

KALSİTİN DİK ve YATAY KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ÖĞÜTÜLMESİNDE ÖĞÜTME YARDIMCISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Serkan ÇAYIRLI¹ (ORCID: 0000-0003-3348-6601)*
Hasan Serkan GÖKÇEN² (ORCID: 0000-0001-5093-6796)

¹Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye
²Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Geliş / Received: 17.04.2018
Kabul / Accepted: 23.05.2018

ÖZ

Bu çalışmada, kalsitin dik ve yatay konumlandırılabilen karıştırmalı bilyalı değirmende kuru öğütülmesinde öğütme yardımcısının etkisi incelenmiştir. Değirmenin dik ve yatay konumundan elde edilen sonuçlar tane boyutu (d_{50} ve d_{90}) göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlarından, dik konum için d_{50} ve d_{90} boyutları öğütme yardımcısız yapılan deneylerle karşılaştırıldığında 2000 g/ton öğütme yardımcısı kullanılmasıyla d_{50} boyutunda %40, d_{90} boyutunda ise %60 oranında bir iyileştirme sağlanabileceği görülmüştür. Yatay konum için ise; d_{50} boyutunda %45, d_{90} boyutunda %62 oranında bir iyileştirme yapılabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, öğütme yardımcılı (2000 g/ton) ve öğütme yardımcısı kullanılmadan (0 g/ton) yapılan deneylerden elde edilen ürünlerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri çekilerek topraklanma durumları tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dik ve yatay karıştırmalı değirmen, öğütme yardımcısı, kalsit, SEM

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GRINDING AID ON CALCITE GRINDING IN VERTICAL AND HORIZONTAL STIRRED BALL MILL

ABSTRACT

In this study, the effect of grinding aid on dry calcite grinding using vertically and horizontally orientable stirred ball mill was investigated. The results obtained from the vertical and horizontal orientation of the mill were evaluated based upon the particle size (d_{50} and d_{90}). For vertical orientation, experimental results indicated that the d_{50} and d_{90} sizes can be improved by 40% and 60%, respectively by using grinding aid at 2000 g/t when compared to no aid condition. For horizontal orientation, it was understood that improvement in d_{50} size by 45% and improvement in d_{90} size by 62% could be obtained. In addition, agglomeration phenomena were determined by scanning electron microscope (SEM) images of products obtained from the presence (2000 g/t) and absence (0 g/t) of grinding aid.

Keywords: Vertical and horizontal stirred ball mill, grinding aid, calcite, SEM

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birçok sanayi dalında (madencilik, plastik, boya, cam, seramik, çimento, eczacılık vb.) yeni ürünlerin üretilmesi, düşük tenörlü ve ince boyutlu cevherlerin değerlendirilme gerekliliği nedeniyle ince ve

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2350; e-mail / e-posta: scayirli@ohu.edu.tr

çok ince öğütmenin önemi artmaktadır. Yeni ürünlerin üretilmesi; yeni tesislerin kurulması, geliştirilmesi ve kapasite artırımı gibi yatırımları beraberinde getirmektedir. Bu yatırımlarla birlikte enerji sarfiyatı giderek artmakta, özellikle ince/çok ince boyutta ürünleri elde etmek için öğütme masraflarının payı daha da yükselmektedir. Öğütme işlemlerinde fazla miktarda enerjinin çok verimsiz tüketildiği düşünüldüğünde öğütme proseslerinin doğru ve verimli işletilmesi önem kazanmaktadır. Öğütme etkinliğini artırarak daha az enerji tüketimini amaçlayan birçok çalışma yapılmıştır. Bunlar arasında kuru ve yaş öğütme işlemlerinde kimyasal katkıların (öğütme yardımcıları, öğütme kolaylaştırıcılar) kullanılması önemli ölçüde ilgi çekmiş ve konu üzerinde 1930'lu yıllardan günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır.

Laboratuvar ve endüstriyel boyutta yapılan öğütme testleri, ufalama cihazlarına ilave edilen kimyasal maddeler ile öğütme işleminin etkilendiğini göstermiştir. Öğütme yardımcısı (grinding aid, grinding additive, grinding chemical) ifadesi ile değirmene ilave edilerek boyut küçültme işleminin hızını arttıran kimyasal maddeler tanımlanmaktadır. Öğütme yardımcılarının kullanılmasıyla, istenilen ürün inceliginde kapasite arttırılabileceği gibi aynı kapasitede daha ince ürün de elde edilebilmektedir [1].

Öğütme yardımcılarının öğütme üzerine olan olumlu etkileri deneysel olarak kanıtlanmış olmasına rağmen, etki mekanizmaları tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak ilgili birkaç etki mekanizması bildirilmiştir [2]. Bunlardan ilki, yüzey aktif maddelerin soğurulmasıyla tane yüzeyindeki serbest enerjinin azaltılmasına dayanırken [3], ikincisi, bu maddelerin yüzeye yakın düzensizliklere soğurularak yüzeyin sertliğinin değişimine [4], üçüncüsü ise, bu maddelerin ufalama işlemleri sırasında dağıtıcı rol oynayarak tanelerin akışının değişimine dayanmaktadır [5-8].

Birçok araştırmacı yaş öğütme sistemlerinde farklı malzemelerin değişik öğütme kimyasalları kullanarak etkilerini araştırmaya çalışmıştır. Deneysel çalışmalar malzemelerin yaş öğütülmesi üzerinde pülp akıcılığının etkili olduğunu göstermiştir. Taneler 10 µm ve alt boyuta öğütüldüğünde (örneğin pigmentler ve ince kimyasallar) öğütme işleminin etkinliği tamamen pülp akıcılığıyla saptanabilmektedir. Bu tip çok ince öğütme işlemlerinde yaş öğütme yardımcılarının kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Pülp akıcılığı, tane boyutu incelidikçe azalırken, sıcaklık ve pülpün katı oranındaki değişimler de pülp akıcılığını önemli ölçüde etkilemektedir. İnce öğütme işlemlerinde pülpün kontrolünde birkaç yöntem vardır. Bu yöntemlerin hepsinde kayma gerilmesi değerinin en aza indirilmesi ya da yok edilmesi amaçlanır. Bu yöntemlerden birincisi yüksek derecedeki bir akışkan ortamda malzemeleri öğütmek ve ikincisi ise pülpte yüksek katı oranı korunurken pülp akıcılığının kontrolü amacıyla yaş öğütme yardımcıları olarak adlandırılan uygun yüzey aktif maddeler (dağıtıcılar) kullanılmaktadır [9]. Yaş öğütmede öğütme kolaylaştırıcı olarak sodyum silikat, sodyum karbonat, sodyum heksametafosfat, tetrasodyum pyrofosfat, akrilik kopolimer, polikarboksil asit, poliakrilik asit, sodyum hidroksit, sodyum oleat, dodesil amin, Armac T, flotigam, oleik asit, sodyum karboksimetilselüloz kullanılmıştır [10-14].

Kuru öğütmede ise genel kanı ince tanelerin sebep olduğu yavaşlama etkisidir. Kuru öğütmede yavaşlama etkisinin nedeni öğütülen tanelerin yüzey alanı arttıkça, moleküller arası Van der Waals ve bölgesel kuvvetlerin taneler arası etkileşimleri arttırarak, topaklanmaları arttırmakta ve akış özelliklerinin değişmesine yol açmaktadır. Topaklanma sonucu iyi bir karışım sağlanamadığı için topaklanan tanelerin yastıklama etkisiyle, öğütülen malzeme öğütücü ortamla yeterince temas edememekte ve aynı zamanda malzemenin değirmen içindeki taşınmasını da etkilemektedir [1,11,15,16]. Topaklanma sonucu oluşan bu olumsuz durumu önlemek ya da azaltmak için ya çok ince boyutta olan tanelerin sistemden uzaklaştırılması, ya da uygun öğütme yardımcılarının kullanılması gerekmektedir [16,17].

Kuru öğütme yardımcılarının çoğu tane yüzeylerine kimyasal olarak tutunarak taneler arasında adhezyon kuvvetlerinin oluşmasını engellemekte ve öğütme veriminin artmasını sağlamaktadır [18]. Yapılan çalışmalarda, çimento, kireçtaşı, kuvars, fedispat, kalsit gibi hammaddelerin öğütülmesinde öğütme yardımcısı olarak etanol, metanol, isopropanol, butanol, kloroform, benzen, etilen glikol, dietilen glikol, propilen glikol, monoetanolamin, dietanolamin, trietanolamin, triisopropanolamine, oleik asit, vb. kullanılmasının öğütme performansı ve ürün özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir [10,11,18-26,34].

Uzun yıllardan beri birçok araştırmacı tarafından geleneksel bilyalı değirmenlerde öğütme yardımcılarının öğütme performansı üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Karıştırmalı bilyalı değirmenler yüksek enerji verimliliği, ince ve çok ince boyutlara öğütme yapabilmeleri ve ürünleri düşük seviyede kirletmeleri nedeniyle son zamanlarda ilgiyi üzerine çekmiştir. Bununla beraber bazı araştırmacılar tarafından öğütme yardımcılarının bu değirmenlerde kullanılmasının, yaş öğütme performansı ve enerji tüketimi üzerine etkileri araştırılmıştır [12,27-32]. Bununla birlikte, birkaç araştırmacı karıştırmalı bilyalı değirmenlerde kuru öğütme koşullarında öğütme yardımcılarının etkisini araştırmıştır. Forssberg et al. [21] dolomitin kuru öğütülmesinde %0,1 oranında berolamin (trietanolamin, dietanolamin ve monoetanolamin karışımı) kullanılmasıyla daha az enerji tüketilerek ürün inceliğinin arttığını gözlemlemiştir. Çayırılı [33] tarafından yapılan çalışmada muskovitin öğütülmesinde öğütme yardımcısı miktarı ve tipinin tane boyutu ve enerji tüketimi üzerine etkisi ortaya konmuştur. Gokcen et al. [34] feldispatın kuru mikronize öğütülmesinde farklı ticari öğütme

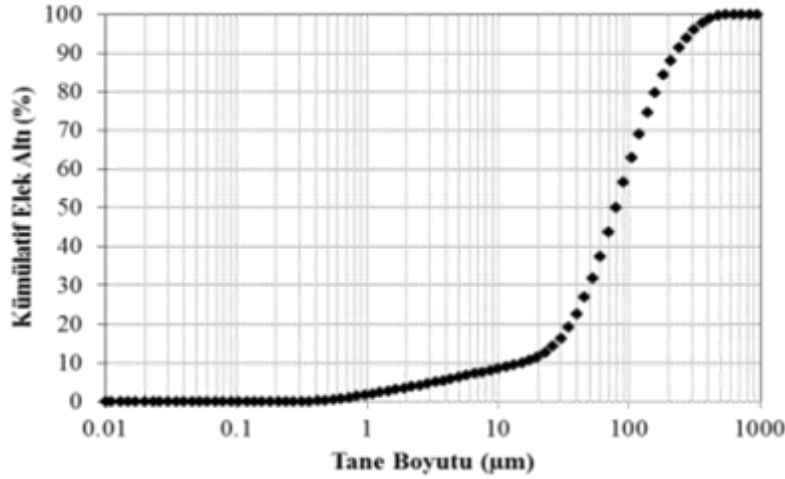
KALSİTİN DİK ve YATAY KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ÖĞÜTÜLMESİNDE ÖĞÜTME YARDIMCISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

yardımcılarının etkisini karıştırmalı bilyalı değirmen kullanarak incelemişlerdir. Sonuç olarak daha az enerji ile daha ince boyutlu ürünler elde edilebildiği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada çimentonun çok ince öğütülmesinde öğütme yardımcıların ürün inceliği, enerji tüketimi ve çimento özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda öğütme yardımcısı tipi ve konsantrasyonunun çimentonun öğütme performansı ve özellikleri üzerine önemli etkisi olduğu ortaya konmuştur [25]. Bir diğer çalışmada ise kalsitin çok ince boyutlara öğütülmesinde su, trietanolamin ve etilen glikolün ürün inceliği ve renk özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır [35].

Bu çalışmada dik ve yatay karıştırmalı değirmende öğütme yardımcısının etkisi incelenirken, aynı değirmen ve çalışma koşullarında değirmen konumu da değiştirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT**2.1. Materyal**

MİKRON'S Mikronize Mineral End. ve Tic. A.Ş.'den 100 kg miktarında sağlanan örnek, numune bölücü yardımıyla 500 g'lık poşetlere bölünerek torbalanmıştır. Örneğin (besleme) ve ürünlerin boyut analizi Malvern marka Mastersizer 2000 (UK) model cihaz kullanılarak yapılmış ve elde edilen boyut dağılım eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Piknometre cihazı (Multipliknometre - Quantrachrome Ins.) ile yapılan yoğunluk tayinlerinden kalsit örneğinin yoğunluğu 2,7 g/cm³ olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Kalsit örneğinin (besleme) boyut dağılım sonuçları

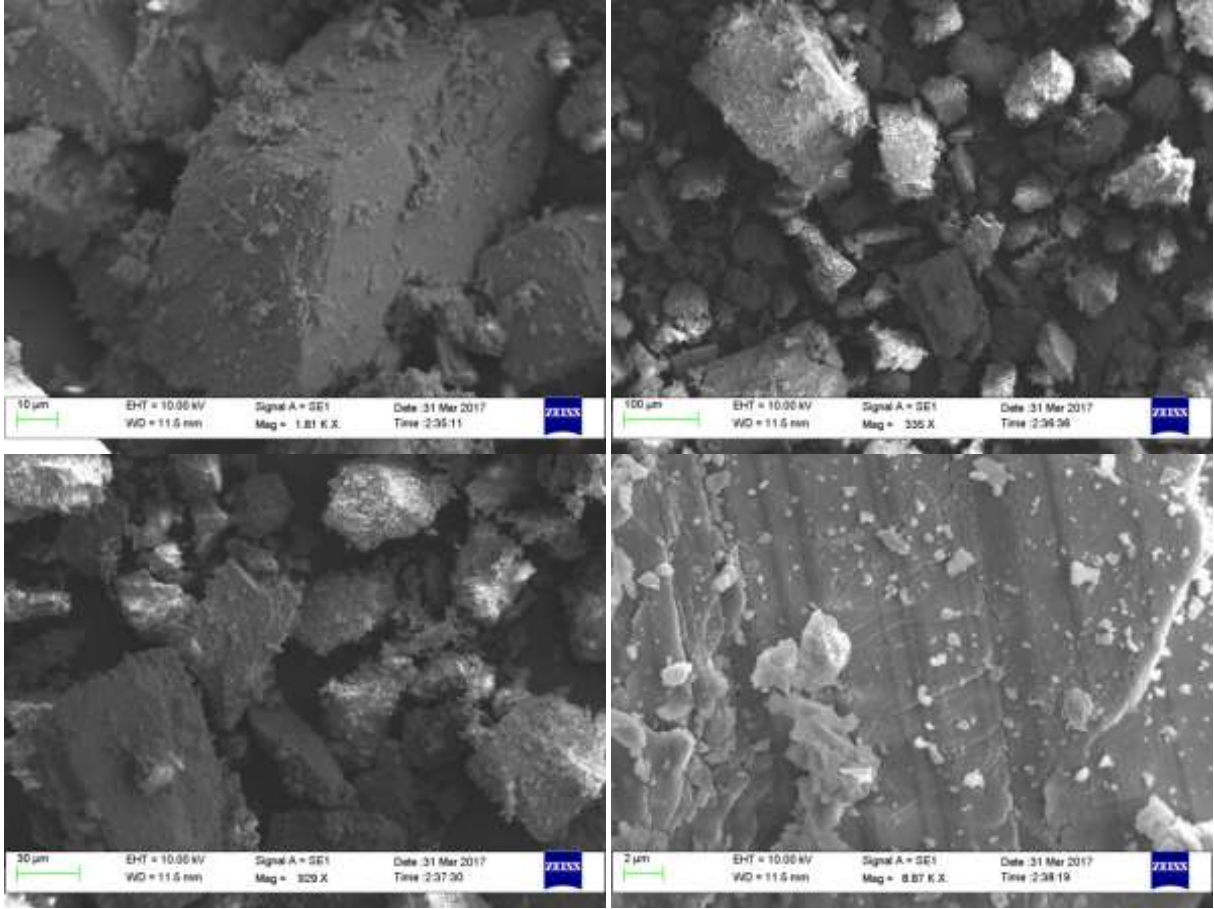
Kalsit örneğinin kimyasal analizi (XRF-Panalytical Zetium) ve görüntü analizi (SEM-Zeiss Evo 40) Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. XRF analizi için besleme numunesi 50 µm boyutuna karıştırmalı bilyalı değirmende öğütülmüştür. Kalsit örneğinin kimyasal analizi (XRF) Tablo 1'de ve Elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan görüntü analizi ise Şekil 2'de gösterilmektedir. Kimyasal analizi incelendiğinde kalsit örneğinde yüksek miktarda CaCO₃ bulunduğu görülmektedir.

Şekil 2 incelendiğinde ise besleme numunesinde yaklaşık olarak 400 µm tane boyutundan başlayarak çok ince boyuta kadar tanelerin bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte iri tanelerin üzerinde çok ince tanelerin toplanmalar halinde bulunduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca SEM analizleri öğütme deneyleri sonucunda elde edilen ürünlere de yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır (Bölüm 3.2).

Tablo 1. Kalsit örneğinin kimyasal analizi

	CaCO ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SrO	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	Na ₂ O
%	98,824	0,489	0,388	0,100	0,065	0,052	0,022	0,025	0,020	0,015

S. ÇAYIRLI, H. S. GÖKÇEN



Şekil 2. Kalsit örneğinin (besleme) taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

2.2. Metot

Öğütme deneyleri hem dik hem de yatay konumda çalışabilen karıştırmalı bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Değirmenin haznesi ve karıştırma kolları çelikten yapılmış olup, soğutma amaçlı su ceketini bulunmaktadır. Karıştırmalı bilyalı değirmenin teknik özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir. Deneylerde 3 mm boyutunda alümina bilyalar kullanılmış olup yoğunlukları $3,6 \text{ g/cm}^3$ ’dür. Enerji ölçümleri Yaskawa-V1000 marka sürücü vasıtasıyla yapılmıştır. Deneylerde öğütme yardımcısı olarak % 80 gliserin ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) ve %20 etilen glikol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) içeren ticari bir sıvı ürün kullanılmıştır.



Şekil 3. Karıştırmalı bilyalı değirmenin dik ve yatay konumdaki görüntüsü

KALSİTİN DİK ve YATAY KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ÖĞÜTÜLMESİNDE ÖĞÜTME YARDIMCISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**Tablo 2.** Karıştırmalı bilyalı değirmenin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Motor gücü	3 kW
Motor devri	3000 devir/dakika
Tank hacmi (Şaft hariç)	1350 cm ³
Tank hacmi (Şaft dâhil)	1200 cm ³
Karıştırma kolu çapı	8,5 cm
Karıştırma kolu sayısı	5 adet

Öğütme deneyleri şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

Önce bilyalar tanka doldurulmuş ve değirmen 90 dev./dk.'da çalıştırılmıştır. Daha sonra öğütülecek kuru malzeme ile birlikte öğütme yardımcısı değirmene eklenmiştir. Son olarak da değirmen kapağı kapatılarak devir istenilen değere getirilmiştir. Belirlenen enerji sonunda değirmen durdurularak boşaltılmış, bilyalar örnekten ayrıldıktan sonra elde edilen ürünün boyut analizi yapılmıştır.

Öğütme yardımcısının etkisini belirlemek amacıyla farklı miktarlarda ticari bir sıvı kimyasal kullanılarak sabit enerji tüketiminde (750 kJ/kg) deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar (dik ve yatay konum için) daha önceki bir çalışmada belirlenen optimum koşullarda (Tablo 3) gerçekleştirilmiştir [36]. Değirmenin dik ve yatay konumundan elde edilen sonuçlar tane boyutu (d₅₀ ve d₉₀) açısından incelenmiş ve deneyler sonunda sıcaklık değişimleri ölçülerek kayıt edilmiştir.

Tablo 3. Dik ve yatay konum için öğütme deney koşulları

Hız (dev./dk.)	Bilya yükü (J)	Bilya boyutu (mm)	Boşluk doldurma oranı (U)	Öğütme yardımcısı miktarı (g/ton)
900	0,60	3	1,00	0
				500
				700
				1000
				2000

Yapılan öğütme deneylerinde bilya doluluk oranı (J), malzeme yükü (fc) ve boşluk doldurma oranı (U) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır [1].

$$\%fc = \frac{\text{Malzeme miktarı/Malzeme yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1.0}{0,6} \quad (1)$$

$$J = \frac{\text{Bilya miktarı/Bilya yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1.0}{0,6} \quad (2)$$

$$\%U = \frac{fc}{0,4 \times J} \quad (3)$$

J: Bilya doluluk oranı (bilya yükü)

fc: Malzeme yükü

U: Boşluk doldurma oranı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Öğütme Yardımcısının Tane Boyutu Üzerine Etkisi

Öğütme yardımcısının etkisini incelemek amacıyla, değirmenin dik ve yatay konumunda deneyler gerçekleştirilmiş, sonuçlar d₅₀ ve d₉₀ boyutları dikkate alınarak değerlendirilmiş, Şekil 4'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

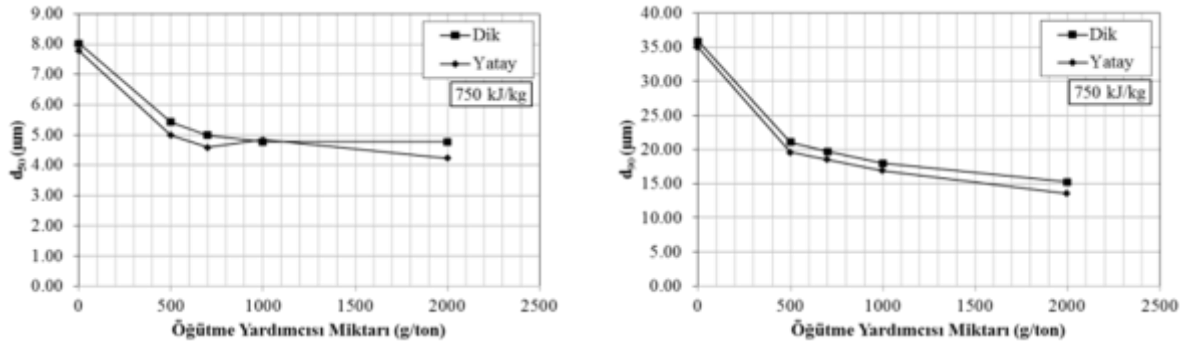
Şekil 4 incelendiğinde hem dik hem yatay konumda yapılan deneylerde öğütme yardımcısı arttıkça d₅₀ ve d₉₀ değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma d₉₀ boyutu açısından bakıldığında daha da yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bununla birlikte; dik konum için d₅₀ ve d₉₀ boyutları öğütme yardımcısız yapılan deneylerle

S. ÇAYIRLI, H. S. GÖKÇEN

karşılaştırıldığında 2000 g/ton öğütme yardımcısı kullanılmasıyla d_{50} boyutunda %40, d_{90} boyutunda ise %60 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır. Yatay konum için ise; d_{50} boyutunda %45, d_{90} boyutunda %62 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

Paramasivam and Vedaraman [20] tarafından yapılan çalışmada on dört adet sıvı öğütme yardımcısının (alkoller, organik solventler, inorganik sıvılar) kalsitin kuru öğütülmesi üzerine etkileri incelenmiş, ürün inceliği, değirmen içerisinde ki akışın arttığı ve topaklanmanın azaldığı tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise dolomitin kuru öğütülmesinde %0,1 oranında berolamin (trietanolamin, dietanolamin ve monoetanolamin karışımı) kullanılmasıyla daha az enerji tüketilerek ürün inceliğinin arttığı gözlenmiştir [21]. Sohoni et al. [19] tarafından yapılan çalışmada ise sadece kalsit gibi bazı yumuşak cevherlerin öğütülmesinde, trietanolamin kullanımının öğütme performansını olumlu yönde etkilediğine işaret edilmiştir [13]. Bir diğer çalışmada ise alkol ve glikol kullanılmasıyla, kuvarsın ve kireçtaşının kuru öğütülmesinde yüzey alanlarının arttığı tespit edilmiştir [22-23]. Literatürde yapılan çalışmalar ile birlikte bu çalışmanın sonuçlarının da uyumlu olduğu görülmektedir.

Ayrıca öğütme yardımcısı ürün boyutu ilişkisi değirmen konumu göz önünde bulundurularak incelendiğinde değirmen yatay konumda çalıştırıldığında her bir öğütme yardımcısı miktarı için daha ince boyutta ürünler elde edilebilmiştir. Cayirli and Gokcen [36] tarafından yapılan çalışmada değirmen yöneliminin kalsitin öğütülmesine etkisi stres yoğunluğu modeli kullanılarak incelenmiş, aynı enerji seviyesinde ve aynı stress yoğunluğu değerlerinde yatay konumda daha ince boyutlu ürünler elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum öğütücü ortam ve malzemenin değirmen içindeki hareketiyle açıklanabilir. Değirmen içerisindeki malzeme dikey karıştırmalı bilyalı değirmenlerde yer çekiminin etkisiyle aşağı doğru radyal olarak hareket eder ve daha sonra merkezden değirmen çeperine itilerek değirmen tabanından yukarı doğru yer değiştirirler [37]. Barley et al. [38] dikey karıştırmalı bilyalı değirmeni bilya hareketi bakımından üç bölgeye ayırmışlar ve alt bölge olarak sınıflandırılan değirmen tabanının yüksek paketleme yoğunluğuna sahip olduğunu bildirmişlerdir. Buna ek olarak bilyalar alt karıştırma kollarına çarparak alt bölgeye doğru itilirler bu nedenle alt karıştırma kollarının altındaki bölgede radyal ve dikey hız önemli ölçüde düşüktür [39]. Yatay karıştırmalı bilyalı değirmenlerde ise yerçekiminin etkisinin sadece düşük hızlarda ve karıştırma mekanizmasının aşağı yönlü hareket ettiği kısımda olduğu bildirilmiştir [40]. Literatürde açıklanan bu öğütücü ortam ve malzeme hareketleri doğrultusunda dikey konumda malzeme yer çekiminin etkisiyle değirmen tabanına doğru hareket etmekte ve değirmen tabanında yoğun paketleme etkisine maruz kalmaktadır. Dikey konumda bu etkiler sonucunda ince boyutlu malzemeler değirmen tabanında kekleşme eğilimi gösterebilirler ve bu durum enerjinin yatay konuma göre daha verimsiz kullanılmasına neden olabilir.

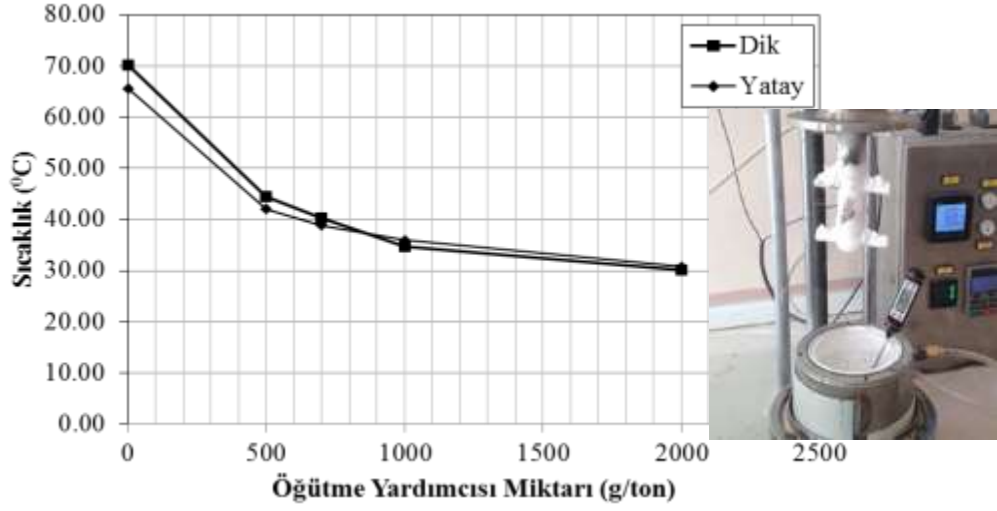


Şekil 4. Değirmenin dik ve yatay konumunda öğütme yardımcısı ürün boyutu ilişkisi

Deneyler sonunda yapılan sıcaklık ölçümlerinde hem dik hem yatay konumda öğütme yardımcısı miktarı arttıkça değirmen içerisinde sıcaklığın düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 5).

Kuru öğütme de malzemenin boyutu azaldıkça (yüzey alanı büyüdükçe) taneler arası etkileşimler artmakta, malzemenin topaklanması ile değirmen içerisinde akış koşulları değişmekte ve böylelikle öğütme olumsuz etkilenmektedir. Bu tespitten yola çıkılarak öğütme yardımcısının etkisinin incelendiği deneylerin sonunda değirmen içerisi malzeme birikimi gözlemlenmiştir. Öğütme yardımcısı miktarı arttıkça hem dik hem yatay konum için değirmen içerisinde malzeme birikiminin azaldığı, özellikle öğütme yardımcısı kullanılmadığında (0 g/ton) malzeme birikiminin (katılaşma-topaklanma) çok fazla olduğu tespit edilmiştir.

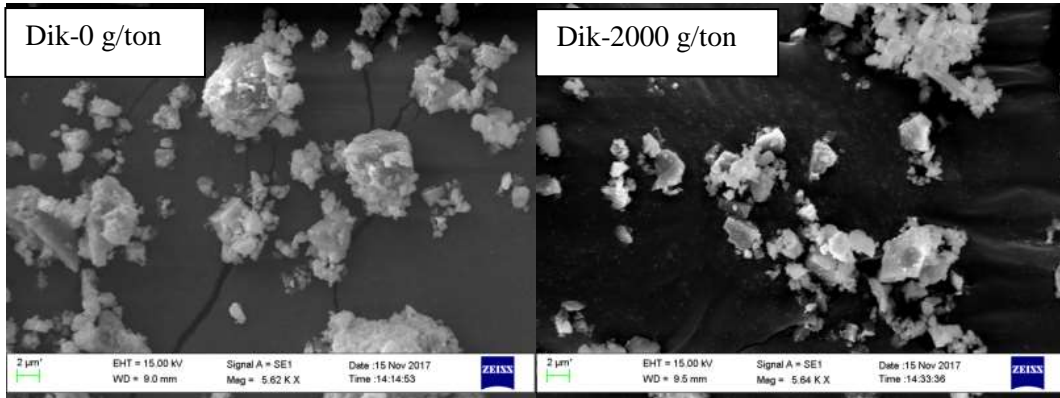
KALSİTİN DİK ve YATAY KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ÖĞÜTÜLMESİNDE ÖĞÜTME YARDIMCISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ



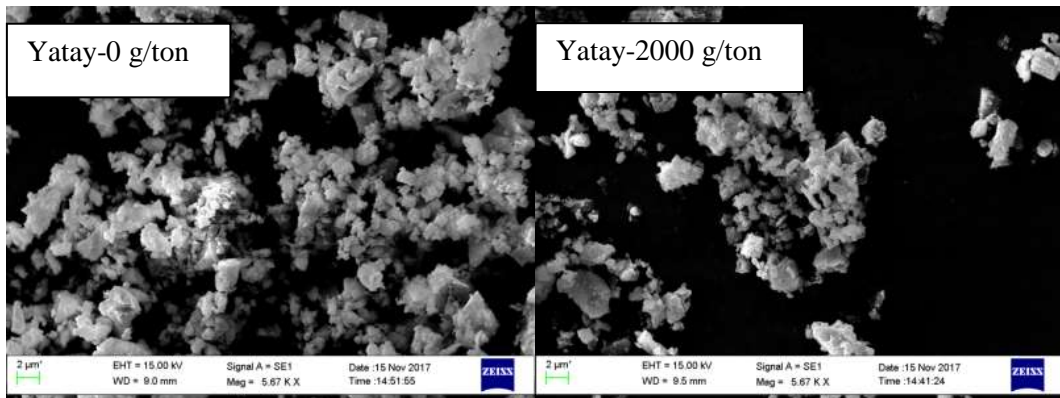
Şekil 5. Öğütme yardımcıları deneyleri sonrasında ölçülen sıcaklık değişimleri

3.2. SEM Analizleri

Öğütme yardımcılarının etkisinin incelendiği deneylerin sonunda, öğütme yardımcı (2000 g/ton) ve öğütme yardımcı kullanılmadan (0 g/ton) yapılan deneylerden elde edilen ürünlerin SEM görüntüleri çekilerek topaklanma durumları tespit edilmiştir (Şekil 6-7).



Şekil 6. Ürünlerin SEM görüntüleri (değirmenin dik konumu)



Şekil 7. Ürünlerin SEM görüntüleri (değirmenin yatay konumu)

S. ÇAYIRLI, H. S. GÖKÇEN

Şekiller incelendiğinde hem dik hem yatay konumda öğütme yardımcısının kullanıldığı (2000 g/ton) deneylerden elde edilen ürünlerin (taneler arası) daha az topaklanma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Hasegawa et al. [23] tarafından yapılan çalışmada kireçtaşının çok ince boyutlara öğütülmesinde öğütme yardımcısının kullanılmasıyla taneler arası topaklanmaların azaldığı SEM görüntüleri ile belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada da benzer bulgulara ulaşılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Niğde bölgesi kalsitlerinin dik ve yatay karıştırmalı bilyalı değirmende (laboratuvar ölçekli) mikronize öğütülmesinde öğütme yardımcısının etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında ve sonunda elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

► Hem dik hem yatay konumda yapılan deneylerde öğütme yardımcısı arttıkça d_{50} ve d_{90} değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte; dik konum için d_{50} ve d_{90} boyutları öğütme yardımcısız yapılan deneylerle karşılaştırıldığında 2000 g/ton öğütme yardımcısı kullanılmasıyla d_{50} boyutunda %40, d_{90} boyutunda ise %60 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır. Yatay konum için ise; d_{50} boyutunda %45, d_{90} boyutunda %62 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

► Öğütme yardımcısının etkisinin incelendiği deneylerin sonunda değirmen içerisi görüntülenmiş malzeme birikimi gözlemlenmiştir. Öğütme yardımcısı miktarı arttıkça hem dik hem yatay konum için değirmen içerisinde malzeme birikiminin azaldığı, özellikle öğütme yardımcısı kullanılmadığında (0 g/ton) malzeme birikiminin (katılma-topaklanma) çok fazla olduğu tespit edilmiştir.

► Öğütme yardımcısının etkisinin incelendiği deneylerin sonunda, öğütme yardımcı (2000 g/ton) ve öğütme yardımcısı kullanılmadan (0 g/ton) yapılan deneylerden elde edilen ürünlerin SEM görüntüleri çekilerek topaklanma durumları tespit edilmiştir. Hem dik hem yatay konumda öğütme yardımcısının kullanıldığı (2000 g/ton) deneylerden elde edilen ürünlerin (taneler arası) daha az topaklanma eğiliminde olduğu gözlenmiştir.

► Değirmenin çalışma konumu karşılaştırıldığında yatay konumunda çalıştırıldığında daha ince tane boyutu elde edildiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmayı FEB 2016/23 BAGEP no'lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemenin temini için MİKRON'S Mikronize Mineral End. ve Tic. A.Ş.'ye ve tane boyut dağılımı analizlerinin yapılmasında sağlamış oldukları imkânlardan dolayı Niğtaş A.Ş.'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- [1] AUSTIN, L.G., KLIMPEL, R.R. AND LUCKIE, P.T., "Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling", SME, New York, 1984.
- [2] EL-SHALL, H., SOMASUNDARAN, P., "Mechanisms of Grinding Modification by Chemical Additives: Organic Reagents", Powder Technology, 38, 267-273, 1984.
- [3] REHBINDER, P.A., "Hardness Reduction through Adsorption of Surface Active Agents", Physik, V., 72, 191-205, 1931.
- [4] WESTWOOD, A.R.C., GOLDHEIM, D.L., "Occurrence and Mechanism of Rehbinder Effects in CaF_2 ", J. Appl. Physics, 39, 3401-3405, 1968.
- [5] ROSE, H.E., SULLIVAN, R.M.E., "A Treatise on the Internal Mechanics of Ball, Tube and Rod Mills", Chemical Publishing Company, New York, NY, 1958.
- [6] SAVAGE, K.L., AUSTIN, L.G., SUN, S.C., "Effect of The Environment During The Ultrafine Comminution of Silicon Carbide in A Laboratory Vibratory Mill", Trans. AIME, 225, 89-96, 1974.
- [7] KLIMPEL, R., MANFROY, W., "Development of Chemical Grinding Aids and Their Effect on Selection-for-Breakage and Breakage Distribution Parameters in The Wet Grinding of Ores", XIIth Int. Min. Proc. Cong., Sao Paulo, Brazil, 1977.
- [8] HANNA, K.M., GAMAL, A.E., "The Effect of Dispersing Agents on Fine Grinding of Limestone", Powder Technology, 17, 19-25, 1977.

KALSİTİN DİK ve YATAY KARIŞTIRMALI DEĞİRMENDE ÖĞÜTÜLMESİNDE ÖĞÜTME YARDIMCISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

- [9] ÖZKAN, A., YEKELER, M., "Palp Reolojisinin Öğütme İşlemine Etkisi ve Kontrolü", Madencilik Dergisi, 40-47, 2001.
- [10] LOWRISON, G.C., "Crushing and Grinding", CRC Press Inc., Cleveland, OH, 1979.
- [11] EL-SHALL, H., SOMASUNDARAN, P., "Physico-Chemical Aspects of Grinding: A Review of Use of Additives", Powder Technology, 38, 275-293, 1984.
- [12] ZHENG, J., HARRIS, C.C., SOMASUNDARAN, P., "The Effect of Additives on Stirred Media Milling of Limestone", Powder Technology, 91, 173-179, 1997.
- [13] WANG, Y., FORSSBERG, E., "Enhancement of Energy Efficiency for Mechanical Production of Fine and Ultra-Fine Particles in Comminution", China Particuology, 5, 193-201, 2007.
- [14] TOPRAK, N.A., "Öğütme Yardımcılarının ve Dayanım Arttırıcılarının Devre Performansı ve Çimento Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması", Hacettepe Üniv., Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [15] LOCHER, F.W., SEEBACH, H.M., "Influence of Adsorption on Industrial Grinding", Ind. & Eng. Chem. Des. Develop., 11(2), 190-197, 1972.
- [16] ORUMWENSE, O.A. AND FORSSBERG, E., "Superfine and Ultrafine Grinding-A Literature Survey", Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 11, 107-127, 1992.
- [17] JIMENEZ, S.J.L., "A Detailed Study on Stirred Ball Mill Grinding", The University of Utah, Department of Metallurgy and Metallurgical Engineering, Ph.D. Dissertation, 1981.
- [18] FUERSTENAU, D.W., "Grinding Aids", Kona, 13, 5-18, 1995.
- [19] SOHONI, S., SRIDAR, R. AND MANDAL, G., "The Effect of Grinding Aids on the Fine Grinding Limestone, Quartz and Portland Cement Clinker", Powder Technology, 67(3), 277-286, 1991.
- [20] PARAMASIVAM, R., VEDARAMAN, R., "Effect of Physical Properties of Liquid Additives on Dry Grinding", Powder Technology, 70, 43-50, 1992.
- [21] FORSSBERG, E., WANG, Y.M., PERSSON, H., "Dry Fine Grinding of Dolomite with the Sala Agitated Mill SAM 7.5-Effects of Grinding Media and Grinding Additive", Aufbereitungs-Technik, 36, 211-217, 1995.
- [22] HASEGAWA, M., KIMATA, M., SHIMANE, M., SHOJI, T., TSURUTA, M., "The Effect of Liquid Additives on Dry Ultrafine Grinding of Quartz", Powder Technology, 114, 145-151, 2001.
- [23] HASEGAWA, M., KIMATA, M. AND YAGUCHI, M., "Effect and Behavior of Liquid Additive Molecules in Dry Ultrafine Grinding of Limestone", (translated by KONA no: 24, 2006) Japan, J. Soc. Powder Technology, 178-184, 2005.
- [24] TOPRAK, N.A., ALTUN, O., AYDOĞAN, N., BENZER, H., "The Influences and Selection of Grinding Chemicals in Cement Grinding Circuits", Construction and Building Materials, 68, 199-205, 2014.
- [25] ALTUN, O., TOPRAK, N.A., BENZER, H., ENDERLE, U., "Utilization of Grinding Aids in Dry Horizontal Stirred Milling", Powder Technology, 286, 610-615, 2015.
- [26] TOPRAK, N.A., ALTUN, O., BENZER, H., "The Effect of Grinding Aids on Modelling of Air Classification of Cement", Construction and Building Materials, 160, 564-573, 2018.
- [27] MANKOSA, M.J., ADEL, G.T. AND YOON, R.H., "Effect of Operating Parameters in Stirred Ball Mill Grinding of Coal", Powder Technology, 59, 255-260, 1989.
- [28] SIVAMOCHAN, R., VACHOT, P., "A Comparative Study of Stirred and Vibratory Mills for the Fine Grinding of Muscovite, Wollastonite and Kaolinite", Powder Technology, 61 (2), 119-129, 1990.
- [29] GAO, M.W. AND FORSSBERG, E., "A Study on the Effect of Parameters in Stirred Ball Milling", Int. J. of Miner. Proc., 37, 45-59, 1993.
- [30] WANG, Y. AND FORSSBERG, E., "Dispersants in Stirred Ball Mill Grinding", Kona, Particle and Powder, 13, 67-77, 1995.
- [31] TUUNILA, R., "Ultra Fine Grinding of FGD and Phosphogypsum with an Attrition Bead Mill and a Jet Mill Optimization and Modelling of Grinding and Mill Comparison", Lappeenranta University of Technology, Doctoral Dissertation, 1997.
- [32] CHOI, H., LEE, W., KIM, D.U., KUMAR, S., KIM, S.S., CHUNG, H.S., KIM, J.H. AND AHN, Y.C., "Effect of Grinding Aids on the Grinding Energy Consumed During Grinding of Calcite in a Stirred Ball Mill", Minerals Engineering, 23, 54-57, 2010.
- [33] ÇAYIRLI, S., "Mikanın Karıştırmalı Bilyalı Değirmende Öğütülmesinde Öğütme Parametrelerinin Etkisinin Araştırılması", Eskişehir Osmangazi Ü. Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, 2014.
- [34] GOKCEN, H.S., CAYIRLI, S., UCBAŞ, Y., KAYACI, K., "The Effect of Grinding Aids on Dry Micro Fine Grinding of Feldspar", International Journal of Mineral Processing, 136, 42-44, 2015.
- [35] TORAMAN, O.Y., CAYIRLI, S., UCURUM, M., "The Grinding-Aids Effect of Moisture, Triethanolamine (TEA) and Ethylene Glycol (EG) on Grinding Performance and Product Quality of Calcite", International Journal of Engineering Research & Science (IJOER), 2(12), 121-128, 2016.

S. ÇAYIRLI, H. S. GÖKÇEN

- [36] CAYIRLI, S., GOKCEN, H.S., "The Effect of Stirred Mill Orientation on Calcite Grinding", 15th European Symposium on Comminution & Classification / İzmir, Turkey, 2017.
- [37] RYDIN, R.W., MAURICE, D., COURTNEY, T.H., "Milling Dynamics: Part 1. Attritor Dynamics: Results of a Cinematographic Study", Metall. Trans., 24A, 175–185, 1993.
- [38] BARLEY, R.W., CONWAY-BAKER, J., PASCOE, R.D., KOSTUCH, J., MCLOUGHLIN, B., PARKER, D.J., "Measurement of the Motion of Grinding Media in a Vertically Stirred Mill Using Positron Emission Particle Tracking (PEPT) Part II", Minerals Engineering, 17, 1179-1187, 2004.
- [39] PINKNEY, S.Z.R., RILEY, M., ROWSON, N.A., BLACKBURN, S., SKUSE, D., "Positron Emission Particle Tracking in a Vertical Stirred Media Mill", 23rd World Mining Congress, Montreal, Canada, 2013.
- [40] VAN DER WESTHUIZEN, A.P., GOVENDER, I., MAINZA, A.N., RUBENSTEIN, J., "Tracking the Motion of Media Particles Inside an IsaMill™ Using PEPT", Minerals Engineering, 24, 195-204, 2011.