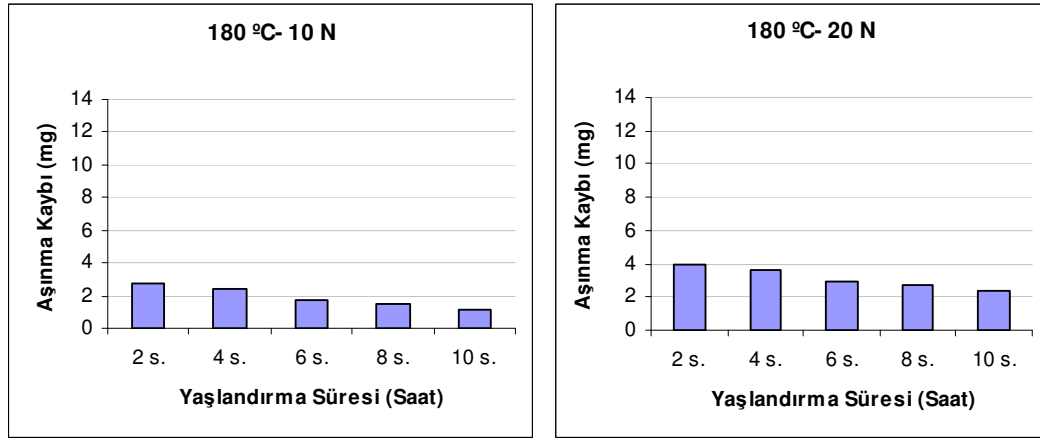
Şekil 7.5 140 °C’de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin a. 10 N, b. 20 N, c. 30 N yük altındaki aşınma kayıpları.

Buna göre aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür. Artan yükte beraber aşınma kaybı miktarı artmaktadır. En fazla aşınma kaybı sırasıyla 30 N, 20 N ve en az aşınma kaybı 10 N yükte olmuştur.

Şekil 7.6’daki grafikler incelendiğinde 180 °C’de yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin Şekil 7.6 a.’da verildiği gibi 10 N yük altında 180 °C’de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde malzemenin aşınma kaybı miktarı ise 2,8 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde malzemenin aşınma kaybı miktarı 1,2 mg’a kadar düşmüştür.

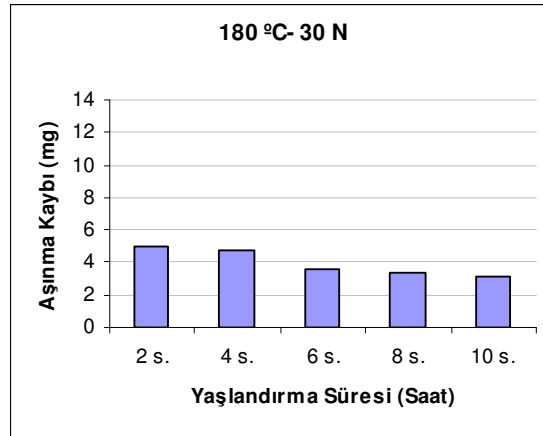
Şekil 7.6 b.'de 20 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 4 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 2,4 mg'a kadar düşmüştür.

Şekil 7.6 c.'de 30 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 5 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 3,1 mg'a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür.



a.

b.



c.

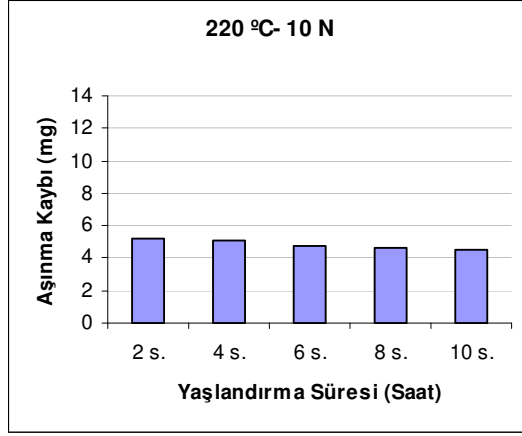
Şekil 7.6 AA 2024 alaşımli numunelerin 180 °C'de yaşlandırma sonrası a. 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında aşınma kaybı miktarı.

Buna göre aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağılı olarak bir azalma görülmüştür. Artan yüklerle beraber aşınma kaybı miktarı artmaktadır. En fazla aşınma kaybı sırasıyla 30 N, 20 N ve en az aşınma kaybı 10 N yükte olmuştur.

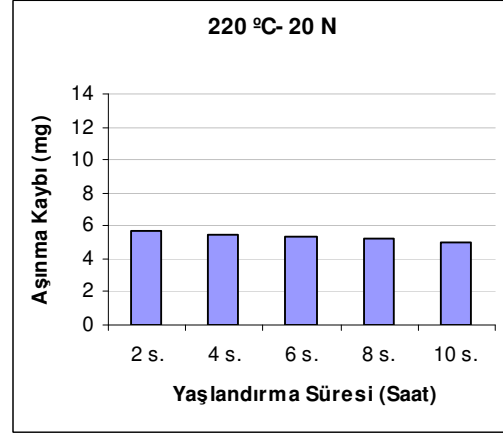
Şekil 7.7'deki grafikler incelendiğinde 220 °C'de yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 2024 numunelerinin Şekil 7.7 a.'da 10 N yük altında, b.'de 20 N yük altında, c.'de 30 N yük altında verildiği gibi a. 10 N yük altında 140 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi sonrası aşınma kaybı miktarı 5,2 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde malzemenin aşınma kaybı miktarı 4,5 mg'a kadar düşmüştür.

Şekil 7.7 b.'de 20 N yük altında 220 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 5,7 mg'a kadar artmış, 220 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 5 mg'a kadar düşmüştür.

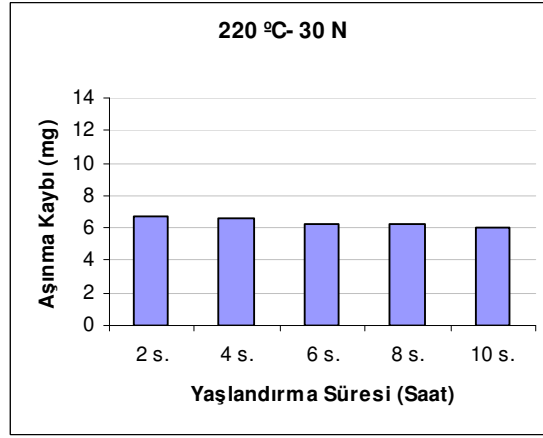
Şekil 7.7 c.'de 30 N yük altında 220 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 6,7 mg'a kadar artmış, 220 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 6 mg'a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağılı olarak bir azalma görülmüştür.



a.



b.



c.

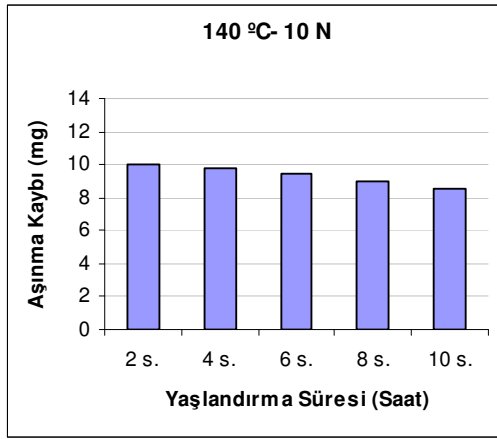
Şekil 7.7 AA 2024 alaşımı numunelerin 220 °C’de yaşlandırma sonrası a. 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında aşınma kaybı miktarı.

Buna göre aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür. Artan yükle beraber aşınma kaybı miktarı artmaktadır. En fazla aşınma kaybı sırasıyla 30 N, 20 N ve en az aşınma kaybı 10 N yükte olmuştur.

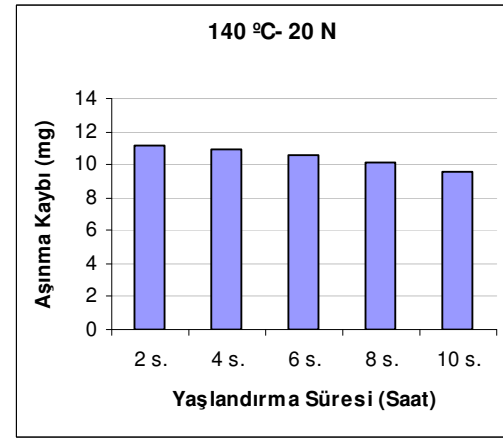
Şekil 7.8 a.’daki grafik incelendiğinde 140 °C’de yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 alaşımlarının 10 N yük altında 140 °C’de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 10 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 8,5 mg’a kadar düşmüştür.

20 N yük altında Şekil 7.8 b.'de görüldüğü gibi 140 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 11,1 mg'a kadar artmış, 140 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 9,6 mg'a kadar düşmüştür.

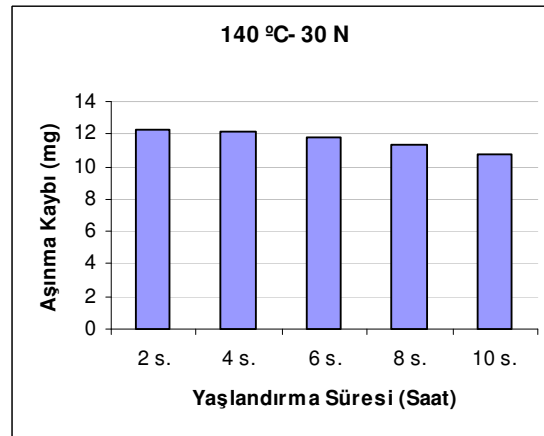
30 N yük altında Şekil 7.8 c.'de görüldüğü gibi 140 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 12,3 mg'a kadar artmış, 140 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 10,8 mg'a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür.



a.



b.



c.

Şekil 7.8 AA 6063 alaşımı numunelerin 140 °C'de yaşlandırma sonrası a. 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında aşınma kaybı miktarı.

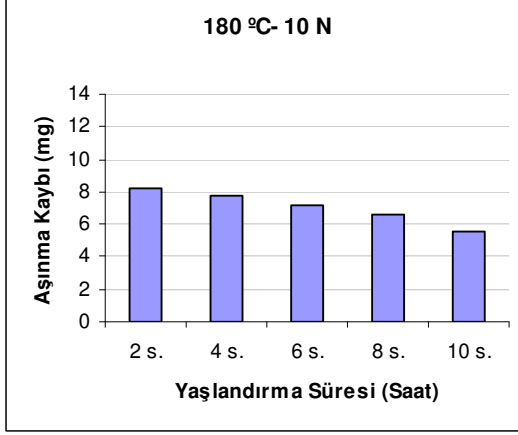


Buna göre aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür. Artan yüklerle beraber aşınma kaybı miktarı artmaktadır. En fazla aşınma kaybı sırasıyla 30 N, 20 N ve en az aşınma kaybı 10 N yükte olmuştur.

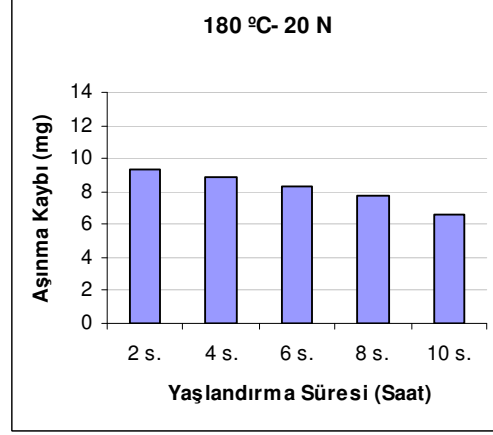
Şekil 7.9 a.'daki grafik incelendiğinde 180 °C'de yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 alaşımlarının 10 N yük altında 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı miktarı 8,2 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı miktarı 5,5 mg'a kadar düşmüştür.

Şekil 7.9 b.'de görüldüğü gibi 20 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 9,3 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 6,6 mg'a kadar düşmüştür.

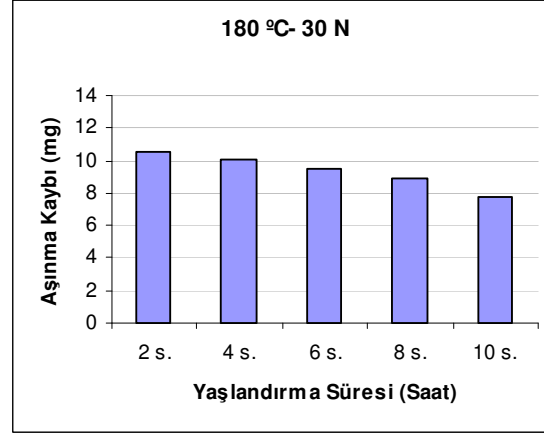
Şekil 7.9 c.'deki grafik incelendiğinde 30 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 10,5 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı 7,8 mg'a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür.



a.



b.



c.

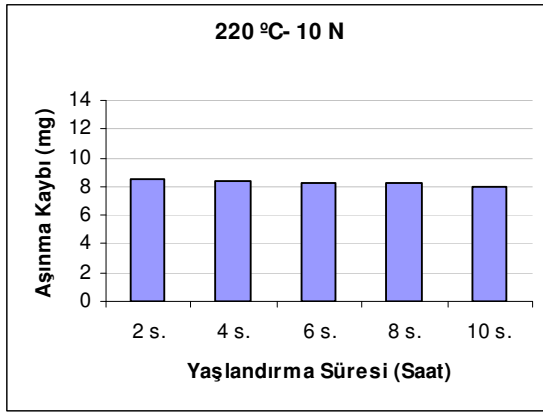
Şekil 7.9 AA 6063 alaşımı numunelerin 180 °C’de yaşlandırma sonrası a. 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında aşınma kaybı miktarı.

Buna göre aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür. Artan yükte beraber aşınma kaybı miktarı artmaktadır. En fazla aşınma kaybı sırasıyla 30 N, 20 N ve en az aşınma kaybı 10 N yükte olmuştur.

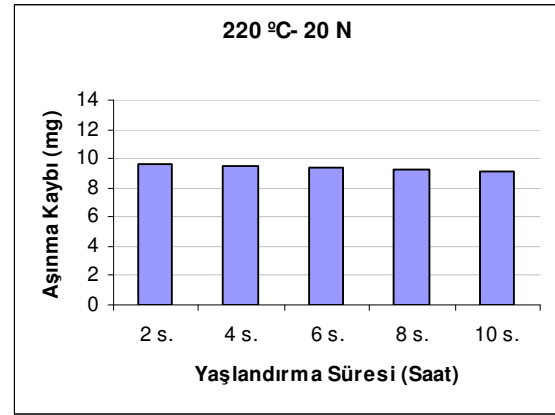
Şekil 7.10 a.’daki grafik incelendiğinde 220 °C’de yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 alaşımlarının üzerine uygulanan 10 N yük altında 2 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı miktarı 8,5 mg iken 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi neticesinde aşınma kaybı miktarı 8 mg’a kadar düşmüştür.

Şekil 7.10 b.'de görüldüğü gibi 20 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısı işlemi neticesinde aşınma kaybı 9,6 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısı işlemi neticesinde aşınma kaybı 9,1 mg'a kadar düşmüştür.

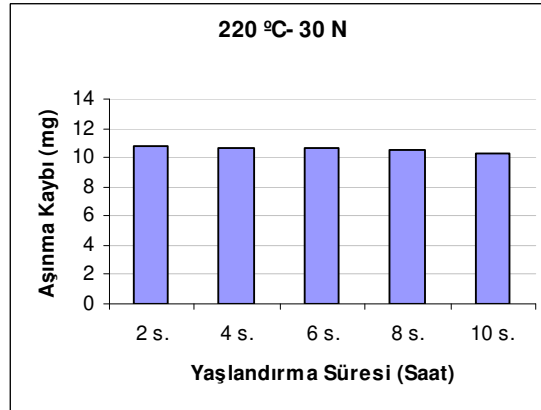
Şekil 7.10 c.'deki grafik incelendiğinde 30 N yük altında 180 °C'de 2 saat yaşlandırma ısı işlemi neticesinde aşınma kaybı 10,8 mg'a kadar artmış, 180 °C'de 10 saat yaşlandırma ısı işlemi neticesinde aşınma kaybı 10,3 mg'a kadar düşmüştür. Aşınma kaybı miktarı numunenin yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir azalma görülmüştür.



a.



b.



c.

Şekil 7.10 AA 6063 alaşımı numunelerin 220 °C'de yaşlandırma sonrası a. 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında aşınma kaybı miktarı.

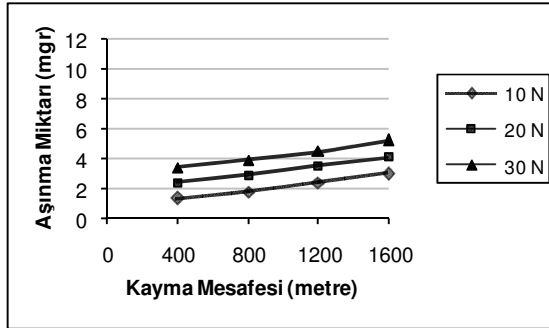
Buna göre AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısı işlemi sonucunda aşınma testi sonrası aşınma kaybı miktarı yaşlandırma sıcaklığı, süresine ve sertlik değerindeki değişime göre farklılık göstermektedir. Sertlik değerinin artmasıyla beraber aşınma kaybı

miktarında azalma görülmüştür. Yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının ise mikro yapıda bulunan çökeltilerin dağılımı ve boyutu ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Çökeltilerin homojen olarak dağılması, miktar ve boyutundaki büyümesinin aşınma direncini arttırdığı düşünülmektedir (Song et al., 1995).

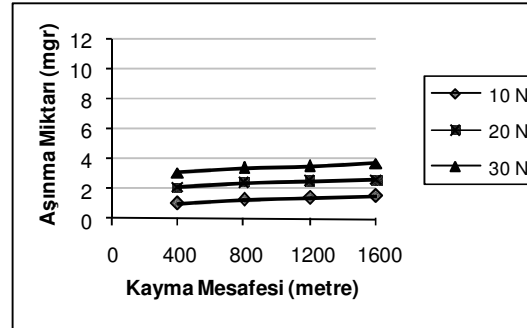
Sonuç olarak aşınma kaybı miktarı yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak sertlik değerinin artışıyla beraber azalmaktadır. Malzemenin dayanımı arttıkça aşınma kaybı miktarı azalır ve malzemenin aşınma direnci artmış olmaktadır.

Aşınma testi işlemlerinde kayma hızı 2,08 m/sn'de sabit tutulmuş 10 N, 20 N, 30 N olmak üzere yük uygulanmıştır. Şekil 7.11 ve 7.12'de görüldüğü gibi artan yükle birlikte tüm malzemelerde aşınma miktarı da artmaktadır.

Şekil 7.11'de görülen yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış numunenin aşınma deneylerinde ise 10 N'luk kuvvet uygulanarak 400, 800, 1200 ve 1600 metre yol katedildiğinde aşınma kayıplarında devamlı olarak bir artış olduğu tespit edilmiştir. Artan yükle beraber aşınma kaybının da arttığı ve en fazla aşınma kaybının 6,3 mg ile 220 °C'de 2 saat e.'de, en az aşınma kaybının ise 3,1 mg ile 180 °C'de 10 saat d.' olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan yük miktarı artırıldığında aşınma miktarının yüke bağlı olarak arttığı gözükmektedir.

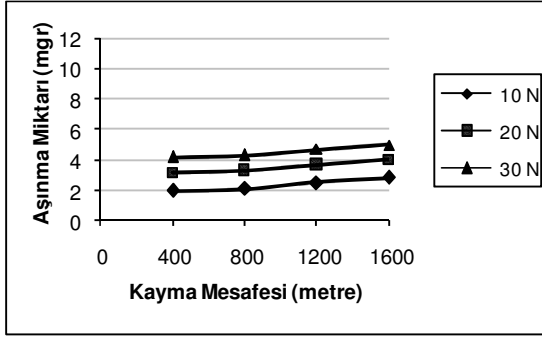


a.

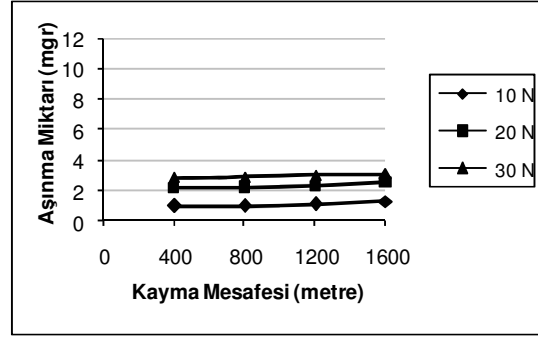


b.

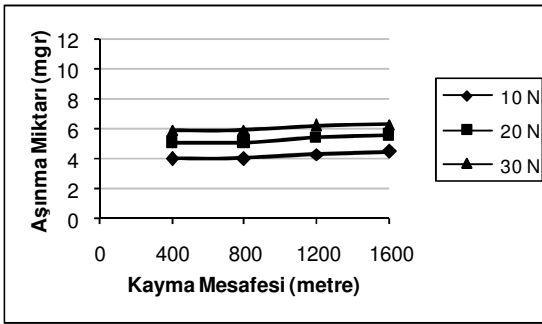
Şekil 7.11 (devam ediyor)



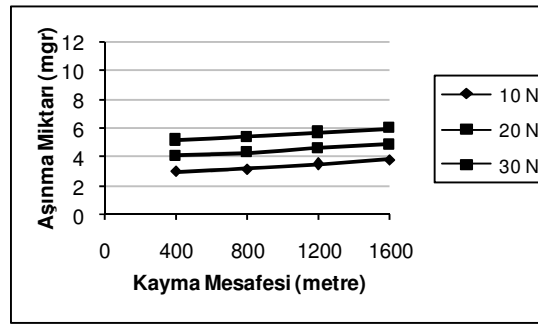
c.



d.



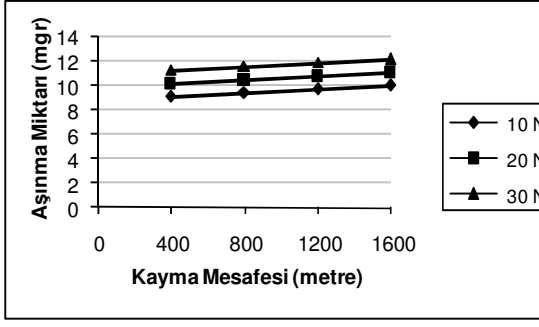
e.



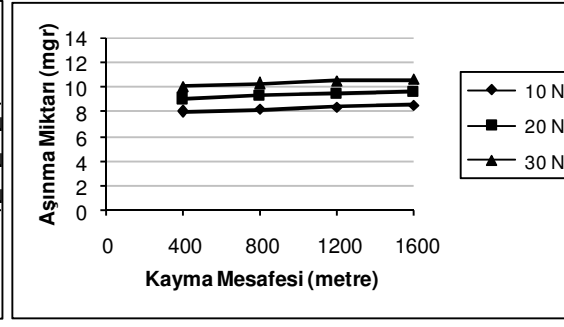
f.

Şekil 7.11 AA 2024 numunelerin a. 140 °C’de 2 saat, b. 140 °C’de 10 saat, c. 180 °C’de 2 saat, d. 180 °C’de 10 saat, e. 220 °C’de 2 saat, f. 220 °C’de 10 saat yaşlandırma sonrası aşınma yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi.

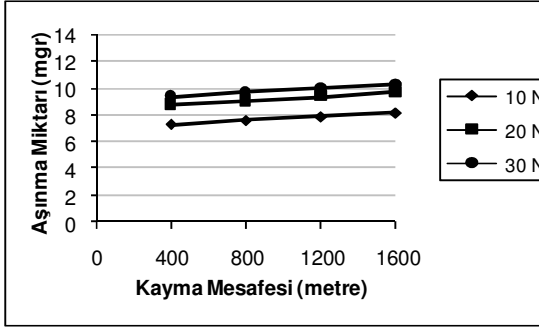
Şekil 7.12’de görülen yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış AA 6063 alaşım numunelerinin aşınma işlemlerinde 10 N’luk kuvvet uygulanarak 400, 800, 1200 ve 1600 metre yol katedildiğinde aşınma kayıplarında devamlı olarak bir artış olduğu tespit edilmiştir. Artan yüklerle beraber aşınma kaybının da arttığı gözlenmiştir. En fazla aşınma kaybının Şekil 7.12 a.’da 10 N yük altında 10 mg ile 140 °C’de 2 saat, en az aşınma kaybının ise 5,7 mg ile 180 °C’de 10 saat d. olduğu, 20 N yük altında 11,1 mg ile 140 °C’de 2 saat a.’da, en az aşınma kaybının ise 7,2 mg ile 180 °C’de 10 saat d. olduğu, 30 N yük altında 12,2 mg ile 140 °C’de 2 saat a.’da, en az aşınma kaybının ise 7,8 mg ile 180 °C’de 10 saat d. olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan yük miktarı arttırıldığında aşınma miktarının yüke bağlı olarak arttığı gözükmemektedir.



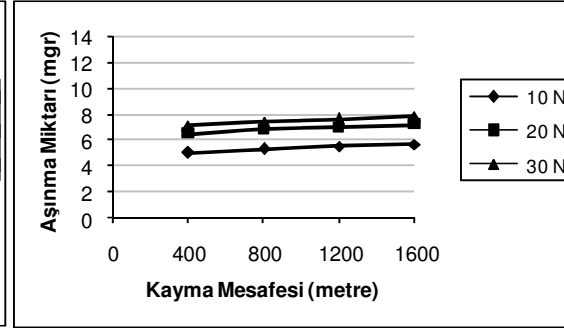
a.



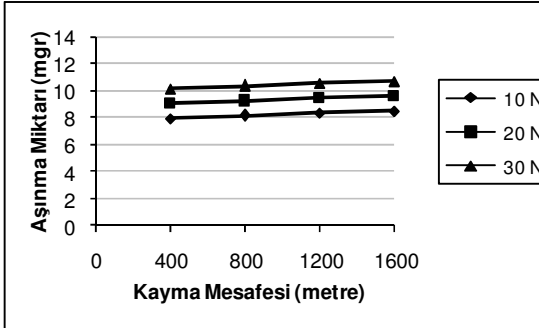
b.



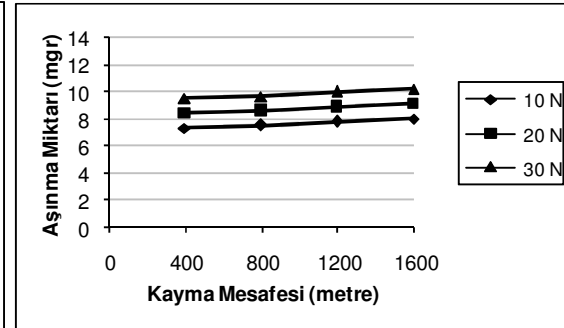
c.



d.



e.



f.

Şekil 7.12 AA 6063 Numunelerin a. 140 °C’de 2 saat, b. 140 °C’de 10 saat, c. 180 °C’de 2 saat, d. 180 °C’de 10 saat, e. 220 °C’de 2 saat, f. 220 °C’de 10 saat yaşlandırma sonrası aşınma yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi.

Buna göre, yaşlandırma ısıl işleminin etkisiyle malzemenin mikro yapısında oluşan çökeltilerin yapı içerisinde oluşturmuş olduğu etki ile dayanım kazanan malzemenin aşınma direncinde bir artış sağlanmıştır.

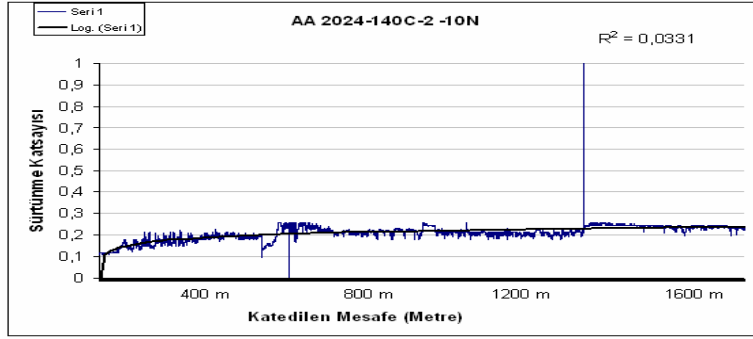
#### **7.4 Farklı Sıcaklıklarda ve Sürelerde Yaşlandırma Isıl İşlemi Yapılan AA 2024 ve AA 6063 Alaşımlarının Zamanla Sürtünme Katsayısının Değişimi**

AA 2024 numunelerinin yaşlandırma ısıl işlem neticesinde numunelerinin aşınma test cihazından uygulanan yüke göre elde edilen değerlerden çıkarılan sürtünme katsayısı ile mesafe arasındaki ilişki Şekil 7.13 ve 7.14'de gösterilmektedir.

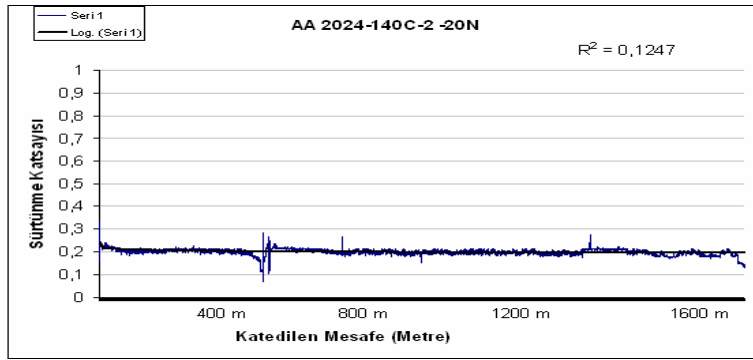
AA 2024 alaşımlı 140 °C'de 2 saat yaşlandırılmış numunelerin 10N yük altında zaman ve sürtünme katsayısı arasındaki Şekil 7.13 a.'da görüldüğü gibi aşınmadan önceki numunenin ağırlığı 0,8666 gram, aşınmadan sonraki ağırlık 0,8611 gramdır. Dolayısıyla ağırlık kaybı 0,0030 gramdır. Deneyde bulunan ortalama sürtünme katsayısı 0,214'dür.

AA 2024 alaşımlı numunenin 20N yük altında zaman ve sürtünme katsayısı arasındaki Şekil 7.13 b.'de görülen birinci deneyde; aşınmadan önceki ağırlık 1,0413 gram, aşınmadan sonraki ağırlık 1,003 gramdır. Dolayısıyla ağırlık kaybı 0,0041 gramdır. Deneyde bulunan ortalama sürtünme katsayısı 0,199'dir.

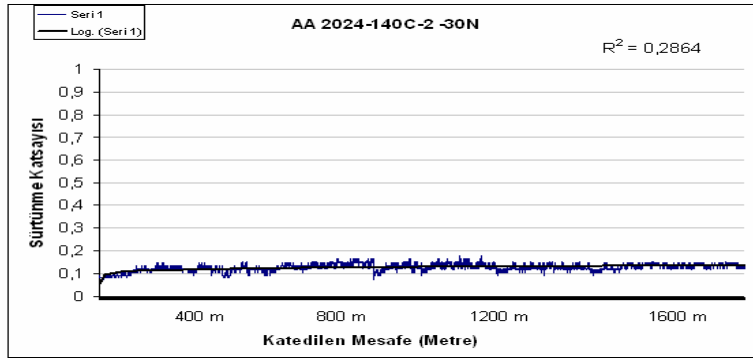
AA 2024 alaşımlı numunenin 30N yük altında zaman ve sürtünme katsayısı arasındaki Şekil 7.13 c.'de görülen deneyde; aşınmadan önceki ağırlık 0,968 gram, aşınmadan sonraki ağırlık 0,916 gramdır. Dolayısıyla ağırlık kaybı 0,0052 gramdır. Deneyde bulunan ortalama sürtünme katsayısı 0,165'dir.



a.



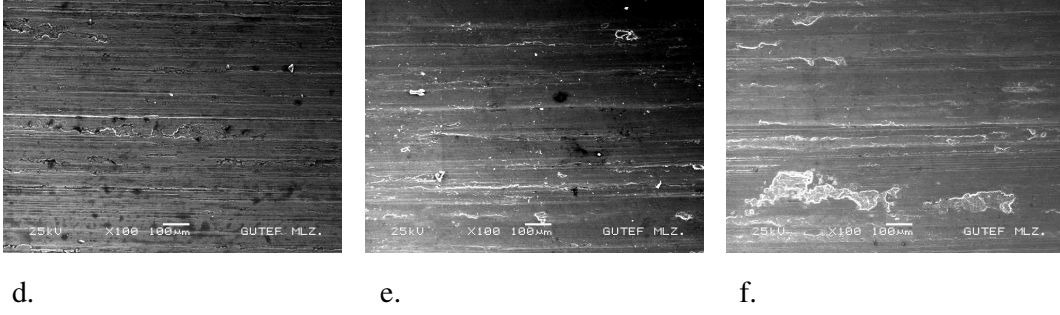
b.



c.

Şekil 7.13 (devam ediyor)



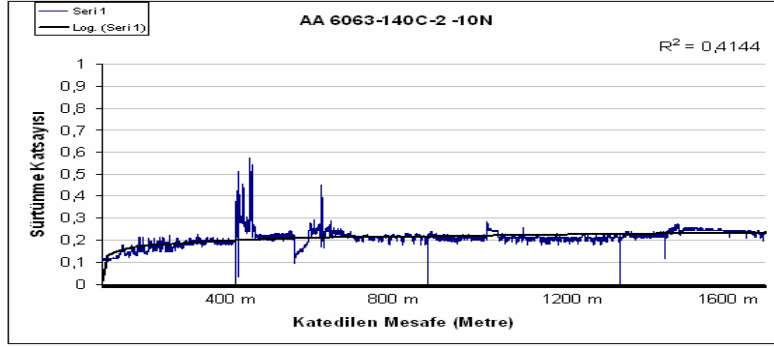


Şekil 7.13 AA 2024 alaşımlı 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış numunelerinin a. 10N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30N yük altında sürtünme katsayısı grafikleri ve 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış numunelerinin d. 10 N yük altında, e. 20 N yük altında, 30 N yük altında SEM görüntüleri.

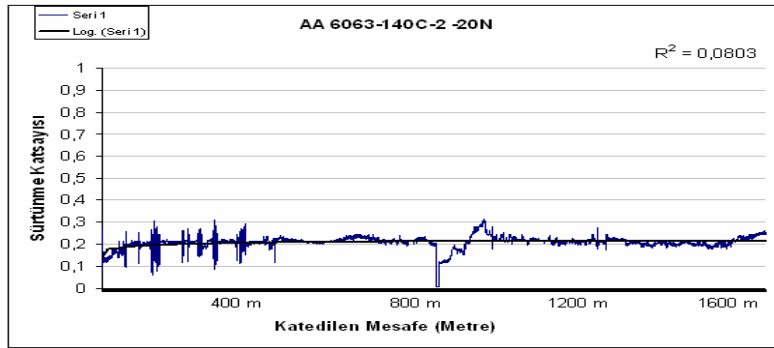
Deney sonucunda en düşük sürtünme katsayısı 30 N yük altında, en yüksek sürtünme katsayısı ise 10 N yük altındaki numuneden elde edilmiştir. AA 2024 alaşımlı numunenin sürtünme katsayısı 0,214 birim olarak bulunmuştur. Şekil 7.13 d., e., f.’deki (SEM) görüntüleri incelendiğinde, AA 2024 alaşımlı numuneden alınan aşınma yüzeylerinden (SEM) görüntüsünde yüzeylerin belirgin bir şekilde plastik deformasyona uğramıştır. AA 2024 alaşımlı numuneden alınan aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüsünde, aşınmaya karşı bir direnç olduğu ve bu direnç karşısında aşınma yüzeylerinde kırılmalar oluşmuştur.

AA 6063 alaşımlı 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış numunelerin 10N yük altında zaman ve sürtünme katsayısı arasındaki Şekil 7.14 a.’da görülen birinci deneyde; aşınmadan önceki ağırlık 0,9889 gram, aşınmadan sonraki ağırlık 0,9879 gramdır. Dolayısıyla ağırlık kaybı 0,0010 gramdır. Deneyde bulunan ortalama sürtünme katsayısı 0,210’dir.

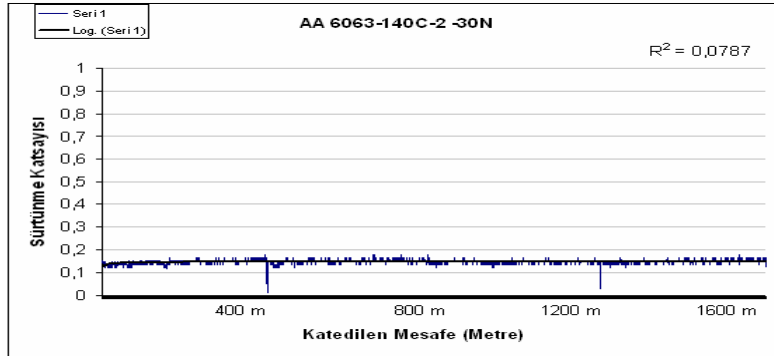
AA 6063 alaşımlı numunenin 10N yük altında zaman ve sürtünme katsayısı arasındaki Şekil 7.14 b.’de görülen birinci deneyde; aşınmadan önceki ağırlık 1,0868 gram, aşınmadan sonraki ağırlık 1,08569 gramdır. Dolayısıyla ağırlık kaybı 0,00111 gramdır. Deneyde bulunan ortalama sürtünme katsayısı 0,18’dir.



a.



b.



c.

Şekil 7.14 (devam ediyor)

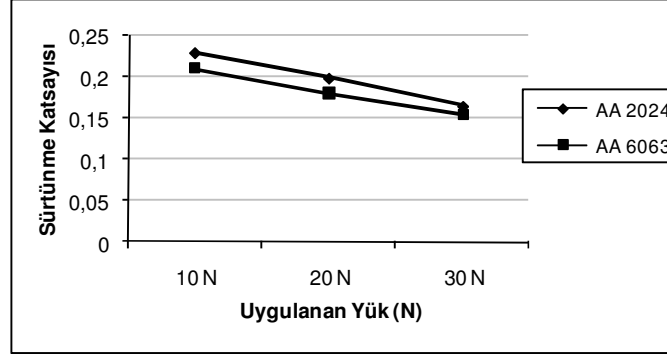


Şekil 7.14 AA 6063 alaşımlı 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış numunelerinin a. 10N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30N yük altında sürtünme katsayısı grafiği ve 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış numunelerinin d. 10 N yük altında, e. 20 N yük altında, f. 30 N yük altında SEM görüntüleri.

Deney sonucunda 10N yük altında AA 6063 alaşımlı numunenin sürtünme katsayısı 0,234 birim olarak bulunmuştur. Şekil 7.14 d., e., f.’deki SEM görüntüleri incelendiğinde, AA 6063 alaşımlı numuneden alınan aşınma yüzeylerinden (SEM) görüntüsünde yüzeylerin belirgin bir şekilde plastik deformasyona uğramıştır. AA 6063 alaşımlı numuneden alınan aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüsünde, aşınmaya karşı bir direnç oluştuğu ve bu direnç karşısında aşınma yüzeylerinde kırılmalar oluşmuştur. Bu nedenle sürtünme katsayısı da yüke göre gittikçe yüksek çıkmıştır.

Sonuç olarak sünek malzemelerde (AA 6063 gibi) aşınma oranları mesafe arttıkça azalır. Bunun nedeni ise mesafe arttıkça malzemede termomekanik işlem ve termal nedenden dolayı malzeme yüzeyinde oksit film tabakası oluşmaktadır. Oluşan oksit film tabakası malzeme yüzeyinde yağlayıcı görevini görmektedir ve sürtünme katsayısı azalmaktadır (Tu et al., 1998; Oi et al., 2003; Saka et al., 2003). Aşınma miktarı arttıkça sürtünme katsayısı azalır (Song et al., 1995; Gavgali et al., 2003).

Uygulanan yüke bağlı olarak oluşan sürtünme katsayısı grafiği şekil 7.15’de gösterilmektedir.



Şekil 7.15 Uygulanan yüke göre sürtünme katsayısı grafiği.

Sürtünme katsayısı grafiğinde görüldüğü gibi AA 2024 ve AA 6063 numunesinin sürtünme katsayısı uygulanan yük arttıkça katsayının düştüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni yüzeydeki pürüzlerin uygulanan 10 N yük altında AA 2024 alaşımının sürtünme katsayısı 0,23 kırılarak sürtünme katsayısının yüksek olmasına neden olmuştur. 20 N yükte sürtünme katsayısı 0,199 çıkmıştır bunun nedeni ise yüzeydeki pürüzlerin kırılarak daha sonra gerçek temas yüzeyine gelmesi ile pürüzlerin plastik deformasyona uğraması ve yüzeyde yağlayıcı görev yapması ile sürtünme katsayısında düşüşe neden olmuştur. 30 N'da sürtünme katsayısı 0,165 çıkmıştır bunun nedeni ise yüzeyin plastik deformasyondan sonra yağlayıcı görev yaparak sürtünme katsayısını düşürdüğü gözlenmektedir. AA 6063 numunesin sürtünme katsayısının ilk aşamada AA 2024 numunesine oranla düşük olmasının nedeni sertliğinden ve uygulanan ısı işleminden meydana gelmiştir. 10 N yük altında sürtünme katsayısı 0,21 çıkmıştır bunun nedeni yüzeyindeki pürüzlerin plastik deformasyona uğraması neden olmuştur. 20 N'da sürtünme katsayısı 0,18 çıkmıştır uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısında düşüş meydana gelmiştir. Uygulanan yük 30 N'a çıkarıldığında sürtünme katsayısı 0,155 olarak bulunmuştur.

Sürtünme katsayısı 1 olduğunda idealdir. Ancak bu değere ulaşmak günümüzde mümkün değildir. Ne kadar bu değere yakınsa aşınma direnci o kadar iyidir. Numunelerin sürtünme katsayısı incelendiğinde AA 2024 numunesine uygulanan yükler altında sürtünme katsayısı AA 6063 numunesinden fazla çıkmaktadır. Sonuç olarak AA 2024 alaşımının AA 6063 alaşımına göre aşınma dayanımları daha iyidir.

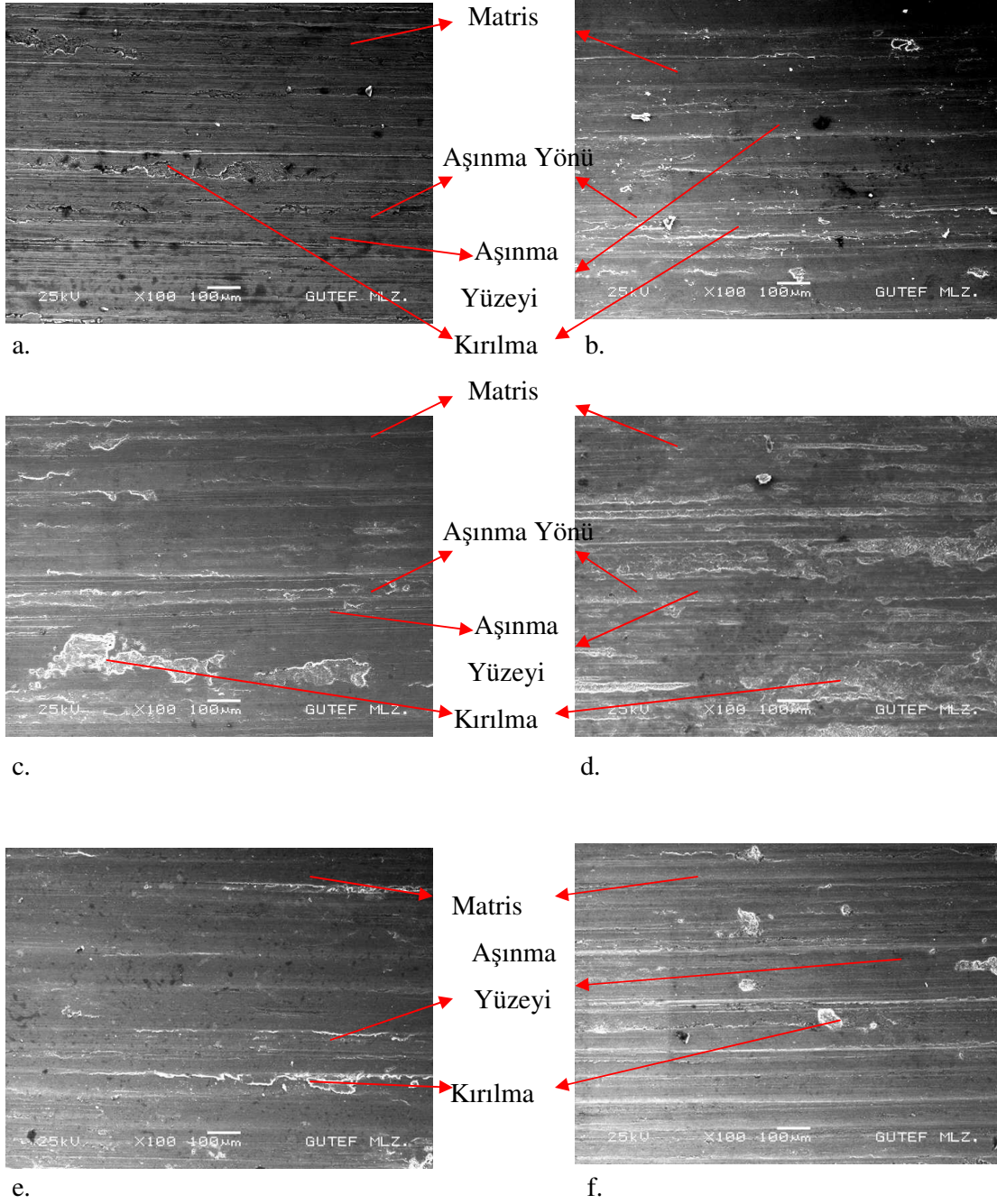
## 7.5 Aşınma Yüzeylerinin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Aşınma testleri yapılan AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının, belirli bir sabit kayma hızında, soldan sağa doğru kayma yönünde, aşınma yüzeyleri şekillerde görülmektedir. Matris yüzeyinin düz olduğu bununda matristen ayrılan aşınma hasarı (debris) parçacıklarının çelik disk üzerine yapışmasından ileri geldiği, dolayısıyla sürekli devam eden işlem ile her iki yüzeyin benzer malzemelerin aşınması gibi davrandığı, ancak yumuşamış malzemenin zayıf noktalardan koparak ayrılmaktadır. Deney sonrası çıplak gözle yapılan gözlemede karşılık diskin üzerini matris katmanının kapladığı gözlemlenmiştir.

AA 2024 alaşımının ısıtma işlemi yapılan numunelerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 7.16 a. incelendiğinde yüzeydeki çok az olan çıkıntı olduğu gözlenmektedir. 20 N yük altında SEM görüntüsünde Şekil 7.16 b.'de ise yüzeyde kırılmalar gözlenmektedir. Bu kırılmaların nedeni numune yüzeyindeki pürüzlülüklerin sert olması plastik deformasyona uğramadan kırılmalar meydana geldiği düşünülmektedir.

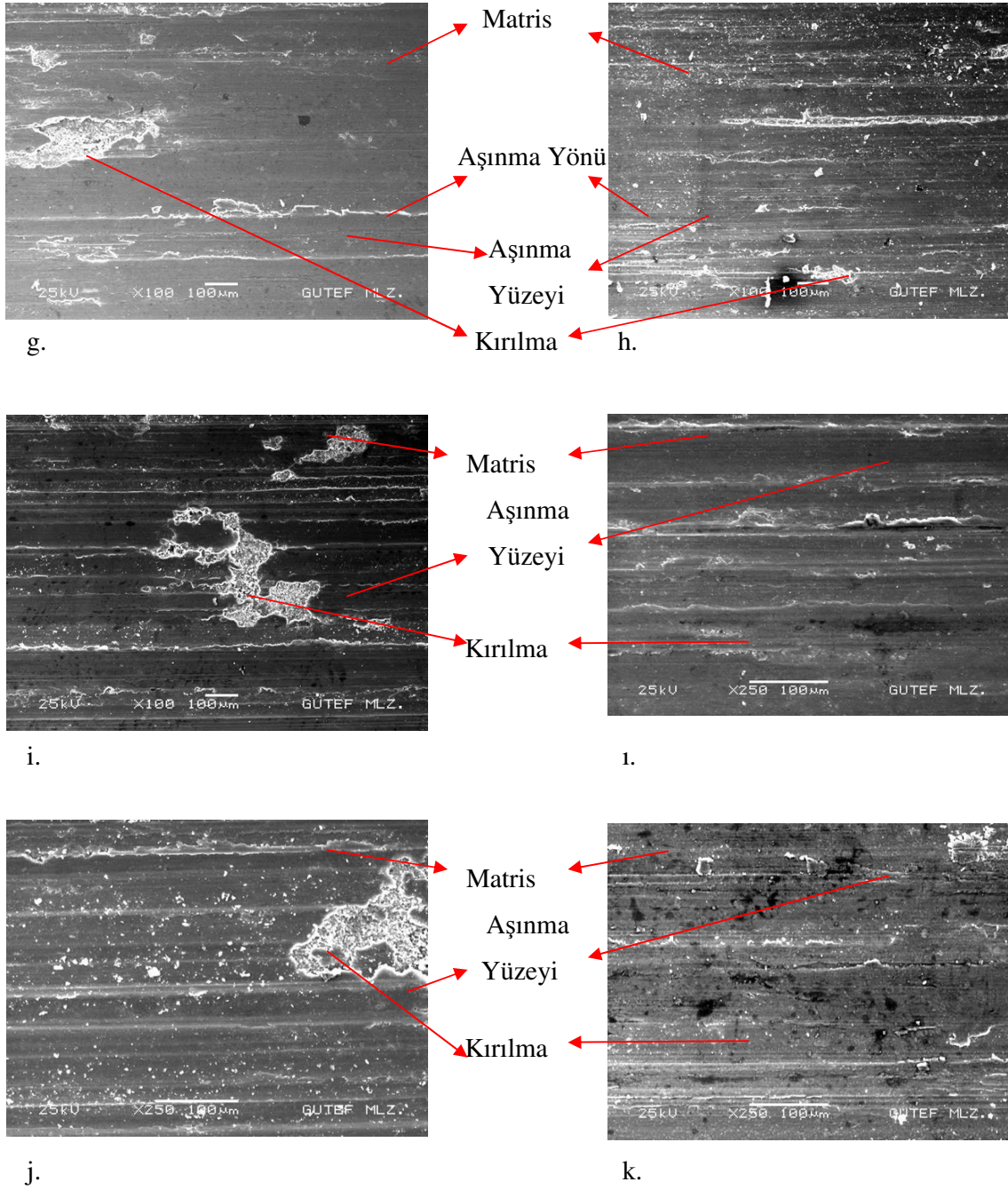
AA 2024 alaşımının yaşlandırma ısıtma işlemi yapılan numunenin 30 N yük altında oluşan aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 7.16 c. incelendiğinde yüzeyde oluşan plastik deformasyon ve kırılmalar 10 N ve 20 N'a göre biraz daha fazla olmuştur. Kırılmaların sebebi malzemenin yapısındaki çökeltilerin büyük, malzemenin sertliğinin düşük olmasından dolayı yükün oluşturduğu aşınma etkisine direnç göstermesi ile malzemedeki kırılmalar olduğu düşünülmektedir.

140 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıtma işlemi yapılan AA 2024 alaşımının 10 N yük altındaki SEM görüntüsünde Şekil 7.16 d.'de aşınma yüzeyinde plastik deformasyon gözlenmektedir. Bunun nedeni yüzeydeki pürüzlerin ilk aşamada kırılması ve daha sonra yapının sert ve çökelti miktarının fazla olmasından dolayı aşınma yüzeyinde kırılma oluşturmadan plastik deformasyon meydana gelmiştir. 20 N yük altında oluşan aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 7.16 e. incelendiğinde yüzeyinde az sayıda kırılmalar gözlenmektedir. 30 N yük altındaki SEM görüntüleri Şekil 7.16 f. incelendiğinde yüzeyde kırılmalar meydana gelerek plastik deformasyona uğrayarak aşınma gerçekleşmiştir.



Şekil 7.16 (devam ediyor)



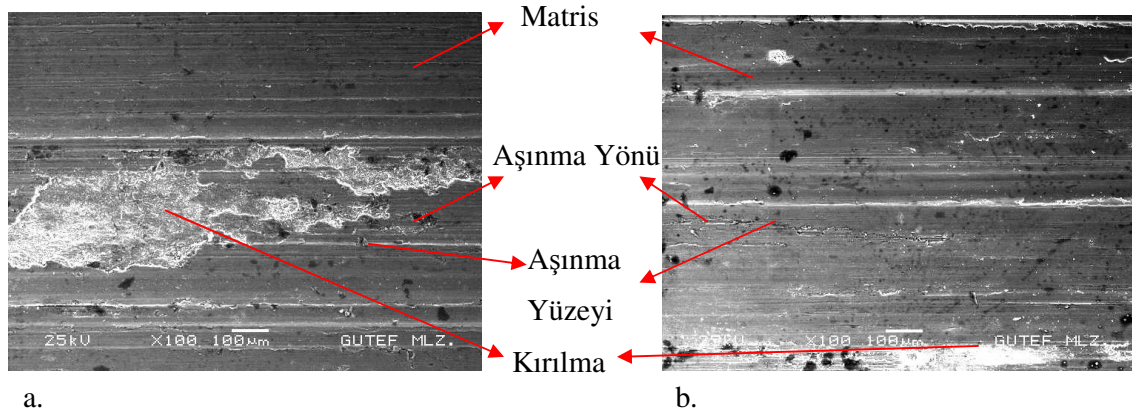


Şekil 7.16 AA 2024 Aşınma yüzeyleri a. 140 °C’de 2 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında, d. 140 °C’de 10 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, e. 140 °C’de 10 saat yaşlandırılmış 20 N yük altında, f. 30 N yük altında, g. 180 °C’de 2 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, h. 20 N yük altında i. 180 °C’de 2 saat yaşlandırılmış 30 N yük altında, ı. 180 °C’de 8 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, j. 20 N yük altında, k. 30 N yük altında aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.

AA 6063 alaşımının ısı işlemleri yapılan numunelerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 7.17 a. incelendiğinde yüzeydeki kırılmalar olduğu

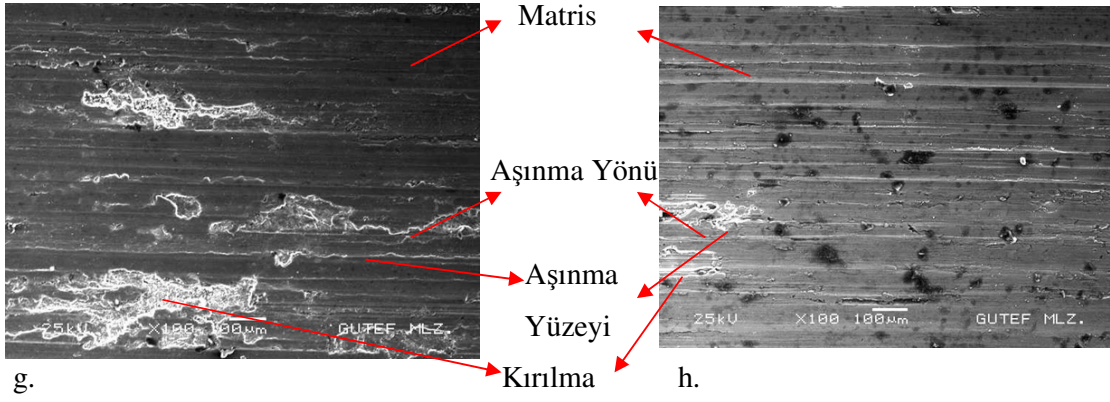
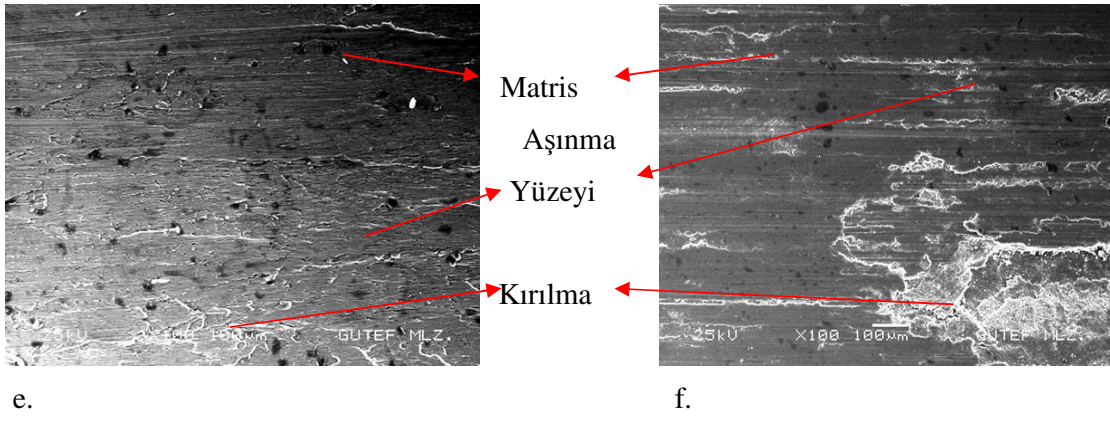
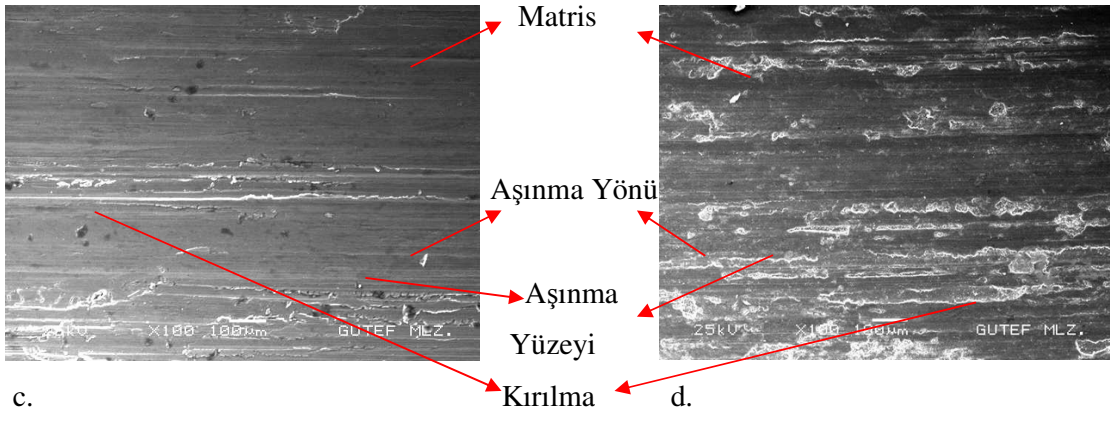
düşünülmektedir. Şekil 7.17 b.'de ise 20 N yük altında kırılmaların azaldığı plastik deformasyona uğradığı tahmin edilmektedir. Şekil 7.17 c.'de ise uygulanan yükün artırılması ile plastik deformasyon mekanizması gerçekleştiği ve daha az kırılmalar meydana geldiği düşünülmektedir. Bu kırılmaların nedeni numune yüzeyindeki pürüzlülüklerin sert olması plastik deformasyona uğramadan kırılmalar meydana geldiği tahmin edilmektedir.

140 °C'de 10 saat yaşlandırma ısıl işlemi yapılan AA 6063 alaşımının 10 N yük altındaki SEM görüntüsünde Şekil 7.17 d.'de aşınma yüzeyinde kırılmalar gözlenmektedir. Şekil 7.17 e.'de ise kırılmaların azaldığı ve plastik deformasyon meydana geldiği düşünülmektedir. Bunun nedeni yüzeydeki pürüzlerin ilk aşamada kırılması ve daha sonra yapının sert ve çökelti miktarının fazla olmasından dolayı aşınma yüzeyinde kırılma oluşturmadan plastik deformasyon meydana geldiği tahmin edilmektedir. 20 N yük altında oluşan aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 7.17 e. incelendiğinde yüzeyinde az sayıda kırılmalar gözükmektedir. 30 N yük altındaki SEM görüntüleri Şekil 7.17 f. incelendiğinde yüzeyde kırılmalar meydana gelerek plastik deformasyona uğrayarak aşınma düşünülmektedir.

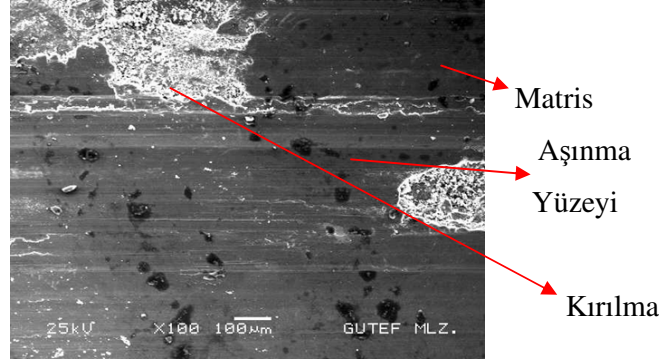


Şekil 7.17 (devam ediyor)





Şekil 7.17 (devam ediyor)



1.

Şekil 7.17 AA 6063 Aşınma yüzeyleri a. 140 °C’ de 2 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, b. 20 N yük altında, c. 30 N yük altında, d. 140 °C’ de 10 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, e. 20 N yük altında, f. 30 N yük altında, g 180 °C’de 2 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, 1. 180 °C’de 8 saat yaşlandırılmış 10 N yük altında, j. 20 N yük altında, k. 30 N yük altında aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri.

Sonuç olarak, SEM görüntüleri incelendiğinde AA 2024 alaşımının yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelerin aşınma yüzeylerinin Şekil 7.16 a., b., c., d., e., f., g., h., 1., i., j. ve k. SEM görüntüleri ile AA 6063 alaşımlarının Şekil 7.17 a., b., c., d., e., f., g., h. SEM görüntülerinin plastik deformasyon ve uygulanan yüke bağlı olarak yüzeyde kırılmalar meydana geldiği tahmin edilmektedir. Numunelerin aşınma yüzeylerinin Şekil 7.16 a., b., c. SEM görüntüleri incelendiğinde kırılma mekanizması ve uygulanan yükün artırılması ile plastik deformasyon mekanizması gerçekleştiği düşünülmektedir. Sürtünme katsayılarının yüke bağlı değişimi grafiği Şekil 7.15’de incelendiğinde yükün artması ile sürtünme katsayısında düşüş gözlenmektedir. Aşınma sırasında yüzeyde kopan tanelerin tekrar yüzeye yapışması yağlanma (labricount) görevi gördüğü bu nedenle sürtünme katsayılarının düştüğü düşünülmektedir. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelerinin aşınma yüzeyinde Şekil 7.13’de zamana bağlı olarak sürtünme katsayısında oksit bir film tabakası oluştuğu ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısının düştüğü düşünülmektedir. Bu çalışmada aşınma davranışları incelenerek yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelerin ısıl işlem yapılmayan numuneye göre aşınma davranışları daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının kendi aralarında kıyasladığımızda AA 2024 alaşımının AA 6063 alaşımına nazaran yaşlandırma ısıl işlem sonrası sertlik değerlerinde, aşınma direncinin daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır. SEM ve EDS analizlerinde AA 2024 alaşımları ve AA 6063 alaşımlarının yapı ve aşınma yüzeylerinin incelenmesiyle aşınma

davranışlarının yaşlandırma ısı işlemi ile yapılan numunenin yaşlandırma ısı işlemi yapılmayan numuneye göre daha yüksek olduğu kanıtlanmıştır.



## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda aşınma davranışlarına olan etkisi incelenmiştir ve yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işleminden sonra AA 2024 alaşımında dayanımı arttırıcı çökelti olarak  $\text{CuAl}_2$  ve  $\text{AlCuMgSi}$  olduğu tahmin edilmektedir. AA 6063 alaşımında ise  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{AlFeSi}$  ve az miktarda  $\text{CuAl}_2$  çökeltileri olduğu tahmin edilmektedir.
2. AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak yapı içerisinde dayanımı arttırıcı çökelti oluşumu başlamış ve sertlik değeri önemli derecede bir artış sağlanmıştır. AA 2024 alaşımlarının, AA 6063 alaşımlarına göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu saptanmıştır.
3. AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi görmüş numunenin sertlik değeri, yaşlandırılmamış numunelere göre daha yüksek olduğu sertlik ölçümüyle tespit edilmiştir.
4. Yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin belirli bir seviyeden sonra malzemenin dayanımını ve sertlik değerini azalttığı saptanmıştır. Bunun nedeni olarak yapı içerisinde oluşan çökeltilerin dislokasyon hareketine engel olamayacak kadar büyümesi neticesinde malzemenin sertlik değerinde zamanla bir azalma olduğu saptanmıştır.
5. AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının yapay yaşlandırma ısıl işlemi görmüş numunelerinin aşınma dirençlerinin yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak yükseldiği tespit edilmiştir.
6. Aşınma deneylerinde; kayma hızının, yolun ve yükün artırılmasıyla aşınma miktarının da arttığı saptanmıştır.
7. Aşınma kaybı miktarı artan yüklerle beraber arttığı görülmüş ve en fazla aşınma kaybı miktarının 30 N yükte olduğu tespit edilmiştir.

8. Sürtünme katsayısının, artan yükü ters orantılı olarak azaldığı saptanmıştır. Bunun nedeninin numunelere uygulanan yükün artması ile yüzeyde yağlanma meydana gelerek sürtünme katsayısının düştüğü tespit edilmiştir.
9. Aşınma kaybı miktarının, yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak sertlik değerine paralel olarak değiştiği saptanmıştır.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler:

1. Yaşlandırma ısı işlemi havasız bir ortamda korozyona maruz kalmadan yapılması daha iyi sonuçlar verebilir.
2. Yaşlandırma ısı işlemi yapılırken fırında yaşlandırma sıcaklığı ayarlanırken termo kapılar sayesinde numune yüzeyinden daha hassas yaşlandırma sıcaklığı verileri alınabilir.
3. Aşınma deneyleri yapılırken kullanılan test üniteleri geliştirilebilir. Isının aşınmaya etkisini daha derin irdelemek için numunenin ünite üzerinde takıldığı yere ısı bir fırın yerleştirilebilir.
4. Deney esnasında numunenin disk ile temasından oluşan ısıyı ölçmek için sisteme lazer sensör monte edilerek aşınmanın algılanmasında artı bir parametreye sahip olunmuş olur.

## KAYNAKLAR

- Altenpohl D G** (1998) *Aluminium: Technology, Applications, and Environment*. The Aluminium Association and The Minerals, Metals Materials, Washington
- Askeland** (1994) *The Science and Engineering of Materials*. 3rd. edn., Wadsworth Publishing Company, 812 s.
- Aytaç A** (2007) A356 Alüminyum Alaşımının Yarı Katı İşleme Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Lisans Tezi, Z.K.Ü Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 95 s.
- Aydın B** (2002) AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129 s.
- Beton R H and Rollason E C** (1958) Hardness reversion of dilute aluminium-copper and aluminium-copper-magnesium alloys. *Journal Of The Institute Of Metals*, 86: 77-85.
- Brooks C R** (1982) *Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys*. ASM International The Materials Information Society, Ohio, USA, 95–114 pp.
- Callister W D Jr** (2002) *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 6th. edn., Wiley publishing, 848 s.
- Cavazos, J L and Colas R** (2001) Precipitation in a heat- treatable aluminium alloy cooled at different rates. *Materials Characterization*, 47: 175-179.
- Cöcen Ü, Belevi M ve Önel K** (1997) Tane silisyum karbür katkılı alüminyum alaşımı bazlı kompozitlerin aşınma davranışı. 7. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
- Çiftçi İ** (2003) Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Çimenoglu H ve Kayali E S** (1989) Malzemelerin mekanik özellikleri, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak.
- Demiral M ve Yaşar M** (2006) 95200-95300 Cu-Al-Fe Alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi. *Z.K.Ü. Teknoloji Dergisi*, 9(1):17-26.
- Doğan M** (1989) Alüminyumların Isıl İşlemi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 54 s.
- Erdoğan M** (1996) Al-Li-Cu-Mg Alaşımlarında Yaşlandırma Mekanizması ve Isıl İşlemi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140 s.
- Erdoğan M** (1998) *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Cilt I, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Erdoğan M** (2001) *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Cilt II, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 378 s.
- Ersümer A** (1960) Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri. *İ.T.Ü. Yayını*, 43.
- Fang K and Chuang T H** (1999) The effect of humidity on the erosive wear of 6063 Al alloy. *Wear*, 236: 144-152.
- Gavgali M, Totik Y and Sadeler R** (2003) The effect of artificial aging on wear properties of AA 6063 alloy. *Materials Letters*, 57: 3713-3721.
- Gavgali M, Totik Y, Sadeler R and Kaymaz I** (2004) Improvements of fatigue behaviour in 2014 Al alloy by solution heat treating and age-hardening. *Wear*, 236: 144-152.
- Ghazali M J, Rainforth W M and Jones H** (2005) Dry sliding wear behaviour of some wrought, rapidly solidified powder metallurgy aluminium alloys. *Wear*, 259: 490.
- 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.
- Haque M M and Sharif A** (2001) Study on wear properties of aluminium-silicon piston alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 69-73.
- İpek R** (1987) Tren Fren Papuçlarının Aşınmasının Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 65 s.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- İpek R** (1992) AISI 1020 Çeliğinin, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanabilirliğinin Deneysel Araştırılması. Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 227 s.
- İzciler M ve Öcal İ** (2001) *Yüzey topoğrafyasına bağlı olarak aşınmanın ölçümü*. I. Demir-Çelik Sempozyumu Bildirileri, TMMOB, 3, 4, 5 Ekim, Erdemir, Ereğli-Zonguldak.
- Kaçar H, Atik E and Meriç C** (2003) The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy. *Wear*, 236: 144-152.
- Karakışlak M** (1978) Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 60 s.
- Kayali E S** (1987) *Aşınma ve aşınma hasarları*. Metalurji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Liao J X, Xia L F, Sun M R, Liu W M, Xu T and Xue Q J** (2004) The tribological properties of a gradient layer prepared by plasma-based ion implantation on 2024 aluminum alloy. *Surface and Coatings Technology*, 183: 157-164.
- Man H C, Zhang S and Cheng F T**, (2007) Improving the wear resistance of AA6061 by laser surface alloying with NiTi. *Materials Letters*, 61: 4058-4061.
- MMO** (1978) Alüminyum Isıl İşlemi. *Metalurji Müh. Odası Yayınları*, Ankara.
- Mutlu H** (1996) Al-SiC Kompozitlerin Termomekaniksel İşlem Sonrası Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 87 s.
- Odabaş D** (1991) Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması. Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 257 s.
- Qi W X, Tu J P, Liu F, Yang Y Z, Wang N Y, Lu H M, Zhang X B, Guo S Y and Liu M S** (2002) Microstructure and tribological behavior of a peak aged Cu-Cr-Zr alloy. *Materials Science and Engineering*, 343: 89-96.
- Öz Ö** (2007) Yaşlandırma Isıl İşleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Plağın Burkulma Yüğü Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., Zonguldak, 54 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Özgürler M ve Sönmez N** (1989) *Alüminyum Alaşımlarının Talaşlı İşlenebilirliği*. Mühendis ve Makine, İstanbul, 30:356.
- Pigors O** (1979) Abrasiv Verschleißverhalten von Stählen bei Gleit- und Wölbewegungen. *Schmierungstechnik*, 10.
- Portakal A** (1974) Kaymalı düz yataklarda yüzey pürüzlülüğü ve aşınma hızı. *Mühendis ve Makine*, Cilt 19, 213:400-408.
- Saka N, Eleiche A M and Suh N P** (2003) Wear of metals at high sliding speeds. *Wear*, 44: 109-125.
- Sarıtaş S** (1995) *Engineering Metallurgy and Materials*. Gazi Üniversitesi, 510 s.
- Siddiqui R A and Abdullah H A** (2000) Influence of aging parametres on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 102: 234-240.
- Song W Q, Krauklis P, Mouritz A P and Bandyopadhyay S** (1995) The effect of thermal ageing on the abrasive wear behaviour of age-hardened 2014 Al/SiC and 6061/SiC composites, *Wear*, 185:125–130.
- Soydan Y ve Ulukan L** (2003) *Triboloji*, 1. Basım, TAGEM- Teknolojik Yayınları, 1, Sakarya, 299 s
- Su Ş** (1988) 2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Almada Sıcaklık ve Sürenin Yaşlanma Sonrası Özelliklere Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Konya, 83 s.
- Sun Y** (1998) Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 89 s.
- Sun Y** (2004) Yüksek Krom ve Nikelli Çeliklerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 93 s.
- Sun Y, Baydoğan M and Çimeoğlu H** (1999) The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminium alloy, *Wear*, 236: 144-152.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Tjong S C, Wu, S Q and Liao H C** (1997) Wear behaviour of an Al-12% Si alloy reinforced with a low volume fraction of SiC particles, *Composites Science and Technology* 1551.

**Totik Y, Sadeler R, Kaymaz I and Gavgali M** (2004) The effect of homogenisation treatment on cold deformations of AA 2014 and AA 6063 alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 60-64.

**Tulgar E** (1971) *Demirden Gayrı Metaller Metalurjisi (Kısım I)*. Çeviri, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 842.

**Tu J P, Meng L and Liu M S** (1998) Friction and wear behavior of Cu-Fe<sub>3</sub>Al powder metallurgical composites in dry sliding. *Wear*, 220: 72-79.

**Turhan S** (2002) Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Mağneziumun ve Silisyumun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 64 s.

**URL-1** (2007) <http://www.arslanaluminyum.com/aluNedir.asp>, 05 Haziran 2007.

**URL-2** (2007) <http://www.afsa.org.za/aluminium-and-alloys.asp>, 05 Haziran 2007

**URL-3** (2007) [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Diag\\_phase\\_AlCu.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Diag_phase_AlCu.svg), 18 Ekim 2007.

**Yılmaz M** (1996) Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 104 s.

**Yüksel E E** (1991) 7075 Alüminyum Alaşımlarında Basamaklı Yaşlandırma Özellikleri Kontrol İmkanları. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90 s.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Ahmet MEYVECİ 1980'de Elazığ'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Elazığ Gazi Anadolu Meslek Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1999 yılında DPÜ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği'ne girdi; 2003'de mezun olduktan iki yıl sonra KBÜ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim ABD'da Arş. Gör. olarak göreve başladı; halen 2005 yılında girdiği KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: 100. Yıl Mah. Karabük Üniversitesi  
Teknik Eğitim Fakültesi 78100 KARABÜK

Tel: (370) 433 8200

Faks: (370) 433 8204

E-posta: ahmetmeyveci@hotmail.com