

KBİ SAMSUN İZABE TESİSİ CÜRUF VE FLOTASYON ARTIKLARININ METAL İÇERİĞİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

ismet UZKUT (*)
Ferhat TUNÇER ()**

ÖZET

Flash yöntemiyle çalışan KBİ Samsun bakır izabe tesisinde bakır konsantreleri ile birlikte yüksek bakır tenörlü (% 5 - 6) Küre pirit cevherleri birlikte izabe edilmektedir. Uygulanan yöntemin doğal bir sonucu olarak elde edilen flash cürufunda Cu oranı yer yer % 3'ü aştığından, bütün dünyadaki flash yöntemiyle çalışan örneklerinde olduğu gibi, KBİ'de de ek bir işlemle cüruftaki bakır flote edilerek değerlendirilmektedir.

Yapılan araştırmalar, KBİ cürufunun % 2,13 Cu yanında, % 4,27 Zn, % 0,24 Pb, % 0,127 Co ve 183 g/t Mo ile 108 g/t Ag içerdiğini ortaya koymuştur. Uygulanan flotasyon yönteminde bakır dışındaki yararlı elementlerin % 55,8 ile % 99,5 arasında değişen bölümleri flo-

(•*) Doç. Dr., Makina Fak. Maden Müh. Böl. E.U.; İZMİR
(**) Maden Mühendisi.

tasyon artığına geçerek değerlendirme dışı kalmaktadır. Nitekim, 1980 Mart ayı fiyatlarıyla hamdeğeri 322 ABD Doları olan bir ton izabe cürufundan yalnızca 53,5 Dolarlık bölüm değerlendirilmekte, geri kalan 268,5 Dolarlık (% 83,4'ü) bölüm artığa verilerek kaybolup gitmektedir.

Çalışmada, var olan uygulama yerine cürufun flotasyona bağımlı tutulmadan doğrudan «Duisburger Kupferhütte» Prosesine bağımlı tutulması öngörülmektedir. Cürufun belirli oranda kayatuzu ile karıştırılıp 600 °C de kavrulduktan sonra, bu kavurma işleminden elde edilecek HCl ile liçini kapsayan bu yöntem yardımıyla, cüruf içindeki yalnızca Cu değil, belirtilen tüm yararlı elementleri % 90 m üzerindeki verimle elde etmek olanaklı olabileceği gibi cüruf içindeki % 56,3 oranında bulunan demiri de kaliteli demir konsantresi durumunda elde etmek olanağı bulunmaktadır.

1978 yılı değerleri ışığında, KBI'ne cürufun doğrudan «Duisburger Kupferhütte» prosesine bağımlı tutulup bakırla birlikte diğer yararlı elementlerin elde edilmesi ile yılda 58,8 milyon Dolarlık (yaklaşık 5 milyar TL.) bir ek gelir sağlamak olanaklıdır. Ayrıca, şimdiye kadar elde edilen flotasyon artıklarının bu prosese bağımlı tutulmasıyla da 200 Milyon Dolarlık ürün elde edilebilecektir.

Prosesin diğer ülkelerde metal içeriği daha düşük pirit kavurma artıklarında ekonomik olarak uygulanabilmesi ve üstelik KBI'ne maliyeti ton cüruf başına 30 Dolar olduğu tahmin edilen flotasyon işleminden yapılacak artırım, prosese KBI'de başarılı bir uygulama güvencesi vermektedir.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

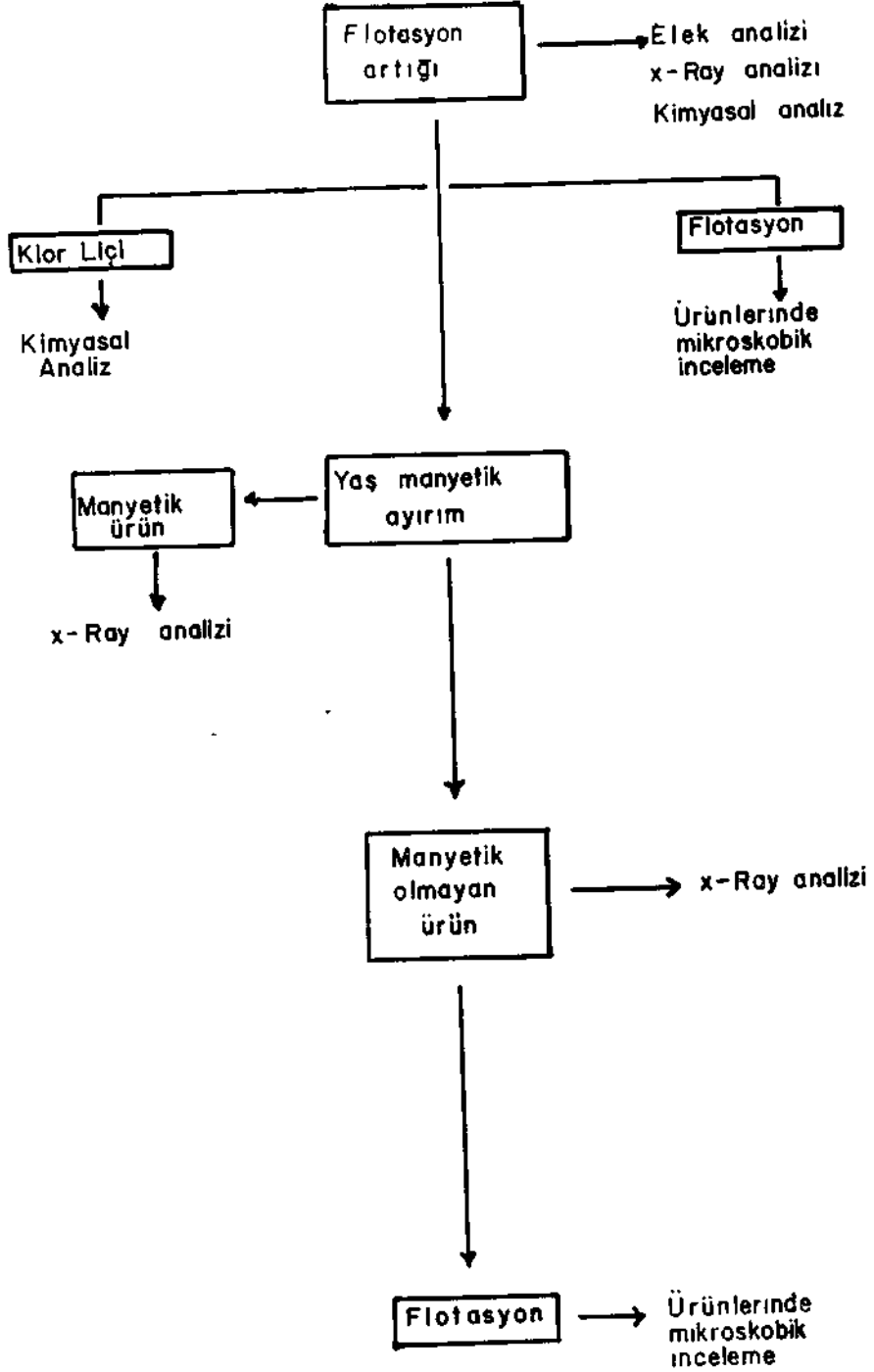
16 Mart 1973 tarihinde üretime geçen ve 40.800 ton/yıl kapasiteli olarak kurulan Karadeniz Bakır işletmeleri'nde aradan 8 yıla yakın bir süre geçtiği halde üretim bir türlü amaçlanan kapasiteye ulaştırılamamıştır. Bunun çok sayıda nedeni olmakla birlikte (hammadde yetersizliği, kadro yetersizliği, elektro-filtre, ön ısıtıcı, refrakter soğutma ünitelerindeki yetersizlikler v.s.) kuşkusuz en önemli neden izabe yöntemi olarak az denenmiş ve uygulaması çok duyarlı olan flash yönteminin seçilmiş olmasıdır, üstelik bu yöntemde, başka bakır izabe yöntemlerinde gerek olmayan cüruf flotasyonu sorunu ortaya çıkmıştır. Zira, flash matının bakır tenörü genellikle % 50'nin üzerinde bulunduğundan cürufta % 3'ün üzerinde bakır birikmekte ve bunun ek bir işlemle tekrar elde edilmesi zorunluluğu doğmaktadır. Bu ise genelde ve KBİ örneğinde flotasyon yoluyla gerçekleşmektedir.

Cüruf flotasyonunun KBİ'deki uygulamasında da çeşitli sorunlar ortaya çıkmış ve tesis müdürlüğünden alınan sözlü bilgilere göre flotasyon artıklarındaki bakır oranları zaman zaman % 1'in üzerine çıkarak önemli bakır kayıplarına neden olmuştur.

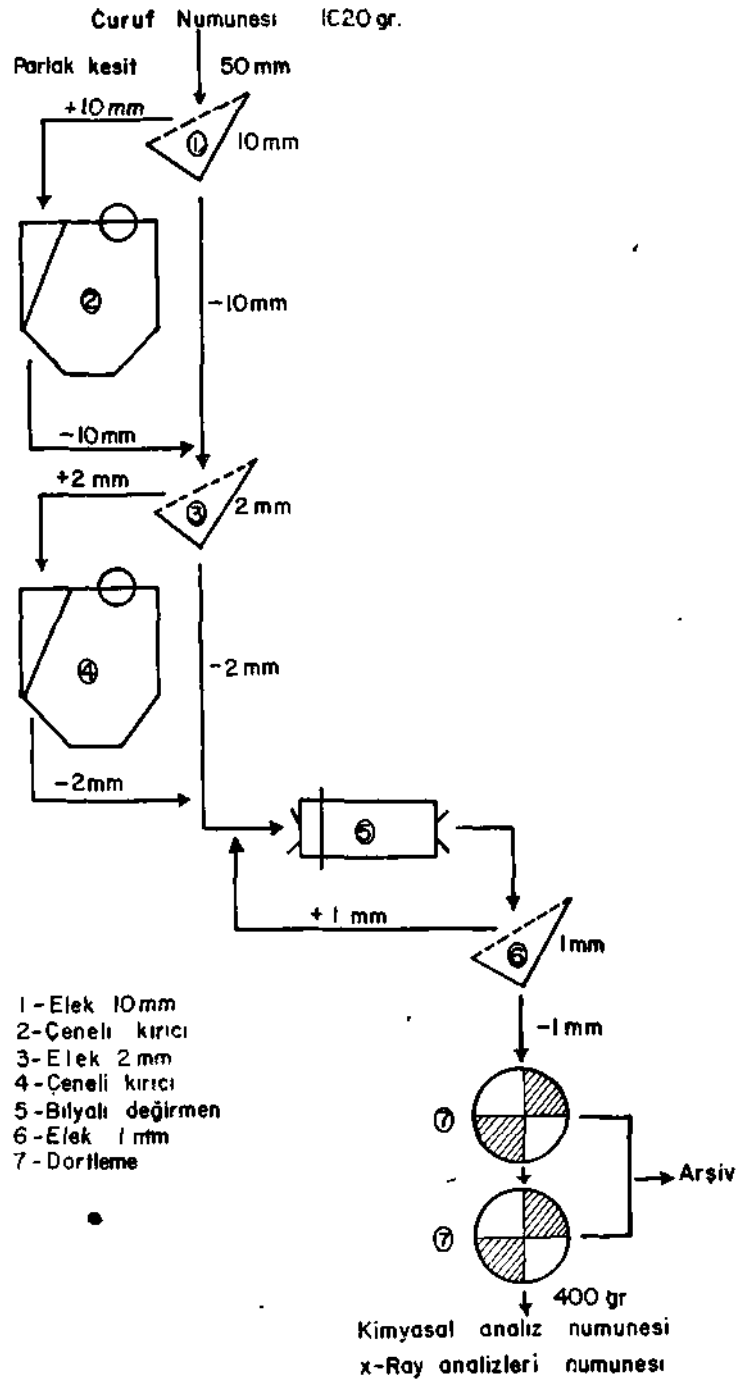
öte yandan oksijene karşı afinitesi, bakıra göre daha yüksek olan başta kobalt olmak üzere molibden, nikel gibi demir alaşım metallerinin ve kurşun, çinko gibi alacalı metallerin flash matından daha çok cürufta biriktiği bilinen bir gerçektir. Bu açıdan, bu tür flotasyon artıkları bu elementler için önemli bir potansiyel oluşturmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı KBİ de uygulanan proses ışığında çeşitli aşamalardaki, başta bakır olmak üzere, metal dağılımını belirliyerek daha iyi değerlendirme olanaklarını ortaya koymaktır. Bunun için cüruf ve cüruf flotasyon artıkları numuneleri Şekil. 1 ve 2'de özetlendiği gibi mikroskobik, röntgenografik ve yaş analitik incelemelere bağimli tutulmuş ve bu arada, flotasyondan başka manyetik ve hidrometalurjik ayırma yöntemleride denenmiştir.

Tüm bu araştırmalar ve analizler E.ü. Makina Fakültesi Maden Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil. 1 — Flotasyon Artığı Araştırma Akım Şeması.



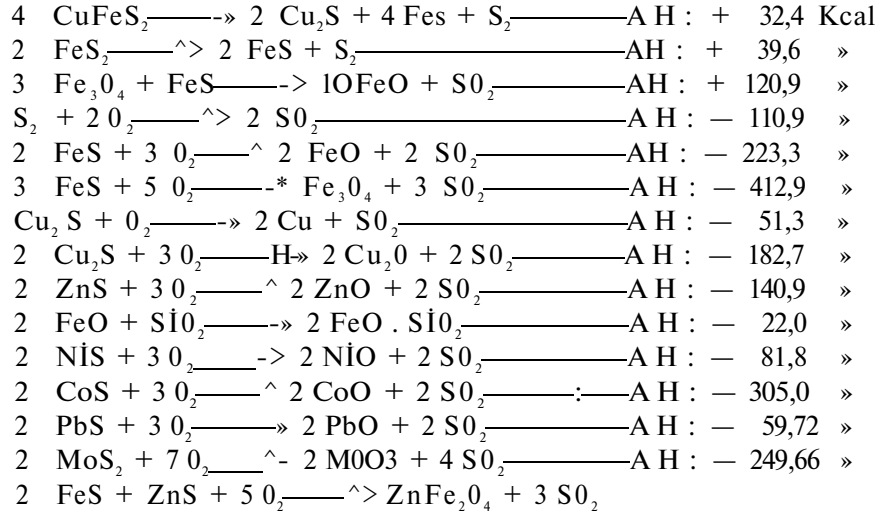
Şekil. 2 — Çuruf Araştırma Akım Şeması.

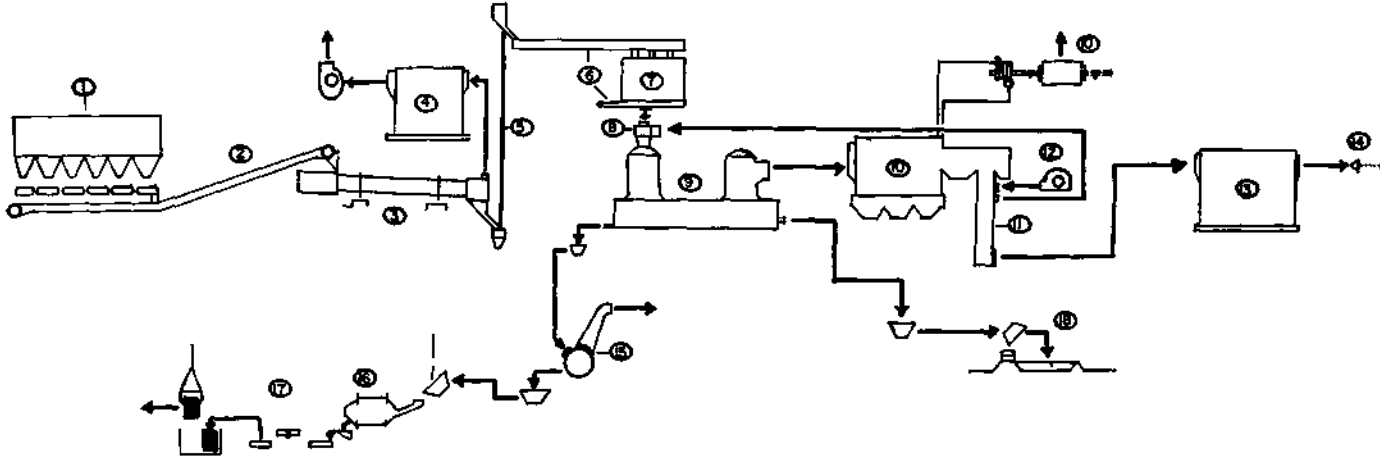
2. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

21. ÇEŞİTLİ ELEMENTLERİN KARADENİZ BAKIR İŞLETMELERİNDE UYGULANAN PROSESTEKİ DAVRANIŞLARI

Genel olarak flash yöntemini kavurma ve ergitmenin tek bir" işlemlerle gerçekleştirildiği ve bunun için bakır konsantresi içindeki fazla kükürtün enerjisinin kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlamak olanaklıdır» Yöntemin kaba bir akım şeması Şekil. 3'de sunulmuştur. Buna göre kurutulmuş bakır sülfür konsantreleri bir reverber fırınına oksijen ile birlikte yatay olarak verilmekte ve metal sülfür tanecikleri fırın tabanına doğru hareketleri sırasında oksitlenmekte ve bu olay anında ortaya çıkan ısı yoluyla da ergiyerek fırın tabanında biriktirmektedir. Oksitlenme olayı yalnızca demir sülfürleri değil, başta molibden, nikel, kobalt, kurşun, çinko gibi elementlerin sülfürlerini de kapsamakta ve bunların oksit olarak tabana çökmelerine neden olmaktadır, üstelik bu oksitlenme işleminden bakır da etkilenmektedir. Nitekim cüruftan alınan numunelerin parlak kesitindeki mikroskopik gözlemler cürufta bakırın çok az bölümünün Cu_2S (kalkozin) durumunda bulunduğunu, ana bölümün Cu_2O (kuprit) haline dönüştüğünü göstermiştir. Bakırın az bir bölümüne de nabit bakır durumunda rastlanmıştır.

Bakır konsantresinin fırın içine püskürtülmesi ile oluşan tepkimeleri ve bu tepkimelerle açığa çıkan enerjileri (Hand-Book of Chemistry and Physics, 1970 - 71 verilerine göre) şu şekilde özetlemek olasıdır.





- | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|
| ① Konsantre stok yeri | ⑦ Besleme silosu | ⑬ Elektro filtre |
| ② Lastik band konveyör | ⑧ Konsantre brülörü | ⑭ Gaz aspiratörü |
| ③ Kurutucu | ⑨ Flaş ergitme fırını | ⑮ Konverter |
| ④ Kurutucuya bağlı elektro_filtre | ⑩ Gaz kazanı | ⑯ Anot fırını |
| ⑤ Pnömatik konveyör | ⑪ Isı eşanjörü | ⑰ Anot dökümü |
| ⑥ Konveyör (Redler) | ⑫ Primer hava vantilatörü | ⑱ Curuf dökümü |
| | | ⑲ Türbe jeneratör |

Şekil. 3 — Flaş Tipi Ergitme Tesislerinin Basitleştirilmiş Akım Şeması (Cankut 1973'e göre).

özetlenecek olursa bakır konsantrelerinin önemli bileşenleri durumunda olan çinko, kobalt, kurşun, nikel, molibden gibi elementler bakırın tersine, daha kolay oksitlenerek cürufu yer alacak biçimde davranış göstermektedirler. Bunlardan çinko hem oksit olarak hem de ferrit olarak mattan daha çok cürufa geçmektedir. Nitekim Karadeniz Bakır İşletmeleri cürufunun içeriğinde bulunan % 4,27 oranındaki çinkonun % 81,5 gibi önemli bir bölümü cüruf flotasyon işleminde bakır konsantresine değil de artığa geçmektedir, üstelik görünüşe göre flotasyon artığındaki çinkonun yarıya yakın bölümü (%44,6) manyetik ürün içinde ferrit olarak yer almıştır (Tablo No. L).

Tablo, l'den çinko yanında diğer elementlerin flash izabe yöntemi ve onu izleyen flotasyon işlemindeki davranışları hakkında veri elde etmek olanaklıdır. Tablodan da görüleceği gibi cürufun kaynaklandığı matın kimyasal bileşimi bilinmemektedir. Ancak, elde edilen matın konverterlere verildiği, konverterlerde elde edilen bilister bakırın % 99 - 99,6 arasında bakır içerip hiç kurşun, çinko, molibden ve kobalt içermediği, 15 - 20 gr/ton altın, 160 -180 gr/ton gümüş ve 150 -160 gr/ton selenyum içerdiği KBİ (1979) da da belirtilmektedir. Ayrıca aynı yayında konverter cürufunun da flash mat cürufu ile birlikte flotasyona bağımlı tutulduğu belirtilmektedir. Başka bir deyimle adı geçen elementler flash ergitme işleminde flash matında birikmiş olsalar bile sonuçta flotasyona bağımlı tutulan cürufu toplanarak Tablo. 1 deki davranış göstereceklerdir.

Flotasyon işleminden kaynaklanan % 15 -18 bakır içerikli ve içeriğindeki bakırın Cu_2O , Cu ve Cu_2S durumunda bulunduğunu saptadığımız cüruf flotasyon konsantresi de, yeni gelen sülfürlü bakır konsantreleri ile birlikte, yeniden flash izabesine bağımlı tutulmaktadır. Tesisten ayrılan son ürün bileşimi yukarıda belirtilen blister bakır olduğuna göre bakır, altın, gümüş ve selenyum dışındaki tüm elementler cüruf flotasyon artığında kalmakta ve bir anlamda bakır elde edildiği oranda derişimleri artmaktadır.

Tablo. 1 den çinko, molibden ve kobalt'ın flotasyon işleminde bakır konsantresi yerine % 81,5-99,53 arasında değişen oranlarda doğrudan artığa geçtiği anlaşılmaktadır. Bu oran kurşun da %55,83 tür. Bakır ise % 12,77 lik bir değerle flotasyon artığında yer almaktadır.

Tablo 1 — Bakır, Çinko, Kobalt, Molibden ve Kurşunun cüruf, cüruf flotasyon konsantresi, cüruf flotasyon artığı, flotasyon artığı manyetik ve manyetik olmayan ürünlerdeki dağılımı.

Cüruf	Flotasyon Konsantre		Flotasyon Artığı		Flotasyon Artığındaki Manyetik Ürün		Flotasyon Artığındaki Manyetik Olmayan Ürün	
	Tenör (%)	Verim	Tenör (%)	Verim	Tenör (%)	Verim	Tenör (%)	Verim
BAKIR (Cu)	2,13	87,23	0,305	12,77	0,408	34,40	0,206	65,6
ÇINKO (Zn)	4,27	19,5	3,86	81,5	3,52	44,6	4,20	55,4
KOBALT (Co)	0,127	0,47	0,142	99,53	0,122	43,7	0,163	56,3
MOLİBDEN (Mo)	0,0183	12,57	0,018	87,43	0,0298	80,35	0,007	19,65
KURŞUN (Pb)	0,24	44,17	0,15	55,83	0,18	59,04	0,12	40,96

Flotasyon artığının manyetik ayırım işlemine bağımlı tutulmasında, çinkonun % 44,6 sı, bakırın % 34,40 ı, kurşunun % 59,04 ü, kobaltın % 43,7 si ve molibdenin % 80,35 inin manyetik üründe yer aldığı anlaşılmaktadır. Manyetik ayırım molibden dışında bu elementlerde sağlıklı bir ayırım getirmemektedir. Üstelik molibden, çinko, kobalt, hatta bir anlamda kurşunun büyük bir olasılıkla daha flash ergitme işlemi esnasında oksitlenerek demir ile birlikte ferrit oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu elementlerin flotasyon işleminde bakır konsantresi yerine artığa geçmesinin başka bir nedeni de budur.

Bütün bu veriler, flash ergitme yönteminde KBI'deki uygulanan biçimi ile bakır, gümüş, altın ve selenyumun dışındaki elementlerin tümünün flotasyon artığına geçtiği ve bakır verimi ile orantılı biçimde zenginleşerek artık içinde yer aldığını göstermektedir. Manyetik ayırım bu element dağılımında molibden dışında büyük bir değişiklik getirmemektedir. Bu nedenle, endüstriyel bir uygulama için söz konusu olamaz.

2.2. KARADENİZ BAKIR İŞLETMELERİ CÜRUFU

KBI cürufunda yapılan mikroskobik gözlemler şu bulguları göstermiştir :

1 — Bakırın büyük bölümü kuprit (Cu_2O) halindedir. Cüzi oranda metalik bakır ve kalkozin'e (Cu_2S) rastlanılmıştır. Tahmini bir dağılım orarı vermek gerekirse bu değerlerin Cu_2O için %65, Cu için % 25 ve Cu_2S için % 10 dolayında olduğu söylenebilir. Bu değerler KBI'deki flash ergitme işleminin, büyük bir olasılıkla yüksek oksidasyon potansiyelinde uygulandığını göstermektedir.

2 — Parlak kesitte opak olarak tane iriliği 50 mikronu aşmayan manyetit oluşumlarına da rastlanmıştır. Manyetik ürün analizlerinden de anlaşılacağı gibi, bu taneler büyük bir olasılıkla içeriğinde molibden, çinko ve kobaltında yer aldığı ferrit oluşumlarıdır. Bu nedenle, manyetik özelliğe sahip bu tanelerin, ileride belirtilecek Monte Catini Prosesi'nde olduğu gibi, manyetik ayırım yoluyla demir konsantresi olarak elde etmek olanaklı görülmemektedir.

KRI (1979) yayınlarında belirtildiği gibi KBI de konverter cürufları da flash cüruflarına eklenerek birlikte flotasyona bağımlı tutamaktadır. Başka bir deyimle Tablo 2 de belirtilen kimyasal

bileşim yalnızca KBI flash cürufunun değil, belli bir oranda konverter cürutanun da bileşimini yansıtmaktadır. AncaK konverter cüruflarının miktarı belli olmadığı için gerçek orantı bilinmemektedir

Tablo 2 — KBI Cüruf ve Flotasyon Artıklarının Kimyasal Bileşimi.

	Cüruf (%)	Flotasyon Artığı (%)
SiO ₂	25,1	22,3
ZFe	56,31	39,28
MgO	—	—
CaO	3,45	2,43
Na ₂ O	0,1	0,06
K ₂ O	0,07	0,03
S	2,16	1,40
Cu	2,13	0,305
Pb	0,24	0,15
Zn	4,27	3,86
Co	0,127	0,14
Mo	0,0183	0,018
Ag	0,0108	0,0097

Köken ne olursa olsun KBî cürufunda % 2,13 bakır bulunmaktadır ve bunun kesinlikle değerlendirilme zorunluluğu vardır.

öte yandan, % 56,31 lik demir değeri ile % 2,16 lık kükürt değeri, yalnızca bakırın değil demirinde çoğunluğunun cüruf içinde, oksit durumunda ve ferrite bağlı olarak bulunduğu başka bir belgesidir.

KBî cürufundaki ana elementler dışındaki elementlerin varlığı önce X - Ray Spektrometrik yöntemle saptanmış ve Tablo : 2'de sunulmuştur. Tablo : 2'den anlaşılacağı gibi, cüruf içinde metallerden ana element olarak demir, çinko ve bakırın yanında iz element olarak kurşun (% 0,24), kobalt (% 0,127), gümüş (% 0,0108) ve molibden (% 0,183) bulunmaktadır. Varlığı bilindiği halde, içerikteki altın oranı teknik olanaksızlıklar nedeni ile saptanamamıştır, örnekleme ile yaklaşık 1 gr/ton dolayında altın olabileceğini söylemek olasıdır.

KBt'deki uygulama tamamen bakıra dayalı olarak gerçekleştirildiği için, içerikteki % 2,13'lük bakır nedeni ile cüruf flotasyona bağımlı tutulmakta ve % 87,23'lük verimle ortalama bileşimi % 17 olan bakır konsantresi elde edilmektedir (Tablo: 1). Oysa cüruf içinde, normal koşullarda ana ürün olarak bile ekonomik olabilecek % 4,27 oranında çinko ve % 0,127 oranında kobalt bulunmaktadır. Bakır dışındaki elementlerin 1 ton cüruf içeriğindeki Mart 1980 fiyatları ile olan değerleri hesaplanırsa :

% 4,27	Çinko için	: 42,7	kg X 82,7	cts = 35,31 dolar.
% 0,127	Kobalt için	: 1,27	kg X 68,3	dolar = 86,8 dolar.
% 0,0183	Molibden için	: 0,183	kg X 16,5	dolar = 3,0 dolar.
% 0,24	Kurşun için	: 2,4	kg X 1,09	dolar = 2,62 dolar.
% 0,0108	Gümüş için	: 0,108	kg X 3,81	ons =
			3,81	ons X 35,09 dolar = 133,7 dolar

olmak üzere toplam 261,43 dolar tutmaktadır. Oysa cürufun yalnızca ton başına bakır içeriğine dayalı değeri ise :

$$\% 2,13 \text{ Bakır için} : 21,3 \text{ kg X } 2,9 \text{ dolar} = 61,8 \text{ dolar.}$$

olmaktadır. Başka bir deyimle toplam ham değeri 323,23 dolar olan KBİ cürufundan buradaki uygulamasında % 87,23'lük bir verimle 53,9 dolarlık bakır elde edilmekte, içinde 7,9 dolarlık bakır ile birlikte 269,3 dolarlık bölüm artığa verilmektedir. Yararlanılan değer böylece toplam değerlerin % 16,7'sini aşmamakta geri kalan % 83,3'lük bölüm kaybolup gitmektedir.

2.3. KARADENİZ BAKIR İŞLETMELERİ FLOTASYON ARTIĞI

KBİ tesisi tarafından araştırma için teslim edilen flotasyon artığının kimyasal bileşimi Tablo : 2'de verilmiş ve kökenini oluşturduğu cürufun kimyasal bileşimi ile karşılaştırılmıştır. "Uygulanan flotasyon işleminden elde edilen flotasyon konsantresi hakkında tenorunun % 17 olması dışında herhangi bir veri bulunmamaktadır.

Tablo : 2'den de görülebileceği gibi flotasyon işlemi sonunda kobalt dışında tüm bileşenlerin artıktaki tenörleri cürufa göre azalmaktadır. Bu azalma molibden, gümüş, çinko da az: silis, demir, kalsiyum oksit, potasyum oksit, sodyum oksit, kükürt, bakır ve kurşunda oldukça yüksektir. Başka bir deyimle flotasyon konsantresinde bakırın yanında kükürt, demir, silis, kalsiyum, sodyum, potasyum, kükürt ve kurşun tenörlerinin arttığını söylemek olasıdır

Araştırmanın temelini oluşturan artıkların elde edilimi sırasında flotasyon koşulları hakkında somut veriler bulunmamasıyla birlikte genel uygulamanın Cöcen (1977) den alınan Tablo : 3'de belirtilen koşullarla yapıldığı söylenebilir. Araştırma konusu flotasyon artıklarının elek analiz sonuçları Tablo : 4 ve Şekil. 4'te gösterilmiştir.

Tablo : 3 — KBi'de Uygulanan Flotasyon Koşulları

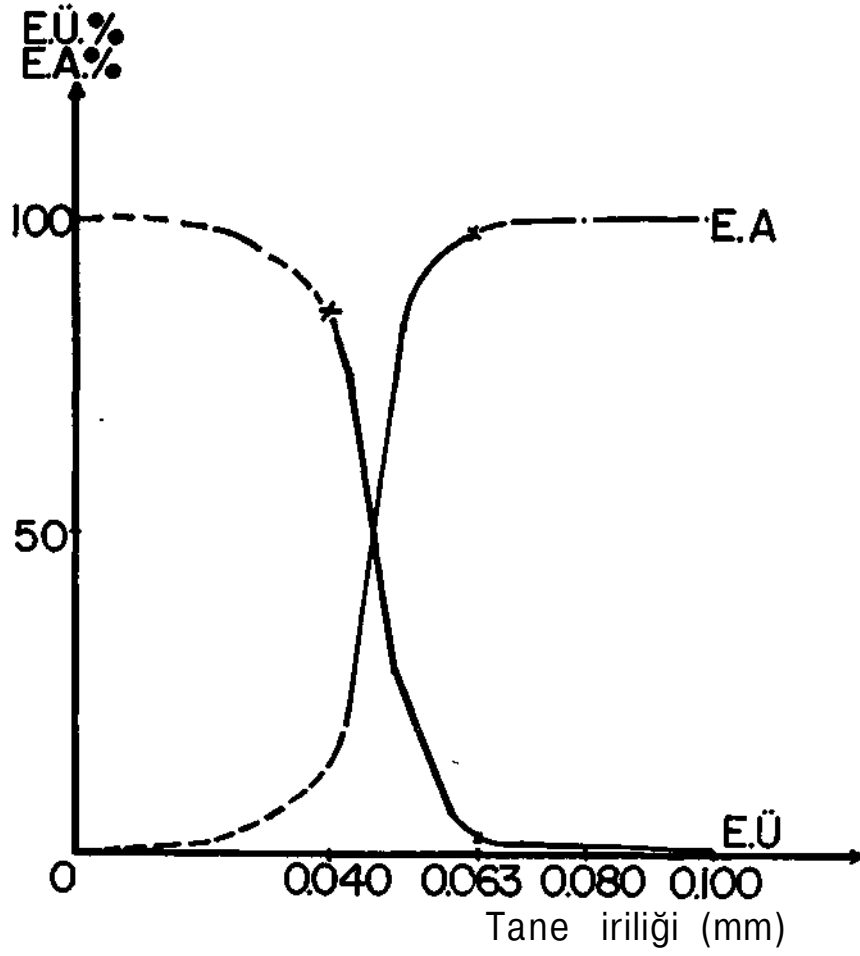
Tane iriliği	% 90 - 95'i — 270 mesh (0,053 mm)
Katı-sıvı oranı	% 25 - 28
PH	7,0 - 7,5
PH ayarlayıcı	Kullanılmıyor
Bastırıcı	Kullanılmıyor
Canlandırıcı	Kullanılmıyor
Toplayıcı	Z - 6 (Potasyum amil ksantat) 160-250 gr/ton
Köpürtücü	Dowfroth - 250 (D-250) 9 -13 gr/ton
Süre	12 dakika

Kaynak : Cöcen (1977)

Buna göre artığın % 99,5'u 0,1 mm, % 97,25'i 0,067 mm'nin altında bulunmaktadır. Buda aynı zamanda artığa olası bir hidrometalurjik işlemlerinde en azından tane iriliği açısından ideal sayılabilecek özelliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi çözdürme işlemi ile tane iriliği arasında sıkı bir ilişki söz konusudur ve tane iriliği azaldıkça çözdürme işlemi üssel olarak kolaylaşmaktadır.

Tablo : 4 — Flotasyon Artığı Elek Analiz Tablosu

Tane İriliği (mm)	Ağırlık		EA (%)	E.Ü (%)
	(gr)	(%)		
— 0,100 + 0,080	1,0	0,5	100,0	0,5
— 0,080 + 0,063	4,5	2,25	99,5	2,75
— 0,063 + 0,040	166,3	83,15	97,25	85,90
— 0,040	28,2	14,1	14,1	100,0
S	200,0	100,0		



Şekil. 4 — Flotasyon Artığı Elek Analiz Diyagramı.

Cüruf flotasyon uygulamasının KBİ'deki durumu ve maliyeti ile ilgili veriler yeterli ve somut değildir. Tablo : 5 ve 6'da, flash yönteminin ilk uygulanmaya başlandığı Finlandiya'daki Harjavalta tesisindeki flotasyona uygulanan koşullar ve maliyet değerleri verilmektedir.

Tablo 5 — Outokumpu Oy Kuruluşuna ait Harjavalta Flash Cürufu Flotasyon Tesisindeki Çalışma Koşulları.

Kapasite	18,3 ton/saat
Besleme malı tane iriliği	% 90'ı—270 mesh
Flotasyon selül büyüklüğü	3 m ³
PH	9
Toplayıcı ve tüketimi	Na-isobutilksaintat 300 gr/ton
Köpürtücü ve tüketimi	Teefroth D, 80 gr/ton
Besleme malı bakır tenörü	% 4,0
Artıktaki bakır tenörü	% 0,4
Konsantredeki bakır tenörü	% 30
Bakır verimi	% 90

Kaynak : Barnett (1979).

Tablo 6 — Outokumpu Oy Kuruluşuna ait Harjavalta Flash Cürufu Flotasyon Tesisindeki Maliyet Dağılımı.

	dolar/ton	(%)	
yatırım maliyeti	27,20	83,51	
Çeneli kırıcı ve motoru	4,89		15,03
Otojen değirmenler ve motorları	2,51	"	7,68
İnşaat	3,08		9,44
Montaj işçiliği	4,49		13,78
Tikinerler	2,08		6,35
Diğerleri	10,15		31,23
İşletme maliyeti	5,37	16,49	
İşçilik	1,32		4,37
Su (5 İt/ton)	0,13		0,4
Toplayıcı	0,26		0,81
Köpürtücü	0,2		0,61
Değirmen ve kırıcı kaplamaları	0,79		2,44
Elektrik enerjisi	0,9		2,77
Taşıma, yükleme, sigorta vs.	0,7		2,18
Diğerleri	0,39		1,19
*	32,57 dolar	100,00	

Kaynak : Barnett (1979).

Buna göre cüruf flotasyonunun hem yatırım ve hemde işletme maliyeti açısından oldukça yüksek giderli bir işlem olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim 1 ton cürufun flotasyon maliyeti, hemen hemen ideal koşulların var olduğu Harjavalta tesisinde 32,57 dolar gibi yüksek bir tutara ulaşmaktadır. Bunun 27,20 dolar/ton'a eşdeğer % 83,51 lik bölümü yatırım, 5,37 dolar /ton'a eşdeğer % 16,49'luk bölümü de işletme giderleridir.

KBi flotasyon cürufu ile ilgili yapılan araştırmalarda şu sonuçlar elde edilmiştir :

1 — % 3,86 oranında bulunan çinkonun demir içinde ve büyük bir olasılıkla kobalt, kurşun ve molibdenle birlikte ferrit içinde bulunduğu [çinkonun % 44,6'sı, kobaltın % 43,7'si, molibdenin % 80,35'i, kurşunun % 59,04'ü manyetik ürün içinde yer almaktadır (Tablo 1)] anlaşılmaktadır. Bu elementlerinden azından belirtilen oranlarda elde edilebilirliği ferrit fazının bozularulmasına bağlı olacaktır. Bu da fiziksel olarak değil de ancak kimyasal yolla gerçekleştirilebilecektir.

2 — Bakırın % 65,6'sı, çinkonun % 55,4'ü, kobaltın % 56,3'ü ve kurşunun % 40,96'sı ferrit dışındaki fazlarda yer almaktadır. Ancak belirtilen verimler yeterli olmadığı için manyetik ayırım yeterli bir selektivite getirmemektedir.

3 — Cüruf içindeki % 2,6 kükürt tenörü flotasyon artığında % 1,40'a düşmüştür. Flotasyon konsantresine geçen kükürtün sülfür kükürdü olduğu varsayılırsa, flotasyon artığında kalan kükürtün büyük çoğunluğunun sülfat kükürtü olduğu sonucu çıkar. Bu ise artık içinde % 5,6 oranında sülfat iyonunun bulunduğunu gösterir. Belli bir hidrometalurjik işlemde, özellikle asitle çözündürme işlemlerinde bu durumun gözönüne alınması gerekir. Zira kurşunun dışındaki tüm metal sülfatlar az veya çok suda çözünme özelliğine sahip olduklarından kütlelerin çözelti ile muamelesinde çözeltinin fiziko kimyasal dengesini etkileme olanağına sahiptirler.

Bundan öncede belirtildiği gibi flotasyon artığı söz konusu olan bileşimi ile büyük bir ekonomik değeri simgelemektedir. 1 ton flotasyon artığının yalnızca bakır, kurşun, çinko, kobalt, molibden ve gümüş içeriğine bağlı ham değerinin Mart 1980 fiyatları ile

- % 3,86 çinko için :
38,6 kg x 82,7 cts = 31,92 dolar.
- % 0,14 kobalt için :
14 kg x 68,3 dolar = 95,62 dolar.
- % 0,018 molibden için :
0,18 kg x 16,5 dolar = 2,97 dolar.
- % 0,15 kurşun için :
15 kg x 1,09 dolar = 1,64 dolar.
- % 0,0097 gümüş için :
0,097 kg : 3,42 ons x 35,09 dolar = 120 dolar.
- % 0,305 bakır için :
3,05 kg x 2,9 dolar = 8,85 dolar.

olmak üzere toplam 261,00 dolar olduğu anlaşılmaktadır.

KBÎ verilerine göre 1978 yılında 23641 ton % 16,01 bakır içeren cüruf konsantresi üretilmiştir. 1979 yılının ilk 10 aylık döneminde; ki üretim ise % 15,33 bakırlık 17599 ton olmaktadır. 1978 verileri temel alınıp cürufun ve artığın bakır tenörleri bu çalışmada bulunan % 2,13 ve % 0,305 olduğu kabul edilirse, bu üretimden 1978 yılında 178490 ton flotasyon artığı ortaya çıkmaktadır. Bu artığın metal tenörleri Tablo : 2'deki değerler olduğu varsayılırsa 1980 Mart ayı fiyatları ile 46.585.890 dolarlık bir ham değer ortaya çıkmaktadır.

KBÎ tesislerinde 1974 yılından beri cüruf konsantresi üretilip flotasyona bağımlı tutulmaktadır. KBÎ'de 1979 yılı Ekim ayı sonuna kadar üretilen cüruf konsantre üretimi ve bu üretimden ortaya çıkan teorik flotasyon artık miktarı ile bunun 1980 yılı Mart ayı fiyatlarıyla ham değeri Tablo : 7'de verilmektedir. Buna göre KBÎ'de 1979 Ekim ayı sonuçlarına kadar 93976 ton cüruf flotasyon konsantresi elde edilmiş ve bundan 727.950 ton flotasyon artığı ortaya çıkmıştır. Elde edilen konsantrelerin ham değerleri 1980 Mart ayı fiyatlarıyla 44.438.000 dolar tuttuğu halde, bu işlemde ortaya çıkan ve terkedilen flotasyon artığının ham değeri 190 milyon doları bulmaktadır. Başka bir deyimle, 1974 yılından beri 1979 Ekim ayı sonuna kadar 234.433.000 dolar değerindeki cüruftan yalnızca 44.438.000 dolarlık değer elde edilmiş, diğer bölüm atılmıştır. Yararlanma, böylece yalnızca % 19 olmaktadır.

Tablo 7 — 1979 Ekim ayı sonuna kadar KBİ cüruf flotasyon konsantre üretimi ve bu üretimden elde edilen flotasyon artıkları ve bunların 1980 Mart ayı fiyatlarıyla ham değerleri.

Yıl	üretilen cüruf konsantre miktarı (ton)	Konsantredeki bakır tenörü (%)	Cüruf konsantresinin bakır içeriğinin		Artığın 1980 Mart ayı fiyatları ile ham değeri 1000 dolar
			1980 Mart fiyatlarına dayalı değeri 1000 dolar	Flotasyon artığı miktarı (ton)	
1974	21028	16,6	10123	166542	43467
1975	9549	15,57	4312	70185	18318
1976	13416	17,00	6614	109340	28538
1977	8743	18,10	4589	76152	19876
1978	23641	16,01	10976	178490	46586
1979	17599	15,33	7824	127241	33210
(10 aylık)					
Toplam	93976		44438	727950	189995

NOT : 1 — Cüruf flotasyon konsantresi KBİ (1979 a) dan alınmıştır.

2 — Cüruf ve flotasyon artığı tenörleri için bu çalışmadaki % 2,13 ve % 0,305'lik bakır tenörleri esas alınmıştır.

2.4. KBİ FLOTASYON ARTIĞININ BAKIR - KOBALT - MOLİBDEN - GÜMÜŞ - ÇİNKO - KURŞUN KAYNAĞI OLARAK DEĞERLENDİRİLMELERİ

Bundan öncede vurgulandığı gibi KBİ flash cürufu toplam olarak 323,23 dolarlık bir ekonomik değere sahipken KBİ'deki uygulamada bundan yalnızca 61,8 dolarlık bakır elde edilmektedir. Oysa halen % 20 dolayında olan yararlanma etkenini % 100'e yaklaştırmak olanağı vardır. Kuşkusuz bu olanağın KBİ flotasyon cürufu veya artığına yönelik ekonomik ve teknolojik koşullarının belirlenmesi bu çalışma kapsamını aşacaktır. Ancak burada teorikte olsa bu koşulların ana hatlarıyla belirtilmesinde büyük yarar vardır.

Elimizdeki verilere göre flash ergitme yöntemi uygulanan tesislerde cürufların içindeki % 2 ile % 4 arasında değişen bakır de-

ğerleri bu cürufların yalnızca flotasyona bağımlı tutulması yoluyla değerlendirilmektedir. Genel olarak tenörü % 0,1 bakırın altında bulunan flotasyon artıkları başkaca hiç bir teknolojik işleme sokulmadan bırakılmaktadır. Bunun en önemli nedeni flash yöntemi uygulanan tesislerde işlenen bakır konsantrelerindeki bakır dışındaki element derişimine ve flash yönteminin uygulama biçimine bağılı olarak cüruflarda KBI'nin aksine bakır dışındaki element derişimlerinin düşük olmasıdır. Oysa bu çalışmada da belirtildiği gibi, KBI'de elde edilen flash cürufunda, içeriğindeki bakırın 5,23 katı değerinde çinko, kobalt, molibden, gümüş bulunmaktadır. KBt flash cürufunda diğer örneklerden farklı olarak bu elementlerin yüksek tenörlerde bulunması şu nedenlere bağlanabilir :

1 — KBI'de yalnızca Murgul'dan elde edilen flotasyon konsantresi değil, ortalama tenörü % 5 dolayında olan ve çinko, kobalt içeriği yüksek olduğu bilinen Küre cevheri de izabe işlemine bağımlı tutulmaktadır, özellikle kobalt ve çinko açısından zengin sayılan Küre cevherinin izabe işlemine sokulması cüruftaki hem kobalt, hem de çinko tenorunu arttırmaktadır. Nitekim numunenin alındığı 1979 yılının ilk 10 ayında 43292 ton % 15,42'lik Murgul konsantresi ile birlikte 39391 ton % 4,87'lik Küre cevheri birlikte izabe edilmiştir (KBt 1979 - a). Bakır üretimi esas alınırca bu % 22'lik bir pay demektir.

2 — Bundan öncede belirtildiği gibi cüruftaki bakırın büyük çoğunluğu kuprit durumunda bulunmaktadır. Başka bir deyimle flash ergitme işlemi KBI'nde yüksek oksidasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucu besleme malı içindeki, başta çinko olmak üzere bakırdan daha kolay oksitlenebilen kobalt, molibden, gümüş, kurşun gibi elementler oksidik hale geçerek mat yerine cürufta yer almışlardır.

Neden ne olursa olsun KBI cürufunda, bunun sonucu olarak KBI cüruf flotasyon artığında değeri 261 dolar/ton'a yaklaşan kobalt, çinko, molibden, gümüş birikimi söz konusudur. Ayrıca değeri 8 doları aşan % 0,305 oranında bakır da bulunmaktadır.

KBI cürufu ve bundan kaynaklanan flotasyon konsantresi yüksek oranda oksidik halde demir içeren bir bileşime sahiptir. Bu durumla bu cürufu bileşim olarak pirit kavurma artıklarıyla kıyaslamak olanaklıdır. Bilindiği gibi pirit yüksek oranda element toplayabilen (başta kobalt olmak üzere nikel, arsenik, antimuan,

altın, gümüş; Betehtin 1971) bir mineral olup son yıllara kadar en önemli kükürt kaynağı olarak ele alınmıştır. Kükürt ise bu işlemde kavurma yoluyla uçurularak sülfürik asit haline dönüştürülmekte, buna karşın piritin diğer önemli bileşeni demir oksit ve içerdiği diğer iz elementlerin çoğunluğu kavurma artığında kalmaktadır.

Piritin iz element toplayıcılığının doğal sonucu olarak kavurma artıklarında kalan yararlı elementlerin değerlendirilmesi dünyada çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemleri iki ana grupta toplayabiliriz :

1 — Klorla kavurma : örnek : Duisburger Kupferhütte prosesi.

2 — Klorluyarak uçurma : örnekler : Kowa - Seiko, Lurgi, Montedison, V.i.P. prosesleri.

Tek bir örneği bulunan klorlayarak kavurma prosesinde kavurma artığı, kaya tuzu ile karışarak kavurma işlemine bağımlı tutulmakta ve demir dışındaki metaller kolay çözünebilir klorür durumuna dönüştürüldükten sonra, kavurmanın baca gazlarından elde edilen klorik asit ile liç işlemine bağımlı tutulmaktadır. Bu yolla kavurma artığı içindeki yalnızca bakır, altın, gümüş, çinko, kurşun, kobalt, molibden, indium, talyum, kadmiyum değil, ana bileşken olan demir oksitte demir konsantresi olarak kazanılabilmektedir. Ayrıca yan ürün olarak bu işlemde sodyum sülfat da elde edilmektedir.

Kısaca klorlayarak uçurma adı altında toplanan ikinci yöntemler grubunda demir dışındaki metaller kavurma artığının yüksek sıcaklıklarda klorlanarak gaz haline getirilmesi yolu ile elde edilmektedir. Bu sırada demir, oksit olarak geride kalmaktadır. Klorlayıcı olarak Kowa-Seiko prosesinde olduğu gibi kalsiyum klorür, V.İ.P. prosesinde olduğu gibi klor gazı kullanılmaktadır.

Yöntemlerin ayrıntılı akım şemaları ve uygulanabilirlikleri konusunda Broussaud ve Barberg (1977), Mayor ve Tarol (1971), Sulphur (1973), Teworte (1959) dan bilgi almak olanaklıdır. Broussaud ve Barberg (1977) yöntemleri enerji bilançoları açısından kıyaslamalardır. Tüm bu verilere göre, KBİ cürufu için en uygun yöntem Duisburger Kupferhütte prosesi olmaktadır. Bu prosesin seçiminde en uygun rolü KBİ cürufundaki düşük kurşun oranı oynamıştır.

Bu proste diğer ez konusu proseslerden farklı olarak kurşun kavurma artığı içindeki sülfatla birleşerek çözünme yeteneği olmayan kurşun sülfat olarak aktığa kaçmaktadır.

Yöntemin genel akım şeması Şekil. 5 de verilmiştir. Buna göre 6 mm'ye kadar kırılan besleme malı kaya tuzu ile karıştırılmakta ve etaj fırınında 600 °C derecede kavrulmaktadır. Kavurma sırasında demir, oksit durumunda kalırken, demir dışındaki metaller suda çözünebilen klorür durumuna dönüşmektedir. Kavurma sırasında çıkan klorlu gazlar ise toz arıtma işleminden geçirildikten sonra liç işleminin asit temelini oluşturmaktadır.

Kavurma fırınına 400 °C derecede bırakan besleme malı uygun koşullarda nemlendirildikten sonra özel çözündürme havuzlarına verilmektedir. Burada klorür durumundaki, demir dışındaki metaller çözünebilir ve özel hidrometalurjik yöntemlerle bakır, altın, gümüş, kobalt, kadmiyum, talyum, indium, çinko elde edilmektedir. Büyük çoğunluğu demir oksitlerden oluşan çözündürme artığı % 10 kok tozu ile karıştırılarak Dwight - Lloyd - Sinterleme bantlarından geçirildikten sonra aglomera edilerek yüksek vasıflı demir konsantresi elde edilebilmektedir. Bu yöntemde metal verimleri genellikle % 90 in üzerinde olmaktadır. '

Yöntemin KBI flotasyon konsantresi yerine doğrudan cürufa uygulanması çok daha yararlı olacaktır. Bu yolla cüruf,

1 — % 97,25 i 0,063 mm'nin altına öğütülmek zorunluğunda kalmıyacak, 6 mm'nin altına kırmakla yetinilebilecek, bu yolla elde edilen büyük bir artırım sağlanacaktır.

2 — Flotasyon işlemine gerek kalmadan nemde flotasyon veriminden çok daha yüksek bir verimde bakır diğer metallerle birlikte doğrudan elde edilebilecektir. Barnett (1979) flash yönteminin uygulandığı Finlandiya'daki Harjavalta tesisindeki işletme maliyetini flotasyona bağımlı tutulan ton cüruf başına 5,37 dolar, yatırım maliyetini de 27,2 dolar olarak vermektedir (Tablo. 5 ve 6). Böylece ton cüruf başına 32,57 dolarlık bir artırım sağlanmış olacaktır.

Duisburger Kupferhütte prosesinin KBI flash cürufuna uygulanmasıyla şu yararlar sağlanacaktır.

1 — Cüruf içindeki bakırın yanında toplam değeri 261,43 dolar olan metaller en az % 90 verimle elde edilebilecektir. % 90 verim esas kabul edilirse 1 ton cüruftan bakır ile birlikte 290,9 dolarlık bir ek gelir elde edilecektir. Bu da 1978 üretim değerleri esas alınrsa 6.877.166,9 dolara eşit olacaktır.

2 — örnekleme ile KBt cürufunda teknik olanaksızlıklar nedeni ile analitik olarak ortaya çıkaramadığımız 15 - 45 gr/ton Tal-yum, 40 -100 gr/ton Kadmiyum, 0,5 -1,5 gr/ton Altın bulunmaktadır. Duisburger Kupferhütte prosesinde bu elementler de değerlendirme kapsamına girecektir. % 90 lık bir veçim ve bu tenörlerden en düşük olanı varsayılırsa, bu değerlendirmede 1 ton KB1 cürufundan elde edilecek gelirin değeri 1980 Mart fiyatları ile 10,6 dolar artmakta ve toplam değer 301,5 doları bulmaktadır.

3 — Tablo. 2'den de görülebileceği gibi KBi cürufu % 56,31 demir içermektedir, içerikteki demirin tümünün oksit durumunda bulunduğu varsayılırsa Duisburger Kupferhütte prosesinin KBi cürufuna uygulanmasıyla tenörü en az % 60 - 63 arasında değişen 1 ton demir cevheri elde edilebilecektir. Tenor % 60 kabul edilirse elde edilen bu demirle cüruftan elde edilen gelir 37,54 dolar daha artarak 339 dolara ulaşmaktadır, üstelik 1978 yılı üretimi esas kabul edilirse hammadde sıkıntısı çeken demir sektörüne yılda ortalama 2000 tonluk bir katkıda bulunmuş olacaktır.

4 — Bütün bunlardan başka Duisburger Kupferhütte prosesinin uygulanmasında yan ürün olarak sodyum sülfat da elde etmek olanaklıdır. Günümüzde dışardan dışalım ile karşılanan ülke gereksinimi bu yolla ülke içinden karşılanmış olacaktır.

Duisburger Kupferhütte prosesinin KBi cürufuna uygulanması için gerekli yatırım ve işletme giderleri hakkında şimdiden ayrıntılı bilgi vermek olanaklı değildir. Bunun için pilot çap düzeyine varan özel araştırmalar yapmak gerekir. Ancak elimizdeki veriler metal içeriği KBi cürufunun çok altında bulunan pirit kavurma artıklarının bu yöntemle ekonomik olarak değerlendirilebileceğini belgelemektedir. KBİ cürufunda uygulanması ile bu ekonomikliğin çok daha belirgin olacağı kuşkusuzdur. Üstelik bu yöntemin uygulanmasıyla 1978 yılı üretim değerleri ışığında (178490 ton flotasyon konsantresi, 202131 ton cüruf) ve 1980 Mart ayı metal fiyatlarıyla ton başına,

55,62	dolarlık bakıra ek olarak
31,78	dolarlık çinko,
78,12	dolarlık kobalt,
2,7	dolarlık molibden,
2,36	dolarlık kurşun,
120,33	dolarlık gümüş olmak üzere toplam :

58.802.000 dolarlık bir değer elde edilmiş olacaktır. Bu günkü elde edilen değer 9.879.000 dolardır ve elde edilebileceğin % 14,36'sını oluşturmaktadır.

3. SONUÇ

Bilindiği gibi KBİ'de bakır üretim yöntemi olarak flash üretim yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemin doğal bir sonucu olarak cürufta % 2 - 4 arasında değişen yüksek bakır tenörleri bulunmaktadır. Dünyadaki genel uygulama bunların KBİ'de olduğu, gibi flotasyon yolu ile değerlendirilmesidir ve 0,1 in altında bakır içeren flotasyon artıkları da terk edilmektedir.

öte yandan KBi de yalnızca % 17 dolayında bakır içeren Murgul bakır konsantreleri değil, aynı zamanda % 5 dolayında bakır içeren ve bunun yanında yüksek oranda kobalt ve çinko içerdiği bilinen zengin Küre cevherleri de birlikte izabe edilmektedir.

Yapılan değerlendirmeler hem Küre cevherindeki iz elementlerin, hem de Murgul bakır konsantresindeki bakır, altın, selenyum, gümüş dışındaki elementlerin cürufta kümelenmesi ve böylece cüruf tenörlerinin bakır kazanımı oranında arttığını göstermiştir.

Nitekim KBî cürufunda % 2,13 bakırın yanında, % 4,27 çinko, % 0,127 kobalt, % 0,0183 molibden ve % 0,108 gümüş olduğunu ve cürufun yalnızca bu elementlere dayalı ham değerinin 323,23 dolar olduğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu değerlerden flotasyon yolu ile yalnızca 53,9 dolarlık bakır elde edilmekte, geri kalan 269,33 dolarlık bölüm artığa verilerek kaybolup gitmesine neden olmaktadır.

Buradan tüm iz elementlere yönelik bir değerlendirme biçiminin zorunlu olduğu sonucu çıkmaktadır. Teorik verilere dayanarak bu çalışmada, en uygun değerlendirme yönteminin Batı Almanya'da pirit kavurma artıkları için geliştirilmiş «Duisburger Kupferhütte» prosesinin olduğu ortaya konulmuştur. Bunun için cürufun 6 mm nin altına öğütülüp Şekil. 5'te belirtilen akım şemasına uygun olarak teknolojik işlemden geçirilmesi gerekmektedir.

Bu yolla % 90 verim varsayılırsa ton cüruf basma 290,91 dolarlık metal elde edilebileceği gibi, ton başına maliyeti 30 doların

üzerinde olduğu bilinen yüksek giderli flotasyon işleminden de artırım yapılmış olacaktır.

Önerilen değerlendirme biçimi için gerekli yatırım ve donatıyla ilgili verilerin ayrı bir çalışmada belirlenmesi gerekir. Ancak bu yöntemin, metal içerikleri KBi cürufunun çok altında olan pirit kavurma artıkları için ekonomik olduğu düşünülürse KBI cürufları için de ekonomik olabileceğini düşünmek olanaklıdır.

Aynı zamanda bu yöntemle cüruf içindeki tenörü % 56,31 olan demirde 1978 yılı üretimi ele alınırsa 113.820 ton olarak elde edilebilecektir. Bu da 4.780.440 dolarlık bir değer tutmaktadır. Böylece demir ile birlikte 1 ton ham cürufun toplam değeri 347 dolar dolayında olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. BARNETT, S.C.C. : «The methods and economics of slag cleaning», Mining Magazine, Mayıs 1979, s. 408 - 417.
2. BROUSSAUD, A. ve BARBERY, G. : «Applications of energy analysis to mineral and metallurgical process selection and development», International Journal of Mineral Processing, 5,1978, s. 93 -105.
3. CANKUT, S. : «Ekstraktif metalürji uygulaması; Bakır», Rabak, Ekim 1973,198 sahife, istanbul.
4. CÖCEN, Ü. : KBI Samsun izabe cürufları flotasyonu ve optimum şartların tespiti», Bitirme projesi, E.Ü. Maden Bölümü, Şubat 1977.
5. Engineering and Mining Journal : «111 th Annual Survey and outlook for mineral commodities 1979 -1980», Mart 1980,284 sahife.
6. Hand - Book of Chemistry and Physics (1970 -1971).
7. KBI. (1979 a). : «KBi. A.Ş. Samsun İşletmesi», Bakır paneli, 16-17 Kasım 1979 Samsun, 9 sahife.
8. KBt. (1979 b.). : «KBI'nin kuruluşu», Bakır paneli, 16 -17 Kasım 1979 Samsun, 10 sahife.
9. MAYOR, Y. ve TORD, P. : «Le procédé VIP et son application à la valorisation integrale des cendres de pyrites espagnoles» J. Min. Metall, Espagne, Cartagena, 17 - 22 Mai 1971.
10. SULPHUR. : «Upgrading pyrite cinders for iron and steel production», Sulphur No. 106, May/June 1973, s. 52 - 57.
11. TEWORTE, W. : «Die Duisburger Kupferhütte, Niederdruck, Duisburg 1959, 2. Baskı, 60 sahife.