

**YÜKSEK GERİLİM HAT KABLOLARI  
ÜRETİMİNDE KULLANILAN 6101 ALÜMİNYUM  
ALAŞIM FİLMAŞINLARIN  
İLETKENLİK/MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**2010  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**Şakir KARASU**

**YÜKSEK GERİLİM HAT KABLOLARI ÜRETİMİNDE KULLANILAN 6101  
ALÜMİNYUM ALAŞIM FİLMAŞINLERİN İLETKENLİK/MUKAVEMET  
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Şakir KARASU**

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

**KARABÜK**

**Eylül 2010**

Şakir KARASU tarafından hazırlanan “YÜKSEK GERİLİM HAT KABLOLARI ÜRETİMİNDE KULLANILAN 6101 ALÜMİNYUM ALAŞIM FİLMAŞINLARIN İLETKENLİK/MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ercan CANDAN

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı



Yrd. Doç. Dr. Eyüp GERÇEKÇİOĞLU

Tez Danışmanı, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

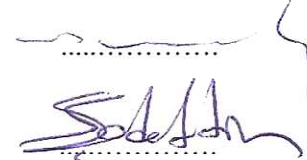


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/ 09/ 2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ercan CANDAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)



.../ .../ 2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Şakir KARASU



## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **YÜKSEK GERİLİM HAT KABLOLARI ÜRETİMİNDE KULLANILAN 6101 ALÜMİNYUM ALAŞIM FİLMAŞINLERİN İLETKENLİK/MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Şakir KARASU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanları:**

**Prof. Dr. Ercan CANDAN**

**Yrd. Doç. Dr. Eyüp GERÇEKÇİOĞLU**

**Eylül 2010, 65 sayfa**

Bu çalışmada, yüksek gerilim hat kablolarının üretiminde kullanılan 6101 Alüminyum alaşım filmaşınların bileşim, ısıl işlem sıcaklığı ve soğuma hızlarına bağlı elektrik direnci ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bileşim olarak Mg, Si, Cu ve Fe miktarları, ısıl işlem sıcaklıkları olarak 510, 530, 550 ve 570 °C olmak üzere 4 farklı çözeltiliye alma ardından havada ve suda olmak üzere iki farklı ortamda soğutma hızları kullanılmıştır. Numunelerin tümüne 160 °C'de temperleme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar; Isıl işlem sıcaklığı ile Mg ve Si oranının artışı numunelerin elektrik dirençlerinde yükselmenin meydana getirdiğini göstermiştir. Diğer taraftan Mg ve Si oranının aynı olması durumunda ise Cu artışı ile elektrik direncinde artış meydana gelmiştir.

Mekanik özelliklerde ise ısı işlem sıcaklığı ile çekme, akma ve sertlikte çok az artış meydana gelirken, Cu miktarının % 0.018 aşması durumunda söz konusu özelliklerde azalma meydana gelmiştir. Havada veya suda soğutmanın elektrik dirençlerinde kayda değer bir etki göstermemiştir.

**Anahtar Kelimeler** : 6101 Alüminyum alaşım, mikroyapı, iletkenlik, mukavemet,

**Bilim Kodu** : 710.3.011

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **IMPROVEMENT OF CONDUCTIVITY/STRENGTH PROPERTIES OF 6101 Al ALLOY RODS USED IN HIGH VOLTAGE POWER LINES**

**Şakir KARASU**

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

**Thesis Advisors:**

**Prof. Dr. Ercan CANDAN**

**Assist. Prof. Dr. Eyüp GERÇEKÇİOĞLU**

**September 2010, 65 pages**

In this study, composition, heat treatment temperature and cooling rate of 6101 aluminium alloy rods (used in high voltage electrical transportation) and their relation on their electrical resistivity and mechanical properties have been studied. Different compositions of Mg, Si, Fe and Cu contents, 510, 530, 550 and 570 °C heat treatment temperatures and cooling in air and water selected as experimental variables.

Results showed that electrical resistivity of the samples increased slightly with increasing Mg and Si content as well as increasing heat treatment temperature. On the other hand, increasing Cu content also increased the electrical resistance in the case of similar Mg and Si content of the samples. Heat treatment temperature, tensile, yield and hardness of the samples have increased slightly with increasing

heat treatment temperature while they are reduced notably with increasing Cu content above 0.018 wt.%. Neither cooling in air nor cooling in water has resulted in a considerable effect on electrical resistivity of the samples investigated.

**Key Words** : 6101 Aluminium, micro structures, conductivity, resistance

**Science Code** : 710.3.011

## TEŞEKKÜR

Bu Yüksek lisans tez çalışması, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim dalı ve COREAL Alüminyum Kablo ve Ticaret A.Ş.'nin katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocalarım Prof. Dr. Ercan CANDAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Eyüp GERÇEKÇİOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda; Mekanik testler ve mikroyapı çalışmaları sırasında yardımlarından dolayı Erciyes Üniversitesi Teknoloji Merkezi personeli İhsan AKŞİT başta olmak üzere tüm teknoloji merkezi çalışanlarına ve Karabük Üniversitesindeki ısıtma ve mikroyapı çalışmalarında yardımlarından dolayı Döküm Öğretmenliği öğrencileri Murat ÇETİN ve Emre ALİOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Has Çelik Grup şirketi Coreal Alüminyum Kablo A.Ş ailesi ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca ve tezimin gerçekleşmesinde maddi ve manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan KARASU ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	2
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI .....	2
2.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	2
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....	5
2.2.1. Alaşım Elementleri Ve Etkileri .....	6
2.2.1.1. Silisyum .....	8
2.2.1.2. Magnezyum .....	8
2.2.1.3. Bakır .....	9
2.2.1.4. Mangan .....	10
2.2.1.5. Çinko .....	11
2.2.1.6. Demir .....	11
2.2.1.7. Geçiş Metalleri .....	11
2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI .....	11

**Sayfa**

2.3.1. Alüminyum Alaşımının Sınıflandırılması .....	12
2.3.1.1. Dövme Alaşım(AW) .....	12
2.3.1.2. Döküm Alaşım(Ac) .....	14
BÖLÜM 3. ....	16
6000 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRİK NAKİL HATLARINDA KULLANIMLARI.....	16
3.1. 6000 SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	16
3.2. ELEKTRİK NAKİL HATLARINDA KULLAN İLETKENLER .....	17
BÖLÜM 4. ....	21
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ .....	21
4.1. ISIL İŞLEM .....	21
4.1.1. Tavlama (Çözeltili Alma) .....	24
4.1.2. Su Verme (Soğutma) .....	24
4.1.3. Temperleme (Yaşlandırma) .....	25
BÖLÜM 5. ....	27
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	27
BÖLÜM 6. ....	31
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	31
6.1. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA .....	31
6.2. SÜREKLİ HADDELEME VE FİLMAŞİN ÜRETİMİ.....	32
6.3. NUMUNE ALMA VE HAZIRLAMA İŞLEMLERİ.....	34
6.4. MALZEMELER.....	35
6.5. DENEYLER .....	36
6.5.1. Elektrik Direnç Ölçümü .....	36
6.5.2. Tavlama (Çözeltili Alma) .....	36
6.5.3. Temperleme (Yaşlandırma) .....	37
6.5.4. Çekme Deneyi .....	38
6.5.5. Sertlik Deneyi .....	38

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.5.6. Mikroyapı İncelemeleri. ....	38
BÖLÜM 7. ....	40
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....	40
7.1. MİKROYAPI.....	40
7.2. DİRENÇ .....	49
7.3. MEKANİK DENEYLER.....	54
7.4. SERTLİK İNCELEMELERİ.....	59
BÖLÜM 8.....	60
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	60
8.1. SONUÇLAR .....	60
8.2. ÖNERİLER .....	61
KAYNAKLAR .....	62
ÖZGEÇMİŞ .....	65



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Temel Alüminyum alaşımları .....	5
Şekil 2.2. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı.....	8
Şekil 2.3. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı.....	9
Şekil 2.4. Alüminyum-Bakır kısmi faz diyagramı .....	10
Şekil 2.5. Alüminyum-Mangan kısmi faz diyagramı.....	10
Şekil 3.1. İletken kabloların temel üretim yapıları.....	17
Şekil 3.2. Çıplak iletkenin örgü katmanlarının gösterimi .....	18
Şekil 3.3. Çıplak iletken görüntüsü .....	18
Şekil 3.4. Çelik özlü (ACSR) iletkenin kesit gösterimi .....	20
Şekil 4.1. Isıl işlem süreç grafiği.....	23
Şekil 4.2. Tavlama ısıl işlem faz grafiği .....	24
Şekil 4.3. Tavlama sonrası faz ve mikroyapı grafiği .....	25
Şekil 4.4. Temperleme sonrası oluşan ara faz sınırı.....	26
Şekil 6.1. Su soğutmalı bakır kalıp .....	32
Şekil 6.2. Sürekli döküm hattında üretilen bara.....	33
Şekil 6.3. 9.5 mm çapına sahip filmaşın rulo.....	34
Şekil 6.4. Filmaşın çubuk numunesi .....	35
Şekil 6.5. Tavlama ısıl işlem fırını .....	37
Şekil 6.6. Temperleme ısıl işlem fırını.....	37
Şekil 6.7. Çekme deney numunesi .....	38
Şekil 7.1. Isıl işlemsiz mikroyapı görüntüleri (X50). a) A grubu, b) B grubu, c) C grubu, d) D grubu.....	40
Şekil 7.2. A grubu numunelerin mikroyapı görüntülerininkodlamalı gösterimi (X50). (a) (ısıl işlemsiz), b)510 H, c) 510 S, d) 530 H,e) 530 S, f) 550H , g) 550S, h) 570H, ı) 570S .....	42
Şekil 7.3. B grubu numunelerin mikroyapı görüntülerininkodlamalı gösterimi (X50).(a) (ısıl işlemsiz), b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H ,g) 550S, h) 570H, ı) 570S.....	44

## **Sayfa**

Şekil 7.4. C grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinin kodlamalı gösterimi (X50). a) (ısıtılmamış), b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H, g) 550S, h) 570H, ı) 570S.....	46
Şekil 7.5. D grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinin kodlamalı gösterimi (X50).a) (ısıtılmamış), b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H, g) 550S, h) 570H, ı)570.....	48
Şekil 7.6. Direnç grafiği.....	53
Şekil 7.7. Çekme dayanım grafiği.....	56
Şekil 7.8. Uzama grafiği.....	57
Şekil 7.9. Akma dayanımı grafiği.....	58

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı metallerin özgül dirençleri.....	4
Çizelge 2.2. Bazı elementlerin Alüminyum içinde katı çözünürlüğü ....	6
Çizelge 2.3. Alaşım elementleri ve etkileri.....	7
Çizelge 2.4. EN standartlarında alaşım elementlerine göre sınıflandırma.....	12
Çizelge 2.5. ANSI 35.12 standartlarına göre sınıflandırma.....	13
Çizelge 2.6. Bazı dövme alaşımların kimyasal bileşimi .....	13
Çizelge 2.7. Bazı döküm alaşımlarının ANSI 35.12 standardına göre sınıflandırması .....	14
Çizelge 2.8. Bazı döküm alaşımlarının tanımı.....	15
Çizelge 3.1. İletken kablo yapısal ve mekanik özellikleri .....	19
Çizelge 4.1. Alüminyum alaşımlarında temper kodlaması .....	22
Çizelge 6.1. Numunelerin kimyasal kompozisyonları .....	35
Çizelge 7.1. A grubu numune direnç değerleri .....	50
Çizelge 7.2. B grubu numune direnç değerleri .....	50
Çizelge 7.3. C grubu numune direnç değerleri .....	51
Çizelge 7.4. D grubu numune direnç değerleri .....	51
Çizelge 7.5. Çekme dayanım değerleri .....	54
Çizelge 7.6. Mikro sertlik değerleri .....	59

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

- ASTM : American Society for Testing and Materials  
AWS : American Welding Society  
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)  
EN : Avrupa Normu  
IACS : International Annealed Copper Standarts  
EAI : Elektroteknik İçin Saf Alüminyum

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) elementlerinden oluşan 6101 alüminyum alaşımı, AAAC (All Aluminum Alloy Conductor) serisi kablo üretiminin temel malzemesidir. Alüminyum yüksek gerilim nakil hatlarında 1945 sonrası ve bugün bakır yerine en ekonomik şekilde elektrik iletimini sağlamaktadır. Alüminyum elektrik enerjisi iletiminde gerek mukavemet gerekse de iletkenlik yönünden üstünlüğü nedeniyle diğer metallere karşı büyük bir üstünlük sağlamış bulunmaktadır. Neredeyse tüm aydınlatmalar, motorlar, cihazlar ve güç sistemlerine enerji Al tel ile sağlanmaktadır. Dünyanın en büyük yüksek gerilim hava iletim ve dağıtım hatları ile çok sayıda metro hatlarının enerji naklinde de alüminyum teller ile kullanılmaktadır [1].

6101 Alüminyum alaşımları %0.30- 0.60 Si, %0.35- 0.60 Mg, %0.10- 0.30 Fe ve ana bileşeni alüminyum olan (%99,5 saflıkta) bir malzemedir. %20 uzamaya, minimum 150 MPa mukavemete ve %51.29 IACS (International Annealed Copper Standarts) elektrik iletkenliğine sahiptir. Yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı dünyada elektrik iletim sektöründe gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir [2].

Ancak, halen AA-6101 alaşımı AAAC iletkeni imalatında kullanılan sürekli döküm hattından haddeleme yöntemiyle elde edilen filmaşınların kimyasal bileşimleri ve ısıl işlem prosesleri arasındaki ilişkiler ve bunların iletkenlik, mukavemet özelliklerine etkileri hakkında bilgi oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı Coreal Alüminyum Kablo A.Ş'nin üretmiş olduğu filmaşınların Mg, Si, Fe ve Cu miktarlarına bağlı farklı soğutma şartlarındaki iletkenlik ve mukavemet özelliklerini araştırmaktır.

## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

#### 2.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Periyodik cetvelin III A gurubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 olan +3 değerlikli, yüzey merkezli kübik sıkı istiflenmiş yapıya sahip bir element olan alüminyumun 20°C'taki yoğunluğu 2,7gr/cm<sup>3</sup>, ergime noktası 659,8°C, kaynama noktası 2450°C, ısınma ısısı 0.224 cal/gr erime ısısı 400 cal/gr, 20°C'taki elektriksel iletkenliği Cu'nun %65'i, iletkenlik değeri 36–37.7 m/(Ωmm<sup>2</sup>), ısıl genleşme katsayısı 24.10<sup>-6</sup> l/grd, ışık yansıtılabilirliği %90 olup, bu özellikler alaşım elementleri ile büyük ölçüde değiştirilebilmektedir. Uygulanan ısıl işlemlere ve yöne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişen özelliklere sahiptir. Haddeme ve yumuşatma tavlamasından sonra mekanik özellikleri; elastik modülü: 65000- 70000N/mm<sup>2</sup>, çekme mukavemeti: 70–140N/mm<sup>2</sup>, akma dayanımı: 20- 30 N/mm<sup>2</sup>, kopma uzaması: 30-50 %, kopma büzülmesi: 80-95 %, sertlik:15-25 HB30'dır [1].

Al'u diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özelliklerini; düşük yoğunluk, hafifliğine karşın alaşımlandırabilirliği, tekrar geri dönüşebilirliği, yüksek korozyon direnci, çekilebilirliği, şekillendirilebilirliği, dövülebilirliği, işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, ışık ve ısı yansıtıcılığı olarak sıralayabiliriz. Aynı zamanda Al magnetik değildir. Al; hafif, yenilenebilir bir metal olmasından dolayı elektrik sektöründe; iletken tel imalatında, gıda sektöründe; ambalaj ve mutfak eşyası yapımında, inşaat sektöründe, kapı, pencere, doğrama ve dekoratif levha olarak kullanılmaktadır [3].

Elektroteknik İçin Saf Al (EAI), Al'dan üretilen dünya çapında en önemli iletken malzemedir ve yapısı ve yarı mamul olarak mekanik dayanım değerleri bakımından uluslararası normlaştırılmıştır. Malzeme terkininde asgari % 99,5 Al olması gerekir ve bu husus DIN1712'de normlaştırılmıştır. Alüminyum Birliği'nin (AA)'nın Avrupa'da da önemli olan standartlarına göre, uluslararası kullanılan bu kaidelere göre AA1350 (daha önce EC) sembolü ile gösterilmektedir [3].

Aynı zamanda Al iletken bir metal olarak bakıra göre yaklaşık üç kat düşük yoğunlukta olmasından dolayı, bakırın yerini almaktadır. Au, Ag ve Cu daha iyi iletkenliğe sahip olmasına rağmen Al'un maliyetinin düşüklüğü bu sektöre olan ilgiyi artırmaktadır. Bazı metallerin özgül dirençleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [4- 6].

Çizelge 2.1. Bazı metallerin özgül dirençleri [4, 5, 6].

100 m boyunda alanlı metal tel	1mm <sup>2</sup> kesit	Özgül Ağırlık	100 m boyunda 1Ω direncinde metal tel	
Metal	Direnç(Ω)	gr/cm <sup>3</sup>	Metal	Ağırlık(Kg)
Ag	1.62	10.5	Ag	1.70
Cu	1.68	8.94	Cu	1.40
Au	2.42	19.3	Au	4.67
Al	2.66	2.70	Al	0.72
Mg	4.46	1.74	Mg	0.77
Ca	4.60	1.55	Ca	0.71
Na	4.60	0.97	Na	0.45
Mo	4.77	10.2	Mo	7.15
Mn	5.0	7.2	Mn	3.60
Ra	5.1	12.5	Ra	6.37
W	5.5	19.3	W	10.60
Zn	6.0	7.14	Zn	4.28
K	7.0	0.86	K	0.60
Cd	7.5	8.65	Cd	7.70
Fe	9.8	7.8	Fe	7.70

Cu'nun çekme dayanımı 200–250 MPa arasında iken Al 70-140MPa arasındadır. Elektrik enerjisi çıplak iletim hatlarında, içinde toplam %2'den daha az uygun alaşım elementi bulunan saf alüminyum yine uygun ısıl işlemler sonucu 6101-T6 formuna getirildiğinde elektrik iletiminde iletken olarak kullanılabilir. Bu malzemenin iletkenlik değeri saf alüminyuma göre % 61,0 IACS (International Annealed Copper Standart) değerinden % 57,0 IACS değerine düşerken, buna karşın akma mukavemeti 170 N/mm<sup>2</sup> artarak 250 N/mm<sup>2</sup>'ye çıkmaktadır [8].

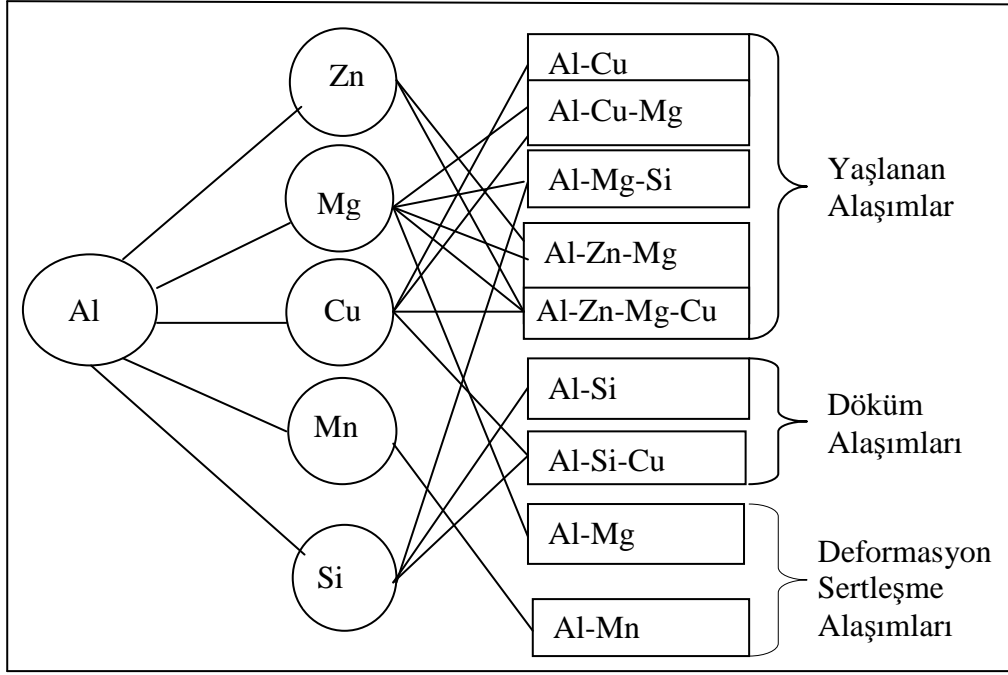
Araştırmalar sonucunda Al'da safsızlıklar iletkenliği değişik ölçülerde etkilerler [3]. Au, Be, Ni, Si, Fe ve Zn iletkenliğe etkisi son derece düşüktür. Cu, Ag, Mg



iletkenliği daha kuvvetli dūřurürler. Al'un yüksek ısı iletkenliği, çeşitli ısı kazanları parçalarında kullanılmasına neden olur.

## 2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Al alaşımları temel olarak ikiye ayrılır. Bunlar; Dövme alaşımları ve döküm alaőımlarıdır. Dövme Al alaşımları kütük halde ingotlardan alınarak haddeleme, dövme ve ekstrüzyon gibi plastik Şekil verme yöntemleri ile üretilir. Dökme Al alaşımları ise döküm yöntemiyle üretilecek parçaların imalatında kullanılırlar. Dövme ve döküm Al alaşım grupları Şekil 2.1'de verilmiştir [7].



Şekil 2.1. Temel Alüminyum alaşımları

Al'a ilave edilen alaőım elementleri belirgin bir Őekilde mukavemet özelliklerinde artış gösterirken iletkenlik değerlerinde de hissedilir dūřüŐler yaşamasına sebep olurlar. Bu yüzden alaőım elementleri oranları, mukavemet ve iletkenliğe etki etmektedir [8].

### 2.2.1. Alaşım Elementleri ve Etkileri

Alaşım elementleri Al içerisinde farklı hallerde bulunabilmektedirler. Al içinde katı halde çözünebilirler. Katı halde Al'da sınırlı halde çözünüp veya hiç çözünmeyip, mekanik bir alaşım oluşturabilirler. Birden çok alaşım elementi kendi aralarında ya da Al'la, metaller arası bileşik ve kimyasal bileşik oluşturabilirler. Çizelge 2.2'de alaşım elementlerinin Al'da katı çözünebilirlik miktarları gösterilmiştir [9,10].

Çizelge 2.2. Bazı elementlerin Alüminyum içinde katı özünürlüğü [9,10].

Sıcaklık		Max. Katı özünürlük	
Element	°C	%Ağırlık	%Atomik
Cu	548	5.65	2.4
Zn	443	70	28.8
Fe	655	0.05	0.025
Ag	566	55.6	13.8
Cr	661	0.77	0.400
Mg	450	17.4	18.5
Mn	658	1.82	0.90
Si	577	1.65	1.59
Ti	665	1.3	0.74
V	661	0.40	0.21
Zr	660.5	0.28	0.08

Kullanım alanlarına bağılı olarak çeşitli Al alaşımları mevcuttur. Al'un alaşımlandırılmasında kullanılan temel alaşım elementleri ve etkileri Çizelge 2.3'de gösterilmektedir [9,11].

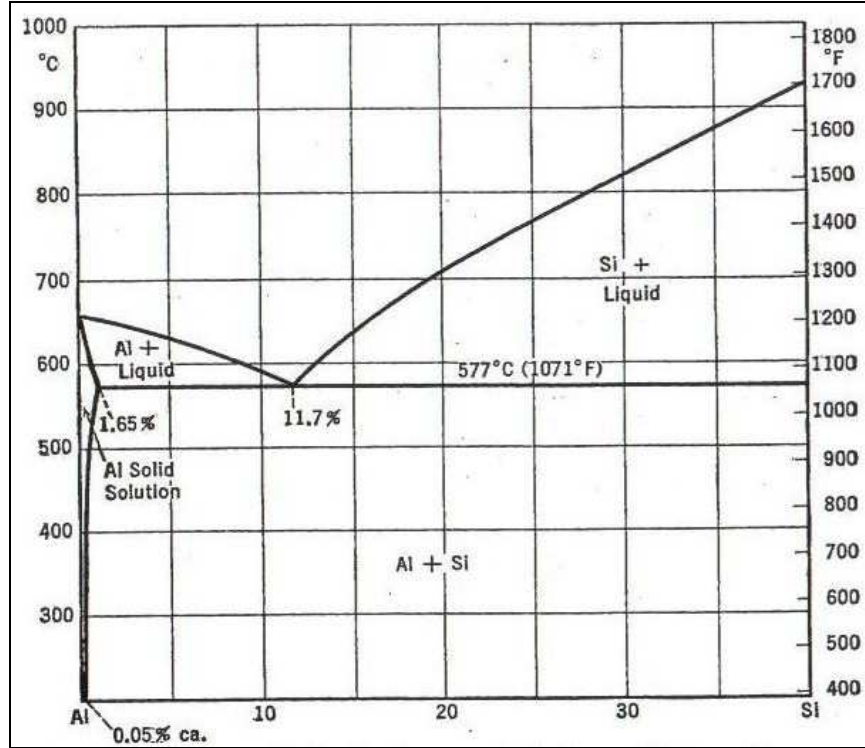
Çizelge 2.3. Alaşım elementleri ve etkileri

Mg	Alüminyumun soğuk işlem uygulanabilirliğini geliştirir ve katı eriyik sertleştirmesi ile mukavemet artısına neden olur.
Mn	Alüminyumun soğuk işlem uygulanabilirliğini geliştirir ve katı eriyik sertleştirmesi ile mukavemet artısına neden olur.
Cu	Önemli derecede mukavemet artısını ve çökelme sertleşmesinin uygulanabilmesini sağlarken, korozyon direncini, sünekliği ve kaynaklanabilirliği düşürmektedir
Si	Mukavemet ve süneklik artısına neden olur ve magnezyum ile birlikte kullanıldığında çökelme sertleşmesinin uygulanabilirliğini sağlar
Zn	Mukavemet artırır, çökelme sertleşmesinin uygulanabilmesini sağlar ancak gerilim korozyonuna yol açabilmektedir.
Fe	Saf alüminyumun mukavemetini artırır. Alaşım elementi olarak kullanılmaktan daha çok artık bir element olarak alüminyumun içerisinde bulunur.
Cr	Gerilme korozyonu direncini artırır.
Ni	Yüksek sıcaklık mukavemetini artırır.
Ti	Özellikle dolgu metalinde düzgün tane oluşumu için kullanılır (grain-refining).
Zr	Özellikle dolgu metalinde düzgün tane oluşumu için kullanılır (grain-refining).
Li	Mukavemetin ve elastik modülü önemli derecede artırırken, çökelme sertleşmesi uygulanabilmesini sağlar ve yoğunluğu düşürür.
Sc	Yaşlandırma sertleştirmesi ile mukavemet artısını sağlar, kaynak metali içerisinde tane oluşumunu kontrol eder

Alaşım elementlerinin sayısı artıkça, alaşımların özellikleri iyileşip, kullanım alanlarında artış sağlanırken, kaynaklı birleştirme çalışmalarında ise problemlerle karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Al ilave edilen elementleri ve etkileri aşağıda açıklanmıştır.

### 2.2.1.1. Silisyum

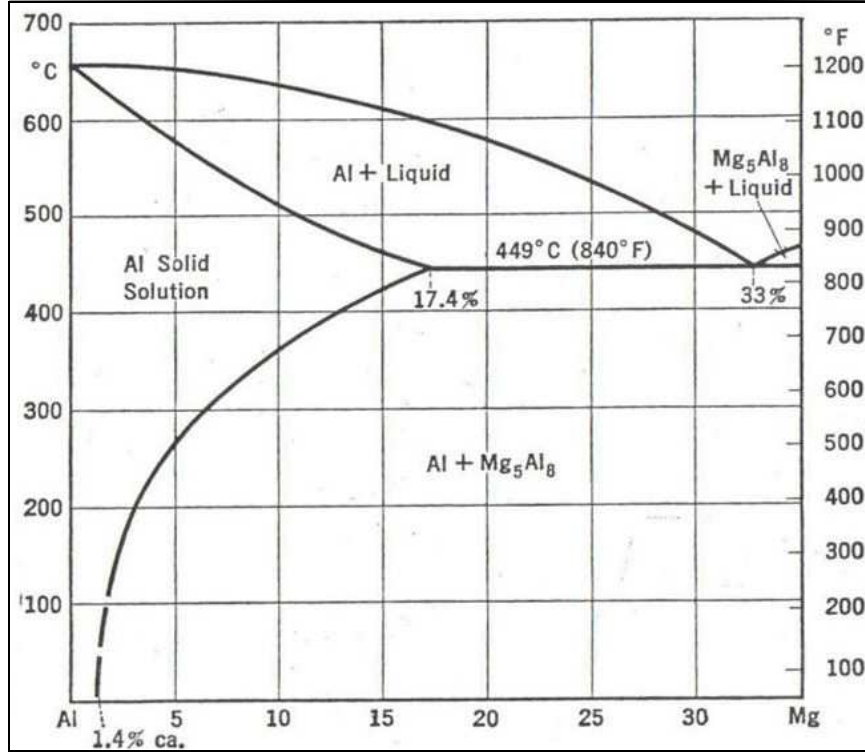
Al'daki Si, Al'un akışkanlığını artırır fakat Al'un sıcak çatlama eğilimini azaltmaktadır. Si, alüminyumun içinde çok az erir (%1-1,5), %13'den fazla Si içeren alaşımların işlenmesi çok zordur. Ayrıca Si, Al alaşımının korozyon direncini artırır [9]. Al ve Si'un farklı sıcaklıklardaki katı çözünürlükleri Şekil 2.2'de verilmiştir [7].



Şekil 2.2. Alüminyum-Silisyum kısmi faz diyagramı [7].

### 2.2.1.2. Magnezyum

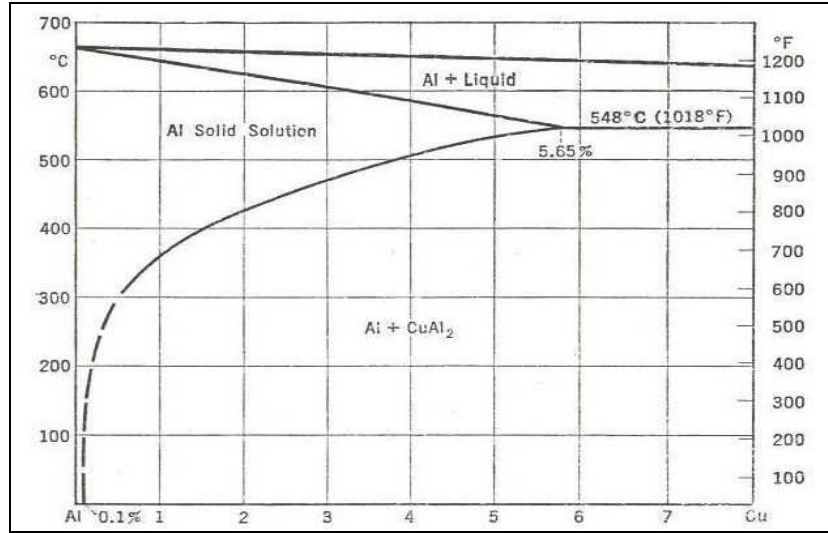
Mg, Al-Mg alaşımına yüksek mukavemet, süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. Mg, alüminyumdan daha düşük özgül ağırlığa sahip olduğu için alaşımın özgül ağırlığını düşürür. İşlem alaşımlarında %1-6 oranında Mg şekil verme kolaylığı sağlar. %33 ve %39 Mg alüminyumla ötektik bileşim verir. Formülü  $Al_3Mg_2$  olan bir bileşik oluşturur. Al'un içinde %4-18 erir. Bununla beraber; Cu gibi bu elementte alaşıma ısıl işlem özelliği kazandırır [9]. Al ve Mg'un farklı sıcaklıklardaki katı çözünürlükleri Şekil 2.3'te verilmiştir [7].



Şekil 2.3. Alüminyum-Magnezyum kısmi faz diyagramı [7].

### 2.2.1.3 Bakır

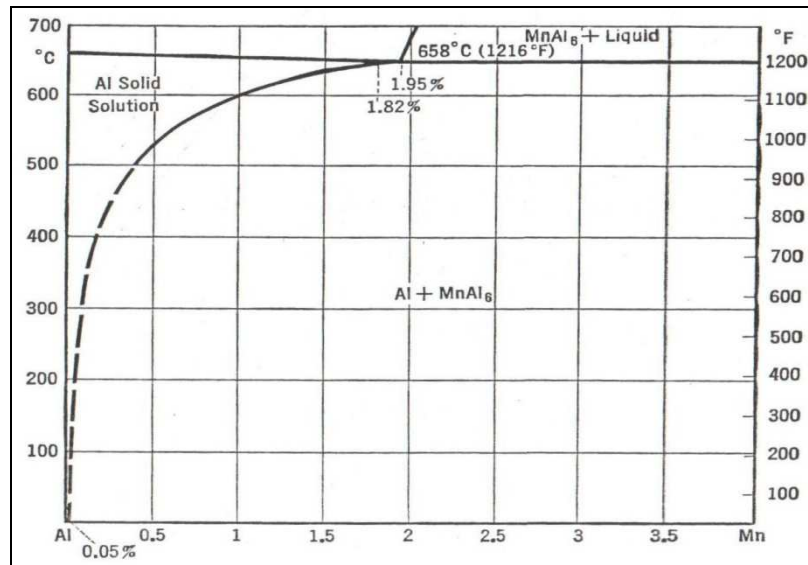
Al'da alaşım elementi olarak kullanılan en eski element olan Cu genelde %3-12 oranında kullanılır. Al'a sertlik, dayanım, dökülebilirlik ve işlenebilirlik özellikleri kazandırır. %33 Cu oranı Al'a ötektik bileşim verir. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elementtir. Isıl işleme tabi tutulmuş veya tutulmamış halde iken alaşımın çekme mukavemetini artırır. Al'un içinde % 0,5-5,7 arasında erir. Cu'lu Al alaşımlarına ısıl işlem uygulanabilir. Isıl işlemde  $Al_2Cu$  çökeltir. Dövme alaşımlarında %3-5 arasında kullanılır. %5'den fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü ortaya çıkarır. Ayrıca elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürür. Cu'ın Al içindeki çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar. Bu nedenle Cu içeren Al alaşımlarını ısıl işlemle çökeltme sertleşmesi ile sertleştirmek mümkündür. Çökeltme için gerekli zaman, alaşımın bileşimine ve sıcaklığa bağlıdır. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökeltme faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır [10]. Al ve Cu'ın farklı sıcaklıklardaki katı çözünürlükleri Şekil 2.4'te verilmiştir [7].



Şekil 2.4. Alüminyum-Bakır kısmi faz diyagramı [7].

#### 2.2.1.4. Mangan

Mn, Al alaşımı içinde dökülebilirliği arttırmak için Fe ile birlikte kullanılır. Aynı zamanda metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir. Yapıda çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır [9]. Al ve Mn'in farklı sıcaklıklardaki katı çözünürlükleri Şekil 2.5'te verilmiştir [7].



Şekil 2.5. Alüminyum-Mangan kısmi faz diyagramı [7].

### 2.2.1.5. Çinko

Al alaşımında Mn dökülebilirliği arttırmasına rağmen Zn dökülebilirliği düşürmektedir. Aynı şekilde Si çatlama eğilimini azaltmasına karşılık yüksek Zn'lu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getiriler. %10 Zn'dan yüksek alaşımlar gerilim çatlama göstermesine rağmen diğer alaşım elementleri ile birlikte bulunması halinde dayanımı arttırır. %3 Zn'dan daha az Zn içeren ikili Al alaşımlarında belirgin bir etkisi görülmez [9].

### 2.2.1.6. Demir

Fe, Al içinde doğal olarak cevherde bulunur. Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını arttırmaktadır. Dökümlerin sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde rol oynamaktadır. Alaşım içerisinde  $Al_3Fe$  formülü ile Al'da çözünmeyen bir bileşik verir, bu bileşik iğnemsiz görünümündedir. Hafif alaşımlarda iğnemsiz mikroyapılar mekanik özelliklerin düşmesine (çentik etkisine) neden olur. Fe, Al alaşımlarında % 0-1,3 oranında katılır [9].

### 2.2.1.7. Geçiş Metallerinin Etkisi

Al'daki geçiş metalleri Cr, Zr, Ti vb. dir. Ti, Al ile ikili alaşım yapmaz, tane inceltici olarak kullanılır. Mikroyapıyı düzenleyici olarak da kullanılır [18]. Katı eriyikte bulunan geçiş metalleri Al'daki Zn ve Mg katı eriyiğinin dayanımını önemli ölçüde düşürürler. Örneğin; Zr varlığının arttırılması elektron mikroskopuyla yapılan incelemelerde göstermiştir ki; Al'daki Zn ve Mg katı eriyiğinin dayanımını önemli ölçüde düşürmüştür. Ayrıca katı eriyikte bulunan geçiş metalleri Al'daki ana alaşımlandırma elementlerinin dengeli çözünürlüğünü düşürmektedir.

## 2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI

Al malzemenin; hafifliği, yüksek elektrik iletkenliği, plastik deformasyon yeteneği, genel olarak işlenebilme kabiliyeti gibi üstün özelliklerine rağmen, mukavemeti düşüktür. Mukavemetini yükseltmek amacı ile Al alaşımları haline getirilir.

Alaşımlandırma ve yaşlandırma sureti ile çoğu uygulamalarda kabul edilebilir mukavemet değerleri elde edilebilir.

Ti ve alaşımlarının pahalı olmasına karşılık çok daha hafif ve çok bulunan Al alaşımları bu özellik kombinasyonu ile havacılık ve otomotiv sanayisindeki özgün konstrüksiyonlar için vazgeçilmez malzemelerdir. Özellikle plastik deformasyon yeteneği, işlenebilme kabiliyeti yüksektir, kolay işlenebilir. Al alaşımlarının “mukavemet/yoğunluk” (özgül mukavemet) değerleri yüksektir

### 2.3.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Avrupa’ da kullanılan standartlara göre Al alaşımları üretim yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. EN 573’e göre ‘AM’ master döküm, ‘AB’ ingot, ‘AW’ dövme ve ‘AC’ de döküm alaşımları ürünlerin kodlarıdır [12,13].

#### 2.3.1.1. Dövme Alaşımlar (AW)

Bunlar Cu, Mn, Zn, Ni, Si gibi elementleri içeren Al alaşımları olup, sürekli döküm yoluyla kütle halinde üretildikten sonra homojenleştirme tavına alınır. Sonrasında haddeleme veya ekstrüzyon yoluyla şekillendirilir. Bu tür alaşımların farklı standartlara göre sınıflandırılmaları vardır. Çizelge 2.4 EN standardına göre iken, Tablo 2.5 ANSI 35.12 [14] göre verilmiştir.

Çizelge 2.4. EN standartlarında alaşım elementlerine göre sınıflandırma [14].

1XXX	Saf Al
2XXX	Al-Cu alaşımları
3XXX	Al-Mn alaşımları
4XXX	Al-Si alaşımları
5XXX	Al-Mg alaşımları
6XXX	Al-Mg-Si alaşımları
7XXX	Al-Zn-Mg alaşımları
8XXX	Li, Fe, vb. elementleri alaşımları
9XXX	Herhangi bir grupta bulunmayan alaşım türleri



Çizelge 2.5. ANSI 35.12 standartlarına göre sınıflandırma [15].

1XXX	Al >% 99
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Kullanılmayan seri

Dövme Al alaşımları, dört basamaklı sayı ile tanımlanır. ANSI 35.12 Tablosu için 1XXX' den 7XXX'e kadar olan alaşımlar en büyük alaşım elementine göre sınıflandırılmıştır. Bu adlandırmaya uymayan 6XXX serisidir. Burada Mg ve Si vardır. Bu iki element  $Mg_2Si$  yapısını oluştururlar.

Bazı dövme Al alaşımlarının birçok kimyasal bileşimleri olabilir. Bazı dövme alaşımları ANSI standartlarına göre Çizelge 2.6'da verilmiştir [14].

Çizelge 2.6. Bazı dövme alaşımlarının kimyasal bileşimi [14].

Alaşım No (ANSI)	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Diğerleri	% Al (min)
1060							99,6
1350							99,5
1100		0,12					99,0
2014	0,8	4,4	0,8	0,5			Gerisi
6061	0,6	0,28		1,0	0,09	0,6 Bi,0,6 Pb	Gerisi
6262	0,4			0,7			Gerisi
6063	0,4			0,7			Gerisi
6101	0,5			0,6			Gerisi
6351	1,0		0,6	0,6			Gerisi

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri mukavemeti iki şekilde arttırabilirler;

1. Deformasyon ile sertleşen alaşımlar (Katı eriyik olarak çözünüp deformasyon ile sertlik arttırırlar).
2. Yaşlanma ile sertleşen alaşımlar (Yüksek sıcaklıkta katı eriyikte çözünüp ve düşük sıcaklıkta ince partiküller halinde çökerler).

Al-Mg alaşımları, deformasyon ile sertleşen alaşım gruplarına girerler. Deformasyon ile sertleşen metallerde, soğuk şekil verme oranı arttıkça malzeme mukavemeti artar ve bununla birlikte süneklik özelliği azalır. Yani bu tür metallerin özelliklerinin değişimi soğuk şekil verme özelliğine bağlıdır.

### 2.3.1.2. Döküm Alaşımlar (AC)

Döküm alaşımlarının çoğu Si içerir. Al- Si alaşımları döküm özellikleri en iyi alaşım grubundandır. Yapıya bir miktar Mg (%0,2-0,8) veya Cu (%1,2-4) ilavesi ile alaşım ısıl işleme sertleştirilebilir hale getirilebilir [9, 10].

Döküm ile şekillendirilen Al alaşımları ANSI standartlarına göre 3 haneli sayı ile gösterilir. İlk hane dövme alaşımlarında olduğu gibi alaşım element grubunu gösterir. 3XX'de Si ana alaşım elementidir. Çizelge 2.7'de bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimi gösterilmiştir [14].

Çizelge 2.7. Bazı döküm alaşımlarının ANSI35.12 standardına göre sınıflandırması [14].

Seri	Alaşım Ailesi
1XX	Min. %99,0 Al
2XX	Al-Cu
3XX	Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg
4XX	Al-Si
5XX	Al-Zn

Standartlaşmış bazı döküm alaşımları ve kimyasal kompozisyonları, Çizelge 2.8'de gösterilmektedir [8].

Çizelge 2.8. Bazı döküm alaşımlarının tanıtımı [8].

No	Form	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Ti
356,0	Döküm	6,5-7,5	0,601	0,25	0,35	0,20-0,45	0,35	0,25
356,1	İngot	6,5-7,5	0,50	0,25	0,35	0,25-0,45	0,35	0,25
356,2	İngot	6,5-7,5	0,20	0,10	0,05	0,30-0,45	0,05	0,20

## BÖLÜM 3

### 6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ELEKTRİK NAKİL HATLARINDA KULLANIMI

#### 3.1. 6XXX SERİSİ ALUMİNYUM ALAŞIMLARI

6XXX serisi Al alaşımları genellikle ekstrüze edilmiş veya haddelenmiş halde kullanılırlar. Bu tür alaşımların soğuma hızına olan düşük duyarlılığından dolayı ekstrüzyon sonrası soğumayla mukavemetleri geliştirilebilir [16].

6XXX serisi Al alaşımının bileşenlerinden olan Si %0,2-0,7 arasında, Mg ise %0,35-0,9 oranları arasında bulunmaktadır. Aynı zaman 6101 serisi de Al-Mg-Si bileşenlerinden oluşmaktadır. 6101 Al serisinin temel alaşım elementleri olan Si ve Mg,  $\alpha$ -Al matrisi içerisinde katı ergiyikte çözünürken aynı zamanda intermetalik fazlar halinde de bulunurlar ve genelde  $Mg_2Si$  intermetalik fazını oluştururlar. Bu faza primer sertleşme fazı adı verilir. İntermetalik fazların tipi, boyutu, morfolojisi ve dağılımı malzeme özelliklerini belirler.  $Mg_2Si$  oluşturmak için gerekli olandan fazla Si, bu alaşımların sertleşmesine önemli ölçüde katkı sağlar [17].

Mamul üründeki intermetalik partiküllerin sayısı, yer ve dağılımını; döküm koşulları, ingot homojenizasyonu ve termo-mekanik işlemler belirler. Biletler solvüs sıcaklığının altına yavaşça soğutulduğunda  $Mg_2Si$  oluşumu teşvik edilir [2]. Yavaşça soğutulmuş bilet (örneğin  $40\text{ }^{\circ}\text{C/h}$  ile) çok iri  $Mg_2Si$  oluşumuna neden olur. Soğutma hızı arttıkça partiküllerin boyutları ve sayıları azalır.

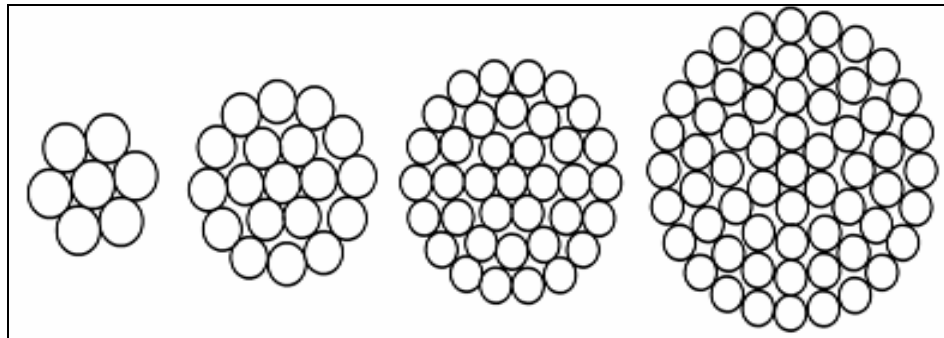
Fe, tüm ticari alaşımlarda empurite olarak bulunur ve katılaşma esnasında bir dizi Al-Fe ve Al-Fe-Si intermetalik fazlarını oluşturur. Sıcaklık ve homojenizasyon süresi arttıkça Al-Fe-Si'nin küreselleşme eğilimi de artar. Solvüs sıcaklığının üzerinde  $Mg_2Si$ , Al-Fe-Si ile dengededir. Bu sıcaklığın altında Al-Fe-Si ve  $Mg_2Si$  yarı kararlı intermetalik faz olarak bulunur [2].

Cu, 6101 alaşımın mukavemetini yükseltir. Ancak %0,5'den fazla yapıda bulunmaması gerekir. Aksi halde korozyon direnci azalır [16].

Maksimum elektriksel iletkenlik elde etmek için Ti ve V miktarının oldukça düşük olması gerekmektedir [19].

### 3.2. ELEKTRİK NAKİL HATLARINDA KULLANILAN İLETKENLER

Sürekli döküm hattı ve sürekli haddeleme mamulü olan filmaşınlar sırasıyla; tavlama (çözeltiye alma), temperleme (yaşlandırma) ısıl işlemi, tel çekme, ve örgü proseslerinden geçerek elektrik nakil hatlarında kullanılmak üzere çıplak iletken olarak üretilirler. Bu iletkenler yüksek, orta ve alçak gerilim hatlarında kullanılmak üzere çeşitlilik göstermektedir. Şekil 3.1-3'de iletken kabloların yapısal oluşumu ve üretilmiş görüntüleri gösterilmektedir [20].

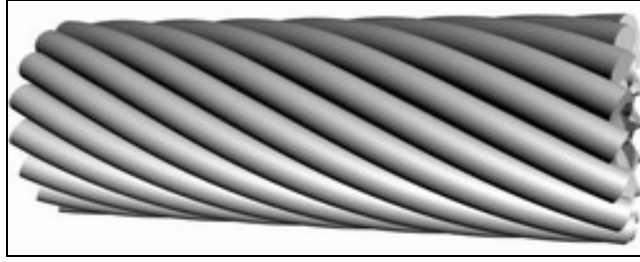


$$1+6 = 7 \quad 1+6+12 = 19 \quad 1+6+12+18 = 37 \quad 1+6+12+18+24 = 61$$

Şekil 3.1. İletken kabloların temel üretim yapıları [20].



Şekil 3.2. Çıplak iletkenin örgü katmanlarının gösterimi.



Şekil 3.3. Çıplak iletken görüntüsü.

İletken kablolar belirli çaplardaki teller birleştirilerek yapılmaktadırlar. Bu birleşim genel olarak bir telin (merkez) üzerine 6 adet telin yan yana sıkıştırılarak örülmesiyle oluşturulmaktadır. Bu şekilde üretilen iletken kablolar 7 telli (1+6) olarak belirtilmişlerdir. Kanada CSA-C/49.1-1975 normlarına göre dizayn edilmiş kuş ve yabani hayvan isimlerinin verildiği iletken standartlarından örnek gösterimler Çizelge 3.1’de görülmektedir [20].

Çizelge 3.1. İletken kablo yapısal ve mekanik özellikleri [20].

KANADA STANDARDI GÖSTERİMLERİ		YAPISAL ve MEKANİK ÖZELLİKLER					
		Tel Sayısı (Ad)	Tel Çapı (mm)	İletken Çapı (mm)	İletken Kesiti (mm <sup>2</sup> )	Birim Ağırlık (kg/km)	Kopma Kuvveti (kg)
İletken Adı	Kesit (AWG)						
ROSE (R)	4	7	1,96	5,58	21,14	57,8	403
LILY (L)	3	7	2,20	6,61	26,66	73	495
PANSY (P)	1	7	2,78	8,33	42,37	116	725
POPY (Po)	0	7	3,12	9,36	53,49	146	888
ASTER (A)	00	7	3,50	10,51	67,45	184	1115
PHLOX (Ph)	000	7	3,93	11,80	84,99	232	1369
OXLIP (O)	0000	7	4,42	13,25	107,30	294	1732

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi iletken örgü katmanı arttıkça buna bağlı tel adetleri de artmıştır. İletkenlerin tel sayıları ve örülme katmanları standartlarda verilmiştir. Elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin şehirlerarası taşınması çelik özlü alüminyum (ACRS) iletkenler ile yapılırken daha küçük yerleşim birimlerine çıplak olarak örülmüş tam alüminyum iletkenler (AAC) ile nakledilmektedir. Elektrik enerji nakil hatlarında kullanılan genel Al iletkenler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler;

AAC: Tam Alüminyum İletkenler (All Aluminium Conductors).

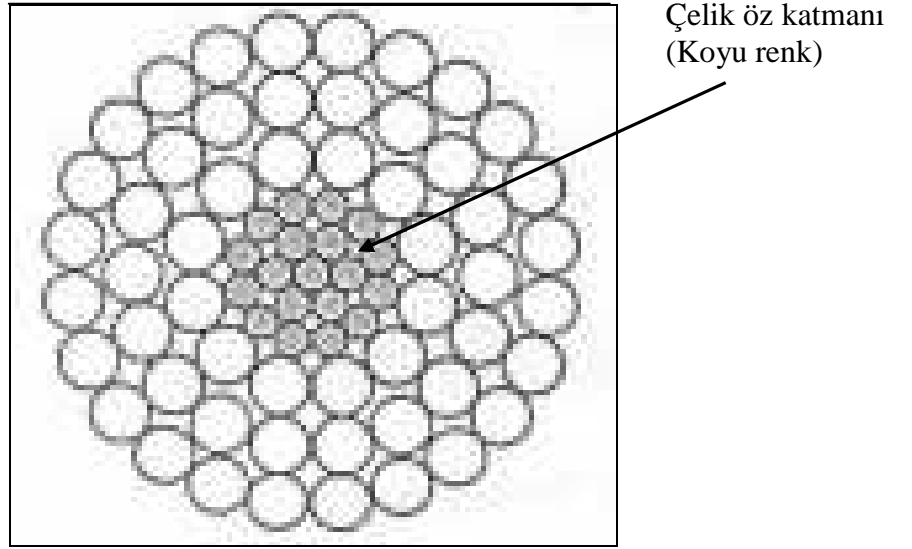
Genelde alçak gerilim hatlarında kullanılır.

ACSR: Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (Aluminium Conductor Steel Reinforced ).

Genellikle orta ve yüksek gerilim hatlarında kullanılır. Merkezinde çelik tel öz ile takviye edilmiştir

ACAR: Alüminyum Alaşım Özlü İletkenler (Aluminium Conductor Alloy Reinforced) iletken özünde ve diğer tabakalarında mekanik dayanımı arttırmak üzere Al alaşımından imal edilen tellerle takviye edilmiştir [2].

AAAC: Tam Alüminyum Alaşımlı İletkenler (All Aluminium Alloy Conductors) İletkeni meydana getiren bütün Al teller 6XXX serisi alaşımından yapılmıştır. Şekil 3.4'de Çelik özlü (ACSR) iletkenin kesiti görülmektedir [20].



Şekil 3.4. Çelik özlü (ACSR) iletkenin kesit gösterimi [20].



## BÖLÜM 4

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ

#### 4.1. ISIL İŞLEM

Al alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve temel olarak mekanik özellikleri belirlese de, elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici olmaktadır. Isıl İşlem temel olarak üç kademedir, bunlar sırasıyla;

1. Tavlama (çözeltiyeye alma)
2. Su verme ve temperleme
3. Yaşlandırma işlemidir.

Aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için temel kuraldır. Bu çökelti fazının oluşumu, doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilmektedir. Ancak, Al alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim elde edilememektedir [21].

Alaşımların özelliklerine etki eden faktörler; bileşim, döküm koşulları, homojenizasyon ısıl işlemi, bilet yeniden ısıtma sıcaklığı, ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranı, pres soğutma koşulları ve çökelti sertleşmesi ısıl işlemler olarak sınıflandırılabilir. 6XXX serisi Al alaşımları diğer metal alaşımları gibi dökümden sonraki primer yapısı genellikle dentritik yapıda olduğundan büyük ölçüde bileşim farklılıkları meydana gelir ve yapıda homojensizlik mevcuttur. Dolayısıyla difüzyonun etkin olduğu homojenleştirme işlemiyle yapı homojen hale getirilir. Buradaki amaç, bölgesel bileşim farklılıklarının, özellikle empuritelerin dengelenmesi ve dentritik yapıdaki segregasyon etkilerinin giderilmesidir.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemlerinin kodlaması ve açıklamaları Çizelge 4.1’de verilmiştir [23].

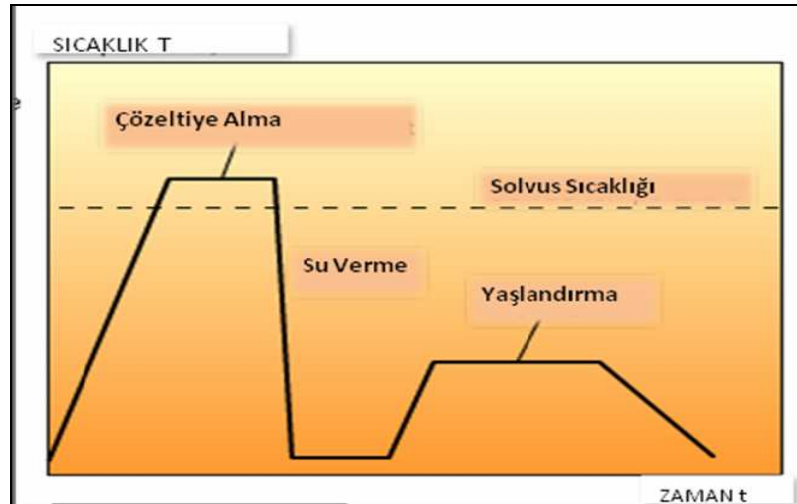
Çizelge 4.1. Alüminyum alaşımlarında temper kodlamaları [23].

Temper	Temper Kodu	Açıklama
<b>F</b>		Mekanik veya ısı işlemlerini görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
<b>O</b>		Tavlama ve yeniden kristalleşmiş
<b>H</b>	H1x	Soğuk işlemler uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlama (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlemler uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlemler uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısı işlemlerle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemlerini ifade eder.)
<b>W</b>		Çözeltiye alınmış
<b>T</b>		Yaşlandırma işlemlerini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlemler uygulanmış
T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlemler uygulanmış yapay yaşlanmış	

Al döküm alaşımlarına uygulanan ısı işlemlerinde etken olan parametreler; tavlama sıcaklığı, süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresidir. Al-Mg-Si

alaşımları olan 6XXX serisinde, arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle T6 ısıl işlemi uygulanır. Temel olarak, T6 işlemi sırasında; katı çözelti içerisinde çökelti fazının oluşturulması için, ötektik altı sıcaklık olan 545 °C'de tavlama, ardından yüksek sıcaklıkta su verme ve sonrasında da 150–200 °C civarlarında yapay yaşlandırmaya işlemi olan temperleme uygulanır. Tavlama sırasında, Mg ve bir miktar Si çözünerek homojen bir katı çözelti oluşturur. Temperleme de ise, Mg ve Si alüminyum dendritleri içerisinde Mg<sub>2</sub>Si olarak çökmesine sebep olur [24].

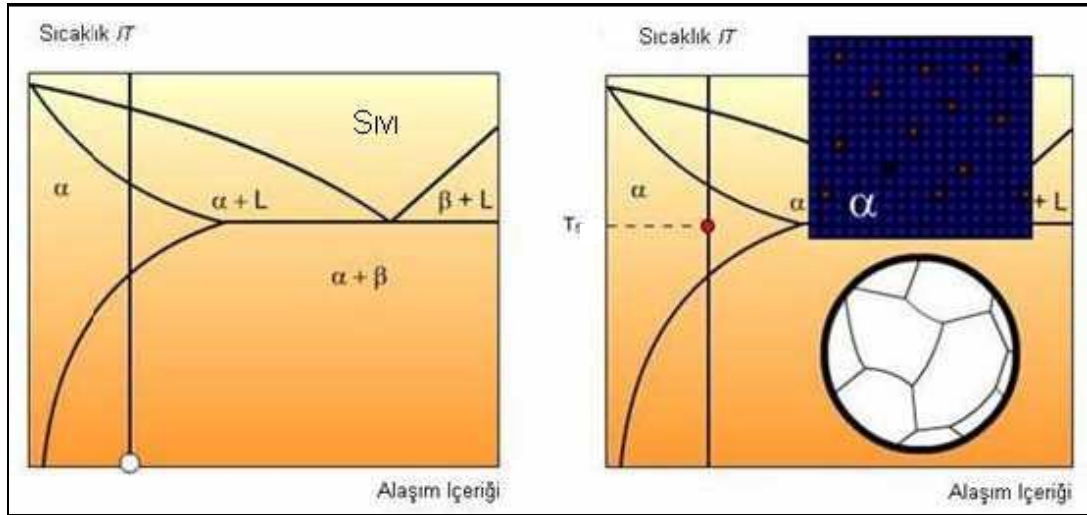
Bahsedilen sıvı metal işlemleri, ısıl işlem sırasında meydana gelen mikroyapı değişiklikleri üzerinde önemli etkilere sahiptirler. Örneğin; sıvı metalin Na veya Sr'la modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini ve büyüme kinetiklerini değiştirmekte olduğu bilinmektedir. Bu sayede, tavlama sürelerinde ciddi bir şekilde düşüş sağlanması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, sıvı metal içerisine tane inceltici olarak eklenen TiAl<sub>3</sub> partikülleri Mg<sub>2</sub>Si fazının yaşlandırma sırasında çökme kinetiğini geciktirebilmektedir. Şekil 4.1'de ısıl işlem süreçleri görülmektedir [25].



Şekil 4.1. Isıl işlem süreçleri grafiği [25].

#### 4.1.1. Tavlama (Çözeltiyeye Alma) İşlemi

Tavlama işleminde amaç, yapıyı tek fazlı katı çözelti haline getirmektir. İlk sıcaklıkta  $\beta$  ve  $\alpha$  fazı denge halinde değilken bileşim solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığa çıkarıldığında  $\beta$  fazı,  $\alpha$  (Şekil 4.2) fazı içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur [22]. Yapı tamamen  $\alpha$  fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Tavlama sıcaklığı, alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Al'un ergime sıcaklığı  $660^{\circ}\text{C}$  civarında olması nedeni ile işlem sıcaklığı  $525\text{--}545^{\circ}\text{C}$  arasında olmalıdır. Bu sıcaklık Şekil 4.2'de T ile ifade edilmektedir. T sıcaklığında bütün bileşenler katı çözültide tek bir faz halindedir [25].



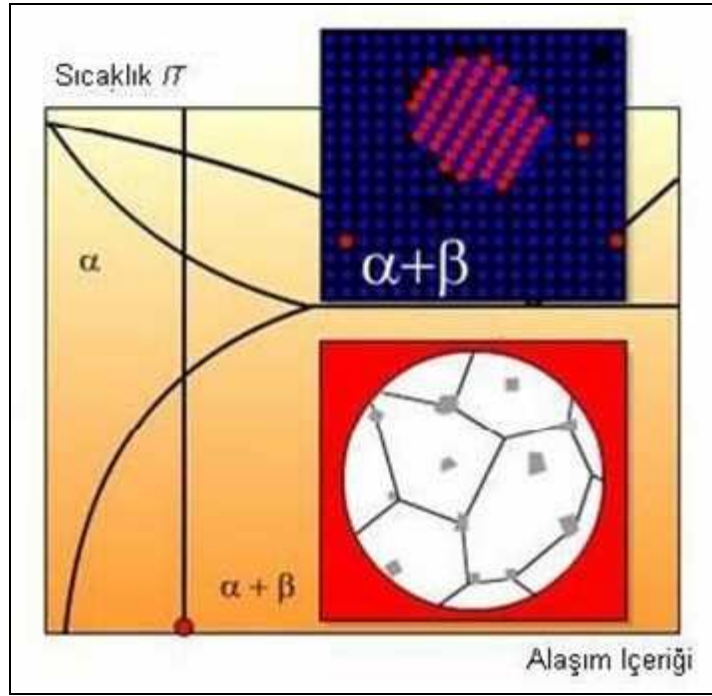
Şekil 4.2. Tavlama (Çözeltiyeye Alma) ısıl işlem faz grafiği [25].

Tavlama işlem süresi, tavlacak parçanın kalınlığına, çapına ve ebatlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; ince levhalar için dakikalardan bahsedilirken, kalın ve büyük parçalar için saatler söz konusu olmaktadır.

#### 4.1.2. Su Verme İşlemi

Tavlama işlemi sonrası yapı tek fazlı bir hal almışken, hızlı bir şekilde soğutulularak yapı içerisindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu aşırı doymuş katı çözelti oluşturmaktadır.

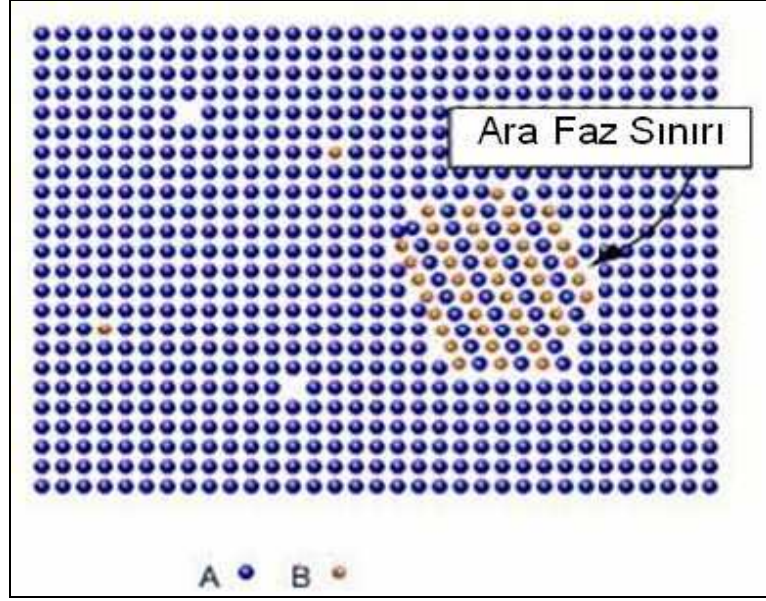
Tavlama işlemi sonrası yapı yavaş bir şekilde soğutulduğunda yapı içerisinde bulunan  $\beta$  fazı,  $\alpha+\beta$  fazını oluşturmak için dengeli bir şekilde yapı içerisinde çökler. Şekil 4.3’de tavlama işlemi sonrası yavaş soğutulmuş oluşan  $\alpha+\beta$  fazlarından oluşan yapıyı görülmektedir [25].



Şekil 4.3. Tavlama sonrası faz ve mikroyapı grafiği [25].

#### 4.1.3. Temperleme (Yaşlandırma) İşlemi

Aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan  $\beta$  fazı, sıcaklık ve zamanın etkisi ile kararlı bir faz olarak çökler. Yeterli yaşlandırma işlemi sonucunda denge fazı oluşur. Bu faz, ana matristen (A atomları) farklı bir kristal yapısına sahip olup bu faz içerisinde yapışık değildir. Böylece büyümeden kaynaklanan sıkışma ortadan kaldırılmış, ancak matris ve çökelti arasında yeni bir ara faz sınırı meydana gelmiştir. Şekil 4.4 de ara faz sınırı gösterilmektedir [25].



Şekil 4.4. Temperleme sonrası oluşan ara faz sınırı [25].

Yüksek iletkenlikli Al tel üretimi için; malzemeye ısıl işlem yapılarak iletkenliklerinin artırılması için incoherent (aşırı yaşlanmış, matrisle bağlantıları kopmuş) yapıların meydana gelmesi arzu edilmektedir.

## BÖLÜM 5

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

Dorward and Bouvier, AA 6061 serisinde Al-Mg-Si (Cu) alaşımlarını etkileyen; dayanım, süneklik ve tokluk faktörlerinin rasyonalizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. AA 6061 alaşımı dayanım ve tokluk özellikleri ergime sıcaklığında benzer çözünebilir alaşım elementleriyle karakterize edilmiştir. En iyi dayanım ve süneklik kombinasyonu aşırı silis ve yüksek çözünürlüklü Mg<sub>2</sub>Si materyalleriyle başarmışlardır. Süneklik ve dayanım seviyesi veren yüksek çalışma sertleşmesi oranı ile birleştirilerek pekiştirildiği halde tokluk intergranül kırılma meyiline işaret etmiştir. Bu yüzden intergranülü yükselten fazla silikon, düşük çözündürme sıcaklıkları, düşük soğutma oranı ve düşük ayırım seviyeleri gibi proses faktörlerine ve bileşime negatif etki göstermiştir [26].

Karabay v.d., Haddelenmiş AA 6101 alaşımlardan üretilen, döküm koşullarında ve hızlı soğutulmuş olarak homojenize olmuş biletlerin mekanik davranışları üzerine ekstrüzyon oranlarının etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında AA 6101 Al alaşımının mekanik davranışları üzerine doğrudan ekstrüzyon prosesi içerisinde haddelenme oranlarının etkilerini açıklamışlardır. Ekstrüzyon oranlarının etkilerini farklı bilet sıcaklıklarında yapılan haddelenmelerinde incelemiştir. Bu biletlerin yapılarını homojenize olmuş, hızlı soğutulmuş ve homojenize olmamış yavaş soğutulmuş olarak hazırlamışlardır. Haddelenmeden çıkış sıcaklığı ve ana sıkıştırmanın ilerleme hızları sabit tutularak, AA 6101 biletler 10, 30, 50 mm çaptaki üç farklı kalıp kullanılarak doğrudan haddelenmişlerdir. Numunelerin mekanik ölçümlerini T1 ve T6 ısıl işlemlerinden sonra yapmışlardır. Haddelenen AA 6101 biletlerin çekme dayanımı, uzama ve sertlik değerleri üzerine ekstrüzyon oranlarının etkilerini göstermişlerdir [2].

Cavasoş and Colas, Farklı oranlarda soğutularak ısıı işleme tabi tutulmuş AA 6063 Al alaşımındaki şokelmeleri incelemişlerdir. Sıcak haddelenmiş AA 6063 alaşım silindirik şubukları 520 °C'de 4 saat şözündürmüş ve farklı oranlarda oda sıcaklığına soğutmuşlardır. Numunelerden örnekler keserek 130-180 ve 230 °C sıcaklıklarda, minimum 20 olmak üzere 96 saate kadar olan zaman aralıklarında yaşlandırmışlardır. Sertleşmiş alaşımlardaki şokelmelerin karakteristik davranışlarını gözlemlemişler ve bu örnek numunelere bir yaşlandırma sıcaklığı verip 10°C/saniye altındaki oranlarda soğutma ortamına indirgeyerek maksimum sertlik derecesini bulmuşlardır. Seştikleri numunelerle difraksiyon (X-RAY) ve geşirmeli elektron mikroskoplarıyla (TEM) şalışmalardır. 60 °C/sn civarında soğutulan numunelerde yaşlandırma belirtileriyle şokelmeler gözlenmemiştir. Bu numunelerin matrisi yüzey merkez kübik ve kafes parametresi 4,055 Å<sup>0</sup> iken saf Al için verilenden biraz daha büyük olduğunu görmüşlerdir. Yaptıkları karşılaştırmalı incelemelerde yavaş soğutulan örnek numunelerin yaşlanmadığı küçük şokelteleri gözlemlemişlerdir. Yaşlanmış ve yaşlanmamış numunelerin sürekli şokeltelerindeki kafes mesafesi değişimlerini soğutulma oranları ile indirgemişlerdir [27].

Dons, Bu şalışmada endüstriyel Al alaşımlarının homojenizasyonu için Alstruc modelini incelemiştir. İşlenmiş Al alaşımlarının ekstrüzyon ya da ısıı işlem öncesi sık sık homojenizasyon ısıı işlemine verildiğini belirterek bazen dökümhane alaşımlarınada yaşlandırma sertleştirmesi öncesi ısıı işlem solüsyonu verdiğini söylemektedir. Burdan yola çıkarak şalışmasında ısıı işlem esnasında beklemelerde ve soğuma evrelerinde alstruc modeliyle mikroyapı değişimlerini yarı kantitatif olarak hesaplandığını anlatmaktadır. Aynı zamanda Alstruc programının Fe, Cu, Mg ile Al-Si dökümhane alaşımları için ve AA 6xxx işlenmiş alaşımlar ve AA 3xxx ve AA 5xxx serileri içinde alt dallara ayrıldığını belirtmiştir [28].

Karabay, Düşey doğrudan soğutmalı döküm yöntemiyle üretilmiş billetlerden haddeleme yöntemiyle imal edilen şubuklardan çekilen tellerde, suni yaşlandırmayla görülen tutarsız şokeltelerinin eliminasyonu için AlB<sub>2</sub> bileşiminin etkileri üzerine şalışmıştır. Bu şalışmasında doğrudan düşey soğutmalı döküm yöntemiyle üretilen AA 6101 alaşım billetlerden kütük dökülerek yapılan, geliştirilmiş metottan bahsedilmiştir. Yeniden düzenlenmiş çubuklar AA 6101 alaşım billetler kullanılarak



haddelenip sıkıştırılarak üretilmiştir. Bu rodlardan çekilen tellerin suni yaşlandırılması endüstriyel fırında yapılarak yüksek gerilme dayanımı ve yüksek iletkenlik elde edilmiştir. AA 6101 teller yeni bir yolla üretilerek yüksek gerilme dayanımı, yüksek ve ekstra yüksek iletkenlikle üretilmişlerdir. Bu AA 6101 alaşımların döküm esnasında  $AlB_2$  ile aşılması gerektiğini söylemektedir. Fırınlama esnasında AA 6101 alaşımdaki suni yaşlandırma zamanının kısalarak açıklarken, çökeltme sertleşmesinin, metal matris ile  $Mg_2Si$  partiküllerinin tutarsız davranışlarının eliminasyonunu başarmıştır.  $AlB_2$  çökeltisinin Cr, V, Ti ve Zr geçiş elementlerinin miktarları üzerine olan etkileri keşfedilmiştir. Böylece yüksek iletkenliğe ulaşılmış, bu yüzden fırınlarda uzun süreli ısıl işleme ihtiyaç duyulmamıştır. Bu nedenle de tellerin yüksek elektrik iletkenliğiyle ve yüksek dayanımı sonucu difüzyon zamanının kısaldığını belirtmiştir [29].

Cabibbo v.d., Bu çalışmada Al-Mg-Si alaşımının çökeltme prosesinin yarı katı biçimlendirme üzerine etkileri incelemiştir. AA 6082 tiksoformed alaşımına elektron mikroskobu teknolojisi kullanarak mikroyapı çalışması yapmışlardır. Tiksocast çubuk ve kompleks şekilli parçaları incelemiştir. Isıl işlemin etkileri, yaşlandırma bölümleri ve sertlik devreleri üzerine çalışmışlardır. T8 işlemini T6 işleminin ile kıyasladıklarında sertleşme özelliklerinin 3 katına çıktığını görmüşlerdir.  $\alpha$  yapısının yaşlanmaya verdiği karşılık ve ötektiğin rolünü incelemiştir. Tane sınırları içinde çökelti bölümleri, farklı kinetiklerin izlendiği ötektik içinde olağanüstü çökelti iken, işlenmiş Al-Mg-Si alaşımının bir benzerini yaptıklarını görmüşlerdir [30].

Karabay, Bu çalışmada AA 6201 yeniden düzenlenmiş çubuktan, yüksek dayanım özellikleriyle yüksek iletkenlikte (HC) ve ekstra yüksek iletkenlikteki (EHC) tellerin yapımında kullanılan metodun modifikasyonu üzerine çalışmıştır. İletkenlik üzerine Ti, Cr, Zr ve V zararlı etkilerini azaltmak için 9,5 mm çapta üretilen çubuk içerisine tandışde ergiyik haldeki sıvı metalin içerisine % 3  $AlB_2$  aşılama yapmış ve bu şekilde modifiye edilmiş teller üretmiştir. 175 °C de 6 h' dan daha uzun zamanlara ihtiyaç duymadan yüksek ve ekstra yüksek iletkenliği elde etmiştir. Böylece düşük sıcaklıklardaki ısıl işleme tellerde maksimum çekme gerilmesine de ulaşmıştır. Bu

çalışmada EHC ve HC tellerin özelliklerine etki eden homojenizasyon parametrelerini ve ergiyik metalin aşılanma esasını detaylarıyla açıklamıştır [19].

Oppenheim at all., Bu alışmada Al 7249-T76 dan 90 ve Al 6061-T6 dan 75 numunenin ısıl işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çözelti işlemleri, soğutulan oranlar ve yaşlandırma sertleştirmesi ısıl işlemlerinde benzer güçlüklerle karşılaşmışlardır. Isıl işlem görmüş alaşımların mekanik ve fiziksel özelliklerini ilişkilendirerek tartışmışlardır [31].

## BÖLÜM 6

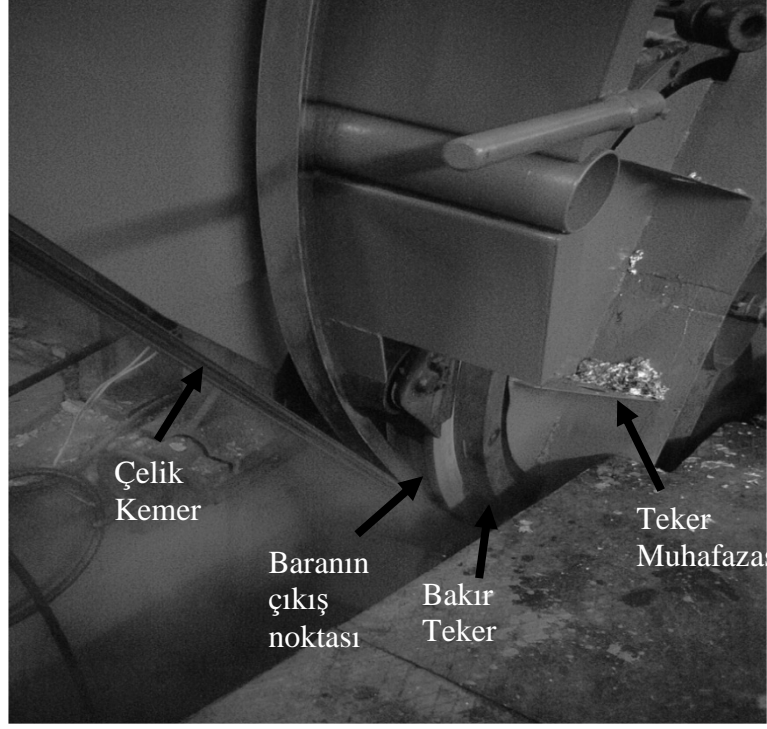
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA

Coreal Alüminyum Kablo A.Ş.'de bulunan sürekli döküm ve sürekli hadde makinelerinden oluşan, döküm hattında üretilmiş bu filmaşınlar aşağıda sırasıyla belirtilen aşamalardan geçirilerek 9,5 mm çapında sahip filmaşın çubuklar elde edilmiştir.

% 99,5 saflıktaki 750 kg ağırlığına sahip Al ingotlar sürekli döküm hattının ilk ünitesi olan ana ergitme ocağında ergitilerek yolluklar vasıtasıyla dinlendirme fırınlarına alınır. Bu fırınlar 15'er tonluk kapasiteli olup 2 adettir ve doğalgazla çalışmaktadır. Ana ergitme ocağından sürekli döküm hattına alınan sıvı metal yaklaşık 700 °C civarındadır ve döküm fırınlarında sıvı metalin curufu alınır. Sırasıyla alaşımlama öncesi, alaşımlama sonrası olmak üzere spektrometreden kimyasal kompozisyonlar tespit edilmiştir. Kimyasal kompozisyon istenilen oranlara sahip olunca tekrar fırınların cürufları alınarak döküm aşamasına geçilmektedir.

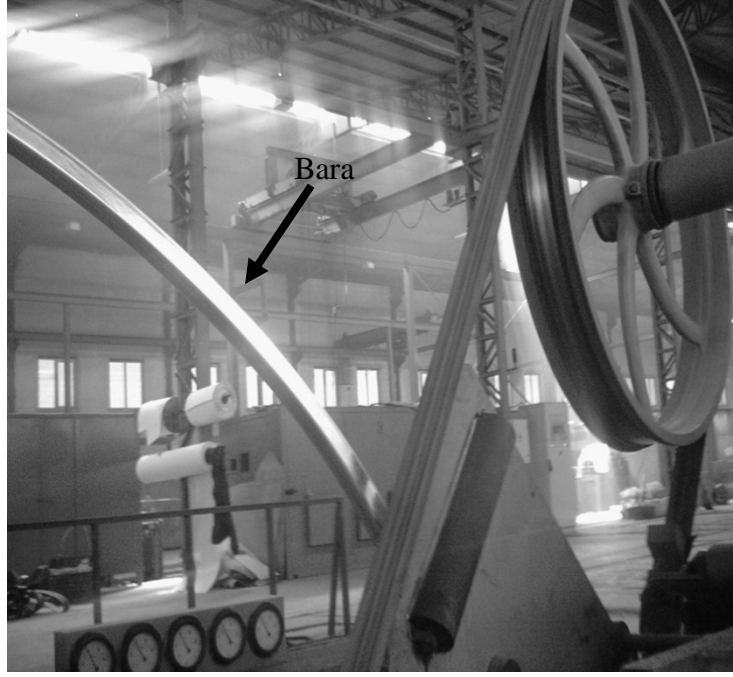
Fırınlardan yolluğa verilen alaşımlı sıvı metal yolluk güzergâhında "degazer" ünitesine girdirilerek burada karıştırılarak suretiyle gaz alma işlemine tabi tutuldu. Bu üniteye gaz alma işlemi için argon gazı kullanıldı. Degazerde gazı alınan sıvı metal tekrar yolluğa verilerek sürekli döküm hattının su soğutmalı bakır kalıbında katılma işlemi başlatıldı. Şekil 6.1'de su soğutmalı bakır kalıp görülmektedir.



Şekil 6.1. Su soğutmalı bakır kalıp.

## 6.2. SÜREKLİ HADDELEME VE FİLMAŞİN ÜRETİMİ

Sürekli dökümün süresine bağlı olarak farklı uzunluklarda 40x50mm boyutlarında dikdörtgen kesitli bara üretilip, oda sıcaklığına inmeden ve sürekli hadde girişinin hemen öncesinde bulunan cefi marka elektrik ark prensibiyle çalışan makineyle ısıtılarak 500<sup>0</sup>C civarında sürekli haddeleme hattında haddeleme işlemine başlatılır. 10 farklı redüksiyonla çalışan haddeleme tezgahında sırasıyla enine ve boyuna haddeleme işleminden geçen bara 9,5 mm çapına sahip filmaşin çubuk olarak, belirli uzunluklarda ve kilolarda sürekli sarıcılarda rulolar halinde sarılarak üretilir. Şekil 6.2’de sürekli döküm hattında üretilen bara gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Sürekli döküm hattında üretilen bara.

Şekil 6.2’de kendi eksenini etrafında dönen su soğutmalı bakır kalıbın; çelik çember ve kasnak yardımıyla çalışma sistemi görülmektedir. Burada aynı zamanda döküm sonrası elde edilen bara da gösterilmiştir.

Sürekli döküm hattıyla paralel olarak çalışan sürekli haddeleme hattında 9-15 mm çap aralıklarında istenilen filmaşın çubuklar üretilmektedir. Sürekli döküm hattında sıvı metal girdisi olan ingot kimyasal kompozisyonu tayinden başlayıp, sıvı metal alaşımlaması, bakır kalıp soğutma su basıncı, bakır kalıp dönme hızı, sürekli haddeleme bara giriş sıcaklığı ve sürekli haddeleme emisyon sıcaklığına kadar her parametre takip edilerek filmaşın çubuk üretimi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda sürekli döküm hattında bara üretim esnasında su soğutmalı bakır kalıbın dönme hızına bağlı olarak katılma hızlandırılıp yavaşlatılabilmektedir. Bu parametreler göz önüne alınarak üretim esnasında filmaşın çubukların mukavemetleri de tayin edilebilmektedir. Üretilen filmaşın çubuklar, şekil 6.3’de görülmektedir.

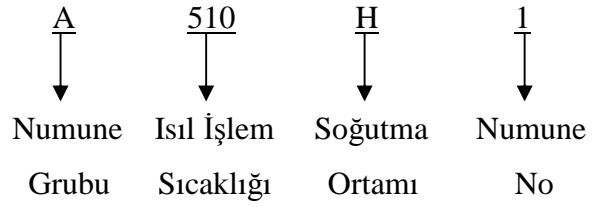


Şekil 6.3. 9,5 mm çapında filmaşın rulo.

### 6.3 NUMUNE ALMA VE HAZIRLAMA İŞLEMLERİ

Fe, Cu ve Si miktarları göz önünde bulundurularak AA6101 alaşımlardan seçilmiş, 4 farklı dökümden üretilen sürekli hadde mamulü filmaşın ruloları seçilmiş ve 20'şer adet 20 cm uzunluklarında olmak üzere 80 adet numune alınmıştır. Şekil 6.4'de alınan numunelerin şekli görülmektedir.

Numune kodlama örnekleri;





Şekil 6.4. Filmaşın çubuk numunesi.

#### 6.4 MALZEMELER

Bu çalışmada % 99,5 saflıkta Al ingotlar kullanılmıştır. Bu ingotlar 700 °C civarında ergitilip döküm ocaklarında alaşım elementleri ilave edilmiştir. Çizelge 6.1’de belirtilen kompozisyonlara sahip 6101 Al alaşımından, sürekli döküm ve sürekli haddeleme hattında üretilen 9,5 mm çapa sahip filmaşınlerden numuneler alınmıştır.

Çizelge 6.1. Numunelerin kimyasal kompozisyonları.

Gruplar	% Si	% Mg	% Fe	% Cu	% Al
A	0,52	0,51	0,171	0,013	Kalan
B	0,55	0,57	0,203	0,013	Kalan
C	0,55	0,58	0,220	0,018	Kalan
D	0,56	0,56	0,225	0,028	Kalan

Filmaşınların üretildiği döküm ocaklarındaki sıvı metal analizleri, Coreal Alüminyum Kablo A.Ş. kalite kontrol laboratuvarında bulunan Spektromax marka spektrometre ile yapılmıştır. Sıvı metalin döküm sıcaklıkları termokupullarla düzenli olarak ölçülmüştür.

## **6.5. DENEYLER**

4 farklı gruptan alınan numuneler sırasıyla; Elektrik direnç ölçümleri, tavlama(çözeltiye alma) ısıl işlemi, temperleme(yaşlandırma) ısıl işlemi, çekme testi, sertlik testi ve mikroyapı inceleme işlemleri yapılarak, elektriksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

### **6.5.1. Elektrik Direnç Ölçümleri**

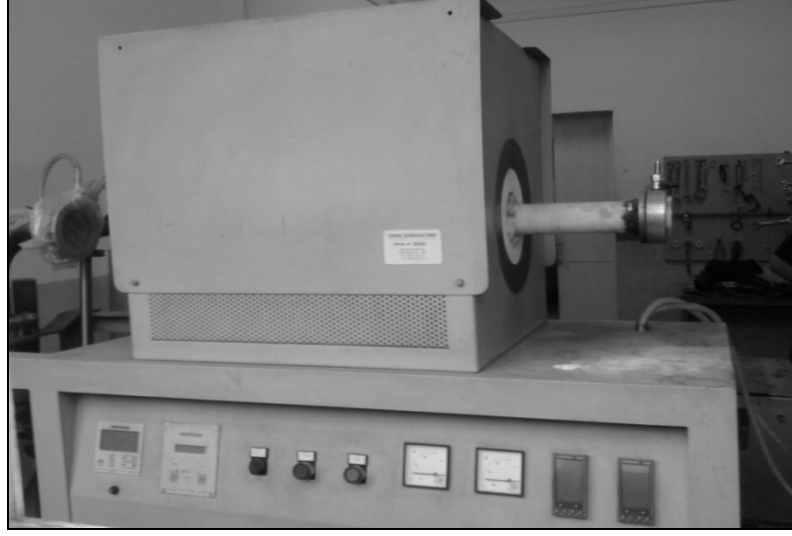
Numunelerin elektrik direnç (iletkenlik) ölçümleri ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası olmak üzere iki farklı şekilde alınmıştır. Bu ölçümler Coreal Alüminyum Kablo A.Ş. kalite kontrol laboratuvarında bulunan Resistomat marka elektrik direnç ölçüm cihazından alınmıştır. Ölçümler 20 mΩ hassasiyet ve 3 cm uzunluk parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

### **6.5.2. Tavlama (Çözeltiye Alma)**

Numunelere 510, 530, 550 ve 570 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta 5 saat süreyle tavlama ısıl işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemler Karabük Üniversitesi Metal Eğitimi Malzeme Laboratuvarında bulunan atmosfer kontrollü Thermal Technology GmbH Hochtemperatur Ofensysteme marka ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir.

Tavlama işleminden çıkan numuneler, hava ve su ortamı olmak üzere iki farklı şekilde soğutma işlemine tabi tutulmuşlardır. Şekil 6.5'te tavlamanın yapıldığı ısıl işlem fırını gösterilmektedir.





Şekil 6.5. Tavlama ısı işlem fırını

### 6.5.3. Temperlere (Yaşlandırma)

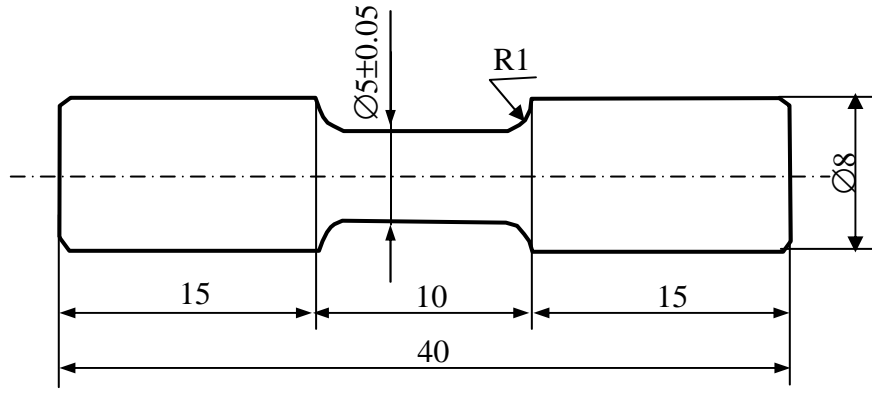
Tavlama ısı işleminden geçen, hava ve su olmak üzere iki farklı soğutma ortamlarında soğutulan numuneler Şekil 6.6'da gösterilen Protherm marka, PLF 130/9 3000 watt 220 volt modeli ısı işlem fırınında 160 °C'de 5 saat süreyle temperleme (yaşlandırma) ısı işlemine tabi tutulmuşlardır. Temperleme ısı işlemi bitiminde numuneler fırından çıkarılarak oda sıcaklığında soğumaya terk edilmiştir.



Şekil 6.6. Temperleme ısı işlem fırını

#### 6.5.4. Çekme Deneyi

Tavlama ve temperleme ısıl işlemleri tamamlanmış 80 adet numune, Şekil 6.7'de gösterilen boyutlarda hazırlanarak çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deney sonuçları numune adedinin fazlalığından dolayı aynı ısıl işlem uygulanmış 3 adet numunenin ortalaması alınarak gösterilmiştir. Çekme, deneyi Erciyes Üniversitesi Teknoloji merkezinde bulunan SHIMADZU marka 5 ton kapasiteli çekme cihazında ve 20 mm/dk çekme hızında yapılmıştır.



Şekil 6.7. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99)

#### 6.5.5. Sertlik Deneyi

Çekme çubuklarından çıkarılan  $\varnothing 9,5 \times 10$  mm boyutlarındaki sertlik deneyi numunelerinin yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Mikrosertlik (vickers) deneyleri Erciyes Üniversitesi Malzeme laboratuvarında bulunan STRUER marka mikrosertlik cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Numunelere sertlik deneyi uygulanırken numunenin 5 farklı noktasına 10 gramlık yükler uygulanarak malzemenin vickers sertlik değerine ulaşılmıştır. Beş farklı noktadan alınan bu değerlerin ortalaması bulunarak numunenin sertlik değeri tespit edilmiştir.

#### 6.5.6. Mikroyapı İncelemeleri

Isıl işlemde geçirilen numunelerin mikroyapı görüntülerini almak için sırasıyla; 320, 600, 800, 1000, 1200 meshlik zımparalarla su kullanılarak zımparalama işlemi

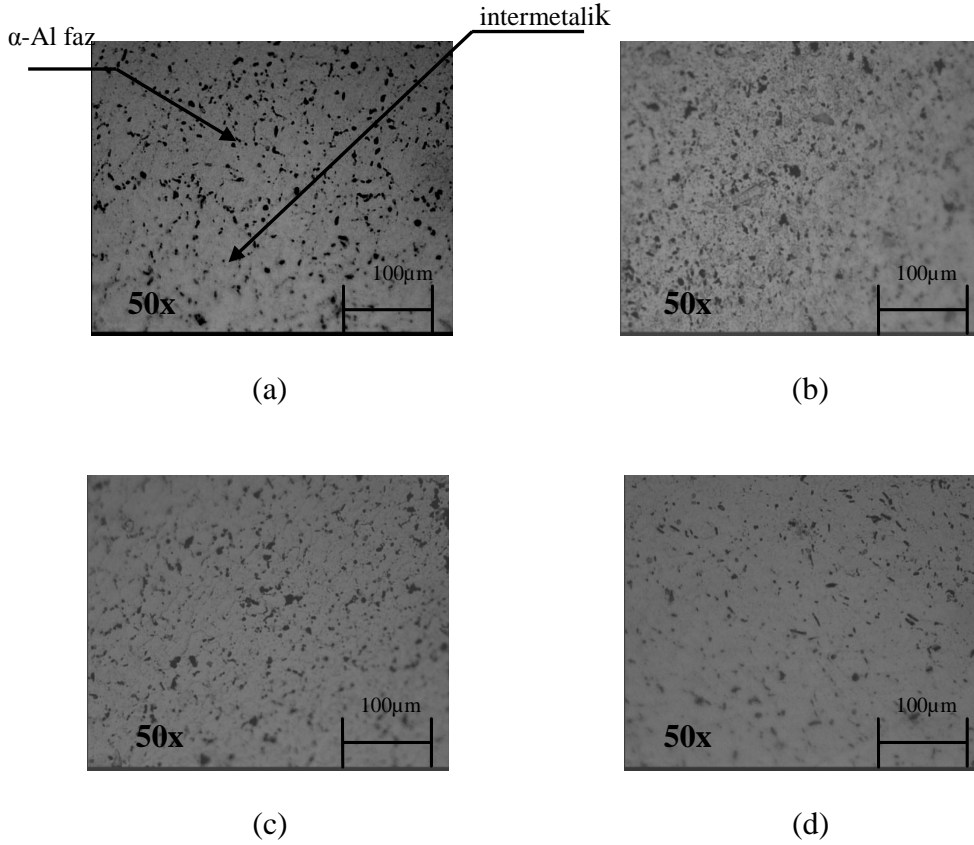
yapılmıştır. Zımpara işleminden sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işleminde 6, 3, 1 µm boyutunda üç farklı keçe Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> esaslı çözelti ile birlikte kullanılmıştır. Her bir parlatma işleminden sonra numuneler su ve alkol ile yıkanarak temizlenmiş ve ardından kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri dağlama öncesi ve sonrası olarak iki farklı şekilde yapılmıştır. Dağlama işleminde %2'lik HF çözeltisi kullanılmıştır. Numuneler dağlayıcı çözelti içerisinde 2 dk. kadar bekletilmiş ve ardından önce su ile sonra alkol ile temizlenip kurutulmuştur. Karabük Üniversitesi Metal Eğitimi malzeme laboratuvarında bulunan Nikon Epiphot 200 marka optik metal mikroskobunda mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Görüntüler CCD kamera ve TV kartı bulunan bir bilgisayar ortamında optik mikroskopla kayıt edilmiştir.

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

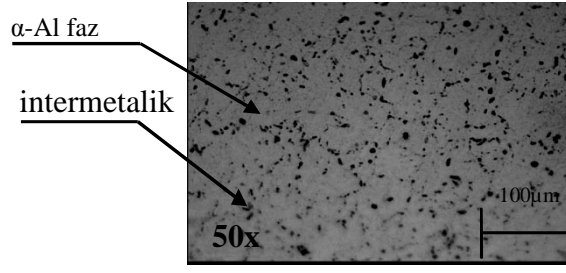
#### 7.1. MİKROYAPI

Çizelge 6.1’de kimyasal kompozisyonları verilen A, B, C ve D grubu numunelerin ısıtılma işlemi görmemiş mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 7.1.a-d’de verilmektedir.

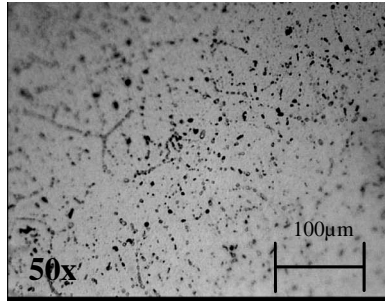


Şekil 7.1. Isıl işlemsiz numunelerin mikroyapı görüntüleri (X50). a) A grubu, b) B grubu, c) C grubu d) D grubu

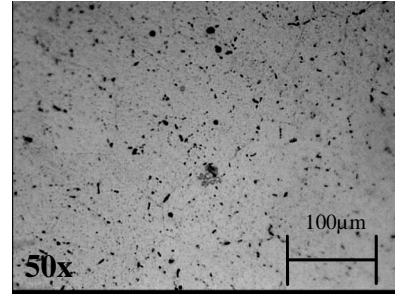
Mikroyapı görüntüleri, A grubu filmaşinde intermetalik fazların daha kaba olduğunu gösterirken, intermetaliklerin büyüklüğü sırasıyla B, C ve D daha da incelmeye eğilimi göstermektedir. Bunun nedeni Fe ve Cu'nun mikroyapıda çekirdeklenme bölgelerinin artışı sağlanması ve buna bağlı olarak intermetaliklerin mikroyapı içerisinde daha ince dağılımı olarak açıklanabilir [17]. Çizelge 6.1'de Fe ve Cu oranı en fazla C ve D grubu filmaşinlerde bulunmaktadır. Çizelge 6.1'deki analizler dikkate alındığında yapıda Al haricinde Mg ve Si bulunmaktadır. Literatürde [2] Al içerisinde bulunan Mg ve Si'nin  $Mg_2Si$  fazı oluşturduğu ittifakla kabul edilmektedir. Dolayısıyla Şekil 7'de mikroyapıda koyu olarak görülen intermetalik fazların  $Mg_2Si$  olduğu kabul edilmektedir. Diğer taraftan dikkate değer bir nokta ise A, B ve C numuneleri ile kıyaslandığında D numunesindeki fazların daha iğnemsiz ve köşeli bir yapıda olduğu gözle çarpılmaktadır. İntermetaliklerin morfolojisinin değişimi daha önce açıklandığı gibi çekirdeklenme mekanizması ve buna bağlı olarak büyüme modu ile açıklanabilir. D numunesinde diğerlerine nazaran daha fazla Cu bulunmaktadır ki bu durum  $Mg_2Si$  fazı büyümesini ve yönelmesini etkilemiş olabilir.



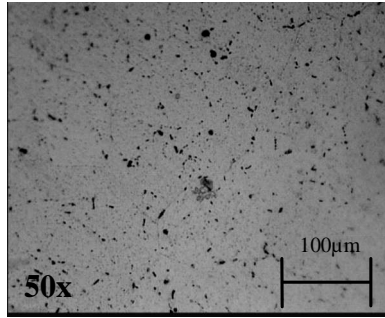
(a)



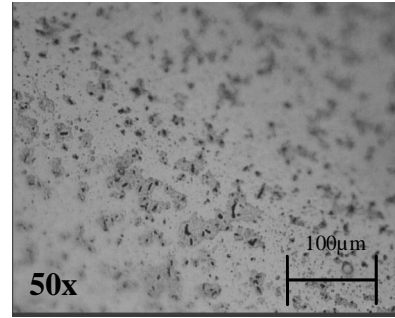
(b)



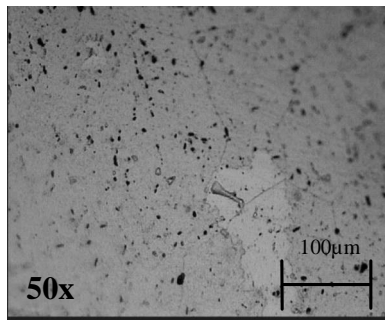
(c)



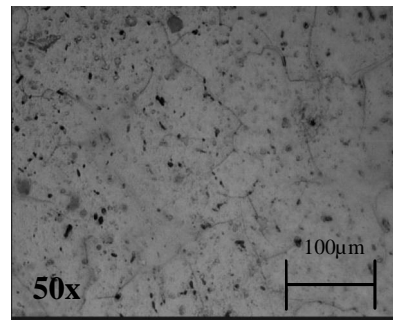
(d)



(e)

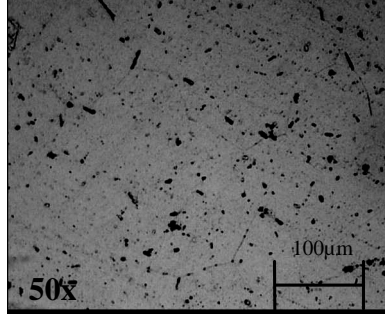


(f)

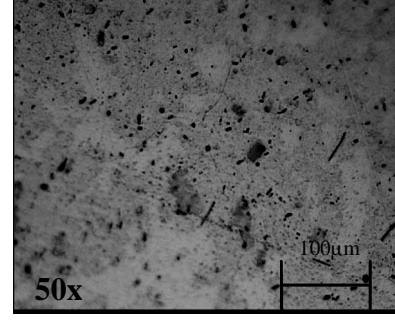


(g)

Şekil 7.2. A grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinin kodlamalı gösterimi (X50).  
a) Isıl işlemsiz, b) 510 H, c) 510 S, d) 530 H, e) 530 S, f) 550H, g) 550S, h) 570H, ı) 570S



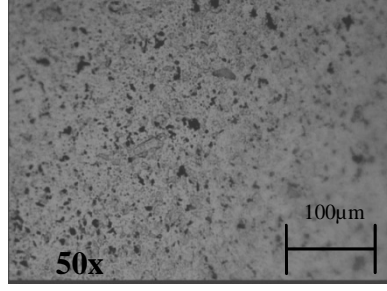
(h)



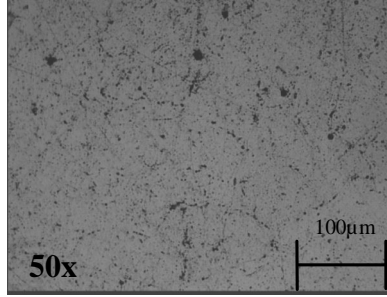
(i)

Şekil 7.2 (devam ediyor)

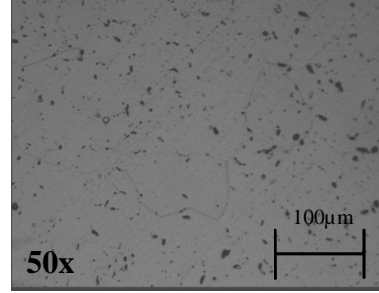
Şekil 7.2. A grubu numunelerin 510, 530, 550 ve 570 °C sıcaklık aralığında hem hava hem de suda soğutulmuş mikroyapı görüntülerini vermektedir. Sonuçlar, mikroyapıda bulunan  $Mg_2Si$  intermetaliklerinin ısıtılma sıcaklığı ile incelendiğini göstermektedir. Söz konusu inceleme ısıtılma sıcaklığının 570 °C'ye çıkması ile tekrar kabalaşma eğilimine girdiği gözlenmiştir.  $Mg_2Si$  intermetaliklerinin incelmeye ısıtılma sırasında Mg ile Si fazlarının  $\alpha-Al$  matrisi içerisinde çözünmesi olarak açıklanabilir. Diğer taraftan ısıtılma sıcaklığının 570 °C olması durumundaki kabalaşmanın ise aşırı difüzyon sonucuna dayandırılabilir. Diğer taraftan aynı sıcaklıklarda A numunesi için havada veya suda soğuma şartlarının mikroyapıya dikkate değer bir etki göstermediği gözlenmiştir.



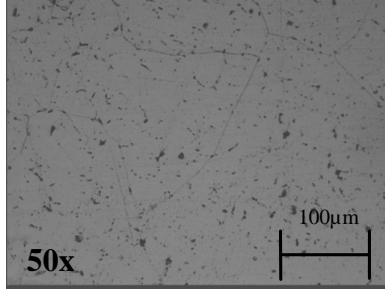
(a)



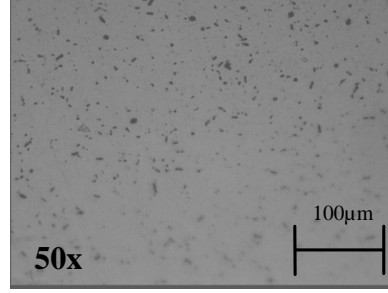
(b)



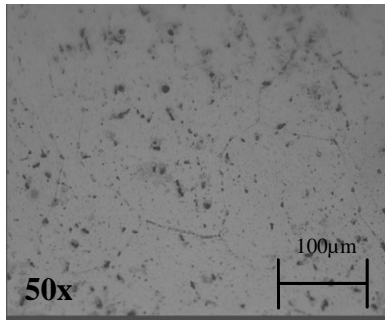
(c)



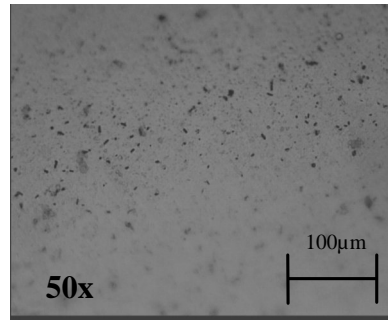
(d)



(e)



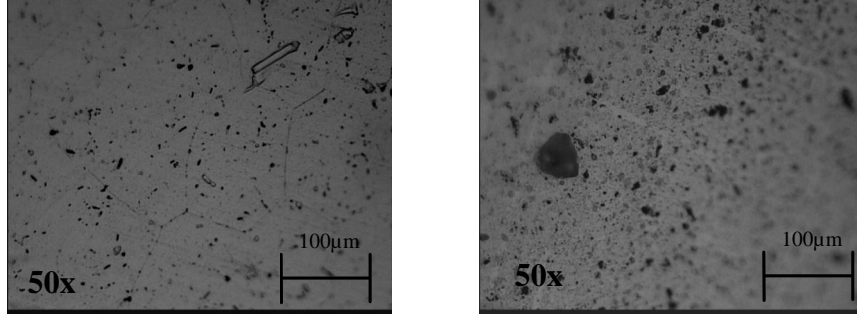
(f)



(g)

Şekil 7.3. B grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinininkodlamalı gösterimi (X50).  
a) Isıl işlemsiz, b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H , g) 550S,  
h) 570H, ı)570 S



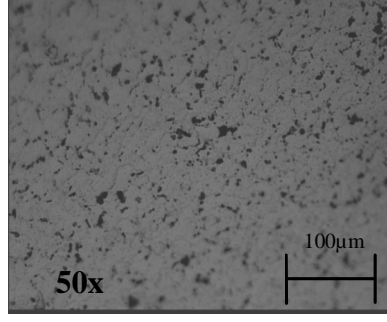


(h)

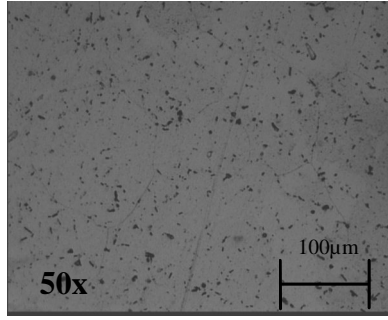
(i)

Şekil 7.3. (devam ediyor).

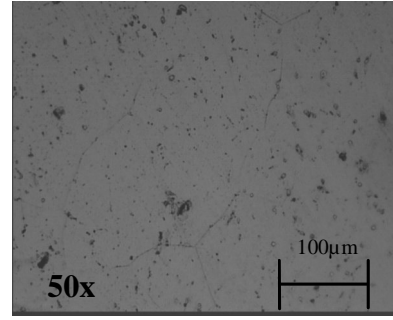
B grubu numunesinin sıcaklığa, havada ve suda soğutma şartlarına bağlı mikroyapı değişiklikleri Şekil 7.3'te verilmektedir. A grubu numunelerinde olduğu gibi 510 ve 530 °C de intermetalik fazlar daha ince dağılımlı iken sıcaklığın 550 ve özellikle 570 °C ye çıkması durumunda fazlarda kabalaşma gözlemlenmektedir.



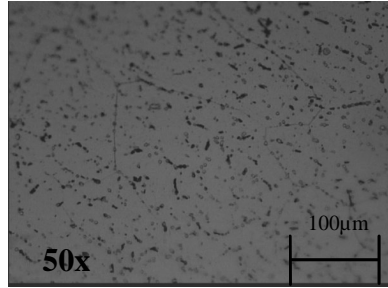
(a)



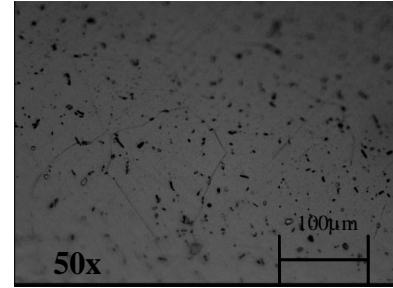
(b)



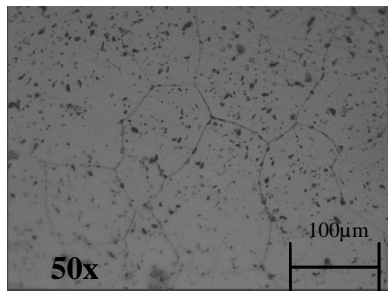
(c)



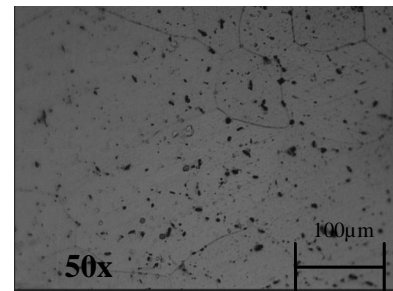
(d)



(e)

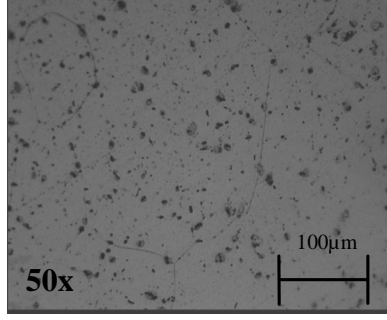


(f)

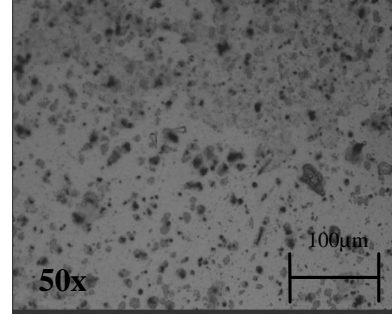


(g)

Şekil 7.4. C grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinininkodlamalı gösterimi (X50).  
a) Isıl işlemsiz, b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H, g) 550S,  
h) 570H, ı) 570S



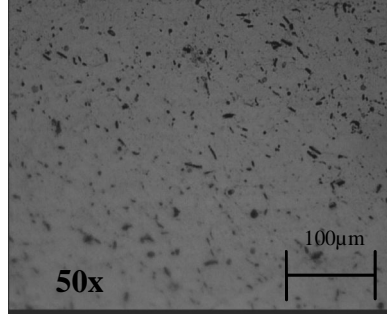
(h)



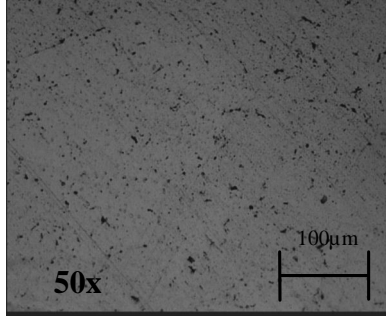
(i)

Şekil 7.4. (devam ediyor).

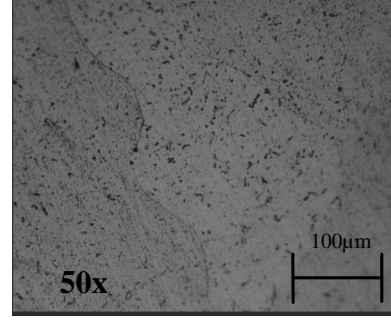
C numunelerindeki, sıcaklık ve soğuma şartlarına bağlı mikroyapı değişiklikleri Şekil 7.4’de verilmiştir. Isıl işlem görmemiş numuneye göre  $Mg_2Si$  partikülleri daha ince dağılımlı olarak kendini göstermektedir. Buradaki tek farklılık  $570\text{ }^{\circ}C$  de ısıl işlem gören numunelerdir ki  $Mg_2Si$  partikülleri tekrar kabalaşmıştır. Diğer taraftan dikkati çeken bir nokta ise suda soğutma durumunda  $Mg_2Si$  fazlarının kabalaşması havada soğuyandan daha fazladır. Aslında, suda soğumanın daha hızlı olması ve buna bağlı daha ince dağılımlı fazların oluşması beklenir ki mevcut durumla ters düşmektedir. Bu, su içerisinde soğutma sırasında oluşan buhar tabakasının numune gövdesi ile sıvının temasını kesmesi ve buna bağlı olarak soğuma hızında azalmanın meydana gelmesi ile açıklanabilir.



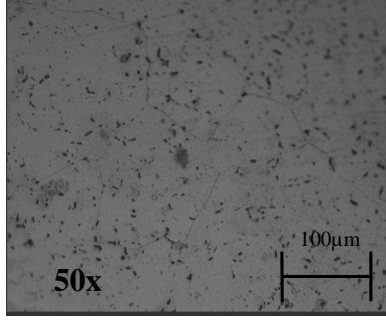
(a)



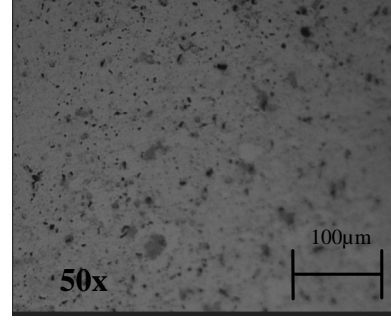
(b)



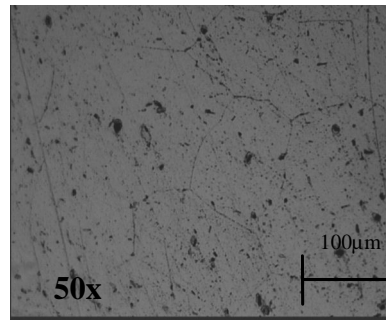
(c)



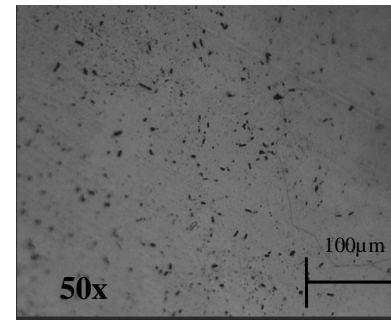
(d)



(e)

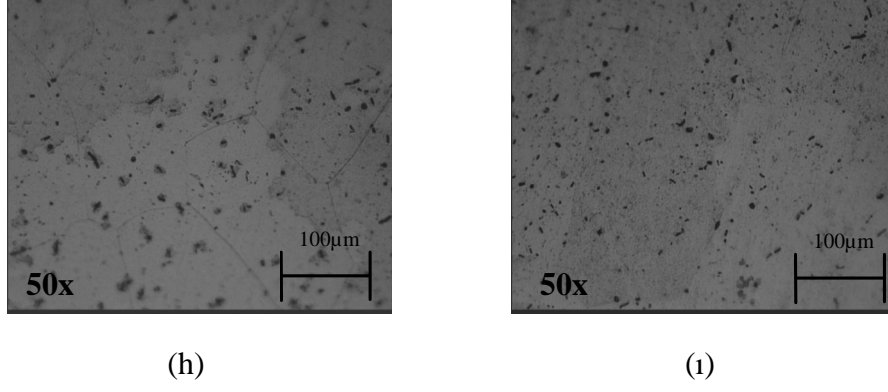


(f)



(g)

Şekil 7.5. D grubu numunelerin mikroyapı görüntülerinin kodlamalı gösterimi(X50).  
a) Isıl işlemsiz, b) 510H, c) 510S, d) 530H, e) 530S, f) 550H, g) 550S,  
h) 570H, ı) 570S



Şekil 7.5. (devam ediyor)

Isıl işlem sıcaklığı ve soğuma şartları ile D numunesindeki mikroyapısal değişiklikler Şekil 7.5'te gösterilmektedir. A, B ve C numunelerinin aksine mikroyapı ısıl işlem sıcaklığı ve soğuma şartlarına bağlı olarak ( $510^{\circ}\text{C}$  hariç) çok fazla değişmemiştir. Buna yapıda diğerlerine nazaran daha fazla bulunan Cu'nun neden olduğu düşünülmektedir.

## 7.2. DİRENÇ

Çizelge 6.1'de kimyasal kompozisyonları verilen A, B, C ve D grubu numunelerin Çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'de direnç ölçüm cihazında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilmiş, ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası numunelerin elektrik akımına karşı gösterdikleri dirençlerin ölçümleri görülmektedir.

Çizelge 7.1. A grubu numune direnç değerleri

A GURUBU NUMUNELER	ISIL İŞLEM ÖNCESİ		ISIL İŞLEM SONRASI		SOĞUTMA	160 °C TEMPERLEME (Yaşlandırma) Isıl işlemi
	Numune No	Direnç değeri (mΩ)	Direnç değeri (mΩ)	Isıl işlem Sıcaklığı (°C)	Hava / Su Ortamları	
	1	0,013	0,013	510	Hava	
	2	0,012	0,014	510	Su	
	3	0,014	0,014	530	Hava	
	4	0,012	0,014	530	Su	
	5	0,015	0,014	550	Hava	
	6	0,015	0,014	550	Su	
	7	0,015	0,017	570	Hava	
8	0,015	0,015	570	Su		

Çizelge 7.2. B grubu numune direnç değerleri

B GURUBU NUMUNELER	ISIL İŞLEM ÖNCESİ		ISIL İŞLEM SONRASI		SOĞUTMA	160 °C TEMPERLEME (Yaşlandırma) Isıl işlemi
	Numune No	Direnç değeri (mΩ)	Direnç değeri (mΩ)	Isıl işlem Sıcaklığı (°C)	Hava / Su Ortamları	
	1	0,018	0,015	510	Hava	
	2	0,017	0,015	510	Su	
	3	0,018	0,015	530	Hava	
	4	0,018	0,015	530	Su	
	5	0,017	0,014	550	Hava	
	6	0,017	0,015	550	Su	
	7	0,017	0,016	570	Hava	
8	0,017	0,017	570	Su		

Çizelge 7.3. C grubu numune direnç değerleri

C GURUBU NUMUNELER	ISIL İŞLEM ÖNCESİ		ISIL İŞLEM SONRASI		SOĞUTMA	160 °C TEMPERLEME (Yaşlandırma) Isıl işlemi
	Numune No	Direnç değeri (mΩ)	Direnç değeri (mΩ)	Isıl işlem Sıcaklığı (°C)	Hava / Su Ortamları	
	1	0,018	0,015	510	Hava	
	2	0,018	0,016	510	Su	
	3	0,017	0,016	530	Hava	
	4	0,017	0,016	530	Su	
	5	0,018	0,015	550	Hava	
	6	0,018	0,016	550	Su	
	7	0,018	0,016	570	Hava	
8	0,018	0,016	570	Su		

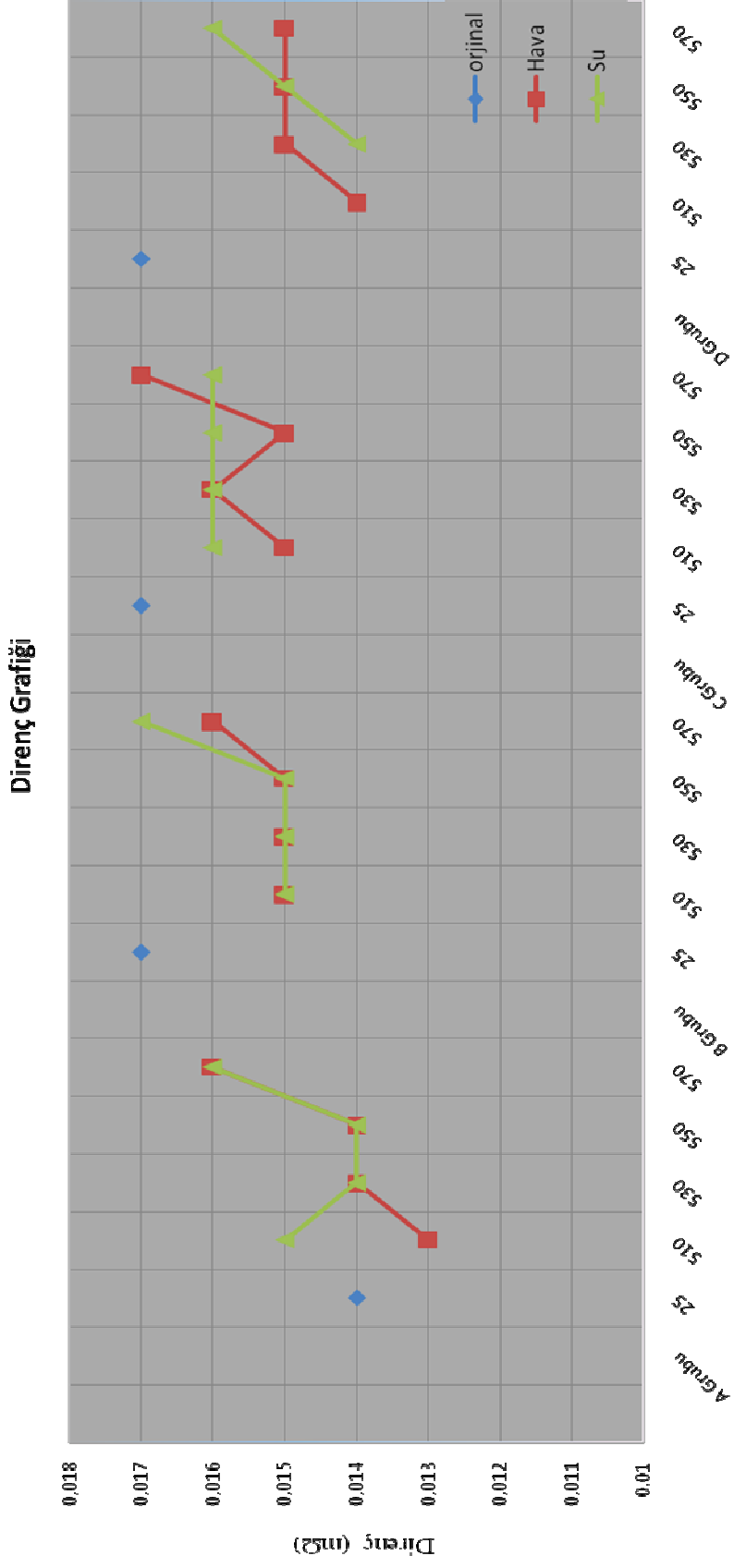
Çizelge 7.4. D grubu numune direnç değerleri

D GURUBU NUMUNELER	ISIL İŞLEM ÖNCESİ		ISIL İŞLEM SONRASI		SOĞUTMA	160 °C TEMPERLEME (Yaşlandırma) Isıl işlemi
	Numune No	Direnç değeri (mΩ)	Direnç değeri (mΩ)	Isıl işlem Sıcaklığı (°C)	Hava / Su Ortamları	
	1	0,018	0,014	510	Hava	
	2	0,018	0,014	510	Su	
	3	0,018	0,015	530	Hava	
	4	0,018	0,014	530	Su	
	5	0,016	0,015	550	Hava	
	6	0,018	0,015	550	Su	
	7	0,018	0,015	570	Hava	
8	0,018	0,016	570	Su		

Çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'de gösterilen A, B, C ve D grubu olarak sınıflandırılan numunelerin direnç ölçüm değerleri temel alındığında; ısıl işlem sonrası numune

dirençlerinde, çok fazla olmamakla birlikte bir miktar düşüşler gözlenebilmektedir. Şekil 7.6'da direnç değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir. Grafikten A, B, C ve D grubu numunelerin direnç değerleri 0,014 ile 0,016 m $\Omega$  arasında değişmektedir. Bununla birlikte A grubu numuneleri en az elektrik direncini göstermektedir. Mikroyapı incelemelerinden, A grubunda bulunan Mg<sub>2</sub>Si fazları diğer gruplardan çok fazla değişiklik göstermemekle birlikte daha fazla Mg ve Si'un daha fazla Mg<sub>2</sub>Si fazı oluşturacağı beklenen bir durumdur. Diğer taraftan, Çizelge 6.1 incelendiğinde yapıda en az Cu ve Fe bulunan bir gruptur. Al içerisinde eser halde bulunan Fe ve Cu'ın elektrik iletkenliğini negatif yönde etkilediği diğer araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir [19].





Sıcaklık (°C)

Şekil 7.6 Direnç grafiği

### 7.3. MEKANİK DENEYLER

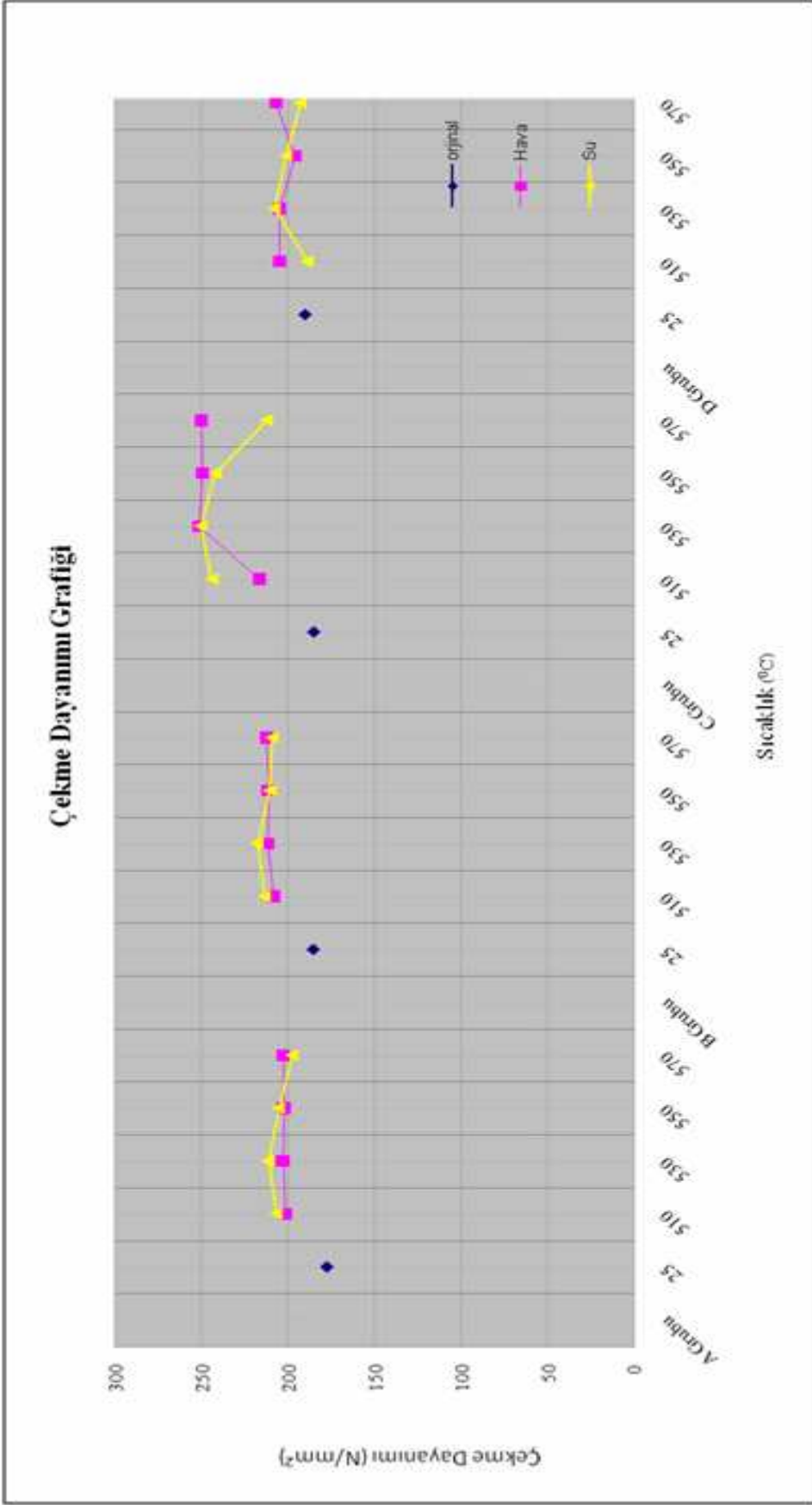
Çizelge 6.1’de kimyasal kompozisyonları verilen A, B, C ve D grubu numunelerin Çizelge 7.5’de çekme dayanımları verilmektedir. Ayrıca Şekil 7.7, 7.8 ve 7.9’de çekme, akma ve uzama grafikleri verilmektedir.

Çizelge 7.5. Çekme dayanım değerleri

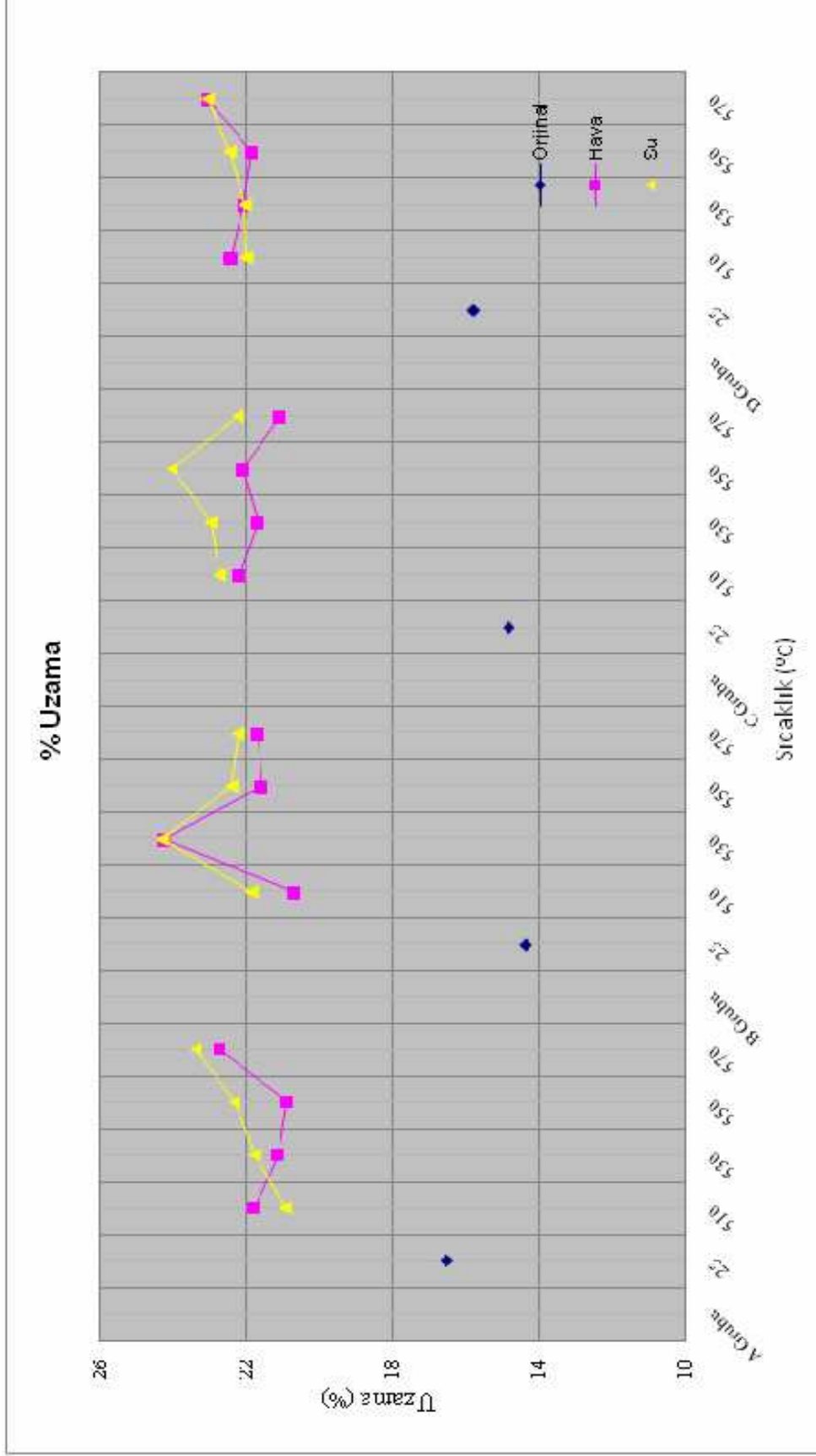
Numune No	Tavlama Sıcaklığı °C	Soğutma Ortamı Hava/Su	A Grubu Çekme N/mm <sup>2</sup>	B Grubu Çekme N/mm <sup>2</sup>	C Grubu Çekme N/mm <sup>2</sup>	D Grubu Çekme N/mm <sup>2</sup>
Orijinal (Isıl İşlem Görmemiş)	-----	-----	180,658	185,61	185,32	190,347
1	510	Hava	201,2	208,607	217,723	205,007
2	510	Su	205,504	217,163	244,254	212,152
3	530	Hava	203,175	211,872	256,988	204,933
4	530	Su	211,906	222,485	250,75	208,023
5	550	Hava	202,366	211,373	248,045	195,998
6	550	Su	205,818	213,654	242,384	205,123
7	570	Hava	202,846	212,403	250,403	206,88
8	570	Su	197,915	210,369	210,988	195,401

Çizelge 7.5’teki çekme dayanımı değerleri incelendiğinde; A, B ve D grubu numunelerinin yakın çekme dayanımları olduğu gözlemlenirken, C grubu numunelerin çekme dayanımlarında ise bir miktar artış gözlenmektedir. Bu artışın Mg<sub>2</sub>Si fazının boyutu ve morfolojisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Mikroyapı incelemelerinden, özellikle 530 ve 550 °C ısıl işlem görmüş numunelerin

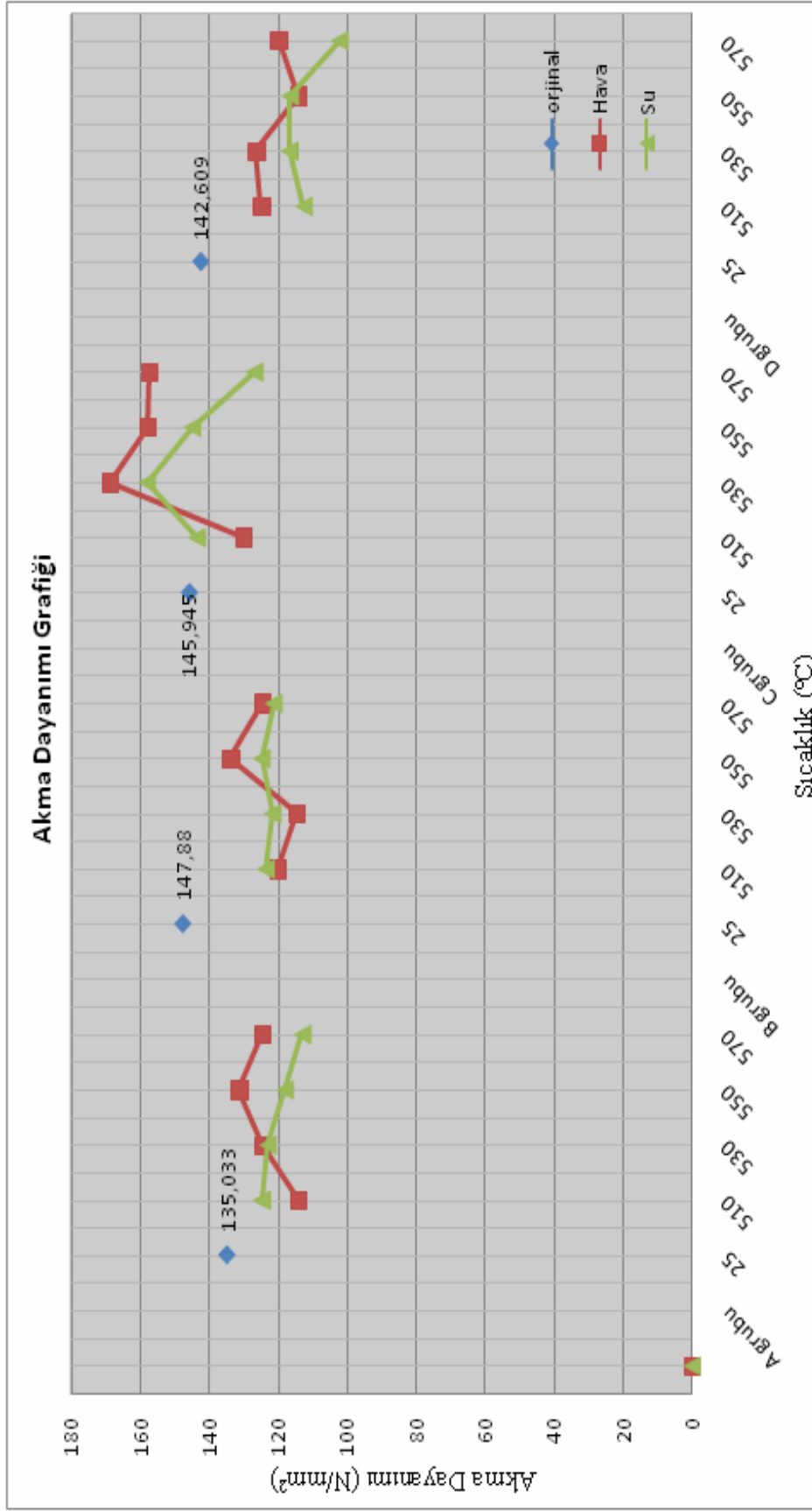
mikroyapılarında bulunan  $Mg_2Si$  fazının daha ince ve daha homojen dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Akma dayanımları (Şekil 7.9. ) dikkate alındığında yine C grubunun akma dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir ki çekme dayanımı ile paralellik göstermektedir. Diğer taraftan uzama değerleri arasında çok fazla dağılım gözlenmemiştir. Bu da uzamanın ana etkeninin  $\alpha$  matris olduğunu ve bu boyut ve miktardaki  $Mg_2Si$  fazlarının % uzamaya çok fazla etki göstermediğini ifade etmektedir.



Şekil 7.7. Çekme dayanım grafiği



Şekil 7.8. % Uzama grafiği



Şekil 7.9. Akma dayanım grafiği

#### 7.4. SERTLİK İNCELEMELERİ

C grubu numunelerin 510 ve 570 °C'deki ve A grubu numunelerin 530 °C de hava ve sudaki soğutma sonucunda mikro sertlik değerleri Çizelge 7.6'da verilmektedir. Çizelge 7.6 kıyaslama açısından ayrıca C numunelerinin orijinal (ısıtıl işlem görmemiş) sertlik değerleri ile A grubu numunelerin 530 °C deki hava ve suda soğutma sonucu sertlik değerlerini de vermektedir. Orijinal C grubu numunenin ortalama sertlik değeri 37 HV iken ısıtıl işlem sonucunda sertlik değerleri oldukça yükselerek 510 °C de havada soğutulmuş numunelerin mikrosertliği 70 HV'ye yükselmiştir. Aynı şartlarda fakat suda soğutma ile sertliğin bir miktar azalarak ortalama 65 HV'ye düştüğü gözlenmiştir. Suda soğutma ile bir miktar sertlik düşüşü daha önce açıklandığı üzere buhar tabakası nedeni ile aslında soğuma hızının azalmasına dayandırılmaktadır. Aynı eğilim aynı malzemede ve 570 °C için de geçerlidir ve aynı zamanda A grubu numunelerinin de benzer eğilimi göstermesi yukarıdaki savı desteklemektedir. Sertlik artışının ısıtıl işlem sonucu meydana gelen intermetalik çökeltilerden meydana geldiği öngörülmektedir.

Çizelge 7.6. Mikro Sertlik Değerleri

<b>Numune Kodu</b>	<b>Mikro Sertlik Değeri (HV) ± 5 HV</b>
C Grubu Orjinal	37
C510H	70
C510S	65
C570H	60
C570S	55
A530H	35
A530S12	32

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 8.1. SONUÇLAR

Yüksek gerilim hat kabloları imalatında kullanılan 6101 Alüminyum alaşımı filmaşın çubuklarının farklı bileşim, ısıl işlem sıcaklıkları ve farklı soğutma ortamlarına bağlı elektrik iletimine gösterdikleri direnç ve mekanik özelliklerin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. 6101 Alüminyum alaşımlarında bulunan Mg ve Si oranlarındaki çok küçük değişimler dahi elektrik direncini etkilemektedir. Mg ve Si miktarının artışı ile direnç artmaktadır.
2. Verilen bir filmaşın için Mg ve Si miktarı aynı kalmak koşulu ile eser oranda bulunan Fe ve Cu miktarının artışı elektrik direncini artırmaktadır.
3. 6101 alüminyum alaşımlarında çekme ve akma mukavemetleri ısıl işlem sıcaklığının artışı ile C grubu haricinde kayda değer bir değişiklik göstermemiştir.
4. Isıl işlem sıcaklığı değişimi ve soğutma ortamı 6101 Alüminyum alaşımı filmaşınların % uzamalarına kayda değer değişiklik meydana getirmemiştir.
5. 6101 Alüminyum alaşımlarında havada soğutmanın suda soğutmaya göre daha etkili olduğu gözlenmiştir.
6. 6101 Alüminyum alaşımlarında kabul edilebilir elektrik direnci için en iyi çekme, akma mukavemeti ile % uzama değerlerinin C bileşimindeki filmaşın olduğu ve 530-550 °C aralığında ısıl işleme tabi tutulması gerektiği gözlenmiştir.



## 8.2. ÖNERİLER

1. 6101 serisi Alüminyum alaşım üretiminde sürekli döküm hattında ilk mamul'ün (bara) katılma süreci sıkı takip edilerek proses parametrelerinin (örn: döküm sıcaklığı, degazer oranı ve süresi vb.) elektrik direncine etkileri araştırılabilir.
2. Sürekli hadde öncesi sürekli dökümden çıkan baranın haddeleme oranı ve sıcaklığının direnç üzerine etkisi araştırılabilir.
3. Fe ve Cu oranlarının hem elektrik direncine hem de mekanik özelliklere etkisinin daha detaylı incelenmesi açısından aynı Mg ve Si oranına sahip 6101 alaşımının daha geniş aralıklardaki Fe ve Cu miktarları ile çalışılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Demiray O. Z., “İletken malzeme olarak alüminyum”, *Elektrik Mühendisliği Odası Yayınları*, İstanbul, 318-319 (1998).
2. Karabay, S., Yılmaz, M. ve Zeren, M. “Investigation of extrusion ratio effect on mechanical behaviour of extruded alloy AA-6101 from the billets homogenised-rapid quenched and as-cast conditions”, *Journal of Materials Processing Technology*, 5(160): 138-147 (2005).
3. Su. Ş., “2XXX Grubu alaşımlarda katı eriyiğe alma sıcaklık ve süresinin yaşlanma sonrası özelliklere etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 21-49 (1988).
4. Keyser. C. A., “Basic theories, principles and applications”, *Prentice Hall*, New York, 75-81 (1989).
5. Stoughton. B., Allison. B. and Ardrey. M. B., “Copper alloys heat transmission 2nd ed”, *Mc Graw Hill*, New York, 127-131 (1953).
6. Cairns, J. H., and Gilbert. P. T., “The technology of heavy non-ferrous metals and alloys”, *George Newnes Limited*, London, 61-70 (1967).
7. Yükler. İ., “Alüminyum alaşımları ve ısı işlemleri”, *MÜTEF Ders Notları*, İstanbul, 120-150 (2000).
8. “The welding of aluminium and its alloys”, *ASM Specialty Handbook*, 30-165 (1993).
9. “Specification for aluminium and aluminium alloys designation”, *ASTM Standart* (2003).
10. Sun Y. “Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-52 (1998).
11. Hufnagel. W., “Key to aluminium alloys designation, composition, trade names of aluminium Materials”, *Aluminum-Zentrale*, 2(7): 120-132 (1982).
12. Mathers. G., “The welding of aluminium and its alloy”, *Woodhead Publishing Limited*, England, 140-165 (2002).
13. “Aluminium and aluminium alloys”, *ASM Specialty Handbook*, 62-123 (1993).
14. Grunauer, H. ve Gürleyik, M. Y., “Döküm parçalarının sürtünme kaynağı”, *Mühendis ve Makine dergisi*, 30(357): 13-17 (1989).
15. Kınıkoğlu, N. G., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”, *Literatür yayınları*, İstanbul, 25-100 (2001).

16. Erdoğan M., “Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri (Demir dışı alaşımlar)”, *Nobel Yayınları*, Ankara, 340-392 (2001).
17. Gupta, D. J. and Lloyd, S. A., “Count precipitation hardening processes in an Al-0,4% Mg-1,3% Si-0.25% Fe aluminum alloy”, *Materials Science and Engineering*, (301): 140-146 (2001).
18. Halıcı İ., “Etial-60 Alüminyum alaşımında homojenizasyon uygulamasının düşük soğuk deformasyon-yeniden kristalleşme üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 25-45 (1996).
19. Karabay, S., “Modification of AA-6201 alloy for manufacturing of high conductivity and extra high conductivity wires with property of high tensile stress after artificial aging heat treatment for all-aluminium alloy conductors”, *Materials and Design*, (27): 821-832 (2006).
20. Havard, D. and Motlis, G., “Spacer Damper Spacing to Reduce Damage due to Aeolian and Wake Induced Vibration”. *Electricity 94th Conference for the Electric Power Industry*, Canada 20-24, (1994).
21. Askeland, D. R., “*The Science and Engineering of Metarials*”, Chapman&Hall, 385-423 (1990).
22. Demir. E., “Alüminyum alaşımlarda ısıl işlem etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 6-33 (2008).
23. Geçkinli, L. F., “Alüminyum ve alaşımlarının ısıl işlemi”, *2. Isıl işlem sempozyumu*, İstanbul, (2002).
24. “The American Society for Testing and Materials”, *ASTM*, B618-B108, B108.
25. İnternet: “European Aluminium Association and the University of Liverpool partnership program” [http:// aluminium.matter.org.uk](http://aluminium.matter.org.uk)
26. Dorward, R. C. And Bouvier, C., “A Rationalization of factors affecting strength, ductility and toughness of AA 6061-type Al-Mg-Si (Cu) alloys”, *Materials Science and Engineering* 254, 33-44 (1998).
27. Cavazos, J. L., and Colas, R., “Precipitation in a heat-treatable aluminium alloy cooled at different rates”, *Materials Characterization*, (47): 175-179 (2001).
28. Dons, A. L., “The alstruc homogenization model for industrial aluminium alloys”, *Journal of Light Metals*, (1): 133-149 (2001).
29. Karabay, S., “Influence of AlB<sub>2</sub> compound on elimination of incoherent precipitation in artificial aging of wires drawn from redraw rod extruded from

billets cast of alloy AA 6101 by vertical direct chill casting”, *Material and Design*, (29): 1364-1375 (2008).

30. Cabibbo, M., Spigarelli, S., and Evangelista, E., “A TEM investigation on the effect of semisolid forming on precipitation processes in an Al-Mg-Si alloy”, *Materials Characterization*, (49): 193-202 (2003).
31. Oppenheim, T., and Tewfic, S., “On the correlation of mechanical and physical properties of 6061-T6 and 7249-T76 aluminium alloys” *Engineering Failure Analysis*, (14): 218-225 (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Şakir KARASU, 1982 yılında KAYSERİ' de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı ilde tamamladı. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesini Metal Eğitimi Döküm Öğretmenliği bölümüne başladı, 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir. İş yaşamını 2008 yılından itibaren Has Çelik grup şirketi Coreal Alüminyum Kablo A.Ş.'de sürdürmektedir.