

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

**ALÜMİNA TAKVİYELİ BAKIR KOMPOZİTLERİN  
ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. ve Malz. Müh. İbrahim ALTINSOY**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mediha İPEK**

**Ortak Danışman : Prof. Dr. Cuma BİNDAL**

**Temmuz 2009**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

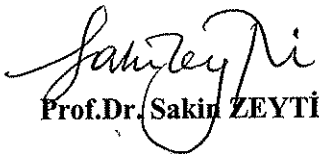
ALÜMİNA TAKVİYELİ BAKIR KOMPOZİTLERİN  
ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Met. ve Malz. Müh. İbrahim ALTINSOY

Enstitü Anabilim Dalı : Met. ve Malz. Mühendisliği

Bu tez 28/07/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Sakin ZEYİN  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. H. Murat  
TÜTÜNCÜ  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Mediha İPEK  
Üye

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sũresince yardımlarını esirgemeyen, engin bilgi ve birikimleriyle yol gũsteren ve her zaman yanımda olan değerli hocalarım Sn. Prof. Dr. Cuma BİNDAL ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Mediha İPEK' e en içten teőekkũrlerimi sunarım. Tezin hazırlanmasında her tũrlũ gũrũő, dũőũnce, fikir ve yardımlarıyla destek olan Sn. Hocam Prof. Dr. Sakin ZEYTİN'e, Araştırma gũrevlileri Sn. F.G. ÇELEBİ EFE ve Tuba YENER' e; yardımlarından çok faydalandığım teknikerler Sn. Ersan DEMİR ve Metin GũNAY'a, SEM analizlerindeki değerli yardımları için uzman Fuat KAYIŐ'a ve iletkenlik ۆlũmlerindeki yardımları ve anlayıőlarından dolayı FEDERAL ELEKTRİK A.Ő Genel Mũdũrũ Sn. Mustafa NURDOğAN ve Sn. Davut SERDAROğLU' na teőekkũrũ bir borç bilirim.

Ayrıca, maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan sevgili aileme de minnet ve teőekkũrlerimi ifade etmek isterim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BAKIR.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Dünya ve Türkiyede Bakır.....	8
2.3. Bakır Mineralleri.....	8
2.3.1.Kalkopirit.....	9
2.3.2 Malahit ve azurit.....	9
2.4. Bakır Üretimi.....	10
2.5. Bakır Alaşımları.....	12
2.5.1. Bakır alaşımlarının sınıflandırılması.....	14
2.5.1.1. Dövme bakır alaşımları.....	14
2.5.1.2. Döküm bakır alaşımları.....	15
2.5.1.3. Özel sert bakır alaşımları.....	15
2.5.2. Pirinçler (Cu-Zn).....	15
2.5.2.1. Alfa pirinçler.....	17

2.5.2.2 Beta pirinçler.....	17
2.5.3. Bronz(Cu-Sn).....	18
2.5.3.1. Kalay bronzu.....	18
2.5.3.2. Alüminyum bronzu.....	19
2.5.3.3. Nikel bronzları.....	21
2.5.4. Sert bakır alaşımları.....	22
2.5.4.1. Cu-Be alaşımları.....	22
2.5.4.2. Cu-Ni-Cr- Si alaşımları.....	23
2.5.4.3. Cu-Cr alaşımları.....	23
2.5.4.4. Cu-Cr-Zr alaşımları(Cupromax).....	23
2.5.4.5. Cu-Zr alaşımları.....	24
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>ALÜMİNA.....</b>	<b>25</b>
3.1. Giriş.....	25
3.2. Alümina İçeren Mineraller.....	27
3.2.1.Korund.....	29
3.2.2. Gibsit.....	29
3.2.3. Böhmit.....	29
3.2.4. Diasporit.....	30
3.2.5. Alunit.....	30
3.2.6. Alum mineralleri.....	30
3.2.7. Diğer mineraller.....	31
3.3. Alümina Üretimi.....	31
3.3.1. Bayer prosesi.....	32
3.3.2. Homojen çöktürme yöntemi.....	34
3.4.Alüminanın Kullanım Alanları.....	37
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>METAL MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELER(MMK).....</b>	<b>39</b>
4.1. Giriş.....	39
4.1.1. Polimer matriksli kompozitler.....	42
4.1.2. Seramik matriksli kompozitler.....	42
4.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	43

4.3. Metal Matriksli Kompozitler.....	44	
4.3.1. Alüminyum ve alaşımları.....	46	
4.3.2. Magnezyum alaşımları.....	47	
4.3.3 Takviye elemanı ve özellikleri.....	47	
4.4. Metal Matriksli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	48	
4.4.1. Toz metalurjik yöntem.....	49	
BÖLÜM 5.		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....		52
5.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	52	
5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	52	
5.3. Çalışmada Kullanılan Cihazlar.....	53	
5.4. Deneysel Prosedür.....	53	
5.4.1. Numunelerin hazırlanması.....	53	
5.4.2. Karakterizasyon.....	55	
5.4.2.1. Metalografik inceleme.....	55	
5.4.2.2. SEM-EDS incelemeleri.....	55	
5.4.2.3. XRD incelemeleri.....	55	
5.4.2.4. Sertlik ve relatif yoğunluk.....	55	
5.4.2.5. Elektriksel iletkenlik ölçümü.....	56	
BÖLÜM 6.		
DENEYSEL SONUÇLAR.....		57
6.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	57	
6.2. XRD İncelemeleri.....	59	
6.3. SEM-EDS Analizleri.....	61	
6.4. Relatif Yoğunluk.....	69	
6.5. Mikrosertlik.....	71	
6.6. Elektriksel İletkenlik.....	74	
BÖLÜM 7.		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		75
7.1. Sonuçların İrdelenmesi.....	75	

7.2. Öneriler.....	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	87

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

W/mK	: Termal iletkenlik
MPa	: Gerilme birimi
$(\Omega\text{m})^{-1}$	: Elektriksel iletkenlik
Co	: Kobalt
% IACS	: International Annealed Copper Standard ( Uluslararası Tavllanmış Bakır Standardı )
HB	: Brinell sertliği
RC	: Rockwell C sertliği
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın alfa fazı
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın gama fazı
$\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın teta fazı
$\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın delta fazı
$\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın kapa fazı
$\varepsilon\text{-Al}_2\text{O}_3$	: Alüminanın eta fazı
$\text{m}^2/\text{g}$	: Spesifik yüzey alanı
GPa	: Sertlik-mukavemet-elastisite modülü birimi
$\sigma/\rho$	: Spesifik mukavemet
$\sigma/E$	: Spesifik modül
PMK	: Polimer matrisli kompozit
SMK	: Seramik matrisli kompozit
MMK	: Metal matrisli kompozit
TM	: Toz Metalurjisi



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Önemli bakır mineralleri.....	9
Şekil 2.2.	Bakırın şematik olarak üretimi.....	11
Şekil 2.3.	Demir dışı alaşımların sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.4.	Bakır alaşımlarının örnek standart gösterimi.....	13
Şekil 2.5.	Alaşım elementlerinin saf bakıra etkileri.....	13
Şekil 2.6.	Çeşitli pirinçlere ait optik mikro yapılar.....	16
Şekil 3.1.	Alüminanın (korund) kafes yapısının şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.2.	Hidrate alüminyum oksitlerin sıcaklığa bağlı kristalografik değişimi.....	26
Şekil 3.3.	Bayer prosesi.....	33
Şekil 4.1.	Kompozitlerin tarihsel gelişimi.....	40
Şekil 4.2.	Kompozitlerin takviye fazının morfolojisine göre sınıflandırılması, a) partikül takviyeli, b) fiber takviyeli, c) katmanlı kompozit .....	41
Şekil 4.3.	Kompozit malzemelerin matris malzemelerine göre sınıflandırılması.....	41
Şekil 4.4.	Toz metalurjik yöntemde üretim aşamaları.....	50
Şekil 5.1.	DeneySEL çalışmada izlenen yolun şematik olarak gösterimi.....	54
Şekil 6.1.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 µm)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin optik mikrografları .....	57
Şekil 6.2.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 µm)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin optik mikrografları .....	58
Şekil 6.3.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (10 µm)-ağ.%5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri .....	59
Şekil 6.4.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (10 µm)-ağ.%7 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri .....	59

Şekil 6.5.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (40 µm)-ağ.%5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri.....	60
Şekil 6.6.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (40 µm)-ağ.%7 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri .....	60
Şekil 6.7.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 µm)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM mikrografları.....	62
Şekil 6.8.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 µm)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM mikrografları.....	63
Şekil 6.9.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 µm) - %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri.....	65
Şekil 6.10.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 µm) - %7 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri.....	66
Şekil 6.11.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 µm) - %5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri.....	67
Şekil 6.12.	2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 µm) - %7 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri.....	68
Şekil 6.13.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak relatif yoğunluk değişimi.....	70
Şekil 6.14.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak relatif yoğunluk değişimi.....	71
Şekil 6.15.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak mikrosertlik değişimi.....	72
Şekil 6.16.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak mikrosertlik değişimi.....	73
Şekil 6.17.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değişimi.....	75
Şekil 6.18.	Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40 µm)-ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına göre iletkenlik değişimi.....	76

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	İletkenlik uygulamalarında kullanılan bazı bakır alaşımlarının özellikleri.....	3
Tablo 2.1.	Bakırın kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	7
Tablo 3.1.	Alüminanın bazı özellikleri.....	27
Tablo 3.2.	Alümina içeren mineraller.....	28
Tablo 3.3.	Alüminanın saflık derecesine göre kullanım alanları.....	38
Tablo 4.1.	Bazı metal matrisli kompozitlerin kullanım alanları.....	45
Tablo 4.2.	Kompozitlerde kullanılan önemli takviye elemanlarının özellikleri.....	48
Tablo 6.1.	Cu (10 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (10 µm.) relatif yoğunluk değerleri.....	69
Tablo 6.2.	Cu (40 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (40 µm.) relatif yoğunluk değerleri.....	70
Tablo 6.3.	Cu (10 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (10 µm.) mikrosertlik değerleri.....	71
Tablo 6.4.	Cu (40 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (40 µm.) mikrosertlik değerleri.....	73
Tablo 6.5.	Cu (10 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (10 µm.) elektriksel iletkenlik değerleri.....	74
Tablo 6.6.	Cu (40 µm. toz boyutlu)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (40 µm.) elektriksel iletkenlik değerleri.....	75
Tablo 7.1.	Cu (10 µm.)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin saf bakıra (10 µm.) göre % relatif yoğunluk-mikrosertlik-elektriksel iletkenlik değişimi (%). ..	81
Tablo 7.2.	Cu (40 µm.)-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitlerinin saf bakıra (40 µm.) göre % relatif yoğunluk-mikrosertlik-elektriksel iletkenlik değişimi (%)..	82

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit, sertlik, elektriksel iletkenlik, sinterleme sıcaklığı

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin mikroyapı, mekanik ve elektriksel özelliklerine matris tane boyutu, takviye miktarı ve sinterleme sıcaklığının etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda iki farklı partikül boyutunda (10µm ve 40µm) Cu tozuna değişik oranlarda (ağ. %1, 3, 5 ve 7) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri (0.3µm toz boyutunda) takviye edilmiş bakır kompozit tozları hazırlanarak, maksimum 200 MPa basınç uygulanması suretiyle preslenmiş, sonrasında kompozit kompaktlar sırasıyla 875, 925 ve 975°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta 2 saat grafit tozuna gömülü halde sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası numuneler yoğunluğun artırılması için 700 MPa yük uygulanarak sıcak olarak dövülmüştür. Elde edilen kompozitler metalografik, mekanik ve elektriksel olarak sırasıyla optik mikroskop, SEM-EDS, mikrosertlik ve elektriksel iletkenlik ölçüm cihazları yardımıyla karakterize edilmiştir. Kompozitlerin relatif yoğunlukları Arscimed Prensibi' ne göre ölçülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde üretilen bütün kompozitlerde takviye fazının matris içerisinde tane sınırlarında homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Her üç sinterleme sıcaklığı ve tüm takviye miktarlarında, kompozitlerin relatif yoğunluğunun % 90' nın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Takviye miktarının artışıyla tüm sinterleme sıcaklıklarında kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri azalırken sertlikleri artmıştır. Genel olarak, en yüksek sertlik ve en iyi iletkenlik değerleri 925°C' de 2 saat sinterlenen 40 µm bakır tane boyutlu kompozitlerden elde edilmiştir.

# **CHARACTERIZATION OF Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMPOSITES PRODUCED BY POWDER METALLURGY METHOD**

## **SUMMARY**

Key Words: Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites, hardness, electrical conductivity, sintering temperature

In this study, It is aimed to investigate the effects of the grain size of matrix, amount of reinforcement and sintering temperatures on the microstructure, mechanical and electrical properties of the Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites produced by powder metallurgy method. Therefore, copper composite powders were prepared by using copper powders with two different particle size of 10 and 40 μm reinforced by various amounts (1%, 3%, 5% and 7% wt) of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with the size of 0.3 μm. Then, this powder mixtures were pressed with a maximum pressure of 200 MPa and then composite compacts sintered at the temperatures of 875, 925 and 975°C, respectively, for 2 hours into the graphite powders. After sintering, composites were pressed by using load of 700 MPa at elevated temperature in order to increase the density. The mechanical, metallographical and electrical characterization of composites were performed by using optical microscope, SEM-EDS, microhardness and electrical conductivity measurement equipments, respectively. The relative densities of test materials were measured by Archimedes method.

Results showed that Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles were homogeneously dispersed into the copper matrix by taking place of copper grain boundaries. The relative densities of the composites were measured above the per cent of 90 for all sintering temperatures and amounts of reinforcement. The increase of the amount of reinforcement resulted in increasing of the hardness and decreasing of the electrical conductivity of the composites at all sintering temperatures. Generally, it was determined that composites sintered at 925 °C for 2 hours with the copper size of 40 micron have the highest hardness and the best electrical conductivity values.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Saf bakır 400 W/mK mertebesinde termal iletkenliği, 390 MPa mertebesinde akma mukavemeti ve 490 MPa mertebesinde çekme mukavemeti olan bir malzemedir. İnsanlığın tanıdığı en eski metalik malzemedir ve insanlık tarihinin tanığıdır. Tarihi bulgular, insanların 10.000 yıldır bakır malzemeleri ve 7000 yıldır ise bakır alaşımlarından yapılmış malzemeleri kullandığını göstermiştir. Zaman içerisinde en tepedeki yerini önce demir-çeliğe ardından bir 40 yıl kadar önce alüminyuma bırakmış olmakla beraber günümüzde de önemli bir metaldir. Bakırın tarih boyu önemli kılan özellikleri şunlardır:

- a) Yüksek elektriksel iletkenlik,
- b) Yüksek termal iletkenlik,
- c) Korozyon direnci,
- d) Dekoratif rengi,
- e) Orta derecedeki mukavemet ve
- f) Kolay şekillendirilebilirlik

Bakır, tüm metaller arasında gümüşten ( $6,21 \times 10^7/\Omega \text{ m}$ ) sonra elektrik iletkenliği en yüksek metal ( $5,88 \times 10^7/\Omega \text{ m}$ ) olup, elektrik iletkenliğinin ana talep olduğu uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gümüş, yüksek fiyatı ve tedarikindeki güçlükler nedeni ile bu tür uygulama alanlarında az kullanılmaktadır. Bakıra bir rakip yine elektrik iletkenliği yüksek olan alüminyumdur, ancak onun hem iletkenliği ( $3,65 \times 10^7/\Omega \text{ m}$ ) hem de mukavemeti bakırınki kadar yüksek değildir [1].

Elektrik iletkenliğinin birinci istek olduğu uygulama alanları iletkenler, elektrotlar, açma kapama kontaktları gibi alanlardır. Bu alanlarda kullanılacak olan bakırlarda şu temel özellikler aranır:

- a) Yüksek elektrik iletkenliği
- b) Yüksek oda sıcaklığı mukavemeti
- c) Mukavemetini yüksek sıcaklıklarda koruyabilme özelliği (yüksek sıcaklık mukavemeti)

Saf bakır, ilk özellik açısından neredeyse rakipsiz bir malzemedir. Bu noktada oksijensiz yüksek iletken bakır çok uygundur. Ancak, saf bakırın sınırlı bir mukavemeti vardır. Elektrik iletkenliğinde önemli bir kayıp olmaksızın, sadece soğuk deformasyon ile sertleştirilebilir. Bu şekilde mukavemetlendirilse bile, saf bakır 100°C'ye yaklaşan sıcaklıklarda, hızlı bir şekilde yeniden kristalleşir, sertlik ve mukavemetini kaybeder.

Bakırın mukavemetini artırmanın bir diğer yolu alaşımlamadır. Alaşımlama sonucunda, bakır alaşımının mukavemeti ya katı eriyik sertleştirilmesi veya çökelti sertleştirilmesi ile artırılabilir. Ancak, elektrik iletkenliğindeki kaybın yüksek olmaması için alaşım elementi ilavesinin sınırlı tutulması gerekir. Çünkü alaşım elementi ilavesi ile, mukavemetin artmasına karşılık elektrik iletkenliği azalır. Bu bakımdan, iletken olarak kullanılacak bakır alaşımlarında az miktarda alaşım elementi bulunur (genellikle ağırlık %2 mertebesinde). Bu tür bakır alaşımları az alaşımlı bakır, yüksek bakır alaşımları veya ısıl işlem ile sertleşebildiği için yüksek iletken sert bakır alaşımları gibi isimlerle anılır. Bakırın, bu amaçla alaşımlandırmak için kullanılan başlıca alaşım elementleri Be, Cr, Ni, Co, Ag, Si ve Zr'dur [2].

Gerek bakır ve gerekse bu alaşım elementlerinin çoğu oksidasyona eğilimlidir. Buna bağlı olarak, alaşımın ergitilmesi ve dökümü sırasında özellikle itina göstermek gerekir. Ergitme ve döküm vakumda, koruyucu atmosfer altında veya buna benzer tedbirler alınarak yapılmalıdır. Çünkü oksidasyon alaşımın elektrik özelliklerini olumsuz yönde etkiler.

Az alaşımlı yüksek mukavemetli bakır alaşımlarında, elektrik iletkenliği %70 IACS seviyesine kadar düşebilmektedir. Ancak, buna karşılık saf bakırın 390 MPa mertebesinde olan akma mukavemeti bazı alaşımlarda 1000 MPa'nın üzerine

çıkılmaktadır. Elbette, alaşımlama ile % uzama değerlerinde bir miktar azalma olmakta, fakat alaşım yine de plastik olarak rahatlıkla şekillendirilebilmektedir.

Mukavemeti artırmak için bakıra katılan alaşım elementlerinden biri berilyumdur. Berilyumlu bakır gerçekten üstün özelliklere sahiptir. Ancak berilyum bir seri problemi de beraberinde taşır: Pahalıdır, bulunması zordur, üretimi zordur ve en önemlisi, sağlık problemlerine neden olmaktadır. Berilyumun oksidi (BeO) çok zehirlidir. Berilyumlu alaşımların ergitme ve dökümü bu açıdan da çok önemlidir [2].

Tüm bu nedenlerle, berilyumlu bakır yüksek performansına karşılık oldukça pahalıdır. Bakırın gümüş ile yaptığı alaşım çok iyi mukavemet özelliği ile yeterli elektriksel iletkenliğe de sahiptir. Tablo 1.1’de bazı alaşımların mukavemet ve iletkenlikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. İletkenlik uygulamalarında kullanılan bazı bakır alaşımlarının özellikleri [3]

Malzeme	Akma Mukavemeti [MPa]	Çekme Mukavemeti [MPa]	İletkenlik [% IACS]
Cu	393	493	100
Cu-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	545 -625	639 – 665	88 – 90
Cu-Ag	1000 - 1076	1109 – 1276	70
Cu-Nb	1068	1268	75 – 81
Cu-Be	716 ± 17	777 ± 17	67 ± 2

Az alaşımlı bakırlarda mukavemet artışından farklı mekanizmalar sorumludur: Katı eriyik sertleştirilmesi, çökelti sertleştirilmesi (yaşlandırma) ve soğuk deformasyon. Gerçekte, az alaşımlı bakırın sertliğine katı eriyik sertleştirilmesinin etkisi çok önemli değildir. Bu alaşımlarda esas mukavemet artışı çökelti sertleştirilmesi ile elde edilir. Önce alaşım, uygun bir sıcaklıkta tutularak ikinci fazların çözeltiye alınması sağlanır, takiben su verilir ve solvüs sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yaşlandırılır. Bazı alaşımlarda, su vermeyi takiben soğuk deformasyon uygulanır, yaşlandırma son olarak uygulanır.

Bu şekilde işlem görmüş alaşımlarda sertlik değerleri 300 kg/mm<sup>2</sup>’nin üzerine çıkmaktadır. Az alaşımlı bakırlar, alaşımın türüne göre 750-950°C aralığında çözeltiye alınırken 350-500°C aralığındaki sıcaklıklarda yaşlandırılır [4]. Bilindiği



gibi, yaşılandırılmış alaşımlar yaşlandırma sıcaklığının üzerinde kullanılmamalıdır, aksi halde hızla yumuşarlar. Yaşılandırma sıcaklığında veya buna yakın düşük sıcaklıklarda kullanılmaları halinde de kısa bir süre içerisinde aşırı yaşlanmak suretiyle yumuşamaları kaçınılmazdır. Dolayısıyla, az alaşımlı bakırların mukavemet performansları yükselen sıcaklıklarda değişmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda da mukavemetini koruyabilir bir bakır iletken üretilmesi isteğinin sonucu olarak Cu –Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompoziti geliştirilmiştir. Alumina en çok kullanılan mühendislik seramik malzemesidir. Yüksek elastik modüle (390 GPa), yüksek sertliğe (16 GPa) ve 25 W/m.K mertebesinde bir termal iletkenliğe sahiptir. Özelliklerini yüksek sıcaklıklarda dahi koruyabilmektedir (alumina malzemeler 1700-1800°C'ye kadar dayanabilirler). Eğer bakır içerisinde çok ince alumina partiküllerinin dağılımı sağlanabilirse, dispersiyon sertleşmesi etkisi ile sertlikte artış olur [5]. Bilindiği gibi dispersiyon sertleştirme etkisi, dispersoidlerin sıklığı (inceliği) ile ters orantılıdır. Yani alumina partikülleri ne kadar ince ve ne kadar çok olursa bakır matrisin mukavemeti o derece artar [6]. Ancak, partiküllerin miktarı arttıkça elektrik iletkenliği o derece azalır. Bu nedenle, kompozitin mukavemeti ve iletkenliği arasında bir denge gözetilmelidir. Bu noktadan hareketle, bakır matris içerisinde disperse edilecek alumina miktarı yaklaşık % 1 mertebesinde tutulmalıdır. Bu gün ağırlık % 1,1'e kadar alumina partikülleri içeren bakır iletkenler ticari olarak bulunmaktadır [7].

Bu malzemelerin iletkenlikleri, az alaşımlı bakırların elektrik iletkenliklerinden bile yüksektir (yaklaşık %85-90 IACS), buna karşılık orta derecede bir mukavemetleri vardır (yaklaşık 600 MPa) (FSU). Ancak, alumina partiküllerinin sıcaklık artışı ile büyümesi söz konusu olmayacağı için, mukavemet yükselen sıcaklıklarda sadece matrisin yumuşamasından dolayı azıcık düşer.

Gerçekte Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitleri farklı tekniklerle hazırlanabilmektedir. Bunlar arasında; döküm, geleneksel toz metalurjisi, Cu-Al alaşımının iç oksidasyonla Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e dönüştürülmesi ve kimyasal çöktürme ile CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımının hazırlanması ve takiben hidrojen atmosferinde redüksiyon ile Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eldesi sayılabilir [8].

Çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitleri (üç farklı sıcaklık ve iki farklı bakır matriks başlangıç toz boyutunda) üretilerek sertlik-elektriksel iletkenlik performanslarına takviye alumina miktarının etkileri incelenecek.

## BÖLÜM 2. BAKIR

### 2.1. Giriş

Bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metal, çağlar boyunca kullanım açısından da demirden sonra ikinci metaldir. Tarih öncesi dönemde bulunmuştur ve yaklaşık M.Ö. 4000' den, hatta daha önceden başlayarak kullanıldığı düşünülmektedir [9]. 1B geçiş grubu elementi olan bakıra tarihte ilk defa Kıbrıs'ta rastlandığından tüm dillerdeki isimlerinin “Cyprium” kelimesinden türediği tahmin edilmektedir (Yunanca “Kyprius”, Fransızca “Cuiure”, Latince “Cuprum”, İngilizce “Copper” ve Almanca “Kupfer”) [10, 11].

Kimyasal simgesi “Cu” ile gösterilen bakır, kübik yapıda, kırmızımsı renkli, ince tel ve levha haline getirilebilen, ısı ve elektrik iletkenliği yüksek ve kullanım sahası çok geniş olan bir metaldir. Sülfütlü ve oksitli bakır cevherlerinden zenginleştirme ve izabe (metalleri eriterek sıvı hale getirme) yoluyla metalik bakır elde edilmektedir [12]. Bunların yanı sıra, bakır iyi bir işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik ortaya koymakta olup, nötron yer değiştirme hasarına direnci de ilgi çekicidir [13].

Bakırın bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Bakırın kimyasal ve fiziksel özellikleri [10,14]

<b>Kimyasal Özellikler</b>	
Simgesi	Cu
Atom numarası	29
Atom ağırlığı	63,57 gr/mol
Değerliği	I ve II
Yörüngelerdeki elektron sayısı	2-8-18-1
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Yoğunluğu	8,92 - 8,93 (gr/cm <sup>3</sup> )
Ergime noktası	1083 °C
Kaynama noktası	2300 °C
Ergime veya donma ısısı	43 KCal/kg, 13,26 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	300,4 kJ/mol
Isı kapasitesi (25 °C' de)	24,440 J/(mol·K)
Isıl iletkenlik	401 W/(m·K)
Isıl genişleme (25°C'de)	16,5 µm/(m·K)
Elektrik direnci (20°C'de)	16,78 nΩ·m
Brinell sertliği	874 MPa
Mohs sertliği	3,0

Dünya bakır rezervleri üç şekilde sınıflara ayrılabilir:ü

- Hidrotermal orijine sahip, emprenye olmuş bakır yatakları: Bunlara porfir yataklar da denmektedir. 1970 yılı itibarıyla Dünya üretiminin yaklaşık %50 si bu çeşit yatlardan elde edilmiştir. Bu tip yatlara ABD, Şili, Peru ve Kanada'da rastlanmaktadır.
- Sedimenter yapıdaki maden yatakları: Kalker veya dolomit mineralleri içinde bulunurlar. Daha ziyade orta Afrika'da rastlanır. Dünya bakır üretiminin %17 si bu yatlardan sağlanır.
- Sıvı magma asıllı maden yatakları: Bakır ile birlikte çoğu zaman nikel de taşınırlar. Bunlara volkanik-sedimenter yataklar da denir. Dünya'nın birçok ülkesinde, özellikle Kanada, Avustralya ve pek çok Avrupa ülkesinde rastlanılır [10].

## 2.2. Dünya ve Türkiye' de Bakır

Dünya'da önemli bakır yataklarının bulunduğu bölgeler ise şu şekilde özetlenebilir:

- a) Güney Amerika'nın özellikle batı sahilleri, Kuzey Şili,
- b) Kuzey Amerika'da ABD'nin güney-batısı ve Kanada'nın doğusu (Cu ve Ni)
- c) Afrika'da Kongo, Zaire, Kuzey-Rodezya,
- d) Asya'da Kazakistan, Özbekistan, Afganistan (Dünya'nın en zengin bakır ve demir yataklarına sahip olduğu iddia edilmektedir fakat henüz işletilmemektedir), Hindistan,
- e) Avrupa'da Polonya, Finlandiya, Portekiz, Yugoslavya,
- f) Avustralya'da Olympic Dam ve Papua Yeni Gine'de Bougainville (Burada yöre halkının isyanı sonucunda işletici firma bu maden yatağını terk etmiştir).

Türkiye'nin önemli bakır rezervleri ise Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde bulunmaktadır. Murgul, Çayeli-Madenköy, Lahanos, Ergani, Siirt-Madenköy, Cerattepe ve Küre bilinen önemli bakır yataklarıdır [12].

Bakır, yukarıda da görüldüğü gibi, dünyanın pek çok yerinde çıkarılsa da, dünyanın en çok bakır üreten ülkesi Şili' dir. Bu ülkeyi ABD, Kanada, Zaire, Zambiya ve Peru izler. Türkiye'nin dünya üretimindeki payı ise, % 0.40' ın altındadır. Türkiye'de bakır filizi işleten başlıca ocaklar, Etibank' ın Ergani ve Küre-Aşıköy ocakları ile Karadeniz Bakır İşletmeleri' nin Murgul, Küre-Bakibaba ve Kutlular ocaklarıdır [9].

## 2.3. Bakır Mineralleri

Bakır endüstriyel öneme sahip pek çok mineralin önemli bir bileşenidir. Dünya bakır üretiminde kullanılan minerallerin yaklaşık %50'sini kalkozit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), %25'ini kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), %3'ünü enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), %1'ini diğer sülfür mineralleri, %6-7 sini nabit (doğal) bakır ve %15'ini de oksit mineralleri oluşturur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Önemli bakır mineralleri [10].

### 2.3.1. Kalkopirit

Kimyasal formülü  $\text{CuFeS}_2$  dir. (Açık yazılımı:  $\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Fe}_2\text{S}_3$ ). Coğrafi bakımdan en yaygın mineral olup, hemen hemen her bakır cevher yatağında bulunur. Pirinç sarısı renkte, metalik görünüşte ve yeşilimsi siyah çizgiler halinde kitle şeklinde bulunur. Kalkopiritin, bornit, demirli kuprit ve pirit ile birlikte diğer sekonder bakır minerallerinin orijinal yapısını oluşturduğu kabul edilmektedir. Mineralin teorik yapısında %34,6 Cu olmakla birlikte cevherdeki Cu miktarı %0,5 ve daha aşağıya düşebilmektedir. Halen Kanada'da %0,06 tenörlü  $3 \times 10^9$  ton rezervli bir bakır madeninin ekonomik olarak çalıştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Doğal olarak, cevherde bulunan diğer metaller de kıymetlendirilmek suretiyle bu çalışma ekonomik olabilmektedir.

### 2.3.2. Malahit ve azurit

Malahitin kimyasal formülü  $\text{CuCO}_3\cdot(\text{OH})_2$ ' dir. En çok rastlanılan bakır oksit mineralidir. Büyük kitleler halinde bulunduğu sadece cevher olarak değil, aynı zamanda yarı mücevher olarak kuyumculukta, süs eşyası imalinde de kullanılmaktadır. Güzel yeşil bir rengi vardır.

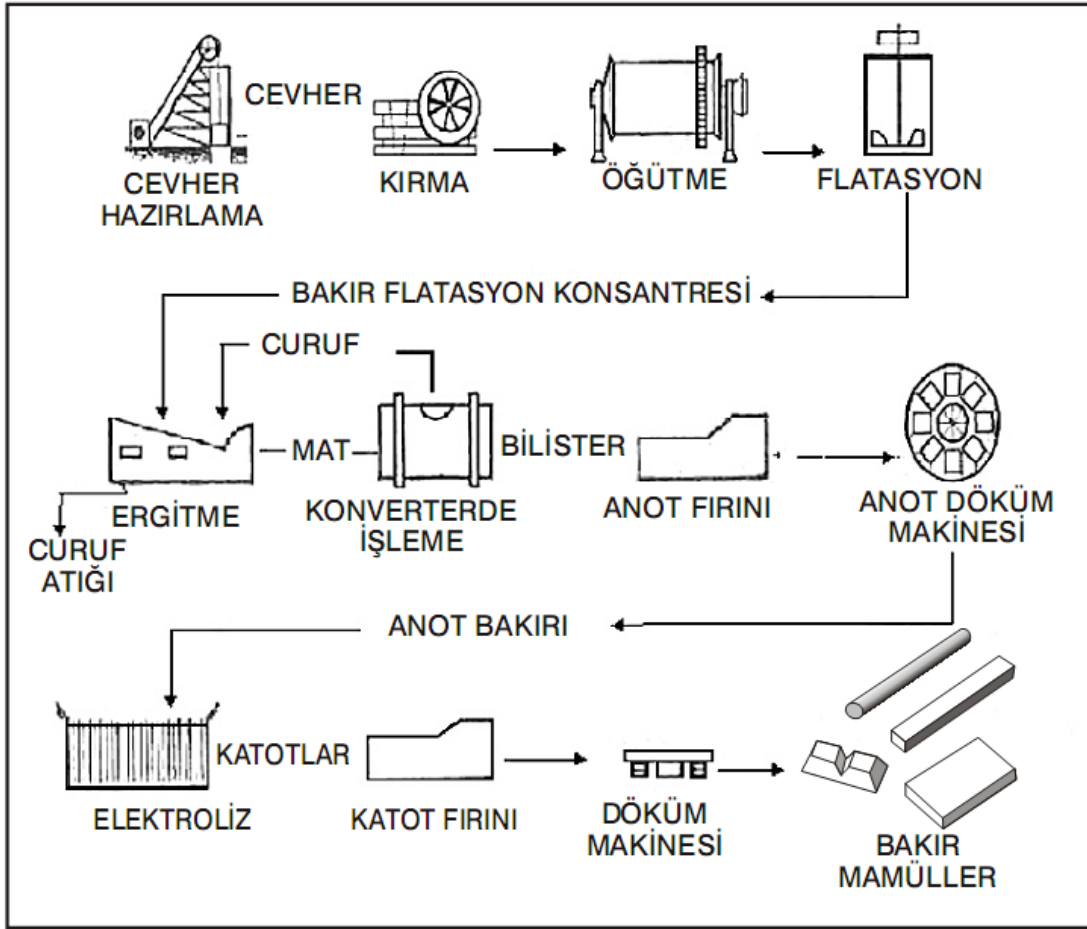
Kimyasal formülü  $2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$  olan azurit, bazik bir bakır karbonat olup malahit kadar fazla bulunmaz. Kendine has lacivert renginden dolayı bu anlama gelen azurit adı verilmiştir.

## 2.4. Bakır Üretimi

Bakır, çeşitli piro, hidro ve elektrometalurjik metotların kullanılmasıyla cevherlerinden saf olarak üretilmektedir. Pirometalurjik metotlar, sülfürlü, oksitli ve nabit bakır cevherlerine, hidrometalurjik metotlar ise düşük tenörlü oksitli bakır cevherlerine uygulanır. Elektrometalurji metotları da yukarıdaki yöntemlerin son kademesi olarak her ikisine de uygulanır. Pirometalurji metotlarıyla elde edilen saf olmayan bakır, elektrolitik arıtmaya tabi tutularak saf katot bakıra çevrilir. Benzer şekilde, hidrometalurjik yollarla sulu çözeltiye alınan bakır, elektrokazanım yoluyla katotta saf olarak toplanabilmektedir. Dünya bakır üretiminin %80'i sülfürlü cevherlerden yapılır [10].

Primer bakır üretimi bakır içeren cevherlerin ekstraksiyonuyla başlamaktadır. Cevher çıkarıldıktan sonra kırılıp, öğütülme işlemini takiben flotasyonla zenginleştirilmektedir. Elde edilen bakır konsantresi tipik olarak % 20 bakır içerir, fakat tenörleri % 20 ila % 40 arasında değişmektedir. Takiben ergitme işleminde, bazen öncesinde kavurma işlemi gerçekleştirilir (örneğin, karbanatlı cevherlerde), bakır % 50-70 oranında bakır içeren “mat” haline getirilir. Ergimiş bakır matı konventerde işlenerek %98.5-99.5 safiyette blister bakır haline getirilir. Bir sonraki aşamada, blister bakır geleneksel bir metodla ateşte rafine edilir veya, artan bir şekilde, yeniden ergitilerek elektro rafinasyon için anotlar halinde dökülür.

Elektro rafinasyon sonucunda bakır katodlar %99.99' un üzerinde bir safiyete ayarlanarak rafine edilmektedir [15]. Bakırın pirometalurjik yolla üretimi şematik olarak Şekil 2.2' de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Bakırın şematik olarak üretimi [9].

Alternatif olarak, hidrometalurjik yöntemde ise, bakır genellikle düşük tenörlü oksitli ve bazı sülfürlü cevherlerinden liç ve elektrokazanım (SX-EW prosesi) yoluyla ekstrakte edilmektedir. Proses sonunda elde edilen ürünler elektro rafinasyonla rafine edilen bakır katotlarla aynı kalitededir.

Bununla birlikte, bakır cevherleri yerine bakır hurdalardan hareketle elde edilen bakır ise “sekonder bakır” olarak isimlendirilmektedir.

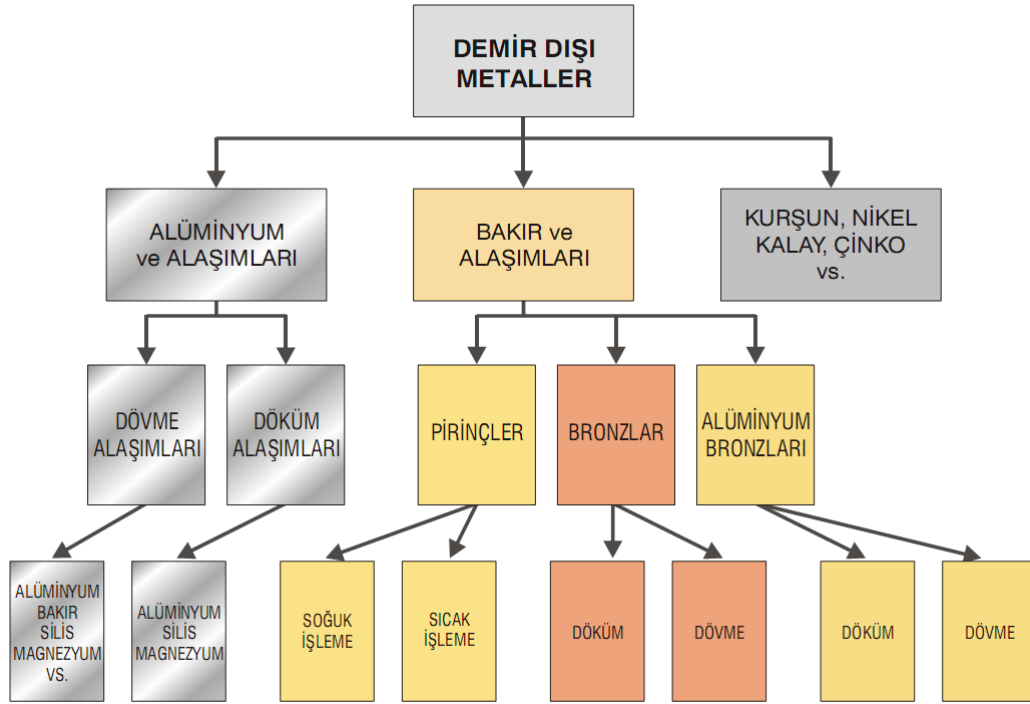
Bakır hurdalar, üretim prosesleri ile elde edilmiş nihai ürün veya fabrikasyonun yarısında ıskarta olmuş metallere veya kullanımı sona ermiş eskimiş ürünlerden elde edilir. Sekonder üretimde primer üretimdekine benzer prosesler kullanılır.

Nihai olarak bakır ingot, katod, lama, çubuk, tel ve biletler halinde son üreticilere teslim edilir [15].



## 2.5. Bakır Alaşımları

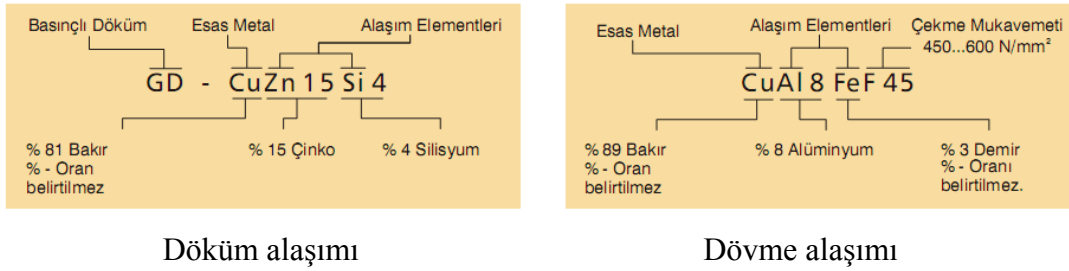
Bakır içeren alaşımlar demir dışı metaller grubuna dahildir . Demir dışı metallerin genel sınıflandırması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.3).



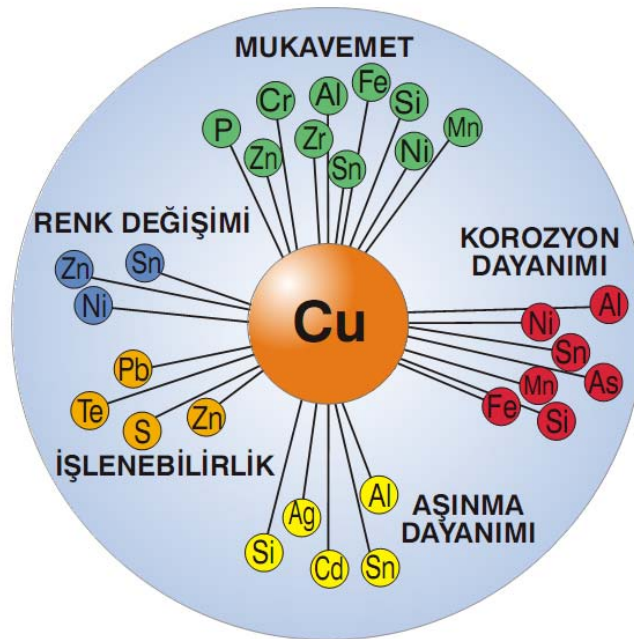
Şekil 2.3. Demir dışı alaşımların sınıflandırılması [9].

Saf metallerin gösterilişinde yaygın olarak kimyasal sembolden sonra saflık derecesi ağırlık yüzdesi cinsinden ifade edilir; örneğin Zn 99.99 gibi. Bundan farklı olarak bakırda saflık derecesi, A'dan F'ye kadar olan harfler vasıtasıyla işaretlenir. Bu işaretlemeye göre F-Cu, A-Cu'dan daha saftır. E-Cu (elektrolitik bakır) için, sadece elektrik iletim kabiliyeti ölçü olarak alınır.

Oksijensiz bakır cinsleri ise, sembolün önüne yazılacak bir S harfi ile gösterilir. Örneğin SF-Cu, %99.9 saflık derecesine sahip olan bir oksijensiz bakırdır. Şekil 2.4' te bakır alaşımlarının sistematik olarak gösterilişine örnek verilmektedir.



Şekil 2.4. Bakır alaşımlarının örnek standart gösterimi [9].



Şekil 2.5. Alaşım elementlerinin saf bakıra etkileri [9].

Saf bakıra alaşım elementi olarak, alüminyum, arsenik, berilyum, kadmiyum, krom, kobalt, demir, kurşun, manganez, nikel, oksijen, fosfor, silisyum, gümüş, kükürt, tellür, kalay, çinko ve zirkonyum gibi elementler ilave edilebilmektedir. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri ise Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilmektedir.

Saf bakıra ilave edilen alaşım elementlerinin sağlayacağı avantajlara göre aşağıdaki gruplara ayrılabilir.

- Mukavemet arttırıcı alaşım elementleri: Cr, Al, P, Fe, Si, Mn, Zn, Zr, Sn, Ni, Be ve Co

- b) Korozyon dayanımını arttırıcı alaşım elementleri: Bakır soy metaldir, ama altın veya diğer değerli metallerin tersine bazı ortamlarda korozyona dayanmayabilir. Bazı bakır alaşımlarının hidrojen gevrekliği veya gerilme korozyonuna dayanımı zayıftır. Korozyon direncini arttıran metaller ise Ni, Al, Sn, Mn, As, Fe ve Si şeklinde sıralanabilir.
- c) Aşınma dayanımını arttırıcı alaşım elementleri: Al, Ag, Si, Cd, Sn, Be ve Co
- d) İşlenebilirliği arttıcı alaşım elementleri: Te, Pb, S ve Zn

### **2.5.1. Bakır alaşımlarının sınıflandırılması**

Bakır Geliştirme Derneği'ne göre (CDA), bakır ve bakır alaşımları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

1. Dövme Bakır Alaşımları
2. Döküm Bakır Alaşımları
3. Özel Sert Bakır Alaşımları

#### **2.5.1.1. Dövme bakır alaşımları**

Soğuk ve sıcak durumda, haddeleme veya dövme yoluyla talaşsız olarak biçimlendirilirler. Çubuklar, saclar, borular, teller ve profiller bu gruptaki bakır ve alaşımlarından üretilir.

Bu alaşımlara örnek olarak; bakır çinko alaşımları (pirinçler), bakır çinko kurşun alaşımları (kurşunlu pirinçler), bakır çinko kalay alaşımları (kalay bronzları), fosfor bronzları, bakır alüminyum alaşımları (alüminyum bronzları), bakır silisyum alaşımları (silisyum bronzları), bakır nikel ve bakır nikel çinko alaşımları (nikel gümüşü) verilebilir.

### 2.5.1.2. Döküm bakır alaşımları

Uygun döküm niteliklerine sahiptir. Bu alaşımlar döküm parçalar için kullanılır. Bu alaşımlar; değişik türde döküm pirinçleri, döküm manganez bronz alaşımları, döküm çinko silisyum alaşımları, döküm bakır kalay alaşımları, döküm bakır nikel alaşımları ve döküm bakır nikel ve bakır çinko alaşımları vb. alaşımlardır.

Döküm bakır alaşımları çok kullanımlı alaşımlardır. Diğer metallerin aksine kullanıcılara sayısız avantajlar sağlar. Döküm alaşımları kolayca dökülür, işlenir, lehimlenir, kaplanır ve değişik değerlerde fiziksel ve mekanik özellikler elde edilir.

### 2.5.1.3. Özel sert bakır alaşımları

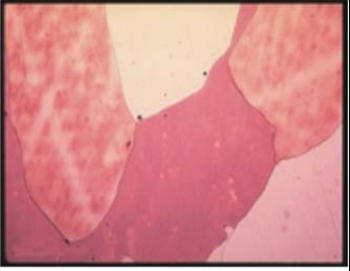
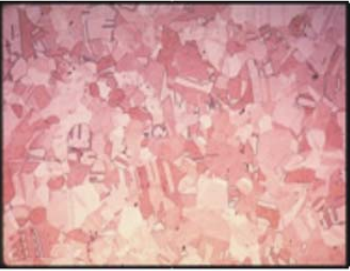
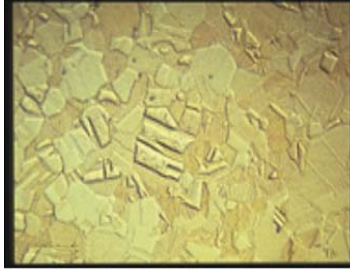
Bakır krom alaşımları (Cu-Cr), bakır krom zirkonyum alaşımları (Cu-Cr-Zr), bakır berilyum alaşımları (Cu-Be), bakır kobalt berilyum alaşımları (Cu-Co-Be), bakır nikel silisyum alaşımları (Cu-Ni-Si), bakır alüminyum demir alaşımları, (Cu-Al-Fe), bakır alüminyum demir manganez alaşımları (Cu-Al-Fe-Mn), bakır tungsten alaşımları (Cu-W) gibi alaşımlar bu gruba örnek olarak verilebilir.

## 2.5.2. Pirinçler (Cu-Zn)

Bakırın (Cu) çinko (Zn) ile değişik oranlarda birleşerek yapmış olduğu alaşımlara pirinç adı verilir. Pirinç malzemelere, rengi sarı olduğu için ülkemizde "sarı" da denir. Mukavemet ve korozyon dayanım özellikleri çok yüksek olan pirinçlerin, iç yapı ve mekanik özellikleri çinko miktarıyla orantılıdır.

Bakır ve çinko yalnızca hadde değil aynı zamanda döküm alaşımlarında da bakırın en önemli alaşım türüdür. Demir dışı tüm bakır alaşımlarının en önemlisidir ve mühendislikte çok fazla kullanılmaktadır. Endüstriyel pirinçler bakır ve çinko ilavelerinin dışında diğer alaşım elementlerini de içerirler. Pirinçlerin en önemli özellikleri, atmosferik korozyona dirençli olması, sıcak ve soğuk şekillendirilmesi, derin çekilmeye, sıcak dövülmeye ve preslenmeye uygunluğu ve kolay lehimlenme

özelliğine sahip olmalarıdır. Bazı pirinçlere ait mikroyapılar Şekil 2.6' da gösterilmektedir.

		
Pirinç (döküm yapısı): % 97.0-98.0 Cu, % 1.9-3.0 Zn	Pirinç (dövülmüş): % 89-90.0 Cu, % 8.9-11.0 Zn	Pirinç (Dövülmüş): % 84-86 Cu, %13.9- 16 Zn

Şekil 2.6. Çeşitli pirinçlere ait optik mikroyapılar [9].

Pirinçlerin bir çok avantajları vardır. Bu, avantajların en önemli olanları aşağıda sıralanmıştır:

- Üstün işleme özelliği
- İyi ısı ve elektrik iletkenliği
- Aşınma dayanımı
- Özelliklerinde azalma olmadan tekrar kullanılma özelliği
- 200 °C altında özelliklerinde azalma olmaması
- Güneş ışını ile renk değiştirmemesi
- Kolay kaynak olma
- Uygun maliyetli malzeme olması
- Kolay dövülebilirlik
- İyi mukavemet özellikleri
- İyi korozyon dayanımı

Pirinçler iki ana gruba ayrılır:

- % 61'den fazla bakır içeren alfa alaşımları
- % 54 - 61 bakır içeren alfa + beta alaşımları

Bakır çinko alaşımlarının özelliklerini alfa ve beta fazları belirler. Örneğin alfa alaşımları soğuk şekillendirilmeye ve beta alaşımları sıcak işlemeye (dövmeye, ekstrüzyona) müsaittir.

### 2.5.2.1. Alfa pirinçler

Bu tür pirinçler soğuk haddeleme ile levha, tel ve boru yapımında kullanılır. Kızıl pirinç, 70/30, 85/15, 63/37 pirinci gibi türleri bulunmaktadır. Alfa pirinçleri genellikle soğuk şekillendirilmiş olarak satışı sunulmaktadır.

a) Kızıl Pirinçler: % 5 ila 20 arasında çinko içeren pirinçler bu grupta yer almaktadır.

Sarı pirince göre korozyon direnci daha iyi olup, çinkosuzlaşma ve gerilmeli korozyona karşı daha dayanıklıdır. Çok yaygın olarak kullanılan düşük çinkolu pirinçler, ticari bronz (% 95 Cu - % 5 Zn), kızıl pirinç (% 90 Cu - % 10 Zn), düşük pirinç (% 80 Cu - % 20 Zn)' dir. Kızıl pirinç (% 90 Cu - % 10 Zn), soğuk ve sıcak deformasyon özelliği son derece iyi olan bir alaşımdır. Kostüm, mücevherat, ruj kabı, dövme malzeme, şekillendirme ve vida yapımı gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Kızıl pirinç (%85 Cu - % 15 Zn), elektrik iletim parçalarında, vida yuvalarında, soketlerde, pullarda, kondansatörlerde, ısı değiştirici tüplerde iletim borularında, radyatör peteklerinde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır.

b) 70/30 Pirinci: Üstün işleme özelliğinden dolayı kovan pirinci olarak da bilinir.

Alaşımin demir, kurşun, bizmut, arsenik ve antimuan içermemesi ve dolayısıyla çok saf olması gereklidir. Soğuk haddeleme sonrası tavlama tane yapısını iyileştirir ve mukavemeti artır. Tavlama sıcaklığı 600-650 °C' dir.

c) 85/15 Pirinci: Bu tür pirinçler, mermi kovani, derin sıvanmış kaplar ve ucuz mücevherat yapımında kullanılır.

d) 63/37 Pirinci: Standart bir pirinç türü olup, soğuk presleme işlerinde kullanılır.

70/30 pirinç türünden daha ucuzdur. Soğuk işlemeden sonra tavlanirsa kristal yapısı 70/30 pirincine benzer. Ms 63 olarak da bilinir.

### 2.5.2.2. Beta pirinçler

Bu pirinçler ikinci gruba girerler ve döküme, sıcak haddelemeye, ekstrüzyona ve sıcak preslemeye uygundur. Soğuk olarak ta haddelenebilmektedir.

a) 60/40 Pirinci: En üstün özelliklere sahip pirinç türüdür. Alfa + beta kristallerinden oluşur. Muntz metal olarak da bilinir. Dökülmüş haldeki bu pirince ait bazı özellikler şunlardır;

- 1) maksimum çekme dayanımı :34.1-38.75 kg/mm<sup>2</sup>
- 2) kopma uzaması, % 40-45
- 3) sertlik, HB: 90-100

b) Kurşunlu Pirinç: Pirinçlere kurşunun ilavesi işleme özelliklerini iyileştirir. Sıcak şekillendirme işleri ve ekstrüzyon çubukları yapımında % 56-61 bakır, %1.5-3.5 kurşun ve kalanı çinko içeren alaşım kompozisyonu kullanılır. Bu alaşımın mukavemet özellikleri ile Muntz metal özellikleri arasında bariz bir fark yoktur.

### 2.5.3. Bronz (Cu-Sn)

Bronzlar esas olarak kalay içeren bakır esaslı alaşımlardır. Bakırın çinko içermeyen diğer alaşımlarına genel olarak bronz denilmekte ve çeşitleri ana alaşım elementleriyle belirtilmektedir. Geleneksel bronzlar bakır-kalay alaşımlarıdır ve kalay bronzu ya da çoğu zaman fosforla deokside edildiklerinden, fosfor bronzu olarak adlandırılırlar. Bronzlar ana alaşım elementlerine göre kalay, alüminyum ve nikel bronzları olarak döküm ve dövme alaşımları halinde üçe ayrılabilir.

#### 2.5.3.1. Kalay bronzu

Kalay miktarları belirli sınırlar içerisinde olan bakır-kalay alaşımları endüstriyel açıdan en önemli bronzları oluşturmaktadır. Pirinçlerde olduğu gibi, kalayın bakıra ilavesi bir seri katı solüsyonları oluşturur. Bakır-kalay alaşımlarının faz diyagramları fazlasıyla karmaşıktır. Alfa fazı ihtiva eden alaşımlar (Cu % 87-100, kalay % 0-13)

haddelemeye ve soğuk preslemeye uygundur. Alfa+beta alaşımları % 78-87 bakır, % 13-22 kalay içerirler. En önemli kalay bronzları aşağıda verilmiştir.

- a) % 5 kalay, % 95 bakırlı kalay bronzları: Bu alaşıma bir miktar çinko ilave edilerek para yapımında kullanılır.
- b) % 10 kalay, % 90 bakırlı kalay bronzları: Bu alaşıma bir miktar çinko ilave edilirse tipik bir top alaşımı elde edilir. Tipik bir top bileşimi % 88 bakır, % 10 kalay, % 2 çinko içerir.
- c) % 15 kalay, % 85 bakırlı kalay bronzları: Bu tip bronzlar yatak malzemesi olarak kullanılır ve az miktarda deoksidan olarak çinko ihtiva ederler.

Kalay bronzlarının en belirgin özellikleri atmosferik ve su korozyonuna karşı iyi dirençli ve aşınmaya karşı fazla dirençli olmasıdır. Aynı zamanda mükemmel yağlama kabiliyetleri vardır. Endüstride en çok kullanılan bakır alaşımlarından biridir. Ülkemizde kalay bronzu imal edilmekte ancak düşük kalay içeren cinsleri üretimdeki kolaylığı nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Bu tür bronzlar ise çok çabuk aşınarak veya sarma adı verilen sertliğinin düşük olmasından kaynaklanan yapışma yaparak verimlilikte azalmaya sebep olmaktadır. % 6 kalay ihtiva eden bronzlar soğuk ve sıcak işlenmeye müsaittirler. Kalay miktarının artması malzeme mukavemetini artırır, diğer taraftan uzama kabiliyeti bir hayli azalır. %10, 12 kalay içeren bronzlar mekanik özellikler açısından en ideal olanlarıdır. Bu tip bronzlar döküm parçalarında tercih edilirler. Döküm bronzları kalay, kurşun, fosfor ve nikel ihtiva eder.

### **2.5.3.2. Alüminyum bronzu**

Alüminyum bronzları % 14'e kadar alüminyum içeren bakır esaslı alaşım ailesidir. Diğer alaşımların sunamadığı mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyum bronzları sunar. Bu özellikler alüminyum bronzlarına bir çok üstünlükler sağlar. Sertlikleri 40 ila 42 RC arasında değişen cinsleri vardır. Bu malzemelerin aşınma dayanımı da yüksek olduğundan kalıpcılıkta ve makine imalatında çeliğe alternatif teşkil



etmektedir. Çelikten daha iyi ısı iletkenliğinin olması sayesinde de plastik kalıplarında çeliğe alternatif teşkil eder. Örneğin plastik kova kalıplarında çekirdek tamamıyla bronzdan yapılabilir. Sürtünme katsayısının düşük olması nedeniyle, paslanmaz sacların derin sıvama kalıplarında kullanılan malzemedir.

Aluminyum bronzlarının başlıca avantajları aşağıda verilmektedir.

- a) Üstün mukavemet. Bu özelliği düşük alaşımlı çeliklerin özelliklerine benzer.
- b) Üstün korozyon direnci. Paslanmaz çeliklerin bile iyi neticeler sunmadığı deniz suyu ve benzer ortamlarda alüminyum bronzları, tercihen kullanılır.
- c) Uygun yüksek sıcaklık özellikleri
- d) Malzeme yorulmasına karşı üstün dayanım. Bu da uzun ömürlü çalışma sağlar.
- e) Oksidasyon dayanımı
- f) Döküm ve işleme kolaylığı
- g) Yüksek sertlik ve aşınma dayanımı
- h) İyi kaynak edilme özelliği
- i) Döküm ve dövülür halde temini.

Aluminyum bronzları dört ana gruba ayrılmaktadır:

- a) Alfa alaşımları: Bu alaşımlar % 8 den daha az alüminyum içerirler. Düşük miktarlarda alaşım elementleri ihtiva ettiği için sıcak ve soğuk olarak iyi işleme özellikleri vardır. Soğuk işleme ile boru, levha, şerit ve tel şekillerine getirilebilir.
- b) İki Fazlı alaşımlar: Bu tip alaşımlar % 8 - %11 alüminyuma ilaveten daha yüksek mukavemet için demir ve nikel içerirler. Alüminyum miktarı %8-10 olunca beta fazının oluşumu sonucu mukavemet artar. Bu alaşımlar sıcak işlemeye ve döküme uygun alaşımlardır. Alüminyum miktarı % 10' u aşınca mukavemet ve sertlik daha da artar. Bu alaşımlar çok üstün aşınma dayanımı istenen özel uygulamalar için uygundur. Diğer alaşım elementleri kristal yapıyı iyileştirir, mukavemeti ve korozyon dayanımını artırır.

c) Bakır-Alüminyum-Silisyum alaşımları (Silisyum Bronzları): Bu alaşımlar alfa fazı alaşımlar olup, iyi mukavemet ve işleme özelliğine sahiptirler. % 2' ye kadar silisyum ve % 6' ya kadar alüminyum içeren alaşımlar alüminyum-silisyum bronzları olarak adlandırılır. Bu alaşımlar tek fazlı alaşımlardan daha üstün mukavemet özelliklerine, kolay dövülme ve sıcak işleme özelliğine sahiptir. Diğer alüminyum bronzları gibi, düşük geçirgenlik ve üstün şok dayanımları vardır. Silisyum talaşlı işlemeyi kolaylaştırır.

d) Bakır-Mangan-Alüminyum alaşımları: Bu alaşımların iyi dökülme özellikleri vardır. Öncelikle pervane imali için geliştirilmiştir. Mangan ana alaşım elementi olup % 13 civarındadır. Bu alaşımlar grubunda alüminyum % 8-9 dur. Bu alaşımlar alüminyum bronzları kadar mukavemetli değildir, fakat daha iyi döküm özellikleri vardır. İyi korozyon dayanımı ve üstün kaynak edilebilme özelliklerine sahiptir.

### 2.5.3.3. Nikel bronzları

Nikel bronzları kabaca dört alaşım grubu olarak sınıflandırılır:

- a) % 5 den az nikel içeren alaşım grubu
- b) % 5 ile % 10 nikel içeren alaşım grubu
- c) % 10 ile % 20 nikel içeren alaşım grubu
- d) Ana alaşımı nikel olan özel alaşımlar (yüksek nikelli bronz, örneğin Monel metal).

Düşük miktarlarda nikel kullanımı kurşun segregasyonunu azaltır. Doğrudan kullanılacak yataklar % 2' den fazla nikel içermemelidir. Bu miktarın üzerindeki değerlerin malzemenin yataklık özelliklerini kötüleştirme eğilimi olduğuna inanılmaktadır. Birinci alaşım grubunun dökümünde pek zorluk yaşanmamakta ve mevcut döküm pratiği geçerli olmaktadır. % 88 Cu, % 5 Sn, % 5 Ni ve % 2 Zn alaşımı uluslararası bir alaşım olup, üstün özelliklerinden dolayı tercihen kullanılmaktadır. Isıl işlemin uygulanması ile bu 2 alaşımın çekme mukavemeti 24 kg/mm<sup>2</sup> ve kopma uzaması % 15' e çıkarılması mümkündür. % 4 - % 5 nikelli

alaşım nikel bronzu karakteristikleri göstermeye başlar. Nikel yüzdesi artınca, alaşımların ergitme ve döküm sıcaklıkları yükselir ve gaz absorbe etmesi fazlasıyla artar. Nikel miktarı % 10' u aşınca diğer bir zorluk ortaya çıkar. Karbon absorpsiyonu sonucu karbon mevcut ortamdaki oksitlerle birleşerek karbondioksit oluşturur. Bu hidrojene benzer problem oluşturur. Şöyle ki; gaz, sıvı eriyiğe geçer ve katılma esnasında dışarı atılarak gaz boşluklarına sebebiyet verir.

Nikel bronzları, yataklar, dişliler, somunlar, vidalı konveyörler, aşınma kılavuzları, nozullar, pompa ve valf parçaları, devre kesici parçalar, elektrik kontakları ile makine ve yapısal parçalarda kullanılmaktadır.

#### **2.5.4. Sert bakır alaşımları**

Sert bakır alaşımları çökelme sertleştirme mekanizması kullanılarak geliştirilen ve çok geniş kullanım alanı bulan alaşımlardır. Bu nedenle ayrı bir bölüm olarak incelenmesi gereklidir. Cu-Be, Cu-Cr-Zr, Cu-Zr, Cu-Ni-Si-Cr ve Cu-Cr alaşımları bu gruba girmektedir.

##### **2.5.4.1. Cu-Be alaşımları**

Bu alaşımlar % 0.35-2.85 berilyum içerir. Bakır-Berilyum alaşımları dövülmüş ve dökülmüş olmak üzere iki gruba ayrılır. Çözeltiyeye alma tavlama 570-810 °C' de yapılır.

Alaşım 800 °C' de suda soğutulduktan sonra yaklaşık 370 °C' de yaşlandırma yapılır. Yaşlandırma ve sonrasında soğuk şekillendirme ile malzeme sertliği dört kat artar. 1970' li yıllardan sonra berilyumlu bakırların uygun bir şekilde yağlanmasıyla, tüm bakır esaslı alaşımlardan ve bir çok çelik cinsinden daha fazla aşınma dayanımının olduğu anlaşılmıştır. Tüm bakır esaslı alaşımlar arasında en sert ve mekanik mukavemeti en yüksek olan berilyumlu bakırlardır. Bu alaşımların genel kullanım alanları şunlardır:

- a) Projeksiyon ve yakma alın kaynağı, paslanmaz çeliklerin punta kaynağı için elektrotlar
- b) Pistonlar, nozullar
- c) Plastik kalıplarda hızlı soğuması gereken yerlerde geçme olarak veya kalıbın tümü
- d) Kontak, zemberek, yaprak, bağlama, spiral yayları
- e) Çeşitli diyaframlar
- f) Takı kilitleri ve vidaları

#### **2.5.4.2. Cu-Ni-Cr-Si alaşımları**

Yüksek sertliği, yüksek iletkenliği olan bakır bazlı alaşımlardır. Isıl işleme üstün özellikler elde edilir. Malzemeler tornalanmış olarak teslim edilir. Punta kaynağı elektrotları, elektrot tutucusu ve dikiş kaynağı diskleri, plastik enjeksiyon makinelerinde püskürtme memeleri ve hızlı soğuması gereken yerlerde geçme olarak, pirinç ve bronzların kokil kalıplarında sözkonusu alaşımlar kullanılmaktadır.

#### **2.5.4.3. Cu-Cr alaşımları**

Bakır-krom alaşımı yüksek iletkenliğin ve mukavemetin birlikte gerekli olduğu uygulama alanlarında tercihen kullanılır. Zirkonyum ilavelisi olan Cupromax geliştirilinceye kadar tek alternatifti ama zirkonyum ile birlikte kullanım alanları daha da genişlemiştir. Ana bileşimi (% ağırlıkça): Cu + Ag % 99.1, Cr % 0.6 min., Fe % 0.1 max., Si % 0.1 max., Pb % 0.05 max. şeklindedir.

Direnç kaynağı elektrotlarında, kepler, diskler, ingot kalıpları, ark ocağı akım taşıyıcı kolları ve grafit elektrot soğutucuları, punta kaynak makinelerinin akım taşıyıcı parçalarında kullanılmaktadır.

#### **2.5.4.4. Cu-Cr-Zr alaşımları (Cupromax)**

Bakır-krom-zirkonyum önemli ve sert bir bakır alaşımıdır. Yüksek iletkenliğe,

sertliğe, işlenebilme özelliğine ve orta ölçekte mukavemete sahip olmasından ötürü 500 °C' ye kadar sıcaklıklarda yumuşamadan kullanılır. Bu alaşımların mekanik özellikleri saf bakırın yaklaşık iki katıdır. Bu alaşımların çeşitli türevleri gerek imalat metodları bakımından gerekse de bazı alaşım elementlerinin yüksek fiyatta olmasından (berilyum ve kobalt gibi) kaynaklanan olumsuz özelliklerini kapatacak şekilde geliştirilmiştir. % 1.0 krom, % 0.1 zirkonyum içeren alaşım önce çökeltme sertleştirilmesiyle, sonra da yaşlandırma yapılarak sertleştirilir. Isıl işlem doğru yapılırsa alaşımın yumuşama sıcaklığı 500 °C' ye kadar yükseltilebilir. Saf bakırın yumuşama sıcaklığı 200 °C ve gümüşlü bakırınki ise 350 °C' dir. Bakır-krom-zirkonyum alaşımının üstün sıcak ve soğuk şekillendirilme özelliği vardır. Alaşımın sıcak şekillendirme özelliği, işlem sıcaklığına, soğutma hızına ve takip edilecek ısıl işleme bağlıdır. Alaşım soğuk çekme ve eğilmeye müsaittir. Soğuk çekme ile çubuk çapları tavlanmadan % 50 oranında azaltılabilir. Temel bileşimi (% ağırlık): Cu + Ag % 99.4, Cr % 0.6 - 1.0, Zr % 0.05 - 0.15 olup, DIN no' su 2.1293' tür.

Başlıca kullanım alanları; düşük karbonlu çelik sacların punta kaynağı, galvanizli sacların kaynağında nokta kaynağı elektrodu ve dikiş kaynak diski, punta kaynak makinelerinde elektrot tutucuları, erozyon makinelerinde dalıcı elektrodu ve trafolarla irtibat baralarıdır.

#### 2.5.4.5. Cu-Zr alaşımları

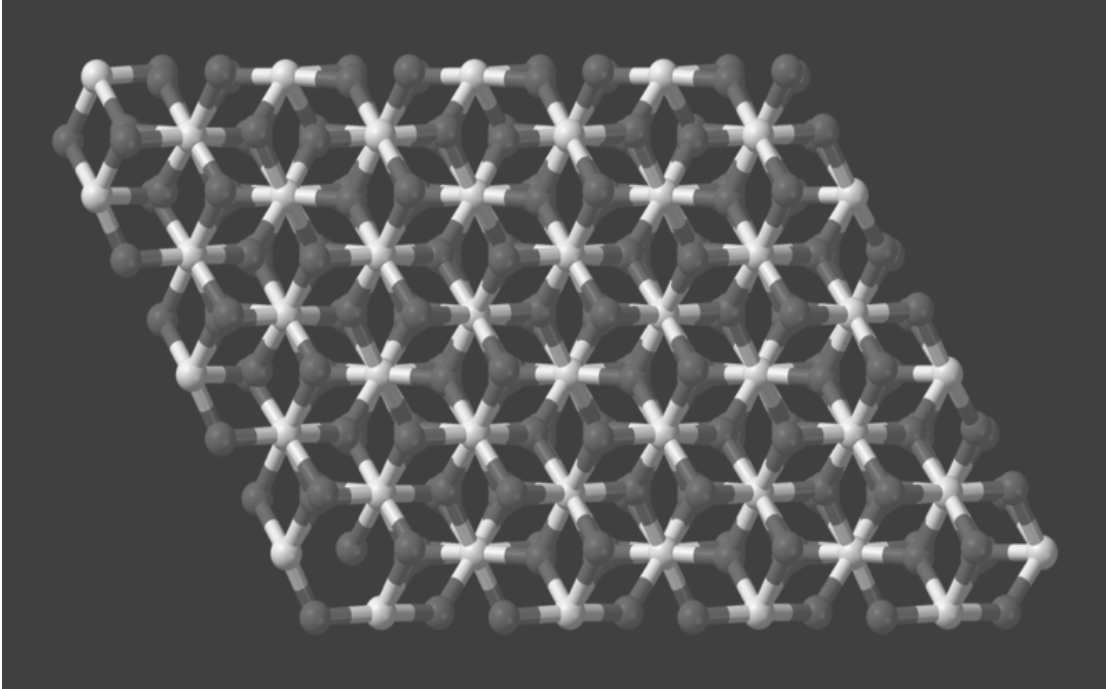
Daha iyi elektrik iletkenliği için, CuCrZr'a (Cupromax)' a alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak CuCrZr' un üstün mukavemet özellikleri ve geniş kullanımı nedeniyle çok sınırlı olarak üretilmektedir. Kimyasal bileşimi, bakır (Cu) % 99.95, Zr % 0.13 - 0.2, Al+Fe+Mn % 0.01 maks. şeklindedir. Başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

- a) Direnç kaynağı elektrotları
- b) Komütatör segmanları
- c) Güç transistör altlıkları
- d) Motor ateşleme orifisleri [9].

## BÖLÜM 3. ALUMİNA

### 3.1. Giriş

Endüstride kullanılan toz halindeki alüminyum okside alumina veya alümin adı verilmektedir [18]. Alumina, alüminyumun “ $Al_2O_3$ ” kimyasal formülü ile gösterilen amfoterik bir oksididir. Alüminyum oksit alumina dışında korund, safir, aloksit vb. isimlerle de bilinmektedir. Alüminanın doğadaki saf olarak bulunan haline de korund denilmektedir. Alumina rombohedral bir kristalografik yapıya sahiptir. Şekil 3.1’de şematik olarak alüminanın kafes yapısı gösterilmektedir [16, 18].

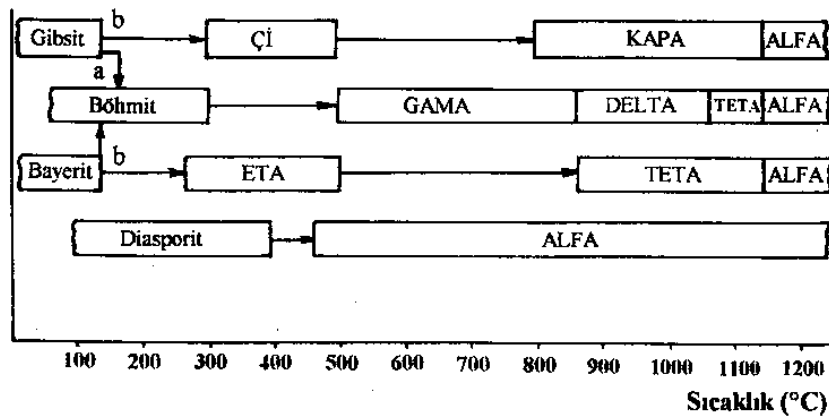


Şekil 3.1. Alüminanın (korund) kafes yapısının şematik gösterimi [16].

Alüminanın bilimsel keşfi geçen yüzyıla dayanmaktadır. Bununla birlikte, ticari olarak kullanımı, 1907 yılında yüksek alumina seramik üretimine ait bir patenle

başlamıştır. Geniş çapta ticari üretimi ve kullanımı ise 1920 yılının sonu ile 1930 yılının başlarına rastlamaktadır.

Saf alumina, düşük sıcaklıkta birkaç formda bulunur. Fakat, bütün bu formlar, zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak 750-1200 °C arasında  $\alpha$ -aluminaya dönüşür. 1600 °C' nin üzerinde yapılan ısıtma, bu dönüşümü hızlandırır. Aluminanın,  $\alpha$ - fazına dönüşümü tersinir değildir [17]. Şekil 3.2' de hidrate alüminalarda kristalografik dönüşümler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Hidrate alüminum oksitlerin sıcaklığa bağlı kristalografik değişimi [18].

Alumina elektriksel olarak yalıtkan bir malzeme olmasına karşın, görece yüksek bir termal iletkenliğe sahiptir (40W/mK) [16]. Alumina hem asitlere karşı hem de bazlara karşı aynı direnci gösterir. Elektrik özellikler açısından alumina çok iyi bir yalıtandır. Yüksek elastik modülüne ( $\approx 380$  GPa) ve sertliğe sahip olan alumina kırılğan olduğundan zirkonya katkısı ile tokluğu ve dayanımı artırılmakta ve yaklaşık 800 °C'ye kadar bu özelliklerini korumaktadır.

Erime noktası  $2000 \pm 30$  °C olan alüminyum oksit orta sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve yüklere karşı en dayanıklı malzemelerden birisidir. Alumina suda ve şayet iyi kalsine edilmişse, ne mineral asitlerinde ne de bazlarda çözünmez. Alumina, HF asidine karşı da dayanıklıdır.

Sodyum karbonat, kostik soda ve sodyum peroksit saf alüminum potalarda çok az bir tahribatla eritilebilir. 1700-1800 °C gibi yüksek sıcaklıklarda flor gazı dışında

bütün gazlara karşı direnç gösterir. Tablo 3.1’ de alüminanın bazı özellikleri verilmektedir [17]. Tablodaki değerler farklı kaynaklarda farklılık arzedeabilmektedir (örneğin termal iletkenlik). Bu durum alüminanın üretim parametreleri ve nihai mikroyapı özelliklerinden kaynaklanabilir.

Tablo 3.1. Alüminanın bazı özellikleri [17].

Termal iletkenlik katsayısı	28W/mK
Yoğunluk	3,98 Mgm <sup>-3</sup>
Erime sıcaklığı	2030 °C
Elastik modülü	~360 GPa
Genleşme katsayısı	7-8.8*10 <sup>-6</sup> m/K
Spesifik yüzey alanı	115 m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
Mikrosertlik	25 GPa

Alüminanın sertliği, onu aşındırıcı direnci yüksek olan uygulamalarda aranır malzeme durumuna sokar, örneğin kesme takımları. Sertlik sıralaması beşinci sıradadır. Ancak doğal sertlik sıralamasında ikinci sıradadır. Mohs sertliği dokuzdur [17].

### 3.2. Alumina İçeren Mineraller

Alüminanın en önemli oksiti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formülü ile gösterilen alüminadır. Alüminyum, yerkabuğunda en yaygın olarak bulunan 3. element olup, daha çok alumina silikat halinde bulunur. Nitekim silikatlar alüminyum cevherlerinin % 40’ ını oluşturur. Doğada serbest oksit halinde (korund) çok az olarak bulunur. En fazla gibsit (alüminyum trihidroksit), böhmüt (alüminyum oksit hidroksit) ve diaspor (alüminyum oksit hidroksit) şeklinde bulunur ki bunlara genel olarak boksit adı verilmektedir [17,18].



Endüstriyel öneme sahip bazı alüminyum mineralleri hakkında kısa ve genel bilgiler aşağıda belirtilmiştir. Tablo 3.2’ de de alümina içeren mineraller verilmektedir.

Tablo 3.2. Alümina içeren mineraller [18].

Adı	Formülü	% Al	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
I) Boksit Mineralleri			
Korund	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52,9	100,0
Gibsit	$\gamma$ - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O	34,6	65,4
Böhmit	$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	45,0	85,0
Diasporit	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . H <sub>2</sub> O	45,0	85,0
II) Alunit	K <sub>2</sub> O.3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	19,6	37,0
III) Alum Mineralleri			
Alumojel	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	15,8	29,8
Aluminit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .SO <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	15,7	29,7
Kalinit	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .24H <sub>2</sub> O	5,7	10,8
Halotrikrit	FeSO <sub>4</sub> .Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .24H <sub>2</sub> O	5,8	11,0
IV) Diğer Mineralleri			
Andaluzit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Kiyanit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Süimanit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	33,3	62,9
Kaolinit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	20,9	39,5
Spinel	MgO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,0	71,8
Ortoklaz	K <sub>2</sub> O.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6SiO <sub>2</sub>	9,7	18,3
Kriyolit	3NaF.AlF <sub>3</sub>	12,9	24,3
Topaz	Al <sub>2</sub> [Fe(OH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ].SiO <sub>4</sub>	22,7	42,9

### 3.2.1. Korund

Birçok değişik morfolojik tipte bulunabilen ve  $Al_2O_3$  bileşiminde olan korundun kristalografik özellikleri kısmen hala bilinmemekle birlikte, kararlı bir yapıda bulunan korund daima  $\alpha-Al_2O_3$  şeklindedir. Elmastan sonra en sert mineral (9 mohs) olan korundun yoğunluğu  $4,0-4,1 \text{ g/cm}^3$  olarak verilmekte ve kırmızı renkli olana yakut, mavi renkli olanına da safir denilmektedir. Korundun manyetit, hematit ve kuvarsla beraber bulunduğu minerale zımpara adı verilmektedir. Opak ve granüler yapıda olan zımpara genellikle koyu gri, siyah renklerde bulunmaktadır .

### 3.2.2. Gibsit

Toprağımsı beyaz, grimsi, yeşilimsi renkli ve yarı şeffaf olan gibsit  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  bileşiminde bir  $\gamma$ -alumin trihidrat olup, monoklinik sistemde kristalleşmekte ve her doğrultuda iyi dilinim vermektedir, özgül ağırlığı  $2,3-2,4 \text{ g/cm}^3$  arasında değişen gibsit minerali korund, nefelin veya feldispat gibi alüminyumca zengin oluşumların hidrotermal alterasyonu ile meydana gelmiş sekonder bir mineraldir. Sertlik derecesi  $3,0-3,5$  mohs olan gibsitin monoklinik sistem ile birlikte triklinik kristal yapılarında da olduğu literatürde belirtilmiştir.

### 3.2.3. Böhmit

Kahverengimsi kırmızıdan grimsi kahverengiye kadar değişen renklerde bulunan böhmit,  $Al_2O_3 \cdot H_2O$  bileşiminde olan bir  $\gamma$ -alumin monohidrat olup, özgül ağırlığı  $3,0-3,2 \text{ g/cm}^3$  ve sertliği  $3,5-4,0$  mohs olarak verilmiştir. Karstik boksitlerin önemli bir minerali olan böhmit Akdeniz çevresinde yaygın olarak bulunmaktadır. Gibsitin dehidratasyonu sırasında bir ara ürün olarak meydana gelen ve genellikle demir mineralleri ile karışık küçük kristaller oluşturan böhmit, ortorombik sistemde kristallenmektedir. Böhmit birçok boksit yatağının başlıca minerallerinden birisi olup, değişik miktarlarda olmak üzere hemen bütün boksit yataklarında, genellikle amorf kümeler halinde bulunabilmektedir.

### 3.2.4. Diasporit

$Al_2O_3.H_2O$  bileşiminde bir  $\alpha$ -monohidrat olan diasporitin kristal şebekesinin böhmitten farklı olduğu optik incelemelerle ortaya konmuştur. Diasporit böhmitin diyajenez ve hafif metamorfizma ile değişmesinden meydana gelmiştir. Toprak renginden gri, beyaz ve sarıya kadar değişik renklerde bulunabilen diasporit şeffaf veya yarı şeffaf olabilmektedir.

Prizmatik veya ince levhalar halinde ortorombik kristallerden oluşmakta olan diasporitin sertliği 6,5-7,0 mohs ve özgül ağırlığı  $3,3-3,5 \text{ g/cm}^3$  olarak verilmiştir.

Genellikle korund ve zımpara taşı ile birlikte dolomit ve granüler kil taşları veya kristalize şistler içinde bulunabilen diasporite, ticari yataklarda toprağımsı, granüler ve pisolitik yumrular halinde rastlanılmaktadır. Kalsine edilerek abrasiv olarak kullanılabilirdiği gibi, refrakter tuğla üretiminde de kullanılmaktadır.

### 3.2.5. Alunit

Beyaz, gri ve kırmızıya kadar değişik renklerde bulunan alunit bir potasyum alüminyum hidro sülfat olup  $K_2SO_4.Al_2(SO_4)_3.4Al(OH)_3$  bileşimindedir. Masif cevher opak, kristalin cevher ise şeffaf veya yarı şeffaf bir yapıdadır. Alunit minerali hidrotermal çözeltilerin volkanik kayalara etki etmesi ile oluşmaktadır. Bu mineral başlıca alüminyum sülfat, alumina, potasyum sülfat, potasyum şapı, refrakter, çimento, gübre ve seramik gibi çok değişik üretim alanlarında kullanılmaktadır.

### 3.2.6. Alum mineralleri

Bunlar potasyum, sodyum, demir, alüminyum, krom ve diğer metallerin sülfatlarını içeren minerallerdir. Suda kolay çözünebilen alum mineralleri ağız buruşturan bir tada sahiptir [25], Tabiatında çok çeşidi bulunan bu minerallerden alümojel, alüminit, kalinit ve halotrikitin kimyasal bileşimi ve alüminyum içerikleri yukarıda gösterilmiştir (Bkz:Tablo 3.2).

### 3.2.7. Diğer mineraller

Tabiatta en çok silikatlar halinde bulunan alüminyum minerallerinden bazılarının bileşimleri ve alüminyum içerikleri Tablo 3.2’ de verilmiştir. Bunlardan kili oluşturan mineraller çoğunlukla silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan oluşan sulu silikatlardır. Kil mineralleri yaklaşık % 16-38  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içermektedir.

Alüminyum üretiminde kullanılabilmesi için araştırmalar yapılmakta olan bu mineraller saf iken beyaz renkte ve pul pul bir yapıdadır. Özellikle seramik yapımında ana madde olarak kullanılan bu mineraller boya, plastik, kauçuk ve portland çimentosu gibi değişik üretim alanlarında tüketilmektedir.

### 3.3. Alumina Üretimi

Dünyada, alumina üretiminin hemen tümü Bayer Prosesi ile gerçekleştirilmekte ve bu proseste hammadde olarak boksit cevheri kullanılmaktadır [19]. Ticari olarak büyük miktarda alumina üretiminde şu dört genel üretim yöntemleri kullanılmaktadır: Asidik, Elektrotermik, Sinter ve Bazik yöntemler. Bu dört ana grup altında birçok üretim teknikleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan Bayer Prosesi bazik üretim yöntemleri içerisinde [18]. Ancak özellikle homojenlik, saflık ve mikron altı tane boyutunun istendiği uygulamalarda, ticari tozlar yerine, kimyasal yöntemlerle üretilen tozlar tercih edilmektedir (Kimyasal çöktürme, sol-jel vb.) Örneğin, homojen çöktürme yöntemiyle alumina üretiminde özellikle alüminyum sülfatın başlangıç malzemesi olarak kullanılmasının en önemli nedeni çökelme sonucunda eşit tane boyutlu partiküllerin elde edilmiş olmasıdır. Eşit boyutlu partiküller sadece teorik çalışmalar için bir model malzeme olmakla kalmaz aynı zamanda seramik üretim prosesi için de avantaj sağlar [17]. Dolayısıyla, bu bölümde alumina üretim yöntemlerinden Bayer Prosesi ve homojen çöktürme yönteminden bahsedilecektir.

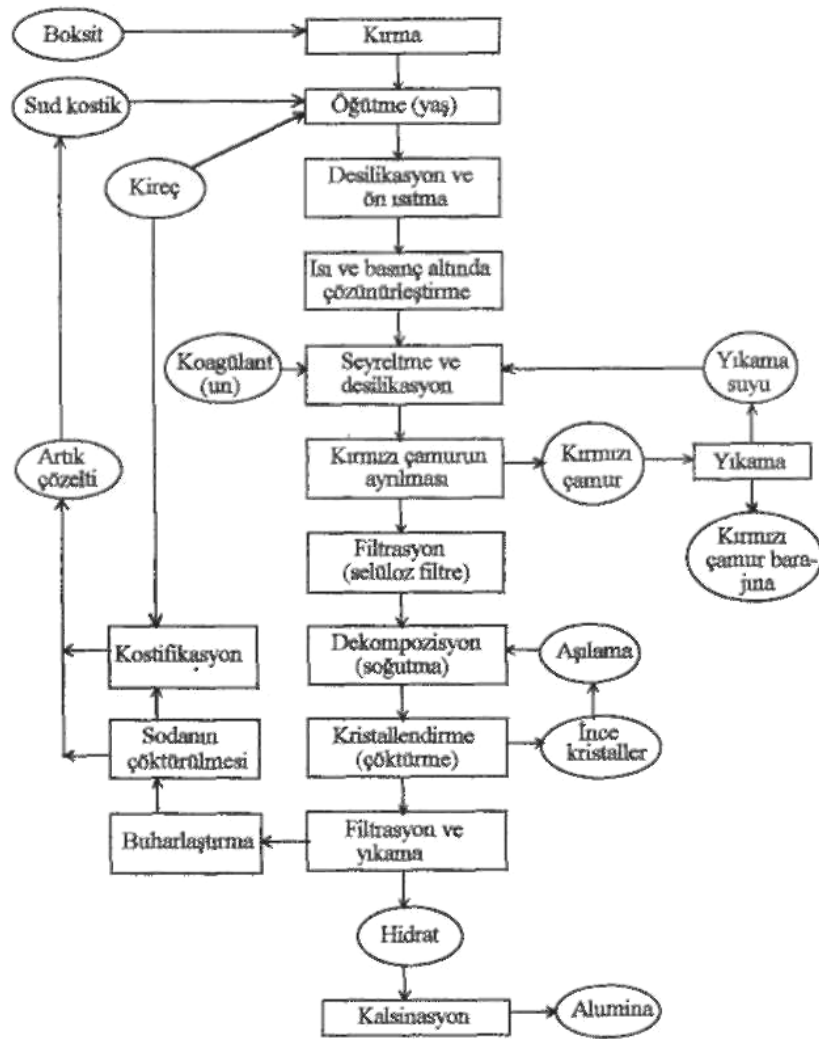
### 3.3.1. Bayer prosesi

Dünya alumina üretiminin % 90 dan fazlası, yüksek saflıkta alumina veren, genel olarak basit bir teknolojiye sahip olan Bayer prosesi ile sağlanmaktadır. Bazı yerel şartlar haricinde bu teknoloji ile hemen hemen yalnız boksit cevheri işlenebilmektedir. K.J. Bayer tarafından ortaya konan temel ilkeler yıllar boyunca bir değişikliğe uğramamışsa da prosesin kendisi teknolojik gelişmelere ayak uydurarak, özellikle son 30 yıl içerisinde oldukça büyük değişikliklere uğramıştır. Genellikle Bayer yöntemi ile işlenecek boksitlerde silis modülünün yedi veya yediden büyük olması prosesin ekonomikliği açısından gerekli görülmektedir. Ancak Proses teknolojisinde uygun değişiklikler ve ilaveler yapılarak daha yüksek oranda silis içeren düşük kaliteli boksitleri işlemek mümkün olmaktadır.

Boksitteki  $Al_2O_3$ ' in mineralojik yapısına bağlı olarak alüminanın eldesinde iki ayrı yöntem geliştirilmiştir. Gibsitik boksitlere uygulanan düşük kostik konsantrasyonu ve düşük sıcaklık şartlarına sahip Bayer metoduna Amerikan prosesi, böhmitik yapıdaki boksitlere uygulanan yüksek sıcaklık ve yüksek alkali konsantrasyonuna sahip çözündürme metoduna da Avrupa prosesi adı verilmektedir. Ancak, çözündürme işlemlerindeki bazı farklılıklara rağmen, daha sonraki işlem kademeleri hemen hemen birbirine benzerdir.

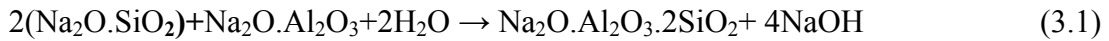
Ülkemizde de uygulanan Avrupa prosesinin detaylı bir akım şeması Şekil 3.3' de verilmiştir [18].

Boksit cevherleri bilyalı değirmenlerde, özgül ağırlığı 1,45 olan 250 g/l  $Na_2O$  ve 110 g/l  $Al_2O_3$  içeren, buharlaştırma ünitesinde rejenere edilmiş alkali çözeltisi ile yaş olarak öğütülmektedir. Öğütme işleminde elde edilen ham pulp içindeki silisin 105 °C sıcaklıkta ve yaklaşık yedi saat süren desilikasyon işlemi ile sodyum alüminyum silikat halinde çökmesi sağlanmaktadır. Bu işlem silisin daha sonra otoklavlarda çökelp ısı transferindeki ve ürün kalitesindeki olumsuz etkileri azaltmak amacıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.3. Bayer Prosesi [18].

İşlem sırasında aşağıdaki temel reaksiyon gerçekleşmektedir:



Seyreltme ile desilikasyon da sağlanan karışıma flokulant katılarak tiknerlerde kırmızı çamur çöktülmektedir. Elde edilen alüminat çözeltisi hidroliz edilerek, pratikte hidrat adı verilen alüminyum hidroksit kristallendirilip çöktürülmekte, filtre edilerek kalsinasyon bölümüne taşınmaktadır.

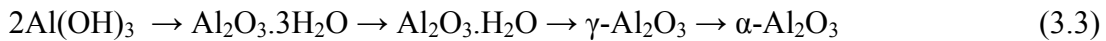
Meydana gelen reaksiyonu şu şekilde göstermek mümkündür.



Kristalizasyon işleminin tamamlanmasından sonra hidrat pulpü sıvı fazın ayrılması maksadıyla seperatör ve tikner sistemine gönderilmektedir. Aşılama filtrelerinde elde edilen aşı hidrati dekompozere verilmektedir. Üretim filtrelerinde ele geçen % 10-11 nem ve en fazla % 0,4 Na<sub>2</sub>O içeren alumin trihidrat depolanmakta veya kalsinasyon bölümüne nakledilmektedir.

Devreye zorunlu olarak giren suların çözültiden ayrılması ve kostik çözeltisinin rejenerasyonu amacıyla da buharlaştırma işlemi yapılmaktadır. Bu amaçla 145-150 g/l Na<sub>2</sub>O konsantrasyonunda olan zayıf çözelti buharlaştırma işlemi ile 220-250 g/l Na<sub>2</sub>O'ye yükseltilmektedir. Bu arada soda ve organik safsızlıklar ise prosten uzaklaştırılmaktadır. Kristalizasyon sonunda elde edilen akimin trihidrat yaklaşık % 8-15 nem % 34,5-34,8 kristal suyu içermektedir. Bu kristaller fuel-oil ile ısıtılan eğimli döner finnlarda kalsine edilmektedir. Katı ürün fırının eğimine uyarak yavaş yavaş ilerlerken aksi yönden gelen yanma gazlarının tesiri ile aşağıdaki fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğrayarak  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> haline dönüşmektedir.

Kalsinasyon sırasında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



### 3.3.2. Homojen çöktürme yöntemi

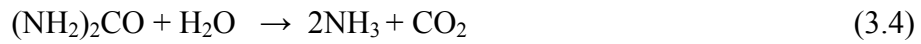
Küresel alumina partiküllerinin homojen çöktürme yöntemi ile alüminyum sülfat çözeltisinden sentezinde dört parametre önemlidir. Bunlar;

- a) Solüsyonun konsantrasyonu
- b) Başlangıç malzemesinin tipi
- c) pH
- d) Sıcaklık

Alüminyum sülfat su içinde çözüldüğünde pH (pH=3,4) düşüktür. Ürenin bozunması ile pH artar. Ancak çözünürlük sınırı azalır. Fakat çekirdek oluşumu için gereken en az alüminyum sülfat hidratının çözünürlüğüne ulaşana kadar çökelek oluşmaz.

Aluminyum sülfat çözeltisinden homojen çöktürme yöntemi ile alümina tozu üretiminde kullanılan üre çöktürme reaksiyonu için gerekli olan hidroksil iyonlarını sağlar. Üre 70 °C' nin üzerinde reaksiyona girerek amonyum, hidroksil ve karbondioksit iyonlarını oluşturur.

Hidroksil iyonunun ürenin bozunması yoluyla sağlanması nedeni ile bölgesel olarak pH artması engellenmektedir. Bölgesel olarak pH'ı direkt olarak artıran katkıları yapıldığında küresel olmayan (iğnesel) aluminyum hidroksit çökeleğinin oluştuğu gözlenmiştir. Dolayısıyla küresel şekilli toz oluşumu için çözelti içinde homojen ve kademeli olarak hidroksil iyonu oluşumu gerekmektedir.



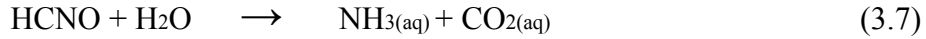
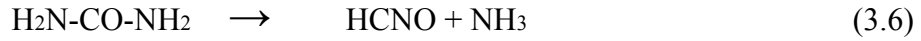
Çökme olayı tamamlandığında soğutma sırasında çökeleklerin yeniden çökmesini engellemek için çözelti içindeki sıvı kısım çözülden hemen alınmalıdır. Çökelekler içindeki safsızlıkları uzaklaştırmak için saf su ile yıkanmalı ve süzülmalıdır. Homojen çöktürme yöntemi ile toz üretiminde başka çöktürme ajanları olarak formamit, etanolamin, asetik asit, trikloro asetik asit vb. kullanılabilir. Ancak özellikle üre kullanımının özel sebepleri vardır. Bunları sıralarsak; pahalı olmaması, suda kolaylıkla çözünmesi, toksik olmaması ve bozunma ürünlerinin gübre olarak kullanılabilmesi gelir.

Başlangıç malzemesi olarak kullanılan metal oksitlerinin üre kullanılarak çöktürme yöntemiyle üretimi üç farklı adımla özetlenebilir.

- a) Amonyak ve karbondioksit oluşumu için ürenin bozunması,
- b) Karbonat ve hidroksit iyonlarını oluşturmak için karbondioksit ve amonyağın hidrolizi ve ayrışması,
- c) Metal katyonlarının reaksiyonudur.

Ürenin bozunma reaksiyonu aşağıda gösterildiği gibi iki aşamalıdır.





Homojen çöktürme yöntemiyle toz üretiminde morfoloji direkt olarak çekirdeklenme ve çekirdeklerin büyüme prosesi ile belirlenmektedir. Eğer çekirdeklenme olayı kısa bir zamanda meydana geliyor ve büyüme üniform olarak gerçekleşiyorsa monodisperse partikül oluşumu beklenir. Homojen çöktürme yönteminde oluşan çeşitli morfolojileri açıklamak için birçok büyüme mekanizması önerilmektedir. Bir çekirdek üzerinde iyonların toplanması ohedral partikül oluşumu ile sonuçlanacaktır. Amorf partikül ve küresel partikül oluşumu çekirdek üzerinde polimerik parçaların toplanmasına katkıda bulunmaktadır. Kristalin, küresel partikül oluşumu gözlenmektedir veya büyüme ya da yüzey çekirdeklenme mekanizmasına katkıda bulunmaktadır. Her iki mekanizma için de farklı sistemlerde işleyebileceğini gösteren kanıtlar vardır.

Kristalin, ohedral partikül oluşumu mekanizması çekirdek üzerinde iyonların toplanması ile açıklandığı halde bu partiküllerin belirli bir şekilde oluşum doğasının kontrolü ilkeleri anlaşılammıştır. Yaygın olarak spesifik bir şekilde büyüyen düzlemlerin ortak yüzey enerjisi çeşitli düzlemlerin büyümesini belirler. Çözelti kimyasındaki inanılmaz değişiklikler, iyonların konsantrasyonu, pH ve sıcaklık gibi değişiklikler partiküllerin morfolojisini çok önemli bir şekilde değiştirebilir.

Sülfat iyonları varlığında üre ile yapılan alüminyum hidroksit çökeleği amorf monodispers küresel partiküllerin oluşumuna yol açar. Nitrat iyonlarının varlığında ise düzensiz jel gibi çökelekler oluşur. Morfolojideki bu kesin değişikliklerin tam olarak sebebi açıklanamamıştır.

Homojen çöktürme yönteminde en kritik ve kompleks olan değişken sıcaklıktır. Ürenin bozunma hızı sıcaklığın üstel bir fonksiyonudur. Dolayısıyla çekirdek oluşumu ve büyümesini önemli bir şekilde etkilenmektedir.

Aluminyum oksit çökeleğinin oluşumunda üniform küresel partikül oluşması için kompleks anyonlar olan sülfat, succinate, tartarat vb. gereklidir. Klorat ve nitrat varlığında ise çökelekler jele benzeyecektir. Dolayısıyla özellikle aluminyum nitrat yerine alüminyum sülfat tuzunun seçilme sebebi budur [17].

### 3.4. Alüminanın kullanım alanları

Metalurjik aluminyum üretimine dönük olan Bayer yöntemi ile üretilmekte olan dünya alumina üretiminin yaklaşık % 10' u aluminyum metal üretimi dışındaki sektörlerde kullanıma dönüktür. Bu payın yaklaşık yarısı seramik sektöründe refrakterler, beyaz eşyalar, bujiler, aşındırıcılar ve teknik seramiklerin yapımında kullanılır. Alumina esaslı seramikler mühendislik seramiklerinin en iyi bilinen grubudur. Kompozisyonların ve mikro yapıların çok geniş bir aralığı mevcuttur. Alüminadan gözenekli ve yoğun ürünler yapılır. Gözenekli ürünler genellikle ergimiş alüminadan yapılır. Bu malzemeler 1900 °C' ye kadar çıkan yüksek sıcaklık fırınlarının astarı olarak kullanılır. Yeniden kristalleşmiş gözenekli olmayan alumina, ergimiş alüminadan daha saftır.

Refrakter alumina nötr veya atmosfer refrakter olarak sınıflandırılır. Alumina hem oksitleyici hem de indirgeyici atmosferlerde en kararlı oksitlerden biridir. Ucuzluğu, ergime noktası, sağlığa zarar vermeyişi ve uygulanabilirliği kolaylıkla refrakter safiyetinde bulunabilirliği alüminayı refrakter uygulamalarda üstün özellikte kılmaktadır. Alumina ticari sıcaklık derecelerinde (>1800°C) kullanılabilen saf refrakter oksitlerden birisidir.

Alumina refrakterler; yüksek alaşımlı, fused döküm alumina refrakterleri, mullit refrakterleri, spinel ve alümin-kromit refrakterleri olarak sınıflandırılırlar.

Alüminanın yoğun olarak kullanıldığı ve halen üzerinde en çok araştırma yapılan başlıca uygulama alanları şunlardır.

- a) Alümin kesici takımlar
- b) Hafif zırh yapımı
- c) Yüksek voltaj seramikleri

d) Alüminal bujiler [20].

Tablo 3.3' te ise alüminanın saflık derecesine göre kullanım alanları verilmektedir.

Tablo 3.3. Alüminanın saflık derecesine göre kullanım alanları [20].

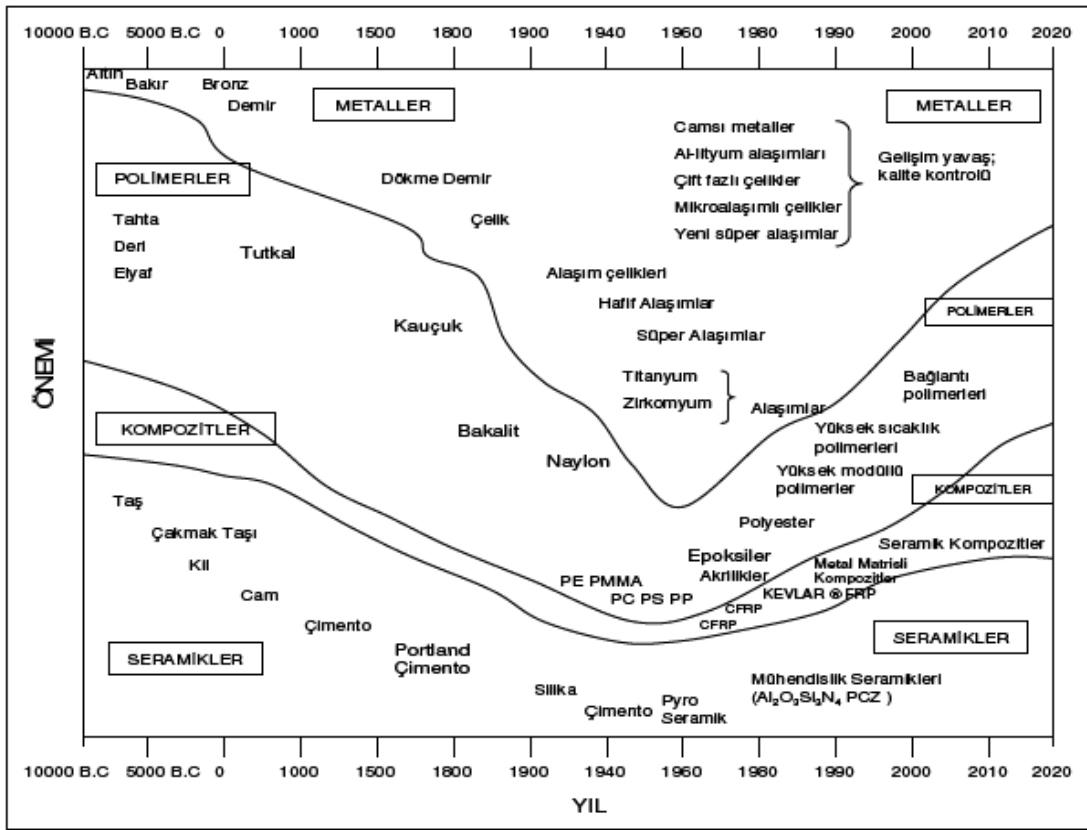
Alüminanın saflık yüzdesi (%)	Uygulama alanı
85	Elektrik ve mekanik uygulamalarının çoğunda: insulator, öğütme, nozul, tebeşir pompa daldırmalarında
90	Daha çok mekanik kullanımlarda
94	Entegre devre, transistor altlık
96	Özellikle elektronik uygulamalarında
98-99.5	İnce film altlık, bilgisayar type rehberi
99.8	Korozyon ortamlarında kullanılan fırın tüpü, laboratuvar gereçleri
99.9	Kesme uçları, nükleer seramik ve diğer gereksinimler

## **BÖLÜM 4. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİTLER (MMK)**

### **4.1. Giriş**

Malzeme bilimcilerin tanımına göre kompozit malzemeler, diğer sürekli faz içerisinde fiziksel ve/veya kimyasal olarak farklı bir faz içeren ve birbirlerininkinden farklı özellikler gösteren malzemelerdir [21]. Diğer bir ifadeyle, kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin birbirlerinin özelliklerinin eş kombinasyonunu sağlaması için biraraya getirilmesinden meydana gelmektedir. Bu noktada bu tanım daha geneldir ve metal alaşımları, ahşap, mineraller ve plastik kopolimerler gibi malzemeleri de kapsamaktadır. Fiberlerle takviye edilmiş kompozitler ise bileşenleri oluşturan malzemelerin moleküler seviyede farklı olması ve mekanik olarak ayrılabilir olmasıyla yukarıdaki malzemelerden farklıdır. Bulk yapıda, bileşenler birlikte çalışır, fakat orijinal formlarını muhafaza ederler. Kompozit malzemelerin nihai özelliği bileşenlerinkinden farklıdır [22].

Tarihsel olarak, kompozit malzemeler değişik şekillerde yüzyıllardır kullanılmaktadır, örneğin saman takviyeli çamur tuğlalar, kağıt ve beton vb. Kemik ve ahşap ise doğal olarak meydana gelmiş kompozitlerdir [21]. Kompozit malzemeler teknolojik problemlerin çözümünde yıllardır kullanılmaktadır, fakat bu malzemeler sadece 1960'larda polimer matrisli kompozitlerin bulunmasıyla endüstrinin ilgisini çekmiştir. O zamandan beri, kompozit malzemeler yaygın bir mühendislik malzemesi haline gelmekte ve otomotiv parçaları, spor eşyaları, uzay gemisi parçaları, tüketici malzemeleri, petrol ve denizcilik endüstrisi gibi çeşitli uygulamalar için dizayn edilip, üretilmektedir [22]. Şekil 4.1' de kompozitlerin tarihsel gelişimi şematik olarak verilmektedir.

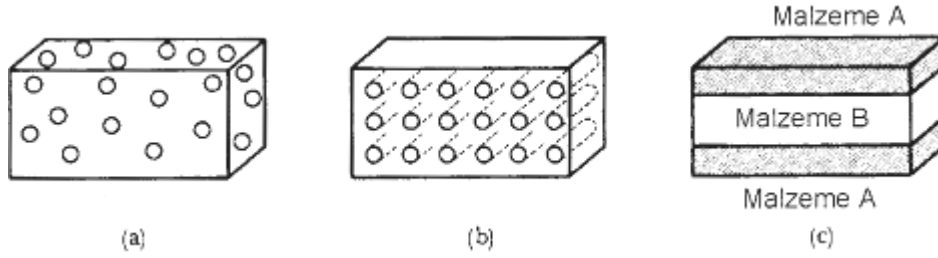


Şekil 4.1. Kompozitlerin tarihsel gelişimi [25].

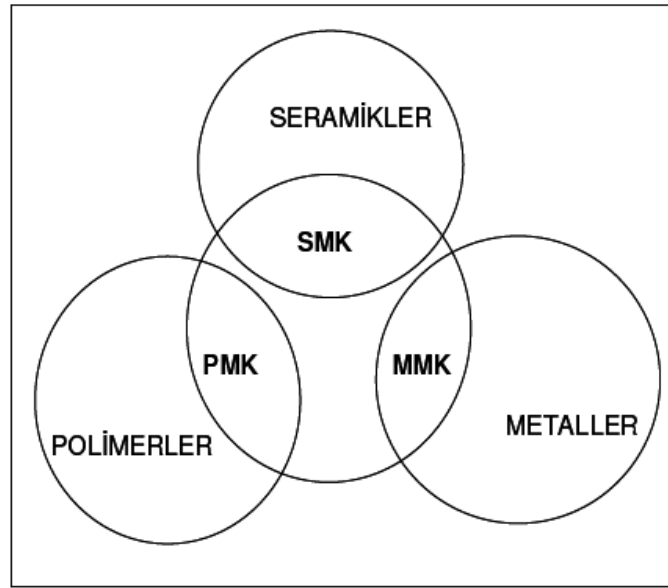
Temel olarak, kompozit malzeme matris içersine fiberlerin takviyesiyle oluşmaktadır. Takviye malzemeleri fiber, partikül veya wisker şeklinde olabilirken, matris malzemeleri de metal, polimer veya seramik olabilmektedir. Aynı şekilde takviye fazı da metal, seramik ve polimer olabilmektedir. Takviye edilen fiberlerde sürekli, uzun ve kısa fiber biçiminde olabilmektedir [22]. Kompozit malzemeyi oluşturan matris, yapı içindeki sürekli faz olup takviyeleri bir arada tutmaya yarar. Takviye ise matris içine gömülmüş süreksiz fazdır. Matris ve takviye malzemesi metal, plastik, seramik veya cam esaslı olabilir. Genel olarak kompozit malzemelerde matris sünek ve hafif malzemelerden; takviye malzemeleri ise sert ve dayanımı yüksek malzemelerden seçilir.

Kompozit malzemeler genellikle matris fazının fiziksel ve kimyasal özellikleri ele alınarak sınıflandırılmaktadır, örneğin; polimer-matris, metal-matris, seramik-matris gibi.

Buna ilaveten intermetalik-matriks ve karbon-matriksli kompozitler de sayılabilir. Diğer bir sınıflandırma ise matriksi takviye eden fazın geometrisine göre yapılabilir; sürekli fiber, kısa fiber, partikül veya whisker takviyeli kompozitler. Şekil 4.2' de takviye fazının morfolojisine göre kompozitlerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Kompozitlerin takviye fazının morfolojisine göre sınıflandırılması, a) partikül takviyeli, b) fiber takviyeli, c) tabakalı kompozit [23].



Şekil 4.3. Kompozit malzemelerin matriks malzemelerine göre sınıflandırılması [25].

Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar aşağıda gösterildiği gibidir.

- a) Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler
- b) Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler
- c) Metal Matrisli Kompozit (MMK) Malzemeler

#### 4.1.1. Polimer matriksli kompozitler

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Matriks olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genelde sürekli fiberlerle kullanılır. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyester ve epoksi reçine matrikslerdir.

Epoksi reçine matriksli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Polimer matriksli kompozit malzemelerin kullanıldığı ortamlarda göz önüne alınması gereken en önemli faktörler sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matriksli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matriksli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, telle sarmakese kalıplama işlemi, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve ısıl oluşum metodlarıdır. Polimerlerde kullanılan – takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir [20].

#### 4.1.2. Seramik matriksli kompozitler

Seramik malzemeler farklı bileşimlerde kristal ve cam yapılı fazları içermekte ve genellikle gözenek ihtiva etmektedir. Bu farklı yapı bileşenlerinin miktarı ve dağılımları seramik malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. İleri teknoloji seramikleri başlıca şunlardır;

- a) Oksitler; Alümina ( $Al_2O_3$ ), zirkonya ( $ZrO_2$ ), magnezya ( $MgO$ )
- b) Karbürler;  $SiC$ ,  $ZrC$ ,  $WC$
- c) Nitrürler;  $BN$ ,  $AlN$ ,  $TiN$ ,  $ZrN$
- d) Sülfürler;  $CdS$ ,  $ZnS$
- e) Silisitler;  $Mo_2Si$ ,  $WSi_2$
- f) Borürler;  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$

g) Diğerleri; Fosfürler (BP)

Seramik maddelerin tokluk ve kırılma dayanımı geliştirmede yapıyı bir destek malzemesi ile destekleme yani, seramik matrisli kompozit malzeme üretme en iyi yollardan biridir. Alümina, zirkonya gibi oksit seramiklerin oksitlenme problemleri yoktur, ancak bu seramiklerin sertlikleri de düşüktür. Bu nedenle yüksek dayanım gerektiren yapısal uygulamalarda yapıya tetragonal zirkonya eklenmelidir. Zirkonya ile desteklenmiş alümina seramikler, oda sıcaklığındaki mükemmel dayanımları, toklukları ve rezistansları nedeniyle; kesme aletleri, filtrelerde, protez malzemelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu üstün özellikler için zirkonyanın alümina faza % 100 temas etmesi gerekmektedir. Bu nedenle zirkonya oluşumu dikkatle takip edilmeli ve alümina matriksin içinde zirkonyanın homojen olarak dağılması sağlanmalıdır [24].

Metal matrisli kompozitler ise detaylı olarak ayrıca ele alınacaktır.

#### 4.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozitler özellikle yüksek spesifik mukavemet ( $\sigma/\rho$ ), spesifik modül ( $\sigma/E$ ) ve düşük yoğunluklarıyla ilgi çekici malzemelerdir. Kompozit malzemeler ayrıca metaller gibi geleneksel malzemelere karşı düşük yoğunlukları, artan korozyon ve sıcaklık yetenekleri gibi özellikleriyle birtakım avantajlar sunmaktadır [21]. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin şu özellikleri geliştirilebilmektedir.

- |                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| a- Dayanım          | f- Yorulma ömrü              |
| b- Korozyon direnci | g- Sıcaklığa bağlı davranışı |
| c- Aşınma direnci   | h- Isı yalıtımı              |
| d- Estetik özelliği | ı- Isıl iletkenlik           |
| e- Ağırlık          | j- Ses yalıtımı              |

Bu avantajların hepsini aynı anda gerçekleştirmek imkânsızdır. Uygun matriks /takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür.



Çünkü kompozit içerisinde matriks tarafından yükün takviye elemanına aktarılmasında matriks ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise çiftlerin uyumuna ve matriksin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matriks içerisinde homojen dağılımının da matriks alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur bunlar:

- a) Üretim güçlüğü,
- b) Pahalı olması,
- c) İşlenme problemi ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün eldesinin güçlüğü,
- d) Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- e) Kırılma uzayışının az oluşu.

### **4.3. Metal Matriksli Kompozitler**

Hafif, mukavemetli ve rijit malzemelere olan gereksinim metal matriksli kompozitlere olan ilgiyi artırmakta ve teknolojik gelişmelerle birlikte büyük ölçekte MMK kullanımı da artmaktadır. MMK'lerde alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar matriks malzemesi olarak kullanılırken, sürekli fiber, kısa fiber, wisker veya partikül şeklinde üretilen, örneğin bor, karbon, silisyum karbür ve alumina gibi seramikler veya çelik, tungsten gibi bazı teller takviye olarak kullanılmaktadır. MMK'lerde kompozit özellikleri, katkı ve matriks alaşımlarının özelliklerine ve mikro yapı özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlıdır.

Metal matriksli kompozitler, yüksek elastik modülü, yüksek akma ve çekme dayanımları gibi mekanik özellikleri yüksek sıcaklık şartlarında da korunurken, göreceli düşük yoğunluk ve ısı genleşme katsayısı, yüksek elektrik ve ısı iletimi gibi istenilen şekilde ayarlanabilen fiziksel özelliklerinin yanında mükemmel sürtünme davranışı ve aşınma direnci gibi tribolojik özellikleri ile sönümlenme yeteneği ve çevresel etkilere direnç gibi özgün niteliklere sahiptir.

MMK'lerin mekanik özelliklerini metal matriksin cinsi, takviye malzemesinin cinsi, boyutu, boyut dağılımı, miktarı, üniform dağılması, kompozitin üretim yöntemi ve işlem parametreleri, mikro yapı içinde oluşan fazlar, matriks ile katkının uyumluluğu, ek olarak termomekanik ve ısıl işleme tabi tutulması gibi birçok etken MMK'lerin özelliklerinin belirlenmesinde rol oynar. Sürekli fiber katkılı MMK'lerin çeşitli uygulama alanları ve bunlara uygun fiber, matriks malzemesi ve üretim metotları Tablo 4.1' de verilmiştir. Yüksek maliyetli sürekli fiber katkılı MMK'ler yüksek mukavemet ve ısı direnci gerektiren ancak maliyetin önemli olmadığı veya kaçınılmaz olarak katlanıldığı alanlarda (havacılık ve uzay endüstrisi ile enerji sektöründe özellikle nükleer santrallerde) uygulama olanağı bulmaktadır.

Tablo 4.1. Bazı metal matriksli kompozitlerin kullanım alanları [26].

<b>Kompozit Türü</b>	<b>Uygulama Alanları</b>	<b>Bazı Ayırt Edici Özellikleri</b>
Aluminyum- Grafit	Yataklar	Daha ucuz, daha hafif, kendi kendine yağlama. Cu. Pb. Su. Zn tasarrufu
Aluminyum- Grafit. Aluminyum- $\alpha$ - $Al_2O_3$ Aluminyum- SiC/ $Al_2O_3$ .	Otomobil pistonları, silindir gömlekleri, biyel kolları	Aşınma direnci, soğuk çalıştırma, daha hafif, yakıt tasarrufu, gelişmiş etkinlik
Bakır-Grafit	Kaymalı elektriksel kontaklar	Mükemmel iletkenlik, yapışmama özelliği
Aluminyum- SiC	Turboşarj pervaneleri	Yüksek sıcaklık kullanımı
Aluminyum- Cam veya Karbon mikrobalonları	Turboşarj pervaneleri	Ultra hafif malzemeler
Magnezyum-Karbon fiber	Uzay yapıları için boru şeklindeki kompozitler	Sıfır ısıl genleşme, yüksek sıcaklık mukavemeti, iyi özgül mukavemet ve modül
Aluminyum-Zirkon. Aluminyum - SiC. Aluminyum-silika	Kesici takımlar, makine örtüleri, pervaneler	Sert. abrasiv aşınma dirençli malzemeler
Aluminyum-Kömür. Aluminyum-Kıl	Düşük maliyetli ve düşük enerjili malzemeler	Sert. abrasiv aşınma dirençli malzemeler

Kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı tasarımlarında tercih edilmektedirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir.

Genellikle metal matriksli kompozit malzemelerin üretiminde Al, Mg, Zn, Cu, Ti ve Ni gibi malzemeler ve bunların alaşımları matriks olarak kullanılırken; silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, aluminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), wolfram (W) ve molibden (Mo) gibi değişik sürekli, kılcal kristalli veya parçacıklı elyaflar takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak matriks olarak yaygın bir şekilde kullanılan Al, Ti, Mg, Cu ve bunların alaşımlarıdır.

#### **4.3.1. Aluminyum ve aluminyum alaşımları**

Al ve aluminyum alaşımları MMK'ler içerisinde en fazla pazar payına sahip malzeme gruplarını teşkil etmektedir. Bunların etkin kullanım sebebi;

- a. Dayanım/özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- b. Elektrik iletkenliği/özgül ağırlığının yüksek olması,
- c. Atmosfere ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon direncine sahip bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Aluminyum matrisli kompozitler (AMK), literatürde; parçacık takviyeli, wisker veya süreksiz fiber takviyeli ve sürekli takviyeli aluminyum matriksli kompozitler olarak ele alınmaktadır.

Parçacık takviyeli MMK malzemelerin sürtünme davranışları hakkında da detaylı araştırmalar yapılmıştır. Özellikle otomobil motor pistonlarında, sürtünme katsayısının yüksek olmasının yakıt tüketimini artıracığı ifade edilmektedir.

Araştırmacıların büyük kısmı, metallere ilave edilen seramik parçacıklarının sürtünme katsayısını önemli ölçüde düşürdüğünü tespit ederken, çok az sayıdaki araştırmaçı bunun tersini savunmuştur [26].

#### 4.3.2. Magnezyum alaşımları

Magnezyum, Al' dan daha düşük özgül ağırlığa (1,74 g/cm<sup>3</sup>) sahip iken Al kadar mekanik özellikleri iyi değildir. Fakat özgül dayanımı daha iyidir. Döküm ve talaşlı imalatta oksijene karşı ilgisinin fazla olması, düşük elastik modülü, yorulma, sünme ve aşınma özellikleri düşük olduğundan az tercih edilirler. En önemli alaşım elementleri alüminyum ve çinko olup yaklaşık % 2,5-8 alüminyum % 0,5-4 civarında çinko katılır.

Magnezyum alaşımları iyi dökülebilir ya kum kalıp yada kokil dökümle üretilebilir ve sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcuttur. Magnezyum hegzagonal kafes yapısından dolayı kötü şekillenme özelliğine sahip ancak talaşlı imalatla şekillendirme diğer metallere göre daha iyidir. Sertleşme işlemi, katı çözelti, tane boyutu kontrolü, çökelme vs yaşlanma ile gerçekleştirilir. Alüminyumda olduğu gibi, magnezyumda da alaşım elementlerinin çözülebilirliği oldukça düşük olduğundan katı çözelti sertleşmesi sınırlıdır [20].

#### 4.3.3. Takviye elemanı ve özellikleri

Kompozit malzemedeki bileşenlerden biri "Takviye Edici" faz olarak tanımlanır. Matriks malzemesinin özelliklerini yükseltir ve iyileştirir. Genellikle takviye malzemeleri matriks malzemesinden daha sert, mukavemetli ve rijittir.

Kompozitlerin mekanik özellikleri takviye elemanlarının şekilleri ve boyutlarının bir fonksiyonudur. Fiberler ve partiküller olmak üzere iki temel takviye elemanı grubu bulunmaktadır Tablo 4.2' te metal matriksli kompozitlerde kullanılan bazı takviye malzemeleri ve özellikleri gösterilmektedir.

Partikül takviye elemanları malzeme içinde her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlara sahiptirler. Takviye elemanları küresel, kübik, düzlemsel, tek tip ve farklı tip geometrilere olabilir. Partiküllerin malzeme içerisindeki dizilişleri, rasgele veya yönlendirilmiş olabilmektedir.

Yönlendirilmiş partikül takviyesi ile belirli yönlerde güçlendirme, özel zorlanmalara karşı özel tasarımlar yapılabilirken, çok özellikli olmayan uygulamalar için rasgele dağılım söz konusu olabilmektedir.

Tablo 4.2. Kompozitlerde kullanılan önemli takviye elemanlarının özellikleri [26].

Fiber Tipi	Çap (µm)	Yogunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Elastikiyet Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)
Saffil (δ-alumina)	3	3300	300	2.0
FP (α-alumina)	20	3950	380	1.7
Silisyum karbür	13	3200	390	2.0
Boron	100-200	2600	390	3.4
SiC kaplı boron	100-200	2600	400	2.9
Y.modüllü karbon	8	1950	358	2.2
Y.dayanımlı karbon	6.8	1800	235	2.6

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MMK'ler, mukavemet ve rijitliğin iyi bir karışımına sahiptirler. Bununla birlikte basta sürekli fiber ve üretim maliyeti olmak üzere bu sistemlerin maliyeti oldukça yüksektir [26].

#### 4.4. Metal Matriksli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Partikül takviyeli metal matriksli kompozitlerin başlıca üretim yöntemleri şu şekilde gruplandırılabilir:

- a) Katı hal prosesi
  - I. Toz metalurjik (TM) yöntem
- b) Sıvı-hal prosesleri (Ergiyik metal yöntemleri)
  - I. Karıştırma

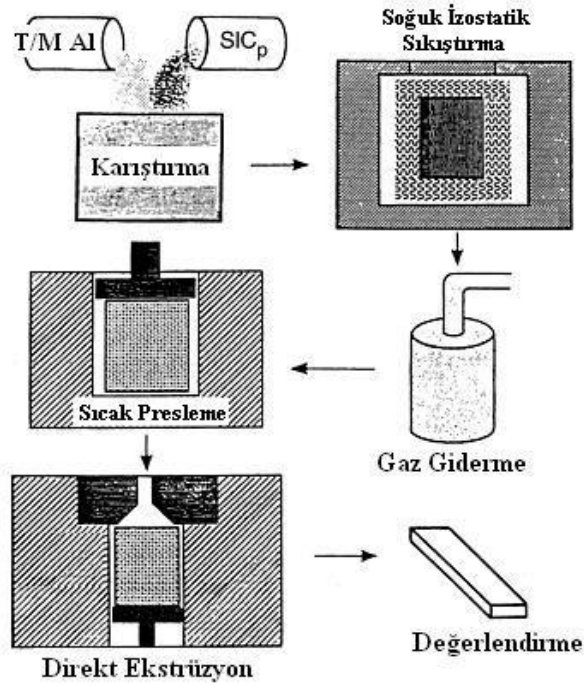
- II. Yarı-katı döküm
- III. Basınçlı-basınçsız infiltrasyon
- IV. Sprey çöktürme
- V. In-situ yöntemi

İlk zamanlar seramik partikülleri metalik ergiyik içinde birleştirmek için yapılan girişimlerin başarısı, metallerin seramik partikülleri ıslatmaması ve dolayısı ile partiküllerin ergiyik içinden sıyrılmaları nedeniyle sınırlanmıştır.

Genel olarak, ergimiş alüminyum, tipik döküm sıcaklıklarında ( $< 800$  °C) bir çok seramik partikülü ıslatmaz. Ergiyik metal yöntemleri, birtakım mekanik enerjilerin uygulanarak ıslatma açısı eksikliğinin üstesinden gelmek suretiyle ıslatma davranışını geliştirmektedirler[23]. Tez çalışmasında toz metalurjik yöntemler kullanıldığından daha çok toz metalurjik yöntem üzerinde durulacaktır.

#### **4.4.1. Toz metalurjik yöntem**

Toz metalurjik yöntemde, inert gaz ile atomize edilmiş metal-alaşımı ve takviye partikül kuru olarak karıştırıcı yardımıyla karıştırılır ve soğuk olarak sıkıştırılır. Gaz giderme işleminin ardından sıcak presleme ve talaşlı veya plastik şekil verme işlemleri uygulanır. Matris malzemesinin toz boyutu genellikle 20-40  $\mu\text{m}$  kadardır. Homojenitenin sağlanması açısından harmanlama işlemi önem arzeder. Metal tozları, hidrat oksitli film ile kaplı olabilirler. Sıkıştırma işlemi öncesi su moleküllerinin, sonuçta oluşacak gaz porozitesini ortadan kaldırmak için yapıdan uzaklaştırılması gerekir. Sıcak presleme ile kompozit % 95 yoğunluk değerinin üzerine çıkarılır. Sıvı faz sinterlemesinde yoğunlaştırmanın kinetiği daha yüksektir. Ancak bu durum, partikül ile metal arayüzeyinde daha fazla istenmeyen intermetalik reaksiyonların oluşması nedeniyle bir dezavantajdır. Sıvı faz sinterlemesi ayrıca hızlı katılaştırma faz partiküllerinin mikroyapısını da bozarak ergiyik bölgelerde kaba ötektik intermetalik fazlar oluşturabilir.



Şekil 4.4. Toz metalurjik yöntemde üretim aşamaları [23].

Şekil 4.4' te Al-SiC<sub>p</sub> kompozitinin toz metalurjik yöntem ile üretiminin işlem kademeleri şematik olarak verilmiştir.

Toz metalurjik yöntemin sağladığı başlıca avantajlar şu şekilde verilebilir:

- Herhangi bir metal alaşımı matriks malzemesi olarak kullanılabilir
- Herhangi bir takviye kullanılabilir
- Sonuçta yüksek hacim oranlı kompozit üretilebilir.

TM yöntemde hızlı katılaştan dengesiz alaşımlar matriks malzemesi olarak kullanılabilir. Bu durum özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacak kompozitler bakımından önemlidir. Katı hal işlemi ile takviye matriks arasındaki reaksiyonlar en aza indirildiğinden herhangi bir takviye kullanılabilir.

Yüksek hacim oranlı kompozitlerin üretilmesiyle malzemenin elastiklik modülü yükselir ve kompozitin ısıl genleşme katsayısını düşürür. Toz metalurjik yöntemde başlıca dezavantaj; tozların reaktif olabileceği ve bu durumun patlama riski

doğuracaktır. Ayrıca yöntemin aşamaları kompleks, ürün formu ve şekli sınırlı ve üretimi pahalıdır [23].



## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Günümüzde elektriksel iletkenliğin yanında özellikle yüksek sıcaklıklarda da sertliğini koruyabilen malzemeler geliştirilmesinde sert bakır alaşımlarının yetersiz kalması sonucu bakır bir matriks içerisine ince sert seramik partiküllerin takviyesi ile kompozit malzeme elde etme yoluna gidilmektedir. Bu çalışma kapsamında iki farklı partikül boyutuna sahip (10 ve 40  $\mu\text{m}$ ) hazır bakır tozlarına ağırlıkça farklı oranlarda, %1, 3, 5 ve 7 ve 0.3  $\mu\text{m}$  partikül boyutunda alumina tozları takviye edilerek Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozitler üç farklı sıcaklıkta, sırasıyla 875, 925 ve 975 °C, 2 saat süre ile sinterlenmiş ve takiben sıcak presleme ile tam yoğunluk sağlanması amaçlanarak üretilmiştir.

Çalışmada, Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin özelliklerine (mekanik, mikroyapı ve elektriksel özellikler) matriks olarak kullanılan bakırın başlangıç toz boyutu, takviye miktarının oranı ve sinterleme sıcaklığının etkisinin incelenmesi ve bu doğrultuda optimum sertlik-elektriksel iletkenlik değerlerine sahip kompozitlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

### **5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler**

Çalışmada, matriks malzemesi olarak 10  $\mu\text{m}$  (Merck, %99.9 safiyette) ve 40  $\mu\text{m}$  (Alfa-Aesar, %99 safiyette) partikül boyutunda hazır Cu tozları ve takviye malzemesi olarak da 0.3  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip Alümina tozları (Struers) kullanılmıştır. Sinterleme sırasında bakırın oksitlenmesini engellemek amacı ile grafit tozlarından yararlanılmıştır.

### 5.3. Çalışmada Kullanılan Cihazlar

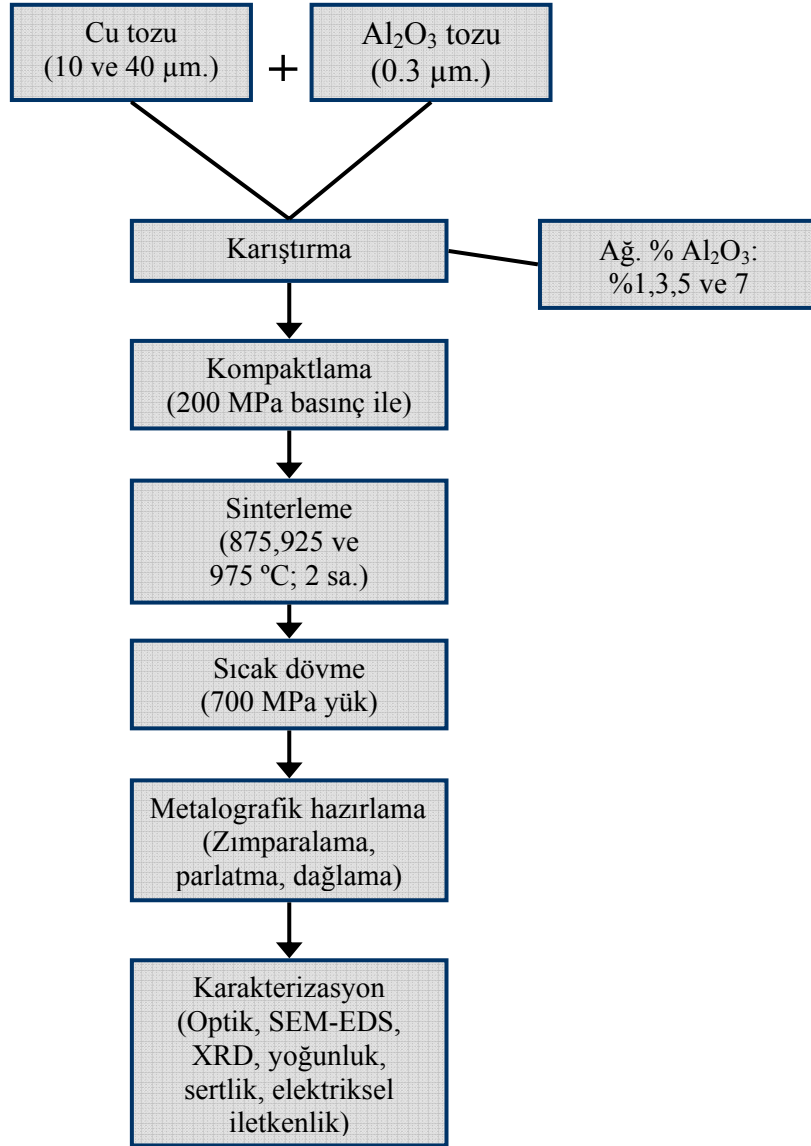
Deneysel çalışmalarda sırasıyla şu cihazlar kullanılmıştır:

- a) Toz karışımlarının kompaktlanmasında: Dartec marka çekme cihazı
- b) Kompaktların sinterlenmesinde: Protherm marka (max. 1200 °C) sinteleme fırını
- c) Kompozitlerin metalografik olarak hazırlanmasında: Metkon marka zımparalama ve parlatma cihazı
- d) Yoğunluk ölçümlerinde: GecAway marka hassas terazi ve Archimed yoğunluk ölçüm ekipmanı
- e) Elektriksel iletkenlik ölçümlerinde: Sigmatest 2.8-D marka elektriksel iletkenlik ölçüm cihazı
- f) Mikrosertlik değerlerinin ölçümlerinde: Leica WMHT Mod marka optik mikroskop destekli sertlik ölçüm cihazı
- g) SEM-EDS çalışmalarında: Jeol JSM 6060-LV marka EDS destekli SEM cihazı
- h) XRD analizlerinde: Rigaku X-Ray Diffractometer cihazı.

### 5.4. Deneysel Prosedür

#### 5.4.1. Numunelerin hazırlanması

Numunelerin hazırlanmasında izlenen yol Şekil 5.1' de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmada izlenen yolun şematik olarak gösterimi

Şekil 5.1' de gösterildiği gibi, toz boyutları 10 ve 40 mikron olan Cu tozu ile 0.3 mikron partikül boyutlu alumina tozu kullanılarak aşağıdaki bileşimlere sahip, ağırlıkça, %;

100 Cu

99 Cu-1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

97 Cu-3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

95 Cu-5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

93 Cu-7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

şeklinde beş farklı toz karışımı hazırlanmıştır.

Hazırlanan toz karışımları tek yönlü hidrolik preste 200 MPa basınç altında kompaktlanarak, açık atmosferli fırında 875, 925 ve 975°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta 2 saat süre ile grafit tozuna gömülü olarak sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrası tüm numuneler 700 MPa yük uygulanarak sıcak olarak dövülmüştür.

Elde edilen numuneler metalografik olarak hazırlanarak, Şekil 5.1' de gösterilen karakterizasyon işlemlerine hazır hale getirilmiştir.

#### **5.4.2. Karakterizasyon**

##### **5.4.2.1. Metalografik inceleme**

Farklı sıcaklık ve 2 saat süre ile sinterlenen kompozit test numuneleri 120' den 800' e kadar kaba parlatma işlemine tabi tutulmuş, daha sonra 0.3 mikronluk alümina pasta ile ince olarak parlatılmıştır. Parlatma işlemini takiben kompozit test numuneleri % 30 HNO<sub>3</sub> + % 70 saf su çözeltisi ile dağlanmış ve elde edilen mikroyapılar optik mikroskop ile incelenmiştir.

##### **5.4.2.2. SEM-EDS incelemeleri**

Metalografik olarak hazırlanmış numunelerde mevcut bileşenleri detaylı olarak ortaya çıkarmak amacıyla SEM-EDS incelemeleri yapılmıştır.

##### **5.4.2.3. XRD incelemeleri**

Sırasıyla 875, 925 ve 975 °C sıcaklıklarda 2 saat süreyle sinterlenmiş numunelerde mevcut fazları belirlemek amacıyla x-ışınları analizleri yapılmıştır.

##### **5.4.2.4. Sertlik ve relatif yoğunluk**

Bu çalışmada üretilen test malzemelerinin relatif yoğunlukları Archimed Prensibi' ne göre, mikrosertlikleri ise Vickers indentasyon tekniğiyle ölçülmüştür.

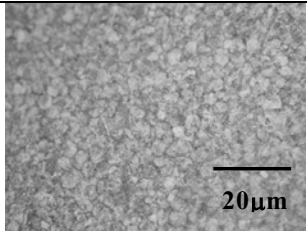
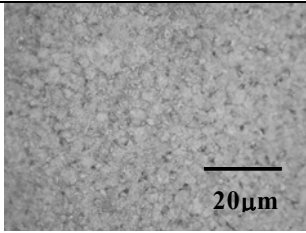
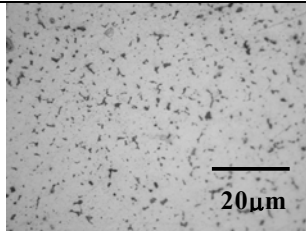
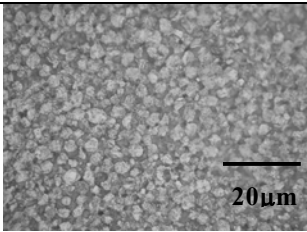
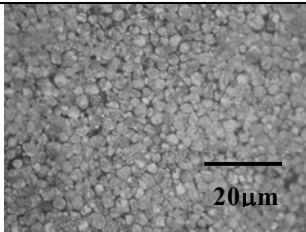
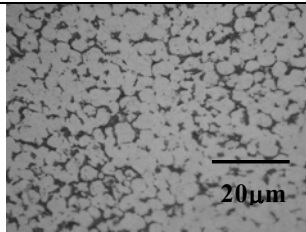
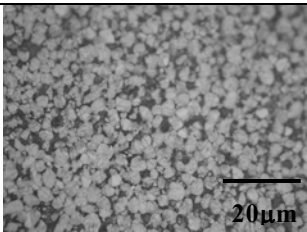
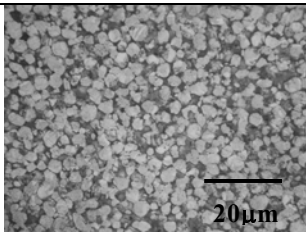
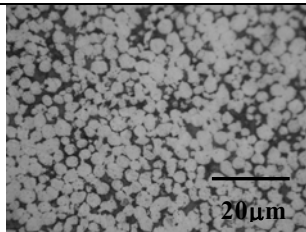
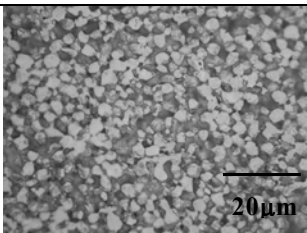
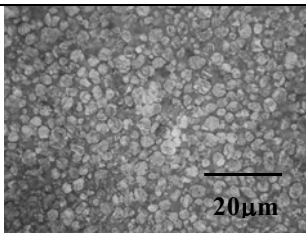
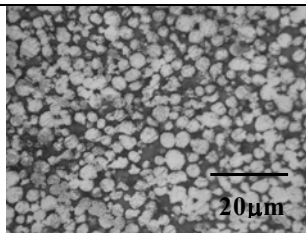
#### **5.4.2.5. Elektriksel iletkenlik ölçümü**

Elde edilen test malzemelerinin elektriksel iletkenliği Sigmatest 2.8-D cihazında numunelerin yüzeyine probun teması ile ve standart Cu numune ile karşılaştırmalı olarak (% IACS: International Annealed Copper Standard) ölçülmüştür.

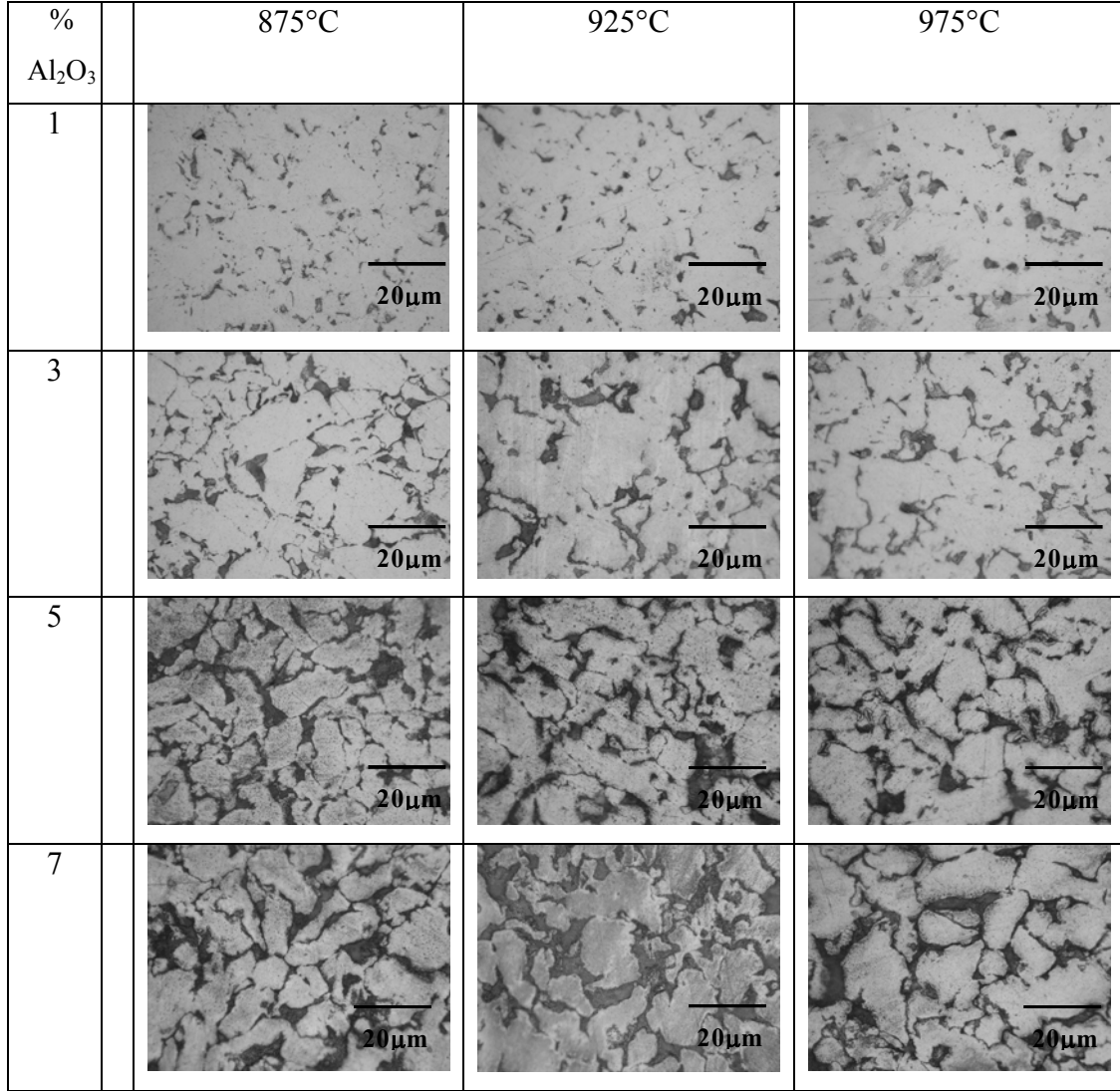
## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

### 6.1. Mikroyapı İncelemeleri

Metalografik olarak incelenen numunelere ait optik mikroyapılar Şekil 6.1 ve 6.2’ de gösterilmiştir.

% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	875°C	925°C	975°C
1			
3			
5			
7			

Şekil 6.1. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 μm)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin optik mikrografları

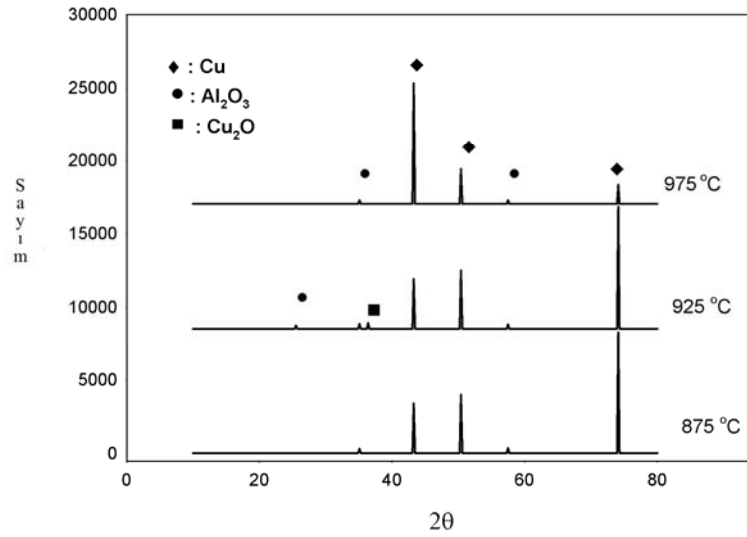


Şekil 6.2. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 μm)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin optik mikrografları

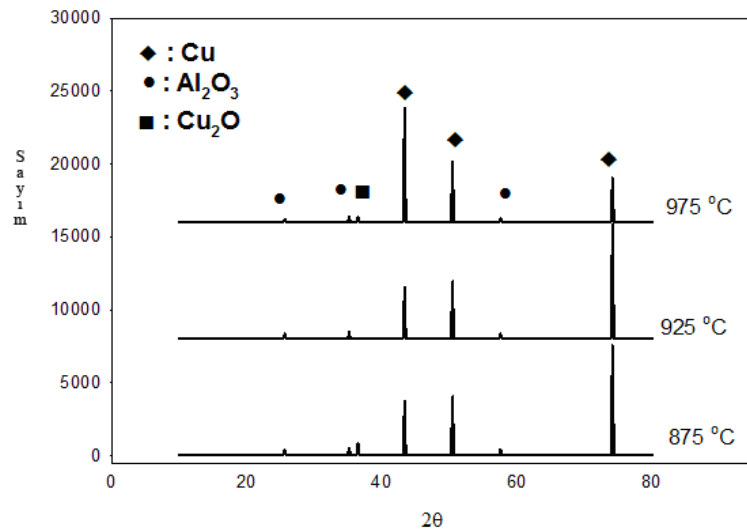
Optik mikroyapılarda görüldüğü gibi, üretilen Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinde açık alanlar bakır, daha koyu ve siyah alanlar ise takviye fazı olan alüminayı göstermektedir. Bunun yanında, takviye bileşeni olarak kullanılan seramik karakterli alumina partiküllerinin matris bakır partikülleri arasında nispeten homojen bir şekilde disperse oldukları görülmektedir. Ancak, bu homojenite 10 μm matris tane boyutuna sahip kompozitlerde daha belirgin gözükmemektedir (Şekil 6.1). Şekil 6.2’deki kompozitlerde ise, bakır morfolojisi küresel formdan uzak, tane boyut dağılımı daha az homojen olan bir yapı göstermekte, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının ise tane sınırlarında biraz daha dağınık yerleştiği görülmektedir. Ancak belirli bir üniform dağılım vardır.

## 6.2. XRD İncelemeleri

Test numunelerindeki mevcut fazları tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen XRD çalışmalarına ait sonuçlar her üç sinterleme sıcaklığı için Şekil 6.3-6.6' da verilmiştir.

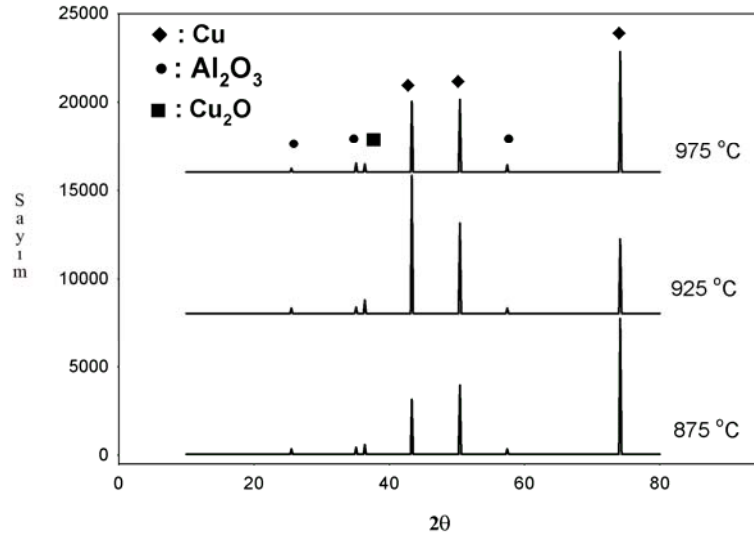


Şekil 6.3. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (10 µm)-ağ.%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri

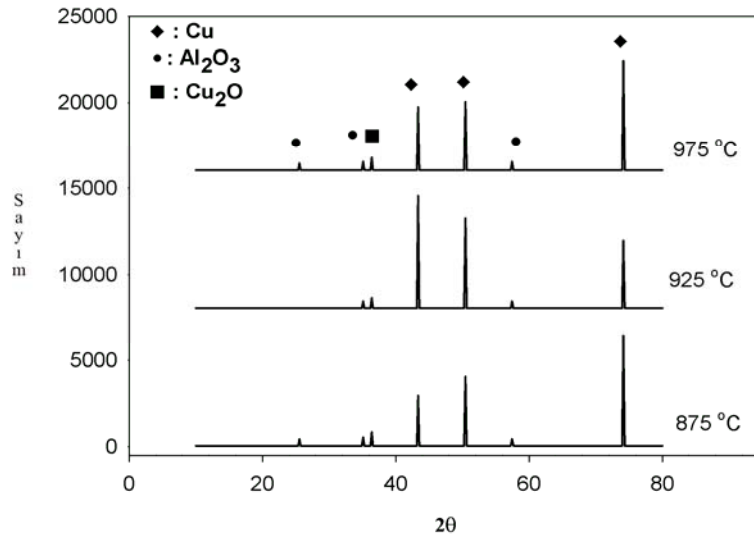


Şekil 6.4. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (10 µm)-ağ.%7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri





Şekil 6.5. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (40 μm)-ağ.%5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri



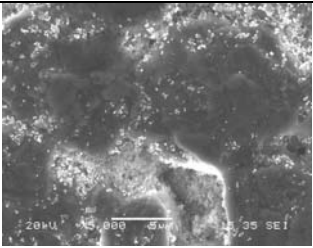
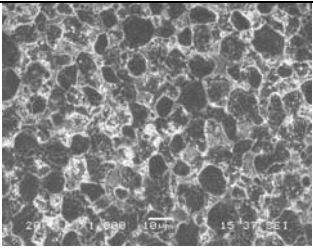
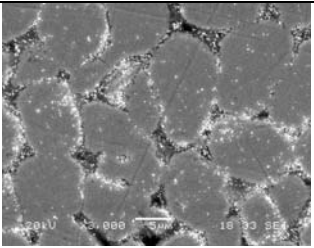
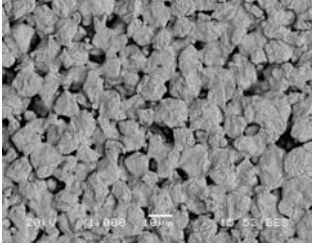
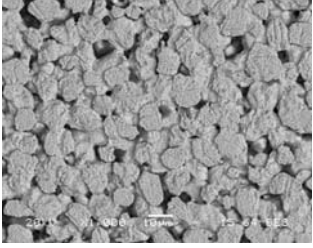
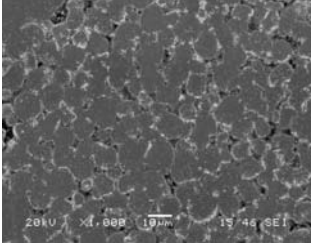
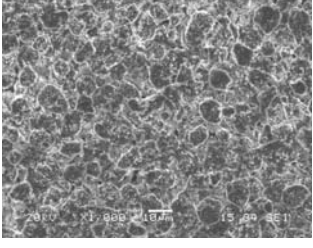
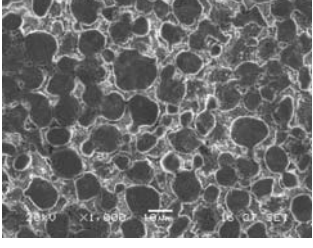
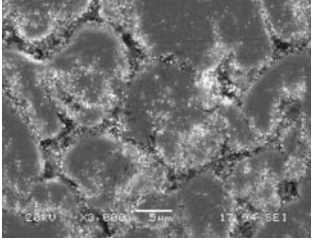
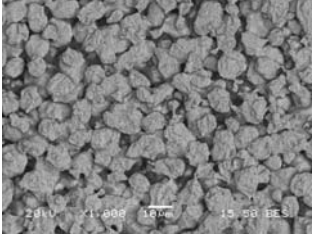
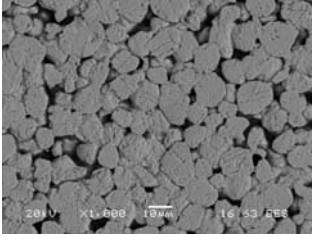
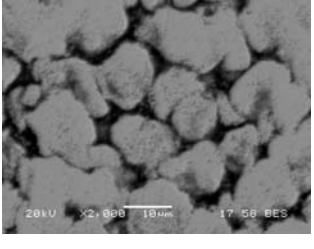
Şekil 6.6. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş Cu (40 μm)-ağ.%7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit numunelere ait XRD paternleri

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi, tüm numuneler Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşenlerinden meydana gelmektedir. Bunların yanı sıra, sinterleme sırasında bakırın oksitlenmesiyle meydana gelen bakır-oksit (Cu<sub>2</sub>O) fazı eser miktardadır. Test numunelerin tümünde, sinterleme sıcaklığındaki artışın bakır-oksit oluşumuna belirgin bir etkisinin olmadığı XRD paternlerinden gözlenebilmektedir.

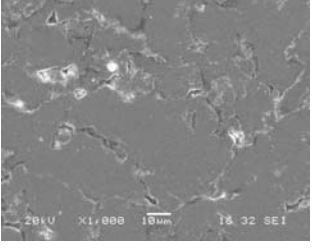
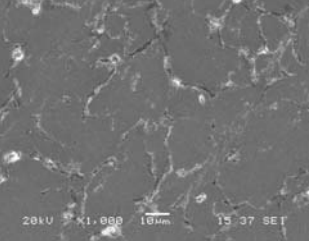
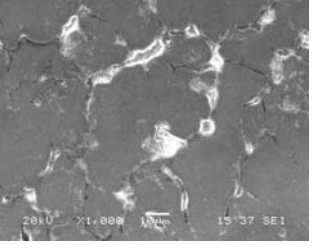
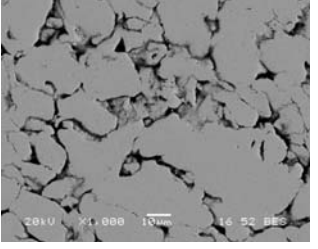
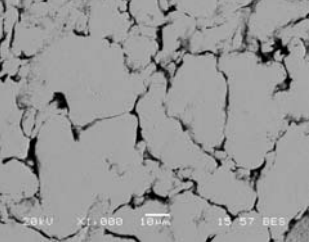
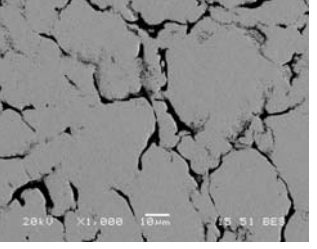
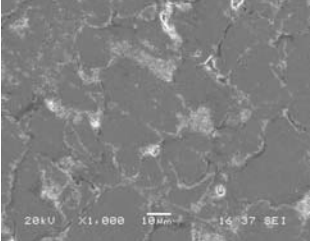
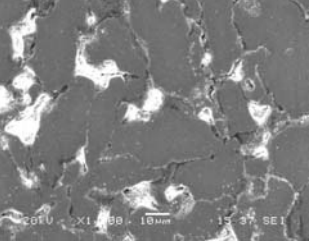
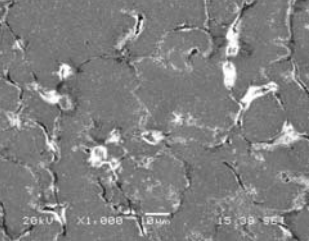
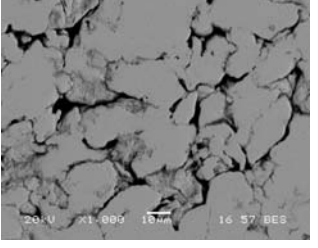
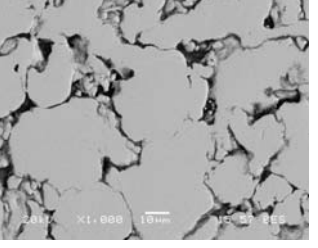
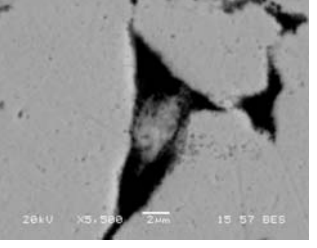
### 6.3. SEM-EDS Analizleri

Sırasıyla, 875, 925 ve 975 °C' de 2 saat sinterlenmiş numunelere ait SEM mikrografları Şekil 6.7-6.8' de verilmiştir. Aynı numuneler üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDS analizleri ise Şekil 6.9-6.12' de gösterilmiştir.

Şekil 6.7 ve 6.8' de, SEI (ikincil elektron image)' de Cu matris siyah ve gri, takviye bileşeni ise daha açık renklere; BES (geri saçılımlı elektron image) modunda ise bakır matriks ve takviye fazı tam tersi kontrastlarda görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, takviye bileşeni olan  $Al_2O_3$  partikülleri matriks içerisinde nispeten homojen olarak bakır tane sınırlarında yer almaktadır. Bununla birlikte, optik mikrograflarda olduğu gibi, 40  $\mu m$  matriks tane boyutuna sahip kompozitlerde bakır tane boyut dağılımı ve morfolojisi daha az üniformdur. Dolayısıyla, takviye partiküllerinin matriks etrafında nispeten daha az homojen olarak yer aldıkları görülmektedir. Bu durum optik mikrograflarla uyum içerisindedir. Sinterleme sıcaklıklarındaki artışın numunelerin iç yapısına belirgin bir etkisi gözlenmemektedir.

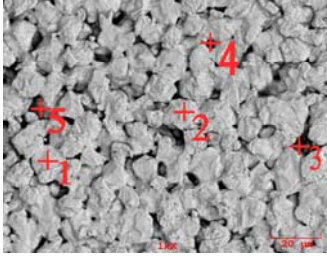
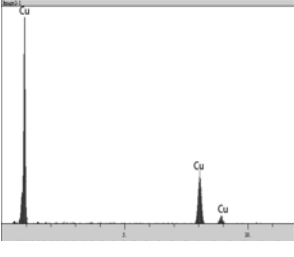
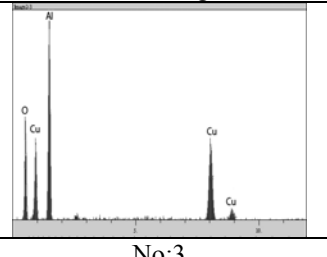
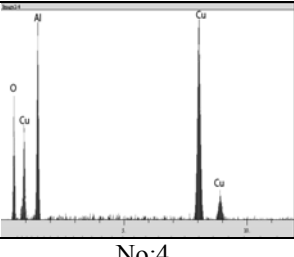
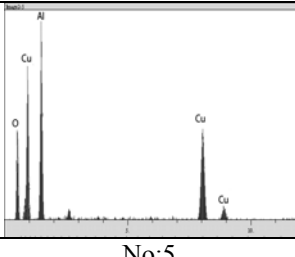
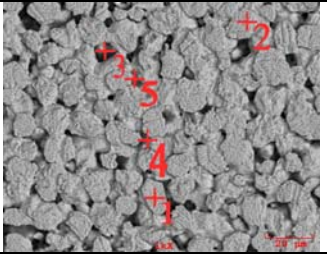
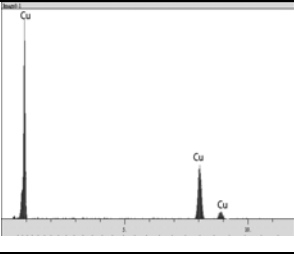
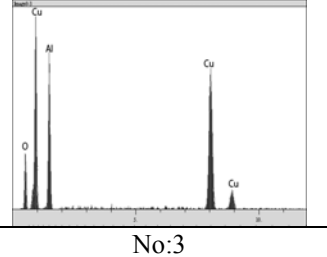
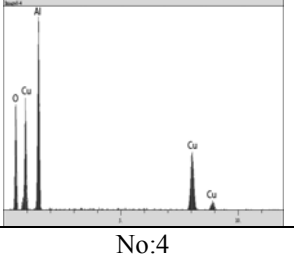
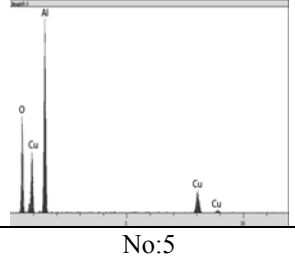
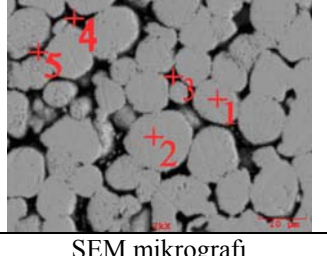
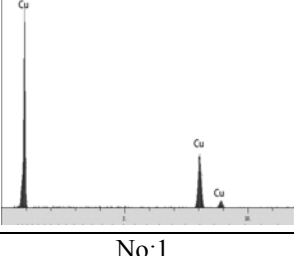
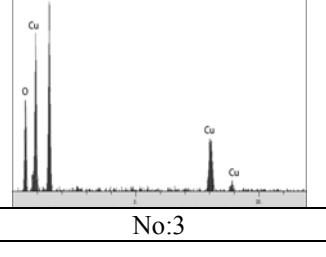
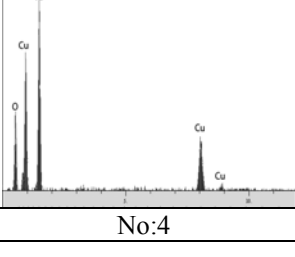
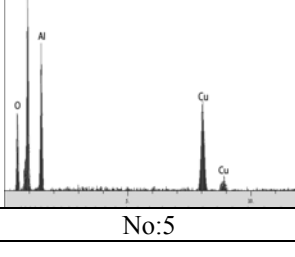
Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
5			
	SEI, 5000X	SEI, 1000X	BES, 5000X
			
BES, 1000X	BES, 1000X	BES, 1000X	
7			
	SEI, 1000X	SEI, 1000X	SEI, 5000X
			
BES, 1000X	BES, 1000X	BES, 2000X	

Şekil 6.7. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 μm)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM mikrografları

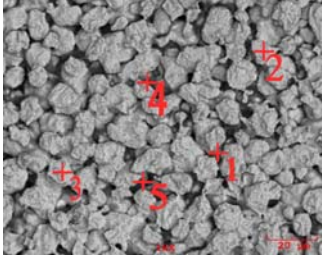
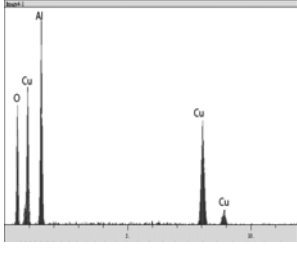
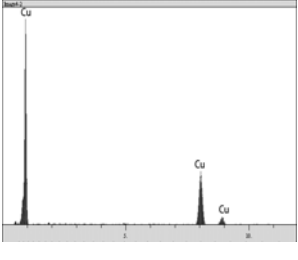
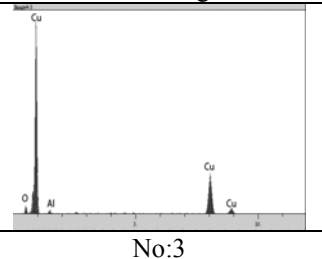
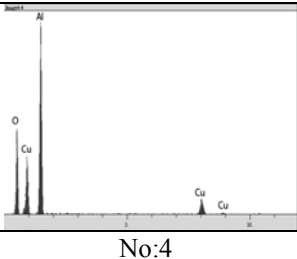
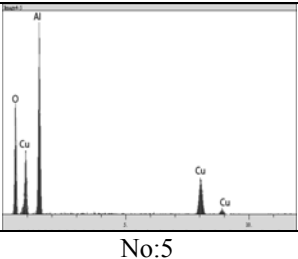
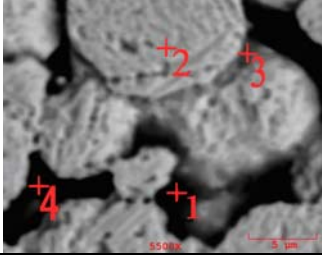
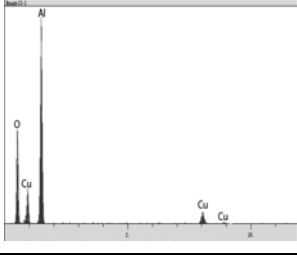
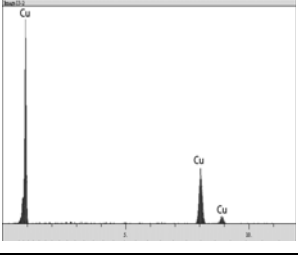
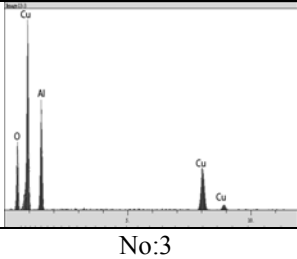
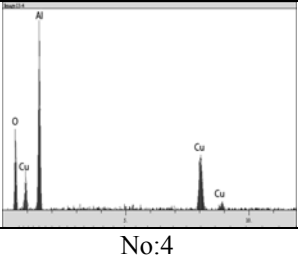
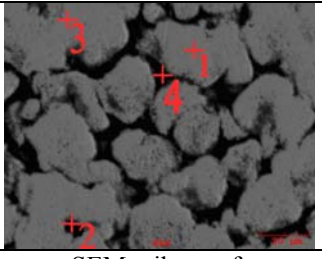
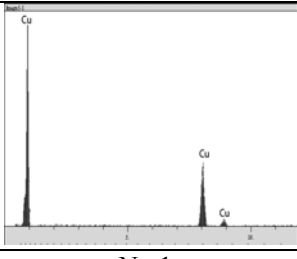
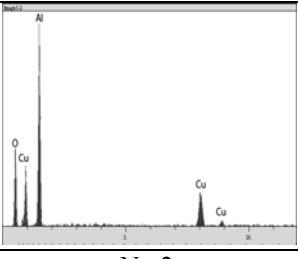
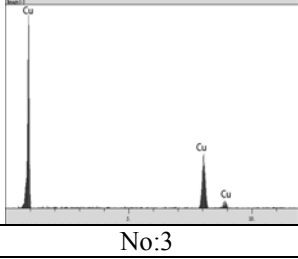
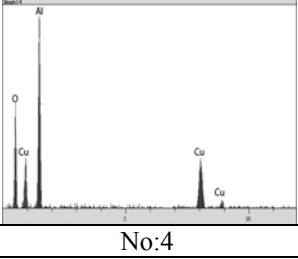
Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
5			
	SEI, 1000X	SEI, 1000X	SEI, 1000X
			
	BES, 1000X	BES, 1000X	BES, 1000X
7			
	SEI, 1000X	SEI, 1000X	SEI, 1000X
			
	BES, 1000X	BES, 1000X	BES, 5500X

Şekil 6.8. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 μm)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM mikrografları

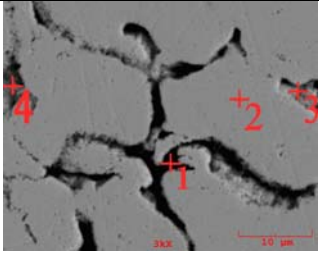
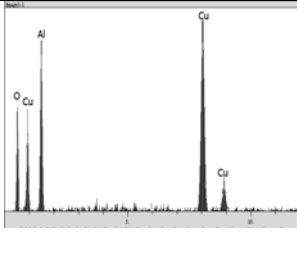
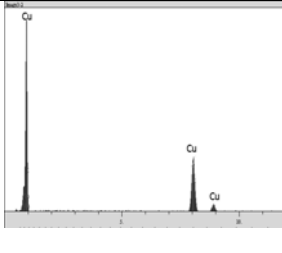
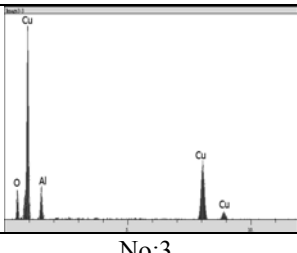
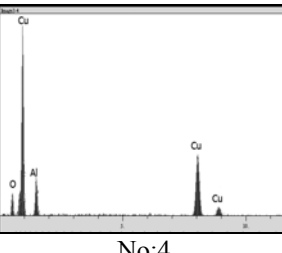
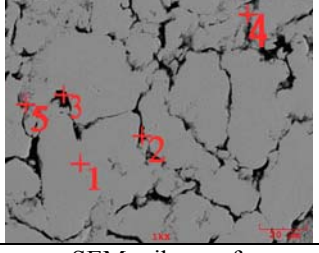
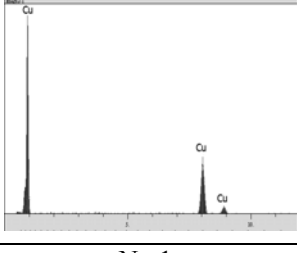
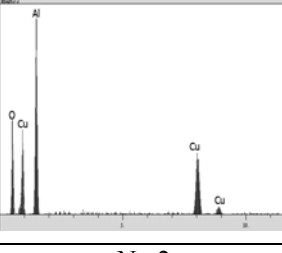
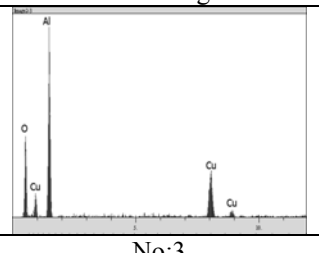
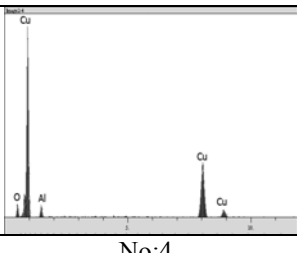
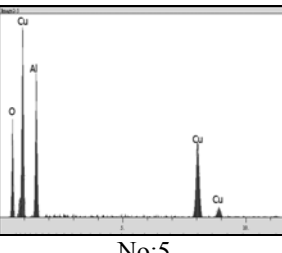
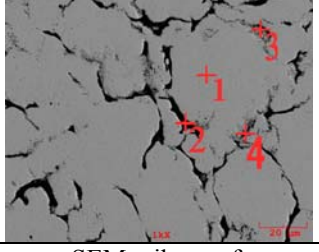
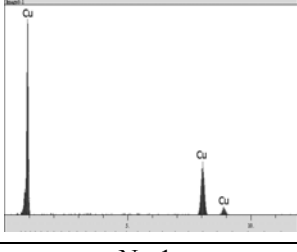
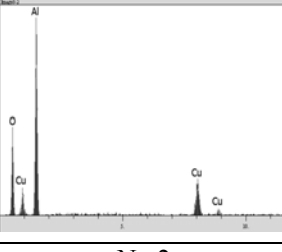
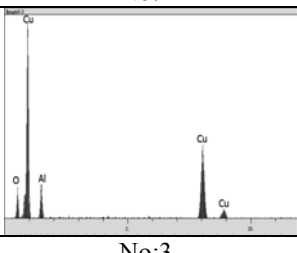
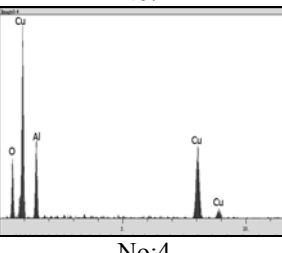
Şekil 6.9-6.12' den de görülebildiği gibi, test numunelerine ait SEM (BES) alınan SEM-noktasal EDS analizlerinde açık alanların Cu, koyu alanların ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim, EDS analizlerinde Cu, Al ve O dışında başka bir elemente rastlanılmamıştır ve oksijenin aluminadan ileri geldiği söylenebilir. Ayrıca, açık renkli bakır tanelerinin etrafındaki koyu alanların Al ve O ihtiva etmesi aluminanın tane sınırlarında yerleşmiş olduğunun bir göstergesidir. Buna mukabil, tane sınırlarından elde edilen oksijen piklerinin bir kısmının da XRD paternlerinde bazı numunelerde görülen az miktarda Cu<sub>2</sub>O fazına ait olabileceği de kuvvetle muhtemeldir. Ayrıca, bu durum bakır-oksit fazının bakır tanelerinin tane sınır yüzeylerinde oluşmuş olabileceği ihtimalini de güçlendirmektedir (Şekil 6.9-6.12' de bakır taneleri üstünde oksijene rastlanmamıştır). Elde edilen sonuçlar SEM ve optik mikroyapılar ile XRD analizlerini doğrular niteliktedir.

Sıcaklık (°C)	Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5		
	875		
SEM mikrografi		No:1	No:2
			
No:3		No:4	No:5
925			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
	No:3	No:4	No:5
	975		
SEM mikrografi		No:1	No:2
			
No:3		No:4	No:5

Şekil 6.9. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 μm) - %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri

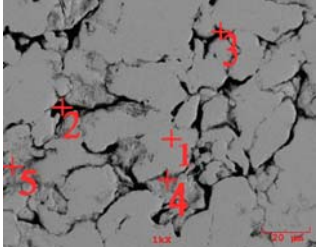
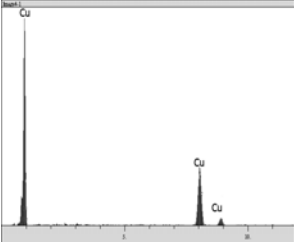
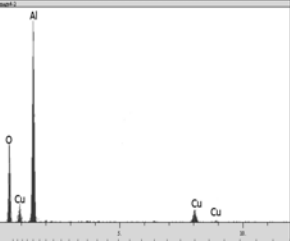
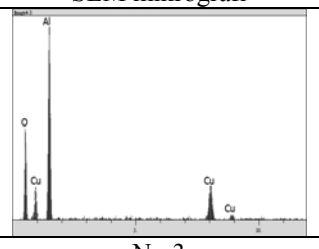
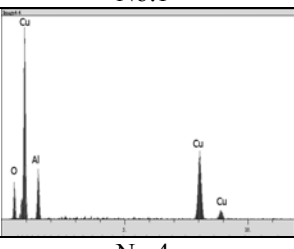
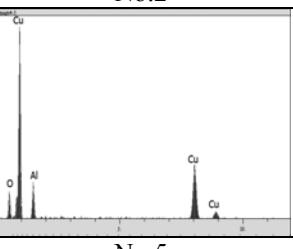
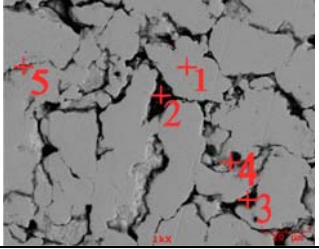
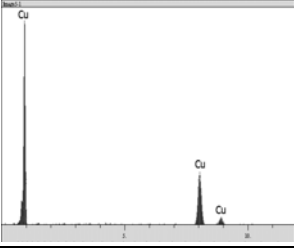
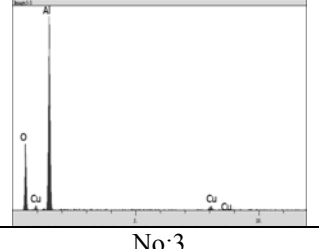
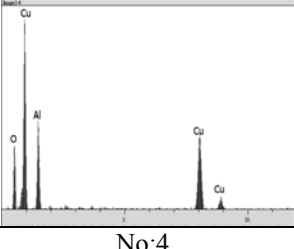
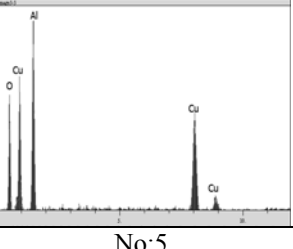
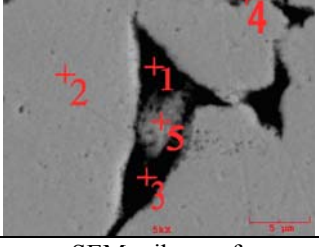
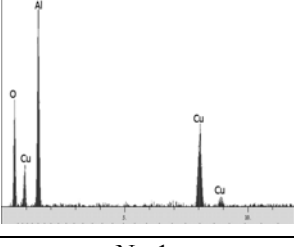
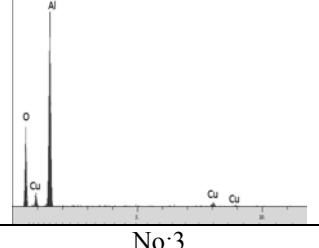
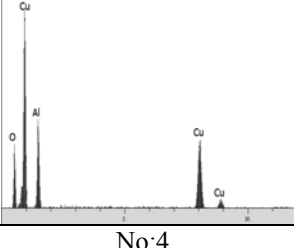
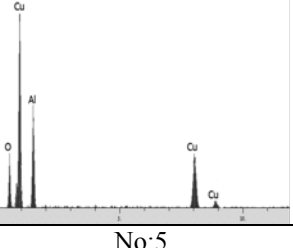
Sıcaklık (°C)	Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	7		
875			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
	No:3	No:4	No:5
925			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
		No:3	No:4
975			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
		No:3	No:4

Şekil 6.10. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (10 μm) - %7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri

Sıcaklık (°C)	Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	5		
875			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
		No:3	No:4
925			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
		No:3	No:5
975			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
		No:3	No:4

Şekil 6.11. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 μm) - %5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri



Sıcaklık (°C)	Ağ. % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	7		
875			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
	No:3	No:4	No:5
	925		
SEM mikrografi		No:1	No:2
			
No:3		No:4	No:5
975			
	SEM mikrografi	No:1	No:2
			
	No:3	No:4	No:5

Şekil 6.12. 2 saat süre ile farklı sıcaklıklarda sinterlenen Cu (40 μm) - %7 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin SEM-noktasal EDS analizleri

#### 6.4. Relatif Yoğunluk

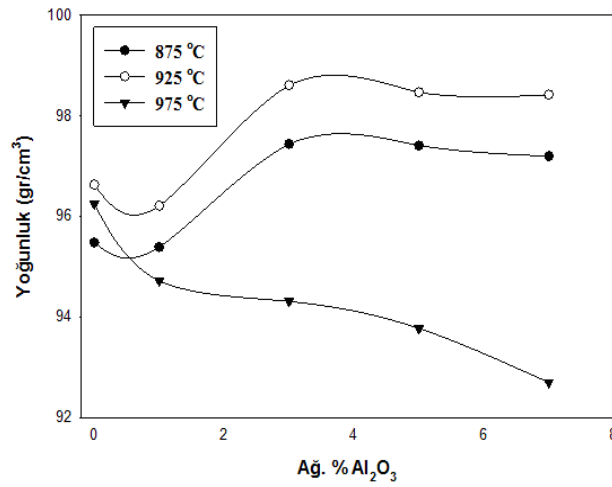
Test numunelerine ait Archimed metoduyla ölçülen relatif yoğunluklar, saf bakırla birlikte Tablo 6.1 ve 6.2’ de verilmiştir.

Tablo 6.1. Cu (10 µm. toz boyutlu)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (10 µm.) relatif yoğunluk değerleri

Cu-ağ.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	Relatif Yoğunluk (%)		
0	95.48	96.63	96.25
1	95.39	96.21	94.72
3	97.44	98.61	94.31
5	97.41	98.47	93.77
7	97.20	98.42	92.70

Tablo 6.1’ ye bakıldığında, numunelerin relatif yoğunlukları üzerinde matriks tane boyutu, sinterleme sıcaklığı ve takviye miktarının belirgin bir etkisi görülmemekle birlikte, relatif yoğunluk değerleri genel olarak % 95’ in bile üzerindedir. Saf bakırın yoğunluğu, ağ. % 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile azalmakta iken , daha fazla takviye ilavesi ile artmaktadır.

Tablo 6.1’ de sunulan veriler grafiksel olarak Şekil 6.13’ de gösterilmiştir. Şekil 6.13’ e bakıldığında, relatif yoğunlukların takviye miktarına bağlı olarak doğru orantılı olarak azalmadığı görülmektedir. Sadece 975 °C’ de sinterlenen numunenin yoğunluğu takviye miktarının artmasıyla orantılı olarak düşmektedir. Dolayısıyla, takviye miktarının kompozitlerin relatif yoğunlukları üzerine sabit bir etkisi yoktur.



Şekil 6.13. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10 µm)-ağ. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak relatif yoğunluk değişimi

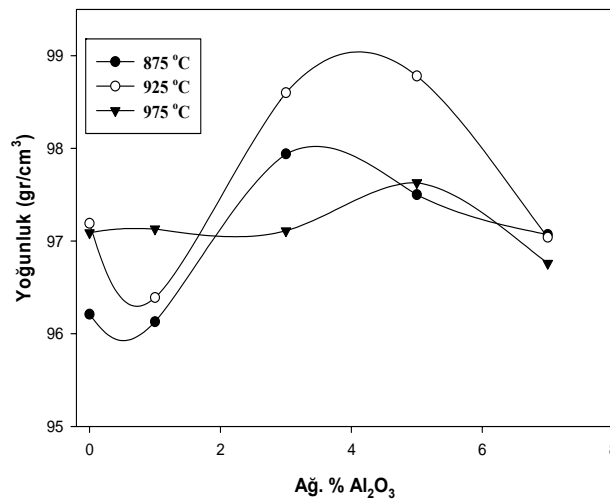
Tablo 6.2. Cu (40 µm. toz boyutlu)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (40 µm.) relatif yoğunluk değerleri

Cu-ağ.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	Relatif Yoğunluk (%)		
0	96.21	97.19	97.09
1	96.13	96.39	97.13
3	97.94	98.60	97.11
5	97.50	98.78	97.63
7	97.07	97.04	96.76

Tablo 6.2' ye bakıldığında ise, numunelerin relatif yoğunlukları üzerinde matriks tane boyutu, sinterleme sıcaklığı ve takviye miktarının belirgin bir etkisi görülmemekte ve bu bakımdan elde edilen sonuçlar Tablo 6.1 ile benzerdir. Genelde, saf bakırın içerisine daha düşük yoğunluklu bir faz ilave edildiğinde yoğunluğun takviye miktarına göre azalması beklenir. Burada ise, ağ. % 1 takviye miktarından sonra artmakta ve ağ. % 3 ve üstündeki takviye miktarlarında ise hemen hemen sabit kalmaktadır. Bunun tek istisnası 975 °C' de 2 saat sinterlenen 10 µm. matriks tane boyutlu kompozitlerde görülmektedir.

Şekil 6.14' de ise, Tablo 6.2' de verilen değerler grafiksel olarak ifade edilmiştir. Şekil 6.14' e bakıldığında, 40 µm. matriks tane boyutuna sahip kompozitlerde de

takviye miktarının relatif yoğunluk üzerine sabit ve doğru orantılı bir etkisi yoktur. 925 °C’ de sinterlenen kompozitlerin relatif yoğunluk değeri önce ağı. %1’ e kadar azalmakta, daha sonra yeniden yükselmekte ve ağı. % 5 takviye miktarından sonra ise yeniden azalmaktadır. Şekil 6.13 ve 6.14’ ten, ağı. % 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren ve özellikle 875 ve 925 °C’ de sinterlenen kompozitlerde optimum relatif yoğunluk değerlerine ulaşıldığı da görülmektedir.



Şekil 6.14. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40 µm)- ağı. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak relatif yoğunluk değişimi

## 6.5. Mikrosertlik

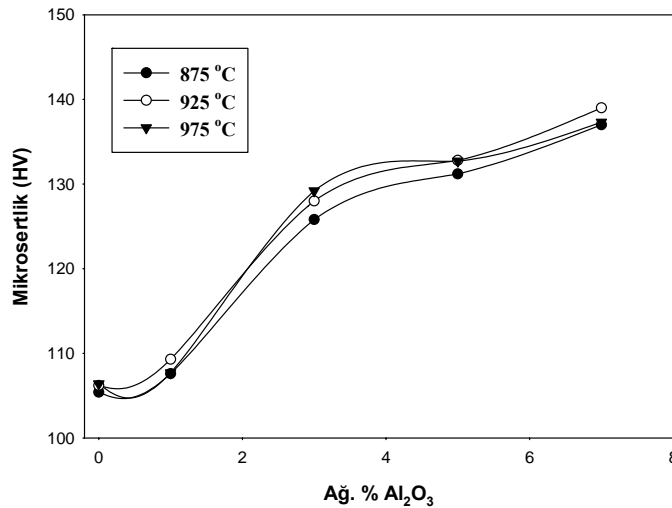
Vickers sertlik metoduyla ölçülen test numunelerine, saf bakırla birlikte, ait mikrosertlik değerleri Tablo 6.3 ve 6.4’ de verilmektedir. Mikrosertlik ölçümlerinde indenterin Cu ve alüminayı nispeten homojen kapsamasına dikkat edilmiştir.

Tablo 6.3. Cu (10 µm. tane boyutlu)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (10 µm.) mikrosertlik değerleri

Cu-ağı.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	Mikro-sertlik (HV)		
0	105.4	106.2	106.4
1	107.6	109.3	107.7
3	125.8	128	129.2
5	131.2	132.8	132.7
7	137	139	137.3

Tablo 6.3' den görüldüğü gibi, takviye miktarının ve matriks tane boyutunun artışıyla kompozit numunelerin sertlikleri artmıştır. Bununla birlikte, sinterleme sıcaklığının 925 °C' ye artması sertlikleri arttırsa da, sıcaklığın daha fazla artışı sertlikleri düşürmüştür.

Tablo 6.3' den elde edilen veriler Şekil 6.15' te grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 6.15' den de görülebildiği gibi, matriks içerisine sert Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin ilavesi tüm sinterleme sıcaklıklarında numunelerin sertliğini saf bakıra (ağ. % 0 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) göre arttırmış ve bu artış takviye miktarının artması ile devam etmiştir. Sinterleme sıcaklığındaki artış ise, kompozit numunelerin mikrosertliklerine belirgin bir etki etmemiştir. Şekil 6.15' ten ağırlıkça % 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli kompozit numunelerde tüm sinterleme sıcaklıklarında optimum sertlik değerleri elde edildiği de görülmektedir.



Şekil 6.15. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10 µm)- ağ. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak mikrosertlik değişimi

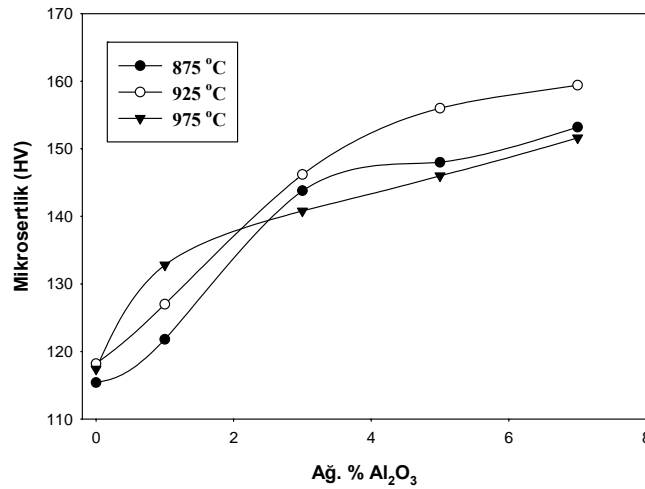
Tablo 6.4' e bakıldığında ise, Tablo 6.3' deki sonuçlarla benzer şekilde takviye miktarının ve matriks tane boyutunun artışıyla kompozit numunelerin sertlikleri artmıştır. Sinterleme sıcaklığının 925 °C' ye artması sertlikleri arttırsa da, sıcaklığın daha fazla artışı sertlikleri düşürmüştür. Bakır matriks tane boyutunun 10 µm' dan 40 µm' a artışıyla sertliklerin arttığı da görülebilmektedir. Bu durum, 40 µm matriks tane boyutuna sahip kompozitlerin, bakır matriksin tane boyut ve morfolojisinin nispeten daha az homojen olmasından dolayı sinterleme sonrası

uygulanan sıcak presleme sonrası daha fazla deforme olmuş olmasından kaynaklanmış olabilir.

Tablo 6.4. Cu Cu (40  $\mu\text{m}$ . tane boyutlu)- $\text{Al}_2\text{O}_3$  kompozitlerinin ve saf bakırın (40  $\mu\text{m}$ .) mikrosertlik değerleri

Cu-ağ.% $\text{Al}_2\text{O}_3$	Sinterleme Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )		
	875	925	975
0	115.4	118.2	117.4
1	121.8	127	132.8
3	143.8	146.2	140.8
5	148	156	146
7	153.2	159.4	151.6

Şekil 6.16' da ise Tablo 6.4 grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 6.16' dan, her üç sinterleme sıcaklığında kompozit numunelerin mikrosertliklerinin takviye miktarının artmasıyla arttığı görülmektedir. Bu, beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra, tüm takviye miktarları için sinterleme sıcaklıklarının kompozitlerin mikrosertliğine belirli bir etkisi yoktur. 925  $^{\circ}\text{C}$ ' de sinterlenen numunelerin mikrosertlik değerleri diğerlerinden yüksek olduğu, tüm numunelerde her üç sinterleme sıcaklığı için ağ. % 3  $\text{Al}_2\text{O}_3$  takviye miktarında optimum mikrosertlik artışı elde edildiği görülmüştür.



Şekil 6.16. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40  $\mu\text{m}$ )- ağ. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak mikrosertlik değişimi

## 6.6. Elektriksel İletkenlik

Kompozit numunelerin elektriksel iletkenlikleri saf bakırla birlikte % IACS olarak, Tablo 6.5 ve 6.6’ da verilmiştir.

Tablo 6.5 ve 6.6’ dan görülebileceği gibi, takviye bileşeninin miktarındaki artış numunelerin saf bakıra göre elektriksel iletkenliklerini azaltırken, sinterleme sıcaklığı ve matris tane boyutunun elektriksel iletkenliğe belirgin bir etkisi olmamıştır.

Saf bakır içerisine yalıtkan seramik karakterde  $Al_2O_3$  ilavesiyle yapı içerisinde elektron hareketlerine bariyer teşkil edecek durum oluşmakta, elektron hareketleri yalıtkan karakterli takviye partiküllerinin yapı içerisinde kısa mesafeli ve homojen dağılımı nedeniyle azalmakta ve iletkenlik düşmektedir. Saf bakıra ait elektriksel iletkenliklerdeki değişiklikler ise saf bakır içerisinde sinterleme sırasında oluşabilen ve muhtemelen bakır tanelerinin arayüzeylerinde yer alan  $Cu_2O$  fazı ve bu fazın miktarı, bunun yanısıra da sinterleme sonrası yapılan sıcak dövme esnasındaki numuneye gerçek olarak etki eden deformasyon miktarlarının farklılığı olabilir.

Tablo 6.5. Cu (10  $\mu m$ . tane boyutlu)- $Al_2O_3$  kompozitlerinin ve saf bakırın (10  $\mu m$ .) elektriksel iletkenlik değerleri

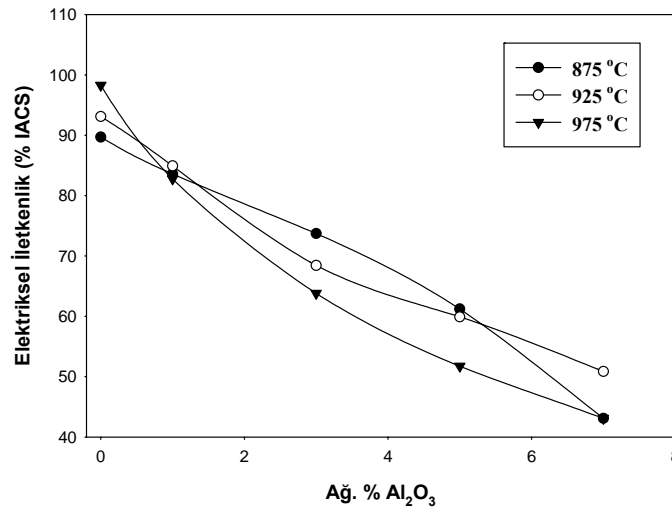
Cu-ağ.% $Al_2O_3$	Sinterleme Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )		
	875	925	975
	Elektriksel İletkenlik (% IACS)		
0	89.70	93.10	98.27
1	83.60	84.91	82.76
3	73.71	68.43	63.79
5	61.21	59.91	51.72
7	43.10	50.86	43.10

Tablo 6.6. Cu (40  $\mu\text{m}$ . tane boyutlu)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin ve saf bakırın (40  $\mu\text{m}$ .) elektriksel iletkenlik değerleri

Cu-ağ.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	Elektriksel İletkenlik (% IACS)		
0	91.52	94.83	93.16
1	86.21	86.21	84.14
3	70.69	71.55	67.24
5	54.74	58.62	53.45
7	42.24	44.83	39.65

Tablo 6.5-6.6' da sunulan veriler grafiksel olarak Şekil 6.17-6.18' de gösterilmiştir. Şekil 6.17' ye bakıldığında, beklenildiği gibi yalıtkan karakterli bir malzeme olan alümina miktarının artmasıyla elektriksel iletkenlikler düşmüştür. Ancak, burada da sinterleme sıcaklığındaki artışın numunelerin elektriksel özelliklerine değişken bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, 875 ve 925 °C' de sinterlenen numunelerin elektriksel iletkenlikleri genel olarak 975 °C' de sinterlenen numunelerin iletkenliklerin yüksektir.

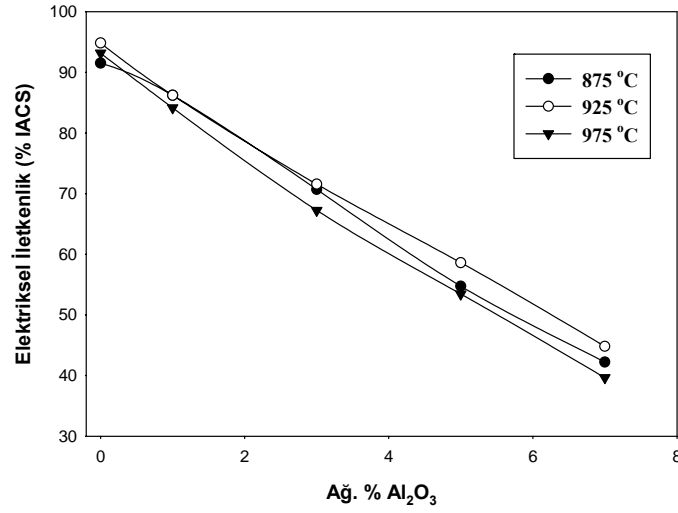


Şekil 6.17. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (10  $\mu\text{m}$ )- ağ. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına bağlı olarak elektriksel iletkenlik değişimi

Şekil 6.18' de ise, elektriksel iletkenlik değerlerinin takviye miktarının artışına göre azalması tüm sinterleme sıcaklıklarında daha belirgin ve doğru orantılıdır.



Sinterleme sıcaklıkları elektriksel iletkenlikleri pek fazla değiştirmemekle birlikte, en yüksek elektriksel iletkenlik değerleri 925 °C sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir.



şekil 6.18. Üç farklı sıcaklıkta 2 saat sinterlenen Cu (40 µm)- ağ. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin takviye miktarına göre elektriksel iletkenlik değişimi

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçların İrdelenmesi

$Al_2O_3$  partiküllerinin yüksek ergime sıcaklığından dolayı geleneksel ergitme ve döküm metoduyla disperse alumina partikülleri ile üniform olarak takviye edilmiş Cu kompozit üretimi mümkün olmamaktadır [5, 27]. Söz konusu kompozitler Cu-Al alaşımından yola çıkılarak Al' nin iç oksidasyonu ile de üretilebilse de, bu yöntemle elde edilecek  $Al_2O_3$  partikülleri de kompozit yapıda üniform olarak dağılmamaktadır [5]. Bu nedenlerden dolayı, bu kompozitlerin üretim metodu olarak toz metalurjisi yöntemi seçilmiştir.

Test numunelerine ait optik mikrograflarında, her iki başlangıç matris toz boyutuna (10 ve 40  $\mu m$ .) sahip kompozitlerde bakır matrisin her üç sinterleme sıcaklığında da (875, 925 ve 975  $^{\circ}C$ ) sinterleme sonrası boyut değişimine uğramadığı görülmüştür. Optik mikrograflarda, Cu taneleri açık renkli, takviye malzemesi olarak kullanılan  $Al_2O_3$  partikülleri ise daha koyu renkli olarak görülmektedir.  $Al_2O_3$  partiküllerinin bakır tanelerinin etrafında kısa mesafeli ve homojen olarak yer aldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, 40  $\mu m$ . başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerde ise tane boyut dağılımı, 10  $\mu m$  başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerden daha az homojenlik arz etmekte ve bakır matrisin morfolojisinin küresel formdan uzak bir görünüme sahip olduğu gözlenebilmektedir (Şekil 6.2). Fiziksel olarak birbirleriyle karışan Cu ve  $Al_2O_3$  tozları arasında Cu' ın  $Al_2O_3$ ' yi ıslatabilirliğinin düşük olması nedeniyle sinterleme sırasında aralarında önemli bir reaksiyon olmamasına bağlı olarak  $Al_2O_3$  partiküllerinin Cu tane sınırlarında yer almasının beklenen bir sonuç olduğu muhtemeldir.

Yapılan SEM çalışmalarında da elde edilen mikroyapıların da aynı numunelere ait optik mikrograflara çok benzer olduğunu ve dolayısıyla, optik mikrograflarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

XRD analizleri sonucu tüm kompozitlerde başlangıç bileşenleri olan Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının hakim bileşenler olduğu, Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazları arasında Cu<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>O<sub>z</sub> gibi bir reaksiyon fazının oluşmadığı ve oksijene afinitesi olan bakırın sinterleme sırasında oksitlenmesiyle oluşmuş olan eser miktarda Cu<sub>2</sub>O fazı bulunduğu tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığındaki artışın Cu<sub>2</sub>O fazının oluşumu ve miktarı üzerinde etkisi görülmemiştir. Başlangıç matriks toz boyutu 10 µm olan kompozitlerin bazılarında eser miktarda Cu<sub>2</sub>O oluşurken, 40 µm başlangıç matriks toz boyutuna sahip kompozitlerin hepsinde az da olsa Cu<sub>2</sub>O oluştuğu görülmüştür. Başlangıç toz boyutu 40 µm olan bakır tozlarının 10 µm başlangıç bakır toz boyutuna göre daha az uniform boyut dağılımına ve küresel olmayan partikül morfolojisine sahip olması sonucu aynı sürede daha kolay oksitlenebildiği ihtimali ve işlem parametreleri düşünülebilir.

Kompozit numulerdeki XRD analizlerinde tespit edilen fazlar ve takviye fazı olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin bakır matriks tane sınırları etrafında yerleştiği, mikroyapılarının belirli noktalarından alınan EDS analizleri ile teyid edilmiştir. Tüm numunelerde, SEM-BES mikrograflarında koyu alanlar üzerinden alınan EDS analizlerinin belirgin oranda Al ve bir miktar O pikleri vermesi, buna karşın açık alanlardan elde edilen sonuçlarda sadece Cu piklerinin görülmesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin matriks tane sınırlarında yerleştiğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre, XRD analizlerinde tespit edilen eser miktardaki Cu<sub>2</sub>O fazının da Cu tanelerinin arayüzeylerinde oluşmuş olabileceği muhtemeldir.

Üretilen tüm kompozitlerin relatif yoğunluk değerlerinin % 95 ve üzerinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, saf bakıra ağı. % 1' den fazla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile tüm kompozitlerin yoğunluğu saf bakıra göre artış göstermiş, ağı. % 3' den sonra ise kompozitlerin relatif yoğunlukları takviye miktarının artışıyla az bir oranda düşüş göstermiştir.

Sinterleme sıcaklığının 925 °C' ye artışı ile her iki farklı matriks tane boyutlu kompozitlerin relatif yoğunlukları biraz artmış, sinterleme sıcaklığının daha fazla artışı ile biraz azalma göstermiştir. Bakır matriksin başlangıç toz boyutunun artışı ise kompozitlerin relatif yoğunluklarında belirgin bir değişime neden olmamıştır. Yüzey alanı daha fazla olan 10 µm başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerin relatif yoğunluklarının 40 µm başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozit numunelerinkinden, aynı sinterleme şartları ve aynı takviye miktarlarında daha fazla olması beklenirken, relatif yoğunluklar arasında belirgin farkların olmaması sinterleme sonrası uygulanan sıcak presleme işlemi ile deformasyon kabiliyeti iyi olan bakır matriksin deformasyonu nedeniyle bünyede kalan porların azalmasının bir sonucu olabilir.

Her iki başlangıç matriks toz boyutlu kompozitlerin mikrosertlikleri sinterleme sıcaklığının 875 °C' den 925 °C' ye artışı ile artarken, 975 °C' de ise azalma göstermiştir. Bu durum, özellikle 40 µm başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerde daha belirgindir. Bunun yanı sıra, ağırlıkça alumina takviye miktarının artması sonucu da kompozitlerin saf bakır numunelere göre sertlikleri artmıştır. Bununla birlikte, matriks tane boyutundaki artış da kompozitlerin mikrosertliklerinde artışa neden olmuştur. Sert ve ince (0.3 µm) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin bakır matrikse ilavesi ile saf bakırın sertliği ve mukavemeti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin dislokasyon hareketlerini dislokasyon halkalanması ve tırmanması mekanizmaları yardımıyla engellemesi sonucu artar. Daha fazla miktarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile daha etkin bir şekilde bu mekanizmalar işler ve mukavemet artar. Bakırın sertliğinin artışına diğer bir etken ise Cu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasındaki termal genleşme farklılıkları sonucu oluşan dislokasyon yoğunluğunun artışıdır. Bununla birlikte, ince alumina partiküllerinin matriks içerisine homojen ve artan hacimde dağılımıyla bakırın yüksek kullanım sıcaklıklarında tane büyümesi engellenmiş olur.

Diğer taraftan, bakır matriks boyutunun artışıyla saf bakırın ve kompozitlerin sertliğinin Hall-Petch bağıntısına göre azalması beklenirken, bunun tersine artması, belirli bir hacimde, bakır tanesinin etrafına düşen alumina partikül sayısının daha iri boyutta matriks taneleri nedeniyle azalmasının bir sonucu olabilir, buna bağlı olarak birbiriyle daha yüksek oranda temas edebilen bakır tanelerinin sıcak presleme sonucu

belli bölgelerde daha yüksek oranda deforme olması ve 40 µm başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerde biraz daha belirgin görülen Cu yüzeylerinde oluşmuş Cu<sub>2</sub>O tabakasının deformasyonu engelleyici etkisi muhtemeldir.

Test numunelerinin elektriksel iletkenliklerine bakıldığında, takviye Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının artışıyla tüm kompozitlerde elektriksel iletkenlik azalmaktadır. Sinterleme sıcaklığının ve matriks başlangıç boyutunun elektriksel iletkenlikler üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Optimum elektriksel iletkenlik değerleri 925 °C’ de sinterlenen kompozitlerde elde edilmiştir. Takviye bileşeni olarak kullanılan yalıtkan seramik karakterli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerinin matrikse artan oranda kısa mesafeli ve üniform dağılımı ile sertlikle ters orantılı olarak, elektron hareketleri artan dislokasyon yoğunluğu ile azalmakta ve dolayısıyla, elektriksel iletkenlik azalmaktadır. Bununla birlikte, matriks tane boyutunun artışı ile sabit takviye miktarında iletkenlik değerlerinin önemli oranda değişmemesinin nedeninin 40 µm başlangıç bakır toz boyutuna sahip kompozitlerde tüm sinterleme sıcaklıklarında görülen biraz daha belirgin Cu<sub>2</sub>O varlığı ve sıcak presleme sonucu yukarıda açıklandığı üzere daha fazla deformasyonu etkisinin olması muhtemeldir.

Test numunelerinin artan takviye miktarı ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak saf bakıra göre relatif yoğunluk-mikrosertlik-elektriksel iletkenlik yüzde (%) değişimleri 10 ve 40 µm başlangıç bakır matriks toz boyutlu kompozitler için sırasıyla, Tablo 7.1 ve 7.2’ de verilmiştir.

Tablo 7.1’ den görülebileceği gibi numunelerin relatif yoğunluk değişimleri çok düşük oranlardadır. Takviye miktarı ve sinterleme sıcaklıklarının relatif yoğunluklar üzerine belli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Sadece 975 °C’ de sinterlenen numunelerde takviye miktarının artışıyla sürekli olarak relatif yoğunluk azalmıştır.

Bu durum, muhtemelen bu numunelerin sinterleme sonrası sıcak presleme işleminde daha az deforme olmuş olmasından kaynaklanabilir. Ağırlıkça % 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva eden kompozit numunelerin mikrosertlik değerlerinin optimum artış sergilediği gözlenmiştir. Oysa, ağırlıkça % 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren numunelerde elektriksel iletkenlik değerlerinde dikkate değer bir azalma olduğu görülmüştür. Numunelerde, nispeten

en fazla elektriksel iletkenlik-mikrosertlik değişimi 925 °C’ de sinterleme işlemi sonrası meydana gelmiştir.

Tablo 7.1. Cu (10 µm.)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin saf bakıra (10 µm.) göre % relatif yoğunluk-mikrosertlik-elektriksel iletkenlik değişimi (%)

Ağ .% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	% Relatif Yoğunluk Değişimi		
1	-0.09	-0.04	-1.59
3	2.05	2.05	-2.02
5	2.02	1.90	-2.58
7	1.80	1.85	-3.69
	% Mikrosertlik Değişimi		
1	2.09	2.73	1.22
3	19.35	21.47	21.42
5	24.48	25.05	24.72
7	29.98	30.88	29.04
	% Elektriksel İletkenlik Değişimi		
1	-6.80	-8.82	-15.78
3	-17.83	-26.5	-35.08
5	-31.76	-35.65	-47.37
7	-51.95	-45.37	-56.14
Tablo negatif değerler saf bakıra göre azalan değerleri, pozitif değerler ise artan değerleri ifade etmektedir.			

Tablo 7.2’ ye bakıldığında, genel olarak Tablo 7.1 ile benzer bir durum olduğu görülmektedir. Sadece, ağırlıkça % 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesiyle saf bakırların mikrosertlik değerlerinde daha belirgin bir artış oranı görülmektedir.

Tablo 7.2. Cu (40  $\mu\text{m}$ .)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin saf bakıra (40  $\mu\text{m}$ .) göre % relatif yoğunluk-mikrosertlik-elektriksel iletkenlik değişimi (%)

Ağ .% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sinterleme Sıcaklığı (°C)		
	875	925	975
	% Relatif Yoğunluk Değişimi		
1	-0.08	-0.83	0.04
3	1.80	1.45	0.02
5	1.34	1.63	0.56
7	0.90	-0.15	-0.34
	% Mikrosertlik Değişimi		
1	5.55	7.44	13.12
3	24.61	23.68	20.27
5	28.25	31.98	24.36
7	32.75	34.86	29.13
	% Elektriksel İletkenlik Değişimi		
1	-5.80	-9.09	-9.68
3	-22.76	-24.55	-27.82
5	-40.08	-38.18	-42.41
7	-53.85	-52.73	-57.44
Tablo negatif değerler saf bakıra göre azalan değerleri, pozitif değerler ise artan değerleri ifade etmektedir.			

Tablo 7.1 ve 7.2 ile Şekil 6.13-6.16' dan da görüleceği üzere, genel olarak, her iki bakır matris tane boyutuna sahip kompozitlerde de optimum relatif yoğunluk ve mikrosertlik değerleri 925 °C' de sinterlenmiş ağırlıkça % 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kompozit numunelerde görülmektedir. Artan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi ile mikrosertlik değerlerinde artış devam ederken, elektriksel iletkenlik değerlerinde % 25' den daha fazla oranlarda düşüşler meydana gelmektedir. Bu da, elektriksel iletkenliğin gerekli olduğu uygulama alanlarında kullanımı kısıtlayabilmektedir. Matris tane boyutu 40  $\mu\text{m}$ . olan kompozit numunelerde ise ağırlıkça % 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva eden kompozit numunelerin mikrosertlik değerleri 10  $\mu\text{m}$ . matris tane boyutuna sahip ağırlıkça %3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva eden kompozitlerin değerlerine çok yakındır.

Bu da, daha az takviye ilavesiyle daha fazla elektriksel iletkenlik ve eşdeğer sertlik demektir. Ayrıca, elektriksel iletkenlik değerleri 40 µm. matriks tane boyutuna sahip kompozit numunelerde 10 µm. matriks tane boyutuna sahip kompozitlerin değerleri ile benzerdir. Bu tez çalışmasında üretilen Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin elektriksel iletkenlikleri ağ. % 3 takviye miktarına kadar ticari özel sert bakır alaşımlarından en çok kullanılan olan Cu-Be alaşımlarınıninkinden (67±2 %IACS) çoğu kez daha yüksek veya aynıdır [3]. Bununla birlikte, bu tez çalışmasında elde edilen kompozitlerin elektriksel iletkenlik-mikrosertlik değerleri sayesinde, ticari olarak kullanılan Cu- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ağ. % 0.3-1.1) kompozitlerine ilave edilen takviye miktarını arttırma (ağ. % 3' e kadar ) ve böylelikle kullanım potansiyelini ortaya çıkarmaktadır [7]. Daha fazla takviye miktarı özellikle 40 µm. matriks tane boyutuna sahip kompozit numunelerde mikrosertliği daha da fazla arttırsa da elektriksel iletkenlik değerleri 60 %IACS' nin altına düştüğünden, iletkenliğin önemli olduğu bu kompozitler için kısıtlayıcı olabilmektedir. Bütün bunlara ilaveten, 925 °C' den sonraki sinterleme sıcaklığının (975 °C) özelliklere olumlu bir etkisi olmadığından, mevcut çalışmada hazırlanan kompozitler için sinterleme sıcaklığının 925 °C olarak seçilmesinin uygun olduğu da ileri sürülebilir. Bunun yanı sıra, literatürde bu tez kapsamında incelenen üç farklı sinterleme sıcaklığı (875, 925 ve 975 °C), dört farklı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviye miktarı (ağ. % 1, 3, 5 ve 7) ve iki farklı bakır matriks toz boyutu (10 ve 40 µm.) gibi değişkenleri içeren benzer çok az sayıda yayın olması da bu çalışmanın özgün yanı olarak düşünülebilir.

## 7.2. Öneriler

Bu çalışmada yapılan işlemler dışında, kompozit numunelerinin sertlik-yoğunluk-elektriksel iletkenlik optimizasyonuna şunların da etkisi incelenebilir:

- a) Takviye bileşeninin tane boyutu değiştirilebilir
- b) Takviye bileşeni olarak alümina dışında farklı sert seramik malzemeler kullanılabilir (SiC vb.)
- c) Sinterleme süreleri değiştirilebilir
- d) Mekanik alaşımlama ve akımsız kaplama gibi yöntemlerle kompozitler üretilebilir.



Bunların dışında, üretilen kompozitlerin termal iletkenlikleri ve yüksek sıcaklık mukavemetleri de ölçülebilir, sinterleme sonrası sıcak presleme işlemi yapılmayarak, sonuçlar sıcak presleme yapılmış numunelerle karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] [www.bpc.edu/mathscience/chemistry/electrical\\_conductivity.html](http://www.bpc.edu/mathscience/chemistry/electrical_conductivity.html), Temmuz 2007
- [2] <http://www.copperinfo.co.uk/alloys.html>, Ağustos 2008
- [3] [www.magnet.fsu.edu/magtech/facilities/materials/highstrength.html](http://www.magnet.fsu.edu/magtech/facilities/materials/highstrength.html), Ocak 2008
- [4] [www.key-to-metals.com](http://www.key-to-metals.com), Mart 2008
- [5] LEE, D.W., KIM, B. K., Nanostructured Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite produced by thermochemical process for electrode application, Materials Letters, 58, pp. 378-383, 2004
- [6] YING, D. Y., ZHANG, D.L., Processing of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix nanocomposite materials by using high energy ball milling, Materials Science & Engineering A, 286, pp. 152-156, 2000
- [7] JENA, P.K., BROCCHI, E.A., MOTTA, M. S., In-situ formation of Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-scale composites by chemical routes and studies on their microstructures, Materials Science & Engineering A 313, pp. 180-186, 2001
- [8] Hyun-Ki Kang, Microstructure and electrical conductivity of high volume Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced copper –matrix composites produced by plasma spray, Surface and Coatings Technology, 190, pp. 448-452, 2005
- [9] KOÇAK, H., Bakır Alaşımları El Kitabı, Sağlam Metal, SF. 9-62, İstanbul
- [10] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Bakır>
- [11] ZİYADANOĞULLARI, B., Konverter Cüruf ve Oksitli Bakır Cevherlerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisan Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 24, 1993.
- [12] ARSLAN, O., Bakır Sektör Profili, İstanbul Ticaret Odası, SF.1, 2006.
- [13] POPESCU, C. R., Processing and Characterisation of SiC-Fibre Reinforced Cu-Matrix Composites, Max Planck Ensitute, pp. 35-36, 2003

- [14] ETHEM, M. Y., Bakırın Özellikleri, Alaşımları ve Mineralleri, Karadeniz Bakır İşletmeleri A.Ş, SF. 3, Ankara
- [15] World Copper Factbook, International Copper Study Group, pp. 6-7, 2007
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium\\_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide), Mayıs 2009
- [17] ŞAHİN, G., Homojen Çöktürme Yöntemi ile Alümina Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 17-26, 2006
- [18] ALP, A., Muğla Boksitlerinden Alümina Üretiminde Verimlilik Koşullarının Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 1-36, 1996
- [19] GİRGİN, İ., Boksit Dışı Kaynaklardan Alumina Üretimi, Madencilik, 23, 3, SF. 8, Eylül-1984
- [20] EKİNCİ, V. Ş., Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [21] TUCKER, N., LINDSEY, K., An Introduction to Automotive Composites, pp. 9, Rapra Technology Limited, 2002
- [22] MAZUMDAR, S. K., Ph.D., Composites Manufacturing-Materials, Products and Process Engineering, pp. 3-4, CRC Press, Washington, 2002
- [23] ÖZÇELİK, Ö., In-Situ Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretim ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri, SF. 3-17, 2007
- [24] ESERCİ, D., Alumina, Zirkonya ve Alumina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi, Karakterizasyonu ve Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 3-7, 2007
- [25] BARLAY ERGÜ, Ö., Sol-Jel Yöntemiyle Farklı Oranlarda Alümina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 8,15, 2006
- [26] AKTAŞ, H., Alüminyum Matrisli Alumina Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 4-8, 2007
- [27] HUSSAIN, Z., KEONG, K. H., Studies On Alumina Dispersion-Strengthened Copper Composites Through Ball Milling And Mechanical Alloying Method, Jurnal Teknologi, 43(A), pp. 1-10, 2005

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ALTINSOY, 23.03.1984' de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul' da tamamladı. 2002 yılında İstanbul Kartal Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi' nden mezun oldu. Aynı yıl başladığı SAÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' nden 2006 yılında mezun oldu. 2006-2008 yılları arasında TÜBİTAK araştırma projesinde bursiyer araştırmacı olarak görev aldı.