



**FARKLI YAPAY YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN  
6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Çağatay KIRSAVAŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ**

**2021**

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YAPAY YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN  
6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Çağatay KIRSAVAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi  
FARKLI YAPAY YAŞLANDIRMA SÜRELERİNİN  
6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Çağatay KIRSAVAŞ**  
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, farklı magnezyum ve silisyum seviyelerine sahip alüminyumların farklı ısıtma işlem periyotlarında dayanım özellikleri ve sertlik değişimleri gözlemlenmiştir. Farklı alaşımlara uygulanan mekanik testler sonucunda, 6082 alaşımının kullanımının, yüksek mukavemet istenen durumlarda 6060 ve 6063 alaşımına göre daha az maliyetli olduğu, ısıtma işlem süresinden tasarruf sağlanarak enerji maliyetlerinin düşürüldüğü sonucuna varılmıştır. 12 saat ısıtma işlem süresine sahip, 1070 saf alüminyum ve 6063, 6060 ve 6082 alaşımlarından, 16 HW ile en sert malzemenin 6082 alaşımı olduğu ve bazı 6082 alaşımlı numunelerin kırılmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, Isıtma işlem, Çekme deneyi, Çentik darbe deneyi, Sertlik ölçümü

2021, 78 Sayfa

## ABSTRACT

MSc. Thesis  
THE EFFECT OF DIFFERENT ARTIFICIAL AGING TIMES  
ON THE MECHANICAL PROPERTIES  
OF 6XXX SERIES ALUMINUM ALLOYS

**Çağatay KIRSAVAŞ**  
Tekirdağ Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

In this study which is prepared as a Master's thesis of the Department of Mechanical Engineering, the strength properties and hardness changes of aluminum with different magnesium and silicon levels were observed in different heat treatment periods. As a result of the mechanical tests applied to different alloys, it has been concluded that the using of 6082 alloy is less costly than 6060 and 6063 alloys when high strength is required, and energy costs are reduced by saving heat treatment time. Of the 1070 pure aluminum and 6063, 6060 and 6082 alloys with a heat treatment time of 12 hours, it was determined that the hardest material was 6082 alloy with 16 HW and some 6082 alloy samples did not break.

**Keywords:** Aluminum, Heat treatment, Tensile test, Notch impact test, Hardness measurement

**2021, 78 Pages**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Alüminyumun Tarihçesi .....	4
1.2. Alüminyum Üretimi .....	4
1.2.1. Birincil Alüminyum Üretimi .....	4
1.2.1.1. Kıırma ve Ufalama İşlemi .....	6
1.2.1.2. Çürütme .....	6
1.2.1.3. Dinlenme .....	7
1.2.1.4. Çökeltme .....	7
1.2.1.5. Kalsinasyon .....	7
1.2.2. İkincil Alüminyum Üretimi .....	9
1.3. Alüminyumun Tercih Sebepleri .....	11
1.3.1. Hafiflik .....	11
1.3.2. İletkenlik .....	11
1.3.3. Korozyon .....	11
1.3.4. Şekillendirme .....	12
1.3.5. Geri Dönüşüm .....	12
1.3.6. Yansıma .....	12
1.3.7. Mukavemet .....	13
1.3.8. Esneklik .....	13
1.4. Alüminyum Dövme Alaşımların Grupları .....	13
1.5. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi .....	14
1.5.1. Bakırın (Cu) Etkisi .....	14
1.5.2. Silisyumun (Si) Etkisi .....	14
1.5.3. Magnezyumun (Mg) Etkisi .....	15
1.5.4. Manganezin (Mn) Etkisi .....	15
1.5.5. Çinkonun (Zn) Etkisi .....	15
1.5.6. Titanyumun (Ti) Etkisi .....	16
1.5.7. Demirin (Fe) Etkisi .....	16
1.5.8. Nikelin (Ni) Etkisi .....	16

1.6. Yaşlandırma.....	16
1.7. Isıl İşlem Nedir.....	20
1.7.1. Termik Fırını.....	20
1.7.2. Çekme Testi.....	21
1.7.3. Çentik Darbe Deneyi.....	22
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>27</b>
3.1. Malzemenin Seçim Yöntemi.....	27
3.2. Isıl İşlem Uygulanması.....	28
3.3. Çentik Darbe Deneyi.....	28
3.4. Çekme Testi.....	29
3.5. Sertlik Ölçümü.....	30
3.6. Adhesiv Aşınma.....	30
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>32</b>
4.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	32
4.2. Çekme Testi Sonuçları.....	33
4.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	47
4.4. Adhesiv Aşınma.....	53
<b>5. SONUÇ.....</b>	<b>65</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>66</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>68</b>

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Alüminyum grupları başlıca alaşım elemanları .....	20
Çizelge 4.1. Sertlik ölçüm sonuçları .....	32
Çizelge 4.2. Çekme testi akma ve kopma değerleri .....	33
Çizelge 4.3. 30 J darbeye maruz bırakılan charpy test numunelerinde meydana gelen deformasyon açıları .....	47
Çizelge 4.4. 6 saat ısıtıl işlem uygulanmış alüminyum alaşımlarının deney sonuçları .....	48
Çizelge 4.5. 12 saat ısıtıl işlem uygulanmış alüminyum alaşımlarının deney sonuçları .....	49
Çizelge 4.6. Alüminyum alaşımları deney sonuçları 3 .....	52
Çizelge 4.7. Test numunelerinin ortalama sürtünme kuvvetleri .....	58
Çizelge 4.8. Sürtünme katsayıları .....	61
Çizelge 4.9. Kütle kayıpları .....	62

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Kaya halindeki boksit madeni görünümü .....	5
Şekil 1.2. Boksit madeni görünümü .....	6
Şekil 1.3. Alüminanın görünümü .....	8
Şekil 1.4. Alüminyum elektroliz işlemi .....	9
Şekil 1.5. Birincil alüminyum ve ikincil alüminyum üretim şeması.....	10
Şekil 1.6. T6 prosesi.....	19
Şekil 3.1. Alaşım bilgileri .....	27
Şekil 3.2. Termik fırını .....	28
Şekil 3.3. Çentik darbe deney düzeneği .....	29
Şekil 3.4. Çekme deneyi.....	29
Şekil 3.5. Sertlik ölçüm metodu.....	30
Şekil 3.6. Adhesiv aşınma test cihazı.....	31
Şekil 4.1. Sertlik ölçüm sonuçları .....	33
Şekil 4.2. 6060 numune alınan profil teknik resmi .....	34
Şekil 4.3. 1070 alaşımın 1. numunenin çekme deneyi test raporu.....	35
Şekil 4.4. 1070 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu.....	36
Şekil 4.5. 6060 alaşımının 1. numunenin çekme deneyi test raporu.....	37
Şekil 4.6. 6060 alaşımının 2. numunenin çekme deneyi test raporu.....	38
Şekil 4.7. 6063 alaşımının 1. numunenin çekme deneyi test raporu.....	39
Şekil 4.8. 6063 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu.....	40
Şekil 4.9. 6082 alaşımın 1. numunenin çekme deneyi test raporu.....	41
Şekil 4.10. 6060 alaşımın 3. numunenin çekme deneyi test raporu.....	42
Şekil 4.11. 6082 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu.....	43
Şekil 4.12. 1070 saf alaşım ısıtma işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi .....	44
Şekil 4.13. 6060 AlMgSi0,5 ısıtma işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi .....	44
Şekil 4.14. 6063 AlMg0.7Si ısıtma işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi .....	45
Şekil 4.15. 6082 AlSi1MgMn ısıtma işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi.....	46
Şekil 4.16. Alaşım içeriğinin mekanik özelliklere etkisi 6 saat .....	46
Şekil 4.17. Alaşım içeriğinin mekanik özelliklere etkisi 12 saat .....	47
Şekil 4.18. Çentik darbe deneyi sonucu oluşan eğilme açıları.....	48
Şekil 4.19. 1070 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü.....	49
Şekil 4.20. 6060 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü.....	49
Şekil 4.21. 6063 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü.....	50
Şekil 4.22. 6082 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü.....	50
Şekil 4.23. Test numunelerine ait sertlik değerleri ve çentik darbe deneyi sonucu oluşan deformasyon açıları .....	50



Şekil 4.24. 1070 ve 6060 alüminyum alaşımlarının ısı işlem öncesi çentik darbe deneyi deformasyon açıları .....	51
Şekil 4.25. 6 saat ısı işlem görmüş test numunelerinde çentik darbe deneyi sonucu meydana gelen deformasyon açıları .....	51
Şekil 4.26. 12 saat ısı işlem görmüş test numunelerinde çentik darbe deneyi sonucu meydana gelen deformasyon açıları .....	52
Şekil 4.27. 6060 alaşımı test numunesine ait farklı ısı işlem süresinin malzeme sertliğine ve deformasyon açısına etkisi .....	53
Şekil 4.28. Isıl işlem görmemiş 1070 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	54
Şekil 4.29. Isıl işlem görmemiş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	54
Şekil 4.30. 6 saat ısı işlem görmüş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	55
Şekil 4.31. 12 saat ısı işlem görmüş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	55
Şekil 4.32. 6 saat ısı işlem görmüş 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	56
Şekil 4.33. 12 saat ısı işlem görmüş 6063 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	56
Şekil 4.34. 6 saat ısı işlem görmüş 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	57
Şekil 4.35. 12 saat ısı işlem görmüş 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği.....	57
Şekil 4.36. Adhesiv aşınma direnç kuvveti 12 saat .....	58
Şekil 4.37. Adhesiv aşınma direnç kuvveti 6 saat .....	59
Şekil 4.38. 10 N yük altında 6063 alaşımlarının zaman bağlı F grafiği.....	59
Şekil 4.39. 10 N yük altında 6060 alaşımlarının zaman bağlı F grafiği.....	60
Şekil 4.40. 10 N yük altında 6082 alaşımlarının zaman bağlı F grafiği.....	61
Şekil 4.41. Isıl işlemsiz 1070 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	62
Şekil 4.42. T6 ısı işlemli 1070 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	62
Şekil 4.43. T6 ısı işlemli 6060 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	63
Şekil 4.44. 12 saat ısı işlemli 6060 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	63
Şekil 4.45. T6 ısı işlemli 6063 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	63
Şekil 4.46. 12 saat ısı işlemli 6063 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	64
Şekil 4.47. T6 ısı işlemli 6082 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	64
Şekil 4.48. 12 saat ısı işlemli 6082 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü .....	64

## **SİMGELER ve KISALTMALAR**

Al	: Alüminyum
C	: Karbon
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
m	: Metre
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez
Zn	: Çinko
Ti	: Titanyum
Ni	: Nikel
HW	: Webster
°C	: Santigrat Derece
A.K.D.O	: Aşınmaya Karşı Direnç Ortalaması
I.I.S.	: Isıl İşlem Süresi
Gr.	: Gram
Min.	: Minimum
F	: Kuvvet
u	: Atomik kütle birimi
atm	: Atmosfer basıncı birimi

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında, konu ile ilgili çalışmalarında beni yönlendiren, çalışma sürecimde her zaman destek veren, bilgi birikimini aktaran ve yol gösteren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ'a, Araş. Gör. Kenan CAN'a, direktörüm Eralp PAMUKÇU'ya, ekip arkadaşım Aykut TEZCAN'a, tezimin değerlendirilmesine katkı sağlayan değerli jüri üyesi hocalarıma, Namık Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine en içten dileklerle teşekkür ederim. Son olarak bugünlere gelmeme vesile olan aileme şükranlarımı sunarım.

Haziran 2021

Çağatay KIRSAVAŞ  
Makine Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Alüminyum, gümüş renginde sünek bir metal olarak simgesi Al ve atom numarası 13 tür. Alüminyum, atom kütlesi 26,981 u olan, 660 santigrat derecede eriyen, termal iletkenlikle birlikte yüzey ve mekanik işlemlere uygunluğu, korozyona karşı direnç, hafiflik gibi özelliklerinden dolayı akla gelebilecek her alanda, paketleme, otomotiv, inşaat, havacılık, gemi inşa, uzay endüstrilerinde özellikle de mutfak eşyası yapımında çok kullanılan, çelikten sonra akla ilk gelen hafif bir elementtir. Alüminyumun ağırlığı demirden düşüktür bu yüzden ağırlık istenmeyen mühendislik çalışmalarında demire göre öncelikli tercih edilir. Demirden 2,5 kat hafif olmakla birlikte, özgül dayanımı da iyidir. Oksijen ve silisyumdan sonra yer kabuğunda en bol bulunan elementtir [1].

Isıl işlemi genel olarak tanımladığımızda malzemenin tane yapısı, sertliği, mekanik özelliklerini, istenen değerlerde olmasını sağlamak amacıyla, malzemeye uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir. Alüminyum alaşımlarının çok önemli özelliği mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmasıdır. Sertleştirme ve yaşlandırmayla alüminyum alaşımları kuvvetlendirilirler. Denge dışı içyapılan ve alaşımın sünekliğini azaltan yoğurulmadan ileri gelen içyapısal kusurları yok etmek için tavlama uygulanır [2].

Değişik şekillerde Alüminyum alaşımlarına uygulanabilen ısıl işlemler TX sembolleri ile alaşım numarasının yanına yazılır. Bu işlemler ifadeleri şu şekildedir. O: Tavllanmış, F: Üretildiği gibi, H: Sertleştirilmiş, T: Isıl işleme tabi tutulmuş

- T1: Sıcak şekillendirme işlemi yapıp, soğutulmuş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış demektir.

- T2: Sıcak şekillendirme işlemi yapıp soğutulmuş, soğuk şekillendirilip ve doğal yaşlanmaya bırakılmış demektir.

- T3: Çözeltiye alma işlemi yapıp, soğuk şekillendirilip ve doğal yaşlanmaya bırakılmış demektir.

- T4: Çözeltiye alma işlemi yapılıp ve doğal yaşlanmaya bırakılmış demektir.
- T5: Sıcak şekillendirme işlemi yapılıp ardından soğutulmuş ve yapay yaşlandırma yapılmış demektir.
- T6: Çözeltiye alma işlemi yapılıp ardından suni yaşlandırma yapılmış demektir.
- T7: Çözeltiye alma işlemi yapılıp ardından aşırı yaşlandırma yapılmış demektir.
- T8: Çözeltiye alma işlemi yapılıp, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış demektir.
- T9: Çözeltiye alma işlemi yapılıp, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş demektir.
- T10: Sıcak şekillendirme işlemi yapılıp ardından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış demektir. Çekme deneyi, metalik malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Standartlara göre hazırlanmış deney numuneleri, tek ekseninde belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilirler ve çekme deneyi raporları oluşur. Deney yapılırken numune sürekli artırılan çekme yükleriyle birlikte uzama miktarları da sürekli ölçülmektedir. Çekme deneyi metalik malzemelerin mukavemetleri, temel dizayn bilgilerini tespit etmek ve malzemeleri mekanik özelliklerine göre bölümlendirmek amacıyla genellikle çekme deneyi yapılmaktadır [3].

Sertliğin ölçülmesi metalik malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan diğer genel yöntemdir. Kolay bir deney yöntemi oluşu ve diğerlerine göre numuneyi daha az tahrip etmesi en önemli avantajlarından biridir. Diğer önemli bir avantajı, malzemenin mekanik özellikleri ile sertliği arasında paralel bir ilişki olmasıdır. Örneğin çelik alaşımında, sertlik ile çekme dayanımı doğru orantılıdır; bağlı olarak, yapılan kolay sertlik ölçmesi sonucunda malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir elde edilmektedir. Sertlik göreceli bir ölçü olmasıyla birlikte, malzemelerin aşınmaya, çizilmeye, kesilmeye ve delinmeye karşı gösterdiği direnç

denilmektedir. Özel cihazlarla laboratuvarlarda yapılan sertlik ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona göstermiş olduğu mukavemettir.

Çekme testi, numunenin kopana kadar tek ekseninde çekme kuvvetlerine bırakılarak uygulanan temel malzeme bilimi testlerindedir. Mühendislik uygulamalarında, malzemenin seçimi, kalite kontrol kriterleri ve malzemenin diğer kuvvetler altındaki davranışları hakkında fikir tahminleri elde etmek için yapılan çekme testleri sonuçları kullanılır. Sertlik malzemelerin plastik deformasyona karşı direnç gösterebilme kabiliyetine denir. Malzemeye bilinen miktardaki bir yük ile başka bir malzeme tarafından yük uygulanması, bastırılması ile sertlik ölçülebilir. Malzemelerin plastik deformasyona karşı koyabilme direnci akma dayanımı ile alakalı olduğu için, bir kuvvet uygulanmasıyla sertlik göreceli olarak belirlenebilir. Elmas gibi sert malzemelerin batıcı uç olarak kullanılmasıyla deformasyon sadece kuvvetin uygulandığı test numunesi malzemesinde sınırlı kalır.

Çentik darbe deneyi; basit, yatay kiriş halinde iki mesnete yaslanmış bir numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılmasıyla ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için gerekli enerjiyi belirleme işlemine charpy darbe deneyi denir. Çentik darbe deneyi ile metallerin özellikle gevrek kırılmaya müsait şartlardaki mekanik özellikleri hakkında fikir elde edilebilmektedir. Numunenin hareketli bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı belirlenip malzemenin darbe mukavemeti tespit edilmiş olur.

Adhesiv aşınma testi; adhesiv aşınma, yüzeylerde soğuk kaynak veya bölgesel bağlanmalar sonucu birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi, daha sonra kayma hareketi sonucunda meydana gelen malzeme kaybı şeklinde gerçekleşmektedir. Birbirleriyle temas halindeki yüzeylerde, yüzey pürüzlülükleri üzerindeki basıncın bölgesel plastik deformasyonu, yüzey pürüzlerinin birbirini çizmesi ve sıvanıp kaynaklaşma olayları başlar. Bu noktalar, kayma hareketi sırasında koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu şekildeki malzeme kaybı adhesiv aşınmayı meydana getirir. Yüzey sertleştirme yöntemleri ile temas yüzeylerinin sertleştirilmesi ve yağlayıcı kullanmak adhesiv aşınmaya karşı önerilmektedir.

Bu çalışmada 6000 serisi ve 1070 alaşımı farklı alüminyum malzemelere uygulanan, çekme deneyi testi, sertlik ölçüm testi, çenti darbe testi ve adhesiv aşınma testlerinin alüminyumların mekanik özelliklere etkisi incelenmektedir.

## **1.1. Alüminyumun Tarihçesi**

Alüminyumun tarihteki ilk kullanımı 1800'lü yıllara kadar gitmektedir[4]. Geniş insan kitlelerinin alüminyumla tanışması, 1855 yılında Paris'te gerçekleştirilen "Paris Dünya Sergisi" ile olmuştur. Yaklaşık iki yüzyıldır en önemli mühendislik malzemelerinden biri olma özelliğini korumaktadır.

%52 oranında alüminyum oksit içeren kırmızı renkli toprak bulunmasına istinaden bu yerleşim yeri "bautixe – boksit " olarak adlandırılmıştır. 1827 Wöhler, Almanya'da potasyumla su içermeyen alüminyum klorürü tepkimeye sokarak toz alüminyum elde edilmiştir. 1845 Wöhler, alüminyum yoğunluğunu 2,700 kg/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur. 1854 H. Sainte – C. Deville Fransa'da ilk ticari alüminyum üretimini gerçekleştirmiştir. O dönemde alüminyum altın madeninden daha değerli olduğu bilinmektedir. 1855 Alüminyumun geniş kitlelerle tanışması (Paris Dünya Sergisi) 1886 Paul Herolt ve Charles Hall birbirinden habersiz olarak alüminyum üretimini elektroliz yöntemini bulmuşlardır. Bu buluş Herolt – Hall yöntemi denilmiştir. Bu yöntem alüminyum üretiminin temelini oluşturur. 1888 İlk alüminyum endüstrisi Fransa, İsviçre, Amerika'da kurulmuştur. 1889 F. Bayer (Avusturya), büyük ölçekli alüminyum üretimi için Bayer işlemini keşfetmiştir. Bu işlemlerle boksit madeni alüminyuma dönüştürülmektedir.

## **1.2. Alüminyum Üretimi**

### **1.2.1. Birincil Alüminyum Üretimi**

Alüminyum yeryüzünde en çok bulunan metalsel elementtir. Genellikle doğada demir, oksijen, silisyum gibi diğer elementlerle birleşik halde bulunmaktadır [5]. Birincil alüminyumun üretimi 3 kademeye ile ifade edilebilir [6].

1) Boksit ve diğer alüminyum cevherlerinin topraktan çıkarılması,2) Cevherden alümina eldesi (Bayer Prosesi), 3) Alüminadan, birincil alüminyum eldesi. Birincil alüminyum üretiminde temel girdi olan alüminanın elde edildiği cevher boksittir. Güney Fransa'da 1821 yılında Le Baux kasabasında bulunan bir cevher olduğu için, M. Pierre Berthier tarafından bu ismi almıştır. Boksit üretimi, açık ocak işletmeciliğiyle yapılmaktadır. Ortalama 4,5 ton arası boksitten, 2 ton alümina elde edilmektedir, 2 ton alüminadan da yaklaşık 1 ton alüminyuma ulaşılmaktadır. Yer kürenin kazılmasıyla çıkarılan boksit yaklaşık %50 alümina içerir. Boksitin rengi, içerdiği demir miktarına bağlı olarak sarı, kahverengi, kırmızı ve kirli beyazdan griye kadar değişmektedir [7].

Şekil 1. 1'de boksit madeninin kaya halindeki görünümü bulunmaktadır [8].



Şekil 1.1. Kaya halindeki boksit madeni görünümü

Şekil 1. 2'de boksit madeninin çeşitli görünümleri bulunmaktadır[1]





Şekil 1.2. Boksit madeni görünümü

#### **1.2.1.1. Kırma ve Ufalama İşlemi**

Boksit önce kırılarak, istenilen ölçülere getirilir. İstenilen ölçülere getirildikten sonra yüksek ısı ve basınç altında kostik soda çözeltisiyle karıştırılır. Boksit böylece sulu çamur halini alır ve böylece çözülmemiş artıklar tank altından toplanarak karışımdan ayrılır.

#### **1.2.1.2. Çürütme**

Çamur kıvamındaki sıvı çürütme kazanına alınır. Burada 3 – 4 atm basınç ve 145°C sıcaklıkta ısıtılır. Belli süre dinlendirilen çamur kostik soda eklenerek istenmeyen yapıların kazanın dibine çökmesi sağlanır. Oluşan sodyum alüminat dinlendirme kazanlarına alınır.

### 1.2.1.3. Dinlenme

Sodyum alüminata bazı kimyasallar eklenerek çökelme işlemi hızlandırarak daha saf hale getirilmektedir. Daha sonra sıvı pek çok farklı filtreden geçirilerek arta kalan kırmızı çamur temizlenir. Bileşik çökelme tanklarına alınır.

### 1.2.1.4. Çökelme

Çökelme tanklarına gönderilen sıvıyla çok küçük alümina eklenerek çökelme işlemi başlatılmış olur. Böylece alümina tank dibinde çökelmeye başlar. Alümina hidrat kalınlaştırma tanklarına alınır[9].

### 1.2.1.5. Kalsinasyon

Kalsinasyon işlemi alümina hidrat bileşiğinden suyu ayırma işlemidir. Bu karışım 1100°C'de döner tamburlarda kurutularak alüminanın toplama tanklarına düşmesi sağlanır.

Alümina: Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), Birincil alüminyumun Alümina: Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), birincil alüminyumun elde edildiği hammadde olarak söyleyebiliriz. Alüminadan alüminyum elde oranı; 2'de 1'dir. Alüminadan alüminyum eldesi işlemleri şu şekildedir: • Alümina kriyolitle (buz taşı) karıştırılarak ergitme potasına konur.

- Ergitme işleminin ana temeli, anot ile katot arasında yer alan kriyolitle alümina karışımından elektrik geçirilmesidir. Bu işlemde doğru akım (DC) kullanılmıştır.

- Bu işlemde elektrik akımı çözüldüden geçtiği zaman karbon anot alümina içindeki oksijenle reaksiyona girer. Kimyasal reaksiyon sonucu Al ve  $CO_2$  açığa çıkar.

- Ergiyik alüminyum pota dibine çöker. Belli aralıklarla pota dibinden çekilir.
- Daha sonra çeşitli formlarda ingot biçiminde dökülür.

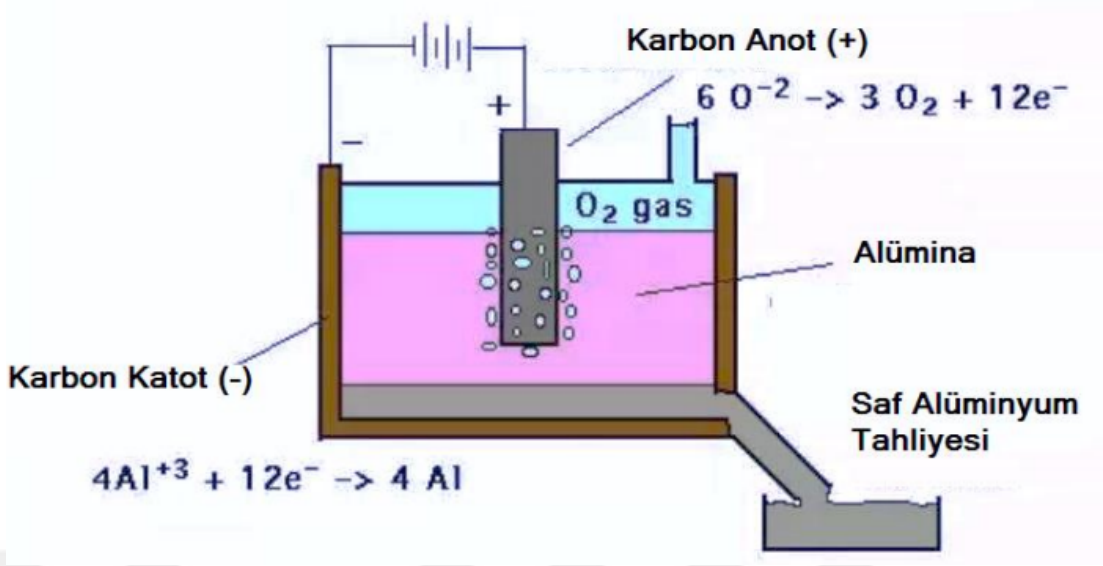
- Metal ergitme potaları % 99,7 saflıkla alüminyum üretilebilir. Bunun dışında %99,99 saflık derecesi için malzeme üretimi, kalitesi açısından gereklilik göstermektedir.

- Safıktaki çok düşük farklar bile elektrik iletkenliği, süneklik vb. özelliklerde değişikliğe sebep olur. Şekil 1. 3’de alüminanın görünümü bulunmaktadır.



Şekil 1.3. Alüminanın görünümü

Şekil 1. 4’de Alüminyumun elektroliz işlemi gösterilmektedir



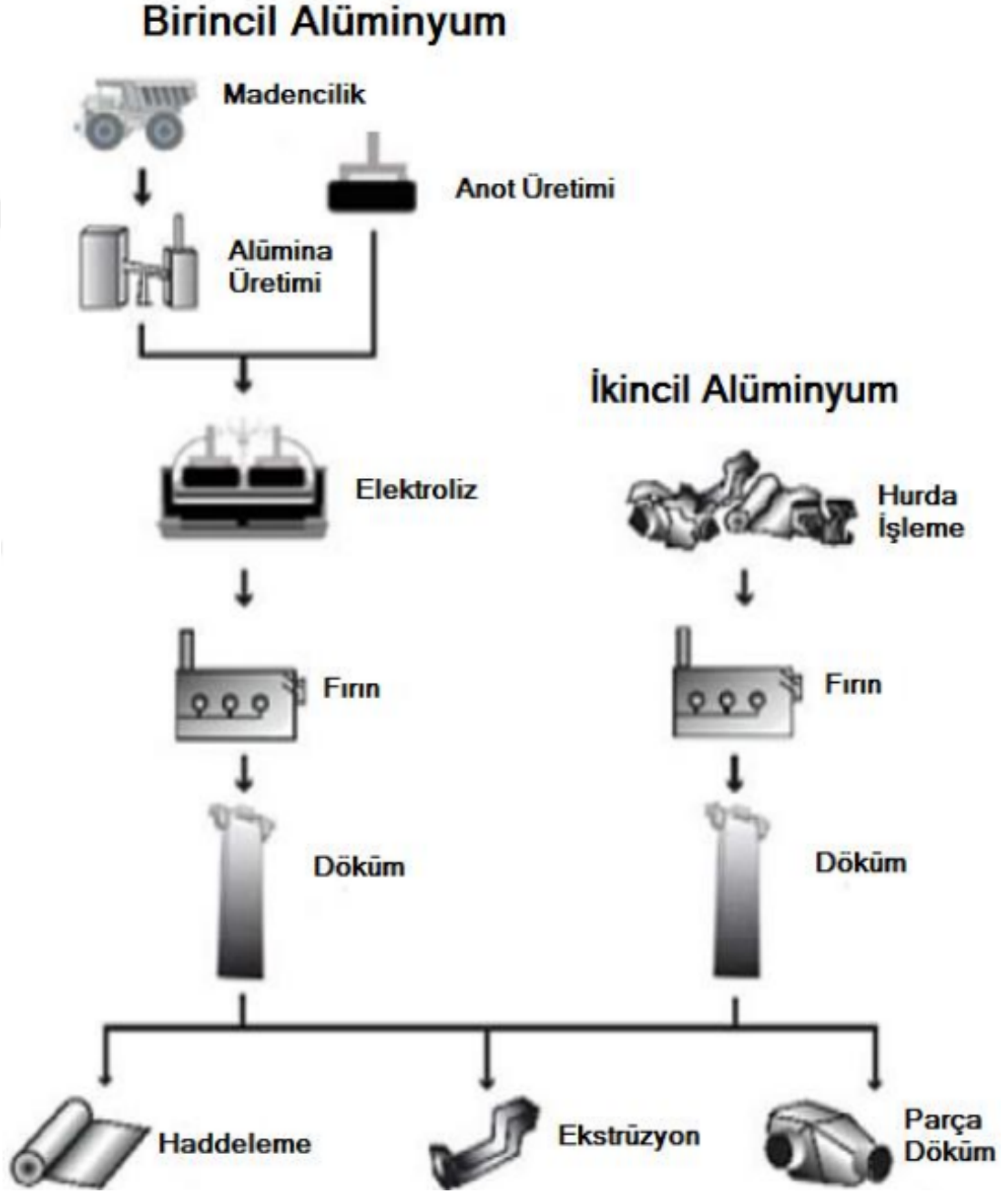
Şekil 1.4. Alüminyum elektroliz işlemi

Pota içerisinde alümina yüksek şiddette elektrik akımıyla reaksiyona girip saf alüminyum olarak dibe çöker. Dibe çöken saf alüminyum pota dibinde bulunan tahliye musluğu ile tahliye edilerek reaksiyonun sürekliliği sağlanır.

### 1.2.2. İkincil Alüminyum Üretimi

İkincil alüminyum üretimi, hurda alüminyumdan geri kazanım işlemiyle tekrar yarı mamul haline getirilmesi işlemine denilebilir. Hurda alüminyum olarak; başta içecek kutuları, otomobillerin jantları ve bunun gibi farklı özellikteki alüminyumlar kolaylıkla tedarik edilerek yapılabilir. İkincil alüminyum üretiminde öncelikle hurda alüminyumlar, öğütme işleminden geçirilir. Ardından öğütülen parçalar üzerinde bulunan yabancı maddelerden (boya, kaplama gibi) arındırmak amacıyla kimyasallarla tepkimeye sokularak, saf alüminyumun oluşturulması sağlanmaktadır. Akabinde ergitme işlemi yapılarak ingot formuna getirme işlemine tabi tutulmaktadır[10]. İkincil alüminyum üretimi 7 aşamalı bir süreçtir. Bunlar hurda toplama, hurda ayırıp, hazırlama ve ön işlemler ergitme, alaşımlandırma, metal rafinasyonu, döküm, cüruf temizleme ve cüruf değerlendirme işlemleridir. Dünya’da üretilen alüminyumun yaklaşık %50’si “geri kazanım yoluyla” elde edilmektedir. Geri kazanım yoluyla üretilen alüminyum ikincil alüminyum olarak adlandırılır. İkincil alüminyumun

üretimi için gerekli olan enerji, birincil alüminyumun üretimi için olan enerjinin yaklaşık %5'i kadardır. İkincil alüminyum üretimi pek çok bakımdan önemli avantajlar sunmaktadır. 1 ton alüminyumun geri kazanılması ile 5000 lt benzindeki enerji kadar tasarruf sağlanmış olur [4], [8]. Şekil 1.5'te birincil alüminyum ve ikincil alüminyumun üretim şeması bulunmaktadır.



Şekil 1.5. Birincil alüminyum ve ikincil alüminyum üretim şeması

### **1.3. Alüminyumun Tercih Sebepleri**

#### **1.3.1. Hafiflik**

Alüminyumun özgül ağırlığı demir ve çeliğin yaklaşık 1/3 'ü yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının araçlarda kullanarak sağlanan ağırlık azalması, salgılanan  $CO_2$ 'nin miktarını azalmasına; dolayısıyla hem enerji tasarrufunu sağlar hem de hava kirliliğini azalması konusunda önemli avantaj sağlar.

Toprak işleminin başlıca amacı, enerjiyi etkin bir şekilde kullanarak toprak için optimum koşulları oluşturmaktır. Böylece tarım uygulamalarında hem ekonomik yönden hem de fosil yakıt kaynakların ve çevrenin korunması adına fayda sağlanır. Tarım uygulamaları arasında toprak işleme en pahalı ve en çok enerji gerektiren kısımdır. Toprak işleme direkt olarak enerjinin % 55-65'lık kısmını tüketmektedir.

#### **1.3.2. İletkenlik**

Alüminyum mükemmel ısı ve elektrik iletimi sağlar [11]. Alüminyum, bakırdan çok hafif bir malzemedir. Alüminyumun sağladığı aynı miktarda ısı iletkenliğini sağlamak amacıyla 1 kg kullanılan bakır yerine, 0,5 kg alüminyum kullanılması yeterli olacaktır. Alüminyum; sağladığı ağırlık, ısı ve elektrik iletkenliği oranı ile özellikle uzun mesafelerde güç aktarımında, havacılık sanayinde, otomotiv endüstrisinde, radyatör ve klimalarda kullanımı oldukça yüksektir. Bu özelliğinden dolayı evaporatör, elektrik ısıtıcısı, radyatör vb. malzemelerde çok kullanılır.

#### **1.3.3. Korozyon**

Alüminyum doğada atmosfer ortamında oksijen ile birleştiğinde  $Al_2O_3$  oluşan, korozyondan yaklaşık  $635 \times 10^{-9}$  cm kalınlığında bir alümina tabakası alüminyumu korur. Alüminyumun korozyon etkilere karşı koruyucu özelliğini arttıran diğer uygulamalar anotlama, boyama ve laklamadır. Yüzeyde oluşan bu oksit tabakası ile alüminyumun korozyona karşı dirençli olmasını sağlar. Bu oksit tabaka demirde

olduğu gibi büyümez ve plakalar halinde dökülmez. Alüminyum çelikte olduğu gibi paslanmaz, kabuk atmaz, yüzeydeki oksit tabakası kuvvetli bağ oluşturur [11].

#### **1.3.4. Şekillendirme**

Alüminyum sahip olduğu yüzey merkezli kübik yapısı ile kolay şekil verilebilir özelliğe sahiptir. Alüminyum ve alaşımları döküm, dövme, haddeleme, kesme, eğme veya ekstrüzyon işlemleri ile kolayca şekillendirilebilir. Alüminyum 0,007 mm kalınlığa kadar üretilebilir ve üretilen bu malzeme grubu, alüminyum folyo olarak kullanılabilir. Alüminyum, koku üretmez ve toksit etkisi yoktur. Bu durum geri dönüşüm olarak kullanımında ve ürünlerin paketleme işleminde tercih edilmesini sağlar [12].

#### **1.3.5. Geri Dönüşüm**

Alüminyum, % 100'e kadar geri dönüşümü olan bir mühendislik malzemesidir. Yüksek geri dönüşüm oranı sebebiyle ikincil üretim yöntemi olarak kullanılır. Birincil alüminyum üretimi için harcanan enerjiye göre, çok az enerjiye ihtiyaç vardır. Alüminyum metali, cevherden itibaren alüminyum elde edilene kadar kullanılan enerjinin % 5 miktarı ile 15 ikincil alüminyum üretilebilir. Alüminyum, böylece çevreyi çok daha az tahrip ederek üretimi söz konusu olabilmektedir [7], [11].

#### **1.3.6. Yansımaya**

Alüminyum yüzeyinin pürüzsüz olması durumunda, yüzeye çarpan gerek radyo dalgaları, gerek görünür ışık ve mikrodalgada çok iyi yansımaya özelliğine sahiptir. Alüminyum, yansımada; görünür ışıkları % 80 ve ısı dalgalarını % 90 oranında yansıtma özelliğine sahiptir. Alüminyum alaşımlarında kullanım alanları ve amaçlarına göre, yüzey parlatılır ya da anodik oksidasyon (eloksal) ile yüzeyde koyulaştırma işlemi yapılarak, "mat" bir görünüm elde ederek bu tür dalgalarda emici özellik kazanabilir [5].

### **1.3.7. Mukavemet**

Havacılık ve otomotiv endüstrisi kapsamında kullanılan alüminyum alaşımları, çelikle eş değer mukavemete ulaşmıştır. Isıl işleme ve yaşlandırma işlemine uygulanması ile alüminyum alaşımlarında 700 MPa'a kadar yüksek değerlere ulaşılabilir [13].

### **1.3.8. Esneklik**

Alüminyum, çarpma enerjisini emme özelliği vardır. Bu özelliği sayesinde özellikle otomobillerde çarpma esnasında oluşan yüksek enerjiyi emme konusunda oldukça başarılıdır. Yüksek esneklik özelliğine sahip olduğu söylenebilir. Kısaca alüminyum malzemesinin elastiklik özelliği vardır [3].

## **1.4. Alüminyum Dövme Alaşımların Grupları**

Alüminyum dövme alaşımlar ağırlıkça minimum % 99 oranda alüminyum içeriyorsa 1000 Serisi alüminyum alaşımıdır. Bu seriye alaşımsız alüminyum da denilmektedir, çünkü çok az miktarda alaşım elementi içermektedir. 1000 serisi (kalitesi) alüminyum alaşımları soğuk işleme uygundur. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktar bakır (Cu) elementi içeren 2000 Serisi alüminyum dövme alaşımlardır. Bu alaşım türü çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilebilir, çelik ile rekabet edebilecek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir. Daha önceki zamanlarda uzay araçlarının uygulamalarında kullanılıyorlardı, gerilmeli korozyon çatlamaına karşı hassas olmalarından ötürü günümüzde bu alanda 7000 kalite alüminyum alaşımları kullanılmaktadır [7]. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktarda mangan (Mn) elementi içeren 3000 serisi alüminyum dövme alaşımıdır. 3000 serisi alüminyum alaşımları soğuk işleme uygun alüminyum alaşımıdır. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktarda silisyum (Si) elementi içeren 4000 serisi alüminyum dövme alaşımıdır [8]. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktarda magnezyum (Mg) elementi içeren 5000 Serisi alüminyum dövme alaşımıdır. Mukavemet, soğuk işlem yoluyla çok yüksek değerlere çıkarılabilmektedir. Düşük sıcaklık



işlemlerinde tercih edilmektedir. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktarda magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) elementleri içeren alaşım 6000 serisi alüminyum dövme alaşımıdır. Mukavemet değerleri çökelme sertleşmesi yöntemiyle artırılabilir. Bu seride, 7000 serisi alüminyum alaşımların sertlik değerlerine yakın sertlik değerleri sağlanabilmektedir, 2000 serisi alüminyum alaşımlarının sertlik değerleri sağlanmaz. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en fazla miktarda çinko (Zn) elementi içeren alüminyum alaşımı 7000 serisi alüminyum dövme alaşımıdır. Bu seride çökelme sertleşmesi uygulayarak alüminyum alaşımları arasında en yüksek sertlik değerleri yakalanabilmektedir [14]. 8000 serisi alüminyum dövme alaşımları diğer değişik kompozisyonlarla oluşan alüminyum alaşımlardır. Lityum ve demir alaşım elementleri bunların en önemli olanlarıdır

### **1.5. Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkisi**

Bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, manganez, nikel, titanyum ve lityum, alüminyum alaşımlarında kullanılan alaşım elementleridir [15].

#### **1.5.1. Bakırın (Cu) Etkisi**

Genel olarak bakır, alüminyumun dayanımını, işlenebilirliğini ve sertliğini artırır. Bakır alaşımlarına %4-6 oranlarında ilave edilen Cu, alaşımın ısıl işlem kabiliyetini artırır. Bakır, korozyon direnci ile birlikte, dökülebilme ve sıcak yırtılma direncini azaltır [12].

#### **1.5.2. Silisyumun (Si) Etkisi**

Alaşımın, akıcılık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti özelliklerini silisyum ilavesi iyileştirmektedir. Tane boyutu küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliğide sağlanır. Alaşımın bileşimi ve mikro yapısı silisyumun mekanik özelliklere katkısını belirler. Mukavemet artışını küçük ve yuvarlak şekilli Al tanecikleri ve Al-Si ötektiği sağlar. Al-Si ötektiği iğnecik seklinde olup, çekme mukavemetini arttırmakla birlikte, sünekliliğini, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür[7].

### 1.5.3. Magnezyumun (Mg) Etkisi

Al-Si alaşımlarına, % 0.25-0.5 gibi küçük miktarlarda magnezyum ilave edilmesiyle alaşımın ısıl işlem kabiliyeti, kazanılır. Alaşıma yüksek mukavemet ve korozyon direncini magnezyum kazandırır ve kaynak kabiliyetini artırır.%3-6 gibi yüksek oranlarda magnezyum kullanımı düşük silisyum alaşımlarında, , oksitlenmeyi azaltmada etkilidir. Alaşımda fazla miktarda demir varsa, sunecliği, islenebilirliği, ani yük değişimlerine direnci demir azaltır. Ötektik altı Al-Si alaşımlarında, magnezyum, demirin mekanik özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderir ayrıca mukavemet, korozyon direnci ve aşınma direncini arttırmaktadır [3].

### 1.5.4. Manganezin (Mn) Etkisi

Alaşıma, ağırlık olarak %1,2 oranında manganez katılması, alaşımın yapısında oluşan katı eriyik mukavemetlenmesi nedeni ile alaşımın mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Manganez, korozyon direncine zarar vermeksizin yeniden kristalleşme sıcaklığını, 50- 60 °C kadar yükseltir. Ayrıca, Al-Si alaşımlarında, demirin mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi gidermektedir. Sonuç olarak mukavemet ve korozyon direnci artar. Alaşımda manganez bulunması, ince dağılımlı (Mn, Fe) Al6 intermetaliklerini oluşturarak, demirin kaba olarak çökelmesini önler [1].

### 1.5.5. Çinkonun (Zn) Etkisi

Çinko, bakır ve magnezyumla beraber alaşımın ısıl işlem kabiliyetini artırır. Alüminyum alaşımlarına çinko ilavesi alaşımın, çekme mukavemeti haddelenebilme, işlenebilme özelliklerini ve darbe mukavemetini artırır. Çinko, Al-Si alaşımlarında çökelme sertleşmesine neden olduğu için, alaşımın aşınma direncini iyileştirecek şekilde etki yapar [8].

### **1.5.6. Titanyumun (Ti) Etkisi**

Titanyum, bor ile birlikte kullanıldığında, alaşımın tane yapılarını küçültür. Alüminyum alaşımlarında titanyum bulunması, alaşımın çekme mukavemeti ve 9 sünekliliğini artırır, ısı iletkenliğini düşürür [10].

### **1.5.7. Demirin (Fe) Etkisi**

Alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etkiyi demir yapar ve bazı alüminyum alaşımlarında termal mukavemeti artırır. Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerine olumsuz etki yapmaktadır. Ayrıca, yüksek silisyum içeren alaşımlarda, gevrek ve kaba yapının ortaya çıkmasına neden olduğu için bu tip alaşımlarda demir oranının minimum değerinde olması istenir [5].

### **1.5.8. Nikelin (Ni) Etkisi**

Nikel alaşımlarda bakır ile birlikte kullanıldığında, yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve sertliği artırıcı yönde etki yapar.

## **1.6. Yaşlandırma**

1906 yılında Alman mühendis ve metalurjist Alfred Wilm yaşlandırma olayını keşfetmiştir. Wilm yaptığı keşfi, bakır ve magnezyumlu alüminyum alaşımına (duralüminyum) su vermiş ve sonrasında bu alaşımı oda sıcaklığında bekletmenin alaşımın sertliğinin artmasını sağladığını tespit ederek yapmıştır.

Genel olarak demir dışı metallerin mukavemetini artırmada kullanılan en önemli yöntemlerden biri yaşlandırma. Örneğin, uçak endüstrisinde kullanılan hafif alüminyum alaşımları yaşlandırma ile sertleştirilmektedir. Ayrıca, ultra-yüksek mukavemetteki çeliklerde bu yöntemle sertleştirilmektedir. Buna tipik bir örnek olarak Maraging çelikleri gösterilebilir. Maraging çelikleri, martanzitik dönüşüm sonrası uygulanan yaşlandırma sonrası çok yüksek mukavemet ile tokluğa bir arada sahiptirler. Yaşlandırma malzemenin mekanik özellikleri ile birlikte, manyetik ve iletkenlik

özelliklerine de etki eder. Bu özellikleri nedeniyle yaşlanma elektronik malzemelerin özelliklerini geliştirmek amacıyla da kullanılır. Aşırı doymuş katı fazdan, zaman ve sıcaklık etkisi ile yeni bir fazın çökmesi sonucu malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin gelişmesi yaşlanmadır. Yaşlanma, denge diyagramlarında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda ve sadece solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde oluşabilmektedir. Alaşım elementinin çözünme miktarı sıcaklıkla artmalıdır. Yaşlanmanın oluşumu için temel iki kademe mevcuttur[3].

Çözeltiyeye alma yönteminin hedefi yüksek sıcaklıkta çözünürlüğün artmasından yararlanılarak yapıdaki bileşik ve çökeltileri bir faz içinde çözüdürüp, aşırı doymuş bir fazlı katı eriyik elde edebilmektir. Bunun için yaşlanabilir olan alaşım, erime eğrisinin üzerindeki bir değerde sıcaklığa kadar ısıtılıp ve bu sıcaklıkta yapıda yer alan II. Faz, katı fazı içerisinde komple çözününceye kadar bekletilir. Yapı komple I. faza dönüştükten sonra alaşım birden soğutulur. Çözeltiyeye alma sıcaklığı alüminyum alaşımlarında 465-564°C' dir. Örneğin; 7075 alaşımına bakacak olursak çözeltiyeye alma sıcaklığı 460-473°C' dir. Dörtlü, üçlü sistemlerde çözeltiyeye alma sıcaklığı diğer elementlerin etkisi göz önüne alınarak belirlenmelidir. Örneğin; Mg, Al-Li alaşımlarında, lityumun alüminyum içerisindeki çözünürlüğünü azaltır. Mg, Al-Cu sisteminde ötektik sıcaklığın düşmesine neden olur. Çözeltiyeye alma sıcaklığının, çökeltilerin sayısına, boyutuna, morfolojisine ve aynı zamanda tane sınırlarının bileşimine etki ettiği tespit edilmiştir. Sonucu olarak çözeltiyeye alma sıcaklığı alaşımın son özelliklerine etki etmektedir. Bu konu hakkında yapılan araştırma sonuçlarına bakıldığında, çözeltiyeye alma sıcaklığı arttığında genelde akma ve çekme mukavemetinin arttığı, buna göre de gerilmeli korozyon direncinin düştüğü görülmektedir. Çözeltiyeye alma sıcaklığının yüksek olması durumunda tane sınırlarında çökelti fazlarının oluşması korozyon direncinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmuştur. Çözeltiyeye alma işleminde ısıtma hızı da önem taşımaktadır. Örneğin %4 Cu içeren alüminyum alaşımında yer alan  $Al_2Cu$  fazı, yavaş bir şekilde ısıtılarak 500°C' e ulaşıldığında tamamen çözünmüş olur. Buna karşılık ısıtma hızlı yapılırsa bu faz yapıda tamamen çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığına veya üzerine ısıtıldığında matris ile  $Al_2Cu$  fazının ara yüzeyinde ergime başlar ve alaşım, söz konusu sıcaklıktan ani soğutulursa yapıda ince ötektik rozetleri oluşur. Çözeltiyeye alma sıcaklık derecesi normalden düşük olduğu durumda ikinci fazın komple çözünmesi mümkün

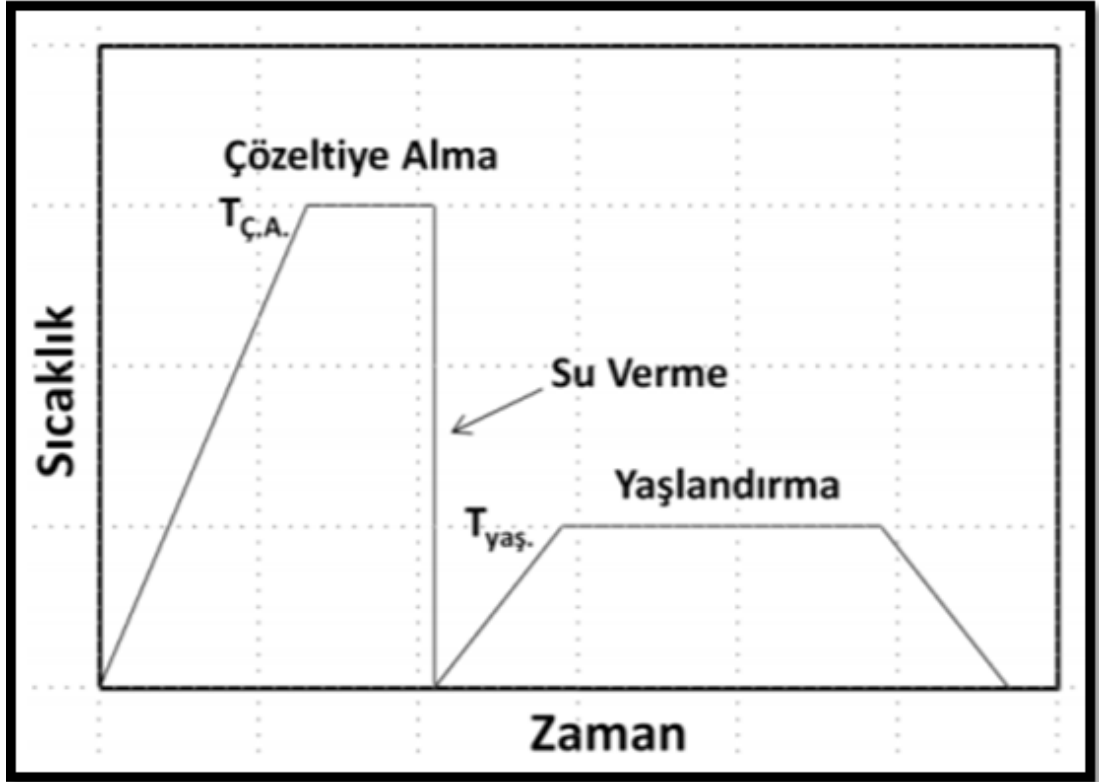
olmaz ve malzemede sertlik miktarı düşmektedir. Parçanın kalınlığı, çözeltiliye alma süresini belirler. İnce levhalarda zaman bir dakikadan az olurken, büyük döküm parçalarda ise 20 saate kadar çıkabilir. Genel olarak, 25 mm kalınlık için 1 saat zaman yeterli süredir. Sıcak havanın sirkülasyonu ve fırın içerisindeki yük miktarı süreye etki eden faktörlerdir. Genel olarak parçalar arasındaki aralık en az 50 mm olması gereklidir. Büyük ve karmaşık şekilli parçalar için mesafenin daha fazla olması gerekir [14].

Yapılan çalışmada, Al-7075 alaşımı ile 3 mm kalınlığındaki levhaya çözeltiliye alma işlemi beş farklı sıcaklık değerinde uygulanmıştır (420,45,480,510 ve 530° C) , iki farklı soğutma ortamında (hava ve su) soğutulmuş sonrasında suni olarak yaşlandırılmıştır. Farklı birleştirmeler sonucunda optimum değer 480° C' de 1 saat çözeltiliye alma, suda soğutma ve 121° C' de 24 saat yaşlandırma sonucu elde edilmiştir [13].

İkinci faz, çökeltme İşleminde aşırı doymuş katı çözeltili içerisinde çözünmüş halde bulunup zamanın ve sıcaklığın etkisiyle kararlı bir faz olarak çökelmektedir; aşırı doymuş, + çökelti bu dönüşüm için önce fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gerekmektedir. Alaşım ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa yayılma hızı çok yavaş olduğundan fazı genelde oluşmamaktadır veya oluşması fazla zaman almaktadır (doğal yaşlanma). Difüzyon hızını arttırmak için ani soğutulmuş alaşım, yüksek bir sıcaklıkta tutulursa çökeltme daha az zamanda oluşmaktadır (yapay yaşlanma) [16].

Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucu yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerdeki gelişme için genel koşuldur. Çökelti fazının oluşumu, doğal ve yapay olarak gerçekleştirilebilir. Yapay yaşlandırma ile daha yüksek mukavemet, alüminyum alaşımlarına kazandırılır. Çözeltiliye alma (solüsyona alma), su verme ve çökeltme işlemi alüminyum alaşımlarının ısıl işleminde başlıca parametrelerdir. Çözeltiliye alma sıcaklığı karakteristik olarak alüminyum alaşımlarında 465-565°C dir.  $Al_2Cu$  fazının tamamen çözünebilmesi için çözeltiliye alma işleminde ısıtma yavaş yapılmalıdır. Isıtma hızlı yapılırsa bu faz çözünemez. Bu yapıdaki alaşım, ötektik sıcaklığı veya üzerine ısıtıldığı zaman matris ile  $Al_2Cu$  fazının ara yüzeyinde ergime meydana gelmektedir. Bu durumdaki alaşıma su verdiğimiz

zaman yapıda ince ötektik rozetleri oluşacaktır. Çözeltiyeye alma sıcaklığını normalden düşük tuttuğumuzda ikinci fazın tamamen çözünmesi mümkün olmayacaktır ve alaşım yumuşayacaktır. Genellikle, çözeltiyeye alma zamanı her 25 mm kalınlık için bir saat zaman yeterli olmaktadır. Alaşımların mukavemet ve sertliği, soğuk deformasyon veya uygun işlemlerle artırılabilir. Yaşlanma veya çökeltme sertleşmesi işlemi demir içermeyen alaşımların sertlik ve mukavemetini artırmak için uygulanan yöntemlerin başında gelir. Söz konusu olan ısıl işlem, solvus eğrisi içeren yani kısmi katı çözünürlük gösteren ve katı çözünürlüğü, artan sıcaklıkla artan veya azalan sıcaklıkla azalan alaşım düzenlerine uygulanır. Bu düzen, katı durumda kısmen çözünen sıvı durumda ise birbiri içerisinde her oranda çözünen, metallerin oluşturduğu düzendir. Söz konusu alaşım düzenlerine ait denge diyagramları ötektik nokta içerir. Oda sıcaklığı standardında ya da biraz daha yüksek sıcaklıklarda, sertliğin zamana bağlı artmasına, metal biliminde “yaşlanma”; bunu gerçekleştiren ısıl işleme de “yaşlandırma” denilmektedir. Şekil 1. 6’te T6 prosesi bulunmaktadır.



Şekil 1.6. T6 prosesi

## 1.7. Isıl İşlem Nedir

Isıl İşlem, en geniş anlamıyla, bir metal ürünün mekanik özelliklerini, metalürjik yapısını veya kalıntı gerilme durumunu değiştirmek amacıyla gerçekleştirilen ısıtma ve soğutma işlemlerinden herhangi biridir. Isıl işlem alüminyum alaşımlarına uygulandığında, genellikle kullanımı, çökeltme ile sertleşebilen dövme ve dökme alaşımların sertliğini ve dayanımını arttırmada kullanılan spesifik işlemlerle sınırlıdır. Bunlar genellikle, ısıtma ve soğutma ile önemli bir güçlenmenin sağlanamayacağı alaşımlardan ayırmak için "ısıyla işlenebilir" alaşımlar olarak adlandırılır. Genellikle "ısıyla işlenemeyen" alaşımlar olarak adlandırılan ikincisinde, mukavemeti arttırmak için soğuk şekillendirmeye bağlıdır. Mukavemeti azaltmak ve sünekliği arttırmak için ısıtma (tavlama) her iki tipte alaşımlarla kullanılır; metalürjik reaksiyonlar alaşım çeşidine ve beklenen yumuşama kıvamına göre değişebilir. Kimi zaman 5 bin serisi alaşımlara verilen düşük sıcaklıkta stabilizasyon işlemi dışında, tam veya kısmi tavlama işlemleri, ısıyla işlenemeyen alaşımlar için kullanılanlardır. Çizelge 1.1' de Alüminyum gruplarının başlıca alaşım elemanları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Alüminyum grupları başlıca alaşım elemanları

<b>Alüminyum grupları</b>	<b>Başlıca alaşım elemanları</b>
1xxx	Min. %99 alüminyum
2xxx	Bakır
3xxx	Mangan
4xxx	Silisyum
5xxx	Magnezyum
6xxx	Magnezyum ve silisyum
7xxx	Çinko
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan seriler

### 1.7.1. Termik Fırını

Alüminyum termikleme fırını alüminyum profillerin sertleşmesi amacı ile üretilen fırındır. Alüminyum termikleme fırınları alüminyumun tanecik yapısını 180-200 derece aralığında belirlenen saat dilimleri arasında düzenleyerek profillerin sertleşmesi amaçlanmaktadır. Alüminyum termikleme fırınları ısı ve kontrolü pic pano kullanılarak yapılmaktadır. Yükleme sistemi manuel içeri ve dışarı hareket otomatik olarak yapılır.

### 1.7.2. Çekme Testi

Malzemede, uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması ya da cisme belirli bir kuvvet uygulandığında meydana gelecek şekil değişiminin belirlenmesi, belirli bir şekil değiştirme meydana getirmek için mühendislik uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Malzemenin hangi koşullarda çalışabileceğini ya da hangi koşullarda şekillendirilebileceğini, şekil değiştirme ve bu şekil değiştirmeyi veren kuvvet arasındaki bağıntı, belirlemektedir.

Çekme deneyi, kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki bağıntıların incelenmesi bakımından en basit deneydir. Çekme deneyi; malzeme seçimi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması, malzemelerin statik yük altındaki plastik ve elastik davranışlarının (mekanik özelliklerinin) belirlenmesi için yapılır. Çekme deneyinde standartlara göre hazırlanan numunelerin mukavemet değerleri ölçülmektedir. Çekme deneyi sonucu oluşan raporlardaki değerler karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilmektedir.

Çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan mekanik özellikler şunlardır : Akma Dayanımı ( $\sigma_y$ )(Yield Strength), Uygulanan çekme kuvvetinin ortalama olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli miktarda arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeri akma dayanımıdır. Elastisite Modülü (E) (Young Modulus, Elasticity Modulus) : Malzemenin mukavemetinin yani dayanımının ölçüsüne denir. Normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) ile birim uzama arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tarif edilmektedir. Normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) ile birim uzama arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir: E, Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman, malzemede oluşan uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “Hooke Kanunu” denir. Elastisite modülü malzemenin özgün bir özelliğidir. Çekme Dayanımı (Kopma Dayanımı) ( $\sigma_t$ ) (Tensile Strength) Malzemenin kırılıncaya veya kopuncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesine denir. Çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri bu gerilmedir. Kopma Uzaması, numunenin koptuğu andaki gerilme değeri kopma



uzamasıdır. Kopma Büzülmesi, çekme numunesinin kesit alanında ortaya çıkan en büyük yüzde büzülme veya daralma oranıdır. Kesit daralması, kopma uzaması gibi sünekliğin göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin büzülme veya boyun verme oluşurken, gevrek malzemelerde büzülme meydana gelmez.

### 1.7.3. Çentik Darbe Deneyi

Endüstriyel mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemelerin, uygulanan yük türüne ve ortam sıcaklığına bağlı olarak hasara uğradıkları görülmektedir. Mühendislerin, malzeme seçimi yaparken malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek mi, gevrek mi kırılacağını, kırılırken ne kadarlık bir enerji absorbe edebileceğini veya kırılma enerji miktarının ne kadar olabileceği hakkında malzemenin davranışı ile ilgili bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Bu verileri öğrenmek amacıyla malzemelerin dinamik yüklere karşı ne kadarlık bir kırılma enerjisine sahip olduklarını, ani darbe sebebiyle malzemenin absorbe ettiği enerji miktarını ölçmek, malzemenin gevreklik ve süneklik özelliklerini değerlendirebilmek, malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek hangi sıcaklıklarda gevrek bir davranış sergilediğini tespit etmek amacıyla çentik darbe deneyi yapılır. Çekme deneyi sonuçlarında olduğu gibi, çentik darbe deneyi vasıtasıyla belirlenen malzemelerin kırılma enerji değeri, mühendislik dizayn hesaplamalarında sayısal bir değer olarak kullanılmamaktadır. Kırılma enerji miktarı, sadece malzemenin kırılma davranışını değerlendirip, sünekliği veya gevrekliği hakkında bilgi sahibi olmak hedefiyle kullanılır. Malzemelerin süneklikleri ile kırılma enerjisi arasında belirli bir ilişki söz konusudur. Gevrek, sünek olmayan malzemelerin kırılma enerjileri de düşüktür. Çentik darbe deneyinde kullanılan test numunesinin üzerine, üç boyutlu bir gerilim elde etmek amacıyla, bir çentik açılır. Bu çentikten ötürü, deneye de çentik darbe deneyi denilmektedir. Çentik darbe deneyinde, numune üzerine çentiğin açıldığı bölge ve darbe etkisinin numuneye temas ettiği bölge dikkate alınarak, deneyin adı da değişmektedir. Genelde çentikli numuneler kullanılmakta ve bunların belirli sıcaklık değerlerinde tek darbe türü makinelerde kırılması ile çentik tokluğu değerlerine ulaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlar numune tarafından absorbe edilen darbe direnci veya darbe enerjisi olarak ifade edilmektedir. En yaygın olarak kullanılan İzod darbe, charpy darbe deney yöntemleridir. Bu yöntemlerde çentikli numune ve sallanan sarkaç tipi makine kullanılmaktadır. Bu

deneyler çeşitli standartlarda açıklanmıştır. Çentik numunenin tam ortasından açılır ve test cihazının kırma çekici çentikli numunenin çentik hizasının arka kısmından çarparak kırarsa, deneyin adı charpy çentik darbe deneyi olmaktadır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Baydoğan ve ark. [14], yaptıkları çalışmada 7075 alüminyum alaşımının, dayanım, sertlik ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerine, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısıl işleminin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak yeniden yaşlandırma ve retrogresyon işlemiyle, T6 temper durumuna eşit ya da daha yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Retrogresyon süresine bağlı olarak, sertlik ve dayanım önce azalır, sonra artarak en yüksek değerine ulaşır, daha sonra tekrar azalmaktadır. Retrogresyon süresine bağlı olarak süneklik ve tokluk artmaktadır.

Gökçe ve ark. [6], yaptıkları çalışma ile, ısıl işlem ve yaşlandırma ardından ulaşılan mikro yapısal değişimlerin, toz metal alaşımlarının fiziksel özelliklerine olan etkilerini söyleyebilmek konusunda yapılan Al-esalı alaşımlar üzerinde yapılan çalışmaların keşiflerini incelemiştir. Alüminyum alaşımlarının mukavemetlerinin büyük oranda artırılması, kontrollü hızlı soğutma ve suni yaşlandırma gibi ısıl işlem süreçleri ile hedeflenmiştir. Al5Cu0.5Mg ve Al5Cu bileşimlerinde malzemelerin sinterleme ardından ısıl işlem (çözeltiye alma, kontrollü hızlı soğutma ve suni yaşlandırma) ile ölçülen sertlik miktarlarının saf alüminyuma oranla büyük oranda arttığı tespit edilmiştir.

Güleryüz ve Kaçar [16], yaptıkları çalışma ile, deformasyon yaşlanmasının AA7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi araştırmayı amaçlamıştır. AA7075 alaşımı farklı sıcaklık ve sürelerde T6 ısıl işlemi, solüsyona alma, öndeformasyon, yaşlandırma ısıl işlemleri uygulandıktan sonra, herhangi bir sebeple termal çevrime uğramış bu alaşımın mekanik özelliklerinin deformasyon yaşlanması ile iyileştirilebilir olduğunun görüldüğü tespit edilmiştir.

Yılmaz ve ark. [8], yaptıkları bu çalışma ile, farklı sıcaklık ve süre değerlerinde 7075 alüminyum alaşımlarını yeniden çözeltiye alarak RRA ısıl işlemleri uygulayarak, maksimum özellikleri veren sıcaklık ve aynı zamanda sürelerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Sertlik değerleri yeniden çözeltiye alma sıcaklığı arttıkça artmakta, 220°C sıcaklıkta yeniden çözeltiye alınarak RRA işlemi uygulanan alaşımlar genellikle yüksek sertlik değerine sahiptir sonucuna varılmıştır. En yüksek sertlik

değeri 220°C'de 60 dakika sürede yeniden çözeltiliye alınarak RRA işlemi uygulanan alaşımlarda elde edildiği tespit edilmiştir.

Güven ve Delikanlı [9], yaptıkları çalışmada, AA 2024 alüminyum alaşımında çökelme sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Solüsyona alma işleminden sonra suni yaşlandırma yapıp, faz yapılarındaki değişikliklerinde mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. AA2024 alüminyum alaşımının, çökelme sertleşmesi ile mukavemetinin ve sertliğinin arttırılabileceği tespit edilmiştir. Özellikle otomotiv sektöründe bazı tür çeliklerin yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Akyüz ve Şenaysoy [15], yaptıkları çalışma ile, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırmanın, alaşımın mekanik ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kopma ve akma mukaveti, sertlik, gibi mekanik özellikleri, yaşlandırma süresinin artışına bağlı olarak artmıştır. 6 saat yaşlandırma süresi uygulandığında yüksek mekanik özellikler sağlanmıştır. 6 saat ile 24 saat yaşlandırma sonunda ulaşılan, kopma, akma, sertlik değerleri arasında büyük farklar görülmemiştir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla doğru orantılı olarak, kesme kuvvetleri arttığından, alaşımın işlenebilirlik kabiliyetinin yaşlandırma süresine bağlı olarak düşüş gösterdiği tespit edilmiştir.

Gül [7], yaptığı çalışmada, AlSi10Mg alaşımının ikincil yaşlandırma prosesinin, abrasif aşınma direncine etkisi ve sertlik araştırılmıştır. Döküm alaşımlarının mekanik performansındaki gelişme, uygun alaşım elementlerinin ilavesiyle uygun ısı işlem uygulanarak ulaşılabildiğinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Geleneksel yaşlandırma işlemi ile sertlik miktarında yükseliş, abrasif aşınma kaybında azalma, ikincil yaşlandırma işlemi ile yine aynı sonuçlar, alt yaşlandırma, ikincil yaşlandırma ve T6 yaşlandırma işlemi uygulanmasıyla yine sertlikte artış aşınma kaybında azalma elde edilmiştir.

Vatansever ve ark. [4], yaptıkları çalışmada, AlCu4Ti alaşımına T6 ısı işlemi yapılmış, kokil ve kum kalıp dökümlerinde mikroyapı farkları incelenip, ulaşılan porozite ve mikroyapı inceleme sonuçlarının yaşlandırma sonuçları ile ilişkisi araştırılmıştır. Kokil kalıptan elde edilen bilgiler yüksek sertlik değerleri vermektedir. Kalıp malzemesinin por sayısına etkili olduğu görülmüştür.

Alsaadı ve Tunay [5], yaptıkları çalışma ile, yatak malzemelerinde özellikle aşınmadan kaynaklanan maddi kayıpların azaltılması amaçlanmıştır. Alüminyum Esaslı Al-25Zn-1Mg alaşımına farklı sürelerde yapay yaşlandırma işlemi uygulanarak, alaşımın sertliğinin değişim miktarlarını incelemeye çalışmışlardır. Yaşlandırma prosesine bağlı olarak numunelerin sertliklerinin arttığını yapılan çalışmalar sonucunda, tespit etmişlerdir. Al-25Zn-1Mg alaşımının klasik yatak malzemelerine, önemli sorunlardan biri olan aşınma problemiyle ilgili olarak alternatif olarak kullanılabilineceği görülmüştür.

Aydemir [12], yaptığı çalışmada, standartların gerilme/gerinme hızı yönünde tanımlamalarının ve farklılıklarının hangi parametrelere bağlı olduğunu özetlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, gerilme/gerinme hızının deneydeki etkileri verilmiştir. Bazı metallerin mekanik özellikleri gerinme oranlarıyla ilişkilidir. Gerinme oranı duyarlı malzemeler için ve akma dayanımı sonuçlarının tekrarlanabilirliği ve tekrar üretilmesinde akmanın belirlenmesindeki gerinme oranlarının benzerlik taşımasının önemi gözlemlenmiştir.

Yüksel [11], yaptığı çalışmada, temel alaşım elementleri olarak Si ve Mg içeren 6063 alüminyum alaşımının sertliği ve korozyon özelliği üzerine, farklı zaman ve sıcaklıklarda yapılan suni yaşlandırma işlemlerinin etkisi incelenmiştir. Bu işlemler sonucunda suni yaşlandırmadaki sıcaklık değeri yükseldikçe  $\beta$ 11 fazının çökmesinin tamamlanması daha az sürede gerçekleşmiş, tüm yaşlandırma sıcaklıkları için  $\beta$ 11 fazının çökmesi bitinceye kadar malzemenin sertliğinde yükseliş gözlemlenmiştir,  $\beta$ 11 fazının  $\beta$ 1 ve  $\beta$  fazına dönüşümü sürecinde sertlik değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Çevirir ve ark. [3] yaptıkları çalışmada, %7,29 Si oranına sahip Al-Si döküm alaşımının mekanik ve yapısal özelliklerine ısıl işlem süresinin tesiri incelenmiştir. Gerçekleştirilen ısıl işlemin mikroyapısal özelliklere çok önemli bir tesiri olmamasına rağmen çekme dayanımı, sertlik ve uzama gibi mekanik özelliklerde ciddi değişimler yarattığı tespit edilmiştir. Çalışılan numuneler arasında döküm alaşımı en düşük sertlik, çekme dayanımı ve en yüksek uzaman değerlerine sahip olduğu görülmüştür. En yüksek sertliğe, çekme dayanımına ve en düşük uzaman değerlerine 4 saat ısıl işlem görmüş numunenin sahip olduğu görülmüştür.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Malzemenin Seçim Yöntemi

Malzeme seçiminde endüstride yaygın olarak kullanılan 6xxx serisi alaşımları tercih edilmiştir. 6xxx serisi alüminyum alaşımları (6060, 6063, 6082) yaklaşık oranlarda gerekli formasyondaki  $Mg_2Si$  (magnezyum silisit) magnezyum ve silikon içermekle, ısıl işlem görebilir hale gelmektedirler (Şekil 3.1). 2xxx ve 7xxx alaşımları kadar dayanıklı olmamalarına rağmen, 6xxx serisi alaşımları kaynak kabiliyeti, iyi şekillendirilebilirlik, işlenebilirlik ve nispeten iyi bir korozyon direncine ile orta seviyede bir dayanıma sahiptirler. Isıl işlenebilen alüminyum sınıfları, T4 temper (ısıl işlem çözeltisi görmüş ancak ısıl işlem çökmesi görmemiş) forma gelebilirler ve ısıl işlem çökmesi T6 özelliklerini aldıktan sonra dayanımları artırılabilir. Mekanik işlemeye uygun oluşu, alaşımın öne çıkan önemli özelliklerindedir.

ALAŞIM BİLGİLERİ: 1070 (SAF)										
KİMYASAL DEĞERLER										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Standart değerler aralığı	0,2	0,25	0,03	0,03	0,03	-	-	0,07	0,03	kalan
Deneylerimizde kullandığımız ürün kompozisyonu	0,051	0,127	0,004	0,005	0,007	-	-	0,004	0,007	kalan
ALAŞIM BİLGİLERİ: 6063 AlMg0.7Si										
KİMYASAL DEĞERLER										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Standart değerler aralığı	0,48-0,56	0,18-0,22	0,03	0,03	0,55-0,60	0,02	-	0,03	0,025	kalan
Deneylerimizde kullandığımız ürün kompozisyonu	0,5	0,21	0,02	0,03	0,57	0,01	-	0,02	0,016	kalan
ALAŞIM BİLGİLERİ: 6060 AlMgSi0,5										
KİMYASAL DEĞERLER										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Standart değerler aralığı	0,3-0,6	0,1-0,3	0,1	0,1	0,35-0,6	0,05	-	0,15	0,1	kalan
Deneylerimizde kullandığımız ürün kompozisyonu	0,41	0,2	0	0,02	0,47	0,01	-	0,02	0,017	kalan
ALAŞIM BİLGİLERİ: 6082 AlSi1MgMn										
KİMYASAL DEĞERLER										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
Standart değerler aralığı	0,7-1,3	0,5	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,25	-	0,2	0,1	kalan
Deneylerimizde kullandığımız ürün kompozisyonu	0,95	0,25	0,02	0,51	0,8	-	-	-	0,018	kalan

Şekil 3.1. Alaşım bilgileri

### 3.2. Isıl İşlem Uygulanması

Metallere sertlik, mukavemet vb. mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan işlemlerin genel adı ısıl işlemdir. Türk Standartları (TS) 1112 de ısıl işlem, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikleri kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, duruma göre birbiri ardına zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak belirtilmiştir. Hazırlanan numuneler, 0, 6 ve 12 saat, 185°'de yaşlandırılmıştır.

Alüminyum profiller, 14 metre boyunda, 4 metre eninde, 4 metre yüksekliğinde, özel yapım termik fırında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Şekil 3. 2'de Termik fırını sunulmuştur. Test numunelerinin 6, 12 saatlik yaşlandırma süreleri bu fırında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Termik fırını

### 3.3. Çentik Darbe Deneyi

Denemeler Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi makine atölyesinde bulunan 30 J kapasiteli Charpy Çentik Darbe Test Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler ASTM E23 ve TS EN ISO 148-1 standartlarına uygun olarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3. 3'de çentik darbe deney düzeneği sunulmuştur.



Şekil 3.3. Çentik darbe deney düzeneği

### 3.4. Çekme Testi

Çekme testleri Kalitest marka, 50 kN kapasiteli AC servo motor kontrollü, 0.001 mm harekete duyarlı çekme test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri; TS EN ISO 6892-1, Metalik malzemeler - çekme deneyi - bölüm 1: Oda sıcaklığında deney metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'de çekme test cihazı bulunmaktadır.



Şekil 3.4. Çekme deneyi



### 3.5. Sertlik Ölçümü

Gruplanan numuneler webster sertlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 3.5'de yapılan ölçüm methodunun bir görüntüsü verilmiştir. Sertlik ölçümleri ASTM B647 standardında W-20'ye göre ölçüm yapılmıştır. Bu standarda göre Webster sertlik ölçüm cihazı birimi Webster (HW) alınmıştır.



Şekil 3.5. Sertlik ölçüm metodu

### 3.6. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma testleri Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Atölyesi'nde bulunan aşınma cihazında ASTM G99-17, DIN 50324 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6'da adhesiv aşınma test cihazının görüntüsü verilmiştir.

Aşındırıcı disk 62 HRC yüzey sertliği ve Ra 0,92  $\mu\text{m}$  yüzey pürüzlülük değerine sahip; 1.2379 soğuk iş takım çeliğidir. Numuneler bu disk üzerinde 10 N yük altında 2000 m aşındırılmış ve aşınmaya bağlı kütle kayıpları belirlenmiştir. Adhesiv aşınma sonucunda, sürtünme katsayısının ( $\mu$ ) hesaplanmasında, kayma başlayıncaya kadar, yük (F) uygulanmaktadır ve kayma başladığı andaki uygulanan yük, sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) olarak belirlenmektedir. Kaymayı başlatan kuvvet ( $F_s$ ) ile temas yüzeyine etki eden dik kuvvet (N) arasında formül 1'deki bağıntı kullanılmaktadır.  $F_s$ : Sürtünme

kuvveti (N, kg) N: Normal kuvvet (N, kg),  $\mu$ : Sürtünme katsayısı

$$F_s = N \cdot \mu \quad (3.1)$$



Şekil 3.6. Adhesiv aşınma test cihazı

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları

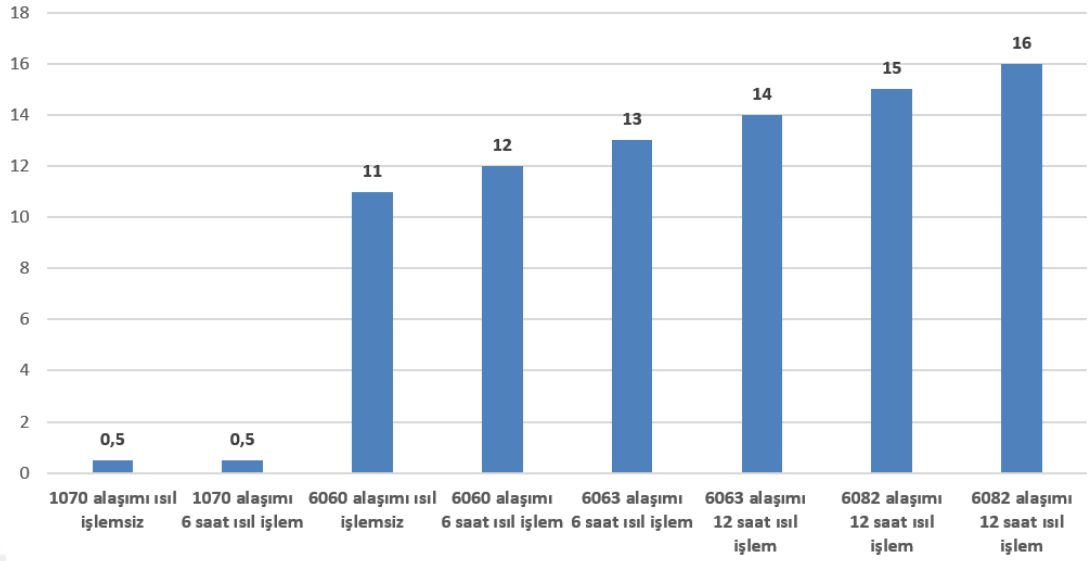
Webster sertlik ölçüm cihazı ile farklı yaşlandırma işlemi uygulanmış test numunelerinin sertlik değerleri çizelge 4.1’ de sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde alaşıma ve yaşlandırma işlemine bağlı olarak numunelerin sertliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Bu durumun tek istisnası 1070 alaşımıdır. Bu alaşımda yaşlandırmanın sertliğe etkisi olmamıştır.

Çizelge 4.1. Sertlik ölçüm sonuçları

Alaşım	Isıl İşlem Süresi (saat)	Sertlik (Webster)
6060 alaşımı 1. numune	6	12
6060 alaşımı 2. numune	0	11
6063 alaşımı 1. numune	12	14
6063 alaşımı 2. numune	6	13
1070 alaşımı 1. numune	0	0-1
1070 alaşımı 2. numune	6	0-1
6082 alaşımı 1. numune	6	15
6082 alaşımı 2. numune	12	16

Şekil 4. 1’de test numunelerinin yaşlandırmaya bağlı sertlik ölçüm sonuçları, sütun grafik olarak sunulmuştur.

## Sertlik Webster



Şekil 4.1. Sertlik ölçüm sonuçları

## 4.2. Çekme Testi Sonuçları

Farklı ısıl işlem uygulanan test numunelerinin, yaşlandırma süresine bağlı olarak akma ve kopma mukavemetleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

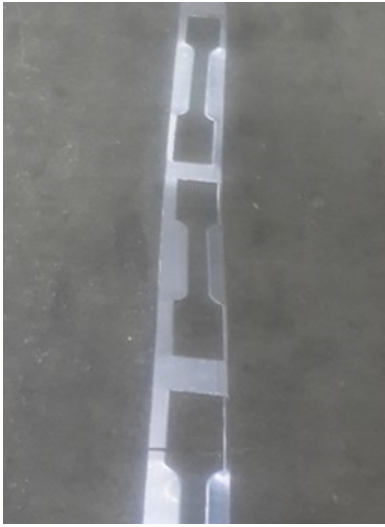
Çizelge 4.2. Çekme testi akma ve kopma değerleri

Alaşım	Akma (MPa)	Kopma (MPa)
1070 saf alaşım 0 saat	46,17	61,96
1070 saf alaşım 6 saat	46,27	61,96
6060 AlMgSi0,5 0 saat	90,72	145,33
6060 AlMgSi0,5 6 saat	184,26	227,62
6063 AlMg0,7Si 6 saat	188,07	239,49
6060 AlMgSi0,5 12 saat	189,32	235,36
6082 AlSi1MgMn 6 saat	253,49	291,06
6063 AlMg0,7Si 12 saat	205,42	251,32
6082 AlSi1MgMn 12 saat	301,38	336,91

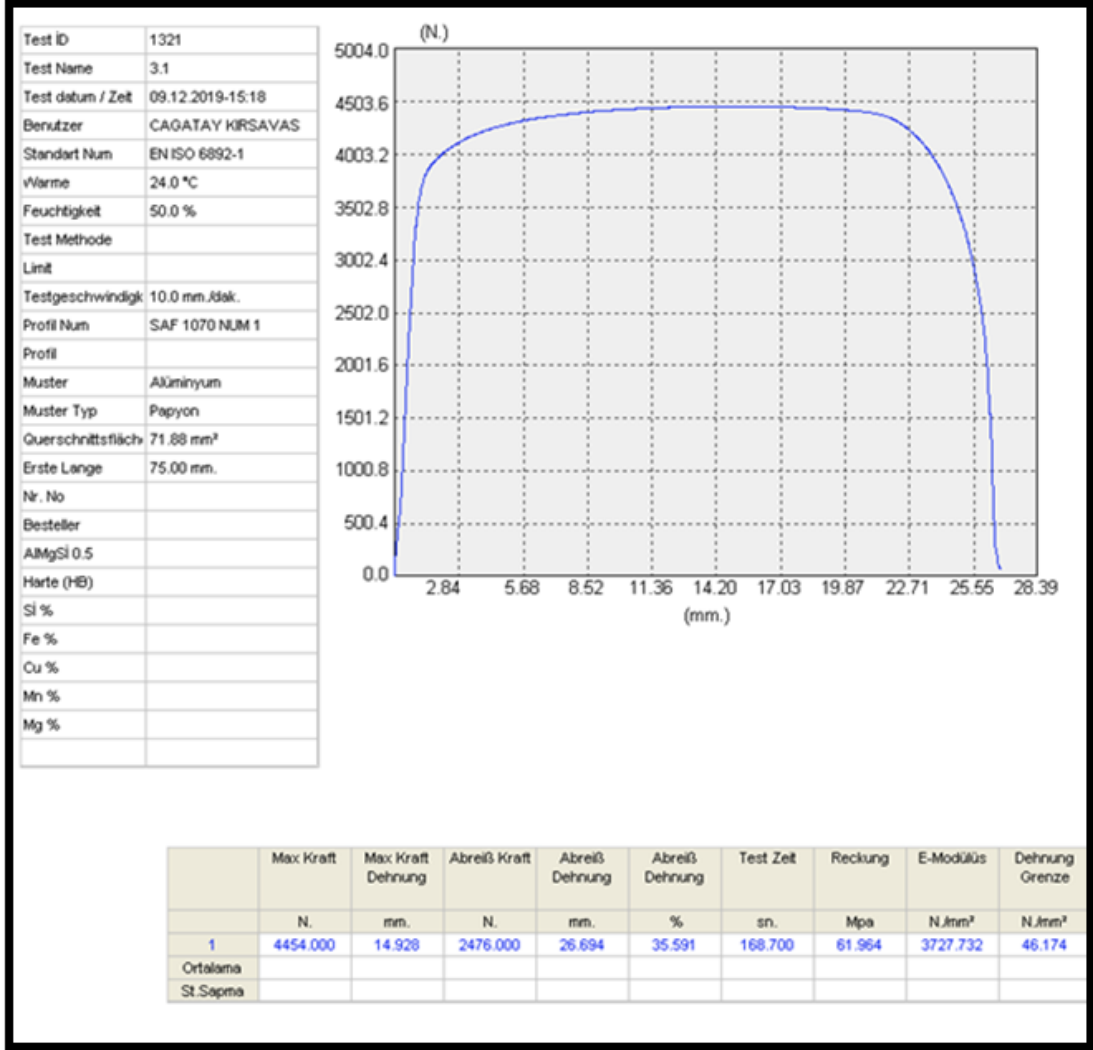
Çizelge 4.2 incelendiğinde 12 saat yaşlandırılan 6082 alaşımı alüminyumun 301,38 MPa’lık akma mukavemeti ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. En düşük akma mukavemeti ise yaşlandırma uygulanmayan 1070 alaşımı alüminyumda

47,17 MPa olarak görülmüştür. Bu değerler alaşımlamanın ve yaşlandırmanın alüminyumun mekanik özelliklerine etkisini göstermektedir.

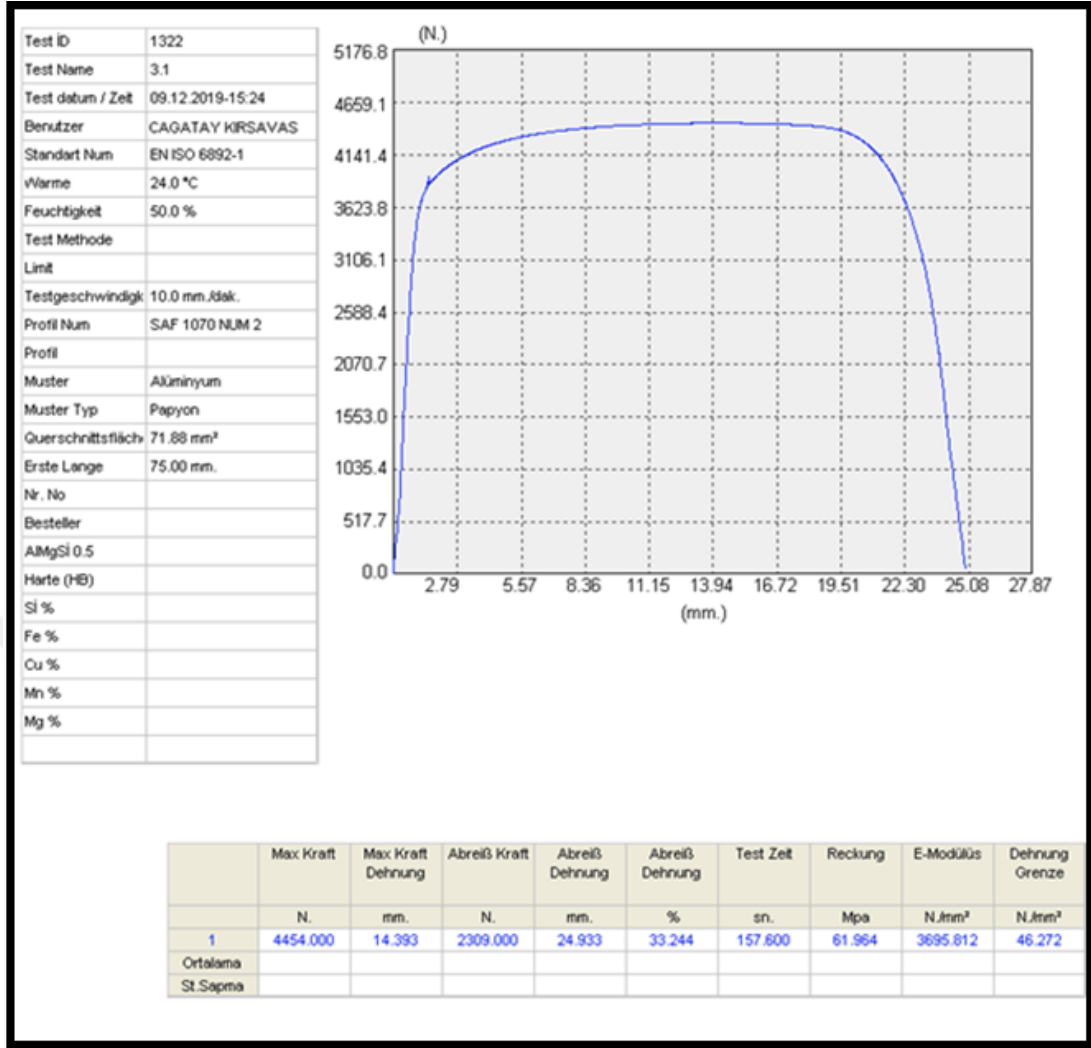
1070 saf alaşım 0 saat ısıtıl işlem görmemiş profil numunesi, 61,96 MPa'da, 1070 saf alaşım 6 saat ısıtıl işlem görmüş profil numunesi, 61,96 MPa'da, 6060 AlMgSi0,5 ısıtıl işlem görmemiş profil numunesi, 145,33 MPa'da, 6060 AlMgSi0,5 6 saat ısıtıl işlem görmüş profil numunesi, 227,62 MPa değerinde, 6063 AlMg0,7Si 6 saat ısıtıl işlem görmüş profil numunesi, 239,49 MPa değerinde, 6060 AlMgSi0,5 12 saat ısıtıl işlem görmüş profil numunesi, 235,36 Mpa'da, 6082 AlSi1MgMn 6 saat ısıtıl işlem görmüş profil numunesi, 253,49'da kopmuştur. Alaşım numuneleri aşağıdaki gibi profillerden alınarak, çekme deneyi testleri uygulanmıştır. Şekil 4.2'de numune alınan örnek profil teknik resmi gösterilmektedir. Şekil 4.3'de 1070 alaşımı 1. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.4'de 1070 alaşımı 2. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.5'de 6060 alaşımı 1. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.6'de 6060 alaşımı 2. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.7'de 6063 alaşımın 1. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.8'de 6063 alaşımı 2. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.9'de 6082 alaşımı 1. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.10'de 6060 alaşımı 3. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir. Şekil 4.11'de 6082 alaşımı 2. numunenin çekme deneyi testi raporu gösterilmektedir.



Şekil 4.2. 6060 numune alınan profil teknik resmi

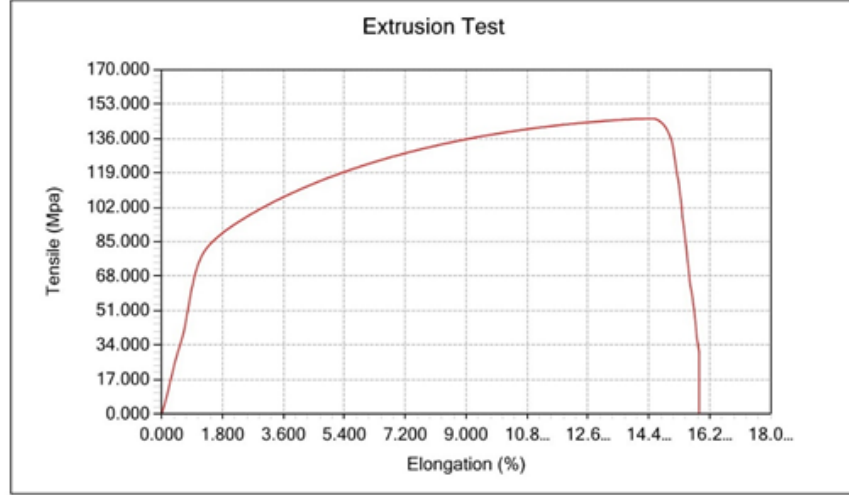


Şekil 4.3. 1070 alaşımanın 1. numunenin çekme deneyi test raporu



Şekil 4.4. 1070 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu

Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6060 0 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.40	% Ti	0.01
% Mg	0.46	% Cu	0.01
% Zn	0.01	% Mn	0.03
% Fe	0.15	Country of Origin	Turkey / TR
Hardness (HB)	45	AlMgSi	6060 T4
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	1.50 mm

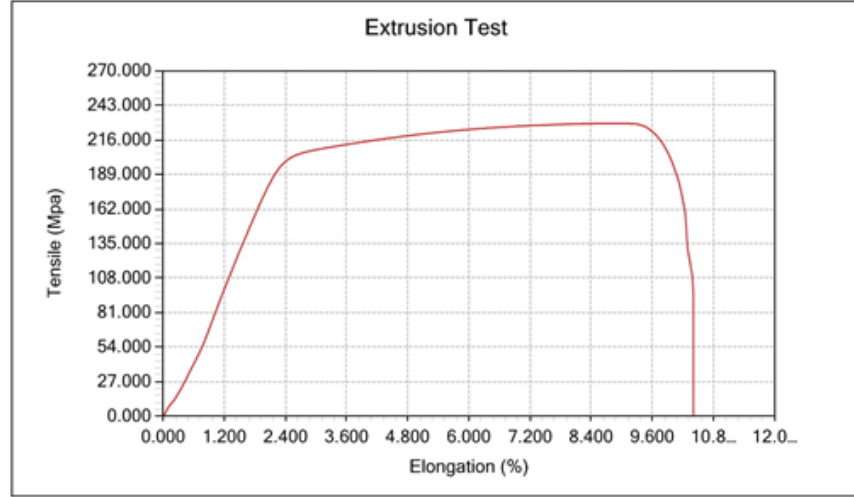


No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	25.04.2021 11:33	3553.2	11.502	145.330	1015.2	15.795	75.95	90.726	69.484
		Ortalama	3553.2	11.502	145.330	1015.2	15.795	75.95	90.726	69.484
		St.Sapma	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Büyük	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Küçük	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 4.5. 6060 alaşımının 1. numunenin çekme deneyi test raporu



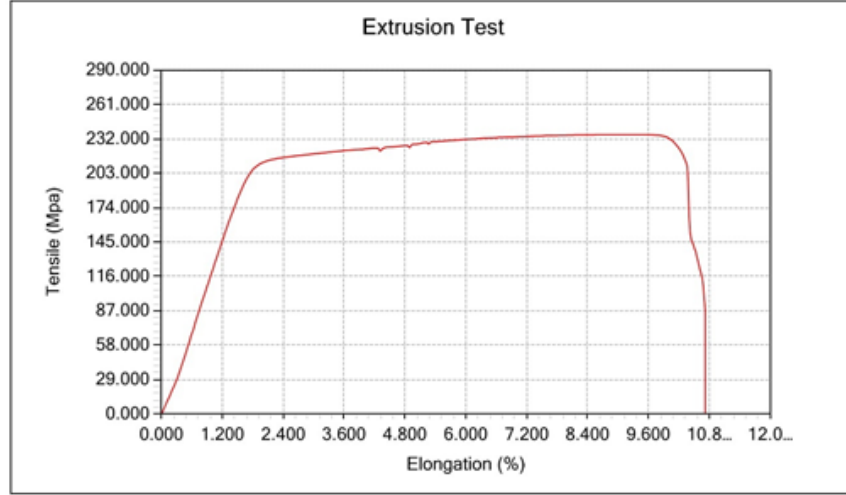
Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6060 6 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.42	% Ti	0.01
% Mg	0.46	% Cu	0.01
% Zn	0.01	% Mn	0.03
% Fe	0.16	Country of Origin	Turkey / TR
Hardness (HB)	75	AlMgSi	6060 T66
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	2.00 mm



No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	25.04.2021 16.52	5720.8	7.150	227.623	2750.6	10.384	49.67	184.264	84.823
		Ortalama	5720.8	7.150	227.623	2750.6	10.384	49.67	184.264	84.823
		St.Sapma	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Büyük	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Küçük	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 4.6. 6060 alaşımının 2. numunenin çekme deneyi test raporu

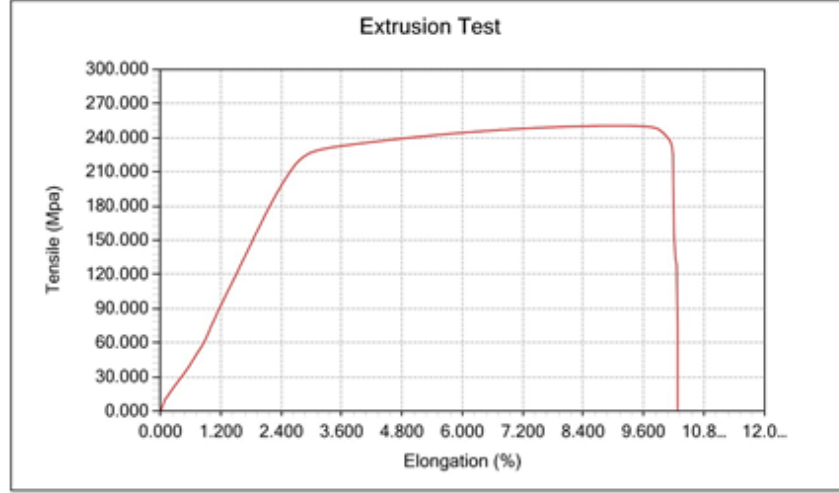
Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6063 6 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.41	% Ti	0.01
% Mg	0.47	% Cu	0.01
% Zn	0.01	% Mn	0.04
% Fe	0.15	Country of Origin	Turkey / TR
Hardness (HB)	75	AlMgSi	6063 T66
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	1.35 mm



No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	26.04.2021 10:58	3710.1	6.989	239.490	3109.5	10.381	51.21	188.078	120.429
		Ortalama	3710.1	6.989	239.490	3109.5	10.381	51.21	188.078	120.429
		St.Sapma	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Büyük	---	---	---	---	---	---	---	---
		En Küçük	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 4.7. 6063 alaşımının 1. numunenin çekme deneyi test raporu

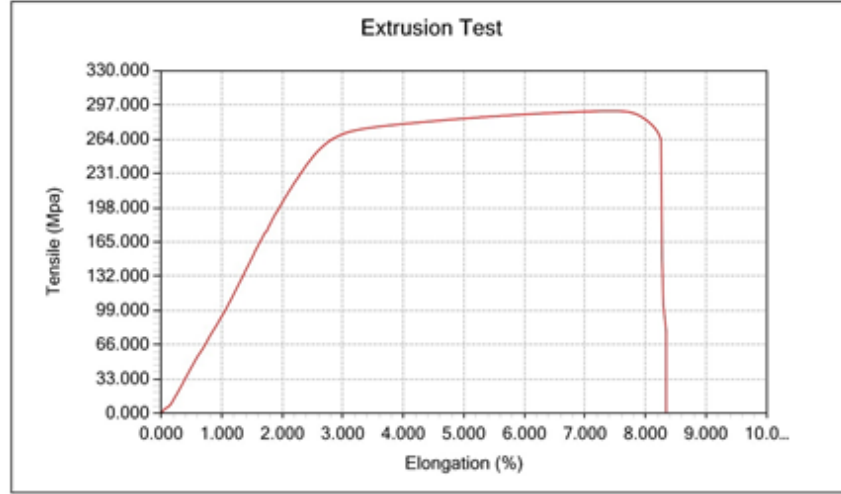
Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6063 12 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.50	% Ti	0.016
% Mg	0.57	% Cu	0.02
% Zn	0.02	% Mn	0.03
% Fe	0.21	Country of Origin	Turkey / TR
Hardness (HB)	80	AlMgSi	6063 T66
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	2.60 mm



No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1		19.04.2021 09:54	8294.9	7.193	251.320	7457.8	10.183	49.04	205.420	80.408
		Ortalama	8294.9	7.193	251.320	7457.8	10.183	49.04	205.420	80.408
		St.Sapma	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***
		En Büyük	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***
		En Küçük	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***	***_***

Şekil 4.8. 6063 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu

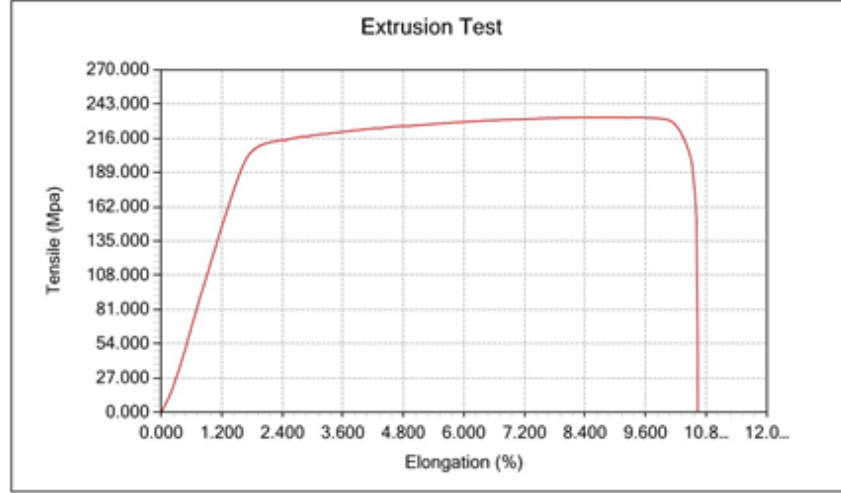
Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6082 6 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.95	% Ti	0.018
% Mg	0.80	% Cu	0.02
% Zn	0.02	% Mn	0.051
% Fe	0.25	Template Type	Papyon
Hardness (HB)	95	AlMgSi	6082 T6
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	2.88 mm



No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	24.04.2021 14.22	5821.2	5.954	291.060	5279.1	8.253	39.76	253.490	99.455
		Ortalama	5821.2	5.954	291.060	5279.1	8.253	39.76	253.490	99.455
		St.Sapma	...	...	...	...	...	...	...	...
		En Büyük	...	...	...	...	...	...	...	...
		En Küçük	...	...	...	...	...	...	...	...

Şekil 4.9. 6082 alaşımın 1. numunenin çekme deneyi test raporu

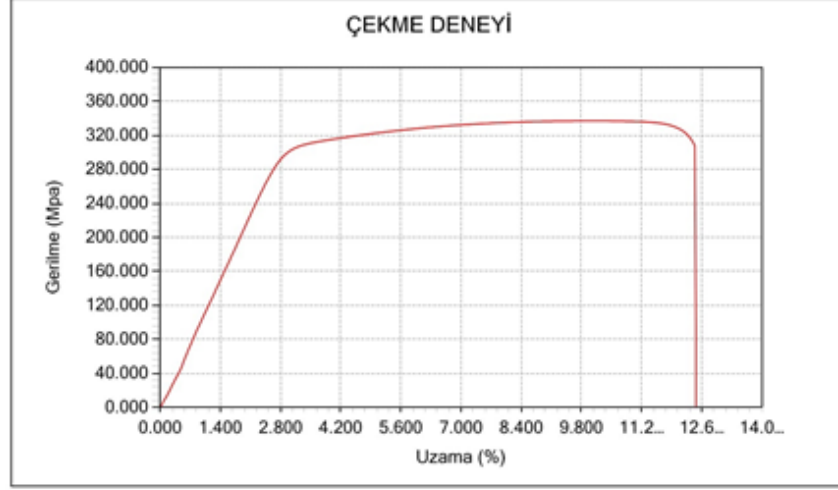
Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6060 12 SAAT	Sample Type	Aluminum
% Si	0.40	% Ti	0.01
% Mg	0.46	% Cu	0.01
% Zn	0.01	% Mn	0.04
% Fe	0.17	Country of Origin	Turkey / TR
Hardness (HB)	75	AlMgSi	6060 T66
Orderer		Order Nr	
Astas Nr.		Wall thickness	1.40 mm



No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	29.04.2021 13:55	3719.1	6.805	235.365	2743.5	10.580	50.78	189.320	120.172
		Ortalama	3719.1	6.805	235.365	2743.5	10.580	50.78	189.320	120.172
		St.Sapma	...	...	...	...	...	...	...	...
		En Büyük	...	...	...	...	...	...	...	...
		En Küçük	...	...	...	...	...	...	...	...

Şekil 4.10. 6060 alaşımın 3. numunenin çekme deneyi test raporu

Operatör	CAGATAY KIRSAVAS		
Profil Number	6082 12 SAAT	Numune Cinsi	Alüminyum
% Si	0.96	% Ti	0.017
% Mg	0.80	% Cu	0.02
% Zn	0.02	% Mn	0.051
% Fe	0.23	Muster Type	Papyon
Hardness (HB)	95	AlMgSi	6082 T6
Orderer		Bestellung Nr	
Astas Nr.		Wandstärke	2.30 mm

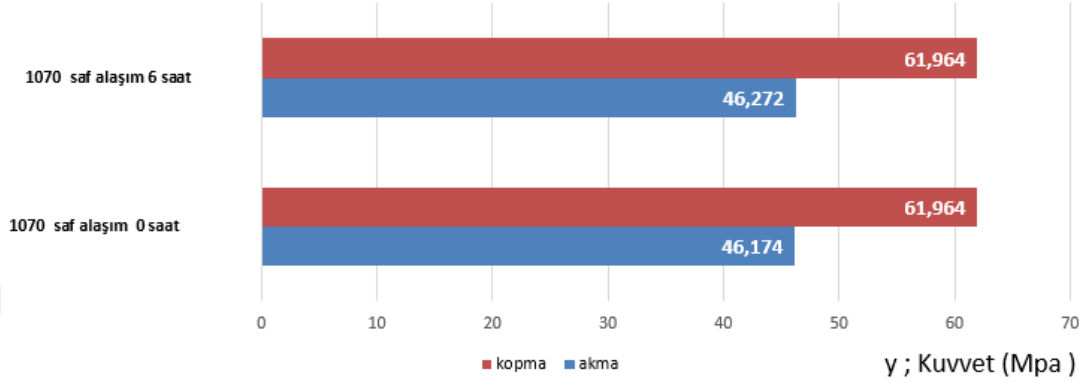


No	Renk	Tarih	Max Force N	Abrasion Elongation mm	Stretching Mpa	Abrasion Force N	Abrasion Elongation %	Test Time sn	Rp0.2 Stretching Limit Mpa	E-Module Mpa
1	■	25.04.2021 12:12	9686.2	7.867	336.911	8843.3	12.438	59.53	301.384	107.427
		Ortalama	9686.2	7.867	336.911	8843.3	12.438	59.53	301.384	107.427
		St.Sapma	----	----	----	----	----	----	----	----
		En Büyük	----	----	----	----	----	----	----	----
		En Küçük	----	----	----	----	----	----	----	----

Şekil 4.11. 6082 alaşımın 2. numunenin çekme deneyi test raporu

1070 alaşımı test numunesine uygulanan yaşlandırma ısıı işleminin mekanik özelliklere etkisi Şekil 4.12' de gösterilmektedir. 1070 alaşımı alüminyum numuneler incelendiğinde; ısıı işlem süresinin arttırılması veya azaltılmasının, içeriğinde Mg ve Si bulunmaması nedeniyle mekanik özelliklere bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

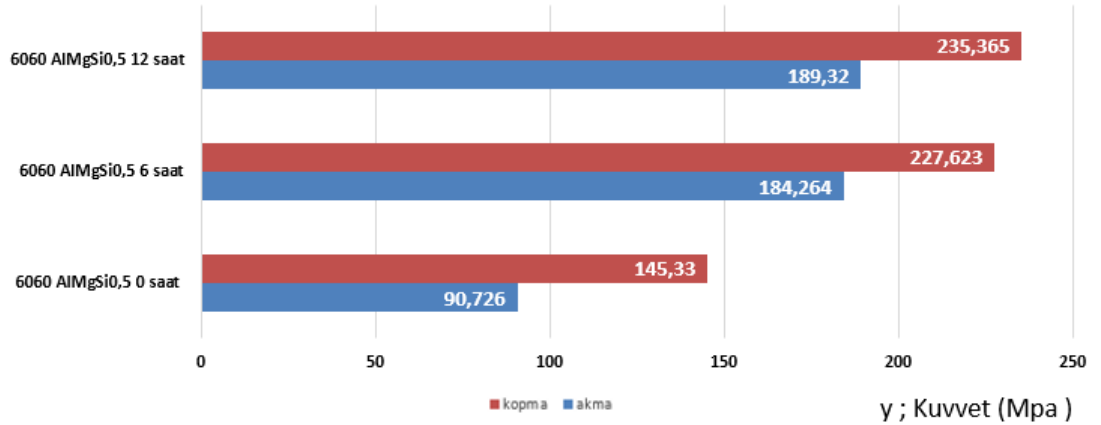
**1070 saf alaşım ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi**



Şekil 4.12. 1070 saf alaşım ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi

Aynı içeriğe sahip 6060 alaşımı alüminyum test numunelerine uygulanan ısıı işlem süresine bağlı olarak mekanik özelliklerin arttığı saptanmıştır. Şekil 4.13'de 6060 AlSiMgMn ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi gösterilmektedir.

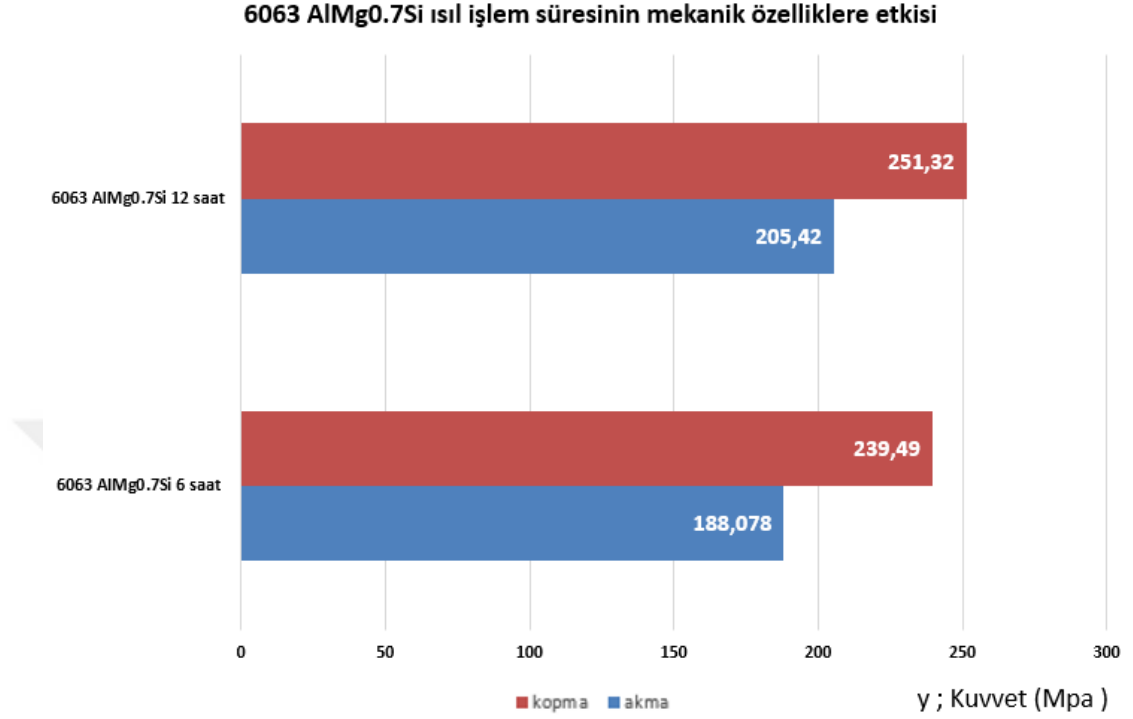
**6060 AlMgSi0,5 ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi**



Şekil 4.13. 6060 AlMgSi0,5 ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi

Aynı içeriğe sahip 6063 alaşımı alüminyum test numunelerine uygulanan ısıı işlem süresine bağlı olarak mekanik özelliklerin arttığı saptanmıştır. Şekil 4.14'de 6063 AlMg0,7Si ısıı işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi gösterilmektedir.

Malzeme kimyasal konpozisyonunda bulunan Si - Mg oranlarındaki değişkerler belli bir miktar arttırıldığında mekanik özelliklerde + yönde yükselişler gözlemlenmiştir.

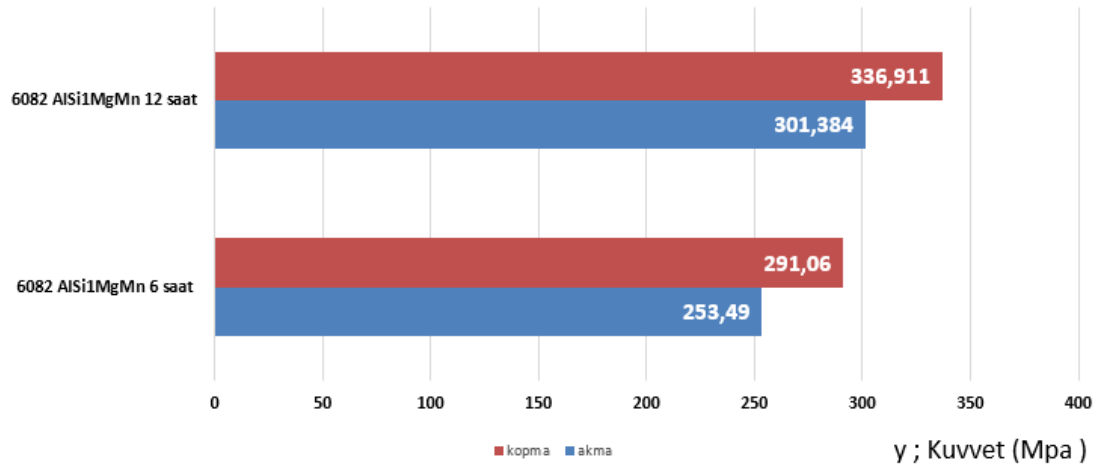


Şekil 4.14. 6063 AlMg0.7Si ısıt işleme süresinin mekanik özelliklere etkisi

Aynı içeriğe sahip 6082 alaşımı alüminyum test numunelerine uygulanan ısıt işleme süresine bağlı olarak mekanik özelliklerin arttığı saptanmıştır. Şekil 4.15’de 6082 AlSiMgMn ısıt işleme süresinin mekanik özelliklere etkisi gösterilmektedir.

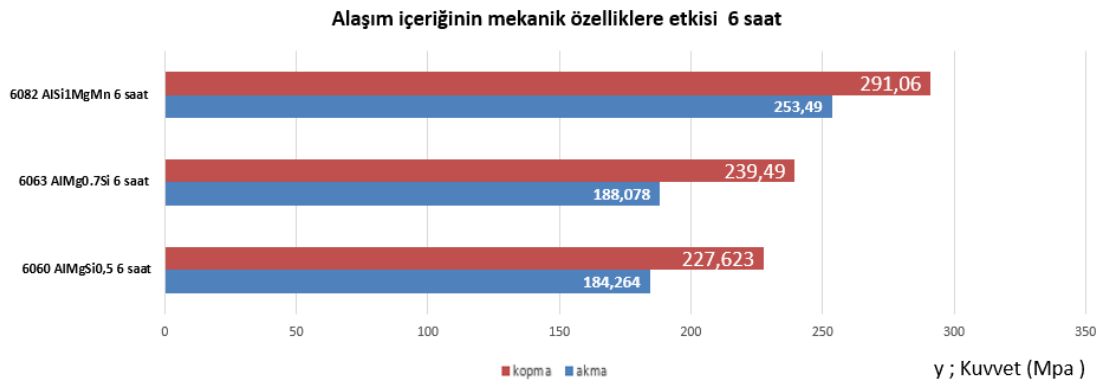


### 6082 AlSi1MgMn ısıt işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi

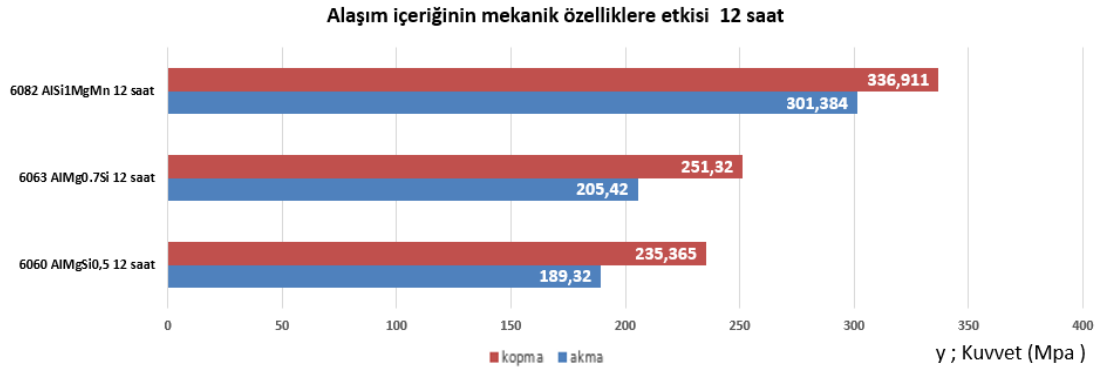


Şekil 4.15. 6082 AlSi1MgMn ısıt işlem süresinin mekanik özelliklere etkisi

Aynı içeriğe sahip alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıt işlem süresi belli bir oranda arttıkça, malzeme mekanik özellikleride doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 4.16’da 6 saat ısıt işlem görmüş alüminyum test numunelerinin alaşıma içeriğine bağlı mekanik özelliklerinin değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.17’de 12 saat ısıt işlem ile alaşım içeriğinin mekanik özelliklere etkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.16. Alaşım içeriğinin mekanik özelliklere etkisi 6 saat



Şekil 4.17. Alaşım içeriğinin mekanik özelliklere etkisi 12 saat

### 4.3. entik Darbe Deneyi Sonuçları

30 J kapasiteli çentik darbe test cihazında gerçekleştirilen deneylerde test numuneleri kırılmamıştır. Bu duruma bağlı olarak test numunelerinin 30 J'den daha büyük bir kırılma enerjisine sahip olduğu saptanmıştır. Deney sonucu kırılmayan test numunelerinde meydana gelen eğilme açısı ölçülerek numuneler bu açılara göre karşılaştırılmıştır (Şekil 4.18). Bu sonuçlar numuneler üzerindeki eğilme deformasyonlarına bağlı olarak Şekil ve çizelgeler halinde aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.3'de alüminyum alaşımlarının farklı ısıl işlemler altındaki çentik darbe deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3. 30 J darbeye maruz bırakılan charpy test numunelerinde meydana gelen deformasyon açıları

Alaşım	I.İ.S.Saat	Deformasyon açısı (°)
6082	12	10,2
6082	6	17,2
6063	12	24,3
6060	12	27,4
6063	6	32,2
6060	6	36,1
6060	0	71
1070	6	116,5
1070	0	112,6



Şekil 4.18. Çentik darbe deneyi sonucu oluşan eğilme açıları

6 saat ısıtılmış işlem görmüş test numunelerinin çentik darbe deneyi sonuçları Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. 6 saat ısıtılmış işlem uygulanmış alüminyum alaşımlarının deney sonuçları

Alaşım	Isıl işlem süresi	Deformasyon açısı (°)	Sertlik (HW)
1070 saf alaşım	6	116,5	0,5
6060 AlMgSi0,5	6	36,1	12
6063 AlMg0,7Si	6	32,2	13
6082 AlSi1MgMn	6	17,2	15

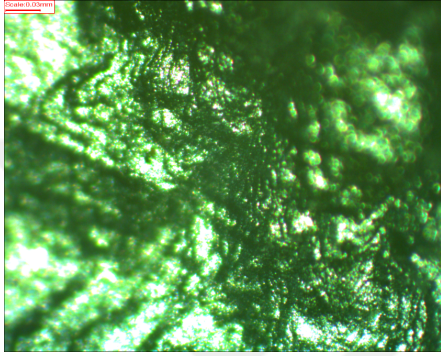
12 saat ısıtılmış işlem görmüş test numunelerinin çentik darbe deneyi sonuçları Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Malzeme kimyasal kompozisyonuna Mn ilavesi yapılarak ve Si-Mg oranları artırılarak daha yüksek mukavemet özellikleri elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.19 ve 4.20’de sertlik, ısıtılmış işlem süreleri ve darbe deneyi sonuçları gösterilmektedir.

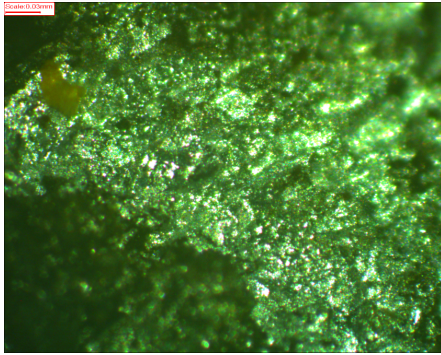
Çizelge 4.5. 12 saat ısıtma işlemi uygulanmış alüminyum alaşımlarının deney sonuçları

Alaşım	Isıl işlem süresi	Deformasyon açısı (°)	Sertlik (HW)
6060 AlMg0,7Si	12	27,4	13,5
6063 MgSiAl	12	24,3	14
6082 AlSi1MgMn	12	10,2	16

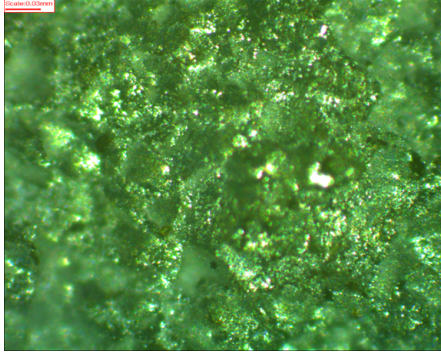
Şekil 4.19-4.22 incelendiğinde, malzeme mikroyapısı incelenen alaşımlarda darbe direncinin arttığı görülmektedir.



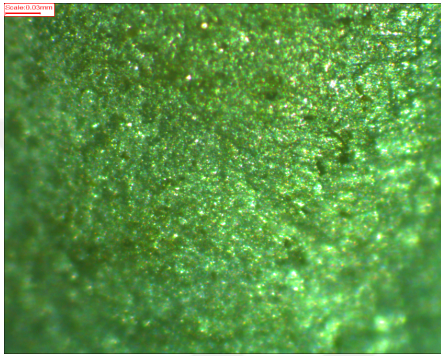
Şekil 4.19. 1070 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü



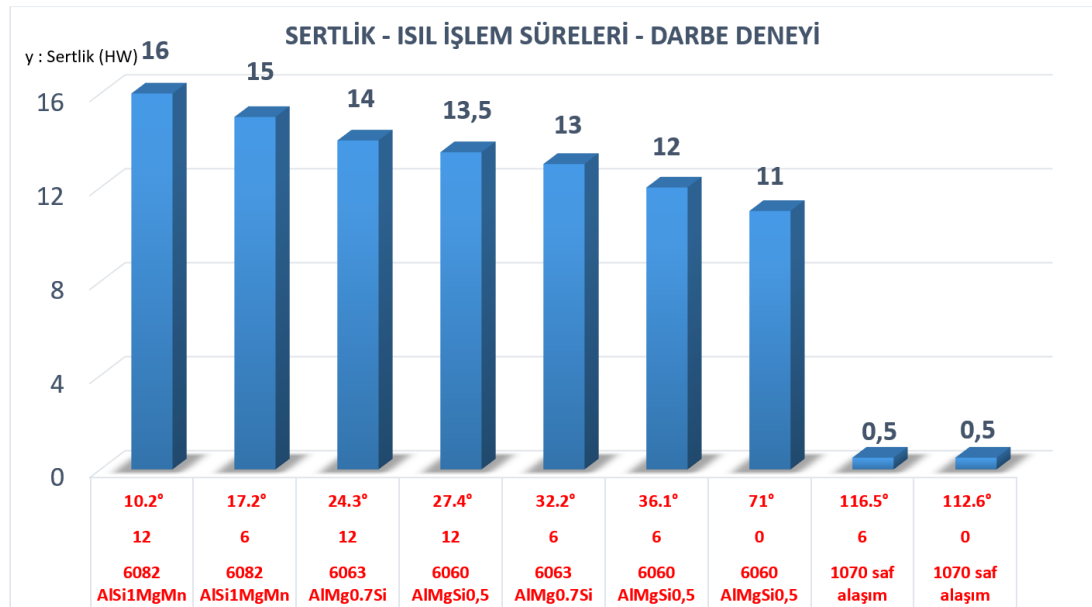
Şekil 4.20. 6060 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü



Şekil 4.21. 6063 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü



Şekil 4.22. 6082 alaşımı kırılma yüzeyi optik görüntüsü



Şekil 4.23. Test numunelerine ait sertlik değerleri ve çentik darbe deneyi sonucu oluşan deformasyon açıları



Şekil 4.24. 1070 ve 6060 alüminyum alaşımlarının ısıtılma öncesi çentik darbe deneyi deformasyon açıları



Şekil 4.25. 6 saat ısıtılma görmüş test numunelerinde çentik darbe deneyi sonucu meydana gelen deformasyon açıları

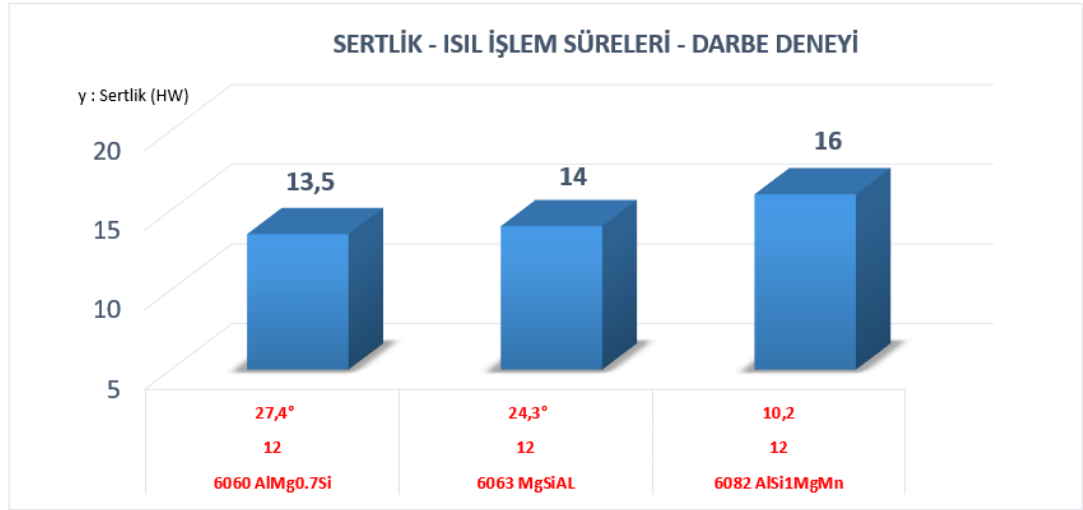
Yüksek mukavemet beklenen durumlarda 6082 alaşımı kullanımının 6060 ve 6063 alaşımına göre daha az maliyetli olduğu, ısıtılma süresinden tasarruf ederek enerji maliyetlerinin azaltıldığı, istenilen mukavemet özelliklerine kompozisyonda ilaveler yapılarak ulaşılabildiği sonucuna varılmıştır. 6063 alaşımın istenilen mukavemet özelliklerine 6060 ile karşılaştırılma yapıldığında Si ve Mg ilavesi ile istenilen özelliklere daha kısa sürede ve daha az enerji maliyeti ile ulaşılabildiği görülmüştür.

Isıl işlem süresi ile sertlik ve deformasyon açısı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür. Saf malzemede (1070 alaşımı) ısıl işlem süresinin arttırılması sonucunda mekanik özelliklerde herhangi bir değişim gözlenmemiştir.

Çizelge 4.6 incelendiğinde 6060 alaşımının farklı ısıl işlem sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri verilmiştir. Test numunelerinin sertlik değerlerine bağlı olarak deformasyon açıları ters orantılı olarak değişmiştir.

Çizelge 4.6. Alüminyum alaşımları deney sonuçları 3

Alaşım	Isıl işlem süresi	Deformasyon açısı (°)	Sertlik (HW)
6060 AlMgSi0,5	0	71	11
6060 AlMgSi0,5	6	36,1	12
6060 AlMgSi0,5	12	27,4	13,5



Şekil 4.26. 12 saat ısıl işlem görmüş test numunelerinde çentik darbe deneyi sonucu meydana gelen deformasyon açıları

Aynı kimyasal bileşime sahip malzemede ısıl işlem süresinin belirlenen oranda arttırılması sertliğin artışına neden olmuştur.



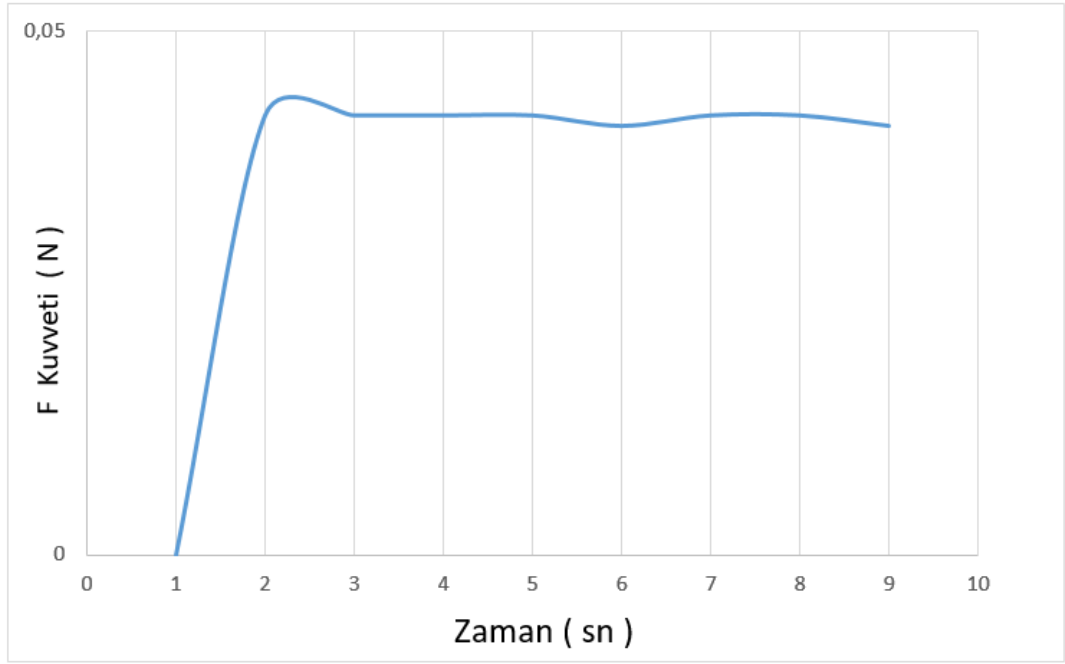
Şekil 4.27. 6060 alaşımı test numunesine ait farklı ısıl işlem süresinin malzeme sertliğine ve deformasyon açısına etkisi

Malzeme mukavemet özelliklerini arttırmak amacıyla ısıl işlem süresi ve alaşım oranları değiştirilebilir. Uygulama ve ürün kullanılabilirliğinde istenilen mukavemet özelliklerine ulaşabilmek amacıyla alaşıma bağlı olarak daha kısa ısıl işlem sürelerinde daha yüksek sertlik elde edilebilir. Böylelikle ısıl işlem süresi için harcanan enerji sarfiyatından, malzeme alaşımına belirli oranlarda empüriteler ilavesi ile kazanımlar sağlanmış olur. Aynı sonuca dayanarak malzeme içerisindeki alaşımlar sabit tutulduğunda ısıl işlem operasyonunda değişiklik yaparak istenilen mukavemet değerlerine ulaşmak için alaşım ilavesinden kazanımlar sağlanabilir.

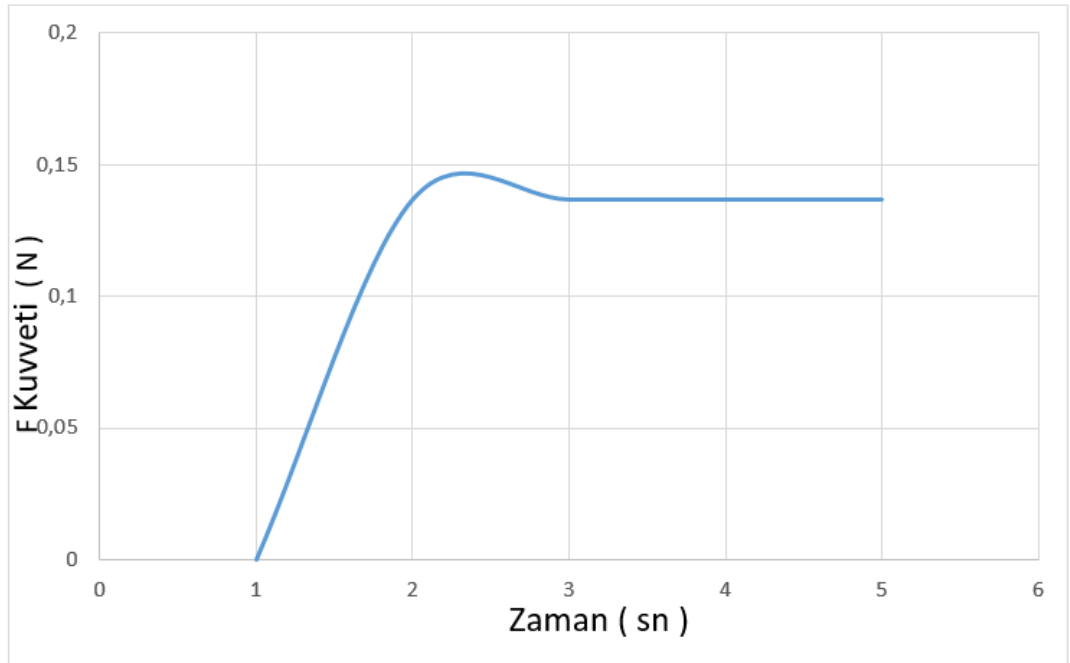
#### 4.4. Adhesiv Aşınma

Araştırmada ASTM G99'a göre 10 N yük altında gerçekleştirilen testlerde kaydedilen sürtünme kuvveti (F) değerlerinin zamana bağlı grafikleri Şekil 4.24 - 4.31'de sunulmuştur.

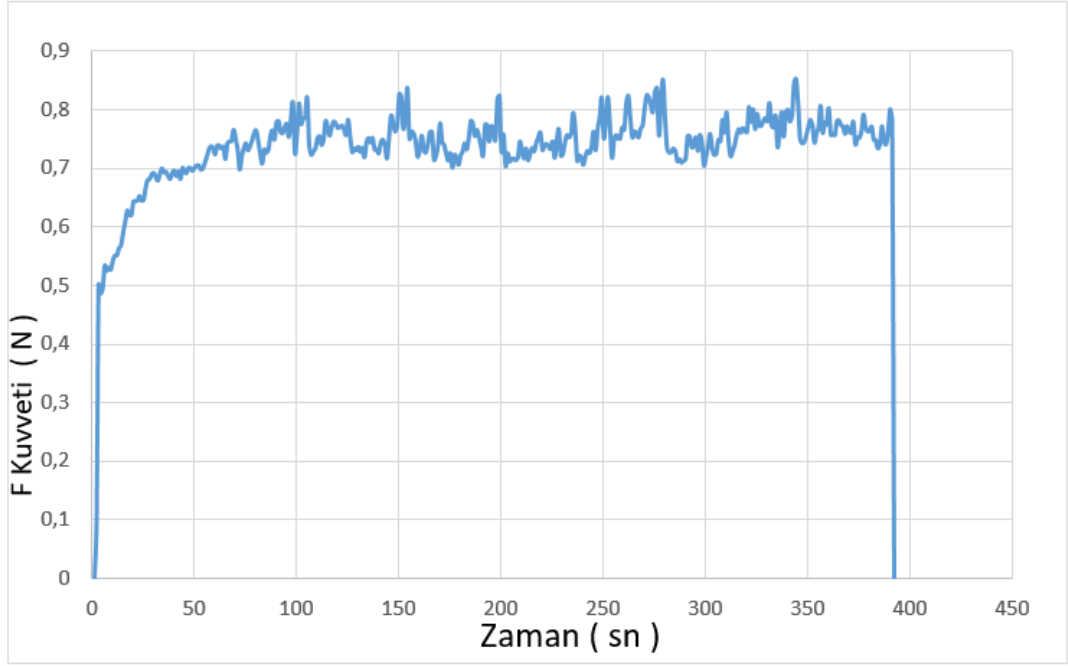




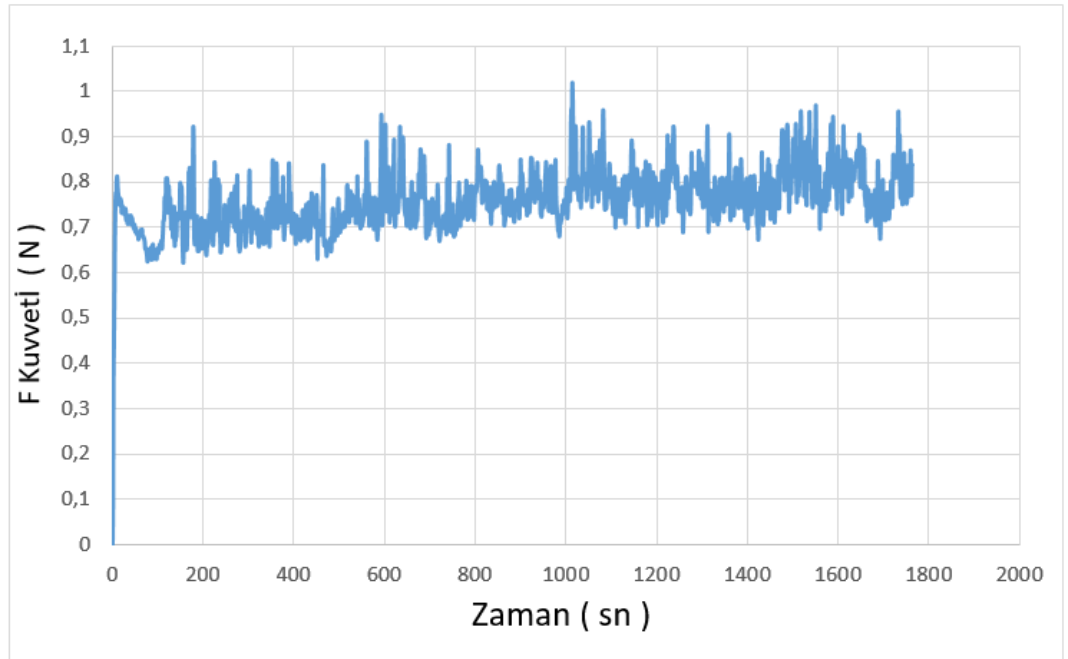
Şekil 4.28. Isıl işlem görmemiş 1070 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



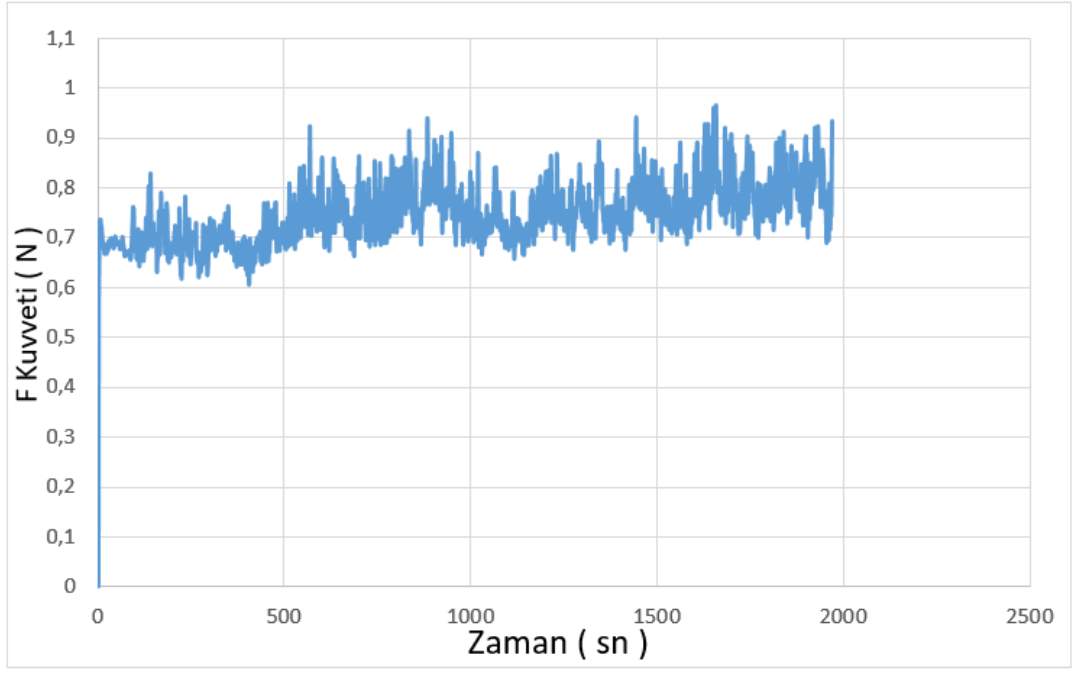
Şekil 4.29. Isıl işlem görmemiş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



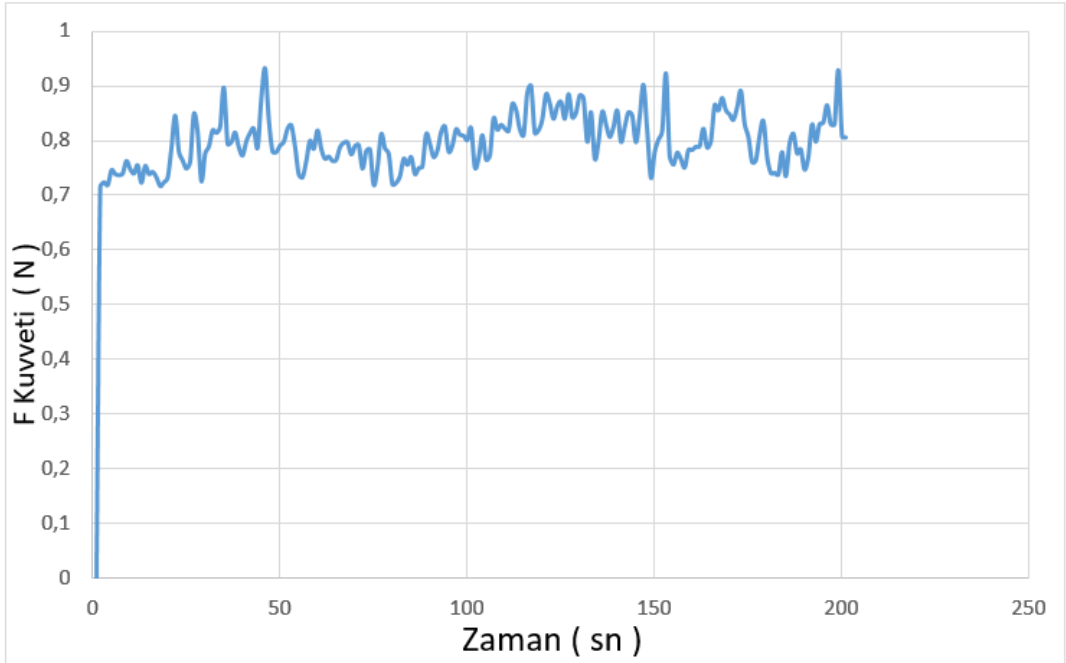
Şekil 4.30. 6 saat ısıt işlem görmüş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



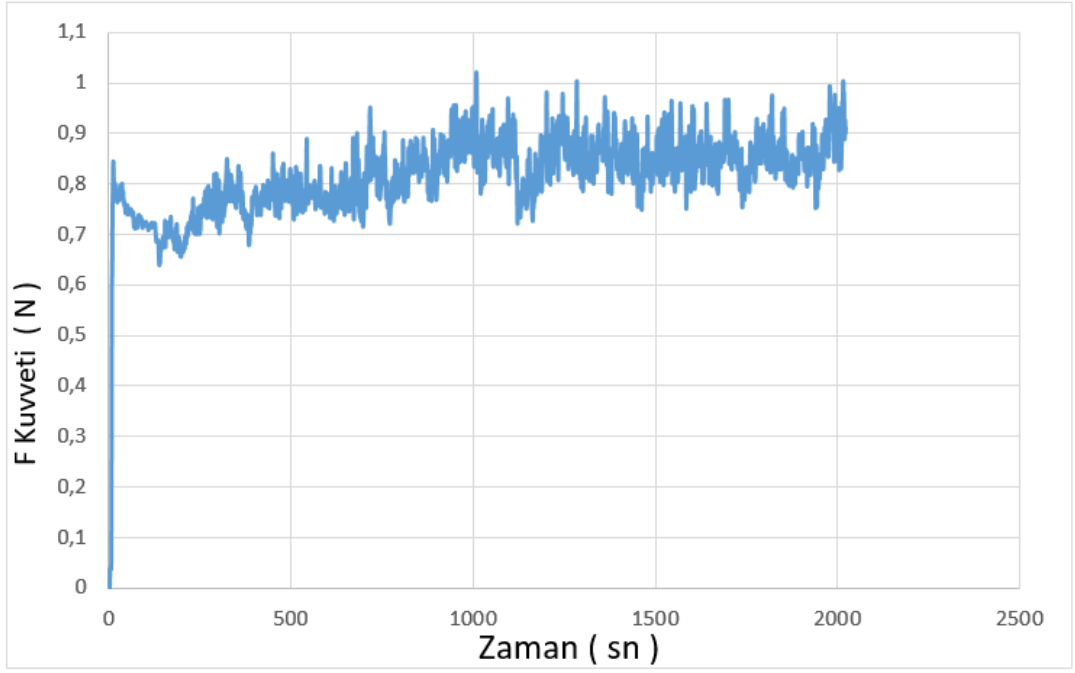
Şekil 4.31. 12 saat ısıt işlem görmüş 6060 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



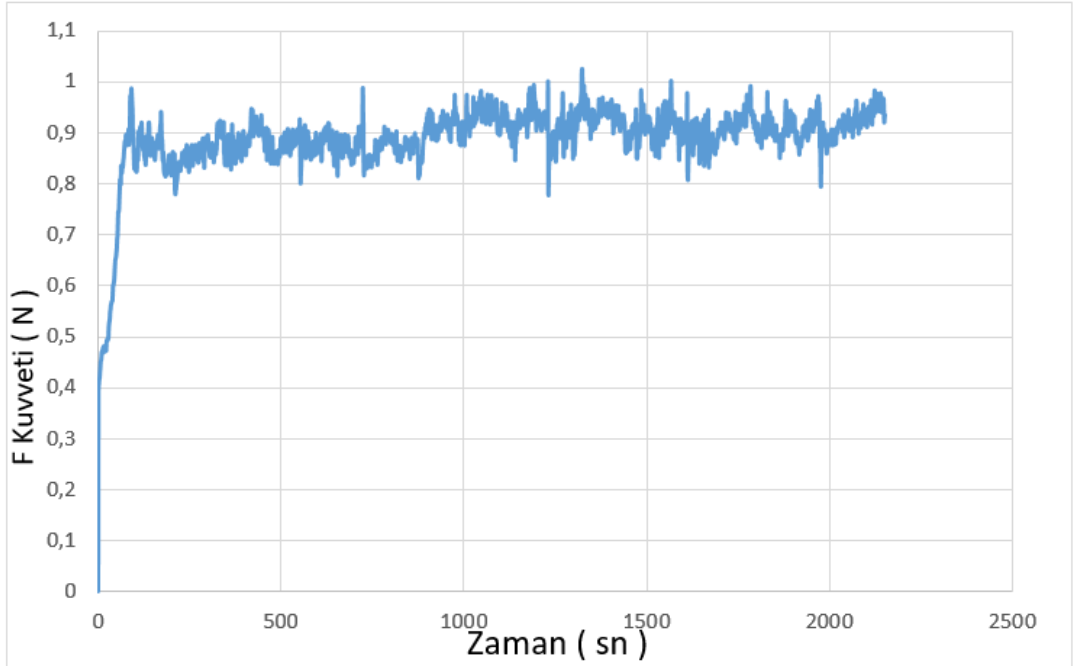
Şekil 4.32. 6 saat ısıtılmış 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



Şekil 4.33. 12 saat ısıtılmış 6063 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



Şekil 4.34. 6 saat ısıtılmış 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği



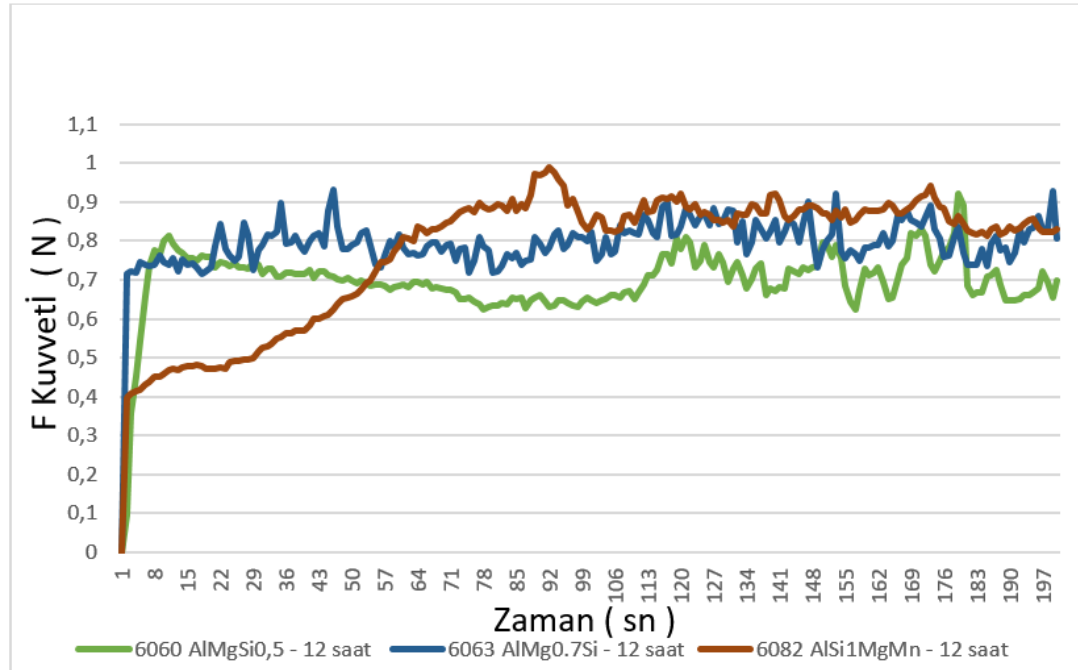
Şekil 4.35. 12 saat ısıtılmış 6082 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sırasında ölçülen F değerinin zamana bağlı grafiği

Aynı sürede ısıtılmış 3 farklı alaşım bileşiğine ait malzemenin aşınmaya karşı gösterdikleri direnç kuvvetleri karşılaştırmış olup; alaşımında Si-Mg

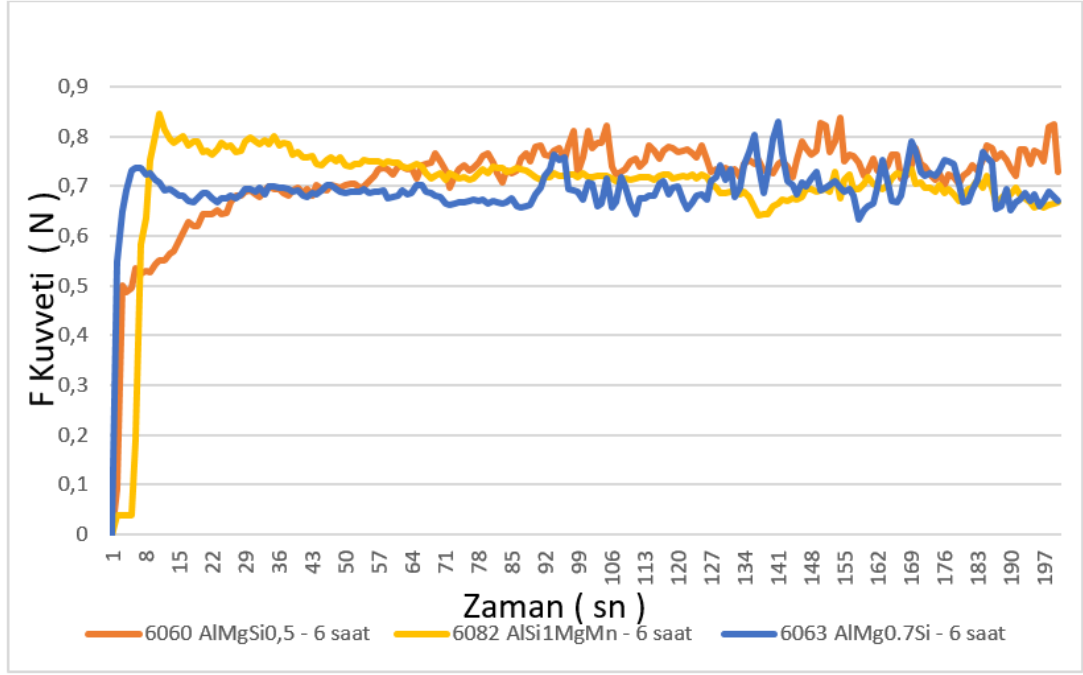
oranının fazla olduğu bileşikler arasında 6063 alaşımının 6060 Alaşımına üstün geldiği, içeriğinde Mn elementi bulunan 6082 alaşımın ise diğer iki alaşımlı hammaddeye göre üstün mukavemet özelliği göstermiş olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.7’de ise test numuneleri için ortalama sürtünme kuvvetleri (Fort) sunulmuştur. Şekil 4.36’da, 12 saat ısıl işlemlenmiş 6060, 6063 6082 alaşımları adhesiv aşınma kuvvetleri gösterilmiştir. Şekil 4.37’de, 6 saat ısıl işlemlenmiş 6060, 6063 6082 alaşımları adhesiv aşınma kuvvetleri gösterilmiştir. Şekil 4.38’de, 6 ve 12 saat ısıl işlemlenmiş 6063 alaşımları adhesiv aşınma kuvvetleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Test numunelerinin ortalama sürtünme kuvvetleri

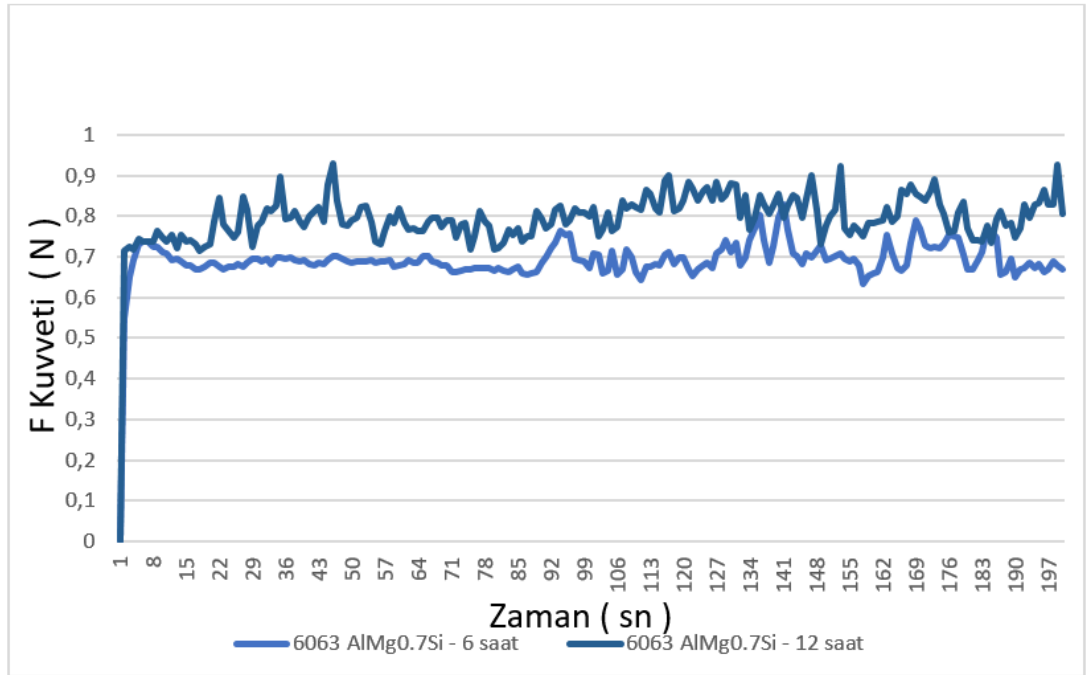
Alaşım / I.İ.S.(saat)	Sertlik (HW)	Akma (MPa)	Çekme(MPa)	Fort
1070 saf alaşım / 0	0,5	46,174	61,964	0,04
1070 saf alaşım / 6	0,5	46,272	61,964	0,04
6060 AlMgSi0,5 / 0	11	90,726	145,33	0,11
6060 AlMgSi0,5 / 6	12	184,264	227,623	0,74
6063 AlMg0,7Si / 6	13	188,078	239,49	0,75
6060 AlMgSi0,5 / 12	13,5	189,328	235,365	0,76
6082 AlSi1MgMn / 6	15	253,49	291,06	0,82
6063 AlMg0,7Si / 12	14	205,42	251,32	0,79
6082 AlSi1MgMn / 12	16	301,384	336,911	0,89



Şekil 4.36. Adhesiv aşınma direnç kuvveti 12 saat



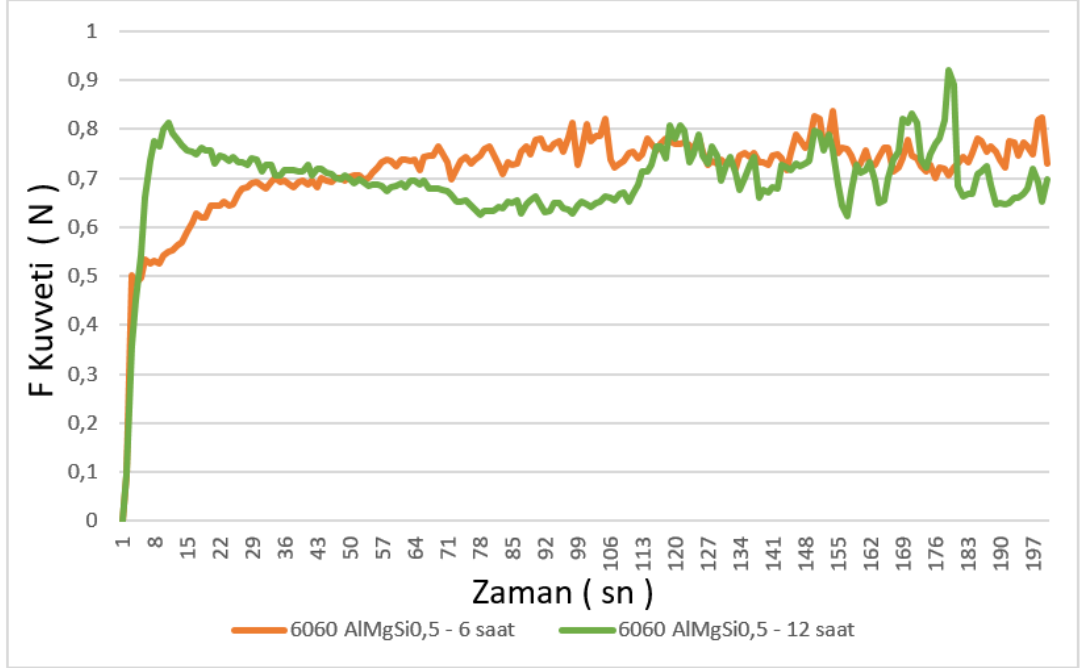
Şekil 4.37. Adhesiv aşınma direnç kuvveti 6 saat



Şekil 4.38. 10 N yük altında 6063 alaşımlarının zaman bağlı F grafiği

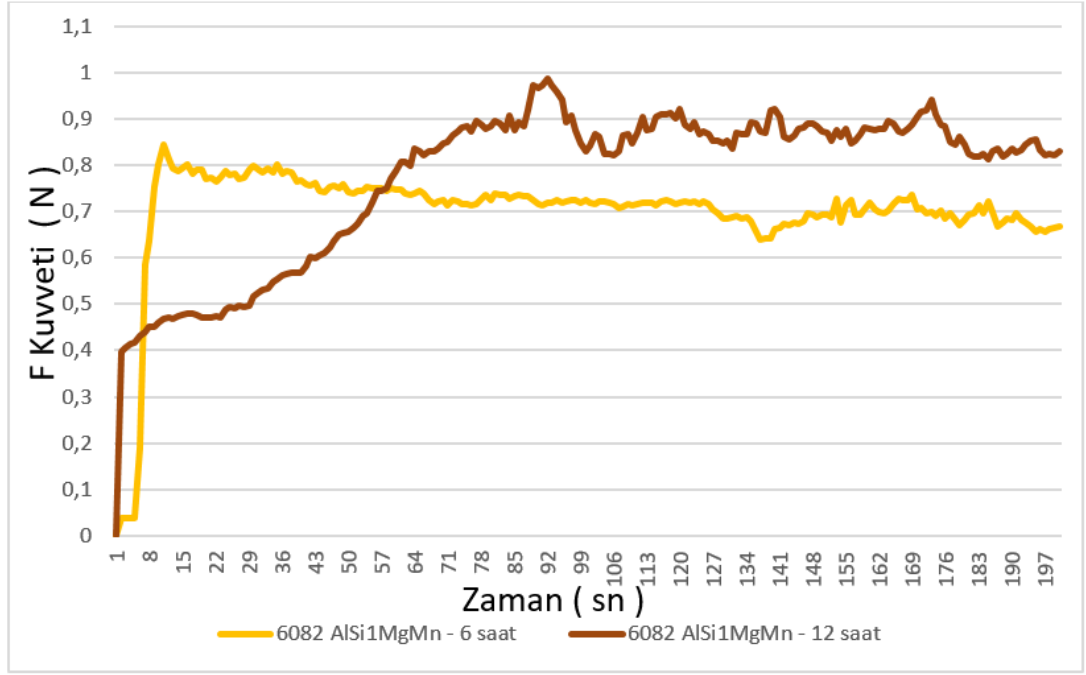
Aynı alaşım bileşiğine ( 6063 AlMg0,7Si) ait malzemenin zaman değişkeni ile aşınmaya karşı gösterdikleri direnç kuvvetleri karşılaştırmış olup; Isıl işlem süresinin arttırılmasının malzemeye daha yüksek bir aşınma direnci sağladığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.39'da, 6 ve 12 saat ısıtılmış 6060 alaşımları adhesiv aşınma kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 4.39. 10 N yük altında 6060 alaşımlarının zaman bağlı F grafiği

Aynı alaşım bileşiğine (6060 AlMgSi0,5) ait malzemenin zaman değişkeni ile aşınmaya karşı gösterdikleri direnç kuvvetleri karşılaştırmış olup; ısıtılmış süresinin arttırılmasının malzemeye daha yüksek bir aşınma direnci sağladığı tespit edilmiştir. Şekil 4.40'da, 6 ve 12 saat ısıtılmış 6082 alaşımları adhesiv aşınma kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 4.40. 10 N yük altında 6082 alaşımlarının zaman bağılı F grafiği

Aynı alaşım bileşiğine (6082 AlSi1MgMn) ait malzemenin zaman değişkeni ile aşınmaya karşı gösterdikleri direnç kuvvetleri karşılaştırmış olup; ısıtma süresinin arttırılmasının malzemeye daha yüksek bir aşınma direnci sağladığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.8’de adhesiv aşınma testleri sonucu hesaplanan sürtünme katsayıları sunulmuştur. Çizelge 4.9’da ise adhesiv aşınma testleri sonucu meydana gelen kütle kayıpları sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Sürtünme katsayıları

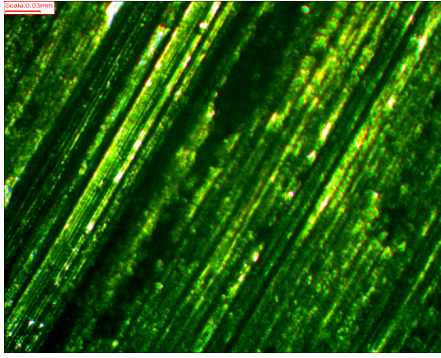
Alaşım	Isıl işlem süresi(saat)	Sürtünme katsayısı( $\mu$ )
6060	6	0,647
6060	12	0,666
6063	6	0,468
6063	12	0,823
6082	6	0,715
6082	12	0,845



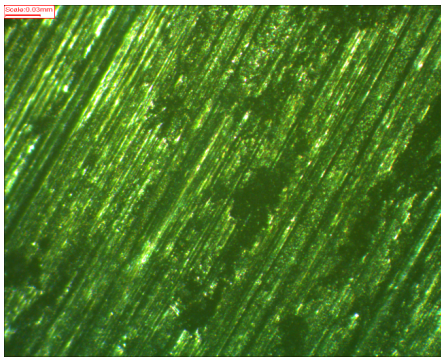
Çizelge 4.9. Kütle kayıpları

Alaşım	Isıl işlem süresi(saat)	Kütle kaybı Gr.
6082	12	0,067
6082	6	0,078
6063	12	0,083
6060	12	0,085
6063	6	0,09
6060	6	0,11
6060	0	0,12
1070	6	0,13
1070	0	0,146

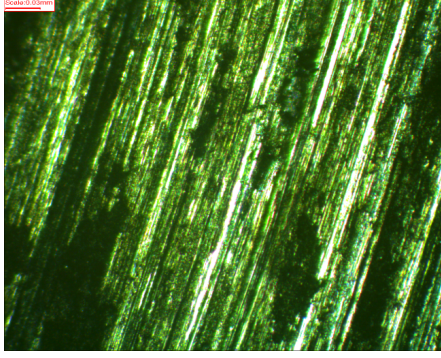
Şekil 4.41-4.48’de şekiller incelendiğinde, ASTM G99’a göre 10 N yük altında aşınan yüzeylerin optik görüntüleri sunulmuştur.



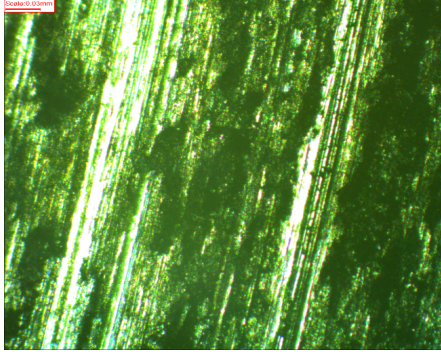
Şekil 4.41. Isıl işlemsiz 1070 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü



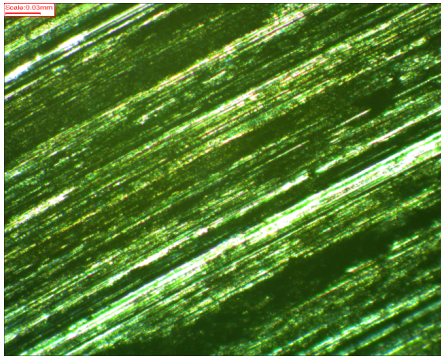
Şekil 4.42: T6 ısıl işlemlili 1070 alaşımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü



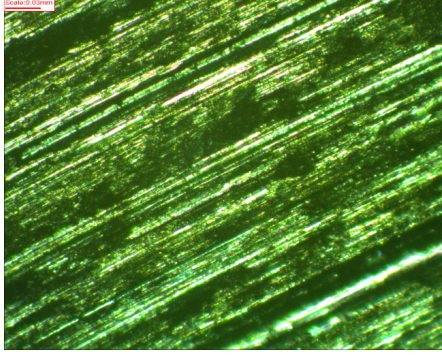
Şekil 4.43. T6 ısıt işlemlı 6060 alaşımlı adhesıv aşınma yüzeyı optık görüntüsü



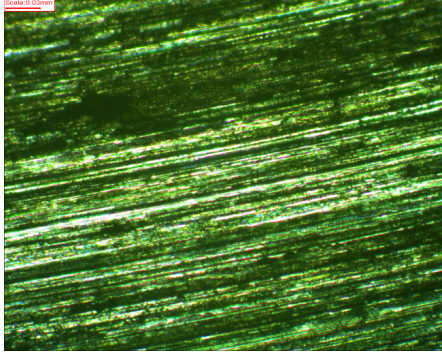
Şekıl 4.44. 12 saat ısıt işlemlı 6060 alaşımlı adhesıv aşınma yüzeyı optık görüntüsü



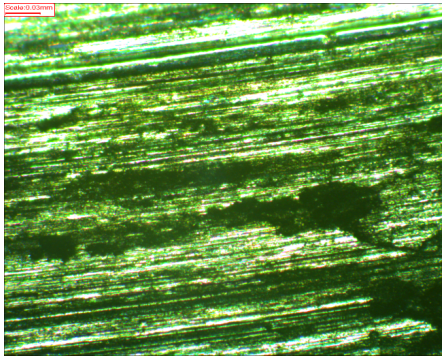
Şekıl 4.45. T6 ısıt işlemlı 6063 alaşımlı adhesıv aşınma yüzeyı optık görüntüsü



Şekil 4.46. 12 saat ısıt ışılemlili 6063 alaşıımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü



Şekil 4.47. T6 ısıt ışılemlili 6082 alaşıımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü



Şekil 4.48. 12 saat ısıt ışılemlili 6082 alaşıımı adhesiv aşınma yüzeyi optik görüntüsü

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, alüminyum veya alaşımlarının alaşım elementleri oranının artırılması ve ısıtma işlemlere tabi tutulması ile rijitlik ve dayanımının yükseltilmesinin üretim proseslerinde sağlayacağı katkılar gözlemlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; farklı oranda magnezyum ve silisyum seviyelerine sahip alüminyumların, farklı ısıtma işlem sürelerinde gösterdiği mukavemet özellikleri ve sertliklerinin değişimi incelenmiştir. Hazırlanan numuneler, 0, 6 ve 12 saat, yaşlandırılmış olarak farklı gruplara ayrılarak sertlikleri, akma dayanımları ölçülmüştür. 0, 6, 12 saat suni yaşlandırmaya tabi tutulan Mg, Si oranı 0.42-0.48 arasında olan numunelerin deneyleri sonucunda, maksimum sertlik ve kopma dayanımı 12 saat suni yaşlandırılmış numunede elde edilmiştir. Suni yaşlandırma süresi arttıkça sertlik ve kopma dayanımı arttığı görülmüştür. 0, 6, 12 saat suni yaşlandırmaya tabi tutulan Mg, Si oranı 0,48-0,60 arasında olan numunelerin deneyleri sonucunda, maksimum sertlik ve kopma dayanımı 12 saat suni yaşlandırılmış numunede elde edilmiştir. Suni yaşlandırma süresi arttıkça sertlik ve kopma dayanımı arttığı görülmüştür. Aynı yaşlandırma sürelerinde Mg, Si oranı 0,48-0,60 olan numunenin, Mg-Si 0,42-0,48 olan numuneye göre sertlik ve dayanımı daha fazladır. Ölçümlerin sonucunda, yaşlandırma prosesine bağlı olarak numunelerin sertliklerinin ve akma dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Alaşım içeriğinin ve suni yaşlandırmanın malzemenin mekanik özelliklerine olumlu katkıları olduğu belirlenmiştir. Yüksek mukavemet istendiği durumlarda 6082 alaşımının kullanımının 6060 ve 6063 alaşımına göre daha az maliyetli olduğu, ısıtma işlem süresinden tasarruf ederek enerji maliyetlerinin azaltıldığı, istenilen mukavemet özelliklerine kompozisyonda ilaveler yapılarak ulaşılabildiği sonucuna varılmıştır. 6063 alaşımının istenilen mukavemet özelliklerine, 6060 ile karşılaştırılma yapıldığında Si ve Mg ilavesi ile istenilen özelliklere daha kısa sürede ve daha az enerji maliyeti ile ulaşılabildiği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] D. Günay, “Alüminyum sektörü hakkında bir değerlendirme,” *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, GA-06-07-08, Ankara,(Eylül 2006)*, 2006.
- [2] M. Ak, “Aa206 alüminyum döküm alaşımında empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi,” Ph.D. dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [3] Y. Çevirir, S. Necip, and M. Yıldırım, “Isıl işlem süresinin ötektik-altı al-si alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 18, no. 3, pp. 1036–1042, 2018.
- [4] F. Vatansever, A. T. Ertürk, and S. Karabay, “Alüminyum-silisyum alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin t6 ısıl işlemi ile iyileştirilmesi,” *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 20, no. 60, pp. 797–803, 2018.
- [5] H. I. A. AL-Saadı and R. F. Tunay, “Sunı yaşlandırma işleminin alüminyum alaşımının sertliği üzerine etkisi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 5, no. 3, pp. 525–532, 2017.
- [6] A. Gökçe, “Isıl işlem ve yaşlandırma parametrelerinin al-cu-mg toz metalurjisi alaşımına etkileri,”
- [7] F. Gül, “Alsi10mg döküm alaşımlarının bazı mekanik özellikleri üzerine ikincil yaşlandırma işleminin etkisi.,” *Journal of Natural & Applied Sciences*, vol. 18, no. 1, 2014.
- [8] R. Yılmaz, D. Özyürek, and E. Kıbar, “Yeniden çözeltiye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının sertlik ve aşınma davranışlarına etkisi.,” *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, vol. 27, no. 2, 2012.
- [9] Ş. Güven and Y. Delikanlı, “Aa 2024 alüminyum alaşımında çökeltme sertleşmesinin mekanik özelliklere etkisi,” *Teknik Bilimler Dergisi*, vol. 2, no. 2, pp. 13–20, 2019.
- [10] G. Purcek, H. Yanar, O. Saray, I. Karaman, and H. J. Maier, “Effect of precipitation on mechanical and wear properties of ultrafine-grained cu–cr–zr alloy,” *Wear*, vol. 311, no. 1-2, pp. 149–158, 2014.
- [11] B. Yüksel, “6063 alüminyum alaşımının sertliği ve taneler arası korozyonu üzerine sunı yaşlandırmanın etkisi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 23, no. 4, pp. 395–398, 2017.
- [12] B. Aydemir, “Çekme deneyi standartlarındaki çekme hızı farkları ve etkileri,”

- [13] F. Sarsılmaz, Ö. Serkan, and İ. Candan, “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilen farklı tipteki alüminyum bağlantıların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 13, no. 1, pp. 88–95, 2009.
- [14] M. Baydoğan, H. Çimenoglu, and E. S. Kayalı, “Rra işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi,” *İtüdergisi/d*, vol. 3, no. 6, 2010.
- [15] B. Akyüz and S. Şenaysoy, “Alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerindeki etkisi,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [16] K. Güteryüz and R. Kaçar, “Deformasyon yaşlanmasının aa7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi,” in *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011, pp. 16–18.