

Bakır Hazırlama (Zenginleştirme) Teknolojisindeki Gelişmeler

H. Avni YAZAN*

Ali AKAR*

Levent ÖZMERİH ***

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

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

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

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

Tesis kapasitesindeki gelişmeler :

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

Aşağıdaki sebepler tesis kapasitelerinin arttırılmasını zorunlu kılmıştır;

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

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

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

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

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

(x) Parantez içinde verilen sayılar kullanılan literatürü belirtmektedir.

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

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

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

Tablo 1 : Değişik kapasiteli maden işletmelerinin işletme maliyetleri.

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

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

1960 senesinde A.B.D.'deki 17 bakır

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

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

Tablo 2 : Büyük kapasiteli bazı bakır flotasyon tesisleri.

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

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

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

Kırma makinalarındaki gelişmeler :

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

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

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

Kırıcının, birisi diğerinden daha yarıda iki rotoru mevcuttur. Daha düşük devirli birinci rotor ön kırmayı, daha yüksek devirli ikinci rotor son kırmayı temin eder. % 15 rutubet ihtiva eden kireçtaşı cevherlerde bile yapışma olmadan kırma yapılabilir. (5), (6).

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

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

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

Öğütme makinaları (değirmenler)ndaki gelişmeler :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Flotasyon makinalarındaki gelişmeler :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ağır Ortamla Zenginleştirme :

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

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

Cu-Mo Flotasyonunda Yeni Reaktif ler

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

Cüruf Flotasyonu :

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

Cu-Pb-Zn Rotasyonunda SO₂ ve ısı tatbiki:

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

Proses kontrol :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tesis suyu devridaimi ve çevre kirlenmesi :

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

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

Flotasyon tesislerine suyun devridaiminin faydaları aşağıda özetlenmiştir :

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

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

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

Tablo 3 : Artık suyundaki yabancı madde iyonları.

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

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

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

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

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

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

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

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

BİBLİYOGRAFİK TANITIM

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

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