

## Kalker ve Klinker Örneğinde Kırılma Kinetiği Üzerine Bilya Çapının Etkisi

V. Deniz, D. Erkan & V. Alyıldız

Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim Fak. Maden Müh. Bölümü, Isparta

**ÖZET:** Bu çalışmada, Göltaş(Isparta) çimento fabrikasında kullanılan Kalker ve Klinker örnekleri üzerinde, kesikli öğütme koşullarında bilya çapının (d) etkisi bir kinetik model üzerinde araştırılmıştır. Bunun için, öncelikle 1.7 - 0.106 mm arası V2 elek serisine göre 8 dar boyut fraksiyonu hazırlanmış ve laboratuvar bilyah değirmeninde (20 x 20 cm) üç farklı bilya çapında (25.4 mm, 20 mm ve 9.5 mm), farklı öğütme sürelerinde elde edilen boyut dağılımlarından kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonları elde edilmiş ve kinetik model parametreleri ( $S_x$ ,  $a$ ,  $\rho$ ,  $\gamma$  ve  $f_y$ ) kıyaslanmıştır.

Testler sonucunda, bilya çapının öğütme özelliğine olan etkisi diğer araştırmacıların belirttiklerinden farklı çıkmıştır.

**ABSTRACT :** In this study, the effect of ball diameter was investigated on the limestone and the clinker samples using Göltaş cement factory (Isparta) at batch grinding conditions based on a kinetic model. For this purpose, firstly, eight different mono-size fraction were carried out between 1.7 mm and 0.106 mm formed by a V2 sieve series. Then,  $S_x$  and  $B_y$  equations were determined from the size distributions- at different grinding times, and the model parameters ( $S_x$ ,  $a$ ,  $\rho$ ,  $\gamma$  and  $f_y$ ) were compared for three different ball diameter (25.4 mm, 20 mm and 9.5 mm).

The result of tests, the effect of ball diameter on the grinding, it was found more different results than other investigators.

### 1. GİRİŞ

Kayaçların, cevherlerin, kömürlerin, çimento hammaddelerinin ve plastiklerin boyut küçültme işlemleri, yaklaşık yılda bir milyar ton civarındadır (Austin ve ark., 1984). İnce öğütme işlemleri enerjiyi çok fazla tüketir ve bilya aşınmaları daha fazla olur. Bu nedenle, istenen boyut dağılımlarının öğütme operasyonlarında bilinmesi oldukça önem arz etmektedir.

Değirmen dizaynı için Bond yöntemi yıllardır kullanılmaktadır. Bond yönteminin deneysel açıdan uzun sürmesi, boyut fraksiyonlarında tam olarak fikir verememesi ve hatalı yaklaşımlara neden olması nedeniyle bir çok araştırmacı

tarafından daha etkin modellerin geliştirilmesine vesile olmuştur. Son yıllarda, matematiksel model ve simülasyon teknikleri ortaya atılmış ve özellikle bilgisayar yazılım tekniklerindeki gelişmeler, cevher hazırlamaya da önemli oranda katkıda bulunmuştur.

Araştırmacılar tarafından ortaya atılan Matris model ve Kinetik model laboratuvar ve endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır (Lynch, 1977).

İlk olarak Epstein tarafından ortaya atılan Matris model, Broadbent ve Calcot tarafından geliştirilmiş (Lynch, 1977) ve bir çok simülasyon, laboratuvar ve endüstriyel ölçekte başarıyla denenmiştir (Pitchumani ve Venkateswarlu, 1980; Salopek ve ark., 1986; Deniz ve ark., 1995).

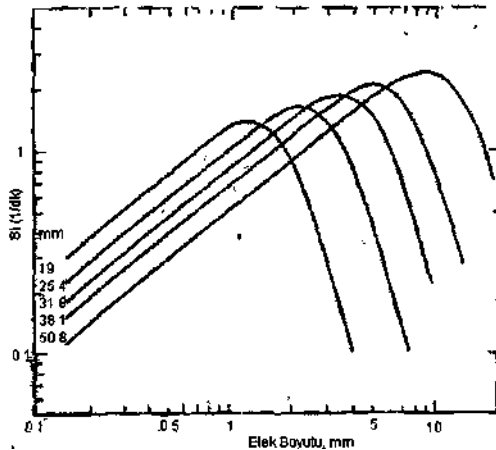
Son yıllarda, Lynch tarafından ortaya atılan ve Austin tarafından geliştirilen Kinetik model en geçerli model olmuştur. Kinetik modelin avantajlarının başında laboratuvar bilgilerinden endüstriyel değirmenlere simule edilebilme kolaylığı ve elde edilen model parametrelerin kıyaslanabilmesidir (Austin ve ark., 1981).

Çimento endüstrisi, dünya enerjisinin yaklaşık %3.5'ünü kullanan en büyük endüstrilerden birisidir. Çimento endüstrilerinde, üretim prosesinde harcanan toplam enerjinin %40'ı öğütme harcanmaktadır (Öner, 1999).

Enerjinin bu kadar harcandığı bir endüstride, öğütme randımanını artırmak için hem enerjiyi az tüketen ufaiama makinalarını geliştirmek, hem de öğütme devre sistemlerini ve çalışma parametreleri optimum dizaynı ile mümkün olacaktır (Öner, 1999).

Değirmen çalışma parametrelerinden olan, buya çapının öğütme işlemindeki davranışı etkilediği bir çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur.

Austin ve çalışma arkadaşlarının (1984), bilya çapının kırılma hızıyla olan ilişkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre, bilya çapının artması ile yaklaşık 1 mm'lik malzeme boyutu için kırılma hızının düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 1. Bilya çapına spesifik kırılma hızına etkisi (Austin ve ark., 1984).

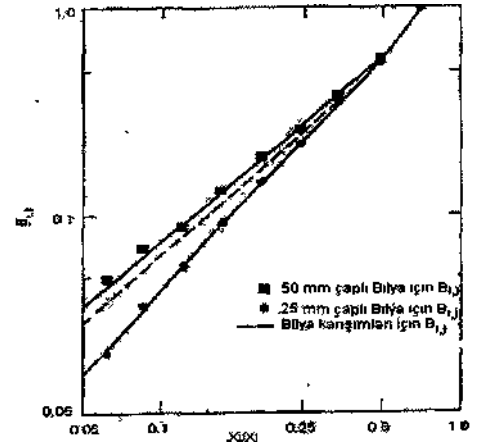
Kümülatif kırılma parametreleri göre ise ( $\gamma$  ve  $\phi_j$  değerleri) bilya çapının etkisi Çizelge 1 'de ve Şekil

2'de gösterilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde bilya çapının artması ile  $\gamma$  değerinin düştüğü yani ince malzeme oranının arttığı,  $\phi_j$  değerine bakıldığında ise  $f_y$ 'nin arttığı ve en üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırılacağı görülmektedir.

Çizelge 1. Bilya çapının  $\gamma$  ve  $\phi_j$  parametre değerleriyle olan ilişkisi (Austin ve ark., 1984)

Bilya Çapı mm	$\gamma$	$\phi_j$
19	1.10	0.51
22	1.09	0.58
25	1.08	0.63
32	1.05	0.68
38	1.00	0.69
44	0.95	0.70
51	0.88	0.70
64	0.78	0.70

Şekil 2 incelendiğinde bilya çapı 25 ve 50 mm'lik bilyalar ve bunların karışımlarının kullanıldığı öğütme testlerinde kümülatif kırılma dağılımını değiştirdiği gözlenmiştir.



Şekil 2. Bilya boyutunun kümülatif kırılma fonksiyonu ile ilişkisi (Austin ve ark., 1984)

Bu çalışmada da, bilya çapının öğütme ortamındaki etkisi kalker ve klinker örnekleri üzerinde incelenmiş ve diğer araştırmacıların sonuçları ile mukayese edilmiştir.

## 2. TEORİ

Son yıllarda, bilyalı değirmenler için spesifik kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı kavramlarını içeren boyut küçültme yaklaşımı kullanılmaktadır (Austin ve ark., 1981; Shah ve Austin, 1983). Spesifik kırılma hızının bir matematiksel formülü Austin ve arkadaşları (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_T * X_i^a$$

burada;  $X_i$ :  $i$  fraksiyonundaki üst boyutu (mm),  $a_T$  ve  $a$  ise; öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir.

Kıvran veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tariflenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

$$B_{k,i} = \sum_{k=0}^i b_{k,i}$$

Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım eğrisini temsil eden bu fonksiyon da, söz konusu parametreler Austin ve arkadaşlarının (1984) aşağıda verilen, Bil yaklaşımından elde edilen  $B_i$ , değerlerine karşı nisbi boyut grafiği çizildiğinde bulunur.

$$B_{i,i} = \frac{\log[(1 - P_1(0))/(1 - P_1(t))]}{\log[(1 - P_2(0))/(1 - P_2(t))]}, \quad i = 1$$

burada;

- $P^0$ ) =  $i$ . boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %'si
- $P_2(0)$  = 2. boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %'si
- $P^t$ ) =  $i$ . boyut aralığında  $t$  anındaki malzemenin kümülatif elek altı %'si
- $P_2(t)$  = 2. boyut aralığında  $t$  anındaki malzemenin kümülatif elek altı %'si

$$B_{i,j} = \phi_j * [X_{i-1}/X_j] + (1 - \phi_j) * [X_{i-1}/X_j]^{\beta}$$

burada,  $\phi_j$ ,  $\gamma$  ve  $\beta$ , malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı

bilya oranları, değirmen çapları v.b. için aynı olup farklı malzeme özelliklerinde farklıdır (Austin ve ark., 1984).

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

## 3.1. Malzeme Özellikleri

Goltaş çimento fabrikasının, çimento değirmeni beslemesinden alınan kalker ve klinker o'nekb.-deneysel malzeme olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan örneklerin kimyasal analizleri, Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Kalker ve klinker örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Eleman	Kalker (%)	Klinker (<*)
SiO <sub>2</sub>	10.60	22.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07	3.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.59	3.30
CaO	48.99	67.44
MgO	1.11	1.80
SO <sub>3</sub>	—	1.50

## 3.2. Öğütme Deneyleri

Öncelikle, Kalker ve klinker örnekleri üzerinde standart Bond iş indeksi değerlerini belirlemek için 3.35 mm'lik numune hazırlanmış ve Bond değirmeninde test yapılarak iş indeksleri sırasıyla 13.52 kwh/ton ve 13.69 kwh/ton olarak belirlenmiştir.

Daha sonra, laboratuvar tip çeneli ve merdaneli kınada kademeli olarak 1.7 mm altına indirilmiştir. Ufalanan numuneler, eleme ile 8 dar boyut fraksiyonunda (1.7-0.106 mm) hazırlanmıştır. Hazırlanan her fraksiyon, üç ayrı bilya çapında (25.4 mm, 20 mm ve 9.5 mm), kırılma hızlarının belirlenmesi için laboratuvar çaplı bir bilyalı değirmende kesikli bir tarzda öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonrası tüm değirmen sarjı boşaltılarak elek analizi yapılmıştır. Eleme işlemi kuru ve el ile yapılmıştır. Öğütme deneylerinde kullanılan değirmenin özellikleri ve deney koşulları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Öğütme test şartları

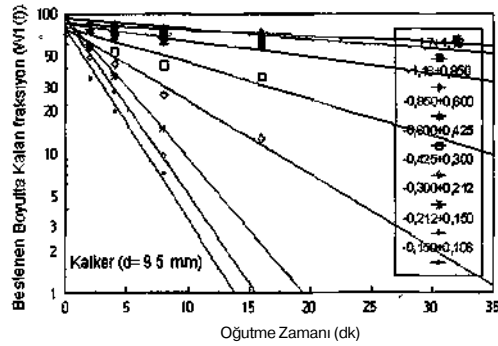
Değirmen	İç Çap	200 mm		
	İç Uzunluk	200 mm		
	Hacim	6283 cm <sup>3</sup>		
Değirmen hızı	Kritik hız	97 dv/dk	100 dv/dk	101 dv/dk
	Çalışma hızı, $\omega_c = \% 75$	72 dv/dk	75 dv/dk	76 dv/dk
Bilyalar	Ortalama çap	9.5 mm	20 mm	25.4 mm
	Sayı	< 1671 adet	114 adet	88 adet
	Özgül ağırlığı	7.8		
	Kalite	Çelik alaşım		
	Porosité	%40~		
Malzeme	Hacim doluluğu, J	% 20 (J = 0.2)		
	Malzeme	Kalker	Klinker	
	Özgül ağırlık	2.69	3.0	
	Miktar (gr)	426	475	
	Boşluk doldurma oranı, U	0.525		
Malzeme Yük oranı, fc	0.042			

#### 4. DENEY SONUÇLARI

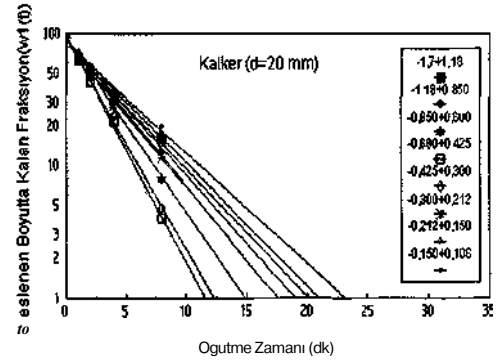
##### 4.1. Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Üç farklı bilya çapında, değişik dar besleme boyut fraksiyonları için birinci derece kırılma kinetiği çizimleri Şekil 3-8'de verilmiştir.

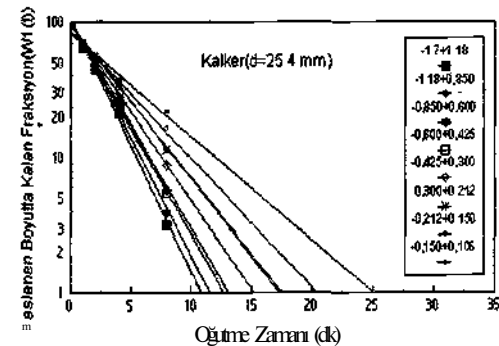
Birinci derece kırılma kinetiği davranışı sergileyen 8 dar besleme boyut fraksiyonları için kalker ve klinker örneklerinin spesifik kırılma hızları belirlenmiş ve  $S_c$  değerlerine karşı boyut fraksiyonu grafiği Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiş ve bu eğrilerden elde edilen kırılma hızı parametreleri Çizelge 4 ve Çizelge 5'de verilmiştir.



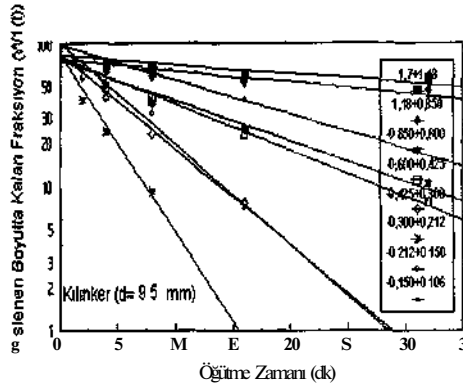
Şekil 3. Kalker örneğinde bilya çapının (d) 9.5 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğruları



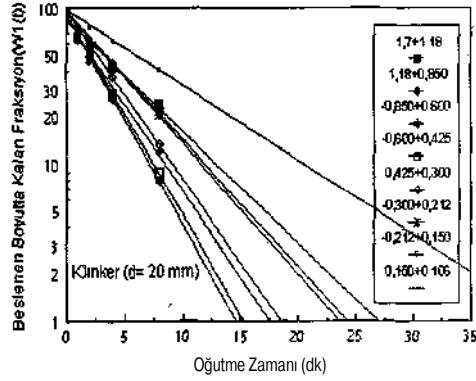
Şekil 4. Kalker örneğinde bilya çapının (d) 20 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğruları



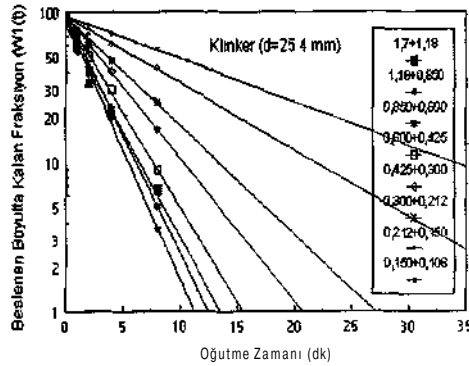
Şekil 5. Kalker örneğinde bilya çapının (d) 25.4 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğruları



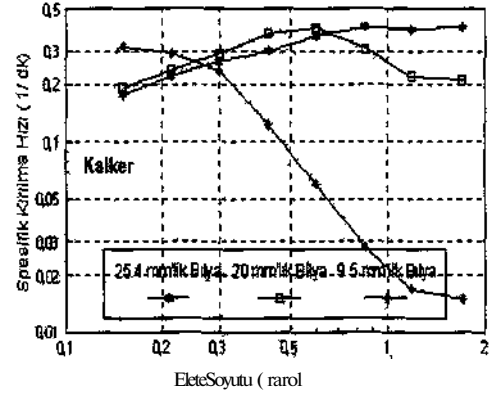
Şekil 6. Klinker örneğinde bilya çapının (d) 9.5 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğrulan



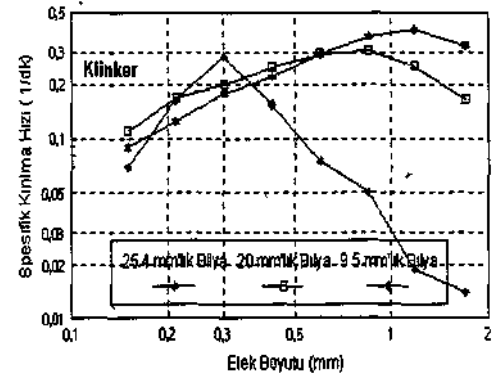
Şekil 7. Klinker örneğinde bilya çapının (d) 20 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğrulan



Şekil 8. Klinker örneğinde bilya çapının (d) 25.4 mm olduğu durumdaki 1. derece kırılma doğrulan



Şekil 9. Kalker örneğinin farklı bilya çapında, boyuta karşı spesifik kırılma hızı (S,) eğrileri

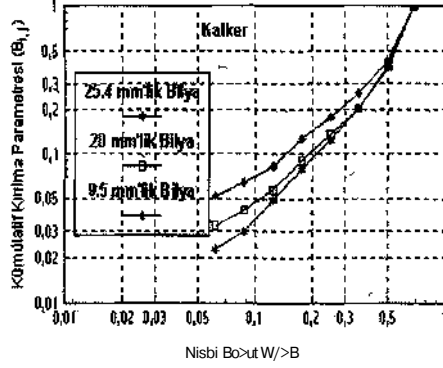


Şekil 10. Klinker örneğinin farklı bilya çapında, boyuta karşı spesifik kırılma hızı (S,) eğrileri

#### 4.2. Kümülatif Kırılma Fonksiyonunun Belirlenmesi

Kümülatif kırılma fonksiyonu  $\sum B_j$  değerleri, en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiş ve verilerin normalize olduğu yani boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen  $B_0$  değerlerine karşılık boyut oran grafiğinden  $B_0$  fonksiyonu Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

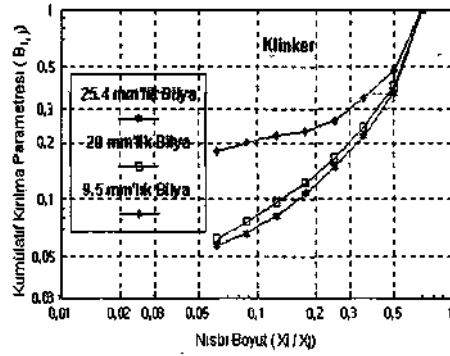
Kümülatif kırılma fonksiyonlarından elde edilen model parametreleri parça boyut dağılımını ifade etmektedir. Bu parametreler ise Çizelge 4 ve Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 11. Kalker örneğinin farklı bilya çapında, kümülatif kırılma fonksiyonları

Çizelge 4. Kalker örneğinde bilya çapına bağlı olarak kinetik model parametreleri

d (mm)	-0.212+0.150 ram	$\epsilon_{Lj}$	$\gamma$	$\phi_j$
9.5	0.219	0.02	0.639	0.24
20	0.237	0.27	0.87	0.26
25.4	0.290	0.42	1.16	0.40-



Şekil 12. Klinker örneğinin farklı bilya çapında, kümülatif kırılma fonksiyonları

Çizelge 5. Klinker örneğinde bilya çapına bağlı olarak kinetik model parametreleri

d (mm)	-0.212+0.150 mm	$a_T$	$\gamma$	$\phi_j$
9.5	0.125	0.03	0.29	0.35
20	0.167	0.28	0.63	0.30
25.4	0.167	0.39	0.65	0.24

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Literatürde kalker ve klinker örnekleri için iş indeksi değerleri sırasıyla 14 kw/ton ve 14.88 kw/ton civarındadır ( Yıldız, 1999). Deneylerde kullanılan her iki örneğin, Bond iş indekslerine bakıldığında birbirine çok yakın olduğu ( Kalker'in 13.52 kw/ton, Klinker'in 13.69 kw/ton ) ve öğütme ortamında göstereceği davranışın aynı olacağı kanısı hakim olurken, Bond metoduna göre öğütülme farklılığının ortaya çıkarmanın sağlıklı olmayacağı gözükmiştir Buna karşın kinetik modellerle malzemelerin öğütülme farklılıkları ortaya çıkarılabilmektedir.

Üç farklı bilya çapında da, Kalker ve klinker örneklerinin değişik sürelerde öğütülmesinde, lineer bir doğru vererek birinci derece kırılma kinetiği göstermişlerdir. Ayrıca, kümülatif kırılma dağılım fonksiyonlarından boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir.

S, değerlerinin yada  $a_T$  değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceğini anlamına gelmekte olup, elde edilen S, ve  $a_T$  değerlerine göre, her iki örneğinin bilya çapı arttıkça hızlı kırılma olacağı ve kalker örneğinin klinker örneğine oranla daha hızlı kırılacağı ortaya çıkmıştır.

$\phi_j$  değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. Austin ve arkadaşları (1984), bilya çapının artmasıyla  $\phi_j$  değerinin azalacağı yani, ince malzeme oranının artacağını ifade etmişlerdir. Kalker ve klinker örneklerin her ikisinde de, bilya çapının artması ile  $\phi_j$  değerinin arttığı yani, ince ürün oranının azaldığı gözükmüş ve Austin'in ifadesinin tersi çıkmıştır. Bunun sebebi, bilya yük oranının az olması ( J= 0.2) ve buna paralel olarak bilya çapının büyümesi ile çok ince tanelerin arasındaki boşlukta kaybolması kanısı hakim olmuş. Sonraki çalışmalarda, bilya yük oranının artması ile bilya çapının malzemenin öğütülme özelliğine etkisi belirlenmelidir.

$\phi_j$  değerinin artması en üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırılacağı ifade etmektedir. Austin ve arkadaşları (1984), bilya çapının artmasıyla  $\phi_j$  değerinin arttığı yani, en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağı ifade etmişlerdir. Kalker örneğinde  $\phi_j$  değerlerine bakıldığında ( $\phi_j$  değerinin arttığı), bilya çapının artması ile Austin ve arkadaşlarının ifadesi doğrultusunda en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını

görmekteyiz. Klinker örneğinde, fy değerlerine bakıldığında (fy değerinin azaldığı), bilya çapının artması ile Austin ve arkadaşlarının ifadesine zıt, en üst boyutların bir alt boyuta daha yavaş kırılacağını görmekteyiz. Buradaki sonucun farklı olması, Kalker'in doğal bir örnek olmasına rağmen, klinker örneğinin doğal bir örnek olmamasına bağlı olduğu yani; klinker'i oluşturan örnek karışım oranlarının farklılığı ve fırın ısıtma şartlarının belirsiz oluşu bu sonucu doğurduğu kanısı hakim olmuştur.

Her iki örnekte de 9.5 mm'lik bilya çapında çok farklı kırılma özelliği göstermiş ve en ince elek boyutundaki malzemeye etkisi fazla olurken, çn iri elek boyutundaki malzemeye ise en az etkili olmuştur.

Bu çalışmada, öğütme işlemlerindeki enerji maliyeti göz önüne alındığında, her örnek için deneysel verilerin ortaya konması gerekliliği gözükümüştür.

#### KAYNAKLAR

- Austin, L.G., Bagga, P. and Çelik, M., 1981. *Breakage Properties of Some Materials in a Laboratory Ball Mill*, Powder Technology, Vol. 28, 235-241.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R. and Luckie, P.T., 1984. *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*, AIME, NewYork,USA.
- Deniz, V., Yamık, A. ve Özyakın, Ş., 1995. *Bilyalı Değirmen Ürün Boyut Dağılımının Bilgisayar Yardımıyla Belirlenmesi*, Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu'95, İzmir, Türkiye, 201-210.
- Lynch, A.J.,1977. *Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their simulation, optimization, desing and control*, Elsevier, New York, USA.
- Öner, M., 1999. *Ball size rationning affects clinker grinding*, World Cement Research, February, 101-106.
- Pitchumani, B. and Venkateswarlu, D., 1980. *Matrix Representation of Batch and Continuos Size Reduction Processes*, Pine Particles Processing, New York, 148-163.
- Salopek, B., Peaff, S. and Garapic, M., 1986. *Determination of Milling Matrix Elements Exemplified by Laboratory Ball Mill Tests*, I International Mineral Processing Symp., Izmir, Turkey 24-34.
- Shah, I. and Austin, L.G., 1983. *Breakage Rates and Size Distributions in Dry Ball Milling For Fine Sizes*, Ultrafine Grinding and Séparation of Industrial Minerals, G. Malgham (ed.), AIME, NewYork, 9-14.
- Shoji, K, Austin, L.G., Smalia, P., Brame, K. and Luckie, P.T., 1982. *Further Studies of Ball and Powder Filling Effects in Ball Milling*, Powder Technology, Vol. 31,121-126.
- Yıldız, N., 1999. *ÖĞÜTME Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar*, Kozan Ofset, 3.26-3.37.