

**ALÜMİNYUM-TİTANYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON  
DAVRANIŞLARINA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**MUSTAFA TEKİN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2009**

Mustafa TEKİN tarafından hazırlanan "ALÜMİNYUM TİTANYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR




Tez danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2009

Ünvanı, Adı soyadı (Kurumu)

imzası

Başkan: Doç. Dr. Adem DEMİR (SAÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR (KBÜ)



26/07/2009

K.B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü 4.



*“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.”*

Mustafa TEKİN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ALÜMİNYUM-TİTANYUM ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa TEKİN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR**

**Haziran 2009, 90 sayfa**

Bu çalışmada % 0, % 1, % 2, % 4 oranlarında Ti içeren alüminyumun yaşlandırmadan önceki ve 600°C’ da solüsyona alınmış malzemenin oda sıcaklığında suda soğutulmuş ve 150°C’ da 32 saat yaşlandırılması ile elde edilen malzemenin sertlik ve aşınma davranışlarına etkisi incelenmiştir. İncelenen malzemelerin mikroyapı, mikrosertlik, korozyon ve aşınma deneyleri döküm ve ısıl işlemlili durumda yapılmıştır. İncelenen numunelerin öncelikle 20X büyütme ile fotoğrafları alınmıştır. Yaşlandırma ısıl işleminin sertliğe etkisi döküm haline göre farklı saatlerde karşılaştırılmıştır. Ön deneyler için Al-% 4 Ti kullanılmış ve en yüksek sertliğe 32 saat sonunda erişilmiştir. Daldırma yöntemiyle korozyon deneyi yapılarak belirli periyotlarla ağırlık kayıpları kontrol edilmiştir. Aşınma deneyleri için kuru ortam için 10 N ve 30 N yük kullanılmıştır. Korozyon ortamında aşınma deneyi için 10N yük kullanılmıştır. Her bir alaşıma 0,4 m/s hızla 2350 m mesafe yol aldırılmıştır. Her testin başında ve sonunda

olmak üzere iki defa ağırlıkları kontrol edilmiş. Aradaki ağırlık farkı ile aşınma kaybı bulunmuştur.

**Anahtar Sözlükler :** Alüminyum, Titanyum, Aşınma, Yaşlandırma, Korozyon

**Bilim Kodu** : 626.20.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF AGING HEAT TREATMENT ON THE CORROSION AND WEAR BEHAVIOUR OF ALUMINIUM-TITANIUM ALLOYS**

**Mustafa TEKİN**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Metallurgy Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Vedat DEMİR**

**June 2009, 90 pages**

This study examined the effect of material obtained from aluminium, including 0 %, 1 %, 2 %, 4 % of Ti before ageing as well as of the material whose solution was taken at 600°C, cooled at the room temperature and aged at 150°C for 32 hours upon hardness and erosion. The experiments, related to the microscopic structure of the material, micro-hardness, corrosion, and erosion, were conducted in a condition of dummy and photocurrent. The investigated samples were pictured at first by the 20X size enlargement. The effect of ageing photocurrent procedure on hardness was compared at different hours according to the dummy condition. For preliminary experiments, Al-% 4Ti was used, and the highest hardness was achieved at the end of 32 hours. By means of the method of dipping, the loss of weight was sporadically controlled through the corrosion experiment. For the erosion experiments as well as for the dry environment, 10 N and 30 N loads were used. For the erosion experiment in the corrosion condition, 10 N load was used. Each alloy went the distance of 2350 m at 0,4 m/h. The weight was

controlled twice at the beginning and end of each test. The differences of weight and erosion loss were found.

**Key Words** : Aluminium, Titanium, Wear, Age , Corrosion.

**Science Code** : 626.20.01

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her safhasında yardımlarını esirgemeyen, yardım ve katkılarıyla beni sonuna kadar destekleyen ve yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Vedat DEMİR'e, bilgisi, bitmek tükenmek bilmeyen enerjisiyle desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya, makine temininde bizi destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Mustafa YAŞAR' a laboratuvar kullanımında bize yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK' e tecrübeleriyle bize destek olan değerli hocalarım Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ'e, Doç. Dr. Ramazan KAÇAR'a, her türlü imkânlarıyla bana destek olan Ar. Gör. Hüseyin ÇETİN' e, data okumalarında programlama için yardımlarından dolayı yüksek lisans öğrencisi Memnun DEMİR'e, Tahsin AĞYEL, Hasan KARSLIOĞLU'na ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
SİMGELER .....	xv
KISALTMALAR .....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
AŞINMA.....	3
2.1. AŞINMANIN TEMEL FAKTÖRLERİ.....	4
2.1.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	5
2.1.1.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler.....	5
2.1.1.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi.....	6
2.2. AŞINMA MEKANİZMALARI .....	6
2.2.1. Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması).....	6
2.2.2. Abrazif Aşınma.....	8
2.2.3. Yorulma Aşınması .....	10
2.2.4. Erozif Aşınma .....	11
2.2.5. Difüzyon Aşınması .....	11
2.3. AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER.....	12
2.3.1. Malzemenin Cinsi .....	12

	<u>Sayfa</u>
2.3.2. Malzemenin Mikro Yapısı.....	12
2.3.3. Malzeme Şekli ve Boyutları .....	12
2.3.4. Ortamın Etkisi (Sıcaklık, nem, atmosfer) .....	13
2.3.5. İşletme Koşulları (Basınç, hız, kayma yolu)'nın Etkisi.....	13
2.4. AŞINMA TESTLERİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	14
BÖLÜM 3 .....	15
KOROZYON .....	15
3.1. KOROZYON TÜRLERİ.....	15
3.2 GALVANİK KOROZYON (MAKRO KOROZYON).....	16
3.3. TANELERARASI KOROZYON ( MİKRO KOROZYON ) .....	18
3.4. OYUKLANMA KOROZYONU (MAKRO KOROZYON).....	18
3.5. ARALIK KOROZYONU (MAKRO KOROZYON).....	19
3.6. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI (MİKRO KOROZYON) .....	21
3.7. SEÇİCİ (SELEKTİF) KOROZYON ( MAKRO KOROZYON).....	23
3.8. EROZYON KOROZYONU ( MİKRO+MAKRO KOROZYON) .....	23
BÖLÜM 4 .....	24
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ISIL İŞLEMLER .....	24
4.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SEMBOLLEŞTİRİLMESİ.....	24
4.1.1. Temel Temper Tasarımları .....	25
4.1.2. Soğuk İşlem İle Sertleştirilmiş Alt Bölümler .....	25
4.1.3. Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler .....	25
4.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	26
4.2.1. Yaşlanma Isıl İşlemi .....	28
4.2.1.1. Solüsyona Alma .....	29
4.2.1.2. Su Verme (Soğutma).....	31
4.2.1.3. Yaşlanma İşlemi .....	32
4.2.1.4. Çökelme Sertleşmesi İle Dayanım Artışı .....	36
4.2.1.5. Aşırı Yaşlanma.....	38
BÖLÜM 5 .....	40

	<u>Sayfa</u>
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	40
BÖLÜM 6 .....	44
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	44
6.1. DENEYSEL NUMULERİN ÜRETİMİ.....	44
6.2. YAŞLANMA ISIL İŞLEMİ.....	44
6.3. MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ.....	45
6.4. MEKANİK ÖZELLİK KARAKTERİZASYONU .....	46
6.5. AŞINMA TESTİ .....	47
6.6 KOROZYON DENEYİ.....	49
BÖLÜM 7 .....	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ .....	51
7.1. KOROZYON DENEY SONUÇLARI .....	53
7.2. AŞINMA DENEY SONUÇLARI.....	57
BÖLÜM 8 .....	68
GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	68
8.1. GENEL SONUÇLAR .....	68
8.2. ÖNERİLER .....	68
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	75

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi .....	5
Şekil 2.2. Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi .....	7
Şekil 2.3. Adezyon aşınması .....	7
Şekil 2.4. iki elemanlı abrazif aşınma .....	8
Şekil 2.5. Üç elemanlı abrazif aşınma .....	9
Şekil 2.6. Abrazif aşınma mekanizması.....	10
Şekil 2.7. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi	11
Şekil 3.1. Galvanik korozyon.....	17
Şekil 3.2. Oyuklanma ile oluşan bir korozyon hücresi .....	19
Şekil 3.3. Aralık korozyonu (crevice corrosion ).....	20
Şekil 4.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı .....	28
Şekil 4.2. Al- Cu faz diyagramı .....	29
Şekil 4.3. Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi.....	30
Şekil 4.4. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri.....	32
Şekil 4.5. Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları.....	35
Şekil 4.6. Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin değişimi.....	35
Şekil 4.7. Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların gösterimi .....	36
Şekil 4.8. Çökeltiler arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar .....	37
Şekil 4.9. Aşırı büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi.....	37
Şekil 4.10. $\alpha$ -Matris katı eriyiği içerisindeki çökeltilerin ( $\theta$ , ikinci faz partikülleri) yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda a. yaşlandırmanın ilk safhası, b. yaşlandırmanın ikinci safhası, c. yaşlandırmanın üçüncü safhası, d. yaşlandırmanın dördüncü safhası oluşumlarının mikroyapı resimleri.....	39
Şekil 5.1. AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının çekme dayanımına etkisi .....	41

Şekil 5.2. AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının akma dayanımına etkisi .....	42
Şekil 6.1. Alser marka protherm model PID kontrollü elektrikli direnç fırını.....	45
Şekil 6.2. Leica marka DMILM model optik ışık mikroskobu.....	46
Şekil 6.3. Schimadzu marka HMV Model mikro sertlik cihazı.....	47
Şekil 6.4. Aşınma test cihazının şematik görüntüsü .....	48
Şekil 6.5. pin-on disk aşınma cihazının yan görünüşü.....	49
Şekil 6.6. Precisa marka XS 220A model 0.1 mg hassasiyete sahip elektronik tartı....	50
Şekil 7.1. incelenen numunelerin mikroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 7.2. İncelenen numunelerin döküm halindeki alaşımların Ti içeriğine bağlı olarak sertliklerinin değişimi .....	52
Şekil 7.3. (a) Ön yaşlandırma işlemine tabi tutulan Al-4Ti alaşımının zamana bağlı değişimi .....	53
Şekil 7.4. (a) %3,5 NaCl çözeltisi içinde döküm haldeki alaşım elementi oranına göre (b) %3,5 NaCl çözeltisi içinde yaşlandırılmış haldeki ağırlık kayıpları .....	54
Şekil 7.5. (a) Ti içeriğine bağlı olarak yaşlandırılmış malzemenin (b) Ti içeriğine bağlı olarak döküm malzemenin korozyon kaybı değişimi ortalaması .....	55
Şekil 7.6. Korozyon deneyi sonrası mikroyapı resimleri.....	56
Şekil 7.7. 10N yük altında atmosfer ortamında ağırlık kaybı .....	57
Şekil 7.8. 10N yük altında aşınma uçlarının optik mikroskop görüntüleri.....	58
Şekil 7.9. Numunelerin 30N yük altındaki ağırlık kayıpları.....	59
Şekil 7.10. 30N yük altında aşınma uçlarının optik mikroskop görüntüleri.....	59
Şekil 7.11. %3,5 NaCl çözelti ortamında 10N yük altındaki ağırlık kayıpları .....	60
Şekil 7.12. 10 N yük altında korozif ortamda aşınmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri .....	61
Şekil 7.13. Al-%0 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları – zaman grafiği.....	62
Şekil 7.14. Al-%1 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ortam ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları - zaman grafiği.....	63
Şekil 7.15. Al-%2 Ti içeren numunelerin farklı ortamlarda sürtünme katsayıları- zaman grafiği.....	64
Şekil 7.16. Al-%4 Ti içeren numunelerin farklı ortamlarda sürtünme katsayıları- zaman grafiği.....	65
Şekil 7.17. İncelenen numunelerin 10 N ve 30 N altında kuru ortamda ve 10 N altında korozif ortamda sürtünme katsayıları ortalamaları.....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3. 1. Bölgesel korozyonun sınıflandırılması .....	16
Çizelge 3. 2. Korozyon türleri.....	16
Çizelge 7.1. 10 N altında kuru ortamda aşınma ağırlık kayıpları .....	57
Çizelge 7.2. Numunelerin 30 N altındaki ağırlık kaybı .....	58
Çizelge 7.3. 10 N altında korozif ortamda ağırlık kaybı.....	60
Çizelge 7.4. Yaşlandırmanın farklı yük ve ortamlardaki Sürtünme Katsayısı.....	66

## **SİMGELER VE KISALTMALAR**

### **SİMGELER**

A°	: Amstrong
Al	: Alüminyum
°C	: Santigrat derece
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
L	: Çökeltiler arası mesafe
L1	: Sıvı
m	: Metre
mg	: Mili gram
m/s	: Metre/Saniye
Mg	: Mağnezyum
Mn	: Mangan
N	: Newton
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
To	: Solüsyona alma sıcaklığı
T1	: Su verme sıcaklığı
T2	: Yaşlandırma sıcaklığı
Mm	: Mikrometre

### **KISALTMALAR**

AA	: Alüminyum alaşımı
ASTM	: American Society for Testing and Material
S	: Saniye

## 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 [1].

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. İngiltere'de 1997 yılında, 650 milyon Sterlin'lik bir kaybın, aşınma ve buna bağlı malzeme kaybı nedeniyle gerçekleştiği belirtilmektedir [1, 2].

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 [4].



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 [5].

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 [6]. 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 [7]. 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 [6]. Bu çalışmada, % 0, % 1, % 2, % 4 Ti içeren alüminyum alaşımlarına, yaşlanma ısı işlemiyle, yapıda oluşturulan II. faz çökeltilerinin bu alaşımların aşınma özelliklerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı oranlarda Ti içeren alüminyum alaşımlarının korozif aşınmaya etkisi ve yaşlandırma işlemi uygulanmamış malzemelerle karşılaştırılması ve yaşlandırmanın sertliğe etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### AŞINMA

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, tamir işinin kural olarak fazlaca mekanize olmaması nedeniyle bu parçaların imalinde sarf edilen işçilikten önemli miktarda azdır. Dolayısıyla her geçen gün makine parçalarında aşınmaya karşı daha dayanıklı olma özelliği aranmaktadır. Aşınma derecesinin özellikle tasarım aşamasında hesaplanması parçaların aşınma ömrünün önceden saptanmasında önemli rol oynamaktadır. Başlarda tasarım yapılırken, malzemenin aşınma dayanımı hususunda sadece malzeme sertliği ve yükün meydana getirdiği etkiler göz önüne alınmıştır. Oysaki deneyler malzemenin elastik nitelikleri, parçaların çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık), dış koşullar (yağlama ve çevre) ve parçaların birbiri ile temas şekli tasarım özelliklerinin aşınma üzerinde bir o kadar etkisi bulunduğunu göstermektedir. Aşınma, genellikle önceden bilinen 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 [8].

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 v.b.) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve teçhizat tasarımında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Aşınma ile ilgili terminoloji, ASTM 640' da yer almaktadır. Aşınmayı en aza indirmek için uygun yağlama, malzeme ve tasarım seçimi yapılmalıdır [9, 10].

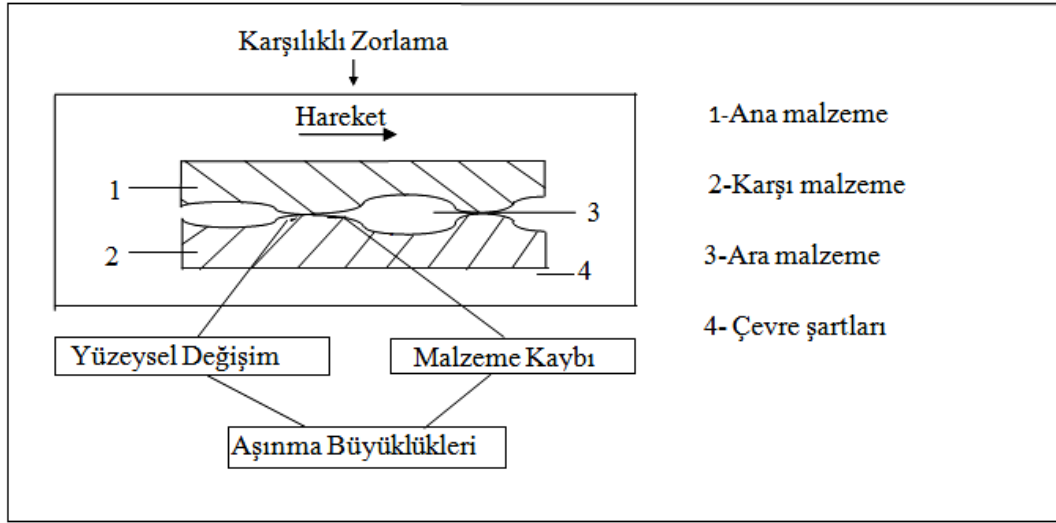
Aşınma, temelde bir yüzey hasarı ve bir yüzey olayıdır. Yüzeyi etkileyen her durum aşınma davranışını etkiler [11].

## 2.1. AŞINMANIN TEMEL FAKTÖRLERİ

Aşınma, kendisini yavaş, yavaş gösteren bir yıpranma faktörüdür. Genellikle makine hasarlarının % 62'sini kullanma hatalarının, % 38'ini ise teknik eksikliklerin oluşturduğu tahmin edilmektedir. 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. Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkânsızdır. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itinayla hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur [12]. 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. Yüklemin 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. Yüklemin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır [13, 14]. Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır [15]. 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 [13, 14]. Bir aşınma sisteminde;

- a. Ana malzeme,
- b. Karşı malzeme,
- c. Ara malzeme,
- d. Çevre şartları.

Aşınma olayını iyi bir şekilde analiz edebilmek için aşınma olayını oluşturan temel unsurların bilinmesi gerekir. Tribolojik sistemi oluşturan bu unsurlar aşağıda verilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi [9,16].

### 2.1.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

- Ana malzemeye bağlı faktörler
- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
- Ortamın etkisi
- Servis koşulları

#### 2.1.1.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

#### 2.1.1.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

Ortamın etkisi

- Sıcaklık,
- Nem,

- c. Atmosfer.

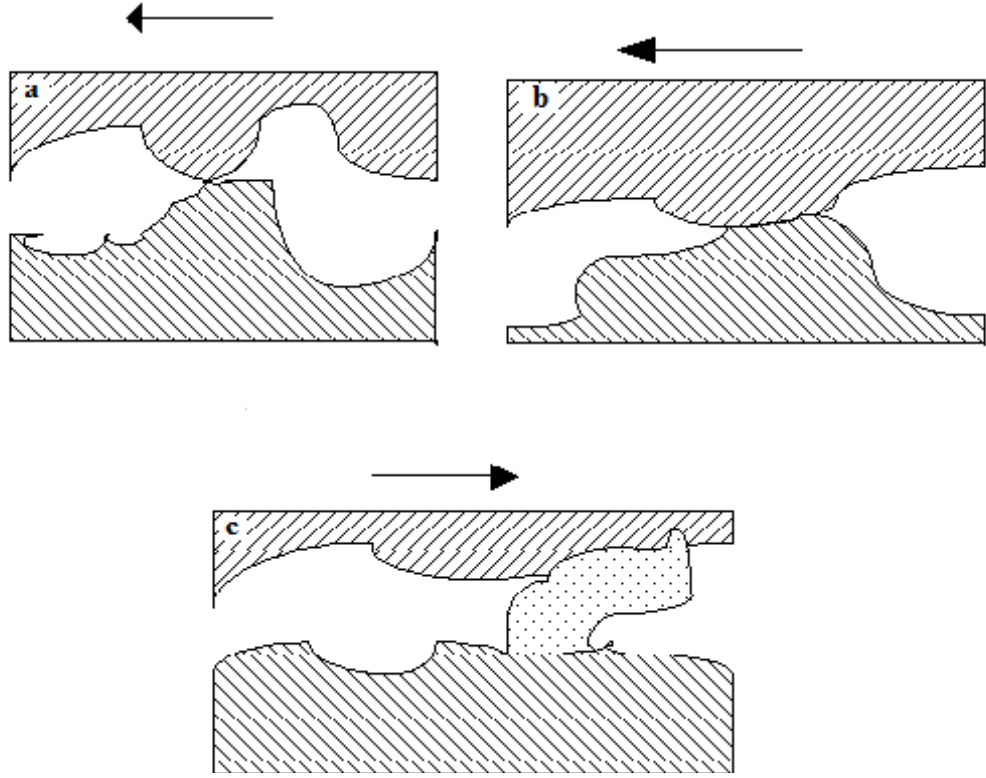
#### Servis Koşulları

- a. Basınç,
- b. Hız,
- c. Kayma mesafesi.

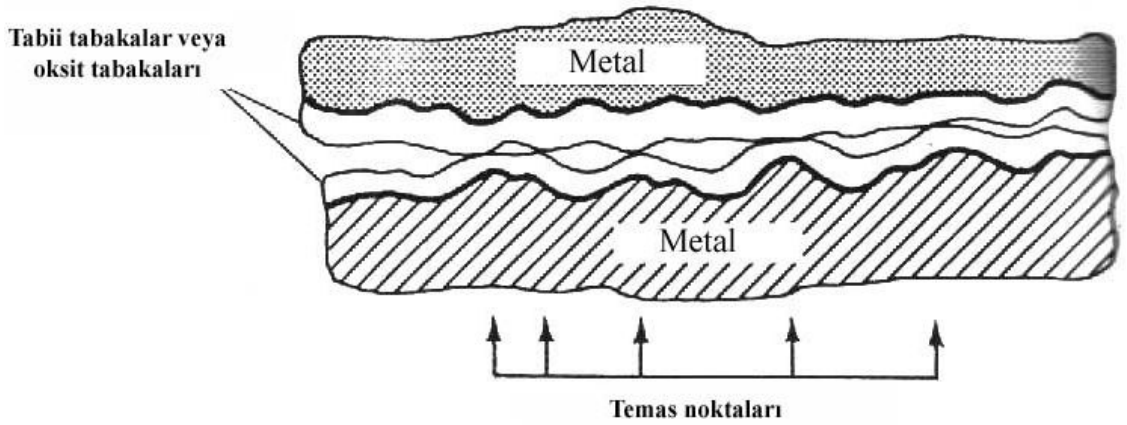
## **2.2. AŞINMA MEKANİZMALARI**

### **2.2.1. Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması)**

Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhezif aşınma, en sık rastlanılan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir [17]. İki ayrı metal yüzeyi basınç altında şekil 3.2de olduğu 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 çıkıntıların 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 tekrarlanması ile adhezif aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır [18].



Şekil 2.2. Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi, a ) iki çıkıntının buluşması ve bağ oluşumu. b ) Bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu. c ) Uzamış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucu da yüzeyde kırıntı oluşumu [19].



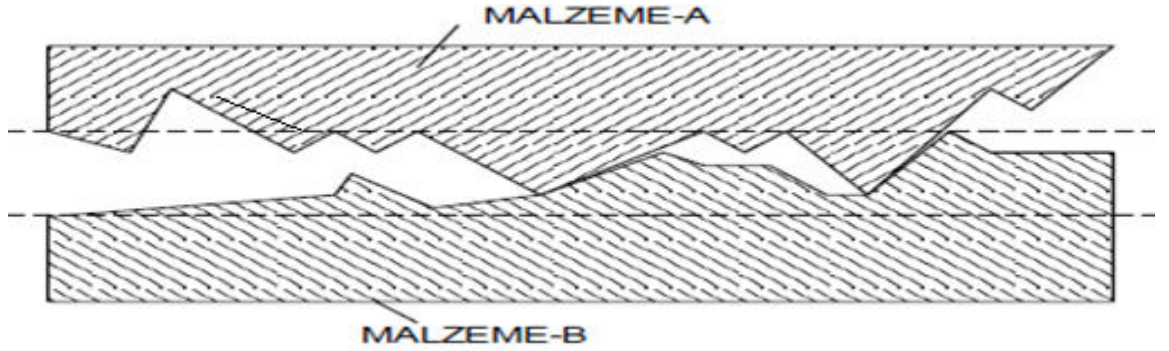
Şekil 2.3. Adezyon aşınması [19].

Adhezif aşınma, özellikle birbiri ile kayma sürtünmesi yapan malzeme çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan teknik yüzeylerin, ancak küçük bir kısmı temas halindedir ve bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler çok küçük yüklemelerde dahi akma dayanımı değerine

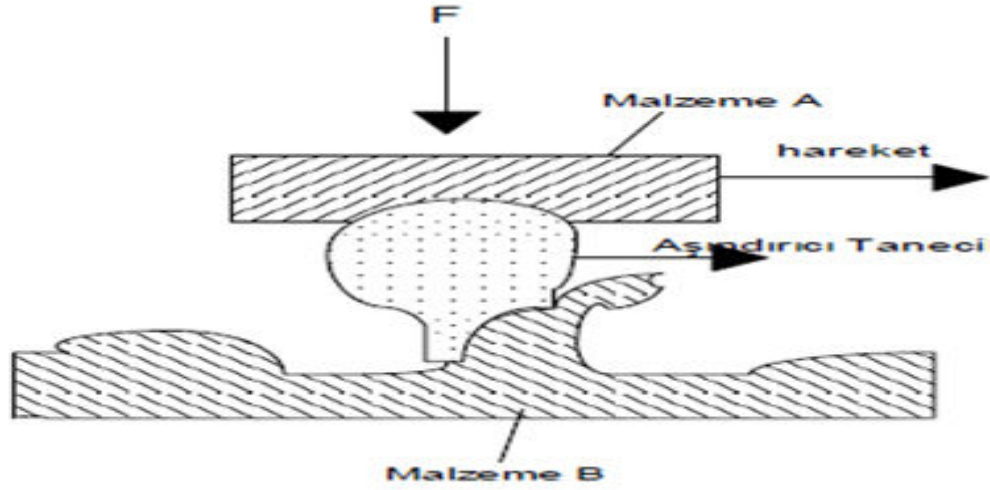
ulaşırlar veya geçerler. Böylece, moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine parça geçişi, soğuk kaynaklanma ve küçük parçacıkların kesilmesi olayları meydana gelir [17].

### 2.2.2. Abrazif Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrazif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrazif 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 [42]. Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacık, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5).



Şekil 2.4. iki elemanlı abrazif aşınma [17].

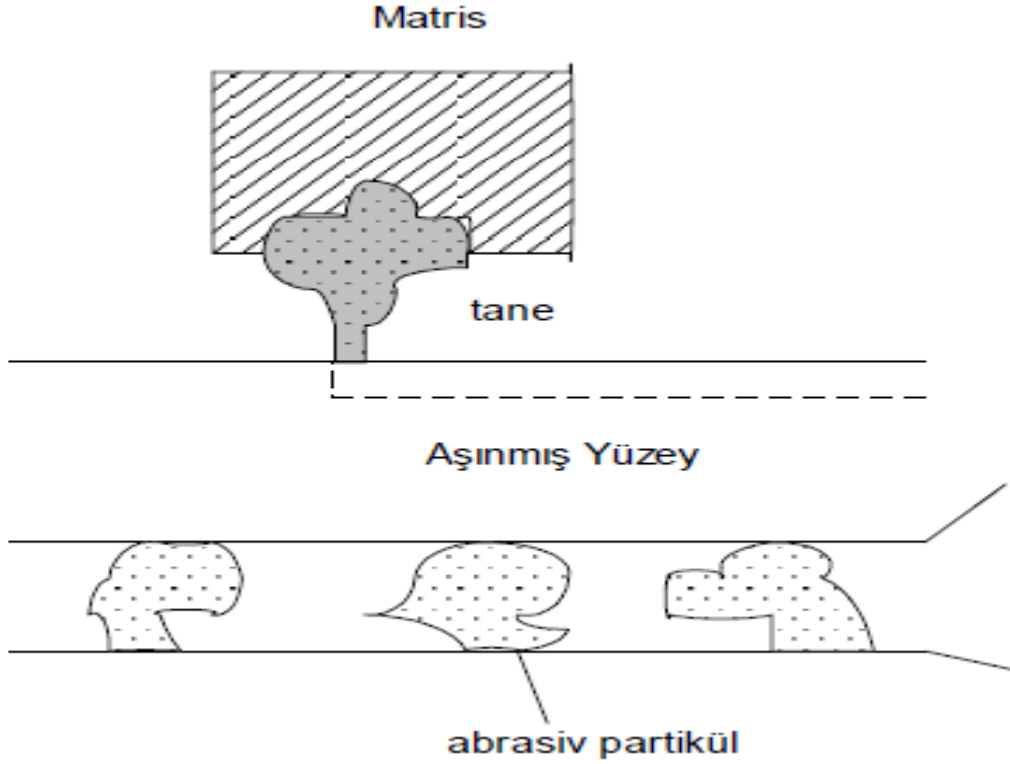


Şekil 2.5. Üç elemanlı abrazif aşınma [17].

Üç elemanlı abrazif aşınmada ise, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir. Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrazif veya adhezif olarak başlayıp, üç elemanlı abrazif 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.

Abrazif aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı parçacık ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrazif 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.

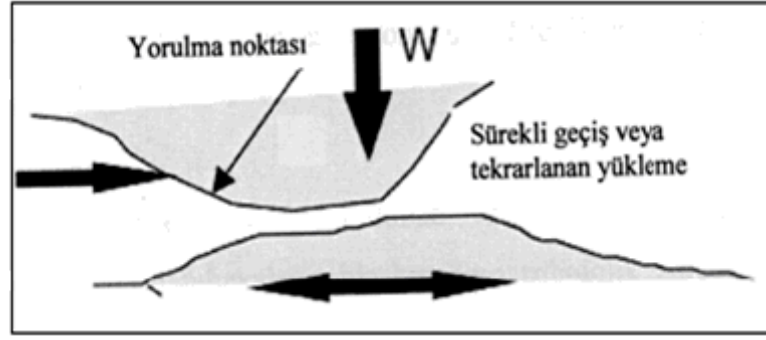




Şekil 2.6. Abrasif aşınma mekanizması [17].

### 2.2.3. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, sürtünme sırasında oluşan gerilmelerin kırılmaya neden olduğu aşınmadır. Sünek malzemelerde yüzeysel kırılma aşınması veya delaminasyon meydana gelir. Sürtünmenin olduğu bölgelerde plakalar oluşur. Gevrek malzemelerde kırılmalar, yüksek çekme gerilmelerinin olduğu bölgelerde meydana gelir. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen büyüklüğü, zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi [20].

Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde ( $w$ ), plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi, yüzeyde küçük çukurların oluşmasına neden olur. Bu tür aşınma daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür [21].

#### 2.2.4. Eroziyon Aşınma

Erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpması ile oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucunda yüzeyde aşınma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Yumuşak malzemeler erozyon aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısının değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir [8, 22].

#### 2.2.5. Difüzyon Aşınması

Difüzyon aşınmasında, yüzeylerin karşılıklı çalışması sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşılıklı malzemeyle olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının

büyükliğini tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır [23].

## **2.3. AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER**

### **2.3.1. Malzemenin Cinsi**

Seçilen malzemelerden, mevcut şartlarda istenilen mekanik ve kimyasal özellikleri göstermeleri istenir. Bu nedenle çalışma şartları gerçeğe uygun bir şekilde belirlenmeli ve kullanılacak malzemenin türü (çelik, demir, Al vb.) bu şartları karşılayabilecek şekilde seçilmelidir [17].

### **2.3.2. Malzemenin Mikro Yapısı**

Malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyen en önemli faktör olarak mikro yapı gösterilebilir. Yapıda bulunan fazlar, tane boyutu, şekli, kristal kafes yapısı vb. birçok özelliğe bağlı olarak mekanik özellikler şekillenir. Malzemenin sertliği, akma mukavemeti, sürtünme katsayısı, kopma mukavemeti, elastikiyet modülü gibi birçok özellik mikro yapıyla değiştirilebilir. Bu nedenle hangi metotla malzeme üretilirse üretilsin uygulanan işlem basamakları istenilen mikro yapıya göre şekillendirilmelidir. Örneğin bu döküm yöntemi ise; malzemenin kimyasal bileşimi katılaştırma sıcaklığı ve o sıcaklıktaki kristal kafes sistemi, katılma zamanı, yapılacak ısı işlem sıralaması ve oluşturulmak istenen fazlar önem kazanmaktadır.

### **2.3.3. 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 aldığını 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 [24].

#### **2.3.4. 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. Yüzeyler 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.

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 [8].

#### **2.3.5. İşletme Koşulları (Basınç, Hız, Kayma yolu)'nın 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. Bütün teorik uygulamalı çalışmalar, kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. 0- 0.25 m/sn aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir.

Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir. Aşınma miktarı, abrazif tanelerin büyümesiyle doğru orantılı olarak artma gösterir [8].

#### **2.4. AŞINMA TESTLERİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI**

Endüstride kullanılan alet ve makinelerde aranılan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı makine üretiminde aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti içinde birçok laboratuvar testlerinin yapılması gerekir [17].

Laboratuvar 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. Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür [25].

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

ASLE (Amerikan Society Of Lubrication Engineers) 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. 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 [26]. Bir ölçme yönteminden Yüksek hassasiyet Kolay ve seri uygulama Ekonomik olması beklenen özelliklerdir.

## BÖLÜM 3

### KOROZYON

Korozyon, metalin içinde bulunduğu ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girerek metalik özelliklerini kaybetmesidir. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp, normal şartlar altında bile korozyona uğrayabilir. Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşmek eğilimindedir. Doğada mineraller, söz konusu metalin en düşük enerji taşıyan bileşiği yani en kararlı halinde bulunurlar. Bu mineraller özel metalürjik yöntemlerle ve enerji harcanarak metal haline getirilir. Ancak metallerin çoğu, element halinde, termodinamik olarak kararlı değildir. Uygun bir ortamın bulunması halinde üzerinde taşımış oldukları kimyasal enerjiyi geri vererek yeniden minimum enerji taşıyan kararlı bileşikler haline dönüşmek isterler. Bu sebeple korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller hariç teknolojik öneme sahip bütün metal ve alaşımlar korozyona uğrayabilir [27-28].

#### 3.1. KOROZYON TÜRLERİ

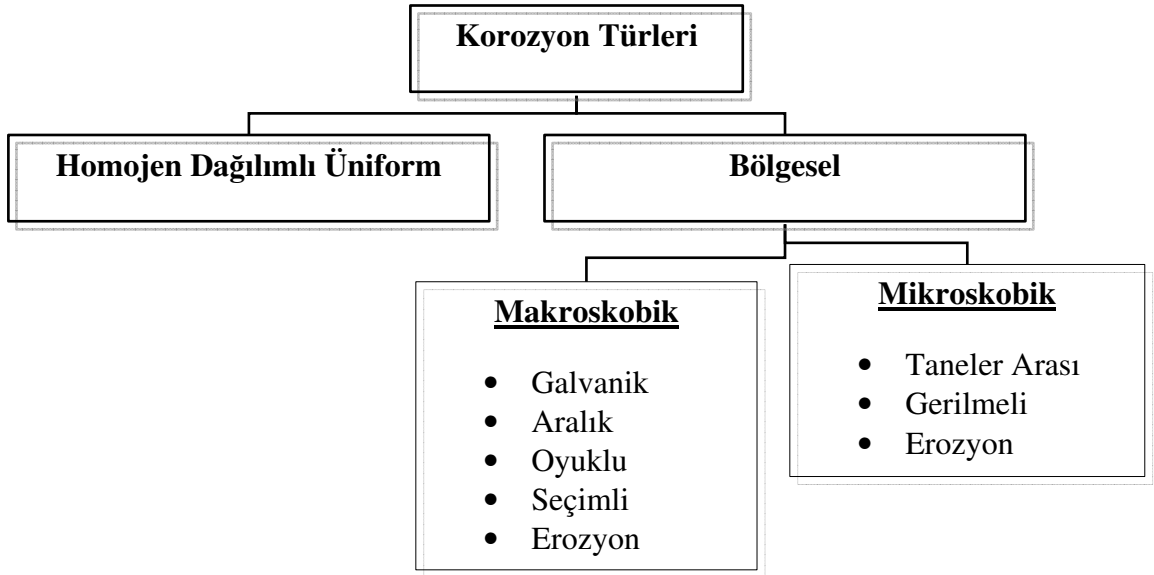
Korozyonun çeşitli türleri vardır: öncelikle korozyon bölgesel (lokal) ve tek düze (homojen) olarak ele alınır. Mühendislik açısından daha önemli olan bölgesel korozyon 3 ana başlık altında incelenir:

- a. Gözle görülebilen korozyon (Makro Korozyon) ,
- b. Mikroskopla görülebilen korozyon (Mikro Korozyon) ,
- c. Karışık korozyon (Mikro+Makro Korozyon)

Çizelge 3. 1. Bölgesel korozyonun sınıflandırılması.

I – Makro Korozyon	II – Mikro korozyon	III - Makro+ Mikro korozyon
Galvanik korozyon	Tanelerarası korozyon	Erozyon korozyonu
Seçici korozyon	Gerilim korozyon çatlama	Titreşimli korozyon
Tabakalaşma	Korozyonlu yorulma	Hidrojen çatlama
Aralık korozyonu		
Oyuklanma korozyonu		
Kavitasyon korozyonu		

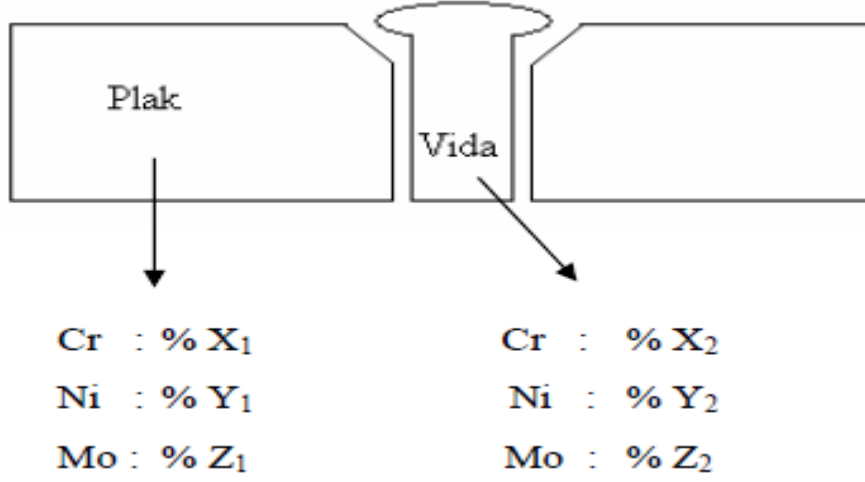
Çizelge 3. 2. Korozyon türleri.



### 3.2. GALVANİK KOROZYON (MAKRO KOROZYON)

Aralarında potansiyel farkı olan iki metal aynı elektrolitin içerisinde bulunuyorsa ve de ikisi birbirine bir elektrik temas olacak şekilde yerleştirilmişse, bu iki metal arasında bir potansiyel oluşur. Anot olan metalden katot olana doğru elektron akımı gerçekleşirken anot metalinde çözünme gözlenir. Bu tip korozyona galvanik korozyon denir. Bu nedenle farklı metaller bir arada kullanılmamalıdır. Aynı metalden yapılmış alaşımlar arasında dahi üretim işlemlerine bağlı potansiyeller

olabilir ve galvanik korozyon ortaya çıkabilmektedir. Şekil 3.1'de galvanik korozyonun mekanizması verilmiştir.



Şekil 3.1. Galvanik korozyon.

Korozyon olaylarında metaller hiçbir zaman kendi iyonları ile denge halinde bulunmaz. Bu nedenle galvanik korozyon olaylarında standart elektrot potansiyelleri yerine, galvanik seride yer alan deniz suyu içindeki potansiyellerinin alınması daha uygundur [27-36].

Galvanik bir hücrede korozyon hızı, yürütücü kuvvet olan anot ve katot arasındaki potansiyel farkına bağlıdır. Ancak bu fark, polarizasyon nedeni ile zamanla azalır. Polarizasyon genellikle katot bölgesinde görülür. Galvanik korozyon hızına aynı zamanda, çevre elektrolitin iletkenliği ve katot/anot yüzey alanı oranı da etki yapar. Eğer elektrolitin iletkenliği yüksek ise korozyon geniş bir alanda kendini gösterir. İletkenliğin düşük olması halinde iki metalin temas ettiği bölgede dar bir alanda şiddetli olarak ortaya çıkar. Katot/anot yüzey alanı oranı da pratikte büyük önem taşır. Bu oranın büyük olması yani büyük bir katot yüzeyine karşı anot yüzey alanının küçük olması, anot akım yoğunluğunun artmasına ve dar bir bölgede şiddetli korozyon oluşmasına neden olur [13, 27, 37, 36].



### **3.3. TANELERARASI KOROZYON ( MİKRO KOROZYON )**

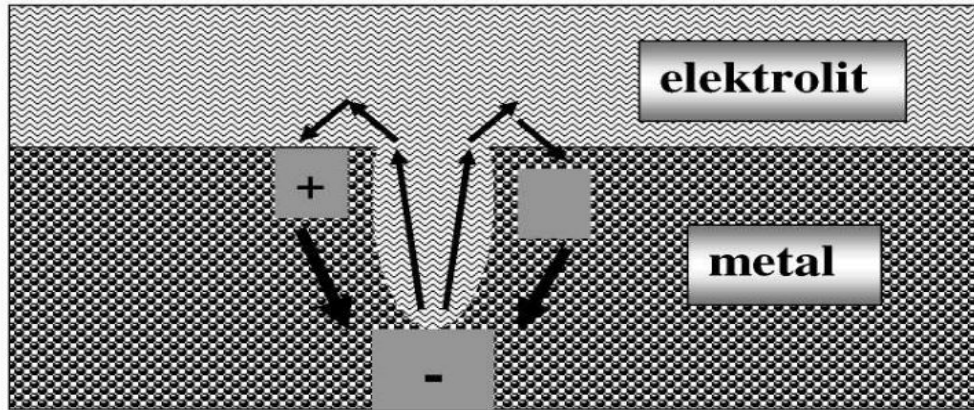
Tanelere göre tane sınırları daha aktif yapıya sahiptir. Bu durum iki farklı ortam oluşturur. Bir paslanmaz çelik belirli bir sıcaklığa ısıtılıp soğutulduğunda, Cr, C ile reaksiyon meydana getirir. Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>'lar tane sınırlarına çöker, dolayısıyla tane sınırlı Cr'ce fakirleşir ve bu bölgeler Cr'ce zengin tane içleri ile bir galvanik çift oluşturarak çözünürler. Taneler arası korozyonun en tipik örneği paslanmaz çeliklerde görülür (Şekil 3.3). Bu çelikler yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulursa veya kaynak yapılırsa, çelik içinde bulunan C ile Cr, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> bileşiğini oluşturur. Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> kendisi korozyona uğramaz. Ancak, taneler arasındaki sınır bölgelerinde birikerek bu bölgeleri korozyon açısından zayıf bir hale getirir [13, 27, 36, 37].

### **3.4. OYUKLANMA KOROZYONU (MAKRO KOROZYON)**

Oyuklanma, açığındaki metal yüzeyleri üzerinde oluşan lokalize korozyon saldırısı olarak tanımlanabilir. Oyuklanma belirli bir ortamda, metalin potansiyeli, metal oksit filminin anodik çözünme (oyuklanma) potansiyelini geçtiğinde gerçekleşir. Belirli bir ortamda, metalin anodik oyuklanma potansiyeli, korozyon potansiyeline eşit veya daha düşük ise, spontane, yani kendi kendine, bir oyuklanma oluşması beklenmelidir. Metaller ve alaşımları yüzeylerinde oluşan oksit ürünleri etkisi ile korunabilirler. Bu nedenle, metalin korozyon direnci, metalin içinde bulunduğu belirli ortamda yüzeyinde oluşabilen oksit tabakasının devamlılığına ve koruyuculuğuna bağlıdır. Çoğunlukla korozyon saldırısı yine de devam eder, ancak korozyon hızı ihmal edilebilir bir seviyeye iner. Bu duruma pasif durum denir: Metal, yüzeyinde pasif film oluşması ile korunmalı bir hale gelir. "Pitting potential", yani oyuklanma (çukurcuk) gerilimi (potansiyeli), oyuklanmanın başladığı, "volt" cinsinden verilen potansiyeldir. Oyuklanma geriliminden daha düşük gerilimlerde dahi pasif film yer yer bozulur ve oyuklanmanın başladığı yerlerde akım yoğunluğu çok yükselir, ancak yeni bir oksit filmi oluşması ile "yara iyileşir". Metalin pasifleşmesi gerçeği, hiç çözünmeyeceği anlamına gelmez. Korozyonu oluşturan itici güç her zaman vardır, ancak pasif filmin oluşmasıyla çözünme yavaşlar. Pasif tabakadaki Cl<sup>-</sup> iyonları film tabakasını zayıflatır, böylece "pitting" yani oyuklanma (çukurlaşma) korozyonu

başlatırlar ve ortamda Cl<sup>-</sup> iyonları bulunmaması, film tabakasının bu tür korozyona karşı daha dirençli hale gelmesini sağlar [13, 27, 36, 37].

Oyuk içindeki en derin yerdeki metal atomlarının iyonize olarak çözeltilmeye geçmesi ile oyuk daha da derinleşmesi söz konusudur ( Şekil 3.2). Bu tür korozyon oldukça hızlı gerçekleşebilir ve harabiyet düzgün bir yüzeyde beklenenden çok daha erken meydana gelebilir. Bu yüzden malzeme seçiminde, malzemenin kullanılacağı ortam iyi analiz edilip daha sonra malzeme seçimi yapılmalıdır. Yüzeyin parlatılması, çoğu kez çukurcuk korozyonuna önemli etki yapar. Oyuklanma korozyonu ya da yerel korozyon parlatılmış yüzeylerde bilemiş ya da asitle aşındırılmış yüzeylerden daha az olur. Genellikle parlatılmış yüzeylerde oluşan çukurcuklar daha büyüktürler ve pürüzlü yüzeylerde oluşanlardan daha çabuk metal içine işlerler [36].



Şekil 3.2. Oyuklanma ile oluşan bir korozyon hücresi.

Çukurun dibi bir anot görevi görürken, çukur ağzındaki yüzeyler katot görevi görmektedirler. İyonik akım elektrolitten geçerken, elektronik akım metalden geçer.

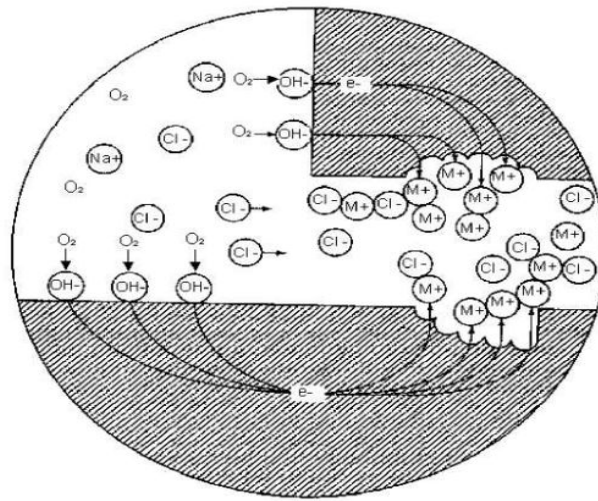
### 3.5. ARALIK KOROZYONU (MAKRO KOROZYON)

Genellikle sızıntı nedeniyle dar aralıklarda oluşan, hızlanmış bir korozyon türüdür. O<sub>2</sub>'nin az olduğu yer anot, çok olduğu yer katot olarak davranarak korozyon gerçekleşir (Şekil 3.3). Bir alaşımın homojen olmaması korozyonu hızlandırır [38]. Böyle bir durumda, aynı metalin rastgele farklı bölgelerinde anodik, başka

bölgelerinde katodik alanlar oluşabilir. Aralık korozyonunun oluşma mekanizması, metalin çözünmesi ve oksijenin hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) iyonuna indirgenmesi ile olur.

Başlangıçta, aralıkların içinde ve bütün yüzeyde bu tepkimeler aynı biçimde yürürler. Metal ve çözeltide yüklerin korunma ilkesi korunur. Metal iyonunun oluşması sırasında salınan her elektron hemen oksijenin indirgenmesi için harcanır. Kısa bir süre sonra aralık içindeki oksijen, ulaşımın (konveksiyon) sınırlı olması nedeniyle, tükenir ve böylece bu bölgede oksijenin indirgenmesi durur, bu korozyon durumunda herhangi bir değişme oluşturmaz. Çünkü aralık içindeki yüzey genellikle dış yüzeye oranla çok küçüktür ve böylece toplam oksijen indirgenme hızı hemen hemen değişmemiş olarak kalır. Bu nedenle oksijenli ve oksijensiz korozyon hızı aynı kalır. Oksijenin tükenmesi çok önemli ve dolaylı bir etki oluşturur. Bu etki zamanla daha etkin olur. Oksijen tükendikten sonra kapalı bölgede oksijen indirgenmesi olmaz, ama metal çözünmesi Şekil 3.3'da gösterildiği gibi artar. Aralık içindeki potansiyel metal yüzeyine (katot) aralık yüzeyine karşı ancak 50–100 mV daha büyüktür. Yine de aralık içinde metal çözünmesi (anot) artar (aktif bölge). Bu artışla aralık içinde artı yükler ( $\text{M}^{2+}$ ) çoğalır ve bu artış klorür iyonlarının bu dolaya göç etmesiyle dengelenir.

Alkali metal dışındaki metal tuzları, metal klorür ve sülfatları da içinde olmak üzere suyu hidrolizlerle [22].



Şekil 3.3. Aralık korozyonu [38].

Aralık bölgesindeki metal, anot gibi davranmakta ve galvanik pil oluşumu sonucunda çözünmektedir. Anotta aşırı pozitif iyonların oluşumuna yol açan bu durum klorür iyonlarının aralık bölgesine ulaşması ile dengelenmektedir. Aralık bölgesinde oluşan titanyum-klorür kararsızdır ve küçük miktarlarda HCl oluşturacak kadar reaksiyona girmeye hazırdır. Başlangıçta oluşan bu reaksiyonlar çok yavaştır. Ancak çatlak sınırlı hacmi içinde pH değerini 1 gibi çok düşük seviyelere çekebilmektedir. Bu durum, yeni oluşan korozyon potansiyelini şiddetli hale getirinceye kadar hızlandırmaktadır. Titanyumda aralık korozyonuna daha çok sıcak klorür çözeltilerinde rastlanmakta ise de bu durum iyodür ( $I^-$ ), bromür ( $Br^-$ ) ve ( $SO_4^{2-}$ ) sülfat çözeltilerinde de görülmektedir. Ortam sıcaklığının artması ile Cl iyonlarının konsantrasyonunun artması, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalması ve artan pH değerleri aralık korozyonu hassasiyetini de artırmaktadır. Yüksek pH değerindeki çözeltilerde sıcaklık  $120^\circ C$ 'nin üzerine çıkmadığı sürece Ti'nin de aralık korozyonuna rastlanmamaktadır. Düşük pH değerlerinde ise aralık korozyonu  $120^\circ C$ 'nin altında oluşabilmektedir [39].

Nadiren bahsi geçen elektrokimyasal korozyonlardan biri tek başına olur. Genellikle, iki veya daha fazla mekanizma aynı anda işler. Örnek vermek gerekirse, iki metal temas halindeyse, iki metalin benzememesi ve birinin daha soy olması nedeniyle daha az soy olanda galvanik korozyon meydana gelir. Aynı sırada, aralarındaki dar aralıkta çözelti kimyasındaki değişiklikler (örneğin bir bölgede  $O_2$  konsantrasyonunun düşmesi), bir konsantrasyon hücresi oluşmasına ve aralık korozyonuna neden olur. Bunlara ek olarak, amalgamın homojen olmayan yapısı ve poroz bir korozyon ürünü varlığı, yerel galvanik hücreler oluşturur, böylece korozyon saldırısını ivmelendirir [40].

### **3.6. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAMASI (MİKRO KOROZYON)**

Korozyonun etkisine, mekanik zorlamaların da eklenmesi, gerilmeli korozyonu çatlama ve korozyon yorulması gibi çok önemli problemlere neden olmaktadır. Gerilmeli korozyonun ortaya çıkabilmesi için, malzemeye çekme veya basma yönünde gerilme uygulanıyor olmalı, mevcut bir çatlak başlangıcı ve olayı destekleyici bir elektrolit bulunmalıdır. Çatlak başlangıçları, malzemenin yüzeyinde

ve büyüklükleri mikroskobik ölçeğin altında olabilen, mekanik gerilme ile korozyonun birlikte etkimesi sonucu ortaya çıkan süreksizliklerdir. Çatlak başlangıcının ucunda çentik etkisi ile gerilme yığılması ve dolayısıyla plastik şekil değiştirmiş bir bölge meydana gelir. Bu bölge yüksek dislokasyon yoğunluğu nedeniyle kısmen azalmış olan gerilme yığılması ve çatlak büyümesi ile taşıyıcı eşit küçülüp ortalama gerilme yükseldiğinden çatlak tekrar etkinlik kazanır. Böylece çatlak ilerlemesi hızlanarak parçanın kısa zamanda kırılmasına yol açar. Gerilme korozyonu çatlağı, malzeme ve elektrolite göre değişerek hem taneler arasında hem de tane içinde, her türdeki malzemede gelişebilmektedir. Hidrojen gevrekliğı adı verilen korozyon türü, gerilme korozyonu olarak nitelendirilmektedir. Zira gerilme korozyonunda çatlak başladıktan sonra karşılıklı etkileşim ile olay giderek hızlanırken, hidrojen gevrekliğinde ise önce atomik hidrojen, örneğin bir katodik reaksiyon sonucu ortaya çıkıp malzeme içine yayılır; daha sonra hidrojen molekülü meydana getirirken iç gerilmelere ve dolayısıyla çatlamlara neden olur.

Gerilme korozyonu ile aynı mekanizmaya dayanan korozyon yorulmasında ise elektrolit olmadan da, sadece değişken zorlamalar altında yüzeyde çıkıntı ve girintiler, yani uçlarında dislokasyon yoğunluğu yüksek olan derin çatlak başlangıçları oluşabildiğinden, çok aktif olmayan bir elektrolit de de korozyon yorulmasının görülmesi mümkündür. Şehir suyu dahi yorulma dayanımının önemli oranda azalmasına yol açabilir. Fakat ortamın korozif olması Şekil 3.7'de görüldüğü gibi çatlak gelişiminin başlama ve büyümesini daha da hızlandırmaktadır. Bu tür bozunmalara petrol ve kimya endüstrisinde sıkça rastlanır. Hidrojenin metal içerisini difüzyonu ile oluşur. Bozunma için gerekli hidrojen çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Korozyon açısından en ilginç olanı katodik olay sırasında yani hidrojen reaksiyonu ile üretilen hidrojenidir.

Birbiri üzerine kayan yüzeylerin bulunduğu metallerde oksit filminin oluşması devamlı önlendiğinden, bunlardaki çatlak gelişimi daha hızlı olabilmektedir.

Korozyon yorulması, hemen hemen sadece taneler içi çatlaklar şeklinde ilerleyen bir korozyon turudur. Kullanılan malzemelerdeki yorulma zamanı, yorulma çatlağını başlatmak ve bu çatlağı kritik olmayan boyutlardan kritik boyutlara geliştirmek için gerekli salınımların toplamı olarak tanımlanabilir [40, 41].

### **3.7. SEÇİCİ KOROZYON (MAKRO KOROZYON)**

Seçici korozyon alaşım elementlerinden birinin korozyona uğrayarak ayrılmasıdır. En yaygın örneği pirinçten çinkonun ayrılmasıdır. Bu olaya dezinfikizasyon veya çinko kaybı denir. Benzer olay diğer alaşımlar içinde geçerlidir. Mesela altın –gümüş alaşımı seyreltik nitrik asit çözeltisi içinde daldırıldığında gümüşün çözüldüğü ve geriye sadece altının kaldığı görülür. Bakır çinko alaşımlarında oluşan çinko azalması veya dökme demirde matrisin çözümü ve oluşan grafitleşme olayı da bu tür korozyona örnek olarak verilebilir [34].

### **3.8. EROZYON KOROZYONU (MİKRO+MAKRO KOROZYON)**

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki hız farkından dolayı oluşan bozunma türüdür. Erozyonlu korozyonda hem kimyasal hem de mekanik etki aynı anda etki etmektedir. Mekanik etki veya kimyasal etkiden hangisinin daha etkin olduğu ortam şartlarına bağlıdır. Erozyonun aşındırıcı etkisi nedeniyle korozyon sırasında oluşan korozyon ürünleri mekanik etki yapmaktadır. Bozulan yüzeylerin görünümleri akım yönü doğrultusunda yumuşak engebelerden oluşur ve fazla derin değildir. Erozyon etkisi yüksek akma hızlarında ve türbülans ve çarpma olaylarının fazla olduğu durumlarda çok fazla olur [34].

## BÖLÜM 4

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE ISIL İŞLEMLER

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 [6]. Alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısı işlemdir. 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 [7].

#### 4.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SEMBOLLEŞTİRİLMESİ

Alüminyum alaşımlarının sembolleştirilmesi, alaşım elementlendirme sisteminden bir harf ilavesiyle ayırt edilir. Bundan başka bazı işaretler sadece dövme mamül bazıları yalnız dökme mamüllere, bazıları da her ikisine tatbik edilmiş olduğunu gösterir [43]. Alüminyum alaşımlarına mekanik veya ısı işlemlerin ya da her ikisinin uygulanması, alaşımın temper durumunu belirtir. Temper durumunun gösterilişi döküm mekanik işlem (dövme) alaşımları için aynıdır. Temper simgesi alaşım kodundan sonra gelir ve birbirinden (-) ile ayrılır. Değişik temper işlemleri varsa temperi ifade eden harf yazıldıktan sonra, temper işlemleri yapılış sırasına göre yazılır. Temper işlemleri F, H, W ve T harfleri ile ifade edilir [44].

#### **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 süneklığe S döküm ürünler için kullanılır. H, Soğuk işlem ile sertleştirilmiş (yalnız işlem alaşımları için); soğuk işlemle deforme işlemine tabi tutulmuş alaşımı ifade eder [43, 45].

#### **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 [44, 45].

#### **4.1.3. Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler**

W, Solüsyona alma ısıl işlemi görmüş kararsız bir temper işlemidir. Yalnızca solüsyona alma ısıl işleminden 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 işlemini 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, Çözeltiliye alma ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırma uygulanmış (işlem aşamaları için).

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

T10, Yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş (işlem aşamaları için) [6, 43, 44, 45, 55]

## **4.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER**

Isıl işlem, metallerde istenilen özellikleri geliştiren bir ısıtma işlemi veya işlemler zincir 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 [19, 43, 58]. 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 ısıl işlem uygulanamayan alaşımlar olarak iki gruba ayrılmaktadır [6, 43, 46].

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 ısıl işlem yapılabilmesine imkan sağlamaktadır [6].

Dövme alaşımları arasında ısıl işleme tabi tutulabilenler grubuna dahil olanlar: 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileridir. 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061, 6063 ve 7075'dir [6, 43].

Alüminyum alaşımlarına uygulanan sertleştirme amaçlı ısıl işleme 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 çökelme sertleşmesidir. Özellikle uçak sanayisinde kullanılan hafif alüminyum alaşımları çökelme 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 [44, 47].

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 yapılarında, 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 [7]. 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 ısı işlem yapılmasını sağlamasıyla Mg Si 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 [57].

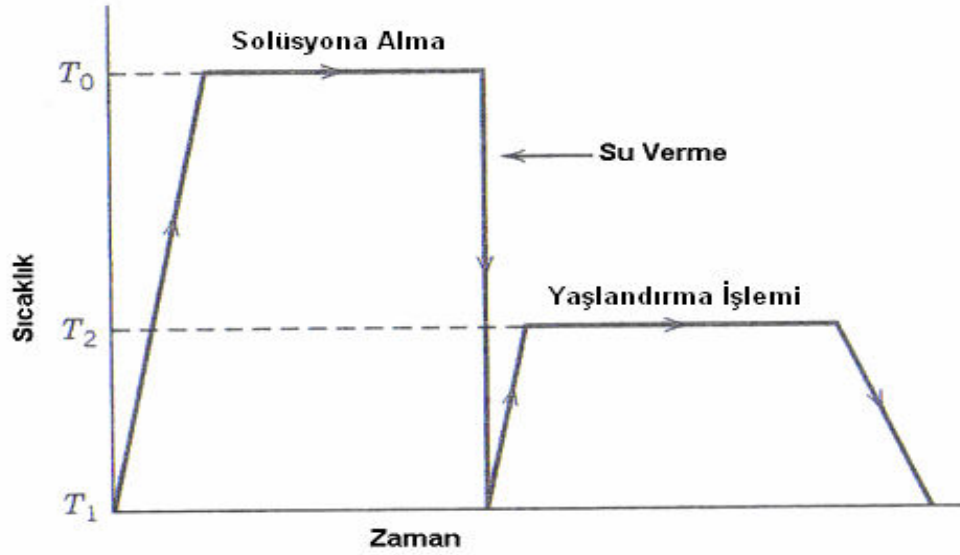
Çökelme ile sertleşebilen alüminyum alaşımlarında mekanik özellikleri arttıran çökeltiler farklı alaşımlarda ve farklı bileşiklerden oluşmaktadır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- a. Al-Cu alaşımları, CuAl bileşiği ile dayanım kazanır.
- b. Al-Cu-Mg alaşımları, Mg'un yoğun olarak bulunduğu bileşiklerle dayanım kazanır.

- c. Al-Mg-Si alaşımları, Mg Si bileşiği ile dayanım kazanır [6].

#### 4.2.1. Yaşlanma Isıl İşlemi

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarında yaşlanma ısıl işlemi(Şekil 4.1.), üç ana safhadan oluşmaktadır [6, 48, 43]. Plastik şekil değiştirmesine ihtiyaç duyulmaksızın ve üretimi sırasındaki istenen bir kademedeki malzemenin sertleştirilmesi, çökeltme sertleşmesi yönteminin üstünlükleri olarak özetlenebilir. Çökeltme sertleşmesi, ancak denge diyagramlarında solvus eğrisi bulunan alaşımlarda oluşur. Sadece solvus eğrisinin sınırladığı katı ergiyik bileşimlerinde meydana gelebildiğini Şekil 4.2’de açıkça gösterilmiştir. Yani alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Çökeltme sertleşmesinin aşamalarından birincisi öncelikle solüsyona alma işlemi, ikincisi su verme (soğutma), üçüncü olarak yaşlandırma işlemi olarak bilinmektedir [44]. Şekil 4.1’de yaşlandırma ısıl işleminin aşamaları gösterilmektedir.

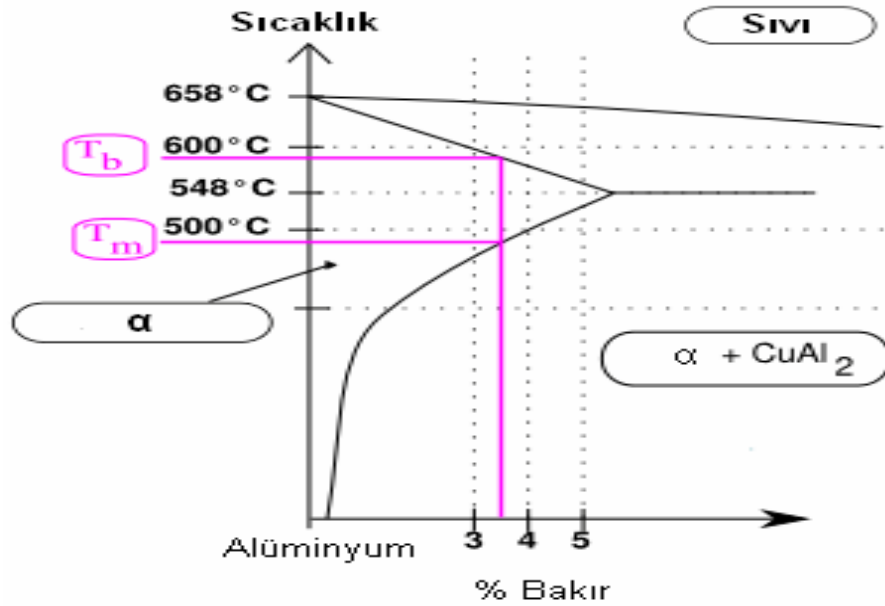


Şekil 4.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman faz diyagramı [50].

#### 4.2.1.1. Solüsyona Alma

Çökelme sertleşmesi ile malzemenin dayanımının artırılmasında ilk aşama solüsyona alma işlemidir. Solüsyona almada amaç mukavemet artırıcı 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 [6].

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.



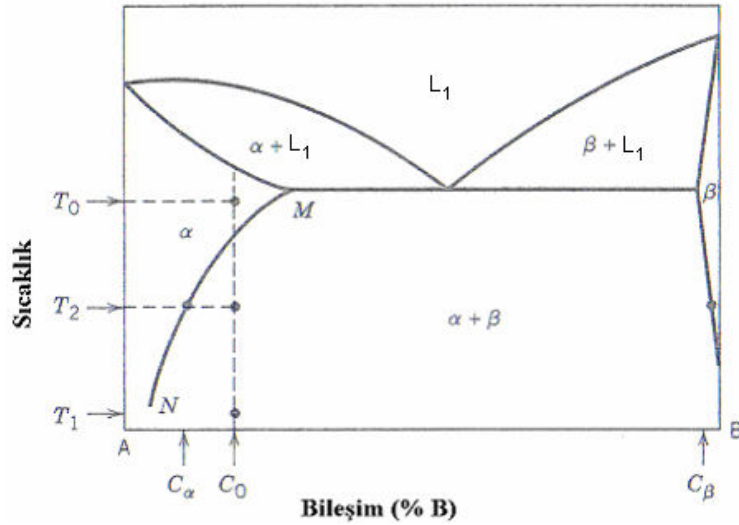
Şekil 4.2. Al- Cu faz diyagramı [58].

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.) CuAl çökeltileri bulunur. Bu çökeltiler ancak uygun ısıtma hızlarında 500 °C’de çözünürken hızlı ısıtmalarda CuAl ’nin birçoğu çözünmeden kalmaktadır [6].

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 [6].

Ötektik başlangıç sıcaklığının aşılmasına dikkat edilmelidir. Şekil 4.3’deki faz diyagramına göre  $T_0$  sıcaklığından daha fazla bir sıcaklık üzerine yani ötektik ergime  $T_0$  sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır. Alt sıcaklık değeri ise, katı ergiyiğe alma işlemlerinin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır. Yani  $T_0$  sıcaklığından daha az bir sıcaklık  $T_2$  seçilir.



Şekil 4.3. Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi [49].

Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşılsa, 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 [43].

#### 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 soğutularak korunmasıdır [6]. Su verilmezse katı ergiyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökerek şekil değiştirme kabiliyetini azaltır, taneler arası korozyon mukavemeti düşer[43, 50]. Bu şekilde Şekil 4.3'deki faz diyagramına göre sıcaklığında ani olarak su verme işlemi yapılır. Çözeltiye alınan alaşımın su verilmesiyle oluşan aşırı boşluk konsantrasyonu beklenen denge difüzyonundan daha hızlı difüzyon oluşması ile çözünen atomlar toparlanarak GP (Guiner-Preston) bölgelerinin oluşmasına neden olurlar [6]. Su verme esnasında çökme olması için fırın ile su ortamı arasındaki 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 [43, 50].

Malzemeler fırında su verme ortamına ister mekanik olarak isterse de otomatik olarak gönderilsin; bu süre azami su verme gecikmesini aşmamalıdır. Standart su verme gecikmesi, fırın kapısının açılmaya başlaması ile malzemenin su verme ortamın dalmasıyla biten süredir. İzin verilen maksimum zaman sıcaklık ve oda sıcaklığındaki havanın hızına ve parçaların kesitlerine bağlıdır [43, 50].

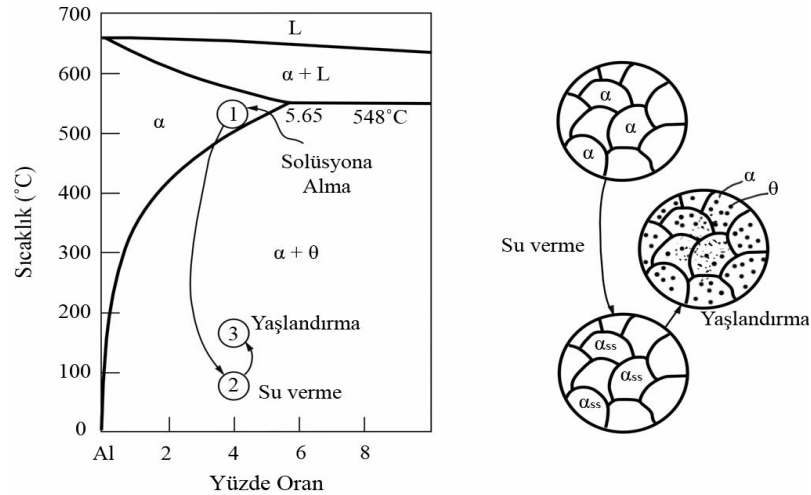
Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı, 10 ila 20 saniyelik gibi sürelerde olmalıdır [6].

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 çökme sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla erişilebilir [6, 43].

Dayanımı arttırma işlemlerinde kırılmalardan sakınmak için, dayanımı arttırma işlem mümkün olduğu kadar su vermeden hemen sonra olmalıdır. Bu işlem genellikle 24 saat içinde yapılmalıdır [43, 51].

#### 4.2.1.3. Yaşlanma İşlemi

Aşırı doymuş katı eriyiğin çözeltiliye 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 [6, 43].



Şekil 4.4. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiliye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikro yapı değişimleri [52].

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. Çökeltinin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazın 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 Guiner-Preston tarafından x ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP zonları denir [43]. Guiner-Preston (GP) bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çökeltileri kristal ve mikro yapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli derecede etkili olurlar.

GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alaşımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısı işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskoplarıyla 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 itibarıyla yaklaşık  $100 \text{ \AA}$  çapında  $10-15 \text{ \AA}$  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 [6, 43].

Alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısı işleme esnasında çeşitli bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgeler; GP-1, GP-2,  $\theta^{11}$  ve  $\theta^1$  bölgeleri olarak sıralanmaktadır. Alüminyum-bakır içeren alaşımların çoğunda GP-1 bölgeleri (100) düzlemleri boyunca alüminyum matris kafes yapısıyla uyumlu zengin bakır içeren yaklaşık 100

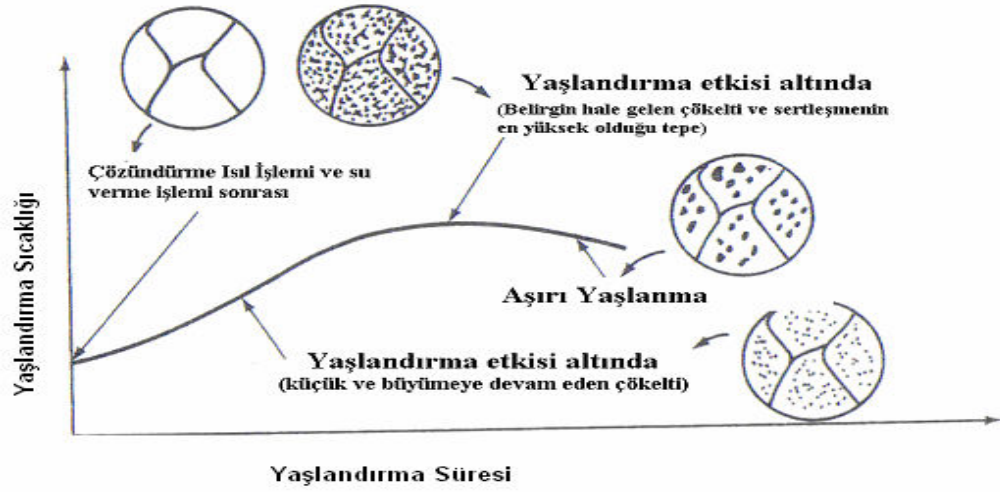


$A^\circ$  uzunluğunda ve birkaç atom kalınlığında bakır atomları kümeleri şeklindedir. Bakır atomunun atomik yarıçapı ( $r$ ) alüminyumun atomik yarıçapından küçük olması nedeniyle ( $r_{Al}=0,143$  nm,  $r_{Cu}=0,128$  nm) GP bölgesinin çevresindeki matris düzlemi bakır katmanına doğru yaslanır (Aydın, 2002). GP-2 bölgeleri GP-1 bölgelerinden daha kalın (yaklaşık olarak  $150 A^\circ$ ) ve daha geniş (yaklaşık olarak  $1500 A^\circ$ ) çapta tetragonal kristal yapıya sahip disk şeklinde çökelen parçacıklardan oluşur. GP-2 bölgeleri Al ve Cu atomları Cu Al ilişkisi kapsayan bir yapıya dönüşümüne getirebilirler [6].

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 [6].

Al-Cu alaşımında, çökelti fazı ( $\theta^1$ ) tetragonal kristal yapıya sahiptir.  $A\theta^1=4,04 A^\circ$  ve  $Cu\theta^1=5,80 A^\circ$  matrisin  $AAI=4,049 A^\circ$  dur. Bu  $\theta^1$  fazı ve matris (Al) arasındaki yapısal farklılık düzensiz çökelti oluşumuna sebep olur [6].

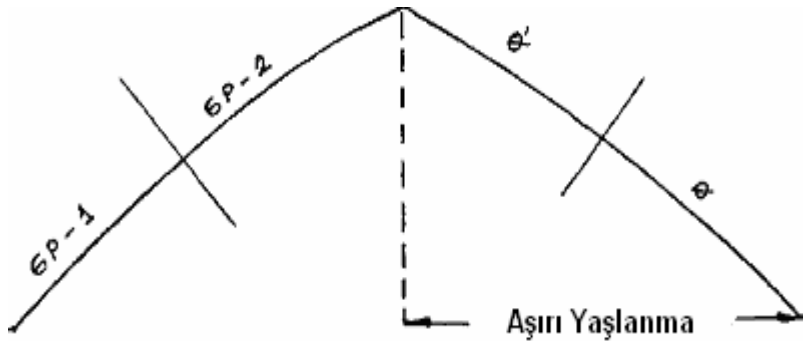
Yaşlandırma ısı işlemi sayesinde elde edilen maksimum özellikler  $\theta^1$  bölgesinde elde edilir. Isıl işleme devam edildiğinde çökeltilerin boyutları ve dağılımı ideal olmaktan çıkarak komşu çökeltiye birleşip aşırı derecede büyürler (Şekil 4.5). Bu durumda oluşan bölgeler  $\theta$  bölgeleri olarak 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 [6].



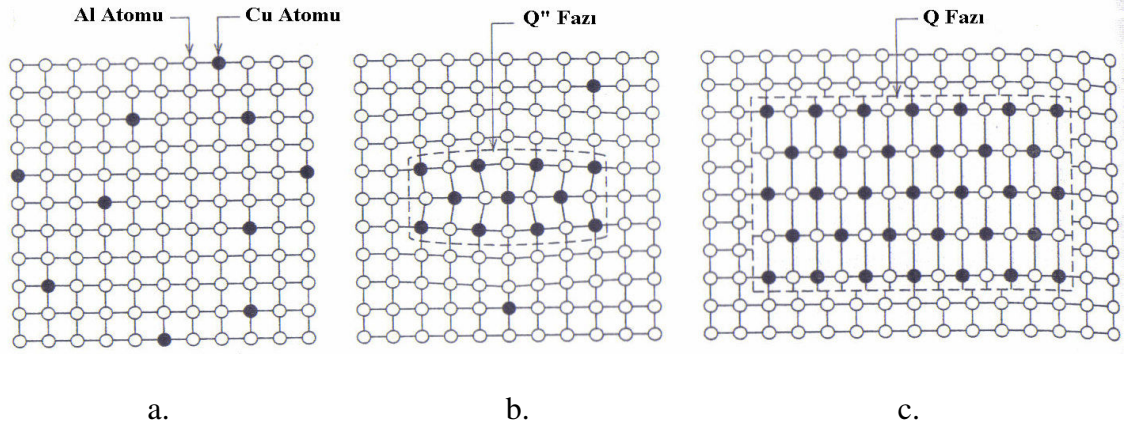
Şekil 4.5. Yaşlandırma ısıl işlemi aşamaları ve mikro yapıları [53].

Çökeltmenin 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 [43].

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  $\theta$ 'dır. Yaşlanma süresinin artması ile sertlik veya mukavemette meydana gelen yaşlanmaya "aşırı yaşlanma" denir [43]. Şekil 4.7'de ise yaşlandırma ısıl işleminin nasıl olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Yaşlanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik veya mukavemetindeki değişimi [43].

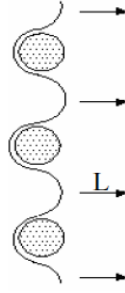


Şekil 4.7. Yaşlandırma sırasındaki çeşitli ara durumların gösterimi a. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı, b. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, c. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti [53].

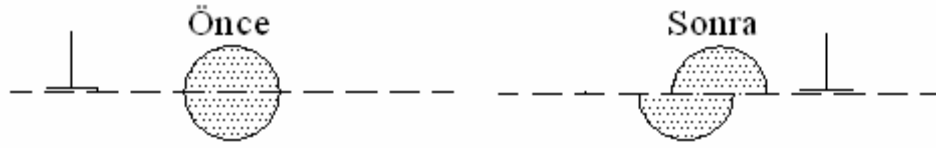
#### 4.2.1.4. Çökeltme Sertleşmesi İle Dayanım Artışı

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 sarar. 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. Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar [55].



Şekil 4.9. Aşırı büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi [54].

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

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

Burada;

- a. Kayma modülü,
- b. Burgers vektörü,
- c. Çökelti arası mesafe.

Bu bağıntıya göre çökelti mesafe azaldıkça dislokasyon hareketini engelleyici etkileri artmakta ve buna bağlı olarak da malzemenin mukavemetinde artış olmaktadır [43].

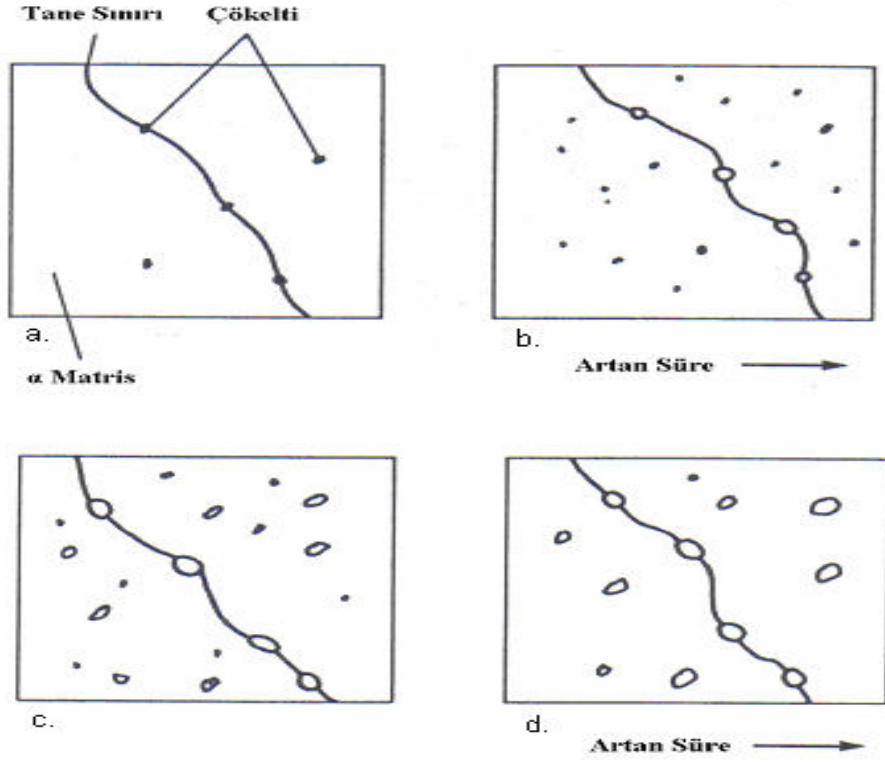
Aşırı yaşlanma bölgesindeki Eş. 4.1 bağıntısı geçerlidir. Çünkü çözelti ile matris ara yüzündeki dislokasyonlar öncelikle hareket ederler ve bu da mukavemetin düşmesine sebep olur. Eğer çözelti aşırı derecede büyük ise dislokasyonlar çökeltiyi keserek mukavemetin düşmesine sebep olur [43].

#### 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 [43].

Eritme ısısal işlemine 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 hala yumuşak olduğu bir zaman içinde yapılmalı ve 2 ila 3 saat zarfında (yaşlanma sertleşmesi önemli bir alana yayılmadan önce) tamamlanmalıdır. Böyle bir işlem mümkün şekilde alaşımın imalat safhasında dar boğazların (sıkışmaların) meydana olmayabilir. Bu gelmesine sebebiyet verebilir. Eritme ısısal işlemine 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 [43].

Yaşlandırma ısısal işleminin başlamasıyla birlikte yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 4.10 a'da görüldüğü gibi yapı içerisinde ve tane sınırlarında çökeltilerin oluştukları fark edilmektedir. Yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin artmasıyla beraber Şekil 4.10 b.'de görüldüğü 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 sebep olmaktadır.



Şekil 4.10.  $\alpha$ -Matris katı eriyiği içindeki çökeltinin ( $\theta$ , ikinci faz partikülleri) yaşlandırma ısı işlemi sonucunda a. yaşlandırmanın ilk safhası, b. yaşlandırmanın ikinci safhası, c. yaşlandırmanın üçüncü safhası, d. yaşlandırmanın dördüncü safhası oluşumlarının mikroyapı resimleri [55].

## BÖLÜM 5

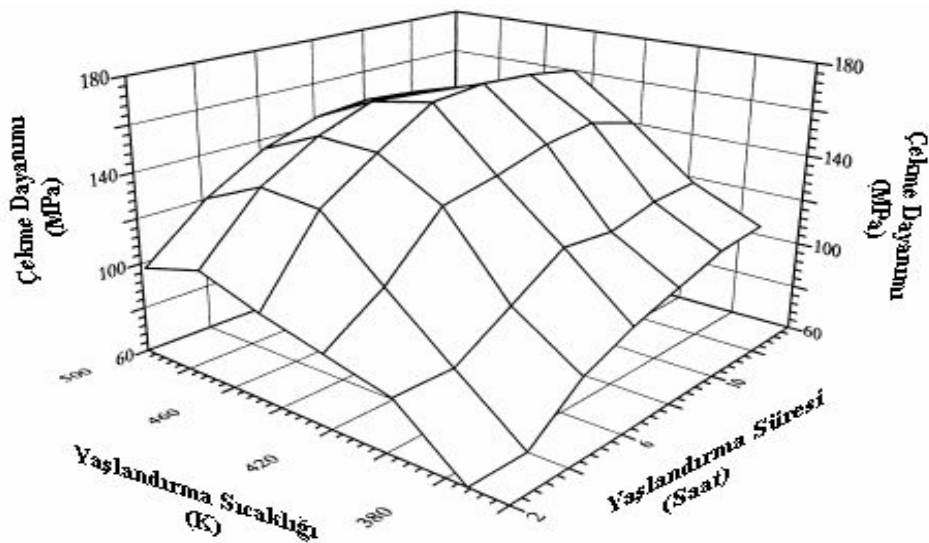
### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Dünyada kullanılan enerjinin büyük bir kısmı sürtünme ile kaybolmakta ve malzemelerin önemli bir kısmı ise aşınma sonucunda istenmeyen formlara dönüşmektedir [1]. Bu nedenle gelişen ve değişen günümüz teknolojisinin en ciddi problemlerinden biri hiç şüphesiz malzemelerde meydana gelen aşınmadır. Yapılan çalışmalarda, AA 6063 alüminyum alaşımlarına uygulanan yaşlandırma ısıl işleminin 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 içersinde solüsyona alınıp su verme işleminden hemen sonra 180 °C’ de beş farklı sıcaklıkta (1, 2, 3, 4 ve 5 saat) yaşlandırılmıştır [56].

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-1 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  $Mg_2Si$ ,  $AlFeSi$  ve  $CuAl_2$  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 [56]. Diğer bir çalışmada[57], yaşlandırma ısıl işlemi parametrelerinin, AA 6063 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu konudaki başka bir çalışmada[7], 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.

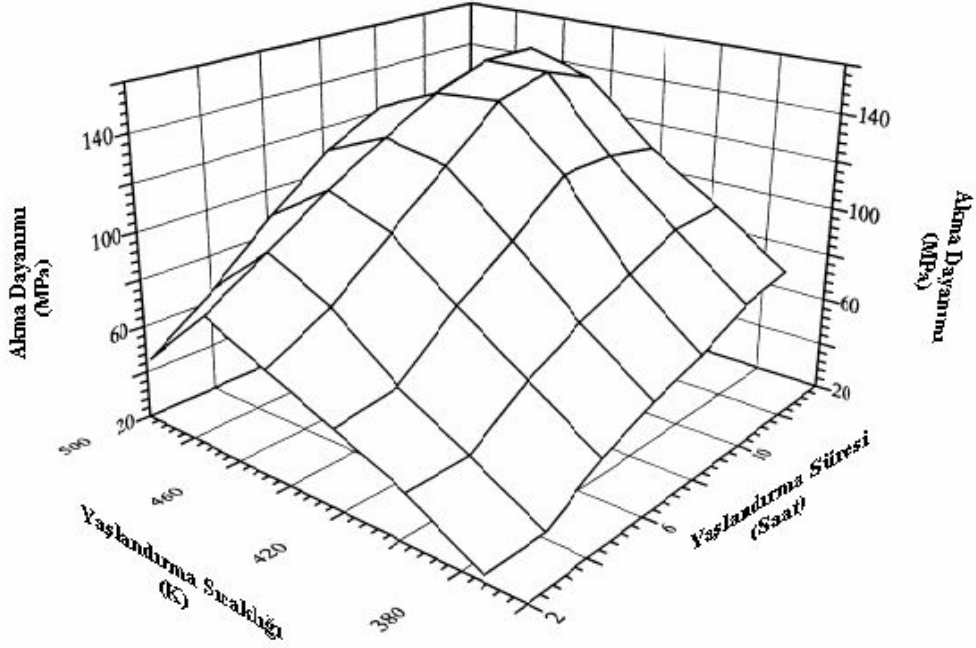
Metalografik verilere göre CuAl<sub>2</sub> faz çökeltilerinin ve intermetalik yapıların yaşlandırma sıcaklığıyla birlikte büyümeye başladığını göstermiştir. Kullanılan zımpara kağıdının tane boyutunun ve yükün artmasıyla aşınmanın arttığı ve aşınma kaybının fazla olduğu incelenmiştir [7]. AA 6063 alüminyum alaşımı yaşlandırılarak, yaşlanmanın en tepe noktası (pik noktası) ve aşırı yaşlanma süreci tespit edilmiştir. AA 6063 alaşımlı numuneler öncelikle 520 °C’de 2 saat solüsyona alınmıştır. Daha sonra yapay yaşlandırma ısıl işlemi dokuz farklı sıcaklık ve yedi farklı sürede gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’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 5.1. AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının çekme dayanımına etkisi [57].



Yaşlandırma ısısal 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 5.2’de görüldüğü gibi malzemenin akma dayanımını sürekli olarak azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.2. AA 6063 malzemesine yaşlandırma süresinin ve sıcaklığının akma dayanımına etkisi [57].

Yaşlandırma ısısal 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 ısısal 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 [17].

Bu konuyla alakalı yapılan çalışmada[7], AA 2024 malzemesinin aşınma davranışlarını yaşlandırma işlemi uygulayarak incelemiştir. 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 [7].

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada alüminyumun mekanik özelliklerine Ti ilavesinin ve yaşlandırma ısıl işleminin etkisi incelenmiştir. Ti içeriği, % 0, % 1, % 2, % 4 oranlarında değişen alüminyumun sertliğinin yaşlandırmayla değişimi, yaşlandırmanın aşınmaya etkisi karşılaştırılmıştır.

#### 6.1. DENEYSEL NUMULERİN ÜRETİMİ

Deneysel numunelerin üretimi için, saf Al ve % 10 Ti içeren Al-10Ti master alaşımı başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. % 0, % 1, % 2 ve % 4 Ti olacak şekilde master alaşımından 1000° C'de pota içerisindeki eriyik saf Al içerisine Ti şarj edilmiştir. 20 mm çapında 200 mm uzunluğundaki metal kalıba dökülmüştür. Ergitme işlemi atmosfere açık 1200°C kapasiteli rezistanslı ergitme ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel numunelerimiz 15 mm uzunluğunda 5 mm çapında deneye hazır hale getirilmiştir. Uçları inceltmemizin sebebi tam bir yüzey teması sağlamaktır.

#### 6.2. YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ

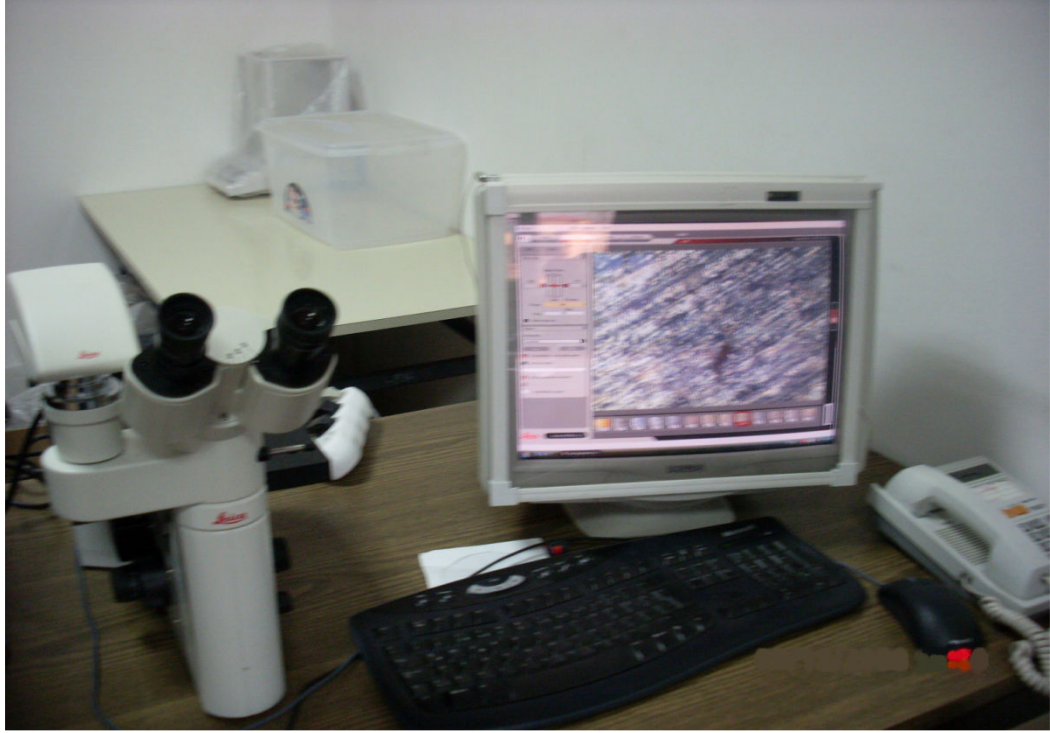
Isıl işlem için şekil 6.1'de görülen PID elektrik direnç fırını kullanılmıştır. Isıl işlem parametrelerin belirlenmesi için Al-% 4Ti alaşımına 600°C' de 2 saat solüsyona alma, hızlı bir şekilde su verme ve ardından 150°C'de belirli süreyle toplamda 36 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. En yüksek sertliğin 32 saatte oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 6.1. Alser marka protherm model PID kontrollü elektrikli direnç fırını.

### **6.3. MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ**

Numunelerin uzunluğu 15 mm, çapı 5 mm olacak şekilde kesilmiştir. Sırasıyla 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 mikronluk zımparalarla zımparalanmış, 3 mikronluk elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Bu işlemler hem döküm malzemelere hem de yaşlandırılmış malzemelere uygulanmış olup Leica marka optik mikroskopla görüntüleri alınmıştır.



Şekil 6.2. Leica marka DMILM model optik ışık mikroskobu.

#### **6.4. MEKANİK ÖZELLİK KARAKTERİZASYONU**

Mekanik özellik karakterizasyonu, sertlik deneyleriyle yapılmıştır. Alüminyum yumuşak bir malzeme olduğu için 200 gr yük 12 saniye uygulanarak Vickers sertlik değeri (HV) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri metalografik olarak hazırlanmış numuneler üzerinde Vickers batıcı ucu ile Shimadzu marka HMV Model mikrosertlik cihazında ölçülmüştür. Sertlik değerleri, en az 5 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Şekil 6.3.'de sertlik deneyi için kullanılan deney cihazı görülmektedir.



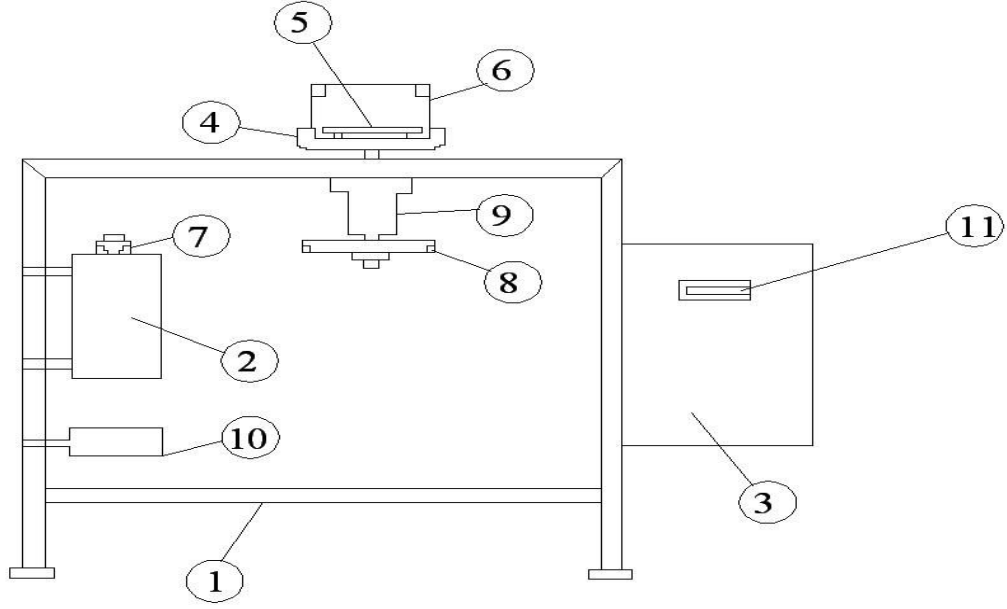
Şekil 6.3. Schimadzu marka HMV Model mikro sertlik cihazı.

## 6.5. AŞINMA TESTİ

Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney ünitesinin şematik görüntüsü Şekil 6.4 ve 6.5’de verilmektedir. Bu cihaz her türlü yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahiptir. Farklı kayma şartları ve farklı devirlerde çalışabilmek amacı ile sistem hız kontrol cihazına bağlanarak istenilen hızda kullanılabilir haldedir. Böylelikle farklı kayma hızları veya sabit kayma hızında da istenilen devir sayıları hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Bu deney cihazında farklı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler test edilmiştir.

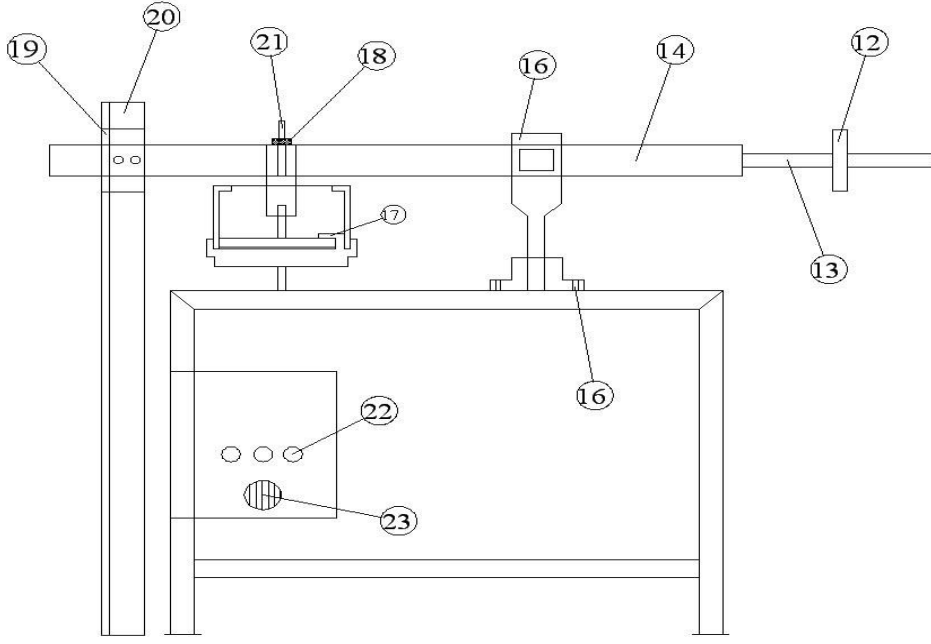
Pin-on disk aşınma cihazının önden komple resmi Şekil 6.4’te verilmiştir. Deney düzeneğinin başlıca önemli parçaları şunlardır; (1) deney cihazının gövdesi, (2) 1,5 KW’lık 3 faz DC motor, (3) motor kontrolünün yapıldığı pano, (4) aşındırıcı diskin bağlandığı plaka, (5) aşındırıcı disk, farklı ortamlarda çalışabilme olanağı sağlayan hazne, (7-8) motor ile disk arasında kuvvet aktarımı sağlayan kasnak sistemi, (9)

aşındırıcı diskin salgısız çalışmasını sağlayan çift rulman, (10) sistemin aralıksız uzun süre ısınmadan çalışmasını sağlayan soğutucu fan, (11) dakikada dönülen devir sayısını gösteren devir göstergesidir.



Şekil 6.4. Pin-on aşınma cihazının önden görünüşü.

Şekil 6.5’de ise Pin-on disk deney cihazının yandan görünüşü verilmiştir. (12-13) numunelerin bağlama kolunun ağırlığından etkilenmemesi için denge ayar vida ve somunu, (14-15-16) çift rulman kullanılarak yataklanmış 360° dönebilecek ve aşağı yukarı hareket edebilecek şekilde numune bağlama kısmı, (17-18) tutucu kol üzerindeki deliklerle farklı izlerde çalışma imkanı vermektedir. (19-20) sürtünme katsayılarını hesaplamak için gerekli yan kuvvetleri ölçen loadcell ve aşındırma sisteminden bağımsız monte edilmiş sistem, (21) yüklerin uygulandığı pim, (22-23) sistemi açıp kapamayı sağlayan ve motor hızının kontrol edildiği kısım görülmektedir.



Şekil 6.5. Pin-on disk aşınma cihazının yan görünüşü.

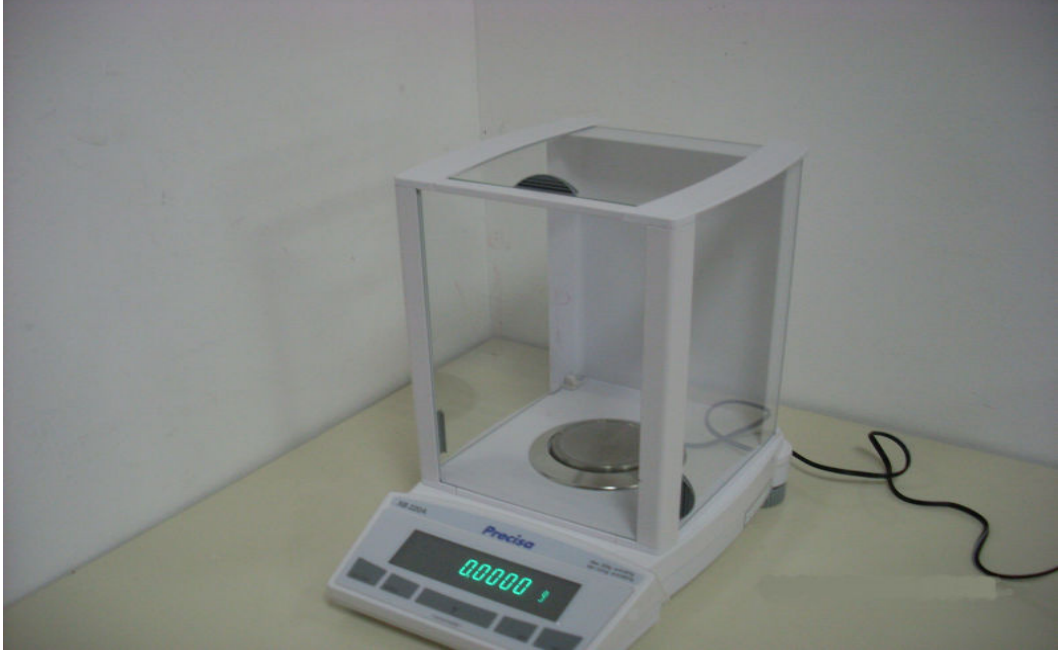
Aşınma deneyi, yaşlandırılmış ve döküm halindeki numuneler ile çalışacak; dönel disk için sfero döküm malzemesi 230 mm çapında, 20 mm kalınlığındadır. Sertleştirme işleminden sonra disklere düzlem taşlama işlemi yapılmıştır. Diskin ve numunelerin yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerekmektedir. Bu nedenle teste başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Karşılık diski küresel grafitli dökme demirden ve 137 HB 2,5/15,625 sertlik değerine sahiptir. 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. Son olarak ta aşınan yüzeyler optik mikroskopla görüntülenmiştir. Aşınma deneyleri 0,4 m/s hızla 2350 m yol aldırılarak yapılmıştır.

## 6.6. KOROZYON DENEYİ

Numunelerin çapı 15 mm, uzunluğu 7 mm olacak şekilde kesilmiştir. Sırasıyla 180, 320, 600, 800,1000 ve 1200 mikronluk zımparalarla zımparalanmış, 3 mikronluk elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Bu işlemler hem döküm malzemelere hem de yaşlandırılmış döküm malzemelere uygulanmıştır. Her bir numuneye misina bağlamak ve daldırma işlemini gerçekleştirmek için 3 mm çapında delikler açılmıştır. Korozyon çözeltisi olarak % 3,5 NaCl kullanılmıştır. 2 saatlik 6 periyot, 5 saatlik 4



periyot, 15 saatlik üç periyot ve 25 saatlik periyot aralıklarıyla Şekil 6.6'de verilen 0,1 mg hassasiyetli terazi ile ağırlık kaybı kontrolü yapılmıştır.

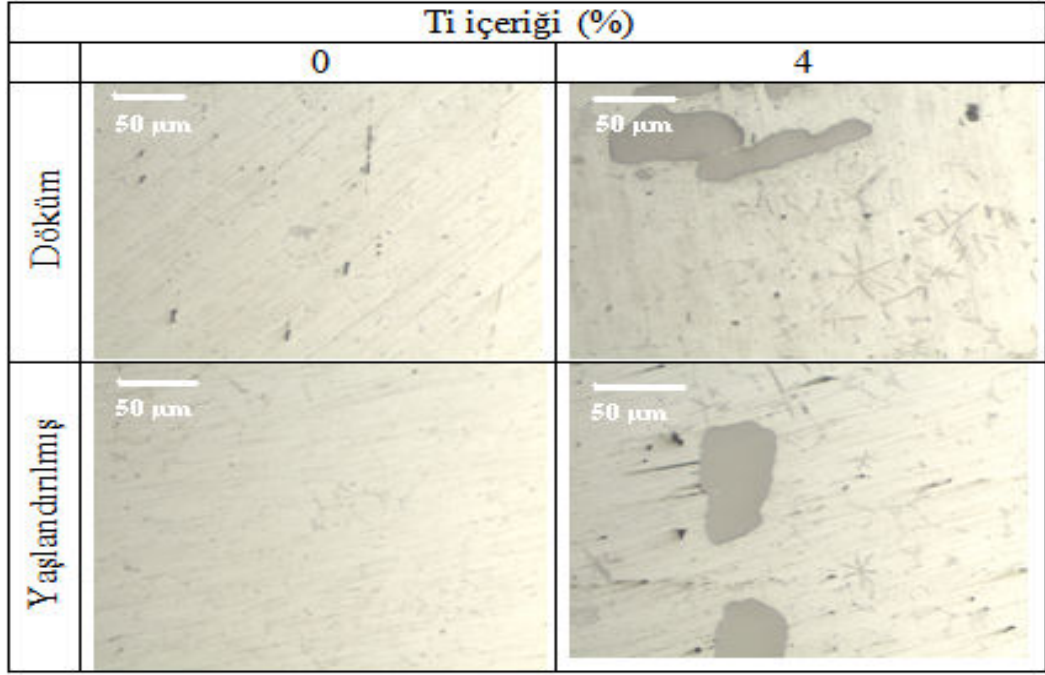


Şekil 6.6. Precisa marka XS 220A model 0.1 mg hassasiyete sahip elektronik tartı.

## BÖLÜM 7

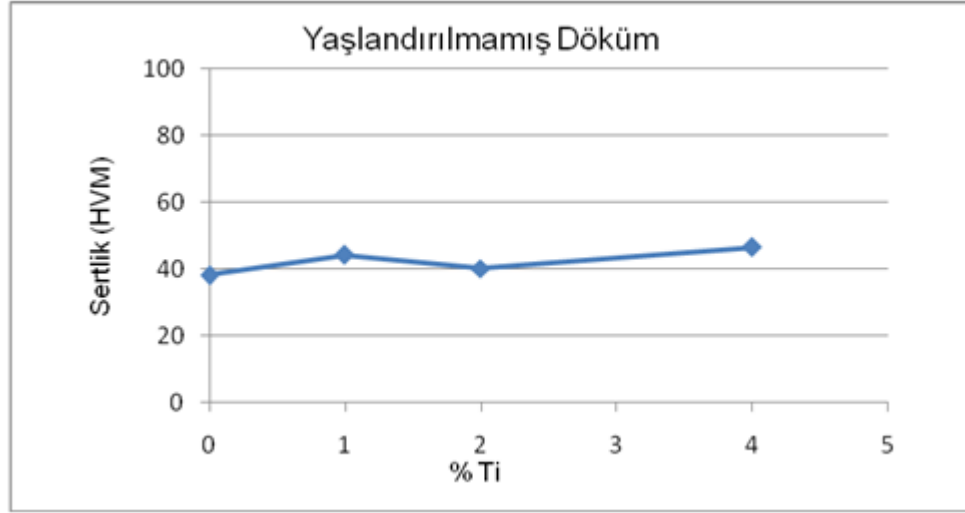
### DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

İncelenen alaşımların, optik mikroyapıları Şekil 7.1’de verilmiştir. Ti içeriğinin artmasıyla mikroyapıda beyaz renkli matris ve koyu gri renkli iğnesel ve kütsel fazlar oluşmuştur. Literatüre göre bu fazların  $Al_3Ti$  olduğu rapor edilmiştir [34].



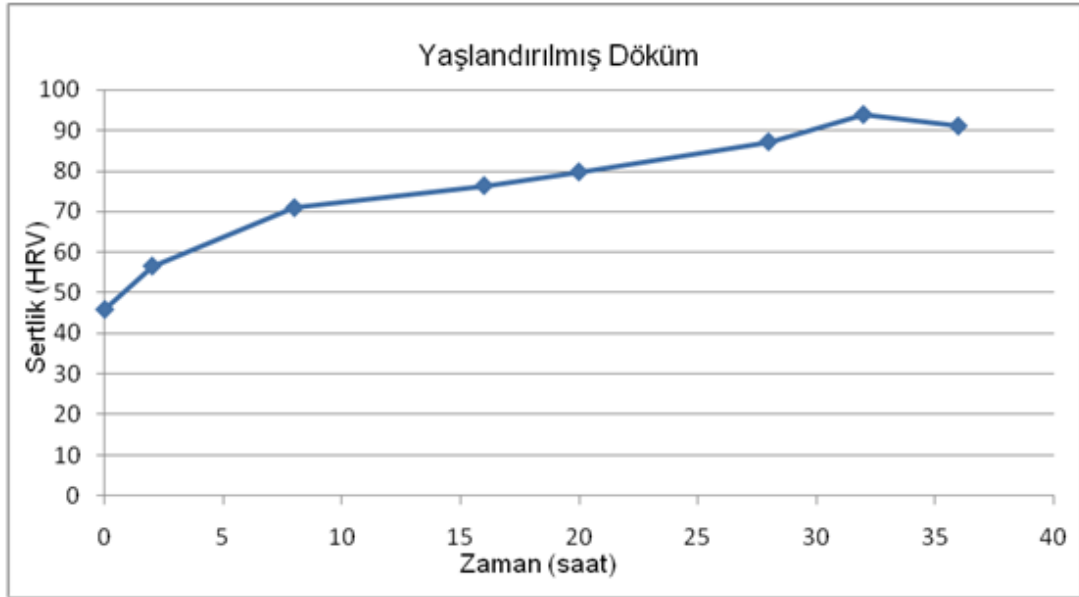
Şekil 7.1. İncelenen numunelerin mikroyapı görüntüleri.

Döküm halindeki Al-X Ti alaşımların mikro sertlikleri Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Al-X Ti alaşımların sertlikleri Ti içeriği ile artmıştır. Bu artış; Ti ilavesi ile oluşan  $Al_3Ti$  intermetalğine dayandırılabilir [34].

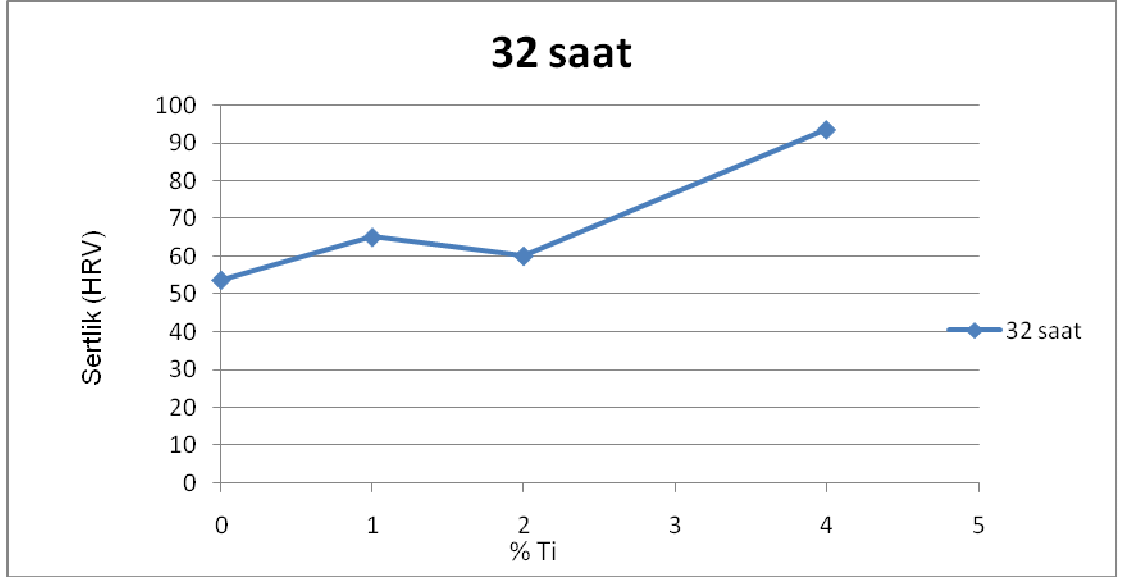


Şekil 7.2. İncelenen numunelerin döküm halindeki alaşımların Ti içeriğine bağlı olarak sertliklerinin değişimi.

Optimum yaşlandırma ısı işlem parametresinin belirlenmesi için farklı sürelerde gerçekleştirilen 150°C'deki yaşlandırma işlemi ile Al-% 4 Ti alaşımının sertliğinin değişimi Şekil 7.3 (a)'da verilmiştir. % 4 Ti içeriğinde 32 saat sonunda en yüksek sertliğe ulaşılmıştır. Buradan hareketle incelenen diğer alaşımlara da 150°C'de 32 saat yaşlandırma ısı işlemi uygulanmıştır. Şekil 7.3 (b)'de % 0, % 1, % 2 ve % 4 Ti içeren numunelerin 32 saat sonundaki sertlikleri görülmektedir.



(a)



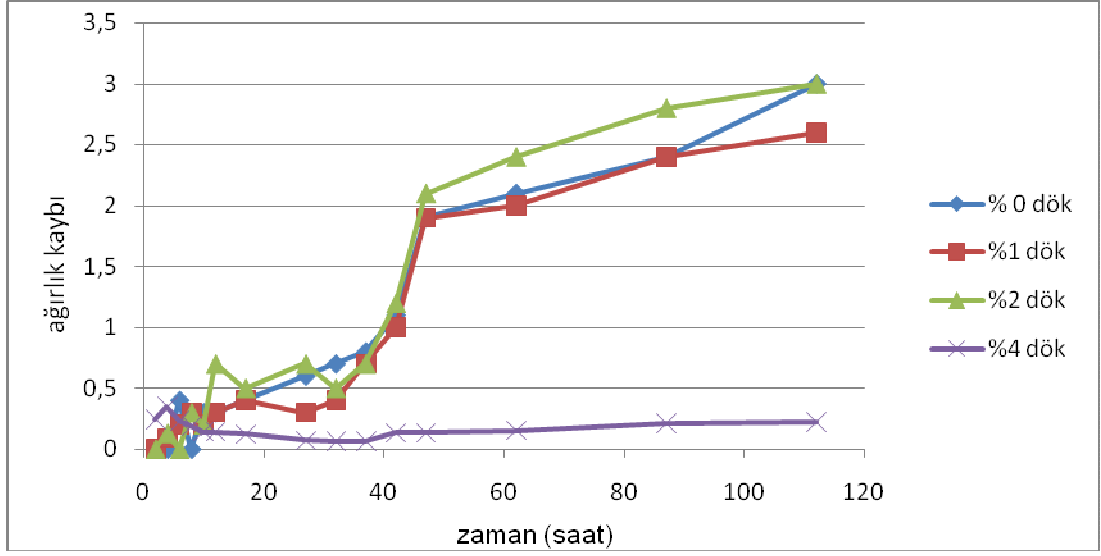
(b)

Şekil 7.3. (a) Ön yaşlandırma işlemine tabi tutulan Al-4 Ti alaşımının zamana bağlı olarak sertliklerinin ve (b) 150°C'de 32 saat yaşlandırmaya tabi tutulan alaşımların Ti içeriğine bağlı olarak sertliklerinin değişimi.

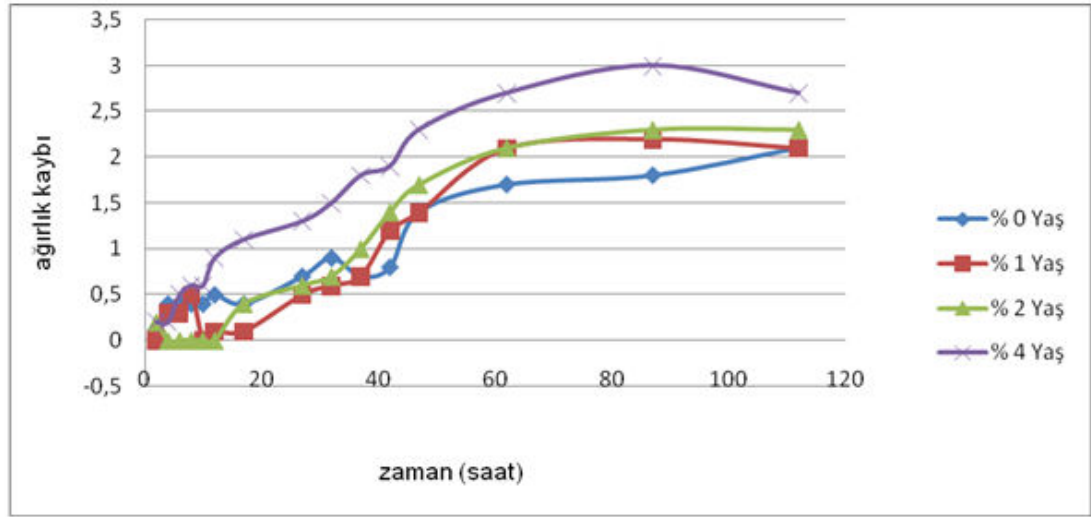
Şekil 7.3 (b) 150°'de 32 saat sürede yaşlandırılan numunelerin hepsinde yaşlandırma işlemiyle sertlik artışının gözleendiğinin, bu artışın % 4 Ti'da belirgin bir şekilde olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca döküm haline kıyasla (Şekil 7.2), yaşlandırma işlemi sonrasında incelenen tüm alaşımlarda sertlik artışı gözlenmiştir.

## 7.1. KOROZYON DENEY SONUÇLARI

İncelenen numuneler % 3,5 NaCl çözeltisi içindeki korozyon sonuçları Şekil 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.4 (a)'da korozyon davranışına Ti alaşımının etkisi görülmemiştir. Şekil 7.4 (b)'de ise Ti içeriğinin artması ile korozyon kaybı artmıştır. Alaşım elementi içeriğine bağlı olarak 112 saatin sonundaki korozyon kaybının değişimi 7.5'de gösterilmiştir.



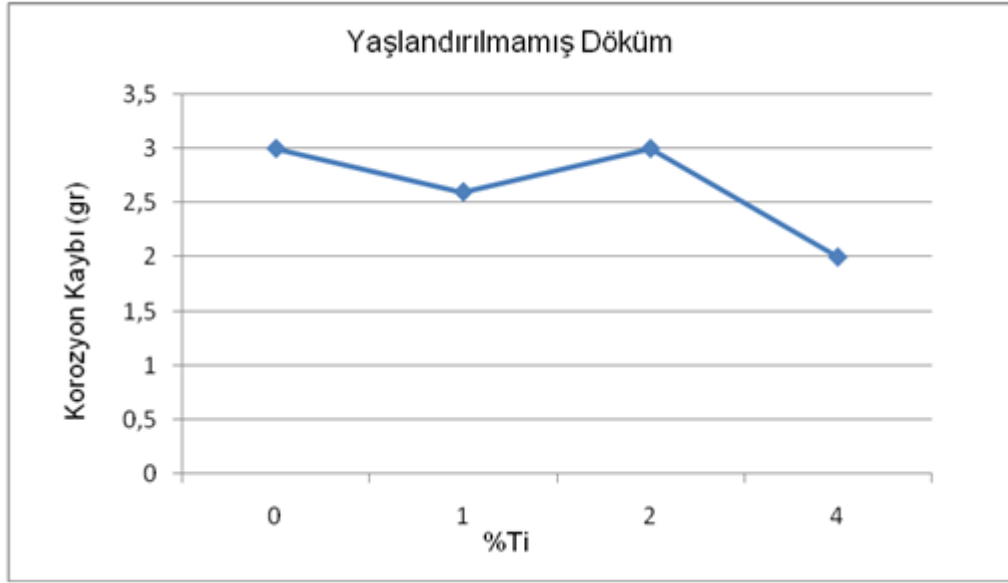
(a)



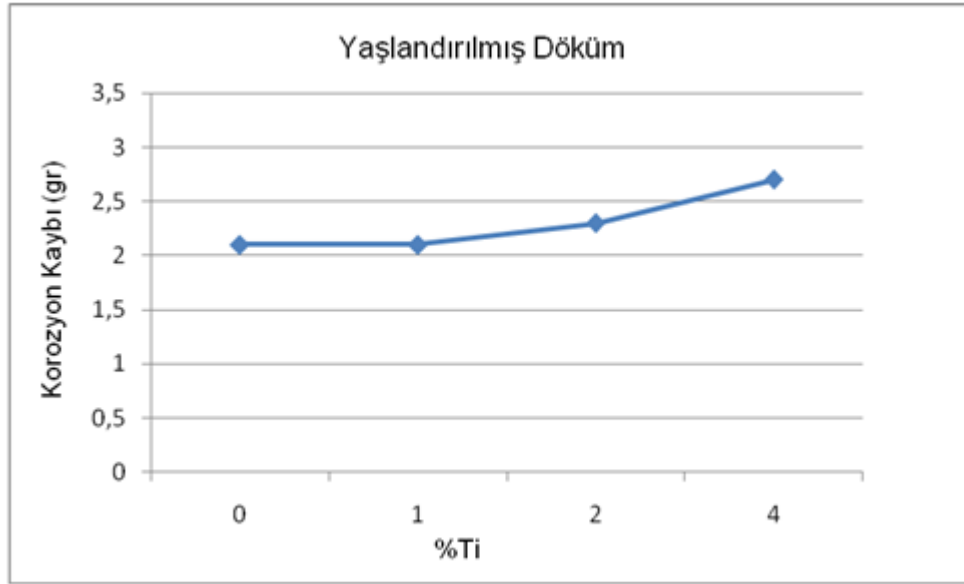
(b)

Şekil 7.4. (a) % 3,5 NaCl çözeltisi içinde döküm haldeki alaşım elementi oranına göre (b) % 3,5 NaCl çözeltisi içinde yaşlandırılmış haldeki ağırlık kayıpları.

İncelenen numunelerin döküm ve yaşlandırılmış halde Ti içeriğine bağlı olarak korozif kaybı oranları Şekil 7.5’de verilmiştir.



(a)

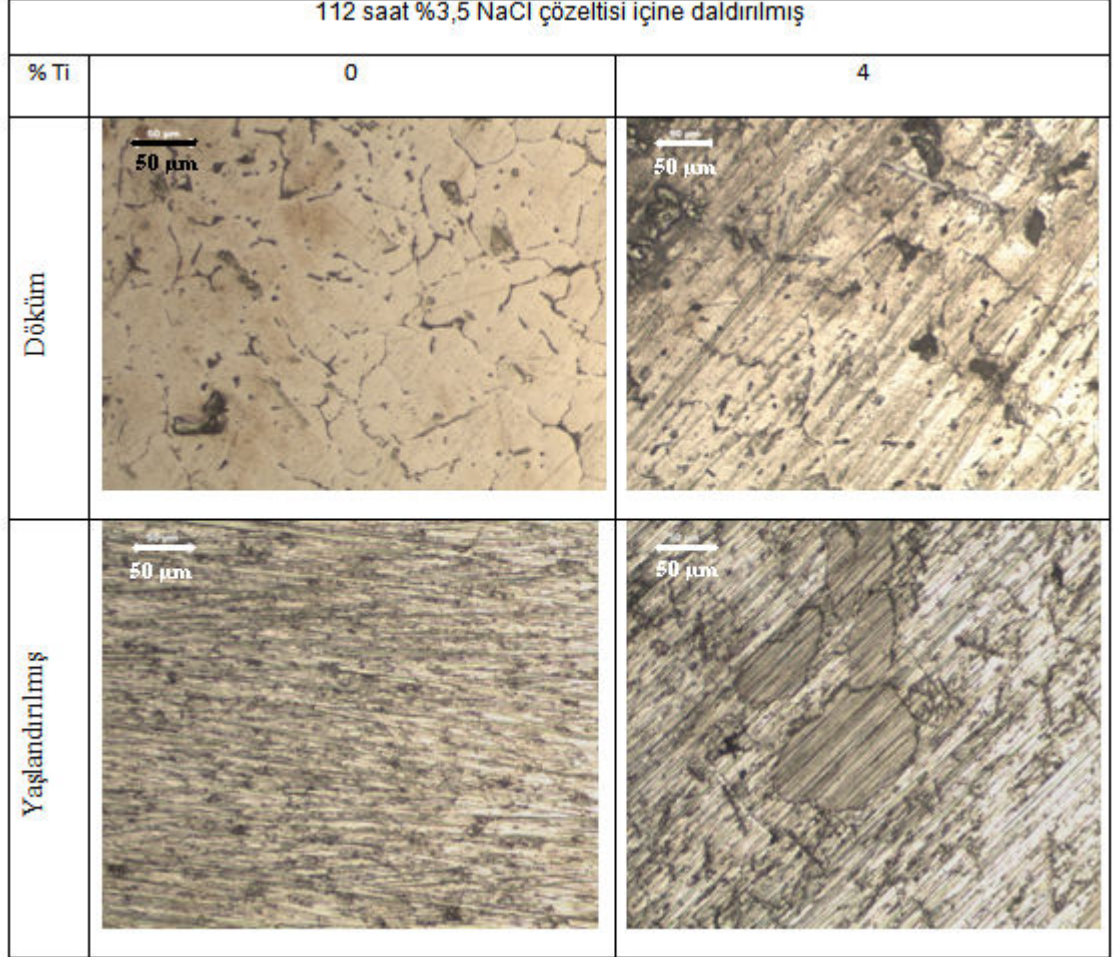


(b)

Şekil 7.5. (a) Ti içeriğine bağlı olarak döküm numunenin (b) Ti içeriğine bağlı olarak yaşlandırılmış numunenin korozyon kaybı değişimi ortalaması.

Yaşlandırma uygulanmamış numunede Ti alaşım elementi içeriği ile korozyon kaybı azalırken, yaşlandırılmış numunelerde korozyon kaybı artmıştır. Uygulanan yaşlandırma ısıl işlem sonucu oluşan çökeltiler, korozyon için spot bölgeler meydana

getirmiştir. Aynı anda birden fazla bölgede korozyonun başlaması korozyon kaybını geliştirmiştir. Korozif deney sonrası mikroyapı görüntüleri Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.6. Korozyon deneyi sonrası yüzeylerin mikroyapı resimleri 20 X büyütme.

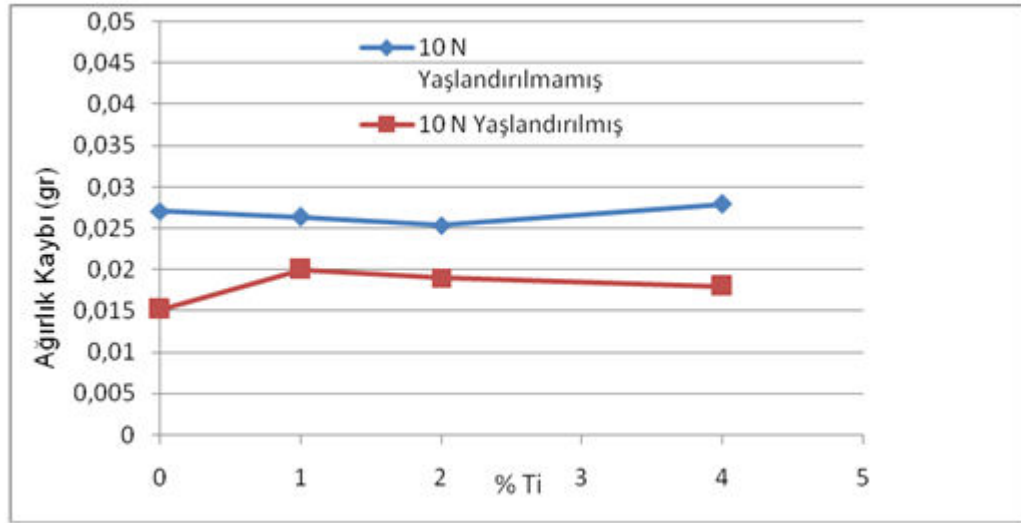
Korozyon yüzeyinden alınan fotoğraflarda görüldüğü gibi Al-% 4 Ti içeriğinin olduğu numunelerde oluşan koyu gri renkli iğnesel ve kütleli fazların ana matris ile birleştiği yerlerde oyuk korozyonu oluşturmuş olduğundan korozif kayıp daha fazla olmuştur.

## 7.2. AŞINMA DENEY SONUÇLARI

Kuru ortamda 10 N ve 30 N olmak üzere iki farklı yükte yapılan aşınma deney sonuçları Çizelge 7.1’de ve Şekil 7.7’de verilmiştir. 10 N yük altında Ti içeriği ile aşınma kaybı hemen hemen sabit kalırken 30 N da Ti içeriği ile ağırlık kaybı belirgin bir şekilde artmıştır. Her bir alaşım içeriğinde uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi ile aşınma kaybı azalmıştır. Döküm ve yaşlandırılmış numunelerin ağırlık kayıpları arasındaki fark 30 N’da daha belirgindir.

Çizelge 7.1. 10 N yük altında kuru ortamda aşınma ağırlık kayıpları

Atmosfer ortamı		
% Ti	Yaşlandırılmamış	Yaşlandırılmış
0	0,023	0,015
1	0,022	0,020
2	0,021	0,019
4	0,023	0,018

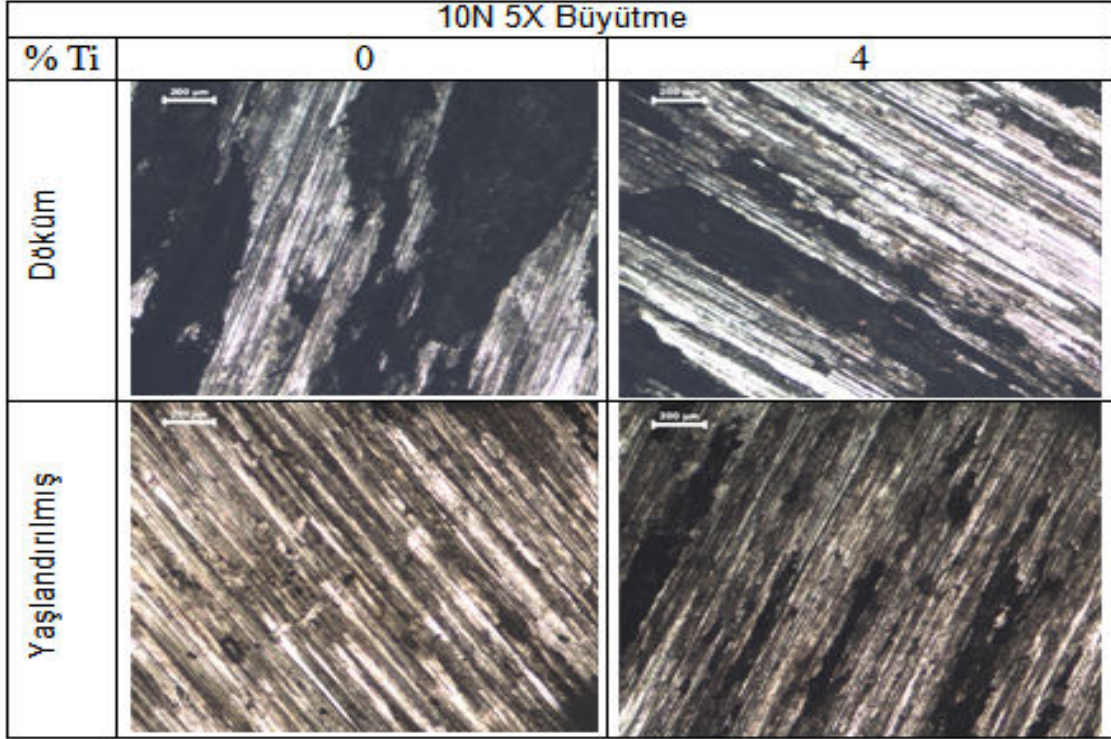


Şekil 7.7. 10 N yük altında atmosfer ortamında ağırlık kaybı.

Şekil 7.8’de verilen mikroyapıda kuru aşınmış yüzeylerde döküm halinde çizikler aşınma ürünlerinden dolayı derin ve sürekli, oyuklar daha belirgindir. Yaşlandırılmış halde ise sertlik artışlarından dolayı döküm haline göre çizikler daha incedir. Dolayısıyla yaşlandırılmış halde sertlik artışıyla ağırlık kaybı azalmıştır (Şekil 7.7). Ti içeriğinin artmasıyla döküm halinde kaybın artması küresel ve iğnesel haldeki



Al<sub>3</sub>Ti fazlarının aşınma ürünleriyle kalkarak ağırlık kaybına sebep olmasından kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 7.8)

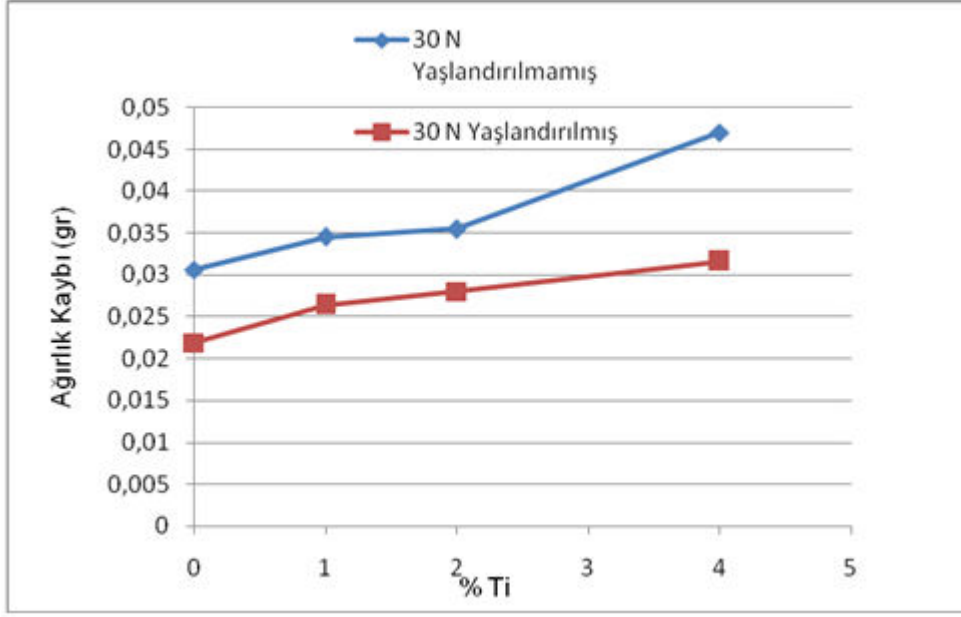


Şekil 7.8. 10 N yük altında aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.

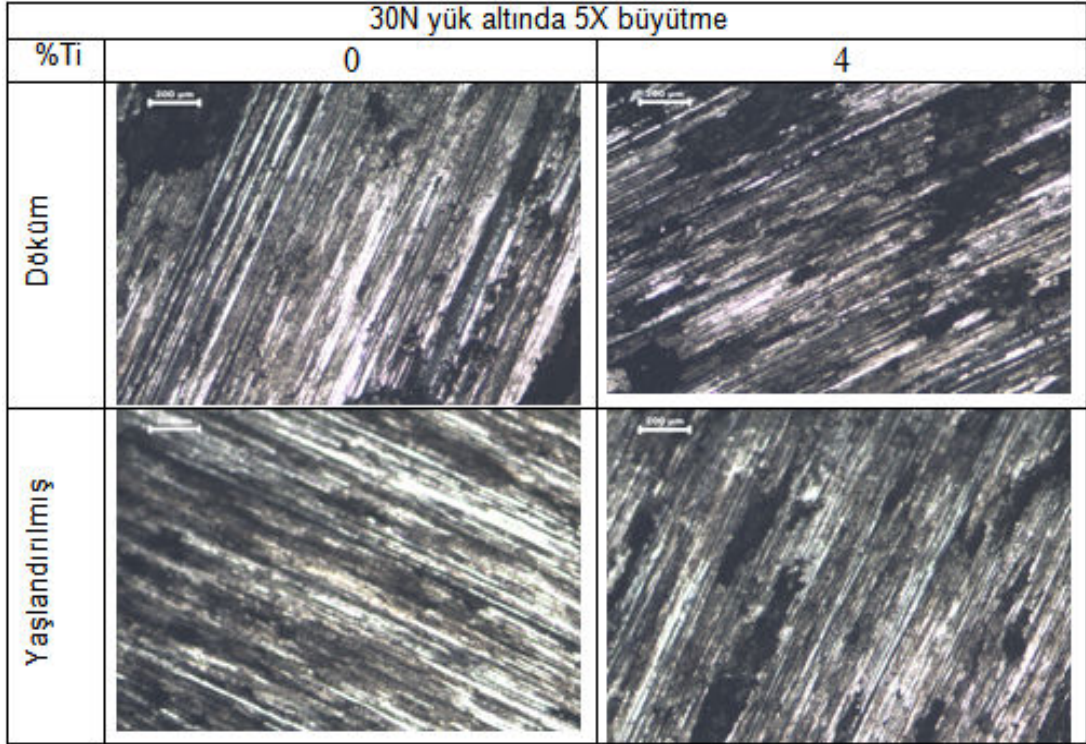
Çizelge 7.2 ve Şekil 7.9 görüldüğü gibi yüksek yüklerde (30 N) aşındırılan yaşlandırılmış numunelerin ağırlık kayıpları döküm numunelere göre nispeten azalmıştır. Alaşım elementi miktarı arttıkça ağırlık kaybı da artmıştır. Aşınma deneyleri sırasında yükün artması ile ağırlık kaybı da artmıştır.

Çizelge 7.2. Numunelerin 30 N yük altındaki ağırlık kaybı.

Atmosfer ortamı		
% Ti	Döküm	Yaşlandırılmış
0	0,030	0,021
1	0,034	0,026
2	0,035	0,028
4	0,047	0,031



Şekil 7.9. İncelenen numunelerin 30 N yük altındaki ağırlık kayıpları.



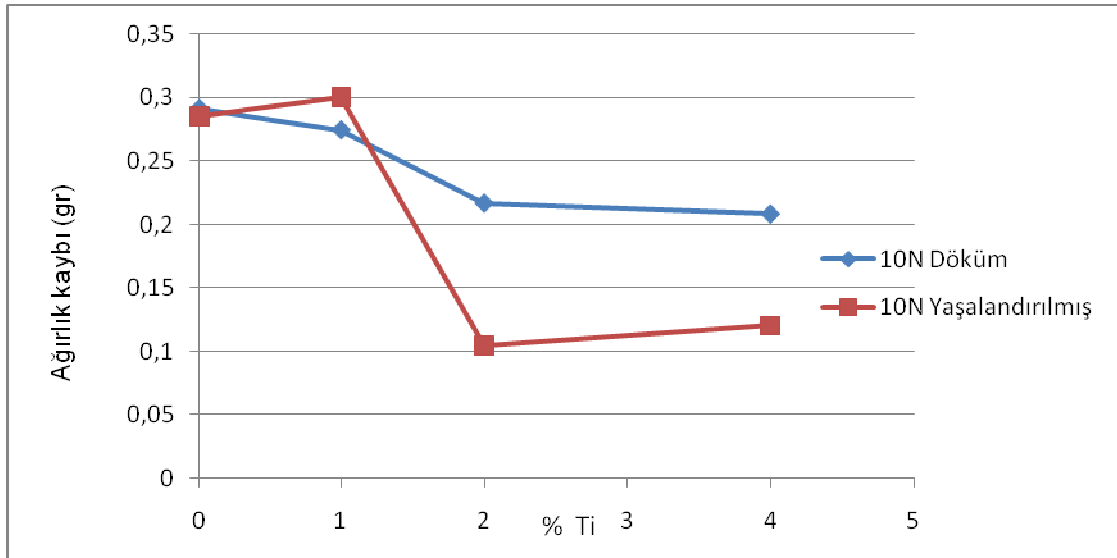
Şekil 7.10. İncelenen numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri.

% 3,5 NaCl çözeltisi içinde 10 N yük altında gerçekleştirilen korozif aşınma sonuçları Ti içeriğine bağlı olarak Çizelge 7.3'de ve Şekil 7.11'de verilmiştir.

İncelenen numunelerde Ti içeriği ile ağırlık kaybı azalırken yaşlandırılmış numunelerde daha belirgin ağırlık kaybı azalması gözlenmiştir. Döküm halindeki Al-% 4 Ti alaşımın korozif aşınma kaybının, yaşlandırılmış haldeki alaşımın korozif aşınma kaybından daha yüksek olması, Yaşlandırılmamış Al-% 4 Ti alaşımın sertliğinin yaşlandırılmış Al-% 4 Ti alaşımından daha düşük olmasına dayandırılabilir (Şekil 7.11). Ayrıca incelenen tüm alaşımların korozif aşınma direnci alaşımın Ti içeriğinin artması ile artmıştır. Bu, alaşımın Ti içeriğinin artması ile sertliğin artışına dayandırılabilir.

Çizelge 7.3. 10 N yük altında korozif ortamda ağırlık kaybı.

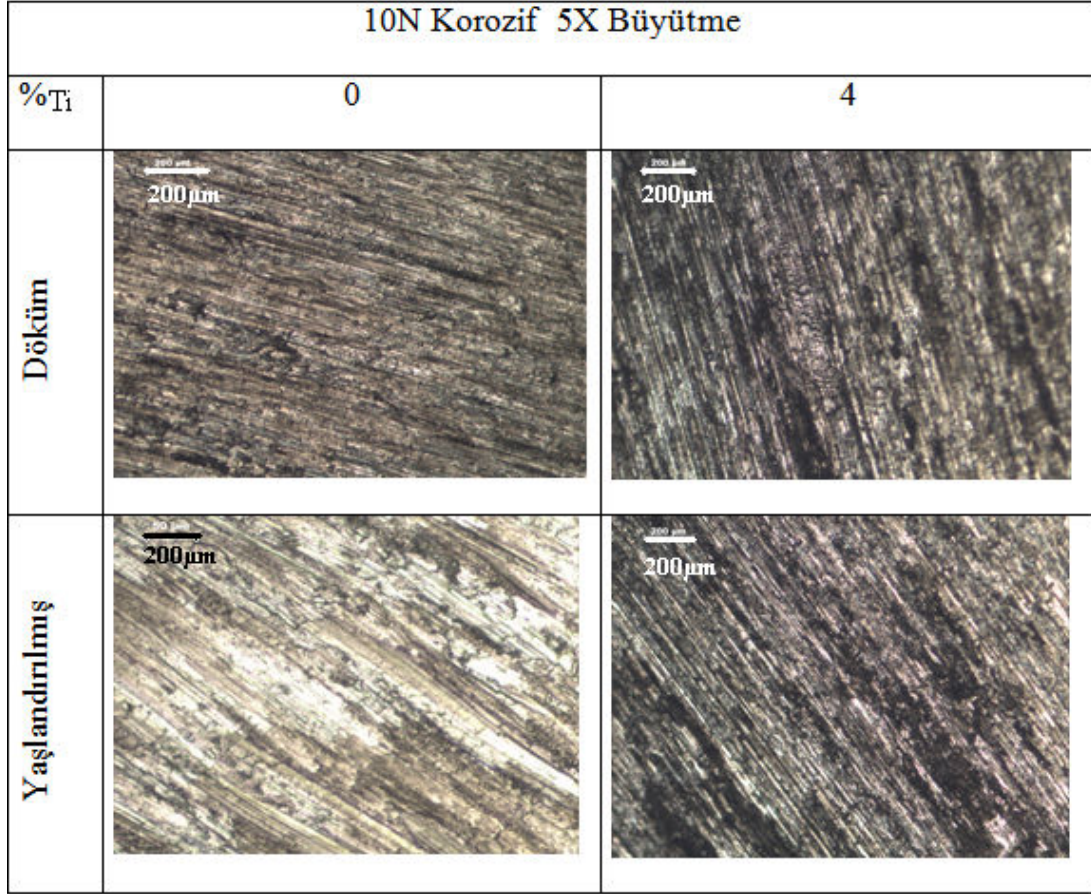
Korozyon		
%Ti	Yaşlandırılmamış	Yaşlandırılmış
0	0,291	0,284
1	0,274	0,339
2	0,063	0,104
4	0,208	0,139



Şekil 7.11. İncelenen numunelerin % 3,5 NaCl çözelti ortamında 10 N yük altındaki ağırlık kayıpları.

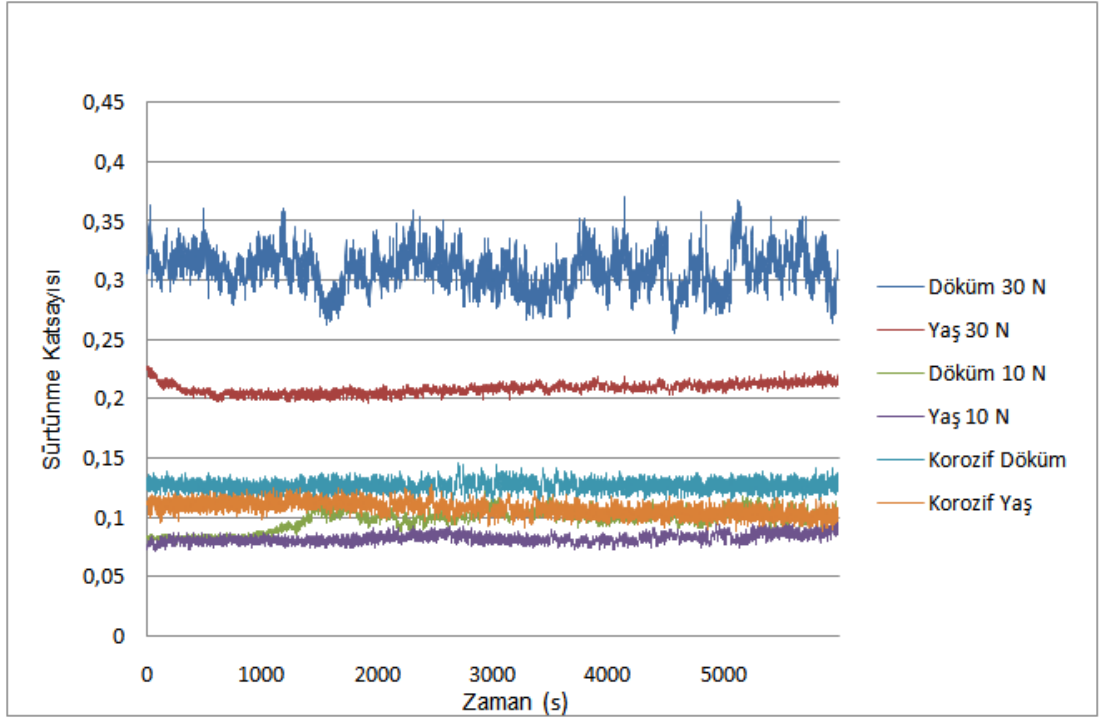
10 N yük altında korozif ortamda aşınmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.12' de verilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemiyle sertliğin artması ve suyun etkisi ile ağırlık kaybı kuru ortam aşınmasına göre azalmıştır. Yaşlandırma uygulanmamış halde, korozif ortamda kuru aşınmaya göre azalma görülmüştür. Şekil 7.12'de

korozif ortamda (% 0-% 4 Ti) yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numunelerin aşınma yüzeyleri görülmektedir.



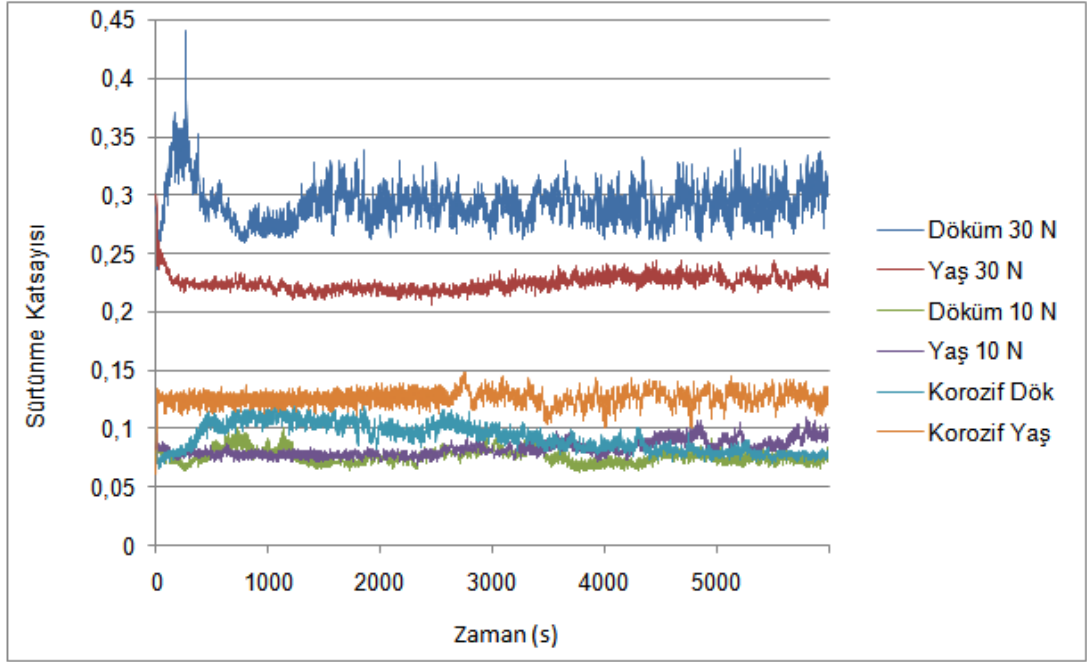
Şekil 7.12. 10 N yük altında korozif ortamda aşınmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri.

İncelenen numunelerin sürtünme katsayıları–zaman grafikleri Şekil 7.13, 7.14, 7.15 ve 7.16’da verilmiştir. 10 N yük altında korozif ortamda sürtünme katsayısı düşerken ağırlık kaybı artmaktadır. Yaşlandırılmamış numunelerin ağırlık kayıpları yaşlandırılmış numunelere göre nispeten yüksektir. Yaşlandırılmış numunelerin Ti içeriği ile korozyon kaybı artmıştır. Bunun sebebi yaşlandırma sırasında oluşan çökeltilerin korozyon için spot bölgeler oluşturarak korozyonu geliştirmesi gösterilebilir.



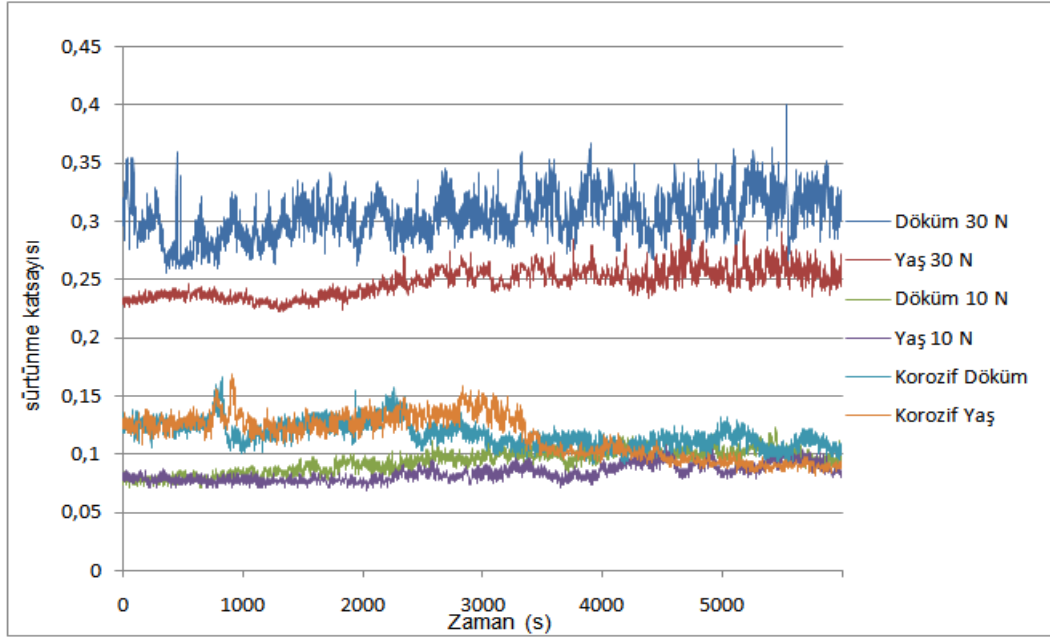
Şekil 7.13. % 0 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ortam ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları-zaman grafiği.

Titanyum % 0 iken malzemelerde sürtünme katsayıları Şekil 7.13 görüldüğü gibidir. Burada yaşlandırılmış malzemelerde sürtünme katsayıları düşmüş; özellikle 30 N altında sürtünme katsayısının bariz bir şekilde düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni yaşlandırma ısıl işleminin numunede sertlik meydana getirdiğinden dolayı malzemenin aşınma direncini artırıyor, bunda sürtünme katsayısını düşürdüğü bariz bir şekilde görülmektedir. Şekilde 7.13 “korozif Yaşlandırılmamış” ve “korozif yaş” diye yazılı numuneler 10 N altında teste tabi tutulmuştur. Burada da görüldüğü gibi korozif ortamda dahi yaşlandırılmış numunenin aşınma katsayısı düşmüştür buda yaşlandırmanın hem farklı yükler altında hem de korozif ortamda dahi olsa sürtünme katsayısını düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 7.14. % 1 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ortam ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları-zaman grafiği.

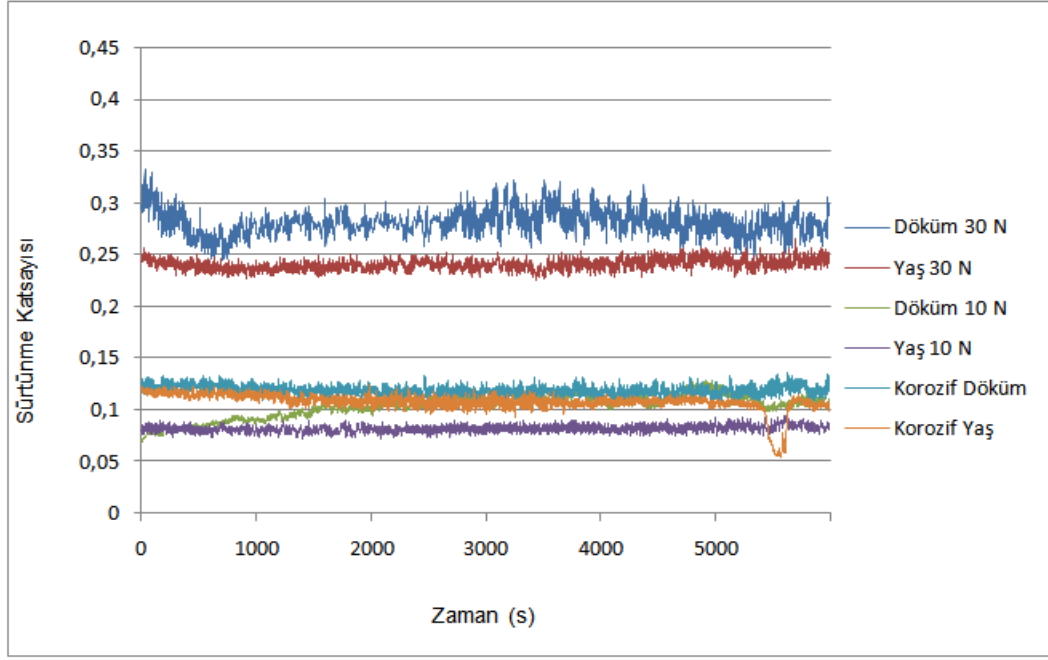
Titanyum oranı % 1 iken numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği Şekil 7.14.'te görülmektedir. 30 N yük altında yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış döküm arasındaki sürtünme katsayısı arasında gözle görülür bir fark vardır. Bu fark yük 10 N'a düşüncü hem yaşlandırma yapılmış ve yapılmamış numunelerde kuru ve korozif ortamda azalmaktadır. Ti içeriğinin % 0 dan (şekil 7.13) % 1 (şekil 7.14) artmasıyla sürtünme katsayısı yükselmiştir. Fakat yaşlandırılmış numuneler yaşlandırılmamış döküm numunelere göre daha düşüktür. Burdaki fark yük arttıkça daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Korozif ortamlarda 10 N altında yaşlandırılmamış döküm ve yaşlandırılmış döküm numunelerde de yaşlandırılmış numunelerin sürtünme katsayısı nispeten daha düşüktür. Yaşlandırma ısıl işleminin aşınmaya karşı direncini artırdığı, sürtünme katsayısını düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 7.15. % 2 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ortam ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları-zaman grafiği.

Titanyum oranı % 2 olan numunelerin sürtünme katsayısı – zaman grafiği Şekil 7.15.'de verildiği gibi yaşlandırma işlemi ile yaşlandırılmamış döküm ve yaşlandırılmış döküm numuneler arasındaki sürtünme katsayısı farkı azalmıştır. Ti içeriğinin artmasının buna sebep olduğu söylenebilir. 10 N yük altında kuru ve korozif ortamda yaşlandırma işlemiyle sürtünme katsayısı hemen, hemen değişmemiştir. Sürtünme katsayısı farklarına yaşlandırma ısıl işleminin etkisi yük arttıkça daha da belirginleşmiştir.

Şekil 7.13, 7.14, 7.15 ve 7.16'dan da anlaşılacağı gibi Ti içeriğinin artmasıyla yaşlandırılmamış döküm numuneler ve yaşlandırılmış döküm numuneler arasındaki sürtünme katsayısı farkı azalmaktadır. Fakat Ti içeriği artıkça özellikle yaşlandırılmamış numunelerde sürtünme katsayılarında düşüş gözlenmektedir.



Şekil 7.16. % 4 Ti içeren yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin kuru ortam ve korozif ortamdaki sürtünme katsayıları-zaman grafiği.

Titanyum içeriği % 4 olan numunelerin; % 0, % 1 ve % 2 içerikli numunelere oranla sürtünme katsayısı düşmüştür. Fakat yaşlandırma ısıl işleminin etkisi azalmıştır. Farklı yük ve ortamlarda sürtünme katsayıları arasındaki fark yok gibidir. Kuru ortamda ve de çözelti içinde aşındırmaya maruz kalan % 4 Ti içeren Yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelerin zamanla sürtünme katsayılarının değişimi Şekil 7.16.'de verilmiştir. Sürtünme katsayısı-zaman grafiğinden sürtünme katsayısı verilerinin kararlı duruma girdiği bölgenin ortalaması Çizelge 7.4' te bir araya getirilmiştir. Çizelge 7.4'den yararlanılarak alaşımın Ti içeriği ile ortalama sürtünme katsayısının değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 7.17.).

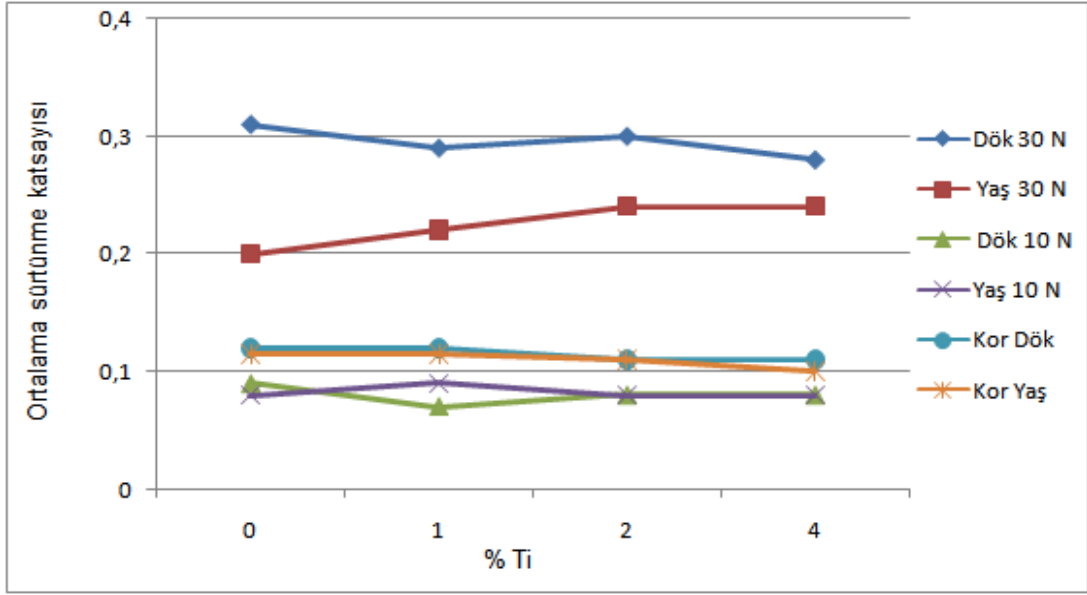
Ayrıca 30 N yük altında aşındırılan Yaşlandırılmamış halindeki tüm alaşımların sürtünme katsayısının saçılım göstermesi, Yaşlandırılmamış alaşımların ağırlık kaybının yüksek olması ve açığa çıkan aşınma ürünlerinin; çözelti ortamında ise korozyonun etkisine dayandırılabilir.



Çizelge 7.4. Yaşlandırmanın farklı yük ve ortamlarda sürtünme katsayısı değerlerine etkisi.

% Ti	30 N yük altında sürtünme katsayısı değerleri		10 N yük altında sürtünme katsayısı değerleri			
	Yaşlandırılmamış Döküm	Yaşlandırılmış Döküm	Yaşlandırılmamış Döküm	Yaşlandırılmış Döküm	Korozif Döküm	Korozif Yaşlandırılmış Döküm
0	0,2723	0,2114	0,0985	0,0852	0,1276	0,1073
1	0,2932	0,2270	0,0724	0,0891	0,1270	0,1281
2	0,3019	0,2457	0,0945	0,0846	0,1184	0,1111
4	0,2717	0,2405	0,1034	0,0829	0,1192	0,1076

Çizelge 7.4'den anlaşıldığı üzere yaşlandırma ısıl işlemiyle farklı yük ve ortamlarda sürtünme katsayıları düşmüştür. Bunun nedeni yaşlandırma işlemiyle sertlik değerlerinin artması olabilir. Yaşlandırılmamış döküm numunelerde Ti içeriği % 1 ve % 2'ye arttıkça sürtünme katsayıları artmış % 4 içerikte ise sürtünme katsayısı düşmüştür. % 0'dan % 4'e içerik olarak yükselince sürtünme katsayısı düşmektedir. Sürtünme katsayıları arasındaki fark yaşlandırılmış numunelerde azalmaktadır. 10 N yük altında kuru ortama göre korozif ortamda sürtünme katsayıları artmaktadır. Buna aşınma ve korozyon ürünlerinin sebep olduğu söylenebilir.



Şekil 7.17. İncelenen numunelerin 10 N ve 30 N altında kuru ortamda ve 10 N altında korozif ortamda sürtünme katsayıları ortalamaları.

Şekil 7.17’de İncelenen alaşımlara uygulanan yaşlandırma ısıl işlemiyle sürtünme katsayısı azalmıştır. Sertliğin artması sürtünme katsayısını düşürmüştür; yük arttıkça sürtünme katsayısı artmıştır. Yüksek yüklerde yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış alaşımların sürtünme katsayıları arasında fark belirgin iken düşük yüklerde sürtünme katsayıları üst üste çakışmış durumdadır. Bu sonuçlar ağırlık kaybı verilerini desteklemektedir; düşük yüklerde yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış alaşımların ağırlık kayıpları arasında hemen, hemen belirgin bir fark bulunmamaktadır. Bu durumda Ti içeriğinin artmasıyla yaşlandırma ısıl işleminin etkisinin yüksek yüklerde daha belirgin olduğu söylenebilir.

## BÖLÜM 8

### GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 8.1. GENEL SONUÇLAR

- a. Yaşlandırma işlemiyle Al-4Ti alaşımında 32 saat sonunda yaklaşık 2 kat sertlik artışı elde edilmiştir.
- b. Sertlik artışı aşınmaya karşı direnci artırmış; dolayısıyla döküm haline göre aşınma ağırlık kaybını azaltmıştır.
- c. Korozif aşınmada döküm haline göre yaşlandırılmış numunelerde yüksek titanyum oranlarında (% 2, % 4 Ti) ağırlık kaybında gözle görünür oranda düşüş gözlenmiştir.
- d. 10N ve 30N yük altında yaşlandırılmış numuneler döküm numunelere oranla sürtünme katsayıları daha düşük olarak gözlenmiştir.
- e. Yük arttıkça yaşlandırılmamış döküm ve yaşlandırılmış döküm arasındaki sürtünme katsayısı farkları belirginleşmiştir.
- f. Ti içeriğinin artması yüksek yüklerde; hem yaşlandırılmamış hem de yaşlandırılmış dökümlerde sürtünme katsayısının düşmesinde daha etkili olmuştur.

## 8.2. ÖNERİLER

- a. Aşınma deneyi için daha düşük ve daha yüksek yükler kullanılabilir.
- b. Ortam olarak saf su ortamı aynı yükler ve farklı yükler için denenebilir.
- c. Korozyon deneyleri potansiyostatik yöntemle yapılabilir.
- d. Farklı alaşımlandırmalar yapılabilir.
- e. Çekme deneyleri yapılabilir.
- f. Darbe çentik deneyi yapılabilir.
- g. Aşındırma mesafesi uzatılabilir.
- h. Karşı disk olarak farklı malzemeler kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Soydan, Y. ve Ulukan, L. “Triboloji”, 1. Basım, *TAGEM- Teknolojik Yayınları*, Sakarya, 299 (2003).
2. Totik, Y. Sadeler, R. Kaymaz, I. and Gavgali, M. “The Effect of Homogenisation treatment on Cold Deformations of AA 2014 and AA 6063 Alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 60-64. (2004).
3. Man, H. C., Zhang, S. and Cheng, F. T, “Improving the wear resistance of AA6061 by laser surface alloying with NiTi”, *Materials Letters*, 61: 4058-4061 (2007).
4. Çiftçi, İ. “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. (2003).
5. Sun, Y, Baydoğan, M. and Çimeoğlu, H. “The Effect of Deformation Before Ageing on the Wear Resistance of an Aluminium Alloy”. *Wear*, 236: 144-152. (1999).
6. Aydın, B. “AA2014 Alaşımında Yaslandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin incelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129 (2002).
7. Kaçar, H. Atik, E. and Meriç, C. “The Effect of Precipitation-Hardening Conditions on Wear Behaviours at 2024 Aluminium Wrought Alloy”, *Wear*, 236: 144-152 (2003).
8. Turhan, S. “Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 64 (2002).
9. Sun, Y. “Yüksek Krom ve Nikelli Çeliklerin Aşınma Davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 93 (2004).
10. Kayalı, E. S. “Aşınma ve aşınma hasarları”, *Metalurji Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara (1987).
11. Cöcen, Ü. Belevi, M. ve Önel, K. “Tane silisyum karbür katkılı alüminyum alaşımı bazlı kompozitlerin aşınma davranışı”, *7. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye (1997).

12. İpek, R. “AISI 1020 Çeliğinin, Yüzey Sertleştirme işlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanabilirliğinin Deneysel Araştırılması”, Doktora Tezi, *E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 227 (1992).
13. Odabaş, D. “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 (1991).
14. Pigors, O. “Abrasive Verschleibverhalten von Stählen bei Gleit- und Wölbewegungen. *Schmierungstechnik*, 10 (1979).
15. Gültaş, A. M. “Aşınma Deneysel Aparatının Tasarımı, Üretimi ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak incelenmesi”. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 90 (1998).
16. Armatlı, M. K. “Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri”, *Gazi Üniversitesi Merkez Kütüphanesi* (1999).
17. Chen, Y. And Williams, J. S. “Hydriding Reactions Induced by Ball Milling”, *Material Science Forum*, 225-227: 881-888 (1996).
18. Roberts, S. “Wear, Surface Engineering”, 1-23 (2002).
19. Çetin, M., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 103-106 (2005).
20. Kurtçu, A. “C SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Aşınma Davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (1995).
21. Özdin, K. “Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19–21 (2006).
22. Mutlu, H. “Al-SiC Kompozitlerin Termomekanik İşlem Sonrası Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (1996).
23. Sun, Y. “Yüksek Krom ve Nikelli Çeliklerin Aşınma Davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 93 (2004).
24. İzçiler, M. ve Öcal, İ. “Yüzey Topografyasına Bağlı Olarak Aşınmanın Ölçümü”, *I. Demir-Çelik Sempozyumu Bildirileri*, Ereğli / Zonguldak 93, (2001).
25. Doruk, M., “Korozyon ve Önlenmesi”, *ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayını*, Ankara, (1982).

26. Uneri, S., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Korozyon derneği yayını*, Ankara, 75–96 (1998).
27. Brune, D., “Corrosion of Amalgams”, *Scand J Dent Res*, 89: 506–514 (1981).
28. Brune, D., “A Model for Recording Mercury Release From an Amalgam Surface”, *Biomaterials*, 6: 357–359 (1985).
29. Brune, D., Hensten-Pettersen A. and Beltsbrekke, H. , “Exposure to Mercury and Silver During Removal Of Amalgam Restorations”, *Scand J Dent Res*, 88: 460–463 (1980).
30. Hero, H., Brune, D., Jorgensen R.B. and Evje, D.M. , “Surface Degradation Of Amalgams İn Vivo During Static and Cyclic Loading ”, *Scand J'Dent Res*, 91: 488–495 (1983).
33. Çakır, A.F. “İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Dersi, 2002 yılı ders notları”, İstanbul, (2002).
34. Kaya, H. ve Çetin, O., “Al-Mg-Si Alaşımlarının Tuzlu Su Ortamında Korozyonu”, **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi**, Lisans Tezi, Karabük, 12–22 (2003).
35. Kurt, R. “Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi İle Üretilmiş Titanyumun Yapay Tükürük Ortamında Korozyon Davranışının İncelenmesi”, **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi**, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 18-33 (2008).
36. Uneri, S., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Korozyon derneği yayını*, Ankara, 75–96 (1998).
36. Yalcın, H. ve Koç, T., “Demir Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Korunması”, *İller Bankası Yayını.*, Ankara, 47 (1991).
38. Doruk, M., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 50–150 (1993).
39. Bloyce, A. Qi, P.Y., Dong, H. and Bell, T. , “Surface Modification Of Titanium Alloys For Combined Improvements İn Corrosion And Wear Resistance”, *Surface and Coatings Technology Res*, 107: 125–132 (1998).
40. Acciari, H. A., Codaro, E. N., and Guastaldi, A. C., “A comparative study of the corrosion of high copper dental amalgams ”, *Materials Letters*, 3: 148–151 (1998).
41. Gülec, Ş. ve Aran, A., “Malzeme Bilgisi”, *MBEAE Matbaası*, Gebze, (1): 45–60 (1988).
42. Sur, G., “Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretim ve İşlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 3-42 (2002).

43. Doğan, M., “Alüminyumların Isıl işlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 54 (1989).
44. Bülbül, Ş., “Yüksek Alaşımli Çeliklerin % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve % 10 HCl çözeltileri İçerisindeki Korozyon Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *K.B.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Karabük 89 (2009).
45. Sarıtaş, S., “Engineering Metallurgy and Materials”, *Gazi Üniversitesi*, 510 (1995).
46. Su, S., “2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Almada Sıcaklık ve Sürenin Yaslanma Sonrası Özelliklere Etkileri”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 83 (1988).
47. Çimenoğlu, H., ve Kayalı, E. S., “Malzemelerin mekanik özellikleri”, *İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak* (1989).
48. Ersümer, A., “Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri”, *İ.T.Ü. Yayını*, 43 (1960).
49. Callister, W. D., “Jr Materials Science and Engineering: An Introduction”, 6th. edn, *Wiley publishing*, 848 (2002).
50. Karakışlak, M., “Alüminyum Alaşımları ve Isıl işlemi”, *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 60 (1978).
51. MMO “Alüminyum Isıl işlemi”, *Metalurji Müh. Odası Yayınları*, Ankara (1978).
52. Erdoğan, M., “Al-Li-Cu-Mg Alaşımlarında Yaslandırma Mekanizması ve Isıl işlemi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 140 (1996).
53. Askeland, “The Science and Engineering of Materials”, 3rd. edn, *Wadsworth Publishing Company*, 812 (1994).
54. Öz, Ö., “Yaşlandırma Isıl işleminin 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 (2007).
55. Brooks, C. R., “Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys”, *ASM International The Materials Information Society*, Ohio, USA, 95–114 (1982).
56. Gavgali, M., Totik, Y., and Sadeler, R., “The Effect of Artificial Aging on Wear Properties of AA 6063 Alloy”, *Materials Letters*, 57: 3713-3721 (2003).
57. Siddiqui, R. A., and Abdullah, H. A., “Influence of Aging Parametres on the Mechanical Properties of 6063 Aluminium Alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 102: 234-240 (2000).



58. Meyveci, A., “Yaşlandırılmış 2xxx ve 6xxx serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi K.B.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük,87 (2007).
59. İnternet, [http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Diag\\_phase\\_AlCu.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Diag_phase_AlCu.svg), (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa TEKİN 05.06.1982’de Konya ili Hadim ilçesi Dedemli kasabasında doğdu. İlköğrenimini Dedemli ilköğretim okulunda, lise öğrenimini Hadim Endüstri Meslek Lisesi Elektronik bölümünde bitirdi.

2002 yılında Z.K.Ü. Karabük Teknik eğitim Fakültesi Metal Anabilim Dalı Metal Öğretmenliğini kazandı. 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Anabilim dalında yüksek lisansa başladı halen devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Karabük Üniversitesi Metal Eğitim A.B.D.

Tel:

Mail: [mtafatkn@hotmail.com](mailto:mtafatkn@hotmail.com)