

KBI Samsun İzabe Cüruflarının Otojen Öğütme Özelliklerinin İncelenmesi

T Doğru

Karadeniz Bakır İşletmeleri A.Ş., Proje Tesis Dairesi, Kızılay Ankara

L. Ergun

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Beytepe Ankara

ÖZET Bu çalışmada, KBI Samsun izabe cüruflarının otojen öğütülebilirliği üzerine farklı sürelerde soğutmanın etkilen incelenmiştir. Bu amaçla, flaş fırın cüruflarından anı soğutma, 24 saat ve 36 saat soğutma numuneleri, konverter cürufundan ise 36 saat sonunda soğutma numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin kırılma dağılım fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla ikiz sarkaç ve tambur testi kullanılmıştır. Kırılma dağılım fonksiyonu ve tesisten alınan otojen değirmen besleme ve ürün tane boyu dağılımları kullanılarak değirmenin bir matematiksel modeli oluşturulmuştur. Simülasyon çalışmaları sonucunda, şok soğutmanın değirmen kapasitesini önemli ölçüde artıracığı, 24 saat ve 36 saat sonra soğutmanın benzer öğütme davranışına sahip olduğu bulunmuştur. Konverter cürufu ise en zor öğütülen numune olmuştur.

ABSTRACT In this study, the effect of cooling duration on the autogenous grinding properties of copper smelter slags of KBI Samsun Smelter was investigated. For this purpose, water quenched samples for immediate and after 24 and 36 hours cooling duration from flash smelter slags and converter slag after 36 hours cooling were prepared. Twin pendulum and tumbling mill tests were used for the determination of breakage distribution functions of the samples. Using the size distribution of the feed and product size distributions of the autogenous mill at the plant and breakage distribution function, a mathematical model was developed for the mill. After simulation studies, it was found that quenching after 24 and 36 hours gave similar grindabilities whereas shock cooling would increase the mill capacity significantly. Converter slag was the most difficult sample to grind.

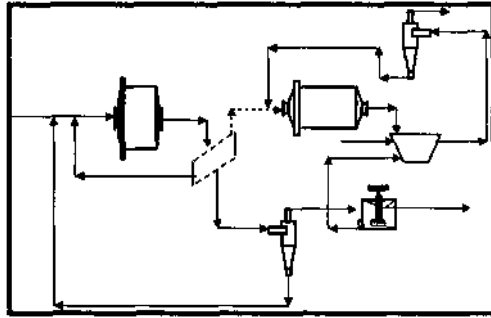
1 GİRİŞ

Karadeniz Bakır İşletmeleri Tekkeköy-Samsun da bulunan bakır izabe tesislerinde bakır konsantresinden pirometalurjik yöntemle blister bakır (% 99.3 Cu) üretilmektedir. İşlem sonucu oluşan SO₂ içerikli atık gazlar sülfürik asit tesislerinde değerlendirilmektedir. Flaş izabe teknolojisinin uygulandığı tesislerde konsantreden blister bakıra iki aşamada geçilmektedir. Birinci aşamada flaş ergitme fırınında konsantre ergitilerek % 50-60 Cu içerikli eriyik halde mat ile % 1.5-3 Cu içeren genellikle demir oksit ve silikatlardan oluşan sıvı fazda cüruf elde edilmektedir. Akışkan durumdaki mat Pierce-Smith konvertende iki aşamalı olarak oksidasyona tabi tutulmakta ve sonunda blister bakır ve yine % 3-5 Cu içeren ve genel olarak demiroksit ile silikatlardan oluşan cüruf elde edilmektedir. İki işlem sonucunda elde edilen cüruf açık sahaya taşınmakta, 30-35 cm kalınlığında

yatak oluşturacak şekilde dökülerek soğutmaya terk edilmektedir. Soğutulmuş cüruf konsantrator tesislerinde değerlendirilerek % 28-30 Cu tenorlu bir konsantre elde edilmektedir.

Cüruf öğütme devresinin akım şeması Şekil 1'de sunulmaktadır. Çeneli kırıcı çıkışı malzeme +100 mm ve -100+25 mm olarak stoklanmakta ve bu iki stoktan belirli oranlarda karıştırılarak otojen değirmene beslenmektedir. Değirmen çıkışı iki katlı elekte elenmektedir. 40x40mm açıklığa sahip ilk eleğin üzeri çakıl değirmenin güç çekişine göre öğütücü ortam olarak çakıl değirmene veya 1.5x12 mm açıklıklı diğer eleğin üzerine kalan malzemeye birlikte otojen değirmene gen beslenmektedir. Elek altı hidrosiklonla beslenmekte, alt akım otojen değirmene gen dönerken üst akım 4 hücreden oluşan bir flotasyon devresine beslenmektedir. Bu devrenin konsantresi nihai konsantreye eklenmekte artışı ise ikinci kademe hidrosiklon besleme havuzuna gönderilmektedir. Çakıl değirmeni çıkışı

ve yakalama devresi konsantresi de bu havuza beslenmektedir. İkinci kademe siklon alt akımı çakıl değirmene beslenirken üst akım flotasyon devresine beslenmektedir.



Şekil 1. Cüruf öğütme devresi akım şeması

Cürufun soğuma hızı cürufun öğütülebilirliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, ergimiş haldeki demiroksit ve silikatlardan oluşan cüruf içindeki Cu içeren fazların tane boyutları da büyük ölçüde soğuma hızına bağlı olmaktadır. Bakırın serbestleşme tane boyunun flotasyonla kolay ayrılabilir değerlerde olması (45-75µm) flotasyon randımanını etkilemektedir.

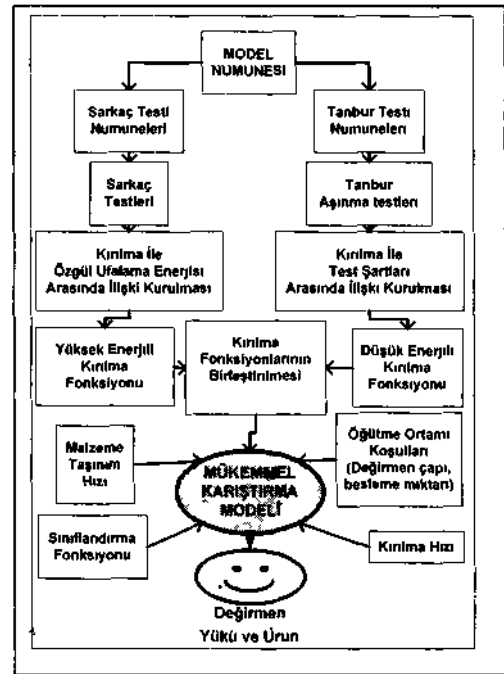
Farklı cürufun örneklerinin öğütülebilirliğini nitel olarak değerlendirmek üzere farklı deneysel yöntemler bulunmasına karşın, çalışan bir tesiste bunun yaratacağı etkileri nicel olarak hesaplamak ancak modelleme ve simülasyon teknikleri kullanılarak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, farklı soğutma şartlarına tabii tutulan flaş fırın cürufu ve konverter cürufunun otojen öğütülebilirlik özellikleri belirlenmiş ve otojen öğütmeye etkisi değirmen modeli yaklaşımıyla araştırılmıştır.

2 OTOJEN ÖĞÜTME MODEL YAKLAŞIMI

Otojen ve yarı otojen değirmen modellemesinde günümüze kadar bir çok yaklaşım ortaya atılmıştır (Stanley 1974, Gault 1975, Austin vd. 1977, Digre 1979, Austin vd. 1986, 1987, Leung 1987, Ziming 1995).

Bu çalışmada, Whiten (1974) tarafından geliştirilen mükemmel karışım yaklaşımını temel alan Leung (1987) model yaklaşımı kullanılmıştır. Model yapısı ve bileşenleri Şekil 2' de sunulmuştur.



Şekil 2. Otojen öğütme model yapısı ve bileşenleri.

Mükemmel karışım yaklaşımında herhangi bir tane boyu fraksiyonu için kütle denkliği Eşitlik (1), ile verilmektedir.

$$0 = f_i - p_i + \sum_{j=1}^i p_j \frac{r_j}{d_j} a_{ij} - p_i \frac{r_i}{d_i} \quad (1)$$

Burada,

- f_i : **i. boyut fraksiyonunda değirmen giren malzeme tonajı**
- p_i : **i. boyut fraksiyonunda değirmenden çıkan malzeme tonajı**
- r_i : **i. boyut fraksiyonundaki tanelerin kırılma hızı**
- d_i : **i. boyut fraksiyonundaki tanelerin değirmenden boşalma hızı**
- a_{ij} : **kırılma dağılımı fonksiyonu**

Otojen öğütmede kırılma dağılım fonksiyonu, a_{ij} , malzemenin darbe etkisiyle kırılma ve kendi kendini aşındırma özelliklerinin bileşkesi olmaktadır. Darbe etkisiyle kırılma davranımını belirlemek üzere ikiz sarkaç veya ağırlık düşürme yöntemi kullanılırken, aşınma karakteristikleri için tambur testi kullanılmaktadır (Napier-Munn 1996).

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneysel Numunelerin Hazırlanması

Flaş fırından ve konverterden potalara alınan cüruf 600x600x350 mm boyutlarındaki kaplara dökülmüştür. Şok soğutma işlemi cüruf kaba döküldükten hemen sonra üzerine su sıkılarak, 24 saat ve 36 saat soğutmada da soğutma zamanı sonunda kaplara su sıkılarak soğutma gerçekleştirilmiştir. Kaplardan sökülen cüruf numuneleri laboratuvar tipi çeneli kırıcıda kırılarak -50+38mm, -13.2+12.5 mm, -9.5+8.0 mm ve -5.6+4.8mm fraksiyonları hazırlanmıştır. Numunelerin mineralojik ve kimyasal analizleri sırasıyla Çizelge 1, ve Çizelge 2'de verilmiştir.

3.2 Deneysel Düzenekleri ve Deneysel Yöntem

3.2.1 İkiz Sarkaç Düzenegi

Bu çalışmada malzemenin darbe ile kırılma dağılımını elde etmek üzere ikiz sarkaç yöntemi kullanılmıştır. Deneysel düzeneginin şematik bir görünümü Şekil 3'de sunulmaktadır.

İkiz sarkaç test düzenegi bir çerçeveye pamuk ipliği ile bağlı bir çelik bilyadan yüklem sarkacı ve bir yüzeyi sertleştirilmiş çelik silindir salınım sarkacından oluşmaktadır. Sarkaçlar yükseklikleri ayarlanabilir bir donanımla asılmaktadır. Salınım sarkacının alt kısmına uzunlamasına üç adet kulak monte edilmiştir. Salınım sarkacı bir lazer kaynağı ve bir detektör arasında salınım yapmaktadır. Yükleme sarkacı bilinen bir yükseklikten bırakılarak, salınım sarkacının ön yüzüne yerleştirilmiş taneyi kırması sağlanmaktadır, ilk darbeden sonra yüklem sarkacı durdurulmakta ve salınım sarkacının salınım periyodu bilgisayar vasıtasıyla izlenmektedir. Bu da salınım sarkacına bağlanan üç adet kulak lazer kaynağından geçtiği sürenin kaydedilmesi ile mümkün olmaktadır. Yükleme sarkacının salınım sarkaca çarpması sonucunda yüklem sarkacının enerjisi; salınım yapmasında, çarpışmadan sonra ters yönlü olarak yüklem sarkacının hareketi için kullanılmaktadır. Daha sonra elastik çarpışma varsayımına dayanarak momentumun korunumu ilkesine göre tanenin parçalanması için gerekli enerji hesaplanmaktadır. Bu çalışmada Bölüm 3.1'de açıklandığı biçimde hazırlanan flaş fırın cürufunun şok soğutma(F1), 24 saat soğutma(F2), 36 saat soğutma(F3) numuneleri ve konverter cürufu numuneleri(K3) Çizelge 3'de verilen yüklem enerjilerinde kırılmıştır. Her boyut fraksiyonundan temsili elek analizine yetecek sayıda tane kırılmıştır.

Çizelge 1 Numunelerin mineralojik analizi

	Şok Soğutma	24 saat Soğutma	36 saat soğutma
Flaş Fırın			
Fayalt (%)	75-85	70-75	68-73
Tane boyu	30-300µ	0.4-1.2 mm	>1.2mm
Manyetit (%)	12-15	18-22	20-25
Tane boyu	30-100µ	30-200µ	50-700µ
Konverter			
Fayalt (%)			60-65
Tane boyu			>1.2mm
Manyetit (%)			25-30
Tane boyu			50-700µ
Cu mineralleri	Cu, Cu ₃ FeS ₄ , Cu ₆ S ₄ , CuFeS ₂ , Cu ₂ S, Cu ₂ O, CuO		
Diğer mineraller	Fe ₂ SiO ₄ , Fe ₂ SiO ₆ , CaCO ₃ , AlSi ₄ O ₁₀ (OH) ₂ , FeS ₂ , FeO		

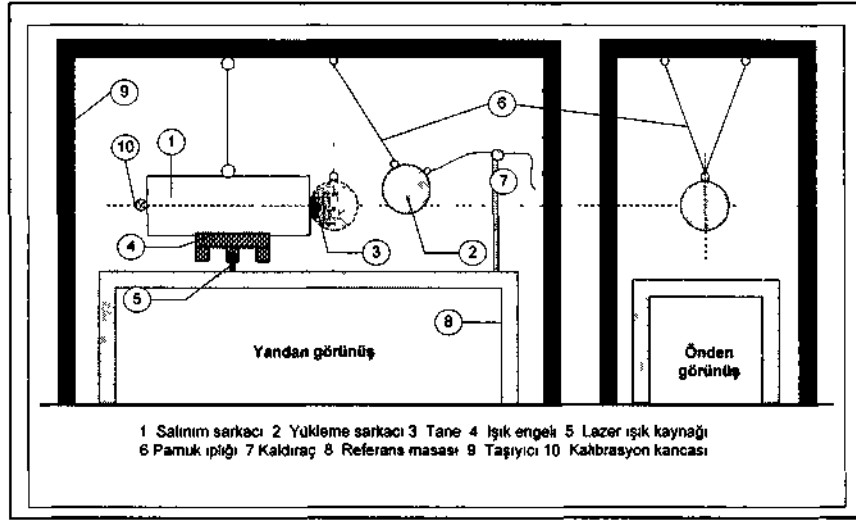
Çizelge 2 Numunelerin kimyasal analizi

	Flaş Fırın	Konverter
SiO ₂	28.01	28.08
Cu	2.88	3.39
Fe	43.91	44.48
S	0.96	0.55
Pb	0.10	0.24
Zn	2.00	-
As	0.055	0.094
MgO	0.18	0.13
Al ₂ O ₃	1.38	-
CaO	0.85	-

Çizelge 3. İkiz sarkaç testlerinde kullanılan tane boyulan ve uygulanan yüklem enerjisi

Tane Boyu (mm)	(F1)	(F2)	(F3)	(K3)
	Yüklem Enerjisi (kg-cm)	Yüklem Enerjisi (kg-cm)	Yüklem Enerjisi (kg-cm)	Yüklem Enerjisi (kg-cm)
-13.2+12.5	59.84	59.84	59.84	59.84
	91.53	91.53	91.53	91.53
	131.64	131.64	131.64	131.64
-9.5+8	59.84	59.84	59.84	59.84
	91.53	91.53	91.53	91.53
	131.64	131.64	131.64	131.64
-5.6+4.8	32.33	32.33	32.33	32.33
	59.84	59.84	59.84	59.84
	91.53	91.53	91.53	91.53

Sarkaç testlerinden kırılma dağılım fonksiyonunun hesaplanması için elek analizleri sonucu bulunan boyut dağılımları kullanılmaktadır. Kullanılan hesaplama yöntemi Whiten tarafından Avustralya'dan Julius Kruttschnitt Mineral Araştırma Merkezi (JKMRC)'nde geliştirmiştir (Napier-Munn 1996).



Şekil 3 Modelin yüksek enerjili kırılma fonksiyonunun elde edilmesinde kullanılan ikiz sarkaç test düzeneği.

Yaklaşıkta, farklı enerji seviyelerinde kırılan boyut fraksiyonları sonucu elde edilen boyut dağılımları ilişkilendirilebilmektedir. Her hangi bir boyut fraksiyonunun kırılması sonucu tanenin orijinal boyunun 1/10'unundan geçen birikimli malzeme oranı t_{10} parametresi olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, -9.5+8 mm fraksiyonunun ortalama boyu 8.75 mm olarak alındığında, bu fraksiyonun herhangi bir enerji seviyesinden kırılması sonucu 0.875mm'den ince malzemenin oranı bu fraksiyonun t_{10} değerini vermektedir. Benzer şekilde, t_{25} , U , $ü_s$, U_0 ve t_{75} değerleri belirlenmektedir. Farklı fraksiyonların farklı enerji seviyelerinden kırılması sonucu elde edilen boyut dağılımlarından bulunan t_{10} değerlerinin diğer t değerlerine karşılık grafiğe çizilmesi sonucu t eğrisi ailesi (t family curve) elde edilmektedir. Diğer yandan özgül kırılma enerjisi ile t_{10} arasındaki ilişki Eşitlik (2)'le tanımlanmaktadır.

$$t_{10} = A \left[1 - e^{-E_s/b} \right] \quad (2)$$

Burada,

- t_{10} : t_{10} parametresi
- E_{cs} : Özgül kırılma enerjisi (kWh/ton)
- A, b : Sabitler

Herhangi bir özgül kırılma enerjisi değeri için t_{10} değeri Eşitlik (2)'dan hesaplanarak t eğrisi ailesinden karşılık gelen diğer t değerleri belirlenebilmektedir.

Bu değerler darbe etkisiyle oluşan kırılma dağılımını vermektedir ve tane boyundan bağımsız olmaktadır.

3.2.2 Tambur aşınma testi

Farklı cüruf numunelerinin çentikleme ve aşındırma şeklinde kendi kendini ufalamasını karakterize etmek amacıyla tambur testi kullanılmaktadır. Bu amaçla 0300x300 mm ebadında tambur kullanılmıştır. Tambur çevresi boyunca her 90°'de bir tane olmak üzere 4 adet 10 mm yüksekliğinde kaldırıci astar bulunmaktadır.

-50 + 38mm tane boyunda hazırlanan 3 kg malzeme %70 kritik hızla 10 dakika süre ile tamburda döndürülmüştür. Bu süre sonunda değirmen boşaltılmış ve elde edilen ürün elek analizine tabi tutulmuştur.

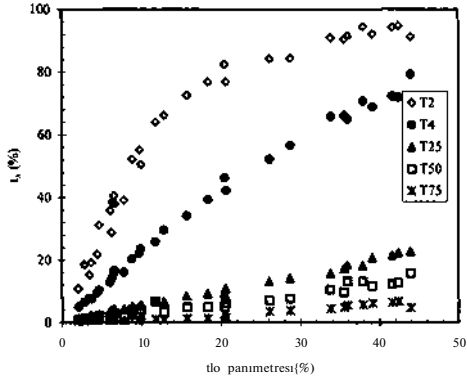
Tane boyu dağılımlarından Bölüm 3.2.1.'de açıklandığı t_{10} değerleri bulunmakta ve t_{10} değerinin 1/10'u aşınma sonucu oluşan kırılma dağılımını karakterize eden t_c parametresini vermektedir.

4 DENEY SONUÇLARI VE HESAPLAMALAR

İkiz sarkaçları testleri sonunda elde edilen tane boyu dağılımları kullanılarak Eşitlik (2)'le belirlenen A ve b parametreleri Çizelge 4'de ve t eğrisi ailesi ise Şekil 4'de sunulmaktadır. Tambur testi sonucu belirlenen $t_{c,}$ parametreleri de Çizelge 4'de verilmektedir.

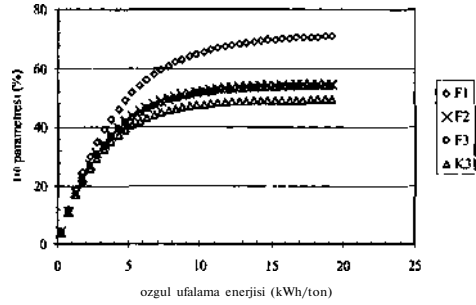
Çizelge 4.-Eşitlik (2) ve t_1 parametreleri

	A	b	ta
F1	71.49	0.244	0.593
F2	54.65	0.307	0.380
F3	54.00	0.307	0.300
K3	49.49	0.329	0.405



Şekil 4. Dört değişik numunenin üç uygulama enerjisinde parçalanması sonucu oluşan ürün tane boyu dağılımının "t - I₂", "t - t₁", "t - t₂₅", "t - t₅₀", "t - t₇₅" ilişkisinin grafiksel gösterimi

Farklı cüruf numunelerinin için özgül ufalama enerjisi - t₁₀ ilişkisi Şekil 5'te verilmektedir. Eğriler Çizelge 4'de verilen A değerlerine doğru yakınsamaktadır. A değeri darbe ile ufalanmaya karşı direncin bir göstergesi olmaktadır. Buna göre, şok soğutulan flaş finni cüruf numunesi en kolay kırılırken, konverter cürufu numunesi en zor ufalanmaktadır. 24 saat soğutulan ve 36 saat soğutulan cüruf numunelerinin ufalanabilirliklerinin ise birbirine yakın değerlerde olduğu bulunmuştur. Aşınma karakteristiklerine bakıldığında ise numuneler kolaydan zora doğru şok soğutma, konverter cürufu, 24 saat soğutma ve 36 soğutma şeklinde sıralanmaktadır.



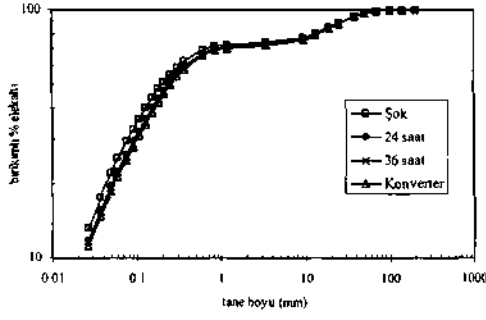
Şekil 5. Farklı cüruf numunelerinin özgül ufalama enerjisi - I₁₀ ilişkisi.

5 MODELLEME ÇALIŞMALARI

Cüruf numunelerinin otojen öğütme karakteristikleri deneysel olarak belirlendikten ve nitel olarak değerlendirildikten sonra, büyük ölçekli değirmende bunun öğütme devresinde yaratacağı etkiler modelleme ve simülasyon yoluyla incelenmiştir.

Şekil 1'de akım şeması verilen öğütme devresinde otojen değirmene giren ve çıkan kollardan temsili numuneler alınmıştır. Daha sonra devrede madde denkliği hesaplanmıştır. Boyut dağılımları ve Besleme tonajı, ürünlerin boyut dağılımı, değirmenin ve çıkış ızgarasının boyutları ve şok soğutma numunesinin kırılma dağılımı parametreleri kullanılarak değirmenin bir matematiksel modeli oluşturulmuştur. Kullanılan model, daha önce belirtildiği gibi Leung (1987) tarafından geliştirilmiştir ve değirmen model parametrelerinin hesaplanmasında JKSImMet paket programı kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları sonunda ölçülen ve model kullanılarak tahmin edilen boyut dağılımları çok iyi uyum göstermiştir.

Şok soğutma için belirlenen değirmen model parametreleri kullanılarak, diğer cüruf numunelerinin Çizelge 4'de verilen darbe ve aşınma parametreleri kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Farklı koşulda soğutulmuş cüruf numunelerinin öğütülmesi sonucu simülasyonla belirlenen tane boyu dağılımları Şekil 6'da sunulmaktadır. Şok soğutma numunesinin boyut dağılımının en ince olduğu görülmektedir. Diğer numunelerin tane boyu dağılımları birbirine yakın olmakla birlikte, konverter cürufu numunesinin boyut dağılımı daha iri olmaktadır.



Şekil 6. Farklı cüruf numunelerinin simülasyonla belirlenen tane boyu dağılımları.

Son olarak, besleme tonajları azaltılarak yapılan simülasyonlar sonucu aynı boyut dağılımı elde edilecek besleme tonajları Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6 Aynı ürün tane boyu dağılımına indirgenmiş şekilde tesisdeki otojen değirmen öğütme kapasiteleri.

	Tonaj (t/s)	%
F1	113	100
F2	95	84
F3	90	80
K3	80	71

Çizelgeden görülebileceği gibi, farklı cürufların öğütme devresinde öğütülmesi sonucu kapasite farkları oldukça önemli olmaktadır.

6 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı cüruf numunelerinin otojen öğütme karakteristiklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu bulunmuştur. Şok soğutulan flaş fırın cürufu numunesinin öğütülebilirliği önemli ölçüde kolaylaşmaktadır. Bu durum cüruf içindeki fazların oluşumu tamamlanmadan malzemenin ani soğutmaya bağlı oluşan genleşme nedeniyle açığa çıkan gerilmelere bağlanabilmektedir. Çeşitli mineraller için benzer durum literatürde de gözlenmiştir. 24 saat ve 36 saat sonunda soğutulan flaş fırın cürufu arasındaki bir fark bulunmakla

birlikte yakın değerler elde edilmiştir. Bu süre sonunda, malzemenin yeterince soğuyarak önemli ölçüde zayıflamalara neden olacak içsel gerilmeler oluşmadığı düşünülmektedir. Konverter cürufu ise 36 saat soğutma sonunda diğer cüruflara oranla daha zor öğütülebilir olmaktadır. Bunun bileşim farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlginç bir nokta, konverter cürufunun kendi kendini aşındırması 24 saat ve 36 saat soğutulan flaş fırınına göre kolay olmaktadır. Fakat darbeye karşı dayanımı daha yüksektir. Otojen değirmenlerde iri taneler, ince taneleri kırarken kendi kendine aşınarak ufalanmaktadır. Kritik boy olarak bilinen boyda taneler ise düşük kırılma hızına sahip olarak çeşitli şekillerde değirmenden uzaklaştırılmaktadır. Bu nedenle konverter cürufunun değirmen içine iri parçalar halinde beslenmesinin olumlu olacağı düşünülmektedir.

Cüruf zenginleştirme devresi düşünüldüğünde ise ani soğutmanın öğütme üzerine olan olumlu etkisi oluşan bakır içeren fazların tane büyüklüğünün flotasyon için uygun boyutların altına inmesi nedeniyle ortadan kalmaktadır. Özbayoğlu ve Âkgök(1995), Samsun izabe cüruflarının flotasyon davranımı üzerine yaptıkları çalışmada ani soğutma numunesinin veriminin yavaş soğutulan numuneye göre çok düşük olduğunu göstermişlerdir. Soğuma süresi arttıkça oluşan fazların tane büyüklüğü artmaktadır. Bu nedenle, farklı sürelerde soğutulmuş cüruflarda öğütülebilirliğin yanında flotasyon çalışmalarının birlikte yürütülmesi yararlı olacaktır. Modelleme ve simülasyon yaklaşımı ufalama özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testlerin sonuçlarından öğütme devresi performansının tahminine olanak sağlamaktadır. Son 15 yıldır bu teknikler kendini endüstriyel uygulamalarda kanıtlamıştır. Halen kullanılmakta olan öğütme devresinden alınacak örneklerle devrede kullanılan diğer ekipmanların modelleri oluşturularak benzer bir çalışmanın tüm devre için genişletilmesi mümkün görünmektedir. Bu şekilde tüm öğütme devresinin optimizasyonu gerçekleştirilebilecektir.

7 SONUÇLAR

KBI Samsun bakır izabe cüruflarının otojen öğütülebilirlikleri soğuma süresi arttıkça zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, ani soğutma öğütme büyük ölçüde kolaylaştırırken 24 saat ve 36 saat sonunda soğutma numunelerinin öğütülebilirlikleri arasındaki farkın az olduğu bulunmuştur.

Simülasyon çalışmaları sonunda öğütme devresinin kapasitesinin aynı ürün inceliğinde, ani

soğutma için %100 olduğunda, 24 saat soğutma için %84, 36 saat soğutma sonunda %80 olmaktadır. 36 saat soğutulan konverter cürufu en zor öğütülen numune olurken bu durumda kapasite %71'e kadar düşmektedir.

Cüruf zenginleştirme tesisinin performansı açısından değerlendirildiğinde, soğutma sonunda bakır içeren fazların oluşum boyu soğutma süresi arttıkça artmakta, buna karşın öğütülebilirlik zorlaşmaktadır. Bu nedenle soğutma süresinin optimizasyonu çalışmalarının flotasyon çalışmalarını ile birlikte yürütülmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Austin, L G , Weymont, N P Pnsbey, K A and Hoover, M , 1977, Preliminary results on the modeling of autogenous grinding, *Proceedings of 14th APCOM*
- Austin, LG , Barahona, C A and Menacho, J M , 1986, Fast and slow chipping fracture and abrasion in autogenous grinding, *Powder Technology*, 46/1,81-87
- Austin, L G , Barahona, C A and Menacho, J M , 1987, Investigation of autogenous and semi-autogenous gnndmg in tumbling mills, *Powder Technology*, 51/1, 283-294,
- Digre, M, 1979, Autogenous gnndmg in relation to abrasion conditions and mineralogical factors, *Pioc Auto Grind Seminar*, Norway, 1, A1 1 -A 1 20,
- Gault, G A, 1975, *Modelling and control of autogenous grinding circuit*, Ph D thesis, University of Queensland, Australia
- Leung, K.,1987, *An enegy based ore spesiflc model for autogenous and semiautogenous grinding*, PhD thesis, University of Queensland, Australia
- Leung, K, Mornson.R D and Whiten,WJ, 1987, An enegy based ore spesific model for autogenous and semiautogenous gnndmg, *Proc Copper 87*, Santiago, Chile, 71-85
- Napier-Munn, T J , Morrell, S , Morrison, R D , Kojovic T , 1996, *Mineral Comminution Circuits Their Operation and Optimisation*, JKMRc, Brisbane, 413p
- Özbayoglu, G , Akgok, YZ , 1995, Effect of cooling rate on the flotation behaviour of copper slags, *Proceedings of XIX IMPC*, SME, Littleton-Colorado, Vol 4, 147-149
- Stanley, G G , 1974 Mechanism in the autogenous mill and their mathematical representation, *JS Afr IMM*, Nov, 77-98
- Whiten, W J, 1974, Matrix theory of comminution machines, *Chem Engng Sei*, 29, 589-99
- Ziming, C , Burkert, A and Mular, A L , 1995, Simulation of autogenous grinding mechanisms, model, and simulator, *Proceedings of XIX IMPC*, SME, Littleton-Colorado, 1, 287-292

