



Karabük Üniversitesi

EKÖK
METAL



KARABÜK ÜNİVERSİTESİ

EKÖK METAL



Bakır Üretim Prosesleri

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Bakırın Tarihçesi ve Kullanımı

Bakırın M.Ö. 8000 yıllarda kullanılmaya başlandığı ve Anadolu'da ilk bakır ürünlerin M.Ö. 5000 yıllarında üretildiği düşünülmektedir.

- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği sahiptir.
- İletkenlik istenilen uygulamalarda,
- Soğuk hava makina ve teçhizatında,
- Paslanmaz özelliğın istenildiğı uygulamalarda,
- Kaynak işlerinde,
- Pirinç ve bronz üretiminde kullanılmaktadır.

Bakır Kullanım Alanları

Bakırın toplam kullanımdaki payı:

- | | |
|----------------------------------|-----|
| - Elektrik ve elektronik sanayii | %50 |
| - İnşaat sanayii | %17 |
| - Ulaşım sanayii | %11 |
| - Endüstriyel ekipmanlarda | %14 |
| - Askeri ve diğer sanayii | %8 |

Bakırın Kimyasal, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Simgesi	: Cu
Sertliği	: 2.5-3
Yoğunluğu	: 8.93 gr/cm ³
Ergime noktası	: 1083 °C
Kaynama noktası	: 2300 °C
Ergime ısı	: 43 kcal (1 kg'ının ergimesi için gerekli ısı)
Elektrik iletkenliği	: 56,6x10 ⁶ 1/Ωm
Brinell Sertliği	: 40-65, 70-110 (soğuk işlem sonrası)
% Uzama	: 30-35, 3-8 (soğuk işlem sonrası)
Kopma Dayanımı	: 200-250, 300-400 MPa (soğuk işlem sonrası)

Türkiye'de Bakır Rezervleri (MTA 2015)

İL	MEVKİİ	Cu Tenör (%)	Bakır Metal İçeriği (ton) (Görünür + Muhtemel)
Adıyaman	Sincik	0,95	6806
Adıyaman	Tut	0,19	47804
Adıyaman	Merkez	0,35	47022
Artvin	Murgul/Damar	1,24	31137
Artvin	Murgul/Çakmakkaya	0,84	47997
Artvin	Murgul/Akarşen	2,24	13000
Artvin	Cerattepe	5,20	202800
Artvin	Seyitler	1,41	34752
Balıkesir	Havran	0,33	79092
Çanakkale	Arapuçuran	1,25	15375
Çanakkale	Gökçeada	0,19	221697
Çanakkale	Gökçeada	0,13	29166
Çanakkale	Gökçeada	0,15	31155
Diyarbakır	Çermik	0,84	1877
Elazığ	Ergani/Anayatak	1,71	12000
Elazığ	Sivrice	0,26	10475
Erzurum	Oltu	0,20	512

Türkiye'de Bakır Rezervleri

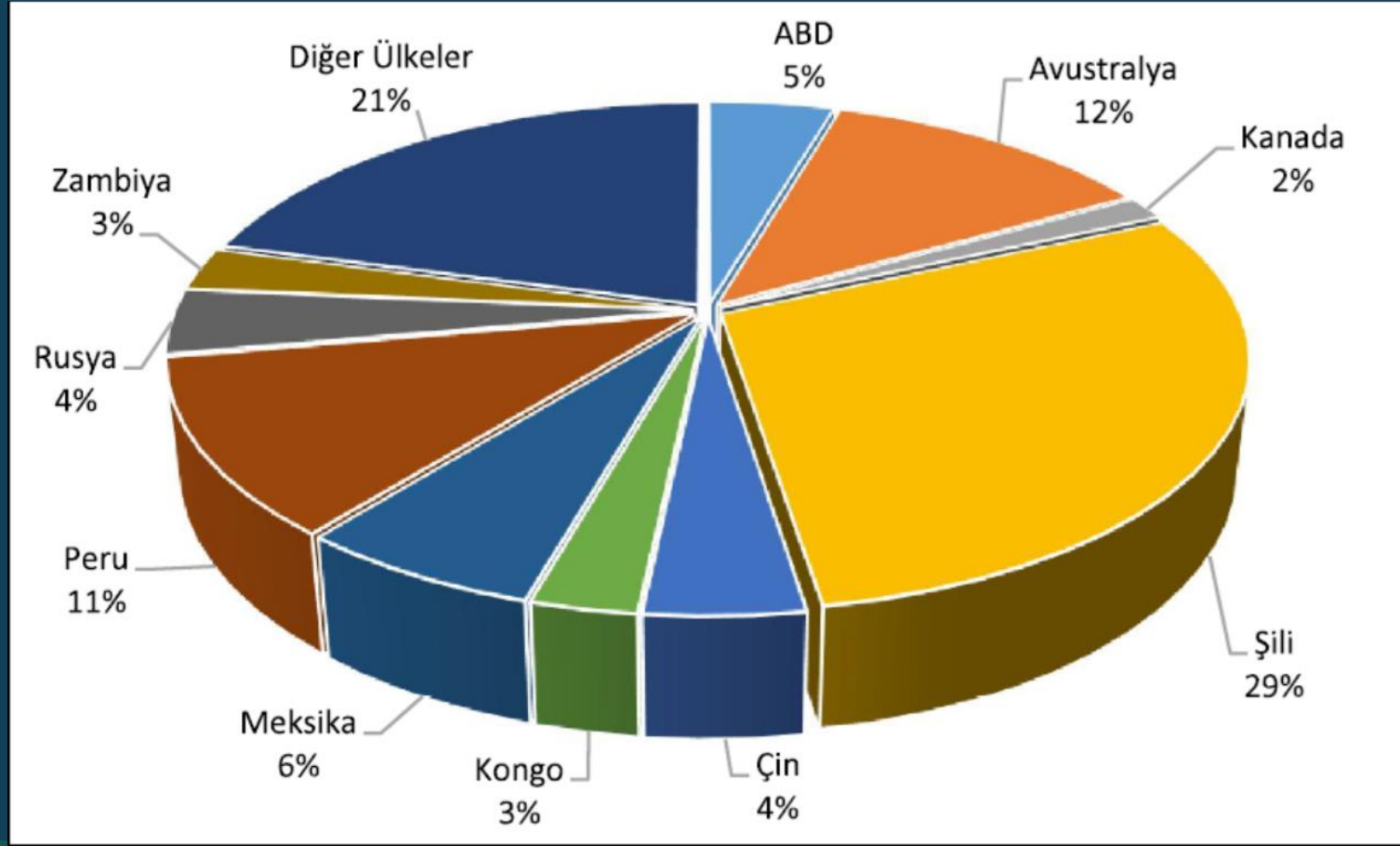
Giresun	Espiye/Lahanos+Kızılkaya	2,40	57528
Giresun	Tirebolu/Harköy	1,90	8740
Kahramanmaraş	Elbistan	0,18	1520547
Kastamonu	Küre/Bakibaba+Aşıköy	2,05	252950
Kastamonu	Merkez	0,85	33733
Ordu	Gölköy	0,14	1009
Rize	Çayeli/Madenköy	4,61	502490
Siirt	Şirvan/Madenköy	3,00	435000
Sivas	Koyulhisar/Kan	1,73	16683
Trabzon	Of/Kotarakdere	1,31	12600
Trabzon	Of	0,35	58006
Trabzon	Of	0,40	21541
Trabzon	Yomra/Kanköy	1,11	36741
TOPLAM			3790235

Kaynak: MTA Genel Müdürlüğü, 2015

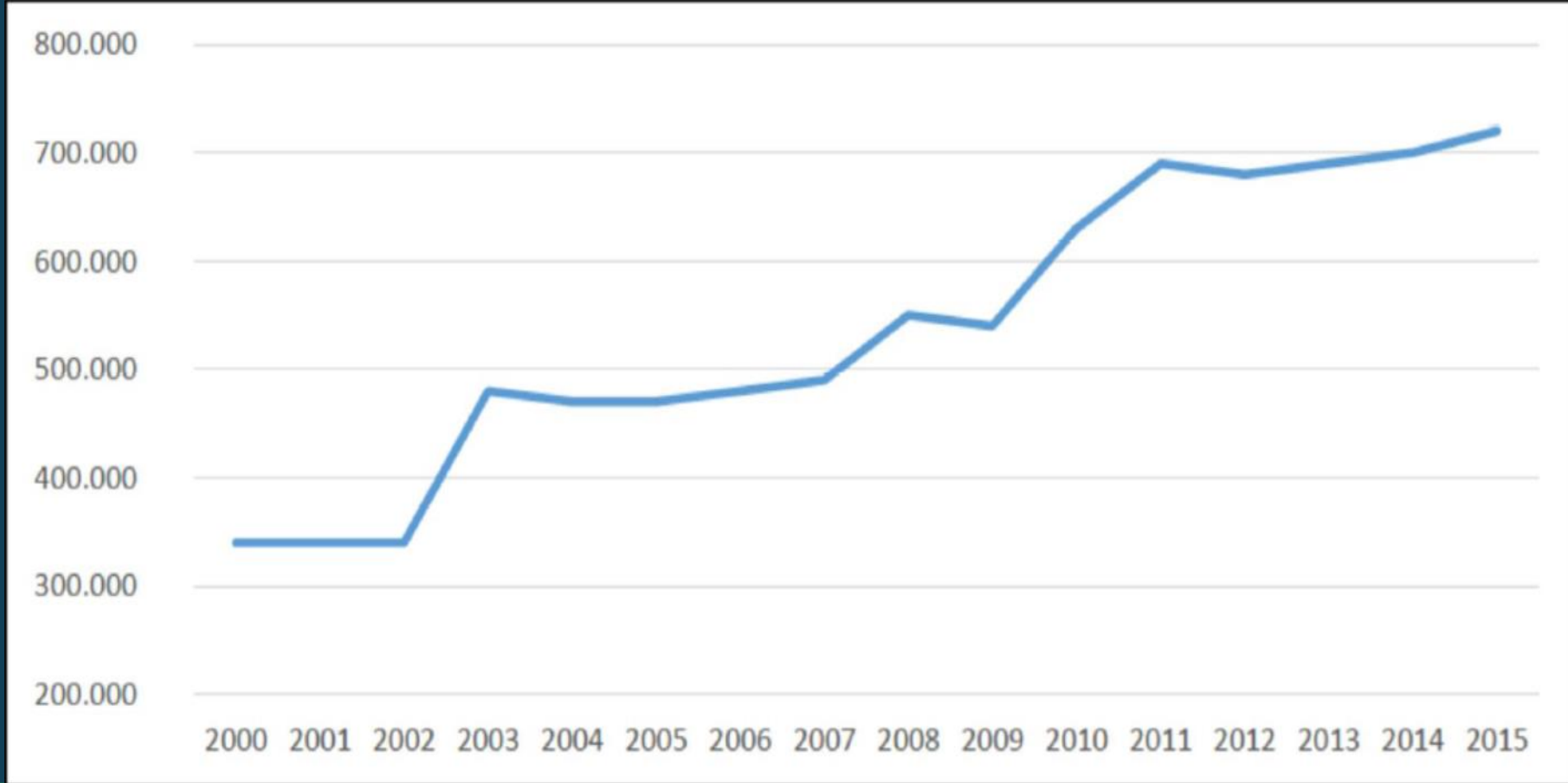
Dünya Bakır Rezervleri (mton)

Ülke	Üretim (ton)		Rezerv (ton)
	2014	2015	
ABD	1.360	1.250	33.000
Avustralya	970	960	88.000
Kanada	696	695	11.000
Şili	5.750	5.700	210.000
Çin	1.760	1.750	30.000
Kongo	1.030	990	20.000
Meksika	515	550	46.000
Peru	1.380	1.600	82.000
Rusya	742	740	30.000
Zambiya	708	600	20.000
Diğer Ülkeler	3.600	3.900	150.000
Dünya Toplamı	18.500	18.700	720.000

Bakır Rezervlerinin Ülkelere Göre Dağılımı



Dünya Bakır Rezervleri



Bakır Üretim Prosesini Etkileyen Faktörler

- Cevherdeki bakır tenörü,
- Kimyasal bileşimi,
- Metalin fizikokimyasal ve elektrokimyasal özellikleri

Bakır Üretim Yöntemleri

- Birincil Bakır Üretimi: Cevherden bakır üretimi
 - => Pirometalurjik Yöntem
 - => Hidrometalurjik Yöntem
- İkincil Bakır Üretimi: Hurdadan bakır üretimi

Bakır Cevherleri

Sülfürlü Bakır Cevherleri (Kalkopirit, Kovellin, Kalkozin, Bornit)

Kalkopirit, CuFeS_2

Kovellin, CuS

Kalkozin, Cu_2S

Bornit, Cu_5FeS_4

Oksitli Bakır Cevherleri (Krizokol, Malahit, Azurit)

Krizokol, $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Malahit, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$

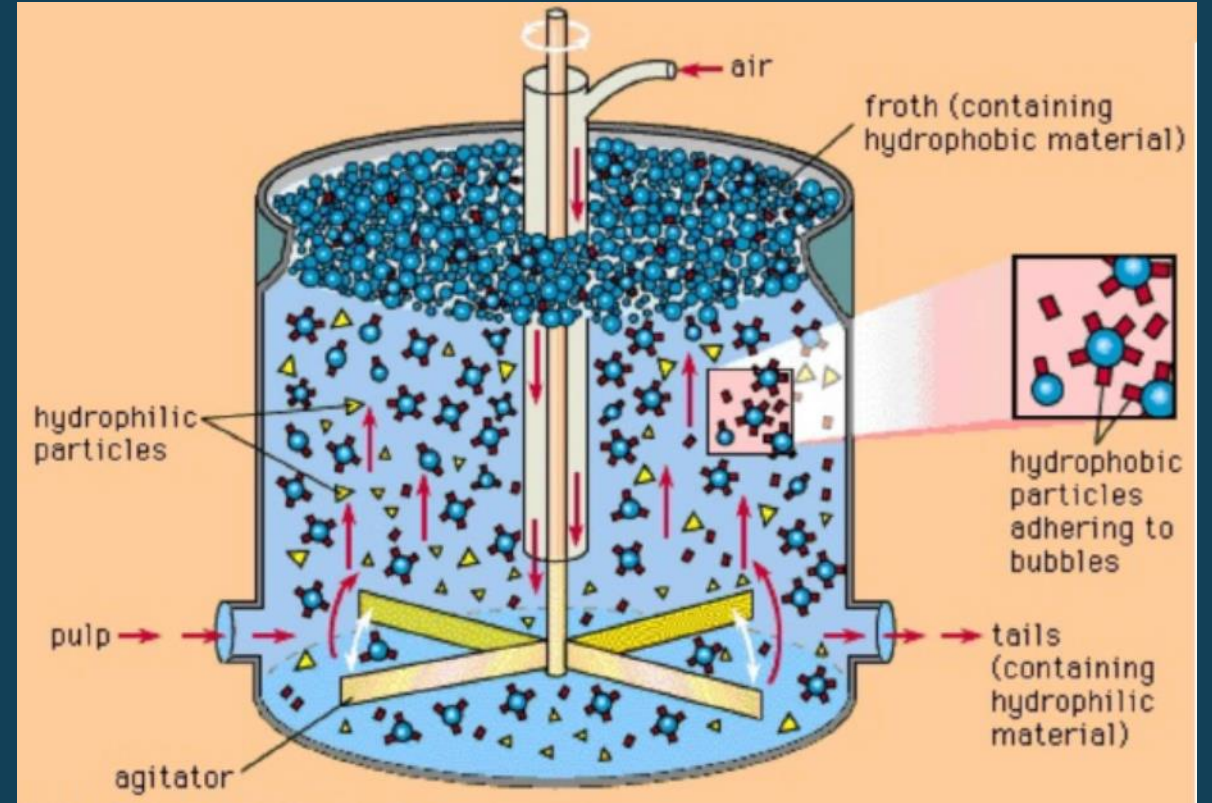
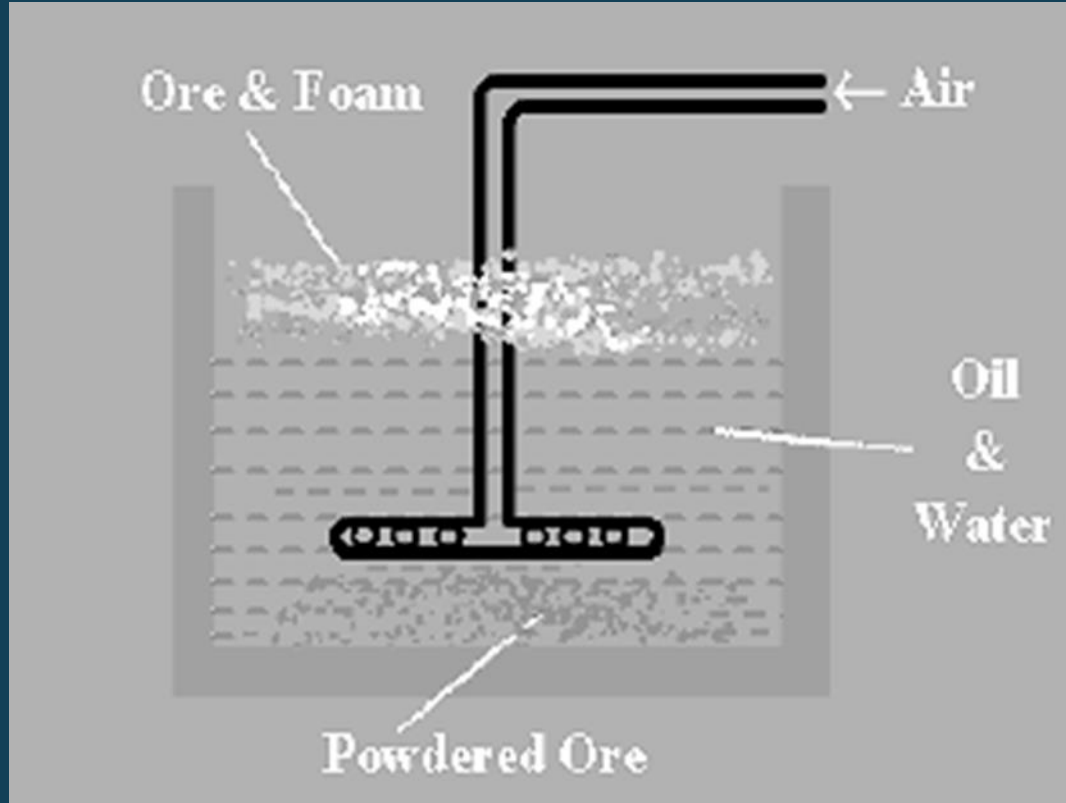
Bakır Üretimi

- % 4 veya daha fazla Cu içeren cevherler pirometalurjik yöntemle işlenir.
- Bakırca fakir cevherler daha çok hidrometalurjik yöntemle işlenir.
- Büyük miktarlarda bakır genellikle kalkopirit cevherinden ergitme yöntemiyle elde edilir.
- Hidrometalurjik yöntem maden sahasında uygulanır, direk yerinde üretim yapılır.

Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi Aşamaları

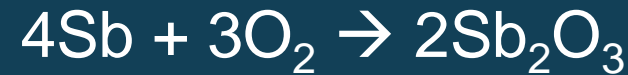
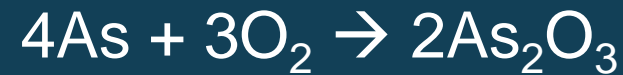
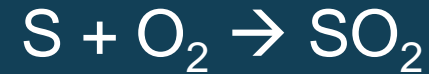
- 1) **Kırma ve öğütme:** Cevher kırma ve öğütme yöntemleriyle toza dönüştürülür.
- 2) **Froth Floatation (köpük oluşturma) prosesiyle konsantre etme/yoğunlaştırma:** Cu içeren partiküller, düşük miktarda yağ içeren su içerisine hava sıkıştırıldığında hava kabarcıklarına tutunarak su yüzeyine çıkar ve köpük oluşturur. Yüzeyde toplanan partiküller süzülerek/sıyırarak alınır. Proses esnasında istenmeyen malzemeler (gang) suyun altına çöktürülür ve oradan çıkarılır. Bu aşamada yaklaşık %25 Cu içeren toz elde edilir.

Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi



Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

3) Kavurma: 500-700C aralığında ve bir hava akımı varlığında konsantre edilmiş cevher kavrulur. Sülfür oksitlenir ve diğer empüriteler uçucu oksitler olarak giderilir. Oluşan reaksiyonlar:



Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

Bakır sülfid ve demir sülfitlerin oksitlenme reaksiyonları:



4) Ergitme:

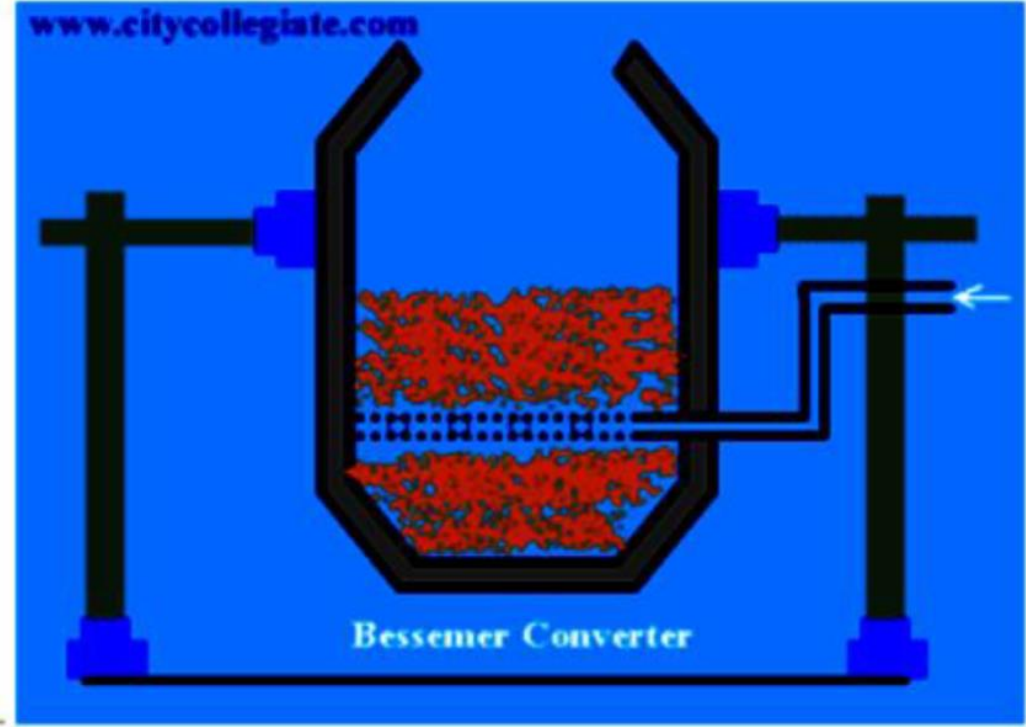
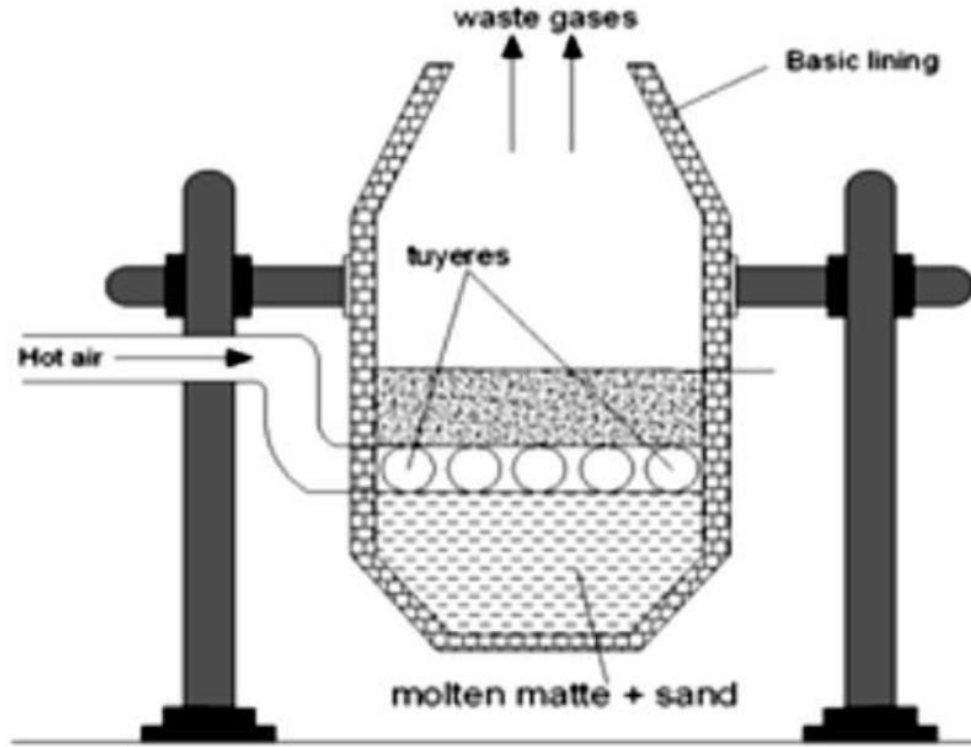
- Kavrulmuş cevherin kok ve silika (SiO_2) ile karıştırılması ve 1200C'de fırına verilmesi. Bazen cüruf oluşturmak için CaO 'da ilave edilir.
- Sıcak hava ile FeO reaksiyona girerek demir silikat (FeSiO_3) oluşur.
- FeSiO_3 (cüruf) sıvı bakır matın yüzeyine çıkar.
- % 60 Bakır içeren mat elde edilir.
- Mat ergitme yöntemlerinden biriyle (şaft/yüksek fırın, elektrik ark fırını gibi) ergitilerek blister bakıra dönüştürülür.

Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

- Örnek: Bessemer Konvertöründe sıvı bakır matına hava üflenerek Cu_2S kısmen CuO_2 ve sonrasında da bakır oksit kalan bakır sülfürle reaksiyona girerek ham (blister) bakıra dönüştürülür.



- Blister bakır %99 saflıktadır. Başta Fe olmak üzere As, Zn, Ag, Au gibi elementler içerir.



Bessemer konventöründe Blister bakır üretimi

Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

- Konsantrede mevcut **soy metallerin** %99'u blister bakıra geçer.
- **As, Sb, Bi:** (%5-20 blister bakıra, % 65-90 arası baca tozlarına, %10 curufa)
- **Se, Te** (%60 blister bakıra, %30 curufa)
- **Ni** (% 75 blister bakıra, % 25 curufa)
- **Pb** (%5 blister bakıra, %85 baca tozlarına, %10 curufa)
- **Zn** (% 30 baca tozlarına, %70 curufa)
- **Sn** (%10 blister bakıra, %65 baca tozlarına, %25 curufa)

Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

5) Bakırın Arıtılması: Arıtma elektroliz yöntemiyle yapılır.

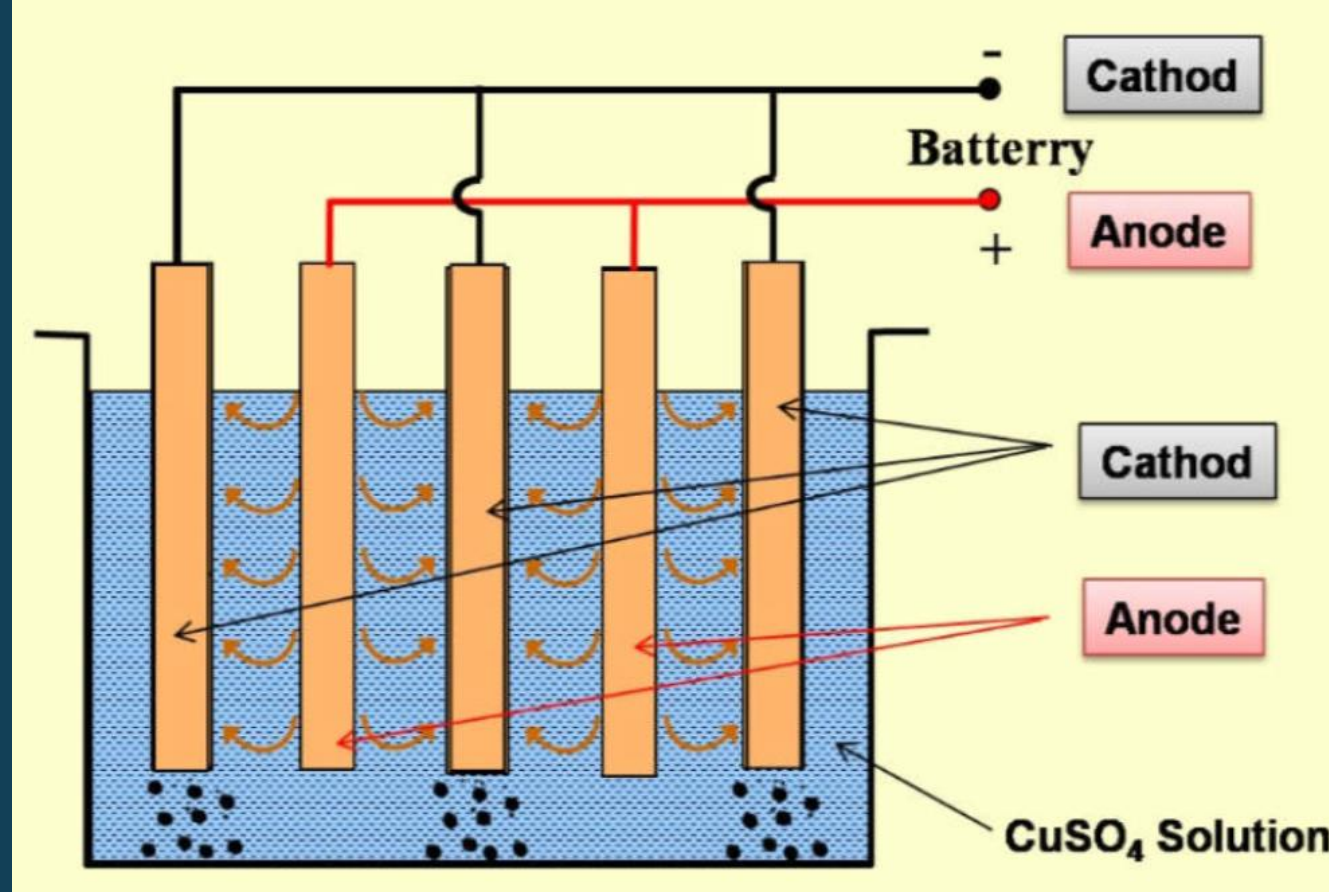
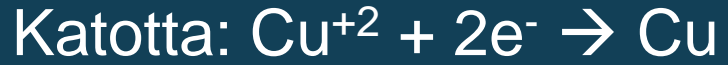
- Blister bakır anotlara dökülür.
- İnce bir bakır sac katot olarak kullanılır.
- Çökelen (biriken) bakırı ayırmak için katotun yüzeyi grafitle kaplanır.
- Elektrolit olarak düşük miktarda H_2SO_4 içeren $CuSO_4$ sulu çözeltisi kullanılır.
- Elektroliz aşamasında %99.99 saflıkta Cu, katot yüzeyinde birikir.
- Empüriteler anot çamuru olarak elektrolitin altında toplanır.
- Anot çamurundan Ag, Au ve Pt gibi değerli metaller arıtma yöntemleriyle kazanılır.

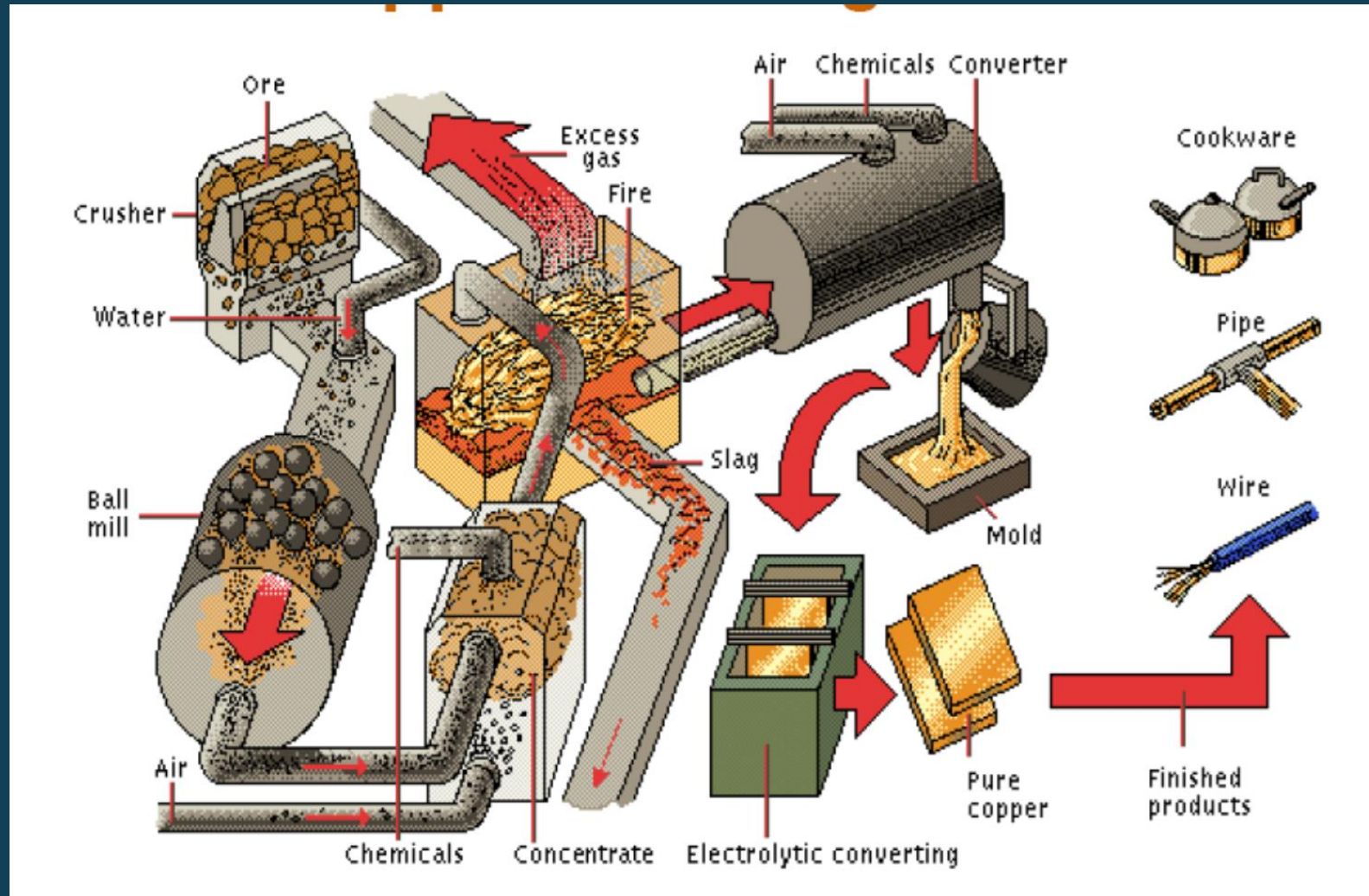
Anot Dökümü

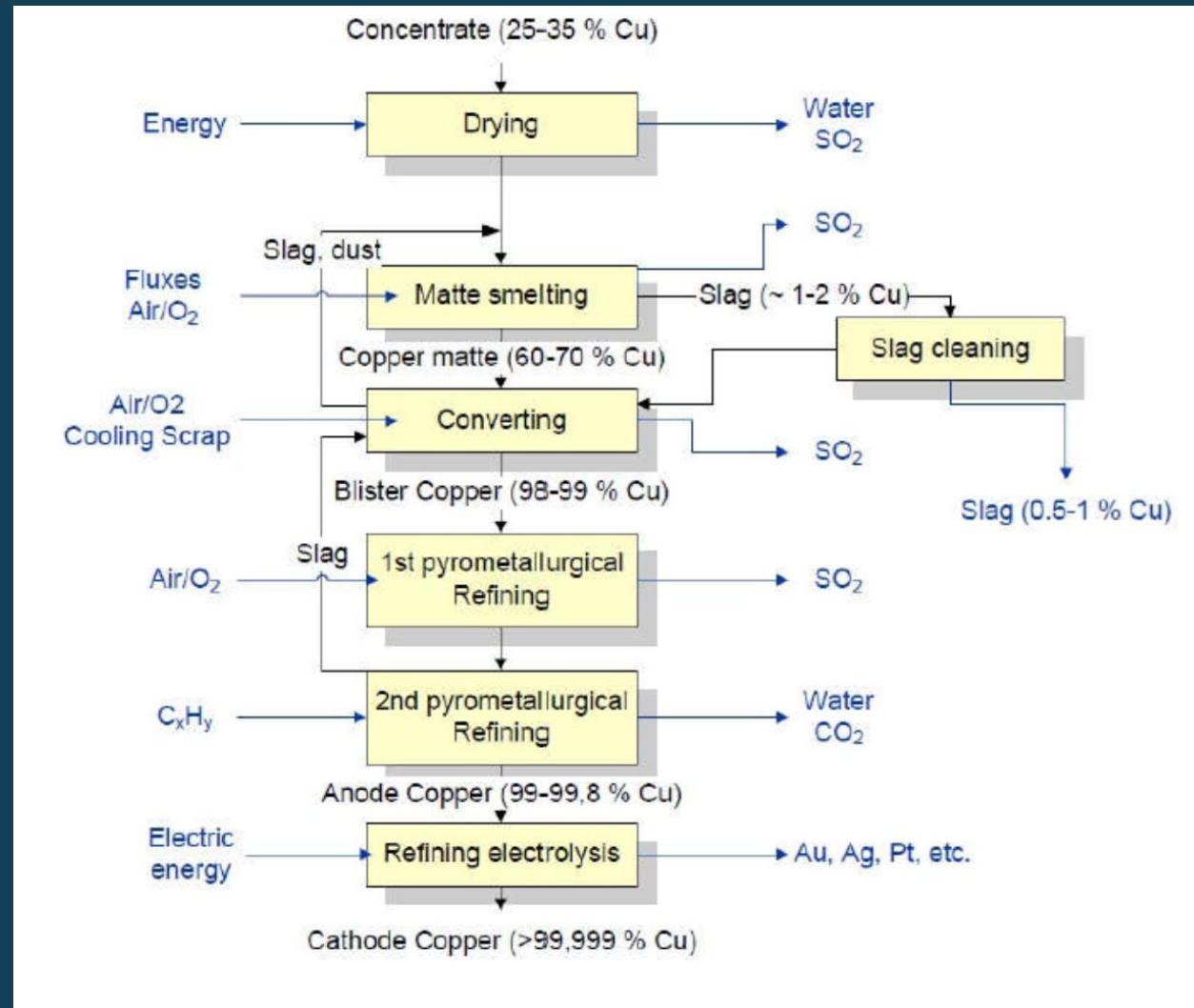


Pirometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

Elektroliz Prosesi



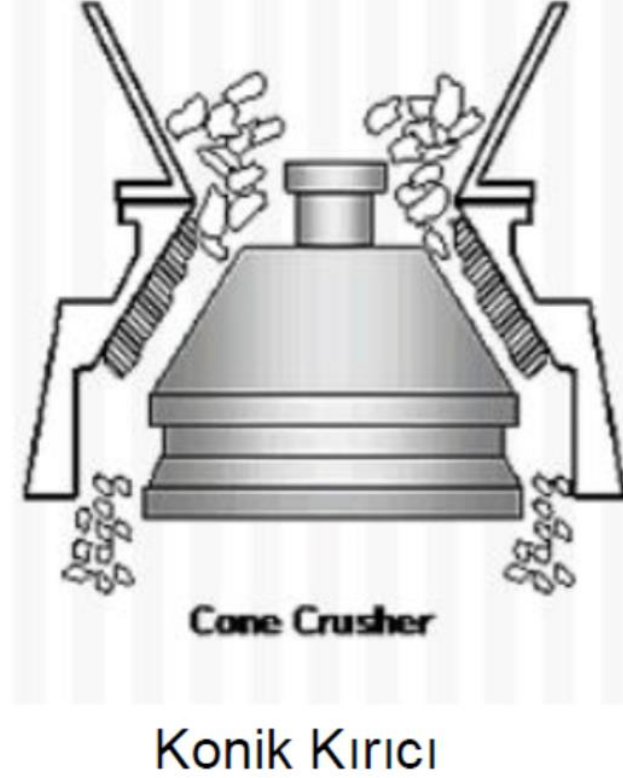
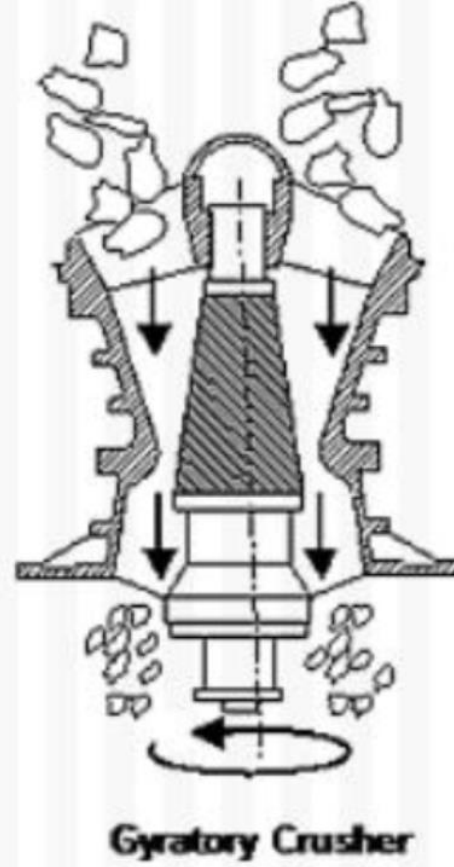
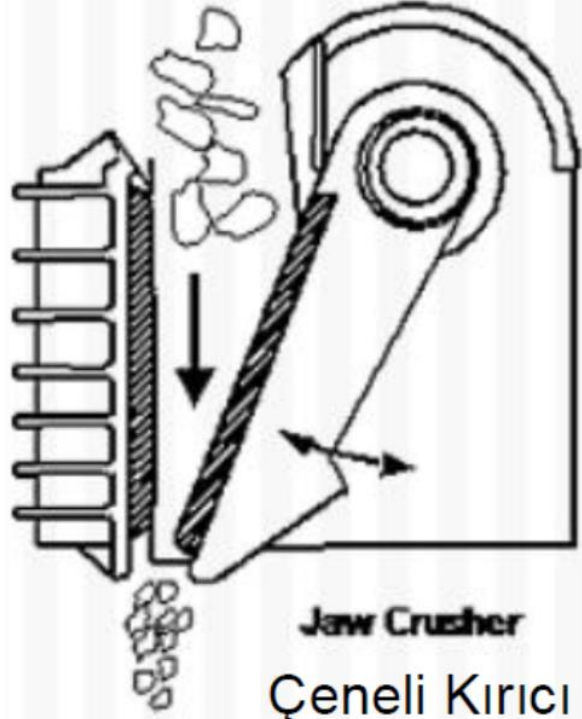




Hidrometalurjik Yöntemle Bakır Üretimi

- Daha çok oksidik cevherlerden veya oksidik ve sülfidik cevher karışımlarından bakır üretmek için kullanılır
- Üretim cevherlerin bulunduğu maden sahalarında yapılır
- Bu yöntem değerli metal içermeyen ve geleneksel yöntemlerle konsantre edilmesi zor olan cevherlerden bakır üretimi için kullanılır.
- Proses; kırma, öğütme, liç (daha çok sülfürik asitle), solvent ekstraksiyonu ve elektro kazanımla katot üretimi süreçlerinden oluşur.





Sülfirik Asitle Oksidik Minerallerin Liç Edilmesi

- Oksit mineralleri (karbonatlar, hidrosilikatlar, sülfatlar)
- Okside edilen mineraller sülfirik asit tarafından hızlı bir şekilde çözünür.



- Diğer taraftan sülfür minerallerin okside edilmesi gerekir.



- Liç işleminde cevherdeki bakırın yığına beslenen zayıf asit/sülfirik asit çözeltisine geçmesi sağlanır.

<i>Mineral Adı</i>	<i>Bileşimi</i>	<i>% teorik Cu</i>	<i>Bakırın Çözünmesi</i>
<i>Azurit</i>	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55,3	<i>Asitte kolayca çözünür</i>
<i>Malakit</i>	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,6	<i>Asitte kolayca çözünür</i>
<i>Krisokol</i>	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36,1	<i>Asitte kolayca çözünür</i>
<i>Tenorit</i>	CuO	79,7	<i>Asitte kolayca çözünür</i>
<i>Kuprit</i>	Cu_2O	88,8	<i>Ferrik Sülfat ve Asitte Çözünür</i>
<i>Diopraz</i>	$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	57,9	<i>Asitte çözünür (Klorür asit)</i>
<i>Brokantit</i>	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	56,2	<i>Asitte Çözünür</i>
<i>Metalik Bakır</i>	Cu	-	<i>Asit, Amonyak, Ferrik demir solüsyonunda çözünür</i>
<i>Kalkosin</i>	Cu_2S	79,8	<i>Asit ve Ferrik demir sülfat solüsyonunda</i>
<i>Kovellin</i>	CuS	66,4	<i>Asit ve Ferrik demir sülfat solüsyonunda</i>
<i>Bornit</i>	Cu_4FeS_4	63,3	<i>Asit ve Ferrik demir sülfat solüsyonunda</i>
<i>Kalkopirit</i>	CuFeS_2	34,6	<i>Asit ve Ferrik demir sülfat solüsyonunda</i>

Muhtelif saf bakır minerallerinin çözünme şartları

Mineral Adı	Meş cinsinden boyut aralığı	Solüsyon	Çözünme miktarı ve süresi	Sıcaklık (°C)
Azurit	-100/+200 150 µm/75 µm	%1-5 H ₂ SO ₄	%100-1 saat	Oda sıcaklığı
Malakit	-100/+200	%1-5 H ₂ SO ₄	%100-1 saat	Oda sıcaklığı
Tenorit	-100/+200	%1 H ₂ SO ₄	%98 -1Saat	Oda sıcaklığı
Kuprit	-10/+28	H ₂ SO ₄ +Fe ₂ (SO ₄) ₃	%99-3 gün	Oda sıcaklığı
Kovellin	-100/+200	H ₂ SO ₄ +Fe ₂ (SO ₄) ₃	%35-11 gün	35 °C

Öğütme sonrası partikül boyutu çözünme süresini etkiler
Liç yönteminde kullanılan asitlerin konsantrasyonu <%10

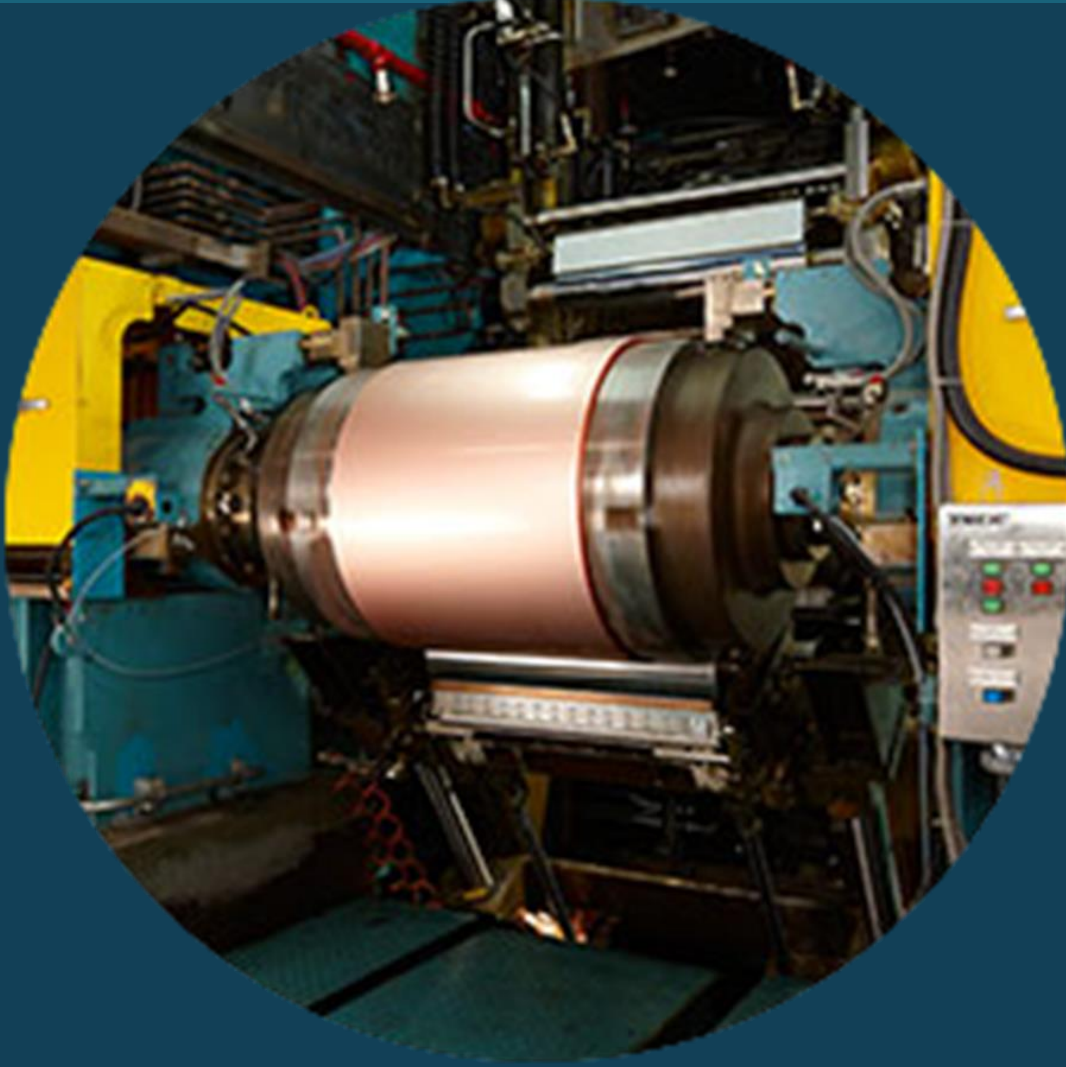
Solvent Ekstraksiyonu

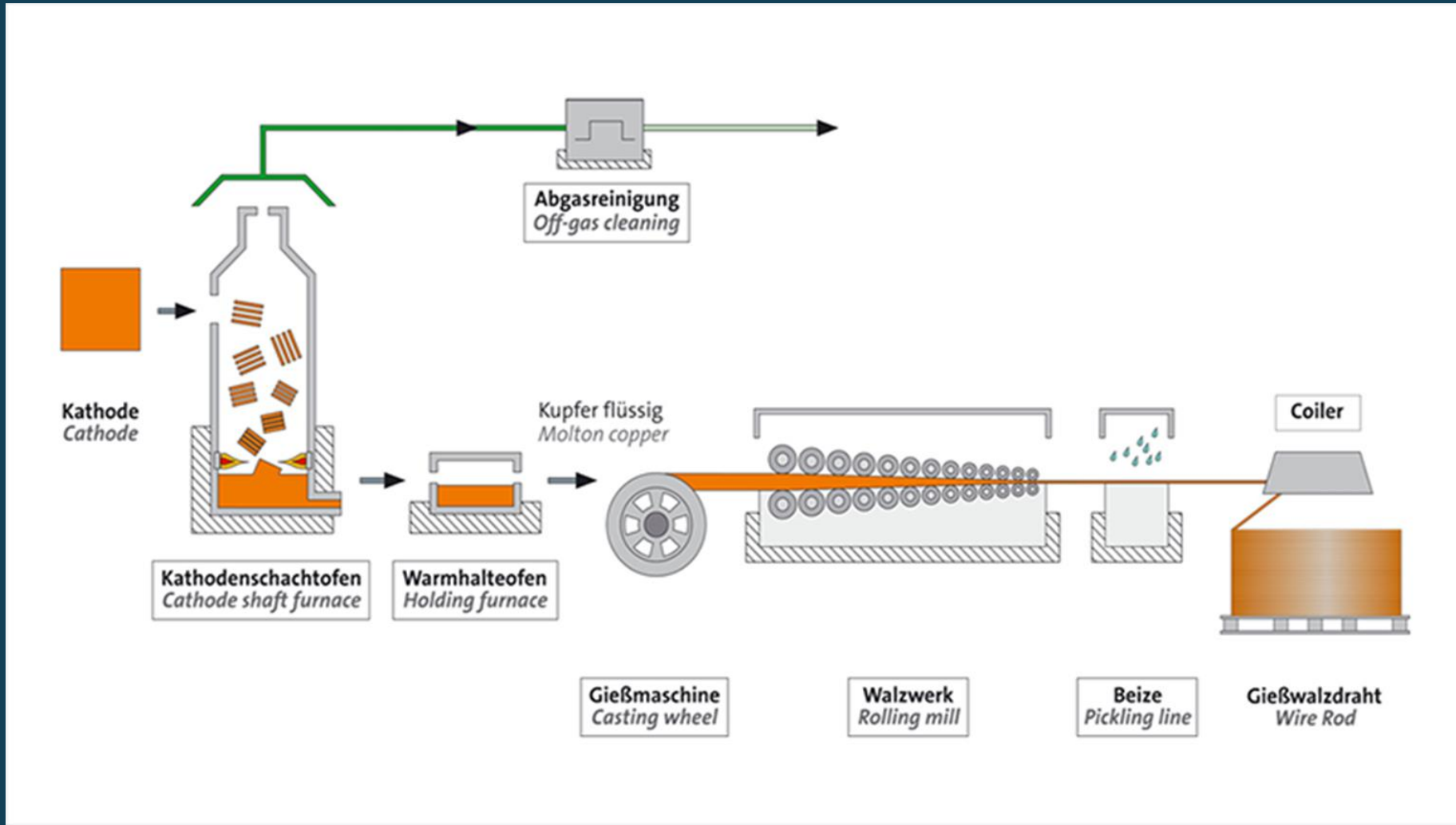
- Cu, Fe ve diğer katyonları içeren liç çözeltisi, tercihli olarak bakırı çözeltiden alan organik bir solvent (aldoksim ve ketoksim reaktifleri gibi) ile karıştırılır.
- Organik solventin kuvvetli bir asit ile yıkanması halinde Cu çözeltiye konsantre halde geçer.
- Daha sonrasında çözeltideki Cu elektrolitik yöntemle kazanılır ve % 99.99 saflıkta Cu katotlar üretilir.
- Cu katotlar kullanılarak döküm, haddelme, ekstrüzyon gibi yöntemlerle ürünlere dönüştürülür.

İkincil Bakır Üretimi-Pirometalurjik yön. uyg.

- Yüksek Fırın
- Elektrik Ark Fırını
- Üsten Üflemlili Döner Fırın

Type of material	Cu content (wt-%)	Sources
Mixed copper sludges	1-25	Electroplating
Computer scrap	15-20	Electronics industry
Copper mono-sludges	2-40	Electroplating
Copper-iron material (lumpy or comminuted) from armatures, stators, rotors, etc.	10-20	Electrical industry
Brass dross, ashes and slags that contain copper	10-40	Foundries, semi-finished product plants
Red brass dross, ashes and slags that contain copper	10-40	Foundries, semi-finished product plants
Shredder material	30-80	Shredder plants
Copper-brass radiators	60-65	Cars
Mixed red brass scrap	70-85	Water meters, gear wheels, valves, taps, machine components, bearing boxes, propellers, fittings
Light copper scrap	88-92	Copper sheets, eaves, gutters, water boilers, heaters
Heavy copper scrap	90-98	Sheets, copper punchings, sliderails, wires, pipes
Mixed copper scrap	90-95	Light and heavy copper scrap
Copper granules	90-98	From cable comminution
Pure No 1 scrap	99	Semi-finished products, wire, cuttings, strip





Videolar

1. <https://www.youtube.com/watch?v=Wy6srgxvgbw>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=Qo4imyIVsYg>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=M2hjev6FS67g>



Karabük Üniversitesi

EKO
METAL



Dinlediğiniz için

Teşekkürler...