

**TANE BOYU DAĞILIMININ
KALKOPİRİT FLOTASYONUNUN
KİNETİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE
OLAN ETKİSİ**

**THE EFFECT OF SIZE DISTRIBUTION ON THE KINETIC
PARAMETERS OF THE OVERALL FLOTATION
BEHAVIOUR OF CALCOPYRITE**

Salih ERSAYINf)
Alan APLINCC»)

ÖZET

Bu çalışmada, tane boyu dağılımının kalkopirit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi gözönüne alınarak incelenmiştir. Kalkopirit cevheri laboratuarda iki farklı tipte değirmen kullanılarak, üçer farklı zaman uzunluğunda öğütülmüş ve laboratuvar ölçeğinde yapılan kesikli flotasyon deneyleri sonunda elde edilen verim - zaman verileri en yaygın olarak kullanılan üç farklı kinetik model üzerinde denenmiştir. Sonuçlar, belli bir tane boyu dağılımı için kinetik parametreler tesbit edildikten sonra, tane boyu dağılımı değiştiğinde median boyutuna bağlı olarak yeni koşullar için parametrelerin, böylece flotasyon işleminden elde edilecek verimin tahmin edilebileceğini göstermektedir.

ABSTRACT

In this study, the effect of size distribution on the overall flotation behavior of chalcopyrite is investigated in terms of its effect on the kinetic parameters. Chalcopyrite ore was ground in two different types, ball and rod mills, of laboratory mill for three different lengths of time. The timed batch tests were, then, carried out on the ground samples and the resulting recovery vs time data was tried on the three most commonly used kinetic models. The results indicate that, once the kinetic parameters are determined for a particular size distribution, the values of the new set of parameters, hence the recovery from a flotation process, may be predicted for a different size distribution by using the relationship between the parameters and the median size when all the other variables are kept constant.

x Y.Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, Maden Bölümü, ANKARA.

xs Öğretim üyesi, University of Leeds, Dept. of Mining and Mineral Eng., LEEDS, İngiltere.

1. GİRİŞ

Boyut küçültme cevher hazırlamadaki en pahalı işlemdir. Mineral ayırımı için gerekli olan enerjinin yaklaşık % 50'si bu işlem için harcanmaktadır (Parekh ve diğerleri, 1984). Flotasyonla yapılan zenginleştirme işlemlerinde bu oran % 40 civarında olmaktadır. Bu nedenle flotasyon tesislerinin, sadece flotasyon ünitesinden elde edilecek nihai konsantre tenörü ve verimi gözönüne alınarak dizaynı ve optimizasyonu yeterli olmayacaktır. Boyut küçültme devrelerinin, flotasyon devresine olan etkisi gözönüne alınarak tüm flotasyon tesisinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Bugün, cevher hazırlama tesislerindeki herbir birim işlemi tanımlamakta kullanılan çeşitli matematiksel modeller mevcuttur. Bir cevher hazırlama tesisi bu birim işlemlerden bir kaçını (örneğin; kırma, eleme, öğütme, flotasyon v.b.) içermektedir. Bireysel statik modeller, bir tesisin bütününe performansını değerlendirmek için yeterli değildir. Sisteme dinamizm getirmek için, birbirine bağlı birimlerin birinde meydana gelen değişikliğin diğer birimleri nasıl etkileyeceğinin bilinmesi gerekir. Ayrıca bütün tesisin benzetişiminin (simülasyonunun) yapılabilmesi için bütün birim işlemlerin birbiriyle olan bağlantılarının sağlanması gerekmektedir. Bu yönde çeşitli girişimler yapılmış olup, bugün piyasada var olan benzetişim paketleri bu çalışmaların ürünüdür. Bu tür paketlerde yeterli deneysel verinin bulunmadığı durumlarda çeşitli kabuller yapılmaktadır. Daha sonra uygulamada elde edilen sonuçlarla da gerekiyorsa bu kabuller üzerinde değişikliklere gidilmektedir. Boyut küçültme ile flotasyon devreleri arasındaki bağlantıda bu kabuller üzerine oturmuştur.

Bu yazıda bir flotasyon tesisindeki iki ana birim işlem olan öğütme ve flotasyon arasındaki köprüyü oluşturmak için gerekli deneysel verilerin toplanmasına yönelik bir çalışmanın sonuçları sunulup, yorumlanmıştır. Böylece, benzetişim yazılımlarında, tane boyu dağılımındaki değişimin flotasyondan elde edilecek sonuçlara etkisinin belirlenmesine daha gerçekçi bir yaklaşımın yapılabilmesine katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Bunun yanısıra bulunan sonuçların flotasyon olayını daha iyi anlamamızı sağlayacağıda aşikardır.

2. TANE BOYU VE KİNETİK PARAMETRE İLİŞKİSİ

Tane boyu ile kinetik parametreler arasındaki ilişki bir çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu konudaki ilk çalışmalar, laboratuvar dâvası ile gerçekleştirilmiş deney şartlarında yapılmış olup, bu çalışmalarda saf cevher veya suni olarak karıştırılmış karışımlar kullanılmıştır. Bununla beraber bu çalışmalar, tane boyutu ile kinetik parametreler arasındaki ilişkinin anlaşılmasına önemli katkı sağlanmıştır. Son yıllarda bu ilişki tesislerden elde edilen verilerle ve laboratuvar da doğal numunelerin kullanıldığı flotasyon deneyleri yapılarak araştırılmıştır.

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;
a) Hem verim hem de flotasyon hız sabiti orta boyutlu taneler için maksimum değer almaktadır, b) boyut irileştikçe verim hızla düşmektedir, fakat, c) hem verim hem de hız sabitindeki düşüş tane boyutu bu orta boyuttan önce doğru gidildiğinde daha yavaş olmaktadır.

Tane boyu dağılımı değiştirilerek, tane boyu fraksiyonlarının davranışlarındaki değişimin incelendiği çalışmalar sınırlı sayıda dır. Trahar (1981), sunni olarak karıştırılmış kuvars ve kalkopirit karışımı ile yaptığı kesikli (semi-batch) laboratuvar deneylerinden, tane boyu dağılımındaki orta derecedeki değişimlerin tane boyu ile nihai verim arasındaki ilişkiyi önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varmıştır. Osborn (1984) tarafından Rio Tinto Patino tesisinden toplanan veriler ise tesis performansının tane boyu fraksiyonlarının kinetik parametreleri kullanılarak daha iyi bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir. Apling ve Ersayın (1988) tarafından yapılan çalışma ise benzetişim amacına yönelik olarak, her bir tane boyu fraksiyonunun kinetik parametrelerinin sabit kalacağı varsayımının kabul edilebilir olduğunu belirtmektedir.

Yukardaki çalışmalarda elde edilen sonuçların bir benzetişim yazılımında kullanılabilmesi çok sayıda deneysel veriyi gerektirmektedir. Bu çalışmada, olaya daha geniş bir perspektifle bakılmış, tane boyu fraksiyonları yerine, yüzen cevherin davranışındaki değişim bütünüyle ele alınmıştır. Böylece de tane boyu dağılımındaki değişimin flotasyondan elde edilecek sonuçları nasıl etkileyeceği sorusuna daha az deney-

sel çalışma gerektiren daha basit bir cevap vermeye çalışılmıştır.

3. KULLANILAN KİNETİK MODELLER

Literatürde kesikli flotasyon kinetik modellerinde kullanılan çeşitli yaklaşımlar mevcuttur (Lynch ve diğerleri, 1981). Genel olarak benzerlik gösteren bu yaklaşımların farklı yönleri flotasyon hız sabitinin dağılımını tanımlamada kullandıkları matematiksel ifadelerdir. Bu çalışmada elde edilen deneysel veriler yaygın olarak kullanılan üç farklı model üzerinde denenmiştir. Bunlardan Model1'de hız sabitlerinin dağılımı hızlı ve yavaş yüzen fraksiyonların hız sabiti olmak üzere iki kesikli değerle tanımlanmaktadır. Hem Model2 ve hem de Model3'de bir sürekli dağılımın varlığı kabul edilip, Model2'de bu dağılım Gamma fonksiyonu ile tariflenmiştir. Model3'de ise dağılımın dikdörtgen şekilli olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada, bütün modellere sonsuz zamanda bile yüzmeyecek bir fraksiyonun varlığı bir parametre olarak yerleştirilmiştir.

Model1 aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$R_1 = a_1(1 - e^{-k_1 \cdot t}) + a_2(1 - e^{-k_2 \cdot t}) \quad (1)$$

R₁ s t anındaki verim

k₁ ve k₂ = yavaş ve hızlı yüzen fraksiyonların hız sabitleri

a₁ ve a₂ = yavaş ve hızlı yüzen fraksiyonlar

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (2)$$

olup, a₂ sonsuz zamanda **bile** yüzemeyen fraksiyonu **göstermektedir**.

Bir sürekli dağılım modeli aşağıdaki genel eşitlikle **tanımlanmaktadır**.

$$R_1 = 1 - \int_0^{\infty} e^{-k \cdot t} \cdot f(k, 0) \cdot dk \quad (3)$$

f(k, 0) = hız sabitlerinin dağılım fonksiyonu

R₁ = sonsuz zamanda ulaşılacak verim olup R₁ = 1-a₂ **'dır**.

Model2'de hız sabitlerinin dağılımı Gamma fonksiyonu ile tanımlanmış olup, bu fonksiyon (3) eşitliğinde yerine konulup, integral işlemi

yapıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir (Harris ve Chakravarti, 1970).

$$\frac{R_i}{R_{\infty}} = 1 - \left[\frac{1}{1 + k_m \cdot t} \right]^n \quad (1)$$

n = Gamma fonksiyonunun argümanı

k_m = hız sabiti parametresi

Model3'de kullanılan dikdörtgen şekilli dağılımlara içinse aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$\frac{R_i}{R_{\infty}} = 1 - \frac{1}{k_{\max} \cdot t} (1 - e^{-k_{\max} \cdot t}) \quad (5)$$

k_{max} = hız sabitlerinin maksimum değeri

Literatürde kesikli flotasyon deneyi verilerinden, yukarıda verilen modellerin parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada, Simplex yöntemi ile çoklu doğrusal regresyon yönteminin bileşiminden oluşturularak geliştirilen bir bilgisayar yazılımı ile deneysel verilere en iyi uyumu sağlayan parametreler hesaplanmıştır. Kesikli flotasyon deneylerinde sıfır zamanın tanımlanması ciddi bir problemdir. Bu soruna çözüm getirmek amacıyla model parametreleri hesaplanırken, deneysel sıfır zaman gerçek sıfır zamanın bir tahmini değeri olarak alınmış, en iyi uyum veren sıfır zamanda yukardaki bilgisayar yazılımının içinde hesaplanmıştır.

k. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel olarak yaklaşık % 0.6 Cu içeren Santiago (İspanya) bakır cevheri kullanılmıştır. Bakır minerali kalkopirit olup, sülfürlü gang mineralleri olarak pirit ve pirotin ve de silisli gang mineralleri içermektedir (Sierra-Lopez ve diğerleri, 1968). Deneysel olarak kullanılan numune öğütme devresine yapılan beslemeden alınmış olup, % 80 - 20 mm boyutundadır. Kırılmış numunenin oksitlenmesini önlemek amacıyla her defasında ana numuneden 8 kg'lık numune, numune bölücüler kullanılarak alınmıştır. Daha sonra bu 8 kg'lık kısmın boyutu, roerdaneli ve diskli kırıcılar kullanılarak - 3.2 mm'ye indirilmiştir. Bunu takiben, kırıl-

miş numune bir dönel numune bölücü yardımıyla 8 kısıma ayrılmıştır. Herbir 1 kg.lık numuneler, flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere plastik torbalarda saklanmıştır.

1 kg.lık numuneler, iki ayrı silindirik kap içinde titreşim hareketi ile öğütme yapan Podmore değirmeninde yaş olarak öğütülmüştür. Palp oranı, ağırlıkça % 60 katı olup, herbir öğütme kabına 2.2 kg'lık öğütme şarj malzemesi konulmuştur. Kullanılan öğütme kapları ve öğütme şarj malzemeleri (çubuklar ve bilyalar) paslanmaz çeliktendir.

Yapılan ön deneylerden yola çıkılarak, öğütme zamanları çubuklu değirmen için 6, 9 ve 13 dakika (Deney 1,2 ve 3), bilyalı değirmen içinse 6, 9 ve 11 dakika (Deney 1,5 ve 6) olarak seçilmiştir. Öğütmenin hemen ardından numune flotasyon hücresine aktarılmış, koşullandırılmış ve yüzdürülmüştür.

Flotasyon deneyleri diğer tip hücrelerden daha iyi tekrarlanabilirlik sağlayan Leeds "Open-Top" flotasyon hücresinde yapılmıştır (Dell ve Hail, 1981; Apling ve Ersayın, 1986). Hava miktarının, pervane hızının ve palp seviyesinin rahatlıkla kontrol edilebilmesi ve hücrenin üst kısmında köpüğün alınmasını engelleyecek bir parçanın bulunmaması bu tip hücrelerde tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasını sağlamaktadır.

Cevherin etkin bir şekilde yüzdürebilmesi için gerekli reaktif dozajları ve diğer şartlar ön deneyler yapılarak belirlenmiştir. Bu deneylerin sonuçları ayrıca deney koşullarının standartlaştırılmasında da kullanılmıştır. Deney koşulları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Flotasyon Deney Koşulları

Numune ağırlığı	= 1000 gr
Toplayıcı türü	= R138
dozajı	= 0.01 kg/ton
Köpürtücü türü	= Flotbell SS
dozajı	= 0.01 l/ton
Koşullandırma süresi	= 10 dak (Yarım hücre) + 5 dak (dolu hücre)
pH	= kireç
reaktif seviye	= 10.8
Hava miktarı	= 2.5 l/dak
Pervane hızı, koşullandırma:	1200 devir/dak
flotasyon	= 1000 devir/dak
Pulp oranı	- % 27 katı (ağırlıkça)

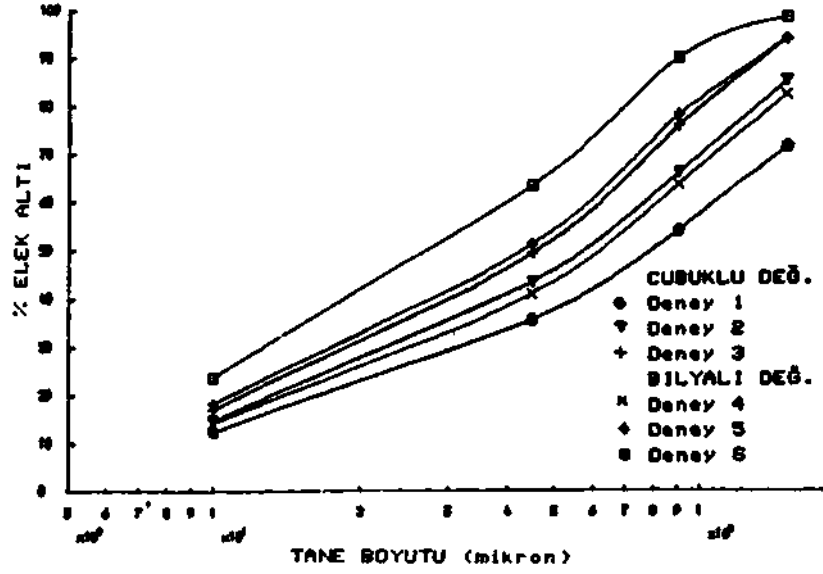
Herbir deneyde altı konsantre toplanmıştır. Konsantreler flotasyon başladıktan 15 s, 40 s, 1 dak 10 s, 2 dak 15 s, 6 dak ve 18 dak sonra alınmıştır. Hücreye hava gönderdikten sonra, köpük tabakasının oluşması için 15 s beklenmiş ve deneysel sıfır zamanı, sıyırmanın başladığı nokta olarak alınmıştır. Flotasyon koşullarının zaman içinde mümkün olduğunca az değişmesini sağlamak için bir şişe içinde pH'sı 10.8 olan ve 0.01 ml/1 köpürtücü içeren ilave suyu hazırlamış, bu ilave suyu şişesi bir hortumla hücreye bağlanmıştır. Pulp seviyesi düştüğünde ilave su beslemesi otomatik olarak yapılmaktadır. Bütün bu önlemlere karşılık, deney sonunda pH değerinde 1 ünitelik bir düşüş gözlenmiştir. Bu düşüşün havalandırmalı palplarda pirotin'in bir pH tampionu gibi davranıyor olmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığı sanılmaktadır (Spira ve Rosetnblum, 1974).

Standartlaştırılmış deney koşullarında elde edilen tekrarlanabilirlikle ilgili sonuçlar daha önce sunulmuştu (Apling ve Ersayın,1986). Bu çalışmanın amaçladığı diğer verilerin de elde edilebilmesi için, her bir deney aynı öğütme ve flotasyon koşullarında 6 defa tekrar edilmiş ve elde edilen konsantre ve artıklar birleştirilmiştir. Böylelikle deneysel hatanın daha da azalması sağlanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI VE YORUMU

Numune hazırlanması sırasında alınan önlemler etkili olmuş ve besleme tenörlerindeki sapma çok az olmuştur (Çizelge 2). Besleme tenörlerinin aritmetik ortalaması 0.610 ve standart sapması 0.0241'dir. Deney 6'nın dışındaki bütün deneylerin besleme tenörü birbirine çok yakındır.

Herbir deneyde kullanılan beslemeye ait tane boyu dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. Beslemelerin medyan boyutları (d_{50}), 28 mikronla 80 mikron arasında değişerek oldukça geniş bir aralığı kapsamaktadır. Farklı değirmen tiplerinden elde edilen tane boyu dağılım eğrileri birbirine benzer bir şekil arz etmektedir.

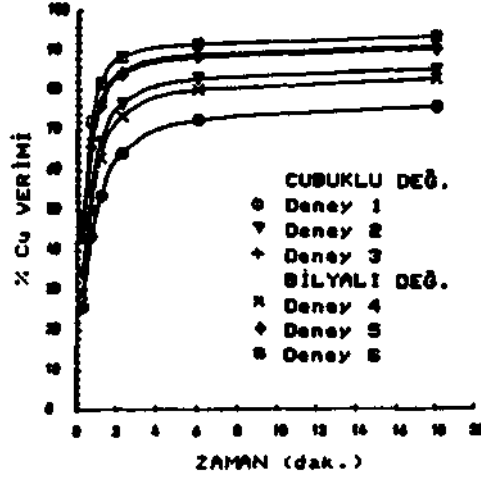


Sakıl 1. Flotasyon Batı amalarınin Tana Boyu Dağılımları.

Deneylerden elde edilen bakır verimi zaman ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Tahmin edileceği gibi, çalışılan aralıkta, beslenen malzemenin boyutu incelendikçe verim artmıştır.

Çizelge 2. Beslemenin Tenör ve Medyan Boyutları

	Besleme tenörü (%Cu)	Medyan boyutu (mikron)
Çubuklu değirmen:		
Deneý 1	0.603	80
Deneý 2	0.611	58
Deneý 3	0.596	47
Bilyalı -değirmen		
Deneý 4	0.589	62
Deneý 5	0.600	42
Deneý 6	0.655	28



Sakıl 8. Danaylarda alda adılan % Cu var imi-zaman ıllşKilari.

Modellerin hepside deneysel verilere çok iyi bir uyura sağlanmıştır. Tahmin edileceği gibi, modeldeki parametre sayısı arttıkça uyumda daha iyi olmuştur. Bununla beraber aralarındaki fark önemli değildir. Yukarıda belirtilen yöntem kullanılarak, bilgisayar yardımıyla hesaplanan model parametreleri Çizelge 3'de verilmiştir. Modeli için modelde yer alan parametrelerin yanısıra bir diğer parametre, r , çizelgede yer almıştır. Bu parametre (r), bakırın yüzebilen fraksiyonunun içindeki yavaş yüzen fraksiyonun oranını göstermektedir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$r = a_1 / (a_1 + a_2) \quad (6)$$

Böylece yüzebilen fraksiyonlar iki yerine tek bir parametre ile ifade edilmiş olmaktadır.

Çizelge 3'den görüleceği gibi, Modeli'deki yavaş yüzen fraksiyonun hız sabiti k , tane boyu dağılımındaki değişmelerden etkilenmemiş görünümünü vermektedir. Aritmetik ortalaması 0.3^{\wedge} ve standard sapması 0.02 olmuştur. Buna karşılık k 'nin değeri tane boyu dağılımı incelidikçe artmış, r ise azalmıştır. Bu da, beslenen malzeme incelidikçe, daha büyük bir bölümünün hızlı yüzdüğünü ve bu hızın da arttığını göstermektedir. Yüzemeyen fraksiyonu gösteren a_2 değeri de küçülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 3. Model Parametreleri

i. Model 1

Parametre	a0	a1	a2	r	k1	k2
Deney 1	0.2444	0.2371	0.5185	0.314	0.34	1.65
Deney 2	0.1504	0.1838	0.6661	0.218	0.36	1.94
Deney 3	0.0320	0.1437	0.7643	0.158	0.35	2.35
Deney 4	0.1749	0.1630	0.6622	0.198	0.32	1.60
Deney 5	0.1007	0.1345	0.7648	0.150	0.32	2.19
Deney 6	0.0694	0.1045	0.8262	0.112	0.31	2.49
Art. Ort.	0.1386	0.1611	0.7004	0.191	0.34	2.03
Sd. Sapma	0.0649	0.0458	0.1093	0.070	0.02	0.36

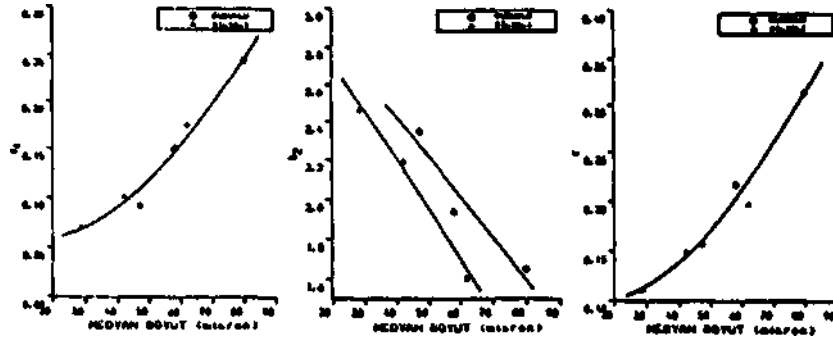
ii. Model 2

Parametre	k m		
Deney	0.2358	0.99	1.52
Deney	0.1452	1.50	1.53
Deney	0.0880	2.21	1.47
Deney	0.1699	1.02	1.73
Deney	0.0976	2.03	1.52
Deney	0.0662	3.01	1.39
Art. Ort.	0.1338	1.78	1.53
Sd. Sapma	0.0630	0.80	0.11

iii. Model 3

Parametre	k max	a0
Deney 1	2.50	0.2271
Deney 2	3.61	0.1337
Deney 3	5.20	0.0806
Deney 4	3.10	0.1548
Deney 5	5.00	0.0890
Deney 6	6.32	0.0585
Art. Ort.	4.29	0.1239
Sd. Sapma	1.45	0.0618

Sonuç olarak tane boyu dağılımındaki değişmelerden 3 parametrenin etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu üç parametre ile medyan boyutu arasında bir ilişki olup olmadığını görmek üzere, medyan boyutu ile bu değişkenlerin grafikleri çizilmiş ve Şekil 3'de verilmiştir.



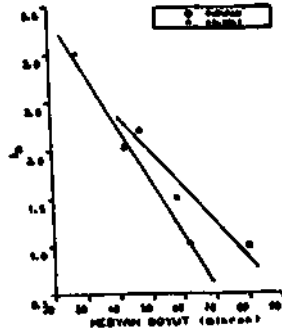
Şak 11 3. Tana boyu d*ftti ımındtkı datifimden atkılanan modal 1 P*ra,rm-traler inin medy*n boyut1* olftn il i>kHari .

a ve r'nin medyan boyutu ile olan ilişkileri birbirine benzer bir görünüm arz etmekte olup, değirmen tipinden bağımsız parabolik bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Bu da beslenen malzeme incelдикçe flotasyon tesisinden elde edilecek verimin bir tepe değerine ulaşacağını belli bir noktadan sonrada incelmenin ters etki yapabileceğini göstermektedir. Aynı durum riçin de geçerli olup, malzeme incelдикçe belli bir limit değerine doğru azalmaktadır. Hızlı yüzen fraksiyonun hız sabiti k_n ile medyan boyut ilişkisi değirmen tipine bağımlılık arz etmekte ve herbir değirmen tipi için doğrusal bir görünüm vermektedir.

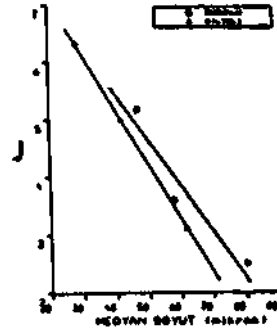
Model2'de ise, n parametresi tane boyu dağılımındaki değişmelerden etkilenmediği izlenimini vermektedir. Aritmetik ortalaması 1.53, standard sapması ise 0.11 olmuştur. Bu da hız sabitlerinin dağılımının şekil olarak sabit kalması demektir. Prosesin doğasından kaynaklanan a parametresindeki değişim Modeli'dekine benzerdir. Bu nedenle medyan boyutu ile olan ilişkisi ayrıca şekil üzerinde gösterilmemiştir.

Tane boyu dağılımındaki değişmelerden etkilenen diğer parametre ise k_m olmuştur. Bununla medyan boyutu arasındaki ilişki Şekil 4'de verilmiştir. Aralarındaki ilişki şekil olarak Modell'in k 'si ile medyan boyut arasındaki ilişkiye yakın benzerlik göstermektedir. Bu ilişki, değirmen tipine bağlı ve doğrusal bir görünüm arz etmektedir.

Model3'de yer alan iki parametrenin her ikisi de tane boyu dağılımındaki değişimden etkilenmiştir. Bunlardan a , diğer modellerdekine yakın değerler alıp, benzer bir değişim göstermektedir. Yine Modeli ve Model2'de olduğu gibi, tane boyu dağılımındaki değişimden etkilenen diğer parametre, k_{max} 'la medyan boyut ilişkisi değirmen tipine bağımlı ve doğrusala yakın olmuştur (Şekil 5).



Sakıl 4. K_m - medyan boyut ilişkisi.



Sakıl 5. k_{max} - medyan boyut ilişkisi.

Özetlemek gerekirse, denenen bütün modeller, deneysel verilere tatmin edici bir uyuma sağlamakta ve içerdikleri parametrelerin tane boyu dağılımından etkilenişi benzer olmaktadır. Flotasyon hız sabiti (veya eş değeri) parametresi hariç, tane boyutu dağılımındaki değişimden etkilenen bütün parametrelerin medyan boyutu ile ilişkileri değirmen tipinden bağımsız olmaktadır. Flotasyon hız sabitinin medyan boyut incelidikçe doğrusala yakın bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Bu artış tane boyu incelidikçe, hız sabiti düşük olan iri tanelerin yerlerini hız

sabiti yüksek olan orta boyutlu taneler bırakmasıyla açıklanabilir. Fakat bu yaklaşımın bir diğer sonucuda belli bir medyan değerinden sonra hız sabiti düşük olan incelerde çoğalmasıyla bir tepe değerini takiben düşüşün meydana gelmesi olacaktır. Böyle bir olay çalışılan aralıkta meydana gelmemiştir. Bu olgu, böyle bir olayın meydana gelmesi için gerekli medyan boyutuna ulaşılmadığı gerekçesiyle açıklanabilir. Sadece, hız sabitindeki artışa neden olan bir diğer faktöründe, tane boyu incelidikçe flotasyon hücresinde daha küçük çaplı hava kabarcıklarının oluşması olduğu sanılmaktadır. Szatkowski ve Freyberger (1985) tarafından desteklenen bu olgu, deneysel çalışmalar esnasında da gözlemlenmiştir. Hava kabarcıklarının küçülmesi sonucu aynı hava miktarı için taşıma yüzeyi artmakta, böylece de tanelerin köpük fazına daha hızlı çıkmaları sağlanmaktadır. Bunun sonucu olarak da elde edilen hız sabitleri daha büyük olmaktadır.

Sonuç olarak hız sabitlerindeki artışın her iki mekanizmanın bir sonucu olduğuna inanılmaktadır. Nitekim Modeli'de r parametresindeki değişim birinci mekanizmayla açıklanabilirken, k 'deki değişimi büyük ölçüde etkileyen ikinci tip mekanizmadır.

Yüzemeyen fraksiyonu gösteren a 'daki değişimi ise, hız sabitindeki değişimi açıklamakta kullandığımız birinci mekanizmaya benzer bir şekilde açıklamak mümkündür. Tane boyu incelidikçe daha yüksek verimle yüzebilen, orta boyutlu tanelerin oranının artması sonucu toplam verim yükselmektedir. Belli bir medyan boyutundan sonra da verimi biraz daha düşük olan incelerde artmasıyla bir maksimum verim noktasına ulaşılacak ve bundan sonra medyan boyut incelidikçe verimde düşecektir. Bu çalışmada ulaşılan en ince medyan boyutunun bile bu düşüş noktasının üzerinde kaldığı anlaşılmaktadır.

Tane boyu dağılım eğrilerinde benzerlik olmasına karşın, hız sabitlerinin değirmen tipine bağımlılık göstermesi, iki farklı boyut küçültme mekanizmasının ürettiği farklı şekilli tanelerden kaynaklanıyor olabilir. Diğer bir nedende, tane boyu dağılımlarında, dağılım eğrilerinden fark edilemeyen bir farklılığın bulunmasıdır. Sonuçlardan, çubuklu değirmende üretilen tanelerin daha yüksek hız sabitine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ

Tane boyu dağılımındaki değişim farklı değirmen tipleri kullanılarak ve öğütme süresi değiştirilerek elde edildiği besleme malzemesiyle yapılan kesikli kalkopirit flotasyonu deneyleri sonucunda elde edilen verilere, bu çalışmada kullanılan her üç modelde tatmin edici uyum sağlamıştır.

Modellerde kullanılan bazı parametreler tane boyu dağılımındaki değişimden etkilenmemiştir. Tane boyu dağılımından etkilenen ve bütün modellerde ortak parametre olarak yer alan yüzemeyen fraksiyon, a , ile medyan boyutu arasında değirmen tipinden bağımsız parabolik bir ilişki elde edilmiştir. Modellerin bu değişimden etkilenen bir diğer parametresi deflotasyon hız sabiti (veya eş değeri) olmuştur. Bu parametre ile medyan boyut arasındaki değirmen tipine bağımlı ilişki doğrusal bir görünüm arz etmektedir.

Yukardaki ilişkilerin benzetişim yazılımlarında yerleştirilip konulmasıyla öğütme devresinde meydana gelen tane boyutundaki değişimlerin flotasyon devresine olan etkisinin belirlenmesinin mümkün olabileceği anlaşılmaktadır.

Böyle bir yaklaşım, Leslemenin tane boyu fraksiyonlarına ayrıldığı, herbir fraksiyon için hız sabitleri ve diğer parametrelerin deneysel veriler kullanılarak tespit edilip, bunların tane boyu dağılımı değiştiiğinde sabit kalacağı varsayımından hareketle öğütme devresi ile flotasyon devresi arasındaki benzetişim amaçlı köprüyü oluşturan yöntemle göre daha basit ve kullanışlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- APLING, A.C. ve ERSAYIN, S. (1986) "Reproducibility of Semi-batch Flotation Testwork with the Leeds Open Top Cell and of Derived Kinetic Parameters", Trans. IMM, June 1986, Cilt 95, s. C83-88.
- APLING, A.C. ve ERSAYIN, S. (1988) "The Effect of Grinding on the Kinetic Characterisation of the Flotation of a Complex Base Metal Sulphide Ore", II Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir, s. 129-138.
- DELL, C.C. ve HALL, G.A. (1981), "Leeds Open-Top Laboratory Flotation Cell", Trans. IMM, Cilt 90, s. 017^176.
- HARRIS, C.C. ve CHAKRAVARTI, A. (1970) "Semi Batch Froth Flotation Kinetics; Species Distribution Analysis", Trans. AIME, Cilt 247, s.162-172
- LYNCH, A.J., JOHNSON, N.W., MANLAPIG, E.V. ve THORNE, G.C., (1981), "Mineral and Coal Flotation Circuits - Their Simulation and Control", Elsevier Sei. Publish. Co., Amsterdam.
- OSBORN, G.A. (1984), "Coputer Models of Flotation Plants", Ph.D. Thesis, The University of Leeds.
- PAREKH, B.K., EPSTEIN, H.E. ve GOLDBERGER, W.M. (1984) "Novel Communiton Process Uses Electric ve Ultrasonic Energy to Liberate Minerals", Min.Eng., Cilt 36, s. 1305-1309.
- SIERRA-LOPEZ, J., SCHULZE, A. De VERGARA (1968), "Mineagraphic ve Pétrographie Study of 23 Samples from Ariterio and Area (Santiago de Compostella), Rio Tinto Patino, with a View to Mechanical Concentration", InSt. Nacional de Industria, October 1968.
- SPIRA, P. ve ROSENBLUM, F. (1975), "The Oxygen Demand of Flotation Pulps", Can. Min. J . cilt 95, s. 40-12.
- SZATKOWSKI, M. ve FREYBERGER- W.L. (1985), "Kinetics of Flotation with Fine Bubbles", Trans. IMM, cilt 44, s. C61-70.
- TRAHAR, W.J. (1983), "A Rational Interpretation of the Role of Particle Size in Flotation", Int. J. Min. Proc, Cilt 8, s. 289-327.

