

**T.C**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**AL- 2024 ALAŞIMININ İLETKENLİĞİNE ISIL İŞLEMİN  
ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Gökhan Şerif GÜNER**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri**

**Malzeme Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TURHAN**

**OCAK-2018**

**T.C**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL- 2024 ALAŞIMININ İLETKENLİĞİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİNİN**  
**DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökhan Şerif GÜNER**

**(141140105)**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri**

**Bilim Dalı: Malzeme**

**Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TURHAN**

**OCAK-2018**

T.C

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AI - 2024 ALAŞIMININ İLETKENLİĞİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİNİN  
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan Şerif GÜNER

(141140105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.01.2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 31.01.2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin TURHAN (Fırat Üniv.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Serkan ÖZEL (Bitlis Eren Üniv.)

Doç.Dr. Hülya DEMİRÖREN (Fırat Üniv.)

OCAK-2018

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren ve her konuda beni destekleyip yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Hüseyin TURHAN' a, yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar bana her konuda yardımını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Horik KORKUT' a, iletkenlik ölçümleri sırasında bana yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU' na teşekkürü borç bilirim. Ayrıca tez çalışmalarımda her zaman her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, tezimin düzenlenmesinde emeği geçen arkadaşım Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Semih TAŞKAYA' ya teşekkürü bir borç bilirim.

**Gökhan Şerif GÜNER**

**ELAZIĞ, 2018**

## İÇİNDEKİLER

|                                                               | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ .....                                                   | I               |
| İÇİNDEKİLER.....                                              | II              |
| ÖZET .....                                                    | IV              |
| SUMMARY .....                                                 | V               |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                        | VI              |
| TABLolar LİSTESİ .....                                        | VIII            |
| 1. GİRİŞ.....                                                 | 1               |
| 1.1. Tezin Amacı.....                                         | 2               |
| 2. ALÜMİNYUM METALİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE DÜNYADAKİ YERİ.3  |                 |
| 2.1. Alüminyum Metalinin Tarihçesi ve Genel Özellikleri ..... | 3               |
| 2.2. Alüminyum – Bakır Alaşımları .....                       | 5               |
| 2.3. Dünya Alüminyum Üretimi ve Tüketimi.....                 | 6               |
| 2.4. Türkiye’de Alüminyum Üretimi .....                       | 8               |
| 2.5. Alüminyum ve Diğer Mühendislik Uygulamaları .....        | 9               |
| 2.6. Alüminyum Alaşımlarının Standartlarda Gösterilişi .....  | 12              |
| 2.7. Alüminyumun Kullanıldığı Elektriksel Malzemeler .....    | 14              |
| 2.7.1. Baralar: .....                                         | 14              |
| 2.7.2. Kablo: .....                                           | 14              |
| 2.7.3. Havai Hatlar:.....                                     | 14              |
| 2.7.4. Motorlar:.....                                         | 14              |
| 2.7.5. Soğutma Elemanları: .....                              | 15              |
| 2.7.6. Alüminyum Sargılar: .....                              | 15              |
| 2.8. Alüminyum Üretim Yöntemleri.....                         | 15              |
| 2.8.1. Birincil Alüminyum Üretimi .....                       | 16              |
| 2.8.2. İkincil Alüminyum Üretim Yöntemleri.....               | 17              |
| 2.9. Alüminyum Döküm Alaşımları .....                         | 18              |
| 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ.....                | 20              |

|           |                                                                                                      |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.      | Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler .....                                              | 20        |
| 3.2.      | Çökelme Sertleşmesi.....                                                                             | 21        |
| 3.2.1.    | Çözeltiye Alma İşlemi .....                                                                          | 23        |
| 3.2.2.    | Su Verme .....                                                                                       | 23        |
| 3.2.3.    | Yaşlandırma.....                                                                                     | 24        |
| 3.3.      | Elektriksel İletkenlik.....                                                                          | 25        |
| 3.4.      | Elektriksel Öz direnç .....                                                                          | 26        |
| 3.5.      | Elektriksel İletkenlik Ölçüm Yöntemleri.....                                                         | 27        |
| 3.6.      | İki prob (2-Probe) Yöntemi .....                                                                     | 28        |
| 3.7.      | Dört prob (4- Probe) yöntemi .....                                                                   | 29        |
| <b>4.</b> | <b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>                                                                      | <b>33</b> |
| 4.1.      | Deneyde kullanılan malzemeler ve hazırlanışı .....                                                   | 33        |
| <b>5.</b> | <b>DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>                                                    | <b>38</b> |
| 5.1.      | İletkenlik Değerinin Hesaplanması.....                                                               | 38        |
| 5.2.      | Optik Mikroskop İncelemeleri.....                                                                    | 40        |
| 5.3.      | Tane Sayılarıyla İletkenlik Arası İlişki .....                                                       | 45        |
| 5.4.      | EDS (Energy Dispersive Spectrometer) Enerji Dağılımlı Spektrometresi Noktasal Analiz Sonuçları ..... | 47        |
| <b>6.</b> | <b>GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                                               | <b>58</b> |
|           | <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                | <b>59</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                 | <b>63</b> |

## ÖZET

### **AL- 2024 ALAŞIMININ İLETKENLİĞİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Bu çalışmada elektrik iletkenliğin Al – 2024 alaşımının iletkenliğine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada farklı ısıtma işlemleri uygulanarak Al – 2024 malzemesinde iletkenliğin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Malzemelerin bazıları farklı sıcaklıklarda ısıtılmıştır, bazıları ise aynı sıcaklıkta ısıtılıp farklı soğuma koşullarında soğutulularak iletkenlikleri ölçülmüştür. İletkenlik ölçüm işleminden sonra malzemeler parlatma işlemi için soğuk bakalite alınmıştır. Soğuk bakalite alınan malzemeler zımparalanıp, dağlandıktan sonra mikro optik mikroskopta iç yapı fotoğrafları çekilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl işlem, Al – 2024, İletkenlik.

## **SUMMARY**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT OF CONDUCTIVE ALUMINUM 2024 ALLOYS**

In this study, the effect of electrical conductivity on the conductivity of Al - 2024 alloy was investigated. In the experimental work, it was observed how the conductivity changed in Al - 2024 material by applying different heat treatments.

Some of the materials were heated at different temperatures and others were heated at the same temperature and cooled at different cooling conditions to measure their conductivity. After the conductivity measurement, cold bakalite is taken for the polishing process of the materials. The cold mounting materials received sanded, internal structure at the micro optical microscope photograph was taken after etched.

**Keywords:** Heat treatment, Al - 2024, Conductivity.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Kıtalar bazında tahmini 2030 yılı alüminyum üretimi .....                                                       | 8  |
| Şekil 2.2. AUDİ A3 levhadan üretilmiş ön bölümü .....                                                                      | 9  |
| Şekil 2.3. Hidrolik pompa .....                                                                                            | 10 |
| Şekil 2.4. Alüminyum malzemeden üretilmiş motor .....                                                                      | 15 |
| Şekil 2.5. Birincil alüminyum üretimi proses akım şeması.....                                                              | 17 |
| Şekil 2.6. El ile hurda ayıklama .....                                                                                     | 18 |
| Şekil 3.1. Çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi için sıcaklık-zaman diyagramı. ....                                           | 22 |
| Şekil 3.2. Denge durumunda solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi .....                                                  | 23 |
| Şekil 3.3. Çözündürme ve yaşlandırma adımlarının dahil olduğu çökelme sertleşmesini gösteren resim .....                   | 25 |
| Şekil 3.4. Yaşlanma aşamalarının gösterimi. (a) Solüsyona alma aşaması, (b) Dinlenme aşaması, (c) Yaşlandırma aşaması..... | 25 |
| Şekil 3.5. İki nokta elektriksel iletkenlik ölçüm tekniği .....                                                            | 28 |
| Şekil 3.6. Yüksek direnç ölçümleri için sabit-gerilim metodu.....                                                          | 29 |
| Şekil 3.7. Dört nokta prob ölçme sisteminin esası .....                                                                    | 30 |
| Şekil 3.8. Metal plakanın öz direncinin 4 prob yöntemiyle ölçülmesi.....                                                   | 31 |
| Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan numunelerin örnek resmi .....                                                             | 34 |
| Şekil 4.2. İletkenlik ölçüm cihazı.....                                                                                    | 35 |
| Şekil 4.3. Soğuk bakalit ile kalıplanmış numuneler .....                                                                   | 36 |
| Şekil 4.4. Struers marka zımparalama cihazı .....                                                                          | 36 |
| Şekil 4.5. Struers marka parlatma cihazı.....                                                                              | 37 |
| Şekil 4.6. Mikro yapı incelemelerinin yapıldığı optik mikroskop cihazı.....                                                | 37 |
| Şekil 5.1. Farklı ısıtma işlemlere göre numunelerin iletkenlik gösterimi .....                                             | 40 |
| Şekil 5.2. N1 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 40 |
| Şekil 5.3. N2 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 41 |
| Şekil 5.4. N3 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 41 |
| Şekil 5.5. N4 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 42 |
| Şekil 5.6. N5 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 42 |
| Şekil 5.7. N6 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme .....                                         | 43 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.8.</b> N7 numunesine ait mikroyapı resmi <b>a)</b> 100x büyütme <b>b)</b> 200x büyütme .....   | 43 |
| <b>Şekil 5.9.</b> N8 numunesine ait mikroyapı resmi <b>a)</b> 100x büyütme <b>b)</b> 200x büyütme .....   | 44 |
| <b>Şekil 5.10.</b> N9 numunesine ait mikroyapı resmi <b>a)</b> 100x büyütme <b>b)</b> 200x büyütme .....  | 44 |
| <b>Şekil 5.11.</b> N10 numunesine ait mikroyapı resmi <b>a)</b> 100x büyütme <b>b)</b> 200x büyütme ..... | 45 |
| <b>Şekil 5.12.</b> Tane sayısı ile iletkenlik arası ilişkiyi gösteren grafik (100x) .....                 | 46 |
| <b>Şekil 5.13.</b> Tane sayısı ile iletkenlik arası ilişkiyi gösteren grafik (200x) .....                 | 47 |
| <b>Şekil 5.14.</b> N1 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafları .....                         | 47 |
| <b>Şekil 5.15.</b> N1 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 48 |
| <b>Şekil 5.16.</b> N2 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafları .....                         | 48 |
| <b>Şekil 5.17.</b> N2 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 49 |
| <b>Şekil 5.18.</b> N3 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafı.....                             | 49 |
| <b>Şekil 5.19.</b> N3 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 50 |
| <b>Şekil 5.20.</b> N4 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafı.....                             | 50 |
| <b>Şekil 5.21.</b> N4 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 51 |
| <b>Şekil 5.22.</b> N5 numunesine ait SEM fotoğrafı .....                                                  | 51 |
| <b>Şekil 5.23.</b> N5 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 52 |
| <b>Şekil 5.24.</b> N6 numunesinin SEM fotoğrafı .....                                                     | 52 |
| <b>Şekil 5.25.</b> N6 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 53 |
| <b>Şekil 5.26.</b> N7 numunesinin SEM fotoğrafı ve EDS analiz noktası.....                                | 53 |
| <b>Şekil 5.27.</b> N7 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 54 |
| <b>Şekil 5.28.</b> N8 numunesinin SEM fotoğrafı .....                                                     | 54 |
| <b>Şekil 5.29.</b> N8 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 55 |
| <b>Şekil 5.30.</b> N9 numunesinin EDS analiz noktasının SEM fotoğrafı .....                               | 55 |
| <b>Şekil 5.31.</b> N9 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                     | 56 |
| <b>Şekil 5.32.</b> N10 numunesinin EDS analiz noktasının SEM fotoğrafı .....                              | 56 |
| <b>Şekil 5.33.</b> N10 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği.....                                    | 57 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Alüminyumun fiziksel özellikleri.....                                     | 5  |
| <b>Tablo 2.2.</b> Alüminyum – bakır alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları..... | 6  |
| <b>Tablo 2.3.</b> Dünya alüminyum tüketimi .....                                            | 7  |
| <b>Tablo 2.4.</b> Avrupa’da alüminyum kutu üretimi ve geri dönüşümü.....                    | 11 |
| <b>Tablo 2.5.</b> Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı .....                       | 12 |
| <b>Tablo 2.6.</b> Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri .....                           | 19 |
| <b>Tablo. 3.1.</b> Temel temper tasarımları.....                                            | 21 |
| <b>Tablo. 3.2.</b> Isıl işlem uygulanmış alt bölümler .....                                 | 21 |
| <b>Tablo. 3.3.</b> İletkenliğin sınıflandırılması .....                                     | 26 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin değerleri.....                 | 26 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Alüminyum 2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu .....                     | 33 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Yapılan Isıl İşlemleri, iletkenlik ve tane boyutunu gösteren çizelge..... | 34 |
| <b>Tablo 5.1.</b> N1 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 48 |
| <b>Tablo 5.2.</b> N2 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 49 |
| <b>Tablo 5.3.</b> N3 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 50 |
| <b>Tablo 5.4.</b> N4 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 51 |
| <b>Tablo 5.5.</b> N5 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 52 |
| <b>Tablo 5.6.</b> N6 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 53 |
| <b>Tablo 5.7.</b> N7 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 54 |
| <b>Tablo 5.8.</b> N8 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 55 |
| <b>Tablo 5.9.</b> N9 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....               | 56 |
| <b>Tablo 5.10.</b> N10 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu .....             | 57 |

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda alüminyum ve alaşımlarının kullanımı endüstrideki birçok uygulamada artış göstermiştir. Otomotiv endüstrisi ise alüminyum dökümler ve döküm ürünler için en geniş pazardır. Alüminyum havacılık, denizci motorları, uçak sanayi, ambalaj sanayi ve yapı endüstrisi gibi başka uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptir. Buna ek olarak küçük alet parçaları, el takımları, diğer makine araç gereçlerinde ve ayrıca daha binlerce değişik alüminyum döküm ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, sanayinin ağırlık korumak ve verim geliştirmek için yeni yollar aramasıyla gittikçe büyüyecektir. Bununla birlikte ürünlerin kalitesi ve güvenilirliğinin elde edilmesi de kritik bir öneme sahip olmaya başlamıştır. Bu sebepten dolayı son yıllarda meydana gelen gelişmeler alüminyumun özelliklerini etkileyen kalite faktörleri üzerine odaklanmıştır [1].

Alüminyum alaşımları bükme, haddeleme, presleme, tel çekme vb. birçok üretim yöntemi için uygundur. Ayrıca sanayi alanında çoğu alüminyum alaşımı talaş kaldırılarak şekillendirilmektedir. Günümüz imalat sektörü daha uzun ömürlü kesici takım ve kaliteli iş parçası üretilen hammadde israfını önlemeyi amaçlamaktadır. Bunun için her malzemenin işlenmesinde olduğu gibi alüminyum malzemesinin de işlenmesinde kesme şartlarının optimize edilmesi gerekmektedir [2].

Alüminyum alaşımlarının en yaygın olarak kullanılanları 2024, 7075, 5052 ve 6061 olarak tanımlanan alaşımlardır. Özellikle ilk ikisi çok yaygın olarak kullanılır. Kullanım yerlerine ve uygulanacak şekil verme işlemlerine göre farklı alaşımlar mevcuttur. Günümüzde kompozitler, termoplastikler gibi hızla gelişen malzemeler alüminyuma ve diğer metallere rakip olarak uçak yapımında yaygın olarak kullanılmasına karşın, gelişen bilgisayar kontrollü tasarım ve imalat metotları ve 2 yeni gelişen alaşımlar sayesinde alüminyum uçak yapımında hala ana malzeme olarak yerini korumaktadır. Özellikle yeni geliştirilen metal yapıştırma teknikleri ile perçinsiz parça grupları yapılabilmektedir [3].

Al-2024 malzemesi üzerinde daha önce yapılan literatür çalışmalarını incelediğimizde Cahit Bilgi uçaklarda kullanılan Al 2024 alaşımlarında karbon fiber kompozitlerde termografinin deneysel incelenmesini gerçekleştirmiştir [4]. Ayşegül ÇAKIR tarafından talaşlı imalatta kullanılan kesme sıvısının olumsuz etkilerini yok etmek, üretim maliyetini düşürmek ve ürün kalitesini artırmak için son yıllarda kullanılan Minimum Miktarla Yağlama (MMY) yöntemini incelemiştir [5].

### 1.1. Tezin Amacı

Bu tez, Al -2024 alaşımına ısıı işlem uygulanarak elektriksel iletkenliği üzerindeki değişimlerin araştırılması üzerine yapılmış bir çalışmadır. Bu tezdeki tüm çalışmalar laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş, toplanan veriler karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde Alüminyum malzemesi hakkında literatür bilgilerine yer verilmiştir. Alüminyum metalinin tarihçesi, genel zelikleri, Alüminyum – Bakır alaşımlarını genel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

nc bölümde alüminyum malzemesine uygulanan ısıı işlemler hakkında bilgi verilmiştir. Isıı işlem uygulaması bir süreç olarak kabul edilmiş olup göz önüne alınan aşamalar hakkında detaylı bilgilere değinilmiştir. Metallerin elektriksel iletkenliklerine etki eden parametreler, iletkenlik ölçüm yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde yapılan deneysel çalışmalar ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde Al- 2024 malzemesinin kimyasal kompozisyonu belirtilmiştir. Yapılan ısıı işlemler ve yapıldıktan sonraki iletkenlikleri, tane sayıları tespit edilmiştir. Malzemenin metalografik incelemeye tabii tutulması için yapılan soğuk bakalite alma işlemi, zımparalama ve dağlama işlemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bu alışmada Al – 2024 malzemesine farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıı işlemlerin elektriksel iletkenliğine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

## 2. ALÜMİNYUM METALİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE DÜNYADAKİ YERİ

### 2.1. Alüminyum Metalinin Tarihçesi ve Genel Özellikleri

Alüminyum, alum adı altında Latince’de 'alumen' olarak adlandırılmıştır. Bu isim, 1808’de alüminyumun alüminyumdan (alüminyum oksit) elektrolit redüksiyonla üretilebileceğini keşfetmiş olan İngiliz kimyager Humphry Davy tarafından verildi, ancak teoriyi uygulamada ispatlanamadı. Danimarkalı Hans Christian Oersted 1825 yılında başarılı oldu; ancak görünüşte saf alüminyumdan ziyade deneylerde kullanılan elementlerle bir alüminyum alaşımı üretti. 22 Ekim 1827’ de 30 gram alüminyum tozu ile çalışmaya karar veren Alman kimyager olan Friedrich Woehler, Hans Cristianın çalışmalarını sürdürdü. Friedrich’ in katılaştırmış ergimiş alüminyumdan küçük toplar oluşturmaları için 18 yıllık bir çalışma daha yaptı. 1845’ te seçkin bir Fransız kimyager ve teknisyen olan Henri- Etienne Sainte – Clarie Deville, bilim adamları tarafından keşfedilen alüminyum üretim kimyasal yöntemini endüstriyel uygulamaya aktardı [6].

Alüminyumun gelişimi, 1886’ da daha düşük maliyetli bir elektrolitik üretim yönteminin keşfedilmesiyle değişti. Fransız bir mühendis olan Paul Heroult ve Amerikan öğrencisi Charles Hall tarafından bağımsız ve aynı anda geliştirildi. Yöntem, kriyolit içindeki erimiş alüminyum oksidin indirgenmesini içeriyordu. Bu yöntem mükemmel sonuçlar verdi, ancak çok fazla elektrik enerjisi istendi [6].

Alüminyum, XIX ve XX yüzyılların başında çeşitli şekillerde kullanılmaya başlandı ve bu da yeni bir endüstri dalında gelişme için bir teşvik oluşturdu. Alfred Nobel, 1891’ de İsviçre’de, bir alüminyum gövde kullanan ilk yolcu gemisi olan Le Migron’un kurulmasını emretti. Üç yıl sonra, Yarrow & Co’nun İskoç gemi inşaatı, Sokol adlı alüminyumdan 58 metrelik bir torpido gemisi yarattı. Sokol, Rus İmparatorluğu’nun Donanması için yapılmış ve 32 knotluk bir hızda hızlanarak zamanın rekoru kırılmıştı.

New Haven, New York’taki New Haven, Hartfoed Demiryolunda daha sonra bankacı John Pierpont Morgan’ın sahibi olduğu Amerikan demiryolu şirketi, alüminyum koltuklarla özel hafif yolcu demiryolu araçları üretmeye başladı. Sadece 5 yıl sonra Karl Benz, Berlin’deki bir sergide alüminyum gövdeli ilk spor otomobilini sundu.

Anahtar bir alüminyum alaşımı olan dürümin 1909'da icat edildi. Bir Alman bilim adamı Alfred Wilm'in yaratması yedi yıl aldı, ancak yıllar boyu çaba sarf etti. Bakır, magnezyum ve manganez ilavesi ile Dürümin, alüminyum kadar hafiftir ancak mukavemet, sertlik ve elastikiyette belirgin olarak aştı ve havacılıkta ana malzeme haline geldi. İlk all-metal uçağın gövdesi olan Junkers J1, 1915'te dünyanın önde gelen uçak endüstrisi öncüsü olan ünlü Alman uçak tasarımcısı Hugo Junkers tarafından geliştirildi ve Duralümin'den imal edildi [6].

Yer kabuğunun 10 km derinliğine kadar %8 oranında alüminyum bulunmaktadır. Kaolen ve killer alüminyum bileşikleridir.( $Al_2O_3$ ) Yakut, zümrüt gibi kıymetli taşlar billurlaşmış alüminyum bileşikleridir. Yer kabuğunda pek çok alüminyum bileşiği varsa da alüminyum sadece boksitten elde edilir. Boksitte % 50 -60 arasında alüminyum oksit, % 15-32 su, %2-7 silisyum oksit, % 2-20 demir oksit ve % 2-4 titan oksit bulunur. İyi kalite boksitte % 50-74, düşük kalite boksitte ise % 45-50 arasında  $Al_2O_3$  bulunur. Rengi beyaz olup düşük kalitedeki boksitte % 25-30 arasında silisyum oksit ( $SiO_2$ ) bulunur. Bu düşük kalite boksit, ateş tuğlası ve şamot yapımında kullanılır [7].

Alüminyumun sanayi alanındaki yapımı ise, 1886 yılında ABD' de bulunan Charles Martin Hall ve Fransa'da bulunan Paul T. Heroult'un birbirlerinden haberleri olmadan yaptıkları elektroliz metodu ile başlamıştır. Bu, yaşadığımız çağda halen daha kullanımı devam eden metot olduğu için, 1886 senesi alüminyumun sanayideki üretiminin başlangıç yılı olarak kabul edilir [8].

1886 senesinde Werner Von Siemens'in dinamoyu icat etmesi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in boksitten alümina üretimi sağlayan Bayer prosesini keşfi ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur [8]. Alüminyum, kolaylıkla dövülebilir bir malzemedir. Makinede işlenebilir. Bünyesinde çok iyi derecede korozyon özellikleri bulundurması, yüzeyinde oluşan oksit tabakasının koruyucu özellikte olmasındandır. Saf alüminyumun çekme dayanımı düşüktür. Fakat bakır, çinko, magnezyum, manganez, ve silisyum gibi pek çok elementle alaşımlandırılıp mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Yüksek dayanım/ağırlık seviyesinden dolayı alüminyum alaşımları uçak ve uzay araçlarının vazgeçilmez bileşenidir. Tüm bu nedenlerden dolayı günümüzde alüminyum aksenli materyal kullanımı artmaktadır [9]. Alüminyumun fiziksel özellikleri Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Alüminyumun fiziksel özellikleri[9].

| Sembol                             | Al                                    |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Atom Numarası                      | 13                                    |
| Atom Ağırlığı                      | 27                                    |
| Ergime Derecesi                    | 660                                   |
| Kaynama Derecesi                   | 2300                                  |
| Isıl İletkenliği (K)               | 2.37 W/cm/K (25 °C’ de)               |
| Elektrik İletkenliği               | 64.94% (Saf Al 2 <sup>0</sup> de)     |
| Yoğunluk                           | 2.698 gr/cm <sup>3</sup> (293 K)      |
| Elektron Dizilimi                  | Ne, 3s <sup>2</sup> , 3p <sup>6</sup> |
| Enerji Seviyesi Başına Elektronlar | 2,8,3                                 |
| Element Serisi                     | Metaller                              |
| Grup, Periyot, Blok                | 13,3, p                               |
| Görünüş                            | Gümüşümsü                             |
| Kristal Yapı                       | Yüzey Merkezli Kübik                  |
| Yükseltgenme Seviyeleri            | (3+) Amfoter oksit                    |
| Elektronegatifliği                 | 1.61 Pauling Ölçeği                   |
| İyonlaşma Enerjisi                 | 577.5 kJ/mol                          |
| Atom Yarıçapı                      | 125 pm                                |

## 2.2. Alüminyum – Bakır Alaşımları

İlk dövülmüş ikili alüminyum –bakır alaşımı ABD’ de oluşturulan yaklaşık olarak bünyesinde % 5.5 Cu (nominal olarak) buulunduran 2025 alaşımıdır. 2025 alaşımı yaklaşık 1926’ da ortaya konmakla beraber halen sınırlı olarak kullanılmaktadır. % 6.3 Cu içeren (nominal olarak) dövme için 2219 alaşımı 1954’ te geliştirilmiştir, çoğu durumda 2025 alaşımı ile yer değiştirmiştir. 2219 alaşımının dayanımı daha geniş ve yüksek aralıkta olup kaynaklanabilirlik, üstün korozyon direnci, ve yüksek sıcaklık özelliklerine sahiptir.% 5.5 Cu , % 0.4 Bi ve % 0.4 Pb’li 2011 alaşımı, yüksek hız vida makine parçalarının üretimi için iyi kesme ve talaş özellikleri gerektiğinde kullanılır. Bu alaşım temel alüminyum vida- makine alaşımıdır ve alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği için kullanılır [10]. Alüminyum- bakır alaşımlarının kimyasal kompozisyon uygulamaları Tablo 2.2’ de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Alüminyum – bakır alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları [10].

| Alüminyum –bakır alaşımlarının kimyasal kompozisyon ve uygulamaları |      |     |                          |                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------|------|-----|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Alaşım                                                              | % Cu | %Mn | % Diğerleri              | Uygulamalar                                                                       |
| 2011                                                                | 5.5  |     | 0.4 Bi, 0.4 Pb           | Vida makinası ürünleri                                                            |
| 2025                                                                | 4.5  | 0.8 | 0.8 Si                   | Dövme, uçak ürünleri                                                              |
| 2219                                                                | 6.3  | 0.3 | 0.06 Ti, 0.10 V, 0.18 Zr | 660 °F' ye yapısal kullanım soğuk ve uçak parçaları için yüksek dayanım kaynaklar |
| 2219 ++                                                             | 6.3  | 0.3 | 0.06 Ki, 0.10V, 0.18Zr   | 2219 gibi artı yüksek kopma tokluğu                                               |

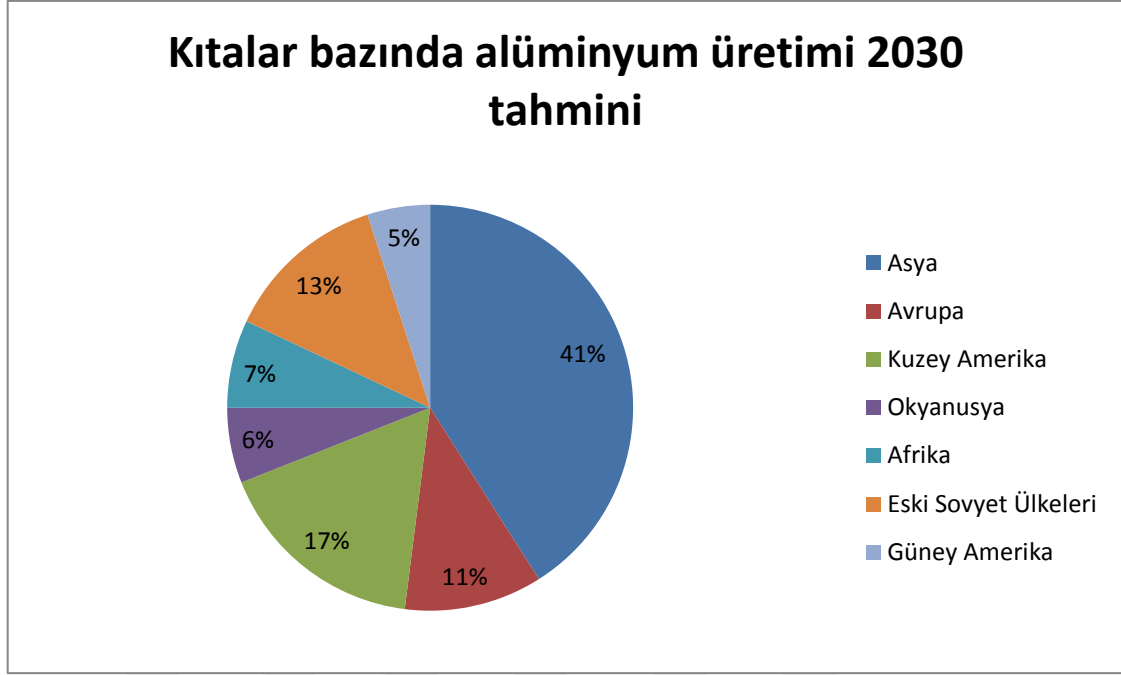
### 2.3. Dünya Alüminyum Üretimi ve Tüketimi

Avrupa alüminyum sanayisi 2007 senesinde çok önemli bir atılım göstermiş ve dünyanın en büyük alüminyum üreticisi durumuna yükselmiştir. Batı Avrupa ülkeleri 2006 senesi itibariyle dünyanın başlıca birinci seviyede alüminyum üretim alanı durumundayken; 2007 senesinde bu yönelim değişmiş, Merkezi ve Doğu Avrupa ülkeleri en önemli birincil alüminyum üreticisi olmuştur. Batı Avrupa ülkeleri başlıca tüketici ülkeler durumuna geçerken, bu bölge ülkeleri geleceğin birincil alüminyum üretim ve ihracatında önemli bir rol alması tahmin edilmektedir. Alüminyum metalinin dünyada imalat ve tüketimdeki artışı devam ederken, alüminyumun tüketimindeki liderlik ABD ve Çin'nin elindedir. Fakat, son zamanlarda iyi derecede sıçrayış gösteren Çin'in yakın bir zamanda en büyük tüketici durumunda bulunacağı ön görülmektedir. ABD ve Çin'in peşinden gelen ülkeler olarak Japonya ve Almanya gelmektedir [11]. Dünya Alüminyum tüketimi Tablo 2.3 ' de gösterilmiştir.

**Tablo 2.3.** Dünya alüminyum tüketimi [12].

| BÖLGE/ÜLKE                    |                     | 2000   | 2001   | 2002   | 2003<br>(Tah) |
|-------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|---------------|
| AFRİKA                        |                     | 337    | 354    | 339    | 328           |
| K. AMERİKA                    | Toplam              | 6.966  | 5.964  | 5.923  | 6.304         |
|                               | Kanada              | 799    | 760    | 717    | 763           |
|                               | Meksika             | 87     | 87     | 87     | 93            |
|                               | ABD                 | 6.080  | 5.117  | 5.118  | 5.448         |
| GÜNEY/ORTA AMERİKA            | Toplam              | 814    | 863    | 843    | 860           |
|                               | Brezilya            | 514    | 551    | 516    | 543           |
|                               | Diğer Latin Amerika | 300    | 312    | 327    | 317           |
| DOĞU ASYA                     | Toplam              | 3.549  | 3.185  | 3.080  | 3.256         |
|                               | Japonya             | 2.225  | 2.014  | 1.976  | 2.024         |
|                               | G. Kore             | 823    | 850    | 821    | 889           |
|                               | Taiwan              | 502    | 321    | 283    | 344           |
| GÜNEY ASYA                    | Toplam              | 1.797  | 1.781  | 1.816  | 1.812         |
|                               | Bahreyn             | 239    | 261    | 253    | 256           |
|                               | Hindistan           | 602    | 558    | 563    | 569           |
|                               | Diğer Güney Asya    | 955    | 962    | 1.000  | 987           |
| BATI AVRUPA                   | Toplam              | 5.756  | 5.745  | 5.848  | 5.835         |
|                               | Belçika             | 341    | 330    | 453    | 434           |
|                               | Fransa              | 780    | 773    | 776    | 771           |
|                               | Almanya             | 1.490  | 1.591  | 1.617  | 1.608         |
|                               | İtalya              | 780    | 770    | 753    | 743           |
|                               | Norveç              | 253    | 254    | 257    | 256           |
|                               | İngiltere           | 576    | 433    | 437    | 437           |
|                               | İspanya             | 526    | 506    | 526    | 523           |
|                               | Diğer Batı Avrupa   | 1.009  | 1.088  | 1.030  | 1.063         |
| DOĞU AVRUPA                   | Toplam              | 1.546  | 1.632  | 1.807  | 1.863         |
|                               | Rusya               | 748    | 786    | 900    | 929           |
|                               | Diğer Doğu Avrupa   | 797    | 846    | 906    | 935           |
| OKYANUSYA                     |                     | 388    | 384    | 355    | 370           |
| ÇİN                           |                     | 3.499  | 3.545  | 3.951  | 4.285         |
| DİĞER*                        |                     | 160    | 160    | 148    | 160           |
| DÜNYA TÜKETİMİ                |                     | 24.811 | 23.613 | 24.110 | 25.074        |
| YILLIK BÜYÜME (%)<br>(olarak) |                     | 6.4    | -4.8   | 2.1    | 4.0           |
| DÜNYA ÜRETİMİ                 |                     | 24.455 | 24.444 | 25.041 | 26.445        |
| SAPMA(DÜNYA)                  |                     | 357    | 831    | 931    | 1.371         |

Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi Çin bu şekilde büyümeye devam ederse 2030 yılında alüminyum imalatının hemen hemen % 50' lik payını kendi bünyesinde bulunduracaktır. Böylesi bir durumda savunma ve yüksek teknoloji ürünleri imalatında her geçen gün daha da fazla kullanılmaya başlanan alüminyum metaliyle ilgili en büyük söz sahibi Çin olacaktır [13]. Kıtalar bazında tahmini 2030 yılı alüminyum üretimi Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1. Kıtalar bazında tahmini 2030 yılı alüminyum üretimi [14].

#### 2.4. Türkiye’de Alüminyum Üretimi

Türkiye’de 10 ayrı bölgede yaklaşık olarak 200 civarında boksit yatağı bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanmaktadır;

- Seydişehir – Akseki, Silifke- Taşucu ve Zonguldak bölgelerinde böhmitik
- Muğla – Milas, Alanya- Bolkardağı ve Tufanbeyli – Saimbeyli bölgeleri diasporitik
- Ishaliye – Payas ve Yalvaç – Şarkikaraağaç bölgelerinde demirli boksit türündendir.

Böhmitik boksit rezervi toplam olarak 53 milyon ton, 104 milyon ton diasporitik boksit rezervi, 100 milyon tonda demirli boksit rezervi bulunmaktadır. Alüminyum üretimine, 87 milyon ton elverişli boksit rezervimiz bulunmaktadır. Alüminyum hammaddesi bakımından en elverişli kaynaklarımız Seydişehir, Akseki bölgesindeki rezervlerdir. Bunlar; Mortaş, Doğankuzu, Değirmenlik, Morçukur, Çatmankaya, Yarpuz, Kızıllalan ve Göreme olmak üzere 8 alanda bulunmaktadır. Toplam rezerv olarak 36 milyon ton civarındadır. Seydişehir’deki üretim tesislerinde alüminyum metal olarak üretilmektedir. Muğla - Milas çevresinde %50  $Al_2O_3$  ten daha yüksek oranda diasporitler, ferrokrom üretim tesislerinde cüruf çözmek için kullanılmakta bir bölümü de ihraç edilmektedir. Bununla beraber, bu maden yataklarının dışında Bitlis Bölgesi’nde ve

Zonguldak-Kokaksu ve Erikli civarlarında böhmistik boksit maden yatakları bulunmaktadır. Bu bölgelerde sürekli olmamakla beraber üretim yapılmıştır. İslahiye-Payas ve Yalvaç çevresinde var olan demirli boksitlerin rezervleri yüksek miktarda olmakla beraber, teknolojik sıkıntılar sebebiyle, bu maden yataklarından ne demir nede alüminyum elde edilmektedir [15].

## 2.5. Alüminyum ve Diğer Mühendislik Uygulamaları

Çağımızın enerji alanında söz sahibi toplumları, nakil araçları imal ederken, yakıt tüketim seviyesini azaltmayı buna karşılık olarak yük taşıma kapasitesini arttırmayı amaçlamaktadırlar. Bu nedenle mukavemet değeri yüksek olan, dayanıklı ve aynı zamanda ağır olmayan malzemeler kullanılarak nakil araçları tasarımlarında kullanılmaktadır. Alüminyum yapı olarak dayanıklı bir malzeme olmakla beraber, güçlü ve hafif bir malzemedir. Otomobillerde kullanılan hafif metal uygulamasının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv sanayisindeki yerini almıştır [16].

Alüminyumun kullanıldığı alanlardan bazıları;

- Ulaşım sektörü
- Demir-Çelik malzemeleri, bakır ve pirinç malzemelere göre üç kat daha fazla hafiftir. Avrupa ülkelerinde kullanılan alüminyumun hemen hemen üçte biri oranı ulaşım sektörü için kullanılmaktadır [17].
- Otomotiv sanayisinde güvenlikten taviz vermeden, konfordan vazgeçmeden, büyük ve az yakıt tüketen otomobiller için hafif, ama mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi için daha fazla alüminyum kullanımı sürekli gündemde tutulmuştur [17]. AUDİ A3 Levhadan üretilmiş ön bölümü Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2. AUDİ A3 levhadan üretilmiş ön bölümü [17].

- Alüminyum malzemesinin ve alüminyum alaşımlarının uçak sanayinde en fazla kullanılmaya başlanması, alüminyum metalürjisinin sıçrayış göstermesi ve uçakların “yük taşıyan kaplama” yani monokok ve yarı-monokok olarak şekillendirilmesi neticesidir. 1930 yıllarından önce yapılan uçaklarda kullanılan ağaç malzemeler gerekli mukavemeti göstermekte iken 1940 yıllarına gidilirken hızların ve kanatlara olan yüklemelerinin artması ile yerini artık yavaş yavaş çelikler almaya başlamıştı. Fakat çelik ile hafif, ve aynı zamanda yüksek hızlar için gerekli olan aerodinamik verimliliği olan kanat, gövde ve kuyruk elemanlarının üretiminin zor olması alüminyum alaşımlarının çok kısa bir sürede esas uçak malzemesi olarak kabul edilmesine yol açmıştır. Günümüzde uçak ana elemanlarının büyük bir bölümünde alüminyum alaşımları yerini, üzerinde yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılan kompozit malzemeler bırakmaya başlamıştır [18]. Hidrolik pompa Şekil 2.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Hidrolik pompa

Avrupa’da alüminyum kutu üretimi ve geri dönüşümünü gösteren rakamlar Tablo 2.4’ de gösterilmiştir.

**Tablo 2.4.** Avrupa’da alüminyum kutu üretimi ve geri dönüşümü [12].

| Ülke             | İçecek Kutusu Kullanımı |                |                    | Geri Dönüş Oranı (%) |
|------------------|-------------------------|----------------|--------------------|----------------------|
|                  | Toplam Kutu             | Alüminyum Kutu | Alüminyum Payı (%) |                      |
| İngiltere        | 7.120                   | 5.300          | 74                 | 42                   |
| İtalya           | 5.880                   | 2.350          | 40                 | 20                   |
| İspanya          | 1.500                   | 1.850          | 97                 | 46                   |
| Yunanistan       | 1.050                   | 1.050          | 100                | 36                   |
| Almanya          | 7.300                   | 950            | 13                 | 80                   |
| İsveç            | 916                     | 916            | 100                | 88                   |
| Türkiye          | 1.030                   | 835            | 81                 | 50                   |
| Fransa           | 2.500                   | 820            | 28                 | 29                   |
| Avusturya        | 800                     | 750            | 94                 | 50                   |
| Benelüks         | 2.060                   | 490            | 24                 | 80                   |
| Portekiz         | 480                     | 340            | 71                 | 21                   |
| İrlanda          | 340                     | 265            | 78                 | 26                   |
| Norveç/ İzlanda  | 225                     | 224            | 100                | 89                   |
| İsviçre          | 185                     | 185            | 100                | 91                   |
| Finlandiya       | 110                     | 110            | 100                | 84                   |
| Toplam B. Avrupa | 22.296                  | 16.435         | 61                 | 45                   |
| Polonya          | 1.650                   | 1.600          | 97                 | 39                   |
| Diğer B/M Avrupa | 3.454                   | 3.405          | 99                 | -                    |
| Genel Toplam     | 37.400                  | 21.440         | 57                 | -                    |

- Su arıtma teknolojileri
- İnşaat teknolojileri
- Dayanıklı tüketim aletleri
- Makine üretimi
- Alnico manyetlerin üretimi
- Yüksek saflıkta alüminyum (%99.98 - %99.99 Al) elektronik ve CD lerde,
- Toz haline getirilmiş alüminyum boyalara gümüşümsü renk vermede
- Alüminyum oksit (alumina), doğada corundum (rubi ve safir) halinde bulunabilir olduğundan dolayı cam imalatında kullanılmaktadır [16].
- Vites kutuları imalatında, motor blokları imalatında ve silindir kafaları imalatında alüminyum döküm kullanılmaktadır. Son uygulamalarda krank mili yataklarının imalatında alüminyum kullanmanın, bu parçaların kullanım süresinin daha uzun olmasını sağlamıştır [19]. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı Tablo 2.5’ de gösterilmiştir.

**Tablo 2.5.** Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı [12].

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| İnşaat                         | % 25         |
| Ulaşım                         | % 24         |
| Ambalaj                        | % 15         |
| Elektrik/ Elektronik           | % 10         |
| Genel Mühendislik              | % 9          |
| Mobilya                        | % 6          |
| Demir Çelik – Metalurji        | % 3          |
| Kimya ve Tarım ürünleri Sanayi | % 1          |
| Diğer                          | % 7          |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>% 100</b> |

## 2.6. Alüminyum Alaşımlarının Standartlarda Gösterilişi

Alüminum Association şekillendirilen alaşımları şu şekilde sıralamıştır: Dört rakamın bulunduğu bir alüminyum alaşımında ilk rakam alaşımın türünü göstermektedir. İkinci rakam özgül alaşım değişimini anlatır. Sonda bulunan iki rakam ise özgül alüminyum alaşımını tespit eder veya alüminyum malzemesinin safiyetini ifade eder [20]. Alüminyum türlerinin özelliklerini aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

1XXX : Saf Alüminyum (min. %99 ve daha fazla saflıkta);

- Alüminyum %99.3-99.9 oranı arasındadır.
- Mükemmel korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliklerine sahiptir.
- Mükemmel korozyon direncine sahiptirler.
- 40-60 MPa gerilme gücü vardır

2XXX : Al- Cu alaşım elementi (Cu en önemli alaşım elementi);

Bu serinin alüminyum alaşımlarının büyük bir kısmında bakır elementi ile magnezyum elementi ve düşük oranlarda diğer elementler ilave edilir. Alüminyum 2xxx serisi alaşımları birim ağırlık dayanımının yüksek olması istenilen çalışma alanlarında kullanılır. (uçak sanayi gibi) Alüminyum 2xxx serisi alaşımların, çökelti sertleşmesiyle dayanımları yükselir [21].

3XXX : Al- Mn alaşım elementi;

3xxx serisinin en önemli alaşımı olarak Alüminyum 3003 gösterilir. Alüminyum 3003 alaşımı alüminyum 1100 alaşımına %1,25 mangan takviyesi ile meydana getirilir. 3003 alaşımı tavllanmış vaziyette çekme dayanımı 110 MPa'dır. Bu' da gösteriyor ki

mangan takviyesi dayanım özelliğini artırır. 3xxx serisinin alaşımları iyi işlenebilirlik özelliğinin istenildiği yerlerde kullanılabilen alaşımlardır [21].

4XXX : Al - Si alaşım elementi

5XXX : Al- Mg alaşım elementi;

Alüminyum 5xxx serisinin ana alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum elementi katı eriyik mukavemeti sağlar ve içindeki miktar olarak %5 e kadar yükseltilebilir. Alüminyum 5xxx serisinin sanayide kullanılan en önemli alaşım türü 5052 dir. 5052alaşımı bünyesinde, %2.5 Mg, ve %0,2 Cr bulundurur ve tavllanmış haldeki çekme dayanımı 193 MPa dır [21].

6XXX : Al – Mg<sub>2</sub>Si alaşım elementi;

Mg<sub>2</sub>Si intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ısı işlemleri ile dayanımı yükseltilebilir. En fazla tercih edilen 6xxx alaşımı 6061 alaşımıdır. 6061 alaşımı bünyesinde, %1,0 oranında magnezyum, %0,6 oranında silisyum, % 0,3 oranında bakır bulundurur [21].

7XXX : Al – Zn alaşım elementi;

MgZn<sub>2</sub> intermetalik bileşiğinden temel çökelti meydana gelir. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde çözünübilirliğinin yüksek olması, yüksek yoğunluklu çökelti oluşmasını sağlar. Bu durum dayanımın iyi bir şekilde yükselmesini sağlar. Alüminyum 7xxx serisinin en önemli alüminyum alaşımı Alüminyum 7075 alaşımıdır. Alüminyum 7xxx alaşımı bünyesinde % 5,6 oranında çinko, % 2,5 oranında magnezyum, %1,6 oranında bakır ve % 0,25 oranında da krom bulundurur [21].

Alaşım simgelemesini takip ederek ve ondan bir çizgi (tire) ile ayrılan bir harf, esas işleme karşılık gelir. Buna sonradan eklenen bir rakam ise, gerçek işlemleri ortaya çıkarmak için kullanılan özgül işlemleri anlatır. Yalnızca yoğrulma yapılarak sertleşebilen bileşimler "H" harfiyle ifade edilir; çökeltme ısı işlemleriyle sertleşebilenler veya çökeltme ve soğuk işlemleriyle sertleşebilenler, aşağıda yapılan gruplandırmaya göre "T" harfini alırlar [20].

## **2.7. Alüminyumun Kullanıldığı Elektriksel Malzemeler**

### **2.7.1.Baralar:**

Alüminyum 1960 senesinden itibaren bara uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunun sebebi; hafiflik, akım dalgalanmalarına karşı daha dayanıklı, korozyona karşı daha güçlü olması sebebiyle bara uygulamalarında kullanılmaktadır. Örnek olarak, 400 kV, 380 kV, 275 kV ve 132 kV'lık gerilim kademelerindeki yüksek gerilim sistemlerinde bus baraların yapısında ve slack (ana) baraların yapısında alüminyum alaşımlı bileşimler kullanılmaktadır. Yine boru tipinde alüminyum baralar ise 275 ve 400 kV'lık trafo merkezlerinde özel olarak gaz izoleli iletim hatlarında da kullanılması daha yaygınlaşmıştır [22].

### **2.7.2.Kablo:**

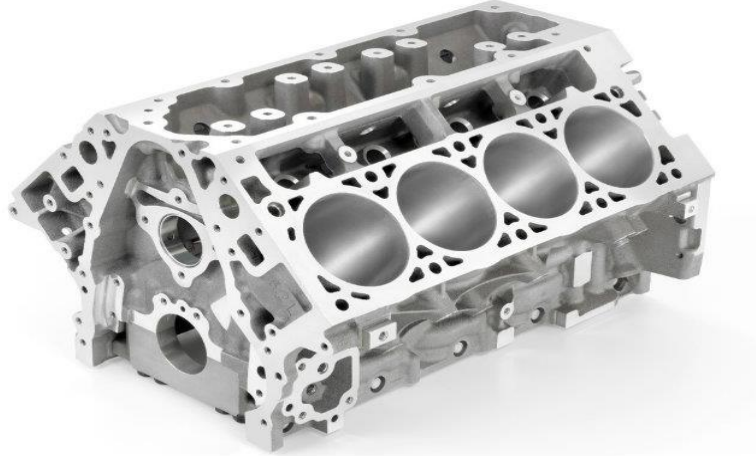
Alüminyum; Kablolama uygulamalarında sık olarak kullanılmaktadır. 16mm<sup>2</sup> kesitlerde ve bu oranın üzerinde birçok kablo türünde alüminyum kablolar bulunur. 66 kV'a kadar olan güç kablolarında kullanılır. Ayrıca koaksiyel kabloların ekranlanmasında da kullanılır. Genel itibariyle EMC uygulamalarında, yüksek gerilim ve alçak gerilim şebekelerinde ve elektronik uygulamaların kablolarlarında tercih edilmektedir [22].

### **2.7.3.Havai Hatlar:**

ACSR (Tam Alüminyum İletkenler): Alüminyum-çelik alaşımından oluşan havai hat türlerindendir. Bu havai hat türünün kimyasal özelliği, alüminyumun hafif olmasından ve çeliğin dayanıklı olmasından yararlanılarak üretilmiştir. Dünya çapında ve ülkemizde, sık olarak güç iletimi ve dağıtım sistemlerinde tercih edilmektedir. Ülkemizde bu iletkenlerin standartları TS-490 numaralı standartta göredir [22].

### **2.7.4.Motorlar:**

İndüksiyon motorların rotor bölümleri kafes biçimindedir. Bu kafes çubukları yaygın olarak alüminyumdan üretilmiştir. Motorların soğutma kısımlarında kullanılan fanlar ve bazı koruma elemanlarının ana malzemesi de alüminyumdur [22]. Alüminyum malzemedен üretilmiş motor Şekil 2.4' te gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Alüminyum malzemeden üretilmiş motor

#### **2.7.5. Soğutma Elemanları:**

Alüminyum soğutucular için ideal bir malzeme tipidir. Bunun nedeni ısı iletkenliği yüksek ayrıca katı veya içi boş şekiller halinde dökümü kolay olmasıdır. Elektronik alanında, yarı iletken cihazlardaki devre elemanlarının büyük bir kısmının soğutma metalllerinde alüminyum malzemesi kullanılmaktadır. Elektrik sektöründe ise trafoların soğutma radyatörleri ve yağ tanklarının yapısında da alüminyum malzemesi kullanılmaktadır. Trafo tanklarının alüminyum yapıli olmasının avantajı, trafo tankının içerisinde bulunan trafo yağının alüminyum ile reaksiyona girmemesidir [22].

#### **2.7.6. Alüminyum Sargılar:**

Alüminyum malzemesinin kullanıldığı en küçük kısımlar büyük güç kondansatörlerinin yapısındaki sargılardır. Alüminyum sargılar bir kısım transformatörlerde, bobin yapıdaki reaktörlerin sargıların sarılma işleminin yapıldığı nüvelerin yapısında kullanılmaktadır. Folyo kalınlığı 0.04mm – 1.2mm arasında olup, 34 tip kesit kullanılmaktadır. Bir bakır tel veya bakır bobin için iyi bir uzay faktörü %60'a denk gelmektedir. Fakat aynı kesitte bir alüminyum bobin sayesinde %90'lık bir uzay faktörü elde edilir. Bu sebeple kayıpsız bir bobin veya reaktör elde etmek için yapılarında alüminyum kullanımı daha uygundur [22].

### **2.8. Alüminyum Üretim Yöntemleri**

Metalik alüminyum iki yol ile üretilir;

- Birincil alüminyum üretimi

- İkincil alüminyum üretimi

### 2.8.1. Birincil Alüminyum Üretimi

Birincil alüminyum üretimi için birbirinden bağımsız 4 kademedен mevcuttur.

1. Boksit madenciliği
2. Boksit cevherlerinden Bayer Prosesi ile alümina üretimi,
3. Alüminadan ‘ergimiş tuz elektrolizi ile metalik alüminyum üretimi
4. Enerji üretimi ya da temini [23].

Günümüzde, ticari olarak birincil alüminyum imalatının hepsi alüminyum elektroliz hücrelerinde meydana gelmektedir. Hall-Heroult metodu olarak adlandırılan elektroliz yaparak alüminyum üretim prosesi yerine, alternatif metotlar üzerinde uzun zamandan bu yana çalışılıyor, hatta bir kaç pilot işletme kurulmuş ise de, bu metotları sanayi olarak uygulama bölgesi bulacaklarına olan bütün umutlar tükenmiş durumdadır. 100 yıldan daha fazla bir süredir geçerli olan klasik metodun daha uzun seneler bizimle var olacağı artık kesinleşmiştir. Yapılan çalışmalar bu metodun kapasitesini yükseltme doğrultusunda yoğunlaştırılmıştır. Dünya üzerinde yapım durumunda olan ve tasarlanan bütün birincil alüminyum işletmeleri Hall- Heroult metoduna göre tasarlanmıştır [23].

Boksit, alüminyum içeren tek ana cevherdir. Boksiti saf metalurjik alüminaya konsantre eden tek endüstriyel proses, Bayer prosesidir. Bayer prosesi uygulanarak cevherden imal edilen alümina (alüminyum oksit), bunun hemen ardından uygulanan Hall-Hérault prosesi ile metalik alüminyuma indirgenmekte, ardından döküm işlemi uygulanmaktadır [24].

Yüz ton boksitten 40 ile 50 ton arasında alümina üretilmektedir. Verilen miktarlardaki alüminadan da 20 ile 25 ton arası alüminyum üretilmektedir [25]. Birincil alüminyum üretimi proses akım şeması Şekil 2.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Birincil alüminyum üretimi proses akım şeması [24].

### 2.8.2. İkincil Alüminyum Üretim Yöntemleri

Dünya’da toplam alüminyum imalatı olarak ikincil üretiminin oranı 1950’li yıllarda % 15’ seviyesinde iken günümüzde % 30’lu seviyelere yükselmiştir. Özellikle sınırlı seviyede enerji kaynaklarına sahip Güney Amerika ve Avrupa ülkelerinde çok yüksek seviyelerde hurda toplama kabiliyetine sahip toplama ağları kurulmuş ve “yeniden değerlendirme” idraki toplumun bütün kademelerine ulaşmıştır. Bu duruma Japonya çok enteresan bir misaldir. 1970’li yıllarda ortaya çıkan petrol krizinden sonra, enerji fiyatlarının yükselmesi birinci alüminyum imalatını durdurmuş ve ikincil üretiminin gelişmesine imkân sağlamıştır [26].

Alüminyum sektöründe ikincil alüminyum imalat süreci genel olarak iki ana üretim aşamasından oluşmakta olup, bu prosesler kendi aralarında farklı aşamaları içermektedir. Bu kademeler her bir tesis için değişiklik gösterebilmektedir. Tesisler, hurda kaynağına ve kalitesine göre bu kademeleri farklı sırayla takip edebilmektedir. Bunlar;

- Ön Arıtma
- Hurdayı toplama
- Hurdayı ayırma, hurdayı hazırlama ve ön işlemler
- Ergitme

- Alaşımlandırma
- Metal rafinasyon
- Döküm
- Curuf Temizleme [24].

El ile hurda ayıklama Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. El ile hurda ayıklama [27].

## 2.9. Alüminyum Döküm Alaşımları

Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyum mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde arttırılabilir. Bununla birlikte süneklilik azalır [28]. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri Tablo 2.6' da gösterilmiştir.

**Tablo 2.6.** Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri [28].

| <b>Alaşım Elementi</b> | <b>Etkileri</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bakır</b>           | Bakır oranının % 12 civarında olması dayancı artırır, daha fazla olması gevreklik meydana getirir; yaygın olarak yüksek işlenebilir özelliği ile dayancı artar.                                                                                                                                                                                          |
| <b>Çinko</b>           | Döküle bilirliğin azalmasına neden olur; yüksek oranda çinko içeren alaşımlarda sıcak çatlama ve soğuma çekmesi ortay çıkar; %10 Zn’ dan yüksek gerinim yenimi çatlama gösterirler. Başka alaşım elementleri ile birlikte dayanım özelliğini artırır. % 3 Zn dan daha az oranda çinko bulunduran ikili alüminyum alaşımlarda belirgin bir etkisi yoktur. |
| <b>Demir</b>           | Bazı alaşımlarda az oranlarda kullanıldığında sertlik ve dayançözelliğini artırır; dökümleri sıcak çatlama riskini azaltır.                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Magnezyum</b>       | Katı çözelti sertleşmesi riski meydana getirir. Oran olarak % 6 dan yüksek Mg bulunduran alaşımlarda çökelme sertleşmesi olur; dökümleri zordur.                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Mangan</b>          | Demir ile birlikte kullanıldığında dökülebilirliği artırır.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Silis</b>           | Akışkanlığın artmasına neden olur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ

#### 3.1. Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl işlem en geniş tanımıyla mekanik özelliklerin değiştirilmesi amacıyla, bir malzemeyi herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtma ve soğutma anlamına gelir. Bununla birlikte, ısıtma işlemleri alüminyum alaşımlarına uygulandığı zaman sıklıkla sertleşebilir, sertleştirilebilir döküm ve dökme alaşımların kuvvetini ve sertliğini arttırmak için kullanılır. Bunlara genellikle ısıyla sertleşebilen alaşımlar denir ve bunlar ısıtma ve soğutma ile önemli bir güçlenmenin sağlanamadığı alaşımlardan ayırt edilir. Mukavemeti azaltmak ve sünekliği arttırmak için ısıtma (tavlama) her iki tip alaşım ile birlikte kullanılır. Metalurjik reaksiyonlar alaşımın türüne ve istenen yumuşama derecesine göre değişebilir [29].

Alüminyumun, soğukta şekillendirilebilirliği çok iyi olduğundan dolayı yeğinlik dayanç artışlarına uğrar ve neticede bu değerler iki katından fazla artar. Kristal yenilenmesi olmadan pekleşmeyi önlemek için yapılan toparlanma tavlama saf alüminyumda (% 99,99) ortalama olarak 120° - 130°C sıcaklığında yapılır. Tecimsel anlıktaki alüminyumda ise bu tavlama işlemi için 170° - 270°C aralığı referans verilir. Sözü geçen tavlama pekleşmenin çözülmesi alüminyumun saflığı miktarında düşük sıcaklıklara doğru ötelenir. Yukarıda verilen sıcaklık aralıklarında bir yeniden kristalleşme meydana gelmesinin izlenmesi olasıdır. Ancak ne var ki, böyle bir oluşum için çok uzun tavlama sürelerinin (10-20 saat) yanı sıra çok yüksek şekil değiştirmişlik seviyeleri gerekir. Normal koşullar altında yeniden kristalleşme tavlama 300-380°C arasında gerçekleşir. Burada da alüminyumun saflık düzeyi arttıkça seçilecek sıcaklık o kadar düşük olur. Böylesi bir tavlama alüminyum malzemesi için yumuşak tavlama yerine de geçer, çünkü sözü edilen işlem neticesinde en düşük dayanç değerlerine ulaşılmış olur. Ne var ki, düşük biçim değiştirmede dereceleri ve yüksek tav sıcaklıkları malzemeyi maksat dışı bırakacak şekilde tane irileşmesine neden olurlar. Bu işlemde dönüşümlü biçim değiştirme derecesi %10'un altındadır. Ancak %10'un üzerindeki biçim değiştirmelerde yüksek sıcaklıklarda ve uzun tavlama sürelerinde yeğinlik tane irileşmesine sebep olurlar. % 10 şekil değiştirmenin üzerinde bulunulması neticesinde yeniden kristalleşme bölgesinin başlangıcında bile yavaş bir ısıtma aşın tane irileşmesine sebep olabilir. Ayrıca soğuk şekil değiştirme öncesindeki çıkış dokusunun tane büyüklüğü de önemlidir, bu nedenle şekil değiştirme derecesi olabildiğince yüksek (örnek olarak % 50'nin üstünde) olmalıdır. Ya da en azından % 20

seviyesinde olmalıdır ki yeniden kristalleşme tavlama sonunda ince tane elde edilebilir [30]. Temel temper tasarımlarını Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo. 3.1.** Temel temper tasarımları [10].

|    |                                                                                                                  |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F  | Fabrika edinildiği gibi. Pekleşme üzerinde kontrol yok                                                           |
| O  | Tavlanmış ve yeniden kristalleştirilmiş                                                                          |
| H  | Pekleştirilmiş                                                                                                   |
| T  | F ve O dan başka kararlı temperler üretmek için ısıtım işlem uygulanmış                                          |
| H1 | Sadece pekleştirilmiş. Pekleşmenin düzeyi ikinci basamakla gösterilir.                                           |
| H2 | Pekleştirilmiş ve kısmen tavllanmış. Başlangıçta arzu edilenden daha fazla mukavetlendirilmiş                    |
| H3 | Pekleştirilmiş ve kararlı hale getirilmiş. Alüminyum magnezyum alaşımları yaşlandırma yumuşaması için temperler. |

Isıl işlem uygulanmış alt bölümler Tablo 3.2’ de gösterilmiştir.

**Tablo. 3.2.** Isıl işlem uygulanmış alt bölümler [10].

|     |                                                                                             |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| W   | Çözündürme uygulanmış                                                                       |
| T   | Yaşlandırılmış                                                                              |
| T1  | Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış |
| T2  | Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış |
| T3  | Çözündürme uygulanmış ve doğal olarak yaşlandırılmış                                        |
| T4  | Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış                         |
| T5  | Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış                         |
| T6  | Çözündürme uygulanmış ve yapay olarak yaşlandırılmış                                        |
| T7  | Çözündürme uygulanmış ve aşırı yaşlandırma ile kararlı hale getirilmiş                      |
| T8  | Çözündürme uygulanmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış                |
| T9  | Çözündürme uygulanmış, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş                |
| T10 | Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş, yapay olarak yaşlandırılmış   |

### 3.2. Çökelme Sertleşmesi

Çökelme sertleşmesi ilk defa 1906 senesinde Almanya’da Alfred Wilm adlı bilim adamı vasıtasıyla keşfedilmiştir. Alfred Wilm, içinde % 2 Cu bulunduran bir alüminyum alaşımını, tıpkı çelikler için uygulanan ısıtım işlem ile sertleştirmeye çalıştı. Başlangıçta yumuşak olan bu numunenin ısıtım işleminden sonra oda sıcaklığında bırakıldığında zamanla bekletilerek sertlik oranının arttığı görüldü. Bu sonuçlara 1911 yılına kadar bir anlam verilemedi [31].

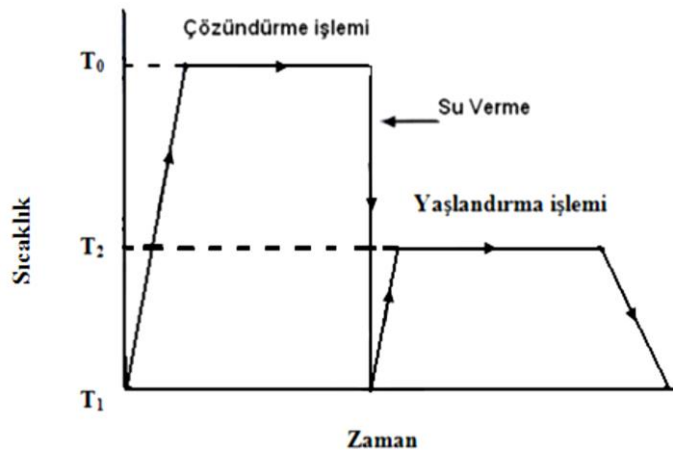
Wilm bu keşfi fiziksel metalürjide tamamen yeni bir araştırma alanı doğurdu. Araştırmanın ana odak noktası, 20’ li ve 30’lu yıllar boyunca, güçlenme mekanizması

yerine, çökelme veya yaşlanma mekanizmasıydı. Ayrışma sürecinin karmaşık yapısını çözmek oldukça büyük bir girişimdi, çünkü çöktürler, o çağın enstürmantasyonunu kullanarak doğrudan gözlemlenemeyecek kadar küçüktür [32].

Çökelme sertleşmesi için ilk önce tam bir katı eriyik yapısını elde etmek gerekir (homojenleşme). Bu amaçla, ilgili alaşım kompozisyona bağlı olarak, denge diyagramının gösterdiği şekilde,  $\alpha$ - katı eriyik bölgesine ulaşınca kadar ötektik sıcaklığın altında kalmaya dikkat ederek ısıtılır, önceden kontrolsüz oluşmuş faz parçacıklarının tekrar yapı içerisinde çözünmesine fırsat verilir. Mevcut çökelti fazlarının tekrar erimesi, alaşım elementi atomlarının  $\alpha$  – kristal yapısı içerisinde yayınması demek olacağından, bu çözünme işlemi (katı eriyiğe alma süreci) yüksek sıcaklık ve zaman gerektirir [33].

Çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi yaygın olarak, kullanım sıcaklığında, termodinamik denge durumunda, en az iki fazlı yapıyken, hızlı soğutarak denge yapısı fazlarının meydana gelmesine olanak sağlanmayarak, tek fazlı metastabil yapıya dönüştürülebilen alaşımlara uygulanabilir. Teknik kullanımda bu işlemin anlam kazanabilmesi için, söz konusu alaşımın metastabil yapısından(aşırı doymuş katı eriyik) çöktürülecek ikincil fazların yüksek sertlik ve mukavemette olması gerekir [33].

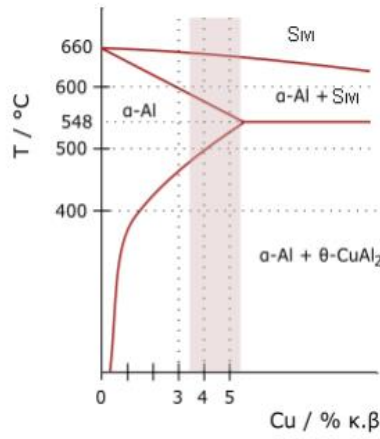
Bakır alaşımlarının martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısıtma işlemi yapılabilen alüminyum alaşımlarında sertleşme oluşabilmesi ve dayanımlarının artırılması çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi ile gerçekleşir. Çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi, üç adımdan oluşur. Bunlar çözündürme, su verme ve yaşlandırma aşamalarıdır [34]. Çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi için sıcaklık-zaman diyagramı Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi için sıcaklık-zaman diyagramı [35].

### 3.2.1. Çözeltiye Alma İşlemi

Malzemenin faz diyagramında solvüs sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta bekletilmesi işlemidir [36]. Al ve %4 oranında Cu içeren alaşım, ilk olarak uniform bir katı eriyiğe alüminyum ve bakır atomlarının rastgele difüzyonunu mümkün kılmak için yaklaşık 515 °C'ye ısıtılmalıdır. Bu aşamada alaşım  $\alpha$  katı eriyiğe sahiptir. Bu çökelti mukavemetlenmesi ısıtılma işlemi ilk aşaması bazen çözündürme olarak adlandırılır [10]. Denge durumunda solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Denge durumunda solüsyona alma sıcaklığının belirlenmesi [36].

### 3.2.2. Su Verme

Çözündürme ısıtılma işleminden hemen sonra alaşım oda sıcaklığındaki suda soğutulur. Bu işlem alüminyumda bakırın aşırı doymuş bir katı eriyiğini meydana getirir. Bu şartlardaki Al - %4 Cu alaşımı kararlı bir alaşım değildir ve sistemin enerjisini indirmek için kararsız fazlar meydana getirmek amacıyla çaba sarfeder. İtici güç alüminyumda bakırın kararsız aşırı doymuş katı eriyiğin yüksek enerji durumudur [10].

Birbirinden bağımsız üç çeşit su verme yöntemi vardır. Üç yöntem, istenilen özelliklere ve gösterdikleri kolaylıklara göre kullanılır [37].

**Soğuk suda su verme:** Bu uygulama alaşımlara soğuk su banyolarında su verilerek yapılır. Su verme için en yüksek derecedeki su sıcaklığı 30 °C olmalıdır. Sıcaklık değişimi 10 °C geçmemesi için yeterli hacimde su bulundurulmalıdır. Bu şekilde bir su verme şekli çok etkilidir [37].

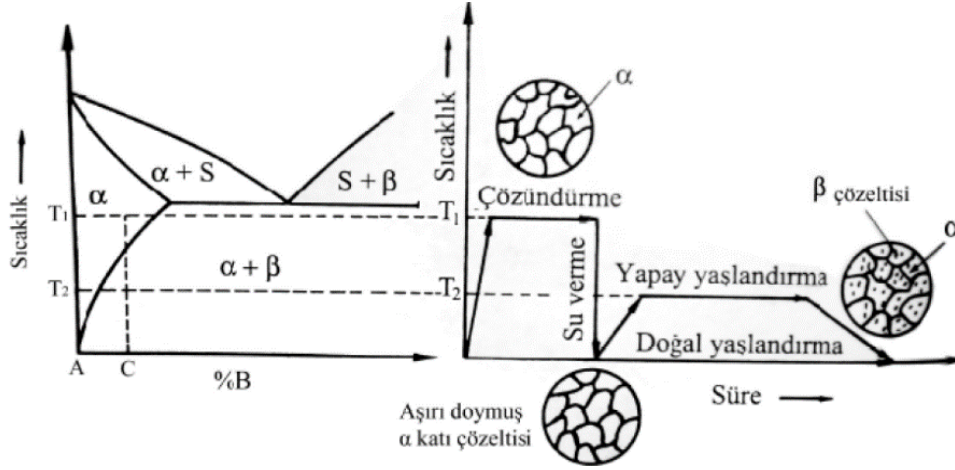
**Sıcak suda su verme:** Kesiti büyük ve kalın olan dökme parçalara 75–90 ° C’de hatta, 100 ° C’da (kaynar suda) su verilir. Bu tür su verme, distorsiyonu minimum kılar ve heterojen bir sıcaklık yayılımından ortaya çıkan çatlama tehlikesinin önüne geçilmiş olunur. Su verme işleminde kullanılan suyun sıcaklığı malzemenin sahip olduğu korozyon mukavemetine büyük ölçüde tesir ettiği için dövme alaşımlarda, bu çeşit su verme metodu kullanılır. Kalın kesitli parçaların korozyon mukavemeti ince kesitli parçalarda olduğu kadar kritik değildir [37].

**Püskürterek Su Verme:** Yüksek hızla su püskürtülerek yapılan bir su verme metodudur. Levhalar ve yüzeyi geniş olan parçalara uygulanır. Bu tür su verme distorsiyonu minimum kılar ve su vermeden dolayı ortaya çıkan çatlamaı engeller [37].

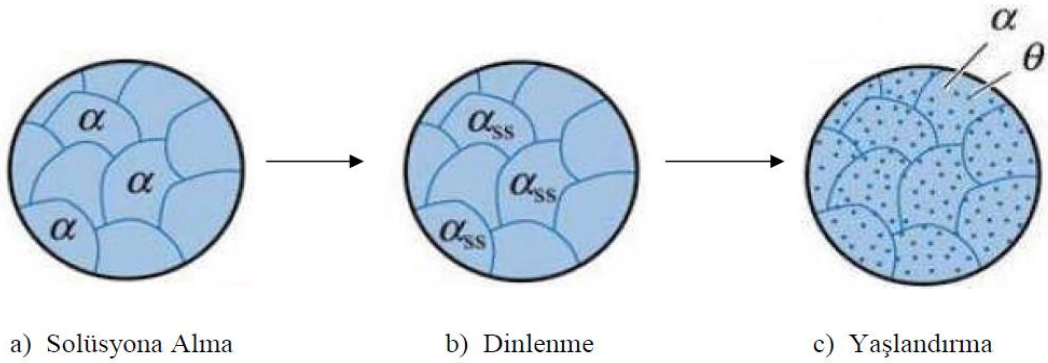
### 3.2.3. Yaşlandırma

Solüsyona alma ve su verme uygulamalarından sonra aşırı doymuş olan  $\alpha$  tanecikleri solvüs sıcaklığının altında ısıtılarak atomların kısa aralıklarda nüfus etmeleri sağlanır. Aşırı doymuş  $\alpha$  tanecikleri dengede kalmadığı için atomlar çekirdeklenme alanlarına nüfuz ederek çökeltiler oluşur ve böylece büyümeler ortaya çıkar. Alaşımdaki ince çökeltiler, şekil değiştirme esnasında aykırı yerleşimlerin hareketini daraltarak, alaşımın dayanımını artırır [36].

Kararsız bir fazın esas çökmesi oda sıcaklığında meydana gelirse bu alaşım için doğal yaşlanmış alaşım denmektedir. Bazı alaşımlar istenilen özellikteki dayanıma oda sıcaklığında ulaşacak olmakla birlikte alaşımların çoğu yükseltilmiş bir sıcaklıkta veya yapay olarak yaşlandırılmalıdır. Al - %4 Cu alaşımının durumunda yapay yaşlandırma sıcaklığı genellikle 130 ve 190 °C arasındır [10]. Çözündürme ve yaşlandırma adımlarının dahil olduğu çökeltme sertleşmesini gösteren aşamalar Şekil 3.3’ te gösterilmiştir. Yaşlanma aşamalarının gösterimi Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çözündürme ve yaşlandırma adımlarının dahil olduğu çökelme sertleşmesini gösteren resim [34].



Şekil 3.4. Yaşlanma aşamalarının gösterimi. (a) Solüsyona alma aşaması, (b) Dinlenme aşaması, (c) Yaşlandırma aşaması [36].

### 3.3. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik; Elektrik yüklerin herhangi bir etki ile bir yönde veya her iki yönde de hareketi olarak tanımlanır. Elektriksel iletkenlik hareketli yüklü taneciklere göre gruplandırılır. Bu gruplandırmada hareketli tanecikler elektronlar ise elektronik iletkenlik, iyonlar ise iyonik iletkenlik, her iki tanecik cinsinse hareketli olduğu iletkenlik türü karma iletkenlik diye tanımlanmıştır. Bu durumda iletkenlik üçe gruba ayrılır ve şu şekilde gruplandırılır [38]. Metallerde valans elektronlar kütle içinde rastgele serbest hareket halindedirler. Bu hareketler duran dalga türündedir. Normal halde dış etki yoksa herhangi bir yöne giden ortalama yük ile ters yöne giden ortalama yük eşittir, dolayısıyla toplamı sıfırdır [39]. İletkenliğin sınıflandırılması Tablo 3.3' te gösterilmiştir.

**Tablo. 3.3.** İletkenliğin sınıflandırılması [38].

| <b>ELEKTRİKSEL İLETKENLİK</b>                                 |                                                             |                                                                    |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Elektronik İletkenlik</b><br>(Yük taşıyıcılar elektronlar) | <b>İyonik İletkenlik</b><br>(Yük Taşıyıcılar $O^{2-}Li^+$ ) | <b>Karma İletkenlik</b><br>(Yük taşıyıcılar iyonlar + elektronlar) |
| 1. Metalik İletkenlik(Cu, Au)                                 | 1. Katı Elektrolitler (Zirkonyum Tabanlı Katı Elektrolit)   | $\delta - Bi_2O_3$ Fazı                                            |
| 2. Yarıiletkenlik                                             | 2. Süper İyonik İletkenlik                                  |                                                                    |
| 3.Süper İletkenlik (Hg, Al, $MgB_2$ )                         | 3.Hızlı İyon İletkenliği<br>( $Tl_3Cu_2CCl_5$ )             |                                                                    |

Bir malzemede elektrik iletkenliği iyonik veya elektronik mekanizmalardan biri ile ortaya çıkarılabilir. Yarı iletkenlik, süper iletkenlik ve metalik iletkenliği kapsayan elektronik iletkenliğin dışında bir diğer iletkenlik cinsi iyonların hareketine bağlı olan iyonik iletkenliktir [40]. Malzemelerin elektriksel iletkenlik değerleri Tablo 3.4’ te gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** Malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin değerleri[40].

| <b>Malzeme</b>        | <b>İletkenlik (<math>\Omega.cm</math>)<sup>-1</sup></b> |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|
| İyonik İletkenler     | İyonik Kristaller<br>$< 10^{-16} - 10^{-2}$             |
|                       | Katı Elektrolitler<br>$10^{-1} - 10^{-3}$               |
|                       | Sıvı Elektrolitler<br>$10^{-1} - 10^3$                  |
| Elektronik İletkenler | Metaller<br>$10^3 - 10^7$                               |
|                       | Yarıiletken<br>$10^{-3} - 10^4$                         |
|                       | Yalıtkan<br>$< 10^{-10}$                                |

Alüminyum, elektriksel iletkenlik bakımından bakıra alternatif olarak kullanılmıştır. Mükemmel elektrik iletkenliği sayesinde ticari saf alüminyum endüstriyel olarak kullanılan en önemli iletken malzemedir. Hepimizin bildiği gibi alüminyumun iletkenliği saflığından etkilenir. Kimyasal bileşim elementlerin miktarı iletkenliği önemli ölçüde etkileyebilir [41].

### 3.4. Elektriksel Özdirenç

Elektriksel iletkenlik ve özdirenç (dirençlilik) terimleri bir malzemenin aynı zamanda ayırt edici özelliğidir. Bir malzemenin elektriksel iletkenliğinin tespit edilebilmesi

malzemenin ölçülen voltaj ve akım şiddeti değeri, elde edilen öz direnç değeri ile malzemenin geometrik şekli arasındaki ilişkiye bağlıdır [42].

Bu sebeple öz direncin tespit edilmesinde yararlanılan Ohm Kanunu denklem 3.1' de gösterilmiştir.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.1)$$

eşitliğine, geometrik şekle bağlı olan bir düzeltme faktörü (resistivity correction factor) değeri katılarak öz direnç hesaplanır. Bu düzeltme katsayısı malzemenin kalınlığına ve geometrik şekline, yüzey boyutuna, malzemenin kenar hudutlarının yapısına, kontakların malzeme üzerinde bulunduğu bölgeye ve kontakların düzenine bağlı olarak değişir [42].

Malzemelerin öz dirençlerinin tespit edilebilmesi için tipik olarak numune içinde bir elektrik alan ortaya çıkaracak olan bir akım kaynağına gereksinim duyulur. Bu elektrik alan sebebiyle numune içinde oluşan I elektrik akımının şiddeti ve rastgele olarak seçilen iki nokta arasında oluşan V potansiyel düşmesinin tespit edilmesine gerek vardır. Bir maddenin elektriksel direnci, maddenin üzerinden geçen I akımı ve bunun meydana getirdiği V geriliminin oranı ile tespit edilir [43].

### 3.5. Elektriksel İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

Direnci yüksek olan materyallerin dirençlerinin ya da öz dirençlerinin ölçümünü yapmanın tekniği oldukça zordur. Ölçüm tekniği olarak 2-Probe ve 4-Probe metotlarını kullanılmasından söz edilir. Her iki metot temel metotlarmış gibi görülse de, asıl ölçüm metodunu belirleyen daha temel iki unsur vardır. Bunlar ise:

1-) Sabit-Akım (Constant Current) Yöntemi

2-) Sabit-Gerilim (Constant Voltage) Yöntemi'dir.

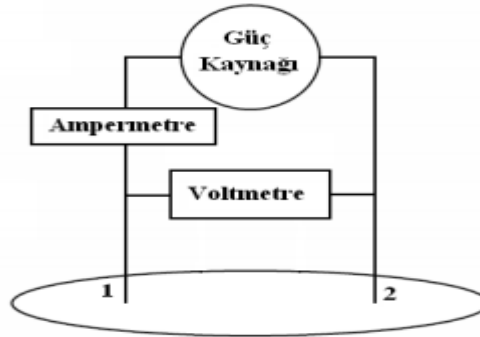
Her iki yönteminde birbirine göre güçlü ve zayıf yönleri vardır. Yüksek direnç ölçmede karşımıza çıkan en belirgin sorun elektrotların temas sorunudur. Direnç değeri yüksek ise elektrotların iyi temas etmesi istenir. Çünkü geçen akımlar çok küçük akımlardır ve bu akımları ölçülmek oldukça zordur. Temas etmeyen elektrot örnekten

geçen bu akımı daha da düşürür ve ölçümde hataya sebebiyet verir. Her iki metotta da ölçüm için elektrometre kullanılır. Elektrometreler çok hassas olarak tasarlanmışlardır. Kendi içlerinde sabit-gerilim kaynağı ve çok hassas ampermetre veya sabit-akım kaynağı ve çok hassas voltmetre bulunan aletlerdir [44].

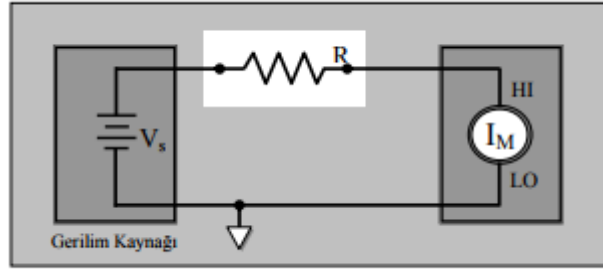
### 3.6. İki prob (2-Probe) Yöntemi

İki problu ölçme tekniğinde iki nokta kullanılarak direnç ölçümü yapılır.(Şekil 3.5)

Ohmmetre ile yapılan klasik direnç ölçme metodu da aslında iki prob metodudur, ancak orada iletken direnci ölçüldüğü için ölçmede problemler çıkmaz. 2-Prob yöntemi, asıl olarak yalıtkan malzemelerin dirençlerini ölçmeye elverişli bir metottur. Yalıtkan materyallerin dirençleri çok yüksek olduğu için ölçüm sırasında istemediğimiz birçok sorun ortaya çıkar. Bu sorunlardan başlıcaları; elektriksel parazitler, geçen akımların çok küçük olmasından ortaya çıkan akım okuma zorlukları, kullanılan kablo ve propların kendi dirençleri, ekranlı kabloların kapasitif etkileri, ortam nemi gibi birçok etkenlerdir. Bu etkileri en aza indirmek için fixture (ölçümhücre) denen aletler kullanmak gereklidir. Fixture kalkan olarak kullanılarak, parazitler ve olumsuz etkilerden kaçınılır. Burada önemli olan konulardan biri elektrometrenin gerilim kaynağının çok hassas ve incelikle ayarlanabilir olması ve ayarlanan gerilim değerinde kararlı bir şekilde sabit tutulmasıdır. Sabit-gerilim kaynağının görevi, baştan belirlenen gerilim değerini örnek üzerine uygulamaktır. Örnek üzerinden akan akım ölçüm esnasında değişse bile kaynaktan uygulanan gerilim sabit kalır. Bu metodun uygulama yöntemi Şekil 3.6' da gösterilmiştir [44].



Şekil 3.5. İki nokta elektriksel iletkenlik ölçüm tekniği [43].



Şekil 3.6. Yüksek direnç ölçümleri için sabit-gerilim metodu [44].

Direncin tespit edilebilmesi numunenin öz direncini bulunmasını sağlar. Homojen bir numunenin öz direnci tespit etmek istediğimizde malzemenin geometrik özelliklerini de hesaplamamız gerekir. Öz direnç ifadesi denklem 3.2’ de gösterilmiştir [45].

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot G \quad (3.2)$$

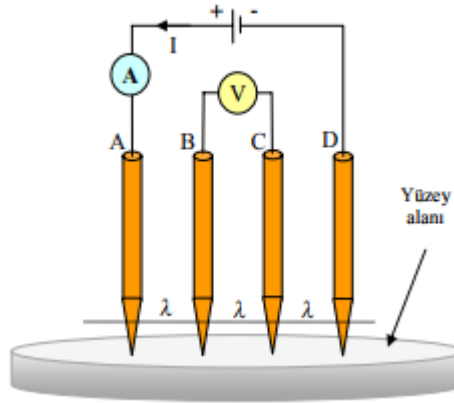
Burada G gösterimi numunenin boyutlarını yani yüzey geometrik sınırları ve kalınlığını, elektriksel kontakların numune üzerindeki konumunu ve diziliş düzenini içeren bir katsayıdır ve “Geometrik Düzeltme Faktörü” (Resistivity Correction Factor, RCF) olarak tanımlanır [45].

### 3.7. Dört prob (4- Probe) yöntemi

Bir yarı iletken malzemenin rezistivitesini ölçmenin en yaygın yolu, dört nokta prob metodudur. Bu teknik, direnci bilinmeyen bir malzemeyle dört probun temas etmesine dayanır. Problar malzemenin merkezine yerleştirilir. İki dış prob kaynak akımı için kullanılır. İki iç prob ise numunenin yüzeyinde meydana gelen voltaj düşüşünün ölçümü için kullanılır [46]. Elektrik iletkenliği, metal malzemelerin iletkenlik özelliklerini karakterize eden önemli bir parametredir. Elektriksel iletkenlik ölçümü, metal malzemeleri ayırma, alaşım elementi tanımlama, sertlik ve mikroyapı algılama ve ısıl işlem izleme için son derece yararlıdır. Metallerin elektriksel iletkenliğini ölçmek için dört nokta prob yöntemi kullanılmıştır. Tipik bir dört nokta prob ölçümünde, prob noktaları ile ölçülen iletken arasında iyi bir elektrik teması gerekir. İlk olarak, uyarı akımı bir çift prob noktası vasıtasıyla iletkenle enjekte edilir; o zaman diğer son nokta çiftleri arasındaki potansiyel düşüş bir voltmetre ile ölçülür. Son olarak iletkenin elektrik iletkenliği basit bir formülle hesaplanabilir [47].

Dört nokta prob yöntemi, özellikle ince film malzemelerin veya yarıiletken maddelerin iletkenlik ve öz dirençlerinin tespit edilmesinde kullanılır. En az bir yüzeyi düzlemsel olmalıdır. Bu yüzeyin geometrik boyutları, kontak boyutlarından daha büyük olmalıdır. Dört nokta prob metodu ile öz direnç ölçme de ölçmenin doğruluğu, numunenin şekline ve boyutuyla bağlantılıdır. Ölçümü yapılacak malzemenin boyutları mümkün olduğu kadar düzgün geometrik şekiller (kare, dikdörtgen ve daire) halinde hazırlanmalıdır. Böylece yapılacak ölçmenin doğruluğu artırılır [48].

Her ne kadar dört nokta prob yöntemi ferromanyetik metalik malzemelerin elektrik iletkenliğini ölçebiliyor olsa da, bu yöntemin uygulanabilmesi için çeşitli sınırlayıcı faktörler vardır. Üzerinde boya, oksidasyon ve korozyon tabakası gibi iletken olmayan kaplamalar numuneyle iyi elektrik teması gerekliliği nedeniyle ölçüm yapılmadan önce çıkarılmalıdır. Buna ek olarak, metal malzemeler genellikle iyi iletkenlerdir, bu yüzden yeterince yüksek bir potansiyel düşme sinyali üretmek için büyük bir uyarılma akımı gerekir. Uyarılma akımının ısıtma etkileri ve potansiyel düşme sinyalinin zayıf kalması gibi ölçüm hataları nedeniyle, dört nokta probu yöntemlerini kullanarak metal malzemelerin elektriksel iletkenlik ölçümlerinde belirgin hatalar ortaya çıkmaktadır [49]. Dört nokta prob ölçme sistemi Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Dört nokta prob ölçme sisteminin esası [48].

Metal bar (dikdörtgen prizma) veya çubuk şeklindeki, hacimli materyallerin öz direncini ölçmek için gerekli teknik ve metot Şekil 3.7'de gösterildiği gibidir. Akım kaynağı her iki yan yüzeyine bağlanır. Birbirinden uzaklıkları bilinen iki adet voltmetre probu da bir yüzeyine temas ettirilir. Uygulanan akımın değeri, voltmetrenin ölçtüğü gerilim değeri, akım uygulanan yüzeylerin alanı ve voltmetre proplarının birbirinden olan

uzaklığı kullanılarak materyalin özdirenci hesaplanır. Kullanılan denklem 3.3 de gösterilmiştir [44].

$$\rho = \left(\frac{V}{I}\right)\left(\frac{A}{L}\right) \quad (3.3)$$

**Burada;**

$\rho$  = özdirenç (ohm-cm)

$V$  = ölçülen gerilim değeri

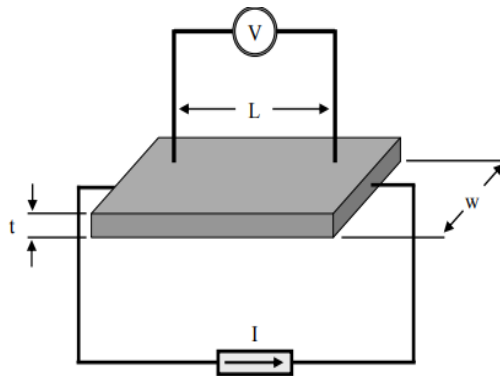
$I$  = Akım kaynağından uygulanan akım

$A$  = Akım uygulanan kenarların alanı

$L$  = Voltmetre problarının arasındaki mesafe (cm)

İle gösterilmektedir [44].

Dört-prob metodu, oldukça ince disk şeklinde olan iletken veya yarı iletken tabakaların özdirencinin ölçülmesi için uygundur. Şekil 3.8’de dört-prob metoduyla iletken plakanın özdirencinin nasıl ölçüldüğünü görmekteyiz. Bu metotta dikkat edilmesi gereken özellik dört adet probun bir birlerinden olan uzaklığının eşit olmasıdır. Proplar arası mesafe önemli değildir, birbirlerine eşit olması yeterlidir. Test akımı dışlarda olan iki proptan uygulanarak, içte bulunan iki proptan voltmetre ile gerilim değeri okunur. Bu yöntemle yüzey veya levha özdirenci denklem 3.4 teki gibi hesaplanır [44].



**Şekil 3.8.** Metal plakanın özdirencinin 4 prob yöntemiyle ölçülmesi

$$\rho = \left(\frac{\pi}{\ln 2}\right) \left(\frac{V}{I}\right) \quad (3.4)$$

Burada;

V = Voltmetre ile ölçülen gerilim değeri

I = Akım kaynağından uygulanan akım ile gösterilmektedir [44].



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Deneyde kullanılan malzemeler ve hazırlanışı

AA 2024 alüminyum alaşımı 2000 serisi alüminyum alaşımlarının en yaygın kullanılanıdır ve ılımlı akma dayanımı, iyi hasar toleransı ve iyi yorulma direnci ile karakterizedir. Hafif nakliye kamyonlarının, uçak gövde derisinin, gövde bölmesinin, alt kanat derilerinin perçinli araçların ve kamyonun tekerleklerinin gövde panellerinde kullanılmaktadır. AA 2024 alüminyum alaşımı hafif uygulamalar için ne kadar uygunsa, yüksek anizotropik yapısı endüstriyel uygulamalarda daha yaygın kullanılmasına engel teşkil eder. AA 2024 alüminyum alaşımının, otomobil ve uzay gibi uygulamalarda dinamik darbe yükü altında mekanik davranışının araştırılması, bu yapıların emniyet ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Adyabatik kayma bandı (ASB) olarak adlandırılan dar bantlar boyunca yoğun gerinim lokalizasyonu, yüksek gerilme oranı deformasyonuna maruz bırakılan materyallerde sık görülen bir durumdur. Dar yollarda lokalize adyabatik ısıtmadan kaynaklanır ve bu yol boyunca düşük deformasyon direncine neden olur. ASB'ler iki tiptir; deforme kayma bandı (DSB) ve dönüştürülmüş kayma bandı (TSB). DSB'nin uzunlamasına taneler içerdiği bildirilse de TSB, dinamik toparlanma, dinamik yeniden kristalleştirme veya faz dönüşümü sonucu oluşan ultra ince eşit eksenli tanelerden oluşur [49]. Tablo 4.1' de Alüminyum 2024 alaşımının kimyasal bileşim sonuçları gösterilmektedir.

**Tablo 4.1.** Alüminyum 2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu

| Malzeme | Fe   | Si   | Cu  | Mn  | Mg   | Zn   | Ti   | Cr   | Kalan Al |
|---------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|----------|
| Al 2024 | 0.40 | 0.41 | 4.5 | 0.5 | 1.50 | 0.20 | 0.12 | 0.07 | 92.3     |

Bu çalışmada, Alüminyum 2024 alaşımı özel firma zahid alüminyum dan temin edildi. Temin edilen Al 2024 alaşımından numuneler hazırlandı. Isıl işlem yapılabilmesi ve iletkenliklerinin ölçümleri için numuneler uygun boyutlara getirildiler. Uygun boyuta getirilen numuneler Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Deneylerde kullanılan numunelerin örnek resmi

Isıl işlemler Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Atölyesindeki fırınlarda 450 °C, 550 °C, 520 °C, 580°C, 510°C gibi farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmıştır. Yapılan ısıl işlemleri, iletkenlik ve tane boyutunu gösteren değerler Tablo 4.2’ de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2.** Yapılan Isıl İşlemleri, iletkenlik ve tane boyutunu gösteren çizelge.

| Numune | Isıl İşlem                                                   | 100x | 200x |
|--------|--------------------------------------------------------------|------|------|
| N1     | Isıl işlem görmemiş numune                                   |      |      |
| N2     | 450 °C (2.5h) – suda soğutuldu.                              | 21   | 16   |
| N3     | 550 °C (2.5h) – suda soğutuldu.                              | 30   | 16   |
| N4     | 520 °C (2.5h) – havada soğutuldu                             | 27   | 13   |
| N5     | 580 °C (2.5h) – havada soğutuldu                             | 58   | 16   |
| N6     | 510 °C (2.5h)- (0°C) soğutuldu. 4 gün atmosferde bekletildi. | 50   | 16   |
| N7     | 510 °C (2.5 h)- havada soğutuldu. (150 °C)’de 4 h            | 27   | 13   |
| N8     | 510 °C (2.5h)-suya çekildi – (150°C) 8 h                     | 23   | 12   |
| N9     | 510 °C (2.5h)- hava çekildi – (150°C) /8 h                   | 27   | 13   |
| N10    | 510 °C (2.5h) - suya çekildi - (-4°C) 4 gün bekletildi.      | 30   | 15   |

Isıl işlemin tamamlanmasının akabinde malzemelerin iletkenlikleri ölçüldü. İletkenlik ölçümü Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü laboratuvarında gerçekleştirildi. Numunelerin iletkenliklerinin ölçüldükleri cihaz Şekil 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2. İletkenlik ölçüm cihazı

Daha sonra numuneler Şekil 4.3 te görüldüğü gibi soğuk bakalite alınarak kalıplanmıştır. Daha sonra sırası ile 80, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh' lik zımparalarda Şekil 4.4 te gösterilen cihazlarda zımparalanmıştır sonra 3 $\mu$ m' lik elmas pasta ile Şekil 4.5 te gösterilen cihazlarda çuhalanarak parlatılmıştır. Dağlama işlemi literatür verileri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Alüminyum 2024 malzemesi için 190 ml saf su, 5 ml nitrik asit(HNO<sub>3</sub>), 3 ml hidroklorik asit(HCl) ve 2 ml hidroflorik asit(HF)) kullanılarak hazırlanan solüsyonda 5-10 sn arasında daldırma yöntemi kullanılarak dağlanmıştır.

Isıl işlem numunelerine ait mikroyapısal değişimi daha yakından incelemek için Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Şekil 4.6 da gösterilen Optik Mikroskop cihazında 100x ve 200x büyütmelemlerle mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

EDS cihazında numunelerin iletkenlik değerlerinde dikkate değer olanların noktasal olarak analizleri yapılmıştır. Pikleri grafik şeklinde elde edilmiştir.

Soğuk bakalitle kalıplanmış numuneler Şekil 4.3 te gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** Soğuk bakalitle kalıplanmış numuneler

Zımparalama işlemlerinin yapıldığı Struers marka zımparalama cihazı Şekil 4.4 te gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Struers marka zımparalama cihazı

Parlatma işleminin yapıldığı Struers marka parlatma cihazı Şekil 4.5 te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Struers marka parlatma cihazı

Mikro yapı incelemelerinin yapıldığı optik mikroskop cihazı Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Mikro yapı incelemelerinin yapıldığı optik mikroskop cihazı

## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1. İletkenlik Değerinin Hesaplanması

Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü laboratuvarındaki cihazlardan elde ettiğimiz özdirençleri; aşağıda verilen eşitliklerden hareketle, numunelerin iletkenlikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar denklem (5.1 -5.4) e göre verilmiştir.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \sigma: \text{İletkenlik} \quad (5.1)$$

$$\rho = \frac{R.A}{l} \quad \rho : \text{Özdirenç} \quad (5.2)$$

$$\sigma = \frac{1}{\frac{R.A}{l}}; \quad \frac{l}{R.A}; \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \quad (5.3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\text{Elektriksel Direnç}} \times \frac{\text{Kontaklar arası mesafe}}{\text{Cismin alanı}} \\ \sigma = \frac{1}{R} \times \frac{d}{A}; \quad G = \frac{1}{\text{ohm}} \times \frac{\text{mm}}{\text{mm}^2}; \quad G = \frac{1}{\text{ohm} \times \text{mm}}; \quad G = (\text{ohm} \times \text{mm})^{-1} \quad (5.4)$$

N1 –N10 numunelerinin iletkenlik değerleri denklem 5.4 e göre yapılmıştır.

#### N1 numunesinin iletkenlik değeri

$$\sigma = \frac{1}{\text{Elektriksel Direnç}} \times \frac{\text{Kontaklar arası mesafe}}{\text{Cismin alanı}}; \\ \sigma = \frac{1}{R} \times \frac{d}{A} \quad \sigma = \frac{1}{9.81 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad N1 \sigma = 16.23 \text{ S/mm}$$

#### N2 Numunesinin İletkenlik Değeri

$$\sigma = \frac{1}{59.20 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 6.25} \quad N2 \sigma = 1.706 \text{ S/mm}$$

#### N3 Numunesinin İletkenlik Değeri

$$\sigma = \frac{1}{59.17 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 6.25} \quad N3 \sigma = 1.707 \text{ S/mm}$$

#### N4 Numunesinin İletkenlik Değeri

$$\sigma = \frac{1}{59.18 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 6.25} \quad N4 \sigma = 1.707 \text{ S/mm}$$

**N5 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{59.20 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 6.25} \quad \text{N5 } \sigma = 1.707 \text{ S/mm}$$

**N6 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{8 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad \text{N6 } \sigma = 19.90 \text{ S/mm}$$

**N7 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{8.3 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad \text{N7 } \sigma = 19.98 \text{ S/mm}$$

**N8 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{3.3 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad \text{N8 } \sigma = 48.25 \text{ S/mm}$$

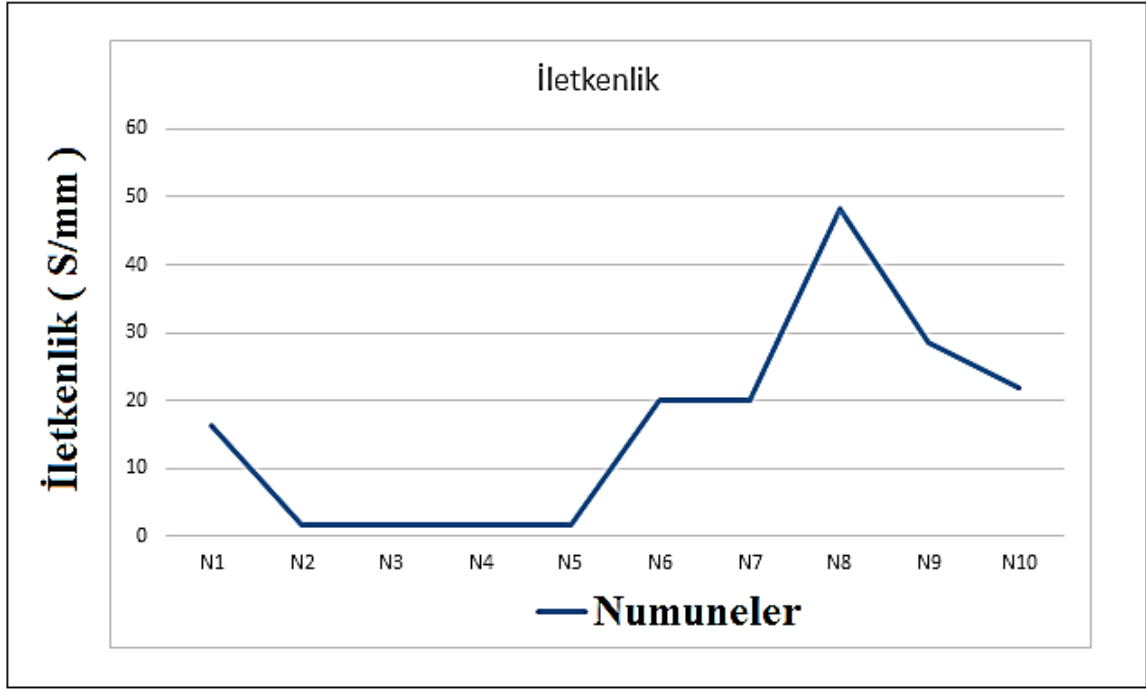
**N9 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{5.6 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad \text{N9 } \sigma = 28.43 \text{ S/mm}$$

**N10 Numunesinin İletkenlik Değeri**

$$\sigma = \frac{1}{7.3 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{3.14 \times 4} \quad \text{N10 } \sigma = 21.81 \text{ S/mm}$$

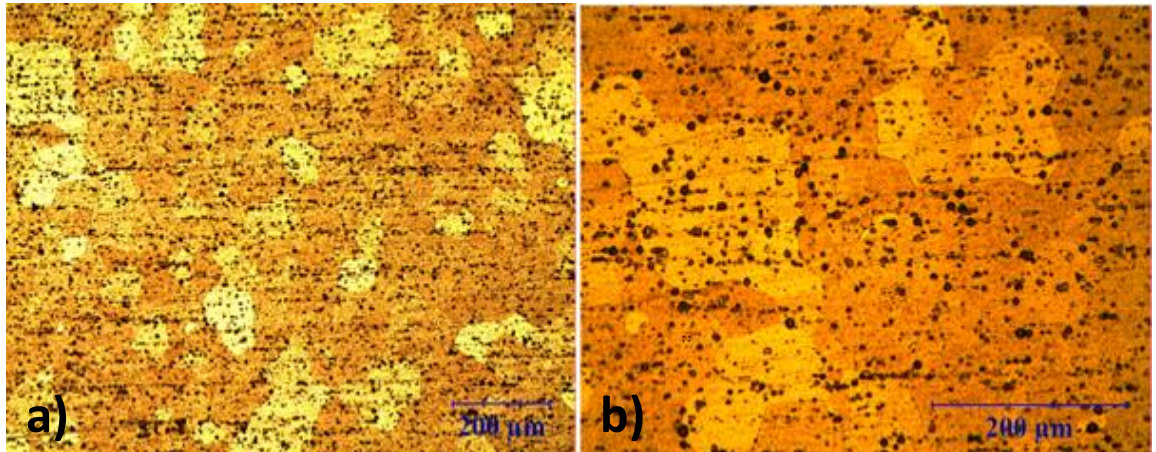
Denklem 5.4 e göre yapılan hesaplamalardaki bulunan değerler Şekil 5.1 e göre gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Farklı ısı işlemlere göre numunelerin iletkenlik gösterimi

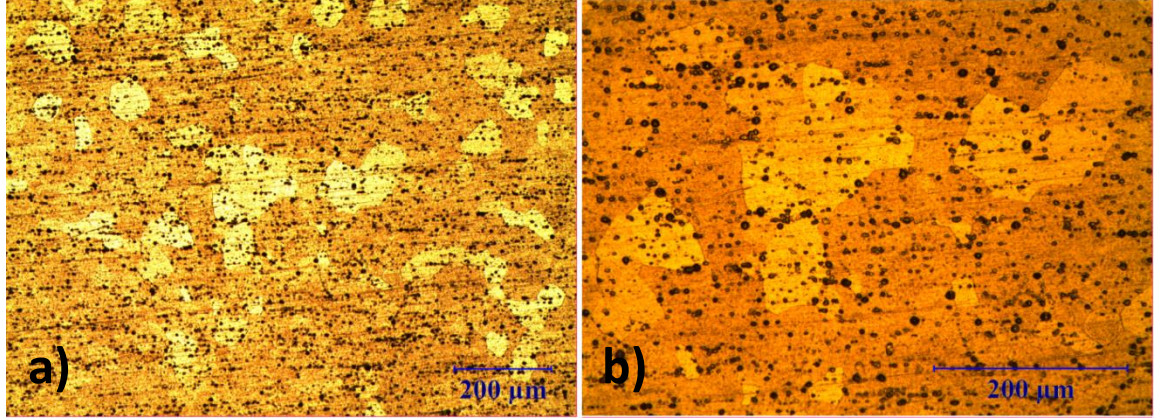
## 5.2. Optik Mikroskop İncelemeleri

Isıl işlem yapılmamış olan N1 malzemesinin içyapıları Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Şekil 5. 2 de numunenin tane sınırları açık şekilde görülmektedir.



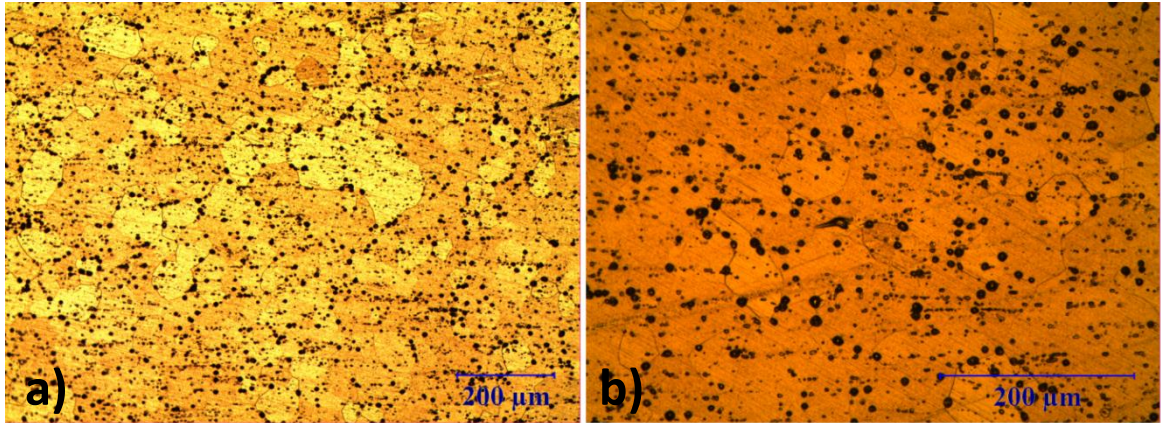
Şekil 5.2. N1 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme

450 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılıp, suda soğutulan N2 numunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.3 te gösterilmiştir.



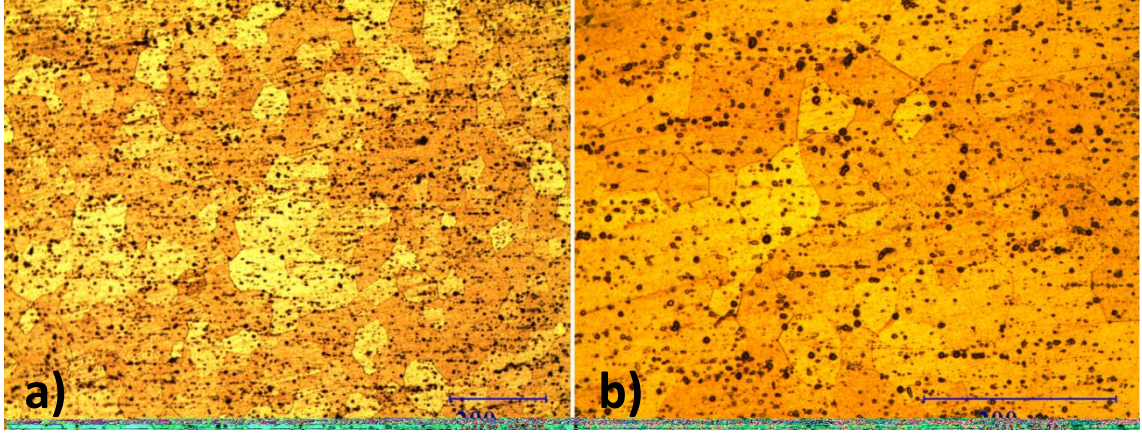
Şekil 5.3. N2 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme

550 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılıp suda soğutulan N3 numunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.4 de gösterilmiştir.



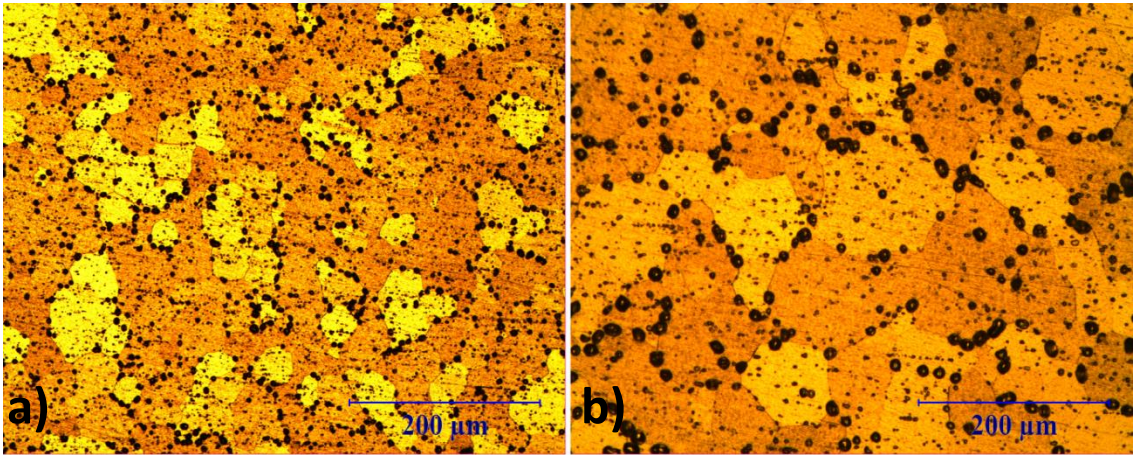
Şekil 5.4. N3 numunesine ait mikroyapı resmi a) 100x büyütme b) 200x büyütme

520 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılıp havada soğutulan N4 numunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.5 de gösterilmiştir. Bu numunenin mikro fotoğraflarında koyulaşmanın çok az olduğu görülmektedir.



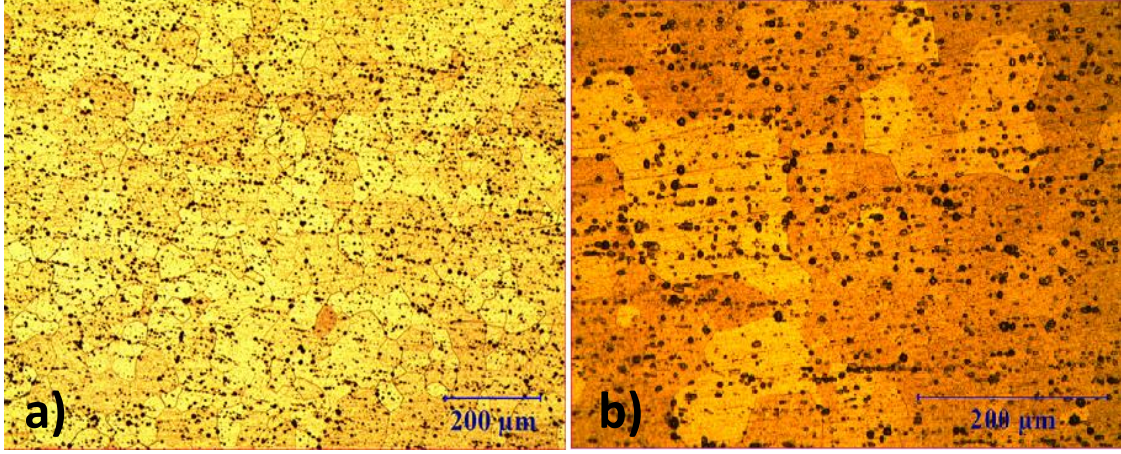
**Şekil 5.5.** N4 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

580 °C sıcaklıkta ısıtılan ve daha sonra havada soğutulan N5 malzemesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.6 da. gösterilmiştir.



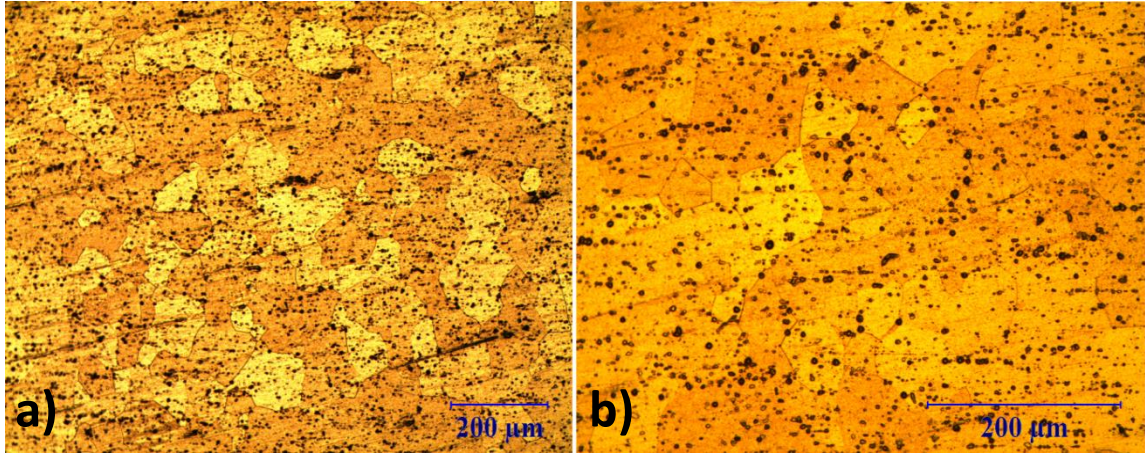
**Şekil 5.6.** N5 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

510 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılan, 0 °C' de soğutulan ve atmosferde 4 gün bekletilen N6 mnumunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.7 de. gösterilmiştir.



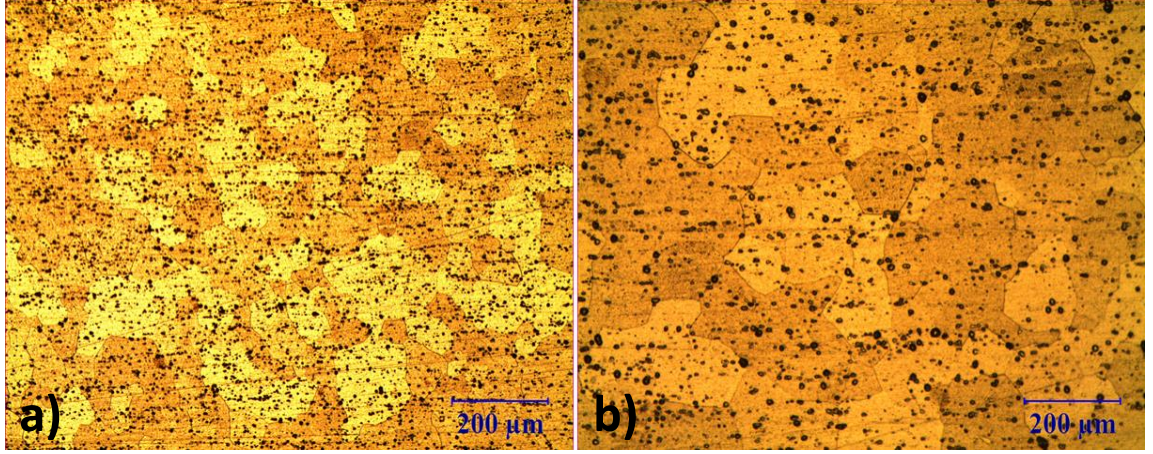
**Şekil 5.7.** N6 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

510 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılan, havada soğutulan ve 150 °C de 4 saat bekletilen N7 numunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.8 de. gösterilmiştir.



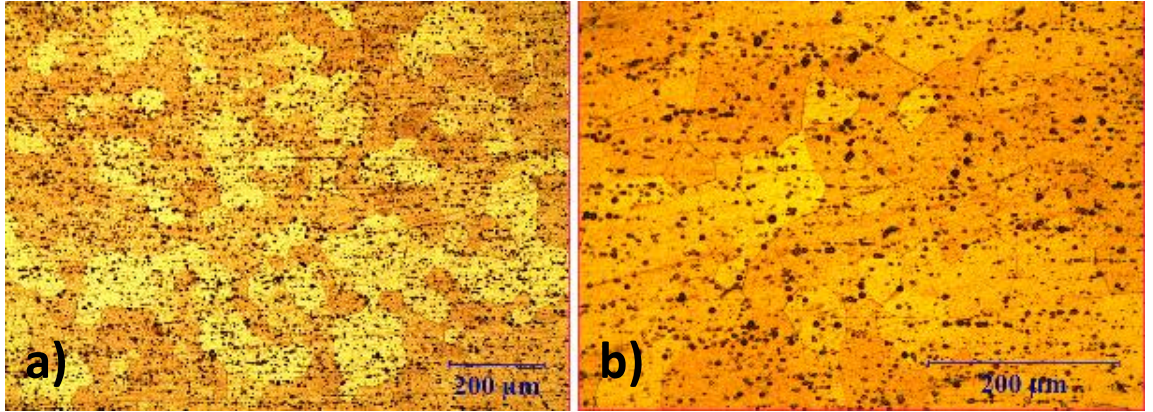
**Şekil 5.8.** N7 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

510 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılan, 0 °C' de soğutulan ve 150 °C sıcaklıkta 8 saat bekletilen N8 mnumunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.9 de. gösterilmiştir.



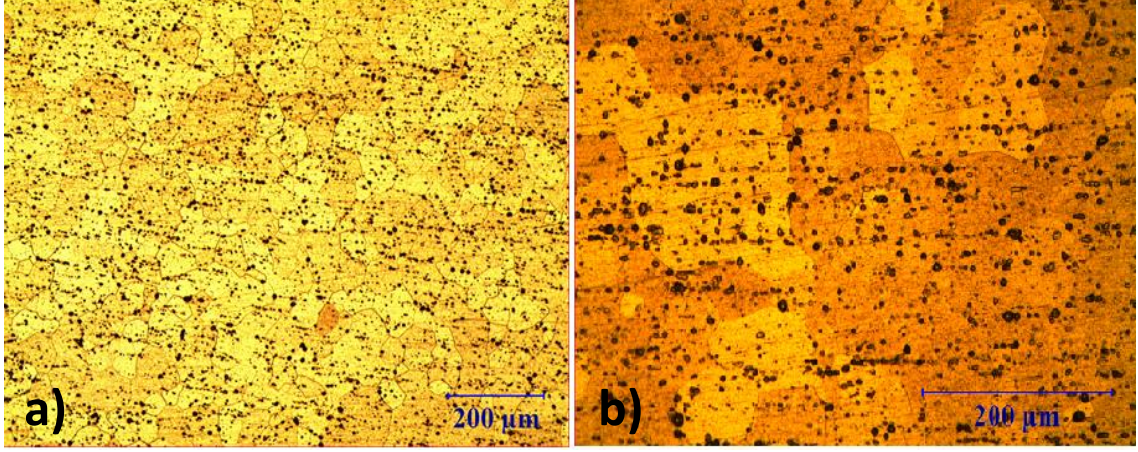
**Şekil 5.9.** N8 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

510 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılan, havada soğutulan ve 150 °C sıcaklıkta 8 saat bekletilen N8 mnumunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.10 de. gösterilmiştir.



**Şekil 5.10.** N9 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

510 °C sıcaklıkta 2.5 saat ısıtılan, 0 °C' de soğutulan ve -4 °C 4 gün bekletilen N10 mnumunesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.11 de. gösterilmiştir.



**Şekil 5.11.** N10 numunesine ait mikroyapı resmi **a)** 100x büyütme **b)** 200x büyütme

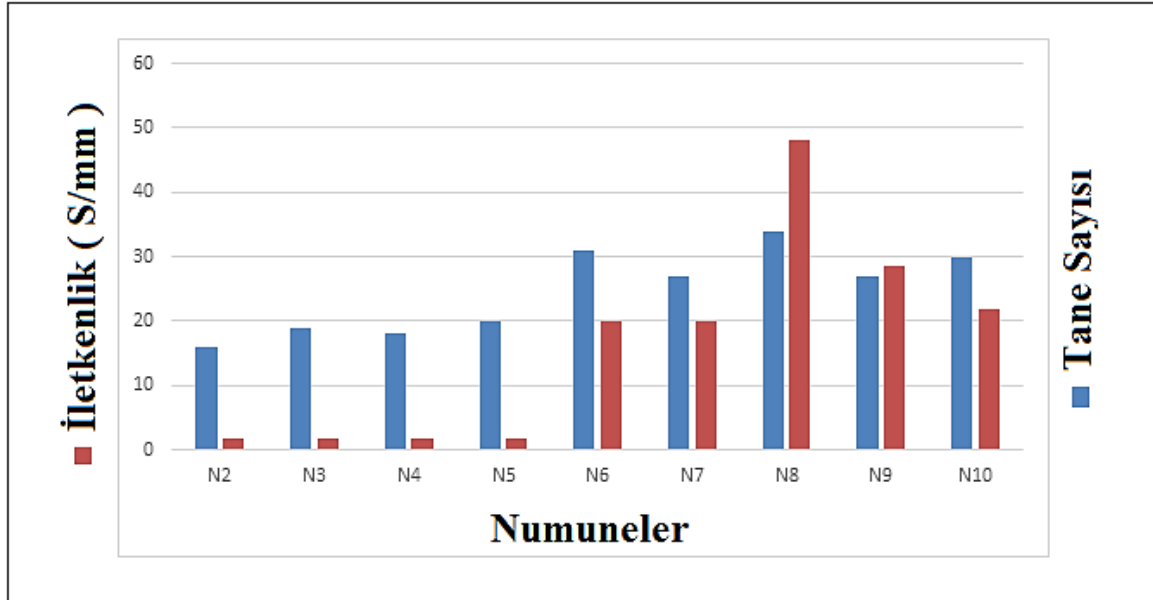
### 5.3. Tane Sayılarıyla İletkenlik Arası İlişki

- Tane sayısı ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (100x) Şekil 5.12'de gösterilmiştir.
- Tane sayısı ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (200x) Şekil 5.13'te gösterilmiştir.
- 450 °C'de N2 ve 550 °C'de N3 farklı sıcaklıkta ısıtılma işlemi görmüş ve aynı koşullarda suda soğutulmuş numuneler olarak, tane boyutları karşılaştırıldığında; tane boyutlarında Şekil 5.2, 5.3; tane sayılarında Şekil 5.12'de görüldüğü gibi farklılığın görülmediği ve buna bağlı iletkenlik artışının da olmadığı görüldü.
- 520 °C'de N4 ve 580 °C'de N5 farklı sıcaklıklarda ısıtılma işlemi görmüş ve daha sonra N4 havada ve N5 suda soğuyan numunelerde de tane boyutlarında Şekil 5.5, 5.6 ve tane sayılarında Şekil 5.13'de görüldüğü gibi dikkate değer bir farklılık olmadığı ve iletkenlik artışının da gerçekleşmediği anlaşıldı.
- 510 °C sıcaklıkta 2.5h bekletilerek ısıtılma işlemi gören N6 numunesi suda ve N7 numunesi de havada soğutuldu. Bu numunelerin iletkenliklerinde önemli bir artış ölçüldü. İletkenlik artışına; numunelerin tane boyutlarında kısmen gözlemlenen küçülmeler olduğu Şekil 5.7, 5.8 ve tane sayılarının da ilk dört numuneye göre artışlarının da Şekil 5.12 ve 5.13'de görüldüğü üzere neden olduğu söylenebilir.
- 510 °C sıcaklıkta 2.5h bekletilerek ısıtılma işlemi gören N8 numunesi suda soğutulduktan sonra 150 °C'de 8 saat yaşlandırıldı. İletkenlik ölçümleri sonucunda öngörülebilecek değerin üstünde bir sonuca ulaşıldı. Tane boyutları ve sayılarını diğer

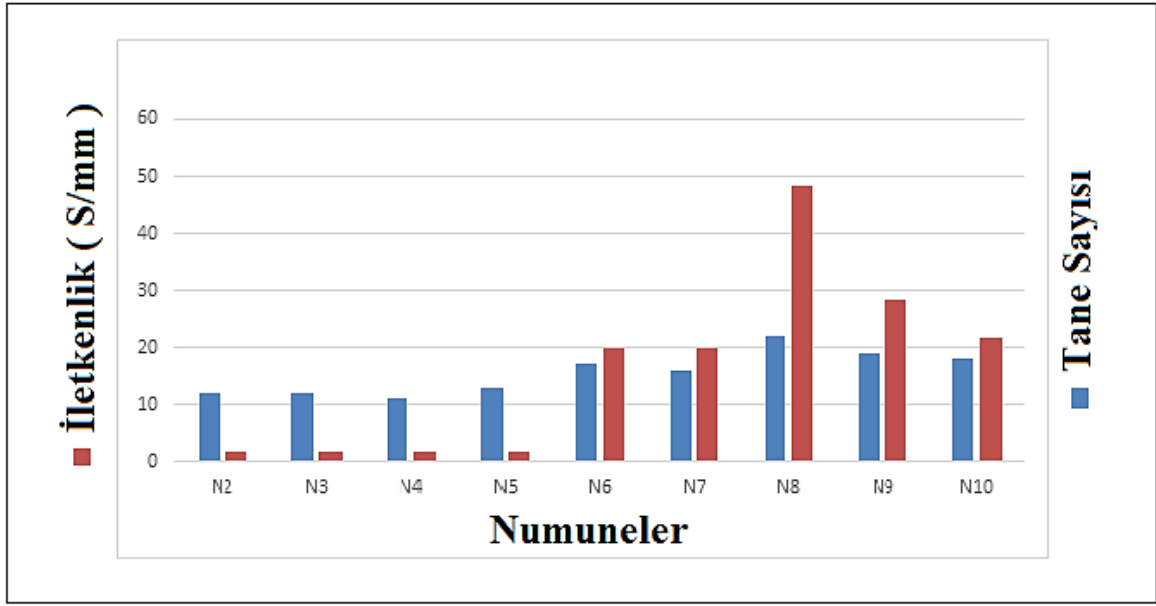
numunelerle karşılaştırdığımızda; en küçük tane boyutuna ve en yüksek tane sayısına haiz olduğu Şekil 5.9, ve Şekil 5.12 de görülmektedir. Hızlı bir şekilde suya çekildikten sonra 8 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan bu numunenin en iyi iletkenlik değerine ulaştığı tespit edildi.

- 510 °C sıcaklıkta 2.5h bekletilerek ısıtılma işlemi gören N9 numunesi havada soğutulduktan sonra 8 saat yaşlandırma işlemine tabi tutuldu. N9 numunesinin diğer numunelerle karşılaştırdığımızda, yüksek bir iletkenlik değerine ulaştığını görüyoruz. (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13). Ancak bu numuneyi N8 numunesi ile karşılaştırdığımızda, iletkenlik değerinin buna göre düştüğü açıkça ortadadır. Yaşlandırma öncesi suya çekilen numune olan N8 daha iyi bir iletkenlik sonucu vermiştir. Buradan hareketle yaşlandırma öncesi hızlı bir şekilde suya çekilme işleminin daha iyi iletkenlik sonuçları verdiğini söyleyebiliriz. Şekil 5.9 ile Şekil 5.10 nu karşılaştırdığımızda tane boyutları farkından da bunları doğrulayabiliriz.

- 510 °C sıcaklıkta 2.5h bekletilerek ısıtılma işlemi gören N10 numunesi hızlı bir şekilde suda soğutulduktan sonra - 4°C dört gün bekletildi. Bu işlemle havada soğutulmuş olarak yaşlandırma işlemine tabi tutulan N9 numunesine benzer sonuçlar elde edildi. (Şekil 5.12) de bunlar görülebilir.



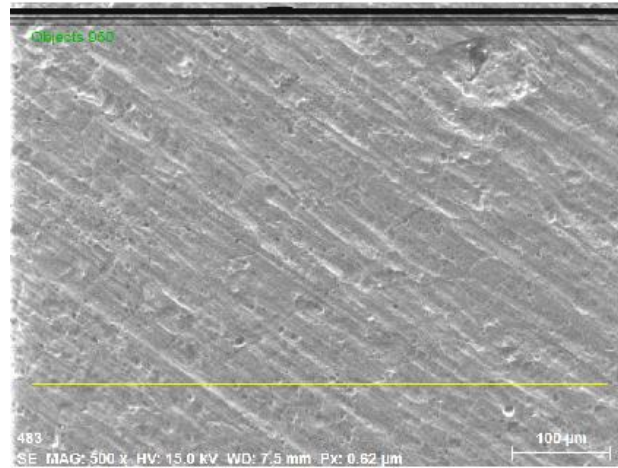
Şekil 5.12. Tane sayısı ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (100x)



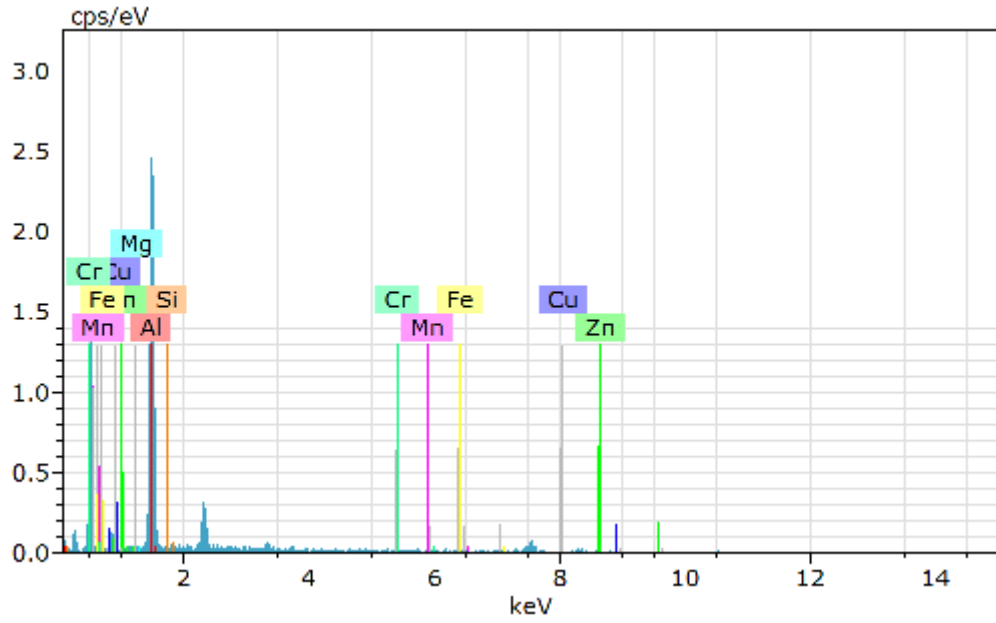
Şekil 5.13. Tane sayısı ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (200x)

#### 5.4. EDS (Energy Dispersive Spectrometer) Enerji Dağılımlı Spektrometresi Noktasal Analiz Sonuçları

Isıl işleme tabii tutulmamış olan N1 numunesinin EDX sonuçları dikkate alındığında Al oranının %97.9, Zn oranının %1.19, Cu oranının %0.26 ve Si oranının %0.49 olduğu Şekil 5.15 te tespit edilmiştir.



Şekil 5.14. N1 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafları

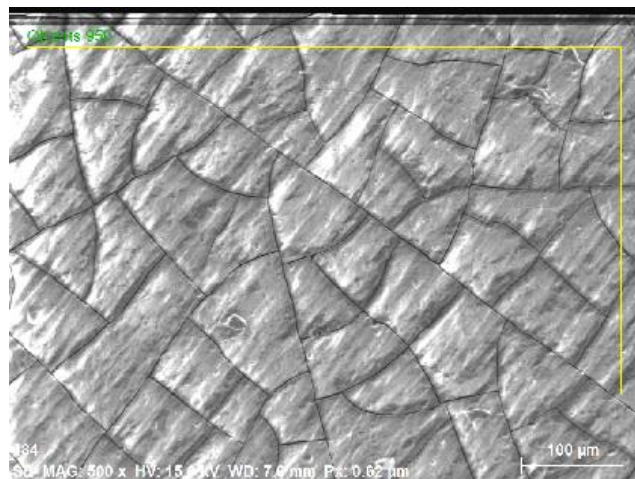


**Şekil 5.15.** N1 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

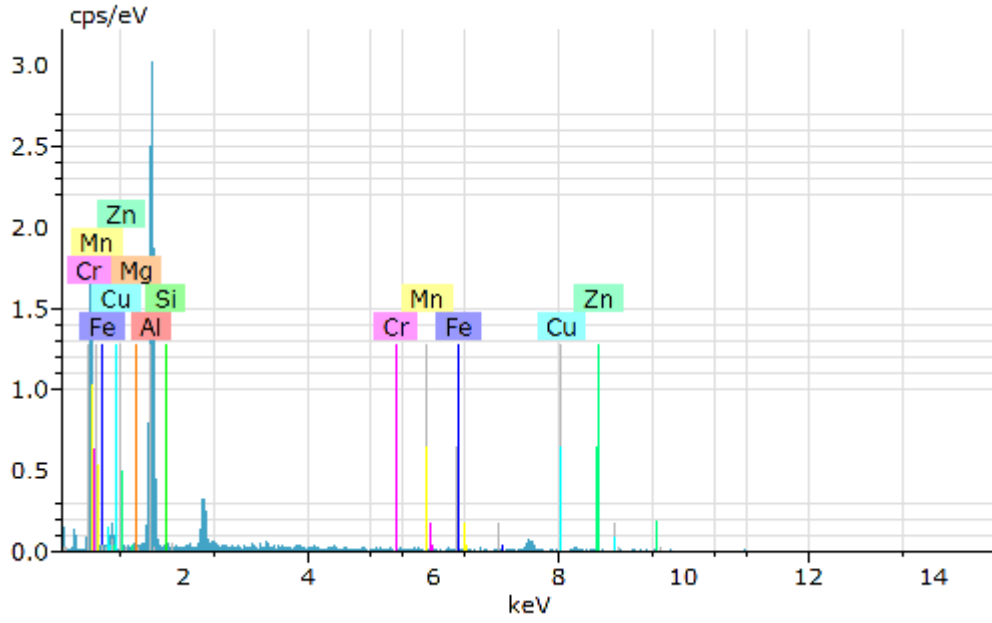
**Tablo 5.1.** N1 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Zn (%) | Cu (%) | Si (%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| N1     | 97.98  | 1.19   | 0.26   | 0.49   |

Yapılan ısıtıl işlemin, N2 numunesinde tane boyutlarını fazla değıştirmediği ortaya çıktı. Isıl işlem görmemiş numune ile karşılaştırıldığında, ısıtıl işlemin bu numunelerde aynı düzeyde iletkenliğı düşürdüğü saptandı. N2 numunesinin EDS analizinin sonuçları Şekil 5.17 da gösterilmiştir.



**Şekil 5.16.** N2 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafları

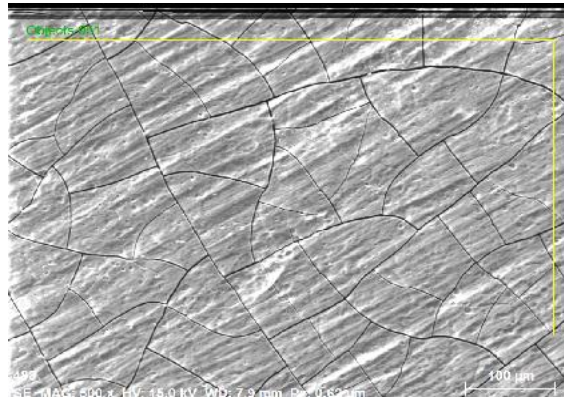


Şekil 5.17. N2 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

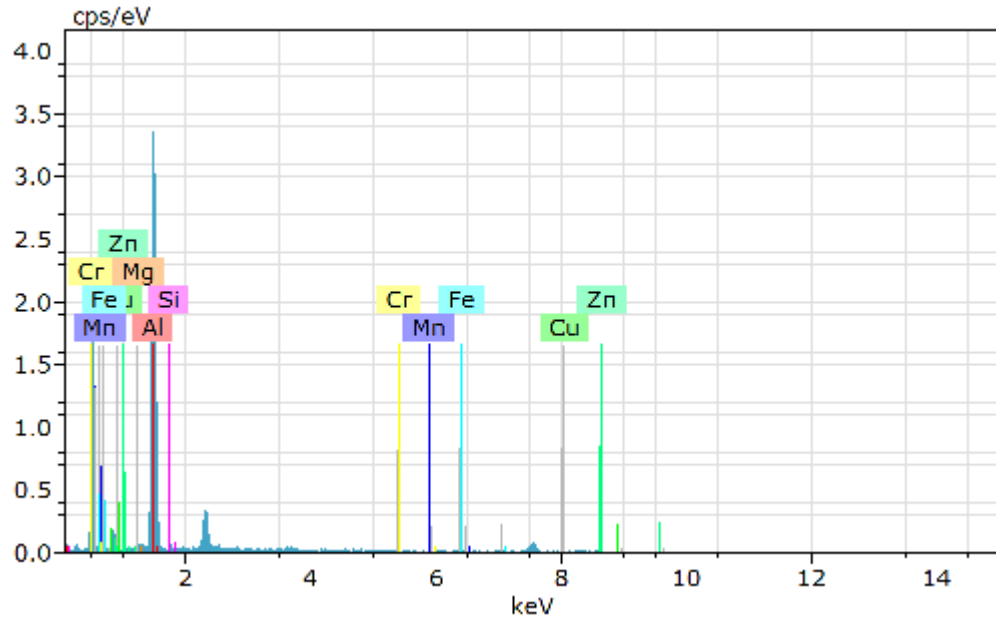
Tablo 5.2. N2 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Si (%) | Zn (%) | Mg (%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| N2     | 97.77  | 1.76   | 0.29   | 0.17   |

N2 numunesinde tespit edilen sonuçlar N3 numunesinde de ortaya çıktı. Yine ısıtım işlem görmemiş numune ile karşılaştırıldığında ısıtım işlemin bu numunelerde aynı düzeyde iletkenliği düşürdüğü saptandı. N3 numunesinin EDS sonuçları Şekil 5.19 de verilmiştir. Bu sonuçlar bölgesel analiz ile saptanmıştır. Bu değerlerin bulunduğu bölge Şekil 5.18 de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. N3 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafı

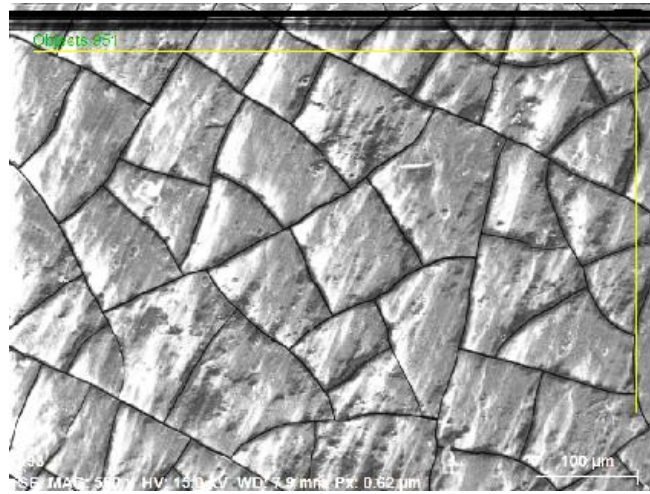


**Şekil 5.19.** N3 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

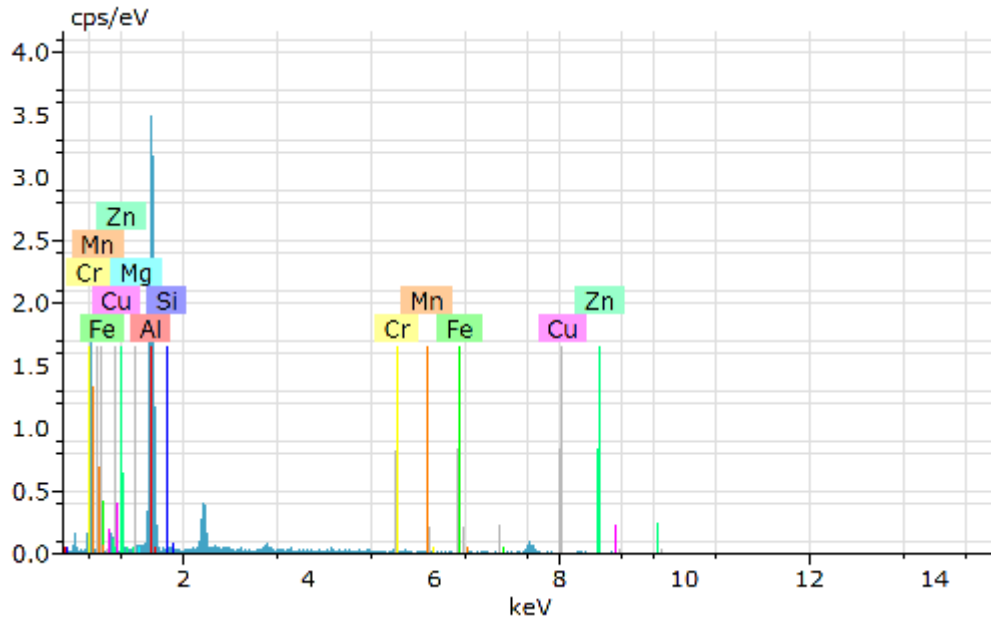
**Tablo 5.3.** N3 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Cu (%) | Zn(%) | Si (%) | Fe(%) | Mn   |
|--------|--------|--------|-------|--------|-------|------|
| N3     | 96.51  | 1.22   | 1.06  | 0.71   | 0.34  | 0.16 |

N2,ve N3 te belirlenen sonuçlar aynı şekilde N4 numunesinde de meydana geldi. Isıl işlem görmemiş numune ile karşılaştırıldığında ısıtıl işlemin bu numunelerde aynı düzeyde iletkenliği düşürdüğü saptandı. N4 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.20 da gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.21 de verilmiştir.



**Şekil 5.20.** N4 numunesine ait EDS analiz bölgesinin SEM fotoğrafı

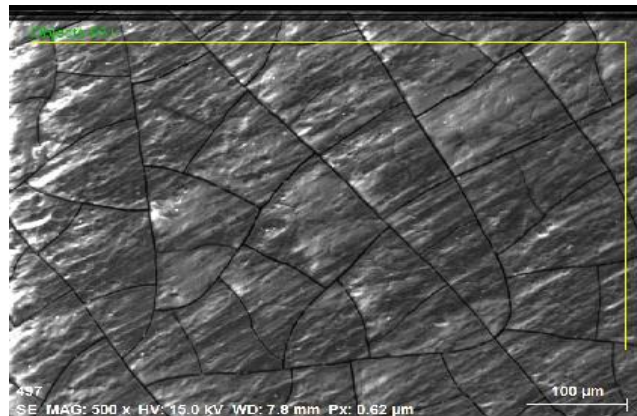


Şekil 5.21. N4 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

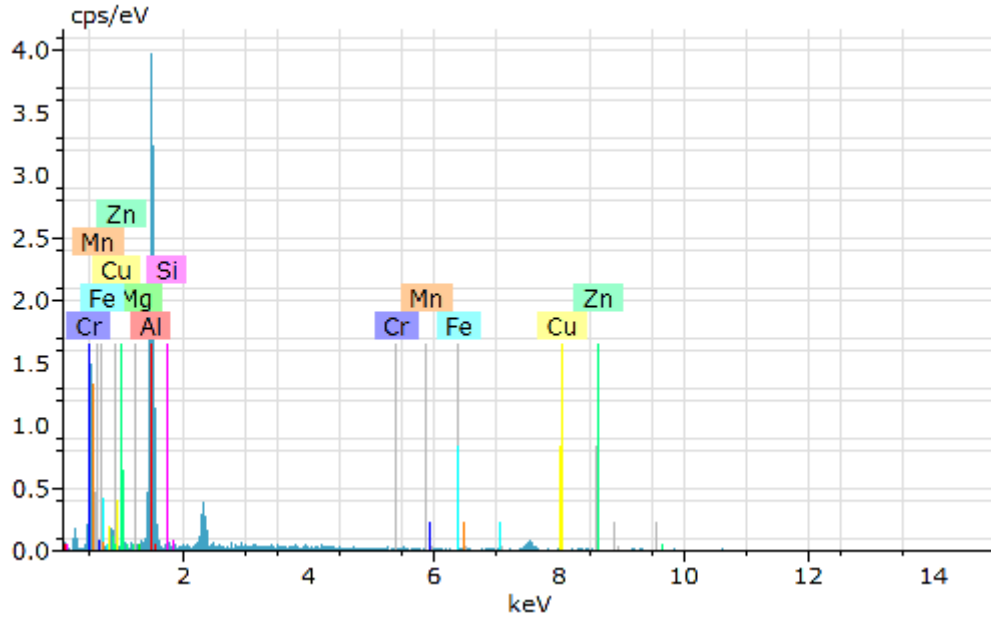
Tablo 5.4. N4 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Fe (%) | Cu (%) | Zn (%) | Si   | Mg   | Mn   |
|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|
| N4     | 96.28  | 0.94   | 0.79   | 0.54   | 1.08 | 0.26 | 0.11 |

N2, N3 ve N4 meydana gelen iletkenliğin düşmesi N5 te de ortaya çıkmıştır. Isıl işlem görmemiş numune ile karşılaştırıldığında ısıl işlemin bu numunelerde aynı düzeyde iletkenliği düşürdüğü saptandı. N5 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.22 da gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.23 de verilmiştir.



Şekil 5.22. N5 numunesine ait SEM fotoğrafı

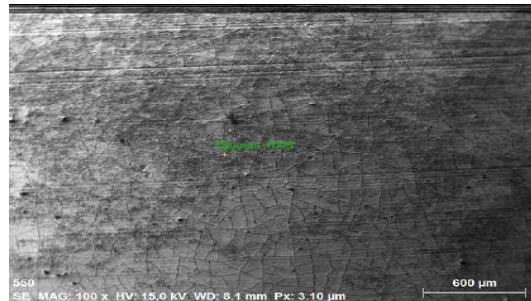


Şekil 5.23. N5 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

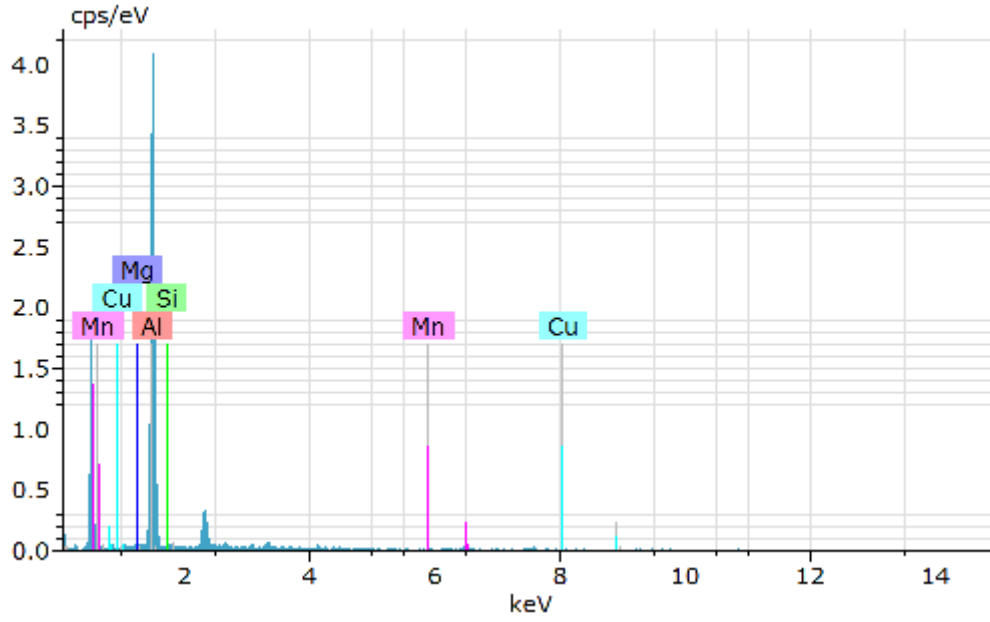
Tablo 5.5. N5 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Si (%) | Fe (%) | Mg (%) | Cr(%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| N5     | 94.98  | 2.91   | 0.70   | 1.18   | 0.23  |

N2, N3, N4, N5 numunelerinde iletkenliğin düşmesinden mütevellit, diğer numunelere farklı ısıtım işlem uygulamaları yapıldı. Buna göre N6 numunesine uygulanan ısıtım işlem sonrası iletkenlikte beklediğimiz artışın sağlandığı ortaya çıktı. N2, N3, N4, N5 numunelerine göre çok daha iyi iletkenlik özelliklerine kavuşuldu. Özellikle N1 numunesinden de daha iyi bir iletkenliğe ulaşılması, ısıtım işlem farklılığının iyi sonuçlar vereceğinin yolunu açtı. N6 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.24 da gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.25 de verilmiştir.



Şekil 5.24. N6 numunesinin SEM fotoğrafı

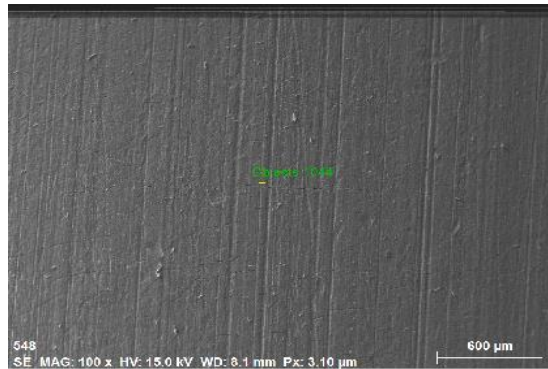


Şekil 5.25. N6 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

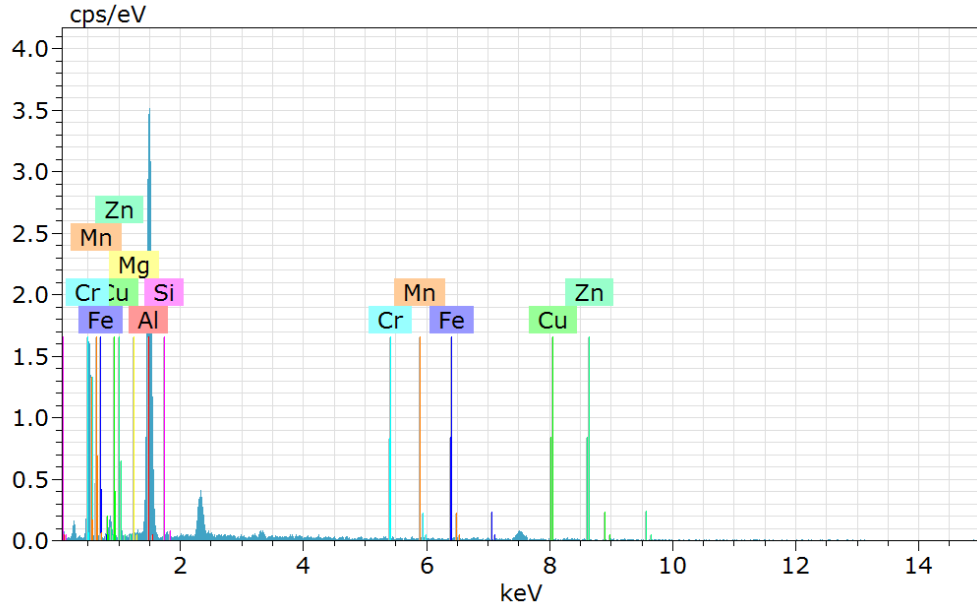
Tablo 5.6. N6 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Cu (%) | Si (%) | Mg (%) | Mn (%) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N6     | 97.45  | 0.77   | 0.91   | 0.28   | 0.58   |

N6 numunesinde olduğu gibi yine farklı ısıtım işlem uygulaması N7 numunesine yapıldı. Tane sayılarında artış ve tane boyutunda küçülme saptandı. Bu sayede iletkenlik değerinde oldukça yüksek bir artış gözlemlendi. Ancak iletkenlik değeri N6 numunesi ile aynı değeri verdi kayda değer olmayan çok az bir farkla N6 numunesinden daha iyi bir sonuç verdi. N7 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.26 da gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.27 da verilmiştir.



Şekil 5.26. N7 numunesinin SEM fotoğrafı ve EDS analiz noktası.

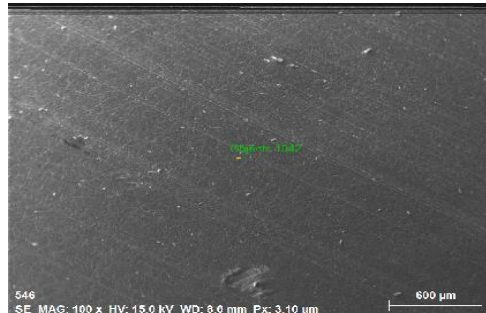


Şekil 5.27. N7 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

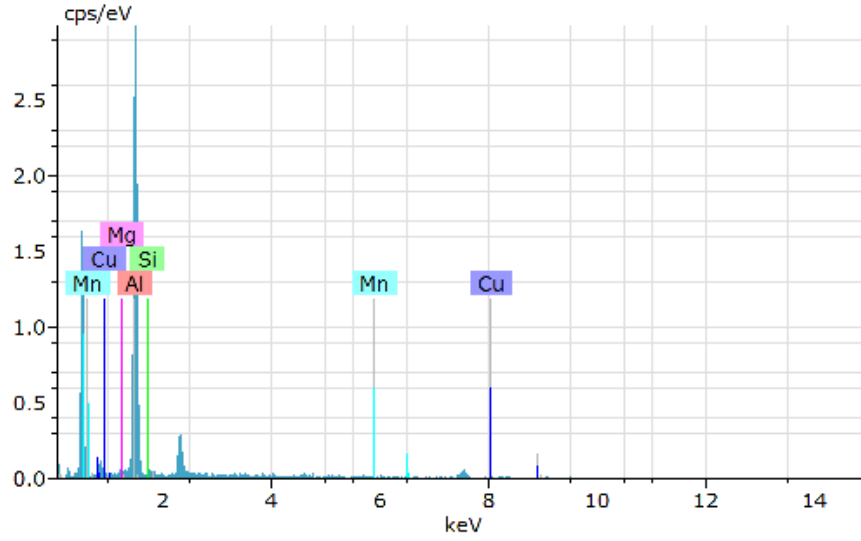
Tablo 5.7. N7 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Fe (%) | Cu(%) | Zn (%) | Si (%) | Mg(%) | Mn(%) |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| N7     | 96.28  | 0.94   | 0.79  | 0.54   | 1.08   | 0.26  | 0.11  |

N6 ve N7 numuneleri ile N8 numunesinin SEM fotoğrafları karşılaştırıldığında tane büyüklükleri arasında önemli bir fark görülmektedir. N6 ve N7 numunelerine göre N8 numunesinin tanelerinin çok daha küçüldüğü apaçık ortadadır. Numunenin; ısıtılma işlemi sonrasında hızlı bir şekilde buzlu suya çekildikten sonra, uygulanan yaşlandırma işleminin etkisiyle, Şekil 5.28 de görüldüğü üzere, tanelerinin küçüldüğü tespit edildi. N8 numunesine özgü ortaya çıkan küçük taneli bu mikro yapı iletkenliğin en yüksek değere ulaşmasını sağlamaktadır. Bu numunede beklenenin fevkinde bir iletkenlik değeri ulaşıldı. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.29 da verilmiştir.



Şekil 5.28. N8 numunesinin SEM fotoğrafı

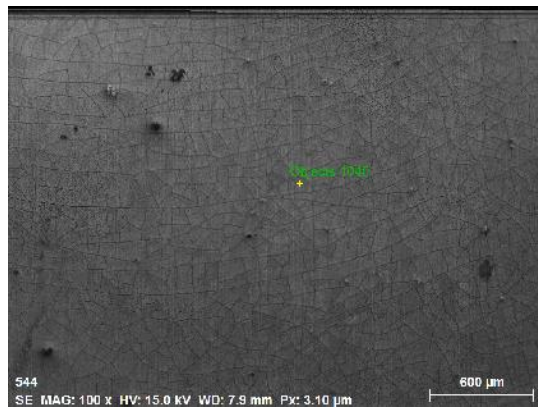


**Şekil 5.29.** N8 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

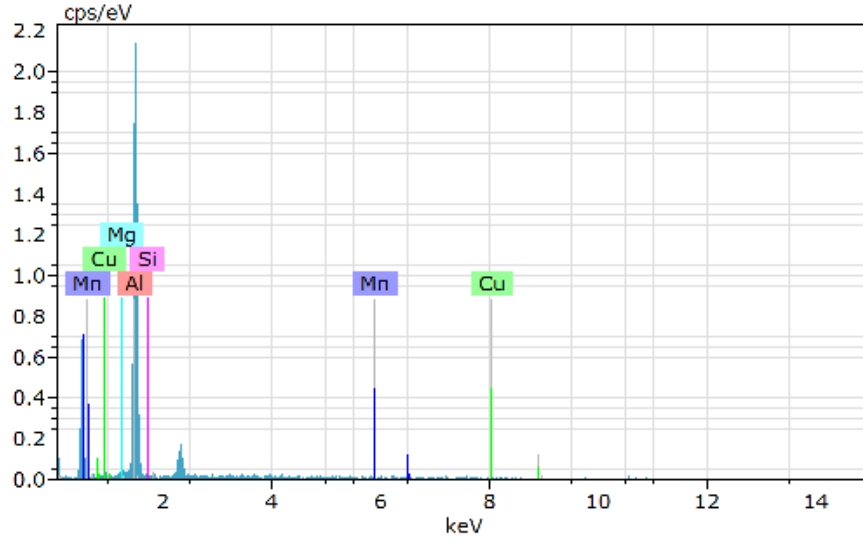
**Tablo 5.8.** N8 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Cu (%) | Mg(%) | Si (%) | Mn (%) |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| N8     | 95.53  | 3.96   | 0.30  | 0.18   | 0.03   |

N9 numunesine farklı bir ısıtma işlemi uygulandı. Tane sayısının N7 numunesiyle benzer yakınlıkta olduğu belirlendi. Buna karşılık iletkenliğinin N7 numunesine göre çok daha iyi olduğu görüldü. Isıtma işleminin akabinde havada soğutulmuş olarak yaşlandırma işlemine tabi tutulan bu numune N8'e benzer bir iletkenlik değerini beklememize rağmen N8'e kıyasla iletkenlik değeri biraz düştü. Ancak diğer bütün numunelerden daha yüksek iletkenlik değerine ulaşıldı. N9 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.30 da gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.31 da verilmiştir.



**Şekil 5.30.** N9 numunesinin EDS analiz noktasının SEM fotoğrafı

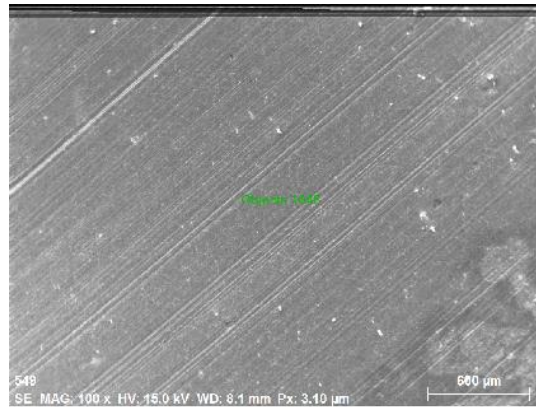


**Şekil 5.31.** N9 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

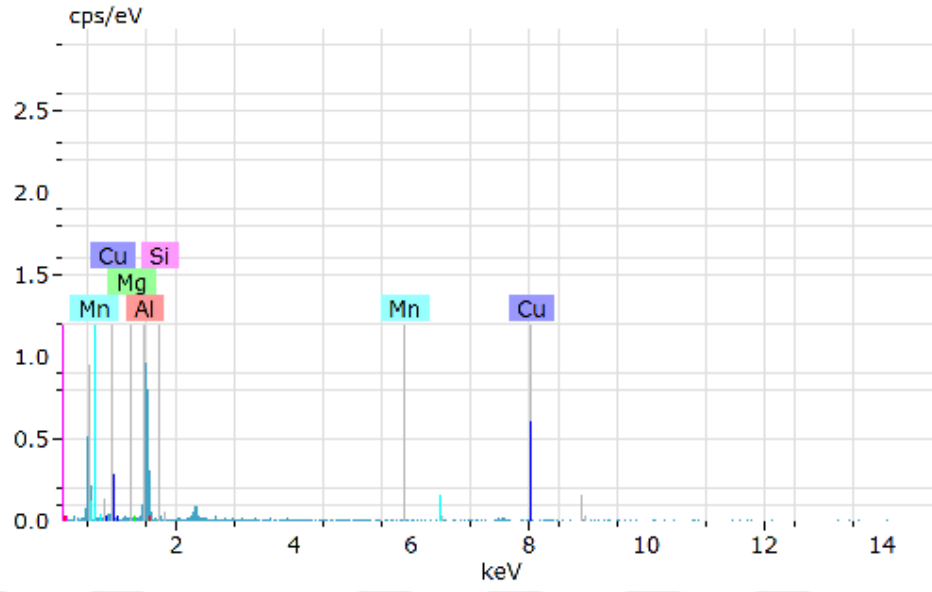
**Tablo 5.9.** N9 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Si (%) | Mg(%) |
|--------|--------|--------|-------|
| N9     | 98.49  | 0.70   | 0.81  |

N10 numunesine farklı bir ısıtma işlemi uygulandı. Tane boyutlarında ve tane sayısında diğer numunelere göre belli bir değişim saptanmadı. İletkenlik değerini kıyasladığımızda N8 ve N9 numunelerine göre azaldığı, fakat N6 ve N7 numunelerine göre ise arttığı tespit edildi. N10 numunesinin EDS analizinin alındığı bölge Şekil 5.32'de gösterilmiştir. Bu bölgeden alınan EDS sonuçları Şekil 5.33'de verilmiştir.



**Şekil 5.32.** N10 numunesinin EDS analiz noktasının SEM fotoğrafı



Şekil 5.33. N10 numunesine ait bölgenin EDS analiz grafiği

Tablo 5.10. N10 numunesine ait analiz bölgesinin EDS analiz sonucu

| Numune | Al (%) | Cu (%) |
|--------|--------|--------|
| N10    | 99.96  | 0.04   |

## 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Uygulanan ısıt işleme; N2, N3, N4 ve N5 numunelerinde görüldüğü üzere bu malzemenin iletkenlik değeri düştü.
- Farklı ısıt işlem uygulanarak N6, N7 ve N10 numunelerinde görüldüğü üzere malzemenin iletkenlik değeri yükseldi
- Farklı ısıt işlem ve yaşlandırmanın etkisiyle N9 numunesinde görüldüğü gibi orijinal numuneye göre takriben iki kata yakın bir değerde iletkenlik yükseldi.
- Yine farklı ısıt işlem ve yaşlandırmanın sonucunda orijinal numuneye kıyasla N8 nolu numune takriben 3 kat daha yüksek iletkenlik değeri verdi. Bütün numuneler karşılaştırıldığında en yüksek iletkenlik değerine N8 nolu numunede ulaşıldı.
- Al2024 alaşımı için iletkenlik kullanımı söz konusu olduğunda, N8 nolu numune önerilebilir.
- Bu malzemede farklı ısıt işlemlerle iletkenlik değerinin düştüğü görüldü.
- Aynı şekilde farklı ısıt işlem ve yaşlandırma ile iletkenlik değerinin yükseldiği de tespit edildi.
- Farklı ısıt işlem ve yaşlandırma ile hem iletkenliğin düşürülebileceği hem de iletkenliğin yükseltilebileceği bu malzeme için söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Tamer Ö.**, 2016, Alüminyum Geri Dönüşümünde Sıvı Metal Kalitesini Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve İkincil Alüminyumda İnklüzyon Giderme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Sibel E.**, 2011, AA2024 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere ve İşlenebilirliğe Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Mahmut T.**, 2011, AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük .
- [4] **Cahit B.**, 2015, Uçaklarda Kullanılan Al 2024 Alaşımlarında ve Karbon Fiber Kompozitlerinde Termografi Yönteminin Uygulanabilirliğinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [5] **Ayşegül Ç.**, 2015, AA7075 ve AA2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] [https://aluminiumleader.com/history/industry\\_history/](https://aluminiumleader.com/history/industry_history/)
- [7] **Baydur G.**, 1979. Malzeme, Devlet Kitapları Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara Volum: 244-245.
- [8] <http://www.aluminyumsanayi.com/aluwebsayfam1.html>
- [9] **Kasaplar G.** ,2007, Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [10] **Erdoğan M.**, 2001, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [11] **Alan S.**, 2008 Mayıs, Alüminyum Raporu.
- [12] Türkiye Kalkınma Bankası., 2006 Eylül, Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü, Ankara

- [13] **Çelik H.O.**, 2015, Alüminyum Siyah Curuflarındaki Alüminyumun ve Bileşiklerinin Hidro ve Pirometalurjik Yöntemler ile Geri Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] <http://www.world-aluminium.org/statistics/#map> Alındığı Tarih 16.10.2014
- [15] [http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/87c11b9100c608b\\_ek.doc](http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/87c11b9100c608b_ek.doc)
- [16] **Özcömert M.**, Aralık 2006, İstanbul Ticaret Odası, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum.
- [17] **Başer T. A.**, 2013, Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisindeki Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 53, Sayı 635.
- [18] Milli Eğitim Bakanlığı, 2012, Uçak Bakım, Uçak Malzemeleri, Ankara.
- [19] <http://www.ayla-aluminyum.com.tr/aluminyum-ve-diger-muhendislik-uygulamalari>
- [20] **Oğuz B.**, 1990, Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayını.
- [21] <http://www.islamidavet.com/kutuphane/2011/07/11/alasim-elementlerinin-aluminyum-alasimlarina-etkileri/>
- [22] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrik-muhendisliginde-kullanilan-aluminyum-ve-alasimlari/18730#ad-image-0>
- [23] **Car E.**, Birincil Alüminyum Üretim Yöntemlerine Genel Bir Bakış, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası, Vol: 37
- [24] T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016, Sektörel Atık Kılavuzları, Birincil ve İkincil Alüminyum Üretimi, Ankara.
- [25] **European Commission.** 2014. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries.
- [26] **Car E.**, İkincil Alüminyum Üretim Yöntemlerine Genel Bir Bakış, Teknik Yazı
- [27] **Car E.**, 29-30 Nisan 2010, İkincil Alüminyum Üretiminde Fırın Seçimi, 3. Endüstriyel Fırınlr ve Refrakter Sempozyumu, Sakarya Üniversitesi.

- [28] **Bilgetekin A.**, 2010, Kokil Kalıba Alüminyum Proseslerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir.
- [29] ASM HANDBOOK, 1991, Heat Treating of Aluminium Alloys Vol: 841-879.
- [30] **Sönmez N., Güner Z.**, Nisan 1989, Alüminyum, Magnezyum, Titan, Çinko ve Alaşımlarının Isıl işlemleri, Mühendis ve Makine, Sayı: 351, Cilt: 30, Vol: 8
- [31] **Delikanlı E.Y.**, 2011, Alüminyum Alaşımlarında Çökelme Sertleşmesinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [32] A.J.ARDELL, Precipitation Hardening, 1985. URL8  
[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4613-0267-0\\_16.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4613-0267-0_16.pdf)
- [33] **Demirci A.H.**, 2004, Mühendislik Malzemeleri, Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemleri, Aktüel Yayınları.
- [34] **Ateş A. E.**, 2012, Toz Metalurjisi ile Üretilen AA2014 – Al4C3 Sistemlerine Yaşlandırma Isıl İşleminin Uygulanması ve Mikroyapısal Özelliklerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [35] **Meyveci, A.**, 2007, “Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [36] **Demirtaş H.**, 2009, 6061 Alaşımlarında Ara Verilerek Yapılan Yaşlandırma İşleminin Malzeme Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [37] **Onur A.**, 2014, AA6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarının Yaşlandırma İşlemine Bağlı Olarak İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- [38] **Bozoklu M.**, 2007, Holmiyum Trioksit Katkılanmış Bizmut Trioksit Polimorflarının Sentezlenmesi, Karakterizasyonu ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [39] **Onaran K.**, 1995, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi.

- [40] **Altuner E.**, 2009, Al-Sn ve Ag-Sn İkili Metalik Alaşımlarında Kristolografik Örgü Parametreleri, Isı İletkenliği ve Elektriksel İletkenlik Katsayılarının Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [41] **Xiaoli Cui, Yuying Wu, Xiangfa Liu, Qingru Zharo, Guojun Zhang**, 2015, Effects of Grain Refinement and Boron Treatment on Electirical Conductivity and Mechanical Properties of AA1070 Aluminum and Mechanical, Materials and Design. Volum:397.
- [42] **Jaafar S.**, 2013, Kontrollü Katılaştırılmış Al – Co ve Sn – Zn Ötektik Alaşımlarının Ötektik Mesafe, Mikrosertlik ve Elektriksel Özdirenç Değerlerinin Büyütme Hızına Bağlılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [43] **Ersoy E.**, 2010, CeO<sub>2</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dope Edilmiş Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Polimorflarının Sentezi, Kristalografik ve Elektriksel İletkenlik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [44] **Dolaştır F.**, 2009, Polimer Malzemelerin Elektriksel Dirençlerinin Ve Optik Geçirgenliklerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [45] **Topsoe, H.**, 1968, Geometric Factor In Four Point Resistivity Measurement, Semiconductor Division, Vedbaek, 38-40.
- [46] file:///C:/Users/Asus/Downloads/1KW-60826-0\_4200AMaterialsAppsGuide.pdf
- [47] **Xingle Chen, Yinzhaio Lei**, 2015, Electrical Conductivity Measurement of Ferromagnetic Metallic Materials Using Pulsed Eddy Current Method. NDT&E International. Volum:33.
- [48] **Özdemir R.**, 2010, Elektrodepolama Yöntemi İle Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis.
- [49] **Tiamiyu AA., Badmos A.Y., Odeshi A.G., Szpunar J.A.**, 2017, The İnfluence of Temper Condition on Adiabatic Shear Failure of AA 2024 Aluminum Alloy, Materials Science & Engineering A, Volum: 492.



## **ÖZGEÇMİŞ**

1988 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi İskenderun Meslek Yüksek Okulu Endüstriyel Elektronik bölümünü kazandı. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Malzeme A.B.D yüksek Lisans eğitimine başladı.

