

Araştırma Makalesi/Research Article

Silis Kumunun Kırılma Parametrelerinde Bilya Türünün Etkisinin Araştırılması

Research of Effect of Ball Types on Breakage Parameters of Silica Sand

Serhan HANER^{1*}

Gönderme Tarihi:07.12.2017

Düzeltilme Tarihi:17.01.2018

Kabul Tarihi:25.02.2018

Öz- Bu çalışmada, bilya türünün silis kumu örneğinin kinetik modele dayalı öğütme özellikleri ve model parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için öncelikle, 0.106-0.045 mm arası $\sqrt{2}$ elek serisine göre 4 dar tane boyutu fraksiyonu hazırlanmıştır. Laboratuvar ölçekli değirmen ünitesinde, sulu öğütme ortamında 10 mm dökme demir silpeps ve 10 mm alümina bilya ile $f_c=0.120$ malzeme yükünde ve %35 bilya yükünde farklı öğütme sürelerinde elde edilen tane boyutu dağılımlarından özgül kırılma hızı (S_i) ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonlarına ($B_{i,j}$) ait model parametreleri (a_T , α , γ ve Φ_j) bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- Silpeps, alümina, öğütme, kinetik model, silis kumu.

Abstract -In this study, the effects on grinding conditions based on a kinetic model and model parameters of the ball types were investigated on the silica sand sample. For this purpose, firstly, four different mono-sized fractions were prepared between 0.106 and 0.045 mm formed by $\sqrt{2}$ sieve series. S_i and $B_{i,j}$ (breakage distribution function and related model parameter) equations were determined from the size distributions at different grinding period, and the model parameters (a_T , α , γ and Φ_j) 10 mm cast iron cylpebs and 10 mm alumina ball and wet grinding medium, $f_c=0.120$ filling ratio and 35% ball filling loads.

Keywords- Cylpebs, alumina, grinding, kinetic model, silica sand.

I. GİRİŞ

Öğütme performansı üzerinde farklı öğütücü ortamların etkilerinin araştırıldığı çalışmalar uzun zamandır önemini korumaktadır. Öğütücü ortamın fiziksel özellikleri ile öğütme maliyeti, enerji tüketimi, tane boyutu/dağılımı, değirmen kapasitesi vb. gibi değişkenler arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bilya seçiminde ton başına öğütmede kullanılan bilya tüketimi, astar yapısı, bilyanın fiyatı, temin edilebilirliği ve cevherin yapısı önem taşımaktadır. Literatürde, öğütücü ortamın öğütme verimine etkisiyle ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur [1-5].

İpek vd. (2005), -3350+212 μm aralığında 7 farklı tane boyutu fraksiyonuna sınıflandırılmış kuvarsın özgül kırılma hız değerini, 20 mm silpeps ve 20 mm çaplı küresel dökme demir bilyayı kullanarak belirlemiştir. Aynı şartlar altındaki öğütme deneyleri sonucunda silpeps ve demir bilya için a_T , α , μ , λ değerleri sırasıyla 0.82, 1.50, 1.28, 3.29 ve 0.73, 1.57, 1.27, 3.65 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak silpepsin kuvars örneği üzerinde daha yüksek özgül kırılma hızına sahip olduğu görülmüştür.

Haner vd. (2017), -0.106+0.045 mm aralığında 4 farklı tane boyutu fraksiyonuna sınıflandırılmış kaolenin özgül kırılma hız değerini, iki farklı malzeme yükünde, 30 mm çaplı silpeps ve 30 mm çaplı küresel alümina bilyayı kullanarak belirlemiştir. Aynı şartlar altındaki öğütme deneylerinden, silpepsin kaolen örneği üzerinde daha etkili kırılma hızı sağladığı sonucuna varılmıştır.

^{1*} Sorumlu yazar iletişim: serhan.haner@gmail.com

Seramik ve Cam Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

Değirmenlerde silindirik, küresel, konik veya yarım koni vs. şekilde bilyalar kullanılmaktadır. Silindirik ya da konik şekilli öğütücüler silpeps olarak isimlendirilir [6]. Cloos (1983), malzemenin ince tane boyutuna öğütülmesi amacıyla sıkça kullanılan küresel bilyaya alternatif olarak silpepsi önermiştir [7].

Seramik malzemelerin üretiminde öğütme işlemi için genellikle bilyalı değirmenler kullanılmakta ve yaş öğütme tercih edilmektedir. Önceleri seramik hammaddelerinin öğütülmesinde öğütücü ortam olarak kullanılan flint taşının yerini şimdilerde alümina bilya almıştır. Alümina bilya kullanılmasının amacı, bilya tüketimini ve bilyanın aşınmadan kaynaklanan kirliliği azaltmak ve daha etkin kırılma sağlayarak öğütme süresini düşürerek ton başına maliyeti azaltma gibi nedenlere bağlanabilir.

Bu çalışmada, seramik sektöründe değirmen fazı olarak tanımlanan silis kumu örneği üzerinde kinetik modele dayalı öğütme testleri yapılmıştır. Öğütme işleminde kullanılan alümina bilyaya alternatif olarak düşünülen silpepste kullanılmıştır.

II. TEORİ

Bilyalı değirmenler için özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı kavramlarını içeren boyut küçültme yaklaşımı kullanılmaktadır. Özgül kırılma hızının bir matematiksel formülü Austin ve ark. (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_T X_i^\alpha \quad (1)$$

burada; X_i : i fraksiyonundaki üst boyutu (mm), α ve a : öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tanımlanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

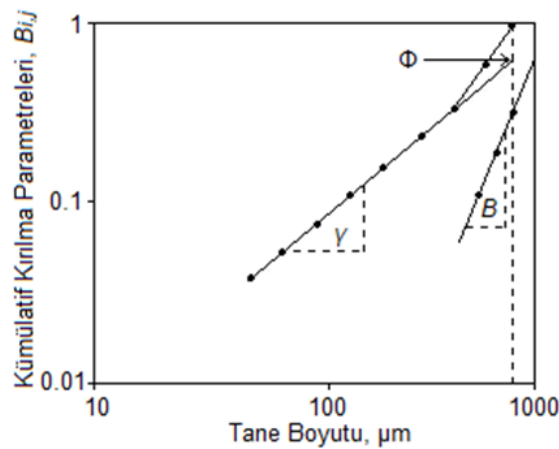
$$B_{i,j} = \sum_{i=n}^{j+1} b_{i,j} \quad (2)$$

Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım eğrisini temsil eden bu fonksiyon da, söz konusu parametreler Austin ve ark. (1984) aşağıda verilen, BII yaklaşımından elde edilen $B_{i,j}$ değerlerine karşı nispi boyut grafiği çizildiğinde bulunur (Şekil 1).

$$B_{i,j} = \Phi_j (X_{i-1}/X_j)^\gamma + (1 - \Phi_j) (X_{i-1}/X_j)^\beta \quad (3)$$

$$0 < \Phi_j < 1$$

Burada; Φ_j , β ve γ malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı bilya oranları, değirmen çapları vb. için aynı olup, farklı malzeme özelliklerinde farklıdır [8].



Şekil 1. Kırılma dağılım fonksiyonunun gösterimi [8].

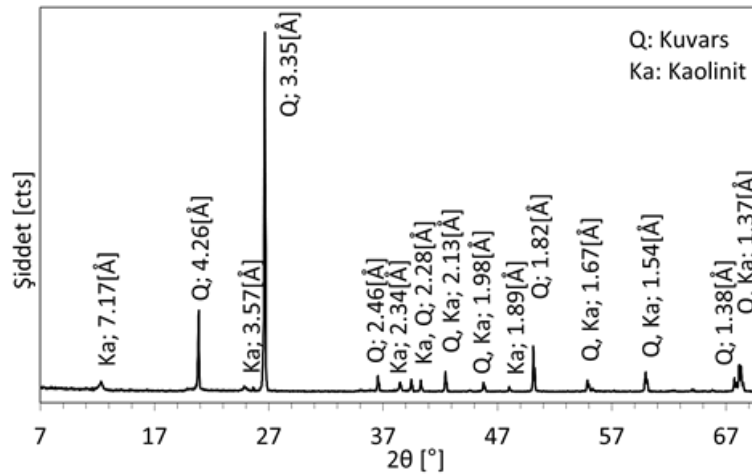
III. MATERYAL VE METOT

Deneyel çalışmada, geleneksel seramik malzemelerin yapımında kullanılan silis kumu (Ohen Maden, Ömerli/İstanbul) örneği kullanılmıştır. Bu numunenin kimyasal analizi Perkin Elmer marka Optima 2100 DV model ICP-OES cihazında yapılmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’deki silis kumunun kimyasal analiz sonucunda, değişen miktarlarda Al₂O₃ görülmektedir. Bu oksit, Şekil 2’de görülen kaolinit mineralinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca silis kumunun lup ile incelenmesi sonucunda yaklaşık 20-30 µm tane boyutuna sahip koyu renkli demirli minerallere rastlanmıştır.

Tablo 1. Silis kumu örneğinin kimyasal analiz sonucu.

Oksit	Ağırlıkça %
SiO ₂	92.42
Al ₂ O ₃	4.99
Na ₂ O	-
Fe ₂ O ₃	0.40
TiO ₂	0.38
CaO	-
MgO	-
K ₂ O	0.15
SO ₃	-
Kızdırma Kaybı	1.66

Silis kumunun mineralojik kompozisyonu Panalytical X’Pert Pro model X-ışını kırınımı (XRD) cihazında 7-70° tarama aralığında, 2°/dk tarama hızında, Cu Kα (45 kV/40mA) radyasyon ile belirlenmiştir. Şekil 2’deki XRD analizinde, ana mineralin kuvars [ICDD (01-079-1910)] olduğu görülmektedir. Tablo 1’deki kimyasal analizde görülen Al₂O₃ içeriğinin kaolinit [ICDD (01-080-0886)] türü kil mineralinden kaynaklandığı görülmüştür. Kimyasal analiz ve lup ile incelemede tespit edilen demirli minerallerin miktarları çok az olduğu için XRD analizinde görülemez.



Şekil 2. Silis kumu örneğinin X-ışını kırınımı diyagramı.

Silis kumunun Bond İş İndeksi değerleri, Standart Bond Öğütülebilirlik Testi kullanılarak belirlenmiştir. Bond İş İndeksini belirlemek amacıyla standart Bond değirmeninde kullanılmak üzere her bir örnekten numune azaltma kurallarına uygun olarak tümü -3.35 mm tane boyutunda olan yaklaşık 10 kg numune hazırlanmıştır. Bond öğütülebilirlik deneylerinde sına boyutu 0.106 mm olarak alınarak, deneyler denge hali sağlanıncaya kadar devam etmiştir. Öğütme İş İndeksi (W_i) eşitlik (4) ile hesaplanmıştır. Kullanılan standart Bond değirmeni karakteristikleri ve deney koşulları Tablo 2’de verilmiştir. Bond bilyalı değirmenin de yapılan deney sonucunda, Bond iş indeksi 18.74 kwh/ton olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre silis kumunun zor öğütülebilir bir malzeme olduğu görülmektedir.

$$W_i = \frac{44.5}{(P_1)^{0.23} \cdot (G)^{0.82} \cdot |(10/\sqrt{F}) - (10/\sqrt{F})|} \times 1.1 \quad (4)$$

Burada, W_i : Bond iş indeksi (kwh/t), P_i : seçilen test eleği boyutu (μm), G : standart Bond öğütülebilirlik değeri (g/dev), P : ürünün %80'inin geçtiği elek boyutu (μm), F : Beslemenin %80'inin geçtiği elek boyutunu (μm) göstermektedir.

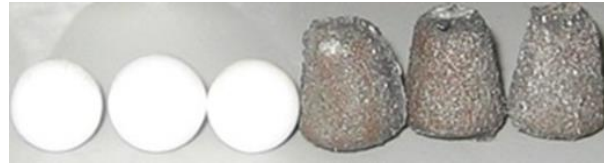
Tablo 2. Standart Bond değirmeni karakteristikleri ve deney koşulları.

Değirmen	Çap, mm	305				
	Uzunluk, mm	305				
	Hacim, cm^3	22284				
	Çalışma (N_c =%75), d/d	70				
Bilya	Malzeme	Paslanmaz çelik				
	Çap, mm	38.10	31.75	25.40	19.05	12.70
	Sayı	43	67	10	71	94
	Özgül ağırlık, g/cm^3	7.80				
	Toplam ağırlık, g	20125				

Kırılma hız fonksiyonlarını belirlemek için yapılan deneylerde silis kumunun dört farklı besleme tane boyut fraksiyonu (-106+90, -90+75, -75+63, -63+45 μm) kullanılmıştır. Her fraksiyon iki ayrı bilya türünde (10 mm silpeps ve 10 mm alümina), $f_c=0.120$ malzeme yükünde ve %35 bilya yükünde laboratuvar çaplı bir bilyalı değirmende sulu ortamda kesikli olarak öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonrası tüm değirmen şarjı boşaltılarak numune alınmıştır. Tane boyut dağılımı Malvern marka Hydro 2000G model lazer difraksiyon cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları Tablo 3'de verilmiştir. Deneylerde bilyalı değirmenin dönüş hızı, değirmenin kritik hız değerinin %75'i alınmıştır. Çalışmalarda kullanılan bilyalar Şekil 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları.

Değirmen	İç çap, mm	150	
	İç uzunluk, mm	150	
	Hacim, cm^3	2650.72	
	Çalışma (N_c =%75), d/d	85	
Bilya	Malzeme	Silpeps (dökme demir)	Alümina
	Boyut, mm	10	10
	Özgül ağırlık, g/cm^3	6.75	3.70
	Hacim doluluğu, %J	35	35
Malzeme	Örnek	Silis kumu	
	Özgül ağırlık, g/cm^3	2.67	
	Malzeme yükü, %f _c	0.120	
	f _c 'ye göre boşluk doldurma oranı, %U	0.86	



Şekil 3. Çalışmalarda kullanılan alümina ve silpeps bilyalar.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

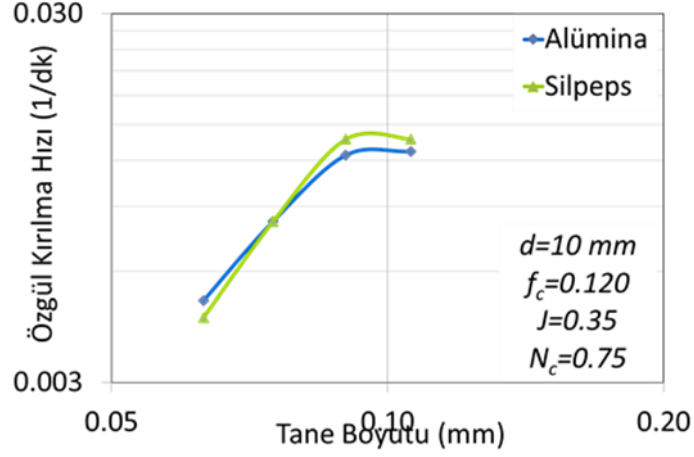
A. Özgül Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Her bir tane boyut fraksiyonu için özgül kırılma hızları (S_i) birinci derece kırılma hız fonksiyonu grafiklerinden hesaplanmıştır.

Değirmen çalışma koşullarından, $f_c=0.120$ malzeme doluluk oranında ve $J=0.35$ bilya doluluk oranında belirlenen S_i değerlerine karşı tane boyut fraksiyonu grafiği çizilmiştir (Şekil 4). Bu grafiğin doğrusal kısmından hesaplanan a_T ve α değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Şekil 4'te, her iki bilya türünde kırılma hızlarının belirli bir tane boyutuna kadar arttığı ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülmektedir. 10 mm silpeps ve alümina bilya ile sulu ortamda gerçekleştirilen deneylerde, kırılma hızları yaklaşık 90 μm tane boyutunda maksimum değere ulaşmış ve sonra azalmaya başlamıştır. Pülpün viskozitesi, çok düşük veya yüksek olduğunda öğütme verimliliği

azalmaktadır. Burada, pülpün viskozitesini tane boyutu etkilemektedir. Tane boyutu irileştikçe, pülpün viskozitesi azalmış ve şarj içerisindeki enerji iletiminin ve öğütme bölgesindeki tanelerin zayıf konumda kalmasına neden olarak değirmenin etkinliği azalmıştır [9]. Malzeme doluluk oranlarına göre değişik dar besleme tane boyut fraksiyonları için birinci derece kırılma kinetiğine uyduğu görülmüştür. Şekil 3'te silpeps ile daha etkin bir kırılma gerçekleştiği görülmektedir.



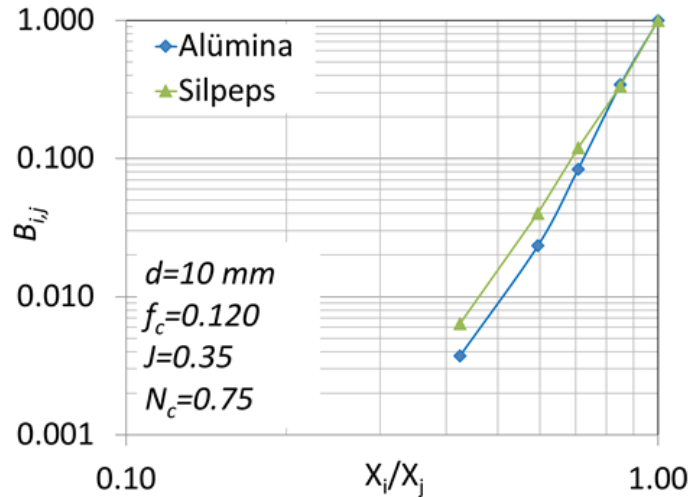
Şekil 4. Özgül kırılma hızı eğrileri.

B. Özgül Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Kümülatif kırılma fonksiyonu ($B_{i,j}$) değerleri, en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiş ve verilerin normalize olduğu yani boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen $B_{i,j}$ değerlerine karşılık nispi boyut (X_i/X_j) grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.

$B_{i,j}$ değerlerine karşılık nispi boyut (X_i/X_j) grafiklerinden hesaplanan Φ ve γ model parametre değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

a_T değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağı ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmektedir. Φ_j değerinin artması, en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir.



Şekil 5. Kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları.

Tablo 4'te a_T ve Φ_j değerleri incelendiğinde, silpeps bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu, orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indiği ve en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca γ değerlerinden, silpeps bilya ile daha fazla ince malzeme elde edildiği de görülmektedir.

Tablo 4. Silis kumu örneğinin kimyasal analiz sonucu.

Bilya	a_T	a	Φ_i	γ
Silpeps	1.74	1.81	0.827	5.703
Alümina	0.97	1.59	0.611	6.005

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde aynı öğütme koşullarında ve farklı malzemeler kullanılarak kırılma hızının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda silpepsin, küresel şekilli bilyalardan (alümina, demir) daha etkin olduğu belirlenmiştir (1, 10-12). Bu çalışma ile de, silis kumu örneği için, 10 mm boyutundaki silpeps ve alümina bilya ile yapılan kinetik modele dayalı öğütme çalışmalarını kıyaslandığında; aynı bilya boyutu ve öğütme şartlarında, silpeps bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Küresel alümina bilyalar malzeme üzerinde ve birbirleriyle tek noktadan temas sağlamaktayken, silpepsler çizgisel, yüzeysel ve nokta teması sağlamaktadırlar [13]. Bu durum alümina bilyalara göre silpepslerin bir avantajı olarak söylenebilir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan silpeplerin geometrik özellikleri yanı sıra daha başka yararları da vardır. Öğütmede öğütücü ortamın birim hacme uyguladığı ağırlık değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen önemli bir faktördür. Tablo 3 incelendiğinde, silpeps bilyanın özgül ağırlığının, alümina bilyadan yaklaşık 1.82 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da malzemenin kırılma hızını arttıran bir durumdur. Von Seebach (1969), kuru öğütme koşullarında çimento klinkeri üzerinde yaptığı çalışmalarda bilya yoğunluğu ile kırılma hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bulmuştur [14]. 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. 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.

KAYNAKLAR

- [1] Haner, S., Haner, B. ve Tunay, T. , “Kaolenin Kırılma Parametrelerinde Bilya Türünün Etkisi”. *Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi*, s. 605-610, 2017.
- [2] İpek, H., Uçbaş, Y., Yekeler, M. and Hoşten, Ç., “Dry Grinding Kinetics of Binary Mixtures of Ceramic Raw Materials by Bond Milling”, *Ceramics International*, vol. 31, pp. 1065-1071, 2005.
- [3] Kelsall, D.F., Stewart, P.S.B. and Weller, K.R. “Continuous Grinding in a Small Wet Ball Mill Part V: A Study of the Influence of Media Shape”, *Powder Technology*, vol. 8, pp. 77-83,1973.
- [4] Koltka, S., Can, M.F., Sabah, E. and Majdan, M. “Effect of Grinding Media Type in Vibrating Mill Dry Grinding on the Rheological Properties of Sepiolite”, *XIIIth International Mineral Processing Symposium*, pp. 667-674, 2012.
- [5] Lameck, N.S. and Moys, M.H. “Effects of Media Shape on Milling Kinetics”, *Minerals Engineering*, 19, 1377-1379, 2006.
- [6] Yıldız, N. “Öğütme: Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar” *Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, 1999.
- [7] Cloos, U., “Cylpebs: an Alternative to Balls of Grinding Media” *World Mining*, 10/83, 59, 1983.
- [8] Austin, L.G., Klimpel, R.R. and Luckie, P.T. ,”Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling”, *AIME*, 561, 1984.
- [9] Özkan, A. and Yekeler, M. “Palp Reolojisinin Öğütme İşlemine Etkisi ve Kontrolü.”, *Madencilik*, vol. 40(1), pp.40-47, 2001.
- [10] Bolin, Z. and Haiyan, Q., “Effect of Grinding Media Shape on Breakage Parameters of Cement Clinkers” *China Powder Science and Technology*, vol.17(3), pp. 44-46, 50, 2011.

- [11] Haner, S. , *Seramik Sağlık Gereçleri Hammaddelerinin Öğütme ve Pişirim Şartlarının Ürünlerin Kalitesi Üzerine Etkileri*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [12] İpek, H. “The Effects of Grinding Media Shape on Breakage Rate”, *Minerals Engineering*, vol.19, 91-93, 2006.
- [13] Yılmaz, A. “Öğütme Verimliliğini Artırıcı Bir Ortam: Silpepler”, *Teknoloji*, vol. 67, pp. 48-49, 2004.
- [14] Von Seebach, H.M., *Effect of Vapors of Organic Liquids in the Comminution of Cement Clinker in Tube Mills*, Research Inst. Cement Industry, Dusseldorf ,1969.