

Barit Mineralinin İnce Öğütülmesinin Kinetiği

M. Yekeler, A. Özkan
Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Sivas

E. Teke
Bant Maden T.A.Ş., Sivas

ÖZET: Barit mineralinin ince boyutlara öğütülmesinde standart S ve B test metodu kullanılarak kırılma parametreleri elde edilmiştir. -20+30 meş (-850+600 um), -30+40 meş (-600+425 um) ve -40+50 meş (-425+300 um)'lik tek boyut fraksiyonlarına hazırlanmış barit numuneleri 25 mm çapında çelik bilyaların kullanıldığı 194 mm iç çapındaki bir değirmenle yaklaşık %98'inin 38 um altına geçebilecek şekilde kuru olarak öğütülmüştür. 6u öğütme koşullarında spesifik kırılma hızı (S_i) ve toplam kırılma dağılım fonksiyonu (B_i) değerleri elde edilerek diğer endüstriyel minerallerden kalsit ve kuvars ile karşılaştırılarak kırılma parametreleri ve kolay/zor kırılabilirliği karşılaştırılmıştır. Buna göre S_i değerleri açısından barit, kalsite ve kuvarsa göre daha çabuk öğütülebilmektedir. Barit için elde edilen S_i değeri -20+30 meş için 0.99 dk⁻¹ iken, kalsit için 0.86 dk⁻¹ ve kuvars için 0.51 dk⁻¹ olarak, baritin daha kırılğan bir yapıya sahip olduğunu vurgulamaktadır.

ABSTRACT: The breakage parameters of barite to grind fine sizes were obtained by using standard S and B test method. The single size fractions of -20+30 mesh (-850+600 um), -30+40 mesh (-600+425 um) and -40+50 mesh (-425+300 um) were ground to reach approximately 98% passing to 38 um by a dry ball mill whose internal diameter was 194 mm with a 25 mm of steel balls. The specific rate of breakage (S_i) and cumulative breakage distribution function (B_i) values were obtained and compared to other industrial minerals in terms of being easily or hard broken, such as calcite and quartz at the same grinding conditions. Therefore, barite is easily ground than calcite and quartz based on S_i values. The S_i value obtained for -20+30 mesh was to be 0.99 min⁻¹ for barite, while it was 0.86 min⁻¹ for calcite and 0.51 min⁻¹ for quartz, which indicates that barite is easily broken.

1. GİRİŞ

Kırılğan malzemelerin kırılmasında boyut küçültme ince boyutlara ulaştığında öğütme işleminin 'normal' hızından uzaklaşıp zorlaştığı çok iyi bilinmektedir (Hukki ve Reddy,1966). Bu durum, sıkışan ince tanelerin bilyaların üzerini kaplaması ve tane boyu küçüldükçe 'Griffith' türü çatlakların kaybolmasıyla açıklanmıştır (Bond ve Agthe,1941; Opoczky,1969; Ghigi ve Rabottino,1966). Kırılğan olmayan malzemelerin çok ince tane boyutuna öğütmeye karşı dirençli olduğu ve özellikle çimento klinkerini birkaç saat öğüttükten sonra daha fazla boyut küçültmenin artık sağlanmadığı da bilinmektedir.

Bazı araştırmacılar (Austin ve Bagga,1981; Shah ve Austin, 1983) bu olayı "yavaşlama etkisi" teorisi ile

açıklamışlardır. Bu teoriye göre, uzun süre öğütmedeki spesifik kırılma hızını normal öğütme (1. dereceden öğütmedeki) süresindeki spesifik kırılma hızına oranı olarak tanımlanır. Ayrıca değirmenlerde öğütme ilerledikçe ince malzeme artarak öğütme zorlaşacak ve 'yavaşlama etkisi' daha çok hissedilecektir. Boyut küçültme işlemlerinde, modelleme çalışmaları için kullanılan metotlardan biri 'Kinetik Yaklaşım'dır. Bu yaklaşımı karakterize eden bazı matematiksel ifadeler tanımlanmaktadır:

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

Burada w_i =i boyutundaki fraksiyonun ağırlıkça miktarı, S_i =i boyutunun spesifik kırılma hızı (dk⁻¹) ve W =Boyut küçültme cihazına beslenen toplam miktar.

, Söz konusu eşitlik analitik olarak şöyle ifade edilebilir:

$$-\frac{d[w_i(t)W]}{dt} \propto w_i(t)W \quad (2)$$

W sabit olduğu için

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = -S_i w_i(t) \quad (3)$$

Sı zamana bağlı olarak değişmediği için

$$w_i(t) = w_i(0) \exp(-S_i t) \quad (4)$$

(5)

yani

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

Kuruda t_{öğütme} süresi malzemenin hangi alt boyut gruplarına ne kadar dağıldığı 'kümülatif kırılma dağılım fonksiyonu' ile ifade edilir. Boyut fraksiyonu j olan parçaların kırılmadan sonraki yer aldığı boyut fraksiyonundaki miktarları B_j ile gösterilir ve j malzemesinin i boyut fraksiyonuna kırılması sözkonusudur. O halde kümülatif ifade;

$$B_{i,j} = \sum_{k=1}^j b_{i,k} \text{ olur.} \quad (6)$$

By değerlerinin ampirik ifadesi ise

$$B_{i,j} = \varnothing \left(\frac{x_i - 1}{x_j} \right)^y + (1 - \varnothing) \left(\frac{x_i - 1}{x_j} \right)^\beta, \quad 0 \leq \varnothing \leq 1 \quad (7)$$

Burada \varnothing , y ve β değerleri malzemeyi karakterize eden B fonksiyonuna ait değerlerdir, y değeri boyut dağılımındaki ince malzeme miktarının az veya çok olması ile ilgili faktördür \varnothing ve β değerleri ise besleme boyutunun yakın olduğu fraksiyonların ne

kadar hızla alt boyuta geçtiğini temsil eden fonksiyon değerleridir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Mineral

Deneylerde kullanılan barit minerali Barit Maden T.A.Ş.'den elde edilmiş ve tek boyut fraksiyonlarına öğütme ve eleme sonucu hazırlanmış olan numunelerdir. Hazırlanan boyut fraksiyonları -20+30 meş (-850+600 um), -30+40 meş (-600+425 um) ve -4D+50 meş (-425+300 um)'dir. Hazırlanan numunelerin yoğunluğu 4.47 gr/cm³tür.

2.2. öğütme Deneyleri

Deneylerde standart S ve B testinin yapılabileceği özelliklere sahip laboratuvar ölçekli bir değirmen kullanılmıştır. Değirmene ait özellikler Çizelge T de verilmiştir. Öğütme kuru olarak her defasında yaklaşık 644 gr mineral şarjı ile yapılmıştır. Bilya çapı ise 25 mm olup toplam ağırlığı 5640 gr'dır.

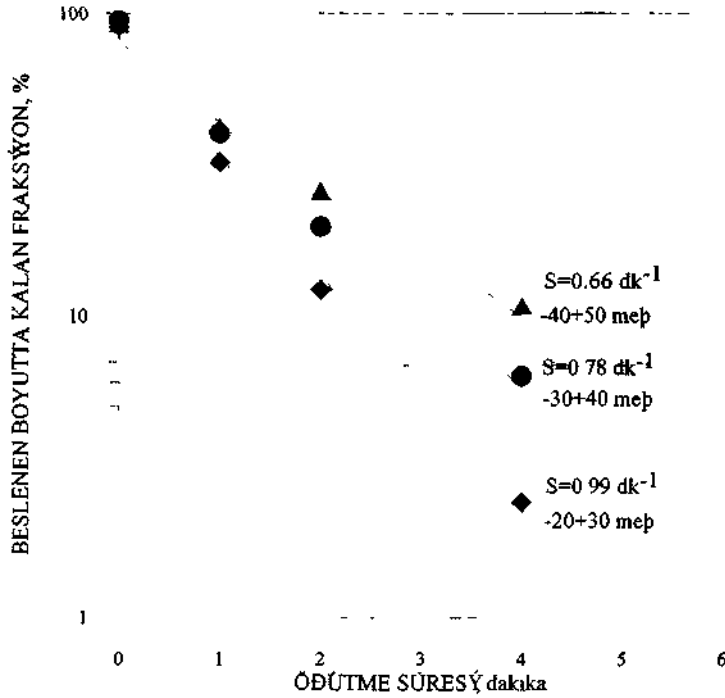
Her bir boyut fraksiyonu için belirli sürelerde (1,2,4,8,16,32,64 ve 128 dakika) öptülen barit minerali değirmenden boşaltılıp konileme-dörtleme yöntemi ile elek analizi için uygun numune alınmıştır. Önce yaş sonra kuru eleme yapılarak ince partiküllerin daha etkin olarak alt boyutlara geçmesi sağlanmıştır. Numune kurutulup tartıldıktan sonra partikül boyut dağılımları tesbit edilmiştir.

Değirmen	İç çapı, mm	194
	Uzunluğu, mm	175
	Hacmi ,cm ³	5170
	Çalışma hızı, d/d	75
	% Kritik hız	76
Lifter	Sayısı	6
	Kesit alanı	Yarı-dairesel
	Yarıçapı, mm	10
Ortam (bilya)	Malzemesi	Çelik alaşım
	Çapı, mm	25
	Sayı	74
	Özgül ağırlık	7.8
	Ortalama bilya ağırlığı, g	66.2
Mineral	Değirmen şarjı	0.20
	Barit	
	Özgül ağırlık	4.47
	Beslenen miktar, g	644

3.. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Her bir tek boyut fraksiyonuna ait barit mineralinin değişik sürelerde öğütülmesi sonucu elde edilen ürünlerin boyut dağılımının birinciden olduğu sureleri ve S, (Spesifik kırılma hızı) değerlerini

gösterir grafiksel yaklaşım Şekil 1'de görülmektedir. Öğütme sonucu 30, 40, 50 meş'lik eleklerde kalan miktarların lineer olduğu ve bu doğrunun eğimi S, değerlerini vermektedir Buna göre S, değerleri 20+30, -30+40 ve -40+50 meş barit içim sırasıyla 0.99, 0.78 ve 0.66 dk⁻¹ olarak bulunmuştur



Şekil 1 -20+30, -30+40 ve -40+50 meş baritin kuru öğütülmesiyle bulunan spesifik kırılma hızı değerleri (S,)

Tek fraksiyonu hazırlayıp aynı koşullarda öğütülmüş kuvars ve kalsit numunelerinin literatürdeki S, değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Baritin spesifik kırılma hızının kalsit ve kuvars ile karşılaştırılması

Boyut, meş	S, değerleri		
	Barit	Kalsit	Kuvars
-20+30	0.99	0.86	0.51
-30+40	0.78	0.72	0.40
-40+50	0.66	0.54	0.32
-50+70	-	0.42	-

S, değerinin büyük olması daha çabuk ve kolay kırılma olduğunu belirttiğine göre Çizelgeden de görüldüğü gibi hangi boyut fraksiyonu olursa olsun kolaydan zora doğru kırılma sıralaması

yaptığımızda önce barit, sonra kalsit ve en sonunda da kuvars gelmektedir. Yaş öğütmede, bu S, değerleri aynı sıralamayı takip ederek biraz daha yüksek değerler alacaktır (Yekeler, 1995).

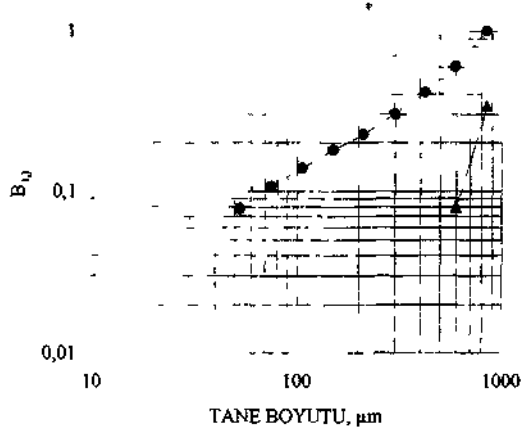
Kümülatif kırılma dağılım fonksiyonunu (B_j) değerleri ise en kısa öğütme süresi olan 1 dakika ürününe BU yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Bil yaklaşımının ifadesi eşitlik 8'de verilmiştir.

$$B_j = \frac{\log\left[\frac{1 - P_i(0)}{1 - P_i(t)}\right]}{\log\left[\frac{1 - P_i(0)}{1 - P_i(t)}\right]} \quad (8)$$

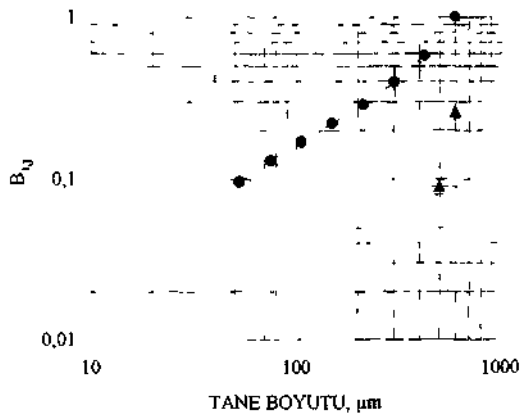
Burada $P_i(t)=t$ zamanında i boyutundan geçen fraksiyon, $P_i(0)$ =Beslenenin i boyutundan geçen fraksiyondur. Her bir fraksiyona ait B_j değerleri Şekil 2, 3 ve 4'te görülmektedir. Toplam kırılma dağılım fonksiyonu değerlerini karakterize eden parametreler olan γ , β ve β değerleri ise Çizelge 3'te verilmektedir

Çizelge 3. Barit mineralinin toplam kırılma dağılım fonksiyonu değerleri

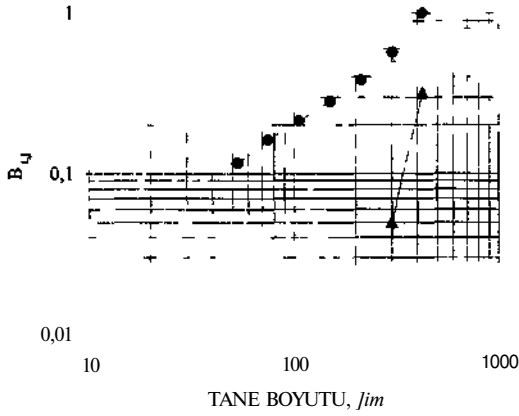
Besleme boyutu, meş	γ	β
-20+30	0.67	4.28
-30+40	0.70	3.81
-40+50	0.69	3.73



Şekil 2 -20+30 meş bantım toplam kırılma dağılım fonksiyonu (B_j) değerleri ($\gamma=0.67$, $\beta=4.28$)



Şekil 3. -30+40 meş baritin toplam kırılma dağılım fonksiyonu (B_j) değerleri ($\gamma=0.70$, $\beta=3.81$)



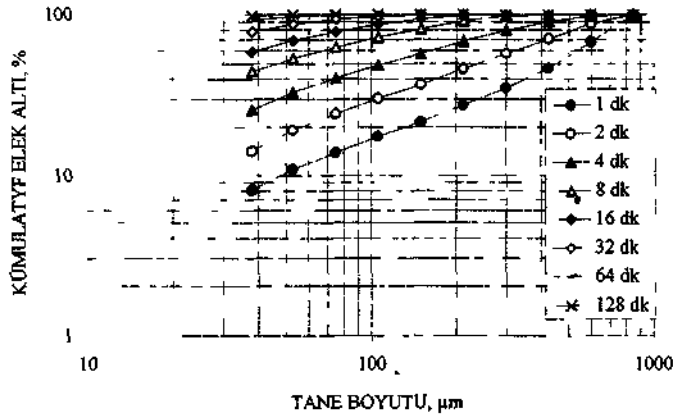
Şekil 4 -40+50 meş baritin toplam kırılma dağılım fonksiyonu (By) değerleri ($\alpha=0.69$, $\gamma=0.85$, $\beta=3.73$)

Çizelge 3 ve Şekil 2, 3 ve 4'den de görüldüğü gibi B_j değerleri tüm boyut fraksiyonları için birbirine çok yakındır. Zaten farklı olması da aynı mineral için beklenmemektedir (Austin, Klmpel, Luckie, 1984)

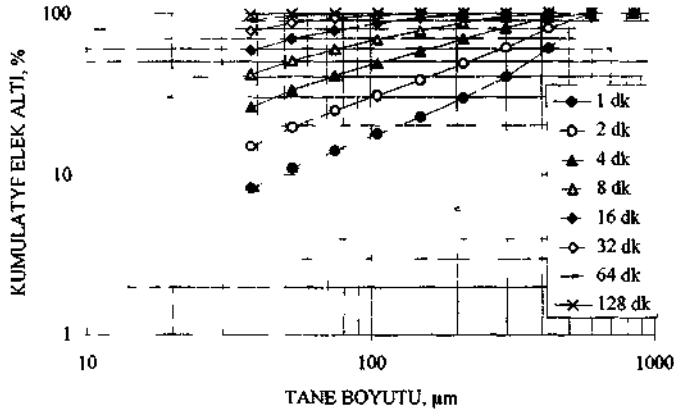
Şekillerdeki y değeri doğrunun alt kısmının eğimidir. 0 ise lineer doğrunun besleme tane boyutuna dik doğrusu kestiği nokta olup, β , doğrunun üst kısmının eğimidir. Bu değerler her bir mineral için

karakteristiktir ve değirmen koşullarıyla değişir, ancak tane boyutuyla değişmez.

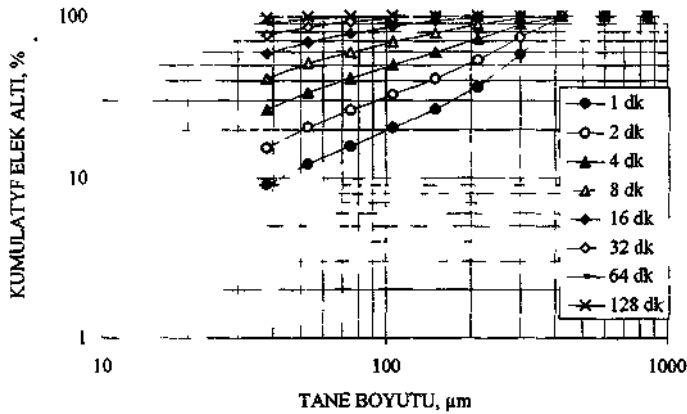
Şekil 5, 6 ve 7'de ise her bir boyut fraksiyonunun her bir öğütme süresi için partikül boyut dağılımları verilmektedir. En fazla öğütülebilen süre 128 dakika olarak bulunmuştur. Yaş öğütme biraz daha ince malzeme eldesini kolaylaştıracak ancak belirli bir süre sonra bilyalı değirmende öğütmede en son elde edilebilecek verime ulaşım etkisini kaybedecektir.



Şekil 5 -20+30 meş besleme boyutundaki baritin öğütme sonucu partikül boyut dağılımı



Şekil 6 -30+40 meş besleme boyutundaki baritin öğütme sonucu partikül boyut dağılımı



Şekil 7 -40+50 meş besleme boyutundaki baritin öğütme sonucu partikül boyut dağılımı

KAYNAKLAR

- Austin, L G , Bagga, P 1981 An Analysis of Fine Dry Grinding in Ball Mill *Powder Technology*
- Austin, L G , Kumpel, R R, Luckie, P T 1984 *Process Engineering of Size Reduction, Ball Milling*, SME, New York
- Bond, F C, Agthe, F T 1941 Ball Coating in Grinding Rock Prod.
- Ghigi, G, Rabottmo, L 1966 Experiments on Cement Clinker Grinding with Additives, *Dechema Monograph*

- Hukki, R T, Reddy, I G 1966 The Relationship Between Net energy Input and Fineness in Comminution, *Dechema Monograph*
- Opoczky, L 1969 Effect of Surface Active Agents on the Grinding Processes of Cement Clinker, *Epitoanyog*
- Shah, I, Austin, L G 1983 A Method for Inter-Conversion of Microtrac and Sieve Size Distributions, *Powder Technology*
- Yekeler, M 1995 Bilyalı Değirmenle Kuvarın Yaş Öğütülme Kinetiği, / *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* izmir

Kırıcılardan Üretilen Kireçtaşı Agregasının Şekil Analizi

Tank ÖZKAHRAMAN

S.D.U. Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta/Türkiye

Mustafa ŞİRİN

S.D.U Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Muh Anabilim Dalı Isparta/Türkiye

ÖZET: Günümüzde inşaat sektöründe kırmataş talebi artmıştır. Artan talebi karşılamak amacıyla kırıcılardan suni agregaya üretilmektedir. Üretilen agreganın tanelerinin küreselliği betonun dayanımını etkilemektedir. Bu nedenle istenilen küresellikte agregaya üreten kırıcı seçimi önem arz etmektedir. Makalede küresellik yassılık ve uzunluk indisleriyle ifade edilmiş ve laboratuvar çaptaki çeneli ve merdaneli kırıcılarla, endüstriyel çaptaki çekiçli kırıcıdan elde edilen ürünlerin küresellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca kırıcı ürünleriyle, dinamik patlatması ile kırılan atım kütesinin küreselliği karşılaştırılmıştır. Aynı kireçtaşı üzerinde yapılan bu karşılaştırmalar anlamlı sonuçlar vermiştir.

ABSTRACT: Recently, there is a high demand for broken rock aggregates in construction Industry. This increased demand can be overcome by artificially obtained aggregates from crushers. The sphericity of the aggregate particles which are obtained from crushers affects workability and strength of concrete. For this reason, an appropriate crusher selection producing the required particle shape becomes important. In the paper sphericity is defined by flakiness and elongation indices. The produced particle sphericity from laboratory scale jaw and roll type crushers are compared with industrial size impact crusher with breaking plates (hammer type). Also sphericity of the crusher products are compared with the fragmented limestone by blasting. This comparison of the same limestone gave meaningful results.

1. GİRİŞ

Kırmataşların (agrega) şekilleri, tanelerin mühendislik davranışlarını belirleyen önemli bir parametredir. Tane şekilleri betonun dayanımında önemli bir rol oynar. Bu tanelerle oluşturulan beton, asfalt gibi karışımların dayanımında bu tanelerin sürtünme karakteristikleri önemli bir etkidir. Kırılmış tanelerin yüzeyleri doğada kendi halinde bulunan yüzeyleri aşınma ile düzleşmiş dere çakıllarına göre daha pürüzlüdür. Yüzeyleri pürüzlü olan taneler, düzgün yüzeylere göre çimento ile daha kuvvetli bir bağ (aderans) oluştururlar. Bu nedenle genellikle kırma taş ile üretilen betonların dayanımında, yuvarlak (çakıl) gibi pürüzsüz tanelere kıyasla bir artış görülebilir.

Betonun dayanımı açısından en uygun tane boyutu küre ve küp şekilli tanelerdir. Bu açıdan bakıldığında uzun ve yassı tanelere kusurlu taneler denir (Akman, 1990). Bu tip taneler kompasiteyi düşürür. Betonun işlenebilme özelliğini azaltır. Bu tip kusurlu agreganın

miktarının toplam agregada içindeki payının %15'ini geçmemesi önerilir. Kaliteli betonda ise kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir (Akman, 1990).

İnşaat sektöründe ve diğer sektörlerde artan agregaya (kırmataş) talebini karşılayabilmek amacıyla günümüzde suni agreganın üretimi artmıştır. Kırmataş üretiminde tane iriliği yanında, tane şekli yukarıda da belirtildiği gibi betonun dayanımında önem arz etmektedir. Bu nedenle istenilen tane iriliğinde ve küresel taneler üreten kırıcılar seçilmelidir. Kırıcılardan elde edilen ürünün şekil analizi yapılarak en uygun seçim yapılabilir.

Patlatma işlemlerinde de patlatmanın verimini belirlemek amacıyla atım kütesinin granülometresi ve boyut analizi yapılması gerekmektedir. Bu analizler en doğru bir şekilde ancak eleme ile yapılabilir. Fakat yüzlerce ton ağırlığındaki, atım kütesinin boyut analizi çok pahalı ve imkansız olduğundan bunun standart fotoğraf yönteminden faydalanılarak yapılması düşünülmüştür (Van Aswegen ve Cunningham, 1986). Bu amaçla

Süleyman Demirel Üniversitesi kaya mekaniği laboratuvarında 100'er kiloluk dağılımı bilinen suni yığınlar oluşturulmuştur (Özkahraman, 1996). Oluşturulan bu yığınlardan elde edilen standart fotoğraflarla Göлтаş kireçtaşı ocağında yapılan galeri patlatmalarının verimi araştırılmıştır (Özkahraman ve Şirin, 1996). Bu araştırmadan işletme ekonomisi açısından çok önemli sonuçlar alınmıştır. Standart fotoğraflar için kullanılan suni yığınları oluşturan tane şekillerinin, atım kütesini oluşturan tane şekillerine benzerliği hem fotoğraf üzerindeki hatanın az olması hemde sonuçların doğruluk derecesi açısından önemlidir. Atım kütesine benzer suni yığının oluşturulmasında kullanılan en uygun kırıcı seçiminde, kırıcıdan elde edilen ürünlerin şekil analizi yapılarak atım kütesinin tane şekline benzeyen taneler üreten, en ideal kırıcı seçilmelidir. Bundan dolayı laboratuvarında bulunan merdaneli ve çeneli kırıcılarla birlikte atım kütesinin ve Göлтаş taş ocağında bulunan çekiçli kırıcıdan elde edilen kırınatların şekil analizleri yapılmış ve sunulmuştur. Tanelerin şekil analizlerinde, agregaların yassılık ve uzunluk indisinin belirlenmesi yöntemi (Gokhale ve Rao, 1981) kullanılmıştır.

2. TANELERİN ŞEKİL ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEM

Tane şekli "yuvarlaklık" veya "küresellik" terimleriyle açıklanabilir. Yuvarlaklık Tanelerin köşe kavislerinin ortalama çapının, bu taneyi içme alan maksimum dairenin çapına oranı olarak tarif edilir. Bu tarife göre agregaların tane şekillerinin sınıflanabilmesine rağmen aşağıdaki genel terimler daha çok kullanılır:

- Açılı (çok keskin köşeli)
- Az açılı (köşeleri aşınmış)
- Az yuvarlak (köşeleri epeyce aşınmış)
- Yuvarlak (köşeleri çok daha fazla aşınmış ve düzelmiş)
- Çok yuvarlak (taneler yuvarlak şekilli)

Küresellik, tane hacimlerinden bulunan hayali çapı, taneyi içine alan maksimum dairenin çapına oranı olarak bulunabilir.

Küresellik = $(\frac{d^3}{a^3})^{1/3} = \frac{d}{a}$; formülü ile ifade edilebilir. Bu formülde;

d = nominal çap (hacmi tanenin hacmine eşit kürenin Çapı),

Özkahraman, T, Şirm, M

a = tanenin en uzun çapıdır (taneyi içine alabilecek maksimum dairenin çapı).

Küresellik şu şekilde de ifade edilebilir;

Küresellik = $((\frac{bxc}{a^2})^{1/3}$. Burada;

a,b ve c sırasıyla; tanenin en uzun, orta, en küçük boyutlarıdır.

Küreselliği (K) ile ifade edersek;

$$K^3 = ((\frac{bxc}{a^2}) \times (\frac{b}{b})) = (\frac{b^2xc}{a^2 \times b})$$

$$K^3 (\frac{c}{b}) = (\frac{b}{a})^2$$

Dolayısıyla küresellik b/a ve c/b oranlarıyla da tanımlanabilir. Tanelerin temel şekilleri bu oranlarla ifade edilerek sınıflandırılabilir. Şekil .1' de bu sınıflama gösterilmiştir (A.S T.M, 1962).

Tanelerin küreselliği için genellikle iki index kullanılır. Bunlar "yassılık indisi" ve "uzunluk indisi" dir (Gokhale ve Rao, 1981).

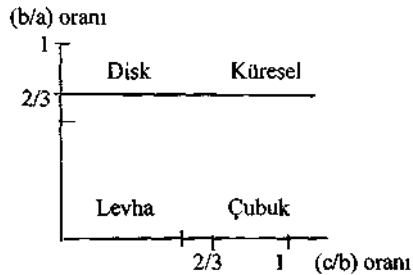
Kırılmış agreganın yassılık indisi, yığın içindeki tanelerden en küçük boyutlarının (c), ortanca boyutlarına (b) oranı 0,6 dan az olanların toplam ağırlığının, yığın içindeki ağırlıkça yüzde miktarıdır. Yani, (c/b<0,6) dir.

Uzunluk indisi; yığın içindeki tanelerden, en uzun boyutlarının (a), ortanca boyuta (b) oranı 1,8 den büyük olanların toplam ağırlığının, yığın içindeki ağırlıkça yüzde miktarıdır. Yani (a/b>1,8).

2 / Tanelerin Şekil Analizi

a) Kırılmış agreganın numunesinin yassılık indisinin bulunuşu:

- Kırılmış agreganın numunesi elenerek belli fraksiyonlara ayrılır;
- Her fraksiyon ayrı ayrı tartılır;



Şekil .1 Tane Şekillerinin Sınıflaması

- Her bir fraksiyondan alınan 100 adet numune tanenin boyutları tesbit edilir, c/b oranı 0.6 dan küçük olan taneler ayrılır;
- Ayrılan taneler tartılır;
- Aşağıdaki formülden yassılık indisi hesabı yapılır,

$$\text{Yassılık indisi} = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} \times 100 (\%)$$

$$\text{Yassılık indisi} = \frac{\sum w}{\sum W} \times 100 (\%)$$

Bu formüde;

W_1, W_2, W_3, \dots = Her bir fraksiyonun toplam ağırlığı,
 w_1, w_2, w_3, \dots = Fraksiyonların içindeki c/b oranı 0.6 dan küçük olan tanelerin toplam ağırlığıdır,

b) Uzunluk indisinin bulunuşu.

- Yassılık indisi için fraksiyonlara ayrılmış malzeme tekrar kullanılır; j
- Herbir fraksiyon tartıldıktan şonra a/b oranı 1.8 den büyük olan taneler ayrılır, j
- Her fraksiyon için ayrılan tanelerin tartımı alınır.
- Aşağıdaki formül yardımı ile uzunluk indisi hesabı yapılır;

$$\text{Uzunluk indisi} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} \times 100 (\%)$$

$$\text{Uzunluk indisi} = \frac{\sum A}{\sum W} \times 100 (\%)$$

Bu formüde;

W_1, W_2, W_3, \dots = Fraksiyonların toplam ağırlığı,
 A_1, A_2, A_3, \dots = Fraksiyonların içinde a/b oranı 1.8 den büyük olan tanelerin toplam ağırlığıdır.

3. KIRICILARDAN ELDE EDİLEN ÜRÜNÜN ŞEKİL ANALİZİ

Bölüm 2'de belirtilen yöntemle göre Göltaş kireçtaşı ocağından alınan taşlar laboratuvar ölçekteki çeneli ve merdaneli kırıcıda kırılarak şekil analizleri yapılmış ve şu neticeler alınmıştır

a) Çeneli Kırıcıdan Çıkan Ürünün Şekil Analizi

Yapılan şekil analizi ile, çeneli kırıcı için Çizelge . 1 de gösterilen sonuçlar alınmıştır

Çeneli kırıcıdan çıkan ürünün şekil analiz sonuçlarına göre yassılık indisi (Y.I) = 36.10, uzunluk indisi (U.I) = 15.75 bulunmuştur. Agreganın toplam %51.85'i kusurlu tanelerden oluşmuştur. Fraksiyonlara göre kusurlu tane dağılımı Şekil 2.'de verilmiştir.

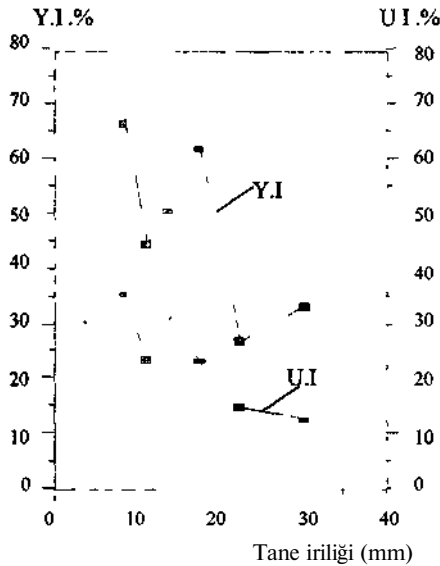
b) Merdaneli Kırıcıdan Çıkan Ürünün Şekil Analizi

Merdaneli kırıcıdan alınan ürün üzerinde şekil analizi yapılmış ve Çizelge 2' de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Merdaneli kırıcıdan çıkan ürünün şekil analiz sonuçlarına göre yassılık indisi (Y.I) = 73.67, Uzunluk indisi (U.I) = 10.10 bulunmuştur. Agreganın toplam %83.96'sı kusurlu tanelerden oluşmaktadır. Fraksiyonlara göre kusurlu tane dağılımı Şekil 3'ide verilmiştir.

3.1. Sanayii Boyuttaki Çekiçli (paletli) Kırıcıdan Elde Edilen Uruhun Şekil Analizi

Göltaş çimento ; fabrikasına ait, kireçtaşı kumada kullanılan çekiçli kırıcıdan alınan kırılmış tanelerin, şekil analizi yapılarak Çizelge 3 'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çekiçli kırıcıdan çıkan ürünün şekil analiz sonuçlarına göre yassılık indisi (Y.I) = 19.85, uzunluk indisi (U.I) = 10.98 olarak bulunmuştur. Toplam %30.83'ü kusurlu tanelerden oluşmuştur.. Fraksiyonlara göre kusurlu tane dağılımı Şekil 4'de verilmiştir



Şekil 2. Çeneli Kırıcıdan Çıkan Ürünün Tane iriliği ile Yassılık (Y.I) ve Uzunluk indisi (U.I) % Değişimi

Çizelge 1 Çeneli Kırıcıdan Çıkan Ürünün Şekil Analiz Sonuçları

Fraksiyon (mm)	Ortalama boyut (mm)	100 adet tanenin top. ağı. (gr) (W)	Kalınlık için		Uzunluk için		Yassılık indisi % (Yi)	Uzunluk indisi % (Ul)
			Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (w)	Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (A)		
-35 +25	30.00	3485.80	18.00	1143.46	54.00	431.43	32.80	12.38
-25 +20	22.50	1594.00	13.50	424.80	40.50	235.20	26.65	-14.76
-20 +15	17.50	689.30	10.50	424.79	33.50	157.99	61.63	22.93
-15+12.5	13.75	329.02	8.25	165.74	24.75	103.96	50.37	31.60
-12.5+10	11.25	176.76	6.75	78.21	20.25	41.78	44.25	23.64
-10 + 6.7	8.35	92.92	5.01	6K75	15.03	32.79	66.46	35.29
TOPLAM		6367.80		2298.75		1003 15	36.10	15.75

Çizelge 2. Merdaneli kırıcıdan çıkan ürünün şekil analiz sonuçları

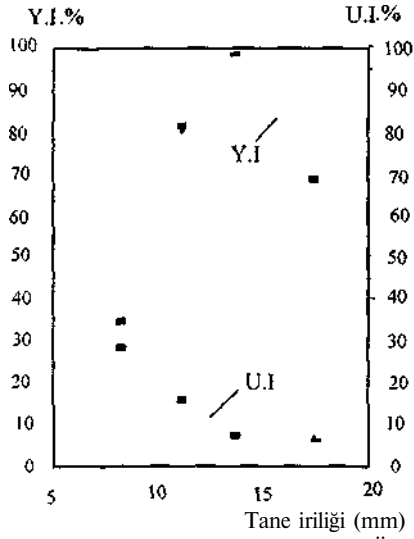
Fraksiyon (mm)	Ortalama boyut (mm)	100 adet tanenin top. ağı. (gr) (W)	Kalınlık için		Uzunluk için		Yassılık indisi % (Yi)	Uzunluk indisi % (Ul)
			Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (w)	Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (A)		
-20 + 15	17.50	553.49	10.50	380.08	33.50	36.97	68.67	6.68
-15+12.5	13.75	254.60	8.25	250.33	24.75	17.12	98.32	6.72
-12.5+10	11.25	197.04	6.75	159.81	20.25	30.44	81.10	15.45
-10 +6.7	8.35	121.92	5.01	42.27	15.03	29.29	34.67	28.44
TOPLAM		1127.05		832 49		113.82	73 86	10.10

Çizelge 3. Çekiçli kırıcıdan elde edilen ürünün şekil analiz sonuçları

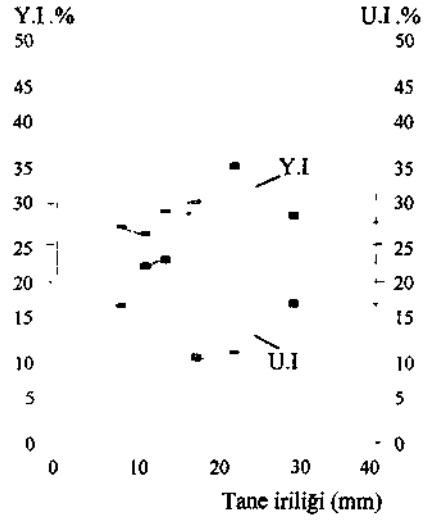
Fraksiyon (mm)	Ortalama boyut (mm)	100 adet tanenin top. ağı. (gr) (W)	Kalınlık için		Uzunluk için		Yassılık indisi % (Yi)	Uzunluk indisi % (Ul)
			Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (w)	Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (A)		
-25 +20	22 50	1439.15	13.50	246.27	40.50	94.83	17.11	6.60
-20 +15	17.50	821.51	10.50	158.85	33.50	123.92	19.34	15.08
-15+12.5	13.75	403.80	8.25	115.50	24.75	58.84	28.60	14.57
-12.5+10	11.25	241.65	6.75	51.77	20.25	36.59	21.42	15.14
-10 +6.7	8.35	131.41	5.01	30.42	15.03	19.44	23.15	14.79
TOPLAM		3037.52		602.81		333.62	19.85	10.98

Çizelge 4. Atım kütlelerinin tanelerinin şekil analiz sonuçları

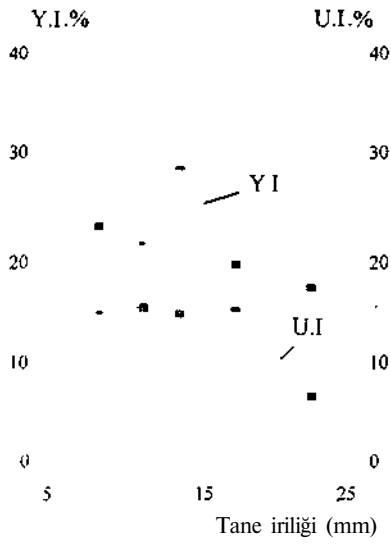
Fraksiyon (mm)	Ortalama boyut (mm)	100 adet tanenin top. ağı. (gr) (W)	Kalınlık için		Uzunluk için		Yassılık indisi % (Yi)	Uzunluk indisi % (Ul)
			Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (w)	Kumpas açıklığı (mm)	Tane ağı. (gr) (A)		
-35 +25	30 00	3970.72	18.00	1132.93	54.00	692.64	28.53	17.44
-25 +20	22 50	1767.58	13.50	615.41	40.50	200 59	34.82	11.35
-20 +15	17.50	737.09	10.50	223.17	33.50	78.73	30.28	10.68
-15+12.5	13.75	341.83	8.25	99.09	24.75	78.88	28.99	23.08
-12.5+10	11.25	221.38	6.75	58.03	20.25	49.18	26.21	22.22
-10 +6.7	8.35	115.76	5.01	31.34	15.03	19.82	27.07	17.12
TOPLAM		7154.36		2159.97		1119.84	30.19	15.65



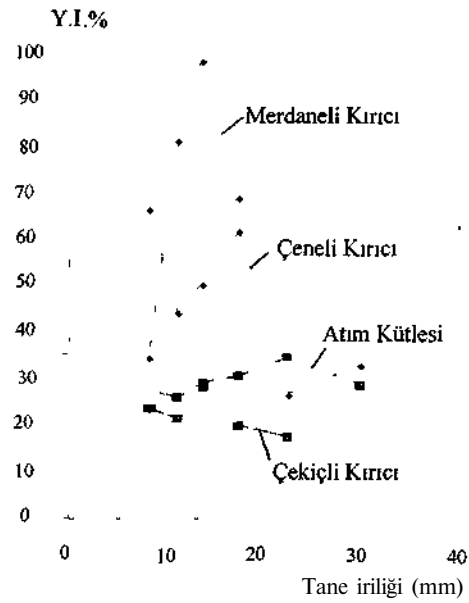
Şekil 3 Merdaneli Kırıcdan Çıkan Ürünün Tane iriliği ile Yassılık (Y.I) ve Uzunluk indisi (U..I) % Değişimi



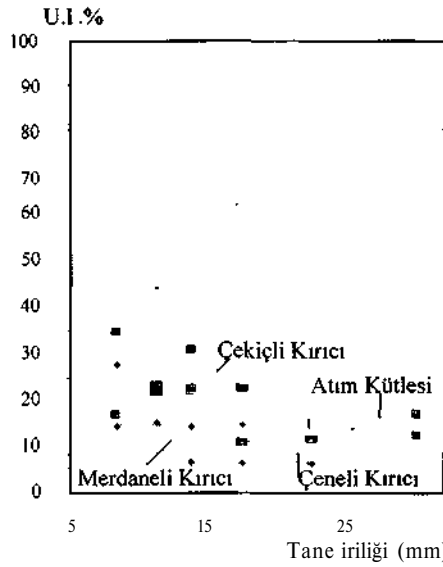
Şekil 5. Atım Kütesinin Tane İriliği ile Yassılık (Y.I) ve Uzunluk indisi (U..I) % Değişimi



Şekil 4. Çekiçli Kırıcdan Çıkan Ürünün Tane iriliği ile Yassılık (Y.I) ve Uzunluk indisi (U..I) % Değişimi



Şekil 6. Atım Kütleleri ve Kırıcılardan Alınan Alınan Numunelerin Tane İriliği ile Yassılık İndisi % Değişimi



Şekil 7. Atım Kütleleri ve Kırıcılardan Alınan Numunelerin Tane İriliği ile Uzunluk İndisi % Değişimi

3.2. ATIM KÜTLESİNİN ŞEKİL ANALİZİ

Göлтаş kireçtaşı açık ocağında atım sonrası oluşan atım kütlelerinden numune alınarak şekil analizi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Atım kütlelerinin şekil analiz sonuçlarına göre yassılık indisi (Y.I) = 30.19, uzunluk indisi (U.I) = 15.65 olarak bulunmuştur. Böylece atım kütlelerinin %45.84'ünün kusurlu tanelerden olduğu belirlenmiştir. Fraksiyonlara göre kusurlu tane dağılımı Şekil 5'de verilmiştir.

4. SONUÇ

Çeneli kırıcı %51,85; merdaneli kırıcı %83,96; çekiçli kırıcı %30,83 kusurlu taneler üretmiştir. Çeneli kırıcıda tane iriliği arttıkça, toplam kusurlu tane miktarında azalma olmuş, yani küresellik artmıştır. Merdaneli kırıcıda ise bunun aksi olmuş genelde tane iriliği ile toplam kusurlu tane oranı

Ozkahramcı, T., Şirin, M.

artmıştır. Merdaneli kırıcı büyük oranda yassı taneler oluşturmuştur (yassı taneler uzun tanelerden yedi misli fazla). Çekiçli kırıcı diğer iki kırıcı ile karşılaştırıldığında daha az kusurlu taneler üretmiş olup, tanelerin %70'i küreseldir. Bu kırıcıda da tane iriliği arttıkça kusurlu tane oranında azda olsa bir artış olmuştur. Sonuç olarak beton için üretilen kırmataş için en uygun kırıcının en az kusurlu tane üreten çekiçli kırıcı olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi gerek merdaneli kırıcı gerekse çeneli kırıcıda cisme uygulanan kuvvet, cismin içinde basınç gerilmeleri yaratır. Bu gerilmeler sonucunda taşın mineralleri arasında kayma gerilmeleri oluşur. Minerallerin kendileride ezilerek kırılır. Halbuki çekiçli kırıcıda dönen çekiçler üzerine düşen bir parça öncelikle bu çekiçlerin darbesi sonra fırlatılarak plakalara çarpmadan doğan darbe etkisiyle kırılmış olur. Bu kırılmada cismin içinde çekme kuvvetleri oluşur. Çekme kuvvetlerinin cismin içinde oluşturduğu çekme gerilmeleri ise, kayayı oluşturan mineral tanelerini birbirinden ayırmaya zorladığından, mineral topluluğu bur zencir olarak düşünüldüğünde kırılma en zayıf noktadan olur. Dolayısı ile minerallerin çekme dirençleri daha büyük olmasına karşın, kayanın çekme direnci küçük olabilmektedir. Netice olarak darbeli kırmada (çekiçli) mineral taneleri birbirinden ayrılır, diğer tip kırıcılarda ise basınç gerilmeleri altında mineral tanelerinin kendileri de kırılır. Bundan dolayı ayrılan taneler, kırılan tanelere nazaran, şekil yapıları bozulmadığından daha küresel şekillidirler.

Her üç kırıcıda da yassı tanelerin ağırlıkça oranı uzun tanelerden daha fazladır. Bunun sebebinin Göлтаş kireçtaşının sedimenter bir kayaç oluşundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Tabakalanmadan dolayı anizotropik bir yapıya sahip olan kireçtaşı kırılırken tabakalanma yüzeylerinden ayrılmış olabilir. Bu husus patlatma atım kütlelerinde de mevcut olup yassı tanelerin oranı uzun tanelerden yaklaşık iki misli daha fazla olmuştur. Atım kütlelerinde, toplam kusurlu tanelerin miktarı tane iriliğiyle değişim göstermemiştir. Patlatma sonrası oluşan kütlelerin ağırlıkça %64'ü küresel tanelerden oluşmuştur. Bu sonuca patlatmada kireçtaşının çekme gerilmeleri etkisi ile kırılmasının ve kayaç içindeki mevcut çatlakların (flow) yolaçtığı tahmin edilmektedir.

Atım kütlelerinin tane boyut dağılımının belirlenmesinde Standart Fotoğraf Yöntemi (Van Aswegen ve Cunningham, 1986) kullanılmaktadır.

2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997 İzmir Türkiye

Fotoğraf üzerinde tanelerin görünen alanlarından hareketle, küresel taneler oldukları kabul edilmektedir. Küresel olmayan taneler Standart Fotoğraf Yönteminin uygulanmasında, sonucu olumsuz etkilemektedir. Atım kütesini oluşturan tanelerin, şekil analizleri yapılarak, atım kütesine en benzer şekilli tane üreten kincinin tesbit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Göltaş kireçtaşı ocağında delme patlatma sonrası oluşan atım kütesinin şekil analizi yapılmış ve kırıcılardan elde edilen ürünlerin şekil analizi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu Şekil 6'da ve Şekil 7'de görüldüğü üzere en benzer şekilli tenderin çekiçli kırıcıdan elde edildiği tesbit edilmiştir. Aynı tane iriliğinde atım kütesinin yassılık indisi 29.07 iken, çekiçli kırıcının 22.31'dir. Atım kütesinin uzunluk indisi ise 16.00 olurken, çekiçli kırıcının 14.94 olduğu bulunmuştur. Sonuçta atım kütesindeki toplam kusurlu tanelerin yüzdesi %45.07 ile, çekiçli kırıcıdaki toplam kusurlu tanelerin yüzdesi olan %37.25 arasında kabul edilebilir %8 bir fark vardır. Bu nedenle çekiçli kırıcıdan elde edilen ürünün atım kütesini temsil edebileceği ve standart yığınların oluşturulmasında kullanılabilmesi bulunmuştur. Diğer taraftan merdaneli kırıcı yüksek oranda yassı taneler ürettiğinden bu amaçla kullanılamaz.

Sonuç olarak darbe tesirli kırıcıların (darbeli kırıcılar), diğer kırıcı tiplerine oranla, daha yüksek oranda, inşaat sektöründe kullanılabilir kübik agregalar ürettikleri, bu alanda çalışanlar tarafından bilinen bir husustur. Bu sebepten bu araştırma bu konuda bir yenilik getirmemektedir. Ancak işe yarar (daha kullanışlı) tanelerin miktarının tesbiti yani, sayısal olarak ifade edilmeside gerekir. Dolayısı ile bu araştırma üretim ve proses mühendisleri için çalışır vaziyetteki bir tesiste yapacakları değişikliklerin sonuçlarını değerlendirmede ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- AKMAN, M.S., 1990. *Yapı Malzemeleri*, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Amer. Soc. for Testing and Materials., 1962. *Standards on Mineral aggregates and concrete*, A..S.T.M., Philadelphia.

Gokhale, K.V.G.K., ve Rao, D.M. 1981. *Experiments in Engineering Geology*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi.

Özkahraman H.T., Şirin M., 1996. *Kireçtaşı ocağında yapılan galeri patlatma tekniğinin etüdü*, S.D.Ü., Müh.-Mim. Fak. Maden müh. Böl. 32260, Çünür, İSPARTA.

Özkahraman H.T., 1996. *Patlatılmış Yığın Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesinde Pratik Bir Yöntem*, 3. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği, Ankara

Van Aswegen H. , ve Cunningham , C.V.B., 1986. *The estimation of fragmentation in blast muck piles by means of standard photographs* , J.S.Af. IMM., Vol. 86, No. 12.