



**LABORATUVAR ÖLÇEKLİ MİNİ ARK OCAĞI  
TASARIMI VE ÜRETİMİN  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE DEMİR-DEMİR DIŞI  
METALLERİN DÖKÜLEBİLİRLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Emrah GÖKDEMİR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**LABORATUVAR ÖLÇEKLİ MİNİ ARK OCAĞI TASARIMI VE  
ÜRETİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE DEMİR-DEMİR DİŐİ  
METALLERİN DÖKÜLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Emrah GÖKDEMİR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Mayıs 2023**

Emrah GÖKDEMİR tarafından hazırlanan “Laboratuvar Ölçekli Mini Ark Ocağı Tasarımı ve Üretimini Gerçekleştirilmesi ve Demir-Demir dışı Metallerin Dökülebilirliğinin İncelenmesi.” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından **Oy Birliği** ile Anabilim Dalınız Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/05/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Emrah GÖKDEMİR

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **LABORATUVAR ÖLÇEKLİ MİNİ ARK OCAĞI TASARIMI VE ÜRETİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE DEMİR-DEMİR DIŞI METALLERİN DÖKÜLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Emrah GÖKDEMİR**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**Mayıs 2023, 46 sayfa**

Bu projede, üniversitelerde mühendislik fakültesi araştırma laboratuvarlarında kullanılmak üzere Mini Elektrik Ark Ocağı tasarımı, tasarım sonrasında Demir – Demir dışı metallerin dökümünün yapılması ve döküm sonrası mikro yapılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Projenin prototip kısmını 1 adet transformatör, 1 adet döküm potası ve 1 adet piston devirme sistemi oluşturmuştur. Elektrik Ark Ocağının kompakt hale getirebilmesi için özel sarım transformatör, dökümün

gerçekleştirilmesi için özel boyutlara pota tasarımı ve döküm sonrası potanın kalıplara dökülmesi için lineer aktüatör piston kullanılmıştır.

Ana başlangıç malzeme olarak, düşük yoğunluklu, mukavemetli ve kullanışlı olması sebebiyle çağımızın en önemli mühendislik malzemelerinden biri olan Alüminyum kullanılmıştır. Ürün yelpazesi çok fazla olan Al, günlük hayatımızda, ulaşım araçlarında ve elektronik ürünlerde (TV ve PC vb.), gıda ve ilaç sektörlerinde kullanılmaktadır. Al ile Al alaşımlarını incelemek adına pota içerisine farklı gramaj ve yüzdelerde Cu, Mg ve Fe metalleri katılarak 3 farklı numune elde edilmiştir. Numunelerde Al miktarlarını düşürmek suretiyle, farklı metaller ekleyerek oluşturulan alaşımın özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. 1 Nolu numune (%20 Cu 20 gr-%20 Mg 20 gr-%5 Fe 10 gr-Al 150 gr), 2 no lu numune (%20 Cu 10 gr-%20 Mg 10 gr-%5 Fe 2.5 gr-Al 27.5 gr) ve 3 no lu numune (%30 Cu 15 gr-%30 Mg 15 gr-%5 Fe 2.5 gr-Al 17.5 gr) elde edilmiştir.

Metalografi çalışmalarında sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri gerçekleştirilerek elde edilen numunelere optik mikroskop ile 10x-20x-50x-100x kat büyütme uygulanmıştır. Bunun sonucunda 1. 2. ve 3 no'lu numunelerde (Al<sub>2</sub>Cu, Al<sub>2</sub>CuMg ve Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe) tane sınırlarında fazlar siyah renk ile görülmüştür. Alaşım içerikleri arttıkça fazların tane sınırlarında kabalaştığı gözlemlenmektedir. Vickers Hv05 sertlik cihazı ile alınan ölçümler sonucunda 1. 2. ve 3 no lu numunenin saf Al göre sertliğinin sırasıyla 3- 4,5 -6 kat arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Mini Elektrik Ark Ocağı, Alimünyum ve Alimünyum Alaşımları, Vickers Hv05 Sertlik Cihazı, Optik Mikroskop

**Bilim Kodu** : 91504

## **ABSTRACT**

**Master**

### **DESIGN AND MANUFACTURING LABORATORY SCALE MINI ARC FURNACES AND INVESTIGATION OF THE CASTING OF IRON-NON- FERROUS METALS**

**Emrah GÖKDEMİR**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**May 2023, 46 pages**

In this study, it was aimed to design a Mini Electric Arc Furnace to be used in the research laboratories of engineering faculties at universities, to cast iron and non-ferrous metals after design, and to examine their microstructures after casting. The prototype part of the project consisted of 1 transformer, 1 casting crucible and 1 piston tilting system. A special winding transformer to make the Electric Arc Furnace compact, a ladle design with special dimensions to carry out the casting, and a linear actuator piston to pour the crucible into the molds after casting were used.

Aluminum, which is one of the most important engineering materials of today, was utilized as the main starting material on the grounds that it is light, durable and

functional. Having a vast variety of usage, Al is used in the houses we live in, in all transportation vehicles and devices we use (phones and computers, etc.), all kinds of cables, all kinds of cabinets, shelves, counters and kitchen utensils, modern interior designs, as well as many other industries such as food, medicine and chemistry.

In order to examine Al and Al alloys, 3 different samples were obtained through adding Cu, Mg and Fe metals in different weights and percentages into the crucible. It was aimed to examine the properties of the alloy formed in the process of adding different metals by means of reducing the amount of Al in the samples. Sample No. 1 (20% Cu 20 gr-20% Mg 20 gr-5% Fe 10 gr-Al 150 gr), Sample No. 2 (20% Cu 10 gr-20% Mg 10 gr-5% Fe 2.5 gr) -Al 27.5 gr) and sample 3 (30% Cu 15 gr-30% Mg 15 gr-5% Fe 2.5 gr-Al 17.5 gr) were obtained.

The samples, which derived from the process of sanding, polishing and etching respectively in metallography studies, underwent a 10x-20x-50x-100x magnification with an optical microscope.

As a result, the phases at the grain boundaries of the 1st, 2nd and 3rd samples ( $Al_2Cu$ ,  $Al_2CuMg$  and  $Al_7Cu_2Fe$ ) were observed in black color. It is established that the phases become coarser at the grain boundaries as the alloy contents increase.

In conclusion the measurements carried out via the Vickers HV05 hardness device, it was found that the hardness of the 1st, 2nd and 3rd samples increased by 3-4,5-6 times, respectively, compared to pure Al.

**Key Word** : Mini Electric Arc Furnace, Aluminum and Aluminum Alloys, Vickers HV05 Hardness Device, Optical Microscope

**Science Code** : 91504



## TEŞEKKÜR

Belli bir süredir üzerinde hem pratik hem teorik olarak çalıştığım yüksek lisans tezimi tamamlamış olmanın verdiği gurur ve heyecan ile bu bölümü de kullanarak desteklerini benden esirgemeyen ve birçok konuda beni teşvik eden yakınlarıma teşekkür etmek için kullanmak isterim.

Öncelikle danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, laboratuvar çalışmalarımda yol gösteren ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr Hayrettin Ahlatçı'ya bu konuda müteşekkirim.

Mini Elektrik Ark ocağının tasarımı ve üretiminin gerçekleştirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve gerekli zamanı sağlayan Sedef Gemi İnşaatı A.Ő. firmasına ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu süreçte yanımda olan aileme, eşime ve dostlarıma desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
ELEKTRİK FIRINLARI .....	4
2.1. ELEKTRİK OCAKLARI.....	4
2.1.1. Tanımlar ve Avantajları.....	4
2.1.2. Elektrik Direnç Fırınları .....	5
2.1.3. Endüksiyon Fırınları .....	6
2.1.4. Elektrik Ark Ocakları (EAO).....	7
2.2. ELEKTRİK ARK FIRINLARININ AKSAMLARI .....	9
2.2.1. Elektrotlar .....	9
2.2.2. Elektrik Arkı .....	10
2.3. ELEKTRİK ARK FIRIN DEVRESİ.....	11
2.4. MEKANİK TERTİBATLAR.....	12
2.4.1. Hidrolik Sistemler.....	12
2.4.2. Su Soğutma ve Yağlama Sistemi.....	12
2.5. REFRAKTERLER .....	13
2.6. ELEKTRİK ARK FIRINI ÇALIŞMA SİSTEMİ.....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 3 .....	14
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	14
3.1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....	14
3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	16
3.2.1. Şekillendirilebilen(Dövme)Alaşımalar.....	16
3.2.2. Döküm Alaşımalarının Gruplandırılması .....	16
3.2.3. Alüminyum Alaşımalarına Elementlerin Etkisi .....	18
BÖLÜM 4 .....	20
MİNİ ELEKTRİK ARK FIRINI.....	20
4.1. MİNİ ELEKTRİK ARK FIRINI .....	20
4.1.1. Mini Elektrik Ark Fırını Transformatörü .....	20
4.1.2. Mini Elektrik Ark Fırını Tasarımı .....	22
4.2. MİNİ ELEKTRİK ARK OCAĞI POTA TASARIMI .....	25
4.2.1. Mini Elektrik Ark Ocağı Refrakter Kaplama .....	26
4.3. MİNİ ELEKTRİK ARK OCAĞI MEKANİK BOŞALTIM SİSTEMİ .....	28
BÖLÜM 5 .....	32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	32
5.1. NUMUNELER.....	32
5.2. NUMUNE HAZIRLAMA .....	33
BÖLÜM 6 .....	34
6.1. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	34
6.1.1. Mikro Yapılar .....	34
6.1.2. Mikro Sertlik Ölçüm Analizi .....	40
SONUÇLAR .....	42
KAYNAKLAR .....	44
ÖZGEÇMİŞ .....	46

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Potalı direnç fırını .....	5
Şekil 2.2. Tavalı direnç fırını .....	6
Şekil 2.3. Çekirdeksiz endüksiyon fırını .....	6
Şekil 2.4. Çekirdekli endüksiyon fırını .....	7
Şekil 2.5. Elektrik ark fırını .....	7
Şekil 2.6. Vasıtasız ark fırını .....	8
Şekil 2.7. Vasıtalı ark fırını .....	8
Şekil 2.8. Vakumlu ark fırını .....	9
Şekil 2.9. Ark Oluşum Şeması .....	10
Şekil 2.10. Elektrik ark fırınının akım devresi .....	11
Şekil 2.11. Elektrik ark fırınının çalışma sistemi .....	13
Şekil 3.1. Havacılık sektöründe kullanılan Al alaşımları .....	15
Şekil 3.2. Gıda sektöründe kullanılan Al alaşımları .....	15
Şekil 3.3. Otomotiv sektöründe kullanılan Al alaşımları .....	16
Şekil 4.1. Transformator Taslağı .....	20
Şekil 4.2. Trafo Sarım Hesaplaması .....	22
Şekil 4.3. Alüminyum Sac Levha .....	23
Şekil 4.4. Bobin Sarım İşlemi .....	23
Şekil 4.5. Trafo Kademeleri .....	24
Şekil 4.6. Trafo Kondaktörü .....	25
Şekil 4.7. Mini Elektrik Ark Trafosu .....	25
Şekil 4.8. Mini Elektrik Ark Ocağı Pota Tasarımı .....	26
Şekil 4.9. Mini Elektrik Ark Ocağı Refrakter Kaplama .....	27
Şekil 4.10. Mekanik Boşaltım Sistemi .....	28
Şekil 4.11. Mekanik Boşaltım Kontrol Paneli .....	29
Şekil 4.12. Mini Elektrik Ark Fırını .....	30

Şekil 4.13. Mini Elektrik Ark Fırınında Döküm İşlemi . . . . .	31
Şekil 5.1. Numunelerin Ölçü ve Şekilleri . . . . .	33
Şekil 6.1. 1 Nolu Numune 10x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	34

**Sayfa**

Şekil 6.2. 1 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	34
Şekil 6.3. 1 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	35
Şekil 6.4. 1 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	35
Şekil 6.5. 2 Nolu Numune 10x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	36
Şekil 6.6. 2 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	36
Şekil 6.7. 2 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	37
Şekil 6.8. 2 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	37
Şekil 6.9. 3 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	38
Şekil 6.10. 3 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	38
Şekil 6.11. 3 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü . . . . .	39
Şekil 6.12. 1 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü . . . . .	40
Şekil 6.13. 2 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü . . . . .	40
Şekil 6.14. 3 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü . . . . .	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Metal ergitme fırınlarının enerji bakımından karşılanması .....	5
Çizelge 2.2. Grafit ve karbon elektrotlarının karakteristik özellikleri .....	10
Çizelge 3.1. Saf alüminyumun özellikleri .....	14
Çizelge 3.2. Al Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması .....	17
Çizelge 3.3. Alüminyum Döküm Alaşımlarının Kullanım Alanları .....	17
Çizelge 3.4. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Üzerindeki Etkisi .....	19
Çizelge 5.1. 1 Nolu Numune Al Alaşımının kimyasal bileşimi .....	32
Çizelge 5.2. 2 Nolu Numune Al Alaşımının kimyasal bileşimi .....	32
Çizelge 5.3. 3 Nolu Numune Al Alaşımının kimyasal bileşimi .....	33
Çizelge 6.1. Mikro Yapı Tane Sınırlarında Oluşan Fazlar .....	39
Çizelge 6.2. Numunelerin Sertlik Ölçüm Değerleri ve Ortalama Değerleri .....	41

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Cr	: krom
Ni	: nikel
Mg	: gümüş
Al	: alüminyum
Fe	: demir
Mn	: mangan
Cu	: bakır
Si	: silisyum
Zn	: çinko
Mo	: molibden
Ni	: nikel
XL	: omik direnci
$f$	: frekans hızı (Hz)
L	: bobin endüktansı
S	: alan
R	: direnç
Pb	: kurşun

## **KISALTMALAR**

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- TS : Türk Standardı
- EAF : Elektrik Ark Fırını
- HV : Hardness Vickers
- AA : Aluminium Association
- US : United States of America



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Elektrik ark fırını, 19. Yüzyılda Paul (Louis-Toussaint) Hérault tarafından bulunmuştur ve ilk kez 20. yüzyılda Rusya'da kurulmuştur.

20. yüzyılda ilk fırın örnekleri Sovyetler Birliğinde 250 kg kapasiteli fırınlar olarak kurulmuştur. Elektrik ark fırınlarının gelişim sürecinde, kapasiteleri 0,5 ile 200-ton aralığında fırınlar yapılmıştır. USA'da yapılan 360-ton kapasiteli fırın en büyük kapasiteye sahip Heroult fırınıdır.

21. Yüzyılın son çeyreğinde çelik üretiminde çok fazla tercih edilmektedir. Ark ocaklarında sıvı çelik üretimi yıllara göre artış göstermiştir. 1906 yılında 8,5 milyon ton, 1955 yılında 43 milyon ton, 2005 yılında ise 360 milyon ton seviyesine ulaşmıştır [1].

EAF, elektrik arkı ile malzemeyi ergitmeye yarayan fırındır. Elektrik ark fırınları ergitme işlemini gerçekleştirmek için yüksek oranda kimyasal ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyar. Çelik üretimini %30'luk kısmı EAF ile yapılmaktadır [2]. Elektrik ark fırınlarının kapasitesi üretime göre 1-ton ile 400-ton aralığındadır. Elektrik ark fırınları soğuk metallerle doldurulur. Bu fırınlarda başlangıçta sıcak metal kullanılmaz. Ayrıca demir cevherinden elde edilen işlenmemiş sünger vb. gibi malzemeler de fırına atılır.

Ark fırınları hareketli elektrotlar ile yüklü hurdaların arasında oluşan ark ile meydana gelmektedir. Buradaki temel prensip iki elektrotun başlangıçta birbirine değdirilerek

ark oluşumunun başlangıcının sağlanması, sonrasında elektrotlar ayrılarak elektrotlar ve yüklü malzeme arasında oluşacak direnci arttırmaktadır [3].

Alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) kullanılarak ark oluşumu sağlanabilir. Buradaki temel prensip sistemdeki voltajı düşürerek oluşacak ark direnci ile ihtiyaç duyulan sıcaklığı elde etmektir. Elektrik ark fırınlarında, prosesin sürdürülebilir olması için, reaktansın yüksek tutulması gerekir. Reaktans, endüktansın gerilime karşı gösterdiği dirençtir. Ark geriliminin artırılması trafo gerilimi ve reaktansın artması ile doğru orantılıdır [4].

Elektrik ark ocaklarında, pota içerisinde akımın üretilmesi görevini üstlenir. Çoğunlukla grafit ve karbon elektrotlar tercih edilir. Bunun nedeni bu elektrotların minimum elektrik zayıfına ve akım kapasitesinin yüksek olması özelliklerine haiz olmasıdır.

Modern ark ocaklarında ergitme işleminde elektrik ark ocağının kapasitesine göre ortalama 150-ton malzeme ergitilebilir. Bu ergitme işlemi elektrik ark ocağının kapasitesine göre ortalama 90-120 dakika sürer.

Elektrik ark fırınlarının diğer ısıtma yöntemlerine göre önemli avantajları vardır;

1. Dökümü gerçekleştirilen malzemelerin yüzeydeki kirlilik (impüriteler) derecesinin az olmasıdır. Isı oluşumunda malzeme içindeki impüritelerin üretim alaşımına karışmasını engeller.
2. Isı istenilen noktaya direkt iletilebilir.
3. Fırın sıcaklığının kontrolü, ısının kademeli şekilde kontrolü ile elde edilebilir.
4. Yüksek fırınlarla karşılaştırıldığında tercih edilmesinin nedenleri; hızlı devreye alma ve üretim kolaylığıdır. Ham madde olarak hurda kullanıldığı için düşük maliyetlidir [5].

Elektrik kullanılarak ısı oluşturmanın birden fazla yöntemi vardır. Bu tez çalışmasında elektrik ark fırını ile elde edilen yöntem incelenecektir.

Alüminyum, yer yüzünde çok fazla bulunan elementlerdendir. Çeliklerden sonra, hafifliği, mukavemeti ve pasivasyon özelliği nedeni ile mühendislik çalışmalarında tercih edilen bir madendir.

Doğada boksit cevheri olarak bulunur ve oksitlenmeye karşı yüksek direnç gösterir. Atom numarası 13 olup ergime noktası 660,32 °C dir. Sünek bir metaldir. Isı ve elektrik iletkenliği oldukça iyidir. Korozyona dayanıklı bir metaldir. Genellikle havacılık, gıda ve ulaşım sektöründe kullanılan malzemelerdir.

Al alaşımlarında çeşitli sınıflandırmalar vardır; bu sınıflandırmalar döküm ve dövülebilir alaşım olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Dövülebilir alüminyum alaşımları plastik deformasyon ile daha kolay şekillendirilmektedir. Birçok alüminyum alaşımına ısıl işlem uygulanabilir ve şekil verilebilir.

Bu çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Özet olarak birinci bölümde literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde elektrik fırınları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde tez konusu olan mini elektrik ark fırınının üretiminin gerçekleştirilmesi ve çalışma prensibi hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde alüminyum ve alüminyum alaşımları hakkında literatür taraması yapılarak kullanıldığı alanlar ve kullanım şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde tezin amaç, yapılan deneysel çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan malzemeler numune hazırlama süreci ve uygulanan testler hakkında bilgiler sunulmuştur. Altıncı bölümde optik mikroskop ile alınan mikro yapı görüntüleri ve HV05 sertlik cihazı ile alınan sertlik değerleri görselleri ile sunulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar ile neden-sonuç ilişkisi kurularak kıyaslama yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında literatür taraması ile genel sonuçlar yorumlanarak sonuçlandırılmaktadır.

## BÖLÜM 2

### ELEKTRİK FIRINLARI

#### 2.1. ELEKTRİK OCAKLARI

##### 2.1.1. Tanımlar ve Avantajları

En az iki tane olacak şekilde metallerin karıştırılarak ergitilmesi sonucu alaşım oluşturmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yakıt olarak katı, sıvı, gaz veya elektrik enerjisi ile çalışan fırın çeşitleri vardır. Alt başlık olarak üç farklı ark fırını çeşidi anlatılacaktır.

Ark fırınları, elektrik akımının ısıya dönüşmesi prensibi ile çalışan fırınlardır. Kurulum, iş yeri ve onarım maliyeti göz önünde bulundurulduğunda bu fırınlar diğer eritme fırınlarına göre oldukça pahalıdır.

##### Avantajları

1. İstenilen kapasitede ve istenilen özelliklerde üretilen fırınlar sayesinde sıcaklık ve süre kontrolü yapılabilir.
2. İstenilen kapasitelerine göre elektrik fırınları tasarlanabilir.
3. 2000-3000 ° C gibi yüksek sıcaklıklara çıkabilir.
4. Kombinezon oranları kontrol edilebilir, malzeme zayıyatı azdır.
5. Fosil yakıtlar kullanılmadığı için bileşime kükürt geçmez.

Çizelge 2.1. Metal ergitme fırınlarının enerji bakımından karşılanması

Fırın Tipi	Enerji Kaynağı	Sarfiyat	Toplam Verim %
Kupol Fırınları	Kok	100-150kg	27-45
Ark fırınları	Elektrik	610-660 kW/saat	59-65
Endüksiyon fırınları	Elektrik	590-650 kW/saat	60-66
Direnç fırınları	Elektrik	780-870 kW/saat	45-50

Elektrik enerjisini ısıya çevirmesi için kullanılan fırınlar 3 ana başlıkta incelenmiştir;

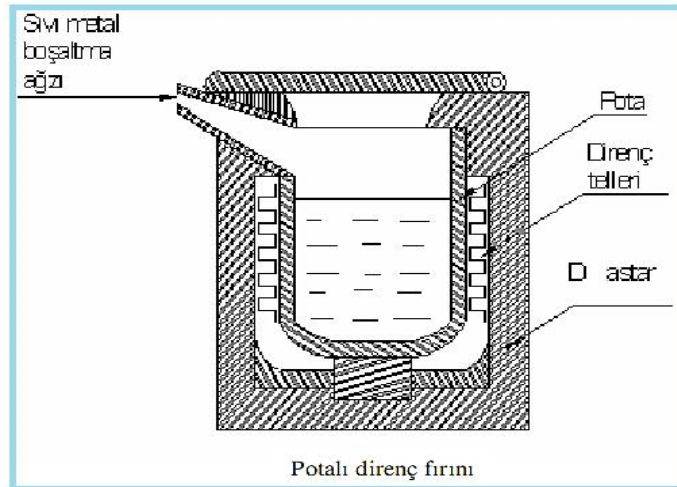
1-Elektrik direnç fırınları

2-Endüksiyon fırınları

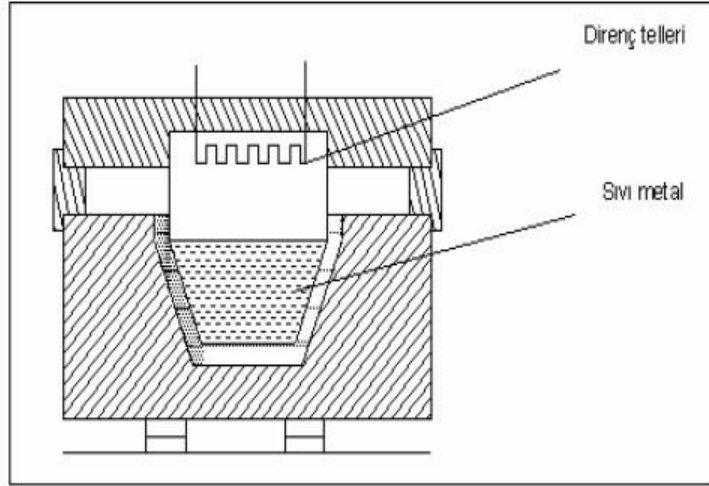
3-Elektrik ark fırınlarıdır.

### 2.1.2. Elektrik Direnç Fırınları

Bu fırınlarda pota içinde bulunan mekanizmada ısı direnç telleri ile sağlanır. Maksimum sıcaklık 1150° C kadar olsa da 815°C'den daha düşük metallerin ergitilmesinde kullanılır. Bu fırınlar kendi içinde 2'ye ayrılmaktadır.



Şekil 2.1. Potalı direnç fırını

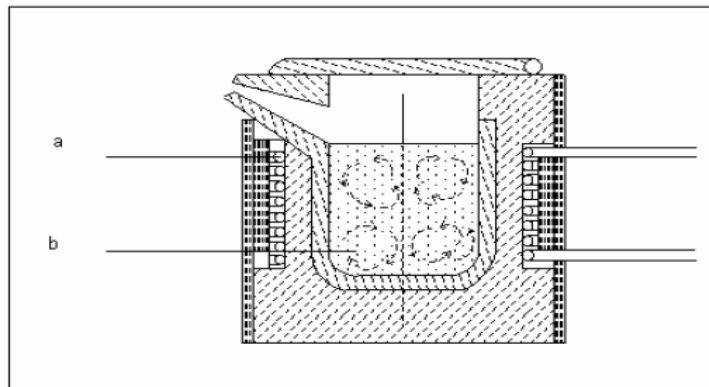


Şekil 2.2. Tavalı direnç fırını

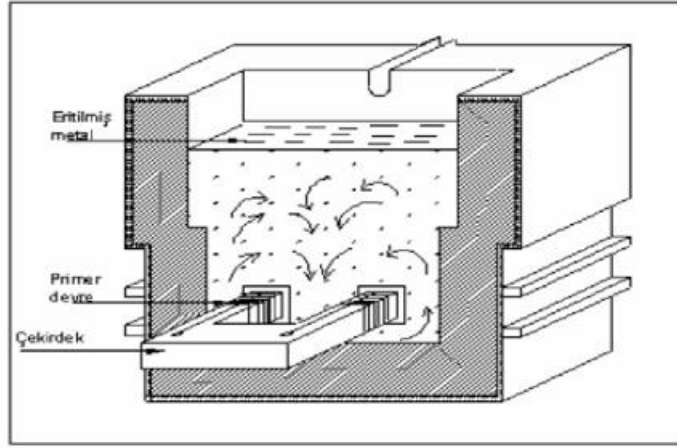
### 2.1.3. Endüksiyon Fırınları

Bu fırınlarda sisteme akım düzensiz olacak şekilde verilir. Sistemde bir adet transformatör bulunmaktadır.

Bu fırınlar kendi içerisinde ikiye ayrılır. Çekirdekli ve çekirdeksiz olarak iki alt başlıkta incelenmektedir.



Şekil 2.3. Çekirdeksiz endüksiyon fırını

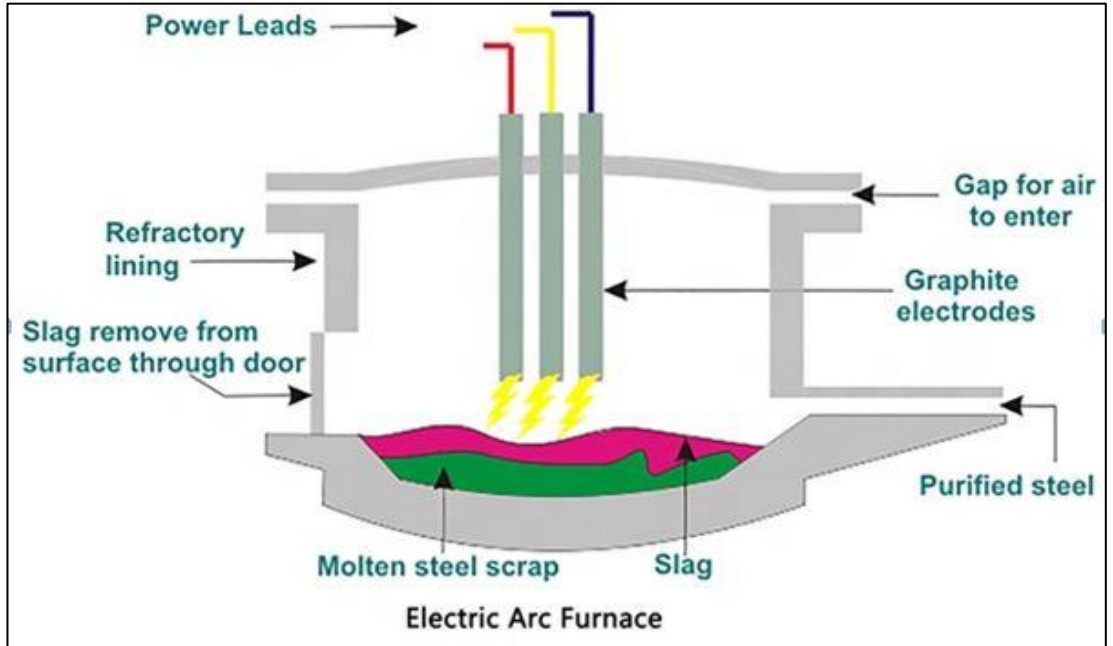


Şekil 2.4. Çekirdekli endüksiyon fırını

#### 2.1.4. Elektrik Ark Ocakları (EAO)

Elektrik akımının elektrotlar arasında ark oluşturması sonucu sistemde ısı meydana gelmektedir.

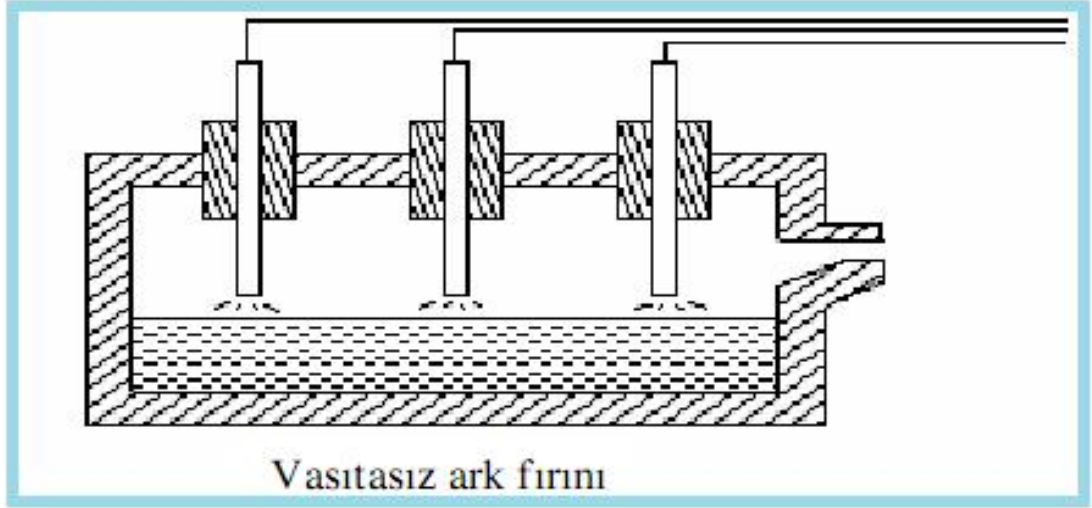
Alternatif akım(AC) ve doğru akım (DC) kullanılarak ark oluşumu sağlanabilir.



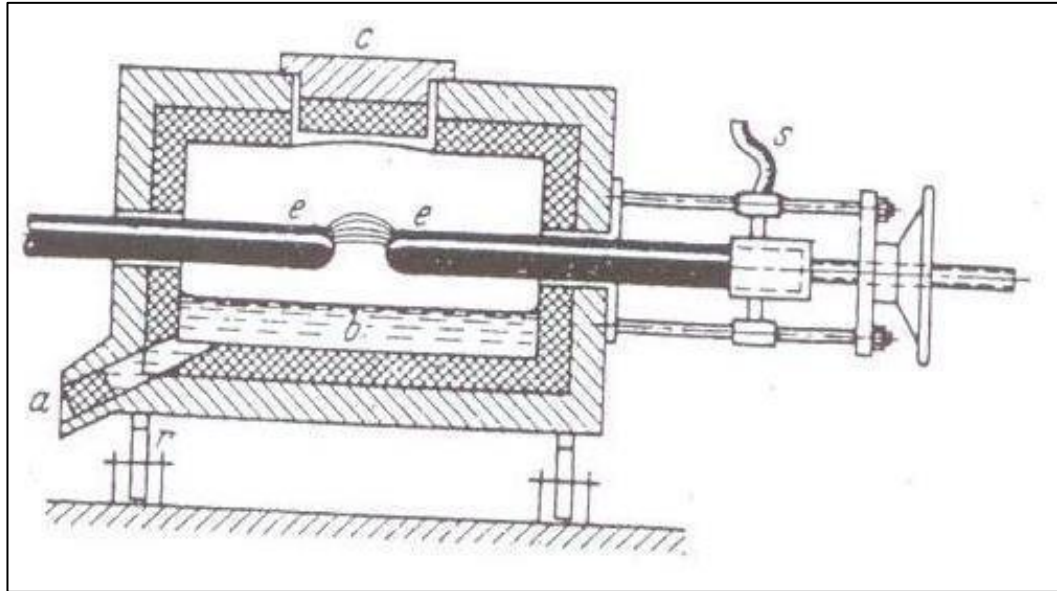
Şekil 2.5. Elektrik ark fırını

Ergitme işleminin gerçekleşmesi için arkın yüklü malzeme ile temas halinde olması gerekir. Hareketli elektrot pota içindeki arkın tükenmemesi için sürekli pota içerisinde hareket ettirilir.

Ergitme ortamına ve şekline göre üç tip elektrik ark fırını bulunmaktadır.

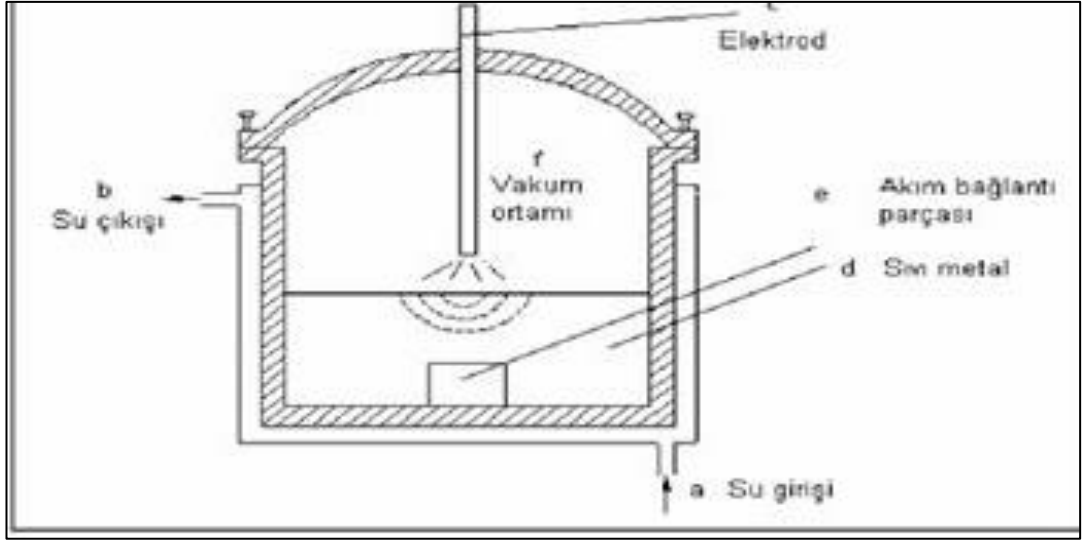


Şekil 2.6. Vasitasız ark fırını



Şekil 2.7. Vasıtalı ark fırını





Şekil 2.8. Vakumlu ark fırını

## 2.2. ELEKTRİK ARK FIRINLARININ AKSAMLARI

### 2.2.1. Elektrotlar

Yüklü malzemenin ergime sıcaklığına ulaşması için elektrik akımını taşıyan aksamlardır. Akım transferinin çoğunluğu elektrotlarda olduğundan elektrot kalitesinin ve akımın oluşum şeklinin çok büyük önemi vardır.

Elektrot seçimi yaparken en düşük elektrik direncine sahip olan elektrot seçilmelidir. Elektrot malzemesi minimum şekilde gözeneklere sahip olmalıdır. Çok fazla gözenekli malzemelerde atmosferik ortamda sıcak elektrotlarda oksidasyona neden olurlar. Elektrot kısıkaçları ve elektrot arasındaki bağlantının uygun bir şekilde yapılması için elektrotların kısıkaçlara göre geometrik şekile sahip olması gerekir.

Genelde karbon ve grafit olarak iki tip elektrot kullanılmaktadır. Karakteristik özellikler açısından grafit elektrotlar daha faydalıdır.

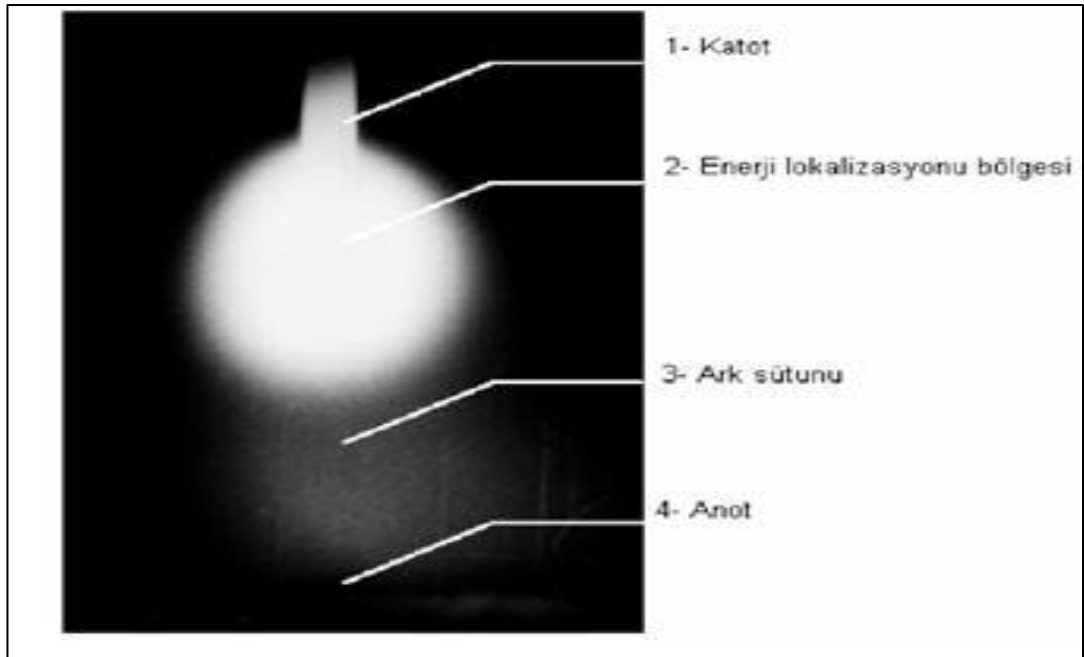
Çizelge 2.2. Grafit ve karbon elektrotlarının karakteristik özellikleri

	Karbon	Grafit
Elektrik direnci, Ohm (mm <sup>2</sup> /m)	40-60	8-13
Oksidasyonun başlama sıcaklığı, °C	400-500	600
Kül içeriği, %	5,0-7,0	0,2-1,3
Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )	1,9-2,0	2,1-2,23
Porozite, %	20-25	27-32
Sıkıştırma gücü, (kgf/cm <sup>2</sup> )	150-300	150-350
Isı iletimi, 1000 °C de kcal / m h °C	50	100

### 2.2.2. Elektrik Arkı

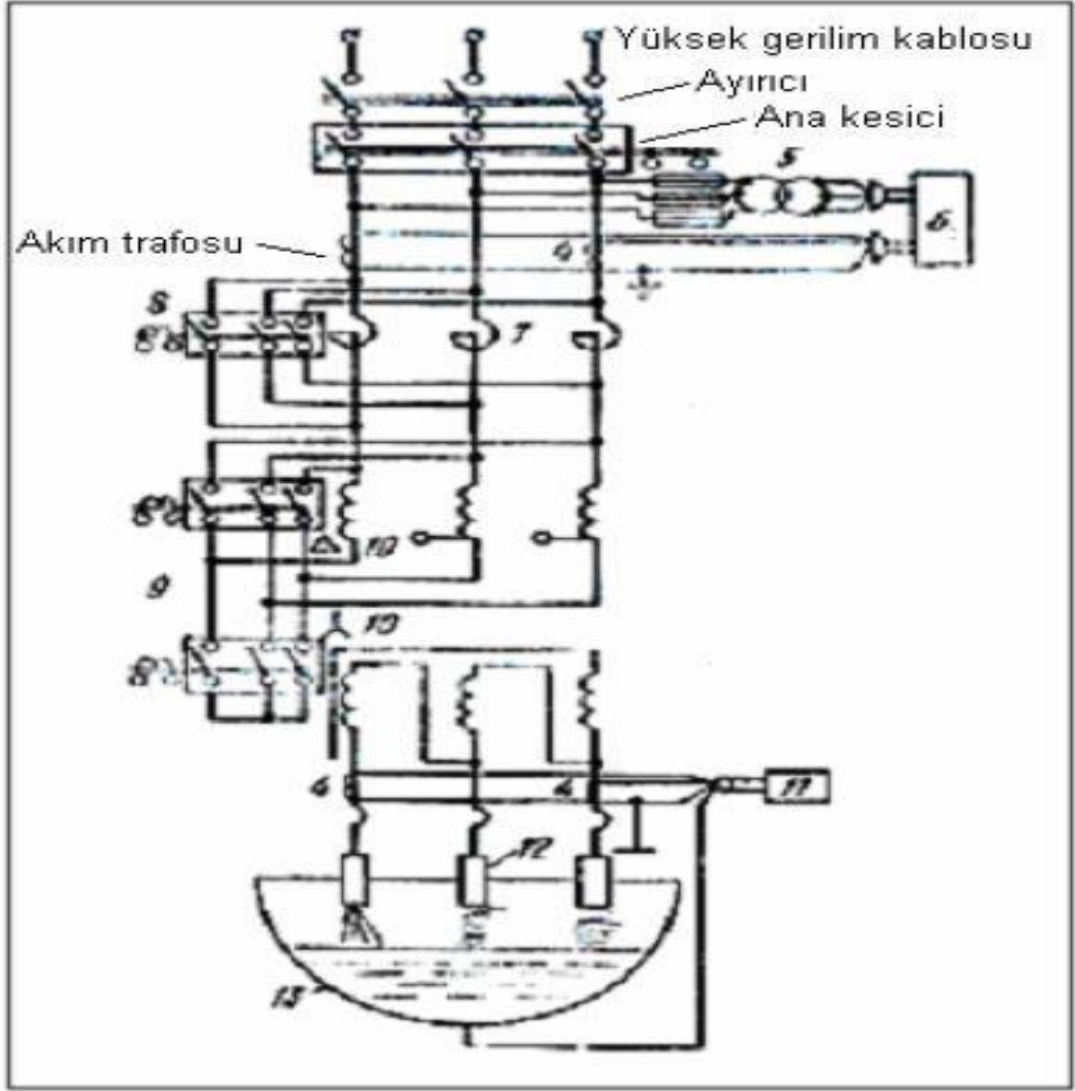
Ark oluşumu gazların çökme anında ortaya çıkmasıdır. Gazların kıvılcım anında iletken olmayan hava ile iletildiğinde ark oluşur.

Şekil 2.9’da ark oluşum şeması gösterilmiştir. Ark sütununda oluşan parlak ışık katot bölgesinde yerini bularak karakterize olur. Oluşan bölgenin boyutu basınca göre ters orantılıdır. Basınç arttıkça azalır, akım da azalır.



Şekil 2.9. Ark Oluşum Şeması

### 2.3. ELEKTRİK ARK FIRIN DEVRESİ



Şekil 2.10. Elektrik ark fırınının akım devresi.

Elektrik Ark akım devresinde birer adet gerilim ve akım transformatörü bulunmaktadır. Bağlantıların akım devresine elektrik transferi sağlamak amacıyla yüksek gerilim kabloları kullanılmaktadır. İç mekanizmalarda ana kesiciler, röleler, ve indüktanslar bulunmaktadır. Sistemde ayrıca elektrotlar ve ergitilmek için kullanılan yüklü malzemeler kullanılmaktadır.

**Ayırıcılar**, elektrik ark fırını anahtarını kapatarak onarımlar için kullanılır. Sistemde uzun süreli kesintiler içinde kullanılmaktadır.

**Ana kesici**, yük altında yüksek voltajlı elektrik devrelerini kesmek için kullanılmaktadır.

**Akım ve Gerilim transformatörleri**, ölçü aletleri kullanılarak ölçülür. Ölçüm değerleri ampermetre, 12attmeter 12attmeter şeklinde ölçülür.

**Fırın Transformatörü**, enerjinin gerilimini arttırmak için kullanılır.. Transformatör sargıları güçlü bağlantılara sahip olmalıdır. Bunun nedeni arkin ilk tutuşması anından itibaren oluşan kısa devrelere dayanması gerekmektedir. Fırın transformatörlerinde yağ ile soğutma sistemi kullanılmaktadır. Sistemde ısınan yağı soğutmak için transformatör çevresinde bulunan soğutucu bobin içinden geçerek sistemi soğutur. Sistemdeki yağın sıcaklığı maksimum 80°C olmalıdır.Sistemde genelde yedek yağ tankı bulundurulmaktadır.Sistemde sürekli şekilde yağ sirkülasyonu olduğundan hava ile temas azaldığı için sistemde soğutma işlemi verimli şekilde çalışmaktadır.

## **2.4. MEKANİK TERTİBATLAR**

Elektrik ark fırınında özellikle soğutma ve pota devirme işlemlerinde kullanılmak üzere mekanik tertibatlar kullanılmaktadır.

### **2.4.1. Hidrolik Sistemler**

Genelde artık malzemelerin sistem dışına alınması, kapağın açılıp kapanması amacıyla kullanılır. Potanın, döküm aşamasında hareketlerinin kontrol edilmesi ve elektrotların hareketleri içinde kullanılmaktadır.

### **2.4.2. Su Soğutma ve Yağlama Sistemi**

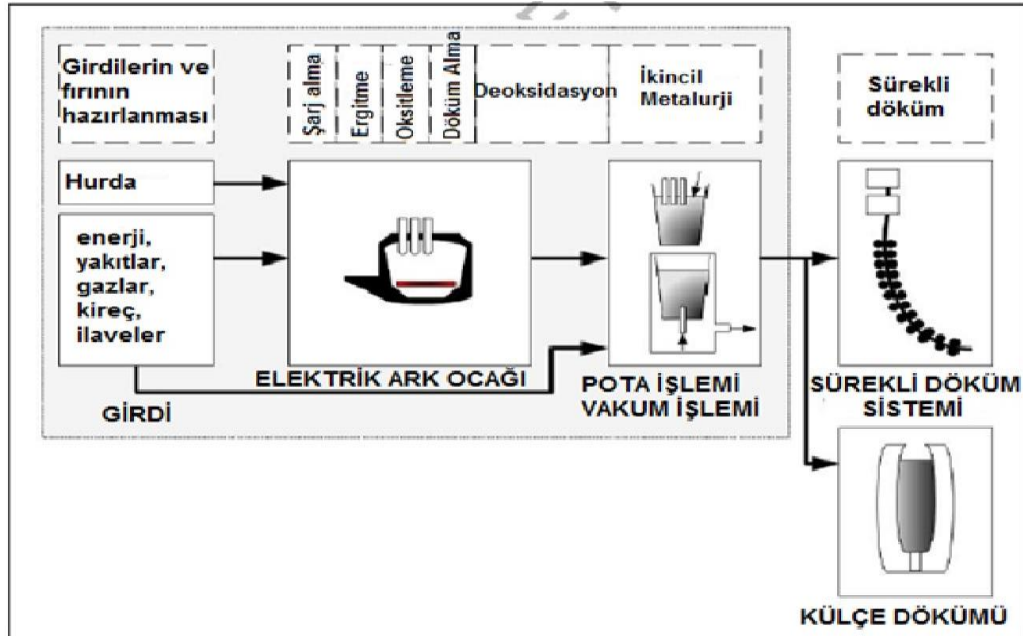
Su soğutucular, ısınan yağların bulunduğu sistemlerde soğutucu görevinde kullanılır.Örnek olarak ; transformatörler,elektrot tutucusu vb. Verilebilir.

## 2.5. REFRAKTERLER

Refrakterler, pota içinde kaplama malzemesi olarak kullanılır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları yüksek oldukları için tercih edilir. Reaksiyon içinde ısı değişimlerine maruz kalır. Dış ortam ile pota içinde oluşan ısı farkını korumak için kullanılır. Yalıtkan malzemeler oldukları için sistemde oluşacak ısı kaybını minimuma indirgenmesini sağlamaktadır. Kararlı yapıda olmasından dolayı elektrot ve cüruf ile kimyasal reaksiyona çok fazla girmezler. Ortalama 1000 kg çelik üretiminde 10-20 kg arası refrakter zarar görmektedir.

Elektrik Ark fırınlarının kaplanması için magnezyum esaslı tuğlalar kullanılmaktadır. Örnek olarak; dolomit, magnezit-kromit tuğlalar kullanılmaktadır. Isı yalıtımını arttırmak için tuğlaların toz hali ya da asbestler kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak zift, katran vb. malzemeler kullanılmaktadır[6].

## 2.6. ELEKTRİK ARK FIRINI ÇALIŞMA SİSTEMİ



Şekil 2.11. Elektrik ark fırınının çalışma sistemi

## BÖLÜM 3

### ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

#### 3.1 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Dünyada en çok bulunan 3. Elementtir. 19. Yüzyılda elektrik akımın etkisiyle kimyasal ayrışma methodunun kullanılmasıyla üretimine başlanmıştır [7].

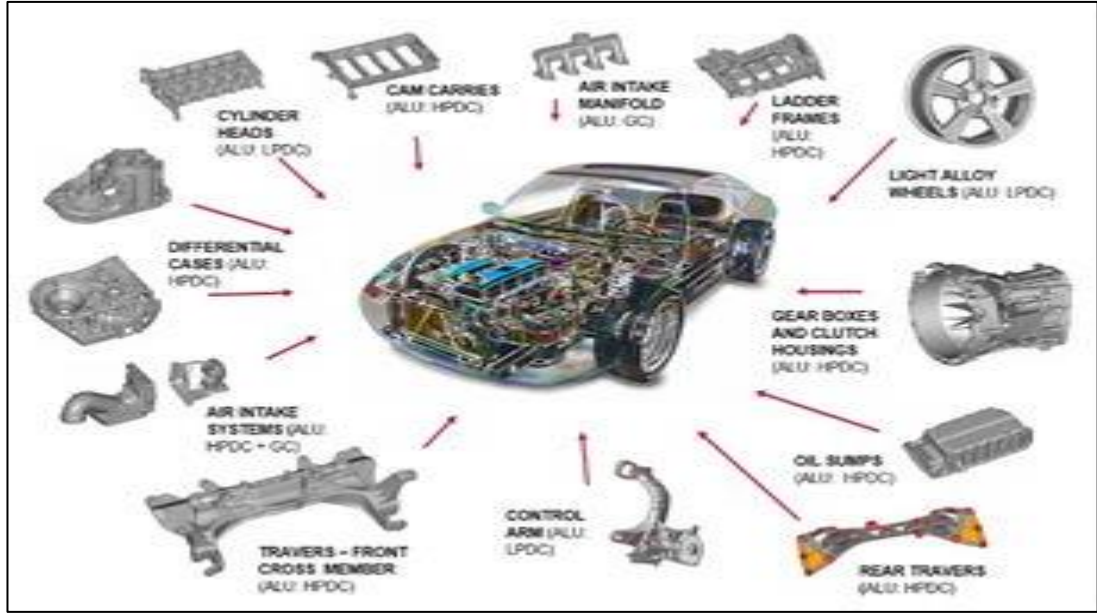
Uluslararası metal pazarında konum itibariyle ikinci sıradadır. Endüstride kullanım alanları karakteristik özelliklerine göre her geçen gün artmaktadır.19. yüzyıldan itibaren bir çok farklı sektörde günlük hayatımızda sıkça kullandığımız bir metaldir [8].

Çizelge 3.1. Saf alüminyumun özellikleri [9].

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26.97 g/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yoğunluğu	2.7 g/cm <sup>3</sup>
Ergime noktası	660 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150 °C-300 °C
Buharlaşma noktası	2450 °C
Özgül ısı	0.224 cal/g (100 °C)
Elastisite modülü	72x10 <sup>3</sup> MPa
Poisson oranı	0.33
Kayma modülü	27x10 <sup>3</sup> MPa
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması	% 30-40

En az iki metalden oluşan ve en az biri alüminyum olan alaşımlardır. Alüminyumla en çok kullanılan metaller Bakır (Cu), Magnezyum (Mg), Mangan (Mn), Silisyum (Si), Çinko (Zn), Kurşun (Pb)'dur. Özgül ağırlıkları kıyaslandığında, çelik ya da pirince göre yaklaşık üçte biri gibi bir hafif metaldir.





Şekil 3.3. Otomotiv sektöründe kullanılan Al alaşımları

### 3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Sınıflandırma iki ana başlık altında yapılmaktadır. Al alaşımları, döküm alaşımları (şekillendirilemeyen) ve dövme (şekillendirilebilen) alaşımlar olmak üzere iki sınıfta gruplandırılır.

#### 3.2.1 Şekillendirilebilen (Dövme)Alaşımlar

Bu tür alaşımlar mekanik (dövme) işlemler yaparak şekil verilebilen alaşım gruplarıdır. Bunlarda kendi içerisinde uygulanacak ısıl işlemlere göre 2 gruba ayrılmaktadır. Bazı dövme alaşımlara ısıl işlem uygulanamaz.

#### 3.2.2 Döküm Alaşımlarının Gruplandırılması

Bu sınıflandırma kimyasal kompozisyonlara göre yapılmaktadır. Al Alaşımların sınıflandırılması, uluslararası geçerliliği olan U.S. Aluminium Association tarafından yapılmaktadır. Döküme ve imal edilecek Al külçesine göre iki farklı isimlendirme yapılmaktadır. Döküme göre 4 adet rakam kullanılır ve üçüncü rakamdan sonra



virgöl ile ayrılarak son rakam yazılır. İmal edilecek Al külçesine göre ise 4 adet rakam kullanılır [10].

Çizelge 3.2. Al Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması

Al alaşımı	Elementi
1XXX	-
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Li
9XXX	Yeni nesil

Çizelge 3.3. Alüminyum Döküm Alaşımlarının Kullanım Alanları

Sınıflandırılma	Alaşım Elementi	Kullanım Alanları
1XXX	Alüminyum(Al)	Elektrik <u>endüstrisi</u> ve kimya sanayi
2XXX	Bakır(Cu)	Havacılık Sektörü
3XXX	Mangan(Mn)	Boru <u>imalatı,mimari</u> çalışmalar
4XXX	Silisyum(Si)	Kaynaklı yapılarda, otomotiv sektöründe
5XXX	Magnezyum(Mg)	Havacılık ve otomotiv sanayi
6XXX	Magnezyum(Mg),Silisyum(Si)	<u>Ekstrüzyon</u> ile üretilen işlemlerde
7XXX	Çinko( <u>Zn</u> )	Havacılık ve uzay sektörü
8XXX	Lityum( <u>Li</u> )	Havacılık ve uzay sektörü
9XXX	Yeni Nesil	Havacılık, uzay ve otomotiv sektörü

Sınıflandırma sistemi 3xx.x grubunda 3. rakamından sonra gelen 2 tane rakam alaşım içerisinde alüminyum içeriğini belirtmektedir.

Örneğin; 195.x dizilimi %95 saflığında alüminyumunu ifade etmektedir.

2xxx, 3xxx, 4xxx ve 7xxx serilerine ısıl işlem uygulanır.

### 3.2.3 Alüminyum Alaşımlarına Elementlerin Etkisi

**Bakır:** Alüminyum alaşımı elde etmek için ilk bakır elementi tercih edilmiştir. Alaşımın sertliğini arttıran elementlerdendir [11]. Katılaşma esnasında çatlaklar oluşması nedeniyle alaşım içerisinde maksimum %12 oranında kullanılır. Katılaşma esnasında çatlaklar oluşabilir buna bağlı olarak kaynak kabiliyeti de düşüktür.

**Mangan:** Alaşımlarda süneklik ve tokluk özelliklerini artırır. İşlenebilirliği kolaydır. Yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerini muhafaza eder.

**Silisyum:** Alüminyum alaşımlarında bakırdan sonra en çok tercih edilen element silisyumdur 18e n fazla %13 oranında bulunmalıdır. %13 üzerinde bulunması durumunda şekil verilebilirliği zor olmaktadır. Alaşımda ergime derecesini düşürdüğü için sıvı alaşımın akışkanlığı artar.

**Magnezyum:** Yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci ve süneklik kazandırır. Isıl işlem görmeyen bir alaşım çeşididir. Kullanım alanları; zırhlı araçlar, tren gövdeleri, gemi-tekne yapımlarında kullanılmaktadır.

**Çinko:** Alüminyum ile çinko karıştırıldığında, mukavemet direnci yüksek alaşımlar oluşur. Yüksek kopma mukavemetine sahip olan bu alaşımların haddelenebilme özelliğide artar. AA 7075 ve AA 7078 serisi alaşımların ana alaşım elementleridir [12].

**Demir:** Saf alüminyum cevheri içerisinde doğal olarak bulunmaktadır. Mukavemet artışı sağlamak için kullanılır.

**Lityum:** Alüminyum alaşımlarında yoğunluğu azaltmak için tercih edilir. Diğer alaşım elementleri gibi mukavemet arttırmak için kullanılan elementlerdendir. Alaşım içinde çökelme sertleşmesini sağlar.

**Kurşun:** Alaşımın ergime sıcaklığını düşürmektedir. Çatlak hassasiyeti fazladır. Kaynak işlemlerinde kaynak kabiliyeti düşük olduğundan tercih edilmez.

**Krom:** Tane büyümesini önlemek için kullanılmaktadır. Alaşımın tokluğunu arttırmaktadır.

**Titanyum:** Genellikle bor ile tane inceltmek için kullanılır. Kaynak kabiliyeti özelliği iyidir.

**Zirkonyum:** Alaşımlarda yeniden kristalleşmeyi engellemek için kullanılır. Elementler arasında intermetalik oluşturur.

Çizelge 3.4. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Üzerindeki Etkisi

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ 																
ÖZELLİK / ELEMENT	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Cr	Ni	Li	Zr	V	Sn	B	Bi	Pb
Yoğunluk	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Akışkanlık	↓	↑	↑	↓	↓	≈	↓	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sertleşebilirlik	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑	↑	—	—	—	—	↓	—	—	↓
Mukavemet	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	—	↑	—	—	—	↑	↑	—	—
Elektrik iletkenliği	↓	↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	≈	↑↑	≈	—
Korozyon Direnci	—	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓	—	—	↓	—	—	—	↓	—	↓	↓
Isıl Genleşme	—	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	—	↓	↓	—	—	—	—

↑ : Artar    ↓ : Azalır    ≈ : Değişmez    — : Bilinmiyor veya Karakteristik Değil

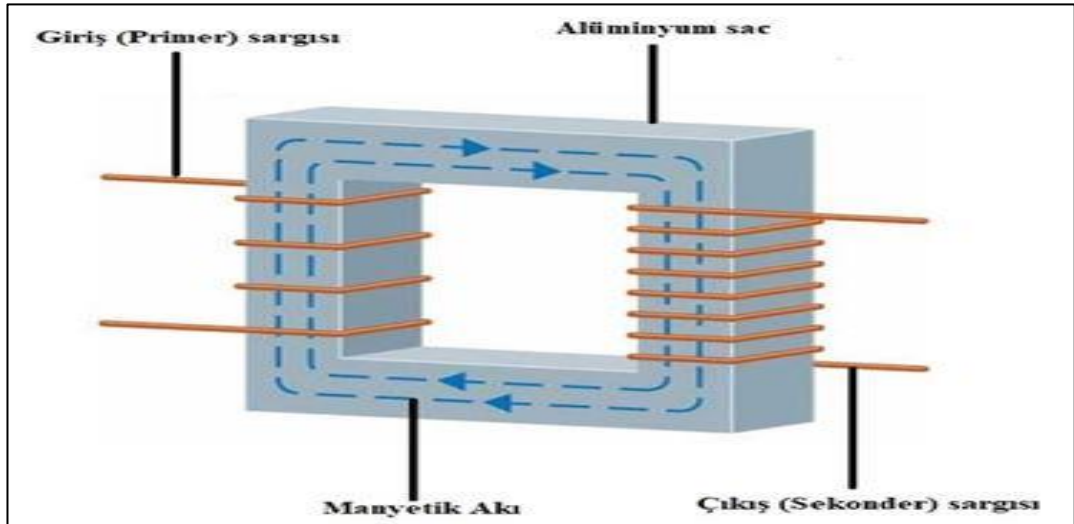
## BÖLÜM 4

### MİNİ ELEKTRİK ARK FIRINI

#### 4.1. MİNİ ELEKTRİK ARK FIRINI

##### 4.1.1. Mini Elektrik Ark Fırını Transformatorü

Tasarım kısmının en önemli yeri trafo kısmıdır. Tezin en önemli amacı mühendislik fakültesi araştırma laboratuvarlarında kullanılan 220V'luk şebeke gerilimi kullanarak döküm işlemi gerçekleştirmektir. Oluşacak ark ile metallerin ergitilmesi amaçlanmıştır. Temel prensip düşük voltajlı olan şebeke gerilimi trafoda yapılacak sarımlarla yüksek akıma çevirmektir. Trafo tasarım yapılmadan önce sarım (sipir) hesabı yapılmalıdır.



Şekil 4.1 Transformator Taslağı

Şekil 4.2’de mini elektrik ark ocağının sarım sayısı ve hesabı gösterilmektedir. Bobin sarım işleminde en önemli faktör bobinin çevresinde oluşan manyetik alan içerisinde oluşmasını istediğimiz omik direnç değeridir. Omik direnç değeri formülü ise aşağıdaki gibidir.

$$XL = 2.\pi. fL$$

$$\pi = 3.14$$

$f$  = frekans değeri

$XL$  = Omik direnci

$L$  = Bobinin Endüktansı

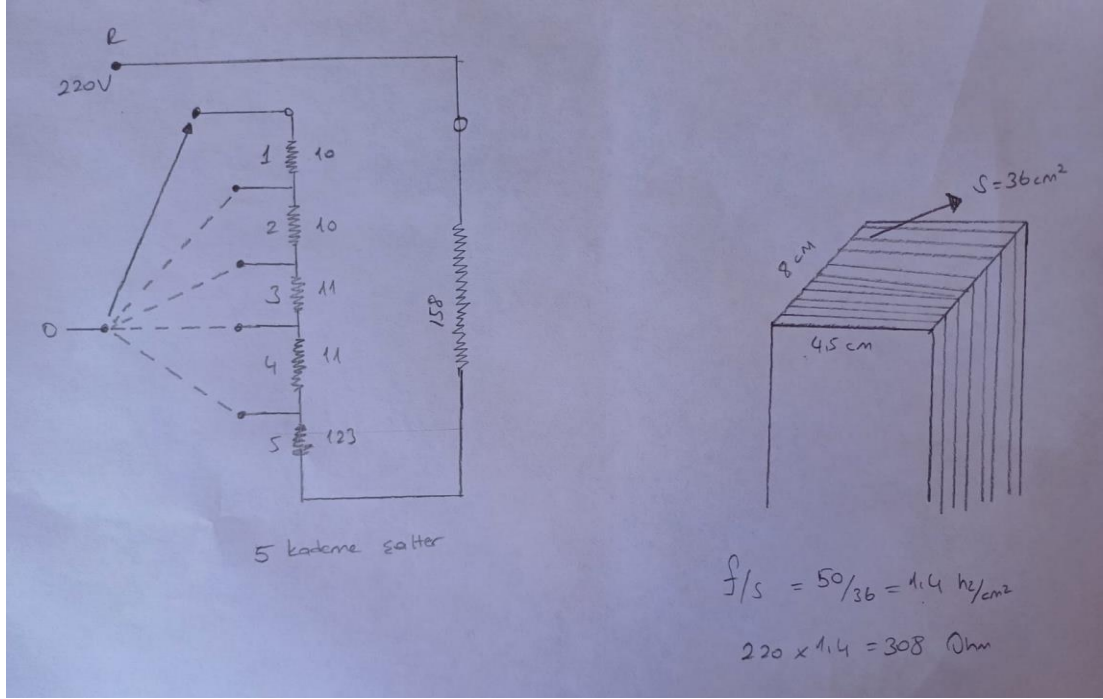
Türkiye’de elektriğin kabul gören değeri 50 hz’dir. V başına düşen siper sayısını belirlemek için kullanılan formül aşağıdaki gibidir;

$$f/S = 50/36 = 1,38 \approx 1,4 \text{ sarım}$$

220 V’luk şebeke gerilimi hesabına göre;

$$220.1,4 = 308 \text{ sarım sayısı}$$

Ancak teori ile pratik arasındaki hesap farklılıkları nedeni ile 360 sarım ile transformatör tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Trafo Sarım Hesaplaması

#### 4.1.2. Mini Elektrik Ark Fırını Tasarımı

Transformatör yapımında levha olarak çalışma alanına göre farklı metal saclar kullanılmaktadır. Bunlara bakır, alüminyum ,altın ,gümüş gibi metal saclar örnek olarak verilebilir.

Trafo levha sacı seçiminde performans ve maliyet gibi özellikler dikkate alınır. Tezde alüminyum sac levha kullanılmasının nedenleri hafiflik ve uygun maliyet açısından avantajlı olduğu için seçilmiştir.

Projede trafo sarımı için yüksek iletkenlik ve ısıya dayanıklılık göstermesi nedeniyle 2 mm çapında emaye 22obbin bakır tel kullanılmıştır.



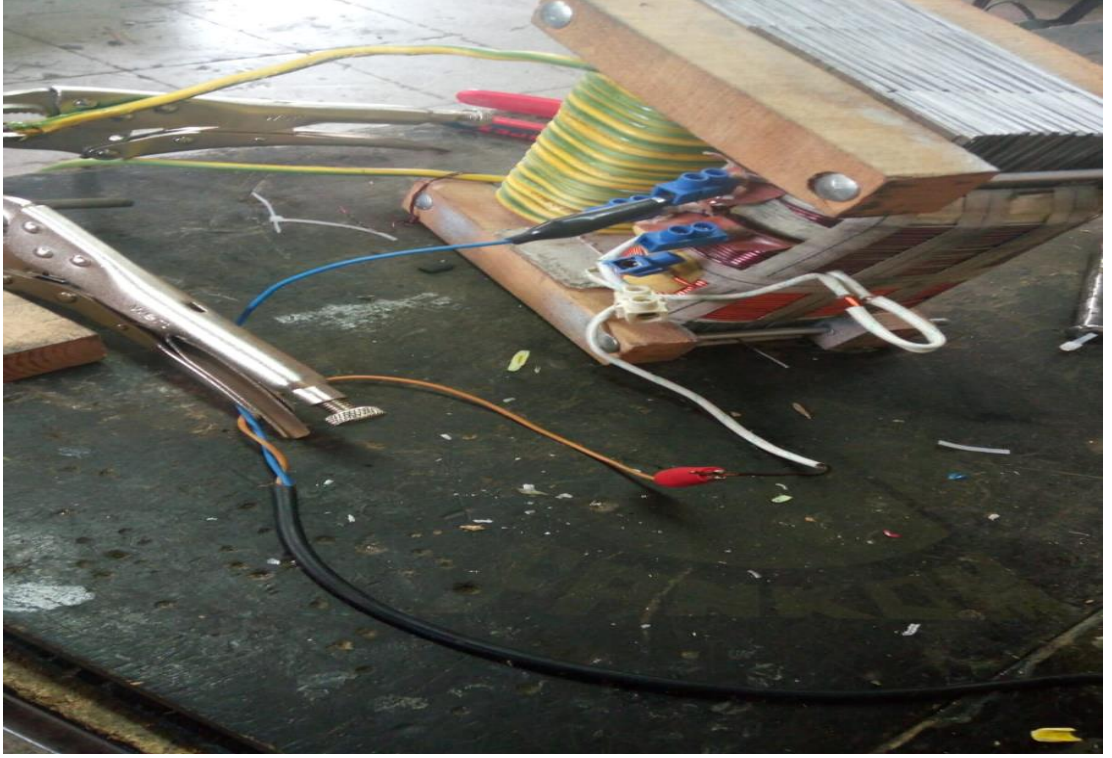


Şekil 4.3. Alüminyum Sac Levha



Şekil 4.4. Bobin Sarım İşlemi

Bir katman ortalama 60 sipir ile oluşturuldu ve toplamda 6 kat sarım yapıldı.



Şekil 4.5. Trafo Kademeleri

Trafo kademeleri metallerin ergime sıcaklıklarının farklı olması nedeni ile yapılmıştır. Ergime sıcaklıkları yükseldikçe ihtiyaç duyulan akımın arttığı gözlemlenmektedir. Örneğin; alüminyum ergime sıcaklığı 660°C iken bakırın ergime sıcaklığı 1085°C'dir. Bu projede mini elektrik ark ocağı trafosu 5 kademeli olacak şekilde tasarlanmıştır. Kademe hesabı yapılırken ergime sürelerinin hesaplanması da göz önünde bulundurulmuştur.





Şekil 4.6. Trafo kondaktörü



Şekil 4.7. Mini Elektrik Ark Trafosu

## 4.2. MİNİ ELEKTRİK ARK OCAĞI POTA TASARIMI

Ergitme potası, çevresindeki ısı farkı ile pota içi ısı kaybının düşük olması için kullanılmaktadır.



Şekil 4.8. Mini Elektrik Ark Ocağı Pota Tasarımı

Pota tasarımında ilk olarak potanın boyutları özel ölçülerde belirlenerek potanın ana gövdesi yapılmıştır. Ergitme potasının gövde malzemesi, paslanmaz çeliktir. Yüksekliği 130 mm, genişliği 100 mm ve flanş genişliği 130 mm olan ana gövdeden oluşmaktadır. Malzemenin et kalınlığı 3 mm dir. Gövde üstünde flanş kapak ile sistem kapalı olacak şekilde tasarlanmıştır. Flanş kapağı 130 mm sac kapaktan yapılmıştır. Flanş kapak üstünde 6 adet M6 delik bulunmaktadır. Bu delikler cıvata somun gibi bağlantı elemanları ile işlem esnasında pota sistemin çalışma ortamına karşı kapalı olması için tasarlanmıştır. Flanş kapak üstünde ayrıca M8 'lik 3 adet delik bulunmaktadır. Bunlardan ikisi karbon elektrotların devreye girmesi için diğer delik ise işlem esnasında ya da işlem sonrasında termokupl kullanılarak pota içi sıcaklığın ölçülmesi için konulmuştur.

#### **4.2.1. Mini Elektrik Ark Ocağı Refrakter Kaplama**

Ergitme potası içi refrakterlerle kaplanmaktadır. Bu refrakterler ısı kaybını önlemek ve homojenliğin sağlanması için kullanılmaktadır.

Elektrik arkının oluştuğu b6lgeleerde sıcaklıklar birkaç bin derece 7zerine 7ıkabilir. Kaplamadaki refrakterler y7ksek mekanik dayanıma ve y7ksek basınca dayanıklı olmalıdır. Fırın refrakterlerinin kimyasal kararlığı da y7ksek olması gerekir. Pota i7erisinde bulunan ergimiş metal , c7ruf ve gazların reaksiyona girmesini engellemek i7in kullanılır.



şekil 4.9. Mini Elektrik Ark Pota Refrakter Kaplama

Potanın kaplanması i7in magnezit (ateş tuğlası) tuğlaları kullanılmıştır. Ana g6vde i7ine ateş tuğlalar dizilerek pota i7i şekil verilmiştir. Isı kaybını 6nlemek ve homojen dağılım i7in ateş tuğlaları har7 yapılarak kaplanmıştır.

Kaplama içi şamot harcı, fayans yapıştırma harcı ve 6l7ekli su oranlanarak elde edilen har7 ile yapılmıştır. şamot harcı ateş tuğlasının toz halinden elde edilmiştir. Kaplama i7in kullanılan har7, 1 6l7ek şamot harcına, 2 6l7ek fayans yapıştırma harcı ve 0,5 lt su katılarak elde edilmiştir. Kaplama içi bittikten sonra kurutulması i7in 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir.



### 4.3. MİNİ ELEKTRİK ARK OCAĞI MEKANİK BOŞALTIM SİSTEMİ

Sabit bir platform üzerine kurulan pota sisteminden sonra döküm sonrası potanın dökme işlemi yapması için boşaltım sistemi gereksinimi duyulmuştur.1 adet Lineer Aktüatör 300 mm 7 mm/s 1500 N kullanılarak potanın ileri ve geri hareketleri ile dökümün kalıplara aktarımı sağlanmıştır.

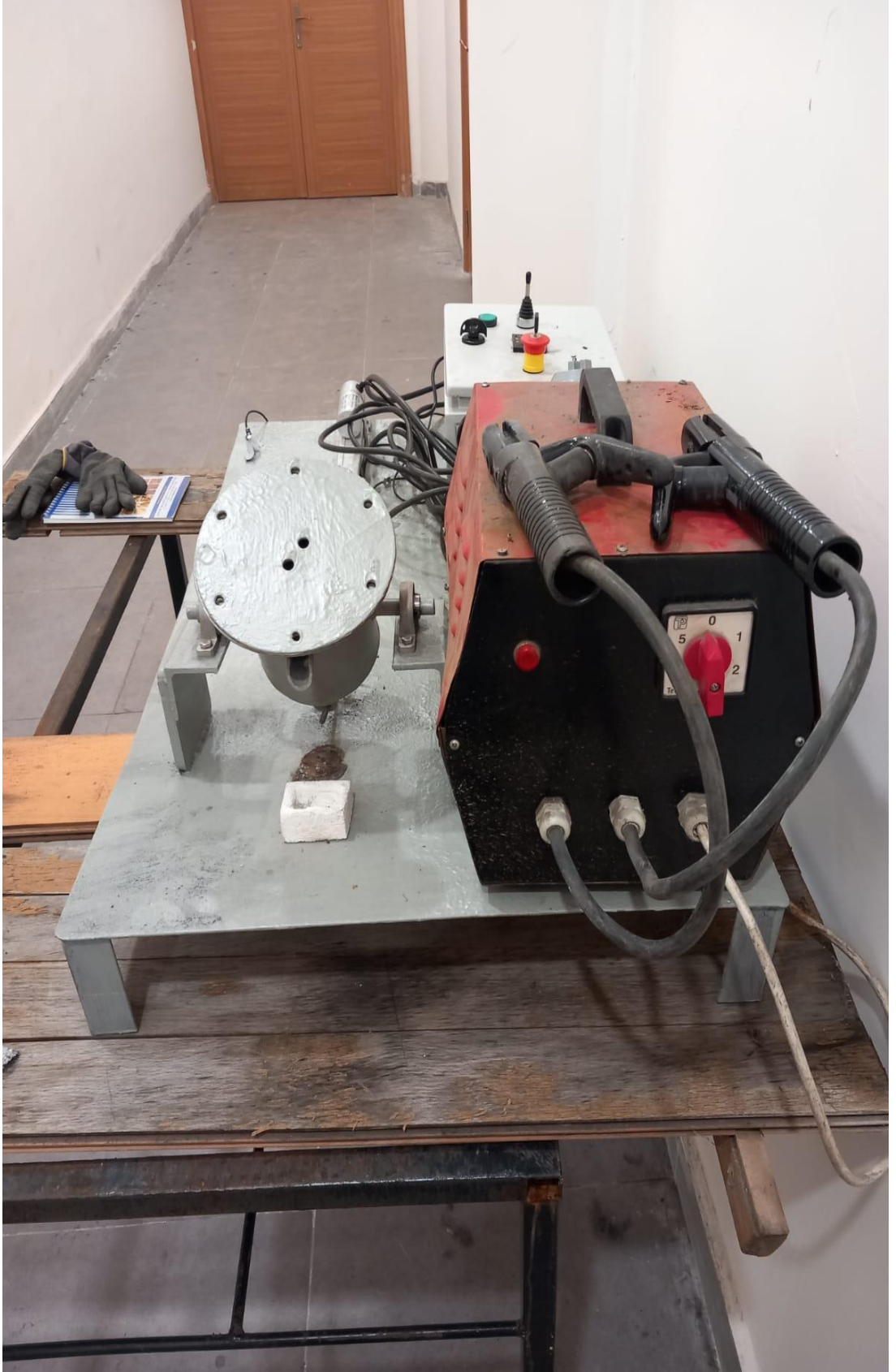


Şekil 4.10. Mekanik Boşaltım Sistemi



Şekil 4.11. Mekanik Boşaltım Sistemi Kontrol Paneli

Mekanik Boşaltım Sistemi Kontrol Paneline, bağlı olan lineer aktüatörün 2 komutlu (ileri-geri) hareketini sağlamak için 2 komutlu joystick kullanılmıştır. Panelde ayrıca kontaktör düğmesi bulunmaktadır. Kontaktör sistemin açılıp kapanmasına yarayan ekipmandır. Bunun dışında termokupla bağlı gösterge bulunmaktadır. Göstergede akım ve sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Projede elektrot olarak 8mm çapında karbon elektrot kullanılmaktadır.



Şekil 4.12. Mini Elektrik Ark Fırını





Şekil 4.13. Mini Elektrik Ark Fırınında Döküm İşlemi

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Al ve Al Alaşımlarından elde edilen 3 farklı numune kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda; Al ve Alaşım dökümlerinden elde edilen 3x30x30mm boyutlarda 3 farklı numune kalıptan alınarak kullanılmıştır. Metalografi işlemlerinden sonra hazırlanan numunelerin, Zeiss HD 100 optik metal mikroskopunda mikroyapıları incelenmiş olup, Shimadzu Vickers Hv 05 cihazı kullanılarak sertlik ölçüm değerleri alınmıştır.

#### 5.1 NUMUNELER

Çizelge 5.1 1. Nolu Numune Al Alaşımın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim				
Element	Cu	Mg	Fe	Al
Kütle(gr)	20	20	10	150
Ağırlık (%)	20	20	5	

Çizelge 5.2 2. Nolu Numune Al Alaşımın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim				
Element	Cu	Mg	Fe	Al
Kütle (gr)	10	10	5	27,5
Ağırlık (%)	20	20	2,5	



Çizelge 5.3 3. Nolu Numune Al Alaşımın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim				
Element	Cu	Mg	Fe	Al
Kütle(gr)	15	15	5	17,5
Ağırlık (%)	30	30	2,5	

## 5.2 NUMUNE HAZIRLAMA

Elektrik mini ark ocağının tasarımından sonraki süreçte elde edilen üç farklı döküm numunesi 3x30x30 mm boyutlarında hazırlanan kalıba dökülerek elde edilmiştir. Numuneler orta noktalarından eşit olacak şekilde ikiye ayrılarak testere ile kesilmiştir.



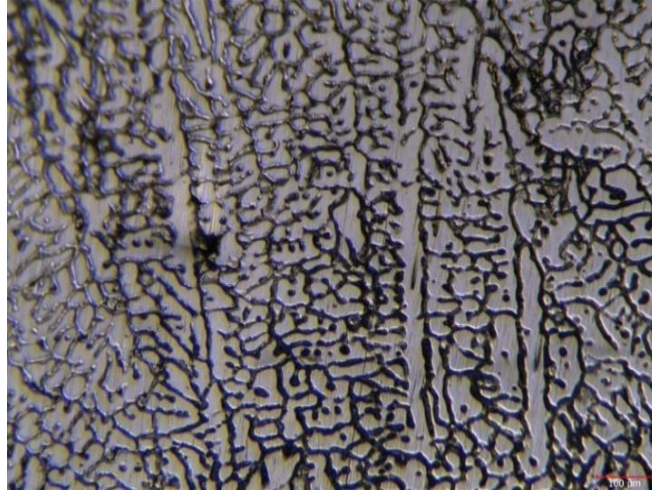
Şekil 5.1. Numunelerin Ölçü ve Şekilleri

## BÖLÜM 6

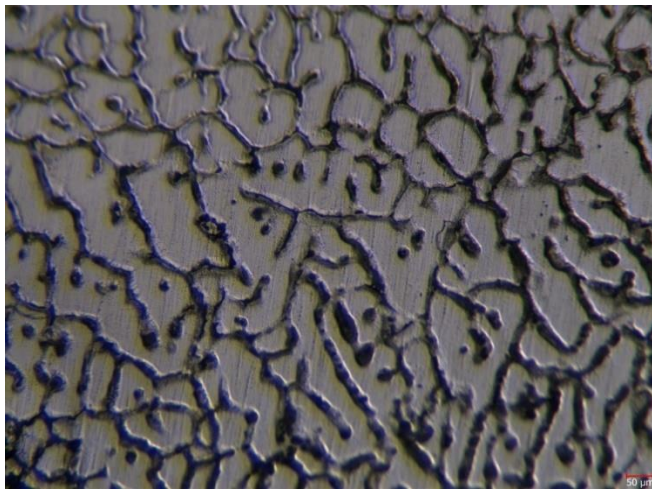
### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 6.1. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

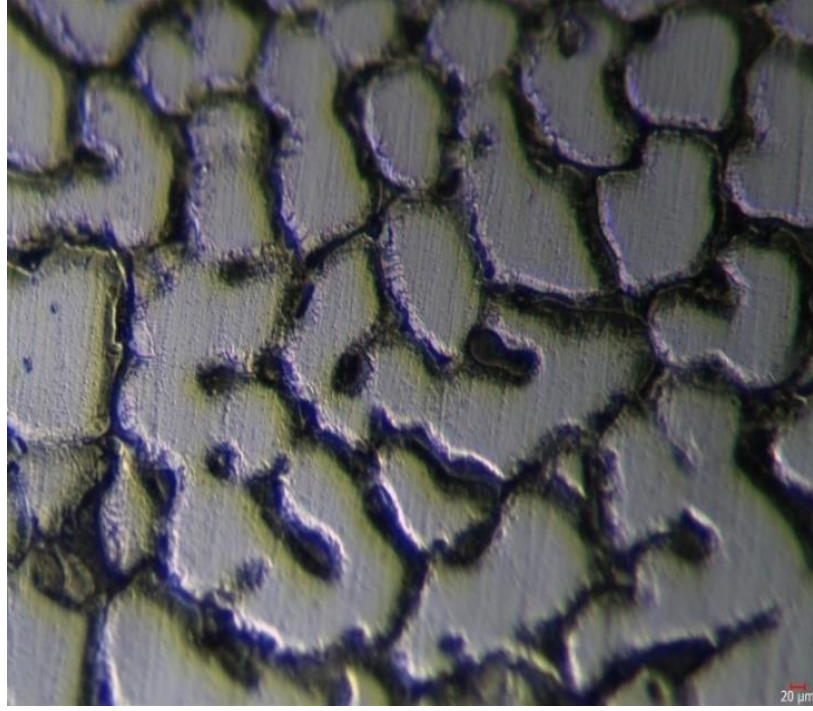
##### 6.1.1. Mikro Yapılar



Şekil 6.1. 1 Nolu Numune 10x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü



Şekil 6.2. 1 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

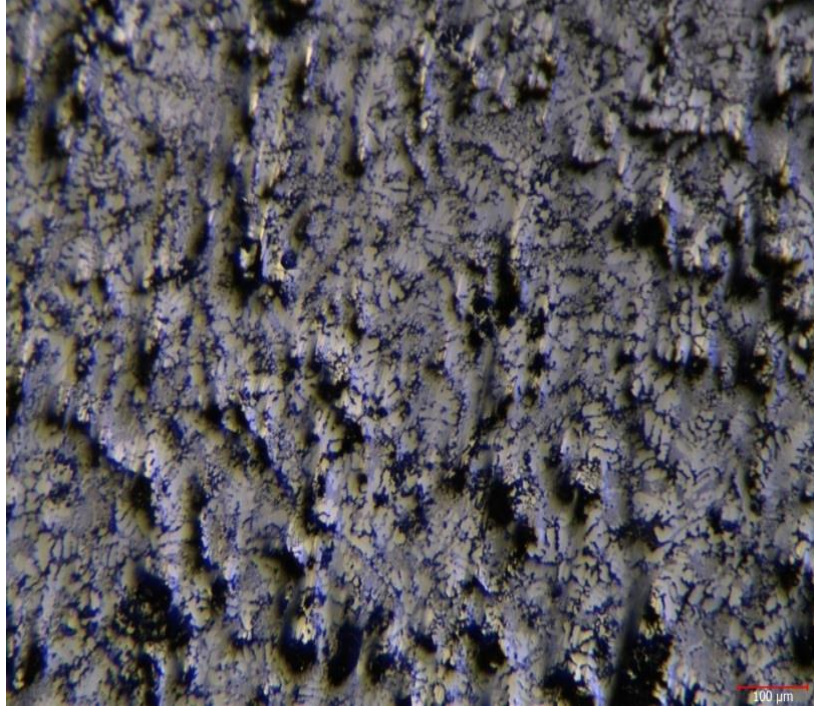


Şekil 6.3. 1 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

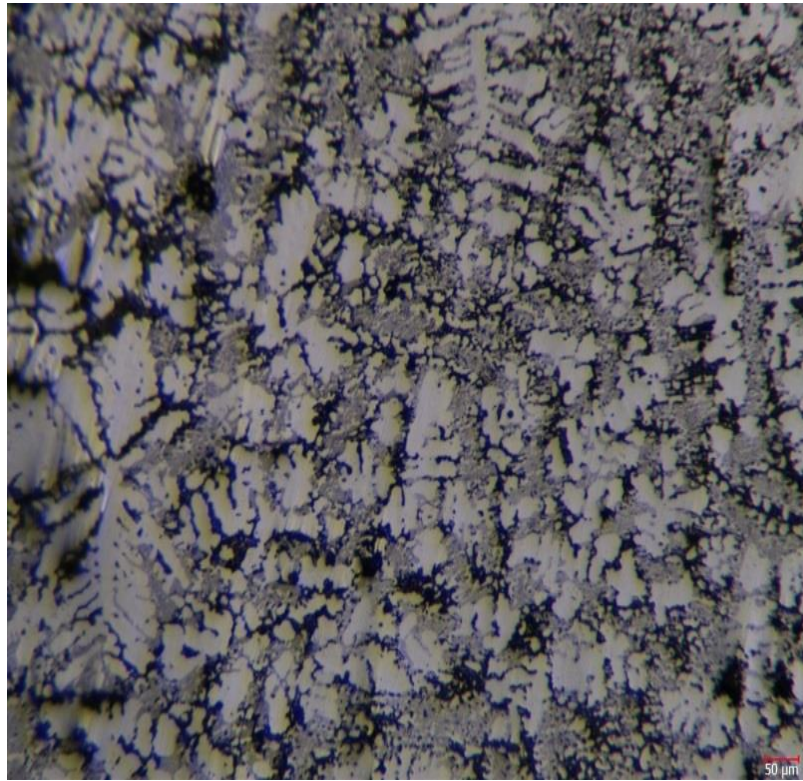


Şekil 6.4. 1 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

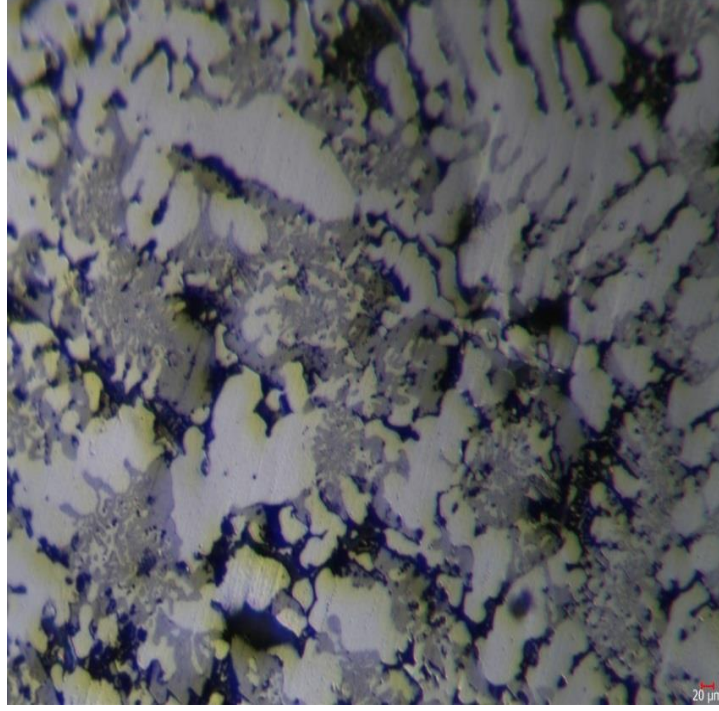




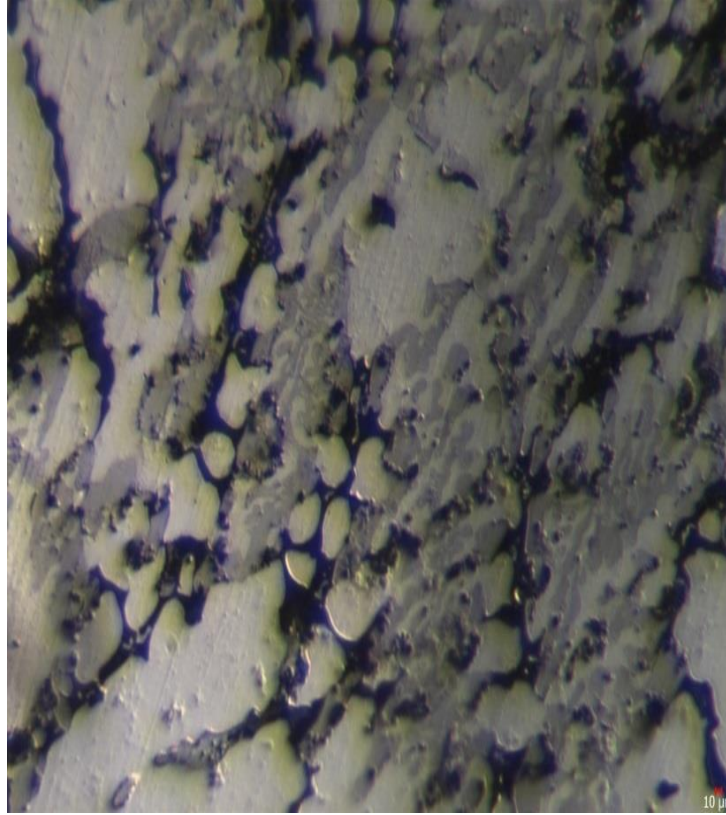
Şekil 6.5. 2 Nolu Numune 10x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü



Şekil 6.6. 2 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

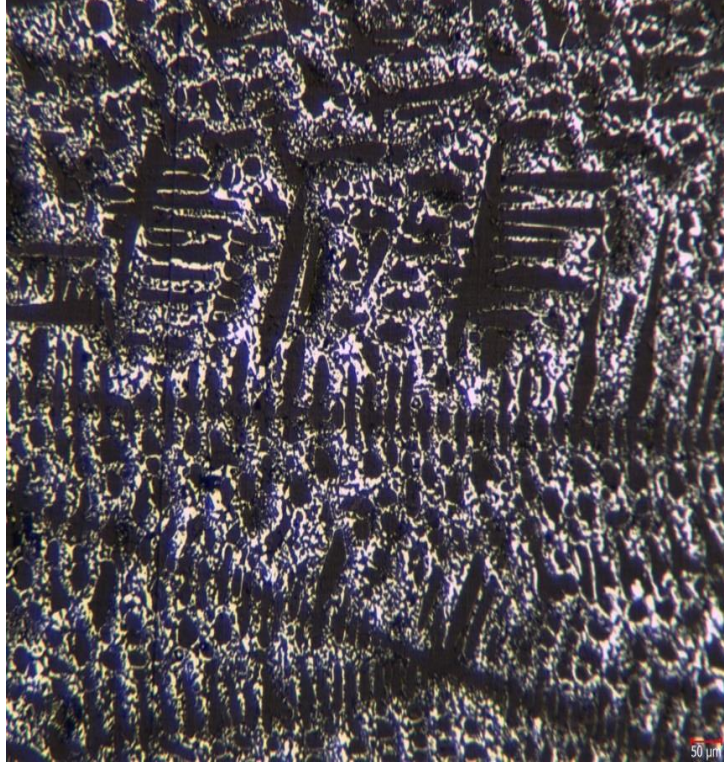


Şekil 6.7. 2 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

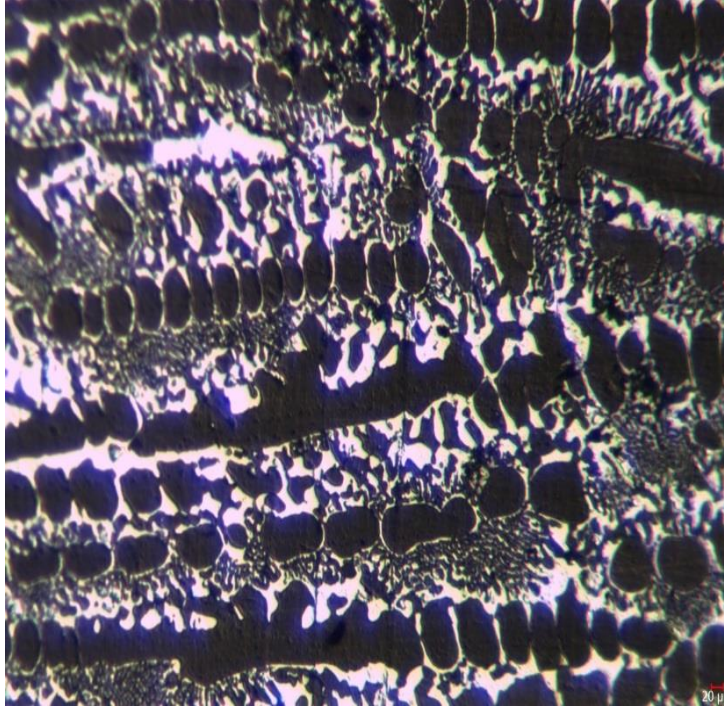


Şekil 6.8. 2 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

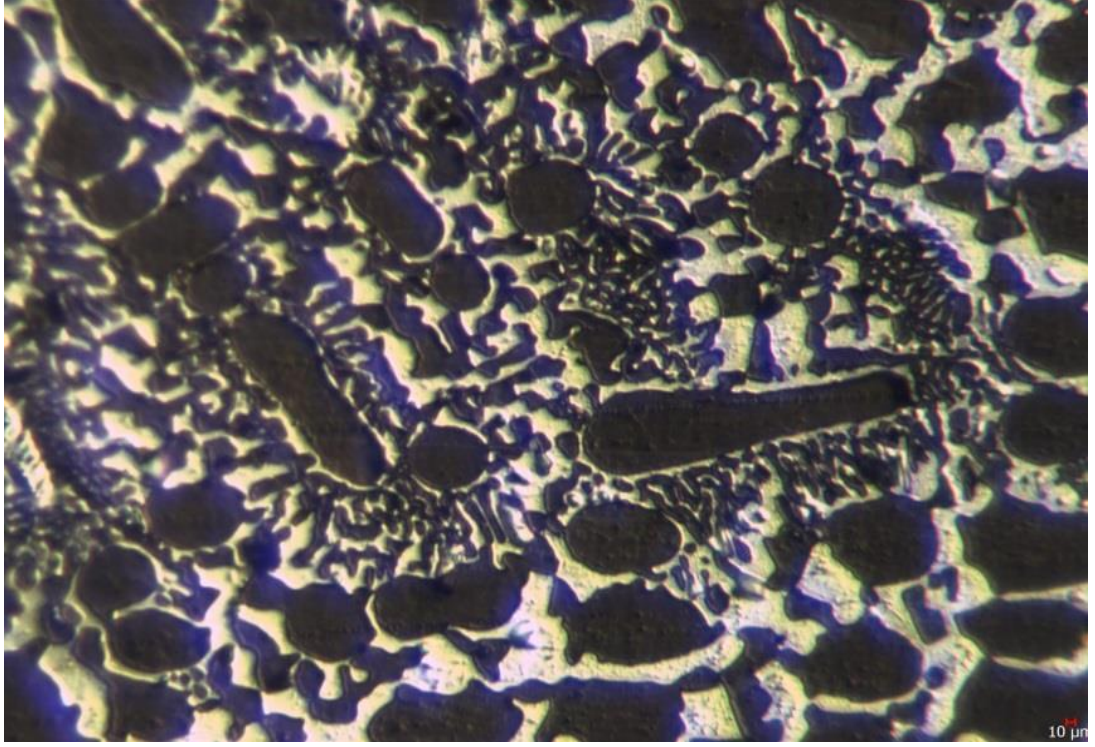




Şekil 6.9. 3 Nolu Numune 20x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü



Şekil 6.10. 3 Nolu Numune 50x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü



Şekil 6.11. 3 Nolu Numune 100x-1 Optik Metal Mikroskop Görüntüsü

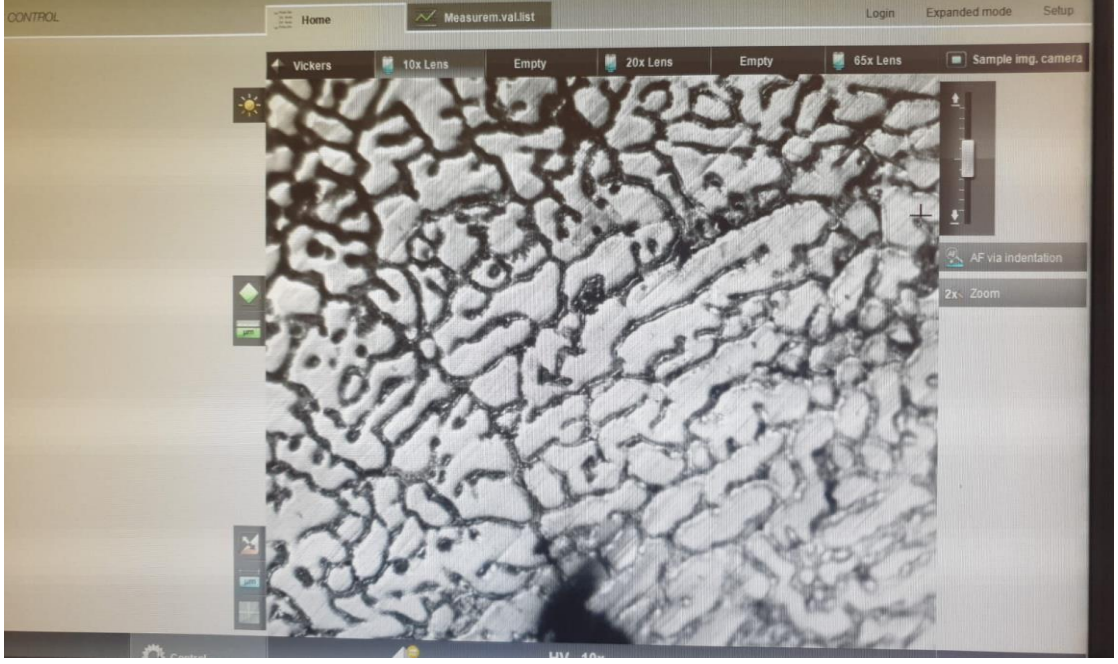
Çizelge 6.1. Mikro Yapı Tane Sınırlarında Oluşan Fazlar

Yapı	Gösterim	Boyut	Biçim
Si		5 – 12	İğnemsî
→ Al <sub>2</sub> Cu	θ	< 50	Köşeli yuvarlak
→ Al <sub>3</sub> CuMg	S	0,5 – 10	Düzensiz yuvarlak
→ Al <sub>7</sub> Cu <sub>2</sub> Fe	ω	0,7 – 2,7	İnce iğnemsî
Al <sub>5</sub> Cu <sub>2</sub> Mg <sub>9</sub> Si <sub>6</sub>	Q	< 20	Bal peteği
Al <sub>12</sub> (FeMn) <sub>3</sub> Si	α	< 0,5	Çok yüzlü
Al <sub>22</sub> Cu <sub>2</sub> Mn <sub>3</sub>	T	< 0,1	Dağınık

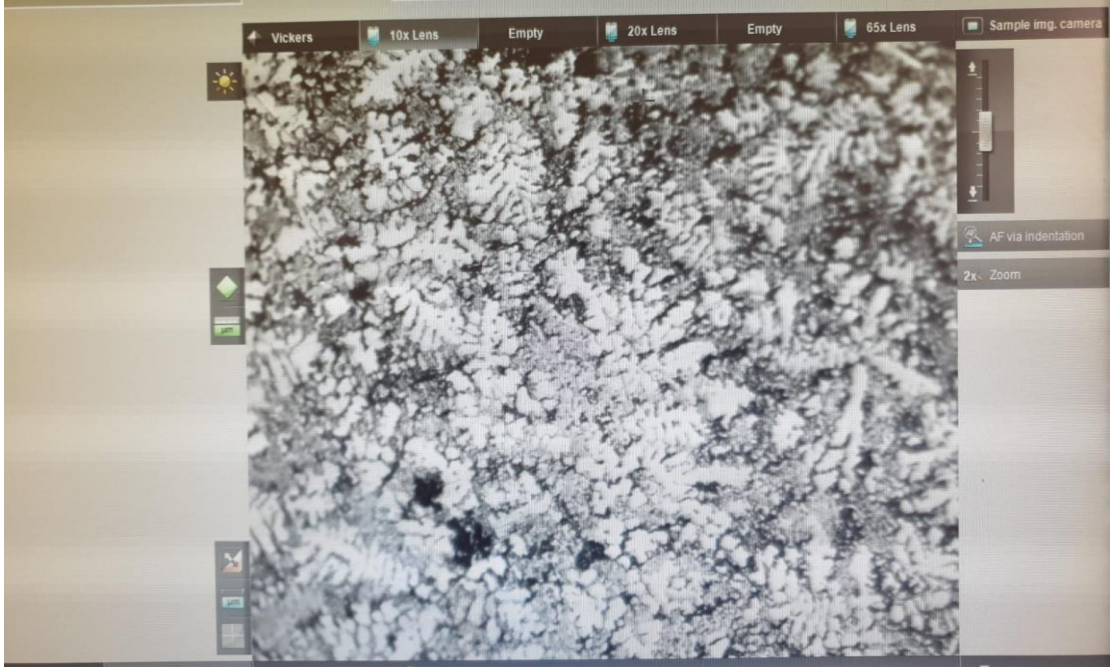
Çizelge 6.1. gösterildiği gibi tane sınırlarında oluşan fazlar ve tane yapıları şekilleri şemada belirtilmiştir.



## 6.1.2. Mikro Sertlik Ölçüm Analizi

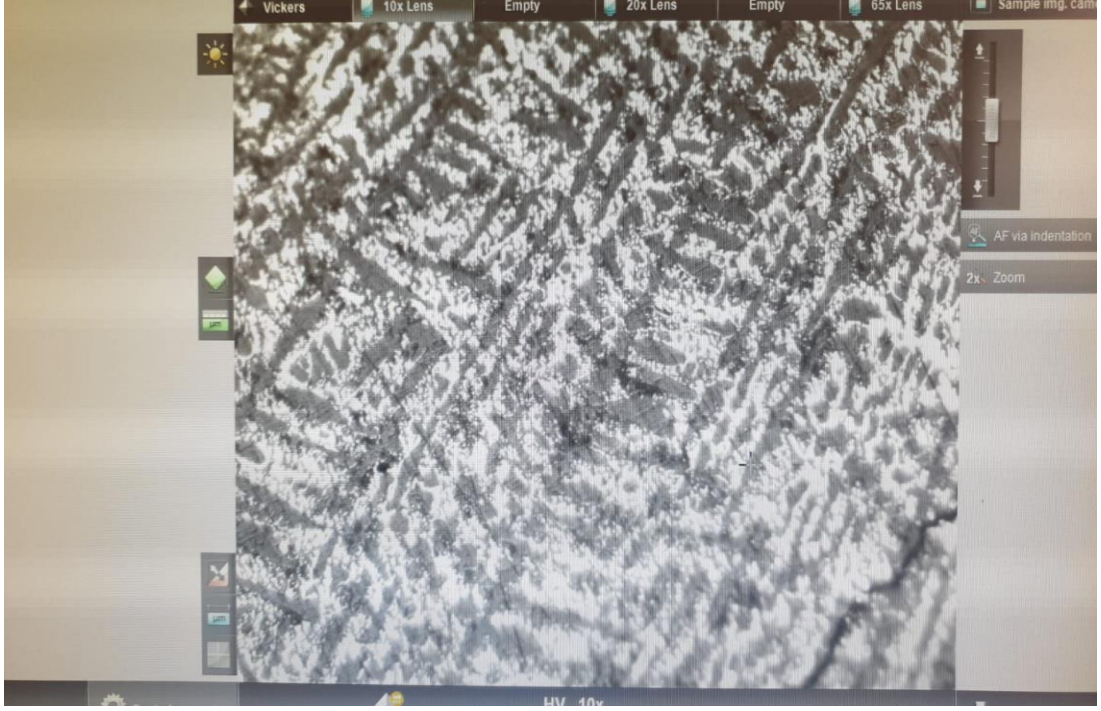


Şekil 6.12. 1 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü



Şekil 6.13. 2 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü





Şekil 6.14. 3 Nolu Numune Sertlik Ölçüm Mikroskop Görüntüsü

Çizelge 6.2. Numunelerin Sertlik Ölçüm Değerleri ve Ortalama Değerleri

	VICKERS HV05			Ortalama Değerler
1 No lu Numune	93,1	93,7		93,4
2 No lu Numune	118	151	178	149
3 No lu Numune	192	202		197

Saf alüminyumun Vickers sertlik değeri 32 HV'dir. Alüminyuma katılan farklı metaller ve bunun sonucunda oluşan yeni alüminyum alaşımlarının sertlik ölçüm değerleri saf alüminyuma göre daha yüksektir. Alaşım miktarı arttıkça sertlik ölçüm değerleri doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada özel ölçülerde tasarlanan Laboratuvar Ölçekli Mini Ark Ocağı tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki basamak olarak Al-Al alaşımları hazırlanarak EAF'de döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminden sonra elde edilen numuneler metalografik yöntemlerle hazırlanmıştır. Mikro yapı incelemesi için optik metal mikroskop kullanılmıştır. Vickers HV05 sertlik cihazı kullanılarak sertlik değerleri ölçülmüştür.

1. Laboratuvar Ölçekli Mini Ark Ocağı Tasarımı ve Üretimi istenilen ölçülerde yapılabilir olduğu , buradaki en önemli hususun EAF transformatörünün hesaplanması ve tasarlanması olduğu gözlemlenmiştir.
2. Numunelerin mikro yapıları incelendiğinde tane sınırlarının kabalaştığı gözlemlenmiştir.
3. Tane sınırlarında oluşan fazlar ; Al<sub>2</sub>Cu (köşeli yumru), Al<sub>2</sub>CuMg(düzensiz yuvarlak), Al<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>Fe(ince iğnemi) olduğu gözlemlenmiştir.
4. Mikro yapı sertlik ölçümleri sonuçları incelendiğinde alüminyum alaşımlarının saf alüminyuma göre daha yüksek değerlerde çıktığı gözlemlenmiştir.
5. Saf Alüminyum Vickers sertlik değeri 32 Hv. Alaşım değerlerine göre sertlik değerleri sırasıyla yaklaşık olarak değerler 3 katı,4,5 ,6 kat olarak artış göstermektedir.
6. Alüminyum alaşımlarında katılan farklı metallerin sayısı arttıkça yüksek ergime sıcaklıklarına sahip metallerin sistemde ergime sıcaklıklarının düşerek hemen tepkimeye girdiği gözlemlenmiştir.

7. Alüminyum alaşımlarına katılan bakır(Cu), magnezyum(Mg), demir(Fe) metalleri alaşımın karakteristik özelliğini oluşturmaktadır. Elde edilen yeni alaşım eklenen metallerin özelliklerinden dolayı yüksek mukavemet, süneklik, mükemmel korozyon direnci, yüksek sertlik dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. EMİROĞLU, A.Y., 2005. Çelik Sektör Raporu. Deniz Portföy, 7 s, Türkiye SCHMITT, R., 1997. Electric Arc Furnace Scrap Preheating. **Electric Power Research Institute**, 4 s, USA
2. TOBB sanayi müdürlüğü, Kapasite kriterleri, Grup 3710.
3. Edneral, F.P. (1979). Electrometallurgy of Steel and Ferroalloys, **Mir Publishers, Moscow**, Vol 2, pp 203-204.
4. GRANT, M., KAISER, K. and CANTACUZENE, S., 2005. Optimization of Steelmaking in Non-Conventional EAF Operations. AISTech2005 Proceedings, Vol 1, 559 s, USA.
5. Akman, E. Dünyada ve Türkiye’de Demir Çelik Sektörü ve Türk Demir Çelik Sektörünün Rekabet Gücü?. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 2007**.
6. Edneral, F.P. (1979). Electrometallurgy of Steel and Ferroalloys, **Mir Publishers, Moscow**, Vol 2, pp 203-204.
7. URL-1 (2012) <http://www.arslanaluminyum.com/aluNedir.asp>, 04.06.2012
8. Doğan, M. (1989). Alüminyumların Isıl İşlemi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul**, 54 s.
9. Sun, Y. (1998). Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul**, 89 s.
10. The Aluminium Association (1988). Aluminium Statistical Review, **Arlington, Virginia, USA**
11. Doğan, M. (1989). Alüminyumların Isıl İşlemi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul**, 54 s.

12. Sun, Y. (1998). Yaşlanabilir Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul**, 89 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Emrah GÖKDEMİR, ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Yakacık Lisesi Fen Bilimleri bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Bozok Üniversitesi Akdağmadeni M.Y.O. Makine programından mezun oldu.2012 de Dikey Geçiş Sınavı ile girmeye hak kazandığı Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde eğitim almaya başladı.2016 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden Onur Öğrencisi olarak mezun oldu. Yeditepe Üniversitesinin vermiş olduğu eğitime katılarak Kalite Mühendisliği ve Uzman Yönetici Eğitimi sertifikasını aldı. Hidelsan Hidrolik firmasından Satış Mühendisi ve Sun Bağlantı Elemanları firmasında Üretim ve Kalite Mühendisi pozisyonunda çalışarak sektörde uzmanlaşmıştır. 2020'de çalışmaya başladığı Sedef Gemi A.Ş. firmasında İş Güvenliği ve İş Sağlığı Saha Elemanı pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir.