

Boşluk Doldurma Oranının Kolemanit'in Öğütme Kinetiği Üzerine Etkisi

I. Özgür, V. Bozkurt & H. İpek

Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

ÖZET: Farklı besleme boyutlarında ve boşluk doldurma oranlarında kolemanit'in Standart Bond değirmeni kullanarak kuru öğütme kinetiği incelenmiştir. Öğütme kinetiği yavaşlama etkisinde dolayı öğütmenin birinci dakikasından sonra birinci derece öğütme kinetiğinden sapmıştır. En yüksek kırılma hızı değerleri bilyalar arası boşluğun %75'inin malzeme tarafından doldurulduğu koşullarda elde edilmiştir.

ABSTRACT: The effects of interstitial filling ratios on the dry grinding kinetics of colemanite in different feed size were investigated using standard Bond ball mill. Grinding kinetic deviated from first order breakage after one minute grinding due to slowing down effect. It was found that the highest breakage rate value was obtained when 75% of the voidage between balls was filled with powder.

1. GİRİŞ

Bor ve bor ürünleri çağımızın gelişen modern teknolojinin vazgeçilmez birer unsurudur. Başta cam, seramik, emaye, metalürji, deterjan sanayii, tarım sektörü olmak üzere nükleer enerji, jet ve roket yakıtı, eczacılık, kimya ve daha bir çok tüketim alanında yerini başka bir maddenin alamayacağı bir madde olarak kullanılmaktadır ve kullanım alanı her geçen gün gelişen teknolojiye göre artmaktadır.

Boyut küçültme enerji yoğun bir işlemdir ve dünyadaki endüstrileşmiş ülkelerde üretilen enerjinin yaklaşık % 3'ünü tüketir (Schonert, 1979; Narayanan, 1987). Cevher hazırlama tesislerinde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %55-70'i boyut küçültme işlemlerinde harcanmaktadır (Cohen, 1983; Lynch ve ark., 1986).

Ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve yeni malzemelerin geliştirilmesi için ince ve çok ince malzemelerin üretiminde öğütmeden oldukça fazla yararlanılmaktadır (Kotake ve ark., 2002).

Özgül kırılma hızı ve kırılma dağılımı kavramlarının kullanıldığı bilyalı değirmenlerdeki

boyut küçültmenin analizi son yıllarda hatırı sayılır bir şekilde ele alınmıştır (Yekeler ve ark., 1999; Deniz ve Onur, 2002; Austin, 2002). Austin ve arkadaşları (1984) bir çok makalede bu yaklaşımın avantajlarını incelemişler ayrıca laboratuvar verilerinden endüstriyel ölçekli değirmenlere geçmek için ölçek büyütme de ele almışlardır.

Shoji ve arkadaşları (1982) laboratuvar ölçekli bir bilyalı değirmen kullanarak kuvarsin yaş ve kuru olarak öğütülmesinde malzeme doluluk oranının etkilerini araştırmışlardır. Düşük malzeme doluluk oranlarında düşük kırılma hızları elde edilirken, malzeme doluluk oranı arttıkça bilyalar arası boşluğun dolmasıyla kırılma hızı değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. En yüksek kırılma hızı değerlerini boşluk doldurma oranının %60-110 (U=0.60-1.10), olduğu koşullarda elde etmişlerdir. Deniz ve Onur'un (2002) pomza taşı üzerinde yaptıkları araştırmada ise en yüksek kırılma hızı değeri boşluk doldurma oranının %40 (U=0.40) olduğu şartlarda elde etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, boşluk doldurma oranının kolemanit'in özgül kırılma parametreleri üzerine etkisinin incelenmesidir.

2. TEORİ

Değirmene beslemek için hazırlanan malzeme $\sqrt{2}$ veya $\sqrt[4]{2}$ elek serisi ile tanımlanan birçok tane boyut aralıklarına bölünmekte, en iri tane boyut aralığı 1, ikinci tane boyut aralığı 2, en ince tane boyu aralığı da n ile gösterilmektedir. Değirmende etkin bir şekilde kırılma olduğu zaman belirli bir tane boyu aralığında olan malzemenin kırılması genellikle birinci derece öğütme kuramına uymaktadır (Austin ve ark., 1981).

$$i \text{ boyutunun kırılma hızı} = S_i w_i \quad (1)$$

Burada, S_i ; i tane boyu aralığındaki malzemenin birim külesinin birim zamanda kırılma hızı, w_i ; i tane boyu aralığındaki malzeme fraksiyonu ve W ; değirmende öğütülen malzemenin toplam ağırlığıdır. Eğer başlangıç beslemesinin tamamı 1 boyut aralığı ile tanımlanan üst boyut aralığında yani en in boyut fraksiyonundaysa;

Kırılmayla 1.inci boyut aralığının kaybolma hızı $W(t)$ W ile orantılı olacaktır. Toplam kütle, W , sabit olduğundan;

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = -S_i w_i(t) \quad (2)$$

Burada S_i özgül kırılma hızı olarak adlandırılır ve oransal olarak sabittir ve zamanla değişmiyorsa,

$$w_i(t) = w_i(0) \exp(-S_i t) \quad (3)$$

yani,

$$\log[w_i(t)] = \log[w_i(0)] - S_i t / 2.3 \quad (4)$$

bu birinci derece öğütme hipotezi olarak adlandırılır. Özgül kırılma hızının, S_i , tane boyu ile değişimi Austin ve arkadaşları (1984) tarafında ele alınmıştır.

$$S_i = a_T (x_i/x_0)^a \quad (5)$$

Burada a_T değirmen koşullarına bağlı bir parametre iken a malzemenin malzemeye değişiklik gösteren malzemeye özgü bir parametredir. x_i tane boyu, X_0 ise 1 mm dir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Mineral

Bu çalışmada kullanılan kolemanit örnekleri Etibank Emet Etibor işletmesindeki -100+25 mm boyutlarındaki yıkanmış konsantreden alınmıştır. Örneklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kolemanit'in fiziksel özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Mohr Sertliği	İş İndeksi (Kwh/t)
2.05	4	8.66

Çizelge 2. Kolemanit'in kimyasal analiz değerleri

Bileşen	%
B ₂ O ₃	46.85
CaO	21.04
Na ₂ O	0.07
SiO ₂	3.77
As ₂ O ₃	1.25
SrO	1.46
MgO	1.15
TiO ₂	0.20
K ₂ O	0.18
S ₀	0.26
Fe ₂ O ₃	0.28
Al ₂ O ₃	0.85
A.Z.	21.78

-25+100 mm boyutlarındaki kolemanit örnekleri kapalı devre olarak çeneli kırıcıyla kırılmış ve yaklaşık %95 tek boyut aralıklarında olan altı adet tek boyut fraksiyonu hazırlanmıştır (-3.350+2.360 mm, -2.360+1.700 mm, -1.700+1.180 mm, -1.180+0.850 mm, -0.850+0.600 mm ve -0.850+0.600 mm). Tek boyut fraksiyonunda hazırlanmış kolemanit örnekleri değirmende kuru olarak artan zaman aralıklarında öğütülmüş (0.5, 1, 2, 3, 4 ve 5 dakika) ve her öğütme adımından sonra boyut analizleri yapılmıştır.

3.2. Değirmen ve Deneysel Yöntem

Bu çalışmada kullanılan değirmen, paslanmaz çelikten imal edilmiş, 30.5 x 30.5 cm boyutlarında ve 22,272 cm³lük bir iç hacme sahip olan standart Bond değirmenidir. Değirmen şarjı beş farklı çaptaki paslanmaz çelik buyanın bir karışımıdır.

Bilyalar arası boşluk bilya hacminin %40.48'dir. Bu değer suyun yer değiştirmesiyle bulunmuştur. Değirmen besleme malzemesi ve bilya şarjı kat şeklinde beslenilmiştir (bir kat bilya, bir kat malzeme). Bu şekil besleme bilyalar ile beslenen malzemenin öğütme esnasında hemen karışmasını sağlamaktadır. Öğütme deneylerinde kullanılan şartlar Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Değirmen özellikleri ve deney şartları

Değirmen	Çap, D, cm		30.50
	Uzunluk, L, cm		30.50
	Hacim, V, cm ³		22272
	Hız, rpm		70
	Kntık Hız, N _c ^a		81.88
Ortam	Çap, d, inç	1/2 1/4 3/8 3/4	
	Sayı	43 67 10 71 94	
	I Bilya ağırlığı, g		22648
	Özgül ağırlık		7.79
	Bilya şarjı, J ^b		0.22
Malzeme	Malzeme şarjı, f _c ^c	0.11 0.08 0.06 0.04 0.02	
	Malz bilya oranı, U ^d	1.25 1.00 0.75 0.50 0.25	
	Malz, mik., kg	3.0 2.4 18 1 2 0 6	

$$^a N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

$$^b J = \left(\frac{\text{bilya kütlesi/bilya yog}}{\text{degirmen hacmi}} \right) \times \frac{1.0}{0.6}$$

$$^c f_c = \left(\frac{\text{malzeme kütlesi/malzeme yog}}{\text{degirmen hacmi}} \right) \times \frac{1.0}{0.6}$$

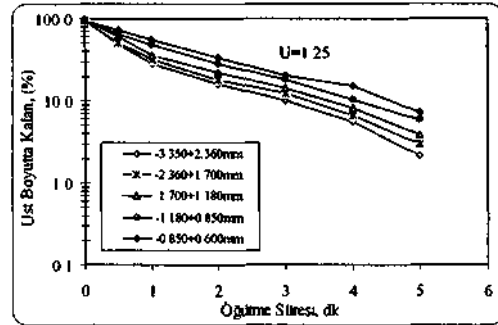
$$^d U = \frac{f_c}{0.4 J}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

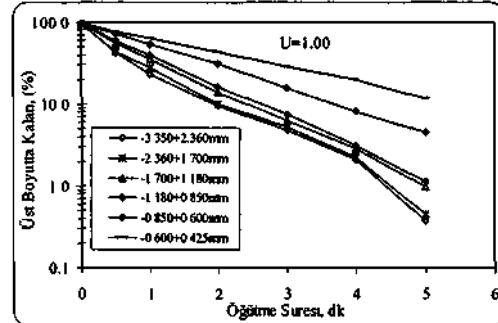
4.1. Özgül Kırılma Hızı, Fonksiyonunun Belirlenmesi

Beş farklı boşluk doldurma oranında, U, beslenen -3.350+2.360 mm, -2.360+1.700 mm, -1.700+1.180 mm, -1.180+0.850 mm, -0.850+0.600 mm ve -0.850+0.600 mm boyut fraksiyonlarındaki kolemanit örnekleri artan öğütme sürelerinde öğütülmüşlerdir. Zamana karşı öğütülen bu örneklerin, her bir öğütme süresi sonunda en üst tane boyu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının, öğütme sürelerine karşılık yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir ve sonuçlar Şekil 1-5'te verilmiştir. Grafiğin doğrusal olarak azaldığı

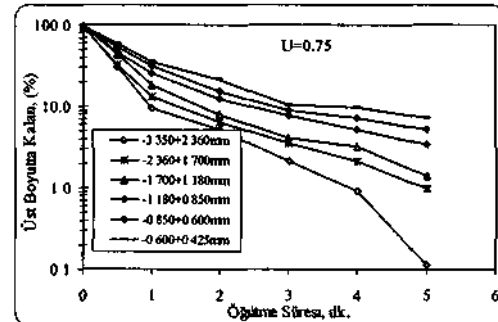
bölge birinci derece kırılma bölgesini temsil etmektedir ve bu bölgedeki doğrunun eğimi malzemenin o tane boyutundaki özgül kırılma hızını vermektedir.



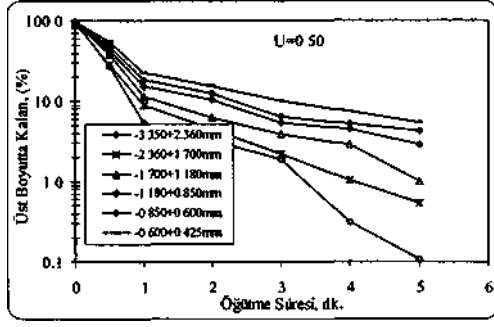
Şekil 1. U=1.25 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



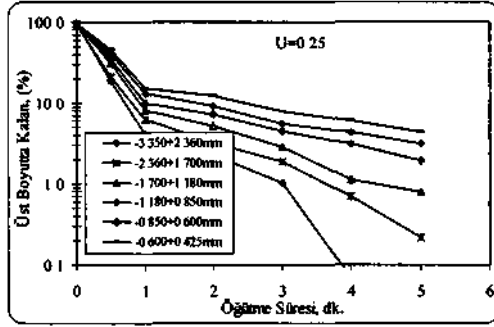
Şekil 2. U=1.00 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



Şekil 3. U=0.75 için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanitin özgül kırılma hızı değerleri



Şekil 4. $U=0.50$ için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanit'in özgül kırılma hızı değerleri



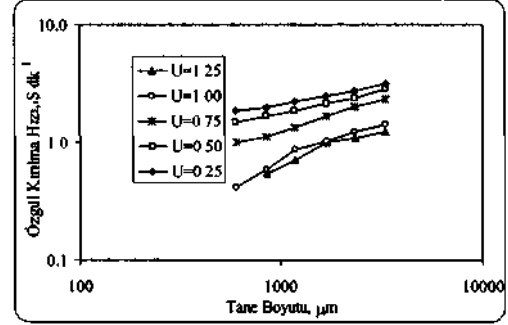
Şekil 5. $U=0.25$ için farklı besleme boyut fraksiyonlarındaki kolemanit'in özgül kırılma hızı değerleri

Şekil 1-5'ten de görüleceği üzere 1 dakikadan sonra kuru öğütmeden dolayı yavaşlama etkisine girerek öğütme hızı düşmektedir. Bu çok süratle kırılan kolemanit tanelerinin bilya ve değirmen çepelerine sıvanıp öğütme hızını yavaşlatmasındandır. Bu yüzden özgül kırılma hızları hesaplanırken 1 dakikalık öğütme sonundaki değerler kullanılmıştır.

Şekil 6'da besleme boyutunun bir fonksiyonu olarak ilgili boşluk doldurma oranlarıyla özgül kırılma hızı, S_{e} değerlerinin değişimi görülmektedir.

Şekil 6' dan da görüleceği üzere besleme tane boyu arttıkça özgül kırılma hızı değerleri de artmaktadır. Elde edilen bu değerler Eşitlik 5'e uydurulmuş ve ölçülen ile hesaplanan değerler arasındaki farkları en aza indirecek şekilde her malzeme doldurma

oranı için aj ve a parametreleri belirlenmiştir. Burada a_T değeri S_{e} değerinin 1000 deki değeri olup a ise doğrunun eğimidir. Çizelge 4'te bu model parametrelerin değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Farklı malzeme doldurma oranları için besleme boyutuyla S_{e} değerlerinin değişimi

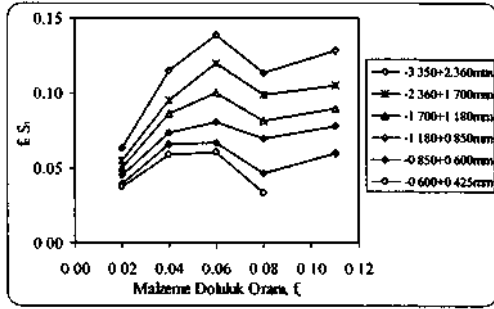
Çizelge 4. Özgül kırılma hızı model parametreleri

U	f_c	a_T	$U a_T$	a
1.25	0.11	0.65	0.84	0.54
1.00	0.08	0.74	0.74	0.56
0.75	0.06	1.25	0.94	0.53
0.50	0.04	1.73	0.87	0.40
0.25	0.02	2.09	0.52	0.33

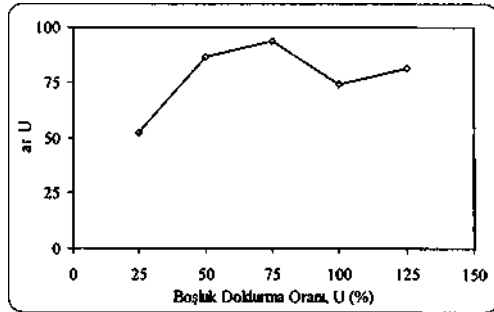
4.2. Malzeme Doluluk Oranı ile Mutlak Kırılma Hızı Arasındaki İlişki

Deneysel çalışmalar sabit bir malzeme miktarında, W , veya fraksiyonel bir doluluk oranında, f_c yapılıyorsa, özgül kırılma hızları malzemenin öğütülebilirliğinin doğrudan bir göstergesi olur. Ancak, farklı malzeme doluluk oranlarında yapılan çalışmalar karşılaştırılacaksa o zaman kullanılan ifadelerde değirmendeki malzeme miktarının da olması gerekmektedir. Bu durum da değirmen kapasitesiyle orantılı olduğundan, SiW veya $Si f_c$ ile tanımlanan mutlak kırılma hızlarının karşılaştırılması daha doğru olmaktadır (Austin ve ark., 1984; Prasher, 1987).

Malzeme doldurma oranına karşılık mutlak kırılma hızının grafiği çizilmiş ve sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Ayrıca değirmendeki malzeme miktarının değişikliğinin etkisi de incelenmiş ve değişim Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Malzeme doldurma oranı, f_c ile mutlak kırılma hızının, f_c Si, değişimi



Şekil 8. Bilyalar arası boşluğun doldurma oranıyla a-rll parametresinin değişimi

Şekil 7 ve 8'den de anlaşılacağı üzere en yüksek kırılma hızı değeri bilyalar arası boşluğun %75'inin dolu olduğu öğütme koşullarında gerçekleşmiştir.

5. SONUÇLAR

Altı farklı besleme tane boyut aralığında ve beş farklı doldurma oranlarında kolemanit'in kuru öğütülmesi sonucunda öğütme kinetiğinin bir dakikalık öğütmeden sonra kolemanit'in hızlı kırılmasından dolayı yavaşlama etkisine girdiği ve birinci derece öğütme kinetiğinden saptığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada en yüksek kırılma hızı değerleri, malzemenin bilyalar arası boşluğun %75'ini doldurduğu öğütme koşullarında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Austin, L. G., 2002. *A Treatment of Impact Breakage of Particles*. Powder Tech 126, 85-90.
- Austin, L. G., Bagga, P., Çelik, M., 1981. *Breakage Properties Of Some Materials In A Laboratory Ball Mill*. Powder Tech 28, 235-241.
- Austin, L. G., Klimpel, R. R., Luckie, P. T., 1984. *Process Engineering Of Size Reduction: Ball Milling*. AIME/SME, New York, USA.
- Cohen, H. E., 1983. *Energy Usage In Mineral Processing*. Trans Inst. Min. Metal., 92, CI60-164.
- Deniz, V., Onur, T., 2002. *Investigation Of The Breakage Kinetics Of Pumice Samples As Dependent On Powder Filling In A Ball Mill*. Int. J. Miner. Process. 67, pp71-78.
- Kotake, N., Suzuki, K., Asahi, S., Kanda, Y., 2002. *Experimental Study On The Grinding Rate Constant Of Solid Materials In A Ball Mill*. Powder Tech., 122, pp.101-108.
- Lynch, A. J., Whitten, W. J., Narayanan, S. S., 1986. *Ball Mill Model: Their Evolution And Present Status*. Advance in Mineral Processing, P. Samasundaran (Ed), SME/AIME Pub. Littleton, CO, pp 48-66
- Narayanan, S.S., 1987. *Modeling the performance of industrial ball mills using single particle breakage*. Int. J. Miner. Process., 20, 211-228.
- Prasher, C. L., 1987. *Crushing And Grinding Process Handbook*. JohnWiley and Sons Ltd. Great Britain.
- Schonert, K., 1979. *Energy aspect of size reduction of brittle materials*. Zem-Klak-Gips Translation No 1/79., 3: 40-44.
- Shoji, K., Austin, L. G., Smalia, F., Brame, K., Luckie, P. T., 1982. *Further Studies Of Ball And Powder Filling Effects In Ball Milling*. Powder Tech., 31, pp 121-126.
- Yekeler, M., Özkan, A., Kaya, Ö., Coşgun, F., 1999. *Klinkerin Öğütme Kinetiği ve Ürünlerin Boyut Dağılımının Simülasyonu*. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, pp. 201-207