

Farklı Değirmenlerde Öğütülmüş Talk Mineralinin Tane Şekli ile İslanabilirliğinin Değişimi

U. Ulusoy & M. Yekeler

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

C. Hiçyılmaz

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

ÖZET: Bu çalışmada bilyalı, çubuklu ve otojen değirmenlerde öğütülmüş, önemli bir endüstriyel hammadde olan talk minerali tanelerinin şekil karakterizasyonu SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) kullanılarak araştırılmış ve 2 boyutlu olarak tane izdüşümlerinin ölçülmesiyle uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi şekil özellikleriyle ifade edilmiştir. Görüntü analizi için her bir öğütme ürününden yaklaşık 140 adet partikül ölçülmüştür. Farklı değirmenlerle öğütülmüş talk mineralinin ıslanabilirlik derecesi (γ) temas açısı ölçüm goniometresi kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen şekil özellikleri ve ıslanabilirlik dereceleri arasında korelasyonlar kurulmuştur. Sonuçlar uzama oranı ve yassılığın çalışılan talk mineralinin ıslanabilirliğini azaltırken yuvarlaklık ve göreceli genişliğin artırdığını göstermiştir. Bir başka ifadeyle, daha uzun tanelerden oluşan mineral ürünleri daha hidrofobik davranmıştır.

ABSTRACT: In this study, shape characteristics of talc mineral (commonly known as an important industrial mineral) particles produced by ball, rod and autogenous mills were investigated using SEM (Scanning Electron Microscope) and expressed by the shape properties such as elongation, flatness, roundness and relative width by measuring on the particle projections in two dimensions (2D). About 140 particles were measured for image analysis from each mill product. The degree of wettability (γ) of talc mineral produced by three different mills, were determined by the contact angle measurement technique using a contact angle goniometer. Some correlations were established between the shape properties and the degree of wettability. The results have shown that elongation and flatness helped to decrease the wettability, while roundness and relative width caused an increase in the wettability of the talc mineral studied. In other words, the mineral products having more elongated particles behaved more hydrophobic.

1. GİRİŞ

Öğütme, istenilen ürünü üretmek ve darbe, çentme, aşındırma kombinasyonlarıyla cevheri kırmak için genellikle aktarılan ortamla dönen değirmenler içinde yapılmaktadır (Rowland, ve Kjos, 1997). Farklı öğütme metodlarıyla öğütülen tanelerin şekillerinin de farklı oldukları söylenmektedir (Oja, ve Tuunila, 2000).

Tanelerin davranışında şekil bir faktör olduğundan, farklı öğütme ürünlerinin şekillerindeki farklılıklar da, taneleri içeren herhangi bir proseste veya mineral kazanım sistemlerinde önem arz etmektedir (Durney ve Meloy, 1986).

Cevher hazırlamada, köpüklü yüzdürme, jigleme, eleme, klasifikasyon, sarsıntılı masa, ağır ortamla ayırma, siklon ayırma ve diğer pek çok birim tane şeklinden etkilenmektedir. Mineraller birbirlerinden sadece mineral özelliklerine göre değil aynı zamanda tane şekline göre de ayrılmaktadırlar (Bozkurt ve ark., 1998).

Her yıl yüksek miktarlarda tane, kırma ve öğütme ile üretilmektedir. Şekil, tanelerin kimyasal, fiziksel ve yüzey özelliklerini etkilediğinden, istenilen amaçlar için değirmen ürünlerinin kullanımı ve sonraki işlemlerde başarı derecesi ürünlerin şekillerine bağlıdır.

Öğütme ve proses süresince elde edilen ürünlerin şekil ve morfolojisi, minerallerin öğütme ve zenginleştirmede nasıl davranabileceklerini ve aynı zamanda minerallerin prosese nasıl cevap vereceklerini tahmin etmek için görüntü analiz sistemleriyle incelenmelidir (Petruk, 1986; Petruk, 1988; Petruk, 1989 Jones, 1987).

Katı yüzeylerin sıvılar tarafından ıslanması birçok uygulama alanı bulmuş ve hem uygulamalı hem de temel araştırmalar için yıllardır önemli bir alan teşkil etmiştir (Parry ve ark., 1996). Bu sebepten, katıların veya mineral tanelerinin ıslanması flotasyon, aglomerasyon, sıvı-katı ayrımı ve tozdan arındırma gibi birçok teknolojik prosesi etkileyen önemli bir parametre olduğu bilinmektedir (Fuerstenau ve Williams, 1987). Benzer olarak, ıslanma özellikleri tanesellerin davranışını ve performansını da etkilemektedir. Minerallerin ıslanma davranışını değerlendirmek için iyi bilinen temas açısı ölçümü ve flotasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Zisman, 1964; Williams ve Fuerstenau, 1987).

Talk [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] kimyasal formüle sahip en yumuşak mineral olan bir sulu magnezyum silikattır. Talk hayvan yemi ve gübreden kozmetik, deterjan, teknik seramik, plastik ve kağıda kadar dolgu maddesi olarak geniş bir uygulama alanında kullanılmakta olduğundan, bu çok yönlülük (versatilité) talkın aynı derecede kimyasal ve fiziksel özelliklerindeki çeşitlilikten yüzündendir. Talk hidrofobik, kimyasal olarak inört, organofilik, tabakalı ve düşük elektriksel ve yüksek termal iletkenliğe sahiptir (Taylor, 2003). Bunlara ilaveten, öğütme ve flotasyon ile ilgili proseslerde çok önemli olan talkın tane şekli ve ıslanabilirlik özelliklerinin de belirlenmesine gerek vardır. Bu sebepten, bu çalışma sadece uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık, göreceli genişlik ve ıslanabilirlik gibi özelliklerin belirlenmesinin yanında tane şekli ve ıslanabilirlik arasındaki muhtemel korelasyonları da ortaya koymaktadır (Ulusoy, 2003).

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Tane Şekli

Mineral taneleri giderek küçüldükçe, onların yüzeyleri de büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten, yüzey özellikleri ince tane zenginleştirme

uygulamalarını açıkça etkileyecektir. Boyut küçültmenin yeni yüzeyleri oluşturması ara yüzey alanını artırdığından herhangi bir prosese etkili olacaktır (Hogg, 1980).

Tane şekil karakterizasyonu hemen hemen tüm uygulamalı bilim dallarında, mühendislikte, metalürji ve seramikte çok önemli bir analitik teknik olma potansiyeline sahiptir (Meloy ve ark., 1979). Tane şekli toz sıkıştırması, yığın yoğunluğu, porozite, permabilite, kohezyon, akabilirlik, aşındırma, sıvılarla etkileşme ve pigmentlerle kaplanmayı etkileyen temel bir toz özelliğidir ve bu ilişkiler üzerine çok az kantitatif çalışma yapılmıştır. Şekil tayini üzerine birçok makale yazılmasına rağmen toz davranışı ve son-ürün özelliklerinin ölçümüyle ilgili çok az makale mevcuttur (Ailen, 1997).

Şekil tanımlayıcıları birçok farklı seviyelerden şekli tanımlayabilir, fakat görüntüdeki boyut ve konum açısından değişmemelidir. Bu sebepten, universal bir metot yoktur ve şekli bazı ayrıntılarıyla karakterize etmek için bir çok tanımlayıcı gerekmektedir. Çoğu görüntü analiz paketlerinde mevcut olan, basit bir karakterizasyon için genel olarak kullanılan bir çok makroskopik tanımlayıcı bulunmaktadır: uzama oranı, dairesellik, vs. (Pons ve ark., 1999).

Görüntü analizi kantitatif bir şekil ve boyut analizi yöntemidir ve endüstriyel kristalizasyon prosesinde ürün kalite kontrolü yoluyla kullanılabilir. Bir tanenin kontur çizgisi veya 2 boyutlu görüntüsü tane şekli hakkında birçok bilgi vermektedir ve 3 boyutlu görüntüden daha kolaydır. Fakat, 3 boyutlu analize göre aynı istatistiksel güvenilirlikte bilgi için daha fazla örnek popülasyonuna gerek vardır.

2.2. Islanabilirlik Özellikleri

Katı tanelerin hidrofobik ve hidrofilik özelliklerinin köpüklü yüzdürme, yağ aglomerasyonu ve flokülasyon gibi bir çok teknolojik prosese anahtar role sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebepten, ıslanma özellikleri tanesellerde kullanılan ürünlerin prosesdeki davranışını da etkilemektedir. Katıların hidrofobitesini tahmin etmek için kullanılan çok sayıda teknik bulunmaktadır. En önemli iki teknik temas açısı ölçümü ve flotasyon yöntemidir.

Islanabilirliği tarif eden bir parametre de 9 temas açısıdır. Zısmın'ın getirdiği temas açısı ölçüm yönteminde, yüzey gerilimi önceden belirlenen bir sen sıvı veya çözelti kullanılarak katıla; in temas açısı ölçülmektedir. Elde edilen temas açılarının (0) kosinüsüne karşı sıvıların su-hava ara yüzey gerilimi (YSH) eğrisi çizilmektedir. $\cos 8 = 1$ olduğu nokta YSH değerinin ekstrapolasyonu, Şekil 1 'de gösterildiği gibi katının kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değeri olarak bulunmaktadır (Shafrin ve Zısmın, 1960). Bu değerden daha küçük yüzey gerilimine sahip çözeltilerle mineral ıslanmakta ve hidrofilik davranmaktadır, bir başka ifadeyle yüzeyliliğini kaybetmektedir. Katı-sıvı-hava ara yüzeyleri arasında iyi bir temas açısının olması, yani $\theta > 90$ olması için kullanılan sıvının (γ_{sH}) yüzey geriliminin γ_c değerinden büyük olması gerekmektedir. Bu da flotasyonun başarılı olmasını gerektiren koşullardan birincisidir. Temas açısı arttıkça, yüzeyin hidrofobitesisi de artmaktadır (Yekeler ve Yazar, 1994).

3. MATERİYAL VE METOT

3.1 Mineral

Bu çalışmada, Sivas Tecer yöresinden sağlanan ve %59.52 SiO_2 ve %30.97 MgO (Çizelge 1) yani yaklaşık olarak %94 talk içeren talk numunesi kullanılmıştır. Şekil 2'de verilmiş olan örneğin kimyasal (SEM) ve mineralojik (XRD) analizleri şeklin mineral kompozisyonundan etkilenmemesi için yeteri kadar saf olduğunu göstermektedir.

3.2 Öğütme Testleri

Tüm öğütme testleri kuru koşullarda çalışılmıştır. Bilyalı değirmen öğütmesi için 200 mm çapında ve 184 mm uzunluğunda laboratuvar ölçekli bir bilyalı değirmen ile birlikte 30 mm ve 26 mm çaplara sahip yaklaşık 5475 gr paslanmaz çelik bilya kullanılmıştır. Değirmene beslenen malzeme 374.2 g ağırlığında ve -850+600 /im boyutundadır.

Çubuklu değirmen öğütme testleri 200x280 mm laboratuvar ölçekli bir çubuklu değirmende yapılmıştır. Çubuklu değirmende öğütme süresince, öğütme ortamı olarak 22.600 kg ağırlığında, 29, 24 ve 19 mm çaplarında paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Besleme boyutu ve miktarı sırasıyla -4 750+3 350 /im ve 759.6 g'dır.

Otojen öğütme için ise, 420x225 mm lastik astarlı laboratuvar ölçekli otojen değirmen kullanılmıştır. Otojen öğütme testleri için -80+50 mm (3000 g) öğütme medyası ve -10 000+1000 /im (2000 g) besleme malzemesi kullanılmıştır.

32 dakika bilyalı öğütme, 16 dakika çubuklu öğütme ve 256 dakika otojen öğütmeyle yaklaşık olarak aynı miktarda -250 /im tane boyu üretildiği için optimum öğütme süresi olarak kullanılmıştır. Belirlenen optimum öğütme sürelerinde öğütülmüş, büyük oranda 250 /im tane boyutundan ince malzeme içeren numuneler daha sonra 45 /ım'luk elekten elenerek -250+45 /im tane boyu aralığında malzemeler sonraki SEM ve temas açısı ölçümlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

3.3. İki-Boyutlu SEM Ölçümleriyle Tanelerin Şekillerinin Karakterizasyonu

Farklı ortamlarda öğütülmüş (bilyalı, çubuklu ve otojen) talk mineralinin şekil özelliklerini 2 Boyutlu (2-D) olarak belirlemek için Jeol JSM-6400 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) kullanılmıştır. SEM ölçümleri için önceki kısımda da bahsedildiği gibi -250+45/ım boyutunda tanelerden oluşan fraksiyon kullanılmıştır. Temsili olarak alınmış her numune küçük plakalara dökülerek iletkenliğin sağlanması amacıyla altınla kaplanmıştır. Mikroskopla uygun büyütme yapılarak her numuneye ait farklı bölgelerden 4 adet toplu resim (mikrograf) çekilmiştir. Her bir mikrograf daha sonra bir tarayıcı (scanner) yardımıyla dijital görüntülere (jpeg formatında) dönüştürülmüştür.

Tanelerin eksenlerinin ölçülmesi için COREL Draw 10.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Her bir görüntü (image) bu programa alınarak (import) görüntüler üzerinde hassas bir eksen ölçümü yapılabilmesi için yaklaşık %400 büyütmeyle çalışılmıştır. Her görüntüde sınırlar içinde kalan, birbiri üzerine binmemiş ve sınırları net olarak görülebilen taneler ele alınmıştır. Tanelerin şekil özelliklerinin karakterizasyonu tanelerin izdüşümleri veya silüetlerinin analizine dayanmaktadır. Tanenin izdüşümünün elips şeklinde olduğu varsayılarak (Forssberg ve Zhai, 1985), Şekil 3'te görüldüğü gibi her bir tanenin uzun (L) ve kısa (W) eksenleri mm cinsinden ölçülüp Microsoft Excel bilgisayar programına veri olarak aktarılmıştır. Her bir tanenin her bir eksenine ait 5 ölçüm alındıktan sonra her eksen için 5

değerin ortalaması bulunmuş, görüntülerin ölçekleri dikkate alınarak gerçek uzunluk ve genişlik değerleri mikron cinsinden hesaplanmıştır. Böylece şekilsel parametrelerin hesaplanması için temel oluşturacak L ve W değerleri bulunmuştur.

Aynı prosedür her bir öğütme ürününden yaklaşık 139 tane için uygulanmıştır. Böylece, aşağıdaki eşitlik 1 ve 2 de gösterildiği gibi uzunluk ve genişlik temel alınarak tane izdüşümünün alan (A) ve çevre (P) değerleri hesaplanabilmektedir: (Beyer, 1978).

$$A = \frac{\pi LW}{4} \quad (1)$$

$$P = \frac{\pi}{2} \left[\frac{3}{2}(L + W) - \sqrt{LW} \right] \quad (2)$$

Bu temel değerlere göre uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi 4 şekil parametresi (eşitlik 3, 4, 5 ve 6) farklı değirmenlerde öğütülmüş tanelerin şekil karakterizasyonu için kullanılmıştır (Heywood, 1947; Hausner, 1966; Hagerman ve ark., 1980; Serra, 1982; Forssberg ve Zhai, 1985).

$$\text{Uzama oranı (E)} = \frac{L}{W} \quad (3)$$

$$\text{Yassılık (F)} = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (4)$$

$$\text{Yuvarlaklık (R)} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

$$\text{Göreceli genişlik (RW)} = \frac{W}{L} \quad (6)$$

Eşitlik (4) ve (5)'ten görülebileceği gibi, yassılık aslında yuvarlaklığın tersidir. Yuvarlaklık daire için maksimum değeri yani 1 değerini alır. Tersine, yassılık daire için minimum değere sahiptir, yani 1'e eşittir. Göreceli genişlik ve yuvarlaklık uzama oranı azaldıkça artmakta, bir başka deyişle, bu fonksiyon azaldıkça tane izdüşümü daha da yuvarlaklaşmaktadır. Diğer taraftan, yassılık fonksiyonu uzama oranı arttıkça artmaktadır. Yani, bu fonksiyon değeri arttıkça, daha taneler daha da yuvarlaklaşmaktadır.

3.4. Islanabilirlik Testleri

3.4.1. Çözeltiler

Kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerini elde etmek için farklı konsantrasyonlarda (%w/w) methanol çözeltileri hazırlanmıştır (Yarar ve Kaoma, 1984). Methanol-saf su karışımıyla hazırlanan çözeltilerin yüzey gerilimleri (YSH) damla-ağırlık ölçümü tekniğiyle belirlenmiştir (Padday, 1968).

3.4.2. Temas Açısı Ölçümü

Talk minerali için kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri sessile drop yöntemi kullanan Rame-Heart Inc.'in 100 NRL modelindeki Contact Angle Goniometer cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3 dakika manyetik karıştırıcıda kondüsyonlanan -250+45 μm boyutundaki her bir öğütme ürününden biriktirilen talk numunelerinin etüvde nemi büyük oranda uçurulduktan sonra yaklaşık 1.5 g.lık malzeme (cevherin cinsine bağlı olarak malzemenin miktan ve sıkıştırma oranı sabit tutulmuştur) presle sıkıştırılarak 1.25 cm çapında peletler haline getirilmiştir. Hazırlanan her bir pelet goniometre platformuna yerleştirilip üzerine damlalıklı yüzey gerilimi bilinen methanol çözeltilerinden 1 damla (damla büyüklüğü hep aynı olacak şekilde) damlatılmıştır. Damlanın görüntüsü üzerine goniometrenin mikroskobu odaklanarak, pelet yüzeyindeki damlanın her iki kenarından temas açısı okunmuştur. Okunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Her bir numuneden üç ölçüm alınıp bunların ortalaması bulunup bu değerlerin kosinüsüne karşı YSH değerlerinin değişimi çizilerek γ_c değeri elde edilmiş ve ıslanma verisi olarak elde edilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çizelge 2 farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin şekil özelliklerinin SEM tekniğiyle belirlenmiş değerlerini göstermektedir. Her bir değirmen ürününden ortalama olarak 139 tane ölçüldükten sonra, alan ve çevre değerleri (1) ve (2) no'lu eşitliklere göre hesaplanıp, uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik gibi şekil özellikleri sırasıyla (3, 4, 5 ve 6) no'lu eşitlikte verildiği gibi bulunmuştur. Şekil 4 SEM tekniğiyle

belirlenmiş şekil özelliklerine ait sonuçların karşılaştırılmasını göstermektedir. Şekil 4 (a-d)'de gösterildiği gibi, çubuklu öğütme ürün en yüksek uzama oranı ve yassılığa sahip iken, bilyalı değirmen ürünü en düşük değerlere sahip olmuştur. Buna karşın, bilyalı değirmen en yüksek yuvarlaklık ve göreceli genişlik değerleri üretirken, çubuklu değirmen en düşük değerleri üretmiştir. Bir başka ifadeyle, Şekil 5 (a-b)'de gösterildiği gibi bilyalı değirmen ürünleri daha yuvarlak olurken, çubuklu değirmen ürünleri daha uzun şekle sahiptir. Şekil 5 (c-d)'de gösterildiği gibi SEM mikrografından alınan temsili görüntüler de bu ifadeleri desteklemektedir. Bu sonuç otojen, bilyalı ve çubuklu öğütmenin farklı öğütme mekanizmalarına sahip olmasıyla açıklanabilmektedir. Bilyalı ve çubuklu değirmenlerde darbeyle boyut küçültme etkindir. Aşındırma (abrasion) ise öğütme şarjı ve astarların aşınmasına sebep olduğundan negatif bir faktördür. Otojen değirmenlerde ise serbestleşme esasen düşük hızlardaki aşındırma yüzündendir, darbe ve atrisyon (attrition) şeklinde aşındırma daha az önem arz etmekte hatta bazı durumlarda, beslenen cevherin özelliğine bağlı olarak öğütme prosesine zararlı olmaktadır (Digre, 1988).

Temas açısı yöntemiyle belirlenmiş değirmen ürünlerinin y_c değerleri Şekil 6 (a-c) ve Çizelge 3'de verildiği gibi, 30-32 mN/m arasında değişmiştir. Çizelge 3'ten açıkça görüleceği gibi, en yüksek ıslanabilirlik değerleri bilyalı öğütme ürününe aittir. Buna karşın, çubuklu değirmen en düşük Y_c değerlerine sahip olmuştur. Bu bulgular önceki literatür bulgularıyla uyumludur (Garshva ve ark., 1978; Fowkes ve Harkins, 1940; Kelebek, 1984).

SEM (iki boyutlu) ölçümleriyle belirlenmiş şekil özellikleri, temas açısı yöntemiyle belirlenmiş kritik ıslanma yüzey gerilimi y_c değerleriyle (bakınız Çizelge 2, ve 3) ilişkilendirilmiştir. Kritik ıslanma yüzey gerilimi (y_c) değerleriyle uzama oranı (E), yassılık (F), yuvarlaklık (R) ve göreceli genişlik değerleri arasında bulunan ilişkiler Şekil 7 (a-d)'de gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, y_c değerleri E ve F değerleri azaldıkça artmakta ve R ve RW değerleri arttıkça artmaktadır. Yani, daha az yuvarlak ve göreceli genişliğe ve daha çok uzama oranı ve yassılığa sahip tane yüzeyleri daha fazla hidrofobik olmaktadır. Bu sebepten, daha uzun ve yassı taneler daha az ıslanabilirliğe yada daha fazla

hidrofobisiteye sahiptir. Bu sonuçlar verilen literatürle uyumludur (Princen, 1969; Huh ve Mason, 1974; Hoberg ve Schneider, 1978; Schulze, 1984; Forsberg ve Zhai, 1985; Wotruba ve ark., 1991; Yazar ve Aksu, 1997). Bu prizmatik tanelerin yuvarlak olan tanelere kıyasla daha güçlü adhezyon kuvvetine sahip olması ve sonucunda daha büyük temas alanı ve daha uzun temas çizgilerine sahip olması yüzündendir (Oliver ve ark., 1977). Bu korelasyonlar Çizelge 4'de korelasyon katsayıları (R^2) ile birlikte ampirik bağıntılarda görülebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan çıkarılan başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışmada geliştirilen yöntemler endüstride yaygın bir kullanım alanı bulan talk minerali için kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (y_c) ile tane şekil parametreleri (E, F, R, RW) arasındaki korelasyonların kurulmasını mümkün kılmıştır.
- Yüzey özellikleri (yani, uzama oranı, yassılık, yuvarlaklık ve göreceli genişlik) ile kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (y_c) arasında kurulan korelasyonlar, " $y_c = a$ (yüzey özelliği) + b" tipinde olup, korelasyon katsayıları (R^2) 0.86'dan daha büyük çıkmıştır.
- Tanelerin uzama oranı ve yassılığı azaldıkça ıslanabilirlikleri artmıştır.
- Tanelerin yuvarlaklık ve göreceli genişlikleri arttıkça ıslanabilirlik derecesi de artmıştır.
- Daha yüksek y_c değerlerine sahip daha uzun taneler değirmen tipinden bağımsız olarak daha yüksek hidrofobisite gösterirlerken, daha yuvarlak yüzeyler daha yüksek ıslanabilirliğe veya daha az hidrofobisiteye sahip olmuşturlar.

Kısaltmalar

0	Temas açısı, derece
YSH	Sıvı-hava yüzey gerilimi değeri, mN/m
γ_c	Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri, mN/m
L	Tane izdüşümünün uzunluğu, <i>fm</i>
W	Tane izdüşümünün genişliği, <i>itm</i>
A	Tane izdüşümünün alanı, <i>pm</i>
P	Tane izdüşümünün çevresi, βm
E	Uzama oranı,
F	Yassılık,
R	Yuvarlaklık,
RW	Göreceli genişlik.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya sağladıkları katkılardan dolayı TÜBİTAK ve CÜBAP (Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu)' a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Rowland, CA. ve Kjos, D.M., 1997. In: Kawatra, S. K. (ed.), Comminution Practices, SME.

Oja, M. ve Tuunila, R., 2000. *The influence of comminution method to particle shape*, Proceeding of the XXI Int. Min. Proc. Cong., C4.64-C4.70.

Durney, T.E. ve Meloy, T.P., 1986. *Particle shape effects due to crushing method and size*, International Journal of Mineral Processing, 16, 109-123.

Bozkurt, R., Taşdemir, A. ve Çelik, O.N., 1998. *The breakage characterization of pyrite by image analyzer*, Innovations in Mineral and Coal Processing, Atak, Önal & Çelik (Ed.) Balkema, Rotterdam, 49-54.

Petruk, W., 1986. *The MP-SEM-IPS image analysis system*. CANMET Report 87-1E (CANMET, Dept Energy, Mines and Resources, Canada), Ottawa.

Petruk, W., 1988. *Automatic image analysis for mineral beneficiation*, J. Metals, 40,29-31.

Petruk, W., 1989. *Short course on image analysis applied to mineralogy and earth sciences*, Mineralogical Ass. Canada: Ottawa.

Parry, A.O., Swain, P.S. ve Fox, J.A., 1996. Letter to the Editor, *Fluid adsorption at a non-planar wall- Roughness-induced first-order wetting*, J. Phys.: Condens. Matter, 8, L659-666.

Fuerstenau, D.W. ve Williams, M.C., 1987. *A new method for characterization of surface energy of hydrophobic particles*, Part. Charact., 4, 7-13.

Zisman, W.A., 1964. *Relation of equilibrium contact angle to liquid and solid constitution in contact angle, wettability and adhesion*, Gould, R. F. (ed.) Advances in Chemistry Series No.43. American Chem. Soc. 1-51.

Williams, M.C. ve Fuerstenau, D.W., 1987. *A simple flotation method for rapidly assessing the hydrophobicity of coal particles*, Int. J. Min. Proc. 20, 153-157.

Taylor, L., 2003. *Smooth operator: talc gets specialized for growth*, Industrial Minerals, May 24-30.

Ulusoy, U., 2003. Ph.D. Thesis. Cumhuriyet University, Sivas, Turkey.

Hogg, R., 1980. *Characterization of mineral surfaces*. In: Somasundaran, P. (Ed.), Fine Particle Processing, Vol. I, Society of Mining Engineers of AIME, New York, 492-524.

Meloy, T.P., Durney, T.E. ve Eppler, D.T., 1979. *Sophisticated shape analysis of green pellets from a balling Drum*, Int. Min. Proc. Cong. Warsaw, Lasakowski (ed.), June 4-9.

Allen, T., 1997. Particle Size Measurement, 5th Edition, Chapman&Hall.

Pons, M.N. Vivier, H., Belaroui, K., Bernard-Michel, B., Cordier, F., Oulhana, D. ve Dodds, J. A., 1999. *Particle morphology: from visualization to measurement*, Powder Technology, 103, 44-57.

E. G., Shafrin, W. A., Zisman, 1960. *Constitutive relations in the wetting of low energy surfaces and the theory of the retraction method of preparing monolayers*, J. Phy. Chem., 64, pp. 519-524.

Yekeler, M. ve Yazar, B., 1994. *Critical surface tension of wetting of low surface energy minerals and their separations by gamma flotation*:

- Realgar, Talc, Stibnite and Sulfur, SME Annual Meeting, New Mexico, USA, 17-94.
- Forsberg, E. ve Zhai, H., 1985. *Shape and surface properties of particles liberated by autogenous grinding*, Scand. J. Metallurgy, 1, 14, 25-32.
- Beyer, W H., 1978. In: Handbook of Mathematical Sciences, CRC Press, Florida.
- Heywood, H, 1947. *The scope of particle size analysis and standardization*, Institution of Chemical Engineers, London, 25.
- Hausner, H. H., 1966. *Characterization of the powder particle shape*, Planseebenchte, Pulvermetall., 14, 2, 75-84.
- Hagerman, T.H., Black, K. ve Lilliesköld., 1980. *Shape and surface of mineral grains tested for mortar and concrete purposes through image analysis*, Swedish Council for Building Research, D.26
- Serra, J., 1982. Academic Press Inc., New York.
- Yarar, B. ve Kaoma, J. 1984 *Estimating of the critical surface tension of wetting of hydrophobic solids by flotation*, Colloids and Surfaces, 11, 426-429.
- Padday, J.F., 1968. *Surface and Colloid Science*, In: Matijevic, E. (ed.), New York.
- Digre, M. 1988. *Development in Autogenous Grinding*, Proc. II. Int. Proc. Symp, Turkey, 3-20
- Garshva, S., Contrares, S. ve Goldfarb, J., 1978. *Hydrophobic characterization of powders. Some criteria and experimental evidence*. Coll. Polym. Sci., 256, 3,341-350.
- Fowkes, F.M. ve Harkins, W.D., 1940. *The state of the monolayers adsorbed at the interface solid-liquid solution*, J. Amer. Chem Soc, 62, 3377-3386.
- Kelebek, S., 1984. *Surface properties and selective flotation of inherently hydrophobic minerals*. Ph.D. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Princen, H., 1969. *The Equilibrium Shape of Interfaces*, In: Matijevic, E (ed.), Surface and Colloid Science. Bd 2, New York.
- Huh, C. ve Mason, S.G., 1974. *The Flotation of axisymmetric particles at horizontal liquid interfaces*, Journal of Colloid and Interface Science, 47, 2,271-289.
- Hoberg, H. ve Schneider, F.U., 1978. *Zur flotation feints verteilter metallphasen aus vorre duzierten*, Erzen.Freib.Forsch. HA.593, 149-160.
- Schulze, HJ., 1984. Physico-Chemical Elementary Process in Flotation, Amsterdam, 178-181.
- Wotruba, H., Hoberg, H. ve Schneider, F.U., 1991. *Investigation on the separation of microlithe and zircon. The influence of particle shape on floatability*. Preprints, In XVII. Int. Min. Proc. Cong., Dresden, Germany, vol.4., 83.
- Yarar, B. ve Aksu, S., 1997. *Quantification of the roles of surface heterogeneity and roughness in the establishment of the critical surface tension of wetting of hydrophobic solids*, In XX. Int. Min. Proc. Cong., Aachen, Germany, September 21-26. 3,41-51.
- Oliver, J.F., Huh, C. ve Mason, S.G., 1977. *Resistance to spreading of liquids by sharp edges*, Journal of Colloid and Interface Science, 59, 568-581.

Çizelge 1 Çalışmada kullanılan talk mineralinin kimyasal kompozisyonu

S ₁ O ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)
59.52	30.97	1.06	1.94	0.26	0.02	0.19	0.05	0.02	4.76

Çizelge 2 SEM çalışmalarından hesaplanan talk tanelerinin şekil özellikleri

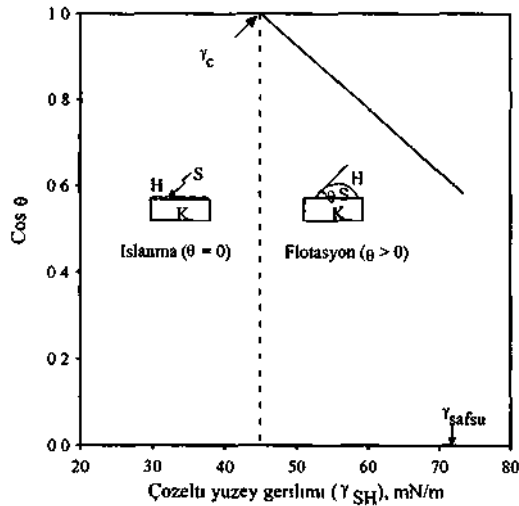
Değirmen Urunu	Ölçülen tane	L (µm)	W (µm)	A (µm) ²	P (µm)	E	F	R	RW
Bilyah	136	103.620	67.540	5493.818	271740	1534	1070	0.934	0.652
Çubuklu	146	95.070	59.010	4403.913	245.265	1611	1.088	0.920	0.621
Otojen	134	98.970	62.550	4859.600	256.852	1.582	1.081	0.925	0.632
Ortalama	139								

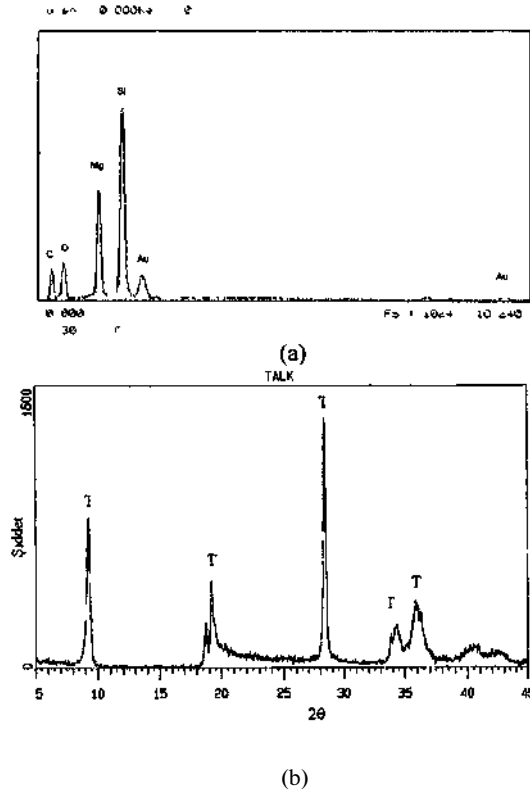
Çizelge 3 Talk mineralinin farklı değirmen ürünlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri

Değirmen Urunu	(γ _c), mN/m
Bilyah	32
Çubuklu	30
Otojen	31

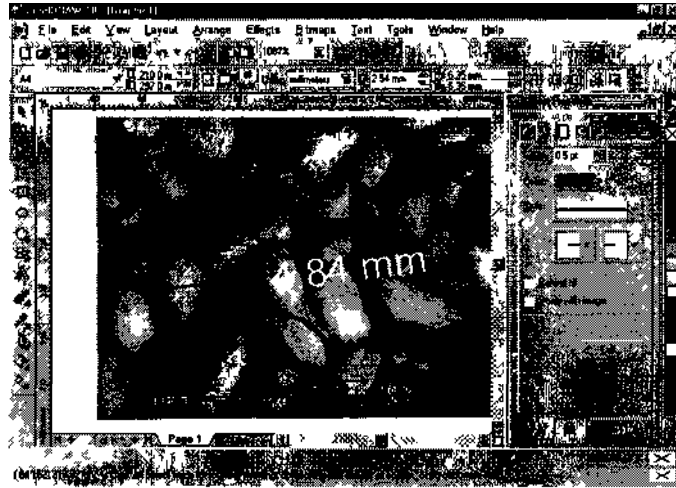
Çizelge 4 Talk mineralinin şekil ve γ_c değerleri arasında kurulan korelasyonları

Korelasyon	R'
y _i = -25.5E + 71.1	0.98
y = -1093 F + 149.0	0.98
y _r = 139.1 R - 97.8	0.97
y _L = 62.8 RW - 8.9	0.97

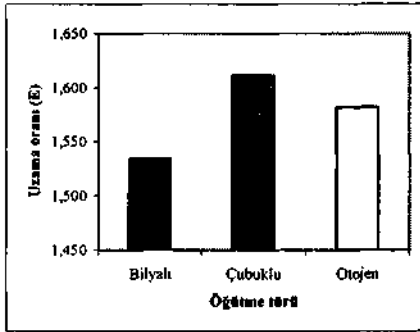
Şekil 1 Temas açısı yöntemiyle talk mineral ürünlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerinin belirlenmesi



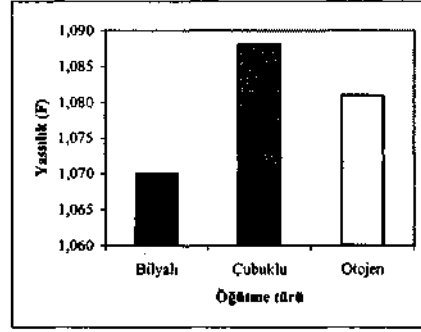
Şekil 2 Çalışmada kullanılan talk mineralinin kimyasal ve mineralojik kompozisyonu
(a) SEM ile belirlenmiş kimyasal kompozisyon (b) XRD ile belirlenmiş mineralojik kompozisyon



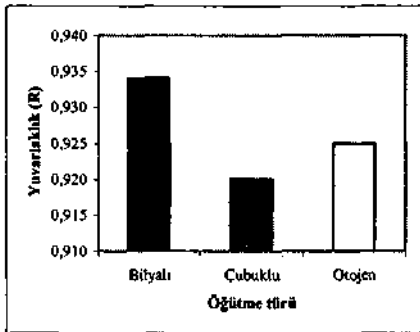
Şekil 3 COREL DRAW programı kullanılarak bir SEM mikrografı üzerinde tane izdüşümlerinin ana eksenlerinin ölçülmesi



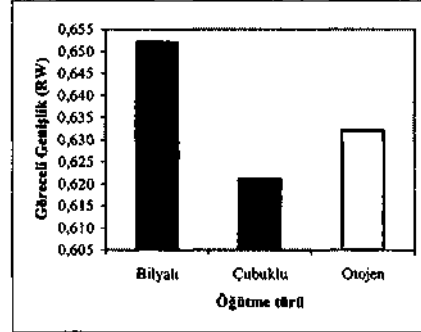
(a)



(b)

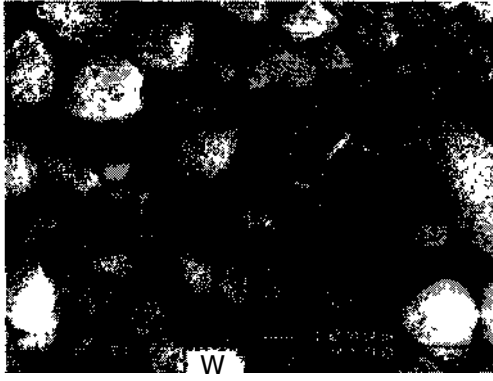


(c)



(d)

Şekil 4. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin SEM ölçüleriyle hesaplanmış şekil özelliklerinin karşılaştırılması,
(a) Uzama oranı, (b) Yassılık, (c) Yuvarlaklık, (d) Göreceli genişlik.



(a)



(c)



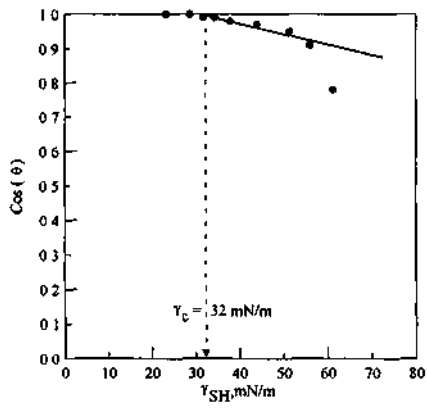
(b)



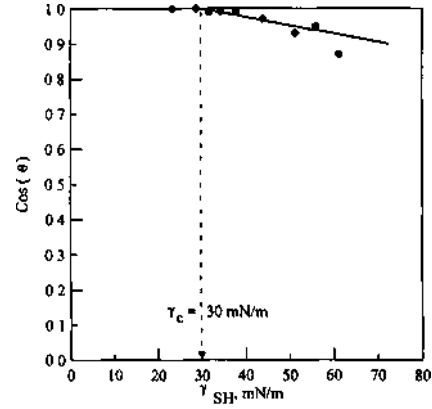
(d)

Şekil 5. Sırasıyla 16 ve 32 dakika öğütülmüş talk mineralinin bilyalı ve çubuklu değirmen ürünlerine ait SEM mikrografları (x100).

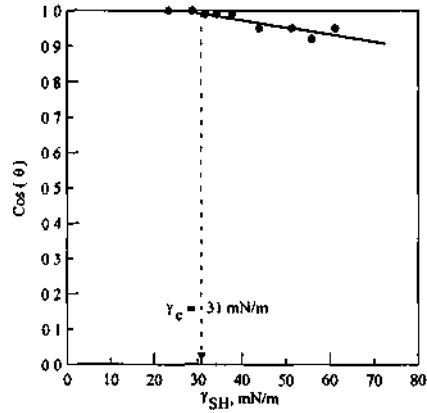
(a) Bilyalı değirmen ürünü, (b) Çubuklu değirmen ürünü, (c) Bilyalı değirmen ürününe ait SEM mikrograflarından alınan temsili görüntü, (d) Çubuklu değirmen ürününe ait SEM mikrograflarından alınan temsili görüntü.



(a)

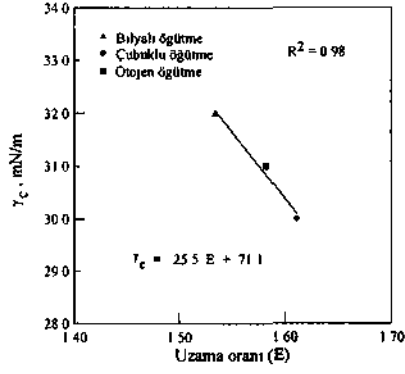


(b)

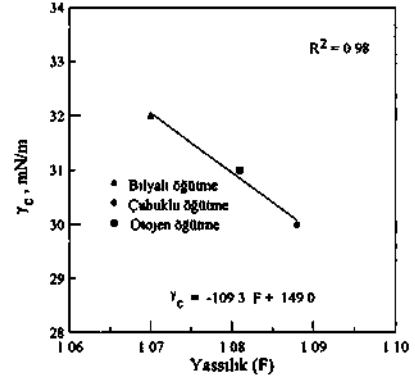


(c)

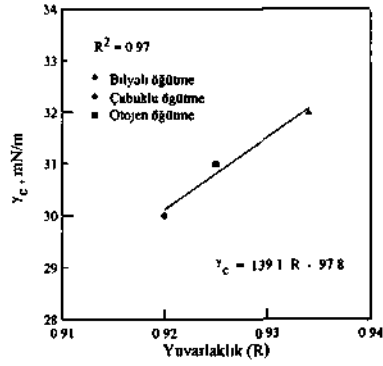
Şekil 6. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin temas açısı yöntemiyle belirlenmiş ıslanabilirlik (γ) özellikleri, (a) Bıyalı değirmen ürünü, (b) Çubuklu değirmen ürünü, (c) Otojen değirmen ürünü.



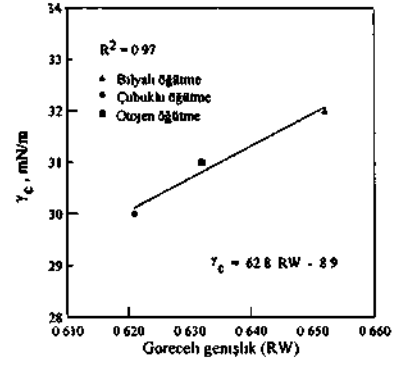
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk mineralinin şekil ve γ_c değerlerinin değişimi, (a) Uzama oranı, (b) Yassılık, (c) Yuvarlaklık, (d) Göreceli genişlik.