

KOMPLEKS BAKIR-ÇİNKO-KURŞUN CEVHERLERİNİN ÖZELLİKLERİ, EKONOMİK DEĞERİ VE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Characteristics, Economic Evaluation And Processing Of Complex Copper-Zinc Lead Ores

İ. Bayraktar*
Y. Altın ""

Anahtar Sözcükler: Kompleks Cevher, Net İzabe Geliri, Primer Şlam, Flotasyonda SOo

ÖZET

Bu yazıda, kompleks bakır-çinko-kurşun cevherlerinin, özellikle cevher zenginleştirmeyi ve işletme ekonomisini ilgilendiren jeolojik ve mineralojik özellikleri verildikten, sonra bu cevherlerin ekonomisi kısaca irdelenmektedir. Bu cevherlerde karşılaşılan zenginleştirme problemleri ele alınmakta ve konsantre üretim seçenekleri ile birlikte selektif konsantrelerin üretiminde kullanılan günümüzdeki teknikler ve kimyasallar incelenmektedir.

ABSTRACT

In this article, having given the geological and mineralogical properties of complex copper-zinc-lead ores with regard to the impact of those properties on to their beneficiation, economic importance of these ores is briefly evaluated. Processing problems, alternative routes for producing concentrates together with the recent techniques and the reagents for obtaining selective concentrates are discussed.

* Doç.Dr., H.Ü.Müh.Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe/Ankara

"" Şef Jeolog-Mineralog, Demir Export A.Ş., Ankara

1. GİRİŞ

Dokusal özellikleri ve kimyasal bileşimleri yönünden problemsiz cevherler sözcüğün tam anlamıyla "mazide" kaldı. Günümüzde bakırın, çinkonun ve kurşunun, üretildiği cevherler, genellikle karmaşık bir mineralojik yapı içinde bakır, çinko ve kurşun mineralleri ile birlikte oldukça fazla miktarda pirit içermektedir. İlk bakışta bu durumun cevherin nominal değerini yükselttiğini söylemek mümkündür. Ancak günümüz cevher zenginleştirme teknolojisi, bu türden kompleks cevherlerin içerdiği her metali paraya dönüştürebilecek düzeyde olmamakla birlikte yaklaşık son otuz yıldır süregelen yoğun araştırmalar bu cevherlerin önemli bir bölümünü potansiyel rezerv durumundan çıkartarak pekçok ülkede ekonominin hizmetine sokmuştur. Japonya, İskandinav ülkeleri, Kanada, Avustralya kompleks olarak adlandırılan bu tür cevherleri yaklaşık -otuz yıldır işletmekte olan ülke örnekleridir (Hendriks and Ounpuu, 1985; Boman et al, 1985; Wakamatsu and Shibata, 1989).

Ülkemizde ise varlıkları son yirmi yıldır bilinen bu tür cevherlerin rezerv olarak çok küçük bir bölümü 80'li yılların ilk yarısında işletilmeye başlanmış, önce Tirebolu-Harşit-Köprübaşı ve Espiye-Killik, sonra da 1992 yılında Espiye-Lahanos cevher yatakları Demir Export A.Ş. tarafından işletilmiştir. 1994 yılında da ülkemizin en büyük kompleks bakır-çinko yatağı olan Çayeli, Etibank, Gama ve MMC (Kanada) şirketlerinin ortaklığıyla' kurulan Çayeli Bakır A.Ş. tarafından işletilmeye başlanmıştır.

2. Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Ortak Özellikleri

Günümüzde bakır, çinko, kurşun, nikel, kobalt, kadmiyum v.b. elementlerin çok büyük bir bölümü sülfürlü cevherlerden üretilmektedir. Ayrıca bu sülfürlü cevherler aynı zamanda önemli miktarda

gümüş, altın ve platin grubu soy metalleri de içermektedir. Dünyanın hemen her yerinde bulunan bu tür cevherleri kompleks ya da kompleks olmayan cevherler olarak sınıflandırmak çoğu kez tartışma konusu olmaktadır. Örneğin, çok çetin cevher zenginleştirme problemleri olabilen molibden ve altın içeren bir porfirik bakır cevheri ' kompleks cevher grubuna sokulabilir mi?

Kompleks cevher olarak adlandırılan cevherlerin ortak özellikleri ortaya konularak, hangi cevherin kompleks karakterde olup olmadığı hala ayırtlanmaya çalışılmaktadır (Wakamatsu and Shibata, 1989). Kompleks olarak adlandırılan cevherlerin, genel kabul görmüş ortak özelliklerine aşağıda kısaca değinilmektedir.

- Genellikle çok yüksek oranda, bazen %90 a kadar varan pirit içerirler.
- En az iki baz metalin (Cu-Zn, Zn-Pb veya Cu-Zn-Pb) mineralleri pirit matris içinde birkaç mikron ile birkaç milimetre gibi geniş bir tane boyu aralığında, girift bir biçimde dağılmışlardır.
- Zararlı (izabede cezaya tabi) safsızlıkları, örneğin As, Sb, H», Bi içerikleri diğer cevherlerden daha fazladır.
- Kesin genel bir özellik olmamakla birlikte önemli olabilecek miktarlarda altın ve/veya gümüş içerirler.
- Oluşumları genelde denizaltı volkanizmasına bağlıdır (Eksalatif-Sedimanter tip yataklardır).
- Tavan-taban sınırları oldukça belirgindir.
- Yatak başına rezervleri genellikle birkaç yüz bin tondan birkaç milyon tona kadardır.

Diğer metalik cevherlerden çok daha fazla nominal değere sahiptirler. Örneğin, %5 Zn, %3 Pb, %1.5 Cu, 1 g/t Au ve 100 g/t Ag içeren bir kompleks cevherin bugünkü metal fiyatları ile nominal değeri yaklaşık 145 ABD doları iken, sadece %1.5 Cu içeren bir

cevherin nominal değeri yaklaşık 42 ABD doları kadardır.

- Yataktaki tenor ve mineralojik dağılım son derece düzensizdir ve yer yer çok zengin mercerler içerirler.

Aşağıdaki mikrofotoda yukarıda sayılan özelliklerin bazıları görülmektedir.



Şekil 1. Pirit-Galenit-Sfalerit-Fahl cevheri ve kalkopirit içeren tipik kompleks bir cevherin parlatma mikrofotografı (Ga: Galen, Sf: Sfalerit, Tet: Tetrahedrit, Py: Pirit, Kp: Kalkopirit).

3. Kompleks Bakır-Çinko-Kurşun Cevherlerinin Nominal Değeri ve Net İzabe Geliri

Kompleks, polimetalik cevherler diğer baz metal cevherlerine göre daha yüksek bir nominal değere sahiptir. Aşağıdaki Çizelge-1 de tipik bir kompleks Cu-Zn-Pb cevherinin günümüz metal fiyatları ile nominal değeri verilmektedir.

Çizelge-1 de içeriği verilen cevherlere benzer cevherlerden dünyada üretilen selektif konsantrelerin ortalama kimyasal bileşimleri ve verimleri Çizelge 2 de,

izabelerin selektif konsantreler için yaptığı yaklaşık ödemeler ve izabedeki verimler de Çizelge 3 de verilmektedir. Çizelge 3 ve 4 teki değerler ortalama değerlerdir. Konsantrelerin ve izabelerin özel durumları nedeniyle aleyhte veya lehte bazı farklılıklar olması mümkündür. Çizelge 2 ve 3 ten açıkça görüldüğü üzere cevherin nominal değerinin büyük bir bölümü madenciye geri dönmemektedir. Örneğin, cevher içindeki bakırın, konsantratörde %75-80 i kazanılabilmekte, konsantradaki bakır değerinin ise %95'i madenciye brüt olarak ödenmektedir. Diğer bir deyişle

cevherdeki bakırın %70 i brüt gelir sağlayabilmektedir. Konsantrelerin izabe masrafları ve impürite cezaları da brüt gelirden düşüldüğünde madencinin net

geliri oldukça azalmaktadır. Çizelge 4 te 1 ton tüvenan cevherden üretilen selektif konsantre miktarları ve madenciye yapılacak ödeme tutarı görülmektedir.

Çizelge 1. Tipik Bir Kompleks Cu-Zn-Pb Cevherinin Nominal Değeri.

Element	içerik	Metal Fiyatı	Tutan (\$)
Cu (%)	1.76	\$ 2850/ton	50.16
Zn (%)	7.81	\$1100/ton	85.91
Pb (%)	2.31	\$ 650/ton	15.01
Ag (g/t)	105.0	\$5/oz	16.88
Au (g/t)	0.74	\$ 380/oz	9.04
Pirit (%)	60.0	\$ 15/ton kons.	9.00
TOPLAM			186.00

Çizelge 2. Selektif Konsantrelerin Kimyasal Bileşimi ve Verimleri

Element	Cu-Konsantre	Zn-Konsantre	Pb-Konsantre	Pirit Konsantre
Cu (%)	21.0	1.3	5.2	• 0.50
Zn (%)	5.0	55.0	6.3	0.50
Pb (%)	4.6	2.5	52.0	0.40
Ag (g/t)	450	250	1055	53
Au (g/t)	2.5 -	0.1	7.5	1.0
Verimler (%)	75	90.0	60.0	70.0

Çizelge 3. izabelerin Selektif Konsantreler İçin Yaptığı Ödemeler (Metal Değerinin %si olarak) ve İzabenin Verimi.

KONSANTRELER	ODENEN					IZABENİN K [^] ZANB ^{VII}				
	Cu	Pb	Zn	Ag	Au*	Cu	Pb	Zn	A»	Au
Cu-Konsantre	95		-	50-85	50-80'	>95	60	-	.95	95
Pb-Konsantre	-	m	-	95	85	85	95	70	95	95
Zn-Konsantre	-	-	85	-	-	70	70	90	70	70

* Au içeriği 2-5 g/t arası içindir, 5 g/t dan daha yüksek içeriklerde ödeme %si artar.

Çizelge 4. 1 Ton Tuvenan Cevherden (Çizelge 1) Üretilen Selektir Konsantre Miktarları (Çizelge 2) ve Net İzabe Geliri.

Konsantreler	Miktar (Ton)	Metal Tutan (\$)					Gelir (\$)	izabe Ücreti (\$) + Cezalar (\$) + Navlun (\$)
		Cu	Pb	Zn	Ag	Au		
Cu-Konsantre	0.063	35.91	-	-	4.24	1.15	41.30	5+0.6+3
Pb-Konsantre	0.029	-	8.91	-	4.77	2.30	15.98	4+0+1.5
Zn-Konsantre	0.129	-	-	66.34	-	-	66.34	22+0+6.5
Pirit Kons.*	0.430	-	-	-	-	-	6.45	-
							+130.07	-42.6
Net izabe Geliri							+84.47	

* Pirit için satış fiyatı işletmede teslim fiyatıdır.

Çizelge 4 ten görüleceği üzere, içeriği Çizelge 1 de verilen polimetalik kompleks cevherin tonu yaklaşık 190 dolarlık oldukça yüksek sayılabilecek bir nominal değerden 130 dolarlık bir brüt gelir sağlamaktadır. Böyle bir kompleks cevherde yaklaşık \$12/ton tuvenan madencilik, \$10/ton luk proses masrafları olabileceği hesaba katıldığında, madenciye geri dönen değer yaklaşık 65 dolardır ve bu da brüt gelirin %50 si kadardır. Ancak buna karşın yaklaşık 65 dolarlık bir getirinin madencilik sektöründeki diğer faaliyetler dikkate alındığında iyi bir getiri olduğuda açıktır.

4.Kompleks Cevherlerde Zenginleştirme Sorunları

Yukarıda sözü edilen kompleks cevher özelliklerinin pekçoğu bir cevher zenginleştirme için baş ağrısı oluşturabilecek özelliklerdir. Örneğin, cevher yatağında mineral ve tenor dağılımının homojen olmayışı daha işin başında, yani laboratuvar ölçekli deney sonuçlarının ne derece geçerli olacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Bu nedenle kompleks Cu-Zn-Pb veya Cu-Zn yataklarında tek bir kompozit numune yerine değişik karakterli, yatağın belirli

bölgelerini temsil eden çok sayıda kompozit üzerine çalışmak, hem esnek bir tesis akını şeması oluşturabilmek ve hem de ileride tesiste tatsız ve pahalı sürprizlerle karşılaşmamak için gereklidir. Çünkü maden üretim planı ne denli iyi yapılırsa yapılsın, cevher, tesise yatağın belirli bölüm veya bölümlerinden gelecektir. Çok iyi bir karışım hazırlama yatırımı yapılmadığı takdirde tesise beslenen cevherde günlük, haftalık, aylık cevher karakteri değişimleri kaçınılmazdır.

Kompleks cevherlerin cevher zenginleştirme için yakından ilgilendiren diğer özelliklerine aşağıda kısaca değinilmektedir.

4.1. Mineralojik Yapı, Tenor ve Safsızlıklar:

Bilinçli ve ayrıntılı bir cevher mikroskopisi yapılmadan bu tür cevherlerin zenginleştirilmesi çalışmalarına başlamak tam anlamıyla "el yordamı" ile gidişe benzer ve iyi bulgular, ya tesadüflere ya da aşırı sayıda teste bağlı olacaktır ki buda zaman ve para israfıdır. Cevher mikroskopisinin, kompleks cevherlerde ne tür yararlar sağlayacağı aşağıda kısaca örneklenmektedir.

4.1.1. Serbestleşme Tane Boyu: Selektif konsantreler üretmek için gereken öğütme inceliği üst ve alt sınırları hızlı ve kolay bir biçimde saptanabilmektedir. Örneğin, Şekil 1'de görülen cevheri 38 mikrondan (400 meş) daha ince öğütmeden başarılı selektif flotasyon yapılması oldukça güç görünmektedir.

Öte yandan kompleks cevherlerde bazı minerallerin serbestleşmelerinin mümkün olmadığı durumlar da mevcuttur. Örneğin, sfaleritlerde kalkopirit hastalığı(Gray, 1984), ya bakır konsantresinde çinko içeriğinin yada çinko konsantresinde bakır içeriğinin artmasına neden olacaktır. Cevherde bu durumun tesbiti ve yaygınlık oranı belirlenmişse selektif bakır ve çinko konsantrelerinin safsızlık içerikleri de kestirilebilmektedir.

4.1.2. Safsızlıkları Taşıyan Mineraller:

Tetrahedrit, tennantit gibi minerallerin tesbiti, bakır konsantresinde cezaya tabi antimuan, arsenik, civa gibi safsızlıkların kaçınılmaz olacağını kalitatif olarak önceden belirlemektedir. Ayrıca bu cevherlerde Harşit-Köprübaşı'nda olduğu gibi önemli oranda tetrahedrit saptanması bakır-kurşun ayırımının olumsuz olacağını işaretidir, çünkü tetrahedritin flotasyon davranışı kalkopiritten farklı ve bazı durumlarda da stibnit ve galenite benzemektedir. Örneğin; tetrahedrit de galenit gibi siyanürle bastırılmamaktadır.

4.1.3. Soy Metaller:

Önemli yan ürün olan soy metallerin tane boylarını ve hangi mineral veya minerallerle birlikte olduklarını somut olarak görmek, üretilecek selektif konsantrelerde ve artıktaki hangi düzeyde soy metal olacağını önceden kestirmeye yaramaktadır.

4.1.4. Sfaleritin Demir İçeriği: Sfaleritlerin yüksek oranda demir içeriğinin

saptanması çinko flotasyonunda aktivasyon ile ilgili sorunlar çıkacağına işaretir. Zira marmatit ($ZnFeS$), sfalerit gibi kolayca aktive edilebilen bir mineral değildir.

4.2. Cevherin Oksidasyon Derecesi:

Cevherleşme içinde sekonder minerallerin varlığı (kovellin, kalkosin, v.s.) proses tasarımını yakından ilgilendiren bir konudur. Örneğin, önemli miktarlarda kovellin ve kalkosinin varlığı, sfaleriti bastırmak için kükürtdioksit kullanımını imkansız kılacaktır. Çünkü anılan bu mineraller kükürtdioksit tarafından çözüldüklerinden ortamda sfaleriti aktive etmek için gereğinden fazla Cu^{+2} iyonu olacaktır. Diğer taraftan, cevherin karot numuneleri olarak veya cevher stoğunda bir süre beklemesi de oksidasyona neden olmaktadır. Oksidasyon derecesi arttıkça selektif flotasyonun başarısı azalacaktır. Eğer cevherin hızlı oksidasyona yatkınlığı söz konusu ise ki bu laboratuvarında öncelikle saptanmalıdır, maden üretim planlaması ve tesis tasarımı buna göre yapılmak durumundadır.

4.3. Kil ve Primer Şlam İçeriği:

Metamorfizma geçirmemiş, genç volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş kompleks cevherlerde kil ve primer şlam problemleri oldukça sık görülmektedir. Primer şlam, doğal olarak çok ince cevher ve/veya gang mineralleri ile birlikte madencilik operasyonlarında oluşan ince taneler olarak tanımlanabilir. Öğütme sırasında oluşan şamlar ise sekonder şamlardır. Cevherleşme anında cevher kütlesi içindeki dayk v.b. yapıların alterasyonu kaolin, serizit v.b. gibi flotasyonu bozucu primer şlam ve kil minerallerinin oluşmasına yol açmaktadır. Eğer cevher, önemli miktarda kil ve primer şlam içeriyorsa, kilin ve primer şlamın mutlaka kırma devresinde yıkanıp, cevherden ayrılması gerekmektedir. Aksi takdirde tesis, önce

flotasyonda, sonra tikiner ve filtrelerde çok acı süprizlerle karşılaşacaktır.

Kil ve primer şlam konusunda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, sondaj karotlarından hazırlanan numunedeki kile ve primer şlama itibar edilmemelidir. Çünkü, sondajda matkabı soğutmak için sirküle ettirilen su, cevherdeki kili ve primer şlamı yıkamaktadır. Bu konuda en iyi gösterge cevherin metamorfizma geçirip geçirmemiş olması ve alterasyonun derecesidir.

5. Konsantre Üretim Seçenekleri

Polimetalik kompleks cevherlerden konsantre üretim seçeneğini belirleyebilmek için geniş kapsamlı araştırmalar yapmak bir zorunluluktur. Çünkü üretim seçenekleri oldukça fazladır. Örneğin, selektif, balk, selektif+balk konsantre üretimleri gibi. bu durumun günümüzdeki en canlı örneği Kanada'daki Brunswick işletmesidir (Hendriks and Ounpuu, 1985). Bu cevherden aynı konsantratör içinde hem selektif bakır, çinko, kurşun konsantreleri üretilmekte ve hem de "Imperial Smelting" için balk çinko-kurşun-bakır konsantresi üretilmektedir.

Konsantre üretim seçeneklerinin irdelenmesinde tek ölçüt kardır. İşletme karının maksimum olduğu seçenek, o cevheri zenginleştirilmesi için tek seçenek durumuna dönüşür. Bu nedenle ayrıntılı araştırmalarla, ürün nitelik ve nicelikleri ile proses girdilerinin çok duyarlı saptanması zorunludur.

Kompleks cevherlerden konsantre üretim yöntemlerini bütünüyle genelleştirmek ve katı kurallar koymak kuşkusuz yukarıdaki yaklaşımlarla bağdaşmaz. Bununla birlikte, günümüz zenginleştirme tekniklerinin uygulamasında bazı önemli ortak noktaların olduğunu da gözden uzak tutmamak gerekir.

Konsantre üretim seçenekleri, kompleks Cu-Zn-Pb, Cu-Zn ve Zn-Pb cevheri için aşağıda sınıflandırılmıştır.

Cu-Zn-Pb Cevherleri İçin:

- Bütünüyle selektif Cu-Zn-Pb konsantreleri (Boliden, İsveç) (Broman et al, 1985)
- Selektif Cu-Zn-Pb konsantreleri ve temizleme devresi artıklarından halk konsantre üretimi (Brunswick. Kanada) (Hendriks and Ounpuu. 1985)
- Selektif Cu-konsantre ve Zn-Pb halk konsantresi

Zn-Pb Cevherleri İçin:

- Bütünüyle selektif Zn ve Pb konsantreleri
- Bütünüyle balk Zn-Pb konsantresi (Bayraktar ve Kaplan, 1989)
- Selektif Zn ve Pb konsantreleri, temizleme devresi artıklarının (orta ürünler) balk konsantre olarak değerlendirilmesi.

Cu-Zn Cevherleri İçin:

- Selektif Cu ve Zn konsantreleri. Bu tip cevherler için başka seçenek malesef şu anda mevcut değildir. Sülfürlü bakır-çinko balk konsantresi için geliştirilen endüstriyel hidrometalurjik prosesler henüz yaygın olarak uygulanmamaktadır.

6. Selektif Konsantre Üretim Yöntemleri

Polimetalik kompleks cevherlerin flotasyonunda önce sfalerit ve pirit bastırıldıktan sonra ilk flotasyon aşamasında bakır ile kurşun birlikte

yüzdürülür. Bu devrenin artığı önce çinko devresine beslenerek çinko aktive edilip yüzdürülür; çinko devresi artığı da pirit devresine beslenerek pirit konsantresi üretilir. İlk aşamada üretilen, balk bakır-kurşun konsantresinden de selektif konsantreler üretebilmek için ya kurşun yada bakır bastırılarak ayrılır.

6.1. Sfaleritin Bastırılması:

Aktive edilmemiş sfaleritin kalkopirit ve/veya galenitten ayrılması genellikle sorun yaratmaz. Ancak bazı kompleks cevherlerde sfalerit, jeolojik süreç içerisinde yer alan doğal oksidasyon nedeniyle bakır minerallerinden çözünen Cu^{+2} ve bazı durumlarda da kurşun minerallerinden çözünen Pb^{+2} tarafından yerinde, doğal olarak aktive olmuş olabilir. Bu durumda sfaleritin kalkopirit veya galenitten ayrılması çok ciddi bir sorun oluşturulabilir ve bu doğal aktivasyonun, NaCN, $ZnSO_4$, SO_2 gibi kimyasal maddelerle giderilmesi gerekir. Aksi takdirde selektif flotasyon başarılı Olamayacaktır. Sfaleritin, bakır-kurşun veya bakır flotasyonu aşamasında başarılı bir şekilde bastırılması şu nedenlerle zorunludur:

a) Üretilen bakır konsantresinde çinko istenmeyen bir safsızlıktır ve içeriği ne kadar fazla olursa bakır konsantresine pazar bulmak o kadar zor olur. Genellikle % 4-5'ten fazla çinko içeren bakır konsantrelerinin pazarlanması zordur. Bazı durumlarda bakır izabeleri % 5'e kadar olan çinko için bile önemli ölçüde ceza uygulamaktadır.

b) Bakır konsantresi içinde çinko içeriğinin artması diğer bir deyişle sfaleritin bastırılmaması, çinko konsantre veriminin düşmesine de neden olacaktır.

Bu nedenler, işletme karlılığını doğrudan etkileyen nedenlerdir.

Polimetallik kompleks cevherlerde selektiviteyi olumsuz etkileyen bir diğer neden de oldukça ince öğütme gereksinimidir. İnce öğütme, bir yandan yüksek düzeyde selektivite için zorunluluk, öte yandan öğütme-sınıflandırma sistemi iyi kontrol edilmeyen işletmelerde problem kaynağıdır. Çünkü sülfürlü minerallerin flotasyon hızları, diğer bir deyişle flotasyon verimleri ile tane boyları arasında bir ilişki vardır. Genelde 10 mikrondan daha küçük sülfürlü minerallerin flotasyonu güçtür, dolayısıyla verim kaybına yolaçar (King, 1982).

Sfaleritin, NaCN ve/veya $ZnSO_4$ ile bastırılması, göreceli eski bir teknik olduğu için bütün flotasyon ders kitaplarında yer almaktadır (Gaudin, 1957; Fuerstenau, 1962). Bu nedenle bu yazıda sadece son yıllarda hemen hemen tüm tesislerde NaCN'ün yerini alan SCV'nin sfaleriti bastırması üzerinde kısaca durulacaktır. SO_2 'nin, NaCN'ün yerini almasının başlıca nedeni ise, siyanürün yaratabileceği potansiyel çevre sorunu yada bu sorunu ortadan kaldırmak için büyük harcamaların zorunlu olmasıdır.

Kükürtdioksitin sfaleriti bastırma mekanizması üzerinde yapılan çalışmalar, flotasyon ortamında Zn^{+2} veya Ca^{+2} iyonu olması durumunda, sfalerit yüzeyinde hidrofilik $ZnSO_3$ yada $CaSO_3$ tabakası oluştuğunu iddia etmektedir. (Matsuoka et al., 1969; Wakamatsu and Shibata, 1989). Bunun yanında selektiviteye yardımcı olduğu sanılan diğer bir bulgu da SO_2 'nin ksantatları dekompoze ederek ortamdaki toplayıcı miktarını kontrol etmesidir (Misra et al, 1985).

SO_2 (g) yerine Na_2SO_3 ve/veya $Na_2S_2O_5$ kullanılması da mümkündür. SO_2 (g) daha ucuz olmakla birlikte, özel tanklar ve besleme sistemi gereksinimi nedeniyle ilk yatırımı Na_2SO_3 ve/veya $Na_2S_2O_5$ (Ve göre çok yüksektir.

Ülkemizdeki ilk endüstriyel $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ uygulaması, Demir Export A.Ş.'nin Giresun-Espiye-Killik yöresinde işlettiği kompleks bakır-çinko cevherinin işlenmesi sürecinde olmuştur. Bu süreçte, kireç, çubuklu değirmene beslenerek ilk öğütme aşamasında pH, 10 civarında tutulmakta daha sonra çubuklu ve bilyalı değirmen çıkışlarına $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ verilerek pH nötralize (6.6-6.8) edilmektedir. Bu sayede % 3-4 Zn içeren bakır konsantre % 19-22 Cu içeriği ve yaklaşık %70-80 arası bir verimle üretilebilmektedir (Bayraktar, İpekoglu and Torun, 1991).

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere SO_2 'nin sfalerit ve piriti bastırmadaki rolü henüz çok iyi anlaşılmış değildir. Fakat endüstriyel bakış açısından, SO_2 , kireç ile birlikte kullanıldığında $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ kombinasyonundan daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle artık dünyada $\text{NaCN} / \text{ZnSO}_4$ kombinasyonunu kullanan tesis hemen hemen hiç kalmamıştır.

6.2. Kurşunun Bastırılması:

Genellikle yeğlenen bir yöntemdir ve iki farklı şekilde gerçekleştirilir:

a- Kromat Yöntemi: Kromatlar ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ veya $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) çok eskiden beri bilinen galenit basımcılarıdır. Genellikle nötr pH da (Gaudin, 1957; Fuerstenau, 1962; Matsuoka et al., 1969), 1-2 kg/ton kullanılarak galenit bastırılır. Göreceli pahalı bir işlem olması yanında ayrıca ülkemizin ve pek çok ülkenin su kirliliği kontrol yönetmeliklerine göre tesis artık sularında kromun 1 ppm den fazla olmaması zorunluluğu bu yöntemin terk edilmesine neden olmuştur.

b- SO_2 - Nişasta Yöntemi: Bakır, kurşun balk konsantresi önce SO_2 ile pH 4-5 arasında kondüsyonlanır sonra nişasta, dextrin gibi doğal polimerler ilave edilerek galenit bastırılır, kalkopirit yüzdürülür. Bastırma işlemi öncesi bazı durumlarda

aktif karbon kullanılması iyon derişimini kontrol ettiğinden yararlı olmaktadır. Ayrıca bazı tesislerde bastırma işlemi 70° de yapılarak daha etkin bir ayırım sağlandığı iddia edilmektedir (McQuiston, 1957; Misra et al, 1985; Bulatovic and Wyslouzil, 1985; Wakamatsu and Shibata, 1989; Bayraktar, İpekoglu and Tolun, 1991).

Bu yöntemle, düşük tenörlü, sfalerit ve pirit içeren bakır-kurşun balk konsantrelerinden göreceli daha temiz bakır ve kurşun konsantreleri üretilebilmektedir.

6.3. Bakırın Bastırılması (Siyanür Yöntemi):

Bu yöntem., bakır-kurşun balk konsantrede, kurşun tenorunun bakıra eşit veya ondan küçük olduğu ve ayrıca bakırın kalkopirite bağlı olması halinde kullanılmaktadır. Oldukça yüksek dozlarda NaCN kullanılarak (100-500- g/t) kalkopirit bastırılır. Bakır-kurşun balk konsantresi içinde kovellin, kalkosin gibi sekonder bakır minerallerinin bulunması halinde bu minerallerin siyanürlü çözeltilerde çözümleri nedeniyle siyanür tüketimi aşırı artmaktadır. Sekonder minerallerin varlığında NaCN yerine Na_2S ve Zn-Siyanid kompleksi kullanmak daha iyi sonuçlar vermektedir. Öte yandan cevher içinde önemli oranda tetrahedrit ve/veya tennantitin varlığı bu yöntemin kullanılabilirliğini olumsuz etkiler. Çünkü anılan bu mineraller, çok aşırı siyanür dozlarında bile (500-1000 g/ton NaCN) başarıyla bastırılmamaktadır (Norrgram and Armstrong, 1985).

Bu yöntemin kullanılmasını olumsuz etkileyen diğer bir nokta da siyanürün soy metalleri çözmesidir. Bazı durumlarda soy metal kaybı önemli boyutlara ulaşabilir. Sözü edilecek diğer bir nokta da yüksek konsantrasyonlarda siyanür içeren çözeltilerin elden geçirim zorluğudur.

Siyanürü kapalı devrede tutmak tek çözüm olmakla birlikte, çözeltinin çeşitli katyon ve anyonlarla kirlenmesi durumunda periyodik bir temizleme işlemi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır ki bu işlemler (siyanürün rejenerasyonu veya dekompozisyonu, v.b. gibi) oldukça pahalı işlemlerdir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere siyanürle kalkopiriti bastırıp, galeniti yüzdürmek yerini, avantajları daha fazla olan "SO₂ - Nişasta" yöntemine bırakmıştır.

7. SONUÇ

Polimetalik kompleks cevherlere, "kompleks" sıfatının verilmesinin nedeni, jeolojik ve mineralojik kökenli cevher zenginleştirme problemleri ile birlikte konsantrelerin içerdiği safsızlıklar yüzünden pazar yada izabe bulmaktaki güçlükten kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu cevherler yoğun ve titiz araştırmaları zorunlu kılan cevherlerdir. Kabul edilebilir limitler içerisinde cevher zenginleştirme ve pazar sorunları çözümlendiğinde bu tür cevherlerin ekonomik albenisinden sözedilebilir. Zira pirit konsantresine pazar bulunmasa bile bir Cu-Zn cevherinden satılabilir nitelikte selektif konsantreler üretilmesi halinde madenciye asgari yaklaşık 50 dolarlık bir net izabe geliri getirmektedir ki bu da sektörümüzde iyi bir getiridir.

Ülkemizde bilinen kompleks cevherlerin Doğu Karadeniz bölgesinde yer alması dolayısıyla topografya ve iklim sorunları, yol yapımı ve bakımı, elektrik, akaryakıt, su teminini güçleştirmektedir. Diğer taraftan kalifiye işçi temini, orman ve köylü ile ilgili arazi sorunları, artık atımı, limana ve pazara uzaklık, v.b. fizibiliterde teknolojik sorunlardan daha ciddi sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Esasen teknolojik sorunlar, sosyal ve bürokratik sorunlara göre daha kolay çözümlenebilmektedir. Demir Export A.Ş. ve Çayeli Bakır A.Ş.'nin konsantratörleri

gözönüne alındığında teknolojik olarak bugün ulaşılan düzey ülkemiz için küçümsenemeyecek düzeydedir.

8. KAYNAKLAR

1. A.M., 1957; Gaudin, Flotation, Second Edition, , McGraw-Hill, Eng., New York, 573 pp.
2. D.A. Norrgram and R.O. Armstrong. 1985; Developping a Selective Flotation Concentration Technique For Polymetallic Ores, in Complex Sulfides, Ed. by A.D. Zunkel el al.. Met. Soc. of AIME.
3. D.M. Hendriks and M. Ounptiu, 19X5: Modifications of the Zinc Flotation Circuit of Brunswick Mining and Smelting Corp.Ltd., in Complex Sulfides, Ed. by A.D. Zunkel el al.. pp. 271-292, Met. Soc. of AIME.
4. D.W. Fuerstenau (Ed.), 1962; Froth Flotation, Soc. of Min., Eng., New York.
5. F.W. Me Quiston, J.R., 1957; "Flotation of Copper-Lead-Zinc Ores". The Intern! Min. Dress. Cong.. Stockholm.
6. İ. Bayraktar ve M. Kaplan, 1989; Sülfürlü Kompleks Cevherlerin Flotasyonunda Toplayıcıların Tesisin Ekonomik Performansına Etkisi-Bir Uygulama Örneği, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi Bildiriler Kitabı, Maden Müh. Odası. Ankara.
7. İ. Bayraktar, U.A. Ipekoglu and R. Tolun, 1991; Features and Flotation of Complex Cu-Pb-Zn Sulphides, in Innovations in Flotation Technology, ed. P. Mavros and K.A. Matis, NATO ASI Series, vol.208, pp.307-330.

8. I. Matsuoka, 1969; et al, The Effect of Sulfite Ions on the Flotability of Artificial Sphalerite Activated by Copper Ions, J. Min. Metali. Inst. Japan, no.971, vol.85, pp.185-189.
9. M. Misra, 1985; et al., The effect of SO₂ in the Flotation of Sphalerite and Chalcopyrite, in Flotaion of Sulphide Minerals, Ed. by K.S. Eric Forssberg, pp. 175-196, Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.
10. P.G. Broman, 1985; et al., Experience From the Use of S₀₂ to Increase the Selectivity In Complex Sulphide Ore Flotation, in Flotaion of Sulphide Minerals, Ed. by K.S. Eric Forssberg, pp.227-291, Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.
11. P.M.J Gray, 1984; Metallurgy of the Complex Sulphide Ores, Min. Mag., Oct.,p.315-321.
12. R.P. King, 1982; Flotation of Fine Particles, in Principles of Floation, Ed. by R.P. King, pp. 215-225, South African Inst, of Min. and Met., Johannesburg.
13. S.M. Bulatovic and D.M. Wyslouzil, 1985; Selection of Reagent Scheme to Treat Massive Sulphide Ores, in Complex Sulfides, in Flotation of Sulphide Minerals, Ed. by K.S. Eric Forssberg, Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.
14. T. Wakamatsu and J. Shibata, 1989; Progress and Outlook of Complex Sulphide Ore (Kuroko) Processing in Japan, in Challenges in Mineral Processing, Ed; by K.V.S. Sastry and M.C. Fuerstenau, pp.130-141, Soc. of Mining Engineers, Littleton.

