

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

SODYUM FELDİSPATIN KIRILMA PARAMETRELERİNİN TANIMLANMASINDA BİLYA TÜRÜNÜN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Serhan HANER

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Afyonkarahisar / Türkiye

Öz: Seramik ve cam endüstrisinde yüzlerce yıldır feldispatik malzemeler ergitici olarak rol oynamaktadır. Dünya genelinde feldispatın elliden fazla ülkede üretimi yapıldığı bilinmektedir. Türkiye'nin bu rekabet ortamında ayrı bir yeri bulunmaktadır. Çok kaliteli feldispat yatakları bulunan Türkiye aynı zamanda dünya feldispat rezervinin yaklaşık %14'ünü de sahiptir. Feldispat, seramik fabrikaları tarafından 0.50 mm altındaki tane boyutlarında temin edilmekte ve burada öğütülmektedir. Seramik fabrikalarında öğütme için çoğunlukla bilyalı değirmenler kullanılmaktadır. Bilyalı değirmen fazı olan feldispat ve diğer hammaddeler 0.060 mm altındaki tane boyutlarına öğütülmektedirler. Ancak tane boyutu azaldıkça tanelerin yapısal kusurları azalmakta ve baskın olan kırılma mekanizması ufalama olmaktadır. Bu nedenle değirmenlerde kapasite ve verimliliği arttırmak için, öğütücü malzeme türünü doğru belirlemek önemlidir. Bu çalışmada seramik sağlık gereçleri bünyelerinin üretiminde kullanılan sodyum feldispat örneğinin öğütme parametrelerinden olan özgül kırılma hızı değerlerinin belirlenmesinde, silpeps ve alümina bilya türlerinin etkisi araştırılmıştır. Bunun için öncelikle, 0.045-0.063 mm arası tek dar tane boyutu fraksiyonu hazırlanmıştır. Daha sonra laboratuvar ölçekli değirmen ünitesinde silpeps ve alümina bilya kullanılarak öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütme için kullanılan bilyalar 30 mm çapındadır. Sulu ortamda gerçekleştirilen deneylerde değirmen içerisine sodyum feldispat 0.072 ve 0.144 olacak şekilde iki farklı malzeme doluluk oranında (f_c) beslenmiştir. Farklı öğütme sürelerinde elde edilen tane boyutu dağılımlarından özgül kırılma hızı değerleri (S_i) elde edilmiştir. Sonuç olarak iki farklı tür bilyanın iki farklı malzeme doluluk oranından elde edilen özgül kırılma hızı değerleri kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sodyum Feldispat, Öğütme, Endüstriyel Hammadde, Özgül Kırılma Hızı

GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Son zamanlarda öğütme performansında öğütücü ortam değişkenlerinin rolü önem kazanmıştır. Öğütücü ortamın şekli, boyutu ve özgül ağırlığı gibi özellikleri öğütülen ürünün tane boyutu/dağılımı, öğütme maliyeti, enerji tüketimi, değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen en önemli faktörlerdir. Öğütücü ortamın şekli ve boyutunun kullanılacak alana uygun olarak seçilmesi karşılaşılabilecek olumsuzlukların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Malzemenin ince veya iri tane boyutuna sahip olmasının öğütme ile ilişkisini gösteren denklem ve modeller, çeşitli kaynaklarda belirtilmiştir (Austin vd., 1976; Austin vd., 1982; Haner, 2016; Kelsall vd., 1967; Prasher, 1987).

Değirmenlerde öğütücü ortam olarak kullanılan bilyalar; küresel, silindirik, konik veya yarım koni şeklinde olabilir. Konik ya da silindirik şekilli öğütücüler silpeps olarak isimlendirilir (Yıldız, 1999). Cloos (1983), malzemenin ince tane boyutuna öğütülmesi amacıyla sıkça kullanılan küresel bilyaya alternatif olarak silpepsi önermiştir. Bilya seçiminde ton başına öğütmede kullanılan bilya tüketimi, astar yapısı, bilyanın fiyatı ve temin edilebilirliği, cevherin yapısı önem taşımaktadır. Kelsall vd. (1973), öğütücü ortam şeklinin etkilerini çelikten imal edilmiş olan küresel, kübik ve silindirik öğütücü türlerini kullanarak incelemiştir. Öğütücü ortam şeklinin, birinci derece öğütme hızı (S) ve kümülatif kırılma fonksiyonuna (B) önemli etkisi olduğunu belirtmiştir (Haner, 2016).

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

Seramik sektöründe öğütme işlemi için genellikle bilyalı değirmenler kullanılmakta ve sulu öğütme tercih edilmektedir. Türkiye'deki özel bir seramik fabrikasında, 20 ton kuru malzeme alabilecek kapasite-deki bilyalı değirmende öğütücü ortam olarak 4-12 mm boyutlarındaki flint taşı kullanılmaktaydı. Şimdilerde ise flint taşı yerini alümina bilyaya bırakmıştır. Alümina bilya kullanılmasının amacı, bilya tüketimini, bilyanın aşınmasından kaynaklanan kirliliği, öğütme süresini ve ton başına maliyeti azaltmak gibi nedenler sayılabilir (Haner, 2016).

Bu çalışmada, iki farklı bilya türünün (silpeps ve alümina) sodyum feldispatın özgül kırılma hızına (S_f) etkisi araştırılmıştır. Öğütme çalışmalarında, seramik endüstrisinin temel hammaddelerinden birisi olan sodyum feldispat kullanılmıştır. Sodyum feldispatın özgül kırılma hızının değişimi 30 mm alümina bilya ve 30 mm silpeps kullanılarak incelenmiştir. Sulu ortamda gerçekleştirilen öğütme deneyleri için değirmendeki malzeme doluluk oranı (f_c) 0.072-0.144 olarak alınmıştır. Bu amaçla, Lynch tarafından temeli oluşturulan ve Austin tarafından geliştirilen kinetik model uygulanmıştır. Bu modelde bir hammaddenin kırılma hızını ve kırılma dağılımını tanımlayan matematiksel ifadeler bulunmaktadır (Austin ve Ark., 1984). Kinetik model tabanlı öğütme çalışmaları ile laboratuvar çapında elde edilen değerler, endüstriyel ortamda simülasyona uygundur (Austin ve ark., 1981).

AMAC

Cevher Hazırlama proseslerinde en önemli temel işlemlerden biri olan öğütme işlemi çok fazla enerji tüketilmesi sebebiyle en pahalı işlemlerden biridir. Özellikle ince ve mikronize öğütmelerde bu enerji tüketimi çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır. ABD'de ufalama için harcanan enerji elektrik tüketiminin %1.5'ine karşılık gelmektedir. Endüstrilemiş ülkelerde ise üretilen elektriğin yaklaşık %3'ü boyut küçültme amacıyla kullanılmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında, cevher hazırlamada öğütmenin araştırılmasının çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bütün cevherlerin çeşitli faktörlere bağlı olarak, ekonomik bir optimum öğütme derecesi vardır. Az öğütme, ekonomik ayırmanın yapılmamasına, konsantrasyon kademesinde randıman ve tenörün düşmesine; aşırı öğütme ise kıymetli minerallerin verimli ayırma boyutlarından fazla öğütülmesine, gang minerallerinin şlam meydana getirerek ayırmayı engellemesine ve lüzumsuz enerji kaybına neden olur (İpekoğlu, 1989). Bu nedenle boyut küçültme ve özellikle öğütme devrelerinin iyi tasarlanması çok önemlidir.

Türkiye, endüstriyel hammadde rezervleri ve çeşitliliği açısından oldukça büyük bir potansiyele sahiptir. Bu durum ülkemizin önemli bir üretici ve ihracatçı olmasına neden olmuştur. Türkiye, dünya maden potansiyeli göz önüne alındığında bor, toryum, linyit, mermer, manyezit, nadir toprak elementleri, zeolit, trona, barit, feldspat ve sodyum sülfat gibi madenlerde oldukça büyük bir rezerve sahiptir. Dolayısıyla bu kaynakların işlenmesi, ilgili sanayi dallarında kullanımının desteklenmesi ve yeni kullanım alanlarının belirlenmesine yönelik araştırmaların yapılmasına her geçen gün daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Anonim, 2011). Ülkemizde endüstriyel hammaddeler ufalanıp sınıflandırıldıktan sonra veya manyetik ayırma/flotasyon ile zenginleştirildikten sonra piyasaya sunulmaktadır. Boyut küçültme işlemi bilyalı değirmenlerde yapılmasına rağmen, ülkemiz için önemli bir katma değer yaratmaktadır. İnce ve çok ince boyutlara öğütmede, bilyalı değirmenler ile ilgili çalışmalar yapılarak katma değer daha da arttırılabilir.

Seramik endüstrisinde bilyalı değirmenlerde öğütücü ortam olarak genellikle alümina bilya kullanılmaktadır. Hammaddeyi kirletebilir düşüncesinden ötürü demir içerikli öğütücü ortamlar kullanılmamaktadır. Bu genel kaygının yanı sıra boya endüstrisi hammaddelerinden olan baritin öğütülmesinde demir

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

içerikli silpepsler kullanılmaktadır. Baritin boya içerisine katılmasının nedenlerinden birisi beyaz olmasıdır. Bu düşünceyle, seramik endüstrisindeki öğütme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan alümina bilyaya alternatif olarak silpeps önerilmiştir. Alümina bilya ve silpepsin öğütmeye olan etkisi, özgül kırılma hızı değerleri bulunarak kıyaslanmıştır.

KAPSAM

Dünya genelinde seramik malzemelerin üretimi hızla artmaktadır. Dünya çapında üretim kapasitesinin sürekli artışı ve rekabetçi ortamın oluşması gerek üreticileri gerekse araştırmacıları üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve maliyet düşürücü çalışmalara sevk etmektedir. Seramik üretim sürecinde iki önemli kontrol edilir parametre vardır; bunlar tozların tane boyut dağılımı ve partiküller arası kimyasal reaksiyonlardır. Öğütme aşamasında hazırlanan çamurların tane boyut ve dağılımları nihai ürünün özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tane boyut dağılımındaki ayarlamalar şekillendirme özelliklerini ve istenilen pişirme davranışını sağlamak amacıyla yapılır. Bu sayede pişirilen üründe meydana gelebilecek değişiklik miktarları kontrol edilebilir (Henkes, 1995). Tane boyut ve dağılımının derecesi, pişirme sırasında kompozisyondaki bileşenlerin reaktifliğini dolayısıyla oluşacak yeni fazların (camsı ve kristal) miktarını etkilemektedir. İnce tane boyutuna sahip partiküller daha geniş yüzey alanına sahip olduklarından dolayı pişirme sırasında daha reaktiftirler (Reed, 2000). Palacio-Villegas ve Dinger (1996), yaptıkları çalışmalarda tane boyut dağılımının seramik bünyelerin sinterleme davranışları ve mukavemet değerleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Tane boyutunun paketleme sonundaki poroziteyi ve por boyut dağılımını etkilediğini belirlemişlerdir. Minerallerin homojen dağılımının farklı türlerin reaksiyonları açısından önemli olduğunu, homojenlik zayıf olduğunda tekil bileşenlerin diğerleri ile birleşme fırsatı bulamadan kendi başlarına sinterlendiğini, farklı mineralojiye sahip partiküllerin temas noktalarının arttırılmasıyla istenilen reaksiyonların oluşturulabilirliğini incelemişlerdir.

Özellikle sağlık gereçleri üretiminde istenilen teknik özelliklerin kazanılması için ince tane boyut ve dağılımına gereksinim duyulmaktadır. Bilyalı değirmenlerde öğütme sırasında partikül boyutunun zamanla küçülmesi sonucu sabit boyuttaki öğütücü ortam ile ince partiküller arasında gerçekleşen öğütücü mekanizmaların (darbe, basma, kayma ve yuvarlanma vb.) etkisi azalır. Bundan dolayı sağlık gereçleri üretimi için gerekli tane boyut ve dağılımı elde edilmesi uzun süreler almaktadır. Bunun yanı sıra enerji maliyetleri de artmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üretiminde, Türkiye genelinde sanayide tüketilen elektriğin yaklaşık olarak %0.35'i (110 milyon kwh/yıl) tüketilmektedir ve tüketilen elektrik enerjisinin birçok kısmı da öğütme sürecinde harcanmaktadır (İpek vd., 2005). Seramik malzemelerin üretiminde bilyeli öğütme tekniğinin etkinliğini artırmak için şimdiye kadar farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar;

- a) Yüksek yoğunluğa sahip öğütücü malzeme kullanımı; öğütücü olarak silis yerine yüksek alümina içerikli bilye kullanılması,
- b) Ön öğütmeden geçirilmiş sert hammaddelerin (feldspat) kompozisyona daha sonra karıştırılması,
- c) Öğütme işlemini hızlandırıcı teknolojik gelişmelerin ve yeni değirmen tasarımlarının kullanımı; süreksiz değirmenlerin öğütme hızlarının artırılması, sürekli değirmenlerin kullanılması ve sürekli değirmenlerde çeşitli değirmen astarlarının denenmesidir.

Yüksek yoğunluğa sahip alümina bilyelerin kullanılmasıyla çarpma şiddeti artırılmış, dolayısıyla öğütme etkinliği artmıştır. Buna ilave olarak yüksek ağırlığa sahip bilyelerin kullanılması daha küçük

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

boyutlarda bilye kullanımına izin vermektedir. Böylece öğretücü ortam ile öğretülen ortam arasındaki temas yüzeyi artırılarak öğütme hızında artış sağlanmıştır.

Öğütme devrelerinin iyi tasarlanmış olması önemlidir. Bütün cevherlerin çeşitli faktörlere bağlı olarak, ekonomik bir optimum bir öğütme derecesi vardır. Bundan dolayı seramik sektörü ve diğer sektörlerde modelleme ve optimizasyon çalışmaları oldukça önemlidir. Endüstriyel ölçekli tesislerde alınacak değerler çalışma koşullarına bağlı olarak değişeceğinden, öğütme deneyleri mutlaka laboratuvarında hassas olarak yapılmalıdır. Bu deneylerden malzemenin öğütülebilirliğini ve öğütme özelliklerini karakterize eden parametreler elde edilerek çeşitli öğütme devreleri simülasyon ile dizayn ve kontrol edilebilir.

Kinetik modelde, her bir malzemenin kırılma ve dağılma özelliklerini tanımlayan parametreler tespit edilerek kırılma hızını ve dağılımını tanımlayan matematiksel ifadeler geliştirilmiştir. Bu şekilde kırılma işlemi, matematiksel ifadelerle tanımlandığından, kırma ve öğütme işlemi sonunda elde edilecek ürünün tane boyut dağılımı ile miktarının hesaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca bu bilgiler ışığında çeşitli öğütme devrelerinin kontrol ve dizaynı yapılmaktadır (Haner, 2016).

Bu çalışmada seramik üretiminde kullanılan sodyum feldispatın öğütülmesi, farklı bilya türlerinde (alümina, silpeps) kinetik model esaslı çalışmalarla özgül kırılma hızı belirlenerek, malzeme miktarının değişiminin etkileri araştırılmıştır.

YÖNTEM

Öncelikle sodyum feldispatın tek tane boyut fraksiyonundaki özgül kırılma hızı değerleri (S_i) belirlenmiştir. Bunun için sodyum feldispat 0.045-0.063 mm tane boyutu aralığında olacak şekilde hazırlanmıştır. Sodyum feldispatın özgül kırılma hızı değerlerinin tespiti için 15x15cm çap ve uzunluğunda çelikten imal edilmiş değirmen, öğretücü ortam olarak ise silpeps ve alümina bilyalar kullanılmış, sulu ortamda öğütme işlemi yapılmıştır. Hazırlanan tane boyutu fraksiyonu, kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi için kesikli olarak öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu (1, 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 dakika) sonrası tüm değirmen şarjı boşaltılarak numune alınmıştır. Tane boyut dağılımı Malvern marka Hydro 2000G model cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Zamana karşılık her bir öğütme periyodu sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Grafiğin doğrusal olarak azaldığı bölge birinci derece kırılma bölgesini temsil etmektedir. Birinci derece kırılma bölgesindeki doğrunun eğimi bize malzemenin o tane boyut aralığındaki özgül kırılma hızını vermektedir. Özgül kırılma hızının formülü Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$S_i = a(x_i/1 \text{ mm})^\alpha Q_i$$

(1)

burada; a , hammaddeye ve öğütme koşullarına bağlı model parametre, X_i ise i fraksiyonundaki üst boyutu (mm) temsil etmektedir. Q_i düzeltme faktörüdür ve küçük boyutlu taneler için 1 olarak alınır. α değeri pozitif bir sayıdır ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 0.5 ile 1.5 arasında değişir (Austin vd., 1984).

Kullanılan bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları Tablo 1'de verilmiştir. Deneylerde bilyalı değirmenin dönüş hızı, değirmenin kritik hız değerinin %75'i alınmıştır. Değirmen dönüş hızı Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3 ve 4 ile sırasıyla değirmene beslenecek malzeme miktarları ve değirmenin boşluk doldurma oranları bulunmuştur.

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

$$\text{Kritik hız } (N_k) = \frac{42.3}{\sqrt{(D-d)}}$$

(2)

Burada; D değirmen çapı (m), d ise bilya çapıdır (m).

$$\text{Malzeme Doluluk Oranı}(f_c) = \frac{\text{Malzeme Miktarı/Malzeme Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1}{0.6}\right)$$

(3)

$$\text{Boşluk Doldurma Oranı}(U) = \frac{f_c}{0.4+J} \quad (4)$$

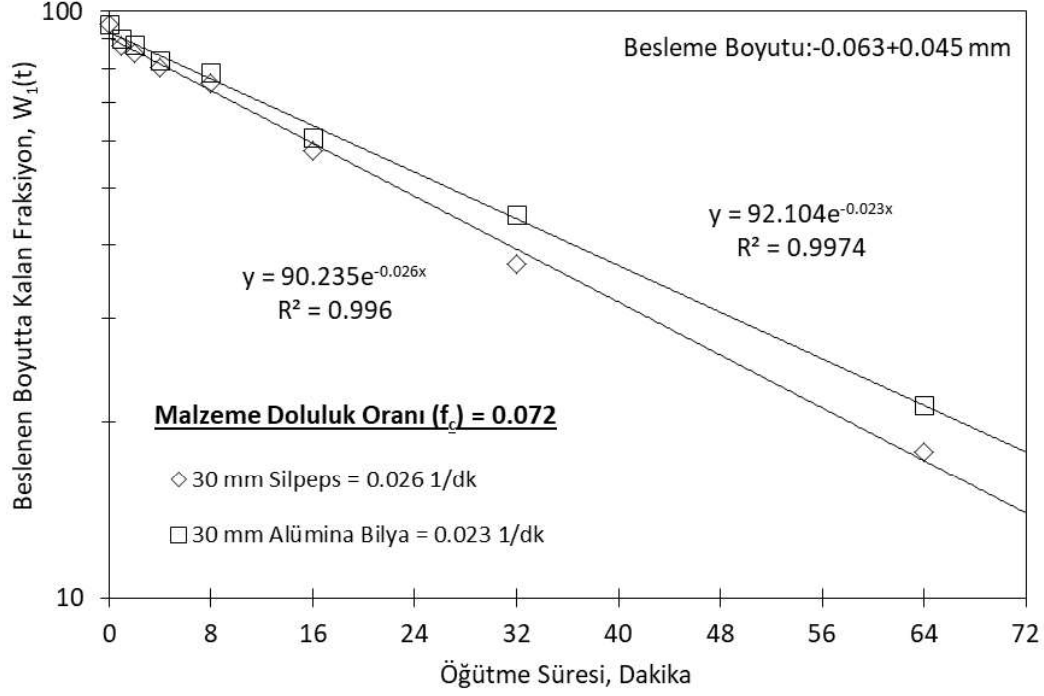
Tablo 1. Bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları

Değir- men	İç çap, mm	150	
	İç uzunluk, mm	150	
	Hacim, cm ³	~2650	
	Çalışma hızı, dev/dak	~91	
Öğütücü ortam (bilya)	Malzeme	Silpeps	Alümina
	Boyut, mm	Ø30	Ø30
	Ortalama bilya ağırlık- ları, g	~166	~72
	Özgül ağırlık, g/cm ³	6.75	3.70
	Hacim doluluğu (%J)	30	
Malzeme	Gerçek yoğunluk, g/cm ³	2.58	
	Malzeme yükü (%f _c) (J=0.30, N _c =0.75)	0.072	0.144
	f _c 'ye göre boşluk dol- durma oranı (%U)	0.60	1.20

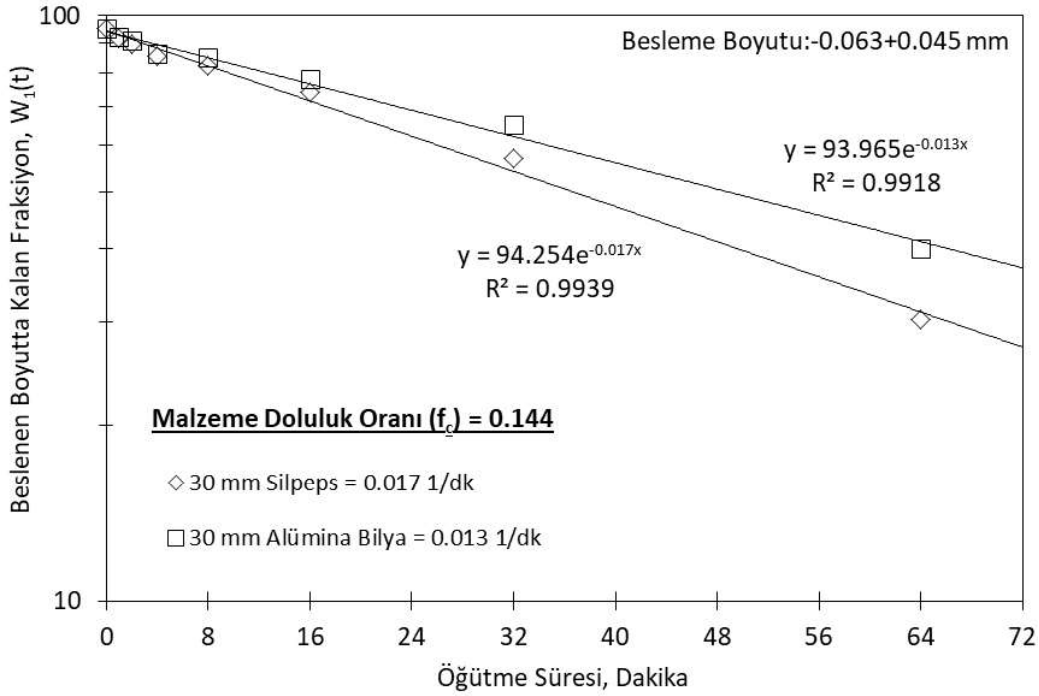
BULGULAR

Tek tane boyut fraksiyonundaki sodyum feldispat, iki farklı türdeki bilya kullanılarak, lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonunda, en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının, öğütme sürelerine karşı grafikleri çizilmiştir. Birinci derece kırılma kinetiğinin grafikleri Şekil 1'de ve sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR



Şekil 1. Sodyum feldispatın farklı bilya türlerindeki $f_c=0.072$ için birinci derece kırılma doğruları



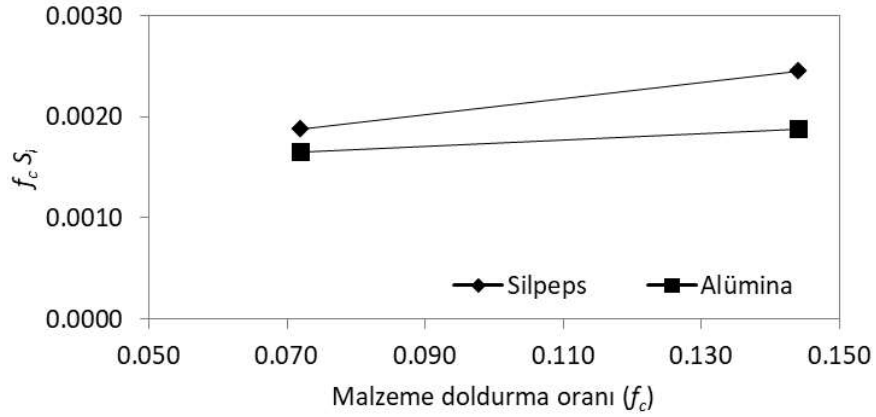
Şekil 2. Sodyum feldispatın farklı bilya türlerindeki $f_c=0.144$ için birinci derece kırılma doğruları

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

Tablo 2. Sodyum feldispatın farklı türdeki bilyalar için özgül kırılma hızları

Malzeme doluluk oranı (f_c)	0.072	0.144
Alümina bilya (S_i, dk^{-1})	0.023	0.013
Silpeps (S_i, dk^{-1})	0.026	0.017

Yapılan bu çalışmada, sodyum feldispatın özgül kırılma hızına malzeme doldurma oranının (f_c) etkisi de incelendiğinden dolayı, değirmene beslenen malzeme miktarının bilinmesi önemlidir. Değirmen kapasitesi ile ilişkili olan bu durum için, $S_i W$ veya $S_i f_c$ ile belirtilen mutlak kırılma hızının karşılaştırılması uygun olmaktadır. Malzeme doldurma oranına (f_c) karşılık mutlak kırılma hızının ($f_c S_i$) grafiği çizilmiş ve sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Malzeme doldurma oranı ile mutlak kırılma hızının değişimi

SONUÇ

Sodyum feldispat örneğinin Ø30 mm boyutlu silpeps ve alümina bilya için sulu ortamda iki farklı malzeme yükü miktarında yapılan deneylerde hazırlanan tek tane boyut fraksiyonundaki malzemeler lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüşlerdir. Zamana karşılık her bir öğütme sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Grafiğin doğrusal olarak azaldığı bölge birinci derece kırılma bölgesini temsil etmektedir. 30 mm silpeps ve alümina bilya ile sulu ortamda gerçekleştirilen kinetik modele dayalı öğütme çalışmalarının, malzeme doluluk oranlarına göre tek dar besleme tane boyut fraksiyonu için birinci derece kırılma kinetiğine uyduğu görülmüştür.

S_i değerinin büyük olması daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmektedir. Şekil 1 ve 2 ile Tablo 2, her bilya türü kendi içerisinde malzeme doldurma oranlarına göre değerlendirildiğinde, düşük malzeme doldurma oranlarında yüksek kırılma hız değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Yani malzeme doldurma oranı arttıkça kırılma hızları azalmaya başlamıştır. İdeal bir değere kadar malzeme miktarının artmasıyla bilyalar arasındaki çarpışma boşluklarını doldurulmakta ve böylece yüksek kırılma hızı değerleri elde edilmektedir. Bütün etkin boş-

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

luklar doldurulduğunda en yüksek kırılma hızı değerleri elde edilmiştir. Malzeme doldurma oranı artıkça pülün sahip olduğu viskozite artmakta ve öğütücü darbelerin yutulmasına bağlı olarak öğütme verimliliği azalabilmektedir. $f_c=0.072$ 'de pülplerin kırılma hızlarının yüksek olmasının nedeni, pülpte psodoplastik bir reolojik yapının olmasından kaynaklanmaktadır. 0.144 'de ise psodoplastiklik ile birlikte belirli bir kayma gerilmesi değerine sahip pülp davranışı baskındır ve bu açık bir şekilde kırılma hızında düşüşe yol açmıştır (Haner, 2016). Ancak fazla malzeme doldurma oranına bağlı olarak ortaya çıkan kırılma hızındaki düşüş, mutlak kırılma hızında ($S_i \times f_c$) değerinde aynı etkiyi göstermemiştir. Şekil 3 incelendiğinde, her bilya türü kendi içerisinde malzeme doldurma oranı için mutlak kırılma hızı açısından değerlendirildiğinde, $f_c=0.144$ 'de daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Düşük $S_i \times f_c$ değeri, öğütmenin enerji kullanımını açısından verimsizliğini göstermektedir.

Sodyum feldipat içeren kayaç örneği için, 30 mm boyutundaki silpeps ve alümina bilyalarla yapılan öğütme çalışmaları kıyaslandığında; silpepsin malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır. Literatürde de bu durumu destekleyen çalışmalar mevcuttur (İpek, 2006; Bolin ve Haiyan, 2011). Silpepslerin, alümina bilyalara göre önemli bir avantajı olarak, küresel alümina bilyalar birbiriyle tek noktadan temas sağlarken, silpepslerin yüzeysel, çizgisel ve nokta teması sağlamaları söylenebilir (Yılmaz, 2004). Çalışmalarda kullanılan silpepslerin, alümina bilyalara göre geometrik özellikleri yanında daha başka avantajları da vardır. Öğütmede öğütücü ortamın birim hacme uyguladığı ağırlık değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen önemli bir faktördür. Tablo 1 incelendiğinde, silpeps bilyanın özgül ağırlığının, alümina bilyadan yaklaşık 1.8 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da malzemenin kırılma hızını arttıran bir durumdur. Seebach (1969), kuru öğütme koşullarında çimento klinkeri üzerinde yaptığı çalışmalarda bilya yoğunluğu ile kırılma hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bulmuştur. Değirmenin çektiği güç de bilya yoğunluğu ile doğrudan orantılıdır. Yoğunluğu düşük bilyalardan oluşan öğütücü ortam ile gerçekleştirilen öğütme koşullarında değirmenin çektiği güç düşmekte ve kapasite azalmaktadır (Haner, 2016).

Kırılma hızlarına bilya sertliği açısından bakıldığında, belirli bir değerin üzerinde olmak koşuluyla bilya sertliğinin değirmen kapasitesi üzerinde etkili olmadığı bilinmektedir (Prasher, 1987).

Silpepslerin öğütülen malzeme ile maksimum teması sağlayan, alümina bilyaya göre büyük yüzey alanına sahip olması ve cevher tanelerini kırabilmek için gerekli enerjiyi yaratabilecek ağırlığa sahip olması öğütme ortamı için yüksek performans kriterlerini yerine getirmektedir (Haner, 2016).

KAYNAKÇA

- Anonim, (2011). Madencilik Sektörü Raporu (2002-2010). TMMOB, Ankara, 1-36.
- Austin, L.G., Shoji, K., Bahatia, V.K., Jindal, V., Savage, K., Klimpel, R.R., (1976). Some Results on the Description of the Size Reduction as a Rate Process in Various Mill. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 15: 187-196.
- Austin, L.G., Bagga, R., Çelik, M., (1981). Breakage Properties of Some Materials in a Laboratory Ball Mill, *Powder Technol.*, 28: 235–241.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R., Luckie, P.T., Rogers, R.S.C., (1982). Simulation of Grinding Circuits for Design. *Design and Installation of Communitaion Circuits*, AIME, 1022, New York, 301-324.

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

- Austin, L.G., Klimpel, R.R., Luckie, P.T., (1984). Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. AIME, New York, 561.
- Bolin, Z., Haiyan, Q., (2011). Effect of Grinding Media Shape on Breakage Parameters of Cement Clinkers, China Powder Science and Technology, 17 (3): 44-46,50.
- Cloos, U., (1983). Cylpebs: an Alternative to Balls of Grinding Media, World Mining, 10/83: 59.
- Haner, S., (2016). Seramik Sağlık Gereçleri Hammaddelerinin Öğütme ve Pişirim Şartlarının Ürünlerin Kalitesi Üzerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 293s, Isparta.
- Henkes, V. E., Onoda, G. Y. ve Carty, W. M., (1995). Science of Whitewares.
- İpek, H., Uçbaş, Y., Yekeler, M., Hoşten, Ç., (2005). Dry Grinding Kinetics of Binary Mixtures of Ceramic Raw Materials by Bond Milling. Ceramics International, 31: 1065-1071.
- İpek, H., (2006). The Effects of Grinding Media Shape on Breakage Rate. Minerals Engineering, 19: 91-93.
- İpekoğlu, Ü., (1989). Cevher Hazırlama. DEU. Muh.-Mım. Fak. Yayını, MM/MAD-89 EY 179, izmir, 163 s.
- Kelsall, D.F., Stewart, P.S.B., Weller, K.R., (1973). Continuous Grinding in a Small Wet Ball Mill Part V: A Study of the Influence of Media Shape. PowderTechnology, 8: 77-83.
- Kelsall, D.F., Reid, K.J., Restarick C.J., (1967/68). Continuous Grinding in a Small Wet Ball Mill Part I: A Study of the Influence of Ball Diameter. Powder Technology, 1: 291-300.
- Prasher, C.L., (1987). Crushing and Grinding Process Handbook. John Wiley&Sons Ltd., 474, GB.
- Reed, J.S., (2000). From batch to pressed tile: mechanics and system microstructural changes. Qualicer 2000, Castellon, Spain, 1: 23-42.
- Villegas-Palacio, S., Dinger, D. R., (1996). PSD effects on firing properties of porcelains, I-II. Am. Ceram. Soc. Bull., 75: 71-83.
- Von Seebach, H.M., (1969). Effect of Vapors of Organic Liquids in the Comminution of Cement Clinker in Tube Mills. Research Inst. Cement Industry, Dusseldorf.
- Yıldız, N., (1999). Öğütme: Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 217s, Ankara.
- Yılmaz, A., (2004). Öğütme Verimliliğini Artırıcı Bir Ortam: Silpepsler. Teknoloji, 67: 48-49.