

**KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARININ  
DÖKÜMÜNDE SOĞUMA HIZI VE SİLİSYUM  
İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**2010**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**Mehmet Mürsel YILDIRIM**

**KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE SOĞUMA HIZI  
VE SİLİSYUM İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Mehmet Mürsel YILDIRIM**

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

**KARABÜK  
Ocak 2010**

Mehmet Mürsel YILDIRIM tarafından hazırlanan "KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE SOĞUMA HIZI VE SİLİSYUM İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN  
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

*Y. Türer*

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/ 01/ 2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)

*M. Ünal*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

*Y. Sun*

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)

*Y. Türer*

..... / ..... / 2010

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*S. Gündüz*

*“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.”*

Mehmet Mürsel YILDIRIM

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE SOĞUMA HIZI VE SİLİSYUM İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mehmet Mürsel YILDIRIM**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN**

**Ocak 2010, 53 sayfa**

Bu çalışmada; kurşunsuz pirinç alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla alaşıma ağırlıkça % 2, 3 ve 4 oranlarında Silisyum (Si) ilavelerinin ve farklı soğuma hızlarının etkisi araştırılmıştır. Alaşımlar; 3 farklı katılaşma zamanı veren seramik, çelik ve bakır kalıplara dökülmüştür. Sonuçlar; Kurşunsuz pirinç'e Si ilavesinin artmasına bağlı olarak % uzama, sertlik, çekme ve akma dayanımında artırdığı ancak alaşımın katılaşma hızları arttıkça sertlik değerlerinin düştüğü görülmüştür. Mikroyapı sonuçları incelendiğinde, Si miktarına ve soğuma hızına bağlı olarak tanelerin incelendiği ve  $\alpha+\beta$  fazının modifiye edildiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Pirinç ve alaşımları, Mikroyapı, Mekanik özellikler

**Bilim Kodu** : 626.18.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF EFFECT OF COLLING RATE AND SILICON (Si) ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF LEAD FREE BRASS ALLOYS**

**Mehmet Mürsel YILDIRIM**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Metallurgy Education**

**Thesis Advisor :**

**Assist. Prof. Dr. Yunus TÜREN**

**January 2010, 53 pages**

In this study, effect of cooling rates and Silicon (Si) additions on mechanical properties of lead free Brass alloys was investigated. Content of Silicon in the brass alloys varied between 2 to 4 wt % where as difference mold materials (copper, steel and Ceramic). Results showed that additions of Silicon increased both ultimate tensile strength and elongation considerably. The microstructure results show that when Si is added into the lead free brass alloy, the grain is refined,  $\alpha + \beta$  phase is refined.

**Key Words :** Copper alloys, microstructure and mechanical properties

**Science Code :** 626.18.01

## TEŞEKKÜR

Bu Y¼ksek lisans tez alıŐması, Karab¼k niversitesi Fen Bilimleri Enstit¼s¼ Metal Eğitimi Anabilim Dalı ve Ertaş Metal Sanayi ve Ticaret A.Ő.'nin katkıları ile gerçekleŐtirilmiŐtir. Tez çalıŐmam boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gerek bilim gerekse sosyal alanda sahip olduğu engin bilgisi ile bana yol g¼steren ve her zaman yardımcı olan çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yunus T¼REN'e sonsuz teŐekk¼rlerimi sunarım.

Tez çalıŐmamda, sahibi olduğu Ertaş Metal Sanayi ve Ticaret A.Ő.'nin t¼m olanaklarından yararlanmamı sağlayan Sayın Kazım ERTAŞ'a teŐekk¼r¼ bir borç bilirim. Ayrıca tez çalıŐmamın her aŐamasını takip ederek sahip olduğu bilgi ve tecr¼beleri paylaŐan Makina M¼hendisi Ergin Z'e; deneysel çalıŐmalarımda desteklerini her zaman hissettiğim Sabahattin G¼NEŐ'e, ve adlarını yazamadığım diğer t¼m Ertaş Metal çalıŐanlarına ve tez yazım sırasında yardımlarından dolayı arkadaşlarım Can ÇİĞDEM'e, Levent ELEN'e, Halil Ahmet G¼REN'e ve KardeŐim Enes YILDIRIM'a çok teŐekk¼r ederim.

T¼m hayatım boyunca ve tezimin gerçekleŐmesinde maddi ve manevi hiç bir fedak¼rlıktan kaçınmayan YILDIRIM ailesine sonsuz teŐekk¼r ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
BAKIR VE ALAŞIMLARI .....	2
2.1. BAKIRIN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	3
2.2. BAKIR ALAŞIMLARI.....	4
2.3. BAKIR ALAŞIMLARI ERGİTME OCAKLARI .....	5
2.3.1. Potalı Ocaklar .....	5
2.3.2. Reverber Ocakları.....	7
2.3.3. İndüksiyon Ocakları .....	7
2.3.4. Endirekt Ark Ocakları .....	9
BÖLÜM 3 .....	11
PİRİNÇLER .....	11
3.1. PİRİNÇ (Cu-Zn) ALAŞIMI .....	12
3.2. Cu-Zn ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	12
3.2.1. Yapılarına Göre Pirinçler.....	12



	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.1.1. Alfa Pirinçleri .....	13
3.2.1.2. Alfa-Beta Pirinçleri (Muntz Metal) .....	13
3.2.2. Uygulama Alanlarına Göre Pirinçlerin Sınıflandırılması .....	13
3.2.2.1. Elektrik Uygulamalar İçin Pirinçler .....	13
3.2.2.2. Mimari ve Dekoratif Uygulamalar İçin Pirinçler .....	14
3.2.2.3. Akışkan Kullanımı İçin Pirinç Tüpler .....	14
3.3. YÜKSEK MUKAVEMETLİ PİRİNÇLER .....	15
3.4. KOROZYONA DİRENÇLİ PİRİNÇLER .....	16
3.5. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ .....	16
3.5.1. Korozyon Özellikleri .....	18
3.5.2. Manyetik Özellikleri .....	18
3.6. PİRİNÇ ALAŞIMLARINDA ÖZELLİKLERİ ETKİLEYEN PARAMETRELER .....	18
3.6.1. Alaşım Elementlerinin Etkisi .....	19
3.6.1.1. Çinko .....	19
3.6.1.2. Manganez .....	19
3.6.1.3. Alüminyum .....	20
3.6.1.4. Demir .....	20
3.6.1.5. Kalay .....	20
3.6.1.6. Silisyum .....	21
3.6.1.7. Kurşun .....	21
3.6.1.8. Nikel .....	22
3.6.1.9. Fosfor .....	22
3.6.1.10. Berilyum .....	22
3.6.1.11. Krom .....	23
3.7. SOĞUMA HIZININ ETKİSİ .....	23
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>25</b>
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>25</b>
4.1. MALZEME .....	25
4.2. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA .....	26

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3. KALIP MALZEMESİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI.....	27
4.4. MEKANİK DENEYLER.....	28
4.4.1. Çekme Deneyi .....	28
4.4.2. Sertlik Deneyi .....	29
4.4.3. Mikroyapı İncelemeleri .....	29
BÖLÜM 5 .....	31
DENEYSEL SONUÇLAR .....	31
5.1. SOĞUMA HIZI İNCELEMELERİ .....	31
5.2. MİKROYAPI İNCELEMELERİ .....	34
5.3. SERTLİK İNCELEMELERİ .....	40
5.4. ÇEKME İNCELEMELERİ.....	41
BÖLÜM 6 .....	46
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
6.1. SOĞUMA HIZI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	46
6.2. MİKROYAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	46
6.3. SERTLİK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	47
6.4. ÇEKME SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
BÖLÜM 7 .....	46
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
7.1. SONUÇLAR .....	49
7.2. ÖNERİLER .....	50
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Sabit Potalı Ocak .....	6
Şekil 2.2. Devrilebilir Potalı Ocak .....	6
Şekil 2.3. Reverber Ocağın Şematik Gösterimi .....	7
Şekil 2.4. Ocaktaki Metal Akışı İle Şarjın Yüklendiği Pota .....	9
Şekil 2.5. Endirekt Ark Ocakları .....	10
Şekil 3.1. Cu-Zn Denge Diyagramı .....	12
Şekil 4.1. Ergitme Ünitesi .....	26
Şekil 4.2. Farklı Soğuma Hızına Sahip Kalıplar .....	27
Şekil 4.3. Kalıp İçerisinde Numune Alınan Yerler .....	28
Şekil 4.4. Çekme Deney Numunesi (ASTM E 8M-99) .....	29
Şekil 5.1. A Bileşiminde Kalıp Malzemesine Bağlı Zaman- Sıcaklık Değişimi .....	31
Şekil 5.2. B Bileşiminde Kalıp Malzemesine Bağlı Zaman- Sıcaklık Değişimi .....	32
Şekil 5.3. C Bileşiminde Kalıp Malzemesine Bağlı Zaman- Sıcaklık Değişimi .....	32
Şekil 5.4. D Bileşiminde Kalıp Malzemesine Bağlı Zaman- Sıcaklık Değişimi .....	33
Şekil 5.5. E Bileşiminde Kalıp Malzemesine Bağlı Zaman- Sıcaklık Değişimi .....	33
Şekil 5.6. A Bileşimindeki Malzemenin Kalıp Türüne Bağlı Mikroyapı Görüntüsü .....	35
Şekil 5.7. B Bileşimindeki Malzemenin Kalıp Türüne Bağlı Mikroyapı Görüntüsü .....	36
Şekil 5.8. C Bileşimindeki Malzemenin Kalıp Türüne Bağlı Mikroyapı Görüntüsü .....	37
Şekil 5.9. D Bileşimindeki Malzemenin Kalıp Türüne Bağlı Mikroyapı Görüntüsü .....	38
Şekil 5.10. E Bileşimindeki Malzemenin Kalıp Türüne Bağlı Mikroyapı Görüntüsü .....	39
Şekil 5.11. Kalıp Türüne Bağlı Sertlik Değişimi .....	41
Şekil 5.12. A Bileşimindeki Malzemenin Akma, Çekme Dayanımı ve % Uzama .....	43
Şekil 5.13. B Bileşimindeki Malzemenin Akma, Çekme Dayanımı ve % Uzama .....	43

## **Sayfa**

Şekil 5.14. C Bileşimindeki Malzemenin Akma, Çekme Dayanımı ve % Uzama .... 44

Şekil 5.15. D Bileşimindeki Malzemenin Akma, Çekme Dayanımı ve % Uzama.... 44

Şekil 5.16. E Bileşimindeki Malzemenin Akma, Çekme Dayanımı ve % Uzama .... 45

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Bazı metallerin özgül dirençleri.....	3
Çizelge 2.2. Saf Bakırın en önemli özellikleri.....	3
Çizelge 2.3. Elementlerin bakır içinde yaklaşık atom çapı, boyut ve çözünürlüğü.....	4
Çizelge 4.1. Deney parametreleri ve kimyasal analiz sonuçları .....	25
Çizelge 5.1. Pirinç alaşımlarının dökümlerinden elde edilen sertlik değerleri .....	40
Çizelge 5.2. Numunelerden elde edilen akma, çekme ve uzama değerleri.....	42

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

Bu çalışmada kullanılmış, fakat tez metni içinde açıklanmamış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### **SİMGELER**

$\gamma$	: Gama (Faz)
$\beta$	: Beta (Faz)
$\alpha$	: Alfa (Faz)

### **KISALTMALAR**

HV	: Vickers Sertlik Değeri
HR	: Rockwell Sertlik Değeri
HB	: Brinel Sertlik Değeri
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bir Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) alaşımı olan pirinç kolay üretimi, kolay işlenme kabiliyeti, korozyona dayanımı ve dekoratif görünüşü nedeni ile en çok kullanılan alaşımlarından biridir. Günümüzde çok çeşitli bileşimlerde üretilen pirinç alaşımları makine parçaları, bağlantı elemanları ve sıhhi tesisat malzemelerinin temel yapı taşıdır. Özellikle sıhhi tesisata yönelik malzemelerin üretiminde gerek döküme gerekse ekstrüzyona dayanan şekillendirme yöntemlerinde sünek pirinç alaşımlarının kullanılması şarttır. Yüksek deformasyon oranlarında üretilen bu tip ürünlerde alaşımın sünek ve akıcı bir deformasyon özelliği göstermesi için kurşun ilavesi gerekmektedir. Klasik pirinç malzemede %2–3 kadar bulunmaktadır. Kurşun; hava, su, toprak yoluyla, solunumla ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici özelliğe sahip metaldir. Bu kurşun duran ve akan sular tarafından çözülmektedir. Günümüzde insan sağlığına çok zararlı olan kurşunun suda müsaade edilen limit değeri milyonda 10 birimdir. Yüksek kurşun içeren pirinçler bu şartı asla sağlayamamaktadır.

Son yıllarda kurşunun çevresel ve insan sağlığına zararlı etkisini azaltmak amacı ile yeni nesil sünek pirinç alaşımları geliştirilmektedir. Bu alaşımların kurşunsuz olarak üretiminde kurşun yerine tek bir alaşım metalinin değil bor (B), antimon (Sb) ve zirkon (Zr) gibi bir çok bileşenin pirinç alaşımına ilavesine gerekli olduğu yapılan araştırmalarda ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda tüm dünyada yakın zamanda yaygınlaşacak olan kurşunsuz pirinç ve alaşımlarının üretimi ve de bu alaşımların özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Dolayısıyla bu çalışmada yukarıda belirtilen alanlarda yaygın şekilde kullanılan kurşunsuz pirinç alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için döküm katılaşma şartları ve ilave silisyum elementinin etkileri araştırılacaktır.

## BÖLÜM 2

### BAKIR VE ALAŞIMLARI

#### 2.1. BAKIRIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bakır, mükemmel elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik ve elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir. Saf bakırın elektrik iletkenliğinin bu sektörde kullanımı için gerekli değeri yaklaşık  $56\text{m}/\text{mm}^2 \Omega$ 'dur. Bakırın bu değeri IACS (International Annealed Copper Standarts) olarak %100'e karşılık gelmektedir. Daha saf bakırlar için bu değer %103'e kadar yükselebilir [1].

Bakır, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle bu endüstrilerde yaygın olarak kullanılır. Elektrik endüstrisinde telgraf ve telefon sistemlerinde tel formunda, radyo ve televizyon sistemlerinde, binalarda, yıldırım ve şimşeklerden korunma sisteminde, hava hatlarında ayrıca su borularında kullanılır. Otoyol, gemi ve demiryolu endüstrilerinde de kullanım alanı vardır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı değıştiricilerinde de kullanılır.

Gümüş bakırdan daha iyi iletkenliğe sahip olmasına rağmen bakır kadar ucuz ve mukavemetli olmadığı için pek kullanılmaz. Bu da bakırın elektrik endüstrisinin vazgeçilmez bir elemanı yapar. IEC standartlarında  $1\text{mm}^2$  kesitte ve 1m uzunluğunda tavllanmış bir bakır telin direnci  $0,01724\Omega$ 'dur. %100 IACS değeri ise bu dirence karşılık gelmektedir. Diğer elementlerin elektrik iletkenliği değeri, bakırın % 100 IACS olan bu değeri baz alınarak sınıflandırılır. Bununla birlikte bakır yumuşak bir malzemedir. Sertliği döküm yapısı için 40 HV olup soğuk işleme 110 HV' ye kadar çıkarılır. Bazı metallerin özgül dirençleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [1, 2, 3].



Çizelge 2.1. Bazı metallerin özgül dirençleri

100 m boyunda 1 mm <sup>2</sup> kesit alanlı metal tel		Özgül ağırlık (Kg/mm <sup>2</sup> )	100 m boyunda 1Ω direncinde metal tel	
Metal	Direnç, Ω		Metal	Ağırlık, kg
Gümüş	1,62	10,5	Gümüş	1,70
Bakır	1,68	8,94	Bakır	1,40
Altın	2,42	19,3	Altın	4,67
Alüminyum	2,66	2,70	Alüminyum	0,72
Magnezyum	4,46	1,74	Magnezyum	0,77
Kalsiyum	4,60	1,55	Kalsiyum	0,71
Sodyum	4,60	0,97	Sodyum	0,45
Molibden	4,77	10,2	Molibden	7,15
Mangan	5,0	7,2	Mangan	3,60
Rodyum	5,1	12,5	Rodyum	6,37
Wolfram	5,5	19,3	Wolfram	10,60
Çinko	6,0	7,14	Çinko	4,28
Potasyum	7,0	0,86	Potasyum	0,60
Kadmiyum	7,5	8,65	Kadmiyum	7,70
Demir	9,8	7,8	Demir	7,70

Gümüş çok pahalı olması nedeniyle kullanılmadığından en küçük hacimli sargılar ancak bakır kullanılarak gerçekleştirilir. Saf bakırın en önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2. Saf bakırın en önemli özellikleri [4, 5].

Akma dayanımı	40–80 MPa
Çekme dayanımı	200–250 MPa
Sertlik, HV	40
Uzama (kopma)	%40
Büzülme	%75
Young modülü, E	12,5×10 MPa
Özgül ağırlık	8,9 gr/cm
Ergime sıcaklığı	1083
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	100–400
Dövülme sıcaklığı	800–900

Bakır ve çözünen atom arasındaki boyut farkı bakır alaşımlarında mukavemet artışını sağlamak açısından çok önemlidir. Boyut farkının büyük olması, sınırlı çözünürlüğü sebep olmaktadır. Mukavemet artışı için çözünürlüğün yüksek ve boyut farkının az

olması gereklidir. Bazı elementlerin, bakır içinde maksimum çözünürlükleri ve yaklaşık atom boyut farkları Çizelge 2.3.'de verilmiştir. Bunların içinde çinko, en iyi atom boyutu farkı ve çözünürlük kombinasyonuna sahiptir [6].

Çizelge 2.3. Elementlerin bakır içinde yaklaşık atom çapı boyut ve çözünürlüğü [6].

Element	Yaklaşık atom çapı boyut farkı,%	Bakırda yaklaşık çözünürlük, wt%	Element	Yaklaşık atom çapı boyut farkı,	Bakırda yaklaşık çözünürlük Wt %
<b>Oksijen</b>	+113	0	<b>Gümüş</b>	-11	8
<b>Berilyum</b>	+14	2	<b>Kadmiyum</b>	-14	3
<b>Alüminyum</b>	-11	9	<b>Kalay</b>	-15	15
<b>Silisyum</b>	+9	5	<b>Antimyum</b>	-12	11
<b>Fosfor</b>	+20	2	<b>Altın</b>	-11	100
<b>Nikel</b>	+2	100	<b>Bizmut</b>	-18	0
<b>Çinko</b>	-4	39	<b>Kurşun</b>	-27	0
<b>Arsenik</b>	+2	8			

Bakırda etkili mukavemet artışı sağlayan bu elementlerin çözünürlükleri genelde düşüktür. Örneğin çözünürlüğü yaklaşık %1 olan indiumun kritik kayma gerilmesi 1,5 kg/mm dir. Bakırın kritik kayma gerilmesi üzerinde çinko, diğer elementler kadar güçlü bir etkiye sahip değildir. Ancak, çözünürlüğün yüksek olması nedeniyle %30 gibi yüksek oranlarda mukavemet artışında önemli rol oynamaktadır.

## 2.2. BAKIR ALAŞIMLARI

Bakır başlıca çinko, kalay, alüminyum, nikel, fosfor ve berilyumla alaşım oluşturur endüstride kullanılan bakır alaşımları pirinçler ve bronzlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bakırın çinko ile oluşturduğu alaşımlara pirinçler denir. Bakırın çinkodan başka diğer elemanlarla oluşturduğu alaşımların tümüne bronzlar denir. İçerdiği esas alaşım elemanın türüne göre kalay bronzu, nikel bronzu, fosfor bronzu, berilyum bronzu gibi adlar alır.

## **2.3. BAKIR ALAŞIMLARI ERGİTME OCAKLARI**

Günümüzde pirinç üretimi potalı ocaklarda, döner fırın ve reverber fırını gibi alevli fırınlarda ve de en büyük bölümü indüksiyon ocaklarında üretilmektedir. Üretim esnasında bakır hurdası tel veya levha şeklinde, çinko ise külçeler halinde şarj edilmektedir. Bakır 1083°C’ de ergirken çinkonun ergime sıcaklığı 419°C ve buharlaşma sıcaklığı 907°C’ dir. Dolayısıyla pirinç alaşımlarının hazırlanması sırasında öncelikle bakır ergitilmekte, sonrasında ergimiş bakır bekletilmeden ocağa 200–300°C’ ye kadar ön ısıtmaya tabii tutulmuş çinko külçeleri atılmaktadır [7].

Pirincin ergitilmesinde kullanılan ergitme fırınları sıvı yakıtlı veya elektrikli olabilmektedir. Bu fırınlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

1. Potalı ocaklar
2. Reverberler
3. İndüksiyon ocakları(kanallı-kanalsız)
4. Endirekt ark ocakları [8].

### **2.3.1. Potalı ocaklar**

Yüksek kalitede metal ergitilmesi için uygun ocaklardır. Sıvı yakıtla çalışan türlerinin ilk yatırım maliyeti düşüktür. Potalı ocakların sabit ve devrilebilir olmak üzere iki türü mevcuttur [8].

Sabit potalı ocakların kapasitesi 25-500 kg arasında değişmektedir. Şekil 2.1.’de az miktarlarda bakır ergitmelerinde kullanılan sabit potalı ocak resim olarak gösterilmiştir. Metal, pota içerisinde ergitildikten sonra ya pota kaldırılarak ya da kepçe yardımı ile potadan alınmaktadır. Sürekli döküm imkânı olmadığı için düşük kapasitelerde üretimin yapıldığı durumlarda bu tür potaların kullanılması elverişlidir. Bakım ve onarım maliyetleri düşüktür [8].



Şekil 2.1. Sabit Potalı Ocak

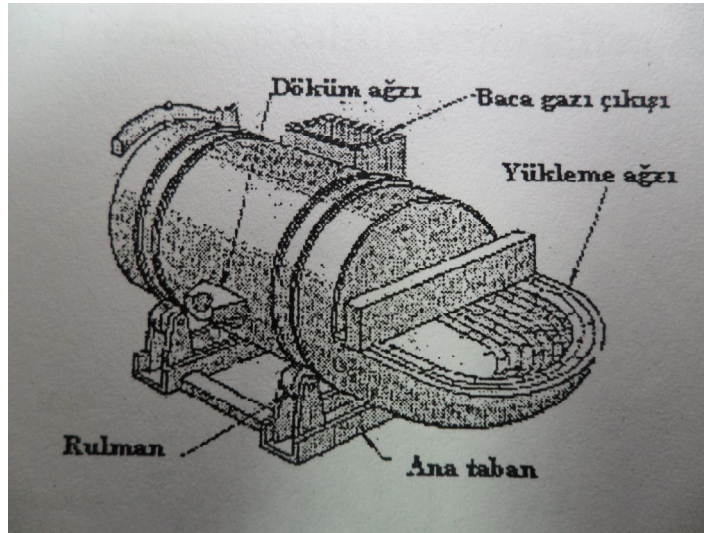
Devrilebilir potalı ocakların kapasiteleri 135–1350 kg arasındadır. Şekil 2.2.’de devrilebilir potalı ocaklar şematik olarak gösterilmiştir. Devrilebilir ocaklarda pota ocak içerisinden çıkartılmaz. Sabit potalı ocaklara göre kullanım ömürleri daha uzundur. Gaz yakıtla çalışan devrilebilir potalı ocaklarda oksijen ile zenginleştirilmiş hava kullanılmaktadır. Böylece bu ocakların ergitme kapasiteleri arttırılmaktadır. [8, 9].



Şekil 2.2. Devrilebilir Potalı Ocak

### 2.3.2. Reverber Ocakları

Reverber ocakların kapasiteleri 20 kg ile ton mertebeleri arasında değişmektedir. Şekil 2.3.'de reverber ocağın şematik gösterimi verilmektedir. Bu tür ocaklarda gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilir. Ancak kükürt probleminden dolayı gaz yakıtlar (LPG) tercih edilmektedir. Ocaktaki şarj, sıcak fırın tavanı ve duvarlarından yansıyan ısı ve sıcak gazların konveksiyonu ile ergimektedir. Reverber ocaklarında ergitme işlemi, potalı ocaklara göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Ocak tasarımında baca gazları ile beklerin (yakıcı) aynı tarafta olması şarj yüzeyini ısıtmakta ve ısı verimini arttırmaktadır. Böylece konveksiyonla meydana gelebilecek ısı kayıpları engellenmektedir [10].



Şekil 2.3. Reverber Ocağın Şematik Gösterimi

### 2.3.3. İndüksiyon Ocakları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan pirinç ergitme ocakları indüksiyon ocaklarıdır. Bu tip ocaklarda çinko kaybı en aza indirgenmiştir. İndüksiyon ocaklarında ergitme elektrik enerjisi ile sağlanan indüksiyon akımı yardımı ile olmaktadır. Ergimiş metal ocak içerisinde istenilen sıcaklıkta rahatlıkla tutulabilmektedir. İndüksiyon ocaklarının çalışma prensibine bağlı olarak küçük hacimlerde yüksek güç konsantrasyonu sağlanmaktadır. Sistemdeki elektromanyetik karıştırma ile homojen bir bileşim elde edilmektedir. İndüksiyon ocaklarında ergiyen alaşımlarda,

ürünlerinden kaynaklanan kirlenmeler bulunmamaktadır. Bu tür ocakların dezavantajı ise maliyetlerinin diğer ocaklara göre yüksek olmasıdır.

İndüksiyon ocakları kanallı ve kanalsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kanallı ocaklar düşük frekansta çalışırken kanalsız ocaklar yüksek frekansta çalışmaktadır. Düşük frekanslı akım şehir şebekesinden sağlanmaktadır ve frekansı saniyede 60 Hz'dir. Yüksek frekanslı akım elde edilmesi için jeneratör kullanılmaktadır. Bu jeneratörlerden sağlanan akımın frekansı saniyede yaklaşık 1000'lerce Hz seviyesindedir [8, 11].

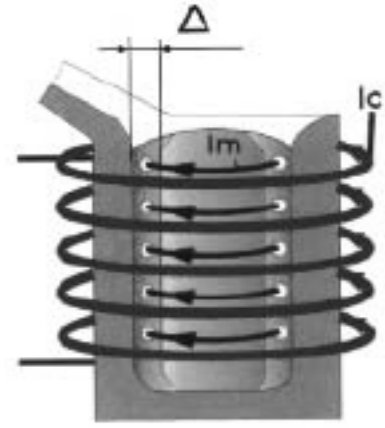
Kanallı indüksiyon ocaklarında fırın tabanındaki indüktör içerisindeki kanalda ergimiş metal bulunmaktadır. Kanaldaki ergimiş metal çift sargılı bir transformatörün birincil sargısı olarak görev yapmakta ve oluşan ısı şarjın ergimesini sağlamaktadır.

Şekil 2.4. (a)'da kanallı indüksiyon ocağının ocaktaki metal akışı gösterilmektedir. Bu ocaklar hem çift hem de tek kanallı olabilmektedir. Çekirdekli indüksiyon ocaklarının dezavantajı, kanallarda sürekli ergimiş metal bulunması gerekliliğidir. Bu nedenle ergitilmiş metal ana şarj yapılmadan, fırına konulmalıdır. Bu tip ocaklarda kanal içerisindeki bobinlerin yanmaması için kanal çevresindeki refraktere kılıflı termo çiftler ile sürekli sıcaklık kontrolü yapılmalıdır [8].

Kanalsız indüksiyon ocaklarında şarjın yüklendiği pota Şekil 2.4. (b)'de görüldüğü gibi indüksiyon bobinleri ile çevrilmiştir. Bu ocaklarda şarj ya da pota transformatörün ikincil sargısı olarak çalışmaktadır. Kanalsız indüksiyon ocaklarında ergitme esnasında ısınan bobinler su devir daimi ile soğutulmaktadır [8, 9].



(a)

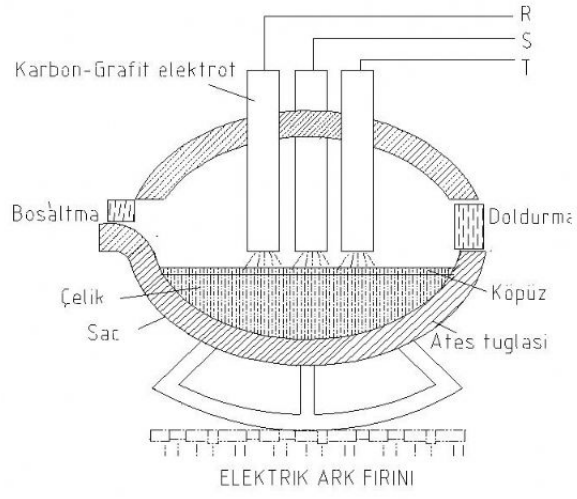


(b)

Şekil 2.4. a) Kanallı İndüksiyon Ocağının Ocaktaki Metal Akışı, b) Kanalsız İndüksiyon Ocaklarında Şarjın Yüklendiği Pota.

#### 2.3.4. Endirekt Ark Ocakları

Endirekt ark ocaklarının çalışması Şekil 2.5.'de görülen ocağın iki tarafına yerleştirilmiş biri sabit diğeri hareketli olan grafit elektrotların meydana getirdiği elektrik arkının şarjı radyasyonla ısıtması prensibine dayanmaktadır. Genellikle bu tür ocaklar yüksek kapasitede yapılacak olan ergitmelerde kullanılmaktadır. Arkta meydana gelen sıcaklık çok yüksek olduğundan kontrolü zorlaşmaktadır. Bu sıcaklıklarda alaşım elementlerinde istenmeyen buharlaşmalar meydana gelmektedir. Endirekt ark ocaklarında homojen yapının edilmesi için ocaklar çalışma esnasında titreştirilmelidir. Bu ocakların bakım ve onarımı pahalı ve zordur [8].



Şekil 2.5. Endirekt Ark Ocağı

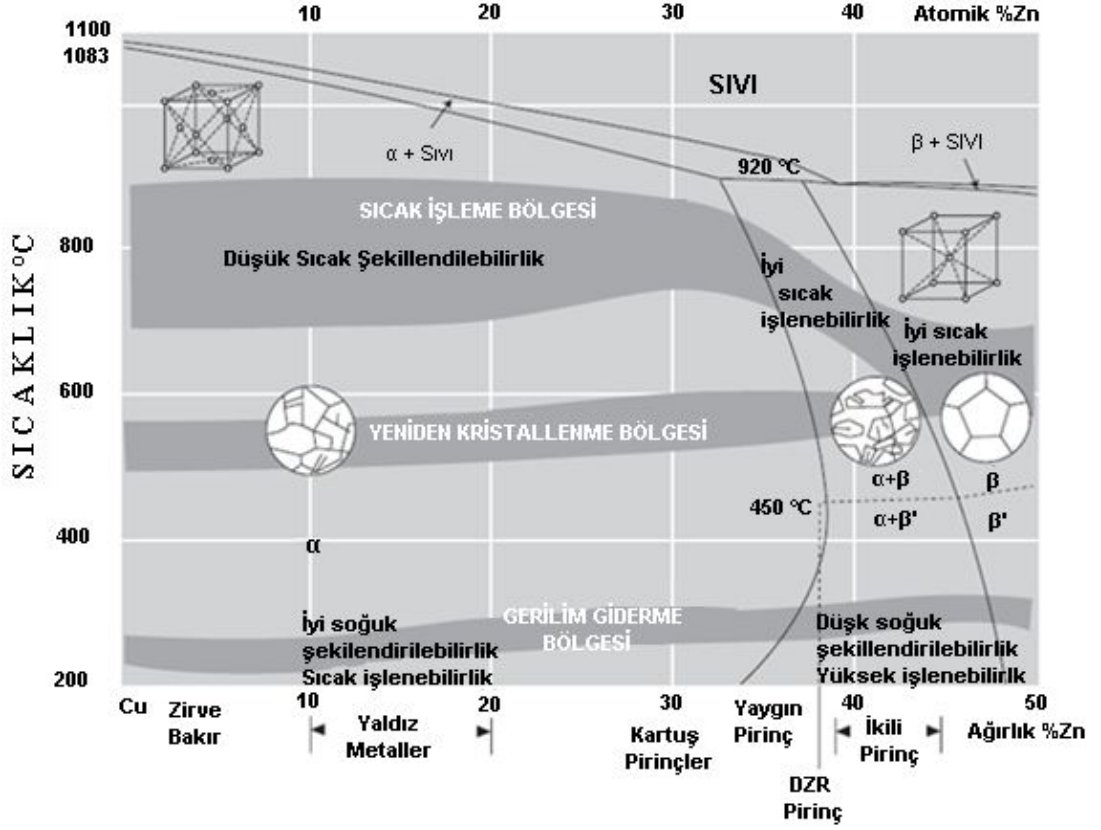


## BÖLÜM 3

### PİRİNÇLER

#### 3.1. PİRİNÇ (Cu-Zn) ALAŞIMI

Pirinç bir Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) alaşımıdır. Saf bakır ve çinkonun ergitilmesi ile elde edilir. Şekil 3.1.'de Cu-Zn denge diyagramı görülmektedir. Bu bileşim sınırları içine düşen pirinçler, 3 önemli faz bölgesini içerirler alfa, beta ve gama fazlarıdır. %37' ye kadar çinko içeren bakır-çinko alaşımlarının kristal yapıları yüzey merkezli kübik kafes sistemine sahiptir ve  $\alpha$  fazı, bir yüzey merkezli kübik (YMK) yapılı katı çözüldür.  $\alpha$  fazı yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olduğundan dolayı kolay deforme edilerek talaşsız şekillendirilebilir. Çinko içeriği arttıkça mukavemette artar.  $\alpha$  fazı bakır içerisinde çinko çözünürlüğünün düşük olduğu faz olup iyi mukavemet ve süneklilik özelliklerinin bir arada bulunduğu faz tipidir. Ayrıca korozyona karşı direnci oldukça iyidir. 903 °C' de %32,5 olan çinko çözünürlüğü 456 °C' de en yüksek değeri olan %39'a ulaşır.  $\beta$  fazı ise HMK yapılı bir bileşiktir. Cu-Zn alaşımlarında %32-37 çinko aralığında yapı bir miktar beta fazı içermektedir. %37-46 çinko aralığında ise alaşım alfa ve beta fazlarını bir arada bulundurur ve heterojen bir yapıya sahiptir. Bu faz 456 °C-486 °C sıcaklıkları arasında  $\beta \rightarrow \beta'$  ile gösterilen düzenli bir dönüşüme uğrar. Bu dönüşüm sonucu, HMK yapıda rastgele dağılmış olan iki metalin atomları, birim hücrelerin köşelerini Cu ve merkezleri de Zn atomları olacak biçimde düzenlenir.  $\beta$  fazından daha sert ve daha gevrekler. Dönüşümü çok hızlıdır. Diğer bir faz ise, gama ( $\gamma$ ) fazıdır.  $\gamma$  faz yapısının hiçbir endüstriyel kullanım alanı yoktur. %45 çinkodan sonra  $\gamma$  fazı görülmeye başlar, sıcak ve soğuk işlenebilme özelliği yoktur [4, 6]. Şekil 3.1.'de Cu-Zn denge diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1. Cu-Zn denge diyagramı

### 3.2. Cu-Zn ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Pirinç ve alaşımları iki ana bölümde sınıflandırılmaktadır. Bunlar yapılarına göre ve uygulama alanlarına göre pirinç alaşımları olarak adlandırılır.

#### 3.2.1. Yapılarına Göre Pirinçler

Cu-Zn alaşımları yapılarına göre sınıflandırmak gerekirse iki tip sınıflandırma yapılabilir.

1. Alfa pirinçleri
2. Alfa-beta pirinçleri

### 3.2.1.1. Alfa Pirinçleri

Alfa pirinçleri yapılarında  $\alpha$  fazı içerir. Katılma sırasında  $\alpha$  pirinçlerin döküm yapıları, yalnızca  $\alpha$  değil, aynı zamanda  $\beta'$  fazını da içerirler.  $\beta'$  fazı oda sıcaklığında  $\alpha$  fazından daha sert ve gevrekler.  $\alpha$  pirinçleri, gerilmeli korozyon kırılmalığının çok sık görüldüğü pirinçlerdir. Bu döküm ve plastik şekil verme sonucu oluşan kalıntı gerilmelerden kaynaklanır. Bu nedenle  $\alpha$  pirinçlerine gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmaktadır.  $\alpha$  pirincinin diğer bir dezavantajı ise çinkosuzlaşma meydana gelmesidir. Bu durum, deniz suyu yada oksijen ve CO<sub>2</sub> içeren tatlı su ortamlarında alaşımın çözünmesiyle gözlenir. Bu korozyon olayı kalay ya da antimuan katılımları ile azalır [5,12]. Alfa fazı pirinçlerinin mukavemetinin artırılması çinko ilavesi ile mümkündür. Çinko ilavesi ile yapıda beta fazı yüzdesi artmaya başlar.

### 3.2.1.2. Alfa-Beta Pirinçleri (Muntz metal)

Bu pirinçler %54 ile %61 arasında bakır içerirler. Cu-Zn denge diyagramında bu bileşimdeki alaşımların yapılarının oda sıcaklığında  $\alpha$  ve  $\beta'$  fazlarından oluştuğu görülür. Daha önce de belirtildiği gibi  $\beta'$  fazı oda sıcaklığında  $\alpha$  fazından daha sert ve gevrekler. Bu nedenle  $\alpha+\beta$  pirinçlerinin soğuk işlemleri zordur. Yüksek sıcaklıklarda oluşan HMK kristal yapıdaki  $\beta$  fazının plastisitesi yüksek olup,  $\alpha+\beta$  pirinçlerine plastik şekil verme genellikle yüksek sıcaklıklarda yapılır [5, 12].

Muntz metali (Cu40Zn) olarak bilinen  $\alpha+\beta$  pirinçlerindeki  $\beta/\alpha$  oranı alaşımın soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Hızlı soğutma oranı  $\alpha$  fazının çökmesini tamamen engellemekte veya  $\beta$  tane sınırları boyunca çökeltmektedir.

## 3.2.2. Uygulama Alanlarına Göre Pirinçlerin Sınıflandırılması

### 3.2.2.1. Elektrik Uygulamaları İçin Pirinçler

Elektrik bağlantı uçları ve temas noktalarında pirinçler yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yüzeyde oluşan ince oksit film hava ile korunmazsızlık oluşturduğunda temas direnci artmadığı için bu alaşımların elektriksel iletkenliği

iyidir. CuZn10, CuZn30, CuZn37, CuNi12Zn24 gibi alaşımlar röle ve temas yayları için şerit formunda, kısmen yüksek sıcaklıklar için dirençli tel ve yaylarda, ara parça (konnektor), ara parça pinleri ve uçlarında kullanılmaktadırlar.

### **3.2.2.2. Mimari ve Dekoratif Uygulamalar İçin Pirinçler**

Alüminyum ve manganez içerikli pirinçler sergiledikleri iyileştirici ve cazip yüzey filmlerinden dolayı mimari uygulamalar için sıklıkla kullanılır. Manganez pirinç CuZn40Mn1Pb1 Oksidasyona uğradığı zaman çikolata renkli bir filme sahiptir ve alüminyum içerikli pirinçler gümüş parlaklığında canlı yeşil bir renge sahiptir. Her iki alaşım tipide üretilen bir çok mimari uygulamalarda gerekli olan karışık kesit şekilleri oluşturabilmesi için mükemmel olarak sıcak işlenebilirler. Diğer çekici renkler yıldızlı metaller (altın kaplamalı), CuZn10, CuZn15 ve CuZn20 kullanarak elde edilebilir.

Giysi mücevheratı, dekoratif süsler ve diğer benzer uygulamalar için düşük çinko içerikli pirinçler ve yıldızlı metaller tavsiye edilir. Bakır içeriğiyle değişen çekici altın rengine sahip olup ayrıca kararmaya karşı dirençlidirler. Dekoratif amaç için nikel gümüş yaygın olarak kullanılır. Daha düşük nikelli alaşımlarda orijinal gümüş-beyaz renginin hafif sarımtırağa dönüşmesine rağmen ev içinde hiç bir korumaya veya özel bir dikkate gerek yoktur. Açık havada hafif toz halinde yeşil patinaların oluşmasını önlemek için waks (bal mumu) ile parlatma veya cilalamak gerekir.

### **3.2.2.3. Akışkan Kullanımı İçin Pirinç Tüpler**

Genel amaçlar için arsenik 70/30 pirinç CuZn30As tüp kullanılır. Arsenik içeriği çinkosuzlaşmayı önler. Eğer numune sert derin çekmeye veya eğme veya dövmeyle soğuk işleme maruz kaldıysa, gerilme korozyon çatlamasını önlemek için gerilim giderme ısı işleme uygulanması tavsiye edilir.

Isı değiştirici olarak arsenik 70/30 pirinç tatlı su servisinde yaygın olarak kullanılır ve otomotiv radyatörleri ve yağ soğutucuları gibi uygulamalar için tercih edilen pirinçlerdir. Admiralty pirincin %1 kalay eklenmesiyle erozyon korozyonuna karşı

alaşımın direnci artar ve aslında sülfat kirliliği mevcudiyetinin de hem oyuklanma hem de erozyon korozyonuna karşı direnci artar.

Alüminyum pirinçleri hem kondansatör hem de ısı değiştirici olarak deniz suyu servisi için en iyisidir. Fosil yakıtlı kondansatörler ve dünyadaki nükleer güç istasyonlarında yaygın olarak bu pirinç kullanılır. Optimum performans için yüksek derecede koruyucu ve ısı transferiyle zarar görmemesini sağlayan yüzey filmi oluşturan demir esaslı sülfat soğutma suyuna katılır.

Bazı ulusal spesifikasyonlar, alüminyum pirinçlerinde çinkosuzlaşmayı yavaşlatıcı olarak arseniğin yerine fosfor kullanımına izin verir. Fosfor kullanımı sülfitle kirlenilen suda taneler arası korozyon riskini azaltır. Bu riskten korunmak için fosfor içeriği 0.0015'in altında olmalıdır. Alüminyum-nikel-silisyum pirinci, CuZn13Al1Ni1Si1, yüksek mukavemete sahip olmakla beraber iyi korozyon direncine sahiptir. Uçak ve traktörlerde hidrolik kısımlarında kullanılır.

### **3.3. YÜKSEK MUKAVEMETLİ PİRİNÇLER**

Yüksek mukavemetli pirinçler, alaşıma alüminyum, silisyum, demir, manganez ve kalay ilave edilerek meydana getirilen  $\alpha+\beta$ ,  $\beta$  pirinçleridir. Bu alaşım elementleri katı çözeltiliye katıldığında, intermetalik bileşikler oluşturduğundan, alaşımdaki  $\beta$  fazının hacimsel yüzdesini değiştirir ve mikro yapısal incelik sağlanarak mukavemet kazandırır. Yüksek mukavemet verdikleri kadar iyi yatak özellikleri ve yüksek aşınma direncide verirler.

Bu alaşımlar, otomobil endüstrisinde özellikle aşınma için yüksek direncin başlıca gerekli olduğu vites kutularında kullanılır. Manganez bronzları, yüksek mukavemetli pirinçler olarak da kabul edilirler. Manganez bronzları mükemmel mekanik özellikleri ve korozyon dirençleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Manganez bronzlarının bileşenleri; korozyona dirençli olan  $\alpha$  pirinçleri, mukavemeti yüksek olan  $\beta$  pirinçleri ve hem mukavemeti hem de korozyon direnci yüksek olan  $\alpha+\beta$  pirinçleri olmak üzere üç ana gruba ayrılır [3, 4].

### **3.4. KOROZYONA DİRENÇLİ PİRİNÇLER**

Suyun biriktiği belirli ortamlar genellikle saldırgandır, dubleks pirinçten yapılan su bağlantı parçaları çinkosuzlaşma adı verilen bir korozyon türüne uğrayabilir. Bunun sonucu olarak bağlantı parçasının kırılmasına neden olan seçici çinko çilini oluşturur. Çinkosuzlaşmaya dirençli pirinç olarak genellikle CuZn36Pb2As alaşımı kullanılır. Ekstrüzyon veya sıcak-zımbalama ile dikkatli bir şekilde kontrol edilen, kompozisyon ve standart çinkosuzlaşma direnç testinin gereklerini karşılamak için uygulanacak ısıtma işlemle bağlantı parçaları, vanalar ve valflerin yapımında bu pirinçler kullanılır.

Naval pirincine az miktarda kalay eklenmesiyle ve admiralty (gemici) pirinci deniz suyunda korozyona dirençlidirler. Naval pirinç %60 Cu, %39 Zn ve %1 Sn'dan oluşur, ayrıca dubleks pirinçlerdir ve bu nedenle daha sert ve daha mukavemetlidir, fakat admiralty pirinçlerden daha az sünektirler. Admiralty pirinç %71 Cu, %28 Zn ve %1 Sn'dan oluşup alfa pirinçleri olarak adlandırılır. Bu alaşımların hiç birinin BS EN standartlarında doğrudan bir karşılığı yoktur. Naval pirincine en yakın alaşım kurşunlu CuZn38Sn1Pb alaşımıdır. Günümüzde alüminyum pirinçleri CuZn20Al2As deniz servisleri için tüplerin kullanımında admiralty pirinçlerin yerini alır, fakat admiralty pirinç tatlı su içinde kullanılmaktadır. Alüminyum pirinç üzerinde oluşan alümina film, lehimleme sırasında ıslatmayı önler bu yüzden eğer lehimleme gerekliyse alüminyumdan eksik alaşımlar seçilmelidir.

Çinkosuzlaşmaya dirençli pirinç ve bazı yüksek mukavemetli pirinçler deniz uygulamalarında da kullanılabilir.

### **3.5. PİRİNÇ ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ**

Pirinç alaşımlarında da; yumuşak, yarı sert, sert gibi sertlik durumları; çekme mukavemeti, kopma uzaması ve brinell sertlik sayıları ile birbirinden ayrılırlar. Çekme mukavemeti çinkonun sertlik miktarıyla orantılı olarak artar. Şekilde bu durum çekme mukavemeti olarak görülmektedir. Yapıda beta kristallerinin meydana

gelmesi ile çekme mukavemetinin yükselişi ve uzamanın düşüşü kuvvetlenir ve eğriler bükülme gösterirler [13].

Pirincin mukavemet değerleri sıcaklık arttıkça önce 250°C' nin üzerinde kuvvetle azalır. Bu özellikle bakır az alaşımlar için geçerlidir. Kopma uzaması olarak adlandırılan şekil değiştirme kabiliyeti azalır fakat gevrekleşen alanın geçilmesinden sonra 350°C' nin üzerinde artmaya başlar. Ayrıca bakırda olduğu gibi pirincin mukavemet özellikleri düşük sıcaklıktan pek etkilenmez. Çelikte korkulan soğuk gevrekleşmeye bakır alaşımlarının çoğunda rastlanılmaz [13].

Bakır çinko alaşımlarına ait faz diyagramı şekilde görülmektedir. Şekle göre bakır çinko alaşımları yaklaşık %37 çinko içeriğine kadar sadece alfa karışık kristal yapıları tek fazlı homojen yapılardır. Yapı kübik merkezli olup katı çözelti alfa fazı olarak tanımlanır. Alaşımın çinko içeriği arttıkça mukavemeti de artar, çünkü alfa katı çözeltisi bakır ve çinko atomlarının çapları birbirine yakın olduğundan değişik atomlu olarak teşekkül eder ve kafeste bakır atomlarının yerlerine çinko atomları girebilir. Çinko atomlarının çapları bakır atomlarının çapından biraz daha büyük olduğundan atomlar arası mesafe biraz büyür ve kafes parametresinde kısmen büyüme görülür. Bu sayede meydana gelen gerilmeler sertliğin artmasını sağlar. En yüksek deformasyon derecesi %28 çinkolu pirinçte görülmektedir. Alfa fazı bakır içerisinde çinko çözünürlüğünün düşük olduğu fazdır ve korozyona karşı direnci oldukça iyidir [7, 14].

Beta fazı ise bakır içerisinde ki çinko çözünürlüğünün yüksek olduğu bir fazdır. Pirinç alaşımlarında %32–37 aralığında yapı bir miktar beta fazı içermektedir. %37–46 çinko aralığında ise alaşım alfa ve beta fazlarını bir arada bulundurur ve heterojen bir yapıya sahiptir. Beta fazı kübik hacim merkezli küp olarak tanımlanabilir. Alfa ya göre kırılma ve sert bir yapıya sahip olmasının yanında sıcakta iyi şekillendirilebilir [7].

Bu yapı %45'in üzerinde çinko içeriğine sahip alaşımlarda %46,5–50 çinko aralığında ve yavaş soğutma yapıldığında yapıya tamamen beta fazı hakimdir [7].

Pirinç alaşımlarında mevcut bir diğer faz ise gama fazıdır. Bu faz yapısının endüstriyel olarak kullanım alanı yoktur. Gama pirinci %45 çinkodan sonra görülmeye başlar ve ne sıcakta nede soğukta işlenmeye sahiptir [7].

### **3.5.1. Korozyon Özellikleri**

Pirinç alaşımlarında en çok karşılaşılan korozyon tipi çinkosuzlaşma denilen özel korozyon tipidir. Burada söz konusu olan sadece çinkonun ayrışması değil bütün pirincin yani hem bakırın hem de çinkonun ayrılması söz konusudur [13]. Bu olay başlangıç durumunda belli olmadan bütün parçayı tamamen harap edebilir. Özellikle böyle bir tehlikeye asitli ve tuzlu ortamlarda çalışan borularda rastlanır. Önleme çaresi olarak; kondansatör borular için özel pirinç kullanılması şartlar fazla ağırsa çok az fosfor veya arsenik kullanılması tavsiye edilir. Pirinçlere mahsus bir diğer olay ise %90' dan az bakır bulunması halinde "Gerilmeli Korozyon" eğilimidir. Yüzeyde çekme gerilmelerinin etkisi altında bulunan parçalar, herhangi bir dış sebep görülmediği halde ani olarak çatlayabilir. Havada ki çok az amonyak miktarının dahi, çatlamalara sebebiyet vereceği bilinmektedir [13].

### **3.5.2. Manyetik Özellikleri**

Genel olarak pirinç'de bakır gibi manyetik özellik göstermez. Bununla beraber yüzeyde demir ihtiva etmesi halinde manyetiklik gösterir. Takım aşınmasından dolayı yüzeyde az miktarda demir bulunmasıyla bu durumda meydana gelebilir. Özellikle elektrik ve manyetik ölçme cihazları için az demirli pirinçler kullanılır [13].

## **3.6. PİRİNÇ ALAŞIMLARINDA ÖZELLİKLERİ ETKİLEYEN PARAMETRELER**

Pirinç yapılarının oluşumunda etkili olan parametreler pirinç alaşımının içerdiği bakır ve çinko elementlerinin dışında mevcut olan alaşım elementlerinin yanı sıra ilave elementler, soğuma hızı ve tane yapısı en önemli parametrelerdir. Bu bölümde



Cu-Zn alaşımlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerine alaşım elementlerinin, soğuma hızının ve tane yapısı etkisinden söz edilmiştir.

### **3.6.1. Alaşım Elementlerinin Etkisi**

#### **3.6.1.1. Çinko**

Temel alaşım elementi olan çinko pirince %5–40 arasında değişen oranlarda katılmaktadır. Çinko, pirincin mukavemetini, sertliğini ve aşınma direncini artırır. Cu-Zn ikili sistemlerinde optimum aşınma direnci %25 çinko bileşiminde görülmektedir [10, 15]. Kalay bronzlarında ise çinko %5'e kadar kullanılır. Pirinç alaşımlarında ortaya çıkan önemli terimlerden biri de eşdeğer çinko miktarıdır. Eşdeğer inko pirinçte bakır ve çinko dışında diğer katkı elementlerinin bulunması durumunda ortaya çıkar [9, 16]. Alaşımların çoğunda çinko çok zararlı bir empürite değildir. Fakat yatak bronzlarında genellikle, %5'in altında tutulur; fazlası, yatak özelliklerini bozar [5, 17]. Bakır her oranda çinko ile alaşım yapabilmektedir. Bu durum Şekil 3.1.'deki Cu-Zn ikili diyagramında görülmektedir. Diyagramdaki 5 peritektik reaksiyondan 4' (β, γ, δ, ε) ara fazlardır. δ fazının katı erirlik aralığı diğer fazlardan daha dardır [18]. Çinko mukavemet ve tokluğu artıran bir element olup alaşımın matris yapısını belirler. Çinko miktarı %15'den daha az ise istenen mukavemet elde edilemez. α fazı, yüksek sıcaklık mukavemet iyileşmesini sağlar. Çinko miktarı %25'i aştığı zaman β fazı ortaya çıkar ve daha düşük yüksek sıcaklık mukavemeti ve korozyon direnci elde edilir [1, 3].

#### **3.6.1.2. Manganez**

Pirincin mukavemetini, tokluğunu, deniz suyu ve kızgın buhara karşı korozyon direncini arttırmaktadır[16, 19]. Manganez, demir ve Alüminyum ile metaller arası bileşikler oluşturarak sert bileşikler meydana getirir. Empürite olarak çok zararlı değildir. Manganez aynı zamanda, bir dereceye kadar, deoksidan olarak da kullanılmaktadır [5, 17]. Manganez matrisin mekanik özelliklerini iyileştirebilen ve aşınma direncinin istendiği yerlerde intermetalik bileşik (Mn, Si, Fe, Co) kristalizasyonu sağlayan bir elementtir. Manganez içeriği %1'den daha az olduğu

zaman intermetalik bileşik kristallerin oluşumu azalır. Diğer yandan Manganez içeriği %5'i aşarsa alaşımın tokluğu azalır [20, 21].

### **3.6.1.3. Alüminyum**

Bakır içinde %9,5 çözünebilir. Alüminyum, alüminyum bronzlarında temel alaşım elementi olup yüksek mukavemetli pirinçlerde (Manganez bronzları) mukavemet yükseltici alaşım elementi olarak da kullanılır. Pirince alüminyum ilavesi korozyona, deniz suyuna ve oksidasyona karşı dayanıklılığı arttırmaktadır [15]. Empürite olarak alaşımda bulunursa, özellikle yüksek kurşunlu bronzlarda çok zararlıdır, döküm ve katılaşma esnasında problemlere yol açar. Alüminyum çinko eşdeğerinin yüksek olması nedeniyle, az miktarları bile kırılğan  $\beta$  ve  $\gamma$  fazlarını oluşturur [5, 17]. Alüminyum çinko ile senkromeç halkalarının yüzeylerinde  $Al_2O_3$  esaslı oksit film tabakası oluşturur ve bu oksit tabakası birbiriyle temas eden yüzeylerde iyi bir uyuşma sağlar [21].

### **3.6.1.4. Demir**

Alüminyum bronzlarında ve pirinçlerde mukavemeti artırmak için katılır. Alüminyum bronzları pirinçlerde çok sert bileşikler oluşturarak alaşıma aşınma direnci sağlar. Alaşıma demir ilave edilmesi ile pirincin dövülebilirliği artmakta ancak işlenebilirliği zorlaşmaktadır [19]. Empürite olarak bulunması pek istenmez, işlenebilirliği bozar [5, 17]. Kurşunun üniform dağılımı tane özellikleriyle büyük bir şekilde etkilenir ve ince taneli bir yapıya sahip olması istenir. Hem demir hem de bakır ince taneli yapı meydana getirir ve kurşunun üniform dağılmasını sağlar. Demir içeriği %0,01'den daha az olursa ince taneli bir yapı elde etmek zordur. Eğer demir içeriği %6'yı aşarsa alaşımın tokluğu, yüzde uzama ve korozyon direnci azalır [19].

### **3.6.1.5. Kalay**

Kalay, bakır ile her oranda çözünerek katı eriyik oluşturmaktadır [9, 15, 16]. Bronzları oluşturmak için bakıra %5–20 arasında katılır. Kalay bakırı sertleştirir ve mukavemetini artırır; aşınma direncini ve korozyon direncini yükseltir. Yüksek

mukavemetli pirinç dışında, kalay empürite olarak zararlı değildir; yüksek mukavemetli pirinçlere en fazla %0,2 kalay katılır [5, 17]. Kalay özellikle adhesiv aşınmayı önlemede etkilidir [21]. Ayrıca kalay  $\alpha$  fazı dendrit yapısının oluşmasını sağlar ve korozyon direncini iyileştirir [20].  $\alpha + \beta$  pirinçlerinde  $\beta$  fazının oluşmasını sağlar ve bu fazın hacimce yüzdesini arttırmaktadır. Ayrıca  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının yanında  $\gamma_1$  fazının oluşmasına neden olmaktadır [22].

#### **3.6.1.6. Silisyum**

Yüksek mukavemet, tokluk ve aşınma direnci olan Cu-Si alaşımlarında kullanılır. Kurşunlu bronzlarda empürite olarak zararlıdır [5, 17]. Silisyum; Mangan, demir ve bakır ile intermetalik bileşik oluşturması için gerekli olan bir elementtir. Silisyum içeriğinin %0,3'den küçük olması halinde intermetalik bileşik oluşma ihtimali azalır [20].

#### **3.6.1.7. Kurşun**

Kurşun pirinç alaşımlarına işlenebilirliğini arttırmak için katılmaktadır. Alaşıma genellikle %1–3 oranında ilave edilmektedir. Yapılan araştırmalar, %3'den daha yüksek kurşun ilavesinin işlenebilirlikte bir gelişmeye neden olmadığını göstermektedir. Kurşun, bakır alaşımları içerisinde çok az çözünmekte ve mikroyapıda küresel çökeltiler halinde yer almaktadır. Küresel kurşun parçalarının dağılımı, alaşımın soğuma hızına bağlı olmakla birlikte pirincin işleme kabiliyetinin artırılmasında büyük önem taşımaktadır.

Kurşun, talaşlı imalatta takım ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısını azaltmakta ve takımın aşınma miktarını ve kesme kuvvetini düşürmektedir. Kesme işleminde takım aşınmasını azaltarak takım ömrünü uzatmaktadır. Talaşlı imalat pirincinin işlenebilirlik faktörü 100 olarak kabul edildiğinde, 70–100 Aralığında ki değerler iyi işlenebilirlik seviyesini göstermektedir. Bu değer aralığında ki pirinçlerden bazıları  $\text{CuZn}_{38}\text{Pb}_1$ ,  $\text{CuZn}_{36}\text{Pb}_2$ ,  $\text{CuZn}_{39}\text{FeMnSi}$  alaşımlarıdır.

Kurşun pirinç dökümünde ötektik sıvı içerisinde saf kurşun olarak çökelmekte ve dendritler arası bölge yada tane sınırlarında katılaşmaktadır. Pirincin döküm yapısında çekilme boşluklarına ve sıcak yırtılmalara neden olmaktadır. Ayrıca kurşunun su naklinde kullanılan cihazlarda (pompalar, ağırlantı ve borular) insan sağlığına zararlı etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle günümüzde su boru hatlarında kullanılan kurşunlu pirinçlerin ikamesi kısıtlanmıştır. Bunun yerine selenyum, bizmut içeren kurşunsuz bakır-grafit alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bizmut, kurşundan yaklaşık on kat pahalıdır ve tedariki zor bir metaldir. Ayrıca bazı araştırmalar bizmutun bakır ve alaşımlarında kırılma eğilimine yol açtığını göstermiştir. Kurşunsuz pirinç, ticari kurşunlu pirinçle aynı döküm yapısına, işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Ancak, kurşunsuz pirincin sünekliği, kurşunlu pirince göre daha düşüktür. Bunun nedeni bizmutun bakır ve alaşımlarında tek tabakalı olarak atomsal boyutta tane sınırına çökmesidir [19, 22, 23].

#### **3.6.1.8. Nikel**

Pirinç alaşımlarına nikel ilavesi sertliği arttırmakta ancak yüzde uzamaya bir etkiye bulunmamaktadır. Nikel pirincin korozyon direncini de arttırmaktadır. Nikel varlığında yapıda silisyum da mevcut ise pirinçte aşırı derecede sertleşme gelmektedir [19].

#### **3.6.1.9. Fosfor**

Bakır ve alaşımlarına deoksidasyon amacıyla katılır. Bronzlara sertliği arttırmak amacıyla, deoksidasyon için gerekli miktarlardan daha fazla katılır [5, 17].

#### **3.6.1.10. Berilyum**

Bakırla yaşlanabilir alaşımlar yapar. Yaşlandırılmış Cu-Be alaşımları bilinen en yüksek mukavemetli alaşımlardır. Plastikler için kalıp, elektrik kaynağı elektrotları gibi yerlerde kullanılır. Akışkanlığı artırıcı, iletkenliği düşürücü etkisi vardır. [5, 17].

### 3.6.1.11. Krom

Çökeltme sertleşmesi Cu-Cr alaşımlarının temel alaşım elementidir. Isıl işlem sonucunda mükemmel mekanik özellik kazanırlar.

## 3.7. SOĞUMA HIZININ ETKİSİ

Pirinç malzemelerinin metalografik faz yapılarında etkili olan bir diğer faktör malzemenin üretim esnasında maruz kaldığı soğuma hızıdır. Yapının soğuma hızına bağlı olarak değişimi de söz konusudur. Dengeli bir soğuma sonrasında oda sıcaklığında alfa ve beta fazlarını bir arada içeren çift fazlı pirinç malzemeler ısıtmaya başlandığında yapılarında mevcut alfa fazının yerini beta fazının almaya başladığı ve böylece beta yüzde miktarının giderek arttığı bilinmektedir [7]. Alfa fazının beta fazına dönüşümü yavaş iken, beta fazının alfa fazına dönüşümü oldukça hızlı gerçekleşir [7].

Çökelti sertleştirmedeki iki fazlı yapıların geliştirilmesinden farklı olarak bazı demir dışı alaşımlarda (örneğin yüksek çinkolu Cu-Zn alaşımları) istenen yapı, karşılaştırılabilir miktarda iki fazın karışımından oluşur. Her birinin morfolojisi ve miktarı, kullanılan yüksek sıcaklığın kontrolü ve bu sıcaklıktan soğutma hızının kontrolü ile değiştirilir. Tercih edilen mikroyapı tamamen karmaşık ve gerekli işlem farklı sistemler için oldukça farklıdır, öyle ki her prensip için geçerli sistematik ısıl işlem belirlemek zordur [6, 23]. Cu-Zn sistemlerinde %40 Zn içeren alaşımlar ticari alaşımlardır (örneğin Muntz metal ve naval). Alaşım Cu-Zn faz diyagramında (Şekil 3.1.)  $\alpha$  ve  $\beta$  faz kararlılığı bölgesinde bulunur.  $\beta$  fazı hacim merkezli kübiktir, Bakır ve Çinko atomları latis üzerinde rast gele yerleşmiştir [23].

Cu-Zn faz diyagramında kesikli çizginin altındaki sıcaklığa soğutulduğunda (yaklaşık 450°C veya 840°F), Bakır ve Çinko atomları latis üzerinde özel pozisyonlara gider, düzenli yapı veya süper latis oluşturur. Bu faz  $\beta'$  olarak gösterilir (Şekil 3.1.).

Bileşimde %50 çinko varsa, o zaman düzenli yapı merkezde çinko atomları köşelerde bakır atomları (veya tersi) bulunan hacim merkezli kübiktir (HMK). Bu temel latisin düzensiz matristen düzenli yapıyı oluşturması, atom pozisyonlarının (boşluk mekanizması yardımı ile) düzenli yapıya doğru bölgesel yer değişimini kapsar. Düzenli  $\beta'$  bölgesinin düzenlenmesinde rol alan,  $\beta/\beta'$  ara yüzeyindeki atomlar tarafından düzenli bölgenin büyüdüğü görülebilir. Birbirlerine komşu bölgelerden iki ara yüzey karşılaştığı zaman atomların düzeni bozulur. Bu ara yüzeye antifaz sınırı denir ve etrafı çevrilmiş bölgeler domen olarak adlandırılır.  $\beta'$  düzenli yapının özellikleri domenler içindeki atomların düzenlilik derecesine ve domen boyutuna bağlıdır, bunların her ikisi de  $\beta$  ve  $\beta'$  oluşumunda yer alan sıcaklık ve zamana bağlıdır [23].

$\beta'$  formundaki bu alaşımlar ticari kullanım için uygun değildir, çünkü bu yapı gevreklerdir. Bununla birlikte, içinde  $\beta'$  fazı olmayan sünek  $\alpha$  fazı içeren alaşımlar kullanışlıdır. Cu-40Zn alaşımı bütün yapı  $\beta$  olsun diye yüksek sıcaklıklarda ısıtılma tabii tutulur. Düşük sıcaklıklarda geliştirilen yapı ısıtılma bağlıdır, çünkü bu  $\alpha$  fazının oluşumunu ve çökmesini kontrol eder. Alaşım  $800^{\circ}\text{C}$ ' de ( $1470^{\circ}\text{F}$ ) yavaş soğutulursa, faz diyagramı (Şekil 3.1.)  $25^{\circ}\text{C}$ ' de alaşımın eşit miktarlarda  $\alpha$  ve  $\beta'$  fazlarından oluşacağını gösterir.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. MALZEME

Bu çalışmada; Çizelge 4.1.'de Deney parametreleri ve kimyasal analizleri verilen pirinç alaşımları kullanılmıştır. Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında % 99,9 saflıkta Cu, Zn, Pb, Sn ve Metalik Silis Ertaş Metal Sanayi Ticaret A.Ş. 'den sağlanmıştır.

Çizelge 4.1. Deney parametreleri ve kimyasal analiz sonuçları.

Bileşim		Kalıp	Kod	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Si
OTOMAT	<u>CuZn39Pb3</u>	Seramik	A1	58.46	38.20	2.84	0.15	0.23	0.0078
		Çelik	A2	58.35	38.20	2.89	0.17	0.25	0.0055
		Bakır	A3	58.62	38.06	2.77	0.17	0.25	0.0049
ECOBRASS	<u>CuZn22Si2</u>	Seramik	B1	75.94	21.85	0.001	0.006	0.09	2.07
		Çelik	B2	75.59	21.13	0.01	0.01	0.08	2.13
		Bakır	B3	75.98	21.74	0.005	0.006	0.07	2.16
	<u>CuZn21Si3</u>	Seramik	C1	74.98	21.69	0.02	0.02	0.08	2.91
		Çelik	C2	75.21	21.83	0.02	0.02	0.08	2.80
		Bakır	C3	74.35	21.45	0.03	0.02	0.08	3.03
	<u>CuZn20Si4</u>	Seramik	D1	76.63	19.34	0.003	0.004	0.02	3.96
		Çelik	D2	76.17	19.79	0.001	0.007	0.07	3.92
		Bakır	D3	76.01	19.86	0.001	0.008	0.07	4.02
	<u>CuZn17Si3Sn4</u>	Seramik	E1	76.88	15.79	0.003	4.16	0.02	3.12
		Çelik	E2	75.56	17.20	0.003	4.07	0.01	3.13
		Bakır	E3	75.77	16.97	0.003	4.16	0.02	3.05

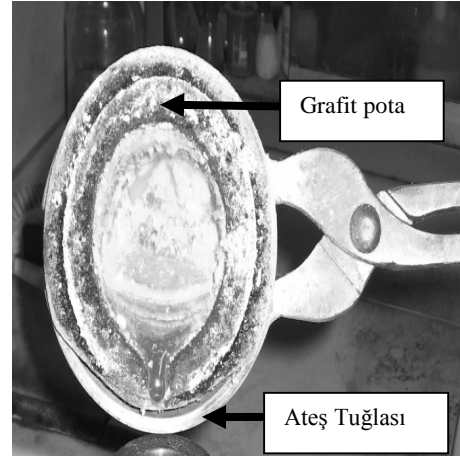
Dökümü yapılan numunelerin analizleri Ertaş Metal A.Ş. malzeme laboratuvarın da bulunan SPECTROLAB marka spektrometre ile tespit edilmiştir. Hazırlanan alaşımlar; Seramik, Çelik ve Bakır olmak üzere üç farklı soğuma şartlarını sağlayan kalıp malzemelerine döküldü. Dökülen malzemelerin sıcaklık ve zaman ölçümü yapılarak soğuma diyagramları çizildi. Bu malzemelerin farklı Silisyum ilavesi ve soğuma hızlarındaki dayanım özelliklerini araştırmak amacı ile Çekme, Akma, % uzama, sertlik ve mikroyapı incelemeleri yapıldı.

#### 4.2. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA

Pirinç alaşımlarının ergitiminde ve dökümünde Şekil 4.1.'de görülen induksiyon ocağı ve döküm potası kullanılmıştır. Ergitme potası; 2 Kg pirinç malzeme kapasiteli dış çapı 150 mm olan ateş tuğlasından yapılmıştır. Potanın içerisine, iç çapı 110 mm olan grafit pota yerleştirilerek elde edilmiştir. Ergitme işleminde öncelikle yüksek ergitme sıcaklığına sahip bakır ergitilmiştir. Daha sonra pota içerisine yerleştirilen diğer alaşım elementleri ilave edilerek grafit çubuk ile homojen bir alaşım elde etmek için karıştırma yapılmıştır. Sıcaklık pota içerisine daldırılan termokupl yardımı ile ölçülerek 950 °C metal sıcaklığının ulaşması sağlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.1. Ergitme ünitesi a) Ergitme Ocağı, b) Döküm potası.



Ergitme tamamlandıktan sonra maşa yardımı ile pota dışarı alınmış ve önceden hazırlanan kalıplara döküm işlemi yapılmıştır. Döküm işlemi esnasında kalıplara bağlanan termokupl ile bilgisayara kaydedilen sıcaklık değerleri ( $\pm 1$  °C) ile zaman-sıcaklık değişim grafikleri çizilmiştir.

#### 4.3. KALIP MALZEMESİ VE NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Dökümlerde farklı katılaşma hızına bağlı dayanım özelliklerinin belirlenmesinde 30 mm iç çapında 200 mm yüksekliğinde 3 farklı kalıp malzemesi kullanılmıştır. Kalıp malzemelerinin merkezlerinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.2.'de döküm yapılan kalıp malzemelerinin resmi görülmektedir.



(a)



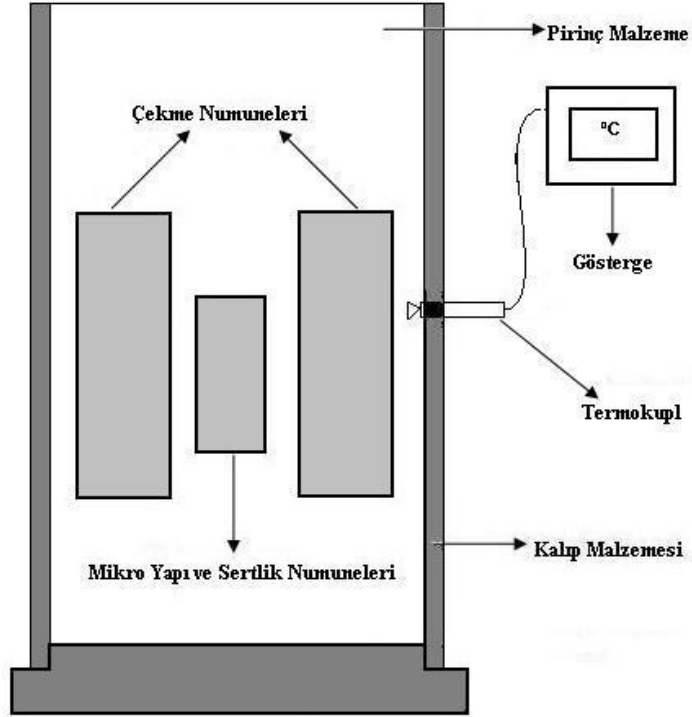
(b)



(c)

Şekil 4.2. Farklı soğuma hızına sahip a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp

Alaşımların dayanım özelliklerinin incelenmesinde numuneler dökülen kalıpların merkez kısmından çıkartılmıştır. Şekil 4.3.'de dökülen parçadan alınan numuneler ve numunelerin alındığı kısımlar görülmektedir.

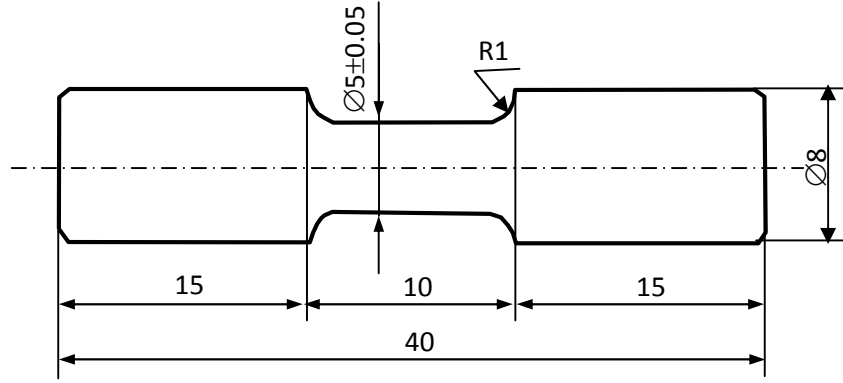


Şekil 4.3. Kalıp içerisindeki numune alınan yerler.

#### 4.4. MEKANİK DENEYLER

##### 4.4.1. Çekme Deneyi

Şekil 4.4.'de görülen çekme numuneleri dökümü yapılan 3 farklı kalıptan elde edilmiştir. Bunlar seramik kalıp, bakır kalıp ve çelik kalıptır. Bu kalıpların her birine Çizelge 4.1.'de A, B, C, D ve E olarak kotlaması yapılan alaşımlarının dökümü yapılmıştır. Ertaş Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. torna tezgahında işlenmiştir. Her alaşım için 4'er adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri Karabük Üniversitesi malzeme laboratuvarındaki SHIMADZU marka 5 ton çekme kapasitesine ayarlanabilen çekme cihazında ve 0,5 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Şekil 4.4.'de çekme numunesinin şekli ve ölçüsü görülmektedir.



Şekil 4.4. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99)

#### 4.4.2. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi numuneleri çekme çubuğundan  $\text{Ø}35 \times 10$  boyutlarında çıkartılmış ve yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Sertlik deneylerinde Ertaş Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuvarındaki c.stiefelmayer KG ESLİNGEN LECKAR marka dijital BRİNELL sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. 2.5 mm çaplı bilya uçlu ve 62.5 N yük uygulanmış ve brinell cinsinden sertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelere sertlik deneyi uygulanırken numunenin ölçüm yapılabilecek 5 farklı nokta belirlenmiş ve belirlenen bu noktalardan sertlik ölçümü yapıp bu değerlerin ortalamaları alınmıştır.

#### 4.4.3. Mikroyapı İncelemeleri

Numunelerin mikroyapı görüntülerini almak üzere sırasıyla 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1200 zımpara numaralarına sahip zımpara diskleriyle zımparalanmışlardır. Zımpara işleminden sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işlemi sırasında ilk parlatma Metkon Gripo 1 Grinder-Polisher döner disk makinesinde tane boyutu 80  $\mu\text{m}$  boyutunda olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  esaslı çözelti kullanılarak yapılmıştır. Numuneler su ve alkolde yıkanarak temizlenmiş ve ikinci olarak Metkon Gripo 1 Grinder-Polisher döner disk makinesinde 3  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta kullanılarak parlatılmışlardır. Parlatma işlemi tamamlandıktan sonra su ve alkol ile tekrar yüzey temizlenmiştir. Dağlama işlemi için %3 lük Demir (III) Klorür çözeltisi kullanılmıştır. Numuneler dağlayıcı sıvı içerisinde 20 sn kadar bekletilmiş ve ardından önce su ile sonra alkol ile

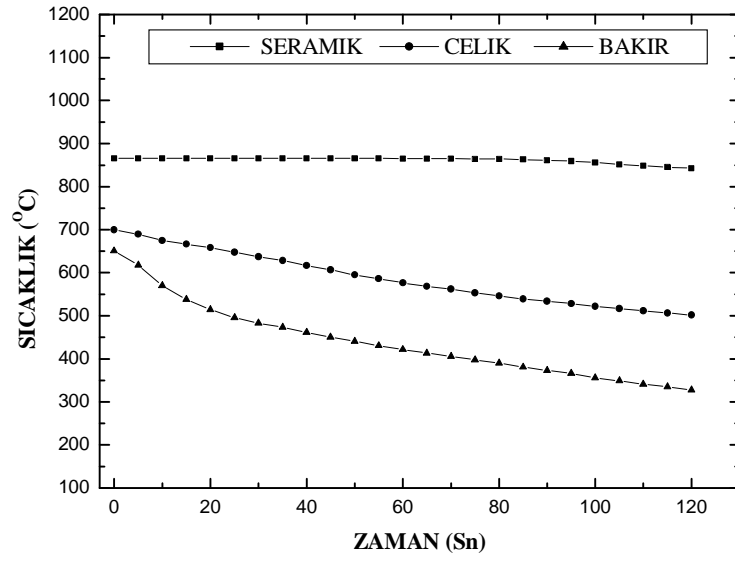
yıkılarak temizlenmiş ve hava akımında iyice kurutulmuşlardır. Son olarak metal ışık mikroskobu ile görüntüler incelenmiştir.

## BÖLÜM 5

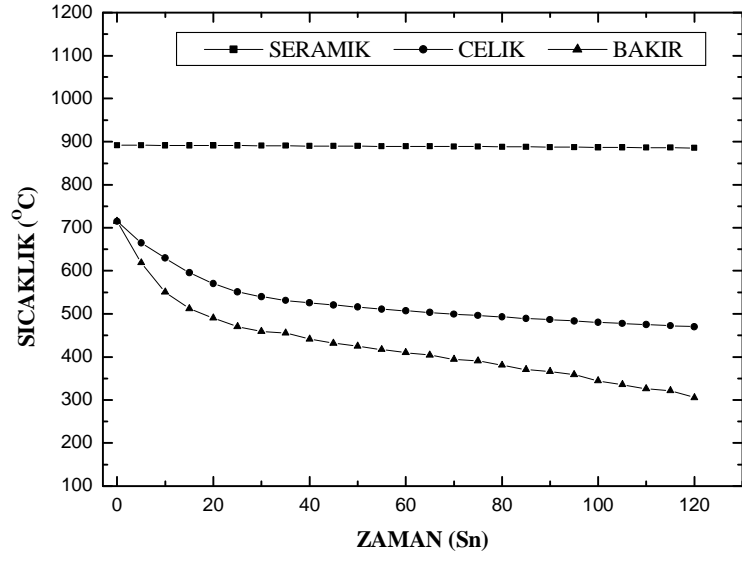
### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 5.4. SOĞUMA HIZI İNCELEMELERİ

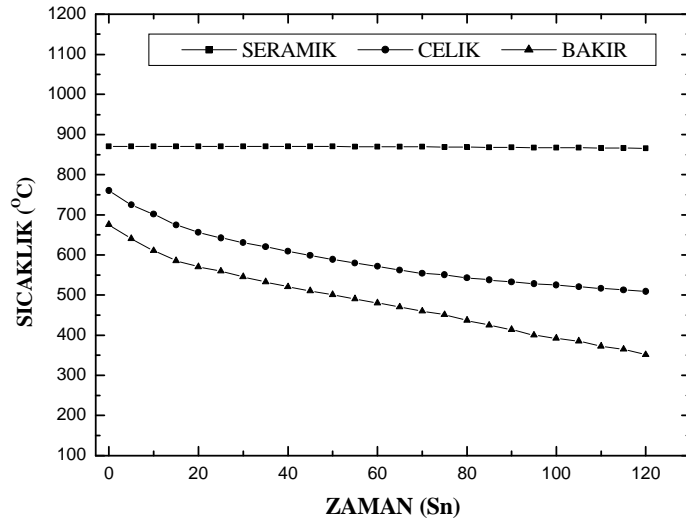
Çizelge 4.1.'de bileşimleri verilen pirinç alaşımlarının farklı kalıp malzemelerine dökümlerindeki zamana bağlı soğuma hızındaki değişimleri sırası ile şekil 5.1-5.5.'de verilmiştir.



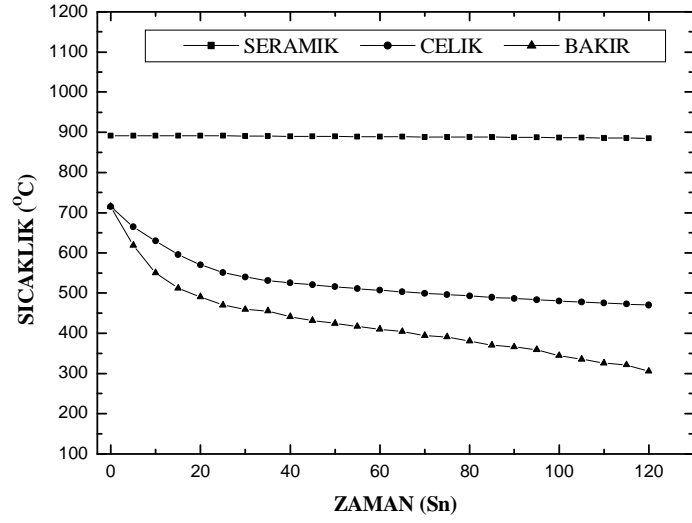
Şekil 5.1. CuZn39Pb3 alaşımlarının kalıp malzemesine bağlı Zaman-Sıcaklık değişimi.



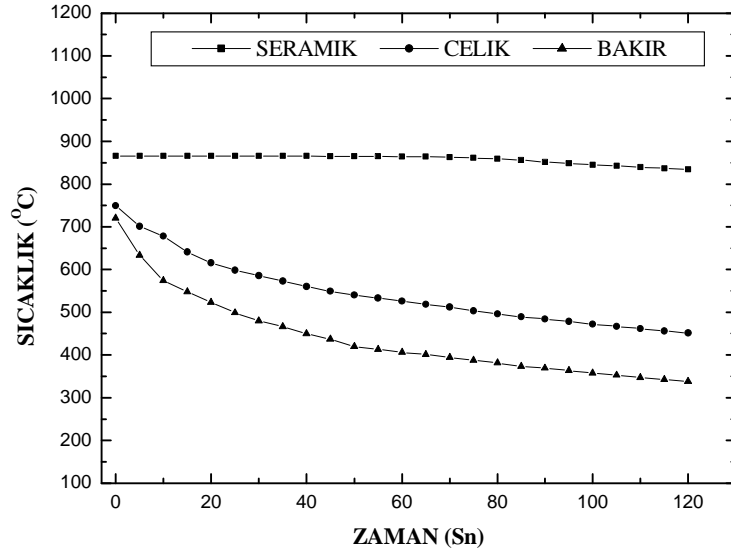
Şekil 5.2. CuZn22Si2 alaşımının kalıp malzemesine bağlı Zaman-Sıcaklık değişimi.



Şekil 5.3. CuZn21Si3 alaşımının kalıp malzemesine bağlı Zaman-Sıcaklık değişimi.



Şekil 5.4. CuZn20Si4 alaşımının kalıp malzemesine bağlı Zaman-Sıcaklık değişimi.



Şekil 5.5. CuZn17Si3Sn4 alaşımının kalıp malzemesine bağlı Zaman-Sıcaklık değişimi.

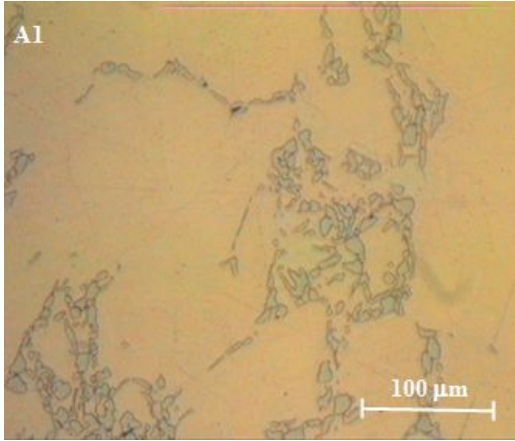
Şekil 5.1-5.7.'de verilen A, B, C, D ve E ile kodlanmış farklı bileşimlere sahip dökümler arasında ki zamana bağlı sıcaklık değişim grafikleri incelendiğinde bileşim farklılıklarının soğuma hızlarına etki etmediği görülmektedir. Ancak her bir bileşim için farklı kalıp malzemesi uygulaması sonucunda kalıp malzemelerinin kendi aralarında soğuma hızlarında farklılıklar mevcuttur. Özellikle bakır kalıp uygulaması en yüksek soğuma hızına sahip olmuştur. Çelik kalıp uygulaması bakır kalıp

uygulamasına göre daha yavaş soğutma yapmaktadır. Seramik kalıp uygulamasında ise oldukça yavaş soğuma gözlenmiştir.

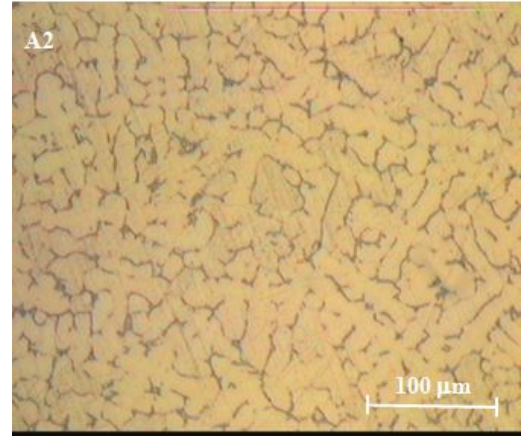
## **5.2. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ**

Çizelge 4.1’de bileşimleri verilen pirinç alaşımlarının farklı katılma hızı veren kalıp malzemelerine bağlı mikroyapı değişimleri sırası ile şekil 5.6 - 5.10’da verilmiştir.

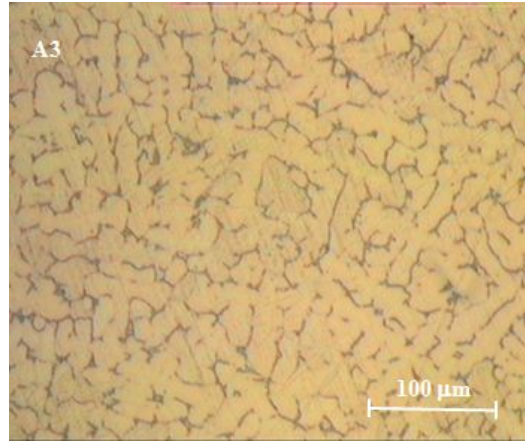




(a)

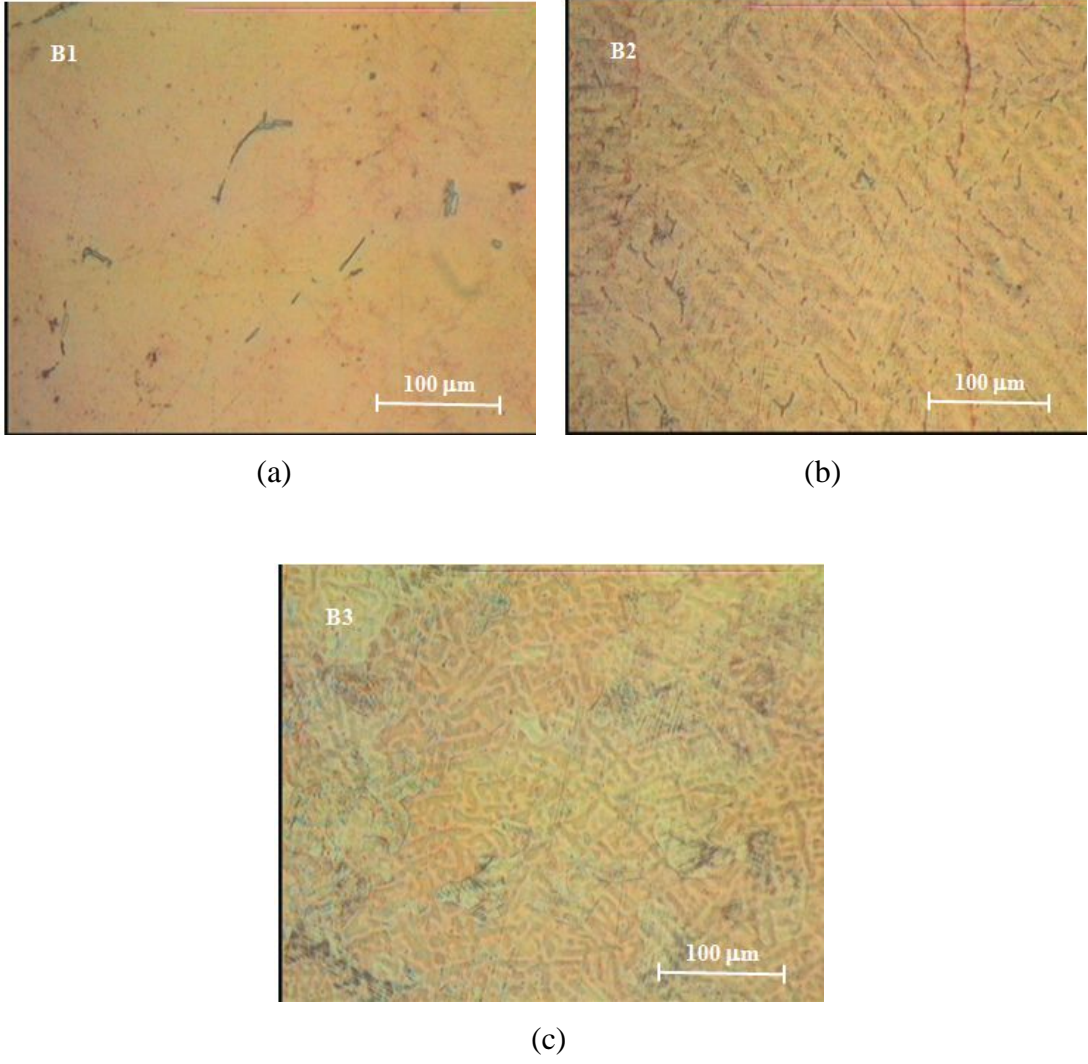


(b)

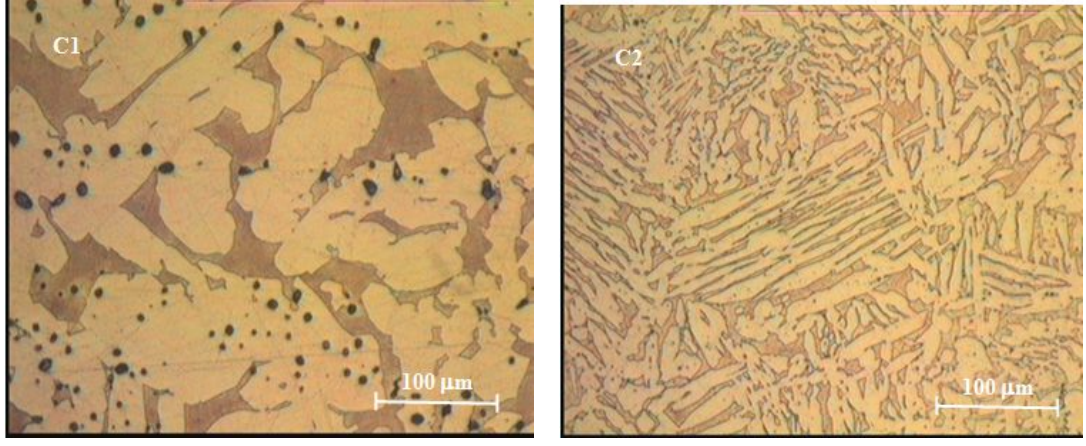


(c)

Şekil 5.6. CuZn39Pb3 alaşımının kalıp türüne bağlı mikroyapı görüntüsü. a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp.

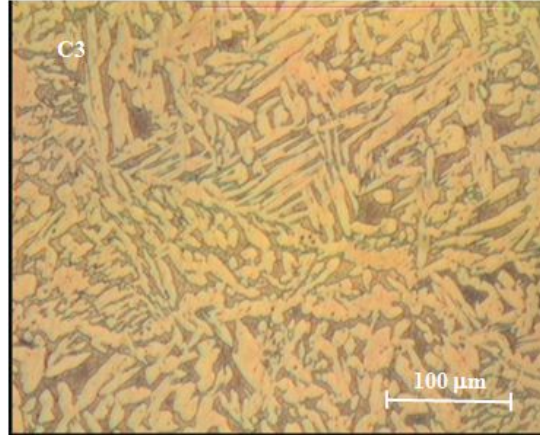


Şekil 5.7. CuZn22Si2 alaşımının kalıp türüne bağlı mikroyapı görüntüsü. a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp.



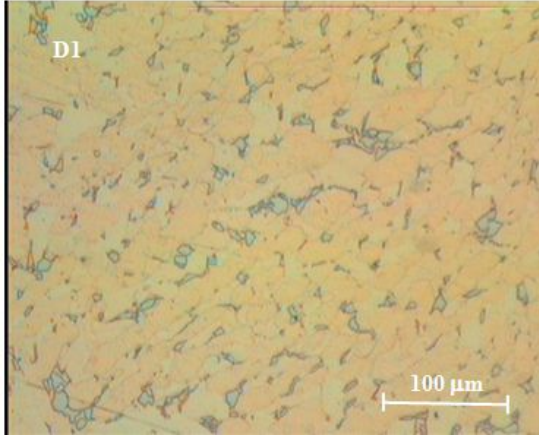
(a)

(b)

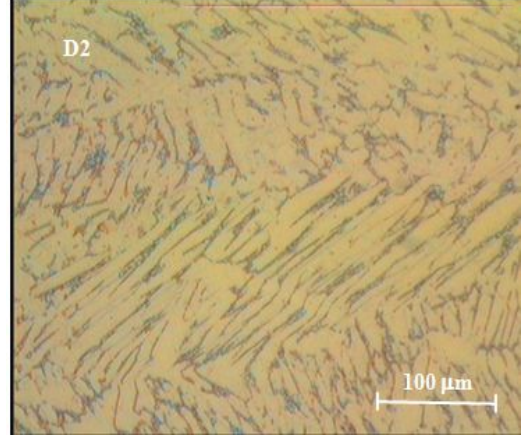


(c)

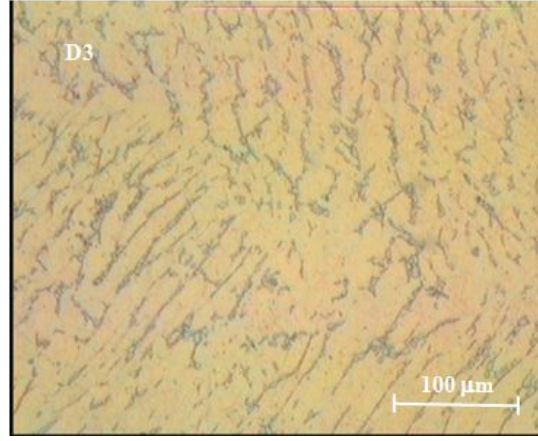
Şekil 5.8. CuZn21Si3 alaşımının kalıp türüne bağlı mikroyapı görüntüsü. a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp.



(a)



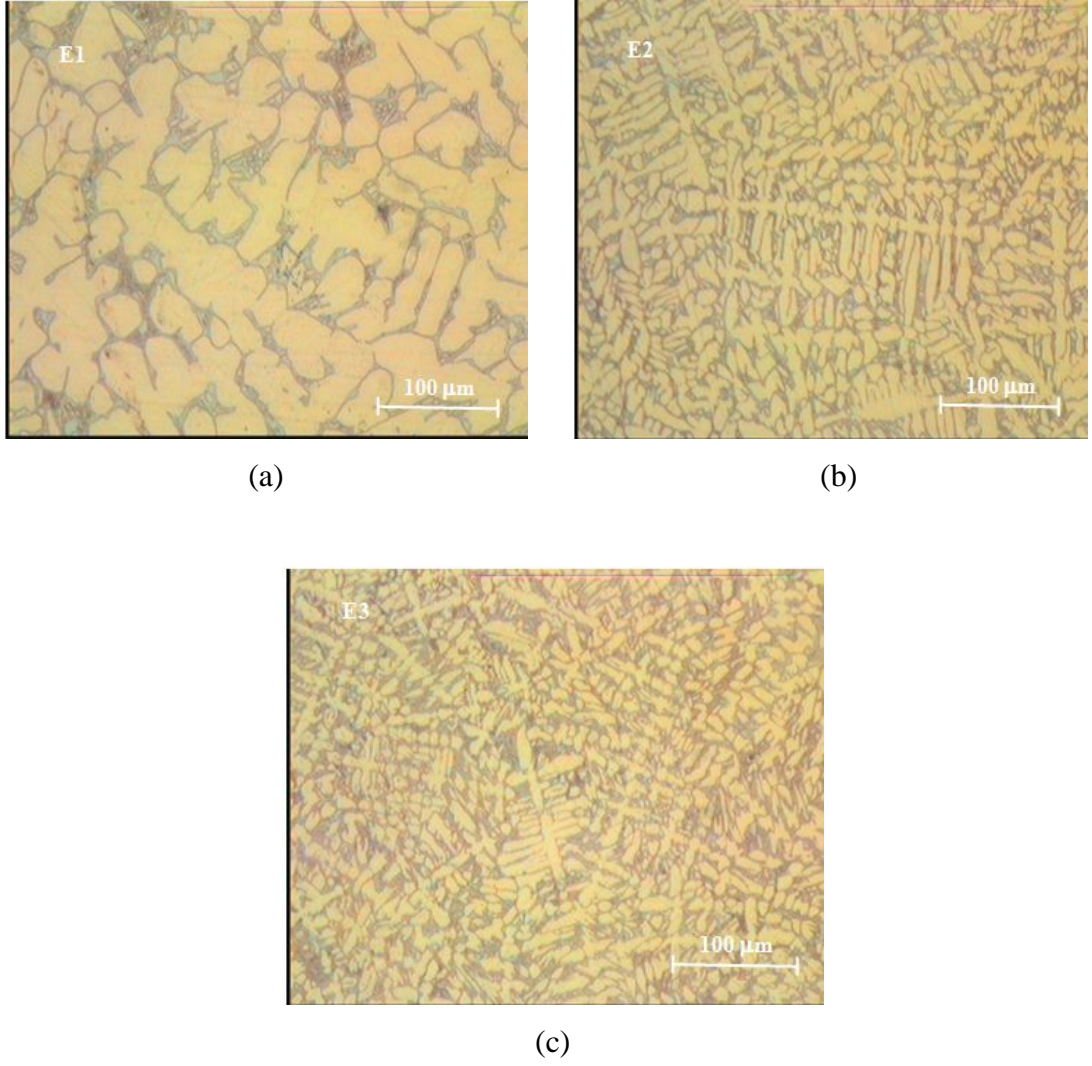
(b)



(c)

Şekil 5.9.  $\text{CuZn}_{20}\text{Si}_4$  alaşımının kalıp türüne bağlı mikroyapı görüntüsü. a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp.





Şekil 5.10. CuZn17Si3Sn4 alaşımının kalıp türüne bağlı mikroyapı görüntüsü.  
a) Seramik kalıp, b) Çelik kalıp, c) Bakır kalıp.

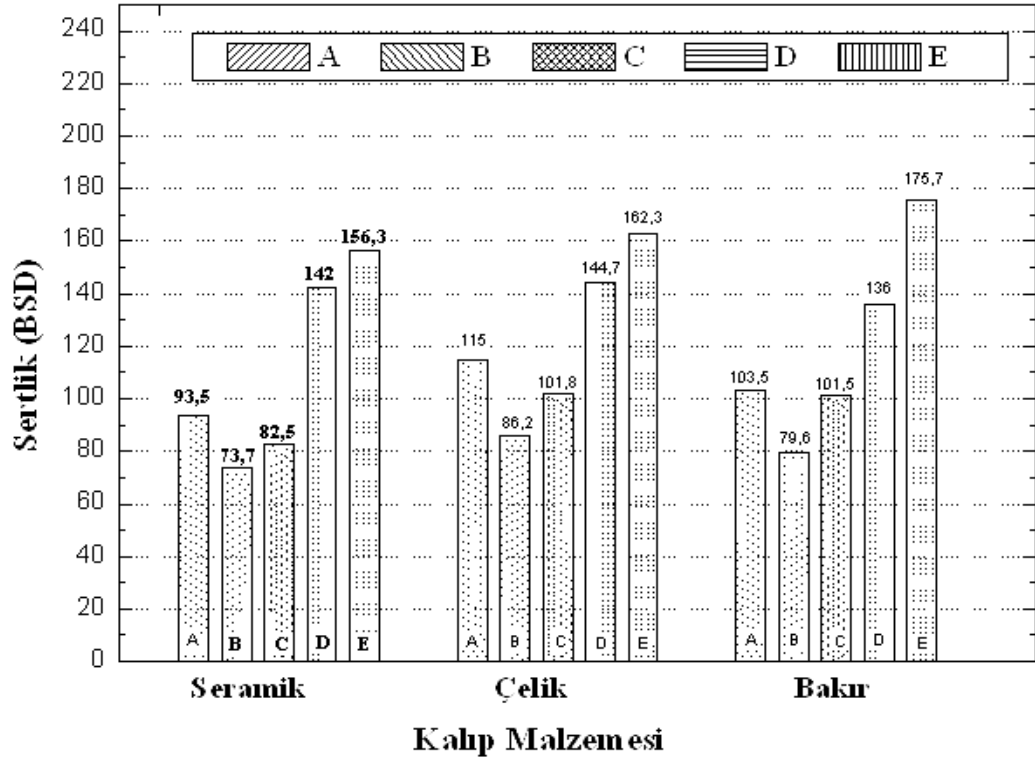
Şekil 5.6-5.10.'da mikro yapı sonuçları incelendiğinde her bir alaşım için Seramik Kalıp uygulaması (yavaş soğuma şartları) mikro yapıda tanelerin oldukça büyük olduğu gözlenmiştir. Bakır Kalıp ve Çelik Kalıp uygulamasında ise (hızlı soğuma şartları) tanelerin küçüldüğü görülmektedir. Bakır ve Çelik Kalıp uygulamalarında az miktarda olsa tane boyutlarında farklılıklar mevcuttur ayrıca mikro yapı resimlerinde dendritik yapı gözlenebilmektedir.

#### 5.4. SERTLİK İNCELEMELERİ

Çizelge 4.1.'de bileşimleri verilen pirinç alaşımlarının farklı kalıplara dökümünden elde edilen sertlik değerleri Çizelge 5.1.'de ve kalıp türüne bağlı sertlik değişimleri grafiksel olarak Şekil 5.11.'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Pirinç alaşımlarının dökümlerinden elde edilen sertlik değerleri.

Bileşim		Kalıp	Kod	SERTLİK (HB)
OTOMAT	<u>CuZn39Pb3</u>	Seramik	A1	93,5
		Çelik	A2	115,0
		Bakır	A3	103,5
E C O B R A S S	<u>CuZn22Si2</u>	Seramik	B1	73,7
		Çelik	B2	86,2
		Bakır	B3	79,6
	<u>CuZn21Si3</u>	Seramik	C1	82,5
		Çelik	C2	101,8
		Bakır	C3	101,5
	<u>CuZn20Si4</u>	Seramik	D1	142,0
		Çelik	D2	144,7
		Bakır	D3	136,0
	<u>CuZn17Si3Sn4</u>	Seramik	E1	156,3
		Çelik	E2	162,3
		Bakır	E3	175,7



Şekil 5.11. Kalıp türüne bağlı sertlik değişimi.

Şekil 5.11’de ki Sertlik grafiği incelendiğinde en yüksek sertliğin E bileşimine sahip malzemede olduğu gözlenmektedir. En düşük sertlik ise B bileşimine sahip pirinç alaşımındadır. Ayrıca silisyum miktarının artması ile sertliğinde orantılı bir şekilde arttırdığı da açıkça görülmektedir.

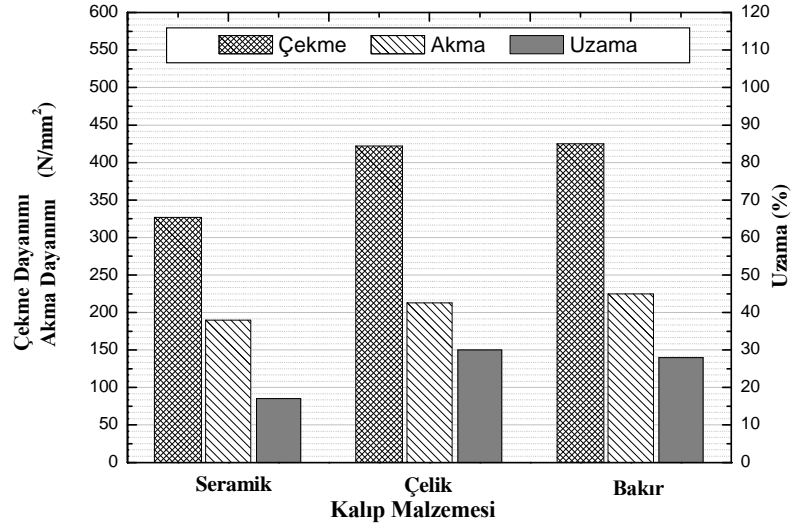
#### 5.4. ÇEKME İNCELEMELERİ

Çizelge 4.1’de bileşimleri verilen pirinç alaşımlarının farklı kalıplara dökümünden elde edilen çekme, akma, uzama verileri Çizelge 5.2’de verilmektedir. Ayrıca çekme dayanımlarının grafikleri Şekil 5.13 - 5.17’de sırası ile görülmektedir.

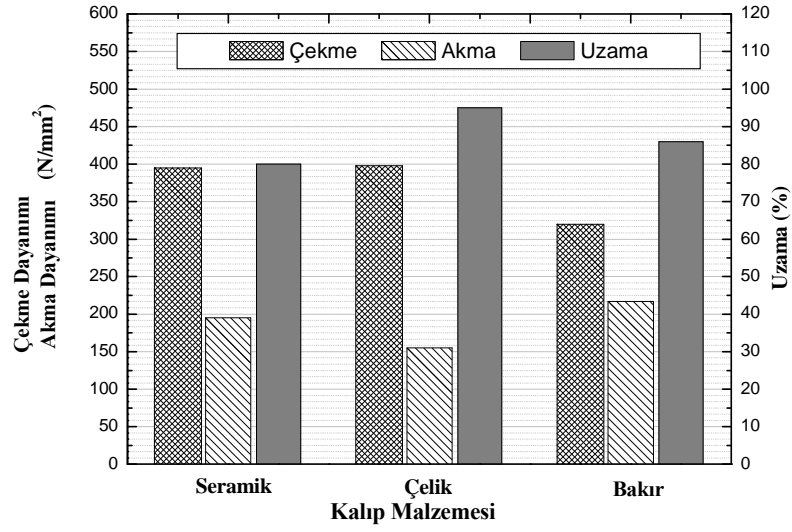
Çizelge 5.2. Numunelerden elde edilen Akma, Çekme, Uzama değerleri

Bileşim		Kalıp	Kod	ÇEKME (N/mm <sup>2</sup> )	AKMA (N/mm <sup>2</sup> )	UZAMA (%)
OTOMAT	CuZn39Pb3	Seramik	A1	327	190	17
		Çelik	A2	422	213	30
		Bakır	A3	425	225	28
E C O B R A S S	CuZn22Si2	Seramik	B1	395	195	80
		Çelik	B2	398	155	95
		Bakır	B3	320	110	86
	CuZn21Si3	Seramik	C1	369	227	17
		Çelik	C2	382	224	21
		Bakır	C3	373	217	18
	CuZn20Si4	Seramik	D1	450	200	25
		Çelik	D2	480	223	28
		Bakır	D3	465	195	24
	CuZn17Si3Sn4	Seramik	E1	337	220	5
		Çelik	E2	340	240	4
		Bakır	E3	348	230	6

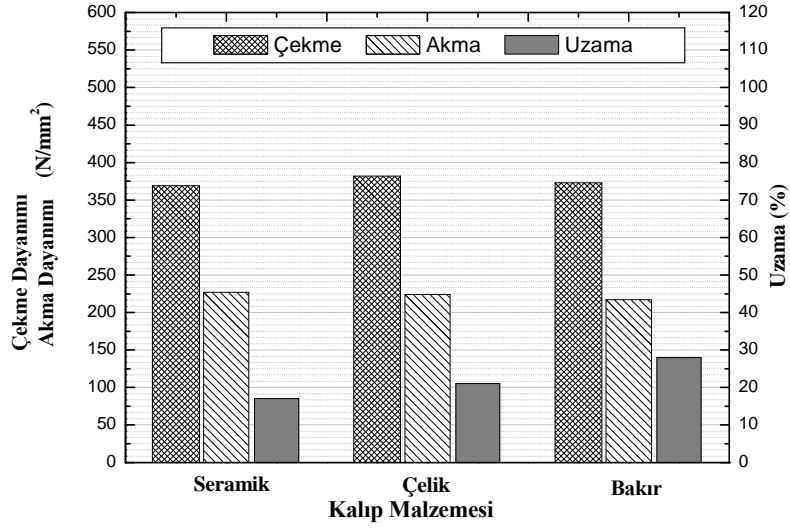




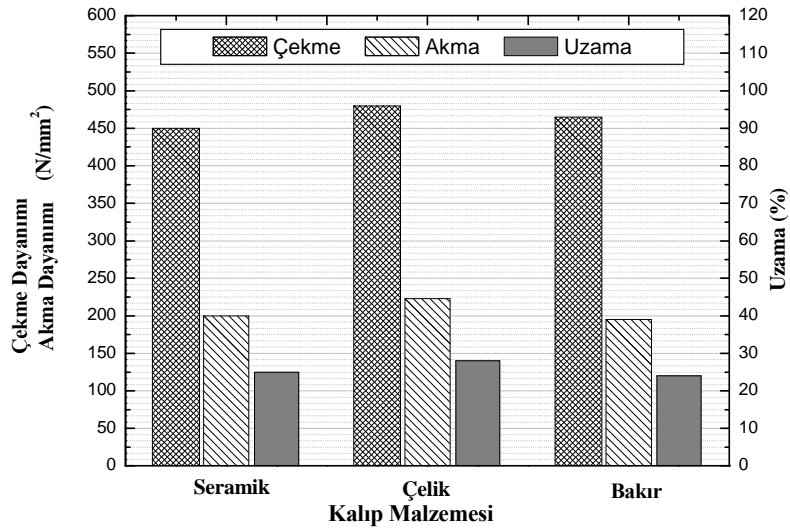
Şekil 5.12. A bileşimindeki malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzaması.



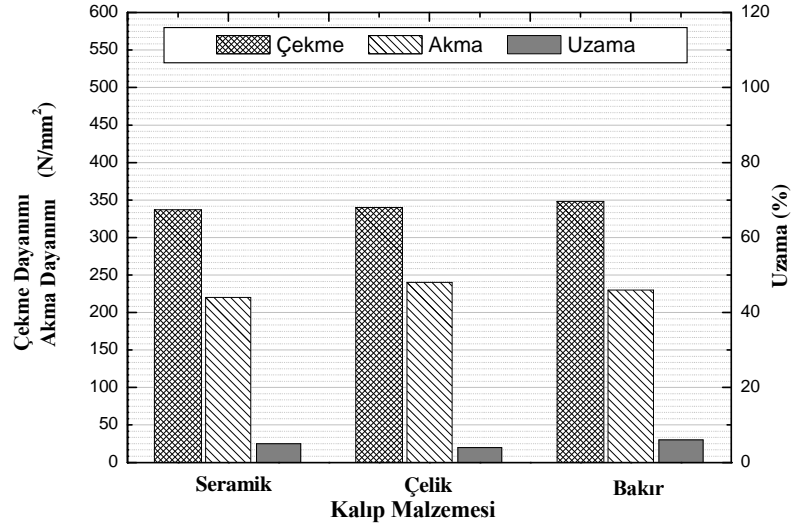
Şekil 5.13. B bileşimindeki malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzaması.



Şekil 5.14. C bileşimindeki malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzaması.



Şekil 5.15. D bileşimindeki malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzaması.



Şekil 5.16. E bileşimindeki malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzaması.

Şekil 5.12 - 5.16' da görülen çekme grafiklerinde de görüldüğü gibi en yüksek çekme D bileşimine sahip pirinç alaşımında olduğu gözlenmiştir. Fakat akma miktarları C ve E bileşenlerinde daha yüksek miktardadır. % uzama miktarları incelendiğinde ise en yüksek uzama B bileşiminde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca en düşük uzama ise E bileşiminde olduğu gözlenmiştir.

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 6.1. SOĞUMA HIZI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı soğuma hızlarının mikro yapıya etkilerini görebilmek amacıyla kullanılan 3 farklı (seramik, çelik ve bakır) kalıp içerisine dökümler 950 °C’de dökülmüştür. Şekil 5.1 - 5.5’de görüldüğü üzere seramik kalıba dökülen alaşımların ihtiva ettiği bileşime bağlı kalmaksızın daha yavaş ve dengeli bir soğuma oluşturduğu tespit edilmiştir. Bilindiği üzere seramik malzemeler ısı yalıtkan malzemelerdir. Dolayısıyla dış ortama (atmosfere) ısı iletimi düzenli bir şekilde ısı yalıtkan seramik malzemeler tarafından engellemektedirler. Kalıptan dış ortama ısı akşının az olması ve zamana bağlı sıcaklık değişiminin az olması bu durumun göstergesidir. Bakır ve çelik kalıplarda ise birbirlerine göre daha orantılı bir soğuma gerçekleştirdiği ancak bakır kalıp uygulamasının çelik kalıp uygulamasına göre daha hızlı bir soğuma hızı sağladığı gözlenmiştir. Bakır malzemelerin ısı iletim katsayıları çelik malzemeye göre daha fazladır ve daha kısa süre içerisinde sıcaklık düşüşlerine neden olması beklenir. Dolayısıyla yukarıda belirtilen yaklaşım deney sonuçları ile de desteklenmektedir.

#### 6.2. MİKROYAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikroyapı sonuçlarında farklı soğuma hızlarının döküm alaşımlarının tamamını etkilediği görülmüştür. Kullanılan kalıpların ısı iletkenliğine göre tane boyutlarında farklılar görülmüştür. Isı geçirgenliği ve dolayısıyla soğuma hızı arttıkça tane boyutları küçülmeler görülmüştür. Bu durum dedritik yapının oluşumu ile açıklanabilir. Hızlı soğuma neticesinde dendritler arası kol uzunlukların azaldığı mikroyapılar da fark edilmektedir. %2 Si alaşımlarında mikro yapı görünümü incelendiğinde tane dağılımı Ecobrass ve %4 Si’li alaşımlara nazaran daha az

homojendir. Özellikle seramik kalıba dökülen %2 Si alaşımlarında bu yapı göze çarpmaktadır bununla birlikte %4 Si alaşımlarının seramik kalıba dökümünde benzer bir mikro yapı görüntüsü elde edilmiştir. Bu incelemelere istinaden alaşım elementi olarak katılan Si' nin %2–4 arasında katılması mikro yapıya homojen olmayan tane dağılımı kazandırdığı söylenebilir. Bununla birlikte oda sıcaklığına yavaş soğutulan pirinç alaşımlarında  $\alpha$  ve  $\beta'$  fazlarının oluştuğu söylenebilir.

### **6.3. SERTLİK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Uygulanan sertlik deneylerinde kalıpların soğuma hızı arttıkça sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Dökülen alaşımın sertlik değerleri; kullanılan kalıpların soğuma hızları arttıkça sertlik artmakta, soğuma hızları azaldıkça sertlik azalmaktadır. Pirince ilave edilen alaşım elementlerinden, en yüksek sertlik değerlerinin %3Si + %4 Sn, en düşük sertlik değerlerinin ise %2 Si alaşımlarında olduğu belirlenmiştir. %3Si + %4 Sn alaşımında sertlik artışının da intermetalik fazların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte Si' nin sert bir yapıya sahip olması alaşım elementi olarak katılan pirinçlerde de sertlik kazandırmaktadır fakat bu oran %4 civarlarında ve de özellikle Sn ile birlikte alaşıma dahil edildiğinde daha da artmaktadır. Belirlenen bu miktarların dışında Si yüzdesinin artırılması alaşımın sertliğinde çok önemli değişimler yapmamakta ancak Si' nin yapısına etki eden Sn, Al, Ag gibi YMK yapıya sahip elementler ilave edilirse Si fazında değişimler olduğu söylenebilir. Bu durum daha sert olan  $\beta$  fazının artmasına sebep olurken bunun yanı sıra  $\alpha$  fazları da dönüşüme maruz kalmaktadır sonuçlarda elde edilen değerler bu yaklaşımlar ile örtüşmektedir.

### **6.4. ÇEKME SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Yapılan çekme deneyi sonuçları incelendiğinde %3 Si + %4 Sn alaşımları diğer alaşımlara göre en yüksek değerdedir (Çizelge 5.2). Si ilavesi alaşımın çekme dayanımını arttırırken Sn ilavesi de bu artışa destek olmakta ve dolayısıyla yapı süneklikten gevrekliğe doğru bir yönelim göstermektedir. %37 civarında Zn ihtiva eden pirinçlerdeki  $\beta$  yapısı da bu sertliğe yakın bir sertliktedir. İncelemeler göz önünde tutulduğunda Si nin pirinç yapısına Sn katkılı alaşımına kıyasla çok fazla

etkisi olmadığı görünmektedir. Fakat çekme dayanımını etkileyen faktörlerden en önemlisi de soğuma hızı ve şartlarıdır. Örneğin hızlı soğutmaya maruz bırakılmış olan bakır kalıba yapılan döküm malzemenin  $\alpha$  yapısı ani değişim göstererek  $\beta$  fazlarının oluşmasına sebep olacaktır ve buda sertliği çok yükselterek çekme dayanımını da arttırmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen verilerde bu durumu desteklemektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada;

Kurşunsuz pirinç alaşımlarına ilave edilen silisyum elementinin ve bu alaşımların döküm uygulamalarında kullanılan farklı soğuma şartlarını sağlayan kalıp malzemelerinin etkisi incelendiğinde aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bu araştırmada, kullanılan alaşımların soğuma hızları incelendiğinde seramik kalıbın çelik ve bakır kalıba göre daha yavaş bir soğuma sergilediği görülmüştür.
2. Her bir alaşım için seramik kalıp uygulamasında tanelerin oldukça büyümesine rağmen Bakır kalıp ve çelik kalıp uygulamalarında ise tanelerin küçüldüğü gözlenmiştir.
3. Seramik kalıp uygulamasında her bir alaşım için sertlik değerleri düşük iken çelik ve bakır kalıp uygulamalarında sertlik değerlerinde yükselmeler gözlenmiştir. En yüksek sertlik değerlerini D ve E bileşimine sahip döküm alaşımlarında olmuştur.
4. Deneylerde D bileşimine sahip döküm malzeme en yüksek çekme dayanımını vermiştir. B bileşimine sahip malzeme uzama olarak en yüksek değere sahiptir. Akma dayanımı olarak C bileşimine sahip malzeme yüksek akma sonuçları vermiştir. Kalıp malzemesi olarak çelik ve bakır malzemeler birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Seramik malzeme kullanımı ise diğer malzeme kullanımlarına göre daha düşük değerler vermektedir.

## 7.2. ÖNERİLER

Kurşunsuz pirinç alaşımlarında, mikro yapı ve mekanik özelliklere soğuma hızının etkileri bu çalışmada verilmekle birlikte, aşağıdaki önerilerin incelenmesi konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgi verecektir.

1. Kurşunsuz pirinç alaşımlarının üretiminde farklı ilave alaşım elemanları değiştirilerek bu elementlerin malzemenin dayanım özelliklerine etkisi incelenebilir.
2. Kurşunsuz pirinç alaşımı uygulamalarında yapılan çalışmaların korozyon davranışları incelenebilir.
3. Ergitme ve döküm sırasında oluşabilecek gazlar ve oksitleri gidererek, deoksidasyon işlemi yapıp filtre uygulamasının döküm özelliklerine etkisi incelenebilir.
4. Kurşunsuz pirinç alaşımlarının ısıtma işlem uygulamaları ile mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.



## KAYNAKLAR

1. Cairns, J.H. and Gilbert, P.T., “The technology of heavy non-ferrous metals and alloys”, *George Newnes Limited*, London, 61-70 (1967).
2. Keyser, C. A., “Basic theories, principles and applications”, *Prentice Hall*, New York, 75-81 (1989).
3. Stoughton, B., Allison, B., and Ardrey, M. B., “Copper alloys” heat transmission 2nd ed., *Mc Graw Hill*, New York, 127-131 (1953).
4. Mendenhall, J.H., “Understanding copper alloys”, *John Wiley & Sons Inc.*, New Jersey, 28-35 (1980).
5. Tekin, E., “Demirdışı metaller ve alaşımlarının uygulamalı optik metalografisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-25 (2006).
6. Brooks, C. R., “Heat treatment, structure and properties of nonferrous alloys”, *American Society For Metals*, New York, 275-327 (1982).
7. Dobrzanski L.A., Tanski T., Cizek L., and Brytan, Z., “Structure and properties of copper cast alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 192 (193): 567-574 (2007).
8. Hicken G. K., “Forging and casting”, *ASM Handbook*, 8th: 397-413 (1993).
9. Akgün, O., “Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında flaksların etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 46-51 (2000).
10. Mindivan, H., Çimenoglu, H., ve Kayalı, E.S., “Microstructures and wear properties of brass synchroniser rings”, *Wear*, 254 (5): 532-537 (2003).
11. Butts, A., “Copper”, *Hafner Publishing Company INC*, New York, 33-78 (1970).
12. Eruslu, N., Altmışoğlu, A., ve Taptık Y., *Alaşımlar Ders Notu*, 114-159 (1990).
13. Ersümer, A., “Bakır alaşımlarının dökümü ve ısıl işlemleri”, *İ.T.Ü. Matbaası*, İstanbul, 23-28 (1976).
14. Kınıkoğlu, N. G., “Malzeme bilimi ve mühendisliği”, *Nobel Matbaacılık*, İstanbul, 507-513 (2001).

15. Mindivan, H., “Yüksek mukavemetli pirinçlerin mikro yapı ve aşınma özelliklerine ısıl işlemin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-62 (2001).
16. Ersümer, A., “Bakır alaşımlarının dökümü ve ısıl işlemleri”, *İ.T.Ü. Matbaası* İstanbul, 34-38 (1976).
17. Miodownik, A.P., “Binary alloy phase diagrams”, 2nd Ed., *Understanding Copper Alloys*, Ohio, 59-67 (1990).
18. Sadayapan, M., Thomson, J. P., Elboujdaini, M., Ping Gu., And Sahoo, M., “Grain refinement of permanent mold cast copper base alloys”, *Copper Development Association Technical Report*, Chicago, 52-64 (2004).
19. “High Strength  $\alpha$  Brass Containing Mn, Si, Co, Fe, Sn and Pb”, *United States Patent*, 5.282.908, 82-95 (1994).
20. “Synchronizer ring in speed variator made of copper-base alloy”, *United States Patent*, 4.995.924, 97-109 (1991).
21. Vilarinho, C., Davim, J.P., Soares, D., Castro, F., and Barosa, J., “Influence of the chemical composition on the machinability of Brasses”, *Journal of Materials Processing Technology*, 170 (3): 441-447 (2005).
22. La Fontaine, A. and Keast, V.J., “Compositional distributions in classical and lead-free brasses”, *Materials Characterization*, 57 (5): 424-429 (2006).
23. Sindo C . T., “Heat treatment”, *ASM Handbook*, 5th: 397-413 (1990).

## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Mürsel Yıldırım 1984 yılında HATAY ilinin Dörtyol ilçesinde doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı ilçede tamamladı. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Döküm Öğretmenliği bölümüne başladı, 2006 yılında mezun oldu. Akabinde Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir. İş hayatına aynı yıl Ertaş Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de Vardiya Amiri olarak başladı, halen aynı şirkette Üretim ve Planlama Sorumlusu olarak devam etmektedir.