
KARADENİZ BAKIR İŞLETMELERİ KUTLULAR FLOTASYON TESİSİ OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

İrfan BAYRAKTAR (*)
Hulusi BERK (**)
Yılmaz ALTUN (***)
Şerafettin YILDIZ (****)

ÖZET

Bu bildiride, KBİ-Kutlular cevheri üzerinde yapılan flotasyon özelliklerinin saptanmasına yönelik geniş kapsamlı çalışmalarla laboratuvar bulgularının tesise uygulanması sunulmaktadır.

Laboratuvar bulgularının tesise uygulanması sonucu bakır kurtarma verimi yaklaşık %90, konsantrasyon tenoru de %23-24 Cu olmuştur.

ABSTRACT

In this paper, an extensive study on KBI-Kutlular copper ore for the determination of flotation characteristics of the ore is presented together with the application findings to the actual plant.

By the application of the laboratory scale results, copper recovery and the grade have drastically improved being 90 % and 23-24 % respectively.

* Dr. Maden Yük. Müh., Demir Export A.Ş., ANKARA

** Maden Yük. Müh., Demir Export A.Ş., ANKARA

*** Dr. Jeoloji Yük. Müh., Demir Export A.Ş., ANKARA

**** Maden Yük. Müh., KBİ, Kutlular, TRABZON

1 GİRİŞ

Trabzon, İli, Sürmene İlçesi Kutlular Mevkiinde Karadeniz Bakır İşletmeleri Genel Müdürlüğüne ait, Kutlular Bakır Cevheri İşletmesince alınan farklı mineralojik bileşimde olan cevher ve Analiz Laboratuvarlarında KBİ flotasyon tesisinin optimizasyonuna yönelik testler yapılmıştır.-

Cevher numunelerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin saptanmasını izleyen flotasyon çalışmalarında, özellikle mevcut işletmede rezervin çok büyük bir bölümünü oluşturan piritik cevher üzerinde durulmuştur. Bu cevher tipinde elde edilen olumlu bulgular ikinci cevher tipi olan silisli cevhere de uygulanarak Kutlular Cevherleşmesinin flotasyon özelliklerini ortaya konulmuştur.

Laboratuvar çalışmalarımızı, tesis uygulama çalışmaları izlemiş ve laboratuvarda bulunan flotasyon sonuçları ile tesis uygulama çalışmalarının sonuçları uyum göstermiştir. Bu çalışma öncesi proje değerlerinin oldukça altında olan bakır konsantrasi verim ve tenörleri, çalışma bulgularının tesiste uygulanmasıyla proje değerlerinin de üstüne çıkmıştır.

2 CEVHER NUMUNELERİNİN KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Numunelerin Kimyasal Bileşimi

Bütün numuneler ayrı ayrı - 10 mm'ye kırılıp harmanlandıktan sonra kimyasal analiz için hazırlanmıştır. Numunelerin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1 — Numunelerin kimyasal bileşimi

Numune Adı	Lab'a Geliş Tarihi	K i m y a s a l B i l e ş i m							
		% Cu	% Zn	% Pb	% S	% Fe	% SiO ₂	Au	Ag
Piritik	20.03.86	2.09	0.89	0.53	48.57	43.64	0.8	-	10.4
Silisli	20.03.86	2.85	0.37	0.23	36.56	30.13	11.71	-	9.3
Piritik	27.03.86	2.88	-	-	-	-	-	-	-

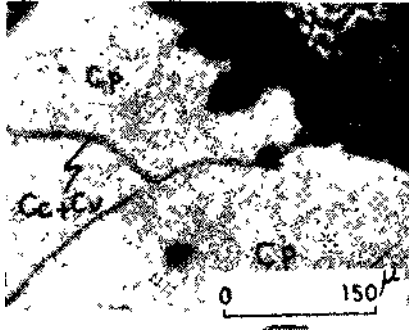
Au analizinde dedeksiyon limiti 0.5 g/t'dur.

Çizelge 1'den görüleceği üzere değişik tarihlerde laboratuvara gönderilen piritik cevher numunelerinin bakır içeriklerinde önemli sayılabilecek bir farklılık gözlenmektedir.

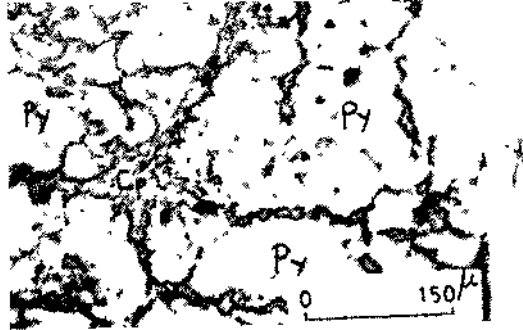
2.2. Numunelerin Mineralojik Bileşimi

2.2.1. Piritik Cevher

Sahadaki masif cevherin alt kesimini oluşturmaktadır. Yerinde toz haline gelen bu cevher oldukça fazla boşluk dokuludur. Yüzeysel koşullarından kolay etkilenmektedir. Başlıca cevher mineralleri pirit ve kalkopirittir. Az miktarda sfalerit izlenmektedir. Bu cevheri kesen kalkopirit damarları cevherin bakır yönünden zenginleşmesine neden olmuştur. Hemen hiç gang minerali içermeyen bu cevherdeki kalkopiritin yer yer tane, kenar, çatlak ve dilinimleri boyunca kalkosin ve kovelin'e dönüşme izlenmektedir (Fotoğraf 1). Pirit yer yer kalkopirit damarcıkları tarafından bir ağ gibi örülmüştür. (Fotoğraf 2). Piriti kesen kalkopirit damarlarında kalkopirit'e az sfalerit, kalkosin, kovelin, limonit, hessit (Ag_2Te), tetradimit (Bi_2Te_2S)/tellurobismutin (Bi_2Te_3) emplektit ($CuBiS_2$), aikinit ($PbVbBiS_3$), vittişenit (Cu_3BiS_3) Bi-Fahlerz, bizmutin (Bi_2S_3) ve nabit bizmut eşlik etmektedir.



Fotoğraf: 1. Kalkopiritteki Kalkosin + Kovelline dönüşme
Cp= Kalkopirit Py = Pirit
Cc + O = Kalkosin + Kovellin,
Kuvars (Siyah)



Fotoğraf: 2. Piritin kataklastik çatlak ve boşluklarında oluşmuş kalkopirit Py = Pirit, Cp = Kalkopirit Boşluk (Siyah)

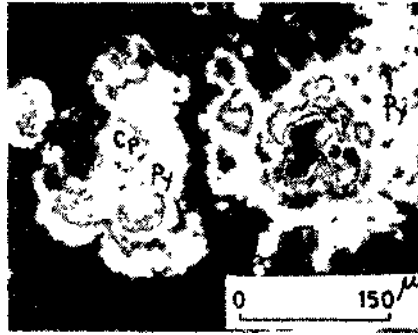
Bu cevherde piritin içindeki kalkopirit tane yığılım boyutları 5 mikron ile 800 mikron arasında konsantrik kabuklu küreciklerde kabuk kalınlığı birkaç mikron ile 20 mikron, pirit içindeki kalkopirit küreciklerinin çapı birkaç ile 100 mikron, piritin çatlaklarındaki kalkopirit tane yığılımları 5x20 mikron ile 100x500 mikron arasında de-

ğişmektedir. Kalkopiritin çatlaklarında gelişen kalkosin - kovelin - götit damarcıklarının kalınlığı 5-8 mikron, uzunlukları ise birkaç on ile 200 mikron, kalkopiritin kenarlarında gelişen kalkosin tane yığışmaları ise 5x10 mikron ile 30x40 mikron kadardır.

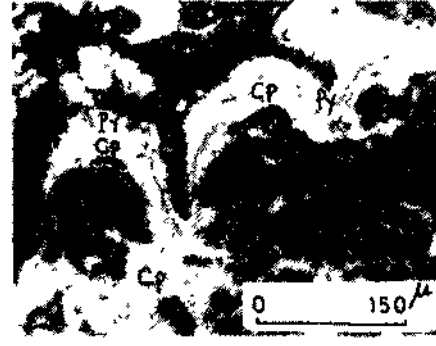
2.2.2. Silisli Cevher

Piritik cevherin üzerinde bulunmaktadır. Kalınlığı 2,5-3,5 m. kadardır. Sert sağlam yapılı masif cevher olarak tanımlanabilirse de % 10-20 arasında kuvars içermesi bu cevheri masif tip piritik cevherden ayıran en önemli özelliktir.

Başlıca cevher mineralleri pirit ve kalkopirittir. Ayrıca çok az sfalerit, tennantit ($Cu_{24}As_8S_{26}$), tetraedrit ($Cu_{24}Sb_8S^{26}$), kovellin, idait (Cu_3FeS_6), enarjit (Cu_3AsS_4), markasit içermektedir. Piritik cevherdeki kalkopirit damarları bu cevherde de görülmektedir. Cevherin çok önemli bir bölümü jel dokuludur. Jel dokularda, özellikle de pirit kalkopirit konsantrik kabuklu küreciklerinde kalkopirit kabuklarının çok ince (Fotoğraf 3) oluşu, bazen bu konsantrik kabuklu küreciklerin oluşumuna kuvarsın da katılması (Fotoğraf 4) bu cevherin önemli özelliklerinden biridir.



Fotoğraf: 3. Pirit - Kalkopirit konsantrik kabuklu kürecikleri
Py = Pirit, Cp = Kalkopirit,
Kuvars (Siyah)



Fotoğraf: 4. Pirit - Kalkopirit kuvars konsantrik kabuklu kürecikleri
Py = Pirit, Cp = Kalkopirit
kuvars (Siyah)

Bu cevherde kalkopirit tane yığışım boyutları 10x30 mikron ile 200x330 mikron, kuvars içinde tek başına izlenen kalkopiritler de tane yığışımları 4x10 mikron ile birkaç mm. ve konsantrik kabuklu küreciklerde kabuk kalınlıkları 5-10 mikron, küre çapları ise 15-40 mikron arasında değişmektedir. Sfaleritin etrafını sarmış, çatlaklarını doldurmuş kovellinler de ise tane yığışım boyutları 5x10 mikron ile 50x150 mikron arasındadır.

Piritik cevher de pirit içinde çok küçük kalkopirit tane yığışım-larını nvarlığı, silisli cevherde kalkopiritin kuvars ve diğer sülfidle-rin oluşturduğu konsantrik kabuklu küreciklere ince kabuklar halin-de katılması flotasyon çalışmalarında bir miktar bakır kaçacağına ne-den olabilirse de, cevherin ne bu özelliği, ne de az da olsa oksidasyo-na uğramış olması, flotasyon tekniği açısından önemli bir sorun ya-ratacak boyutta değildir.

2.3. Bakır Minerallerinin Serbestleşme Tane Boyları

Piritik ve Silisli cevher numunelerinde, ayrı ayrı değişik öğütme sürelerini izleyerek yaş elek analizleri yapılmıştır. Elek analizi frak-siyonlarından alınan numunelerin polyestere gömülerek hazırlanan parlatmalarında nokta sayma yöntemiyle serbestleşme derecesi sap-tanmıştır.

Nokta sayma ve değerlendirme Gaudin yöntemine göre yapılmış olup sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Mikroskopi yoluyla saptanan serbestleşme derecesi ayrıca ileride verilen bir seri flotasyon testi ile de sınanarak flotasyon için opti-mum serbestleşme tane iriliği belirlenmiştir.

Çizelge 2 — Bakır minerallerin serbestleşme tane boylan

MASIF PİRİTİK CEVHER						
Tane Boyu (Mikron)	Serbest Cu-Mın.	Kenet 11 Cu-Mın.	Kenetlenme Faktörü	Eşdeğer KenetU Tane Sayısı	Sayılan Toplam Bakır Minerali	Serbestleşme t
+150	61	31.65	1.4	44.31	105.31	57.9
-150+106	85	44.65	1.4	62.51	147.51	57.6
-106+ 74	198	48.4	1.4	67.76	265.76	74.5
- 74+ 53	269	43.4	1.4	60.76	329.76	81.6
- 53+ 44	384	46.5	1.4	65.10	449.10	85.5
- 44	633	8.4	1.4	11.76	644.76	98.2
SİLİS GANGLİ CEVHER						
-105+106	66	70.6	1.2	84.72	150.72	43.8
-106+ 74	240	134.5	1.2	161.4	401.4	59.3
- 74+ 53	202	119.6	1.2	143.5	345.5	58.5
- 53+ 44	308	164.5	1.2	197.1	505.40	60.3
- 44	275	51.15	1.2	61.28	336.38	81.3

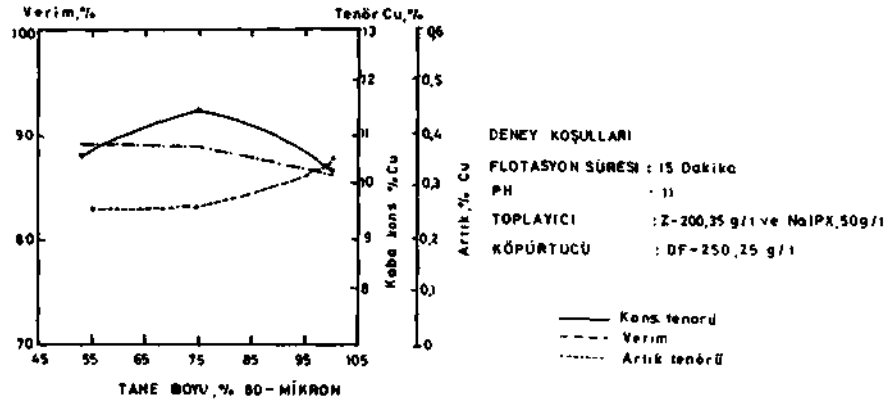
3 LABORATUVAR ÖLÇEKLİ SELEKTİF FLOTASYON ÇALIŞMALARI:

Flotasyon numunelerinin hazırlanması sırasında Kutlular İşletmesinden gönderilen gerek piritik cevher ve gerekse silisli cevher numuneleri - 3.35 mm. tane iriliğine indirildikten sonra birer kilogramlık temsili numuneler alınmış, oksidasyonu minimize etmek amacıyla havası alınmış naylon torbalar içerisinde + 5 derecede saklanmaktadır. Flotasyon çalışmalarının hemen hepsinde Ankara şehir suyu (pH 7.7) kullanılmış olup, sonuçları kontrol etmek amacıyla deneyler yapılmak üzere KBİ Kutlular İşletmesinden yaklaşık 15 litre tesis suyu istenmiş ve aynı özellikteki bazı testler sonuç farklılığını görmek üzere bu suyla yinelenmiştir.

Flotasyon testlerinde, Denver D-12 Laboratuvar tipi flotasyon makinası kullanılmıştır. Çalışmalar 1200 devir/dakika'lık impeller hızında yapılmıştır. Deneylerin kaba flotasyon devresinde 2.4 lt., temizleme devresinde ise 1.4 ve 1.0 lt'lik selüller kullanılmış olup bu durumda çalışma pülp yoğunlukları kaba flotasyon için %33 ve yıkama devresinde ise ortalama %12-8 katı olarak hesaplanmıştır.

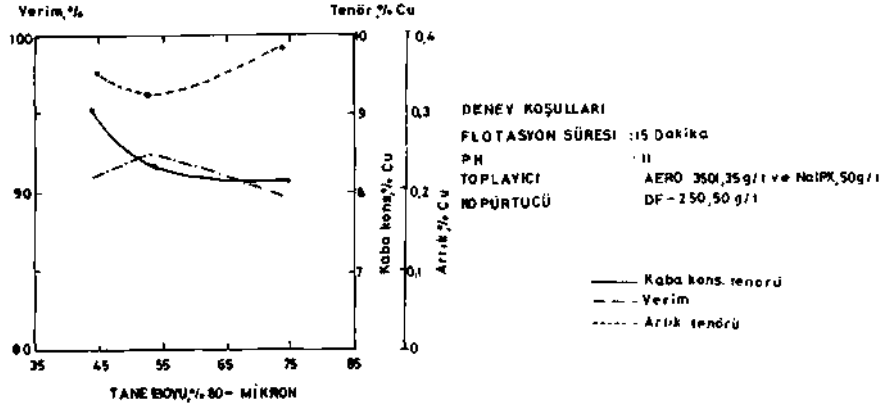
3.1. Optimum Tane İriliğinin Saptanması

Bölüm 1.3'te yapılan serbestleşme derecesinin belirlenmesi çalışmalarının sonucunda elde edilen bulgularımız (Çizelge 2) flotasyon çalışmalarının piritik cevherde %80 - 100, -74, -53, mikron, silisli cevherde ise %80 -74, -53 ve -44 mikron tane iriliklerinde denenmesini öngörmüştür. Buna göre mikron tane iriliklerinde denenmesini öngörmüştür. Buna göre diğer flotasyon koşulları sabit kalmak üzere bu tane iriliklerinde piritik toz ve silisli cevherlerde yapılan flotasyon testlerinin sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca, pi-

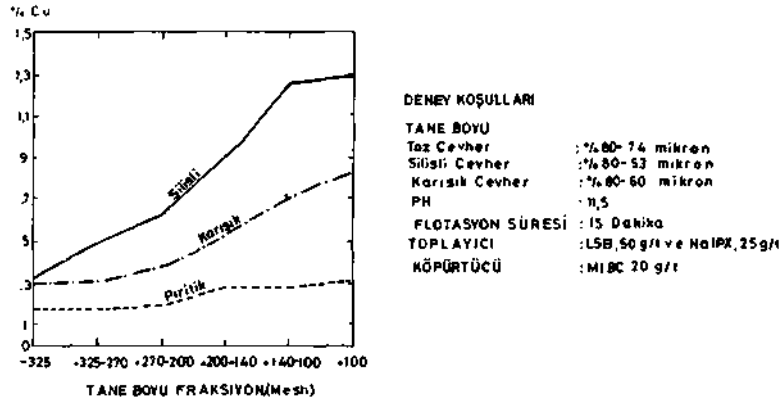


Şekil 1 — Piritik cevherde tane boyunun kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi

iritik toz, silisli cevher ve her ikisinin 1/1 oranındaki karışımları ile yapılan flotasyon testlerinin artıkları yaş elek analizi ile tane iriliği gruplarına ayrılarak, beher tane iriliği grubunun bakır içerikleri analiz edilmiş ve bu bulgular Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere, özeliUikle kaba konsantre ve artık tenörleri ve artıkların tane iriliği gruplarının bakır içerikleri dikkate alındığında piritik cevher için %80-74 mikron, silisli cevher için %80 - 53 mikron, karışık cevher için ise %80-60 mikron tane iriliği optimum serbestleşmeyi sağlamaktadır. Öte yandan, bu tane irilikleri mikroskop ile yapılan serbestleşme çalışmalarıyla tam bir uyum içerisinde olduğundan daha sonraki flotasyon testlerinde bu tane iriliği incelikleri sabit tutulmuştur.



Şekil 2 — Silisli revherde tane boyunun kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi



Şekil 3 — Farklı cevher tiplerinin florasyon artıklarındaki bakır tenörlerinin artık tane boyu gruplarına göre değişimi

3.2. Toplayıcı Cins ve Miktarı Tesbiti

Flotasyon çalışmalarında kullanılacak toplayıcılar, dünyadaki benzeri cevherler için kullanılanlar dikkate alınarak seçilmiştir (1,2). Bu toplayıcıların ticari ve kimyasal adları aşağıda verilmiştir.

KEX (Hoechst), Potasyumetilksantat

KAX (Hoechst), Potasyumamilksantat

NalPX (Hoechst), Sodyumizopropilksantat

Z - 200 (Dow Chemical), Etilizopropiltiyonokarbomat

LSB (Hoechst), Sodyumdisekonderbütilditiyofosfat

AEORO 238 (Cyanamid), Sodyumdisekonderbütilditiyofosfat

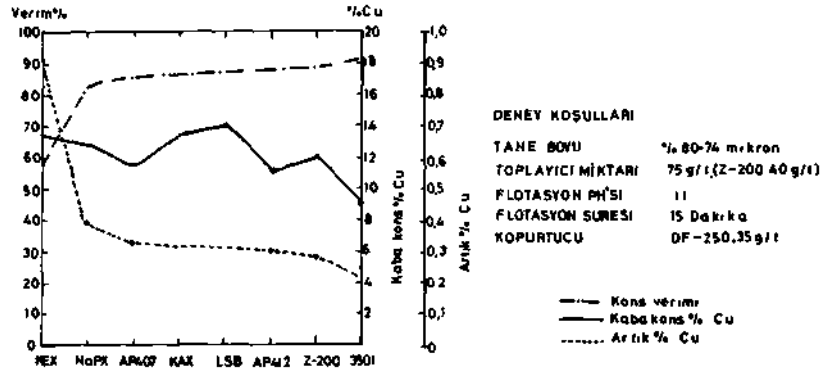
AEORO 3477 (Cyanamid), Sodyumdiizobütilditiyofosfat

AEORO 3501 (Cyanamid), Sodyumdiizoamilditiyofosfat

AEORO 407 (Cyanamid), Aeoro 3477 + Sodyummerkaptobenzotiyazol karışımı

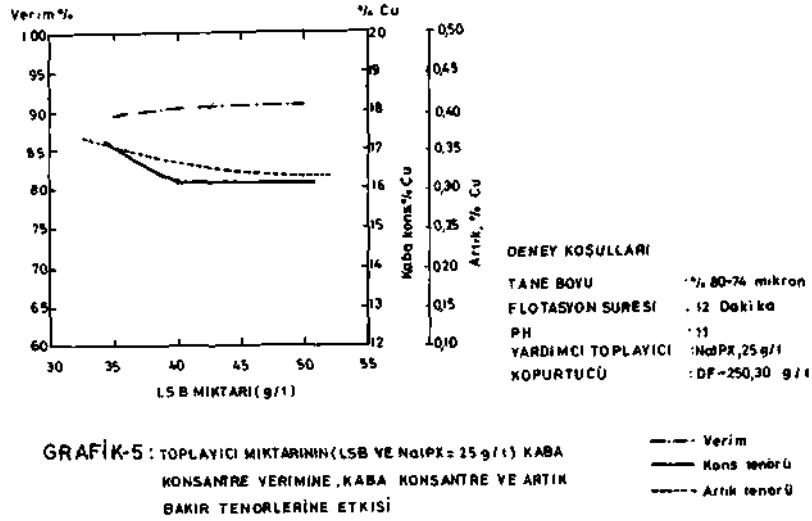
AEORO 412 (Cyanamid), Aeoro 3501 4- Sodyummerkaptobenzotiyazol karışımı

Yapılan testlerin sonuçları, şekiller ile anlatılmış olup, Şekil 4'den görüleceği üzere değişik toplayıcıların tek başına denendiği bir seri selektif flotasyon testinde, bakır verimi KEX ve NalPX dışında diğer bütün toplayıcılarda %85 değerinin üzerindedir. Bunlar arasında en yüksek verimler AERO 3501 (%91.7), Z-200 (%88.8), AP 412 (%88.2) LSB (%87.7) ve KAX (%86.4)'dir. Doğal olarak artıktaki bakır miktarı KEX ve NalPX dışında diğer toplayıcılarla yapılan testlerde %0.32 ile %0.20 değerleri arasında kalmıştır. Yine kullanılan toplayıcıların selektivite özelliklerine bağlı olarak kaba konsantredeki bakır tenörleri de %9 ile %14 arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4 — Aynı miktarda (Z-200 hariç) değişik türden toplayıcıların kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi

Bilindiği üzere, toplayıcıların uygun bir kombinasyon halinde kullanılmaları, dünyada pek çok tesis uygulamasında istenmektedir (1). Bunun nedeni sülfür mineral yüzeylerinin gösterdiği heterojen yüzey, kimyası sebebiyle yüzeylerin farklı bölgelerinin değişik toplayıcılarla seçimli reaksiyona yatkınlıklarıdır (3). Bu nedenle ve ksanatların daha ucuz toplayıcılar olması gerçeğinden hareketle, ilk denemelerimiz sonucunda başarılı sonuçların alındığı toplayıcıların ksanatlarla kombinasyonu testlerine geçilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü gibi en yüksek selektiviteye sahip LSB, en ucuz toplayıcı olan NaIPX ile kombine edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5 — Toplayıcı miktarının (LSB ve NaIPX = 25 g/t) kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi

Şekil 5'ten görüleceği üzere, 40 g/t LSB + 25 g/t NaIPX dönüm noktasını oluşturmaktadır. Bu miktarlardan daha fazlası ne konsantre tenöründe ve ne de verimde büyük değişikliklere yol açmamaktadır. Ancak görülmektedir ki güvence payı ile birlikte 50 g/t LSB+25 g/t NaIPX optimum toplayıcı miktarı olarak kabul edilebilir.

3.3. Toplayıcı Kondisyon Süresi

LSB + NaIPX kombinasyonunun kondisyon süresinin saptanması için değişik kondisyonlama sürelerinde piritik cevher ile yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3'te verilmektedir.

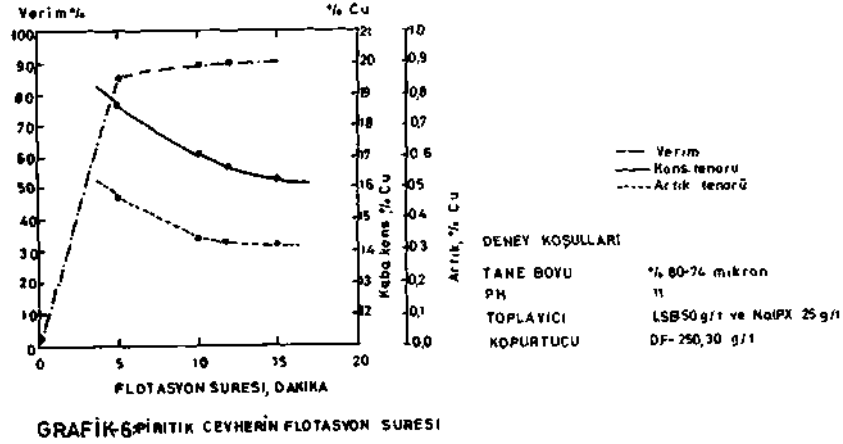
Çizelge 3 — Toplayıcı kondisyon süresinin bakır kaba konsantre tenor ve verimine etkisi

Deney Koşulları						
Tane Boyu	:	% 80	-74			
pH	:	11				
Toplayıcı	:	LSB 50 g/t	+ NaIPX 25 g/t			
Köpürtücü	:	DF-250,	20 g/t			
Flotasyon Süresi:		15 Dak.				
Kondisyon Süresi						
		0	1	2	4	8
Kaba Kons.Verimi %		91.7	91.7	91.8	91.6	90.5
Kaba Kons.Tenörü %		14.55	15.75	15.45	14.72	15.19
Artık % Cu		0.29	0.30	0.29	0.30	0.30

Çizelge 3'den görüleceği üzere toplayıcı kondisyon süresinin olumlu ya da olumsuz bir etkisi söz konusu değildir. LSB ve NaIPX suda kolayca çözündüklerinden ve absorpsiyon hızlarının büyüklüğünden dolayı kondisyonlamaya gerek olmayışı işletmecilik açısından ilginç bir avantajdır.

3.4. Flotasyon Süresinin Saptanması

Kaba konsantre verim ve tenörü açısından en uygun toplayıcı kombinasyonlardan biri olan LSB (50 g/t) + NaIPX (25 g/t) ile flotasyon süresinin saptanmasına yönelik testlerin sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

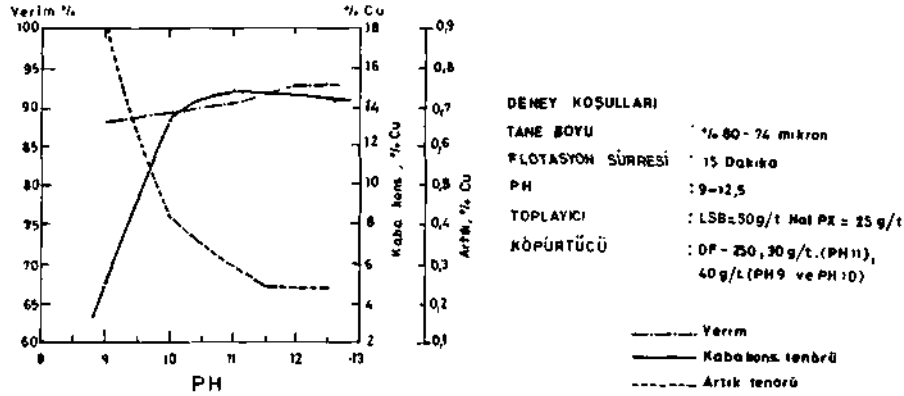


Şekil 6 — Piritik cevherin flotasyon süresi

Şekil 6'dan görüldüğü gibi 12 dakikalık flotasyon süresinden sonra kaba konsantre verimi değişmemekte artık tenöründe azalma eğilimini yitirmektedir. Doğal olarak flotasyon süresi uzadıkça konsantre tenörü %18 Cu'dan %16 Cu'ya düşmektedir. Laboratuvar ölçekte 15 dakikalık flotasyon süresi güvence payı da içerecek şekilde uygun görülmektedir. Tesis için gerekli kaba flotasyon süresi ise 32 dakika olarak hesaplanmıştır (1).

3.5. Flotasyon pH'sinin Saptanması

Testler pH 9.0-12.5 aralığında LSB + NaIPX toplayıcı kombinasyonu ile yapılarak sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere pH'nın kesinlikle 10'dan büyük olması gerekmektedir. Optimum flotasyonu pH'sı ise 11.5'tir.



GRAFIK — 7) PİRİTİK TOZ CEVHERDE FLOTASYON pH SININ TOPLAYICI LSB VE NaIPX İLE KABA KONSANTRE VERİMİNE; KABA KONSANTRE VE ARTIK BAKIR TENÖRLERİNE ETKİSİ

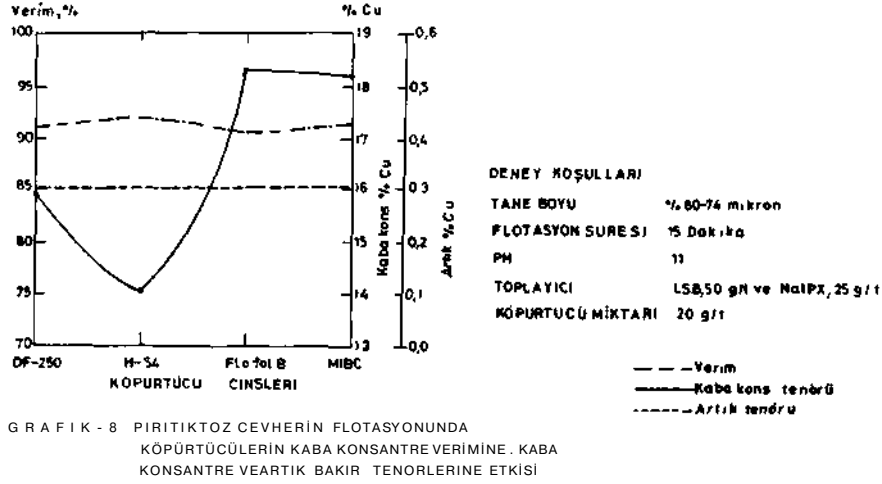
Şekil 7 — Piritik toz cevherde flotasyon pH'nin toplayıcı LSB ve NaIPX ile kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi

3.6. Köpürtücü Cinsinin Saptanması

Sülfürlü cevherlerin flotasyonunda yaygın olarak kullanılan ve kimyasal açıdan değişik yapıları köpürtücü türlerini temsil edebilecek aşağıda belirtilen köpürtücüler, 20 g/t'luk sabit dozda kullanılmıştır. DF-250, (Dow Chemical), Poliproylenglikolmetileter Flotol-B, (Hoechst), Alfa-Terpineol (yüksek evsafı %90'dan fazlası çamyacı)

H-54, (Hoechst), Alifatik alkolleler ile Poliglikoleterlerin karışımı MIBC, (Shell), Metüizobutilkarbinol

Bu köpürtücülerin kullanılması ile elde edilen sonuçlar Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8 — Piritik toz cevherin flotasyonunda köpürtücülerin kaba konsantre verimine; kaba konsantre ve artık bakır tenörlerine etkisi

Şekil 8'den görüleceği üzere, denenen dört farklı köpürtücünün kaba konsantre verimine önemli bir etkisi olmamıştır. Ancak nihai bakır konsantre tenörleri, büyük değişkenlik göstermektedir. Yüksek alkollü köpürtücüler alkil poliglükollerlere göre piritik cevherde daha fazla selektiviteye sahiptirler. Laboratuvar gözlemlerimize göre alkil poliglükollerler oldukça sulu köpük yapmakta, dolayısıyla tam drene olamayan su (veya pulp) içerdiği hidrofilik mineralleri de konsantreye taşımaktadır. Yine laboratuvar gözlemlerimize göre en iyi köpük yapısı MIBC ile elde edildiğinden piritik cevher için en uygun köpürtücünün bu köpürtücü olduğu sonucuna varılmıştır.

OPTİMUM FLOTASYON PARAMETRELERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Saptanan optimum flotasyon değişkenleri ile piritik, silisli ve karışık cevherler üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 4 — Piritik cevher ile LSB+ NaIPX kullanılarak yapılan flotasyon deneyi metal bilançosu

Deney Koşulları				
Tane Boyu	:	% 80 - 74 mikron		
pH	:	11.5		
Flot.Süresi	:	Kaba 15 dak. Temizleme 3 dak.,		
Toplayıcı	:	LSB 50 g/t + NaIPX 25 g/t		
Köpürtücü	:	MIBC 15 g/t		
		Temizleme aşamasında hiçbir reaktif kullanılmamış, sadece pH ayarı yapılmıştır.		
A ğ ı r l ı k				
Ü r ü n l e r	Gram	%	% Cu	V e r i m , %
Cu-Konsantre	95.2	9.5	25.19	80.4
Orta Ürün I	64.3	6.4	5.86	12.6
Artık	840.0	84.1	0.25	7.0
Besleme	999.5	100.0	2.98	100.0
Kaba Konsantre	159.5	15.9	17.40	93.0

Çizelge 5 — Silisli cevher ile LSB + NaIPX kullanılarak yapılan flotasyon deneyi metal bilançosu

Deney Koşulları				
Tane Boyu	:	% 80 - 53 Mikron		
pH	:	11.5		
Flot. Süresi	:	Kaba 15 dak., Temizleme 3 dak.,		
Toplayıcı	:	LSB 50 g/t + NaIPX 25 g/t		
Köpürtücü	:	MIBC, 15 g/t		
		Temizleme aşamasında hiçbir reaktif kullanılmamış, sadece pH ayarlanmıştır.		
A ğ ı r l ı k				
Ü r ü n l e r	Gram	%	% Cu	V e r i m %
Cu-Konsantre	109.1	10.7	20.72	71.7
Orta Ürün I	84.0	8.3	5.67	15.2
Artık	825.0	81.0	0.50	13.1
Beslerne	1018.1	100.0	3.09	100.0
Kaba Konsantre	193.1	19.0	14.14	86.9

Çizelge 4'den görüleceği üzere temizleme aşamasıyla %25 Cu içeren konsantre elde edilmiştir. Orta üründeki metal değerlerinin tesiste Cu konsantre verimine eşdeğer bir verimle elde edileceği varsayılırsa, sürekli devrenin verimi yaklaşık %90 olabilecektir.

Çizelge 5'den görüleceği üzere silisli cevherden temizleme aşamasıyla yaklaşık %21 Cu içeren konsantre elde edilmiştir. Bakır konsantre tenorunun piritik cevhere göre düşük olmasının nedeni, bu cevherdeki pirit yüzeylerinin daha temiz olması piritin de yüzerek daha düşük tenörlü konsantre elde edilmesine neden olmuştur. Bu olgu, gerek bakır konsantre ağırlık yüzdesinden ve gerekse orta ürünün ağırlık yüzdesinden açıkça görülebilmektedir.

Çizelge 6 — Piritik ve silisli cevher karışımı ile LSB + NaIPX kullanılarak yapılan flotasyon deneyi metal bilançosu

=====

Deney Koşulları

Tane Boyu	% '80 - 60 mikron veya 90 74 mikron
pH	11.5
Flotasyon Suresi	Kaba 15 dak., Temizleme 3 dak.,
Toplayıcı	LSB 50 g/t + NaIPX 25 g/t
Köpürtücü	MIBC, 15 g/t
	Temizleme aşamasında hiçbir reaktif kullanılmamış, sadece pH ayarlanmıştır.

Ü r ü n l e r	A ğ ı r l ı k		% Cu	V e r i m ,
	Gram	%		
Cu- Konsantre	107.6	10.7	21.90	78.3
Orta Ürün I	66.9	6.7	5.24	11.7
Artık	830.0	82.6	0.36	10.0
Beslerne	1004.5	100.0	2.99	100.0
Kaba Konsantre	174.5	17.4	15.48	90.0

Çizelge 6'dan görüleceği üzere 1/1 oranında piritik ve silisli cevher karışımı cevherin genel flotasyon davranışını değiştirmemekte ve elde edilen sonuç, cevherin karışım oranına bağlı olarak ya piritik ya da silisli cevherle elde edilen sonuçlara benzemektedir.

4.1. Selektif bakır konsantrelerinin ve artıklarının (Pirit konsantre) kimyasal bileşimi ve tane iriliği dağılımları

Çizelge 7 — Konsantre ve artıkların kimyasal bileşimi ve tane iriliği dağılımları

Element %	Piritik Cevher		Silisli Cevher		Karışık Cevher	
	Cu-Kons.	Artık	Cu-Kons.	Artık	Cu-Kons.	Artık
Cu	25.19	0.25	20.72	0.50	21.90	0.36
Zn	6.75	0.14	1.20	0.2*	3.27	0.17
Fe	24.94	44.50	29.73	31.90	27.12	38.40
S	36.20	49.48	36.50	35.58	-	-
SiO ₂	0.28	1.54	4.41	13.59	-	-
Au(g/t)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	-	-
Ag(g/t)	28.2	8.5	22.4	6.9	-	-
Tane Boyu (Mikron)	% Küm.Ş.E.A.	% Küm.Ş.E.A.	% Küm.Ş.E.A.	% Küm.Ş.E.A.	% Küm.Ş.E.A.	% Küm.Ş.E.A.
+150	-	1.3	-	-	-	0.4
-150+115	1.2	6.8	98.7	-	1.0	3.0
-110+74	6.9	98.8	13.5	91.9	-	9.5
- 74+53	13.6	91.9	15.4	78.4	4.4	10.8
- 53+44	10.3	78.3	10.5	63.0	8.9	95.6
-44	68.0	68.0	52.5	52.5	86.7	86.7
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5 LABORATUVAR ÖLÇEKLİ ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

1. Çalışmaların üzerinde yoğunlaştırdığı piritik cevher numuneleri laboratuvarımıza iki ayrı zamanda gönderilmiş olup, bunlardan ilkinin bakır tenörü %2.09, ikincisinin ise %2.88'dir. Her iki numune arasında bakır içeriği açısından farklılık vardır. Öte yandan gönderilen silisli cevher numunesinin bakır içeriği ise %2.85'dir.

2. Numunelerde ayrı ayrı yapılan minaralojik incelemelerde, özellikle piritik cevherde kalkosin, kovelin gibi sekonder mineraller saptanmasına karşın, oksidasyon derecesi flotasyonu etkileyecek düzeyde değildir.

3. Numunelerin elek analizi fraksiyonlarından hazırlanan parlatmalarda "Gaudin Yöntemi" ile yapılan serbestleşme tane boyu saptanmasında, piritik cevher için optimum serbestleşme tane iriliği %80-74 mikron ve silisli cevher için ise %80 -44 mikron bulunmuştur. Mikroskobik bulguların ışığında yapılan flotasyon çalışmalarının

da da optimum flotasyon serbestleşme tane iriliği piritik cevher için %80 -74 mikron, silisli cevher için %80 -53 mikron, 1/1 oranında karıştırılmış piritik ve silisli cevher için ise %80 - 60 mikron bulunmuştur.

4. Selektif flotasyon için uygun pH 11.5 olarak saptanmıştır. Laboratuvar çalışmalarımızda bu pH'yı elde etmek için kireç, 3-3,5 kg/ton olarak kullanılmıştır. Ancak bunun saf kireç olması nedeniyle ve tesiste kullanılacak kirecin serbest CaO miktarına göre değişeceğinden tesisteki kireç tüketim miktarını tam olarak vermek zor olmakla birlikte 7-10 kg/1 cevher olacağı hesaplanmaktadır.

5. Selektif flotasyon süresi laboratuvar ölçekte kaba flotasyon için 15 dakikadır. Tesis ölçüğünde ise kaba flotasyon devresinde bu sürenin 32 dakika, 1. temizleme devresinde 6,5 dakika ve gerekirse 2. temizleme de 4,5 dakika olacağı hesaplanmıştır.

6. Çalışmalarımız sonucunda selektif flotasyon için saptanan en uygun toplayıcılar şunlardır:

- a) Sodyumdisekonderbütilditiyofosfat
- b) Sodyumdisekonderbütilditiyofosfat + Sodyumizopropilksantat
- c) Sodyumdiizoamilditiyofosfat
- d) Sodyumdiizoamilditiyofosfat + Sodyumizopropilksantat

Bu toplayıcılarla piritik cevherde laboratuvar boyutlu çalışmalarında elde edilen verim, %90 dolaylarındadır. Gerek ucuzluğu ve gerekse selektif özelliğinin fazla olması nedeniyle sodyumdisekonderbütilditiyofosfat kullanılmasının daha uygun olacağı ortaya çıkmaktadır. Zira bu reaktifin NalPX ile kombinasyonu kullanılarak % 25 bakır içerikli konsantre 1. temizleme işlemi sonucunda elde edilmiştir. Silisli cevherde konsantre verimleri yaklaşık %85, tenor de %20 Cu dolaylarındadır. Karışık cevherde elde edilen sonuçlar iki cevherin ortalama sonuçlarıdır.

Artıklarda bakır içerikleri, piritik cevherde %0.20-0.35 arasında ve silisli cevherde de 0.40-0.50 arasında, karışık cevherde %0.36'dır. Silisli cevher artıklarında bakırın yüksek olmasının nedeni, bu cevherdeki bakır minerallerinin daha ince taneli olmasındandır.

7. Kutlular cevheri için en uygun köpürtücü cinsi yüksek alkollü köpürtücülerdir. En iyi sonuçlar sırasıyla MIBC, Flotol B, DF-250 ve H-54 ile elde edilmiştir.

8. LSB + NalPX kombinasyonu ile yapılan kondisyonlama testlerinin sonuçları kondisyonlama süresine bağımlılık göstermemiştir.

6 TESİS UYGULAMASI

Laboratuvar boyutlu çalışmalarımızda elde edilen optimum sonuçların kurulu tesiste uygulanması için 1-19 Eylül 1986 tarihleri ara-

smda çalışmalar yapılmıştır. Tesisin bu çalışmalardan önceki durumu, yapılan çalışmalar ve sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

6.1. Uygulama öncesi flotasyon prosesi

Konsantratör, bulk flotasyon tekniği ile çalışmaya başlamış, elde edilen sonuçlar proje hedeflerini karşılayamadığı için, Mart 1986'da selektif flotasyona geçilmiştir. Bu çalışma öncesi elde edilen bulk ve selektif flotasyonun tipik sonuçları Çizelge 8 ve 9'da verilmektedir.

Çizelge 8 — Tipik bulk flotasyon sonuçları

	Cu Tenörü %	Dağılım %
Tüvenan Cevher	1.93	100.0
Bulk Konsantre	2.70	69.0
Bakır Konsantre	22.67	48.1
Pirit Konsantre	0.89	20.9
Artık	1.18	31.0

Çizelge 9 — Selektif flotasyon tipik sonuçları
(17 Mart - 30 Haziran 1986 arası)

	Cu Tenörü %	Dağılım %
Tüvenan cevher	1.41	100.0
Bakır Konsantre	18.00	66.0
Artık (Pirit Kons)	0.50	34.0

Bu çizelgelerden görüleceği üzere, bakır kurtarma verimi selektif flotasyon devresinde, bulk flotasyona oranla %18 artmasına karşın istenilen düzeye ulaşamamıştır. Bunun ana nedeni de cevherin flotasyon özelliklerinin saptanmamış olmasıdır.

6.2. Laboratuvar Bulgularının Tesis Uygulaması

6.2.1. Flotasyon pH'sı

Laboratuvar çalışmaları ile ilgili bölümden de görüleceği gibi. Kutlular cevherleşmesinde minerallerin yüzebilirliğini etkileyen en önemli etkenlerden biri flotasyon devresinin pH'sıdır. Bu bulgumuz ışığında, taze kireç, ince cevher silosuna 5-7 kg/t miktarda beslenerek birincil öğütmede (8x12 bilyalı değirmen) değirmen içi pH'sının 11'in altına düşmemesi sağlanarak, piritin bastırılması için uygun bir kondüsyon süresi elde edilmiştir. Ote yandan flotasyon devresinin pH'sını 11.5 dolaylarında tutmak üzere devrenin çeşitli noktalarına da 1-3 kg/c düzeyinde kireç sütü ilave edilmiştir.

6.2.2. Flotasyon Devre Bağlantısı

Tesis uygulamalarına başlanıldığında kurulu bulunan devre (Ek 1), laboratuvar çalışmalarımızda bulunan sonuçlara uymadığından, 05.09.1986 tarihinde flotasyon devre bağlantıları Ek 2'de sunulan şekilde değiştirilmiştir. Değiştirilen bu devre bağlantısı, tesiste öğütme sınıflandırma sisteminde değişikliğe gidilmeksizin elde edilebilecek en optimum bağlantı şekli olup, ancak Kutlular cevherleşmesi için en uygun dizayn olduğu da iddia edilmemektedir.

Yapılan bu devre değişikliğinden sonra, PH'nin 11.5 pulp yoğunluğunun 1500-1550 g/l olarak kontrol altında tutulduğu vardiyalarda, 2. yıkamadan sonra elde edilen bakır konsantrenin verimi % 88-93 ve tenörü de % 22-27 arasında değişmiştir. Bu çalışmaların yapıldığı vardiyalara ait tipik bir metal bilançosu Çizelge 10'da verilmektedir.

Çizelge 10 — Yapılan devre değişikliğinden sonra optimum koşulların sağlandığı vardiyaların tipik metal bilançosu

	<i>Cu Tenörü</i> %	<i>Verim</i> %
Tüvenan Cevher	2.50	100.0
Bakır Konsantre	24.40	92.8
Artık	0.20	7.2
Vardiya koşulları: pH		11.5-12.0
Pulp Yoğunluğu	=: 1550 g/l	
Toplayıcı	= 2791, 120 g/t	
Köpürtücü	= DF-250 30 g/t	
Temizleme Sayısı	= 2	

6.2.3. Toplayıcı Cins ve Miktarı

Laboratuvar çalışmaları sonucunda kaba konsantre bakır tenoru, metal kurtarma randımanı ve toplayıcı fiyatı açısından en uygun toplayıcı olarak saptanan sodyum disekonder ditiyofosfat (ticari adı Hoechst firmasında LSB ve Cyanamid de ise AF-238)'in KBİ tarafından temin edilememesi nedeniyle, bu toplayıcıya alternatif olabilecek aşağıda belirtilen toplayıcı ve kombinasyonları tesis uygulamalarımızda denenmiştir.

a.) Hoechst 2791,	120 g/t
b.) Hoechst 2791 + KAX,	60+ 60 g/t
c.) Z200 + NaIPX,	20+ 80 g/t
d.) Z200 + KAX,	20+ 80 g/t
e.) KAX + NaIPX,	60+ 60 g/t

Bu toplayıcıların denenmesi esnasında kullanılan köpürtücü DF-250 olup tüketim miktarı 30 g/t ile sabit tutulmuştur. Denenen toplayıcı türleri tesis devresine beslendikten sonra yaklaşık 8 saat beklenilerek devrenin bu toplayıcı ile kararlı duruma gelmesi beklenilmiş ve bunu izleyen ikinci 8 saat sürede de periyodik aralıklarla 17 ayrı noktadan numuneler alınmıştır. Numune alım noktaları Ek 3'de verilmektedir.

Alman numunelerde bakır analizleri yapılarak denenen toplayıcı cinsine göre elde edilen tenor ve verimler Çizelge II'de özetlenmiştir. Bu çizelgeden görüleceği üzere, en yüksek verim di-izobütül ditiyofosfat ve merkaptobenzotiyazol karışımı olan Hoef 2791 toplayıcısı (yeni ticari adı Hostaflo M-91 olup AP 407'nin eşdeğeridir) ile elde edilmiştir (1. temizleme sonucunda Bakır konsantre tenörü % 24.40 ve metal kurtarma verimi % 92.8). Tesis boyutlu denemelerimiz sırasında bu toplayıcının alternatifi olabilecek diğer reaktifler etilizopropiltiyonokarbomat (Z 200) ile KAX kombinasyonudur (1. temizleme bakır konsantre verimi % 89.7 tenörü % 22.8 Cu).

Bu sonuçlara göre. Kutlular cevherleşmesinde salt Ksantat türü toplayıcıların bakır minerali yüzeylerinde kısmen bozunma ve kirlenme (tarnished) ve kısmen de oksidasyon nedeniyle denenen dozajlarda güçsüz kaldığı söylenebilir. Örneğin, KAX+NaIPX kombinasyonu ile elde edilen verim %75.3'dür. Çizelge II'de bu toplayıcı kombinasyonuna bakıldığında, işlenen cevher tenorunun göreceli düşüklüğüne karşın (% 19 Cu), Scavenge köpüğünün % 15.6 Cu ve artığın da % 0,5 Cu içermeleri bu toplayıcı kombinasyonunun ve dozajın yetersiz kaldığını açıkça göstermektedir. Öte yandan, bilindiği üzere toplayıcı miktarını artırarak kaçakları azaltmak bazı durumlarda mümkün olmakla birlikte selektivite olumsuz yönde etkilenecektir.

Çizelge 11 — KBI tarafından temin edilen toplayıcıların flotasyon prosesine etkisi

NUMUNELERİN ALIM YERİ NUMARALARI	NUMUNELERİN TANIMI	TOPLAYICI DİNSİ VE MİKTARI (gram/ton)				
		Hoe F 2791 (120 g/t)	Hoe F 2791 (60 g/t) KAX (60 g/t)	KAX (60 g/t) NaIPX (60 g/t)	Z-200 (20 g/t) NaIPX (60 g/t)	Z-200 ^x (20 g/t) KAX (60 g/t)
		% Cu	% Cu	% Cu	% Cu	% Cu
1	CEVNER	2.50	2.80	1.90	1.60	1.80
2	1. SIRA	22.60	25.40	15.80	27.60	23.00
3	KABA FLO-	8.20	23.80	15.70	17.20	9.60
4	TASYON	3.00	21.80	14.20	20.80	4.00
5	SELÜLERİ	2.80	15.40	6.40	4.60	1.80
6	1. SIRA ARTIĞI	0.90	1.00	1.70	1.20	0.70
7	2. SIRA	11.40	28.80	26.90	8.40	7.40
8	KABA FLO-	2.80	15.60	10.50	5.20	3.40
9	TASYON	1.60	8.20	15.90	5.20	0.40
10	SELÜLERİ	1.00	4.00	20.80	2.40	1.60
11	SCAVENGE	0.80	6.40	15.60	3.20	0.80
12	ARTIK (PİRİT KONS.)	0.20	0.40	0.50	0.30	0.20
17	1. TEMİZLEME GİRİŞİ	13.60	27.20	14.00	16.20	-
13	1. TEMİZLEME KOPUĞU	15.80	27.20	20.20	22.20	22.80
15	1. TEMİZLEME ARTIĞI (ORTA ÜRÜN)	1.80	2.00	4.40	4.20	-
14	2. TEMİZLEME ARTIĞI (ORTA ÜRÜN)	2.80	18.20	18.60	20.40	-
16	BAKIR KONSANTRE	24.40	29.00	23.20	23.00	22.80
	VERİMLER	92.8	86.9	75.3	82.3	89.7

^x 2. TEMİZLEME DEVRE POMPASI ARIZALI OLDUĞUNDAN SADECE BİR TEMİZLEME FLOTASYONU UYGULANDI.

Sonuç olarak Kutlular cevherleşmesi için di-tiyofosfat, tiyonokarbomat v.b. toplayıcıların ksantatlara oranla daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak kuvvetli ksantatların (CKAX gibi) bu tür diğer toplayıcıları ile kombinasyonları kullanılabilir.

7. TESİS UYGULAMALARININ SONUÇLARI

Tesis uygulamalarında yukarıda değinilen değişkenlerin optimize edilmesinden sonra 05.09.1986 tarihinde yapılan devre değişikliğini izleyen çalışmaların sürdürüldüğü 18.09.1986 tarihine kadar 35 vardiyanın ortalama sonuçları Çizelge 12'de verilmektedir. Söz konusu Çizelge değerleri, beklenilmeyen arızalar ile tesis devresinde, düşük pulp yoğunluğu, düşük pH ve reaktif dozajı v.b. oluşan aksamaları da kapsamaktadır.

Çizelge 12 — 35 Vardiyaya ait ortalama metal bilançosu

	<i>Cu Tenoru</i> %	<i>Verim</i> %
Tüvenan Cevher	2.13	100.0
Bakır Konsantre	23.73	85.7
Artık	0.33	14.3

Öte yandan söz konusu 35 vardiya eçirisinde tesis koşullarının optimize edilebildiği tamamen gözetimimiz altındaki durma-kalkma operasyonlarının tesis yönetimi tarafından minimize edildiği 19 vardiyanın ortalama metal bilançosu da Çizelge 13'de verilmektedir.

Çizelge 13 — 19 Vardiyaya ait ortalama metal bilançosu

	<i>Cu Tenoru</i> %	<i>Verim</i> %
Tüvenan Cevher	2.07	100.0
Bakır Konsantre	23.66	89.3
Artık	0.24	10.7

Çizelge 13'den görüleceği üzere, prosesin ana değişkenleri kontrol altında tutulduğu sürece, % 90 dolaylarında bakır kurtarma verimi ile % 24 Cu içeren bakır konsantre üretilebilmektedir.

8. SONUÇ

Laboratuvar ve Tesis ölçekli çalışmalar sonucunda optimum koşullar aşağıda özetlendiği şekilde belirlenmiştir.

Kutlular Cevher Yatağının Rezerv oranları dikkate alındığında prosesin piritik cevhere göre optimize edilmesi yararlı olacaktır.

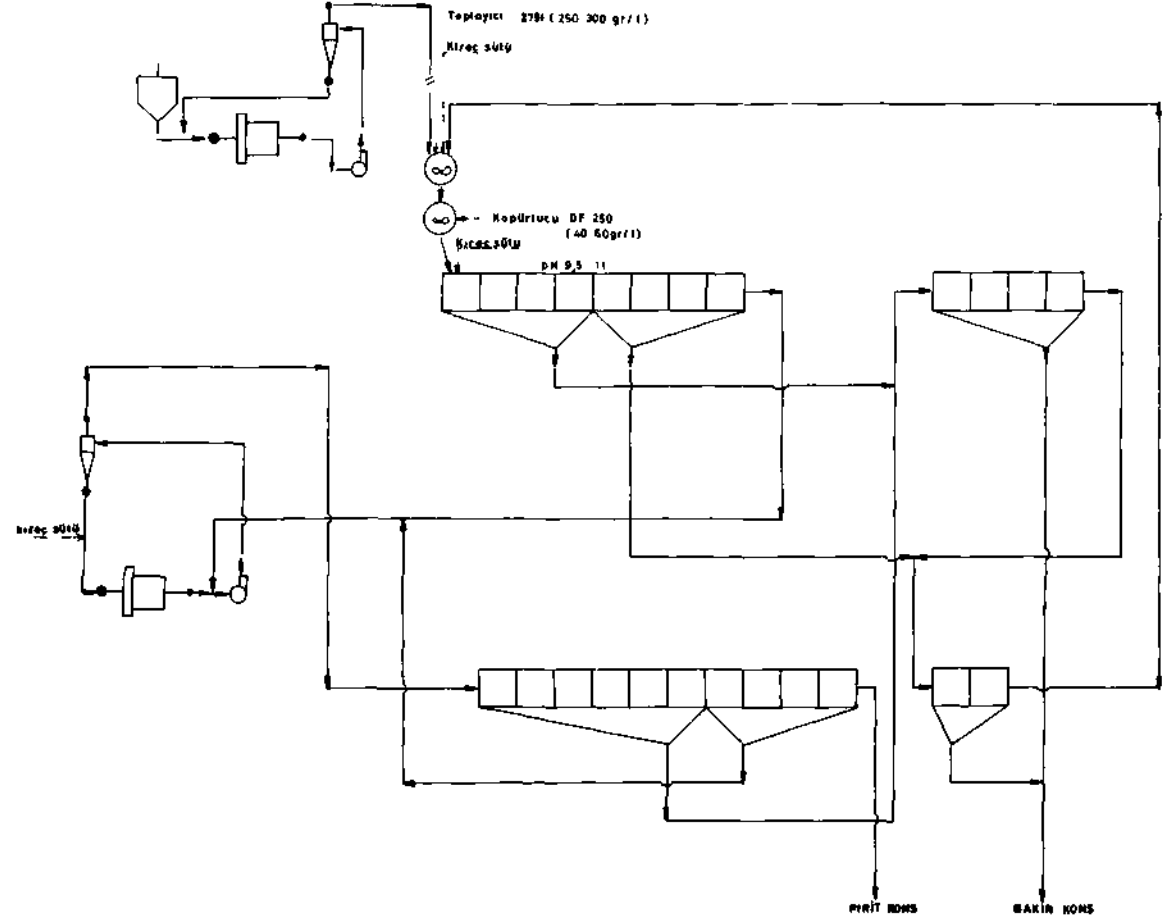
1. Öğütme inceliği: % 80-74 mikrondur.
2. Pulp pH'si: Mutlaka taze kireç kullanılarak, devre pH 11.5 olacaktır. Piritin bastırılması için birincil öğütmede pH'nin 11 olması gerekmektedir.
3. Toplayıcı Cinsi: Proseste etkin olan ana toplayıcı ditiyofosfat veya tiyonokarbomat türünden olmalıdır. Kuvvetli Ksantatlar bu toplayıcılar ile maksimum 1/1 tercihan 2/1 oranında kombine edilebilir.
4. Toplayıcı Beslemesi: Toplam toplayıcı miktarının takriben % 55-60'ı 1. kondisyonere, % 25-35'i 1. sıra kaba flotasyon selülleri artığına (2. değirmene gelen) ve %10-15'i de scavenger selülleri girişine' olmak üzere Ek 2'de belirtildiği gibi 3 noktadan verilmelidir. Temizleme devresine toplayıcı veya köpürtücü verilmesine gerek yoktur.
5. Toplayıcı Miktarı: Ditiyofosfat türü toplayıcılar tek başlarına kullanılacak ise 120-150 g/t, ksantatlar ile kombine edilecek ise 100 g/t ditiyofosfat, 25-50 g/t ksantat kullanılmalıdır. Tiyonokarbomat (Z 200) çok pahalı olması nedeniyle yalnız kullanılması tavsiye edilmez. Örneğin KAX ile yapılacak kombinasyonunda da tiyonokarbomat 20-30 g/t ve KAX'in da 50-80 g/t olarak kullanılmalıdır.
6. Plup Yoğunluğu: Cevher yoğunluğunun çok yüksek olması nedeniyle, devre pulp yoğunluğunun 1. kaba flotasyon selüllerinde (kondisyoner çıkışı) 1450-1550 gr/l olması veya diğer hjr deyişle artıkta kaçağın artmaması için 2. sıra kaba flotasyon» selüllerinde plup yoğunluğunun 1350 gr/l'nin altına düşmemesi gereklidir.
7. Köpürtücü Cins ve Miktarı- Laboratuvar bulgularına göre Metil Isobutil Karbinol ile daha iyi sonuç alınmıştır. Kullanılacak miktar 20-40 g/t arasında olup bu miktar flotasyon operatörünün sürekli kontrol etmesi gerekli bir değişkendir.

TEŞEKKÜR

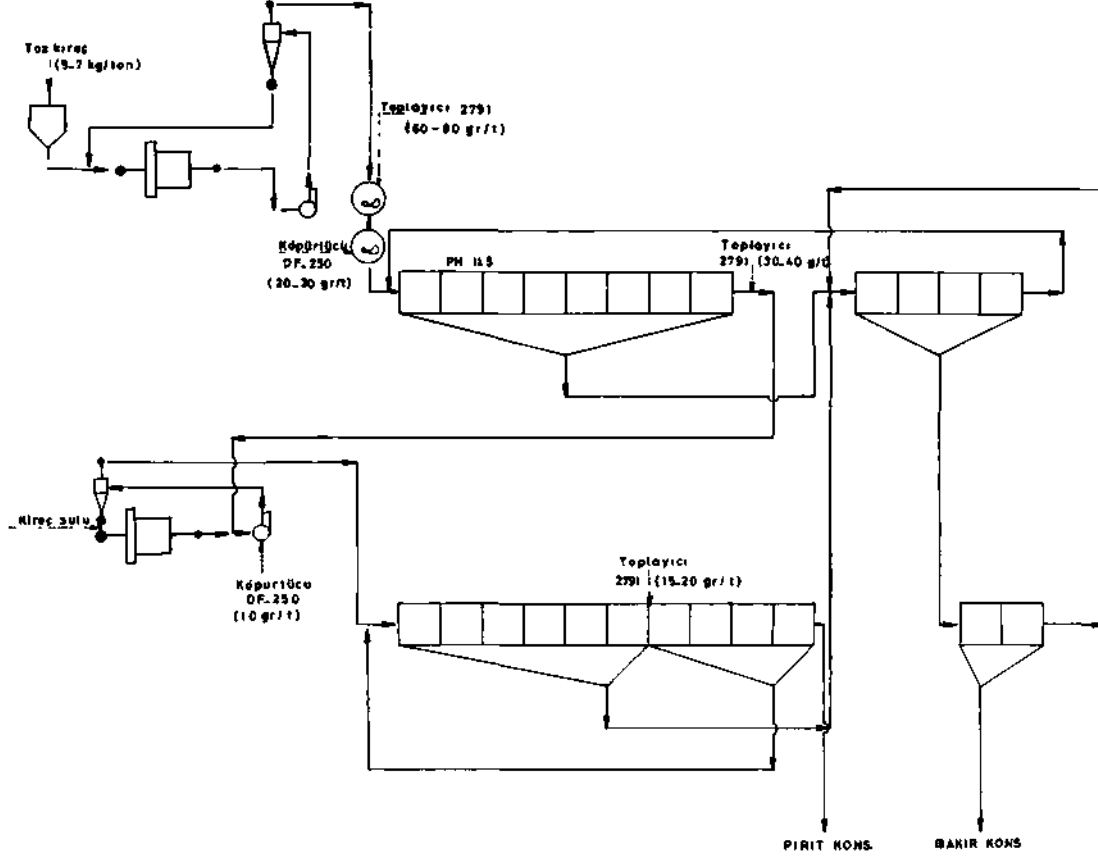
Bu çalışmanın yayınlanmasına izin vermelerinden ötürü KBİ Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

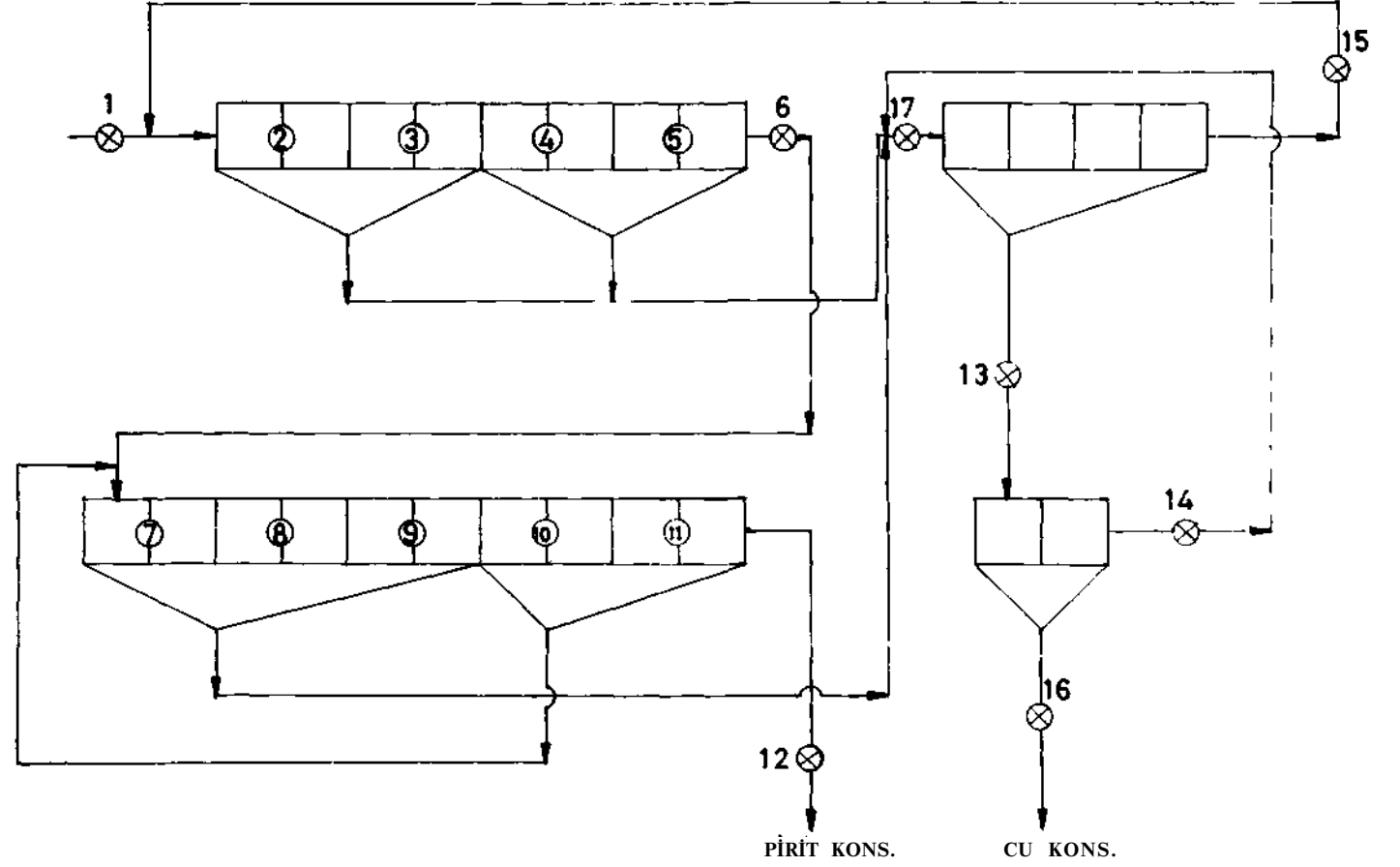
1. WEISS, N.L. (Ed.), SME Mineral Processing Handbook, Society of Mining Engineers, New York, 1985 Chapter 5.
2. CROZIER, R.D., Processing of Copper Sulphide Ores: Froth Flotation Reagents— A Review, Mining Magazine Nisan 1978, pp. 332-339
3. PLAKSIN, I.N., Study of Superficial Layers of Flotation Reagents on Minerals and the Influence of the Structure of Mineral on Their Interaction with Reagents, International Min. Proc. Cong. 1960, Group III, paper no. 13, pp. 253-68, I.M.M. London.



Ek 1 -- 5.9.1986 öncesi KBI Kutular flotasyon tesisi akım şeması



Ek 2 — 5.9.1986 tarihinde yeniden düzenlenmiş KBİ - Kutular flotasyon tesisi akım şeması



Ek 3 — Toplayıcı etkinliğini belirlemek için flotasyon devresinden alınan numunelerin yer ve numaraları