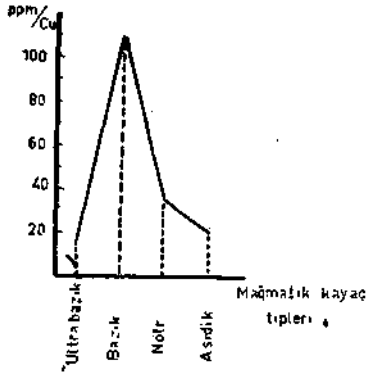


DÜNYADA BAKIR

Dünyada ve Türkiye'de Bakır Rezervi

Asım GÖKTEPELİ (*)

Bakır metalinin, fizikî ve kimyevî özelliklerinden dolayı bugün çok geniş bir kullanılma alanı mevcuttur ve gün geçtikçe de bakır tüketimi büyük bir



SEKİL 1: Vınogradov'a göre baslıca mağmatik kayaç tıplerindeki ortalama bakır mıkıtarı (ppm olarak)

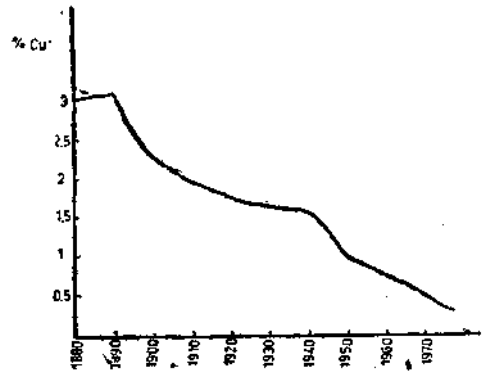
hızla artmaktadır. Bu artışa paralel olarak arama ve metalurjide de büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu sayede 1900 senelerinde ekonomik olarak işletilebilir bakır tenörü % 3 iken, 1970 yılında bu % 0,5 bakıra, 1972 yılında da % 0,3 bakıra düşmüştür (Şekil 2). Hattâ 1972 yılında bakır fiyatlarında düşüş görülmesine rağmen bazı büyük açık işletmelerde cevher işletme sınırı % 0,2 ye kadar düşmüştür (Bagdad - Hilside and San Xavier - North, USA).

Son senelerde, düşük tenörlü bakır cevherinin ekonomik sınırlar dahilinde işletme imkânının doğmuş olması, çok büyük rezervli, açık işletmeye müsait profirik tip cevher yataklarının işletilme-

ye başlamasını ve dünya rezervinde büyük artışlar kaydedilmesini sağlamıştır. Bugün dünyada, rezervi 300 milyon m. tonun üzerinde olan 20 den fazla bakır yatağının etüd ve araştırmaları tamamlanmak üzeredir. Bu yatakların büyük bir kısmı Amerika kıtasında bulunmaktadır.

Wedepohl'a göre, litosferi meydana getiren kayalar içerisinde ortalama olarak 33 ppm bakır bulunmaktadır. Krauskopf'a göre bu değer ise 55 ppm dir.

Turekian ve Wedepohl ile Vinogradov'a göre arz kabuğunu meydana getiren kayaların da bakır muhtevaları şöyledir; asidik, mağnatik kayalarda 10-30 ppm bakır, nötr mağnatik kayalarda 35 ppm bakır, bazaltik mağmatik kayalarda 87 -1000 ppm bakır, ultrabazık mağmatik kayalarda ise 15 ppm bakır mevcuttur (şekil 1). Derin deniz sedimanlarında 250



SEKİL 2 A.B.D. de 1880 -1970 yıtır, aramda ihtıtal edilen bakır cevherinin ortalama tenör'ün

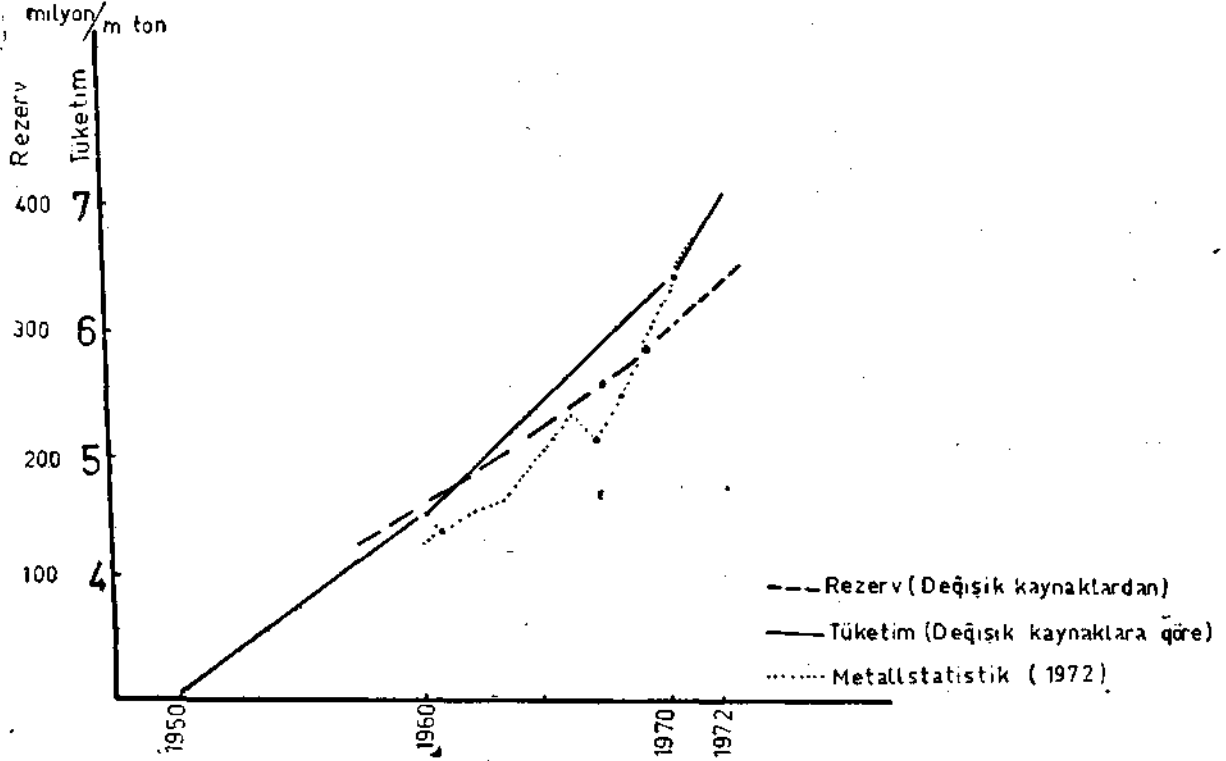
(*) M. T. A. Enstitüsü Plân - Proje Şubesi - ANKARA

ppm değerinde bakır bulunmasına rağmen kumtaşlarında hiç bakıra raslanmamaktadır. Derin deniz sedimanlarındaki bakır değerinin bazan 2500 ppm ye ulaştığı görülmektedir. Metalürji tekniğindeki gelişmelerle ilerideki yıllarda bu tip yatakların işletilmesi de mümkün olacaktır.

Dünya metal bakır rezervi 1958 yılında 137 milyon mton iken, bu (değişik araştırmaların değişik zamanlardaki yayınlama göre) 1967 ylında 253 milyon mton, 1969 yılında 280 milyon mton, 1970 yılında 304

milyon mton ve 1971 yılında da 360 milyon mton'a yükselmiştir.

Dünya bakır rezervi artışı, dünya bakır tüketimiyle karşılaştırılacak olursa, rezervin 1971 yılında, 1958 yılına nazaran 1,5 misli daha artarak 2,5 misline yükseldiği halde, tüketimin 1971 yılında 1960 yılına nazaran ancak 0,5 misli artarak 1,5 misli ne yükseldiği görülür. Fakat eğrilerin bu günkü yükselişi mukayese edilirse, tüketimin kısa bir zaman sonra rezerv artış hızına erişeceği ve onu geçeceği açık olarak anlaşılmaktadır (Şekil 3)



SEKIL.3 : Dünyada rezerv artışına göre bakır tüketimi (metalik)

Genel olarak dünya metal bakır rezervinin % 50 den fazlası Amerika kıtasında, % 20 si de Afrika kıtasındadır. Geriye kalan ise diğer kıtalara dağılmıştır (Tablo 1 - 2).

Şayet ülke olarak düşünülecek olursa, dünya rezervinin % 90 inin 7 ülkede toplandığı görülür. Bunlardan A. B. D-yaklaşık olarak dünya rezervinin % 25 ine,

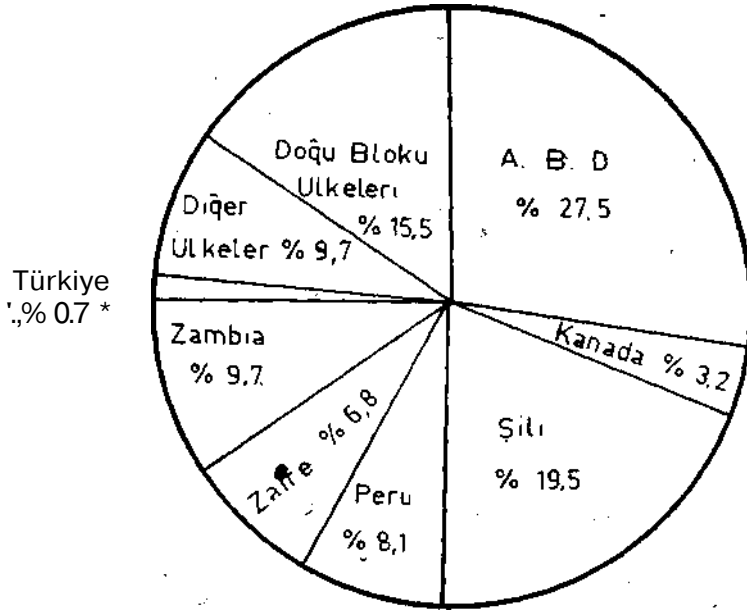
Şili % 20 sine, Rodezya % 15 ine, Sovyetler Birliği ve Kongoda % 10 una sahiptirler. (Tablo 3, Şekil 4)

Türkiye'de bakır madenciliğinin tarihinin çok eski olmasına rağmen, diğer yeraltı servetlerinde olduğu gibi, bilimsel ve üretken metodlarla arama ve işletme çalışmaları için ilk adım 1935 yılında M. T. A. Enstitüsü ile Etibank'ın kurulmasıyla atılmıştır.

1935 yılından önce bilinen ve işletilen Ergani ve Murgul gibi önemli bakır yataklarının rezervleri hakkında kesin bir bilgimiz yoktu. Ancak bu yıldan sonra yapılan teknik ve bilinçli arama çalışmaları neticesinde bu yataklarının rezervlerinin ve tenörlerinin tesbit edildiği gibi daha birçok yeni bakır yatakları bulunmuş ve iş-

letmeye açılmıştır.

Bugün Türkiye'nin bilinen, işletilebilir metal bakır rezervi 2,543 milyon m ton-
dur, ve dünya rezervinin ancak % 0,7 sine sahiptir. Ancak devam etmekte olan arama çalışmaları ile, Türkiye rezervinin de süratle artacağına muhakkak surette inanmaktayız (Şekil 4).



ŞEKİL=4 Ülkelere göre dünya rezerv dağılımı

Türkiye'de bilinen bakır yataklarından ancak 2 tanesi, dünya standartlarına göre, büyük bakır yatağı sınıfına girmektedir. Bunlardan birincisi 1.057.405 ton metal bakır rezerviyle (görünür + muhtemel), aynı zamanda Türkiye rezervinin de % 41 ine sahip olan Rize - Çayeli yatağıdır. İkincisi ise Artvin - Murgul (Anayatak + Çakmakkaya) yatağıdır ki, yatağın da rezervi 986 800 ton metal bakırdır ve Türkiye rezervinin % 39 una sahiptir. Türkiye toplam metal bakır rezervinin % 80 ini teşkil eden bu iki yatağın haricinde kalan diğer bakır yatakları, dünya standartlarına göre küçük veya çok küçük yataklardır. (Tablo 5)

Teşekkülleri bakımından bakır yataklarını inceliyecek olursak, dünya bakır rezervinin % 42 sinin porfirik tip ya-

taklarda olduğu ve bu tip yatakların Amerika, kıtasında bulunduğunu, % 27 sinin de emprénye yataklarda olduğunu (kumtaşlan) ve Afrika kıtasında bulunduğunu görürüz (Tablo 4)

Türkiye bakır yataklarının ise hemen hepsi hidrotermal - sedimanter yataklardır (Balıkesir - Dursunbey yatağı hariç) Toplam Türkiye rezervi 2,543 m./ton ve yatak tipleri de genel olarak masifadese ve stock-work'dur (Tablo 5).

NETİCE : Türkiye bugünkü metal bakır rezerviyle, dünya rezervinin ancak % 0.7 sine sahiptir ve dünyada son sıralarda yer almaktadır. Ancak, yurdumuzda yaygın bir bakır mineralizasyonu bulunmasına rağmen, arama çalışmalarına çok yakın zamanda başlanmış olması ne-

deniyle, bu sahaların ancak küçük bir kısmının etüdüleri tamamlanabilmiştir. Önümüzdeki yıllarda devam edecek ara-

ma çalışmalarıyla, bakır rezervinde büyük artışlar sağlanacağı muhakkaktır.

Tablo 1

**DÜNYA METAL BAKIR REZERVİ
(1000 mton olarak)**

	Jankoviç'e göre (1967)		Cissarz'a göre (1971)		
	Rezerv	Tenor %	Dağılım %	Rezerv	Dağılım %
Amerika	120000	0,9-3,5	47,6	244800	68,0
Afrika	95500	0,7-6,4	37,7	63000	17,5
Avrupa*	30300	0,3-2,0	12,0	17300	4,8
Asya	5500	0,7-3,5	2,2	22000	6,1
Avustralya	1300	0,74,0	0,5	12900	3,6
Dünya Toplam	253000	0,3-6,4	100	360000	100

* Sovyetler Birliği tahmini olarak alınmıştır.

Tablo 2

**DÜNYA METAL BAKIR REZERVİ
(F. W. Prokop'a göre 1970)**

Kıtalar	Rezerv (1000 m ton)	Dağılım %
Amerika	172000	56.6
Afrika	63000	20.7
Avrupa	12000	4.0
Asya	8000	2.6
Avustralya	4000	1.3
Doğu bloku		
Ülkeleri (Çin dahil)	45000	14.8
Dünya Toplam	304000	100

Tablo 3
Dünya Bakır Rezervinin Ükelere
Göre Dağılımı (%)

ÜLKELER	Jankoviç'e	R. W. Ageton
	göre (1967)	ve N. Greenspon'a göre (1970)
Rodezya	21.34	9.7
A. B. D.	19.76	27.8
Şili	18.18	19.3
Kongo	14.23	6.5
Sovyetler Birliği	7.90	12.5
Peru	4.94	8.0
Kanada	3.79	73.2
Diğer	9.86	13.0

Tablo 4
BAKIR YATAKLARININ JENEZLERINE GÖRE
DÜNYA REZERV DAĞILIMI

KİTALAR	YATAK TİPLERİ						
	Mağmatik	Skarn	Hidrotermal				Diğer
			Filon 1 Porfirik	Piritik	Emprenye kum taşları		
Kuzey Amerika	13.0 _v	—	62	59.5	7.4	3.8	10.1
Güney Amerika	—	—	7.0	93.0	—	—	—
Afrika	0.1	1.3	0.8	—	—	97.8	—
Avrupa	0.7	0.5	120	3.0	68.8	15.0	—
Asya	—	12.0	15.0	—	73.0		—
Avustralya	—	—		—	—	100.0	
Dünya	4.0	3.0	8.0	42.0	14.0	27.0	2.0

Kaynak S. Jankoviç 1967

TÜRKİYE BAKIR YATAKLARI

Tablo (5)

Mevkii	Cevher Rezervi (Ton)		Tenor ‰	Metalik Bakır Rezervi vTon)		Jenezi	Kaynak
	Görünür	Muhtemel		Görünür	Muhtemel		
Artvin-Murgul-Anayatak	66.000.000	—	0,75	495.000	—	Stock work Hidrotermal sedimenter	M.T.A.
Artvin-Murgul-Çakmakkaya	98.360.000	—	0,5	491.800	—	»	>
Rize-Çayeli-Madenköy	21.100.000	11.890.000	3,18-3,25	670.980	386.425	Masif adese	>
Elâziğ-Ergani	12.079.000	—	1,73	208.966	—	»	>> Etibank.
Giresun-Lahanos	2.312.000	—	3,59	83.000	—	»	» M.T.A.
Giresun-Kızılkaya	10.000.000	—	0,818	81.800	—	»	»
Kastamonu-Küre	1.806.000	—	3,6	65.016	—	Masif	» Etibank
Trabzon-Kutlular	1.200.000	—	1,8	21.600	—	Stock work	» M.T.A.
Giresun-Köprübaşı	1.500.000	—	0,87	13.050	—	Masif adese	»
Giresun-Batlamadere	1.220.000	—	0,8	9.760	—	Stock work	METAG
Giresun-Harkoy	100.000	—	0,84	840	—	Adese	» M.T.A.
Giresun-İsrail	200.000	—	3,35	6.700	—	Stock work	»
Balıkesir-Dursunbey	305.000	—	1,6	4.880	—	Dissémine	Kontakt pnömatolitik »
Babadağ-Denizli	300.000	—	0,85	2.550	—	diss, ve filon	Hidrotermal »
Artvin-Kuvarshan	11.500	—	6,0	690	—	Stock work	»
T o p l a m				2.156.632	386.425		

Toplam Türkiye Rezervi : 2.543 m. ton.

Bakır Metalürjisi ve Teknolojisindeki Gelişmeler

Fuat Yavuz BOR *
AU Fuat ÇAKIR **

Konu iki yazı halinde incelenmiştir. Birinci yazı, bakır metalürjisine genel bir bakış ve pirometalürjideki gelişmeleri kapsamaktadır, ikinci yazıda ise hidrometalürji ve elektrometalürjideki gelişmeler incelenmiştir.

Her iki yazının kapsamına yalnız 2 nci Dünya Savaşından sonraki gelişmeler alınmıştır. Genel temayülün aksine olarak bakır üretim metalürjisi ile ilgili, dört dildeki 1950 den sonra yazılmış en önemli eserlerin bir listesi «Bibliyografya» başlığı altında bu kısımın sonunda verilmiştir. Metin içinde adı geçen literatür de, her makalenin sonunda «Referanslar» başlığı altında toplanmıştır.

Pirometalürjideki gelişmeler yazısında, gelişmeleri etkileyen faktörler belirlenmiş, hâlen uygulanmakta olan metodların değişik tarafları gösterilmiş, henüz büyük çapta uygulamaya geçilmemiş yeni çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Hidro ve Elektrometalürjideki gelişmeler yazısında da, konu hakkındaki genel bilgiyi müteakip, geliştirilmiş veya geliştirilmekte olan yöntemler «daha iyi - daha büyük, prensip itibariyle eski mühendislik yönünden yeni ve prensip olarak yeni» ana fikirleri etrafında incelenmiştir.

The subject has been discussed in two articles. The former includes a general review of copper extractive metallurgy and treats the advances in pyrometallurgical practices more specifically. The latter is concerned with the developments in hydro and electrometallurgy.

Both articles cover the advances in copper extractive metallurgy since the World War II. The most important books in four different languages related to the topic and published after 1950 are listed unconventionally at the end of this section under the heading of «Bibliography». The literature referred in the texts is gathered separately, at the end of each article under the title of «References».

The paper related to the developments in pyrometallurgy includes the factors influencing these developments, different facets of the presently practised processes and also the pertinent information about the processes that have not yet large scale application.

In the second article, following a general review of the topic, the existing and the proposed processes are classified and critically analysed as «better and bigger processes, old processes with new engineering design or brand new processes».

** Doç. Dr. Ing., I.T.Ü. Maden Fakültesi, Tatbiki Metalürji Kürsüsü — İSTANBUL.

** Dr. Y. Mühendis, I.T.Ü. Maden Fakültesi, Tatbiki Metalürji Kürsüsü — İSTANBUL.

B İ B L İ Y O G R A F Y A

A — TÜRKÇE :

- 1 — CANKUT, S., — **Bakır**, Ekstraktif Metalürji Uygulaması, Rabak Elektrolitik Bakır ve Mamulleri A.Ş. İstanbul, 1973, 198 s.
- 2 — CANKUT, S., - **Ekstraktif Metalürji** İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları No. 884 1972, 698 s.
- 3 — DENNIS, W. H., — **Demirden Gayri Metaller Metalürjisi** (H.E. Tulgar çevirisi) İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları No. 842. 1971, 491 s.

B — İNGİLİZCE

- 1 — BUTTS, A., (Editör) — **Copper - The Science and Technology of the Metal, its Alloys and Compounds.** (ACS Monograph 122). Reinhold, New York 1954.
- 2 — QUENEAU, P. (Editor) — **Extractive Metallurgy of Copper, Nike! and Cobalt** Interscience Publishers, New York, 1961.
- 3 — EHRLICK, R.P. (Editor) — **Copper Metallurgy** AIME Publication, New York, 1970.
- 4 — RUDDLE, R. W., — **The Physical Chemistry of Copper Smelting** Inst. Min. Met., London, 1953.
- 5 — NEWTON, J., — **Extractive Metallurgy** John Wiley & Sons, New York, 1954
- 6 — LANIER, H., — **Copper** Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd Ed. Kirk - Othmer (Editor), Cilt 6, s. 131 -181.
- 7 — Van ARSDALE, G.D. (Editör) — **Hydrometallurgy of Base Metals** McGraw Hill Book Co., New York, 1953.
- 8 — MANTELL, C.L., — **Electrochemical Engineering** 4 ncü Basi. McGraw Hill Book Co. New York, 1960.

C — ALMANCA

- 1 — TAFEL, V., — «Lehrbuch der Metallhüttenkunde» 2. Aufl. Bd. 1, Leipzig. 1951.
- 2 — «Gmehlin's Handbuch der Anorganischen Chemie» System Nr. 60, Kupfer, Verlag Chemie GmbH Weinheim, 1955.
- 3 — «Ullmans Encyklopaedie der Technischen Chemie», 3. Aufl. Bd. 11, Verlag Urban & Schwärzenberg. München, 1960.
- 4 — MURATSCH, N. N., — «Handbuch des Metallhüttenmannes», Bd. 1 VEB Verlag Technik, Berlin 1954.
- 5 — WINNACKER, K. ve E. WEINGARTNER — «Chemische Technologie» Bd. 5, Carl Hanser Verlag, München 1959.
- 6 — KOLDASCHEW, W.A., — «Metallurgie des Kupfers» Fachbuchverlag, Leipzig 1953.
- 7 — EGER, G., — «Handbuch der Technischen Elektrochemie» Akad. Verlagsges. Geest + Portig UG. Leipzig 1956.
- 8 — ENGELHARDT, V., — «Handbuch der Technischen Elektrochemie» Akad. Verlagsges. Geest + Portig KG. Leipzig, 1961.

D — FRANSIZCA

- 1 — COHEN, G., — **Le Cuivre et le Nickel** Presses Universit. de France, 1952 128 s.
- 2 — POSTEL, M., (Editor) — **Technique de l'Ingénieur Métallurgie,** Tome III, M. 2250, 1969.

Bakır Metalürjisine Genel Bakış ve Pirometalürjideki Gelişmeler

Fuat Yavuz BOR
Ali Fuat ÇAKIR

Bakır cevherleri, mineralojik yapılarına göre, sülfürlü ve oksitli cevherler olarak, iki ana grupta belirlenirler. Nabıt bakır, genelleşmeye dahil edilemeyecek derecede sınırlıdır. Cevherin mineralojik yapısı yanında tenorun de, uygulanacak üretim metodunun seçimine etkisi büyük olduğundan «Fakir» ($L \% 2$ Cu) ve «Zengin» ($\% 2$ ilâ 10 Cu) cevherler şeklinde ikinci bir ayırım genellikle yapılır.

Sülfürlü bakır cevherlerinin en önemli minerali kalkopirittir ($CuFeS_2$) ve genellikle pirit (FeS_2) ve değişen miktarlarda diğer ağır metal sülfürleri (PbS , ZnS v.b.) ile birlikte bulunur. Çoğunlukla gang asidik karakterlidir. Günümüz cevherlerinin ana özelliği, fakir cevherler niteliği taşımasıdır. Dolayısıyla ilk kademede bir cevher hazırlama işlemi ile kıymetli metalik minerallerin bir ürün içerisinde toplanması gerekir. Bu konsantrasyon işlemi, halen en yaygın metod olan «Flotasyon» yoluyla yapılarak $\% 10$ ilâ 30 Cu ihtiva eden «Konsantre» üretimi gerçekleştirilir. Metalürjik açıdan bu konsantreler, ihtiva ettikleri kükürt ve demir yanında, flotasyon tekniğinin icap ettirdiği derecedeki ince öğütmeden mütevellit «toz» durumunda bulunmaları bakımından belirlenirler.

Bahsedilen bu «Bakır Cevherleri» yanısıra «kompleks cevherler» gittikçe önem kazanan bir durum arzeder. Bakır ile beraber bilhassa Nikel, Kobalt,

Kurşun, Çinko v.b. kıymetli mineralleri bünyelerinde bulunduran ve bunların bünyelerine giren veya dissémine olan kompleks cevherlerin işlenmesi büyük zorluklar yaratır. Genellikle uygulanan selektif flotasyon metodu ile bakır ve diğer minerallerin ayırımı yeterince selektif değildir. Bu durum, bu tip cevherlerden üretilen konsantrelerin izabesinde özel metalürjik işlemlerin uygulanmasını gerekli kılar.

Oksitli bakır cevherleri genellikle düşük tenörlüdür ve sülfürlü cevherlere kıyasla, flotasyon kabiliyetleri çok azdır.

Cevher hazırlama metodlarıyla yeterli bir konsantrasyon işlemi çoğu zaman imkânsızdır ve diğer metalürjik metodlarla kombine edilme zorunluğu yaratırlar. Bu arada, piritten sülfürik asit üretiminin artıkları, bakır metalürjisinde özel bir görüntü yaratır. Pirit artıkları $\% 0.5 - 3$ Cu yanında hemen hemen bütün diğer ağır metalleri de, değişen ve küçük miktarlarda ihtiva ederler. Bu karakterleri ile kompleks cevherlere benzetmek mümkündür. Pirit artıklarının «Purple Ore» şeklinde demir cevheri karakteri kazanabilmesi, özel ve çok kompleks metodların uygulanması ile renkli metallerin ayrılmasını gerekli kılar.

Günümüzde cevherlerden üretilen bakırın $3/4$ ü sülfürlü cevherlerden elde edilmektedir..

1. Bakır Üretim Metodlarına Kısa Bir Bakış

Bakır cevherlerinden veya konsantrelerinden bakır üretimi, tüm demir - dışı metaller metalürjisinde olduğu gibi, ekonomik mülâhazalarla bir tek kademede değil, 'birbirini takibeden birkaç kademede gerçekleştirilir. Bu kademeleri

- 1 — Bakırın, içerisinde toplandığı sıvı bir faz üretimi (piroifreialürjide mat, hidrometalürjide çözelti); **konsantrasyon işlemi.**
- 2 — Bakırın metalik hale dönüştürülmesi. (Pirometalürjide redüksiyon veya reaksiyon ergitmesi, hidrometalürjide çökeltme veya sementasyon, elektrometalürjide elektolitik redüksiyon); **redüksiyon işlemi.**
- 3 — Ham bakırın (Blister, Karabakır, Sementbakır v.b.) saflaştırılması (Pirometalürjide Ateşte Rafinasyon, Elektrometalürjide Elektrolitik) **rafinasyon işlemi.**

olarak belirlemek mümkündür (1).

İşaret edilmesi gerekli olan husus, özellikle bakır metalürjisinin bir ham maddeye veya ara ürüne çeşitli ve değişik metodların uygulanması ile aynı sonuca varılabildiğini gösteren güzel bir örnek olduğudur.

Şekil 1 de çok genel haliyle çeşitli cins cevherlerden metalik bakır üretimi, uygulanan temel işlem kademeleri (temel operasyon ve temel prosesler) yöntemiyle, basitleştirilmiş olarak gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, günümüzde endüstriyel çapta uygulanan metodlar aşağıdaki gibi basitleştirilebilir.

1.1. Konsantrasyon ve Redüksiyon

1.1.1. Zengin sülfürlü cevherler parça halinde iseler genellikle doğrudan, toz halinde iseler kısmî oksitleyici bir or-

tamda aglomerasyon (sinterleme) yoluyla parça haline getirilerek şaft fırınlarında oksitleyici (piritik, yarı piritik) veya nötr bir ergitmeye tabi tutularak;

— Fakir sülfürlü cevherler bir cevher zenginleştirme (genellikle flotasyon) sonucu ya aglomera edilerek (oksitleyici sinterleme) şaft tipi, veya çok kademeli veya günümüzde artık genellikle fluosolid tipi fırınlarda kısmî bir oksitleyici kavurmadan sonra reverber veya elektrik fırınlarında nötr veya hafif oksitleyici, veya sadece basit bir kurutmadan sonra Outokumpu veya Inco tipi Flash ergitme fırınlarında oksitleyici bir kısmî ergitmeye tabi tutularak «Mat» ve «Cüruf» teşekkülü yoluyla konsantrasyon işlemi (bakırın matta toplanması) gerçekleştirilir.

Akabinde mat, konvertörlerde oksitleyici bir işleme tabi tutularak «Blister Bakır» üretilir. Burada yapılan işlem iki kademeli olup, blister bakır üretimini sağlayan «Redüksiyon İşlemi» kademesi, reaksiyon ergitmesi yoluyla olur.

1.1.2. Oksitli cevherler yüksek tenörlü iseler (zengin) «Kara Bakır» üretimine imkân verirler. Sülfürlü zengin bir kavurmadan (çok katlı fırınlarda) sonra bir elektrik fırınında redükleyici ergitmeye tabi tutulmalarıyla keza Metalik Bakır üretilen bir tesis mevcuttur. Bu işlem doğrudan redüksiyon işlemidir.

— Fakir oksitli cevherler seyreltik sülfürik asit, amon alkali veya ferrik sülfat gibi uygun çözeltilerde çözümlendirilerek gangdan ayrılma ve bakırın çözelti içerisinde toplanmasıyla konsantrasyon işlemi yapılır.

— Oksitli - sülfürlü cevherlerin işlenmesi ise genellikle, ferrik sülfat ile çözümlendirme ile başlar.

Çözümlendirme işlemini çözelti arınması, temizlenmesi ve benzeri lüzumlu çalışmalar takip eder. Metalik bakıra geçiş kademesi olan redüksiyon işlemi, uygun maddelerle bakırın çöktürülmesi (ge-

nellikle demir vasıtasıyla sementasyon) veya çözünmeyen anodlar kullanılarak, redüksiyon elektrolizi yoluyla yapılır. Redüksiyon elektrolizi ürün olarak katod bakır verir.

1.1.3. Kompleks cevherlere (pirit artıkları, polimineralik cevher veya konsantreler) genellikle pirometalürjik bir hazırlayıcı çalışmayı takiben (klorlayıcı, sülfatlayıcı kavurma gibi) çözümlendirme yoluyla konsantrasyon işlemi uygulanır. Sülfatlayıcı kavurma ve çözümlendirmeyi müteakip uygulanan işlem kademeleri sonunda, bakırın üretimi redüksiyon elektrolizi yoluyla katod bakır halindedir.

Son ürünün yüksek safiyette katod bakır olması dolayısıyla kompleks olmayan yüksek tenörlü (% 30 Cu) bir konsantrasyonuna da bu metodun uygulandığı endüstriyel çapta bir tesis mevcuttur.

Diğer tip kavurma işlemleri çözümlendirme ve çözelti temizleme safhalarından sonra genellikle sementasyon veya son zamanlarda iyon değiştiriciler ile arkasından elektroliz yoluyla bakırın kazanılmasını sağlarlar.

Kompleks cevherlerin basınç altında çözümlendirilmesi yöntemi de artık endüstriyel çapta uygulanan metodlar arasına girmiştir.

Diğer yandan, bakteriler vasıtasıyla kimyasal işlemlerin gerçekleştirilmesi kısmen uygulanmakta olan yöntemlere dahil edilebilir.

1.2. Rafinasyon

Katod bakır dışındaki metalik bakır (sement bakır, kara bakır, blister bakır) endüstride metalik malzeme olarak kullanılabilme olanağına, bir anlaştırmaya işleminden sonra kavuşurlar. Bu işlem genellikle selektif oksidasyonla empürütelerin ayrılması ve bakırın tekrar redüksiyonu olan kademeleri kapsayan «ateşte rafinasyon» ile başlar. Rafine bakır, bu işlemin ürünü olarak satılabilir.

Daha saf üretim ve özellikle asal metallerin kazanılması için rafine bakır anod şekline dökülerek, bakır sülfat elektrolit ihtiva eden bir sistemde «rafinasyon elektrolizine» tabi tutulması gerekir. Katod bakır bu işlemin satılabilir ürünüdür. Elektrolitik bakırın asıl büyük miktarının piyasaya arzı wirebar, blum, kütük v.b. şekillerde dökülmüş olarak yapılır.

2. Bakır Metalürjisindeki Gelişmeler

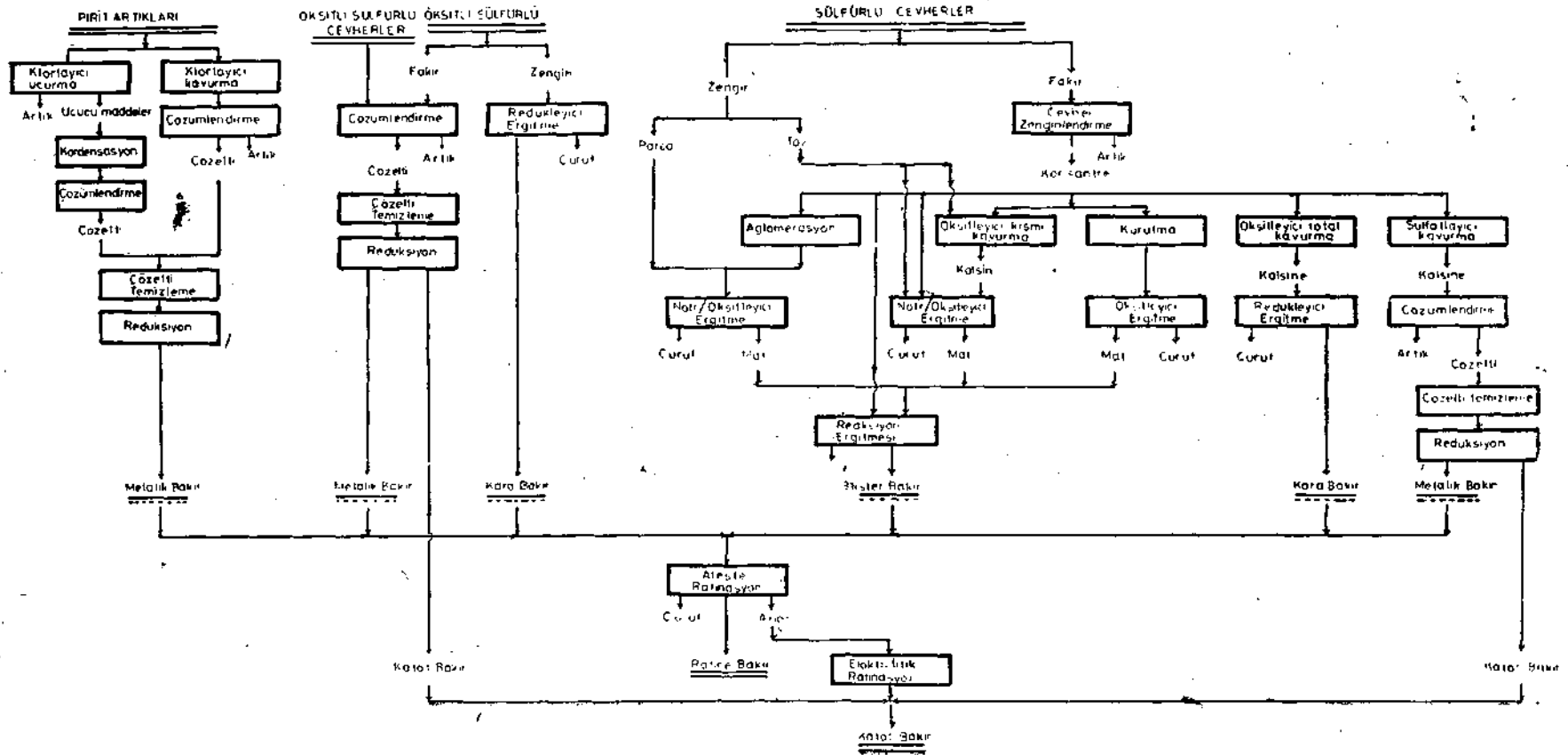
Milattan önce 7000 yılına kadar giden bir tarihçesi olmasına rağmen (2) ve asrımızda milyon ton rakamları ile belirlenen üretim miktarlarına nazaran bakır metalinin endüstriyel yöndeki üretim metalürjisindeki ana ve devrimsel görünüşteki gelişmeleri ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır. Bu gelişmelerin özellikle yeni yöntemlere götüren bölümü tümüyle bilimsel gayretler ve laboratuvar çapı etüdlerin sonucu olarak gerçekleştirilen, mevcut teknolojideki gelişmeler içinde de bilimsel ve laboratuvar çalışmalarının büyük etkisi vardır.

Gelişmelerin yönü genellikle **daha büyük üretimi daha ucuza daha yüksek kalitede** yapabilmek gayretlerine bağlı kalmıştır. Bu arada lüzumlu ham madde veya yardımcı maddelerin tedarik imkân ve fiyatlarının da gelişmeleri etkilediği, keza üretilecek yan ürünlerin cinsi ve buna bağlı proses değişiklikleri gibi lokal etkenlerin gelişmelere yön verdiği görülmektedir.

Günümüzde bunlara ilâveten hava ve su kirlenmesini önleme mecburiyeti gelmiş bulunmaktadır.

Bu yazıda, bakır metalürjisindeki gelişmeler, pirometalürjideki ve hidrometalürjideki gelişmeler olarak iki bölüm halinde incelenmekte, mevcut teknolojiye ilâveten ileriye matuf gelişmelere özellikle işaret edilmektedir.

ŞEKİL:1 GENEL VE BASİTLEŞTİRİLMİŞ ŞEKLİYLE ÇEŞİTLİ BAKIR CEVHER VE HAMMADDELERİNE HALEN UYGULANMAKTA OLAN ÜRETİM METOTLARI İŞLEM KADEMELERİ



2.1. Gelişmeleri Etkileyen Faktörler

Pirometalürjik gelişmeleri etkileyen ve bundan sonra da özellikle etkilemesi beklenen kriterlere kısaca bakmakta fayda vardır. Bu kriterler, önem sırası gözetilmeden, aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Yakıt Sarfiyatının Azaltılması :

Özellikle pirometalürjik işlemler, yeterli reaksiyon hızlarına varabilmek maksadıyla yüksek sıcaklıklarda yapılırlar. Yakıt olarak kullanılan maddelerin miktarları çok büyük meblağlara varır. Dünya yakıt rezervlerinin çok büyük bir hızla kullanıldığı ve yerine konamadığı düşünülürse, sarfiyatın azaltılmasıyla hem mevcut rezervlerin daha uzun süre insanlığın emrinde kalması sağlanabilir, hem de metalürjik işlemlerde maliyetler **daha ucuz** üretim yönünde etkilenebilir.

2. Enerji Sarfiyatının Azaltılması :

Özellikle elektrometalürjik ve hidrometalürjik işlemler büyük enerji harcarlar. Hidroelektrik dışındaki enerji, termik yollarla kazanıldığından **daha ucuz** üretim faktörü yanında mevcut yakıt rezervlerinin korunması kriteri de burada geçerlidir.

3. Yatırım Miktarlarının Azaltılması :

Metalürjik işlemler çok çeşitli fiziksel ve kimyasal dönüşümleri kapsarlar. Bu dönüşümlerin gerçekleştirilmesi, çeşitli üniteler içerisinde vuku bulur. Birkaç üniteye yapılan çeşitli dönüşümlerin bir büyük ünite içerisinde yapılması, özellikle yatırım miktarının azaltılması yoluyla maliyetleri müsbet yönde etkiler.

4. Üretim Miktarlarının Artırılması :

Bir üniteden alınabilecek verimin küçük değişikliklerle ve düzeltmelerle artırılması imkânını aramak, tüm teknolojik işlemler için geçerlidir.

5. İşçiliklerin Azaltılması :

insan gücü gitgide pahalılaşmakta ve kalifiye güç zor bulunmaktadır. Bu yönden işçiliklerin azaltılması gayreti, önemli bir kriter olarak belirir. Otomasyon gayretleri bunlara ilgili olarak düşünülebilir.

6. İşlemlerin Basitleştirilmesi :

Üretimdeki her duraklama kayıptır. Duraklamaları asgariye indirmek, işlemlerin basitleştirilmesi ile paralel bir görünüştedir.

7. Sürekli Metodların Bulunması :

Malzemelerin parti parti işlenmesi, tesis içi büyük nakliye problemleri doğurmaktadır. Bilhassa yüksek sıcaklıkta sıvı maddelerin bir üniteden diğerine iletilmesi hem enerji, işçilik ve malzeme sarfiyatına hem de kayıplara sebebiyet vermektedir. Aynı işlemin sürekli metodlarla yapılmasının faydaları aşikârdır.

8. Yan Ürünlerin Kazanılması :

Ham maddeler ve yardımcı maddelerin ihtiva ettikleri yan elemanlar, günümüze kadar dönemdeki artan diğer maliyet faktörleri muvacehesinde ve özellikle günümüzde, ekonomik açıdan git-tikçe daha büyük önem arz etmeye başlamıştır. Buna ilâveten, bazı elemanların çevresel ve yöresel zararlılıkları, kazanılmalarını zorunlu kılacak duruma gelmiştir.

9. Çevre Kirlenmesinin Önlenmesi : Son zamanlarda özellikle Avrupa'da ve K. Amerika'da baca gazları ve uçucu tozların çevreyi kirlenmeleri, insan, hayvan, bitki hayatına olan kötü tesirleri ile işletmelerin artık sularının nehirleri ve su ürünlerini tehlikeye sokmaları büyük cezalara bağlanarak kanunlarla yasaklanmaya başlamıştır. Bakır metalürji isindeki hava kirlenmesi SO₂ gazı ile, su kirlenmesi artık elektrolitlerle olmaktadır. Gelişmelerin bu açıdan etkilenmesi yeni prosesler ve metoaller getirmekte ve mevcutları düzeltmekte kuvvetli bir şekilde görülmüş bulunmaktadır. İlerde bu kriterin çok etken olması beklenebilir.

10. Ekonomik Fizibilite : Bütün bu kriterler meyanında tesislerin çalışmalarına devam edebilmesi veya yeni tesislerin kurulabilmesi sadece ve sadece ekonomik fizibilite mevzuu bahis olduğu sürece mümkündür. Bu da masrafları düşürmek, ürün miktarını artırmak ve/veya daha kaliteli ürünü kazançlı satmak şeklinde basitleştirilebilir.

3. Pirometalürjik Uygulamadaki Gelişmeler :

3.1. Kurutma ve Kavurma

Bakır metalürjisinde kurutma özellikle flash ergitme metodlarına bağlı olarak daha fazla önem kazanmaya başlamıştır (Bak. 4.1).

Kavurmada ise eski tip çok katlı Wedge fırınlarının yanısıra ve bunların yerine bu fırınların orta katlarının çıkarılmasıyla başlayan düşerken havada kavurma (suspension roasting) ve flotasyon konsantrelerine uygulanan Flash kavurma metodları yaygınlaşmıştır. Akabinde flüidize yatak tipi kavurucular (Fluo-so-

lids roasting, fluidized bed roasting) metalürji alanına başarı ile girmiş ve günümüz teknolojisinde hâkim yegâne kavurucu görünüşünü muhafaza etmiştir.

3.2. Mat - Cüruf Ergitmesi

Bakır cevherlerinin işlenmesindeki ana üretim kademesi «Mat-Curuf Ergitmesi» konsantrasyon işlemidir. Bu işlemde erişilen gelişmeler, kullanılan cihazlara göre özetlenmiştir.

3.2.1. Şaft Fırını Ergitmesi

Bir zamanların münakaşasız hâkim cihazı, flotasyon tekniğinin geniş uygulamaya girmesi ile toz halinde konsantrelerin üretimindeki artışlar ve kok yerine kullanılacak daha ucuz yakıtların mevcudiyeti sebebiyle yerini reverber fırınlarına terketmiştir. Halen Japonya, Meksika, ve Afrika ile diğer bazı ülkelerde şaft fırınları çalışmaktadır (3).

Şaft fırınlarının avantajı, yatırım miktarlarının düşük olması ve baca gazlarındaki SO₂ konsantrasyonunun asit veya elemental kükürt üretimine müsait bulunuşudur. Buna karşılık flotasyon konsantrelerinin parça haline getirilmeden şarj imkânı yoktur.

Bu sebepten şaft fırını ergitmesinde sadece

— Lumumbashi işletmesi (Union Miniere) konsantrelerinin sinterlenmesi (4)

— Saganoseki işletmesi (Nippon) konsantrelerinin peletlenmesi, yakıt havasının ön ısıtmaya tabi tutulması ve Fuel Oil enjeksiyonu (5)

gibi işletme ile ilgili gelişmeler yapılmıştır.

3.2.2. Elektrik Fırını Ergitmesi : Bakır konsantrelerinin elektrik fırınlarında işlenmesi takriben 40 yıldan beri iskan-dinav ülkelerinde uygulanmakta olmasına rağmen, bu ülkeler dışında büyük çapta başka tesis kurulmamıştır (6).

Hava kirlenmesinin önlenmesi açısından son yıllarda bu metoda karşı ilgi artmaktadır. Fırında teşekkül eden gazların hacminin çok küçük olması, refrakter malzeme sarfiyatının azlığı ve işlemin kontrol basitliği, elektrik enerjisinin uygun fiyatla temininin mümkün olduğu yerlerde bu metodu tekrar alternatif metodlar arasına sokabilecek bir görünüşte belirlenmektedir.

3.2.3. Reverber Fırını Ergitmesi

Özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde uygulana gelen ve son yıllara kadar dünyanın hâkim metodu sayılan reverber fırını, her cins fakat bilhassa toz cevherlerin ve konsantrelerin işlenebildiği temel pirometalürjik ünitedir. 1930 dan önce yakıt sarfiyatını azaltmak, mat tenorunu artırmak ve böylece konvertör yükünü azaltmak maksadıyla oksitleyici bir ön kavurma yapılması genel uygulama iken, flotasyon tekniğinin yüksek tenörlü konsantreler üretiminde başarılı oluşu ile konsantrelerin doğrudan ergitilmesi usulü hâkim metod olmaya başlamıştır (7).

Flüidize yatak tipi kavurucuların başarı ile bakır konsantrelerine uygulanması, konsantrelerin doğrudan ergitilmesi metodunun daha fazla yayılmasını kısa zamanda önlemiş ve yeniden eski metoda, fakat bu sefer çok üstün vasıflı ve kapasiteli kavuruculara dönülmesine sebebiyet vermiştir. Bu gelişmenin devamı, hava kirlenmesini önleme açısından beklenebilecek bir görünüşte' olmasına rağmen, son yılların gelişmelerinin durumu tümüyle değiştireceği kanaati daha kuvvetlidir.

3.2.4. Flash Ergitmesi

1949 yılından beri endüstriyel çapta başarı ile uygulanmaya başlanan ve kısa zamanda konvansiyonel metodlara olan üstünlüğünü kabul ettiren «Flash Smelting» metodu, son yılların en büyük gelişmesidir.

Kavurma işleminin ısı fazlası olan ve ergitme işleminin ısı harcayan prosesler olduğu düşünülürse, bunların bir fırın içerisinde bir arada gerçekleştirilmesinin yakıt sarfiyatı açısından getireceği büyük avantajlar rahatça görülebilir (8, 9, 10). Outokumpu Oy prosesinde olduğu gibi (11) yakıt havasının ısıtılması veya INCO prosesinde olduğu gibi (12) hava yerine oksijen kullanılmasının, ısı tekniğine sağlayacağı avantajlara ilâveten, doğrudan asit üretimine (Outokumpu metodu) ve hattâ sıvı SO₂ üretimine (INCO metodu) uygun yüksek SO₂ konsantrasyonlarında gaz elde edilmesinden de bahsetmek gerekir. Hava kirliliğinin önlenmesi konusunun kazandığı önem çerçevesinde, Flash ergitme metodlarının avantajları, klâsik metodlara nazaran büyük üstünlük olarak nitelendirilebilir.

Bu metodlar arasında Outokumpu metodu çeşitli ülkelerde uygulanırken, INCO metodunun sadece bir tek ünite olarak kalmış olmasının sebebini, lüzumlu oksijen üretimi için gerekli büyük enerji masraflarına bağlamak mümkün görülmektedir. Outokumpu metodunun, genellikle çok konservatif olan Birleşik Devletlere dahi girmek üzere oluşu (13), flash ergitmede erişilen avantajların büyüklüğüne işaret eder. Bu arada metoda yapılan değişiklik oksidasyon havasının Cowper tipi ısıtıcılarda max. 1000 °C ye kadar ısıtılması olarak gösterilebilir.

Bu metodların dezavantajlı yönü, teşekkül eden cürufkların ihtiva ettiği yüksek bakır miktarları ve bu sebepten ilâveten bir cüruf işleme tesisinin kurulması gerektiğidir. Son gelişmeler, cürufklardan bakırın kazanılmasında flotasyon işleminin tek seçim olduğuna işaret etmektedir. Cüruf konsantrelerinin düşük kükürt muhtevaları bir yönden fırın ısı bilançosunu mefi yönden etkilerken, tesis içi taşıma yükü de artmaktadır.

Genel görünüş, Outokumpu flash ergitme metodunun günümüzde büyük çapta uygulanan en gelişmiş metod olduğu merkezindedir. Halen teknolojiye

hâkim görünen bu metodun, yerini ne ne kadar süre ile muhafaza edebileceği sorusu ise çok ilginçtir. Yeni metodların süratle geliştirildiği bir ortamda, beklenebilecek çok şeyin mevcut olduğu bilinmekte ve gelişmeler takip edilmektedir. Temel inanış, sülfürlü cevherlerin pirometalürjik izabesinde flash ergitme metodlarının optimum çözüm ve metalürjistlerin son sözü olmadığı ve yeni aşamaların süratle yapılabileceği merkezindedir.

3.2.5. Konvertör Ergitmesi : Konvertörlerin sadece konsantre veya cevher işlemek ve mat-curuf ergitmesi maksadıyla kullanıldığı tesisler mevcut değildir. Buna karşılık mevcut bakır konvertörlerinde mat işlenirken konvertisajın birinci safhasında (konvertör cürufa çalışırken), özellikle düşük tenörlü matlar muvacehesinde konvertöre cevher veya konsantre şarj edilmesi, çok eski tarihlerden beri uygulanmaktadır (14). Özellikle oksijen zenginleştirilmiş hava kullanıldığında, başarılı sonuçların alınması ile bu tip çalışmaya karşı ilgi artmış durumdadır. Hitachi işletmesi (Nippon) % 32 oksijen ihtiva eden hava ile çalışmaktadır (15).

3.3. Konvertisaj

Bakır matlarının silindirik bir cihazda işlenmesinin Pierce ve Smith tarafından ilk uygulandığı 1917 yılından beri (16) gelişmeler, daha çok mühendislik açısından olmuştur. Temel prosesde fikir açısından arada geçen yıllar hiçbir büyük yenilik getirmemiştir.

Mühendislik alanındaki yenilikler,

— gittikçe daha büyük ünitelerin
— tüyerlerin mekanik olarak açık tutulmasını sağlayan aletlerin

— su soğutmalı konvertör çıkış gazı kapaklarının

— baca gazlarından buhar üretimi için tesisatların

— daha iyi refrakter malzemelerin kullanılması ve geliştirilmesinden ibaret kalmıştır.

Önemli gelişmelerden biri, konvertisaj süresini kısaltma ve konvertör kapasitesini artırmak bakımından, oksijen zenginleştirilmiş hava kullanılmasının gittikçe daha fazlaşmış olduğudur. (Bununla ilgili olarak bak 3.1.5). Hoboken tesislerinde uygulanan sifon konvertörler (17) dışında önemli başka bir gelişmeye işaret etmek zordur.

3.4. Ateşte Rafinasyon

Blister bakırın satılabilir ve kullanılabilir ürün haline gelebilmesi için gerekli rafinasyon işlemlerinin ilk kademesi ve rafine bakır üretiminin ana işlemi olan ateşte rafinasyon, oksidasyon yolu ile empüritlerin cürufa alınması veya uçurulması işlemiyle başlayan ve bu arada sisteme verilen aşın oksijenin uzaklaştırılması maksadıyla yapılan bir deoksidasyondan ibarettir.

Oksidasyon kademesinde yapılan tüm gelişmeler, gaz-sıvı reaksiyonunun kinetiği üzerindedir. Buna karşılık deoksidasyon kademesinde bazı önemli değişiklikler ve gelişmeler yapılmıştır.

Propan ile deoksidasyon büyük çapta uygulanır hale gelmiştir (18). Amonyak çok avantajlı ve başarılı olmasına rağmen (19) pahalı bir metod görüşünden kurtulamamıştır. Tabii gaz (20) veya reforme tabii gaz (21) ise, çeşitli işletmelerde basan ile uygulanan deoksidan maddeler arasında başta gelmektedir.

3.4.1. Anod Döküm : Bu alanda yapılan normal gelişmeler standard döküm makinalarının (Karuseller) saatte 70 tona kadar anod dökülebilir hale gelmesi olarak özetlenebilir (22).

Diğer yandan Hazallet döküm makinasının sürekli anod döküm işlerinde basan ile uygulandığı bilmen en az bir tesis mevcuttur.

3.4.2. Katod Ergitme : Doğrudan konu ile ilgili olmasına rağmen ASARCO tarafından geliştirilen şaft fırını, katod ergitmesi (23) önemi açısından bahsedilmeden geçilmeyecek büyük bir gelişmedir.

3.5. Cüruf Flotasyonu

Cüruflarda bulunan bakırın kazanılması, bakır kurtarma randımanını artırdığı, ergitme kapasitesini yükselttiği, eritici madde (flux) ilâvesini düşürdüğü v.b. sebeplerle üzerinde büyük önemle durulan konulardan biridir.

Genellikle konvertör cüruflarıyla başlayan uygulama, günümüzde en yaygın metod olarak özellikle «Flash» eritme cüruflarında pirometalürjik diğer metotlara tercih edilmektedir. Harjavalta işletmesinde (Outokumpu Oy) (24) ve Naoshima işletmesinde (Mitsubishi) (25) başlatılan büyük çaptaki başarılı çalışmaları müteakip pek çok işletme flotasyon metodunu uygulamaktadır.

Cürufların randımanlı olarak işlenmesi için, yavaş soğutulmuş uygun bir şekilde kristalize olmalarının sağlanması ve bakırlı bileşiklerin liberasyon derecesine kadar öğütülmeleri gereklidir.

Yavaş soğutma, büyük özel kaplar içerisine döküm yolu ile metalürjik açıdan uygun şartların gerçekleşmesini mümkün kılmaktadır. Kırma ve öğütme, standard ünitelerde yapılabilmekte, fakat cürufların sert olmaları yüzünden daha fazla enerji harcanması gerekmektedir.

3.6. Cüruflardan Çinkonun Uçurulması (Slag Fuming)

Flin Flon (Hudson Bay) (26) ve Boliden (27) işletmeleri, cüruflardan çinkonun kazanılması yönünde başarılı çalışmalar yapmışlar ve «slag fuming» işlemini büyük çapta uygulamaya koymuşlardır.

4. Pirometalürjik Gelişme Yönleri ve Deneme Safhasındaki Yeni Metotlar

Sülfürlü cevherlerin pirometalürjik işlenmesi ile ilgili yeni ve çok ilginç gelişmeler son on yıl içerisinde sürdürülmektedir. Bu çalışmalar, gelişmeleri etkileyen faktörler bölümünde belirlenen yönlerde ve çeşitli alanlarda devam etmektedir.

Son yılların gelişmelerini üç ayrı sahada içerisinde görmek mümkündür.

4.1. Şarj Hazırlanması :

Kurutma yavaş yavaş daha fazla önem kazanmaktadır. Flash eritme metotlarında uygulanan ön kurutma, gelecekte daha geniş olacağı benzer. Eskiden kullanılan çok katlı fırınların yerini döner fırınlar almış bulunmaktadır. Flüidize yatak sistemleri fırınların kurutmaya uygulanması ve benzer daha çabuk ve tam kurutma yapabilecek metotlar üzerinde çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

Aglomerasyon her ne kadar şaft fırınları için şart ise de ve bu fırınlar artık yavaş yavaş tarihe karışmak üzereyken, yine de geliştirme çabalarının konsantre olduğu sahalardan biridir. Agglomerasyon metotları arasında en önemli yeri halen «peletleme» almaktadır. Konvertörlerde mata ilâveten konsantre işlendiği şartlar ve sürekli prosesler dışında, peletleme gelişmelerinin daha büyük bir sahaya yayılacağı sanılmaktadır.

4.2. Cüruf İşlenmesi :

Cüruflar büyük miktarda demir ve bazı hallerde önemli miktarlarda çinko, kobalt, nikel, molibden gibi kıymetli metaller ihtiva ederler. Çok eskilerden beri cüruflardaki metalik değerlerin kurtarılması, ana çalışma konularından birisi olmuştur ve gayretler devam etmektedir.

Curuflardaki bakırın kurtarılması için pek çok yöntemler geliştirilmiş ve sayısız patentler alınmış ise de, Boliden'de «slag fuming» işleminden önce uygulanan pirit ile yıkama (27) metodundan ötede bir gelişme olmamıştır.

Demirin kazanılması üzerinde pek çok çalışmalar olmuş, bazı büyük çapta uygulamalar (Outokumpu Oy) kısa süreli gerçekleşmiş ise de devamlılık sağlanamamıştır.

Bu arada Outokumpu prosesine göre çalışan fırınlarda matcuruf ayrışma bölgesi arkasına bir elektrik fırını ilâve ederek cüruf temizleme işleminin kolaylaştırıldığı ve basitleştirildiği belirtilen tip bir çalışma Furakawa firması tarafından çeşitli ülkelerdeki patentlerle korunmaktadır (28).

4.3. Yeni Ergitme ve Konvertisaj Metodları :

Yüksek ergitme hız ve kapasitelerine ulaşmak, SO₂ konsantrasyonu asit üretimine elverişli yüksek gaz elde etmek, proses ve operasyon ünitelerini bir araya toplamak, bununla yatırım ve işletme masraflarını düşürerek daha kârlı, daha rantabl işletme imkânlarına kavuşmak, aynı zamanda da hava kirlenmesini önlemek yeni metodların aranma ve geliştirilmesinde ana faktörler olarak görünmektedir.

Son yılların üzerinde en çok yazılan ve konuşulan gelişmeleri bu kategori içerisinde bulunmaktadır. Tüm çabaların göze çarpan ortak yönü, konsantrelerin bir fırın içerisinde doğrudan blister bakıra dönüştürülmesi gayretleridir.

Bu çalışmalar dünyanın çeşitli bölümlerinde başlatılmıştır. Çalışma şekillerine göre üç ana grup halinde ele alınabilirler.

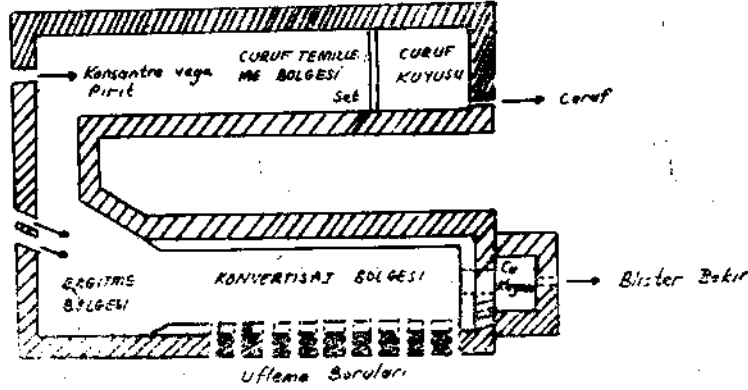
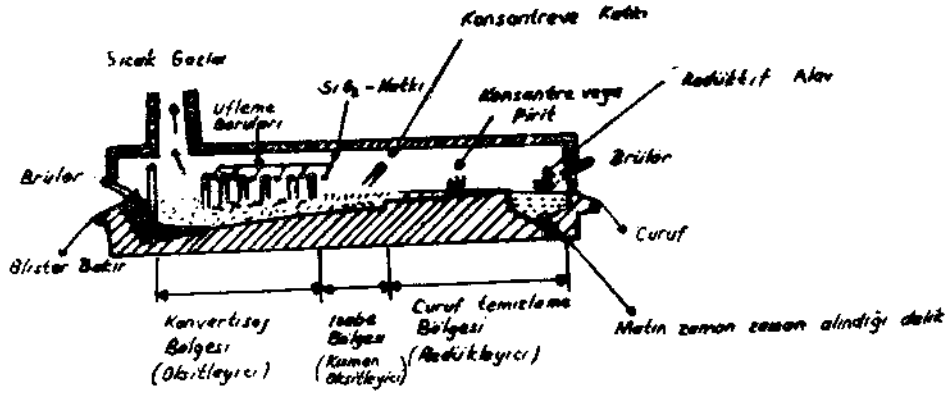
4.3.1. Siklon Ergitme : Almanya (29) ve Rusya'da (30) geliştirilmekte olan bu

metod, Birleşik Devletlerde de önemsenmiş (31) ve Kennecot firması tarafından pilot denemelere geçilmiştir (32). Yapılan işlem, sürekli konvertisaj manâsında anlaşılmaktadır (33). Denemelerin başarılı olduğu belirtilen bu tip çalışmaların detayları henüz açıklanmamıştır.

4.3.2. Oksijen Üfleli Ergitme (Top Blowing) : Malzemelerin daha iyi karışması, sıcaklığın rahatça kontrol edilebilmesi, daha yüksek sıcaklıklarda çalışma imkânı, yüksek reaksiyon hızları ve kapasiteler yönünden avantajları bulunan bu metodun pek çok metallere uygulanabildiği söylenmektedir (34). Daha çok nikel için başarılı olduğu bilinen bu metodun bakır için şartlarının detayları bilinmemektedir.

4.3.3. Sürekli Ergitme ve Konvertisaj Metodları : Bilindiği kadar, günümüzde en az üç büyük firma sürekli ergitme ve konvertisaj metodları üzerinde çalışmaktadır. Bir yandan konsantre ve cüruf yapıcılar sürekli olarak şarj edilirken, diğer yandan sürekli olarak hava üflenerek konvertisaj yapılmakta, fırından (veya fırınlardan) blister bakır, yüksek SO₂ ihtiva eden gaz ve yüksek bakır ihtiva eden cüruf alınmaktadır.

Bu metodlardan Avustralya'da geliştirilen (Conzinc Riotinto) WORCRA (35; metodu, çeşitli geometrik yapıda olabilecek bir fırın içerisinde ergitme, konvertisaj ve cüruf temizleme bölümlerini ihtiva etmektedir. Günde 100 ton konsantre işleyen U biçiminde bir fırında yapılan pilot denemelerde hava, borular vasıtasıyla üflenmekte mat ve cüruf aksi yönde hareket etmektedir. Çuruf-mat ayırımından sonra cüruf temizlenmesi, pirit ile yıkama yoluyla yapılmaktadır. • Şekil - 2 de firm ana prensibi ve U biçimindeki tipi gösterilmektedir.



Şekil: 2 — Worera sürekli Bakır üretim prosesi prensip ve U- Tipi bir fırının şematik esasları (35)

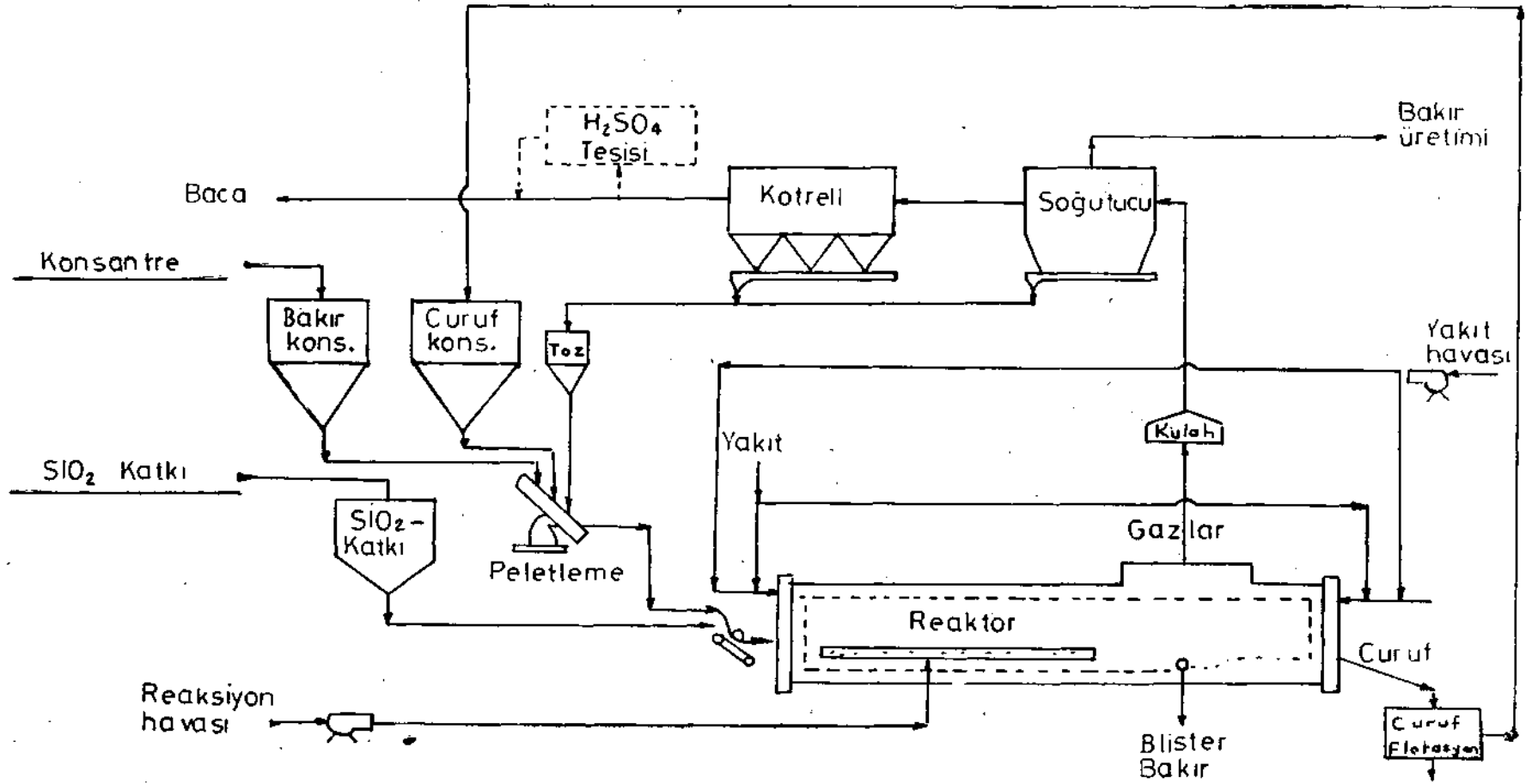
Kanada'da geliştirilen (Noranda Mines Dtd.) Noranda (36) metodunda ise silindirik bir fırın kullanılmakta, hava tüyerler vasıtasıyla fırına verilmektedir. Mat ve cürufun fırın içindeki hareketi aynı yöndedir. Günde 100 ton konsantre işleyen pilot tesiste edinilen tecrübeler sonucu, günde 800 ton konsantre kapasiteli bir üretim ünitesinin firmanın Noranda (Quebec) şehrindeki işletmesinde kurulmasına başlanılmış bulunmaktadır ana girdi - çıktılar şematik olarak verilmektedir.

Büyük çapta uygulamanın yakında başlayacağı bu metod ile sürekli prosesler Hên ilki en büyük imtihanım verecektir. Ekonomik açıdan ilk nazarda, fırından alınan yüksek bakır ihtiva eden

curuf (max. % 10 Cu) önemli bir dezavantaj hissi uyandırmaktadır. Bu cürufun başarı ile flote edilebilmesi (37), çok yavaş soğutma ile mümkün olabilmektedir. İşletme sonuçları merakla beklenmektedir.

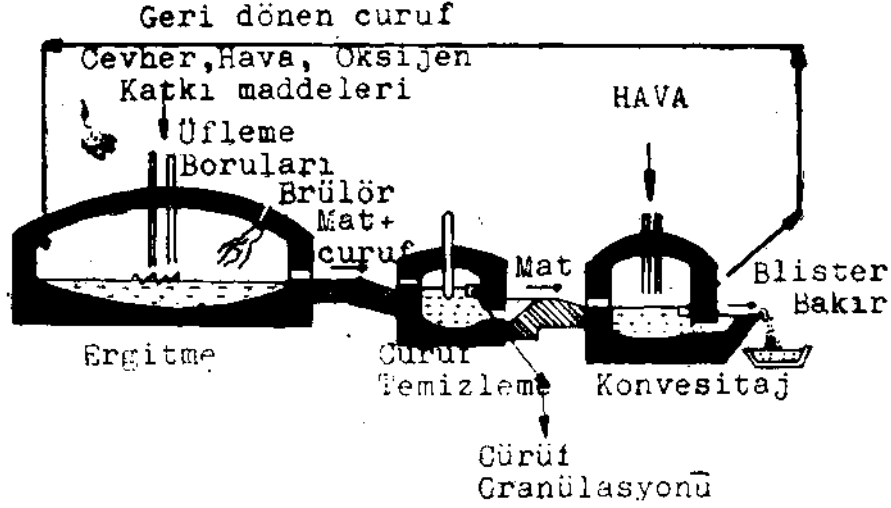
Sürekli metodlara üçüncü ve en yeni katkı Japonya'dan gelmektedir. Furukawa Mining Co. Mitsubishi, sürekli bakır ergitme metodu ismi altındaki bu yenilik (38). üç adet fırın içerisinde gerçekleştirilmektedir. Şekil - 4 de şematik olarak gösterildiği gibi birinci fırında hava, konsantre ve curuf yapıcı ilâveler borularla üflenerek mat-curuf ergitmesi yapılmakta, buradan alınan mat yine yukardan borularla üflenerek hava ile sürekli olarak blister bakıra işlenmekte, ikinci fırından

SEKİL:3_NORANDA SÜREKLİ BAKIR ÜRETİMİ PROJESİ BASİTLEŞTİRİLMİŞ AKIM ŞEMASI.



alınan cüruf ilk fırına geri dönmektedir. Cüruf temizlenmesi, birinci fırından alınan toplam cüruf üzerinde bir elektrik

fırınında (üçüncü fırın) kok ve pirit ilâvesiyle yapılmaktadır (39).



Şekil:4- Mitsubishi sürekli bakır ergi ene projesinin Şematik Diyagram (39)

4.4. Diğer Metodlar :

Fikir olarak çok eski sayılabilmesine rağmen, uygulamadaki yeniliği dolayısıyla bu yazı çerçevesinde Brixlegg metodundan bahsetmeden geçilmemelidir. Brixlegg elektro - ergitme prosesi (40) adı altında açıklanan bu işlemde bakır konsantreleri, total oksitleyici bir kavurmayı müteakip bir elektrik fırınında kara bakıra redüklenmektedir.

Bunlar dışında, fikir olarak yeni veya fikir olarak eski, uygulamada tasarlanan teknoloji açısından yeni olan pek çok yayınlanmış görüşler mevcuttur (41).

5. Sonuç :

Bakır pirometalürj isinde, özellikle ikinci dünya savaşından sonra büyük gelişmeler olmuştur. Bunlar hem mev-

cut tesislerin daha iyi, daha ucuz, daha randımanlı çalışmaları, hem de yeni metodların geliştirilip büyük çapta uygulama alanına konulmasıyla işlemlerin karakteri yönündedir.

Gelişmeler her yanda son hızla devam eden bir görünüştedir. Bu gelişmelerin yeni metodların uygulama alanına sokulmasıyla veya uygulama alanındaki başarılı yeni metodların hakimiyetine devamı ile süregideceği sorunu ancak ekonomik karşılaştırmalara! imkân dahiline girmesiyle mümkün olacaktır.

Bugünden söylenebilecek tek şey, gerek mevcut teknolojiye gelişmeler, gerek yeni metodlarla getirilen avantajların bugünün bakır izahanelerinin görünüşünü çok yakın bir gelecekte mutlak etkileyeceğidir.

Bahsedilen yatırımlar çok büyük olacaktır. İşçilik ve yakıt masraflarında azalma sağlanacaktır. İşletme masraflarında üretilen birim bakır başına yapılacak indirim ile yatırım yükünün karşılama karşılantıyacağı, lokal kondisyonlara bağılı kalacak bir görünüştedir. Bu arada, hava kirlenmesini önleyecek bir işletme şeklinin uygulanmasının yavaş

yavaş önemli bir şart olarak belirlediğini ilâve etmekte fayda vardır.

Bakır metalürjisinde son yirmibeş yılda çok büyük aşamalar gerçekleştirilmiştir. Gelecek, yeniliklere artık standard olmuş fakat yine de yeni sayılabilecek metodlara karşı eşit şans tanıyacak açıklıktadır. Klâsik metodların uygulamadaki yeri tarihe karışmak üzeredir.

REFERANSLAR

- (1) Bor, F.Y.; Madencilik, Cilt VII, Sayı 2 (1968) s. 97
- (2) Tylecote, R.F.; «Kupfer in Natur, Technik, Kunst und Wirtschaft». Norddeutsche Affinerie özel yayını, Hamburg (1966) s. 28
- (3) McMahon, A.D.; US Bureau of Mines IC **8225**, (1965)
- (4) Claus, B ve A. Graebels; «Pyrometallurgical Processes in Non-Ferrous Metallurgy». AIME Met. Soc. Conferences 39 (1965) s. 93.
- (5) Tsurumoto et. al.; «Copper Metallurgy», AIME Extractive Metallurgy Division Symposium, (1970) s. 113.
- (6) Barth, O.; «Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt» AIME Met. Soc., Interscience Publishers (1961) s. 241.
- (7) Stevens, R.J.; AIME yıllık toplantısına sunulan tebliğ, New York, 1958.
- (8) Bor, F.Y.; Diploma Tezi, Bergakademie Clausthal, 1961
- (9) a - Kuxmann, N.; Erzmetall 19 (1966) s. 549.
b - Kuxmann, U.; Madencilik, Cilt VI, Sayı 1, (1967) s. 1. (Çeviri : Bor, F.Y.)
- (10) Bor, F.Y.; Bakır Metalürjisindeki son Gelişmeler (1970) yayınlanmamış etüd.
- (11) a-Bryk, P ve J.W. Ryselin; US Patent 2 506557 (1950)
b - Bryk, P; Erzmetall 4 (1951) s. 447.
c-Bryk, P; Radex-Rdsch. (1952) No. 1, s. 7.
d - Bryk, P. et. al; J. Metals 10 (1958) s. 395.
- (12) a-Gordon, J.R. et. al.; US Patent 2 668 107, (1954).
b-Staff of Inco; Canad. Min. Met. Bulletin May (1955) s. 292.
c - Staff of Inco; J. Metals 7 (1955) s. 742.
d-Diamond, R.W.; Min. Engng. 6 (1954) s. 361.
e- — ; Metal Ind. **88** (1956) s. 493.
f - Suddington, R. et. al.; J. Metals **18** (1966) s' 440.
- (13) — ; Engng. Min. J. **172**. No. 6 (1971) s. 238.
- (14) Okardo, Y.; «Der Mabuki Process», Freiberg 1911.
- (15) a-Tsurumoto, T.; J. Min. Met. Inst. Japon **75** (1959) s. 868.
b - Tsurumoto, T.; J. Metals 13 (1961) s. 820.
c-Tsurumoto, T.; Ref. 4 s. 291.
- (16) Morris, T.M.; J. Metals 20, No. 6 (1968) s. 73.
- (17) Leroy, J.L. ve P. J. Lenoir; «Advances in Extractive Metallurgy» Inst. of Min. Met. (1968) s. 333.
- (18) Morris, A.P. ve L.E. Mulholland; US Patent 3 528 802, (1970).

- (19) Henyck, R. et. al.; J. Metals **17** (1965) s. 386.
- (20) Foard, W.H. ve R.D. Lear; US Patent 3 529 956 (1970).
- (21) Klein, L.; J. Metals **13** (1961) s. 545.
- (22) Herbert, I.C.; Mining Annual Review (1973) s. 231.
- (23) Phillips, A.J. ve R. Baier; AIME Met. Soc. Conferences 49 (1966).
- (24) — ; World Mining, Nov. 1968, s. 28.
- (25) Hakura, K. et. al.; J. Metals, **21** No. 6 (1969) s. 30.
- (26) a-Mast, R.E. ve G.H. Kent; Canad. Min. Met. Bulletin May (1954) s. 328.
b-Mast, R.E. ve G.H. Kent; J. Metals 7 (1955) s. 877.
c - Mast, R.E. ve G.H. Kent; Engng. Min. J. **158** No. 6 (1957) s. 82.
- (27) a - Sundstrorii, O.A.; Erzmetall **22** (1969) s. 123.
b - Sundstrom, O.A.; J. Metals 21. No. 6 (1969) s. 15.
- (28) Furukawa Mining Co.; Canad. Patent 851 099 (1970).
Bak Ref. 22 s. 231 - 232.
- (29) a-Lange, A.; Met. Giess. Tech. 4 (1954) s. 538.
b - Lange, A ve J. Barthel; Bergakademie **10**, Oct. (1958) s. 509.
c-Lange, A.; Erzmetall **13** (1960) s. 151 ve s. 216.
- (30) a - Tankonogii, A.V.et.al.; Tsvetn. Metally, İng. tercüme No. 3 1960, s. 24.
b - Penzlmonah, I.I.et.al.; Tsvetn. Metally, İng. tercüme, No. 6 (1961) s. 41.
c - Onaev, LA.et.al.; Vestnik Akademii Nauk Kaz. SSR **20** No. 2 (1964) s. 42.
d - Onaev, La.; Neue Hütte, **10**, April (1965) s. 210.
e - Budon, V.D.et.al.; Trudy Inst. Metallurgii Obogahcheniya, Akad Nauk Kaz. SSR T XIX (1966).
- (31) Quarm, T.A.A.; Engng. Min. J. **170**, No. 9 (1969) s. 80.
- (32) Foard, J.E.; AIME Yıllık toplantısına sunulan tebliğ New York, 1971.
- (33) Sehnalek, F.et.al; J. Metals **16** No. 5 (1964) s. 416.
- (34) Queneau, P.et.al.; J. Metals **21**, No. 6 (1969) s. 25.
- (35) a - Conzinc Riotinto; US Patent 3 463 472 ve 3 326 673.
b - Worner, H.K.; J. Metals **16** (1964) s. 614.
c-Worner, H.K.; «Advances in Extractive Metallurgy» Inst. Min. Met. Elsevier Publishing Co. (1968) s. 245.
d - — ; Engng. Min J., **169**, No. 5 (1968) s. 68.
e-Worner, H.K.et.al.; AIME yıllık toplantısına sunulan tbeliğ, Denver 1970.
f-Worner, H.K.; Engng. Min J. **172** No. 4 (1971) s. 129.
g - Worner, H.K.; Engng. Min. J. **172** No. 8 (1971) s. 64.
h- — ; Engng. Min. J. **173** No. 6 (1972) s. 170.
- (36) a - Themelis, N.J. ve P. Spira; Canad. Patent 758 020 (1967).
b - — ; Engng. Min. J. **168** No. 5 (1967) s. 112.
c- — ; Engng. Min. J. **169** No. 5 (1968) s. 85.
d-Themelis, N. J.et.al.; AIME yıllık toplantısına sunulan tebliğ, Denver 1970.
e- — ; Engng. Min. J. **173** No. 6 (1972) s. 170.
f- — ; J. Metals, 24 No. 4 (1972) s. 25.
- (37) Subramanian, K.N.; AIME yıllık toplantısına sunulan tebliğ, New York, 1971.

- (38) a - — ; Engng, Min. J. **172** No. 11 (1971) s. 110.
b - — ; Metals Week Nov. 15 (1971) s. 3.
c - — ; Mining J. **227** Nov. 19 (1971) No. 7109 s. 461.
d - — ; Chemical Engng. No. 29 (1971).
- (39) Suzuki, T ve T. Nagano; Bak. ref. 22, s. 237.
- (40) Kettner, P.et.al.; AIME yıllık toplantısına sunulan tebliğ, S. Francisco 1972.
- (41) a - Brittingham, G. J.; 8. Commonwealth Min. Met. Congress, Australia 36. Techn. Session, Preprint No. 55 (1965).
b - Brittingham, G. J.; Australian Mining March 15 (1969) s. 60.
c - Brittingham, G.J.; Engng. Min. J. **173** No. 2 (1972) s. 77
d - Jeff es ve Diaz; IMM Trans. March 1971, s. Cl.
e - Simons, CS.; J. Metals **23** No. 10 (1971) s. 48.

Hidrometalürji ve Elektrometalürjideki Gelişmeler

Ali Fuat ÇAKIR*
Fuat Yavuz BOR**

Hidro - ve elektrometalürjik yöntemlerin bakır üretim metalürj isindeki yeri «Bakır metalürjisine genel bakış ve pirometalürjideki gelişmeler» yazısında belirlenmiştir. Bu yazıda ise, özellikle hidrometalürjik ve elektrometalürjik proseslerdeki gelişme ve yeniliklere değinilecektir.

I. HİDROMETALÜRJİDEKİ GELİŞMELER

Klasik bakır hidrometalürjisi, düşük tenörlü cevher ve madencilik işlem artıklarındaki bakır minerallerinin uygun sıvılarla çözümlendirilmesine, yani liçine dayanır. Metal yüklü liç solüsyonlarından bakır, hurda veya sünger-demir ile çöktürülerek veya elektroliz yolu ile kazanılır.

Liç işlemi başlıca şu şekillerde yapılır :

a) **Yerinde (in-situ) liç** : Cevher, bulunduğu yerde ve çok basit bazı madencilik işlemlerini takiben liç edilir.

b) **Yığma liç** : Cevher, madencilik işlemleri ile bulunduğu yerden çıkartılıp, tabanı geçirgen olmayan bir bölgeye yığılır ve üzerine liç solüsyonu dökülerek liç edilir.

c) **Süzülme (perkolasyon) liçi** : Kıvrılmış cevher büyük tanklara doldurularak ve liç solüsyonu aşağıdan yukarı ve-

ya ters yönde hareket ettirilerek liç edilir.

d) **Karıştırma liçi** : Öğütülmüş cevher veya konsantre, tanklar içinde liç solüsyonu ile karıştırılarak liç edilir.

Genel olarak kullanılan liç solüsyonları, silisli gang içeren bakır cevherleri için sülfürik asit, karbonatlı gang içerenler veya nabit bakır için ise amonyaklı solüsyonlardır. Bunlar içinde en uygun olarak tatbik edileni asit liçtir.

Günümüzde hidrometalürjinin bakır üretim metalürj isindeki rolü ve yeri gittikçe büyümektedir. Örneğin, A.B.D. 1960 da üretilen birincil bakırın % 3 ü (150.000 T) hidrometalürjik yöntemlerle elde edilirken, bu değer 1975 de % 15 e ulaşması beklenmektedir (1). Gelecekte ise bu oranın daha da artacağı tahmin edilmektedir. Bu artışın nedenlerini şu şekilde özetleyebiliriz :

a) Günümüzde yaklaşık olarak yılda 8-9 milyon ton olan dünya bakır tüketimi, büyük bir ihtimal ile asrın sonunda, bu değer dördü katına erişecektir (2). Yüksek bakır ihtiyacı ise kompleks cevherlerin ve düşük tenörlü yatakların işletilmesini mecbur kılacaktır. Sonucu tipdeki cevherlerden bakır üretimi ise, yalnız hidrometalürjik yöntemlerle ekonomik olmaktadır.

* Dr. Y. Mühendis, I.T.Ü. Maden Fakültesi, Tatbiki Metalürji Kürsüsü — İSTANBUL.

** Doç. Dr. Ing., I.T.Ü. Maden Fakültesi, Tatbiki Metalürji Kürsüsü — İSTANBUL.

b) Sülfürlü cevherlerden pirometalürjik yöntemlerle metal üretimi sırasında meydana gelen SO₂İİ baca gazları genel olarak atmosfere bırakılmaktadır. SO₂H gazlar ise, gerek insanlar ve yapıtlar gerekse bitki ve hayvanlar üzerinde, günümüzde artık ihmal edilmesi imkânsız zararlara sebebiyet vermektedirler. Bu nedenle atmosferi kirletmeyen ve ortama verebileceği zarar daha kolay sınırlanıp kontrol altına alınabilen hidrometalürjik yöntemler, bakır üretim metalürjisinde önem kazanmaktadırlar. Pirometalürjik yöntemlerle ekonomik olarak muamele edilebilen bakır konsantrelerinden dahi bakırın gelecekte hidrometalürjik usullerle üretimine geçilmesi olanağı fazladır (3).

II nci Dünya Savaşından bu yana, bakır hidrometalürji isinde tatbikat sahasına ulaşmış veya çok kısa zamanda ulaşma şansı büyük yöntemleri üç grupta inceleyebiliriz :

1 — Daha büyük - daha iyi yöntemler

2 — Prensipl olarak eski, mühendislik tatbikatı yönünden yeni yöntemler,

3 — Prensipl yönünden yeni yöntemler :

1.1. Daha Büyük - Daha İyi Yöntemler :

Bu bölümde, öteden beri tatbik edilgelelen fakat teknolojideki gelişmeler veya işlemin daha iyi anlaşılması nedeni ile günümüzde "daha büyük oranda ve daha randımanlı bir şekilde uygulanan yöntemlerin en önemlileri incelenecektir. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

1) Yerinde liçte gelişmeler ve atom bombasından istifade yolları.

2) Yığıma liçte gelişmeler.

3) Bakretillerin, minerallin liçine etkileri.

1.1.1. Yerinde liç'te gelişmeler ve atom bombasından istifade yolları.

Klasik tatbikatta yerinde liç, terk edilmiş madenlerden veya düşük tenörlü oksitli cevher yataklarından sülfürik asitli liç solüsyonu yardımı ile bakır kazanmağa dayanır. Cevherin gözenekli, kırıklı olması, buna karşılık yantaşın geçirgen olmaması, bu yöntemin uygulanabilmesi için gerekli ön şartlardandır. Günümüzde bu tür liçe daha da önem verilmiştir. Örneğin, Ranchers Exploration Corp. (A.B.D.) 33.000 ton metalik bakır içeren % 8 Cu luk bir oksitli bakır yatağını alışlagelmiş patlayıcı maddeler yardımıyla yeraltında parçalayarak sülfürik asit ile yerinde liç hazırlıklarına başlamıştır (4). Aynı şekilde American Smelting and Refining Corp. ve Dow Chemical Corp. un Dowell bölümü Florence, Arizona'da (ABD) 360 m derinlikte ve 150 - 200.000 T metalik bakır içeren yatağın yine sülfürik asit ile yerinde liçi için hazırlığa girişmişlerdir (5).

Yerinde liç konusunda yapılan çalışmaların en ilginç, 1967 senesinde Kennecott Copper Corp. un A.B.D. Atomik Enerji Komisyonuna Safford, Arizona civarındaki düşük tenörlü bakır cevherlerini, önce yeraltında patlatılacak atom bombası ile parçalayıp kırmak, ve bunu takiben yerinde liç etmek yolunda yaptığı tekliftir (1). İlk hesaplar, atomik parçalanma yardımı ile % 0.2 Cu içeren yatakların dahi ekonomik olarak işletilebileceğini göstermiştir. Patlamadan sonra 10 yıllık bir liç programının uygulanması sırasında kilo başına liç maliyeti, eğer yıllık üretim 4500 ton olursa 37 cent, 450 ton olursa 54 cent olarak hesaplanmıştır. Halen bu tip projeler üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır ve radyo aktivitenin yeraltı sularına ve genel olarak ortama tesiri anlaşıldıktan sonra, uygulama alanındaki çalışmalara geçilebilecektir.

1.1.2. Yığma liç'te gelişmeler:

Hidrometalürjik yöntemlerle üretilen bakırm çok büyük bir oranı, düşük tenörlü cevherlerin veya madencilik artıklarının yığma liçine dayanmaktadır.

Günümüzde yığma liçe artan alâkayı bu tip üretimde, kazamlan bakır başına yapılan ön yatırımın azlığına, düşük işçilik masrafına ve metodun basit ve sürekli (continuous) bir yöntem olmasına, yetişmiş ve dikkatli elemanların nezaretine ihtiyaç göstermemesine bağlayabiliriz (6).

Eskiden yığma liç için bir «randıman» kavramından söz edilmezken ve ne elde edilirse onunla yetinilirken, günümüzde, cevher yığınlarından en kısa zamanda maksimum metal üretimi amaç olmuştur. Bu nedenle yığma liçe tesir eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler incelenmiş ve incelenmektedir.

Yerinde liç'te, randımanı artıran faktörler (7) arasında yığınların çok iyi havalandırılması, liç solüsyonunun kısa devreler yapmadan yığının her tarafına eşit olarak dağılması ve solüsyonun asitliğinin, içindeki demirin çökmesine engel olacak kadar yüksek olması veya so-

lüsyonun bu iyonlardan kısmen temizlenmesi (8) sayılabilir.

Günümüzde parmak şeklinde, üzerinde bir kamyonun dönebileceği genişlikte, 9-15 m. yükseklikte ve birkaç yüz metre uzunlukta yığınlar rağbettedir. Bu yığnlara liç solüsyonu plâstik borularla getirilip püskürtülmekte . ve yığın, havalandırmayı temin için, sık aralıklarla delinmektedir. Solüsyon akış hızı ortalama 5 İt/saat m² dir. Sülfürlü mineral yığınlarından bakır, daha zor ve uzun sürede kazanılmaktadır. Liç edilen bir yığm üzerine tekrar malzeme yığarak liçe yeni baştan başlamak mümkündür.

1.1.3. Bakterilerin minerallerin liçine etkileri :

1947 yılında, Colmer ve Hinkle ilk defa sülfürlü minerallerin liçinde bakterinin de rol oynadıklarını ispatlamışlardır (9). Bunu takiben yapılan çalışmalar, bilhassa, bakır ve uranyum madenlerinden, çıkan suların bakterilerle yüklü olduklarını göstermiştir. Tablo : 1 de maden sularında bulunan en önemli bakteriler, bunların yaşamaları için gerekli enerji kaynakları ve en fazla buldukları pH aralıkları verilmiştir.

TABLO : 1 — Hidrometalürjide önemli bakteriler ve özellikleri.

Bakterilerin Adı	Enerji Kaynağı	en çok bulunduğu pH aralığı
Thiobacillus thiooxidans	S, SO ₂ , S ₂ O ₃ ⁼ ün oksidasyonu	2 — 3.5
Thiobacillus ferrooxidans	Fe ⁺⁺ , S ⁼ , S, S ₂ O ₃ ⁼ ün oksidasyonu	2 — 3,5
Ferrobacillus ferrooxidans	Fe ⁺⁺ nin oksidasyonu	2 — 4.6
Ferrobacillus sulfoxidans	S, Fe ⁺⁺ nin oksidasyonu	asit

Son yıllardaki çalışmalar ise, metal değerleri yerinde ve yığma; liç ile kazanılmak istenilen düşük tenörlü cevher veya madencilik artıklarından metal üretimini hızlandırmak için bakterilerin optimum şekilde nasıl kullanılması gerektiği problemine yönelmiştir. Hâlen bakır üretim metalürjisinde yalnız bakterilerle liçe dayanarak kurulmuş bir tesis yoktur; fakat bütün yerinde ve yığma liç işlemlerinde bakterilerin önemli rol oynadıkları tespit edilmiştir. Gelecekte, Biyoloji Mühendisliğindeki aşamalar «yalnız bakteriler yardımı ile liç» yapan tesislerin kurulmasını mümkün kılabilir.

Tablo : 1 de gösterilen bakteriler enerjilerini inorganik maddelerin oksidasyonu ile elde ederler, yaşamaları için oksijene ihtiyaçları vardır ve asit ortamda dayanıklıdırlar. Maksimum etkinlikleri 35°C civarında görülür. 10°Cm altındaki sıcaklıklarda yalnız faaliyetlerinin durmasma karşılık, 50°Cm üzerindeki sıcaklıklarda ölürler.

Sülfürlü bakır minerallerin üzerinde yapılan deneylere dayanılarak bakterilerin liç sırasındaki rolünün, iki değerli demiri üç değerli hale oksitlemede katalizör olduğu ve liç işlemini ise bakterilerin değil, böylece meydana gelen ferrik sülfatın yaptığı ileri sürülmektedir. Bakterilerin metal sülfürlerinin sülfürünü oksitleyebilecekleri bilinmesine rağmen, bu mekanizmanın uygulamada önemli bir yer tuttuğu iddiası ise hâlen kesin olarak ispatlanmış değildir.

Yığınlarda veya yerinde liç işleminde bakterilerin etkisini arttırmak için tavsiye edilenler, sistemin çok iyi havalandırılmasını ve solüsyonun daha iyi ve homojen şekilde dolaşımını temin etmektir. Günümüzde A.B.D. de Kennecott Copper Corp. şirketinin yığma liç yaptığı madenlerde, liçin hızlandırılmasında bakterilerden faydalanılmaktadır (10).

1.2. Prensip Olarak Eski, Mühendislik Tatbikatı Yönünden Yeni Yöntemler :

Bu kısımda, ötedenberi tatbik edilgelelen yöntemlerin yeni mühendislik çizimi sonucu çalışma randımanlarının artırılması ve daha ekonomik hale getirilmesi veya bilinen bazı yöntemlerin yepyeni bir şekilde birleştirilmesiyle geliştirilen yeni yöntemlerden bahsedilecektir. Bunlardan birincisine örnek, bakırın demirle çöktürülmesinde kullanılan «konik çöktürücüler», ikincisine ise «liç çöktürme - flotasyon» yöntemidir.

1.2.1. Çöktürme tesislerindeki gelişmeler :

Yerinde, yığma veya süzülme liçi sonucu elde edilen ve litrede 0,4 ~ 4 gr. arası bakır iyonu içeren sülfürik asitli solüsyonlardan metalik bakır, hurda demir, sünger demir veya demir tozu ile çöktürülerek kazanılır. Teorik olarak bir kilo bakırı çöktürmek için 0.88 kg. demir gerekli ise de tatbikatta, sülfürik asit ve ferrik sülfatın demir üzerindeki etkisi nedeniyle bu harcama 1.3 ilâ 4 kg. arasında değişmektedir. Klasik çöktürme tesislerinde 150 m. ye ulaşabilen uzunlukta, 1.2 ~ 2.5 m. genişlik ve 0.30 ~ 1.2 m. derinlikte tahtadan veya betondan yapılmış tekneler ve hurda demir (bilhassa kalayı alınmış konserve kutuları) kullanılmaktadır. Son yıllardaki çalışmalar, çöktürme işleminin

- • — daha iyi bir mühendislik çizim ürünü kaplarda ve

— daha iyi özelliklere sahip çöktürücülerle yapılmasına doğru yönelmiştir.

Bunlardan birincisine örnek, Almanya'da Duisburger Kupferhütte de kullanılan «döner tambur (11)» ve A.B.D. de Kennecott Copper Corp. un Utah Bakır Bölümünde uyguladığı «konik çöktürücü» lerdir (12, 13, 14).

Daha iyi özelliklere sahip çöktürücü olarak da, demir veya demir tozu belirtilebilir.

Duisburger Kupferhütte de kullanılan döner tambur armut şekilli, çelik gövdeli ve tuğla astarlıdır. Yüklü solüsyon ve hurda demir üstten tambura şarj edilir. Bakır çökelerek sıyrılmış solüsyon ile beraber alttan dışarı bırakılır ve filtre edilerek solüsyondan ayrılır.

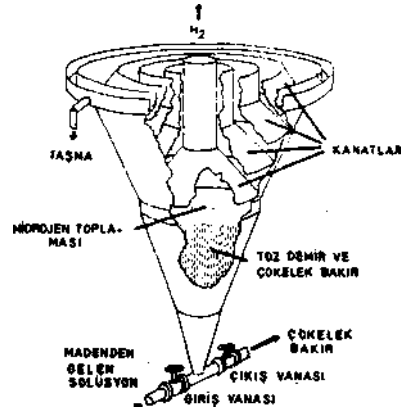
Döner tambur metodunun sakıncaları arasında, büyük miktarda çöktürücüyü devamlı hareket ettirecek mekanik tesislerin kurulması, bakımı, devamlı dönme hareketinin açığa çıkan bakırın bir kısmını öğütüp koloidal boyuta indirmesi sayılabilir.

Kennecott Copper Corp. (A. B. D.) araştırmacılarının geliştirdiği konik çöktürücüler ise, kullandıkları demirin cinsine göre iki tiptirler.

- 1 — Hurda demir kullananlar, ki halen bunlar şirketin Utah Bakır Bölümünde tatbikata konmuşlardır (13).
- 2 — Demir tozu kullananlar, ki bunlar da demir tozunun hurda demirden daha ekonomik olabileceği hallerde kullanılacaklardır (14).

Her iki tip çöktürücünün de prensibi aynıdır. Tepe kısmı aşağıda olan koninin dar ucundan basınçla sisteme verilen yüklü solüsyon gittikçe koninin daha genişleyen kesitlerinde yukarı yükselirken, hurda demir veya demir tozu ile temas gelmektedir. Açığa çıkan bakır, solüsyonun hızı nedeniyle, hurda demir veya demir tozu yüzeyine yapışmadan oradan ayrılmakta ve çöktürücünün yüzeyini yeni reaksiyonlara açık bırakmaktadır. İşlem sırasında sülfürik asidin demir üzerine etkisi ile açığa çıkan hidrojen gazı da, solüsyon içindeki erimiş oksijen miktarını azaltarak ferrik sülfat teşekkülünü kısıtlamaktadır. Böylece ferrik sülfatın demir üzerine etkisi ile meydana gelen demir sülfatı miktarı da azaltılmaktadır.

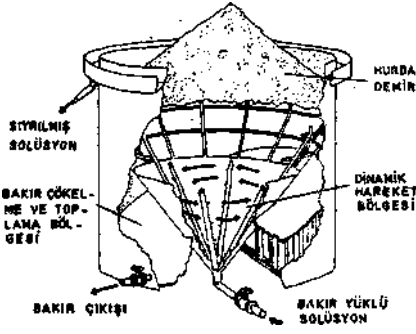
Hidrojen gaz basıncının azalması ise çöktürücü, yani demir miktarının azalmasını haber verdiği için, demir tozu kullanılması halinde bu özellikten proses kontrol aracı olarak da istifade edilmektedir.



ŞEKİL ; 1 HURDA DEMİR KULLANAN KONİK ÇÖKTÜRÜCÜ (13)

Şekil -1 de hurda demir kullanan konik çöktürücü görülmektedir. Yüklü solüsyon tabandan yukarı doğru uzanan borular üzerindeki deliklerden radyal olarak hurda demir üzerine fışkırtılmaktadır. Solüsyon yukarı yükselirken bakır çökeleğini de beraberinde sürüklemekte ve koninin üst kısmındaki elekli telden koninin dışına taşmaktadır. Bakır tanelikleri, eğimli olarak yerleştirilmiş «bakır çökelme ve toplama bölgesinde» toplanmaktadırlar. Sıyrılmış solüsyon sistemin üstünden, toplanan bakır da aşağıdan alınmaktadır.

Yeni yöntemle, elde edilen bir kilo bakır için sarf edilen demir miktarı 1.5 kg. kadardır. Çökelek bakır analizi ise şu değerleri vermiştir : % 90 ~ 95 Cu, 0.1 ~ 0.2 % Fe, % 0.1 ~ 0.2 Si, %0.1 ~ 0.2 Al ve geri kalan oksijen. İşlem sırasında liç solüsyonundan bakır kazanma randımanı % 89.7 ~ % 95 arasındadır. Konik çöktürücülerde 0.2 ~ 2 gr/lit bakır içeren solüsyonlardan bakır yaklaşık olarak aynı randımanla çöktürülebilmektedir.



ŞEKİL : 2 TOZ DEMİR KULLANAN KONİK ÇÖKTÜRÜCÜ (11).

Şekil-2 de, toz demir kullanan konik çöktürücü görülmektedir. Koninin aşağısından tazyikle verilen yüklü solüsyonun hızının etkisi ile toz demir, koninin her noktasında süspansiyon halinde kalmaktadır. Meydana gelen hidrojen gazı kabarcıkları koni üzerindeki özel kanatların tesiri ile, üst kesitin ortasına doğru yönlenmektedirler. Bu hareket sırasında kabarcıklar, yüzeylerine yapışan bakır parçalarını da beraberlerinde sürüklemektedirler. Bakır sıyrılmış solüsyon, koninin üst kesitinde yanlardan taşma yolu ile sistemden ayrılmaktadır. Bakır parçaları, hidrojen gazının da etkisi ile kesitin orta bölümünde toplandıkları için taşan sıyrılmış solüsyon, beraberinde bakır taneciklerini sürüklemektedir. Konik çöktürücü üzerine ters yerleştirilmiş bir diğer konide hidrojen gazı toplanmakta ve gaz basıncına hassas bir alet, bu bölgedeki basıncın azalması halinde bunun sistemdeki demirin tamamen kullanıldığına işaret ettiğini bilerek koniyi otomatik olarak boşaltmakta ve yeni bir toz demir yüklemesi yaparak sisteme tekrar solüsyon kabul etmektedir.

Yapılan deneylerde bir kilo bakır başına sarfedilen demir 0.9 kg bulunmuştur ve bu, teorik değere çok yakındır. Çöktürücü olarak % 95 in üzerinde demir içeren tozlar kullanılması halinde elde edilen çökelek bakırdaki bakır miktarı % 95 in üzerindedir.

Klasik tatbikatta çöktürücü olarak kullanılan demir, genel olarak kalayı alınmış konserve kutularıdır. Liç-çöktürme-flotasyon yönteminde veya konik çöktürücülerde ise, doğranmış ve çok ince parçalara kesilmiş hurda demir veya demir tozu kullanılır. Sünger demir, en önemli demir tozu kaynağıdır ve manyetit konsantrelerinin, demir cevheri veya pirit küllerinin doğrudan redüksiyonu sonucu elde edilmektedir.

1.2.2. Liç - çöktürme • flotasyon yöntemi

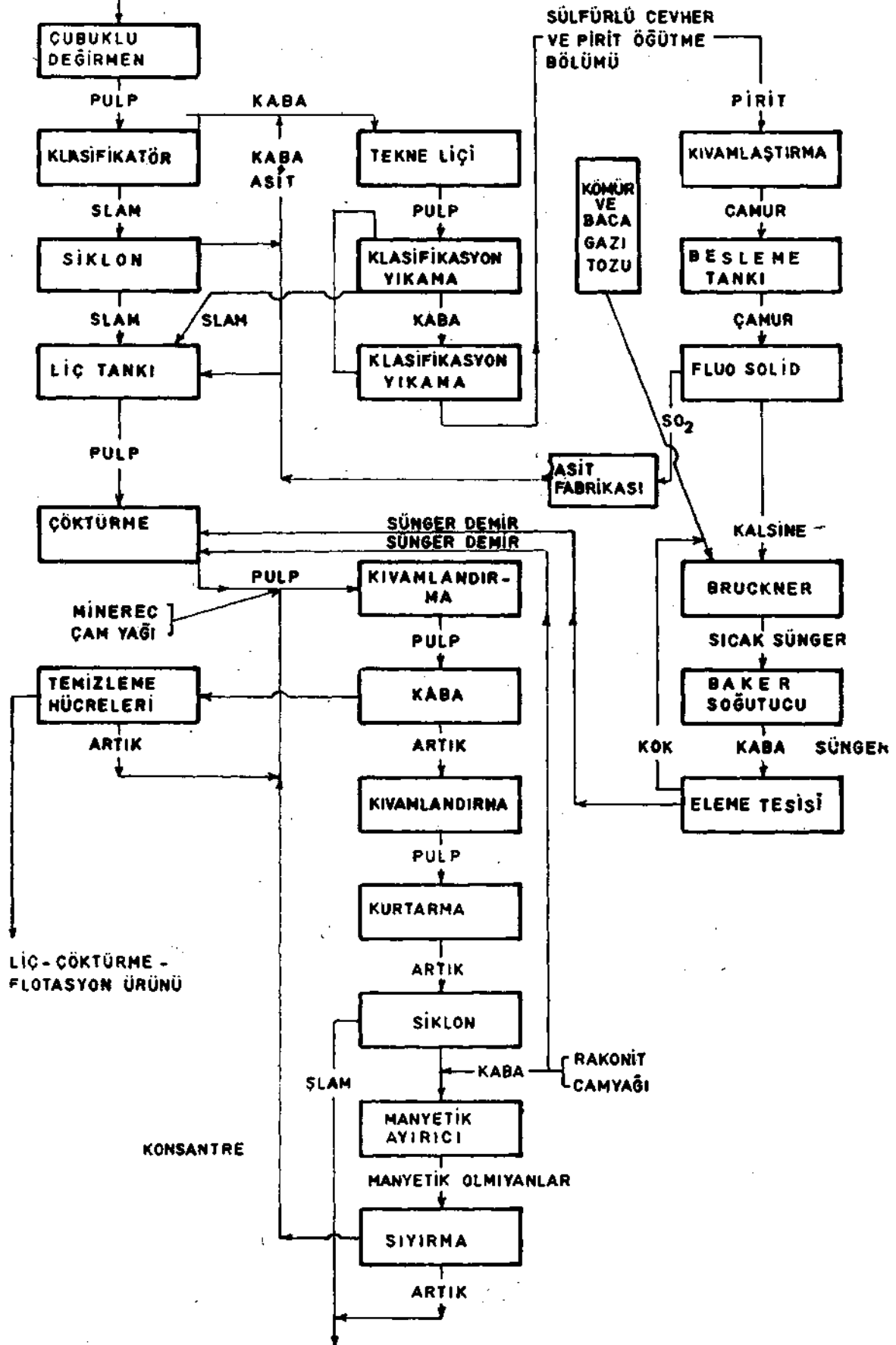
1930 larda Ruslar ve Amerikalılar tarafından aynı zamanlarda geliştirilen bu yöntem, oksit ve sülfürlü bakır mineralleri karışımını içeren cevherlerden oksitli kısmı sülfürik asitle liç, liç solüsyonundan bakır demirle çöktürme ve çökelekten bakırı flotasyonla diğer katılardan ayırarak kazanma esasına dayanır.

Metodun endüstriyel ölçüde tatbikata ise ancak 1950 den sonra gerçekleştirilebilmiştir. Özellikle Rusya'da sülfürlü bakır cevherlerinin üst bölümlerindeki oksitlenmiş kısımlardan bakırı ekonomik olarak kazanmak için bu yöntem tercih edilmektedir (15). Liç, genellikle 2.5 gr/lit civarında sülfürik asitli solüsyonlarla yapılmaktadır. Liç edilecek cevher ince öğütülmekte ve solüsyon gerekirse ısıtılmaktadır. Çöktürme 1 mm. den küçük parçalara kesilmiş düşük karbonlu hurda demirle veya bilhassa batıdaki tatbikatta, -35 mesh sünger demirle yapılmaktadır. Şekil-3 de Kennecott Copper Corp.'a ait Ray Mines bölümündeki liç-çöktürme-flotasyon tesisinin akım şeması verilmiştir (16).

1.3. İrensip Yönünden Yeni Yöntemler

Hidrometalürjik işlemlerin önem kazanmasının nedenlerine kısaca değinmiş-tik. Bu nedenlerin metalürji sanayiine baskısı bilhassa II nci Dünya Savaşı'ndan sonra çok artmış ve gerek araştır-

RAY MADENİ CEVHERİ
(PİRİT-KALKOPİRİT-BAKIR OKSİTLERİ)



macıları ve gerekse sanayicileri yeni yeni yöntemler bulmaya ve bunları tatbik zorlamıştır. Bu nedenle hidrometalürji halen piro-hidro-elektrometalürji üçlüsü içinde en çok «prensip yönünden yeni yöntemler»e sahip bir üretim metalürjisi dalıdır. Biz bunlar içinde bakır metalürjisinde tatbik alanına erişmiş yöntemlerin ikisinden bahsedeceğiz.

- 1) Basınç altında Uç ve çöktürme
- 2) Organik çözüldürücü (Solvent Extraction) yöntemi.

1.3.1. Basınç altında liç ve çöktürme

Daha önce de değinildiği gibi, günümüzde düşük tenörlü ve kompleks cevherlerden metal üretimi gittikçe önem kazanmaktadır. Fakat şimdiye kadar bilinen klâsik üretim yöntemleri bu tip cevherlere ya çok zor tatbik edilememekte veya hiç tatbik edilememektedir. Bu nedenle yüksek saflıkta metal üretimini temin edecek ve bilhassa kompleks cevherleri, ortamı kirletmeden ve ekonomik olarak işleyebilecek yeni yöntemlere ihtiyaç aşıktır. Son yıllarda atmosfer basıncından yüksek basınçlarda ve ortam sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda cevherlerin veya ikincil metal kaynaklarının liç'i ve liç solüsyonlarından metallerin yine yüksek basınç ve sıcaklıkta gazlarla çöktürülmesi çok geniş bir ilgi toplamıştır (17.) Hâlen Al, Ni, Co, Cu, W, Mo, V, U bu yöntemlerle üretilmektedir (18). Kısa, «basınçlı hidrometalürji» diyebileceğimiz bu yöntemlerin bakırlı cevherlere büyük oranda uygulanmasına ise, günümüzde rastlanmamaktadır. Fakat yapılan gerek laboratuvar gerekse pilot tesis çalışmaları ve bunların neticeleri göz önüne alınırsa, çok yakın bir gelecekte basınçlı hidrometalürjinin bakır üretim metalürjisinde de önem kazanacağını iddia etmek yanlış olmasa gerektir (3).

Basınçlı hidrometalürjik tesislerin, klâsik bakır üretim tesislerine oranla daha küçük kapasitelerde ve ucuza ku-

rulabilme olanağı da bu iddialara kuvvet kazandırmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile korrozyona dayanıklı basınç kaplarının yapılabilmesi, tesis işletmesinin daha basitleştirilmesi bu yöntemlerin, bilhassa nisbeten küçük yataklara sahip az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde uygulanmasını teşvik edecek özellikte gözükmektedir. Bu nedenle, hâlen uygulaması olmamasına rağmen bakırlı cevherlerin basınçlı hidrometalürjik yöntemle liçine bu çalışmada yer verilmiştir. Amonyaklı solüsyonlardan hidrojen gazı ile saf bakır çöktürülmesi ise, endüstride uzun zamandır tatbik edilen bir yöntemdir.

Basınçlı hidrometalürji demir perde gerisi memleketlerde de çok büyük ilgi toplamıştır (19). Fakat bu yöntemle metal üreten tesislere dair batıda çok fazla şey bilinmemektedir.

a) Basınç altında liç

Normal şartlarda sülfürik asitli solüsyonlarda sülfürlü bakır minerallerinin liçi çok yavaştır. Fenik klorürlü solüsyonlarda ise bu hız çok daha artmakta ve örneğin, bir kalkopirit cevheri 2 saatte % 99.9 oranında liç edilebilmektedir (20). Duval Corporation (ABD) ve Cominco (Kanada) nun bu prensibe dayanan Fir yöntem geliştirdikleri bilinmektedir (21). Cyprus Metallurgical Processes Corporation (ABD) de bu prensibe dayanan CYMET yöntemini geliştirmiştir (50).

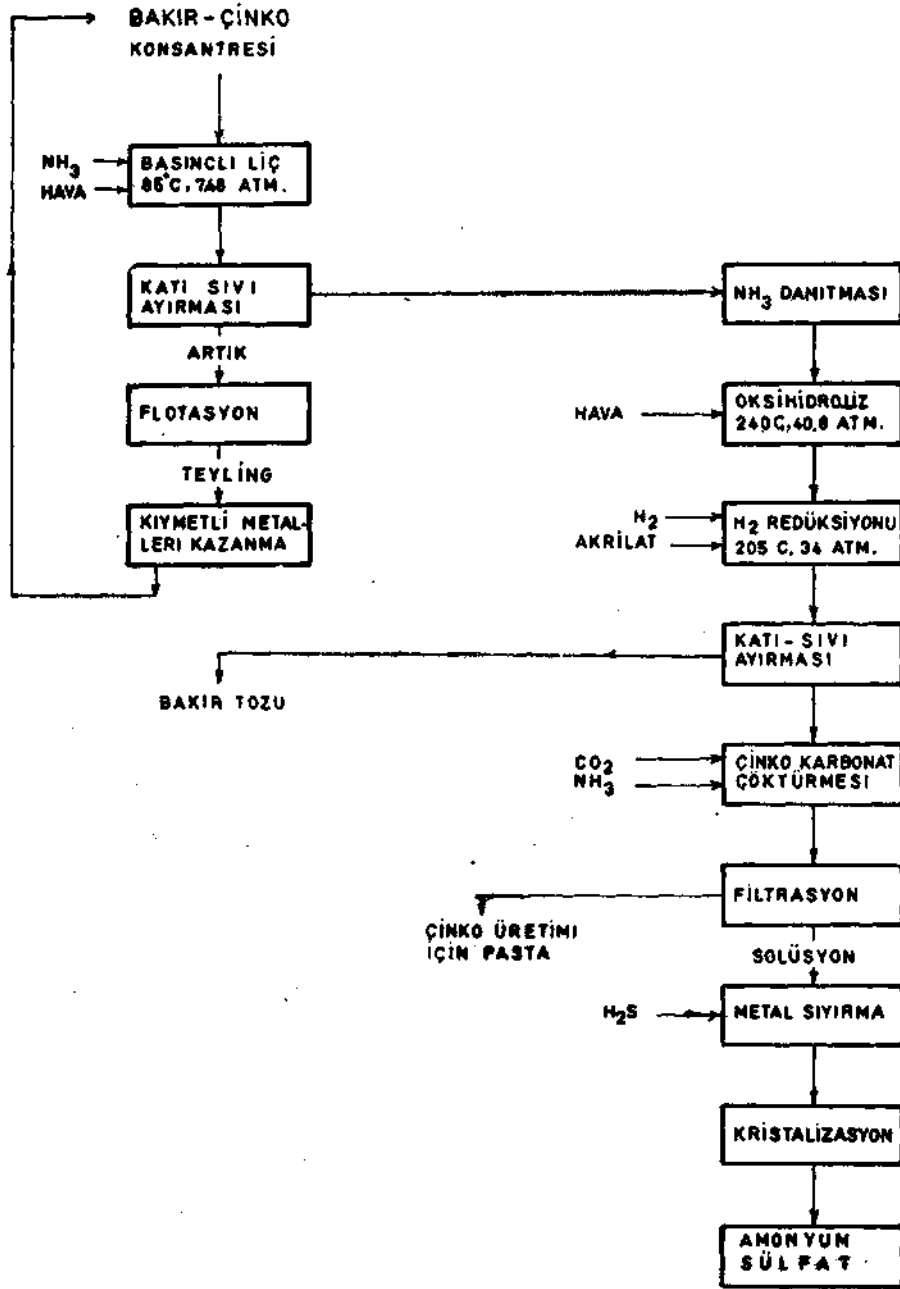
Sülfürlü bakır cevherlerinin direk liçi yerine, önce bir kavurmaya tâbi tutulduktan sonra (22), asal gazlı ortamda veya hidrojen ve kükürt karşısında belli bir süre ısıtıldıktan sonra liçi (21), üzerinde çalışılan konular arasındadır.

Sülfürlü bakır cevher ve konsantrelerinin basınç altında liçi bazik ve asit ortamlarda yapılmaktadır.

Sherritt Gordon şirketi (Kanada) amonyaklı solüsyonlarla bakır konsantrelerinin liçini pilot tesis çapında incele-

mistir (23). Kullanılan konsantre kal-kopirit, kalkozit, bornit, sfalerit, pirit ve molibdenit içermektedir. Liç, otoklav-larda 85 °C ve 7.48 Atm hava basıncı-müa 9 saatte ve bir molekül metal başına 4.5-5 molekül amonyakla yapılmıştır. Bakırın % 96 sı, çinkonun da % 80 i iş-lem sonunda solüsyona geçmiştir.

işlemin bundan sonraki kademeleri serbest amonyakm uçurulması, çinko-nun CO₂ ile karbonat ve bakırın H₂S ga-zı ile sülfür halinde çöktürülmesi işlemleridir. Solüsyondan ise sülfür, amonyum sülfat halinde kristalleştirilerek ayrılır. Şekil-4 de bu yöntemin akım şeması verilmiştir.



ŞEKİL 4 : AMONYAKU BASINÇ ALTINDA LIÇ TESİSİ AKIM. ŞEMASI »(23)

Bilindiği gibi Anaconda Şirketi (ABD) de amonyak liç-organik çözüldürücü-elektroliz yöntemi ile bakır üretmek için pilot tesis inşasına başlamıştır (3). «Arbiter yöntemi» olarak piyasaya tanıtılan bu yöntemeye dayanan pilot tesis 25 milyon dolara malolacak ve yılda 36.000 ton bakır üretecektir.

Bakır sülfürlü cevherlerin sülfürik asitli solüsyonlar içinde ve basınç altında liçi, sonuç ürünün elementer kükürt veya sülfat iyonları olmasına göre, iki bölümde incelenebilir. Genel olarak 175 °C nin üzerinde yapılan liç işlemlerinde kükürt elementer halde değil, sülfat halinde solüsyonda bulunur.

Sherritt Gordon şirketi araştırmacıları (24) kalkopiriti 110-120°C ve 12.6-34.0 Atm oksijen basıncında liç ederek kükürdü elementer olarak kazanmışlardır. Araştırmacılar liç solüsyonundan bakırın ise toz halinde veya elektrolitik olarak kazanılmasını önermektedirler. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise, kalkopiritin «titreşimli» değirmenlerde öğütülmesi halinde, çözümlendirmenin daha düşük sıcaklık ve basınçta yapılabileceğini göstermiştir (25).

US Bureau of Mines araştırmacıları ise (26) kalkopiriti 200°C de 1 saat, 8 Atm de liç ederek bakırın % 97-98 ini kazanmışlardır.

Düşük sıcaklıklarda liçin avantajı, bakır mineralinin kükürdünü elementer halde kazanıp bunu emniyetli olarak bir yere depolayabilmek imkânı olmasındadır. Fakat kükürdün liç artığından en iyi ve ekonomik olarak nasıl ayrılacağı hâlen tam çözülmüş bir problem değildir.

b) Hidrojen ile çöktürme

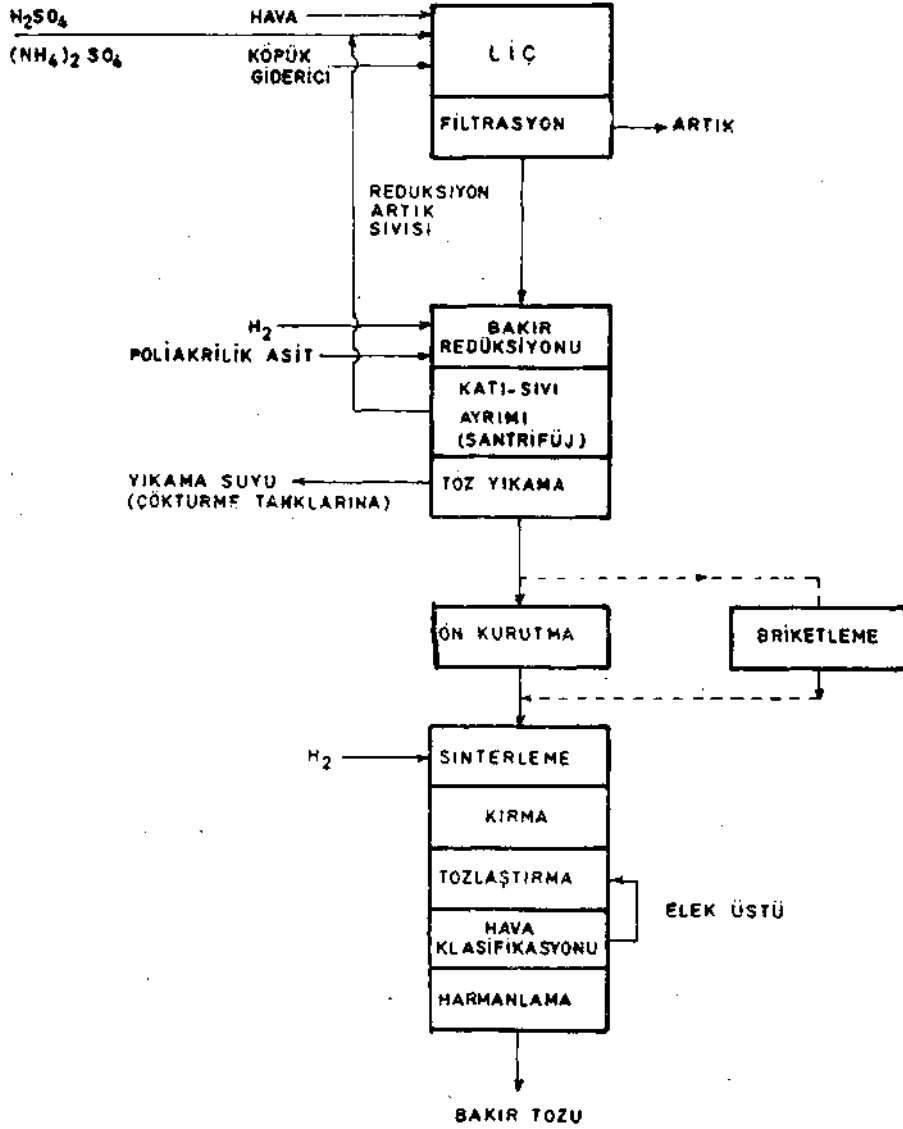
Batıda, amonyaklı solüsyonlarda bakırın hidrojen gazı ile endüstriyel ölçüde çöktürülmesi 1954 yıllarında başlamıştır

(27). İlk önce, ikincil kaynaklardan bazik amonyaklı solüsyonlarda bakır liç edilmiş ve liç solüsyonlarından bakır tozu hidrojenle çöktürülmüştür. Örneğin, Universal Minerals and Metals şirketinin Kansas City (ABD) deki tesisi «amonyum karbonat liçi —205°C de 61.2 Atm hidrojen basıncında çöktürme» yöntemi ile günde 5-6 ton bakır tozu üretmektedir.

Demir ile çöktürülmüş bakırın asit solüsyonlarda liçi ve solüsyondan %99.9 saflıkta bakırın hidrojen ile çöktürülmesi ise 1966 da Arizona Chemcopper Co. tarafından Bagdad (ABD) da tatbik alanına konmuştur. Bilindiği gibi demir ile çöktürülerek elde edilen bakır, en gelişmiş çöktürme yöntemleri kullanılsa dahi % 95 den daha saf değildir. % 77-85 bakırlı çökelekler bu şirket tarafından 130 g/İt H₂SO₄ ve 15 g/İt (NH₄)₂SO₄ li solüsyonlarda çözüldürülmüş ve litrede 90 g/İt bakır içeren asit solüsyon (pH = 2) süzöldükten sonra bakır, 120 -140° C ve 25 Atm hidrojen basıncında toz halinde çöktürülmüştür. 1968 de otoklavlarda Carpenter 20 çeliğinden yapılmış astarlar yerine, titanyumlu astarların konması ile devrede amonyum sülfatın kullanılması durdurulmuştur. Toz bakırın otoklav cidarına yapışmaması için de poliakrilik asit kullanılmıştır.

Solüsyondan santrifüj ile ayrılan toz bakır, 120°C de kurutulup hidrojen atmosferinde sinterlenerek piyasaya sunulmuştur. Tesis günde 25 ton bakır üretebilmektedir.

Bu tesis halen bakır liç solüsyonundan demirle çöktürme-liç-hidrojen ile çöktürme yöntemi yerine, organik çözüldürücü-elektroliz yöntemi ile kazanan tesislerin kurulması sonucu faaliyetini pilot tesis olarak devajtn ettirmektedir (17). Şekil-5 de tesisin akım şeması verilmiştir.



SEKİL : 5 ARIZONA CHEMCOPPER CO. ŞİRKETİNİN HİDROJEN İLE BAKIR ÇÖKTÜRME TESİSLERİNİN AKIM ŞEMASI (27)

1.3.2. Organik çözüldürücü (Solvent extraction) yöntemi

Bakır hidrometalürjisinde en önemli aşamalardan birisi şüphesiz General Mills firmasının (Arizona, ABD) son on yıl içinde geliştirip piyasaya sürdüğü LIX (Liquid Ion Exchanger) tipi organik sıvı

iyon değiştiricileridir. Bu solüsyonlar, içerdikleri hidrojen iyonunu tercihli olarak sülfat asitli veya amonyaklı **bakır** solüsyonlarında bakır iyonu ile değiştirmekte oldukları. Böylece, litrede 1-2 gr. dahi bakır içeren bir liç solüsyonu, Lix tipi sıvılarla temas ettiğinde, hemen hemen bakırın tamamını bu sıvılara geçi-

rebilmektedir. «Yükleme» olarak isimlendirilen bu işlemi takiben organik sıvı, yüksek asitlikte bir sülfürik asit solüsyonu ile temas ettirilince organik sıvı bakır iyonlarını sulu faza vererek yerine tekrar hidrojen iyonlarını almakta, yani «sıyırılmak» tadır. Sıyırma işleminin küçük hacimde sulu solüsyonla yapılması halinde solüsyon doğrudan doğruya elektrolitik bakır kazanma tesislerine gönderilebilecek yükseklikle (30 g/l'ten fazla) bakır ile yüklenebilmektedir. Bu türlü solüsyonlardan bakır klasik elektrometalürjik yöntemle kazanılmaktadır. Üretilen bakırın saflığı % 99.9 un üzerindedir.

Görüldüğü gibi organik çözündürücü metodu prensip olarak bir «sıvı faz konsantrasyon» yöntemidir.

Lix tipi sıvı iyon değiştiriciler patentli sıvılardır fakat suda çözünmeyen oksim karışımları oldukları bilinmektedir. Lix solüsyonları saf olarak değil, gaz yağı ile sulandırılmış olarak kullanılmaktadırlar. Genel olarak bir hacim organik sıvıya 9 hacim gazyağı karıştırılmaktadır. Tatbikatta amonyaklı liç solüsyonları da LİX64 ve LİX64N ile muamele edilmektedirler. En son geliştirilen LİX 70 in ise, yüksek asit ve bakır iyonu içeren solüsyonlar için kullanılması tavsiye edilmektedir. Diğer iyon değiştiricileri LİX65N, LİX71, LİX73 ise 40°C üzerindeki asit solüsyonlarda kullanılabilirler.

Bakır yüklü organik fazdan bakır, yüksek sülfürik asitli sıvılarla sıyırılmaktadır. Örneğin, LİX63-64-64N için yaklaşık 160 g/lt H₂SO₄, LİX 70 için ise 300 g/lt H₂SO₄ içeren solüsyonlar kullanılmaktadır (28-33).

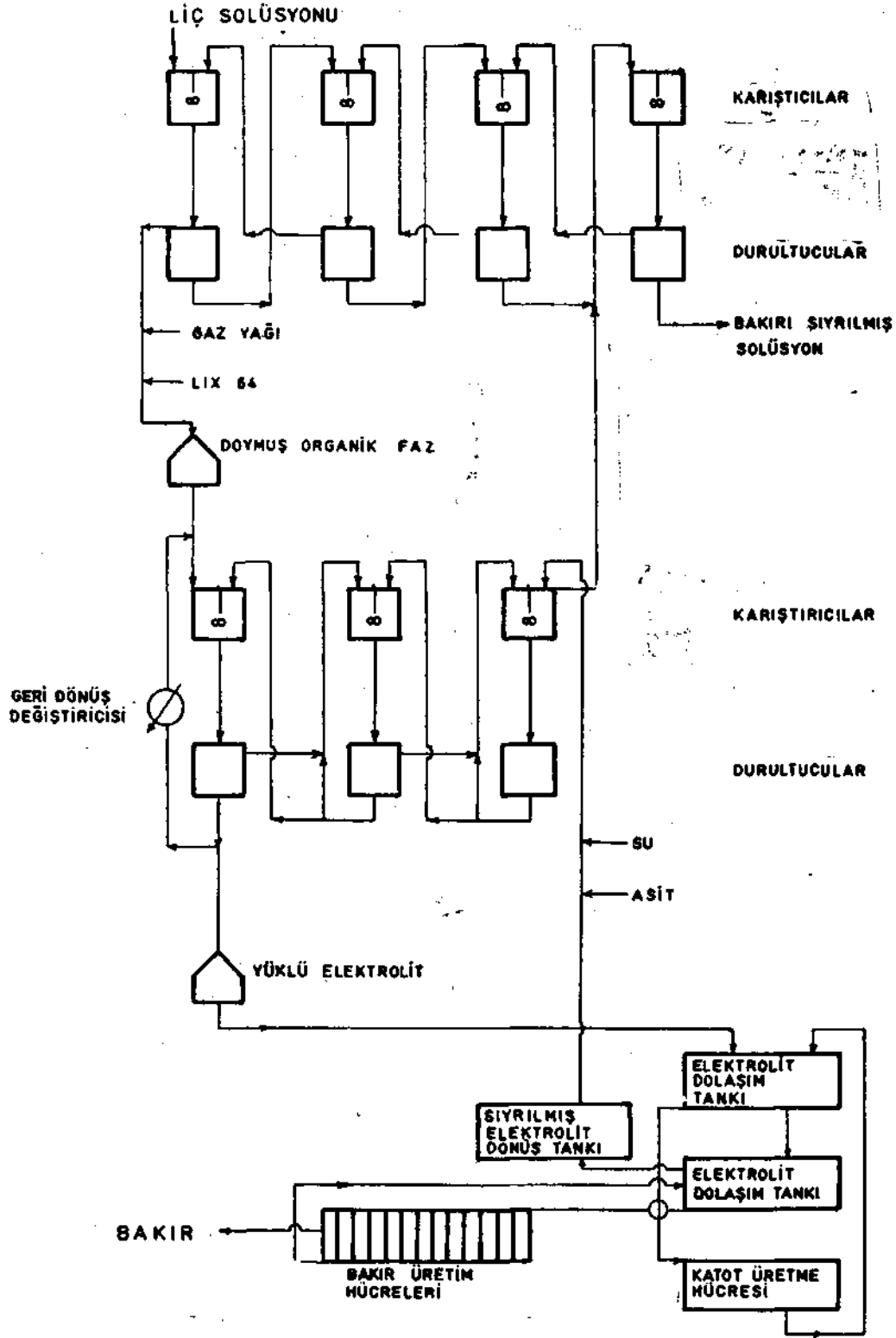
LİX sıvı iyon değiştiricilerinin en önemli özellikleri tercihli olarak bakır iyonları ile diğer iyonlardan çok daha büyük oranda yüklenebilmeleridir. Örneğin, LİX 64 de yüklenen ferrik demirin yüklenen bakıra oranı 1/25 - 1/100 arasında değişmekte, LtX64N il« bu de-

ğer 1/300 ve LİX70 ile 1/3000 kadar inmektedir. Yabancı iyonlar arasında bakırdan sonra en fazla yüklenebilen de p_e +++_{ve} MoO₂²⁺ dir. Bu nedenle kompleks cevherlerin hidromejalürjik işlemleri sonucu elde edilen solüsyonlardan bakırı selektif olarak ayırıp konsantre etmede, organik çözündürücü metodu istikbal vaatmektedir.

Son yıllarda hurda demirin maliyetinin yükselmesi, büyük hacim kaplayan malzemenin nakliyesinden doğan ilâve masraflar, liç solüsyonlarından bakırın demir ile çöktürme masrafını arttırmıştır. Ayrıca hurda demirin kıymetli ve her zaman bulunmadığı az gelişmiş veya gelişen ülkelerde de «organik çözündürücü-elektroliz» sistemi ekonomik açıdan demirle çöktürmeye tercih edilebilir hale gelmiştir. Yeni organik çözündürücü tesislerindeki gelişmelerin işlem sırasındaki organik kayıplarını çok düşük değerlere indirmesi de, bu tip tesislere duyulan alâkayı arttırmıştır. Ayrıca, modüler organik çözündürücü-elektroliz ünitelerinin yapılabilmesi ve bunların bir tesisten öbür tesise taşınıp en kısa zamanda ve az masrafla kurulabilmesi imkânı yeni tatbikat ufukları açmaktadır (38).

Metodun bir diğer önemli avantajı, işlem sonunda bakırından sıyrılmış liç solüsyonunun demirle yüklenmeden ve asit içeriği arttırılmış olarak tekrar liç devresine gönderilebilmesidir. Böylece, Eemirle çöktürme sonucu elde edilen solüsyonların tekrar liç devresine verilmeleri sırasında demirin hidroksit halinde çökerek liç, edilecek cevher parçaları arasındaki kanalları tıkaması ve liç randımanını azaltması tehlikesi de ortadan kalkmıştır.

Günümüzde organik çözündürücü - elektroliz yöntemi ile bakır üreten ve üretecek olan dört tesis vardır. Bunlardan Duval (ABD) şirketinin günde yaklaşık 0.54 ton bakır üreten tesisi bir pilot tesistir (34). Diğer üç tesise ait bilgi, Tablo-2 de verilmiştir.



ŞEKİL 6 : BAGDAD ORGANİK ÇÖZÜNDÜRÜCÜ- ELEKTROLİZ TESİSLERİNİN AKIM SEMASI 1361

TABLO : 2 — Halen üretim yapan veya kısa zamanda yapacak olan Organik çözüldürücü - Elektroliz yolu ile bakır üreten tesislere ait bilgiler (33, 35-37)

	Bluebird Mines	Bagdad Copper	Nchanga Copper
Bakır üretimi (Ton Cu/yıl)	5.000	7.000	54.000
Üretime başlama yılı	1969	1970	1974
Kullanılan LIX cinsi	LIX 64	LIX 64	LIX 64
Yatırım (US \$)	3.000.000	5.000.000	<u>55.000.000</u>
İşletme masrafı (US \$/Ton Cu)	260	220	265
Asit sarfiyatı (kg H ₂ S ₀₄ /kg Cu)	7	7	2.5
Organik kaybı Litre (LIX + gazyağı)/Ton Cu	99	66	45

Bluebird Mines Ranchers Exploration and Development şirketine ait. Miami-Arizona, USA (35)

Bagdad Copper Bagdad Copper Corp a ait Bagdad - Arizona, USA (36)
Nchanga Copper Nchanga CCM Limited, Chingola - Zambiya (37)

Bagdad Copper Corp. (ABD) un akım şeması da Şekil - 6 da çıkarılmıştır.

Tesiste yükleme ve sıyırma işlemleri «karıştırıcı-durultucu» sistemlerinin kombinasyonu ile elde edilmiştir.

II. ELEKTROMETALÜRJİDEKİ GELİŞMELER

Bakır elektrometalürjisi bakır yükü, sülfürik asitli liç solüsyonlarından bakırın kazanılması ve blister bakırın bakır sülfat - sülfürik asitli solüsyonlar içinde elektrolitik olarak arıtılmasını kapsar. Bunlardan birincisine «redüksiyon elektrolizi veya elektrolitik kazanma», ikincisine «rafınasyon elektrolizi veya elektrolitik arıtma» denir.

Liç solüsyonlarından bakırın redüksiyon elektrolizi ile kazanılmasında ön şart solüsyonun bakır iyonları ile beraber redüklenecek iyonlara, örneğin ferrik demir ile yüklü olmamalarıdır. Bu nedenle solüsyon, icabederse bir Ön temizlenmeden sonra elektroliz devresine gönderilir. Elektrolizde çözünmeyen anodlar kullanılır.

Blister bakırın elektrolitik olarak % 99.9 dan daha saf hale getirilmesi için yapılan rafınasyon elektrolizinde bakır sülfat-sülfürik asit içeren solüsyon, bizzat tesiste hazırlanır ve işlem sırasında solüsyon içinde miktarı gittikçe artan yabancı iyonlar (örneğin nikel) solüsyonun kimyasal temizlenmesi ile devreden çıkartılabilir. Bu sistemde anod, blister bakırdan dökülmüştür.

Günümüzde gerek redüksiyon, gerekse arıtma elektrolizindeki gelişmeler daha çok «daha iyi - daha büyük» ve «mühendislik tatbikatı yönünden yeni» diye sınıflandırabileceğimiz yeniliklerdir. Yapılan çalışmalar ön yatırımları ve işletme masraflarını azaltmak* verimi arttırmak, mekanizasyonu teşvik etmek, proses kontrolünü geliştirmek yönünde olmaktadır.

«Prensip yönünden yeni» yöntemler ise, halen laboratuvar çalışması safhasındadırlar.

2.1. Tesislerdeki Gelişmeler

Bu gelişmeler «daha iyi - daha büyük» değişiklikler olarak sınıflandırılabilirler. Gerek redüksiyon, gerekse arıtma tesislerinde yapılan değişikliklerin bir çoğu birbirine benzemektedir. Biz burada daha çok arıtma tesislerine değineceğiz.

Bu değişiklikler (39).

- anod kalitesini iyileştirmek,
- yeni kolloidler ilâvesiyle katod kalitesini yükseltmek,
- anaç levhaların hazırlanmasını ve taşınmasını mekanikleştirmek,
- banyolardaki kısa devreleri en kısa zamanda tespit edip gidermek,
- katod yıkamasını mekanikleştirmek,
- işlem şartlarını devamlı kontrol altına alabilmek vb., olarak sıralanabilir.

Günümüzde anodların Hazelett döküm makinalarında dökülmesi, anaç levha üretim katodlarının titanyum veya paslanmaz çelikten yapılması taraftır bulunmaktadır. Yeni ve büyük tesisler gerek elektrodların hazırlanmasında, gerekse taşınmasında mekanizasyona gitmiştir (40).

Elektrolitik arıtma tesislerinde düşük amper randımanına en büyük sebeplerden birisi kısa devrelerdir. Bunları bulup derhal gidermek için Gaussmetreler, sürekli hücre potansiyeli ölçen aletler kullanılmakta veya hücrelerin kızıl ötesi (ihfra-red) ışınlarla fotoğrafları çekilerek kısa devreler tesbit edilmektedir.

Elektroliz tesislerindeki diğer yenilikler de şunlardır (41).

Elektroliz hücreleri artık hemen hemen yalnız betonarme olarak yapılmaktadır. Tek gövde halinde dökülmüş ve donanımları önceden yerleştirilmiş hücreler, son yıllarda ehemmiyet kazanmıştır. Hücrelerin astarlanmasında plastik gittikçe kurşunun yerini almaktadır. Yeni geliştirilen plastikler fevkalâde izolatör özellikleri ve darbeye mukavemetleri sebebiyle, yumuşak plastiklerin yarattığı tereddütü giderme yolundadır. Plastik borular ise, solüsyon iletiminde kendilerini plastik astarlardan önce kabul ettirmişlerdir. Halen yeni rafineriler tamamen plastik borular kullanılmaktadır. Solüsyon tankları da keza sentetik astarlarla astarlanmaktadır. Fakat son yıllarda paslanmaz çeliklerden de büyük bir oranda depo malzemesi olarak istifade edilmektedir.

Solüsyon ısıtılmasında ise kurşun helezon ve borular yerine halen tesislerin yarısı grafitli tüp ısı değiştiricileri kullanılmaktadır.

Germanyum ve silisyumlu rektifikatörler artık elektroliz tesislerinde tamamen kabul edilmişlerdir. Bunlardan ikincisi, birinciye tercih edilmektedir.

Katod bakırının ergitilmesinde Asarco fırınları gittikçe daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2. Yüksek Akım Yoğunluğunda Elektroliz

Bakır rafinerilerinde katod kalitesinin bozmadan ve anodlan pasivasyona uğ-

ratmadan elektroliz akım yoğunluğunun ne derece yükseltilebileceği, yıllardır araştırmalara konu olmuştur.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar gerek elektrolitik arıtmada, gerekse elektrolitik bakır kazanma işlemlerinde akım yoğunluğunun artırılmasının hem sabit yatırımları, hem de üretim masraflarını azaltacağını göstermiştir. Örneğin, akım yoğunluğunun iki misline çıkarılması 15.000 ton/yıl kapasiteli bir arıtma tesisinin yatırım sermayesinde % 30 luk bir indirim yapılabilmesini mümkün kılmaktadır (42, 43).

Klasik elektrolitik arıtmada, akım yoğunluğu yaklaşık olarak 150-200 A/m², elektrolitik kazanmada ise 100-150 A/m² civarındadır.

Akım yoğunluğunu arttırma alanındaki çalışmalar başlıca üç şekilde yapılmaktadır :

- a) Elektrolit dolaşımını hızlandırıp akım yoğunluğunu optimum değeri buluncaya kadar arttırmak,
- b) Elektrodların konumunu ve dolaşımıyla elektrolit akış yönünü değiştirerek ve yüksek akım yoğunluklarına çıkararak.
- c) Sistemden geçen akımın yönünü programlı olarak değiştirerek ve yüksek akım yoğunluklarına çıkararak.

Bunlardan birinci grupdakileri «daha iyi - daha büyük», iki ve üçüncü grupdakileri «mühendislik açısından yeni» değişiklikler diye sınıflandırabiliriz.

Birinci ve ikinci gruba dahil değişikliklerin prensibi şöyle özetlenebilir. Anod ve katod yüzeyi ile elektrolit arasındaki yayınma (diffüzyon) tabakasının kalınlığı inceltirilip bakır iyonlarının elektrod yüzüne erişmeleri (katod) veya elektrod yüzeyinden uzaklaşmaları (anod elektrolitik arıtma) kolaylaştırılabilir. Bunun için solüsyonun şiddetle hareket ettirilmesi gereklidir.

İlk gruba örnek olarak Kennecott Copper Corp. da (ABD) (44) yapılan çalışmaları gösterebiliriz. Bu tesislerde elektrolit, hücrenin yanlarından içeriye fişkırtılarak veya yukarıdan aşağıya hareket ettirilerek solüsyon dolaşımı temin edilmiş ve başkaca bir değişiklik yapılmadan akım yoğunluğu, katod kalitesi değişmeden ve anodlar pasifleşmeden 330 A/m² kadar yükseltilebilmiştir.

Halen modern arıtma tesislerinde kullanılan akım yoğunluğu 250 A/m² civarındadır.

İkinci gruba örnek İsveç Boliden Madencilik şirketinin geliştirdiği ve pilot tesis tecrübelerini yaptığı çalışmalarıdır (45). Bu deneylerde elektrodlar hücrenin uzun kenarına paralel yerleştirilmişlerdir. Elektrolit, elektrod yüzeylerine paralel hareket etmektedir. Tecrübeler 500 A/m² akım yoğunluğunda yapılmıştır. Elde edilen katod kalitesi, gümüş ve selenyumun yüksekliği fiariç, alışıl-gelmiş metodla üretilen bakırdan farklı olmamıştır ve işlem sırasında anod pasifleşmemiştir. Elektrolit hızı 13 m/dakika ve denemelerde de elde edilen amper randımanı % 90-92 civarındadır.

Yukarıda sıralanan üç tip çalışma arasında derhal kabul edilip tatbik sahasına konulan ise, periyodik değişen akım ile elektrolizdir. Halen bu metod Afrika'da, Japonya'da (46) ve Bulgaristan'da (47) başarılı olarak kullanılmaktadır. Memleketimizde RABAK A.Ş. (İstanbul) pilot ölçüdeki hücrelerde bu metodu başarılı olarak denemiştir (48).

Yöntemin prensibi, elektroliz işlemini 400 A/m² ve daha yüksek akım yoğunluklarında yapmaya, fakat işlem sırasında akım yönünü belli aralıklarla ve çok kısa bir süre değiştirmeye dayanır. Böylece yüksek akım yoğunluklarında meydana gelmesi beklenen anod pasifleşmesine mâni olunabilmiştir. Üretilen katodun kalitesi, klasik usullerle elde edilenlerden farklı değildir.

2.3. «Prensip Yönünden Yeni» Yöntemler

Günümüzde bakır elektrometalürjisi-nde yapılmakta olan çalışmalar arasında «prensip yönünden yeni» yöntemler de çok önemli yer tutmaktadır. Herne-kadar aralarında tatbikat sahasına aktarılmış olanlar daha yoksa da, önemleri nedeni ile bunları kısaca incelemekte fayda vardır.

a) Cevherden elektroliz yolu ile metal üretme

Bu konudaki çalışmalar arasında eriyik tuzlardan bakır üretimi mühim bir yer tutmasına rağmen bu çalışmada, tatbiki yönden daha büyük potansiyele sahip olduğu için, yalnız sulu eriyiklerdeki elektroliz işlemlerine değinilmiştir.

Sülfürlü bakır cevherlerini öğütüp uygun sulu eriyikler içinde (sülfatlı ve klorlu) anodda oksitleyerek bakır iyonlarını solüsyona geçirmek ve solüsyona geçen bu iyonları katodda redükleyerek bakır elde etmek üzerinde uzun süredir uğraşılan bir konu idi (49). Cyprus Metallurgical Processes Corporation (ABD) tarafından üzerinde çalışılan ve CYMET olarak adlandırılan yöntem bu çalışmaların, istikbal vadeden bir ürünüdür (50). Anod ve katod bölümü ayrı olan bir hücrenin anod bölümüne ferrik klorürlü ortamda —200 mesh'in altına öğütülmüş sülfürlü cevher konsantresi sevk edilir. 50° C in üstünde ve pH 4 ün altında yapılan oksitleme sırasında kükürt, elementer kükürde dönüşür ve bakır iyon Jialinde solüsyona geçer. Devamlı hareket, anod hücresindeki cevher parçalarını süspansiyon halinde tutmaktadır. Bir diaframla anod bölümünden ayrılmış olan katod kısmında da, bakır iyonları redüklenmekte ve toz bakır elde edilmektedir. Yöntemin yan ürünleri arasında elementer kükürt, elektrolitik demir de vardır. İddia edildiğine göre, bu yöntemle dayanarak kurulacak 80.000 t/yıl kapasiteli bir tesis, klasik yöntemlerle bakır üreten tesislere göre % 20 ucuza çıkacak, ayrıca işletme masrafı da hemen hemen % 60 daha az olacaktır.

b) Bakır matından elektroliz yolu ile metal üretme

Bilindiği gibi, nikel matını anod olarak kullanarak elektrolitik usulle metalik nikel üretmek, uzun süredir tatbik edilen bir usuldür (51). Aynı paralelde çalışmalar, bakır matları ile de yapılmıştır. Sülfatlı, klorlu ve nitratlı sulu eriyikler elektrolit olarak kullanılmışlardır (49). Laboratuvar çalışmaları, işlem sırasında sarf edilen yüksek enerji, elektrolit temizliği ve anod çamurunun işlenmesi problemleri nedeni ile halen bu yöntemin ekonomik olmadığını göstermiştir. Fakat yeni aşamaların, araştırma sonuçlarını müsbet yönde etkilemesi de çok büyük ihtimaldir.

c) Liç solüsyonundan akışkan yatak elektrodları ile metal üretme

Bu yöntem ile atomize bakır tane-ciklerinden meydana gelmiş bir akışkan yatakta liç solüsyonlarının bakır kazanılabilmektedir. Anod ve katod bölümleri iyon değiştirici tipte diaframlarla birbirinden ayrılmışlardır (52, 53). Ön çalışmalarda 5000 Amp/m² lik akım yoğunluklarına çıkılabilmektedir. Yapılan hesaplara dayanarak bu tip elektrodlarla aynı zamanda, daha düşük maliyette bakır üretmenin mümkün olacağı da iddia edilmektedir. Ayrıca bu yöntem, elektrolitik arıtmada da kullanılabilmektedir.

III. SONUÇ

Pirometalürjinin aksine, bakır hidro ve elektrometalürjisinin tarihi, geçen yüzyıldan geriye gitmemektedir. Elektrometalürji daha bu asrın başından beri hem elektrolitik kazanma, hem de arıtmada yerini kesin olarak belirlemişse de, aynı şeyi hidro-metalürji için söylemek çok zordur. Hidrometalürji günümüze dek bakır metalürjisinde daima ikinci hattâ üçüncü plânda kalmış ve «gözden çıkarılmış» veya «başka türlü muamelesi» imkânsız cevherlerden «ne koparılabilirse onu koparmak» fikrine hizmetten daha öte bir iş yapamamıştır.

Bu çizelgeden, artıkların 1, 2 ve 3 sayılı numunelerinin ayn yarı bakır yüzde-leri şöylece hesaplanır :

1 No.lu numune :

$$\frac{2.2 \times 0 + 6.8 \times 0.28 + 10.5 \times 0 + 15.7 \times 0.1 + 3.2 \times 0.05 + 61.8 \times 0}{100 \times \text{İÖÖ}} = \% 0.036$$

2 No.lu numune :

$$\frac{3.2 \times 0.19 + 9.3 \times 0.08 + 59.4 \times 0.10}{100 \times 100} = \% 0.073$$

3 No.lu numune :

$$\frac{3.0 \times 0.32 + 8.4 \times 0.28 + 3.6 \times 0.26 + 19.0 \times 0.15 + 7.9 \times 0.10 + 58.1 \times 0.086}{100 \times 100}$$

$$= \%0.13$$

Üç numune ortalaması :

$$\% 0.036 + \% 0.073 + \% 0.130 = \% 0.08$$

Bu bakır kaybı yüzdesini, artıkların, Konsantratöre giren ham cevhere olan oranı ile çarparak cevher tenöründe oluşan azalma hesaplanır. Bu kayıp miktarı cevher tenörü % 0.8 olan bir Konsantrasyonda % 10, cevher tenörü % 0.4 olan bir Konsantrasyon da ise % 20 sini bulur. Bir de izabe kayıpları hesaba katılırsa, toplam bakır kaybının, cevher tenörü

düşükçe ne kadar önem kazandığına ve bu sebeple ekonomik bakır tenörünün alt sınırını tayin etmede çok etken olduğuna işaret etmek isteriz.

Cevherin rezerve miktarı ve tenörü hakkında bir bilgi vermek için Filipinlerde çalışılan ve porfirik dissémine tipteki beş adet yatağın özellikleri (2c) şöylece özetlenmiştir :

Çizelge : 2

Filipinlerde Bakır Yatakları

Yatağın adı	Tenor	Rezerv Ton
Balaban Copper	% 5 Cu + % 45 S ₂	500.000
Kennon Copper	% 0.70 Cu az altın ve gümüş	12.000.000
Bonneng Copper	% 0.60	5.000.000
Atlas Consolidated	% 65	günde 15.000 ton ham cevher
Mar Copper	% 0,90	100.000..000

Japonya'nın tanınmış KUROKO bakır - Çinko - Kurşun kompleks cevher yatağında ise durum şöyledir : (2a)

Tenörler %	Rezerv Ton
% 1.7 Cu, % 4.0 Zn, % 1.0 Pb	50.000.000

**British Columbia (Kanada)
Granisle Mines Limtd.**

Günde cevher istihsali	Cu tenörü
5000 Ton	% 0.53

Halbuki günümüzde, mevcut'zengin ve işlenmesi kolay cevherlerin bitmesi, insanın kendisine, yapıtlarına ve ortamına daha çok ehemmiyet vermeye mecbur kalması nedeni ile hidrometalürji birden ön plâna çıkmış, elektrometalürjide de köklü değişiklikler doğurabilecek çalışmalara başlanmıştır. Bazı taraftarlarının iddia ettiği gibi, hidrometalürjinin «istikbalin en önemli üretim me-

todu» olacağını iddia etmek için vakit bir parça erken ise de, gittikçe büyüyen önemini şimdiden takdir etmemek de imkânsızdır.

Bu nedenle, bilhassa yurdumuz sorunlarının halline çare ararken hidrometalürjik - elektrometalürjik yöntemlerin her açıdan çok önemli rol oynayabileceğini veya oynaması gerektiğini unutmamak lâzımdır.

R E F E R A N S L A R

- 1 — COOPER, F.D. — **Copper Hydro-metallurgy (a review and outlook).**
U.S. Bureau of Mines, IC 8394, 185, 1968.
- 2 — HALL, J.G., — **World Metal Economics**
AIME Centennial Volume, ss. 62-74, 1971
- 3 — İsimsiz — **Anaconda begins to cash on its Copper, Nickel and Zinc hydrometallurgy.**
Eng. and Mining Journal, 174,5, s. 24, 1973
- 4 — — **Ranchers big blast shatters copper orebody for in situ leaching**
Eng. and Mining Journal, 173, 4, ss. 98-10 1972.
- 5 — — **Asarco and Dow Chemical to leach deep copper orebody in situ in Arizona.**
Eng. and Mining Journal, 173, 6, s. 19, 1972.
- 6 — BHAPPU, R. B., JOHNSON P. H., BRERLEY, J.A. ve REYNOLDS, D.H., — **Theoretical and practical studies on dump leaching.**
AIME Trans. 244, 3, ss. 307 - 20, 1969.
- 7 — MALOUF, E.E., — **Current copper leaching practices.**
Mining Eng., 24, 8, ss. 58-60, 1972.
- 8 — ZÎMMERLEY, S.R., MALOUF, E.E. PRATER, J.D. ve SCHELLÎNGER, A.K., — **pH adjusted controlled - iron - content, cyclic leaching processes for copperbearing rock materials.**
U.S. Patent 3.330.650 Tern. 11, 1967
- 9 — COLMER A., ve HINKLE, A., — **The role of microorganism in acid mine drainage.**
Science 106, ss. 253-6, 1947.
- 10 — PARAB, S. V., GHARAT, S. S., — RAMAKRISHNAN P.veMURTHY, T.K.S., — **Bacterial leaching of metals from ores.**
Recent Developments in Metallurgical Science and Technology, Process Metallurgy Indian Institute of Metals, Silver Jubilee Symposium, New Delhi, ss. 303-34 1972.
- 11 — HABASHI, F., — **Principles of Extractive Metallurgy V: 2 Hydro-metallurgy.**
Gordon and Berach Science Publishers New York, s. 234, 1970.

- 12 — **BURT, W.H., — Kennecott Copper Expands Utah Copper Division to meet Challenge of increased Copper Demand.**
J. of Metals 18, 7, ss. 819-823, 1966
- 13 — **SPEDDEN, H.R., MALOUF, E.E., PRATER, J.D., — Cone-type precipitators for improved copper recovery.**
1966.
- 14 — **BACK A.E., — Precipitation of copper from dilute solutions using particulate iron.**
J. of Metals, 19, 5, s. 27-29, 1967.
- 15 — **SUTULOV, A., — Cooper Production in Russia.**
University of Concepcion, Chile ss. 134-141, 1967.
- 16 — **FRANZ, M.W., — Leach-precipitation-flotation process.**
J. of Metals, 11, 6, ss. 382-85, 1959.
- 17 — **DERRY, R., — Pressure hydrometallurgy, a Bibliographical Review**
Mineral Processing Information Note 7 Warren Spring Laboratory, 1972.
- 18 — **HABASHI, F., — Pressure hydrometallurgy: key to better and non polluting process.**
Eng. and Mining Journal, 172, 5, ss. 88-94, 1971.
- 19 — **MASLENITSKY, I. N., — Hidrometalürjide otoklav yöntemleri.**
(Rusça kitap, Ref. 18). Metallurgiya, Moskova, 1969.
- 20 — **HAYER, F.P., ve WONG, M.M., — Recovery of copper, iron and sulfur form chalcopryrite concentrate using a ferric chloride leach.**
J. Of Metals 23, 2, ss. 25-29, 1971.
- 21 — **SUBRAMANIAN K.N., ve JENNINGS, P.M., — Review of the hydrometallurgy of chalcopryrite concentrates.**
Canad. Met. Quarterly 11, 2, ss. 387-400, 1972.
- 22 — **HASKETT, P. R., BAUER, D. J. ve LINDSTROM, R.E., — Copper recovery from chalcopryrite by a roast-leach procedure.**
U.S. Bureau of Mines, Technical Progress Report 67, 1973.
- 23 — **EVANS, D.J.I., ROMANCHUK, S. ve MACHIW, V.N., — Treatment of copper-zinc concentrates by pressure hydrometallurgy.**
Can. Min. Metall. Bull. 57, 628, s. 857-66, 1964.
- 24 — **VIZSOKJI, A. I., VELTMAN, H., WARREN LH. ve MACHIW, W.N., — Copper and elemental sulphur from chalcopryrite by pressure leaching.**
J. of Metals 19, 11, ss. 52-59, 1967.
- 25 — **GERLACH, J., — Verfahren zur Aufarbeitung sulfidischer, arsenidischer oder antimonidischer Materialien.** Alman Patenti 2 138 143 8. Şubat 1973.
- 62 — **STANCZYK, M.H, ve RAMPACEK, C, — Oxidation leaching of copper sulphide in acidic pulps at elevated temperature and pressure.**
US Bureau of Mines, Report of Investig. 6193, 1966.

- 27 — EVANS, D J!, — **Production of metals by gaseous reduction from solution-processes and chemistry.**
Advances in Extractive Metallurgy. The Institution of Mining and Metallurgy London 1968, ss. 831 - 907.
- 28 — CANKUT, S., — B2, ss. 314-328.
- 29 — MERIGOLD, CR., AGERS, D.W., ve HOUSE, J.E., — **LIX 64N, the recovery of copper from ammoniacal leach solutions.**
General Mills Chemicals Inc. Tucson, Arizona, 1965.
- 30 — De MENT E.R. ve MERIGOLD, C. R., — **LIX 64N A progress report on the liquid ion exchange of copper.**
AIME, 99. eu yıllık toplantısında (Denver Colorado) sunulan tebliğ, 1970.
- 31 — Minerals Industries and Research Groups. — **LIX 70 — A major advance in liquid ion exchange technology.**
AIME 100. cü yıllık toplantısında sunulan tebliğ (New York, 1971).
- 32 — AGERS D.W., ve DEMENT, E.R., — **The evaluation of new LIX reagents for the extraction of copper and suggestions for the design of commercial mixer-settler plants.**
AIME, 101. ci yıllık toplantısında sunulan tebliğ (San Francisco, 1972).
- 33 — KRÜGER, J. — **Kupfer - Grewinnung durch Solventextraktion und , anschliessende Elektrolyse.**
Chemi. Ing. Technig 45, 4, ss. 154-7 1973.
- 34 — MONHEMIUS, A.J., — **Trends in copper hydrometallurgy.**
Chemical and Process Eng. 51, 1, ss. 65-68, 1970.
- 35 — POWER, L.K., — **Operation of the first commercial copper liquid ion exchange and electrowinning plant**
B3, ss. 1-26.
- 36 — McCARR, HJ., — **Solvent extraction stars in making ultrapure copper.**
Chemical Eng. 77, 17, ss. 82-84, 1970.
- 37 — İsimsiz — **Large Chingole copper solvent extraction plant seen as major advance.**
Eng. and Mining Journal 174, 7, s. 21, 1973.
- 38 — PALLEY J.P. ve PAIGE P.M., — **Electrometallurgy: can electro-winning replace cement copper.**
Eng. and Min Journal 173, 7, ss. 94-96, 1972.
- 39 — RÜHL, B., — **Praxis und Neuentwicklung der Kupfer-Raffinationselektrolyse.**
Chemie Ing. Tech. 45, 4, ss. 149-53, 1973.
- 40 — DAYTON, S., — **Magma doses the mines to market gap.**
Engineering and Mining Journal, ss. 73-83, 1972. 174, 4.
- 41 — Mc İVER, J.D., — **Trends toward an ideal electrolytic copper plant.**
Bibliyografya B3, ss. 260-274.

- 42 — BALBERYSZKI, T., ve ANDERSEN A.K., — **The economics and optimization of copper electro-winning at high current densities.**
Electrometallurgy, Editör: Don.H. Baker AIME Yayını 1968, ss. 185-207.
- 43 — ANDERSEN A.K., ve BALBERYSZKI, T. — **Electrowinning of copper at high current densities.**
AIME'nin 97. ci yıllık toplantısında sunulan makale, New York 1968.
- 44 — TUDDENHAM W.D., LEWIS D.M., LEBRIZZI, J.M., WOOD, W.A. & BRENZA J., — **Increased current density in electrorefining operations.** Referans 42, ss. 22341.
- 45 — WALLDEN S.J., HENRIKSON, S. T. ARBSTEDT, P.G. ve MÎÖEN Th., — **Electrolytic copper refining at high current densities.**
J. of Metals 11, 8, ss. 528-34, 1959.
- 46 — IMAI, C, — **Application of periodic reverse current for electrolytic refining of copper.**
R. 42, ss. 320-343.
- 47 — PETROV, D., — **Electrolytic copper refining at high current densities in the copper refinery «G. Damianov» Zlatitsa-Pirdop, Bulgaria.** AIME, 100. cü yıllık Kongresine sunulan tebliğ, (New York 1971).
- 48 — ÇAYCI, H., — **Elektrolitik bakır rafinasyonunda periyodik alternatif akün tatbikatı.**
Metalürji, 1, 1, 1972 s. 29-38.
- 49 — VENKATACHALAM, S., ve MALLIKARJUNAU, R., — **Electrolytic recovery of non-ferrous metals from metal sulphides and metal carbides.**
Recent Developmnet in Metallurgical Science and Technology, Process Metallurgy, Silver Jubilee Symposium, Indian Inst, of Metals 1972, ss. 399420.
- 50 — HERBERT, I.C., — **Extractive Metallurgy.**
Mining Annual Review July 20, 1973. p. 227-53.
- 51 — BOLDT, J.R. Jr. ve QUENEAU, P., — **The winning of Nickel.**
Longmans Canada, Toronto, 1967.
- 52 — WILKINSON, J.A.E. ve HAINES, K.P., — **Feasibility study on the electrowinning of copper with fluidisedbed electrodes.**
Trans. Inst. Min. and Metall. 81, 790, 1972, c. 157-162.
- 53 — STEPPHE, H-D., KAMMEL, R., — **Beitrag zur Elektrolyse mit Fließbettelektroden.**
Erzmetall 26, 11, 1973. ss. 533-38.

Dünya Bakır Üretimi ve Tüketimi

Alâettin HAMAMCIOĞLU*

Dünya Bakır Cevheri üretimi 1972 yılında 7.049.000 ton olmuştur. (Tablo : I) Bu üretimin % 56,7'si dört, % 72,9 u ise yedi ülke tarafından karşılanmıştır. En büyük bakır cevheri üreticisi 1. 510. 300 tonla A. B. D. olmuştur. (A. B. D. nin Dünya üretimindeki payı % 21,4 tür.) A. B. D. den sonra en büyük üretici ülkeler S. S. C. B. (1.050.000 ton) ve Kongo (437.300 ton) dur.

1972 yılında blister bakır üretimi 7.289400 ton, rafine bakır üretimi ise 8.055.800 ton olmuştur, (tablo : 2,3)

Blister bakır üretiminin % 55,5'i dört ülke tarafından karşılanmıştır. En büyük üretici ülkeler A. B. D. (1.614.000 ton), S.S.C.B. (1.050.000 ton), Zambiya (687.300 ton) ve Japonya (657.500 ton) dır.

Rafine bakır üretiminin % 50,7'si A. B. D. (2.047.100 ton), S. S. C B. (1.225.000 ton) ve Japonya (810.100 ton) tarafından karşılanmıştır.

Dünya rafine bakır tüketimi ise 1972 yılında 7.886.100 ton olmuştur. (Tablo 4) Avrupa ve Amerika ülkelerinin toplam tüketimlerinin, Dünya toplam tüketimi içindeki payı % 63 olmuştur. Doğu Bloku ülkelerinin toplam tüketimdeki payı % 21,4 tür.

En büyük tüketici ülkeler A. B. D. (2.027.100 ton) S. S. C. B- (1.080.000 ton) ve Japonya (954.100 ton) dır. Bu üç ülkenin Dünya rafine bakır tüketimi içindeki payı % 51,5 olmuştur.

Japonya'nın Dünya cevher üretimindeki payı % 1,6 olmasına rağmen, bilister ve rafine bakır üretimindeki payı % 9,02 ve % 10,06 olmaktadır.

Metindeki ve tablolardaki rakamlar bakır muhtevası olarak verilmiştir.

2000 yılında kümülatif bakır (Metal) talebinin 520 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Hali hazır bakır rezervinin 360 milyon ton olduğu dikkate alınır sa, mevcut rezervlerin ihtiyaca kâfi gelmeyeceği kolaylıkla görülmektedir. Potansiyel rezervlerin ekonomik rezervlere dönüştürüleceği ve mevcut rezervlerin daha da artacağı kabul edilmekle beraber, artan talebi karşılayabilmek maksadiyle.

— 1975 yılından sonra deniz tabanı bakırlı manganez yumrularından bakır istihsaline geçilecek,

— Dissémine bakır yataklarında «Cut off - Grade» % 0.2 ye kadar düşürülecek

• — Pasa olarak atılmış bakır cevheri yığınları «Licing» tekniğiyle yeniden değerlendirilecektir.

Dünya toplam bakır ihtiyacı 1975 yılında 11.0 milyon tona, 1980 yılında ise 13.0 milyon tona ulaşacaktır. 1975 - 1980 yılları arasında arz ve talebin hemen hemen eşit olacağı tahmin edilmektedir.

Hür Dünya bakır kapasitesinde, 1971 yılına nazaran, 1976 yılında 2163 tonluk bir toplam artış beklenmektedir. Bu artışın % 51'ini sırasıyla Kanada (348.000 ton) Zambiya (216.000 ton), Şili (195.000 ton), Yeni Gine (187.000 ton) ve A. B. D- (154.000 ton) karşılayacaktır.

(*) Maden Yüksek Mühendisi, MTA —ANKARA

1976 Dünya bakır üretiminde (Doğu bloku hariç) ilk beş sırayı A. B. D. Kanada, Şili, Zambiya ve Kongo alacaktır. A. B. D. nin 1971 yılı üretiminde 1970 yılına nazaran 169.200 tonluk bir düşüş gözle çarpmaktadır- 1976 yılında toplam 154.000 tonluk üretim artışına rağmen, A. B. D. bakır üretimi 1970 yılı üretiminin (1.560.000 ton) altında kalacaktır

(1.544.800 ton).

İran'ın 1971 yılı üretimi 1000 tondur. Ancak İran üretimini, 1974 yılında 45.000 ton, 1975 yılında 94.000 ton, 1976 yılında da 9 bin ton olmak üzere toplam 148000 ton artıracak, bu suretle üretim artışı bakımından Hür Dünya Ülkeleri içinde A. B. D. den sonra 6. sırayı alacaktır.

Tablo — 1

DÜNYA BAKIR CEVHERİ ÜRETİMİ (1972)

(1000 ton olarak)

AVRUPA	272,1	AMERİKA	3.250,3
Yugoslavya	123,9	A. B. D.	1.510,3
Diğer Avrupa ülkeleri	148,2	Şili	716,8
AFRİKA	1.404,6	Kanada	708,8
Zambiya	717,7	Peru	217,0
Zaire (Kongo)	437,3	Diğer Amerika ülk.	97,4
Güney Afrika Cum	161,9	OKYANUSYA	304,5
Diğer Afrika ülk.	87,7	Avusturalya	180,5
ASYA	401,5	Yeni Gine	124,0
Filipinler	213,7	DOĞU BLOKU ÜLKELER	1.416,0
Japonya	111,9	S. S. C. B.	1.050,0
Diğer Asya ülk.	75,9	Polonya	150,0
		Çin ve diğerleri	216,0

DÜNYA TOPLAM 7049,0

Tablo — 2

DÜNYA BİLİSTER BAKIR ÜRETİMİ (1972)

AVRUPA	699,0	AMERİKA	2.971,7
Batı Almanya	260,9	A. B. D.	1.614,1
Yugoslavya	131,3	Şili	630,6
Diğer Avrupa ülk.	306,8	Kanada	473,7
AFRİKA	1-362,3	Peru	176,2
Zambiya	697,3	Diğer Amerika ülk.	77,1
Zaire (Kongo)	427,0	AVUSTRALYA ÜLK.	149,4
Güney Afrika Cum.	167,8	DOĞU BLOKU ÜLK.	1.416,0
Diğer Afrika ülk.	70,2	S. S. C. B.	1.050,0
ASYA	691,0	Polonya	150,0
Japonya	657,5	Çin ve diğerleri	216,0
Diğer Asya ülk.	33,5		

DÜNYA TOPLAM 7. 289,4

Tablo — 3
DÜNYA RAFİNE BAKIR ÜRETİMİ (1972)

AVRUPA	1.293,2	AMERİKA	3.112,4
Batı Almanya	398,5	A. B. D.	2.047,1
Belçika	314,2	Kanada	495,9
İngiltere	180,7	Şii	461,4
Yugoslavya	130,0	Diğer Amerika ülk.	108,0
Diğer Avrupa ülk.	269,8	AVUSTRALYA	173,8
AFRİKA	942,7	DOĞU BLOKU ÜLKE.	1.685,8
Zambiya	615,2	S. S. C. B.	1.225,0
Kongo	216,2	Polonya	155,0
Diğer Afrika ülk.	111,3	Çin ve diğerleri	305,8
ASYA	847,4		
Japonya	810,1		
Diğer Asya ülk.	37,4	DÜNYA TOPLAM	8.055,8

Tablo — 4
DÜNYA RAFİNE BAKIR TÜKETİMİ
(1972) !jVi
(1000 ton olarak)

AVRUPA	2.485,0	AMERİKA	2.485,6
Batı Almanya	672,2	A. B. D-	2.027,1
İngiltere	524,7	Kanada	223,8
Fransa	390,2	Diğer Amerika Ülk.	234,7
İtalya	283,0		
Belçika	153,0	AVUSTRALYA	102,1
İspanya	121,2		
Diğer Avrupa ülk.	340,7	DOĞU BLOKU ÜLKELERİ	1.685,0
AFRİKA	65,8	S. S» C B.	1.080,0
ASYA	1.062,1	Diğer Doğu Avrupa ülk.	260,0
Japonya	954,1	Çin ve Diğerleri	345,0
Diğer Asya ülk.	108,0	DÜNYA TOPLAM	7.886,1

Dissémine Bakır Cevheri Yataklarının Ekonomik Tenor Limitleri

Tacettin ATAMAN*

1 –ÖNSÖZ :

Dünya bakır piyasası, her geçen yıl daha çok bakır talep etmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinin 1972 yılı bakır istihali 1658 000 tona ulaşmıştır. (1)

Son 50 yıl içinde bilinen bakır cevher yataklarının tenörü yüksek kısımları tüketilmiş ve bakır yüzdesi çok düşük olan cevherlerden bakır elde edilmesi âdeta zarurî bir nitelik kazanmıştır. Toprak ve kaya kazı makinelerinin çok gelişmesi ve cevher kırma-öğütme tekniğinde ulaşılan çok ileri bir düzey ve modern Konsantrasyon (cevher zenginleştirme) usulleri ve bakır Konsantrelerinin izabesinde veya elektrolitik metodlarla bakır istihali sayesinde % 1.0 in altında tenörü olan bakır cevherlerinin işletilmesini ekonomik kılmıştır. Ancak bu ekonomik tenorun alt sınırı bu günkü koşullar altında nedir? İşte bu inceleme ile bu sorunun, kesin olmamakla beraber pratik bir çözümünün bulunmasına çalışılmıştır.

Amerika Birleşik Devletlerinde bakır üreten 30~ kadar madenci kuruluş vardır. Bunlardan yedisinin çalıştıkları yatakların bakır tenörleri bilinmemekte buna karşılık yirmi üçününkü bilinmemektedir. Bakır tenörü % 1 in üstünde olan iki yatak [% 4-4-5 bakır] bu incelemenin dışında bırakılmıştır.

2 – Düşük Tenörlü Balar Cevheri Yataklarından Bakır Üretmesinde Esas Ana Faktörler :

1 – Cevherin mevcut rezervi ve bu rezerveden cevherin alınabilme kolaylığı = dekapaj / cevher oranı (stripping ratio)

2 – Cevherin kolaylıkla öğütülebilmesi

(minerallerin ayrışmasını sağlayabilen boyuta kadar kırma- öğütme).

3 – Bakır cevherinin zenginleştirilme kolaylığı (zenginleştirilmede bakır kaybı)

4 – izabe kolaylığı (izabe kaybı).

Bütün bu faktörler her cevher için

– Cevheri oluşturan minerallerin cinsine ve sayısına,

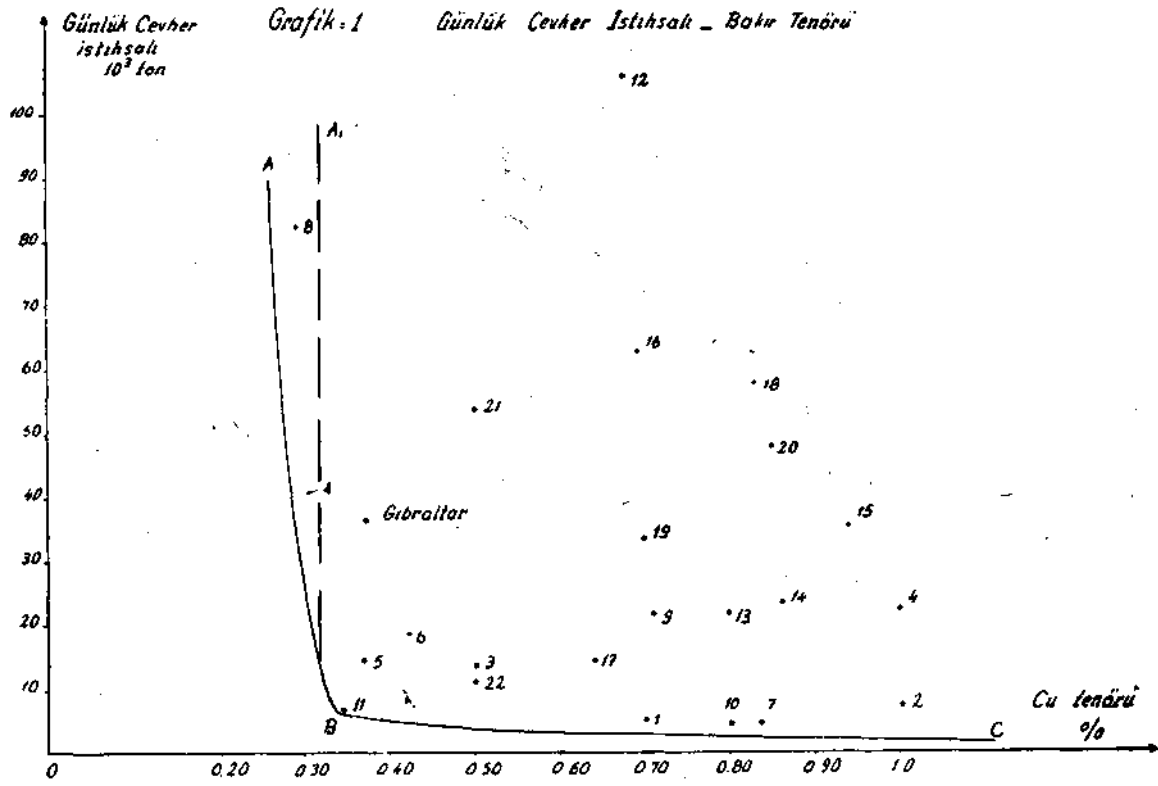
– Cevherdeki gang minerallerinin cinsine ve sayısına,

Bu minerallerin tane büyüklüklerine

– Cevher yatağının bulunduğu derinliğe ve üzerindeki örtü tabakasının özelliklerine göre değişir.

Ayrıca elde edilen bakır konsantrasyonunun olduğu gibi satılması veya izabe veya tasfiye edilerek piyasaya bakır olarak satılması hususları da üreticilerce üzerinde durulması gereken önemli hususlardır.

* Assoc. Prof. Dr. Maden Yüksek Mühendisi, O.D.T.Ü. – ANKARA



3 — Dünyaca tanınmış bakır yataklarının (2), ve bu arada A.B.D. de çalışılan yatakların tenor yönünden ve günlük bakır cevheri üretimi ile toplam bakır kurtarma yüzdesi bakımından bir dökümü yapılmıştır (1).

Bu çizelgenin incelenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar ilginçtir.

Konsantratör kayıpları için (2b)

Rusya'daki Balkaş bakır madeni tesislerinde, atılan kısım (tailing numunelerinin granülometrisi, ağırlık yüzdeleri ve bunların bakır muhtevaları aşağıdaki çizelgede verilmiştir :

Çizelge : 1

Balkaş (Rusya) Bakır Konsantratörü Tailing Kaçakları.

Tane çapı meş.	Ağırlık Yüzdeleri			Bakır muhtevaları		
	1	2	3	1	2	3
+ 48	2,2	—	3,0	—	—	0,32
+ 65	6,8	9,3	8,4	0,28	—	0,28
+ 100	10,3	3,2	3,6	—	0,19	0,26
+ 150	15,7	18,8	19,0	0,1	—	0,15
+ 200	3,2	9,3	7,9	0,05	0,08	0,10
— 200	61,8	59,4	58,1	—	0,10	0,086

Bir de Avrupadan örnek verelim: (2d)

Yugoslavya da MAJDANPEK bakır yatağı :

Günde Cevher istihsali : 36.000 Ton
Bakır tenörü : % 0.50

Günde üretilen cevher ile rezerv arasınca sıkı bir ilişki vardır. İstihsal + konsantrasyon + izabe tesislerinin en az 10 yılda amortize edilebileceği hesaba katılırsa, örneğin Filipinlerin Atlas Consolidated firmasının işlemekte olduğu yatağın, yılda 300 gün açık işletme çalışması (iklim elverişli olmakla) yapıldığı kabul edilirse, cevher rezerv miktarının en az :

"300 x 15000 x 10 = 45 milyon ton istihsal edilebilir cevher olduğu ve

Yugoslavyanın Majdanpek yatağının ise (250 çalışma günü / sene üzerinden) en az :

$250 \times 36.000 \times 10 = 90.000.000$ ton istihsal edilebilir cevher ihtiva ettiği kabul edilebilir.

Şimdi, A.B.D. deki 23 bakır istihsal müessesesine ait yatakların 1972 yılındaki durumunun (Çizelge : 3 te özetlenmiş) inceliydim :

Bu incelemede önce günlük ham cevher istihsali ile cevher tenörü arasındaki bağlantıya gözden geçirelim :

Tenor durumları bilinen 22 yatağın tenor yüzdeleri X eksenine ve günlük istihsal (ham cevher) miktarı da Y eksenine taşınıncaya, bu noktaların çerçevelendiği alan dışında kalan (A.B.C. eğrisi ile X ve Y eksenleri arasında kalan alana isabet edecek herhangi bir noktanın şartlandıracağı bir yatağın ekonomik olarak çalışamayacağı anlaşılmaktadır.

İBu noktalardan en enteresan olanı şüphesiz 8 nolu noktanın gösterdiği SIER-RITA, Arizona yatağıdır. Bu yatağın orta-

lama bakır tenörü % 0.29 ve Mo S2 tenörü ise % 0.048 dir.

Günlük ham cevher istihsali : 83.000 tondur. Yıllık bakır istihsali ise 68.940 tondur. Bu bakır üretimi yanında yan ürün olarak da 8731 ton Mo S2 vardır.

1970 yılı eylül ayında (3) % 85 lik MoS2 konsantresinin bir libresi 1.72 dolar, bakırın bir libresi ise 0.23 dolar olduğuna göre molibden konsantresi bakır

$$\frac{1.72}{0.23} = 7.5 \text{ kez değerlidir.}$$

Buna göre 9731 ton Mo S2 nin eşdeğer bakır miktarı :

$7.5 \times 9731 = 72.982$ ton demektir.

Yani yan ürün esas bakır ürününden (68.940) daha çok gelir sağlamıştır. Bu husustur ki % 0.29 Cu tenörlü bu yatağın ekonomik çahşılabilmesini olanaklı kılmıştır.

A.B.D. deki 30 yataktan 12 sinde, cevher içinde molibdenit mevcuttur ve % 1 in altında tenörleri bulunan bu yatakların ekonomik alana girebilmesi molibden cevheri yan ürünü ile mümkün olmaktadır.

Ayrıca, tüm bakır kurtarma randımanı ile tenor arasında da muhtemel bir bağlantı aranmış ve 8, 5, 6, 3 ve 21 No:lu yataklar hesaba katılmazsa, tüm bakır kurtarma randımanının cevherin bakır tenörü ile birlikte artmakta olduğu görülür. Grafik No : 2. Bu sonuç, yukarıda konsantrasyon ve izabe kayıplarından bahsederken ileri sürdüğümüz teorik hususa da uygun düşmektedir.

8, 5, 6, 3 ve 21 No:lu yataklarda tenörlerin düşük olmasına rağmen tüm bakır kurtarma randımanının yüksek oluşu cevheri teşkil eden minerallerle gang minerallerinin kolaylıkla ayrılabilir nitelikte olmaları nedenine dayanmaktadır.

ÇİZELGE 3: A.B.D. de BAKIR İSTİHSAL EDİLEN YATAKLAR

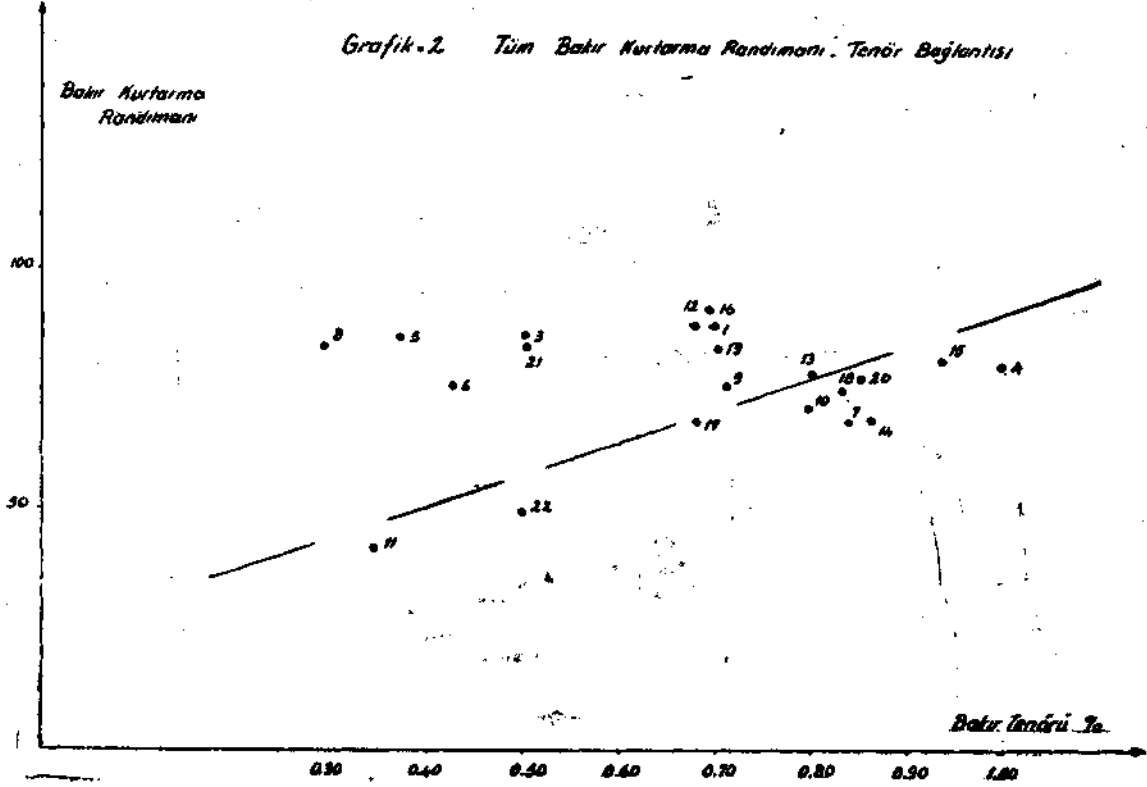
Şirketin adı ve tesisin ** mevki, eyaleti	İstih. başlama yılı	Açık iş veya Yeraltı	Konsantras. şekli	Cevher + dek. yekûnî Ton/gün	Cevher Ton/gün	Tenör Ort. Cu %	M, S, %	Cevher mineralleri	Gang mineraller	Yılda bakır İstih. ton	Bakır Kurtarma rand. %	Yılda M, S, İstih. Ton	Tesisin işe başlayacağı tarih
1. Bagdad Copper Corp. Bagdad Arizona	1937	Açık	Konsantrasyon leaching Solv. Extr. electr. Winning	30.000	5.600	0.70	0.03	Kalkopirit, Kalkosit molibdenit ve oksitler	Kuvarslı mongonit	19.579	88	384	1975 de
2. Cities Service Co. Copperhill, Tennessee	1899	Yeraltı	Konsantr. + izabe	6.900	6.900	1.00	—	Pirit, Pirrotit Kalkopirit Sflerit	—	21.000	Bilgi yok	—	1973 de
3. Miami Ariz Copper Cities, Ariz.	1911 1955	Açık	Leaching Consatrosiyon heap leaching	28.000	14.000	0.50	0.007	Kalkopirit	Kuvarslı Mongonit.	22.300	87	180	—
4. Copper Range Co. White Pine Missori	1955	Yeraltı	Konsantrasyon ve izabe	22.800	22.800	1.00	—	Cu, Ag. Kalkosit	Şistler ve greler.	72.000	80.65	—	—
5. Duval Corp. Esperanza, Ariz.	1959	Açık	Konsantrasyon heap leaching	37.000	15.000	0.37	0.053	Kalkosit, Kalkopirit, Oksit ve Karbonatlar	Püskürük ve Metamorf. Kayaçlar.	20.285	87.0	2.044	—
6. Mineral Park.	1964	Açık	Konsantrasyon heap leaching.	38.000	19.000	0.42	0.062	Kalkosit, Kalkopirit, Oksit ve Karbonatlar	Püskürük ve metamorf. Kayaçlar.	26.559	76.3	2.919	—
7. Battle mountain, Nevada.	1967	Açık	Konsantrasyon heap leaching.	33.000	4.535	0.84	—	Kalkosit, Kalkopirit, Oksit ve Karbonatlar	Püskürük, tortusal, metamorf.	16.322	69.4	—	—
8. Sierrita, Ariz.	1970	Açık	Konsantrasyon	220.000	83.000	0.29	0.048	Kalkopirit ve bomit	Püskürük, Kayaçlar	68.940	84.5	9.731	—
9. Inspiration Consolidated Copper Co. Inspiration, Ariz.	1915	Açık	Konsantr. + heap leach. + Vat leach. + izabe + elektirik tasfiye	39.157	21.290	0.709	0.0121	Kalkosit, Krisokala, malahit, azürit	Mika şist, Granit	53.987	76.41	370	1973
10. Christmas, Ariz.	1962	Açık	Konsantrasyon	30.357	5.111	0.798	—	Kalkopirit, bornit, Kalkosit, Kovellit oksit ve Karbonatlar	Metam, Kalker Kuvartsit, diyorit, andezit	11.244	71.97	—	—
11. Ox. Hide, Ariz.	1968	Açık	Heap leaching	9.671	6.705	0.344	—	Oksitler Karbonatlar	Mikosit, Kuvartsit, Monzonit, Porir	4.848	41.7	—	—
12. Kennecott Copper Corp. Bingham, Utah.	1904	Açık	Konsantr. + heap leach. + izabe + elektr. tasfiye	376.543	106.560	0.677	0.0483	Kalkopirit, bornit, molibdenit	Granit, Porfir, Kalker, Kuvarts.	258.037	89.07	11.254	—
13. Ruth, Nevada,	1908	Açık	Konsantr. + heap leach. + izabe	118.250	21.500	0.80	0.012	Kalkopirit, Kalkosit.	Kuvarslı monzonit ve Kalker	45.000	78	110	—
14. Chino, NM.	1909	Açık	Konsantr. + heap leach. + izabe	87.196	22.970	0.865	0.013	Kalkopirit, Kalkosit.	Kalker, Şist. Granodiyorit Kuvars diyorit-	75.700	79,3	423	—
15. Ray, Nevada	1911	Açık	Konsantr. + heap leach. + Vat leach. + izabe + elektroliz.	115.000	35.400	0.94	0.0256	Kalkosit, Kalkopirit, Molibdenit, Krizokola	Diyabaz, Kalkosit, Kuvarsman zonit, Kuvartsit.	103.473	82.0	559	—
16. Magma Copper Co. Superior, Ariz.	1912	Yeraltı	Konsantrasyon	3.500	1.600	4.5	—	Kalkopirit, bomit	Kalker, Primer hematit. Arit.	24.000	96.5	—	1973
17. San Manuel, Ariz.	1956	Yeraltı	Konsantrasyon izabe + elektr. tasfiye	62.500	62.500	0.69	0.025	Kalkopirit, Kalkosit, Pirit, Molibdenit.	Kuvars monzonit, Porfir	144.000	92.7	4.200	—
18. Phelp's Dodge Corp. Copper Queen AZUG ve AZOP.	1878 1954	Yeraltı	Konsantr. + heap leaching.	— 21.700	2.648 14.700	4.4 0.64	—	Kalkosit, Kalkopirit, Bomit	Kuvars Porfir ve Kalker	26.900 21.600	94.8 69.3	—	—
19. Morenci, Ariz.	1942	Açık	Konsantrasyon heap leach	171.000	58.600	0.83	—	Kalkosit, Kalkopirit, Kovellit	Monzonit Porfir, Granit, Kalker, diyabaz.	120.000	75.2	—	—
20. New Cornelia, Ariz.	1917	Açık	Konsantrasyon + izabe	97.000	33.500	0.70	—	Kalkopirit, bornit Kalkosit	Kuvars monzonit, Riyolit	57.900	84.6	—	—
21. Tyrone NM.	1969	Açık	Konsantrasyon + heap leaching	189.000	48.000	0.85	—	Kalkosit	Kuvars monzonit	100.000	77.5	—	1972
22. Pima Mining Co. Pima, Ariz.	1957	Açık	Konsantrasyon	140.000	53.500	0.50	0.017	Kalkopirit, Molibdenit	Metamorfik tortusal Kayaç	82.500	85	1.500	—
23. Ranchers Exploration Bluebird, Ariz.	1964	Açık	Heap leach. + Solv. extr. elektr. tasfiye	25.000	12.000	0.5	—	Krizokola	Mikaşist, Granit.	7.500	50	—	—

Yukarıda Kullanılan :

Heap Leaching : Cevher yığına üzerine çözücü sıvının dökülmesi
Vat Peaching : Kaplardaki cevherden çözücü sıvının geçirilmesi.

Solvent extraction : Çözme yolu ile bakırın, çözeltisinden çıkarılması anlamına gelmektedir.

** Bu listeye, tenörleri bilinmediği için yedi şirket . tesis alınmamıştır.
A.B.D. de Bakır istihsal eden şirketler (1972 yılı)



3 No:lu çizelgenin incelenmesinden elde edilen diğer sonuçlar da şöyle özetlenebilir :

1 — Tenörünü yüksek olan cevher yatakları :

Cu tenörünü

Magma copper Co. Superior, Ariz % 4.5
Phelps Dodge Corp. Copper
Queen AZ

Yeraltı işletmesi olarak çalışılmakta ve günlük ham cevher istihalleri sırasıyla 1600 ton ve 2648 ton gibi az miktarlarda yapılmaktadır.

2 — Tenörünü % 1 ve daha düşük olan cevher yataklarında günlük istihsal (ham cevher) çok yüksek olmakta ve yataklar açık işletme ile çalışılmaktadır.

3 — Yan ürün istihsalı olmayan yataklarda % 1.0 den küçük tenörlü olanların ekonomik çalışılabilmesi için günlük üretim çok büyük miktarlara ulaşmaktadır. Bunun için de bu gibi yatakların çok büyük rezervleri olması gerekmektedir.

4 — 1 No :lu grafikten de istidlal

edildiğine göre : yan ürünü olmayan yatakların tenörünü, 11 No:lu ox Hide, Ariz, yatağı hariç, % 0.50 nin altına düşmektedir.

5 — A.B.D. de ki makine, teçhizat ve Know how olarak ile Türkiye'deki imkânlar kıyaslanırsa Türkiye de % 0.50 altında tenörünü olan ve rezerv durumu müsait olmayan yatakların olamayacağı ve tenörünü % 0.50 altında olan ve rezervleri 10 milyonlarla ifade edilen yatakların ise marginal durumda olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sonucu aşağıda verilen örnekte takviye etmektedir :

KANADA'da Gibraltar Mines-Limit'de ait bakır cevheri yatağında :

Tenör	Rezerv Ton	Cut-Off Limit
% 0,373 Cu	358.000.000	% 0.25

Günlük ham cevher üretimi : 36.000 ton. (2d)

Bu örnekte verilen sayısal değerler bu incelememizin vardığı sonuçları ve 1 No:lu grafik^ eğrisinin dik kısmını doğrulamaktadır.

KAYNAKLAR

- 1 r- JOHN V. Beall. Temmuz 1972 (2d)
«Copper in the U.S. - a Position
Survey» nüshalannda çeşitli ülkelerde bakır
yatakları hakkında yazılan mekale-
ler.
«Mining Engineering» April 1973
2 — «World Mining» Nisan 1966 (2a) 3 — Metal ve Maden Haberleri, 3 Eylül
1970 nüshası.
Ekim 1966 (2b) Maden Mühendisleri Odası
Kasım 1966 (2c)

Bakır ve İlgili Ürünlerin Fiyat Durumu⁰⁾

Yavuz AYTEKİN *

Fiyatlar aynı zamanda buraya kadar zikredilen hususlar ve ilgili ek ve tablolar dikkate alınarak tesbit edilmiştir. Ba-

kır, kurşun ve çinko dünya tüketimi yıllık büyüme oranları % cinsinden şöyledir :

	1965 -1967 ortalaması	1968-1969 ortalaması	1970	5 -10 yıl sonrası tahminleri
Bakır	1,0	8,8	2,5	4,25
Kurşun	2,5	6,9	1,8	3,50
Çinko	2,7	7,8	1,8	4,25

Blister bakır fiyatı :

Tablo 1., Şekil 1 de 1850-1970 yılları arasındaki Londra borsası blister bakır fiyatları gösterilmiştir. 1850 -1950 arası fiyat artışlarında nisbî bir istikrar mevcuttur.

1950 -1971 arası geri sıçramalar arızî kalmış fakat fiyatlar genel seviyesi 100 yıl-

lık ortalamasının 6,5 misli yükselme göstermiştir.

Dünya saf bakır üretimi 1970 yılında % 3,7 oranında bir artış göstermiş, buna mukabil tüketimde kaydedilen artış sadece % 1,2 den ibaret olmuştur. Bu miktarlar aşağıdaki tabloda 1000 ton olarak görülmektedir :

	1969		1970	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
Avrupa	1229	2 328	1288	2 358
Asya	659	876	731	872
Afrika	857	47	849	49
Amerika	2 996	2 347	3104	2 335
Avustralya	138	100	142	108
Batı Bloku	5 879	5 698	6114	5 722
Doğu Bloku	1300	1370	1 330	1430
Dünya Toplam	7179	7 068	7444	7152

Maksimum fiyat 1969 ortalaması olan

$$610,9 \text{ £/lg t} = 610,9 \times 35,94 \times 1,016$$

21610 TL/t dur.

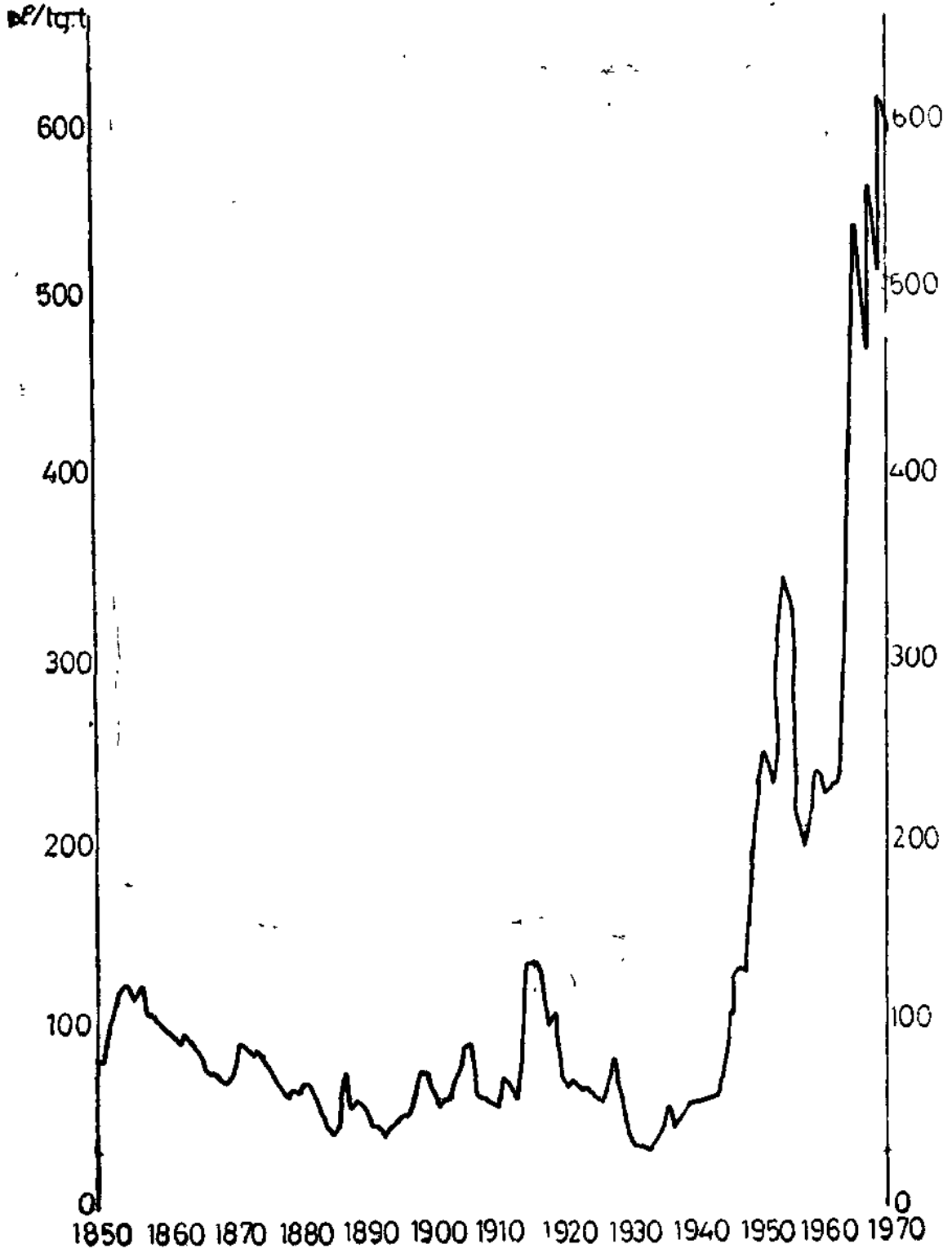
1971 yılı ortalama fiyatı Londra borsasında 15910 TL/t ve New York borsasında 16 980 TL/t a düşmüştür. 1970 yılı

* Dr. Ing. Ege Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü İZMİR.

ti) Bu makaledeki rakamlar 1971 yılı değerleridir.

LONDRA ELEKTROLİTİK BAKIR FİYATLARININ YILLIK ORTALAMALARI

[£/lg t (1016047 kg)]



Şekil 2.

İnada Londra Borsasında en yüksek fiyat Mart 1970 de 26,477 TL/t, en düşük fiyat Aralık 1970 de 14920 TL/t olmuştur.

Bu kısa izahat ve Bölüm 1 de zikredilen hususlar dikkate alınacak olursa, gelecek 10 -15 yıl için blister bakır 20.000 TL/t üzerinde bir fiyatla rahatlıkla müşteri bulacaktır.

Kurşun ve Çinko Fiyatları :

Kurşun ve çinko fiyatları birbirine yakın değerler ve gelişmeler göstermiştir. Kurşun fiyatı çinko fiyatını biraz alt seviyede fakat neredeyse paralel olarak takip etmektedir. 1944 yılından itibaren Kurşun ve Çinko Hatlarında ani yükselmeler başlamıştır. 1944 yılında 870 TL/t olan Pb ve Zn fiyatları, 1951 de azamî seviyesine aniden yükselerek 5660 TL/t değerine ulaşmıştır. Ancak 1953 yılından beri 4000 TL/t altında kalmıştır. 1971 yılı ortalama Pb fiyatı 3700 TL/t, Zn fiyatı 3670 TL/t dur. Normal fiyat artışları nazara alınırsa önümüzdeki yıllarda Pb ve Zn fiyatları 4000 TL/t mn altında olacaktır. Nitekim çinko fiyatında bu fiyatın altına düşülmemesi için Avrupa çinko üreticileri 1971 yılında üretimlerini % 15 kıstımlardır. Bu ise dünya üretiminin % 7 sine tekabül etmektedir. Japonya öngörülen artışı % 10 oranında başka sebeplerden azaltmış ve fiyatları sabit kalmasını olumlu karşılamıştır. 1970 yılı kurşun üretimi 1969 yılına nazaran % 3.7 oranında bir artış hızı gösterirken tüketiminde artış çok cüzi olduğundan, üreticiler arzı kıstmaya karar vermişlerdir! Tüketimdeki çok cüzi artış doğu Avrupa ülkelerine satıştan ileri gelmektedir. Saf kurşunun benzin oktanını yükseltmede ileride artık kullanılmaması mevzu bahis olursa tüketimde düşüş de olacaktır. Kurşun üretim ve tüketiminin 1969 ve 1970 yılları karşılaştırması şöyledir :

TABLO (1) — Yıllara göre bakır, kurşun, çinko ydhh ortalama Londra fiyatları (£/lgt)

Yıllar	Bakır	Kurşun	Çinko
1850	83,1	17,9	12,6
1855	124,6	23,2	20,0
1860	104,4	22,2	17,9
1865	92,0	20,2	19,1
1870	71,3	18,9	18,9
1875	86,0	22,0	24,3
1880	67,0	16,9	18,9
1885	46,0	11,6	14,7
1890	59,2	13,7	24,4
1895	45,8	10,2	14,7
1900	76,0	16,8	22,2
1905	74,0	15,8	25,2
1910	59,2	13,7	23,2
1915	87,0	23,2	67,3
1920	109,8	36,8	44,3
1925	65,2	36,8	36,8
1930	62,2	20,0	20,0
1935	36,0	14,7	14,7
1940	60,7	25,2	26,3
1945	60,8	30,5	30,5
1950	163,1	107,5	111,7
1955	350,6	100,8	100,5
1960	242,3	72,6	89,2
1961	226,1	65,1	75,1
1962	230,4	57,2	67,2
1963	230,7	62,3	80,3
1964	346,4	90,4	100,4
1965	461,7	74,7	122,6
1966	546,3	93,1	103,1
1967	469,5	85,2	101,2
1968	517,2	100,3	109,3
1969	610,9	118,4	119,4
1970	587,5	110,0	110,0
1971	442,0	106,3	105,5

	1969		1970	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
Avrupa	1212	1369	1241	1403
Asya	204	278	223	307
Afrika	137	36	149	36
Amerika	1 198	1097	1273	1035
Avustralya	217	75	207	66
Batı Bloku	2 968	2 885	3 093	2 847
Doğu Bloku	929	938	950	976
Dünya Toplamı	3 897	3 793	4043	3823

1970 yılında dünya çinko üretimi % 1,2 ve tüketim % 0,5 oranlarında gerilemiştir. Kurşun üreticileri gibi aynı sebeple çinko üreticileride, arzı kısma

kararına varmışlardır. Çinko üretiminin 1969 ve 1970 yılları karşılaştırmalı durumu aşağıdaki tablodan görülmektedir.

	1969		1970	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
Avrupa	1357	1556	1407	1537
Asya	738	782	710	853
Afrika	123	49	146	61
Amerika	1642	1486	1504	1345
Avustralya	243	107	260	115
Batı Bloku	4103	3 980	4 027	3 911
Doğu Bloku	1 088	, 977	1 100	1 020
Dünya Toplamı	5191	4 957	5127	4 931

Bu bakımdan değer hesaplamalarında kurşun için 3700 TL/t ve çinko için 3670 TL/t fiyatlar gelecek 10-15 yıl için ortalama rakamlar olarak düşünülmüştür.

Nikel Fiyatları :

1970 yılında genellikle bütün metallerin fiyatlarında bir düşüş olmuştur. En çok düşüş kaydeden metallerden birisi nikelidir. Bakır fiyatında % 37,1 kurşunda % 19, çirikoda % 7, kalayda % 10, gümüşte % 10, alüminyumda % 25 olan bu düşüş nikelde % 72 oranındadır.

Nitekim 1970 yılı metal fiyatları bakımından kötü bir yıl olmuştur. 1971 yılında da Ni fiyatları düşüktür. Bunun için Ni değer hesaplamalarında 1971 yılı orta-

lama fiyatı olan 45 000 TL/t esas olarak alınırsa ihtiyatlı hareket edilmiş olur.

Altın ve Gümüş Fiyatları :

Külçe Au Hatları yıllık ortalamaları 1968 de 17,08 TL/gr 1969 da 19,15 TL/gr 1970 de 17,35 TL/gr, 1971 de 19,92 TL/gr dır. Altın ve gümüş Hatlarının şimdiye kadar olduğu gibi ileriki yıllarda da artacağı muhakkaktır. 1971 yılı ortalama fiyatları olan, altın için 19,9 TL/gr, gümüş için 0,652 TL/gr hesaplamalarda esas olarak alınmıştır.

Sülfirik asit Batı:

% 86,5 lik H²SO₄, 64 Borneo'lik sülfirik aside tekabül etmektedir. Sülfirik asit fiyatları son yıllarda ortalama 18-19

dolar/t civarında olduğundan 170 TL/t esas olarak almıştır. Asit ticaretinde «Perry cetveli» esasına göre kati tonaj hesap edilerek garanti edilen asitin, altında veya üstünde çıkması halinde pirim veya ceza ödenilmektedir. Teknik asit % 92,5 ve ekstra asit % 98,5 lik asittir.

Pirit Fiatı :

Bakır üretiminin yanı sıra Türkiye'deki cevherlerden aynı zamanda pirit üretimi mevzubahistir. Pirit minerali % 47-48 S lü olarak konsantre halinde satılmaktadır. Murgul piritinin Hopa'da Etibank'a maliyeti 55. — TL/t civarındadır.

Halen pirit Londra borsası fiyatı 145 TL/t civarındadır. Hesaplamalar için 140 TL/t olarak alınmıştır.

Bakır parça cevher fiyatı

Parça cevherlerin alış fiyatları CİF olarak tenörüne göre hesaplanmaktadır.

Etibank için bu hesaplama şekli şöyledir: Cevherin ortalama tenörü % x ise; % 2-5 Cu tenörleri için alış fiyatı TL/ton tenor ünite $y = 6x + 30$ denklemine göre tesbit edilir. Tenor % 2,2 ise CİF kıymet; $y = 6 \cdot 2,2 + 30 = 43,2$
43,2 TL/ton - ünite x 2,2 = 95,04 TL/ton olarak bulunur.

Netice olarak :

Blister bakır (% 98 Cu)	20 000 TL/t
Metal Kurşun	3 700 TL/t
Metal Çinko	3 670 TL/t
Metal Nikel	45 000 TL/t
Külçe Altın	19 900 TL/kg
Metal Gümüş	652 TL/kg
Sülfirik asid	170 TL/t
Pirit (% 48 S lü)	140 TL/t
Parça cevher (% 2,5 Cu)	95 TL/t

Dünyada Bakır ve Geleceği

Yavuz AYTEKİN*

1.41. Dünyada Bakır ve Geleceği :

Dünya bakır ticaretinde gittikçe artan bir dinamizm söz konusudur. Bu sebepten bu mevzuda kısa vadede ilerisi için olumlu tahminlerde bulunmak çok

zordur. Bakır, kurşun ve çinko metal fiyatlarının son yıllardaki gösterdiği değişiklikler şöyledir :

(LME fiatlarına göre ve TL/kg hesabıyla)

	1938	1945	1950	1955	1960	1965	1968	68/38
Cu	1,6	2,2	6,4	12,7	8,9	16,9	18,9	11,81
Pb	0,6	1,0	3,8	3,8	2,6	4,1	3,7	6,17
Zn	0,5	1,0	4,3	3,3	3,2	4,1	4,0	8,00

Bunları diğer iki mühim maden Al ve petrolle kıyaslayacak olursak :

Al	3,5	3,2	4,1	6,0	6,7	7,1	8,4	2,40
Petrol	19,5	30,5	64,8	77,5	79,4	111,6	219,5	11,24 (TL/t)

Görüldüğü üzere en çok fiyat artışı kaydeden maden bakır olmuştur. Bakır petrol ve çinko takip etmektedir. Alüminyumda fiyat artışının çok olmamasının sebebi alüminyum üretimindeki süratli artış olmuştur. Bu demektir ki, üre-

timi devamlı artmasına rağmen fiyatı diğer metal madenleri yanında anormal artış gösteren bakır, dünya ihtiyacından daha az bir üretim artışı gösterebilmiştir.

Bu metallerin dünya yıllık üretim artışları milyon ton olarak şöyle olmuştur.

	1935	1945	1955	1960	1965	1967	1968	Üretim değeri 1967
								(Milyar \$)
Cu	1,6	2,4	3,2	4,3	5,1	4,9	5,5	5,0
Pb	1,5	1,5	2,4	2,7	3,2	3,4	3,5	0,6
Zn	1,3	1,7	2,7	3,2	4,1	4,3	4,7	1,0
Al	0,4	1,3	3,1	4,5	6,6	7,9	8,5	4,4

Yukarıdaki tablodan anlaşılacağı üzere halen, demirden sonra en büyük mevcudiyet gösteren metal bakırdır.

Çok iyi iletken olması sebebiyle bakır tüketiminin yarısından çoğu elektrik endüstrisinde olmaktadır. Elektrik ilet-

* Dr. Ing, Ege Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü — İZMİR

genliği özelliğinden ayrı olarak bakır paslanmaya ve mekanik kuvvetlere karşı dayanıklıdır, ergime noktası düşüktür. Paslanmama özelliği bakırın, metal borular, çatı malzemesi ve su tesisatında kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Dayanıklı olma özelliği büyük çapta hurda kullanılmasını sağlamaktadır. Ergime noktasının düşük olması birçok sahada kullanılan alaşımların yapımına imkân vermektedir.

Dünyada üretilen bakırın % 85 kadarı elektrik cihazları imâli, ışık ve elektrik endüstrisi, inşaat, endüstriyel cihazlar ve motor imalinde, haberleşme ve askerlik alanlarında kullanılmaktadır. 3u

maksatla rafine bakır tel, çubuk, kütük, kalıp ve levha, katot, külçe ve çubuk külçe haline getirilir. Rafine bakırın en büyük tüketicileri (% 60 oranla) tel fabrikaları, ikinci büyük tüketicileri pirinç fabrikalarıdır.

Dünya blister bakır üretimi ile rafine bakır üretimi arasındaki fark gittikçe artmaktadır. 1951 -1955 arasındaki dönemde ortalama yıllık 600 bin ton olan bu fark, 1966 -1970 yılları arasındaki beş yıllık dönemde ortalama 1150 bin tona yükselmiştir. Her geçen yıl bakır hurdadan üretilen miktar artmakta olduğundan bu iki eğri arası gittikçe açılmaktadır. (Tablo 1, Şekil 1)

TABLO (1) — Dünya Blister ve Rafine Bakır Üretimi (Bin ton)

Yıllar	Blister Bakır Üretimi	Blister bakır üretim artışı	Rafine bakır üretimi
1952	2766		3240
1953	2800	34 (1.23 %)	3405
1954	2850	50 (1.79 %)	3505
1955	3112	262 (9.19 %)	3831
1956	3470	358 (9.85 %)	4081
1957^	3556	86 (2.48 %)	4140
1958	3450	106 (2.98 %)	4092
1959	3692	242 (7.01 %)	4307
1960	4240	548 (14.84 %)	4998
1961	4391	151 (3.56 %)	5144
1962	4542	151 (3.44 %)	5250
1963	4612	70 (1.54 %)	5394
1964	4830	218 (4.73 %)	5830
1965	5065	235 (4.87 %)	6197
1966	5300	235 (4.64 %)	6363
1967	5400	100 (1.89 %)	6450
1968	5476	76 (1.41 %)	6657
1969	5937	461 (8.42 %)	7184
1970	6268	331 (5.58 %)	7479
	81757		97547

NOT: —1952-1970 arası 18 yıllık blister üretim artışı 3,502 bint, yıllık ortalama $3502/18 = 194,5$ bint, 18 yıllık ortalama artış oranı % 7,03 (= $194,5 : 2766$)

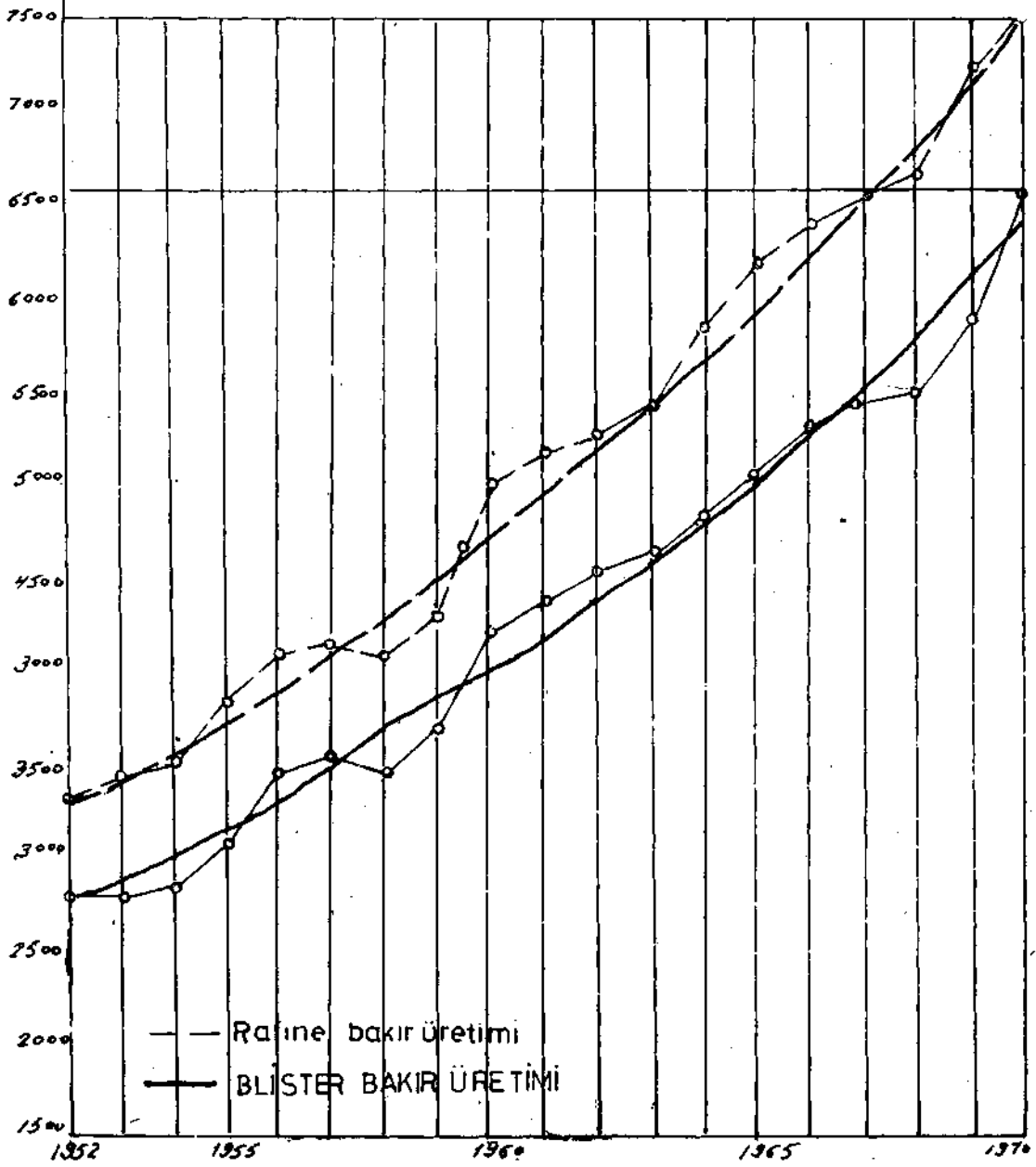
— 1959-1970 arası 11 yıllık blister üretim artışı 2577 bint, yıllık ortalama $2572/11 = 233,8$ bint, 11 yıllık ortalama artış oranı % 6,31 (= $233,8 : 3692$)

—1952-1970 arası artış oranı aritmetik ortalaması = $83.49/18 = 4.64$)

DÜNYA BLİSTER VE RAFİNE BAKIR

ÜRETİMİ

(1000 ton)



Uluslararası bakır ticaretinde; London Metal Exchange tarafından yayınlanan kotalar, Engineering and Mining Journal tarafından yayınlanan ihraç kotaları ve Minier du Haut Katanga (genellikle Belçika fiatları için) verilen kotalar olmak üzere üç fiat sistemi kullanılmaktadır.

Dünya ölçüsünde maden faaliyetlerinin gelişimleri incelendiğinde başta Kanada ve Avustralya olmak üzere bazı bölgelerin maden havzaları haline geldiği anlaşılmaktadır. Avustralya henüz bakır, kurşun, çinko ihraç etmemekle beraber, 1977 yılında 175 milyon dolarlık kurşun ve 86 milyon dolarlık çinko ihraç etmeyi planlamıştır. Kanada 1969 yılında 574 milyon dolarlık bakır, 364 milyon dolarlık çinko, 95 milyon dolarlık kurşun üretmiştir.

Dünyada bilinen bakır rezervleri toplam 200-300 milyon ton metalik bakır ihtiva etmektedirler. Dünya bakır üretim ve tüketiminde mühim bazı dengesizlikler göze çarpmaktadır. Dünya bakır üretiminin yaklaşık % 60'ı kalkınmış ülkelere aittir. Halbuki dünya rezervinin % 40'ı kalkınmış ülkelerde bulunmaktadır. Bunun manası, bugünkü tempo ile kalkınmış ülkelerin rezervleri 20 - 30 yıl içinde tükenecektir. Geri kalmış ülkelerde ise bilinen rezervler 80 -100 yıl daha devam edecektir. Bakır üretimindeki yıllık % 4-5 lik artış bu zaman sürelerini iki misli ve daha fazla azaltacaktır.

Diğer taraftan kalkınmış ülkeler kendi üretimlerinin yanısıra gelişmekte olan ülke üretimlerinin de % 80-85 ini tüketmektedirler. Türkiye de bu aradadır. Kalkınmış ülkelerin, nüfusları bir milyar civarında olan halkları bakırın % 90'ını, 2.5 milyarlık kalan nüfus ise arta kalan % 10'unu kullanmaktadırlar. Diğer bir ifadeyle kalkınmış dünyada insan basma düşen bakır 5 kg, geri kalmış ülkelerde yaklaşık 180 gr.dır. Son 25 yıldır ortalama bakır tüketimi % 9,5 artmıştır (Bak tablo 1).

Az gelişmiş ülkelerde bu artış % 4,8 dir. Gelecek lö yıl içinde gelişmiş ülkeler az gelişmiş ülkelere nisbetle yaklaşık on misli bakır tüketeceklerdir. Üstelik hurdadan üretilen bakırın kullanılması bu açığı daha da büyütecektir.

Bakır üretim ve dağılımı bölgesel degesizlikler de göstermektedir (Tablo 2). (Şekil 2). Asya (Rusya hariç) dünya nüfusunun % 56 sına, buna karşılık dünya bakır rezervlerinin % 10 una sahiptir. Latin Amerika bakır cevherlerinin % 30 una ve dünya nüfusunun % 7,8 ine sahiptir. Japonya, endüstri kalkınmasında yerini koruyabilmek için ürettiği bakır toplamının 5 mislini ithal etmektedir. Rusya da bakır üretimi ikinci cihan harbinden bu yana 5 misli artarak 1 milyon tonu geçmiştir. Fakat yılda 200-300 bin ton bakır açığı mevcuttur. Rusyanın nüfusu A.B.D.den % 20 fazladır. Buna karşılık bakır tüketimi 900 bin ton civarındadır. A.B.D. de ise bu miktar 1,6 mio.t.dur. Rusya Udokan, Nikolayevsk, Şayak ve diğer projeleri gerçekleştirirse 1975 yılında 1,4 milyon t., 1980 yılında 2 milyon t civarında bakır üretmeyi hedef almıştır.

1970 yılında A.B.D. ekonomisi 150 milyar dolar olarak tahmin edilmiştir. Japonya ekonomisi 2000 yılında kötümser bir görüşle 1000, iyimser bir görüşle 3000 milyar dolara ulaşacaktır. Japonya önümüzdeki yıllarda 4 milyar ton bakır konsantresi almak için hazırlanmaktadır .1975 yılına kadar A.B.D., Kanada ve Avustralya'daki bölgelerde % 33 daha fazla bakır üretimine geçilmesi plânlanmıştır. 1960 yılı 100 alınır 2000 yılındaki talep endeksinin 265 olacağı hesaplanmıştır.

Bu değişiklikler sonunda; özellikle büyük yatırımlar için ana para bulmadaki güçlükler, dünyada enflasyonun artması, bakır cevherlerinin tenorunun azalması, üretim maliyetlerinde artmaya ve bu nedenle bakır fiatlarının artmasına sebep olacaktır.

TABLO (2) — Kıta veya Bloklara Göre Dünya Bakır Üretim ve Tüketim Durumu (1969)

Kıtalar veya Bloklar	Topl. Dünya Tuvönen Cu Üretimindeki Payları (°/b)	Topl. Dünya Blister Cu Üretimindeki Payları (%)	Topl. Dünya Rafine Bakır Üretimindeki Payları (%)	Topl. Dünya Rafine Cu Tüketimindeki Payları (%)
Kuz. Ame.	32.38	28.70	34,18	30.67
Lâtin Ame.	16.58	15.54	7.81	2.56
Afrika	21.52	21.36	11.88	0.65
Asya	5.60	7.35	9.25	12.48
Avrupa	3.43	5.70	17.25	33.31
Avust.+ Okyan	2.17	1.68	1.92	1.43
Sovyet Bloku	18.32	19.67	17.71	18.90
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00

1.42. Avrupa Balar Talebi :

Avrupa, tuvönenan bakır üretiminde % 3-4 ile son sırada, tüketiminde ise % 33 ile en ön sırada gelmektedir (Bak. Tablo 2 ve Şekil 2).

Türkiyenin şimdiye kadarki bakır ticaretini, coğrafi konumunu, ekonomik politikasını, politik ve ekonomik bağıntılarını ve bilhassa Avrupa Ekonomik topluluğuna üye olacağını dikkate alırsak, ürettiğinden çok bakır tüketen Avrupa'nın durumunu incelemenin önemi ortaya çıkar.

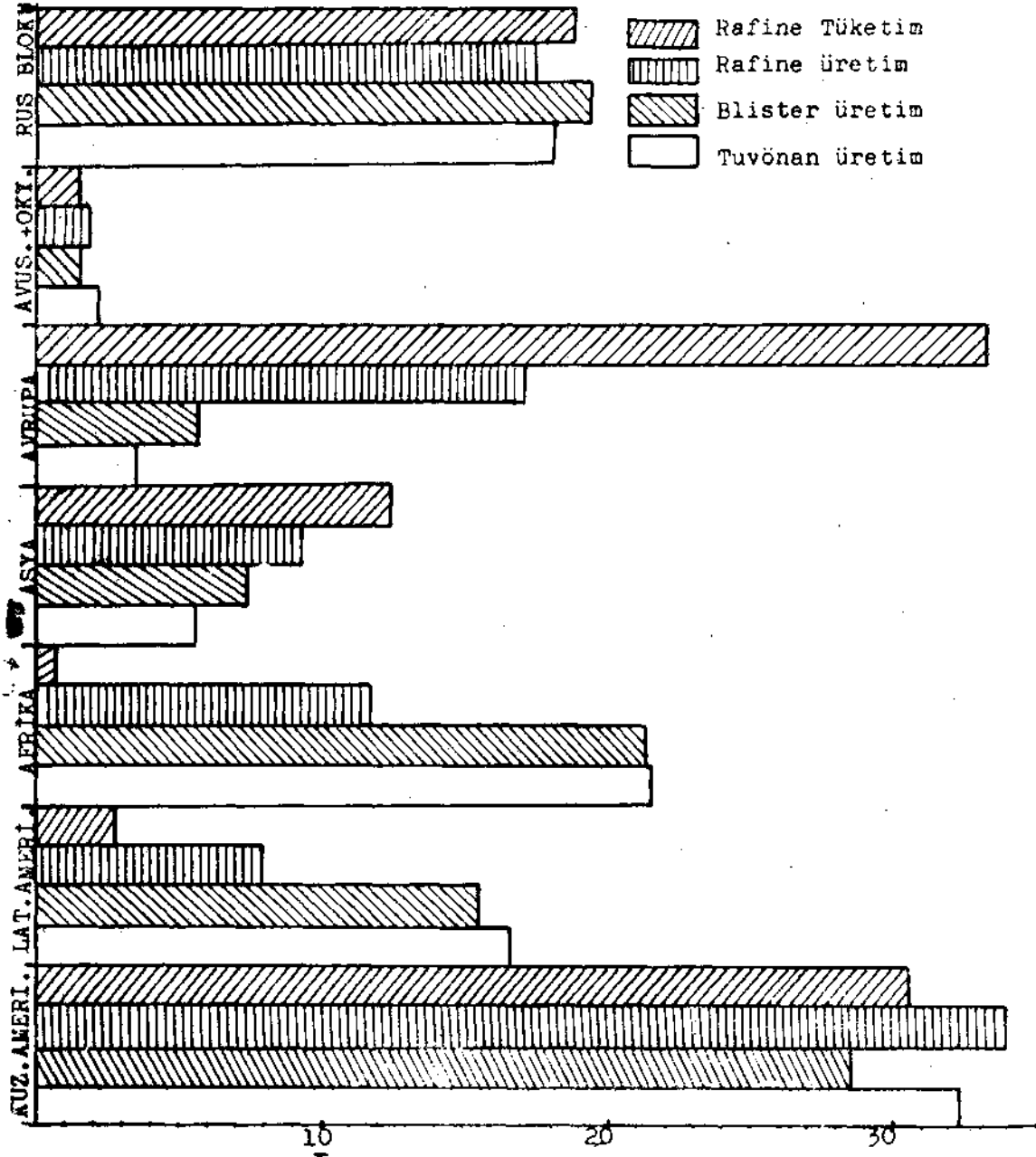
Avrupa'nın bakır tüketiminin % 80 kadarını Batı Almanya, İngiltere(Fransa ve İtalya yapmaktadır.

Endüstriyel bir ham madde oluşu sebebiyle bakır, endüstriyel üretimle yakından ilgilidir. Bakıra rakip olan yegane madde aliminyumdur. Zamanla endüstride aliminyurii bakıra galebe çalmaktadır ve bu üstün gelme teknikleri gelişim tendensine uygun olarak gittikçe hızlanacaktır. Nitekim Türkiyeye rafine bakır ithalâtının nerdeyse sabit kalmasına karşılık, aliminyum ithalatı bilhassa 1964 yılından sonra süratle artmıştır.

TABLO (3) — Ülkelere göre metal bakır üretimi (1970)

	Bin ton	%
A.B.D.	1555	24.8
Rusya	'900	14.4
Şili	665	10.6
Zambia	694	11.1
Kanada	612	9.8
Kongo	386	6.1
Peru	210	3.4
Filipinler	155	2.5
Avustralya	139	2.2
Güney Afrika	138	2.2
Japonya	117	1.9
Kıta Çini	110	1.7
Yugoslavya	99	1.6
Meksika	71	1.1
Bulgaristan	42	0.7
Polonya	50	0.8
Finlandiya	31	0.5
Türkiye	31	0.5
İsveç	23	0,3
Zambia	23	0.3
Diğer Ülkeler	217	3.5
Toplam	6268	100.0

DÜNYA TÜVÖNAN^, BLISTER -, RAİLNE BAKIR ÜRETİM VE TILKKTİK
DURUMU (1969)



Kıta veya blokların payları (%)

Şekil (2)

Bakır Zenginleştirme Teknolojisinin Tarihsel Gelişimi

H. Avni YAZAN (*)

AU AKAR (**)

Levent ÖZMERİH (***)

Tarih devirlerinden birine adını veren bakır, insanoğlu tarafından bulunup işlenen en eski metallere biri olup, çok eski yıllardan beri insanlığın hizmetindedir. Bakır ilk kullanan insanlar Orta Anadolu'dadır. Medeniyetin beşiği olan Anadolu'da milattan önce 7000 yıllarında bakırın eritilip, işlendiği yapılan araştırmalar sonunda ortaya çıkmıştır(1) Buradan diğer ülkelere sıçrayan medeniyet, bakırın milattan önce 4000 yıllarında İran, Türkistan, Mezopotamya, Mısır, Filistin, M.Ö. 3000 yıllarında Ege civarı, 2500 yıllarında orta Avrupa ve 2000 yıllarında batı Avrupa'da kullanılmasını sağlamıştır. Önceleri süs ve harp eşyaları yapımında kullanılan bakır, ilerleyen zamanla birlikte yavaş yavaş insanlığın birçok ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır. Bugünkü ileri medeniyete rağmen bakırın yerini alabilen, kullanılmasına lüzum bırakmayacak bir diğer metal veya diğer bir madde bulunamamıştır. Evdeki kaplardan, uzaydaki sun'î peyklere kadar hemen her yerde bakır veya alaşımları kullanılmaktadır.

Rengi, parlaklığı ile insanoğlunun dikkatini çeken bakır önceleri tavuklama (triyaj) adını verdiğimiz ve optik görünümünden istifade edilen yöntemlerle zenginleştirilmiştir. Zengin bakır parçacıkları toplanmış ve eritilerek kullanılmıştır. Daha sonraları, özgül ağırlıkla

zenginleştirme yolları kullanılmaya başlandı. Oluklar içine su ile birlikte gönderilen bakır cevherleri, bakırın yüksek özgül ağırlığı sayesinde, daha hafif olan yantaşlardan ayrılıp zenginleşmesini sağlamıştır. Bu işlemler için sonraları sabit, oluklu ve eğimli masalar kullanıldı. Medeniyet ilerledikçe yöntemler geliştirildi ve bu sabit masaların yerini hareketli sarsıntılı masalar aldı. Yıllar boyunca devam eden, özgül ağırlık farklarından istifade edilen bu zenginleştirme yöntemi yerini 1900 yıllarının başlarında keşfedilen flotasyona (köpükle yüzdürme) bırakmıştır.

Köpük flotasyonunun bakır üzerinde yapılan ilk denemeleri ancak kısmen başarılı olabilmıştır. Sıcak ve asidik ortamda yapılan bu ilk köpüklü flotasyonlarda reaktif olarak oleik asit kullanılmıştır, ilk denemelerin sonuçlarını Arthur F. Taggart şu şekilde özetlemiştir :

«Asidik pulplara, yağ asidi asıllı toplayıcılarla yapılan ilk flotasyonlar gang, kuars veya bir silikat minerali ise başarılı oluyordu. Kuars ya yağ asidi tarafından etkilenmiyordu ya da etkilense bile, etkileyici tabaka kolayca asidik ortamda tesirini kaybediyordu... fakat gang kalsit, magnesit, rodokrosit, siderit, barit, florit gibi tuz tipi minerallerden oluşmuş ise kullanılan asit ya ekonomik yönden yöntemi olumsuz hale getiriyor ya da ilâve edildiği halde tesirsiz oluyordu.

(*) Dr. Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

(**) Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

(***) Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

Köpük flotasyonunun bakır cevherleri üzerinde ilk başarılı sonuçları kalkopirit veya büyük ölçüde kalkopiritten oluşmuş cevherlerde elde edilmiştir, bu tip cevherler o zaman New South Wales'deki Kyloe (1910), Şili'deki Braden (1912) İngiliz Kolombiya'sındaki Britannia Beach (1912) işletmelerinde işlenmiştir.

Köpüklü flotasyonda diğer birkaç çözünücü yağın kullanılması keşfi bütün bakır sülfür cevherlerinin flotasyonunu sağlamıştır.

Turpentin ile takviye edilmiş % 98 lik kreslik asit ile nötr ortamda yapılan kalkosit cevheri flotasyonu, bunun diğer tiplere de uygulanabileceği fikrine ve araştırmalarına yol açmıştır. Özellikle Amerika'da mevcut düşük tenörlü porfirik cevherler için uygulanma yolları araştırılmıştır.

Minerals Separation Ltd. Şirketi 1912 yılında Arizona'daki Inspiration Consolidated Copper şirketinin başlıca kalkosit ve az miktarda, krisokol, malahit ve azurit gibi bakır oksitlerden meydana gelen cevherleri üzerinde testler yapmıştır, ve % 87 lik bir randımanla % 2 Cu lik ham cevherden % 15 Cu içeren bakır konsantrasi elde etmiştir.

Bu testlerin sonucu olarak 1913 başlarında 50 tonluk bir pilot tesis ve 1914 yılında 660 tonluk daha büyük bir pilot tesis kurulmuştur. Bu tesislerde gravite ve flotasyon yöntemlerinin birçok kombinasyon ve denemeleri yapıp ve neticede 29 Haziran 1915 de işletmeye geçen 15.000 tonluk tesiste flotasyon yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Inspiration Şti. tesisinin basitliği, yüksek verimi ve kapasitesi flotasyonun dünyaca tanınmasına yol açmıştır. Bu tesis köpüklü flotasyonun geliştirildiği ve bu alanda birçok yeni buluşun yapıldığı bir tesis olmuştur. İlk testlerin yapıldığı pilot tesiste şu noktalar saptanmıştır:

a — Flotasyon pulpunun ısıtılması faydalı olmamaktadır,

b — En iyi reaktif karışımı % 87 lik greslik asit ve biraz terpentindir,

c — Cevher, flotasyon için gerekli tane boyuna öğütülmeden, hiçbir konsantrasyon gerekli değildir,

d — Flotasyon reaktiflerinin bilyalı değirmene beslenmesi olumlu sonuçlar vermektedir. (Minerals Separation şirketinden G.A. Chapman kreslik asitin bilyalı değirmene beslenmesinin patentini almıştır. Bu test pilot tesisinde yapılan en önemli buluş olarak nitelendirilmiştir. Bu keşif sonraları daha ağır yağların ve kömür ziftinin kullanılmasını sağlamıştır, ancak xanthatların keşfi ve bunların direkt olarak flotasyon selüllerine verilince daha iyi neticeler alınmış böylece bir önceki keşif önemini kaybetmiştir.)

Bu pilot tesiste iki ayrı akım şeması deneyleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır; Birinde flotasyondan önce ve sonra gravite konsantrasyonları yapılmış diğerinde ise flotasyon ve arkasından gravite konsantrasyonu yapılmıştır. İkinci metotta daha iyi bakır kazanıldığı anlaşılmış ve aynı zamanda flotasyondan önce tikiner kullanılmasına ihtiyaç olmadığı için akım şeması basitleştirilmiştir. Toplam bakır verimi % 83.7 (sülfür bakırda % 90.39) olup, bunun % 74.3 ü flotasyon, % 9.4 ü de masalardan kazanılmıştır.

Pilot tesisteki testlerde aynı zamanda birçok değişik firmanın değişik flotasyon selülü de denenmiş neticede Inspiration tipi yüksek kapasiteli pnömatik selülün en iyi sonuç verdiği anlaşılabilir, 15.000 tonluk konsantratörde kullanılmıştır.

Sonraları kömür ziftinden yapılmış reaktiflerin değişik sıcaklıklarda testleri yapılmış ve çok iyi neticeler alınmıştır. Kömür ziftinin kendisinin de direkt olarak kullanıldığı bu reaktiflerin daha iyi bir verim sağladığı anlaşılmıştır. Inspiration şirketi kömür zifti için kaynak ararken, J.M. Callow «kömür zifti-kreosot»un

kömür ziftinin yerine kullanılabileceğini keşfetmiştir. Netice de % 95 kömür zifti ve kuru destile edilmiş ağaç yağından yapılan karışım reaktif olarak seçilmiş, tüketim ise ton başına 1.5 pound olmuştur.

Marcy tipi bilyalı değirmenlerde daha ince öğütülebilen cevherlerden daha iyi bir verim elde edilmesi diğer bir olumlu buluş olmuş, Inspiration şirketi 1 ton cevheri önceleri 52 sonraları 40 sente işlemiştir.

Asitlerin Inspiration tesislerinde kullanılması olumsuz sonuçlar vermiş, Sodyum hidoksit ve siyanid, şlâmlann kontrolünde faydalı olup, ancak bunların devamlı kullanılıp kullanılmadığı bilinmemiştir.

Kafkas Bakır şirketi cevherleri üzerinde Londra'da yapılan denemeler olumlu sonuçlar verdiği halde, yerinde yapılan denemelerin başarısız olduğu, köpüklerin hemen bozulduğu görülmüştür. Bunun Londra suyunun alkalik, tesis suyunun ise asitik olması yüzünden meydana geldiği tahmin edilip, tesiste de alkalik ortamda çalışılması düşünülmüştür. Elde bulunan tek alkali Sodyum silikat kullanılmış ve başarılı sonuçlar sağlanmıştır. Artıkta ise sadece piritin bulunduğu ve kalkopiritin kaçmadığı tesbit edilmiştir.

Flotasyonda önemli diğer bir yenilik, reaktiflerde olmuştur, 1924 ten sonra ksanthatlar geliştirilmiş ve asitik ortamda kömür zifti, kreosotla yapılan flotasyon yerini alkalik ortamda yapılan xanthat - çam yağı flotasyonuna bırakmıştır.

Bakırın sadece flotasyon yöntemleri ile elde edildiği ilk tesis Kaliforniya'daki Engels Mine'dir. Cevherlerinde fazla miktarda manyetit bulunması gravite yönteminin kullanılmasını önlemiştir. Tesisin millî bir orman içinde bulunması da ayrıca bir izabe tesisinin çalışmasına mani olmuştur. Bu nedenle çözüm

yolu olarak flotasyon öngörülmüş, ve 1914 de 150 tonluk bir tesis kurulmuştur. Cevher bornit, kalkopirit ve manyetitten oluşup ayrıca kalkosit ve kovellit de içermiştir. % 3.8 bakır ihtiva eden ham cevher 100 mesh'in altına öğütülerek flote edilmiş ve % 84 verimle % 40 lık bakır konsantresi elde edilmiştir. Bu tesis daha sonra 400 tonluk kapasiteye çıkartılmış ve çalışmasına devam etmiştir.

Reaktifler ve yöntemler göz önüne alınırsa, özetle şu gelişmeler olmuştur; 1916 - 1925 arasında kullanılan yağlar ve ayarlayıcı olan sülfürik asit, 1925 yılında yerini ksanthatlar, çam yağı ve kirece bırakmıştır, ve yine bu yılda, gravite - flotasyon kombine tesisleri, sadece flotasyon yöntemleri ile çalıştırılmaya başlanmıştır.

1927 de ditiofosfat keşfedilerek, ksanthat ve çam yağının yerine kullanılmıştır. Neticede, kimyasal reaktifler kullanılarak bakırın zenginleştirilmesine flotasyon yöntemleri ile devam edilmektedir.

Utah Bakır Şirketi'nin 1911 - 1930 yılları arasında işlediği cevherlerin, artık ve konsantre arasındaki bağıntı incelendiğinde aşağıdaki sonuç çıkarılabilir.

Önceleri % 1.5 Cu ihtiva eden cevherleri işleyebilen tesis daha sonraları % 1 Cu içeren cevherleri işleyebilmiştir.

Bakır verimi zamanla beraber artış göstermiştir, % 70 verimle çalışan tesis 1918 başlarında şlâm flotasyonuna başlamış ve verim % 80 e kadar yükseltilmiştir. 1920 yıllarında, artıkların tekrar öğütülüp flote edilmesiyle, % 85 - 86 ya yükselen verim, 1926 dan sonra ksanthat, kireç ve aeroflot kullanılması ile % 90 a kadar çıkarılabilmıştır.

Konsantredeki bakır yüzdesi de bir artış göstermiş ve % 25 ten % 32 değerine yükselmiştir.

Artık içinde kaçan bakır yüzdesi her yıl azalma göstermiş ve 1911 yılında artıkta % 0.5 bakır bulunurken, 1930 da % 0.1 e düşmüştür.

Flotasyon ile kazanılan bakır cevherleri sülfürler ve oksitler olarak ikiye ayrılırlar.

Kalkopirit, kalkosin, kovelin ve bor nit gibi bakır sülfürler genel olarak aşağıda belirtilen optimal koşullarda flote edilebilirler :

Kaba ve orta kırmadan sonra öğütme devresine giren ham cevher sulu ortamda flotasyon tane inceliğine Öğütülür. Bu devrede önce kireç kullanılarak Pül-pün PH'ı 9 veya daha yüksek değere getirilir. Köpürtücü olarak çam yağı veya yüksek bir alkol, toplayıcı olarak da bir ksanthat kullanılır. Flotasyon süresi yaklaşık olarak 10-15 dakikadır. Kazanılan kaba bakır konsantresi tekrar flote edilerek tenor yükseltilmiş olur. Maksimum verim için orta ürünün tekrar öğütüldükten sonra flote edilmesi gereklidir.

Kullanılan reaktif miktarları ise aşağıdaki değerlerde bulunmaktadır :

Kireç 1-5 Kg/ton ham cevher

Toplayıcı (ksanthat) 0,025 - 0,25 Kg/ton ham cevher.

Köpürtücü (çam yağı) 0,025 - 0,125 Kg/ton ham cevher.

Bazı işletmelerde kireç, öğütme değirmenine toplayıcı ve köpürtücüler ise flotasyon selüllerine ilâve edilir.

Malahit, azurit, küprit ve krysokol gibi oksitli bakır cevherlerinin zenginleştirilmesi başlıca üç yöntemle gerçekleştirilmektedir :

- 1 — Flotasyon,
- 2 — Çözündürme (Liçing) — Çöktürme - Flotasyon,
- 3 — Çözündürme (Liçing).

Oksitli cevherlerin flotasyonunda cevher önce sülfürlemeye tâbi tutulur. Bu işlem flotasyon bulamacını (pulp) Sodyum sülfür (Na_2S) ile 5-20 dakika karıştırılarak sağlanır. Bazı durumlarda sülfürleme flotasyon esnasında da yapılabilir. Toplayıcı olarak kuvvetli ve uzun zincir yapılı ksanthatlar kullanılır. Reaktif 404, 425 gibi toplayıcılar bazı hallerde sülfür-

lemeye gerek göstermeden tesir sağlarlar.

Eğer cevher içinde hem bakır sülfür hem de bakır oksit mevcut ise, önce sülfürlerin, sonra da oksitli cevherlerin flote edilmesi öngörülür. Burada ton cevher başına 14 kg. Sodyum sülfür (Na_2S), 0,025 - 0,125 kg. ise toplayıcı (ksanthat) sarf edilir ve flotasyon süresi 10-20 dakika arasında değişir.

Ayrıca son zamanlarda geliştirilen Çözündürme (Leaching) — Çöktürme (Precipitation) — Flotasyon yöntemi ile oksitli - sülfürlü bakır cevherlerinin zenginleştirilmesi mümkün olmuştur (3). LPF olarak tanımlanan Liçing - Çöktürme - Flotasyon yönteminde ham cevher içindeki oksitli bakır komponentleri H_2SO_4 ile sıvı faza geçirilir, ortama atılan demir talaşları ise bakırın sementasyon bakır olarak çöktürür, ve sülfürlü cevher komponentleri ile birlikte flote edilerek yüksek verimde bakır kazanılmış olur. Bu esnada sülfürlü cevher yüzeylerinin de ayrıca temizlenmiş olması yöntemde yüksek bakır verimi kazandırmış olur.

Kalkopirit - galenit - sfalerit - pirit ve gang'tan oluşan kompleks cevherlerde bulunan bakır sülfürlerin selektif flotasyon yolu ile kazanılmasında başlıca iki yöntem tekniği uygulanmaktadır:

Birinci sistemde PbS ve ZnS ayırımı yapılır ve bakır sülfürün PbS ile yüzmesi sağlanır. Daha sonraki kademedede bastırıcı reaktifler kullanılarak tekrar flotasyonla bakır sülfürler PbS ten ayrılır. Diğer yöntemde ise bakır sülfürler yüzdürülüp alınırken PbS ve ZnS de bastırılır. Bu artıklardan ise önce PbS flote edilerek kazanılır, daha sonrada ZnS, CuSO_4 ile aktifleştirilerek yüzdürülür, tıkk yöntemde safedilen reaktifler cevherlere göre değişim gösterir. İlk ayırimda 0,5 - 2,5 kg. Soda, 0,025 - 0,075 kg. Sodyum siyanür (NaCN), 0,25 -1 kg. Sodyum sülfür (Na_2S), 0,25 -1 kg. Çinko sülfat (ZnSO_4) ve bakır sülfat (CuSO_4) kullanılır.

PbS kaşımının ikincil flotasyonunda ise 0,25 - 0,5 kg. sodyum siyanür (NaCN) kullanılır. Eğer sülfüroz asidin PbS'yi bastırması için SO₂ kullanılırsa, ton cevher başına 0,5 - 2,5 kg. miktarında kullanılacak PH = 5 değeri temin edilir. Ayrıca ton cevher başına 0,05 - 0,1 kg. nişasta da kullanılır.

İkinci zenginleştirme metodunda bir kaç kademe mevcuttur; PbS ve ZnS'in bastırılması için, öğütölmüş pulp 5-10 dakika kadar sülfüroz asit ile dinlendirilir ve pH 7 nin altına indirilir. Daha sonra ton başına, 0,025 - 0,075 kg. ethyl ksanthat ve aynı miktarda sodyum aro-Hoat kombinasyonu ilâve edilerek selektif flotasyon yapılır. Ayrıca ton başına 0,025 - 0,5 kg. alkol köpürtücü olarak kullanılır. Bakır minerallerinin flotasyonundan sonra pulp 0,5 - 2,5 kg. soda külü 0,05 - 0,1 kg. sodyum siyanür ve 0,5 - 2,5 kg. çinko sülfür ile pH = 8 iken karıştırılır ve ZnS bastırılarak PbS yüzdürölür. Bundan sonra ZnS'in canlanması için, pulpa 0,5 -1 kg. kireç ve 0,5 kg. bakır sülfat ilâve edilir. Bu işlem 8 -10 dakika sürer. Bundan sonra yeni bir flotasyon ile ZnS de yüzdürölür. ZnS flotasyonu için ton başına 0,025 - 0,075 kg. toplayıcı (ksanthat veya ditiofosfat), ve 0,025-0,075 kg. kresilik asit toplayıcı olarak kullanılır.

Çözündürme (liçing) yöntemi diğer bir yazıda anlatıldığından burada sadece zikredilmiştir. (BOR - ÇAKIR)

Bilimsel teknolojik gelişmelere bağlı olarak bakır cevherinin zenginleştirilmesinde etkin ve yaygın bir yöntem olan flotasyonda devamlı olarak yenilikler geliştirilecek, bu yolla uygulamada yöntem ekonomiklik ve elastikiyet kazandıracaktır. Böylece daha düşük Cu tenörlerinde en yüksek kalite ve verimle çalışabilme olanağı sağlanacağı beklenmektedir.

BİBLİYOGRAFİK TANITIM:

1. **Norddeutsche Affinerle** : Kupfer in Natur, Technik, Kunst und Wirtschaft Hamburg, April. 1966.
2. Fuerstenau, D. W. (Editor) : Froth Flotation 50th Anniversary Volume AIME, New York, 1962.
3. **Schubert, H.** : Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe Band I, II. VEB Deutscher Verlag für Grundstoff industrie Leipzig, 1967 - 1968.
4. **Gaudin, A.M.** : Flotation McGraw-Hill Book Company Inc. S. 1-9. New York, 1957.
5. **Kirchberg, H.** : Aufbereitung Bergbaulicher Rohstoffe Bad I, S 5 -13. Wilhelm Gronau Verlag Tena 1953.
6. **Gründer, W.:** Allgemeine Aufbereitung Band I, S. 4-7. Hermann Hübener Verlag K.G, Goslar, 1965.

Bakır Hazırlama (Zenginleştirme) Teknolojisindeki Gelişmeler

H. Avni YAZAN*

Ali AKAR*

Levent ÖZMERİH ***

Dünyada, bir konsantre işlemi görmeden, ocaktan çıktığı gibi direkt olarak pirometalurjik yöntemlerle işlenebilecek bakır cevherleri, hemen hemen tükenmiş gibidir. Genellikle işletilen bakır madenleri düşük tenörlü olup, bir konsantrasyon işleminden geçmesi gereken cevherler çıkarılmaktadır. Tüm bakır üretiminin % 80 ini sağlayan porfirik bakır yatakları da düşük tenörlü, gang mineralleri ile ince kenetlenmiş bakır mineralleri ihtiva eder. Bu nedenle, dünyada üretilen bakırın % 90 ı, bir flotasyon işleminden geçerek konsantre edilmektedir.

Flotasyon yönteminde, bakır içeren minerallerin serbestleşmesi için cevherin çok ince öğütülmesi gerekmektedir ve bu öğütme masrafları, bir flotasyon tesisinde toplam masrafların yarıya yakın bir yer işgal eder. Bu sebepten ortalama tenörü % 0.3 ten daha düşük bakır cevherleri hidrometalurjik yöntemlerle kazanamadığı zaman ekonomik olmamaktadır. A.B.D. de 1960 da üretilen bakırın % 3 ü hidrometalurjik yöntem ile kazanılmış olup bu miktarın yakın gelecekte artacağı ve % 15 e kadar yükselebileceği tahmin edilmektedir (1) (x).

Yukarıda belirtildiği gibi, bakır zenginleştirme teknolojisindeki gelişmeler flotasyon yöntem ve tesislerindeki gelişmelere direkt olarak bağlıdır.

Flotasyondaki teknolojik gelişmeler iki ana grupta toplanabilir; bunlar kapasite ve yöntemlerdeki gelişmelerdir.

Tesis kapasitesindeki gelişmeler :

Tesis kapasitesindeki gelişmeler, tesisde bir günde veya bir senede işlenen cevher miktarları ve ayrıca tesis ünitelerinin, yani makina ve cihazların öz kapasiteleri gelişmeleri olarak ayrı ayrı mütalâa edilebilir.

Aşağıdaki sebepler tesis kapasitelerinin arttırılmasını zorunlu kılmıştır;

a — Çağımızda dünya nüfusu ve ayrıca kişi başına düşen bakır tüketimi, hayat standardına paralel olarak hızla artmakta, bu ihtiyacı karşılamak için daha yüksek kapasiteli üretim üniteleri kurulmaktadır.

b — Bakır yataklarının ortalama tenörü zamanla düşmekte, aynı konsantre üretimini sağlamak için daha yüksek kapasiteli tesislerin kurulması veya eski tesislerin kapasitelerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Örneğin, Etibank Ergani tesislerinde eskiden işletilen 2.5 Cu tenörlü zengin cevher bitmiş, ortalama 1.7 Cu tenörlü cevheri işlemek için flotasyon kapasitesi 600 tondan 3.000 ton/güne çıkarılarak blister bakır üretimi sabit tutulmaya çalışılmıştır.

(*) Dr. Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

(**) Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

<*** Maden Yüksek Mühendisi. M.T.A. Enstitüsü — ANKARA

(x) Parantez içinde verilen sayılar kullanılan literatürü belirtmektedir.

Elli, altmış sene öncesi A.B.D. de işletilen bakır cevherlerinin ortalama tenoru % 2.5 Cu iken bu ortalama günümüzde % 0.9 - 0.8 Cu ya düşmüştür. Aynı süre içinde bakır üretimi iki mislinden fazla arttığına göre eskisine nazaran 8-9 kat bakır cevheri zenginleştirme işlemine tâbi tutuluyor demektir (2).

c — Birçok endüstri tesislerinde olduğu gibi, flotasyon tesislerinde de işlet-

me masraflarının minimum olduğu bir optimal tesis kapasitesi mevcuttur. Belli bir limite kadar kapasite arttıkça üretim maliyeti düşmektedir. Örneğin **Tablo 1** de belirtildiği gibi, 5.000, 10.000 ve 15.000 ton/gün kapasiteli flotasyon tesislerinin ton cevher başına düşen madencilik ve sabit masrafları kapasiteye bağlı olarak fazla değişmemesine rağmen zenginleştirme masrafları kapasite arttıkça azalmaktadır.

Tablo 1 : Değişik kapasiteli maden işletmelerinin işletme maliyetleri.

Maliyet (1960)	5.000 ton/gün US Polar	10.000 ton/gün US Polar	15.000 ton/gün US Polar
Madencilik	1.30	1.20	1.19
Sabit masraflar	0.40	0.35	0.34
Zenginleştirme	0.80	0.66	0.64
T o p l a m	2.50	2.21	2.17

Yalnız işletme maliyetleri değil ton cevher başına yapılan yatırım masrafları da büyük tesislerde daha düşüktür. 1960 fiyatları baz olarak kabul edilirse 2.000 ton/gün kapasiteli bir flotasyon tesisinin toplam yatırım fiatı işlenen ton cevher başına 1850 US Doları iken tesis kapasitesi 10.000 ton/gün e çıkarılırsa yatırım miktarı 1300 US Dolara düşmekte yani % 30 azalmaktadır (2).

1960 senesinde A.B.D.'deki 17 bakır

konsantratörü 375.000 ton/gün cevher işlemişlerdi, bunların ortalama günlük kapasiteleri 20,000 tonu geçmemektedir (3).

Günümüzde de düşük tenörlü bakır cevherleri işleyecek flotasyon tesisleri, kapasiteleri genellikle 20.000 ton/gün'ün üstünde olmak üzere projelendirilmektedir. Aşağıda, **Tablo 2** de dünyadaki bazı büyük bakır flotasyon tesislerinin isimleri ve kapasitelere bir fikir edinmek gayesi ile verilmiştir.

Tablo 2 : Büyük kapasiteli bazı bakır flotasyon tesisleri.

Tesisin adı :	Kapasite ton/gün	Cevher
Magna - Arthur, Kenecott Copper, Utah, U.S.A.	110.000	% 0.7 Cu, M
Phelps Dodge Corp. Lavender -Pitt mill, Arizona, U.S.A.	53.000	Cu,Mo
San Manuel, Arizona, U.S.A.	33.000	Cu,Mo
Chile Exploration, Chile.	42.000	Cu,Mo
Inco Clarabell, Ontario, Kanada.	35.000	Cu,Ni
•Inco Copper Cliff, Ontario. Kanada.	30.000	Cu,Ni
Anakonda, Montana, U.S.A.	36.000	Cu
Meidanbek, Yugoslavya.	40.000	% 0.8 Cu
Karadeniz Bakır İşletmeleri, Murgul.	9.000	% 1.3 Cu
Duval Corporation, Pina - Arizona, U.S.A.	60.000	% 0.3 Cu

Ton kapasiteleri büyüdükçe ya kullanılan makina kapasitelerini büyütme veya küçük makinelerden çok sayıda kullanılmak gerekmektedir. Genellikle kontrol, işletme kolaylığı ve daha ekonomik olması bakımından birinci yola gidilmekte yani makina boyutları büyütülmektedir. Aynı zamanda değişik yöntemler uygulanarak aynı boydaki makinalardan daha büyük kapasiteler sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bakırla ilgili cevher hazırlama tesislerinin kırma, öğütme ve flotasyon gibi ünitelerinde kullanılan makina ve cihazların kapasite yönünden geçirdiği gelişmelerin en önemlileri aşağıda belirtilmeye çalışılmıştır :

Kırma makinalarındaki gelişmeler :

Maden işletmesinden gelen cevherin kaba kırma (birinci kırma) işlemi için genellikle çeneli (jaw), konik (gyratory) ve şoklu (impact) kırıcılar kullanılır.

Çeneli kırıcılar daha düşük kapasitelidir, fakat giriş ağız açıklıklarının genişliği dolayısı ile tane iriliği fazla olan cevherler için tercih edilirler. Büyük kapasiteli bakır işletmeleri için tek söz konusu kırıcılar, 1 m³ veya daha iri cevher parçalarının kırılabileceği yüksek kapasiteli konik kırıcılardır. Bu kırıcıların hazne hacimleri büyük olduğundan, 250 tonluk maden kamyonlarının yükünü bile kolayca alabilirler ve kamyonların bekleme süresini azaltırlar.

Şoklu kırıcılar genellikle orta sertlikteki cevherler için kullanılır. Bakır cevherlerinden ancak yumuşak olanlarının kırılmasında kullanılırlar. Batı Almanya'da Hazemag firması, Andreas - Oznobichine sistemine göre çalışan bir şoklu kırıcı geliştirilmiştir (4).

Kırıcının, birisi diğerinden daha yarıda iki rotoru mevcuttur. Daha düşük devirli birinci rotor ön kırmayı, daha yüksek devirli ikinci rotor son kırmayı temin eder. % 15 rutubet ihtiva eden kireçtaşı cevherlerde bile yapışma olmadan kırma yapılabilir. (5).

Klöchner - Humboldt - Deutz firması .240 ton/saat kapasiteli yeni bir şoklu kırıcının sert cevherler için geliştirildiğini belirtmektedir (5), (6).

Orta ve ince kırma (ikinci ve üçüncü 'kademe kırma) için bakır cevheri hazırlama tesislerinde en yaygın kinci çok kere «Symons kırıcı» olarak adlandırılan yassı konik kırıcılardır. Şimdiye kadar kullanılan, 7 ft. = 2134 mm. çapındaki en büyük konik kırıcının kapasitesi 25 mm. lik kırılmış cevher tane iriliği için saatte 500 ton, 10 mm. lik cevher için 250 ton kadardır (7).

Kırma ünitelerinin günde iki vardiya çalıştığı kabul edilirse 50.000 ton/gün kapasiteli bir bakır konsantratörünün, bir düzineden fazla orta ve ince kırıcıya ihtiyacı olduğu görülür. Bu misal orta ve bilhassa ince kırma makinalarının büyük işletmeler için bir dar boğaz olduğunu açıkça belirtmektedir. Nordberg Machinery Group ilk defa olarak 10 ft. lik bir Symons konik kırıcısının projesinin yapıldığını ve kapasitesinin 7 ft. lik kırıcıya nazaran 2-2.5 misli fazla olacağını bildirmiştir (8).

Öğütme makinaları (değirmenler)ndaki gelişmeler :

Gerek bilyalı, gerekse çubuklu değirmen kapasite ve boyutlarında son yıllarda büyük bir artma olmuş, bilyalı değirmen çapı 18 ft. = 5.4 m. ye çubuklu değirmen çapı ise 15 ft. = 4.5 m. ye ulaşmıştır. Bilyalı değirmen boyu 60 ft. = 18 m. ye kadar uzarken, çubuklu değirmen boyu, içine konan çubukların deforme olmadan çalışabildikleri en büyük uzunlukta, yani 6 metrede sınırlı kalmıştır (9) (10).

Bu büyüklükteki değirmenlere tatbik edilen güç 3.000 beygir gücünü bulmaktadır (11).

Canad Iron Ltd. e ait Tilden demir projesinde kullanılmak üzere yapılan bir. yarı otojen bilyalı değirmenin ebadı 30 x 10 ft. olup kapasitesi 500 ton/saati

bulmaktadır. Değirmene hacminin % 20 si miktarında küçük çapta bilya ilâve edilecektir (8).

Batı Almanya'da Wedag firması, motorla değirmen arasındaki hız düşürücü mekanizmayı kaldıran bir sistem bulmuştur. Bu elektrik motorunun statoru değirmenin etrafına sarılmakta, rotor ise değirmenin kendisi olmaktadır. Bu surette istenilen büyüklükteki güçler, 35.000 beygir gücüne kadar tatbik edilebilmektedir (12).

Öğütme yönteminde en büyük gelişme, büyük boylu otojen değirmenlerin cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılması ile başlamıştır. İlk önce demir ve altın cevherlerinin öğütülmesinde kullanılmaya başlanan bu değirmenler daha sonra bakır cevherlerinin zenginleştirme tesislerinde de tatbikat sahası bulmuşlardır.

Otojen değirmenlerde iri cevher parçaları bilya vazifesi görmekte, hem kendi kendini hem de daha ince cevher parçalarını öğütmektedir. Değirmen çıkışı bir elekten geçirilerek birkaç mm. den iri taneler değirmene geri verilmekte, elek altı ise siklonlarda ayrılarak siklon altı tekrar öğütülmek üzere geri dönmektedir (13). Siklon üstü, bir zenginleştirme işlemine tâbi tutulmak üzere öğütme ünitesini terketmektedir.

Değirmene giren cevher sadece bir ön kırmaya ve elemeye tâbi tutulmakta, orta, ince kırma ve öğütme bir cihazın içinde gerçekleştiğinden tesis akım şeması çok basitleşmektedir.

Proses hem kuru hem de yaş olarak çalışabilmektedir. Kuru öğütmede mineral tanelerinin oksitlenmesi ve flotasyon sonuçlarının negatif etkilenmesi göz önünde tutularak, yaş öğütme tercih edilmektedir.

Yapılan hesaplara göre, otojen öğütmede yatırım tutarı klâsik öğütmeye nazaran (çubuklu ve bilyalı değirmen) % 15-7 arasında azalmaktadır.

Kanada'da British Columbia'da Island Copper bakır - molibden cevheri, Türkiye'de Karadeniz Bakır İşletmelerinin Murgul bakır flotasyon tesisleri, Samsun Cüruf flotasyonu ve daha birçok bakır zenginleştirme tesisleri cevherin fiziksel özelliklerinin uygun olduğu halde, otojen öğütmeyi tercih etmektedirler.

Murgul flotasyonunun üç adet otojen değirmeninin her birinin gücü 3.000 beygir gücü, boyutları ise 24 x 10 ft. tir. Kapasitesi saatte 150 ton kadardır. Otojen değirmenler günümüzde 32 - 34 ft. = 9.6 - 10.2 m. çapında, 7.000 beygir gücünde ve 2.000 ton/saat kapasitede imâl edilebilmektedir. (14), (15), (16), (17).

Genellikle eski çelik alaşımlı çubuklu ve bilyalı değirmen astarları lâstik astarlarla değiştirilmekte, yeni değirmenler ise lâstik astarla hazırlanmaktadır. Değirmen içinde öğütme, astar - bilya arasından ziyade bilyalar arasında olduğundan, lâstik astarlar kapasiteyi azaltmamakta, hattâ bu astarların daha ince olması yüzünden iç hacim ve dolayısı ile kapasite artmaktadır. Ayrıca bu astarların değiştirilmesi kolaylık ve zaman tasarrufu sağlar.

Yazarlar tarafından şimdiye kadar çubuklu değirmenlerde lâstik astarlara rastlanmadığından, ancak ancak ileride bunun mümkün olabileceğinden, (18) 19 x 19 ft. ebadındaki çelik bilya yerine cevher veya benzeri bilya kullanan «pebble» değirmenlerinin lâstik astar veya Ni-hard astarla kaplama maliyetinin aynı olduğu, İsveç'teki değirmenlerin % 80 inin lâstik astarla kaplı olduğu bildirilmektedir (19).

Otojen öğütmede çok iri cevher taneleri değirmen içinde düşerken lâstik astarı ve «lift» barları parçaladığından bu değirmenlerde lâstik astar kullanılmamaktadır. Karadeniz Bakır İşletmelerinin Murgul flotasyon tesisindeki otojen değirmenlere kenar lâstik «lift bar» denemelerinin iyi netice vermediği müşahade edilmiştir.

Kırma ve öğütme devrelerinde kullanılan elekler son yıllarda lâstikle kaplanmış ve kullanılma ömürleri uzamıştır, inçe eleme için, bilhassa profilli elekler plâstik bir malzemedir yapılmakta, ömürleri çelik eleklerin 5-6 misli fazla olmaktadır. Trelleborg Gummi Fabriks - İsveç, bu sahada öncülük yapmıştır.

Değirmenlerin öğütme verimlerini arttırmak, daha ekonomik bir öğütme sağlamak gayesi ile öğütme üzerinde yapılan araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Yurdumuzda Tübitak tarafından desteklenen bir projede «Planetary mill» olarak isimlendirilen bir değirmen geliştirilmiştir. Başka memleketlerde de aynı sistemi uygulayan araştırmalar ve pilot çapta denemeler mevcuttur (20).

Değirmen kendi eksenini etrafında ve aynı zamanda, aynı dünya çevresinde döndüğü gibi, başka bir eksen etrafında ters yönde dönmektedir, ve böylece klâsik değirmenlere nazaran kritik dönme hızı arttığı için kapasite artmaktadır. Değirmen aşınma ve ısınmasının yüksek olacağı tahmin edilmektedir, gelişmeler halen pilot çap seviyesindedir.

Kırma ve öğütmede klâsik yöntemlerin yanı sıra elektrölik, ısı ve elektrotermik tesirlerin yanı sıra nükleer patlamaların tatbiki incelenmektedir (21). Meselâ USA. da Kennecott Copper Corp., Arizona'daki bakır cevherlerinin yer altında asitle liç edilmesi için US Atom Enerjisi Komisyonu ile bir nükleer lağımlama programı hazırlamaktadır (8).

Flotasyon makinalarındaki gelişmeler :

Öğütme kapasitesine paralel olarak flotasyon selül kapasiteleri devamlı arttırılmaktadır. Flotasyon makinaları eskiden olduğu gibi hayayı kendileri emmemekte, flotasyon prosesi için gerekli düşük basınçlı hava dışarıdan kompresörlerle seklilere basılmaktadır. Bu suretle hâlihâl flotasyon makinasının rotor hızı düşürülerek- ömrü uzatılmakta hem de daha iyi flotasyon verimi sağlanmaktadır.

Flotasyon makina ebadlarının büyütülmesi ile işgal ettikleri yer, işlenen ham cevher başına azalmakta, ve yine ton cevher başına makina maliyeti düşmektedir. USA, Climax molibden tesisinde yapılan mülakatta, büyük seklilerden alman metal veriminin, küçüklerine nazaran biraz daha düşük olduğu, fakat diğer avantajların bu mahsuru telafi ettiği, Denver D-R 600H (18 m³) senlilerinin, DR 100 H (3 m³) selüerinin yatırım masraflarının % 20 daha düşük olduğu öğrenilmiştir. (8)

Wemco firmasının yeni flotasyon seklileri de Denver'inkiler gibi, 200, 300, 400, 600, ft³ tür.

Maxwell seklileri daha büyük hacimde imal edilmektedirler. 9 m³ ten 60 m³ e kadar yükselmekte ve saatte 3.000 ton sülfürlü cevheri flote edebilmektedir ki bu kapasite 154 adet küçük selül kapasitesine tekabül etmektedir (22).

Bu Maxwell seklileri silindirik şekilde olup, köpükler selül dışına taşmamakta, selül yüzeyinde köpük zonu içine yerleştirilmiş, simit şeklinde bir oluğa akmaktadır. Yani yüzey merkezinde teşekkül eden bir köpük, selül yarıçapı kadar bir yolu değil bunun yarısını katetmektedir- Sekllün dıştan görünüşü bir durultma tankına benzemekte, insana çamurla doldurulmuş bir yüzme havuzu hissini vermektedir.

: Klâsik flotasyon makinalarının boyutları büyürken, ölçüleri daha küçük fakat birim hacimde işledikleri cevher miktarı daha yüksek flotasyon makinaları da geliştirilmiştir. Broken Hill, Avustralya, tarafından icat edilen Davera flotasyon selüri bunlardan biridir (23).

Sekllün diğer klâsik flotasyon makinalarını aksine, bulamacı karıştırıcı bir rotoru (impeller) yoktur. Bulamaçla beraber bir jet vasıtası ile selül içine hava püskürtülmekte ve daha iyi bir katı-sıvı-gaz karışımı ve teması sağlanmaktadır. Köpük selül yüzünde toplanmakta, artık ise tabandan selülü terketmektedir.

Çinko ve kömür flotasyonunda endüstriyel çapta kullanılmaya başlanan Davra selüllere bakır için de denenmektedir. En belirli avantajları, selül içinde hareketli bir mekanizmanın olmayışı, az yer işgal etmesi ve daha iyi bir konsantre tenörü ve metal verimi sağlaması, birim hacim başına daha yüksek bir kapasiteye sahip olmasıdır.

Wedag «Cyclone» pnömatik flotasyon makinası (24), gene Macarların siklon tipi flotasyon makinaları (25), birim hacim başına yüksek kapasiteli ve randımanlı flotasyon makinaları olarak nitelendirilmektedirler.

Column Counter current flotasyon makinaları (26), Leningrat, Rusya'da Mekhanobr Enstitüsünde geliştirilen ve 4 mm. tane iriliğine kadar sylvinit minerallerinin, 2 mm.lik elmas ve sülfür minerallerinin yüzdürülebildiği flotasyon selülleri yenilikler arasındadır. (27)

Leaching - Precipitation - Flotation-Prosesi (L.P.F.)

Genellikle yüzeyleri oksitlenmiş sülfürlü bakır mineralleri birlikte yüzdürülmeye çalışılır. Fakat mineral taneciklerinin yüzeyi fazla oksitlenmişse bu yöntem fazla miktarda Na_2S kullanılmasına, fazla kollektör sarfiyatına ve ayrıca metal veriminin düşmesine yol açar. O zaman flotasyondan önce H_2SO_4 ile oksitli mineraller bulamaç içinde çözündürülür. Çözeltiliye, piritin kavrulması sonucunda elde edilen demir sünger veya ince demir tozları ilâve edilerek bakır iyonları metalik bakır halinde çöktürülür. Çöktürülmüş bakır tanecikleri, flotasyonda diğer sülfürlü minerallerle beraber köpükle kazanılır. (28) (29)

Ağır Ortamla Zenginleştirme :

Ağır ortamda gang minerallerini flotasyondan Önce ayırmak ve flotasyona daha yüksek bir metal tenörü ile vermek

bir çok Pb-Zn zenginleştirme tesislerinde uygulanan bir yöntemdir. Bakır mineralleri çok kere gang mineralleri ile ince kenetlendiği ve bakır mineral yüzdesi çok düşük olması nedenlerinden dolayı bu yöntem bakır zenginleştirilmesinde kullanılmaz. Bilinen tek uygulama alanı Doğu Almanya'da Mansfelder bakır şişlerinin zenginleştirilmesinde rastlanmaktadır. % 2,5 Cu içeren bu cevherin içinde % 10 kadar bitümlü madde bulunmaktadır. Flotasyon esnasında bitümlü maddeler bakır mineralleri ile yüzmekte hem konsantre tenorunu düşürmekte hem de reaktif sarfiyatını artırmaktadır. Ağır ortam ayırması sayesinde % 3,5 Cu tenörlü bir yüzen ürün kazanılmakta ve bu ürün başka bir işleme girmeden izabeye gitmektedir. % 1 Cu tenöründe batan ürün ise flotasyonla zenginleştirilmekte, % 5-10 Cu tenörlü bir bakır konsantresi kazanılmaktadır. Toplam verim % 70-90 arasında değişmektedir. (30)

Cu-Mo Flotasyonunda Yeni Reaktif ler

Flotasyon yöntemi ile Cu-Mo ayrılması çok kere her ayrı cevher için ayrı bir problem yaratan bir işlemdir. Amonyum sülfid, kalsine soda ilâvesi ve buharla ısıtma hem verimi hem de konsantre tenorunu artırmaktadır. (31)

Cüruf Flotasyonu :

Bakır izabe cüruf lannda bakır genellikle sülfür bileşikleri veya az da olsa metalik bakır halinde bulunmaktadır. Fakat ani soğuma esnasında cüruf içindeki bakır mineralleri çok ince kristaller meydana getirmekte ince öğütme halinde bile Cu kazanma verimi % 50 den yukarıya çıkmamaktadır. «Flash-Smelting» yönteminde izabe cürufunun içinde bilinçli olarak % 3 civarında bakır bırakılmakta, cüruf ağır ağır soğutularak flotasyona müsait bir kristalizasyon sağlanmaktadır. (32) (33) (34) (35)

Cu-Pb-Zn Rotasyonunda SO₂ ve ısı tatbiki:

Flotasyon yöntemi ile Cu, Pb, Zn ayırımı bilhassa piritik cevherlerde flotasyon araştırmacılarının halâ üzerinde çalıştıkları konulardan biridir. Son yıllarda flotasyon prosesine SO₂ gazı tatbiki ve flotasyon bulamacının ısıtılması sayesinde olumlu neticeler alınmıştır. Bu konuda geniş literatür mevcuttur. (36) (37) (38)

Proses kontrol :

Cevher zenginleştirme tesislerinde son 15 sene içinde en büyük gelişme proses kontrolünde gerçekleşmiştir. Öğütme devrelerinde otomatik araçlarla, bulamaç (katı - sıvı karışımı) yoğunluğu ve tane iriliği analizi yapılmakta (39) (40), optimal öğütme şartları ayarlanarak aşın öğütme önlenmekte ve böylelikle değirmen kapasitesi arttırılabilmektedir. Consolidated Copper Company, yaş öğütmede «on-line» tane iriliği analizini tesislere uygulamış ve değirmen devresinde ham cevher giriş kapasitesini % 20 civarında arttırmıştır. (41)

Rusyada bir tesisin öğütme devresinde uygulanan otomatik kontrol sayesinde enerji sarfiyatı % 6 azaltılırken, öğütme kapasitesi % 20 arttırılmıştır. Buna benzer bir sistem basan ile Finlandiya'daki cevher hazırlama tesislerinin öğütme ünitelerini kontrol etmektedir. (42)

Flotasyon prosesinin kontrolünde ise tesise giren cevherin ve tesisi terkeden ürünlerin metal analizleri, x-ray analiza-

törü ile otomatik olarak her 5 veya 15 dakikada bir yapılmakta, elde edilen done-ler önceden programlanmış bir kompu-ter vasıtası ile değerlendirilerek, reaktif miktarlarının, selül köpük seviyesinin v.s. ayarlanması otomatik olarak yapılmakta ve optimal flotasyon şartları hazırlanmaktadır. (43)

Texas Gulf şirketine bağlı Ecstall Mining Ltd. in Kanada'daki Kidd Creek Cu, Pb, Zn flotasyon tesisi tamamen «on-stream» x-ray analizatörü ve bir kompu-terle yönetilmektedir. Sistemin kurulma-sından sonra konsantre tenor ve verim-leri yükselmiş, reaktif sarfiyatı % 12 ora-nında düşmüştür. Bakır verimindeki ar-tış % 0.8 i, Zn verimindeki ise % 1.6 yi bulmuştur. (8)

International Nickel Company of Canada Ltd. in yeni kurulan Clarabelle, flotasyon tesisinde önce sulu manyetik separatörle, cevherin içerdiği pirotin ayınlamakta, sonra Cu, Ni mineralleri kollektif olarak yüzdürülmektedir. Flotas-yon bölümü otomatik kontrol ve kompu-ter ile teçhiz edilmiştir. Otomatik kontrolün devreye girdiği tarihten itibaren konsantredeki nikel tenörü % 8.21 den % 8.67 ye yükselmiş, artıktaki nikel ka-çağı % 0.126 dan % 0.107 ye düşmüş, dolayısı ile verim artmıştır. (8)

Finlandiya'da Vihanti Cu, Pb, Zn flo-tasyon tesisinde otomasyondan önceki ve sonraki neticeler aşağıdaki tabloda be-lirtilmiştir :

	Cevher tenörü	Bakır Konsantresi			Cu verimi
	% Cu	% Cu	% Zn	% Pb	%
Otomasyonsuz	0.53	22.09	4.71	2.53	76.9
Otomasyon ile	0.57	24.12	3.24	1.91	79.4

Otomatik kontrol sayesinde yukarıdaki tesisin Cu konsantresi içindeki Pb ve Zn tenörleri düşmekte, konsantre tenörü artarken bakır verimi % 2.5 yükselmektedir.

USA'da Missouri Lead Belt Fletcher flotasyon tesisine otomatik kontrol sistemi kurulmuş, konsantre tenörü % 64 Pb ve % 4.4 Zn den % 70.8 Pb ve % 2.9 Zn ye ulaşmıştır. Yalnız Zn konsantresin-

de bu sistemle bir senede elde edilen kâr, x-ray analizatör ve kontrol sisteminin maliyetinin tamamının ödenmesine kâfi gelmiştir. (44)

Otomatik kontrol yukarıdaki avantajlardan başka, giriş cevherinin iyi karışma zorunluluğunu ortadan kaldırmakta, maden işletmesinin daha bağımsız çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca değişik özellikteki cevherler birarada işlenebilmekte her cevher çeşidi için kurulması gereken küçük üniteler birleştirilerek daha büyük birim kapasitelerine gidilebilmekte, bu suretle yüksek kapasiteli cevher hazırlama makinalarının avantajlarından istifade edilebilmektedir.

Otomatik kontrol, bu faydalarından başka, cevher hazırlama yöntemlerinde daha geniş imkânlarla araştırma yapmayı sağlar ve verdiği donelerle araştırmayı teşvik eder. Analitik laboratuvarının yükünü geniş ölçüde azaltır. İdarecilere işletme sorunları hakkında kesin ve çabuk bilgi verir.

Otomasyonda en önemli sorun bilhassa öğütme ve flotasyon devrelerinin matematiksel modüllerinin tayinidir. Bu sahada madencilik ile ilgili her üniversite, araştırma merkezi ve hattâ bazı büyük zenginleştirme tesislerinde kesif çalışmalar yapılmaktadır. (45), (46), (47).

Tesis suyu devridaimi ve çevre kirlenmesi :

Bakır flptasypn tesislerinde ton cevher başına düşen su sarfiyatı, artık suyunun tamamının kaybedildiği kabul edilirse 3-5 ton kadardır. Su bakımından zengin bölgelerde bile, tatlı su kıymetli bir malzemedir. Bu sebepten genellikle flotasyon tesislerinde artıklardan geri kazanılan su tekrar devreye verilir.

Mesela Kanada'daki bütün flotasyon tesislerinin % 85 inde su devridaimi mevcuttur ve bu suyun miktarı % 75 kadardır. Yani, tesis ihtiyacının dörtte biri taze su, dörtte üçü ise bu yoldan kazanılan sudur.

Flotasyon tesislerine suyun devridaiminin faydaları aşağıda özetlenmiştir :

- Akarsuların, göllerin ve denizlerin kirlenmesini önlemek,
- Taze su, pompalarla getiriliyorsa, bunu azaltarak enerji tasarrufu sağlamak,
- Tesis için gerekli suyu, tabiat koşullarına bağlı olmadan temin etmek,
- Artık suyu içindeki toplayıcı, köpürtücü, PH ayarlayıcı gibi reaktifleri tesise geri vererek, reaktiflerden tasarruf sağlamak,
- Miktarı azalan artık suyunu, çevre kirlenmesi açısından, daha kolay kontrol etmek,
- Soğuk iklimlerde artık suyunun taze suya nazaran daha yüksek olan sıcaklığından flotasyonda faydalanmak,
- Madenden gelen taze suyun içindeki, flotasyonu ters yönden etkileyebilen bazı maddelerden korunmak.

Bunların yanısıra devridaim suyunun da şlam konsantrasyonunun, veya cevherden gelen bazı zararlı iyonların artması gibi dezavantajlarda mevcuttur.

Aşağıdaki tabloda Kanada'daki 20 den fazla flotasyon tesisindeki yabancı eleman ve iyonların ortalaması, bir fikir edinilmesi için verilmiştir :

Tablo 3 : Artık suyundaki yabancı madde iyonları.

Yabancı madde	kısım/milyon (ppm)
Fe	0.5 -0.89
Cu	0.01-0.45
Zn	0.03 - 0.2
Ca	345
Na	34
CN	0.2 -0.36
Xanthat	0.21
katı madde	100
pH	7.3 -11.2

Almanya'da Meggen flotasyon tesisinin maden sularından beslenen taze suyu içindeki Fe^{+2} iyonları klorlu bileşiklerle F^{+3} e oksitlenmekte ve bu iyonlar kireç ilâvesi ile $Fe(OH)_3$ olarak çöktürülmektedir. Birinci kademenin 6 olan pH'ı ikinci kademedeki 9 a yükseltildiği zaman suyun içindeki Zn iyonları çökmekte ve % 35 Zn ihtiva eden bu çökelti ekonomik yönden değerlendirilmektedir. (48)

Sovyet Rusya'da artık sularındaki siyanür, AB 17 reçine ile pilot tesisi denemelerinde başarı ile temizlenmiştir. (49)

En büyük problemlerden birisi de artık göllerinde biriken tozların rüzgâr vasıtası ile taşınarak uzak bölgelere kadar götürülmesi ve şehirleri tehdit etmesidir. Buna karşı, ya rüzgâr tutucu engeller yapılmakta veya özel stabilizatörler kullanılmaktadır. Örneğin Kennecott Copper Corp., bir petrol ürünü ve reçine

karışımından meydana gelen bir emülsiyonu artık gölü yüzeyine püskürtmekte ve toz oluşumunu geniş ölçüde önlemektedir.

Bazı artık sularındaki zararlı maddeler, iyon değiştiricilerle temizlenebilir. (50)

U.S.A.'da tüm alanın % 0.14 ünün madencilik faaliyetleri ile bozulduğu söylenmektedir. (51), (52)

U.S.A. ve Kanada'da su ve hava kirlenmesini önlemek için çıkan kanunlar getirdikleri sert tedbirlerle, metalürji ve madencilik firmalarını bu konuda büyük yatırımlar ve araştırmalar yapmaya zorlamaktadırlar. Son yıllarda flotasyon mühendislerinin masalarında, Taggart'ın «Handbook of mineral dressing» kitabının yanında «Tatlı sularda balık ve yosun nasıl yetiştirilir» gibi kitaplara sık sık rastlamak mümkündür. (8)

BİBLİYOGRAFİK TANITIM

- (1) — COPPER, F.D.: Copper hydrometallurgy. US Bureau of Mines IC. 8394.
- (2) — YAZAN, H. Avni : Cevher Hazırlamada ders notları 1973. (Basılmamış).
- (3) — 50. Anniversary, p, 85.
- (4) — MOTEK, H. : Zement - Kalk-Gips, Nov. 1971, Vol. 60, p. 497-498.
- (5) — Aufbereitungstechnik, July 1971, Vol. 12, p. 416.
- (6) — VOGENO, M.: Montan Rundschau, Nov. 1971. 19, p. 293-294.
- (7) — Symons Cone Crushers, Nordberg Machinery Group, Bull. e,p. 20-21.
- (8) — YAZAN, H. Avni : Kuzey Amerika Tetkik gezisi raporu, 1972. (Yayınlanmamış).
- (9) — CHRISTIE, DJ. Mining Eng. Feb. 1972, Vol. 24, p. 86-87.
- (10) — KARPINSKI, J.M. : Mining Eng. Feb. 1972, Vol. 24, p. 90-91.
- (11) — Ball Mills, Allis Chalmers Catalog, Bull. 67B 192-02.
- (12) — YAZAN, H. Avni: Almanya Tetkik gezisi notları 1973. (Yayınlanmamış).
- (13) — THORING, T. : Eng. Mining Journal, Jan. 1965, Vol. 170. p. 66-67.
- (14) — DERMATT, W.F. : Mining Eng. Jan. 1969, Vol. 21, p. 39.
- (15) — MÜLLER, H.B. : Australian Min. and Metall. March 1969, p. 61-68.
- (16) — FAUCHER, T.A.R. : Canadian Min. Journal, June 1969, Vol. 90, p.69-73
- (17) — VOLIN, M.E. : Min. Eng., Aug. 1962, Vol. 21, p. 40.
- (18) — Canadian Min. ; Jour. Sept. 1968, p :69r75.;

- (19) —FAGERBERG, B. : Min. Eng. Oct. 1965; Vol. 21, p. 64-69.
- (20) — CIESLINSKI, W. : Cement Wopa Gips, Feb. 1971, Vol. 19, p. 293-294. Vol. 26, p. 33 - 37.
- (21) — Revue del'Ind. Minerale, July 1971, Vol. 53, p. 588-592.
- (22) — MAXWELL, J.R. : 73rd. Annual General Meeting of the CIMM, April 1971.
- (23) — Ore Bits, Zinc Corp. Ltd. Broken Hill, Nov. 21, 1969.
- (24) —VÎLCZYNSKÎ, P.: Meeting of GDBM, Oct. 1971.
- (25) —HORVATHYL. : Banyaszat, March 1971, Vol. 104, p. 185-187.
- (26) — TURNIKOVA, V.I.: Tsvetnye Metall, Sept. 1971, Vol. 44, p. 97-99.
- (27) —MAKOVSKÎJ, N.D. : Obogasche-[^]mieRud, 1971, V. 16, No. 6, p. 15-20
- (28) —LAST, A. W., STEVENS, I. L., EATON, L. : LPF treatment of raw ore. Min. Eng. Vol. 9, 1957, p. 1236-1248.
- (29) —ŞÎLO, R.S. : The PFO process for the treatment of oxidized Copper Ores. Min. Eng. 1965, Vol. I, 353-354.
- (30) —SCHUBERT, H., KRUG, G. : Neveltalte 5 (1960), No. 4, p. 184-193.
- (31) —RAVINDRANATH, K., PATEL, C. C. : Intermet. Bull., July 1971, p. 43.
- (32) —LUKKANEN, T.: Wold Mining, July 1971, Vol. 24, p. 32-37.
- (33) —EDLUND, V.E., HUSSEY, S.J. : Bureau oî Mines report of Inves. 1972, RI 7562.
- (34) — YAZAN, H. Avni, AKAR, Ali., ARIK Turgut. : Etibank Murgul Bakır işletmesi, konverter cüruflarının flotasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Ens. Diploma çalışması. (Yayınlanmamış)
- (35) —HAKURA, K. : Journal of metals, 1969, VoT"2İ, p. 30.
- (36) — YONEZAWA, T. : WorldMin. April 1967, p. 58-64.
- (37) — The black ore district of Hokaroku, Min. Eng. May 1968, p. 59-65.
- (38) —NEUMAN, G.W., : E/MJ, Vol. 171, May 1970, p. 78-99.
- (39) —HOLLAND - BATT, A.B.: Trans. Ins. Min. Metall, 1968, p. 185-190.
- (40) — TREASURE, C.R.G., WARREN, M. Proc. Soc. Anal. Chem. 1968, Vol. Proc. Soc. Anal. Chem. 1968, Vol.5.
- (41) —MUSGROVE Jr. P.M.: Paper presented at Annual meeting AIME, Sept. 1971, Seattle.
- (42) — LEPPALLA, A. : Paper presented at AIME Meeting, New York, Feb. March 1971.
- (43) — FOWLER, H.B. : Can. Min. Journal, June 1971, Vol. 92, p. 49-56.
- (44) — KROKROSKÎA, E J. : AIME Symposium on Pb/Zn Metallurgy, St. Louis, 1970, Vol. 1, p. 642-667.
- (45) — SMITH, H.W., BJERRING, A.K. : Int. Computer Symposium, Sait Lake City, Sept. 1969. Min. Eng. June 1969, Vol. 21, p. 42.
- (46) — THIES, G. : Erzmetall, Oct. 1969, Vol. 22, p. 488492.
- (47) —PUTMAN, R.E.J.: Quartly Jour. Colorado Sch. Mines, July 1969, Vol. 64, p. 345-364.
- (48) — BERGMANN, A. : World Mining, Sept. 1971, Vol. 24, p. 48-51.
- (49) — DEMÎNOV, V.I. : Tsvetnye Metall April 1971, Vol. 44, p. 83-86.
- (50) — Chemical Eng., June 28, 1971, p.61.
- (51) —KUCKELHAUS, W.D. : Eng. Min. Journal, April 1971, Vol. 172, p. 71-75.
- (52) —CUCCIOME, G. : fiag. Min. Journal, April 1971, Vo.l 172, p. 82-84.