

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Alüminyum Esaslı Al-25Zn-1Mg Alaşımının Tribolojik
Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi**

Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADİ

**Danışman
Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



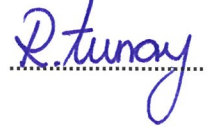
© 2017 [Hayder AL-SADI]

TEZ ONAYI

Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADI tarafından hazırlanan "**Alüminyum Esaslı Al-25Zn-1Mg Alaşımının Tribolojik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

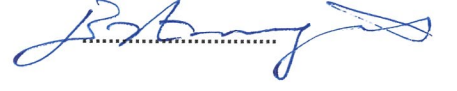
Danışman

Doç.Dr. Recai Fatih TUNAY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ertuğrul DURAK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd.Doç.Dr. Kenan TÜFEKÇİ
Uludağ Üniversitesi



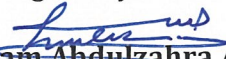
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

AKADAMIK GÖRÜŞLERİ

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.


Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Alüminyum.....	2
1.2. Alüminyumun Genel Özellikleri.....	4
1.3. Alüminyumun Mekanik Özellikleri.....	5
1.4. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri.....	6
1.5. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri.....	6
1.6. Alüminyumun Sınıflandırılması.....	7
1.6.1. Alüminyum 1xxx Serisi.....	9
1.6.2. Alüminyum 2xxx Serisi.....	9
1.6.3. Alüminyum 3xxx Serisi.....	10
1.6.4. Alüminyum 4xxx Serisi.....	10
1.6.5. Alüminyum 5xxx Serisi.....	10
1.6.6. Alüminyum 6xxx Serisi.....	11
1.6.7. Alüminyum 7xxx Serisi.....	11
1.7. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi.....	12
1.8. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemleri.....	13
1.8.1. Isıl işlem.....	13
1.8.1.1. Tavlama.....	15
1.8.1.2. Solüsyona Alma	16
1.8.1.3. Su Verme İşlemi.....	17
1.8.1.4. Yaşlandırma İşlemi.....	17
1.9. Triboloji.....	19
1.9.1. Sürtünme.....	20
1.9.1.1. Kuru sürtünme.....	23
1.9.1.2. Sınır Sürtünme.....	23
1.9.1.3. Sıvı sürtünme.....	23
1.9.2. Yağlama.....	24
1.9.3. Aşınma.....	24
1.9.3.1. Adhezyon aşınması	25
1.9.3.2. Abrasyon aşınması.....	26
1.9.3.3. Yorulma aşınması (pitting).....	26
1.9.3.4. Mekanik korozyon aşınması	27
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Deney Malzemesi.....	34
3.2. Yapay Yaşlandırma İşlemi	35
3.2.1 Solüsyona Alma İşlemi	35
3.3. Sertlik Ölçme	36
3.4. Mikroyapı İncelemeleri.....	37

3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	37
3.6. Triboloji Çalışmaları.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
4.1. Sertlik Değerleri	40
4.2. Optik Metalografi Çalışmaları	41
4.3. Sürtünme Katsayısı Sonuçları.....	42
4.4. Aşınma Değerleri	49
4.5. Genel Değerlendirme.....	50
4.6. Metalografik İncelemeler	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	63



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM ESASLI Al-25Zn-1Mg ALAŞIMININ TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADI

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Abilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY

Bu çalışmada, Alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımının tribolojik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, ticari olarak döküm yoluyla Al-25Zn-1Mg alaşımı üretilmiştir. Dökülen alüminyum alaşımından freze tezgâhında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler işlemsiz, solüsyona alma, 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yapay yaşlandırma işlemleri için yedi farklı gruba ayrılmıştır. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numuneler 5N ve 10N yük altında, 200d/d, 400d/d ve 800d/d hızlarda, 500m kat etme mesafesinde kuru sürtünme şartlarında tribolojik deneylere tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda tüm numunelerde yaşlandırma işlemine bağlı olarak sertlik miktarlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deney hızı sabit tutulduğunda, yükün artmasıyla sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme katsayısı, tribolojik özellikler, aşınma, alüminyum esaslı yatak malzemeleri, Al-25Zn-1Mg.

2017, 63 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINUM BASED Al-25Zn-1Mg ALLOYS

Hayder Isam Abdulzahra AL-SAAD

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recai Fatih TUNAY

In this thesis the tribological properties of Aluminum based Al-25Zn-1Mg alloy was experimentally investigated. For this purpose Al-25Zn-1Mg commercially produced by casting alloy. Specimens were made from the cast alloy by milling machine. The prepared samples were divided into seven different groups for no process, solution treatment, artificial aging with 1 hour, 3 hours, 6 hours, 12 hours and 24 hours. Aged and untreated samples were subjected to tribological experiments under conditions of dry friction under 5N and 10N loads at speed of 200rpm, 400rpm and 800rpm for distance of 500m.

As a result of the tests carried out, it was found that the hardness increases in all samples depending on the aging process. It was also found that when the test speed was kept constant, the coefficient of friction increased with increasing load.

Keywords: Friction coefficient, tribological properties, wear, aluminum based bearing materials, Al-25Zn-1Mg.

2017, 63 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada kullanılan alüminyum alaşımları, danışman hocam Doç.Dr. Recai Fatih TUNAY tarafından yürütülen 3859-M-14 nolu münferit proje aracılığıyla temin edilmiştir. Gerek danışman hocama gerekse Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında kullanmış olduğum kimyasal çözeltilerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal Biyolojik Kazanım Laboratuvarı sorumlusu Prof.Dr. Ata Utku AKÇİL Hocama teşekkür etmeyi borç bilirim.

Her konuda sabırla yardımcı olan sevgili eşime ve aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADİ
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Alüminyum değer zinciri.....	3
Şekil 1.2. Al-Cu faz diyagramı ve Al %4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi su verme ve çökeltme sertleşmesi saf halarında mikroyapı değişimleri.....	18
Şekil 1.3. Temasta olan malzemelere uygulanan kuvvetler.....	20
Şekil 1.4. Stribeck eğrisi ve yağlama bölgeleri	22
Şekil 3.1. Dökülen malzeme ve hazırlanan numune örneği	34
Şekil 3.2. Isıl işlem fırını	35
Şekil 3.3. Zımparalama cihazı	36
Şekil 3.4. Mikroyapı fotoğrafları için kullanılan optik mikroskop	37
Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	38
Şekil 3.6. Elektronik hassas terazi	39
Şekil 3.7. Aşınma deney düzeneği	39
Şekil 4.1. Numunelerin sertlik değerleri.....	41
Şekil 4.2. Numunelerin optik mikroskop görüntüsü (a) İşlem görmemiş, (b) solüsyona alınmış.....	42
Şekil 4.3. 5N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi	43
Şekil 4.4. 5N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi	44
Şekil 4.5. 5N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi	45
Şekil 4.6. 10N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi	46
Şekil 4.7. 5N yük ve 10N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi.....	47
Şekil 4.8. 10N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi	48
Şekil 4.9. 5N yük altında yapılan deneylerde elde edilen aşınma miktarları	49
Şekil 4.10. 10N yük altında yapılan deneylerde elde edilen aşınma miktarları	50
Şekil 4.11. 10N yük ve 400d/d da test edilen solüsyona alınmış numuneninyüzey fotoğrafı.....	52
Şekil 4.12. 10N yük ve 400d/d da test edilen 180°C'da 12 saat yaşlandırılmış numunenin yüzey fotoğrafı	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Alüminyumun özellikleri	2
Çizelge 1.2. Dövme alüminyum alaşımlarının gösterilmesi	8
Çizelge 1.3. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.....	9
Çizelge 1.4. Alüminyum alaşımı üzerine alaşım elementlerinin etkisi.....	12
Çizelge 1.5. Alüminyum alaşımlarının yaşlanma uygunluğu	13
Çizelge 1.6. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması	14



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Temas yüzey alanı
A_h	Aşınma alanı
F	Uygulanan kuvvet
F_N	Normal kuvvet
F_s	Sürtünme kuvveti
h	Malzeme sertliği
k	Aşınma katsayısı
p	Ortalama yüzey basıncı
p_{em}	Emniyet yüzey basıncı
s	Kayma mesafesi
V	Kaybolan hacim
V_h	Aşınma hacmi
v	Kayma hızı
μ	Sürtünme katsayısı

1.GİRİŞ

Metaller, medeniyetin gelişmesinde önemli görev yapmaktadır. Bu gelişme sürecinde, çelikten sonra alüminyum kadar önemli rol oynayan az sayıda metal bulunmaktadır. Alüminyum; günümüzde, kendine has özellikleri ile çok eski çağlardan beri bilinen, ağaç, bakır, demir ve çelik gibi birçok malzemeden daha önem kazanmış bulunmaktadır.

Dünyada üretim ve kullanım açısından demir çelikle zirveyi paylaşan alüminyum, yıllık ortalama 22 milyon ton olarak üretilmektedir. Meydana gelen katma değer açısından ise 150 milyon ton çeliğe eşdeğerdir (Demirci, 2012).

Alüminyum, esnek, çok yönlü ve yeniden değerlendirilebilme yeteneğinden ötürü enerji tüketen değil, enerji depolayan bir metaldir. Bu özellikleri işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği ile kombine edildiğinde bugün ve gelecek için birçok ürünün alüminyum metalinden ve alüminyum alaşımlarından üretilmesi mümkündür. Alüminyum alaşımları uzay, uçak ve egemicilik sanayileri için de vazgeçilmez malzemelerdir. Bununla beraber, düşük montaj ve bakım maliyeti ve yüksek atmosferik korozyon direnci ile beraber hafifliği, inşaat sektöründe alüminyum çok cazip bir malzeme yapmaktadır.

Alüminyum, en bol bulunan madendir; bunun yerkabuğunun yaklaşık % 8'i olduğu tahmin edilmektedir (Sverdlin, 2003). Aynı zamanda nispeten yeni bir endüstriyel madendir ve ticari miktarlarda sadece 100 yıldan fazla bir süredir üretilmektedir. 1886 yılına kadar alüminyum üretmek pahalıydı. Ancak 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall isimli bir öğrenci tarafından alüminadan alüminyum üreten ucuz bir yöntem icat etmiş ve 1kg Alüminyum üretim fiyatı 20\$'dan 1\$'a düşmüştür (Newton ve Baker, 2006).

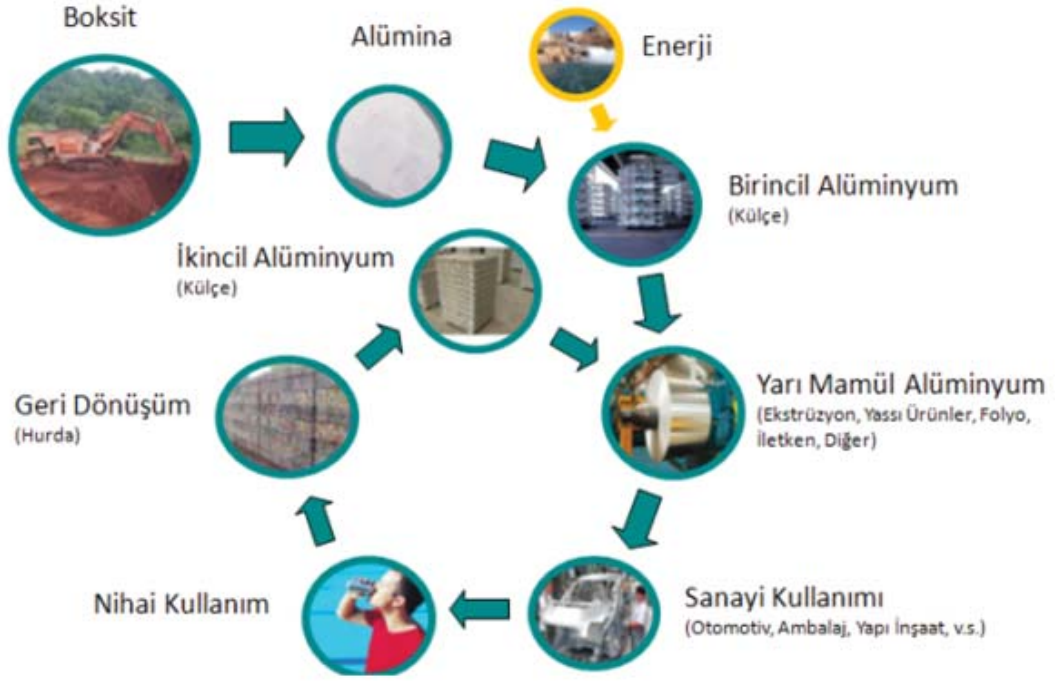
Alüminyumun tipik özellikleri Çizelge 1.1' de verilmiştir (Askeland ve Fuly,2010).

Çizelge 1.1. Alüminyumun özellikleri (Askeland ve Fulay, 2010)

Özellik	Değer
Atom Sayısı	13
Atom Ağırlığı (g/mol)	26.98
Valans elektron Sayısı	3
Kristal Yapı	Yüzey Merkezli Kübik
Erime Noktası (°C)	660
Kaynama noktası (°C)	2480
20 °C'de ($\mu\Omega\text{cm}$) Elektriksel Direnç	2.69
Yoğunluk (g/cm^3)	2.6898
Elastisite Modülü (GPa)	68.3
Poisson Oranı	0.34
Çekme Mukavemeti (MPa)	572
Özgül Mukavemet (cm)	$2,17 \cdot 10^6$

1.1. Alüminyum

Alüminyum, alüminyum silikat halinde kayaçlarda, feldisplatlarda, feldispatotitlerde ve mikalarda, tunçların parçalanmasıyla teşekkül eden killi topraklarda, boksitte ve demirce zengin lateritte bulunur. En mühim alüminyum cevheri olan boksitte % 52 nispetinde alüminyum oksit bulunur. Şekil 1.1’de alüminyum değer zinciri verilmektedir.



Şekil 1.1. Alüminyum değer zinciri (Demirci, 2012)

Alüminyum iki farklı yolla elde edilebilmektedir:

-Birincil Alüminyum (Primary raw materials)

Birincil hammadde; boksit cevherlerinden Bayer işlemi ile metalurjik kalite alümina (Al_2O_3) ve alüminadan ergimiş tuz elektrolizi yöntemi ile metalik alüminyum üretim süreci sonunda elde edilen, metal saflığı % 99,0 ile % 99,8 arasında olan işlenmemiş, ham alüminyumdur. Türkiye’de birincil alüminyum üretimine 1974 yılında Seydişehir Alüminyum Tesisleri’nde başlanmıştır.

-İkincil Alüminyum (Secondary raw materials)

İkincil hammadde; İkincil kaynaklardan elde edilen yani kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemeler (eski hurda) ve çeşitli alüminyum işleme süreçlerinde oluşan işlem artıkları ve ister birincil ister ikincil alüminyumun ergitilme sırasında oluşan curufun içerdiği metalik alüminyumdur (Car, 2011).

Dünya birincil alüminyum üretimi 2010 yılında 39 milyon tona ulaşırken, ikincil alüminyum üretimi ise 20 milyon tona yaklaşmıştır. Türkiye’de ise birincil alüminyum üretimi 2010 yılında yaklaşık 60.000 tonda sabit kalırken, ikincil alüminyum üretimi 6 yıl içerisinde %150 oranında artış göstererek 150.000 tona ulaşmıştır (Demirci, 2012).

1.2. Alüminyumun Genel Özellikleri

İnsan yaşamının her alanında ve özellikle mühendislik uygulamalarında kullanım alanı bulan alüminyum en belirgin özelliği hafifliğidir. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metaldir (Altenpohl, 2002).

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı üstün özellikler sebebiyle, tüketimleri büyük bir hızla artmakta ve her geçen gün yeni kullanım alanları açılmaktadır. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olmasına karşın, yüzeyinde kolaylıkla oluşan koruyucu oksit tabakası onun yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan bu geçirimsiz, sert ve koruyucu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde arttırır. Buna bağlı olarak alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Bu nedenle, korozyona karşı oldukça hassas olan alüminyum alaşımları günümüzde saf alüminyum giydirilmesi yoluyla korozyondan korunmaktadır. Diğer yandan saf alüminyum oldukça düşük olan mukavemeti soğuk işleme arttırılabilmektedir. Bugün alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibariyle endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi halini almıştır. Saf halde yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir spektruma yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstride geniş çaplı olarak 100’ ün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır (Alper, 2003). En önemli özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Alüminyum hafiftir. Aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır.
- Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır.

- Alüminyum'un yansıtma kabiliyeti yüksektir. Gümüşü beyaz renginin bu özelliğe olan katkısı ile beraber gerek iç gerekse dış mimarî için cazibeli bir görünüme sahiptir. Alüminyumun bu güzel görünümü, anodik oksidasyon (eloksal), lâke maddeleri vs. gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir. Hatta, birçok uygulamada tabii oksit tabakası bile yeterli olur.
- Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir.
- Alüminyum özellikle talaşsız imalat süreci için elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanırlığı düşük sıcaklıklarda azalmaz. (Çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır.)
- Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm. den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir.
- Alüminyum ısı ve elektriği bakır kadar iyi iletir.
- Alüminyum'a şekil vermek için döküm, dövme, haddeme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metotlar uygulanabilir (Ayla Alüminyum, 2016).

1.3. Alüminyumun Mekanik Özellikleri

Alüminyumun elastisite modülü, çeliğin yaklaşık olarak üçte biridir. Yani alüminyumun aynı yük altındaki elastik deformasyon miktarı, çeliğinkinin üç mislidir. Bu özellik tasarım hesaplamalarında büyük önem taşımaktadır. Darbeli yüklere maruz kalınması halinde elastisite modülünün düşük olması bir avantaj sayılır, zira alüminyumun daha yüksek olan direnci çeliğe nispetle daha fazla miktarda enerjinin sönümlemesine imkân verir.

Alüminyumun esas özelliklerinden biri, alışılmış imal usullerine göre şekillenme ve işlenme kolaylığıdır. Saf metal, yumuşak ve tel haline geçme özelliğine sahip olduğundan, çekme, bükme, presleme ve kalıplama gibi muhtelif soğuk işlemlerin uygulanması ile haddelenebilmekte, çekilebilmekte ve şekillendirilebilmektedir.

Alüminyum metali, haddelenmek suretiyle kalınlığı 0,006mm olan levhalar haline getirilebilir. Böyle bir işlem sonunda 453,592g alüminyum 27,74m² lik bir alanı kaplar. Homojen yapısı, ince folyo (alüminyum kâğıt) şeklinde üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi alüminyumu ideal bir ambalaj malzemesi yapmaktadır. Bu sebepten dolayı saf alüminyum ancak levha, şerit, tel ve basılarak çekilmiş parçalar halinde kullanılır (Kılıç, 2003).

1.4. Alüminyumun Kimyasal Özellikleri

Alüminyum, kimyasal aktivitesinin yüksek olması nedeniyle saf halde bulunmamaktadır. Bu nedenle üretimi demir oksit ve alüminyum silikattan oluşan boksit cevherinden yapılmaktadır.

Havayla temas eden alüminyum yüzeyi üzerinde oluşan sabit bir oksit tabakası sebebiyle, metal ve alaşımları genellikle atmosferin koroziv etkilerine karşı büyük bir direnç göstermektedir. Alüminyum oksijene olan ilgisinden dolayı, diğer metallerin oksitlerini redükler. Bu özelliği nedeniyle toz alüminyum krom, vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri redükleyerek bu metallerin üretiminde kullanılmaktadır.

Alüminyumun kimyasal etkilere karşı göstermiş olduğu direnç hakkında aşağıdaki ifadeler belirtilebilir:

_Etkisi olmayan veya az olan aktifler: nitrik asit, amonyum, sülfatlar, asetik asit ve organik bileşiklerin çoğu.

_Alüminyuma etki eden reaktifler: alkalilerin çoğu, karbonatlar, formik asit, klorik asit, flüor asidi ve sülfürik asit.

Alüminyum, zehirli olmamasından dolayı birçok alanda olduğu gibi özellikle gıda endüstrisindeki ekipmanların yapımında geniş yer bulmaktadır. Yine bu özelliğinden dolayı yiyecek ve ilaçların ambalajlanmasında, sigara, çay paketlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ekici, 2007).

1.5. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri

Alüminyumun fiziksel özelliklerinden biri olan düşük yoğunluk birçok uygulamada ön plana çıkmaktadır. Ticari gruptaki alüminyum yoğunluğu

yaklaşık 2,70 g/cm³ tür. Eşit hacimler mukayese edildiğinde alüminyumun, demir, bakır ve çinko ağırlığının yaklaşık olarak üçte birine sahip olduğu görülür. Bazı uygulamalarda metalin hafif olma avantajının üzerinde durmak tek başına yeterli değildir. Örneğin bir uçağın yapısını teşkil eden unsurlar için mukavemeti yeterli olmayan fakat yoğunluğu düşük olan bir malzeme fazla kullanışlı değildir. Bu durumda saf alüminyumun kullanışı uygun olmazken mukavemet ve hafifliğin bir arada olması arzu edilen yerlerde alüminyum alaşımları kullanılmaktadır (Gülgün, 1984; Köse, 2002; Büyükdoğan, 2011).

Elektrik iletim alanında alüminyumun kullanımı söz konusudur. Bu durum alüminyumun elektriksel iletkenlik özelliğini ortaya koymaktadır. Ticari alüminyumun özgül direnci 2,75 $\mu\Omega/\text{cm}^3$ tür. Bu da hacim esas alınmak suretiyle, bakır iletkenliğinin %60'ını temsil eder. Bununla beraber ağırlık esas alınarak mukayese edildiğinde alüminyumun iletkenliği bakıra kıyasla daha yüksektir. Işık yansıtma özelliği de alüminyumu diğer metallerden farklı kılmaktadır. Bu özelliği sayesinde %80 oranında ışık yansıtabilir. Işık reflektörlerinin kaplanması ve aynaların geri yansıtıcılığında kullanılırlar (Ekici, 2007).

1.6. Alüminyumun Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, imalat yöntemine bağlı olarak dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir (Askeland ve Fulay, 2010; Baydoğan, 2003):

a) Dövme alüminyum alaşımları: Külçe veya kütük halinde üretilen alaşımlardır ve bunlar haddeleme, ekstrüzyon, dövme, çekme veya diğer metal işleme prosesi gibi çeşitli işlemlerden herhangi biri ile daha sonrasında nihai kullanım ürünleri için kullanılan yarı mamullerin üretilmesi için herhangi bir yöntem kullanılarak işlenmiştir. Alüminyum dövme alaşımları Çizelge 1.2'de gösterilen numaralama sistemi ile belirtilir. (Askeland ve Fulay, 2010; Sun, 1998).

Çizelge 1.2. Dövme alüminyum alaşımlarının gösterilmesi (Askeland ve Fulay, 2010)

Alaşım	Açıklama
1xxx	Saf alüminyum
2xxx	Ana alaşım elementi bakır olup, magnezyum gibi diğer elementlerde bulunabilir
3xxx	Ana alaşım elementi mangan olan alüminyum alaşımları
4xxx	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları
5xxx	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları
6xxx	Başlıca alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan alüminyum alaşımları
7xxx	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları, ancak bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum gibi elementler bulunabilir
8xxx	Kalay ve biraz lityum içeren alüminyum alaşımları
9xxx	Gelecekte kullanılmak üzere belirlenmiştir

b) Döküm alüminyum alaşımları: Genel olarak nihai veya yarı nihai formuna dökülen parçalar ve bu dökümlerin yapıldığı külçe için kullanılan alaşımlar anlamına gelir. Dökme alaşım bileşimleri, daha sonra haddeleme, ekstrüzyon, dövme veya diğer metal şekillendirme işlemleri için kullanılmaz. Alüminyum döküm alaşımları, Çizelge 1.3'te gösterilen numaralama sistemi ile belirtilir. Birinci rakam ana alaşım elementlerini belirtir. Kalan rakamlar ise alaşımın spesifik kompozisyonunu belirtmektedir (Askeland ve Fulay, 2010).

Çizelge 1.3. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterilmesi (Askeland ve Fulay, 2010)

Alaşım	Ana alaşım elementi
1xx.x	Saf alüminyum, maks.% 99.00
2xx.x	Bakır (Cu)
3xx.x	Bakır (Cu) ve/ya Manganez (Mn) eklenmiş Silikon (Si)
4xx.x	Silisyum (Si)
5xx.x	Magnezyum (Mg)
7xx.x	Çinko (Zn)
8xx.x	Kalay (Sn)
9xx.x	Diğer elementler
6xx.x	Kullanılmayan Seriler

1.6.1. Alüminyum 1xxx Serisi

1xxx serisi ticari olarak saf alüminyumı ifade eder ve en az %99 alüminyum içerir. Bu malzemelerin, şekillendirilmesi, elektrik iletkenlikleri ve korozyon dirençleri oldukça yüksektir. 1xxx serisinin son iki rakamı ise, %99 değerinden sonraki kısmı belirlemede kullanılır. Örneğin 1100 malzemesinin %99,00 oranında, 1050 malzemesinin %99,50 oranında ve 1060 malzemesinin ise %99,60 oranında saf alüminyum içerdiğini belirtir. Şekillendirme kabiliyeti yüksek ama mukavemetleri düşüktür. Bu alaşımlar kimyasal teçizat, mimari uygulama refrakter, ısı eşanjörü, elektrik ileticisi, ambalajlama gibi yerlerde kullanılır. (Öz, 2007; Altenpohl, 1998).

1.6.2. Alüminyum 2xxx Serisi

Bu alaşımlar genellikle yaşlanma ile sertleştirilirler. Alüminyum içerisinde maksimum bakır çözünürlüğü 548 °C'de %5,65 değerindedir. Bilhassa %2,5-5

Cu içeren alaşımlar yaşlandırılarak sertleştirilir. Sertleştirilen alaşımlarda bir miktar silisyum, demir, magnezyum, mangan, krom ve çinko bulunabilir. Yaşlanma ısı işlemi sonunda bu alaşımlarda, alaşımsız çelik mukavemetinin üzerinde mukavemet elde edilir. Yaşlanma sonunda mukavemet artarken süneklik azalır. Bu alaşımların sertleştirilmiş haldeki sünekliği saf alüminyumun % 50'sinden bile daha az olur. Yaşlanan alaşımlarda elektrik iletkenliği azalır. Bu alaşımlarda korozyon direnci saf alüminyumdan oldukça düşük olur. Bu alaşımlar yüksek mukavemet ve hafif konstrüksiyon aranan yerlerde kullanılır. (Öz, 2007).

1.6.3. Alüminyum 3xxx Serisi

Alüminyum 3xxx serinin en önemli alaşım elementi manganezdır. Alaşımda, düşük oranlarda yani % 1,2 oranında mangan dayanımlı arttırmaktadır. Bu serideki 3003,3004 ve 3105 alaşımlarının, korozyon direnci ve işlenebilirliği yüksektir. 3xxx, serisi alaşımlar, yaygın olarak çeşitli konstrüksiyonlarda, çatı sistemleri ve çatı kaplamaları gibi mimari alanlarda kullanılır (Öz, 2007). Ticari saflıktaki alüminyuma yaklaşık % 1,2 Mn ilavesi (% 6 Fe ve % 0,2 Si) orta düzeyde dayanımlı, ısı işlem uygulanamayan bir Al alaşımı üretilmektedir (Altenpohl, 1998).

1.6.4. Alüminyum 4xxx Serisi

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

1.6.5. Alüminyum 5xxx Serisi

Alüminyum 5xxx serisi, yüksek dayanım ve korozyon direnci sağlayan magnezyum elementini içermektedir. Gemi iskeletleri ve diğer denizcilik uygulamalarında, kaynak tellerinde kullanılır. Bu serideki alaşımların dayanımı, magnezyum miktarının oranına bağlı olarak değişir. (Öz, 2007).

1.6.6. Alüminyum 6xxx Serisi

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum (Al-Mg-Si) veya Alüminyum-Magnezyum Silisür (Al-Mg₂Si) alaşımları olarak bilinen alaşımlar alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde en sık kullanılan alaşımlar olup, AA 6000 serisi alaşımlar olarak sınıflandırılırlar. Yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarından olan 6000 serisi alaşımları iyi ekstrüzyon yapılabilirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, iyi kaynak edilebilirlikleri, sıcak şekillendirmeden sonra temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum ürünlerin %80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar, %70'ini de bu alaşımlardan AA6063 (Etial60) alaşımı oluşturmaktadır (Şendeniz, 2006).

Ekstrüzyon sürecinde en yüksek üretim hızında en iyi yüzey ve mekanik özelliklerinden elde edilmesi amaçlandığından, ingota dökümünden başlayarak homojenleştirilmesi, ekstrüzyon sırası ve sonrası işlemlerinin dikkatli kontrolü gereklidir (Büyükdoğan, 2011).

1.6.7. Alüminyum 7xxx Serisi

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur. 7xxx serisi, alüminyum-çinko magnezyum alaşımları (örneğin 7005) ve alüminyum-çinko-magnezyum-bakır alaşımları (örneğin 7075 ve 7178) olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Minimum çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, uçak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bakır ile desteklenen 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, 1xxx, 3xxx, 5xxx veya 6xxx serisi alüminyum alaşımlarından daha düşüktür. (Altenpohl, 1998).

1.7. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi

Saf metallerle karşılaştırıldığında, alaşımlar daha dayanımlı, hasara karşı daha dirençli olup, çok amaçlı olarak kullanılabilir. Alaşımların özellikleri, özel alaşım elemanına bağlı olarak değişmektedir. Çoğu alaşım, mukavemet ve korozyon direnci gibi bir veya iki spesifik özellik için oluşturulmaktadır. Çizelge 1.4'te ana alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarına olan etkileri verilmektedir. (Kaufman ve Rooy, 2004; Sun, 1998; Adın, 2002; Doğan, 1989).

Çizelge 1.4. Alüminyum alaşımı üzerine alaşım elementlerinin etkisi (Kaufman ve Rooy, 2004)

Alaşım Elementi	Etki
Bakır (Cu)	Dökümdeki mukavemeti ve sertliği artırır. Elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür
Magnezyum (Mg)	Al-Mg alaşımına yüksek mukavemet ve süneklik, mükemmel korozyon direnci kazandırır. Haddelenebilme kabiliyetini ve işlenebilirliği artırır
Manganez (Mn)	Süneklik ve tokluğu artırır. İşlenebilme kabiliyetini olumlu yönde etkiler
Silisyum (Si)	Akışkanlık, korozyon direnci ve kaynak kabiliyetini artırır. Özgül ağırlık ve ısı genleşme katsayısını düşürür. Sıcak çatlama eğilimini azaltır
Çinko (Zn)	Yüksek mukavemet sağlayarak haddelenebilme kabiliyetini artırır.
Demir (Fe)	Sertlik ve dayanım değerlerini bir miktar artırır. Sıcak çatlama eğilimini azaltır
Kalay (Sn)	Sürtünme özelliklerini iyileştirir ve bu nedenle rulman uygulamalarında faydalıdır. İşlenebilirliği artırır
Kurşun (Pb)	% 0,1'den daha yüksek miktarlarda ilave edildiğinde işlenebilirliği artırır
Titanyum (Ti)	Mekanik özelliklerin iyileştirilmesini ve artmasını sağlar.

1.8. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

1.8.1. Isıl işlem

Isıl işlem, döküm parçası üzerinde uygulanan ısıtma ve soğutma sonucunda parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesine neden olur. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir. Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemi uygulanabilirliği Çizelge 1.5'te verilmiştir (Askeland,1990).

Çizelge 1.5. Alüminyum Alaşımlarının Yaşlanma Uygunluğu (Askeland,1990)

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl İşlem
1xxx	Alaşımlandırılmış alüminyum (%99,0 veya daha yüksek saflık)	Olur
2xxx	Bakır	Olur
3xxx	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları olur
4xxx	Silisyum	Olmaz
5xxx	Magnezyum	Olmaz
6xxx	Kullanılmıyor	-
7xxx	Çinko	Olur
8xxx	Kalay	Olur
9xxx	Kullanılmıyor	-

Isıl İşlemin meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur, bunlar sırasıyla; çözeltiye alma, su verme ve çökelme (yaşlandırma) işlemidir. Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kuraldır. Bu çökelti

fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilmektedir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim elde edilemez. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlem proseslerinin kodlaması ve açıklamaları Çizelge 1.6’da verilmiştir (Geçginli, 2002).

Alüminyum alaşımlarına mekanik veya ısıl işlemlerin ya da her ikisinin uygulanması, alaşımın temper durumunu belirtir. Temper durumunun gösterilişi döküm ve mekanik işlem (dövme) alaşımları için aynıdır. Temper simgesi alaşım kodundan sonra gelir ve birbirinden (-) ile ayrılır. Değişik temper işlemleri varsa temperi ifade eden ana harf yazıldıktan sonra, temper işlemleri yapılış sırasına göre yazılır. Temper işlemleri F, O, H, W ve T harfleri ile ifade edilir (TMMOB, 2001).

Çizelge 1.6 Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması (TMMOB, 2001)

Temper	Temper Kodu	Açıklama
	F	Mekanik veya ısıl işlem görmemiş (döküm,dövülmüş vb.) halde
	O	Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x. farklı sertlikleri ifade etmektedir)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısıl işlemle stabilize edilmiş (x. stabilizasyonu sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
I	V	Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir

	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış. soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşın yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış. soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış. yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
	T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış

1.8.1.1 Tavlama

Tavlama, soğuk şekillendirme sonrasında sertleşmiş olan malzemenin gerilimlerini düşürmek veya ısıl işlemle yaşlandırılan malzemeyi yumuşatmak için kullanılır. Yapıda mevcut tanelerin yeniden kristalleşmesini sağlamak amacıyla, çöktürme ısıl işlem sıcaklıkları arasında bir dereceye kadar ısıtmak tavlamanın esasıdır. Isıl işlemde alaşımın tavlama süresi önemlidir. Örneğin yeniden kristalleşme işleminde alaşımın gereken sıcaklıkta ve sürede bekletilmemesi neticesinde, yeniden kristalleşme oranı düşük olur. Ayrıca

tavlanan alaşımların kenar kısımlarında ve ince bölgelerde yüksek sıcaklık ergime problemi nedeniyle sıcaklık kontrollü olarak arttırılmalıdır.

1.8.1.2. Solüsyona Alma

Çözeltiye alma işleminin amacı yüksek sıcaklıkta çözünürlüğünün artmasından faydalanılarak yapıdaki bileşik ve çökeltileri tek faz içinde çözündürüp, aşırı doymuş tek fazlı bir katı eriyik elde etmektir. 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 solüsyona alma sıcaklığı aynı zamanda ötektik sıcaklığın altında olmalıdır (Adın, 2002).

a) Önceden Belirlenen Bir Sıcaklığa Kadar Isıtma

Bu işlemin amacı, alüminyum içindeki çözünürlüğü düşük sıcaklıklarda az, buna karşılık yüksek sıcaklıklarda fazla olan alaşım elemanlarının çözünürlüğünü artırmaktadır. Çözeltiye alma sıcaklığının, çökeltilerin sayısına, boyutuna, morfolojisine ve aynı zamanda tane boyutuna etki ettiği saptanmıştır. Bunun sonucu olarak çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın nihai özelliklerine etki etmektedir. Yapılan araştırma sonuçları çözeltiye alma sıcaklığı arttığında genellikle akma ve çekme mukavemetinin arttığı, buna karşın gerilmeli korozyon direncinin düştüğünü göstermiştir (Geçginli, 2002). Alüminyum alaşımlarında çözeltiye alma sıcaklığı 465-564 °C arasındadır (Baydoğan, 2003).

b) Belirli Bir Süre Bekletme

Solüsyonda bekleme süresi 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 (Adın, 2002). Bekletme süresi, malzemenin çıkarıldığı sıcaklığa, tavlama şekline, malzemenin cinsine ve buna benzer faktörlere bağlı olarak değişir. Uzun bir süre bekletme tane büyümesine ve difüzyonun artmasına neden olur. Sıcaklıkta bekletme süresinin ölçülmesine, malzemenin en soğuk kısmının istenilen minimum sıcaklık değerine varıldığında başlanır. Bekletme süresi alaşımın cinsine bağlı olarak, ince parçalarda 10 dakikadan başlar ve kalın parçalarda 12

saate kadar çıkar. Kalın parçalar için parçadaki kesit kalınlığının her 1,5 cm için 1 saat bekleme süresi kabul edilir. Bekletme süresi bütün eriyebilen elemanların katı eriyik haline geçebilmelerini sağlayacak kadar uzun seçilir. Kısaltılmış bir bekleme süresinin etkileri çok kötü olduğu gibi fazla bekletmede de yüzeyin oksitlenme tehlikesi artar (Doğan, 1989).

1.8.1.3. Su Verme İşlemi

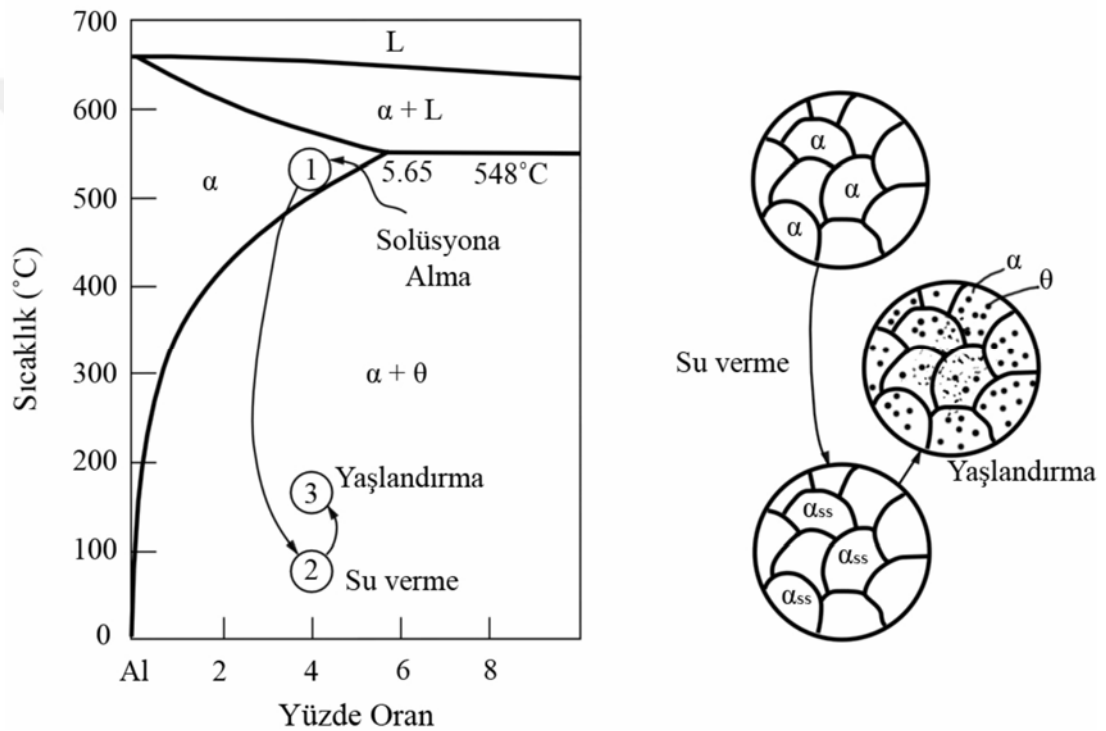
Su verme işlemi çözeltiye alma sıcaklığında aşırı doymuş bir katı çözelti oluşturduktan sonra alüminyum alaşımının hızlı bir şekilde soğutulması temeline dayanmaktadır. Burada esas olan sadece çözünen atomları çözeltide tutmak değil, GP zonlarının oluşumu için gerekli ve düşük sıcaklıklarda difüzyon gerçekleşmesine yardımcı olan boş yerlerin sayısını maksimum miktarda tutmayı sağlamaktadır. Kazanılabilecek en yüksek mukavemet ve de en iyi tokluk ve mukavemet kombinasyonları yüksek su verme hızları ile gerçekleştirilebilir. Korozyon ve gerilmeli korozyon çatlaklarına direnç 'te diğer karakteristiklerdir. Bunlar yüksek su verme hızları ile iyileştirilebilir (Kayalı ve Çimenoglu, 1995).

Su verme esnasında çökelme olması için fırın ile su ortamı sırasındaki zaman az olmalı ve su verme ortamının ısı absorbe etme katsayısı çok düşük olmalıdır. Pratikte su verme işlemi normal olarak asgari su verme gecikmesi ve azami su sıcaklığı ile kontrol edilir (Doğan, 1989). Genel kural olarak en iyi maksimum dayanım ve tokluk hızlı soğuma ile elde edilir. Daha hızlı su verme, çözündürme işleminin kalıcılığını daha fazla arttıracak, bu da daha sonra çökelme sertleşmesinin daha etkin olarak yapılmasını sağlayacaktır. Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı su verme hızıyla erişilebilir (Adın, 2002; Doğan,1989).

1.8.1.4. Yaşlandırma İşlemi

Aşırı doymuş katı eriyiğin çözeltiye alınması ve su vermeden sonra oda sıcaklığında (doğal yaşlanma) veya denge solvüs eğrisinin altında (suni yaşlanma) bir sıcaklıkta çökelmeye alınması olayı yaşlandırma veya çökelti ısıl işlemi olarak bilinir. Bir diğer ifadeyle aşırı doymuş bir katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın oluşmasına çökelme sertleşmesi (yaşlanma) adı verilir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi solüsyona alma işleminden sonra su verme

işlemi sonucunda yaşlandırma işlemi yapılmaktadır. Yaşlandırma işleminin yapılabilmesi için alaşımın hangi sıcaklıklarda yaşlandırılması gerektiği bilinmelidir. Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra uygulanan su verme işlemi sonucu alüminyum alaşımları, tam olarak uygun bir sertlik ve mukavemete ulaşamazlar. Bu alaşımlarda maksimum sertlik ve mukavemeti elde etmek için alaşım yaşlandırılır (Adın, 2002; Doğan,1989). Bu işlem soğuma yaşlanması olarak da bilinir.



Şekil 1.2. Al-Cu faz diyagramı ve Al % 4 Cu alaşımının çözeltiye alma işlemi, su verme ve çökeltme sertleşmesi safhalarında mikroyapı değişimleri (Erdoğan, 1996).

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

gruplarının uyumlu veya uyumsuz olmasına bağlıdır. Çökeltmenin ilk safhalarında ikinci faz tamamen oluşmakta, fakat ikinci fazınkine benzer bir kristal yapı katı ergiyikle sıkı temas halinde büyümektedir. İki yapı arasındaki atom dizilişi uygun ise katı ergiyik distorsiyona uğramaktadır. Bu küçük boyutlu çökelti parçacıkları ilk olarak 1938'de Guinler- Preston tarafından X ışınları ile bulunmuştur. Bundan dolayı bu ön kademe çökeltilerine literatürde GP zonları denir (Doğan, 1989). Guiner-Preston (GP) bölgesi olarak bilinen çözünen atomların çökelteleri kristal ve mikroyapıda değişiklik nedeniyle malzeme özelliklerinde önemli derece de etkili olurlar. GP bölgesinin boyutu, şekli ve dağılımı; alaşımın kimyasal bileşimi, uygulanmış olan mekanik ve ısıtılma işleme bağlıdır. GP bölgeleri X ışınları ile tanımlanabilirken bazı durumlarda elektron mikroskoplarıyla ile görülebilir. Çözen ve çözünen atom boyutlarının birbirine yakın olduğu durumlarda GP bölgeleri küresel şekildedir (Al-Ag ve Al-Zn). Ancak atom boyutları arasındaki fark büyükse (Al-Cu sistemi) GP bölgesi disk şeklinde olur. GP bölgeleri boyut 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 mikroyapıda önemli bir değişim olmadan ürettikleri geniş bir deformasyon ve dislokasyon hareketlerini kısıtlayan gerilme alanlarının oluşturmalarından dolayı malzemenin mekanik özelliklerini arttırır (Adın, 2002; Doğan,1989).

1.9. Triboloji

Triboloji, “birbirlerine göre izafi hareket yapan yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimi veya tekniği” olarak tanımlanmaktadır. Yunanca sürtünme anlamına gelen “tribos” kelimesinden türetilen triboloji; sürtünme, aşınma ve yağlamanın bilimsel olarak incelenmesini ve tribolojik bilgilerin teknik uygulamasını içermektedir (Zumgahr, 1987).

Tribolojinin daha iyi anlaşılabilmesi için sürtünme, aşınma ve yağlama kavramlarının incelenmesi gerekmektedir. Sürtünme ve yağlamanın önemi çok eski zamanlardan beri bilinmesine rağmen ilk olarak Leonardo Da Vinci'nin sürtünme üzerinde incelemeler yaptığı bilinmektedir (Heaton, 2004). Da Vinci

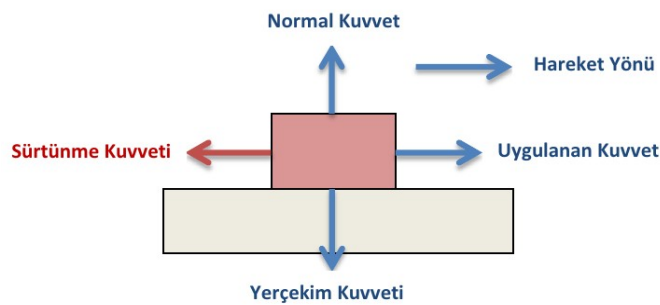
sürtünme gücünün malzemenin ağırlığı ile orantılı olduğunu ve geometriden bağımsız olduğunu belirtmiştir (Seirig, 1998). Yüzey teması olduğunda sürtünme oluşmakta ve dolayısıyla malzemelerde aşınma meydana gelmektedir. Malzemeler arasında meydana gelen bu aşınmaların önlenmesi ya da azaltılabilmesi için yağlamaya ihtiyaç duyulmakta ve bu şekilde aşınma ile olan malzeme kayıpları önlenmeye çalışılmaktadır.

Makinelerin birbiri ile çalışan parçalarında aşınma esnasında olan malzeme kayıpları, kalite gereksinimleri açısından önem arz etmekte ve bu durum sanayide büyük önem taşımaktadır. Ayrıca malzemelerin aşınması, enerji kaybı oluşturma, verimliliği düşürme ve malzeme ömrünü azaltma gibi etkilere de neden olabilmektedir (Sanchez, 2011).

Yuvarlanmalı ve kaymalı yataklar, kesici uçlar ve motor parçaları ve her türlü makine aksamı vb. uygulama alanlarında önemli rol oynayan Triboloji teriminin daha iyi anlaşılabilmesi için sürtünme, yağlama ve aşınma kavramlarının incelenmesi gerekmektedir.

1.9.1. Sürtünme

Sürtünme, izafi hareket yapan ve birbiriyle temas eden malzemelerin temas yüzeylerinin harekete karşı gösterdikleri dirençtir. Birbirlerine temas eden malzemelerde hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma veya kayma yuvarlanma hareketleri mevcut olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan kayma, yuvarlanma veya kayma-yuvarlanma sürtünmesi şeklinde olur. Sürtünmelerin oluşabilmesi için malzemelere kuvvetler etki etmekte olup, bu kuvvetler Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Temasta olan malzemelere uygulanan kuvvetler (Larsen-Basse, 1998)

Katı cisimlerin sürtünmesi temel deneysel bulgular ile yönetilmektedir. İlk zamanlar Da Vinci ve Amotons tarafından çalışılan kuramlar sonra Coloumb tarafından formüle edilmiş ve Coloumb kanunları olarak isimlendirilmiştir. Bu kanunlar genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

- Sürtünme kuvveti, temas alanından bağımsızdır.
- Sürtünme kayma hızından bağımsızdır.
- Statik sürtünme, kinetik (ya da dinamik) sürtünmeden daha büyüktür. (Larsen-Basse, 1998).
- Yüzeysel temas halinde iki eleman, birbirlerine göre hareket ediyor ve normal kuvvet F_n ile gösterilirse; Cloumb kanununa göre sürtünen yüzeylerde hareket yönüne ters yönde bir sürtünme kuvveti F_s , meydana gelmektedir.

Sürtünme katsayısı, Cloumb'a göre denklem 1.1 ve denklem 1.2 yardımıyla bulunmaktadır.

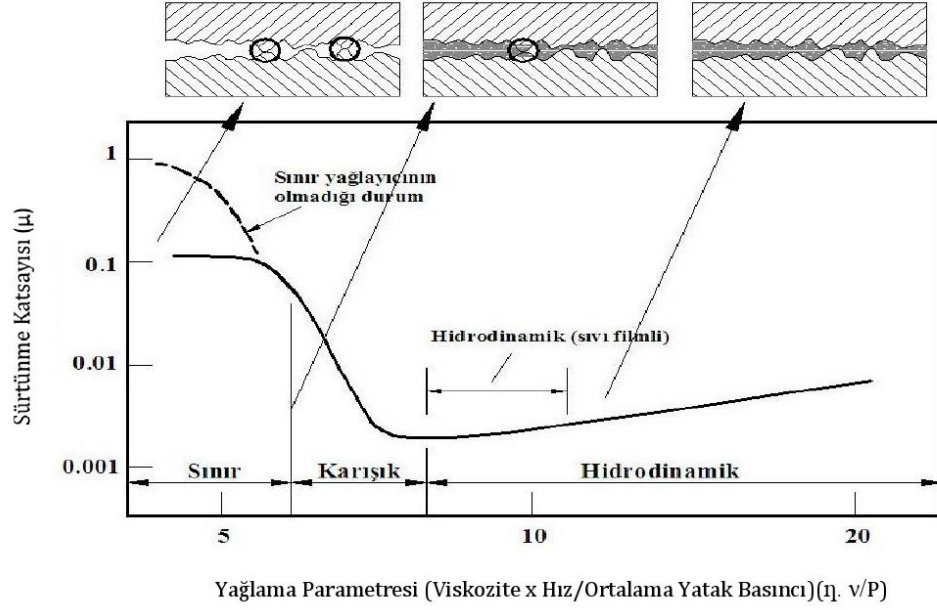
$$F_s = \mu F_n \quad (1.1)$$

$$\mu = F_s / F_n \quad (1.2)$$

μ , sürtünme katsayısı olarak ifade edilir.

Kayma sürtünmesinde yüzeyler tamamen kuru ise elemanların malzemesine de bağlı olarak genellikle $\mu \geq 0,3$; ara maddeli sürtünmede ise yağlama malzemesinin cinsine bağlı olarak $\mu = 0,005 \dots 0,001$ değerindedir (Kurbanoğlu, 2006).

Kaymalı yataklarda sürtünme durumları 1901 yılında Stribeck tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Bu deney sonuçlarına göre sürtünme katsayısı ile milin bağıl dönme hızı arasındaki değişim gözlenmiş ve Stribeck eğrisi olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Stribeck eğrisi ve yağlama bölgeleri (Salman, 2011)

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme olayı kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üç halde incelenir. Genel anlamda kuru sürtünme, birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan doğruya temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir. Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması halinde iki durum ortaya çıkabilir; her iki yüzey yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış olabilir ve esas sürtünme yağlayıcı maddenin tabakaları arasında olur buna da sıvı sürtünme denir. İkinci durumda ise yüzeyler tamamen ayrılmadığı için sınır sürtünmesi söz konusudur (Yılmaz, 2005).

Mil hızının çok düşük olduğu (sıfır veya sıfıra yakın) bölgede, büyük sürtünme katsayısı olup statik (kuru) sürtünme katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Düşük devirlerde, sınır sürtünme alanı, yüksek sürtünme katsayısı vermekte, karışık sürtünme bölgesi ise bir önceki bölgeye göre daha küçük sürtünme katsayısı vermektedir (Salman, 2011).

1.9.1.1. Kuru sürtünme

Birbirine temas eden yüzeyler arasında herhangi bir üçüncü malzemenin olmaması durumunda iki kuru malzemenin izafi hareket halinde oluşturduğu sürtünmeye kuru sürtünme denilmektedir. Sürtünen yüzeylerin pürüzlü olduğu kabul edilir ve temas yüzeylerinin gerçek temas alanı, temas yüzeylerinin geometrik alanından çok daha küçük olmaktadır. Bu nedenle bu noktalarda hesaplanan basınç, yüzeyde hesaplanan ortalama basıncın çok üzerindedir. Bu yüksek basınç plastik deformasyona, temas eden pürüz tepeliklerinin birbiriyle kaynak bağlantısı oluşturmaya sebep olmaktadır. Hareket süresince bu kaynak bölgeleri kesilmekte veya kopmaktadır, sürtünmeyi oluşturan bu kaynak kuvvetleridir (Koç, 2007).

1.9.1.2. Sınır Sürtünme

Sınır sürtünme, bağıl hareketli elemanların yüzey ve yüzeye yakın tabaka ve bu tabaka ile yağ filminin birbiri ile etkileşim özelliklerinin çok önemli olduğu iki yüzey arasındaki yağlama olarak tanımlanabilir (Salman, 2011). Yağlayıcı madde olmasına rağmen sıvı sürtünmesinin oluşmadığı durumdur. Bu sürtünmede aşınmanın az veya çok olması yağlayıcı madde seçimine ve katkı maddesinin özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

1.9.1.3. Sıvı sürtünme

Temas halinde birbirlerine göre hareket eden metal yüzeyler arasında, sürtünme değeri küçük olan mükemmel bir yağ filmi teşekkül etmektedir. Metalin metale teması söz konusu değildir. Yüzeyde yağ filmi hidrodinamik, hidrostatik, gazodinamik, gazostatik olarak oluşmaktadır (Kurbanoglu, 2006).

Sıvı sürtünmenin oluşmasında rol oynayan esas etken yağ tabakasında meydana gelen basınçtır. Basınç oluşumu Hidrodinamik ve Hidrostatik olmak üzere iki olaya bağlıdır. Hidrodinamik sıvı sürtünmesi, yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olarak yağ tabakasında kendi kendine bir basınç alanının oluşmasıdır. Hidrostatik sıvı sürtünmede ise dış kuvvetin dengelenmesi

ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gereken basınç, yüksek basınçlı pompa vasıtası ile dışarıdan sağlanmakta ve yağ basıncı yüzeyler arasına gönderilmektedir (Yılmaz, 2005).

1.9.2. Yağlama

Kayma işlemi sırasında üretilmiş olan ısı ve artık parçaları çalışma ortamından uzaklaştırmak, kayma yüzeylerindeki sürtünme ve aşınmayı azaltmak için iki yüzey arasına sıvı, katı veya gaz yağlama maddelerinin ilavesiyle yapılan işleme “yağlama” adı verilmektedir (Durak, 1998).

Temasta olan iki yüzey arasına yağ ilavesi, sürtünmeyi azaltmakla beraber aşınma ve ısı enerjisinin de düşmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca yağlama ile aşınan partiküllerin yüzeyden atılmasıyla sıvı akışı sağlanmakta ve abrazyon aşınmasının nedeni olan partiküllerde azalma olmaktadır. Yağ; katı, sıvı ve gaz olabilmekte ya da bunların birleşiminden oluşabilmektedir. Yağın seçimi ve uygulanması mekanik malzemelerin uzun ömürlü olması bakımından önem arz etmektedir. Temelde üç farklı türde yağlama görülür; sınır yağlama, sıvı yağlama ve karışık yağlama. Bu yağlama türleri Şekil 1.4.’de Stribeck eğrisinde gösterilmiştir (Sanchez, 2011).

1.9.3. Aşınma

Aşınma bir malzemenin yüzeyinde kayma, yuvarlanma, darbe, şok yükleme, elektriksel (akımsal) boşalım, tekrarlı şok dalgalar, tekrarlı şok patlamalar veya düşük ve yüksek sıcaklıkta korozyon ortam saldırıları gibi etkenlerden birinin ya da bir kaçının etkisiyle zamana bağlı olarak ortaya çıkan malzeme kaybıdır (Sarıkaya, 2007). Aşınma sonucunda ve oluşan sürtünme ile mekanik ve kimyasal etkileşimler ve sıcaklıkta hızlı değişimler gözlemlenebilmektedir (Buckley, 1981). Aşınma oranları malzeme özellikleri, yüzey sertliği, yüzey karakteristikleri gibi özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Kayan yüzeylerin aşınma sonuçları ile alakalı ilk bağıntı Archard ve Holm tarafından tanımlanmış olup bu eşitlik Archard-Holm kanunu olarak bilinmektedir (Bayer, 2004).

$$V=(k/h) F s \quad (1.3)$$

V =Kaybolan hacim k =Aşınma katsayısı h =Malzeme sertliği

F =Uygulanan kuvvet s =Kayma mesafesi

Bu eşitlikte aşınma katsayısı, yüzey karakteristikleri ve deneysel verilere bağlıdır.

Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişimlerin sonucudur. Dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin çokluğu nedeniyle pratikte, bir aşınma hali değil birçok aşınma halleri vardır. Bunlar; adhezyon, abrazyon, yorulma aşınması (pitting) ve mekanik korozyon aşınması olmak üzere dört grupta toplanabilir.

1.9.3.1. Adhezyon aşınması

Adhezyon aşınması en yaygın aşınma çeşididir ve genel anlamda aşınma kavramı bu aşınma için kullanılmaktadır. Adhezyon aşınmanın esası kaynak bağı teorisi ile açıklanabilir. Daha önce belirtildiği gibi yüzeyler arası gerçek temas alanı çok küçük olduğundan temas noktaları büyük bir basınç altında bulunmaktadır. Normal olarak yüzeylerde absorbe edilmiş olan tabii ve yağ tabakaları basınç altında parçalanır; malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temasa gelir ve bölgesel kaynak bağları oluşur. Bu kaynak bağlarının kopması ile meydana gelen malzeme kaybı, adhezyon aşınmasını oluşturur. Adhezyon aşınması, yüzeylerde bir takım çizik şeklinde veya yüzeyi parlatmış gibi görünmektedir. Genel olarak tabaka kalınlığı h_a ve aşınma alanı A_h ile gösterilirse Aşınma Hacmi $V_h = h_a A_h$ olarak ifade edilir.

Adhezyon aşınması temas yüzeylerinde meydana gelen basınç ($p = F_n/A$), kayma hızı (v) tarafından önemli şekilde etkilenmektedir. Ayrıca aşınmanın zamana bağlı olarak geliştiği göz önünde tutulursa, analitik olarak adhezyon aşınması

$$h_a = k_a p v t \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k_a temasta bulunan malzeme çiftine bağlı olan ve deneylerle tayin edilen bir faktördür. Aşınmanın yanı sıra pratikte aşınma hızı(veya şiddeti).

$$dh/dt = k_a P v \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilir. Adhezyon aşınması için denklemler;

$$p = F_N / A \leq p_{em} \text{ veya } (Pv) \leq (Pv)_{em} \quad (1.6)$$

p: Ortalama yüzey basıncı F_N : Normal kuvvet v =Kayma Hızı

A: Temas yüzey alanı p_{em} : Emniyet yüzey basıncı

şeklinde yazılabilir (Yılmaz, 2005).

1.9.3.2. Abrasyon aşınması

Çok önemli olan abrazyon aşınmasında yüzeylerin bozulması, dışarıdan yüzeyler arasına giren toz, talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi altında meydana gelir. Bu sert parçacıklar bir zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı bir etki yaparak eğelemeye ve taşlamaya benzeyen bir malzeme kaybının meydana gelmesine neden olurlar. Abrasyon aşınmasında önemli olan yüzeylerin sertliğidir. Yüzeylerin sertliği ısıtılma işlem veya yüzeylerin sert malzeme ile kaplanması ile elde edilebilir.

1.9.3.3. Yorulma aşınması (pitting)

Bu tip aşınma, temas yüzeylerinde çok küçük çukurcukların oluşması şeklinde kendini gösterir. Bu aşınma özellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makina elemanlarında, yani yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde ortaya çıkar ve esas olarak bir malzeme yorulması sonucudur. Bu elemanlarda temas alanları küçük olduğundan yüzeylerde Hertz yüzey basınçları meydana gelir. Bu çeşit basınçların etkisi altında yüzeylerin hemen altında kayma gerilmeleri oluşur. Değişken zorlanma nedeniyle malzemenin yüzeyinde bir yorulma olayı başlar. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına da bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Zamanla bu boşluklar

yüzeye doğru hareket etmekte, büyümekte ve yüzeyde küçük çukurcuklar meydana getirmektedir. Bu durumda yüzeyler arasındaki yağın etkisi de önemlidir. Yüksek basınç altındaki yağın çatlaklara girmesi, bunların büyümesinde önemli rol oynayabilir. Pitting aşınmasının diğer bir açıklama tarzı ise, çukurcukların plastik deformasyonlar nedeniyle doğrudan doğruya temas yüzeyinde meydana geldiği ve buradan malzemenin iç kısımlarına da yayıldığı ileri sürülmektedir.

1.9.3.4. Mekanik korozyon aşınması

Daha önce belirtildiği gibi, yüzeyler hava ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları meydana getirirler. Bununla beraber, özellikle kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makina elemanların yüzeyleri bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluştururlar. Aynı sonuç yağlarda bulunan maddelerden dolayı da elde edilir. Değişken yük altında bu sert tabaka kırılır ve sert parçacıklar düşerek aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder. Henüz kesin olarak bilinmemekle beraber, hava rutubetinin de bu olay üzerinde etkisi önemlidir (Yılmaz, 2005).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tao (2006), AA7055 alüminyum alaşımının mikro yapıları ve özellikleri, sertlik testi, çekme testi, elektriksel iletkenlik ölçümü, XRD ve TEM mikro yapı analizi kullanılarak 48 saate kadar farklı tekli-yaşlandırmada incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yaşlandırmanın erken evresinde alaşımın sertliğinin ve mukavemetinin hızla arttığını, zirve sertliğine ve mukavemetine 120 °C'lik bir esneme sonrasında 4 saat boyunca yaklaşıldığını ve daha sonra uzun süre yüksek bir seviyede tutulduğunu göstermektedir. AA7055 alaşımının uygun tekli-yaşlandırma işlemi 480°C'de 1 saat çözündürme muamelesi ve su ile söndürme, daha sonra 120 °C'de 24 saat yaşlandırma işlemidir. Bu koşullar altında, çalışılan alaşımın akma mukavemeti, uzama ve elektrik iletkenliği sırasıyla 462 MPa, % 9.5 ve % 29 olarak tespit edilmiştir. Yaşlandırma sırasında katı çözültü parçalanır ve çökme meydana gelir. 120°C'nin erken yaşlandırma evresinde, GP bölgeleri oluşur ve yaşlandırma süresinin artmasıyla kademeli olarak büyür, η' fazı 4 saat boyunca yaşlandırma sonrası oluşur ve η fazı 24 saat yaşlandırmanın ardından başlar.

Özbek (2007), AA2618 alüminyum alaşımının solüsyona alma işlemiyle ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Solüsyona alma işlemleri 520-640 °C'de 14-24 saat boyunca uygulandıktan sonra yapay yaşlandırma uygulanmıştır. Optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskopisi ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi teknikleri ile gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları, 530 °C'de solüsyona alma işlemi neticesinde yeniden kristalleşmenin gözlenmediğini, bununla birlikte solüsyona alma işlem sıcaklığı 530 °C'nin üzerinde olduğu ve süre arttıkça yeniden kristalleşmenin meydana geldiğini ortaya koymuştur. Solüsyona alma işlem sıcaklığının artırılması hem tanecik hem de çökeltileri kaba taneli hale getirmiş ve böylece sertlikte önemli bir düşüş meydana gelmiştir.

Demir vd. (2008), Yapay yaşlandırmanın Al6061 alaşımının işlenebilirliği üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bunun için Al6061 numuneler işlem görmeden, solüsyona alınarak ve yapay yaşlandırma işlemlerinden sonra

deneylere tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmada, 180 °C'de farklı yaşlandırma sürelerinde numuneler hazırlanmış ve farklı kesme hızlarında numuneler işlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin bu parametrelerden oldukça etkilendiklerini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, en düşük sertliğe sahip olan sadece solüsyona alınmış numunelerde kesme kuvvetleri azalırken; diğer numunelerin kesme kuvveti değerlerinde, yaşlanma ve kesme hızı parametrelerindeki değişikliklere rağmen önemli ölçüde etkilenmeye rastlamamışlardır.

Chen vd. (2009), 120 ve 160 °C'de yaşlandırılan AA 7055 alüminyum alaşımında çökeltme sertleşmeyi detaylı olarak araştırmışlardır. 60 dakika için 120°C'de yaşlandırma üzerine alaşımdaki GPI bölgeleri baskın fazdır. Metastabil η' fazı, 120°C'de 60 dakika yaşlandırıldıktan sonra alaşımda çökelmeye başlamış ve 300 dakika yaşlandırıldıktan sonra ana faz haline gelmiştir. Elde edilen sonuçlar, küçük GPI bölgesinin η' fazına dönüşmesinin, η' oluşumunun baskın mekanizma olduğunu ortaya koymuştur. GPI bölgelerinin ve η' fazlarının oluşumu ve büyümesi akma kuvvetinin yükselmesine neden olurken, η oluşumu ve kaba taneciklere dönüşmesi mukavemet kaybına neden olmuştur. η' , bu alaşımın azami sertleşmesinden sorumludur.

Meyveci vd. (2009), Yaşlandırılmış AA2024 ve AA6063 alaşımlarının aşınma davranışlarını araştırmıştır. AA2024 ve AA6063 alüminyum alaşımlarına 490°C ve 520°C'lik iki farklı sıcaklıkta solüsyona alma işlemi uygulamışlardır. Daha sonra tüm numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bu işlemten sonra, numuneler üç farklı sıcaklıkta (140°C, 180°C ve 220°C) beş farklı zaman periyodunda yaşlandırılmıştır (2, 4, 6, 8 ve 10 saat). Yaşlandırılan numunelerin mikro yapıları optik mikroskop, SEM-EDS ve X-ışını analizi ile incelenmiştir. Yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri mikro sertlik testleri ile ölçülmüştür. Aşınma testleri, 10, 20 ve 30N yükler için 2 ms⁻¹ hızında, 400, 800, 1200 ve 1600m kayma mesafelerinde pim-disk aşındırma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırılan numunelerin kütle kaybı değerleri tesbit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, ikinci faz çöktürülmüş numunelerin sertliği, dökme numunelerinkinden daha yüksek bulunmuştur ve çözelti

sıcaklığı ve yaşlanma süreleri arttıkça yükselmiştir. Çalışma aynı zamanda, aşınma hızının ve sürtünme katsayısının, çözelti sıcaklıklarını ve yaşlandırma sürelerini arttırarak azalabileceğini ortaya koymuştur.

Prakash vd. (2009), yüzeydeki tane büyüklüğünün küçültülmesiyle mühendislik malzemesinin yüzey özelliklerinin iyileştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Kontrollü bilyalı dövme işlemi, yüzey nano kristalleşmesi oluşturmak için geliştirilmiş ve metalik malzemeler üzerinde kalıcı basma gerilmesi oluşturarak yüzeyin mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Yüzeydeki mekanik özelliklerin iyileşmesi, tribolojik özellikleri etkilemektedir. Bu makalede, yüzey nano-kristalleşmesinin alüminyum alaşımının tribolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Tribolojik özellikler, karşılıklı aşınma testi kullanılarak kuru kayma koşulları altında değerlendirilmiştir. İşlem gören yüzeyin sürtünme katsayısı, işlem görmemiş örneklerinkinden daha düşüktür ve işlem, alüminyum alaşımlarının aşınma direncini iyileştirir. Yazarlar, sürtünme ve aşınma özelliklerindeki iyileşmenin; tanecik sayısını artırma ve yüzeyde kalıcı basma gerilmesinin oluşmasından dolayı yüzey mukavemetinin artırılmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Savaşkan ve Bican (2010), Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının sürtünme ve aşınma özelliklerini, pim-disk test makinesi kullanılarak araştırmışlardır. Alaşımın sürtünme katsayısı sürtünme hızı ile artarken; artan basınç ile 1.5MPa'ya kadar düşmüş ancak bu değerın üstünde eğilim tersine dönmüştür. Bununla birlikte, alaşımın sıcaklık ve aşınma hacmi, artan basınç ve kayma hızı ile sürekli olarak artmıştır. Aşınma numunelerinin yüzeyinin altında ince taneli bir tabaka ve üniform akış çizgileri olan bir bölge gözlemlenmiştir.

Das vd. (2012), araştırmalarında statik ve dinamik yaşlandırmanın AA6082 alaşımının aşınma ve sürtünme davranışına etkisi araştırılmıştır. Aşındırıcı olarak takım çeliği kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan AA6082 alaşımlı numuneler dökümden çıktığı gibi, solüsyona alınarak ve maksimum yaşlandırma koşulları uygulanarak kullanılmıştır. Aşınmış ve deforme olmuş yüzeylerin tarama elektron mikroskop analizi, kuru kayma şartlarında tane

sınırlarında meydana gelen çökelti tanelerinin rolünü ortaya çıkarmıştır. Sürtünme davranışı, oda sıcaklığına kıyasla, yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde değişiklik göstermiş ve sıcaklığın artmasıyla sürtünme katsayısı artmıştır.

Li vd. (2014), solüsyon sıcaklığının 520°C'den 560°C'ye artması ile Al-4Mg-1Cu-0.5Si-0.4Ag alaşımının katı çözeltisinde bulunan Si konsantrasyonunun % 0.06'dan % 0.13'e çıktığını ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, 560°C'de işlem gören alaşımın sertliğinin 520°C'de işlem gören alaşımın sertliğinden %10 daha yüksek yani 135HV'lık bir sertliğe ulaştığını tespit etmişlerdir.

Strobel vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada, az miktarda dispersoid içeren yalın Al-Mg-Si alaşımı AA6060'da çözeltiye alma duyarlılığı ve doğal yaşlandırmanın sertlik ölçümü üzerine etkisini termal analiz, taramalı elektron mikroskopisi (TEM) ve pozitron eliminasyon ömrü spektroskopisi (PALS) ile araştırmışlardır. Bu alaşımdaki çözeltiye alma hassasiyetinin, soğumadan sonra boşlukların süper doyum derecesi ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. Boşlukların yok edilmesi ve doğal yaşlandırmama sırasında kümelenme nedeniyle, çözeltiye alma duyarlılığı, uzun bir doğal yaşlanma süresinin (24 saat) ile karşılaştırıldığında kısa bir doğal yaşlanma süresinden sonra (30 dakika) daha belirgindir. Bu nedenle, süresi uzatılmış doğal yaşlandırmanın, sadece sertlikte bir artışa neden olmakla kalmadığını, aynı zamanda yalın Al-Mg-Si alaşımlarının çözeltiye alma duyarlılığı üzerinde de olumlu bir etkisi olabileceğini ifade etmişlerdir.

Sun vd. (2015), yeni üç aşamalı yaşlandırma işleminin (T76 + T6), 7150 ekstrüzyon alüminyum alaşımının elektrokimyasal korozyon davranışı üzerindeki etkilerini değerlendir ve geleneksel retrogresyon ve yaşlandırma süreci (T77) ile karşılaştırmışlardır. Al alaşımlarının açık devre potansiyeli (OCP), çevrimsel kutuplaşma ve elektrokimyasal empedans spektrumu (EIS), üç solüsyonda işlem gördükten sonra (% 3.5 NaCl (kütle fraksiyonu), 10 mmol/l NaCl + 0.1 mol/l Na₂SO₄; mol/l NaCl + 0.5 mol/l KNO₃ + 0.1 mol/L HNO₃) ölçülmüştür. Al alaşımlarının korozyon davranışlarını değerlendirmek için

korozyon potansiyeli, çukurcuklanma potansiyeli, çukurcuklaşma geçiş potansiyeli, diklik ve potansiyel farklılıklarını içeren parametreler ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Elektrokimyasal ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) verileri 7150+T77 Al alaşımına kıyasla T76+T6 yaşlandırılmış 7150 Al alaşımının çukurcuklanma, korozyon, tanelerarası korozyon ve eksfoliyasyon korozyonuna karşı daha iyi direnç gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu transmisyon elektron mikroskobu tarafından ortaya çıkarıldığı gibi, tanecik sınır parçacıklarının (GBP'ler) daha da irileşmesi ve aralıklanması ile bağlantılıdır. Ayrıca, sertlik testleri, T76 + T6 işlemi ile 7150 Al alaşımı için çekici bir mukavemet ve korozyon direnci bileşimi elde edildiğini göstermektedir.

Li vd. (2016), farklı yaşlandırma işlemlerinin yeni bir Al-Cu-Li alaşımının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini, X-ışını kırınımı, tarama elektron mikroskopisi ve transmisyon elektron mikroskobu ile araştırmışlardır. Yeni olarak tanımladıkları bir Al-Cu-Li alaşımının dayanım özelliklerinin farklı mikro yapılara karşılık gelen yaşlandırma süreçlerine duyarlı olduğunu ifade etmektedirler. T_6 yaşlandırma koşulunda ($165^{\circ}\text{C}/60$ saat) alaşım için σ ($\text{Al}_5\text{Cu}_6\text{Mg}_2$) ve T_1 (Al_2CuLi) fazları ana ana çökeltilerdir. Çift yönlü yaşlandırma koşulundan sonra ($150^{\circ}\text{C}/24$ saat + $180^{\circ}\text{C}/12$ saat) σ , θ' (Al_2Cu) ve T_1 fazları tespit edilmiştir. T_8 uygulanmış alaşımda (% 6 ön-gerilme + $135^{\circ}\text{C}/60$ saat) sadece T_1 fazlarının bulunabileceğini ifade etmişlerdir.

Poon vd. (2016), Mikro alaşımlama elementlerinin alüminyum alaşımlarına eklenmesiyle mekanik özelliklerde elde edilen iyileşmeyi; alternatif bir yaşlandırma süreci olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, eser miktarda Sn ve Sn+Ag, Al-1.1Cu-1.7Mg'ye % ağırlıkça eklenmiştir. Alaşıma eklenen bu elementlerin alaşımın sertliği üzerine etkileri sertlik testi ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) yardımıyla ile araştırılmıştır. Sertlik ölçüm sonuçları, Sn ilavesinin, yaşlandırma süreci boyunca sertliği arttırdığını; ve Ag ile birlikte kullanılması durumunda halinde sertliğin daha da artırdığını ve maksimum sertliğe ulaşma süresini kısalttığını göstermektedir. Sn mikro-alaşımlaması ile sertlikteki artış, S fazı (Al_2CuMg) çökeltilerinin homojen dağılımına

bağlanmaktadır. Hem Sn hem de Ag ile mikro alaşımlanan alaşımda, mikro yapı azami olarak güçlendirilmiş şartta homojen olarak dağılmış Ω fazı (Al_2Cu) çökeltilerine sahiptir. SEM formülü kullanılarak küresel β -Sn çökeltilerinin ya da Ω fazı çökeltileri için belirgin çekirdeklenme alanlarının gözlenmediği göz önüne alındığında, bu tür homojen çökeltilerin iyileştirilmesi için bir mekanizma belirlenmeye çalışılmıştır.

Wen vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada Al-Mg-Er-Zr alaşımlarının çökeltme sertleşmesi ve yeniden kristallenme davranışını incelemişlerdir. Sonuçlar, Mg'un çözülmesinin ve konsantrasyonun $\text{Al}_3(\text{ErZr})$ 'nin çökeltmesi üzerine önemsiz bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Çökelmiş tanelerin dağılımı, katılaşma sırasında oluşan çözülme çözünme boşluklarının homojen olmayan dağılımına bağlı olarak homojen değildir. Er ve Zr ilavesi ile elde edilen alaşımların yeniden kristalleşme sıcaklığı, Er ve Zr ilavesi yapılmayan alaşımların yeniden kristalleşme sıcaklığından daha yüksektir. Yazarlar, özellikle Al-Mg-Er-Zr alaşımının yeniden kristalleşmenin sona erdiği sıcaklığın çökeltilerin daha geç oluşması nedeniyle Al-5Mg alaşımından en az 200°C daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir, farklı Mg konsantrasyonlu Al-Mg-Er-Zr alaşımları arasına yakındır.

Yu vd. (2016), çalışmalarında AA6061 levhaları, birikimli rulo yapıştırma tekniği (ARB) kullanılarak imal etmişlerdir. ARB ile işlenmiş levhalar daha sonra kriyohaddeleme ve asimetrik kriyohaddelemeye tabi tutulmuştur. Levhalar daha sonra 100°C 'de 48 saat yaşlandırılmıştır. Mekanik testler, asimetrik kriyohaddeleme ve yaşlandırma kombinasyonunun, ARB ile işlenmiş tabakaların hem sünekliğinde hem de mukavemetinde belirgin bir gelişme sağlandığını göstermektedir. Aynı zamanda tabakalara uygulanan prosesin farklı evrelerindeki meydana gelen mikro yapılar optik mikroskopi, tarama elektron mikroskopisi, transmisyon elektron mikroskopisi ve X-ışını kırınımı kullanılarak analiz edilmiş ve mekanik özelliklerin mikro yapı ile ilişkilendirilmesi sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Malzemesi

Bu çalışmada, Alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımının tribolojik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, ticari olarak döküm yoluyla Al-25Zn-1Mg alaşımı üretilmiştir. Dökülen alüminyum alaşımından freze tezgahında numuneler hazırlanmıştır. Döküm yoluyla üretilen malzeme ve deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan numune örneği Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



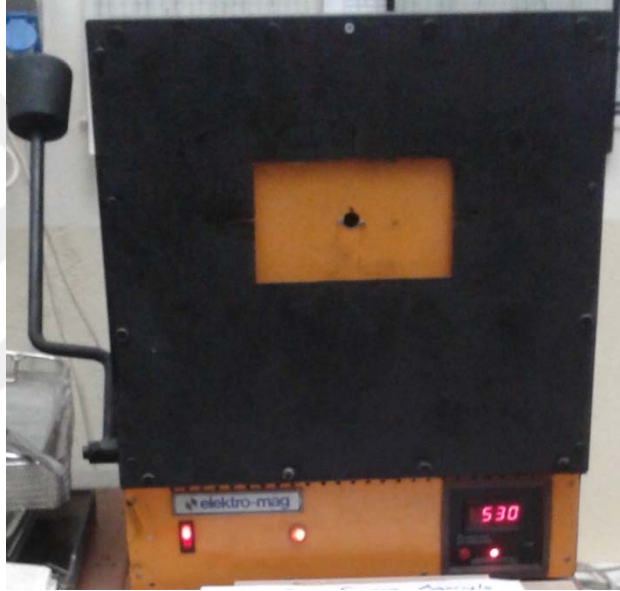
Şekil 3.1. Dökülen malzeme ve hazırlanan numune örneği

Freze tezgâhında 20mmx20mm ebatlarında kesilen numuneler yaşlandırma işlemine tabi tutulmak için gruplandırılmıştır. Gruplandırma işleminden sonra numunelere yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Freze tezgâhında kesilen numuneler işlemsiz, solüsyona alma, 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yaşlandırma işlemleri için yedi farklı gruba ayrılmıştır. Her bir grup için toplam 18 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden 18 tanesine hiçbir işlem yapılmamış olup; bu numuneler dökümden alındığı şekliyle tribolojik deneylere tabi tutulmuştur. Geri kalan numunelere ise yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

3.2. Yapay Yaşlandırma İşlemi

3.2.1 Solüsyona Alma İşlemi

Deney numunelerine, öncelikle Süleyman Demirel Üniversitesi Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan ve Şekil 3.2'de gösterilen Elektro-Mag marka ısıtım işlem fırınında 530°C sıcaklıkta sekiz saat boyunca solüsyona alma işlemi uygulanmıştır. Sekiz saat süreyle fırında bekleyen numuneler daha sonra suda soğutulmuştur.



Şekil 3.2. Isıl işlem fırını

Suda soğutulan numuneler daha sonra yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için numuneler 180°C sıcaklıkta 1, 3, 6, 12 ve 24 saat sürelerle fırında bekletilmiştir ve yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılan numuneler, fırından çıkarıldıktan sonra hava akımı olmayan bir ortamda oda sıcaklığına soğutulmuştur. Numuneler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra doğal yaşlanmaya tabi olmamaları için buzluğa konularak muhafaza edilmiştir.

3.3. Sertlik Ölçme

Yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulan numune her bir numune grubundan birer adet numune sertlik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla yüzey temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla numuneler Süleyman Demirel Üniversitesi Triboloji Laboratuvarı'nda bulunan ve Şekil 3.3'de gösterilen METKON Forcipol 1V marka cihazda zımparalama ve yüzey parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler öncelikle sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 meshlik su zımparalarıyla zımparalanmış; daha sonra 3µm ve 1µm elmas solüsyonla parlatılmıştır.



Şekil 3.3. Zımparalama cihazı

Yüzey temizleme işlemleri tamamlanan numunelerin, Metkon MH-3 marka sertlik cihazında Vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri esnasında numunelere, elmas konik uç yardımıyla 200g yük 15s süre ile uygulanmıştır. Numune yüzeylerinde yedi sertlik ölçümü gerçekleştirilmiş olup; sertlik değeri olarak, bu ölçümlerin aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

3.4. Mikroyapı İncelemeleri

Yapay olarak yaşlandırılan Al-25Zn-1Mg numunelerin mikroyapılarının incelenebilmesi maksadıyla tıpkı sertlik ölçme işleminde yapıldığı gibi numunelerin yüzeyleri sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 meshlik su zımparalarıyla zımparalanmış; daha sonra 3 μ m ve 1 μ m elmas solüsyonla parlatılmıştır. Bundan sonra 95ml saf su, 2ml HCl, 2ml HNO₃ ve 1ml HF yardımıyla oluşturulan çözeltide numuneler iki dakika süreyle dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroyapı fotoğrafları, Şekil 3.4'de verilen OLYMPUS marka SC100 model optik mikroskopta çekilmiştir.



Şekil 3.4. Mikroyapı fotoğrafları için kullanılan optik mikroskop

3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Al-25Zn-1Mg malzemedan elde edilen numunelerin tribolojik deneylerden önce yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü triboloji Laboratuvarı'nda bulunan ve Şekil 3.5'de verilen TIME TR200 marka yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

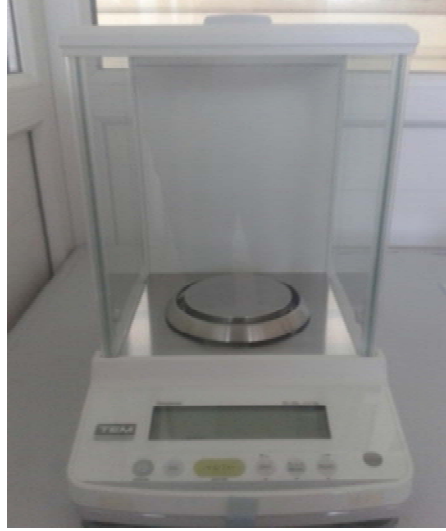


Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

3.6. Triboloji Çalışmaları

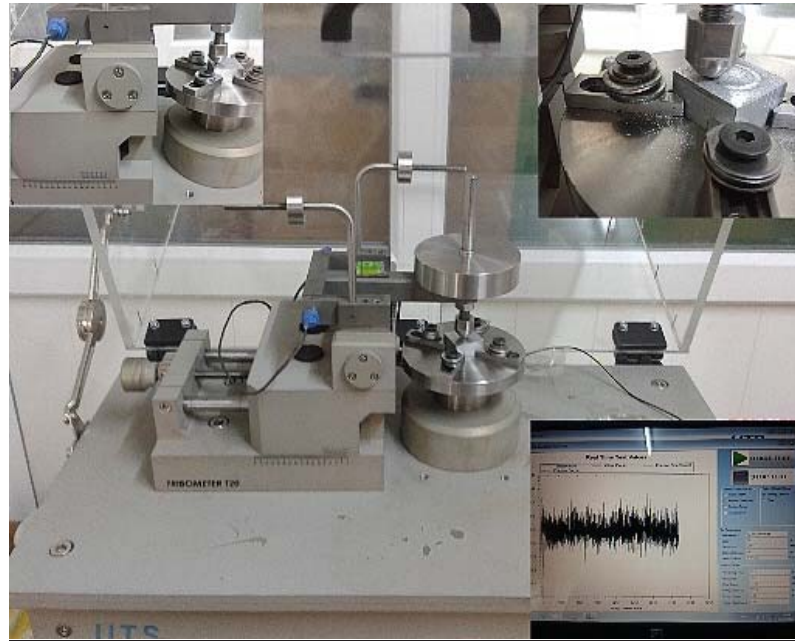
Bu çalışmada, Al-25Zn-1Mg alaşımından elde edilen ve yapay yaşlandırılan numuneler, pim-disk aşınma deney setinde kuru ortamda, iki farklı yük ve üç farklı hız şartlarında aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler esnasında uygulanan yükler 5N ve 10N olup, kayma hızları 200d/d, 400d/d ve 800d/d olarak seçilmiştir. Deneylerde kat etme mesafesi olarak 500m seçilmiştir. Tüm deneyler üç defa tekrarlanarak ortalama değerler kullanılmıştır.

Aşınma miktarları kütle kaybı prensibine göre belirlenmiş olup; deneyler sırasında sürtünme katsayıları da kaydedilmiştir. Aşınma miktarının tespit edilebilmesi için deneylerden önce ve sonra tüm numuneler hegzan ile yıkanmış, kurutulmuş ve Şekil 3.6'de gösterilen TEM marka 0.0001g hassasiyetli terazide tartılmıştır.



Şekil 3.6. Elektronik hassas terazi

Bu çalışmada tribolojik deneyleri gerçekleştirebilmek için ASTM G-99 (Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disc Apparatus) standardına uygun testler yapabilen UTS marka pim-disk cihazı kullanılmıştır. Birbiri ile temasta olan malzemelerin sürtünme, aşınma ve yağlama gibi tribolojik özelliklerinin, farklı yükleme şartlarında ve farklı hızlarda araştırılmasına olanak sağlayan pim-disk deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 3.7'de verilmiştir. Deneylerde aşındırıcı uç olarak alümina (Al_2O_3) uç kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Aşınma deney düzeneği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

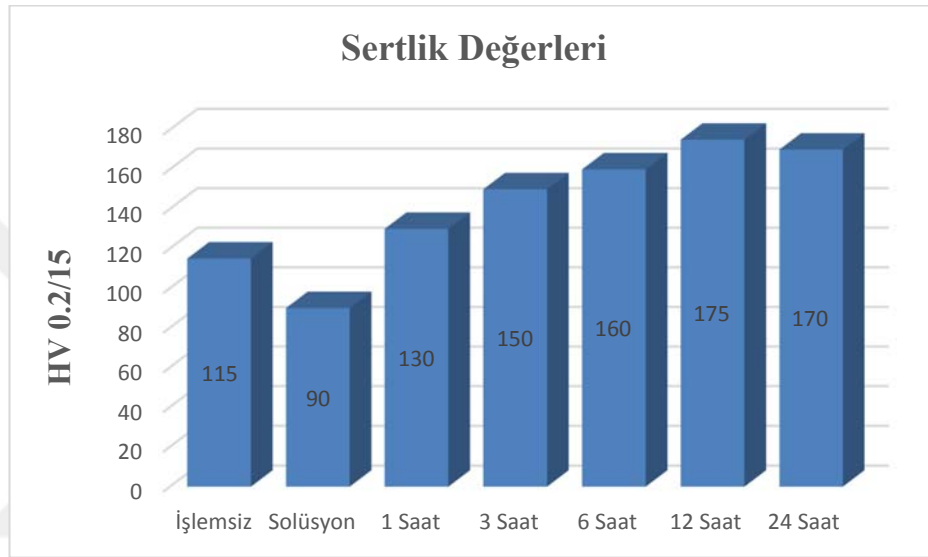
4.1 Sertlik Değerleri

Bu çalışmada yatak malzemelerinde görülen en önemli sorunlardan biri olan aşınma problemi incelenmiştir. Yatak malzemelerinden genellikle yüksek aşınma ve korozyon direnci ile yüksek yorulma dayanımı gibi özellikler beklenmektedir. Bu özelliklerden yola çıkarak klasik yatak malzemelerinden daha ucuz ve daha kolay üretilen yatak malzemeleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada kolay bulunabilirlik, ekonomiklik, hafiflik, yüksek korozyon direnci, yüksek yorulma dayanımı gibi özellikler sergileyen alüminyum alaşımlarına çinko alaşım elementi ilave edilmiş ve ısıtıl işlem uygulanarak aşınma dirençlerinin arttırılmasına çalışılmıştır. Böylece bu çalışmanın, yataklarda özellikle aşınmadan kaynaklanan maddi kayıpların azaltılmasına yardımcı olması beklenmektedir.

Alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımının, tribolojik özelliklerinin deneysel olarak incelenebilmesi amacıyla, ticari olarak, döküm yoluyla Al-25Zn-1Mg alaşımı üretilmiştir. Dökülen alüminyum alaşımından freze tezgâhında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler işlemsiz, solüsyona alma, 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yaşlandırma işlemleri için yedi farklı gruba ayrılmıştır. Her bir grup için toplam 18 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden 18 tanesine hiçbir işlem yapılmamış olup; bu numuneler dökümden alındığı şekliyle tribolojik deneylere tabi tutulmuştur. Geri kalan numunelere yukarıda belirtilen şartlarda yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

Yaşlandırma işlemi için numuneler öncelikle 530°C sıcaklıkta sekiz saat boyunca solüsyona alınmış olup; bu sıcaklıkta sekiz saat süreyle bekletilmişlerdir. Sekiz saat süreyle solüsyona alınan numunelere daha sonra su verilmiştir. Su verme işleminden sonra numuneler 180°C sıcaklıkta sırasıyla 1, 3, 6, 12 ve 24 saat sürelerle fırında bekletilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmıştır.

Yapılan bu işlemlerden sonra her bir numune grubundan örnekler alınarak yüzey temizleme işlemi gerçekleştirilmiş ve numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Pürüzlülük değeri için numune üzerinden yedi ölçüm alınarak bunların aritmetik ortalaması kullanılmıştır Her bir numunenin ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) $0,316 \pm 0,02 \text{ mm}$ 'dir. Daha sonra numunelerin Vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin ölçülen sertlik değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



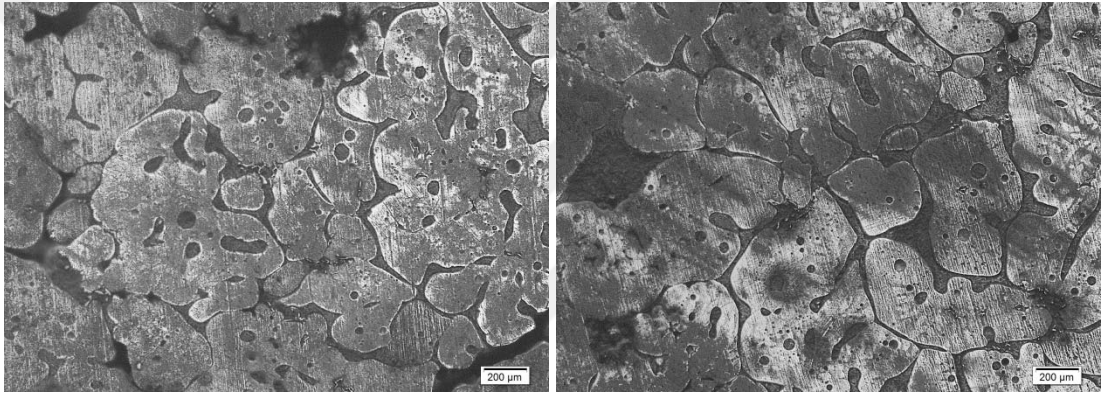
Şekil 4.1. Numunelerin sertlik değerleri

Şekil 4.1 incelendiğinde, solüsyona alınan numunelerin sertlik değerlerinin HV90 olarak en düşük sertlik değerini aldıkları; yaşlandırma işlemine bağlı olarak 12 saatlik yapay yaşlandırma işlemine kadar sertlik değerinde artışlar olduğu görülmektedir. Şekil incelendiğinde, en büyük sertlik değerinin 12 saat yapay yaşlandırma işlemi sonrasında elde edildiği ve sertlik değerinin HV175 olduğu görülmektedir. 24 saatlik yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin sertlik değerinin ise düşüşe geçmeye başladığı tespit edilmiş olup; bu değer HV170'dir.

4.2. Optik Metalografi Çalışmaları

Deneylerde kullanılan Alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımından hazırlanan numuneler için çekilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.2'de verilmektedir.

Şekil 4.2 a ve b sırasıyla işlem görmemiş ve solüsyona alınmış numunelerin iç yapı fotoğraflarını göstermektedir. İşlem görmemiş ve solüsyona alınmış numunelerin içyapı fotoğrafları incelendiğinde; her iki numunede telerin farklı büyüklüklerde ancak eş eksenli tanelerden meydana geldikleri tespit edilmiştir. Tane büyüklüğü ölçümünde solüsyona alınan numunelerin boyutlarının işlemsiz numunelerin boyutlarından daha büyük olduğu görülmüştür. Deneyler sırasında kullanılan işlem görmemiş numunenin tane boyutu 96µm olarak ölçülürken; solüsyona alınmış numunelerin tane boyutu ise 112µm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar solüsyona alınan numunelerin ana malzemeye göre daha iri taneli olduğunu göstermektedir.



(a)

(b)

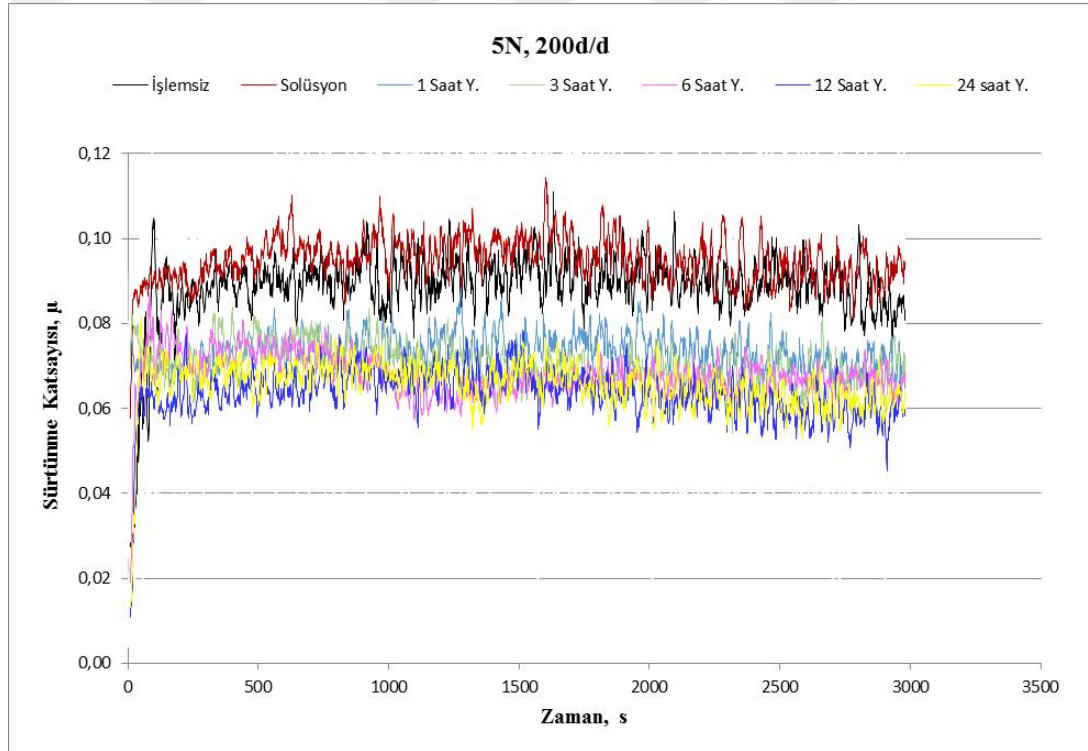
Şekil 4.2 Numunelerin optik mikroskop görüntüsü (a) İşlem görmemiş, (b) solüsyona alınmış

4.3. Sürtünme Katsayısı Sonuçları

Bu çalışmada, Alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımının tribolojik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, ticari olarak döküm yoluyla Al-25Zn-1Mg alaşımı üretilmiştir. Dökülen alüminyum alaşımından freze tezgâhında 20mmx20mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Kesilen numuneler yaşlandırma işlemine tabi tutulmak için gruplandırılmıştır. Gruplandırma işleminden sonra numunelere yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler işlemsiz, solüsyona alma, 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yaşlandırma işlemleri için yedi farklı gruba ayrılmıştır. Her bir grup için toplam 18 adet numune hazırlanmıştır.

Deneyler pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiş olup aşındırıcı olarak alümina uç (Al_2O_3) kullanılmıştır. Deneyler kuru ortamda, oda sıcaklığında 5N ve 10N yüklerde; 200d/d, 400d/d ve 800d/d hızlarda gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmaları incelenerek bu çalışmada, kat etme mesafesi olarak 500m seçilmiştir. Her bir deney üç defa tekrarlanmış olup, elde edilen verilerin aritmetik ortalamaları alınmış ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı-süre grafikleri çizilmiştir.

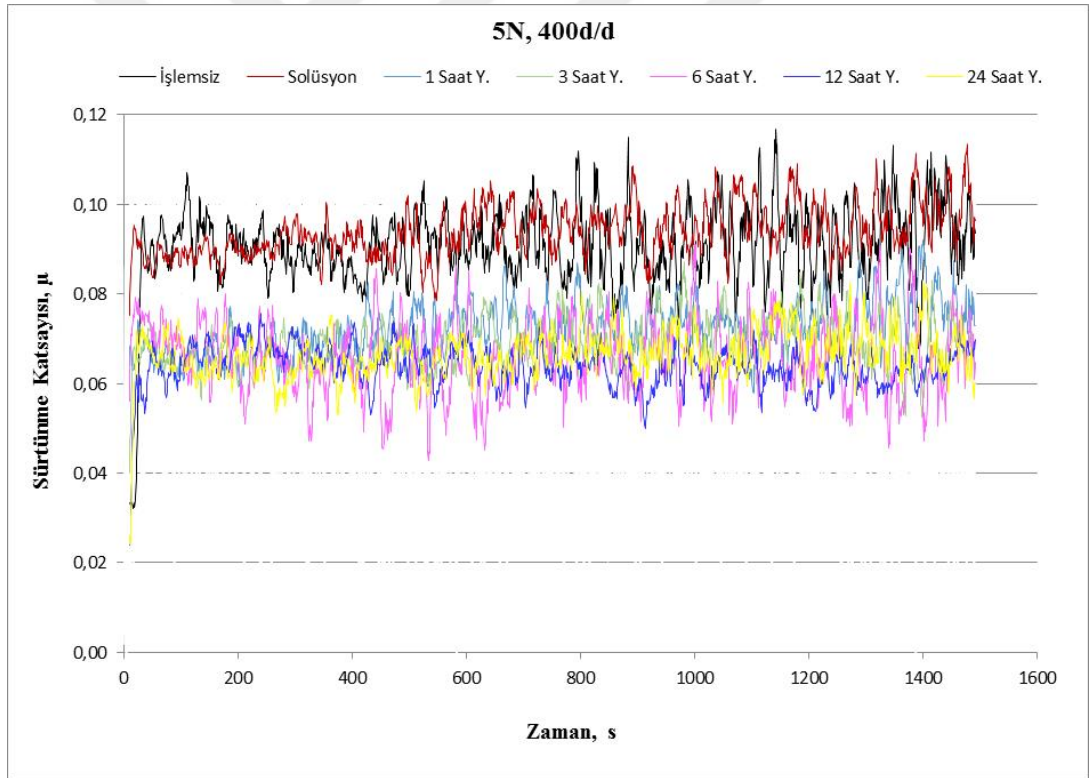
Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5, 5N yük altında sırasıyla 200d/d, 400d/d ve 800d/d hızlarda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının, yaşlandırma süresi ve zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir.



Şekil 4.3 5N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.3 incelendiğinde, 5N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,089; solüsyona alınan numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,095; 1 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,073; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı

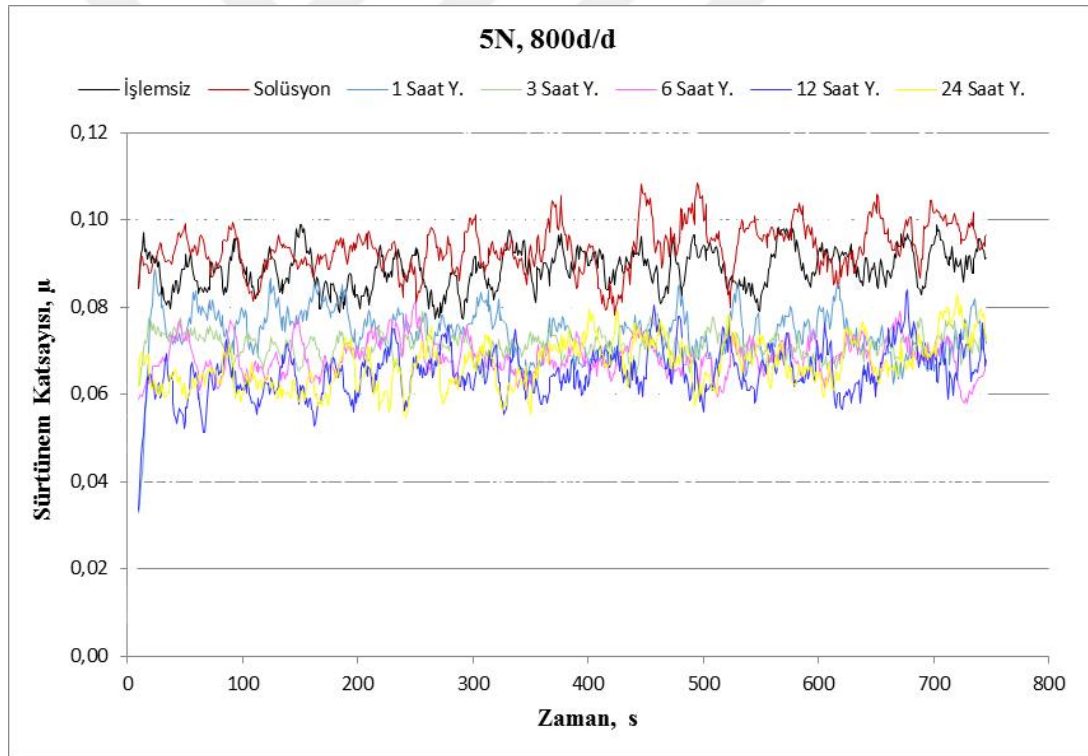
değerinin 0,070; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,068; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,064 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,066 olduğu tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm şartlar için sürtünme katsayısının başlangıçta artış gösterdiği ancak deneyin ortalarından itibaren küçük bir azalma karakteristiği göstererek deney sonuna kadar stabil halde devam ettiği görülmektedir. Verilerden de anlaşılacağı üzere solüsyona alınan numunelerin sürtünme katsayısı değeri en yüksek sürtünme katsayısı değeridir. Bu numunelerin sürtünme katsayısı 0,095 olarak tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değeri ise 0,064 ile 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda elde edilmiştir.



Şekil 4.4 5N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.4 incelendiğinde, 5N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,090; solüsyona alınan numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,094; 1 saat

süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,072; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,069; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,066; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,064 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,066 olduğu tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm şartlar için sürtünme katsayısının deneyin hemen başında artış gösterdiği daha sonra stabil hale geldiği ancak deneyin ortalarından itibaren küçük bir artış karakteristiği gösterdiği görülmektedir. Deneyler süresince en büyük sürtünme katsayısı solüsyona alınan numuneler 0,094 olup; en düşük sürtünme katsayısı değeri ise 0,064 ile 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda elde edilmiştir.

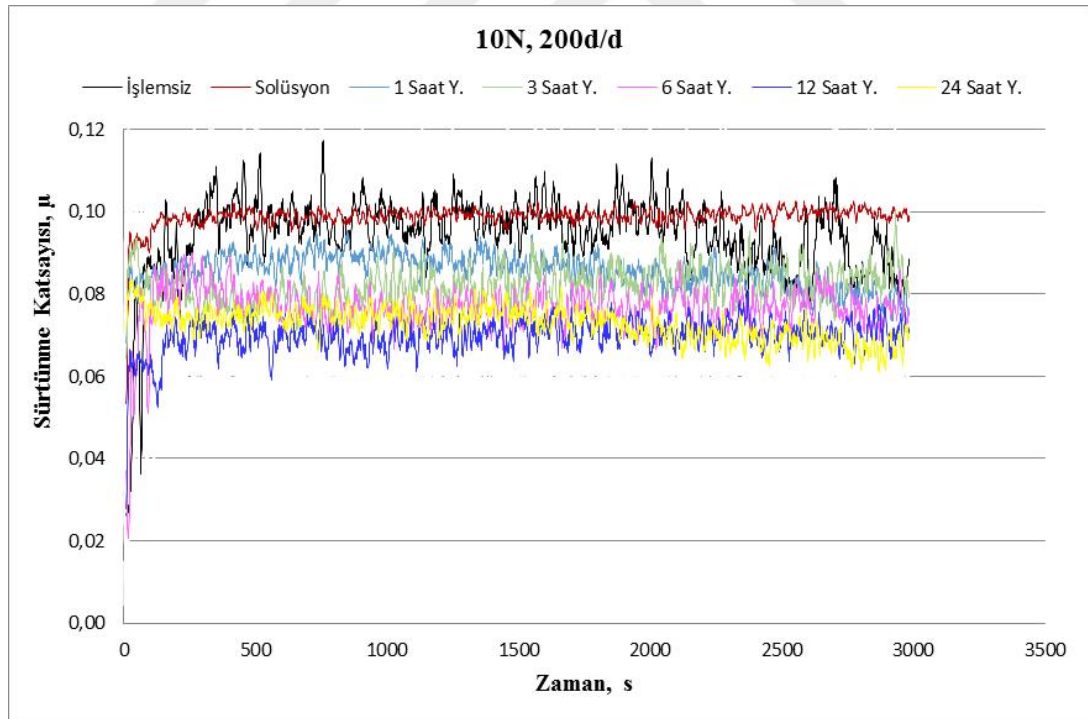


Şekil 4.5 5N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.5, 5N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Deneyler sonucunda, işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,089; solüsyona alınmış numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,094; 1 saat süreyle yaşlandırılan

numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,074; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,071; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,068; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,065 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,067 olduğu tespit edilmiştir. Tüm şartlar için sürtünme katsayısının deneyin hemen başında artış gösterdiği daha sonra stabil hale geldiği ancak tıpkı 400d/d hızda yapılan deneylerde olduğu gibi deneyin ortalarından itibaren küçük bir artış karakteristiği gösterdiği görülmektedir. Deneylerde en büyük sürtünme katsayısı değeri solüsyona alınan numunelerde 0,094 olarak; en düşük sürtünme katsayısı ise 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda 0,065 olarak elde edilmiştir.

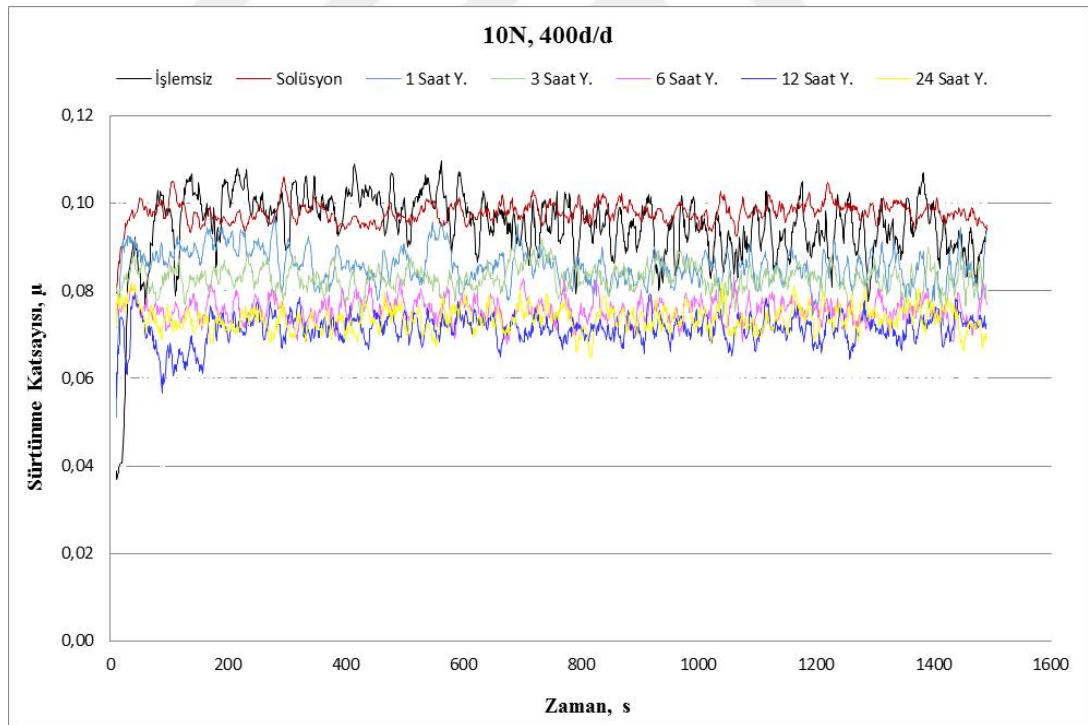
Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 ise 10N yük altında sırasıyla 200d/d, 400d/d ve 800d/d hızlarda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının, yaşlandırma süresi ve zamana bağlı olarak değişimini göstermektedir.



Şekil 4.6 10N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.6 incelendiğinde, 10N yük ve 200d/d hızda yapılan deneylerde işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,094;

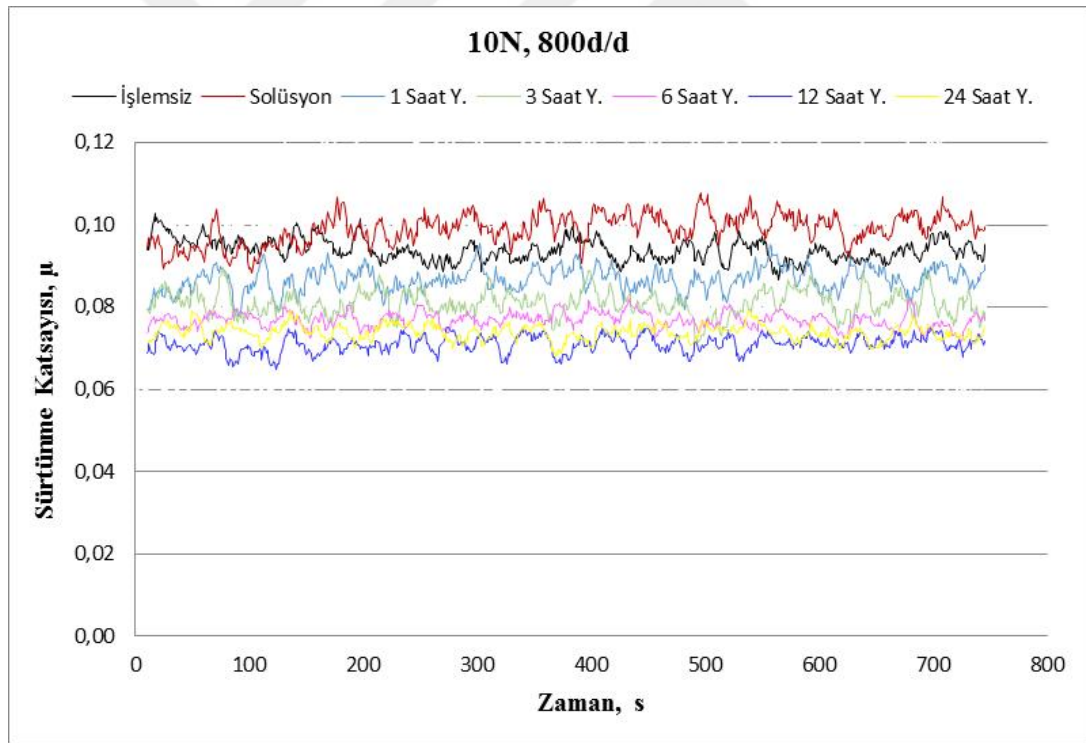
solüsyona alınan numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,099; 1 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,086; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,082; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,076; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,070 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,073 olduğu tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm şartlar için sürtünme katsayısının başlangıçtan deney sonuna kadar stabil halde devam ettiği görülmektedir. Bununla beraber işlem görmemiş numunelerin sürtünme katsayısı verilerinde dalgalanmaların olduğu da tespit edilmiştir. Sonuçlara bakıldığında solüsyona alınan numunelerin sürtünme katsayısı değeri 0,099 ile en yüksek sürtünme katsayısı değeridir. En düşük sürtünme katsayısı değeri ise 0,070 ile 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda elde edilmiştir.



Şekil 4.7 10N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.7 incelendiğinde, 10N yük ve 400d/d hızda yapılan deneylerde işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,095;

solüsyona alınan numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,098; 1 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,086; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,083; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,076; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,071 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,074 olduğu tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm şartlar için sürtünme katsayısının rodaj süresinde artış gösterdiği daha sonra stabil hale geldiği ve deneyin sonuna kadar değişmeyen bir davranış sergilediği görülmektedir. Deneyler süresince en büyük sürtünme katsayısı solüsyona alınan numuneler 0,098 olup; en düşük sürtünme katsayısı değeri ise 0,071 ile 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda elde edilmiştir.



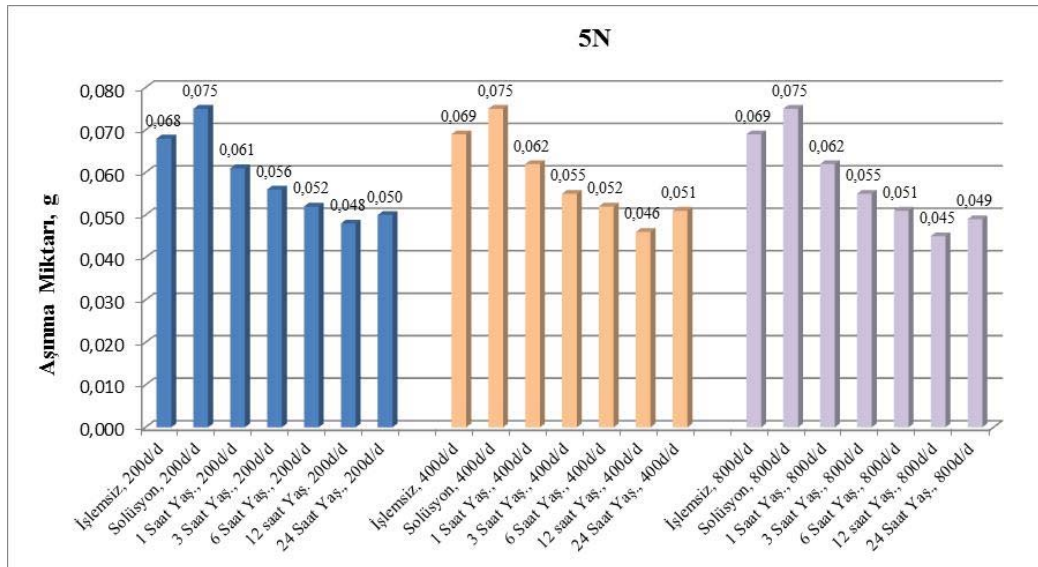
Şekil 4.8 10N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayılarının değişimi

Şekil 4.8, 10N yük ve 800d/d hızda yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayısı değerlerini göstermektedir. Deneyler sonucunda, işlem görmemiş olan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,094; solüsyona alınmış

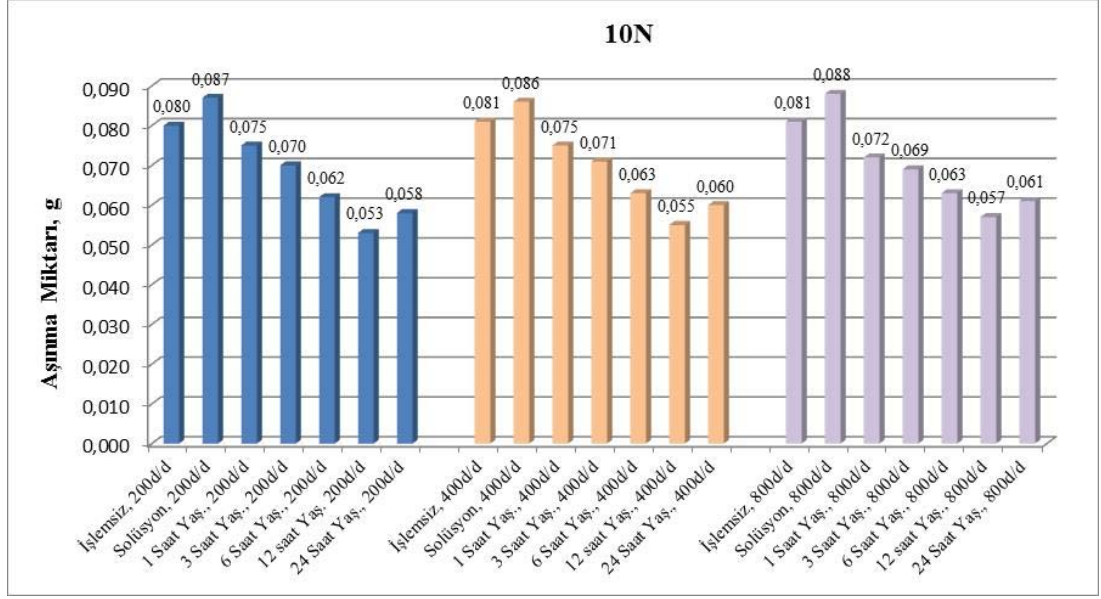
numunelerin ortalama sürtünme katsayısının 0,099; 1 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,087; 3 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,081; 6 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,077; 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin 0,071 ve 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerinin ise 0,074 olduğu tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde her şarttaki sürtünme katsayısının deneyin başından sonuna kadar çok fazla bir artış göstermediği görülmektedir. Deneylerde en büyük sürtünme katsayısı değeri solüsyona alınan numunelerde 0,099 olarak; en düşük sürtünme katsayısı ise 12 saat süreyle yaşlandırılmış olan alaşımda 0,071 olarak elde edilmiştir.

4.4. Aşınma Miktarı

Deneylerde kullanılan alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımından elde edilen numuneler, hem deney öncesi hem de deney sonrası Hegzan sıvısı yardımıyla yıkanmış ve tamamen kuruduktan sonra 0,0001g hassasiyetindeki terazide tartılarak kütle kayıpları belirlenmiştir. 5N yük altında yapılan deneylerde elde aşınma miktarları Şekil 4.9'da; 10N yük altında elde edilen aşınma miktarları ise Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9 5N yük altında yapılan deneylerde elde edilen aşınma miktarları



Şekil 4.10 10N yük altında yapılan deneylerde elde edilen aşınma miktarları

Aşınma miktarları incelendiğinde 10N yük altında test edilen numunelerin aşınma miktarlarının 5N yük altında test edilen aynı özellikteki numunelerin aşınma miktarlarından daha büyüktür.

5N yük altında deney tabi tutulan numunelerde en büyük aşınma miktarı solüsyona alınmış numunelerde 0,075g olarak tespit edilirken; en düşük aşınma miktarı ise 0,045g olarak 12 saat yaşlandırılmış olan numunelerde elde edilmiştir.

10N yük altında deney tabi tutulan numunelerde en büyük aşınma miktarı solüsyona alınmış numunelerde 0,088g olarak tespit edilirken; en düşük aşınma miktarı ise 0,053g olarak 12 saat yaşlandırılmış olan numunelerde elde edilmiştir.

4.5. Genel Değerlendirme

Tüm deneyler ve bunların sonucunda çizilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri birlikte değerlendirildiğinde; kuru sürtünme şartlarında yapılan deneyler neticesinde yükün artmasıyla birlikte tüm şartlarda sürtünme katsayısı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sonuç özellikle Coulomb-

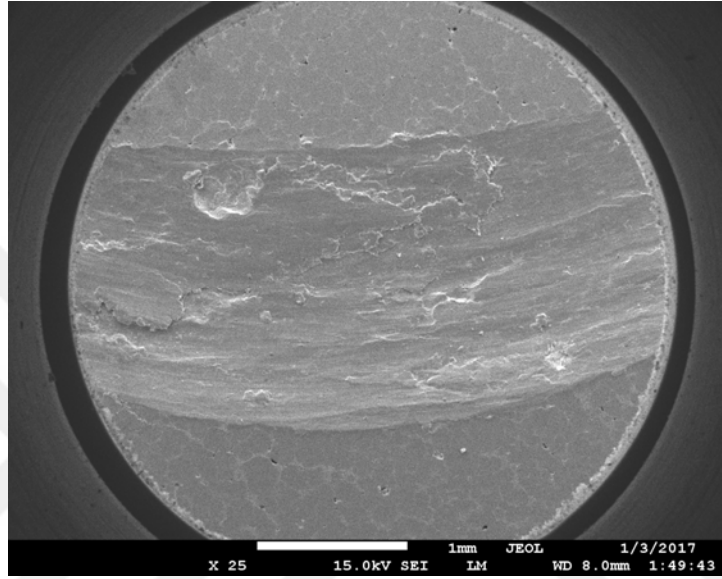
Amontos denklemi düşünöldüğünde kabul edilebilir bir durum olup; Coulomb-Amontos' a göre sürtünme kuvveti ile normal kuvvet birbiri ile doğru orantılıdır. Bektaşoğlu ve Savaşkan (2005), kokil dökümle üretmiş oldukları Zn-60Al-(1-5) Cu alaşıımından elde etmiş oldukları numunelerin kuru sürtünme şartlarındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Dört farklı basınç altında yapmış oldukları deneylerde artan basınç miktarına bağılı olarak hacim kaybının da doğru orantılı olarak arttığını belirtmişlerdir. Kesit değişmediğı için basıncın artması, normal kuvvetin artırılması ile mümkün olacaktır. Bu da sürtünme kuvvetinin artmasına sebep olacak ve sonuç olarak sürtünme katsayısı da artan basınç değeri ile artmış olacaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde bu tez çalışmasının literatürle çelişen bir yanının olmadığı düşünölmektedir.

Sürtünme katsayıları yaşlandırma işlemi açısından değerlendirildiğinde; solüsyona alınan numunelerin sürtünme katsayısı değeri, tüm sürtünme katsayıları içerisinde en yüksek sürtünme katsayısı değeri sağıptır. Yaşlandırma süresinin artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı değeri de azalmaya başlamıştır. Ancak 24 saat yapay aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değeri tekrar yükselmeye başlamıştır. Sürtünme katsayısı değeriindeki bu azalmaya, sertlik miktarlarının da etkisi olduğu düşünölmektedir. Zira sertlik miktarı ile dayanım arasında sıkı bir bağı bulunmaktadır (Abou El-Khair vd., 2004; Rao vd., 2010; Babic vd., 2010). Sertlik değeriyle ilgili çizilen grafik incelendiğinde sertliğin de yaşlandırma süresi ile arttığı görölmektedir. Sertliğin artmasıyla birlikte malzemelerin aşınmaya karşı olan dirençleri de artmaktadır. Bu durum ister istemez sürtünme katsayısını da etkilemekte olup; sürtünme katsayısının artan yaşlandırma süresi ile azaldığı düşünölmektedir.

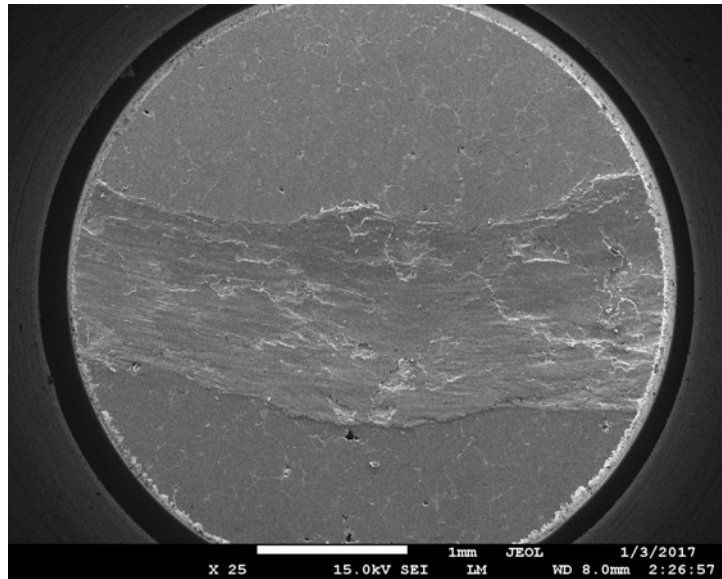
4.6. Metalografik İncelemeler

Deneylerde kullanılan numunelerin deneylerden sonra aşınmış yüzeylerinin fotoğrafları, JEOL marka JSM-7600F model taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla çekilmiştir. Aşınmış yüzeylerin karşılaştırılabilmesi açısından iki tip numune seçilmiş olup bunlar, 10N yük ve 400d/d da test edilmiş olan solüsyona

alınmış ve 180°C’da 12 saat süreyle yapay yaşlandırılmış numunelerdir. Bu numunelerin seçilme nedeni solüsyona alınmış numunenin sertliğinin en küçük; 12 saat yaşlandırılmış numunenin sertliğinin ise en büyük olmasıdır. Dolayısıyla aynı şartlar altında test edilen, en büyük ve en küçük aşınma miktarlarının elde edildiği numuneler seçilmiştir. Deneylerden sonra çekilen yüzey fotoğrafları Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de verilmektedir.



Şekil 4.11 10N yük ve 400d/d da test edilen solüsyona alınmış numunenin yüzey fotoğrafı



Şekil 4.12 10N yük ve 400d/d da test edilen 180°C’da 12 saat yaşlandırılmış numunenin yüzey fotoğrafı

Metalografik incelemeler sonucunda her iki malzeme grubunda da deneyler sonucunda yüzeylerde, parlaklıkların oluştuğu görülmektedir. Yüzeydeki pürüz tepelerinin birbiriyle temas etmesi neticesinde koptuğu ve zımparalama etkisi nedeniyle yüzeylerin daha parlak olarak görüldüğü düşünülmektedir. Ayrıca tüm yüzeylerde görülen izlerin aşınma izleri olduğu anlaşılmaktadır ve bu izler abrazif aşınmanın gerçekleştiği kanaatini uyandırmaktadır.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 incelendiğinde aşınma miktarının büyük olduğu solüsyona alınmış numunede, daha geniş ve derin aşınma izleri tespit edilmiştir. 180°C’da 12 saat yaşlandırılmış numunenin aşınma izlerinin genişliği ise daha dar olup; aşınma izleri solüsyona alınmış numunelere nazaran daha azdır.

Gerek SEM görüntüleri gerekse sertlik, aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları birlikte düşünüldüğünde SEM fotoğrafları ile sertlik, aşınma miktarları ve sürtünme katsayısı değerlerinin örtüştüğü anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yatak malzemelerinde görülen en önemli sorunlardan biri olan aşınma problemi deneysel olarak incelenmiştir. Klasik yatak malzemelerine alternatif olabileceği düşünülen alüminyum esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımı, tribolojik özelliklerinin deneysel olarak incelenebilmesi amacıyla, ticari olarak, döküm yoluyla üretilmiştir. Dökülen alüminyum alaşımından numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler işlemsiz, solüsyona alma, 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yapay yaşlandırma işlemleri için yedi farklı gruba ayrılmıştır. Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numuneler 5N ve 10N yük altında, 200d/d, 400d/d ve 800d/d hızlarda, 500m kat etme mesafesinde kuru sürtünme şartlarında tribolojik deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir:

1. Tüm numunelerde yaşlandırma işlemine bağlı olarak sertlik miktarlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir.
2. Deney hızı sabit tutulduğunda yükün artmasıyla sürtünme katsayısının arttığı tespit edilmiştir.
3. Kuru sürtünme şartlarında hızın artması ya da azalmasıyla sürtünme katsayısında önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

10N yük altında yapılan deneylerde en büyük sürtünme katsayısı, solüsyona alınmış numunelerde 0,099 olarak bulunurken; bu yükteki en düşük sürtünme katsayısı ise 12 saat yaşlandırılmış numunelerde 0,071 olarak tespit edilmiştir.

5N yük altında yapılan deneylerde ise en büyük sürtünme katsayısı, yine solüsyona alınmış numunelerde 0,095 olarak bulunurken; bu yükteki en düşük sürtünme katsayısı ise 12 saat yaşlandırılmış numunelerde 0,064 olarak tespit edilmiştir.

4. Aşınma deney sonuçları incelendiğinde sürtünme katsayısı ve sertlik ifadelerini destekler nitelikte en büyük aşınma değerinin 10N yük altında ve solüsyona alınmış numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük aşınma değeri ise 5N yük altında ve 12 saat yapay yaşlandırma işlemine tutulan numunelerde elde edildiği görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda alüminyum esaslı yatakların uygun yük ve hızlarda; uygun yağlama şartlarında kaymalı yatak malzemesi olarak kullanılabileceği söylenebilir.

Alüminyum esaslı yatakların mekanik özelliklerinin ortaya konulması, optimum ısıtım işlem şartlarının tespit edilmesi, özellikle dinamik yükler altında gösterecekleri mekanik ve tribolojik özelliklerinin tespit edilebilmesi; hatta bu alaşımlara yüzey işlemlerinin uygulanıp uygulanamayacağı gibi çalışmaların yapılması; bu alaşımların yatak malzemesi olarak kullanılıp kullanılamayacakları ile ilgili olarak daha geniş yorumlar yapılabilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abou El-Khair, M.T., Daoud A., Ismail A., (2004). Effect of Different Al Contents on The Microstructure, Tensile and Wear Properties of Zn-Based Alloy. Materials Letter, 58, 1754-1760.
- Adın, B., (2002). "AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129.
- Alper, M.G., (2003). Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş 5052-5152 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi. İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, İstanbul.
- Altenpohl, D. G., (1998). "Aluminium: Technology, Applications, and Environment", The Aluminium Association. Inc, Washington, 128-134 .
- Altenpohl, D., (2002). "Aluminium Viewed from Within Producing", Internal Report 2-14.
- Anasyida, A. S., Daud, A. R., & Ghazali, M. J., (2010). Dry Sliding Wear Behaviour of Al-12Si-4Mg Alloy with Cerium Addition. Materials & Design, 31(1), 365-374.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J., (2010). The Science and Engineering of Materials.
- Askeland, (1990). Erişim Tarihi, 14.05.2015.
- ASTM, (1982). Erişim Tarihi, 14.05.2015. <https://www.astm.org/>.
- Ayla Alüminyum, (2015). Erişim Tarihi, 20.04.2015. <http://www.ayla-aluminyum.com.tr>.
- Babic, M., Mitrović, S., Jeremic, B., (2010). The Influence of Heat Treatment on the Sliding Wear Behaviour of a ZA-27 Alloy. Tribology International, 43, 16-21.
- Baydoğan, M., (2003). "Retregasyon ve Yeniden Yaşlandırma Uygulanmış 2014 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 20-80.
- Bayer, R.G., (2004). Engineering Design for Wear. Crc Press, 448p, Bellevue, Washington.
- Bektaşoğlu, A., & Savaşkan, T. (2005). Zn-60Al-(1-5) Cu Alaşımlarının Kuru Sürtünme Durumundaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Mühendis ve Makine, 46, 31-39.

- Buckley, D.H., (1981). Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear, and Lubrication. Elsevier Book Series, Elsevier Scientific Publishing Co., Vol. 5. New York.
- Büyükdoğan, S., (2011). Yaşlandırılan Al-Mg-Si Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s., Karabük.
- Büyükdoğan, S., Gündüz, S., & Türkmen, M. (2014). Influence of Ageing Treatment on Microstructure, Mechanical Properties and Adhesive Wear Behaviour of 6063 Aluminium Alloy. Industrial Lubrication and Tribology, 66(4), 520-524.
- Car, E., (2015). İkincil Alüminyum üretimine Genel Bakış, ,Metalurji Mühendisi, Erişim Tarihi,01.04.2015.
- Car, E., (2011). İkincil Alüminyum Üretimine Genel Bakış. Metalurji Dergisi, 160, 42-50.
- Chen, J., Zhen, L., Yang, S., Shao, W., & Dai, S., (2009). Investigation of Precipitation Behavior and Related Hardening in AA 7055 Aluminum Alloy. Materials Science and Engineering: A, 500(1), 34-42.
- Çuvalcı H., Baş H., (2004). Investigation of the Tribological Properties of Silicon Containing Zinc-Aluminum Based Journal Bearing. Tribology International, 37, 433-440.
- Das, S., Pelcastre, L., Hardell, J., & Prakash, B. (2013). Effect of Static and Dynamic Ageing on Wear and Friction Behavior of Aluminum 6082 Alloy. Tribology International, 60, 1-9.
- Demir, H., Gündüz, S. (2009). The Effects of Aging on Machinability of 6061 Aluminium Alloy. Materials & Design, 30(5), 1480-1483.
- Demirci, K.M., (2012). Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri. Metalurji Dergisi, 161, 17-29.
- Devlet Kalkınma Bakanlığı (DKB), (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Boksit Çalışma Grubu Raporu. Erişim Tarihi: 13.12.2016. <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zet%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/121/oik636.pdf>.
- Doğan M., (1989). "Alüminyumların ısıt işlemleri", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 54.
- Durak, E., (1998). Farklı Yükleme Şekillerinde Yağ ve Yağ Katkı Maddelerinin Yatak Performasına Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 152s, Isparta.
- Dwivedi, D. K., (2010). Adhesive Wear Behaviour of Cast Aluminium-Silicon Alloys: Overview. Materials & Design, 31(5), 2517-2531.

- Ekici V. Ş., (2007). Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s., Ankara.
- El-Khair, M. A., Daoud, A., & Ismail, A., (2004). Effect of Different Al Contents on the Microstructure, Tensile and Wear Properties of Zn-Based Alloy. *Materials Letters*, 58(11), 1754-1760.
- Erdoğan M., (1996). "Al-Li-Cu-Mg Alaşımlarında Yaşlandırma Mekanizması ve Isıl işlemi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140.
- Feyzullahoglu, E., & Sakiroglu, N., (2011). The Tribological Behaviours of Aluminium-Based Materials Under Dry Sliding. *Industrial Lubrication and Tribology*, 63(5), 350-358.
- Gavali, M., Totik, Y., & Sadeler, R., (2003). The Effects of Artificial Aging on Wear Properties of AA 6063 Alloy. *Materials Letters*, 57(24), 3713-3721.
- Geçkinli E., (2002). "Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi", 2. Isıl İşlem Sempozyumu, İ.T.Ü.22-28.
- Geçkinli, L.F., (2002). Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi, 2.Isıl İşlem Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Şubat 07 - 08, Erişim Tarihi, 14.05.2015.
- Gracio, J. J., Barlat, F., Rauch, E. F., Jones, P. T., Neto, V. F., & Lopes, A. B., (2004). Artificial Aging and Shear Deformation Behaviour of 6022 Aluminium Alloy. *International Journal of Plasticity*, 20(3), 427-445.
- Gülgün, H., (1984). "Türkiye’de ve Dünya’da Alüminyum", Talsad Yayınevi, İstanbul, 122-155.
- Heaton, C.M., (2004). Leonardo da Vinci and His Works. Consisting of a Life of Leonardo da Vinci, Kessinger Publishing, Whitefish, Montana.
- Kaçar, H., Atik, E., & Meriç, C., (2003). The Effect of Precipitation-Hardening Conditions on Wear Behaviours at 2024 Aluminium Wrought Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), 762-766.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L., (2004). Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Asm International.
- Kayalı, E. S., Çimenoglu, H., (1995). "Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları Problemleri ve Çözümleri", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 387-393.
- Kılıç N., (2003). "2. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi ve Sonuç Bildirgesi" İzmir, 15- 20.
- Koç, E., (2007). Makine Elemanları Cilt 2, Nobel Yayınevi, 425s. Adana.
- Köse, A., (2002). "Alüminyum Alaşımlarında Yaşlanma Olayı", Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 30-40.
- Kurbanoglu, C., (2006). Makina Elemanları. Nobel Yayın Dağıtım, 579s. Ankara.

- Lakshmipathy, J., & Kulendran, B., (2014). Reciprocating Wear Behaviour of 7075Al/SiC and 6061Al/Al₂O₃ Composites: A Study of Effect of Reinforcement, Stroke and Load. *Tribology in Industry*, 36(2).
- Larsen-Basse J., (1998). *ASM Handbook Friction, Lubrication and Wear Technology*, 18, 897s. United States of America.
- Li, C., Sha, G., Xia, J. H., Gun, B., Li, L., Cui, J. Z. & Ringer, S. P., (2014). Effect of Solution Treatment on Precipitation and Age-Hardening Response of an Al-4Mg-1Cu-0.5 Si-0.4 Ag (wt%) Alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 599, 64-68.
- Li, H., Huang, D., Kang, W., Liu, J., Ou, Y., & Li, D., (2016). Effect of Different Aging Processes on the Microstructure and Mechanical Properties of a Novel Al-Cu-Li Alloy. *Journal of Materials Science & Technology*.
- Mandal, A., Chakraborty, M., & Murty, B. S., (2007). Effect of TiB₂ Particles on Sliding Wear Behaviour of Al-4Cu Alloy. *Wear*, 262(1), 160-166.
- Meyveci, A., Karacan, İ., Çalığülü, U., & Durmuş, H., (2010). Pim-disk Characterization of 2xxx and 6xxx Aluminium Alloys Aged by Precipitation Age Hardening. *Journal of Alloys and Compounds*, 491(1), 278-283.
- Newton, D.E., Baker, L.W. (2006). *Chemical Elements: From Carbon to Krypton*. The Gale Corporation.
- Öz Ö., (2007). "Yaşlandırma Isıl İşleminin AA 7075 Malzemeli Dikdörtgen Plâğın Burkulma Yüğü Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., Zonguldak, 46-55.
- Özbek, I., (2007). A Study on The Re-solution Heat Treatment of AA 2618 Aluminum Alloy. *Materials Characterization*, 58(3), 312-317.
- Pal, S., Mitra, R., & Bhanuprasad, V. V. (2008). Aging Behaviour of Al-Cu-Mg Alloy-SiC Composites. *Materials Science and Engineering: A*, 480(1), 496-505.
- Poon, I., Marceau, R. K. W., Xia, J., Liao, X. Z., & Ringer, S. P., (2016). Precipitation processes in Al-Cu-Mg-Sn and Al-Cu-Mg-Sn-Ag. *Materials & Design*, 96, 385-391.
- Prakash, N. A., Gnanamoorthy, R., & Kamaraj, M., (2010). Friction and Wear Behavior of Surface Nanocrystallized Aluminium Alloy Under Dry Sliding Condition. *Materials Science and Engineering: B*, 168(1), 176-181.
- Prasad B.K., (2004). Influence of Heat Treatment Parameters on the Lubricated Sliding Wear Behaviour of a Zinc-Based Alloy. *Wear*, 257, 1137-1144.
- Pürçek G., Savaşkan T., Küçükömeroğlu T., Murphy S., (2002). Dry Sliding Friction and Wear Properties of Zinc-Based Alloys. *Wear*, 252, 894-901.

- Rao, R. N., Das, S., Mondal, D. P., & Dixit, G., (2009). Dry Sliding Wear Behaviour of Cast High Strength Aluminium Alloy (Al-Zn-Mg) and Hard Particle Composites. *Wear*, 267(9), 1688-1695.
- Saklakoglu, N., Gencalp Irizalp, S., Ercayhan, Y., & Birol, Y., (2014). Investigation of Wear Behaviour of Thixoformed and Conventional Gravity Cast AlSi8Cu3Fe Alloys. *Industrial Lubrication and Tribology*, 66(1), 46-50.
- Salman, Ö., (2011). Yağlama Yağı için Bitkisel Yağların ve Esterlerinin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 269s, Isparta.
- Sanchez, C., J., (2011). Tribological Characterization of Carbon Based Solid Lubricants. Texas A&M University, M.Sc Thesis, 74p, Texas.
- Sarıkaya, Ö., (2007). Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri. 321s. Sakarya.
- Savaşkan T., Aydın A., (2004). Effects of Silicon Content on the Mechanical and Tribological Properties of Monotectoid-Based Zinc-Aluminum-Silicon Alloys. *Wear*, 257, 377-388.
- Savaşkan T., Azaklı Z., (2008). An Investigation of Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Comparison with SAE 65 Bearing Bronze. *Wear*, 264, 920-928.
- Savaşkan T., Bican O., (2005). Effects of silicon content on the microstructural features and mechanical and sliding wear properties of Zn-40Al-2Cu-(0-5)Si. *Material Science & Engineering*, 404, 259-269.
- Savaşkan, T., & Bican, O., (2010). Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-(0-5) Si Alloys in the As-Cast and Heat-Treated Conditions. *Tribology Letters*, 40(3), 327-336.
- Seirig, A., (1998). *Friction and Lubrication in Mechanical Design*, Marcel Dekker Inc., 569p, NewYork.
- Strobel, K., Lay, M. D., Easton, M. A., Sweet, L., Zhu, S., Parson, N. C., & Hill, A. J., (2016). Effects of Quench Rate and Natural Ageing on the Age Hardening Behaviour of Aluminium Alloy AA6060. *Materials Characterization*, 111, 43-52.
- Sun, Y., (1998). “Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 58-69.
- Sun, R. J., Sun, Q. Q., Xie, Y. H., Dong, P. X., Chen, Q. Y., & Chen, K. H., (2016). Enhancing Corrosion Resistance of 7150 Al Alloy Using Novel Three-Step Aging Process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(5), 1201-1210.
- Sverdlin, A., (2003). *Hand Book of Aluminum*. Marcel Dekker, Inc., New York, 33-35.

- Şendeniz M., (2006). "Seçilen Bir Al-Mg-Si Alaşımının (AlMgSi0.5 : ETİAL 60) Isıl İşlemlerle Özellik Değişimlerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 78-88.
- Tao, W., Yin, Z. M., Kai, S. H. E. N., & Jie, L. I. (2007). Single-Aging Characteristics of 7055 Aluminum Alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 17(3), 548-552.
- TMMOB (2001). "Alüminyum Raporu", Metalurji Mühendisleri Odası 62-68.
- Türk A., Kurnaz C., Şevik H., (2007). Comparison of the Wear Properties of Modified ZA-8 Alloys and Conventional Bearing Bronze. Materials & Design, 28, 1889-1897. Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 30-40.
- Vencl, A., (2012). MMCs Based on Hypoeutectic Al-Si Alloy: Tribological Properties in Dry Sliding Conditions. Tribological Journal BULTRIB, 2(2), 17-22.
- Venkataraman, B., & Sundararajan, G., (2000). Correlation Between the Characteristics of the Mechanically Mixed Layer and Wear Behaviour of Aluminium, Al-7075 Alloy and Al-MMCs. Wear, 245(1), 22-38.
- Venkateswarlu, K., Pathak, L. C., Ray, A. K., Das, G., Verma, P. K., Kumar, M., & Ghosh, R. N., (2004). Microstructure, tensile strength and wear behaviour of Al-Sc alloy. Materials Science and Engineering: A, 383(2), 374-380.
- Wang, Y., Rainforth, W. M., Jones, H., & Lieblich, M., (2001). Dry Wear Behaviour and Its Relation to Microstructure of Novel 6092 Aluminium Alloy-Ni 3 Al Powder Metallurgy Composite. Wear, 251(1), 1421-1432.
- Wen, S. P., Wang, W., Zhao, W. H., Wu, X. L., Gao, K. Y., Huang, H., & Nie, Z. R., (2016). Precipitation Hardening and Recrystallization Behavior of Al-Mg-Er-Zr Alloys. Journal of Alloys and Compounds.
- William, F.S., (1981). "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri 2nd ed." Çeviri editörü, Mehmet Erdoğan, Akademik Ltd.Şti. Yayınları, New York, 251-292.
- Wu, J. M., Lin, S. J., Yeh, J. W., Chen, S. K., Huang, Y. S., & Chen, H. C., (2006). Adhesive Wear Behavior of Al x CoCrCuFeNi High-Entropy Alloys as a Function of Aluminum Content. Wear, 261(5), 513-519.
- Yılmaz, S., (2005). Metal Olmayan Yatak Malzemelerinin Tribolojik Özellikleri. Kocaeli Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi, 68s. Kocaeli.
- Yu, H., Su, L., Lu, C., Tieu, K., Li, H., Li, J. & Kong, C. (2016). Enhanced Mechanical Properties of ARB-Processed Aluminum Alloy 6061 Sheets by Subsequent Asymmetric Cryorolling and Ageing. Materials Science and Engineering: A, 674, 256-261.

Zumgahr, K.H., (1987). Microstructure and Wear of Materials. Tribology Series, Vol. 10, 531-553, Amsterdam.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Hayder Isam Abdulzahra AL-SAADI

Doğum Yeri ve Yılı :Bağdat, 1981

Medeni Hali :Evli

Yabancı Dili :İngilizce, Türkçe

E-posta :haideressam@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise :Nebukadnezar Lisesi, 1999

Lisans :Tikrit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 2003

Mesleki Deneyim

GEI South Baghdad Power Plant/IRAQ 2004-2005

Belediyeler ve Kamu İşleri Bakanlığı, IRAQ 2005-..... (halen)