

KOYULHISAR Pb-Cu-Zn CEVHERİNİN SEÇİMLİ FLOTASYONLA ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KOŞULLARIN BELİRLENMESİ**Determination of Optimum Selective Flotation Conditions for Koyulhisar Pb-Cu-Zn Ore**

Yakup CEBECİ^(*)
A. Ayvaz KUVVETLİ^(**)
Alper ÖZKAN^(***)

Anahtar Sözcükler: Seçimli Flotasyon, Kaba Konsantre, Tenor, Verim, Kompleks Sülfürlü Cevher.

ÖZET

Bu çalışmada, Sivas-Koyulhisar yöresine ait Pb-Cu-Zn cevherinin seçimli flotasyonla zenginleştirilmesinde optimum flotasyon koşullarının belirlenmesine çalışılmıştır. Seçimli flotasyonun ilk kademesinde Pb, ikinci kademesinde Cu ve üçüncü kademesinde ise Zn kaba konsantresi eldesinde en uygun flotasyon koşulları tesbit edilmiştir. Kazanılan kaba konsantrelerle daha sonra temizleme flotasyonları yapılmıştır. Koyulhisar Pb-Cu-Zn cevherinin %6,54 Pb, %1,45 Cu ve %7,47 Zn tenörlü olduğu tesbit edilmiş olup, bu cevherden seçimli flotasyonla kazanılan Pb, Cu ve Zn kaba konsantrelerinin tenor değerleri sırasıyla; %23,86 Pb, %12,92 Cu ve %36,12 Zn, konsantre verim değerleri ise %90,33, %79,30 ve %90,42'dir. Kaba konsantrelerin temizleme flotasyonuna tabi tutulmasıyla elde edilen Pb, Cu ve Zn nihai konsantrelerinin tenor değerleri sırasıyla; %65,28 Pb, %26,23 Cu ve %54,40 Zn, konsantre verim değerleri ise %59,60, %60,42 ve %77,92'dir.

ABSTRACT

In this study, optimum flotation conditions for Koyulhisar Pb-Cu-Zn ore was determined. The most suitable conditions was fixed for Pb, Cu, and Zn in first, second and third stage, respectively and cleaning experiments were carried out for each mineral. Optimum rougher grades from the ore assaying 6,54% Pb, 1,45% Cu and 7,47% Zn, are 23,86% Pb, 12,92% Cu and 36,12% Zn. The recoveries of the rougher flotation are 90,33%, 79,30% and 90,42%, respectively. After cleaning steps, concentrates assaying 65,28% Pb, 26,23% Cu and 54,40% Zn were obtained with recoveries 59,60%, 60,42% and 77,92%, respectively.

^{*} Doç.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., 58140 Sivas

^(M) Maden Yük. Müh., Koyulhisar-Sivas

¹ Araş.Gör., Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., 58140 Sivas

1. GİRİŞ

Yüksek tenörlü Pb-Cu-Zn cevher yataklarının hızla azalması ve hammadde ihtiyacının artması nedeniyle düşük tenörlü kompleks cevherlerin değerlendirilmesi zorunlu olmuştur. Bu durum cevher hazırlama sürecinin gelişmesini ve özellikle de gravite yöntemleriyle zenginleştirilemeyen düşük tenörlü kompleks yapıları cevherlerin zenginleştirilmesine imkan sağlayan flotasyon yönteminin önemini artırmaktadır (Bayraktar ve Altun, 1996).

Pb-Cu-Zn cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygun flotasyon yöntemini belirlemede, cevher mineralojisi ve izabe koşulları birinci derecede önemli olmaktadır. Bu nedenle kollektif, seçimli ya da kollektif+seçimli flotasyon yöntemi uygulanmaktadır.

Flotasyonla ilgili olarak yapılan çalışmaların çoğu sülfür mineralleriyle ilgili olup, flotasyon özellikleri geniş bir şekilde çalışılmıştır. Sülfür minerallerinin flotasyonunda yaygın biçimde çeşitli ticari isimlerde satılan ksantat tipi toplayıcılar, alkol tipi köpürtücüler, değişik inorganik ve organik türde düzenleyici reaktifler kullanılmaktadır (Atak, 1990; Leja, 1982; Arbiter, 1985; Wills, 1988).

Flotasyon sonrası izabe gelirinin artırılması, konsantre kazanım verimini fazla düşürmemek koşuluyla ancak konsantre tenorunun yükseltilmesiyle mümkündür. Konsantre tenorunun artırılması ise flotasyon koşullarının amaca uygun şekilde optimizasyonu ile sağlanabilir (Bayraktar ve Kaplan, 1989).

Bu çalışmada, Koyulhisar-Sivas Pb-Cu-Zn cevherinin seçimli flotasyonla zenginleştirilmesinde optimum koşulların belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Bu çalışmada Koyulhisar'dan alınan Pb-Cu-Zn cevheri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Yapılan mineralojik analiz sonucunda cevherde, sülfür mineralleri olarak galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit; gang mineralleri olarak da kuvars, kalsit ve hematit bulunduğu tesbit edilmiştir (Gökçe ve Ark., 1988).

Çizelge 1. Kimyasal Analiz Sonuçları

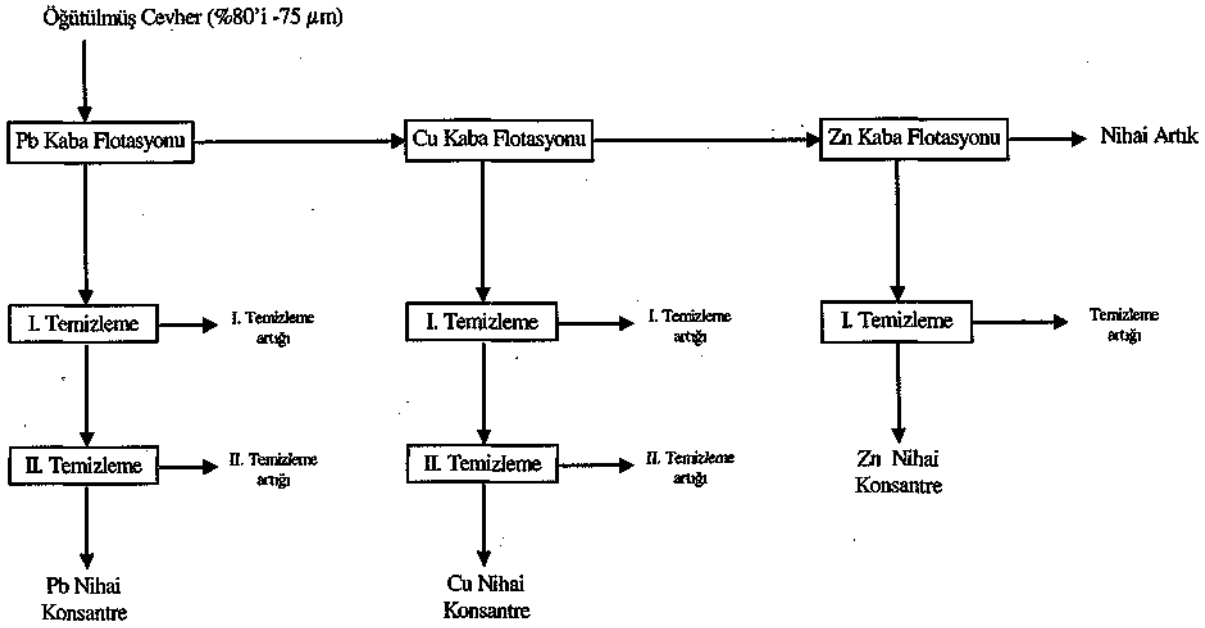
Element	Miktar, %.
Pb	6.54
Cu	1.45
Zn	7.47

Yapılan ön zenginleştirme deneyleri ve mikroskopik incelemeler sonucunda tane serbestleşmesinin, cevherin %80'inin -75 um olacak şekilde öğütülmesiyle sağlanacağı belirlenmiştir.

2.2. Yöntem

Tane boyutu %80'i -75 um olan 500 gramlık örnekler üzerinde, Şekil 1'de verilen akım şeması izlenerek önce Pb, Cu ve Zn kaba konsantrelerinin seçimli flotasyonla kazanılmasında optimum zenginleştirme koşulları belirlenmiştir. Daha sonra, elde edilen kaba konsantrelerle, temizleme flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Deney koşulları, kullanılan reaktifler ve miktarları aşağıda verilmiştir. Etkisinin incelendiği deney koşulu hariç diğer koşullar sabit tutularak, ilgili koşulun etkisi araştırılmıştır. Bu reaktiflerin sülfürlü minerallerin flotasyonuna etkisi bilindiğinden optimum koşullar verilmiş, ayrıca yorum yapılmamıştır.



Şekil 1. Deneysel süreçte izlenen akım şeması

Deneysel Koşullar

	Kaba Flotasyon		
	Pb	Cu	Zn
pH (Ca(OH) ₂ ve Na ₂ CO ₃ 'le ayarlanmıştır)	8	8	11
Na ₂ SiO ₃ , gr/ton (Gang minerallerini bastırıcı)	200	200	200
ZnSO ₄ , gr/ton (Sfalerit mineralini bastırıcı)	600	600	-
NaCN, gr/ton (Pirit ve kalkopirit minerallerini bastırıcı)	60	20	40
Na ₂ Cr ₂ O ₇ , gr/ton (Galen mineralini bastırıcı)	-	200	200
CuSO ₄ , gr/ton (Sfalerit mineralini canlandırıcı)	-	-	250
KAX, gr/ton (Toplayıcı)	100	60	100
2 Etil Hekzanol, gr/ton (Köpürtücü)	120	40	120
Katı oranı, %	20	20	20
Kondüsyon süresi, dak.	5	5	5
Köpük alma süresi, dak.	5	5	5

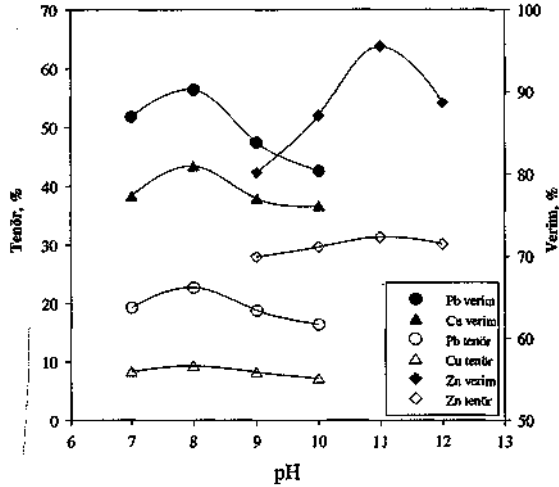
3. BULGULAR

3.1. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum pH'in Belirlenmesi

Şekil 2'nin incelenmesinden görüldüğü gibi; Pb ve Cu kaba flotasyonunda en yüksek konsantre tenor ve verim değerlerine pH 8'de, Zn kaba flotasyonunda ise pH 11'de ulaşılmıştır. Bu nedenle, Pb ve Cu kaba flotasyonunda optimum pH 8, Zn kaba flotasyonunda ise pH 11 olarak belirlenmiştir.

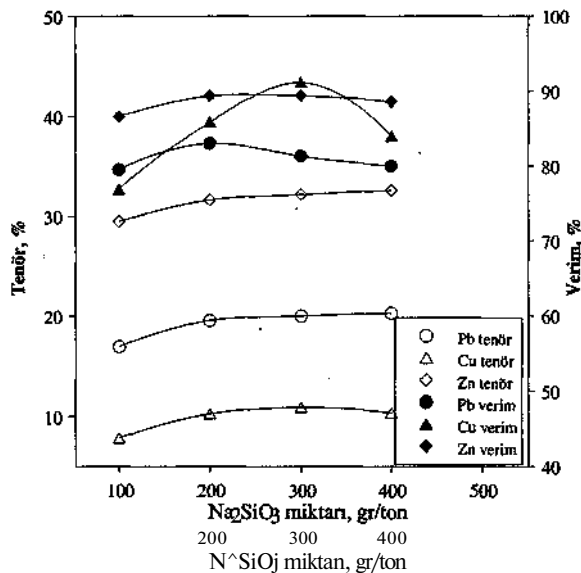
3.2. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum Na₂SiO₃ Miktarının Belirlenmesi

Şekil 3'de görüldüğü gibi; Pb kaba flotasyonunda Na₂SiO₃ miktarı arttıkça konsantre tenora artmakta, ancak verim 200 gr/ton Na₂SiO₃ miktarından sonra azalmaktadır. Cu kaba flotasyonunda Na₂SiO₃ miktarı 300 gr/ton iken konsantre tenor ve verim değerleri maksimuma ulaşmaktadır. Zn kaba flotasyonunda ise artan Na₂SiO₃



Şekil 2. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda pH'nin etkisi

miktanyla konsantre tenora artarken, 300 gr/ton Na_2SiO_3 miktarından sonra verim değeri düşmektedir. Bu nedenle optimum Na_2SiO_3 miktar; Pb kaba flotasyonunda 200 gr/ton, Cu ve Zn kaba flotasyonunda ise 300 gr/ton olarak tesbit edilmiştir.

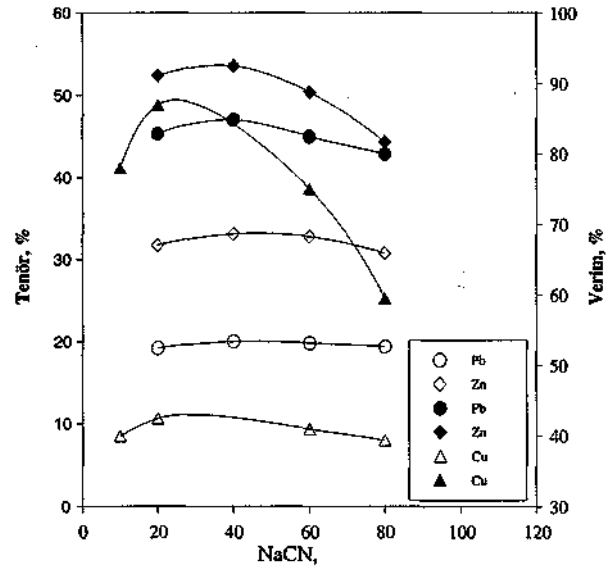


Şekil 3. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda Na_2SiO_3 miktarının etkisi

3.3. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum NaCN Miktarının Belirlenmesi

Pb kaba flotasyonunda NaCN miktarı 40 gr/ton'dan fazla olduğunda konsantre verimi

azalmakta, konsantre tenöründe ise düşük oranda bir azalma olmaktadır. Cu kaba flotasyonunda 20 gr/ton NaCN miktarında, Zn kaba flotasyonunda ise 40 gr/ton NaCN miktarda konsantre tenör ve verim değerleri maksimuma ulaşmaktadır. Bu nedenle optimum NaCN miktar; Pb ve Zn kaba flotasyonunda 40 gr/ton, Cu kaba flotasyonunda ise 20 gr/ton olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda NaCN miktarının etkisi

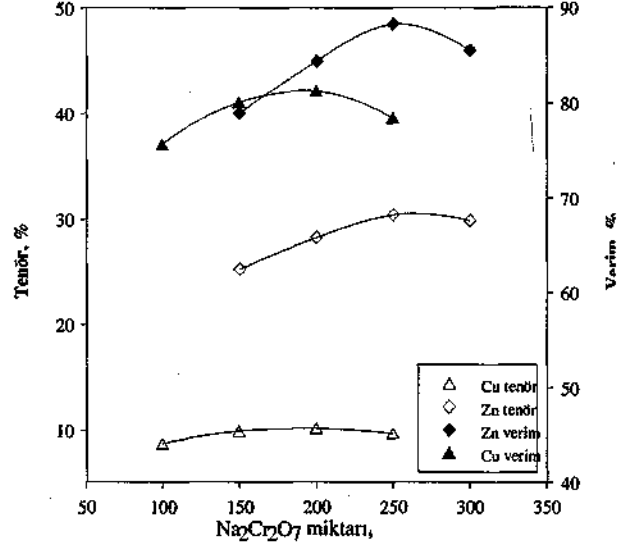
3.4. Pb ve Cu Kaba Flotasyonunda Optimum ZnSO_4 Miktarının Belirlenmesi

Pb ve Cu kaba flotasyonunda, sfalerit mineralini seçimli olarak bastırmak için ZnSO_4 kullanılmıştır. Pb kaba flotasyonunda, Şekil 5'den görüldüğü gibi 600 gr/ton ZnSO_4 miktarında konsantre tenör ve verim değeri maksimuma ulaşmaktadır. Cu kaba flotasyonunda ise artan ZnSO_4 miktanyla genel olarak konsantre tenora ve verimi artmakta, ancak 800 gr/ton miktandan sonra her iki değerde de azalma görülmektedir. Bu nedenle en uygun ZnSO_4 miktarı; Pb ve Cu

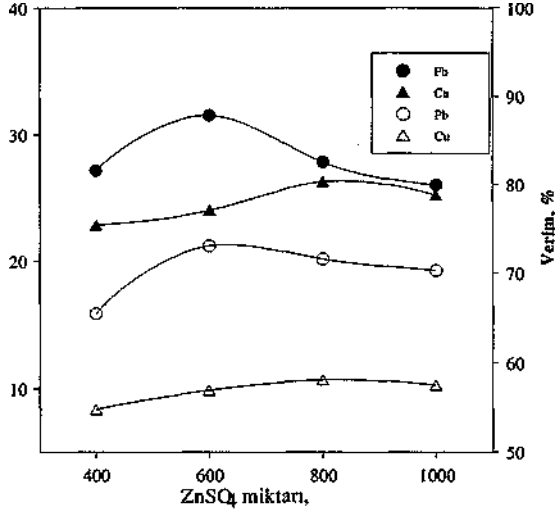
kaba flotasyonu için sırasıyla 600 ve 800 gr/ton olarak belirlenmiştir.

3.5. Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ Miktarının Belirlenmesi

Cu ve Zn kaba flotasyonunda galen mineralini seçimli olarak bastırmak için $\text{Na}_2\text{C}^{\wedge}\text{O}_y$ kullanılmıştır. Şekil 6'dan görüldüğü gibi maksimum konsantre tenör ve verim değerlerine, Cu kaba flotasyonunda 200 gr/ton ve Zn kaba flotasyonunda ise 250 gr/ton $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ miktarında ulaşılmaktadır. Bu nedenle optimum $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ miktarı; Cu ve Zn kaba flotasyonu için sırasıyla 200 ve 250 gr/ton olarak tesbit edilmiştir.



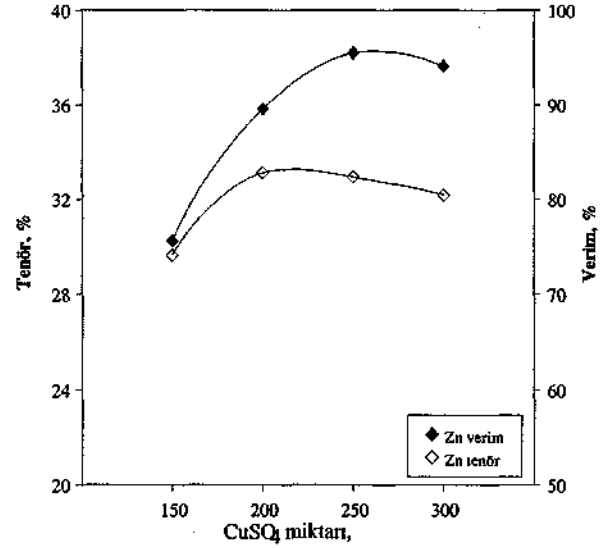
Şekil 6. Cu ve Zn kaba flotasyonunda $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ miktarının etkisi



Şekil 5. Pb ve Cu kaba flotasyonunda ZnSO_4 miktarının etkisi

3.6. Zn Kaba Flotasyonunda Optimum CuSO_4 Miktarının Belirlenmesi

Zn kaba flotasyonunda sfalerit mineralini canlandırmak için QISO_4 kullanılmıştır. Şekil 7'den görüldüğü gibi, 250 gr/ton CuSO_4 miktarında konsantre verimi maksimuma ulaşmakta, konsantre tenörü ise 200 gr/ton CuSO_4 miktarından sonra azda olsa bir düşüş göstermektedir. Bu nedenle optimum QISO_4 miktarı 250 gr/ton olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Zn kaba flotasyonunda CuSO_4 miktarının etkisi

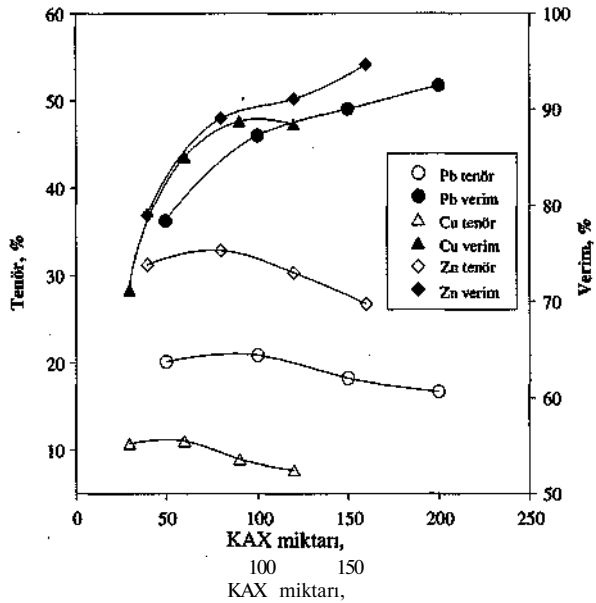
3.7. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum KAX Miktarının Belirlenmesi

Pb ve Zn kaba flotasyonunda Şekil 8'den görüldüğü gibi artan KAX miktarıyla konsantre verimi artarken, Pb kaba flotasyonunda 100 gr/ton KAX miktarından sonra, Zn kaba flotasyonunda ise 80 gr/ton

KAX miktarından sonra konsantre tenörü azalmaktadır. Bu nedenle Pb kaba flotasyonunda optimum KAX miktarı 100 gr/ton, Zn kaba flotasyonunda ise 80 gr/ton olarak belirlenmiştir. Cu kaba flotasyonunda da artan KAX miktarıyla konsantre verimi artmakta, ancak 90 gr/ton miktarından sonra azalmaya başlamaktadır. Bununla birlikte, konsantre tenörü ise 60 gr/ton KAX miktarından sonra azalmaktadır. Bu nedenle Cu kaba flotasyonunda optimum KAX miktarı 60 gr/ton olarak tesbit edilmiştir.

3.8. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum 2 Etil Hekzanol Miktarının Belirlenmesi

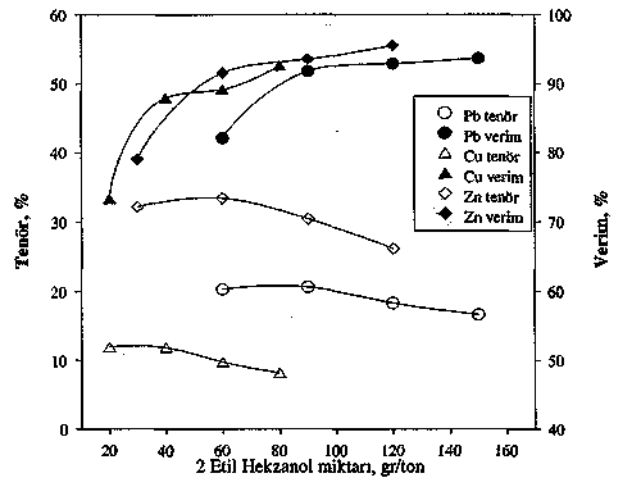
Köpürtücü olarak 2 Etil Hekzanol'un kullanıldığı deneylerde; genel bir eğilim olarak artan köpürtücü miktarıyla konsantre verimleri belirli bir noktaya kadar hızla artmakta, bu noktadan sonra artış azalmakta ve konsantre tenörü ise artan köpürtücü miktarıyla azalmaktadır. Şekil 9'un değerlendirilmesinden en uygun 2 Etil Hekzanol miktarı; Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonu için sırasıyla 120, 40 ve 60 gr/ton olarak belirlenmiştir.



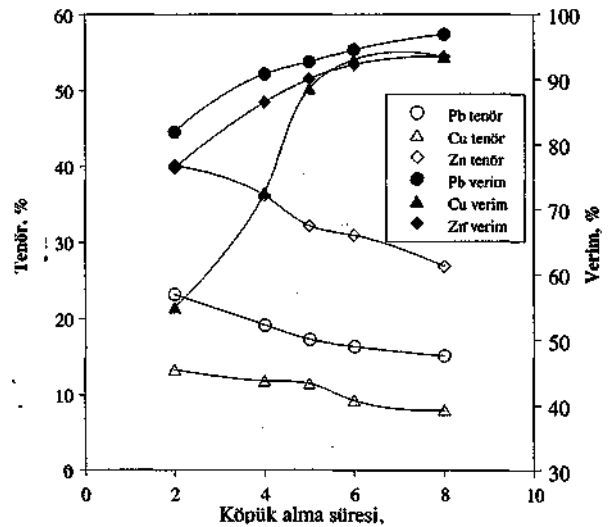
Şekil 8. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda KAX miktarının etkisi

3.9. Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyonunda Optimum Köpük Alma Süresinin Belirlenmesi

Şekil 10'dan görüldüğü gibi, köpük alma süresi arttıkça konsantre verimleri artmakta, ancak konsantre tenörleri azalmaktadır. Bu nedenle, istenilen konsantre tenör ve verim değerleri gözönüne alınarak optimum köpük alma süresi; Pb ve Cu kaba flotasyonunda 5 dakika, Zn kaba flotasyonunda ise 4 dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda 2 Etil Hekzanol miktarının etkisi



Şekil 10. Pb, Cu ve Zn kaba flotasyonunda köpük alma süresinin etkisi

3.10. Optimum Koşullarda Yapılan Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyon Deneyleri

Belirlenen optimum koşullarda yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen zenginleştirme sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Optimum Koşullarda Yapılan Pb, Cu ve Zn Kaba Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Kaba Konsantre	Tenör, %			Verim, %
	Pb	Cu	Zn	
Pb	23,86	0,48	1,82	90,33
Cu	0,86	12,92	1,08	79,30
Zn	0,56	0,37	36,12	90,42

3.11. Temizleme Flotasyon Deneyleri

Ön deneylerle belirlenen aşağıda verilen optimum koşullarda; Pb, Cu ve Zn kaba

konsantrleriyle temizleme flotasyon deneyleri yapılmış olup, Çizelge 3'deki zenginleştirme sonuçları elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

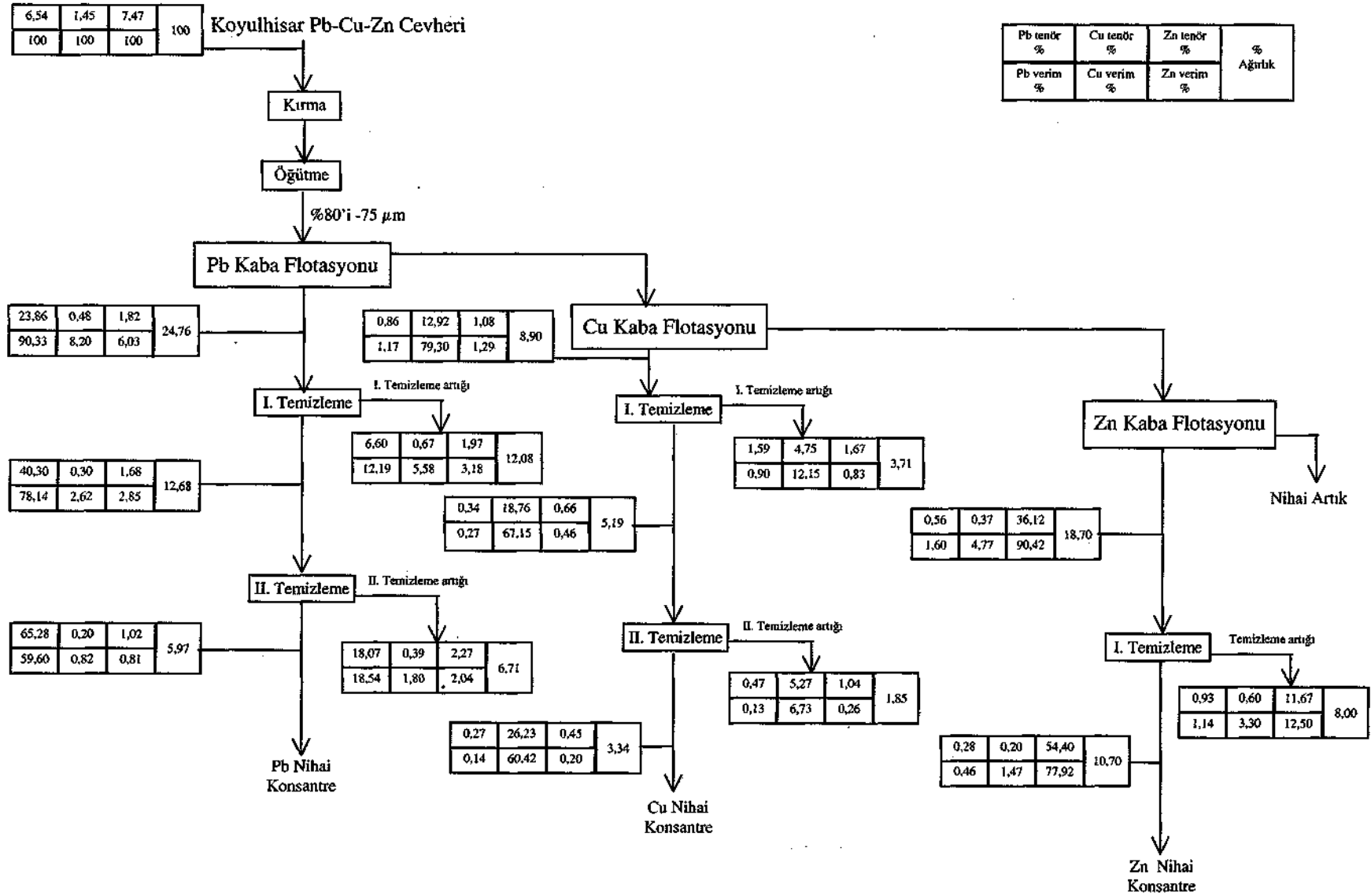
Optimum serbestleşme tane boyutu, Cevherin %80'i -75 um olacak şekilde öğütülmesiyle sağlanmıştır.

Optimum koşullar, Pb kaba flotasyonu için; pH=8, 200 gr/ton Na_2SiO_3 , 40 gr/ton NaCN, 600 gr/ton $ZnSO_4$, 100 gr/ton KAX, 120 gr/ton 2 Etil Hekzanol, köpük alma süresi 5 dakika, Cu kaba flotasyonu için; pH=8, 300 gr/ton Na_2SiO_3 , 20 gr/ton NaCN, 800 gr/ton $ZnSO_4$, 200 gr/ton $Na_2Cr_2O_7$, 60 gr/ton KAX, 40 gr/ton 2 Etil Hekzanol, köpük alma süresi 5 dakika, Zn kaba flotasyonu için; pH=11, 300

Deney Koşulları	Pb		Temizleme Flotasyonu Cu		Zn
	I.	II.	I.	II.	I.
pH	8	8	8	8	10.5
Na_2SiO_3 , gr/ton	80	40	40	40	80
$ZnSO_4$, gr/ton	100	50	80	30	-
NaCN, gr/ton	10	-	-	-	-
$Na_2Cr_2O_7$, gr/ton	-	-	50	-	-
$CuSO_4$, gr/ton	-	-	-	-	100
KAX, gr/ton	20	10	20	10	60
2 Etil Hekzanol, gr/ton	20	10	20	10	40

Çizelge 3. Temizleme Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Temizleme Flotasyonu	Nihai Konsantre	Tenör, %			Verim, %
		Pb	Cu	Zn	
I.	Pb	40,30	0,30	1,68	78,14
II.		65,28	0,20	1,02	59,60
I.	Cu	0,34*	18,76	0,6"	67,15
II.		0,27	26,23	0,45	60,42
I.	Zn	0,28	0,20	54,40	77,92



Şekil 11. Koyulhisar Pb-Cu-Zn cevherinin optimum koşullarda seçimli flotasyon ile zenginleştirilme akım şeması

gr/ton Na_2SiO_3 , 40 gr/ton NaCN, 250 gr/ton $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 250 gr/ton CuSO_4 , 80 gr/ton KAX, 60 gr/ton 2 Etil Hekzanol, köpük alma süresi 4 dakika, olarak bulunmuştur.

Seçimli flotasyonla kazanılan Pb, Cu ve Zn kaba konsantrelerinin tenor değerleri sırasıyla; %23,86 Pb, % 12,92 Cu ve %36,12 Zn, konsantre verim değerleri ise %90,33, %79,30 ve %90,42'dir. Nihai konsantre tenörleri ise Pb, Cu ve Zn için sırasıyla %65,28, %26,23 ve %54,40, konsantre verimleri ise %59,60, %60,42 ve %77,92'dir.

Nihai konsantre verim değerleri, temizleme flotasyon artıklarının tekrar zenginleştirilmesiyle artırılabilir.

Deney sonuçlarına bağlı olarak önerilen akım şeması Şekil 11'de kütle denkliği ile birlikte verilmiştir.

KAYNAKLAR

Arbiter, N. (Section Editor), 1985; "Flotation", SME Mineral Processing Handbook, Volume I, Section 5, New York.

Atak, S., 1990; "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması", İstanbul.

Bayraktar, L, Altun, Y, 1996; "Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Özellikleri, Ekonomik Değeri ve Zenginleştirilmesi", Madencilik Dergisi, Cilt XXXV, Sayı 1, s. 11-21.

Bayraktar, İ, Kaplan, M., 1989; "Sülfürlü Kompleks Cevherlerin Flotasyonunda Toplayıcıların Tesisin Ekonomik Performansına Etkisi Bir Uygulama Örneği", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, s. 449-464, Ankara.

Cebeci, Y., Sezenler, H., Canbazoğlu, M., 1992; "Koyulhisar Cu-Pb-Zn Cevherlerinin

Flotasyonla Zenginleştirilmesi Araştırmaları", VII. Mühendislik Haftası, İsparta.

Gökçe, A., Özgüneylioğlu, A., 1988; "Kurşunlu (Ortakent - Koyulhisar - Sivas) Pb-Zn-Cu Yataklarının Jeolojisi, Oluşumu ve Kökeni", C.Ü. Müh. Fak. Dergisi, Seri A Yerbilimleri Cilt 5, Sayı 1.

Kuvvetli, A.A., 1996; "Koyulhisar Bakır-Kurşun-Çinko Kompleks Cevherinin Seçimli Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Leja, L., 1982; "Surface Chemistry of Froth Flotation", Plenum Press, New York.

Wills, B.A., 1988; "Mineral Processing Technology," Fourth Edition.

3. endüstriyel hammadeler sempozyumu

14-15 Ekim 1999 İzmir



D.E.Ü.
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

Sempozyumda İşlenecek Konular:

- Aşındırıcı hammaddeler
- Dolgu hammaddeleri (kağıt, plastik, boya, vb)
- Cam hammaddeleri
- Kimya ve kozmetik sanayi hammaddeleri
- Refrakter hammaddeleri
- Seramik hammaddeleri
- Süs taşları
- Tuzlar
- Yapı malzemelerinin hammaddeleri

Katılım:

- Sempozyuma tebliğle katılmak isteyenler
 - » Sempozyuma delege olarak katılmak isteyenler
 - Sempozyum kitabında reklam vererek yer almak isteyenler
 - Sergi açmak isteyenler
- yazışma adresine başvurarak gerekli başvuru formlarını isteyebilirler.

Yazışma Adresi:

Prof. Dr. Halil KÖSE
Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
154. Sok. No: 6/1 Ufuk Ap.
35040 Bornova-İzmir