

ÇENELİ KIRICIDA UFALANAN KROMİTLERİN TANE ŞEKİL KARAKTERİZASYONU

Adem TAŞDEMİR¹, Bahri ÖTEYAKA², Hüseyin ÖZDAĞ³

ÖZET: Bu çalışmanın amacı, ufalanmış minerallerin tane şeklini kantitatif olarak karakterize etmek ve tane şekli üzerine cevher oluşum tipi ve tane boyutunun etkisini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda, görüntü analiz tekniği kullanılarak tane şekli yuvarlaklık, pürüzlülük ve uzunluk oranı tanımlarıyla karakterize edilmiştir. Tanelerin kantitatif karakterizasyonu Leco 2001 Otomatik görüntü analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ufalama aleti olarak çeneli kırıcı, cevher olarak da farklı oluşum gösteren beş kromit cevheri (Bantlı, Dereboyu, Kef, Lasir ve Yunuskuyu) çalışmalarda kullanılmıştır. Sonuçlar tane boyutunun fonksiyonu olarak sunulmuştur. Aynı ufalama cihazında kırılan cevherlerin tane şeklinin cevherin oluşum tipine ve tane boyutuna bağlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca her tane şekil parametresi için çeneli kırıcıda tüm cevherleri kapsayan genel eğilim grafikleri elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Tane şekli, görüntü analizi, ufalama

PARTICLE SHAPE CHARACTERIZATION OF CHROMITES COMMUNUTED IN JAW CRUSHER

ABSTRACT: The aim of this study is to characterize the shape of comminuted mineral particles quantitatively and to determine the effects of ore characteristics and particle size on particle shape. Particle shape is characterized as roundness, roughness and aspect ratio definitions by using image analysis technique. The quantitative characterization of particles is achieved by using Leco 2001 automatic image analyzer. Jaw crusher is used as comminution machine and five types of chromite ores bedded differently (Bantlı, Dereboyu, Kef, Lasir and Yunuskuyu) were used in the studies. The results are given as a function of particle size. It was found that particle shape of ores comminuted in same device was dependent on type of ore and particle size. Furthermore, general trend graphics for each particle shape parameter in jaw crusher were obtained.

KEYWORDS: Particle shape, image analysis, comminution

^{1,3} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

² Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

I. GİRİŞ

Genel olarak sivri, yuvarlak, köşeli ve yassı gibi kalitatif terimlerle tanımlanan tane şekli; kimya, metalurji, seramik gibi üretim endüstrilerinde olduğu kadar, cevher hazırlama ve zenginleştirmede proseslerin seçimi ve başarısında tanenin davranışını belirleyebilmek için de önemli bir parametredir. Bu nedenle tane şeklini kantitatif olarak ölçmek ve tanımlamak gerekir.

Cevher hazırlama, kimya ve diğer üretim endüstrilerinde önemi gittikçe artan tane şekli tanımsal olarak çok çeşitlilik göstermektedir ve şekli kantitatif olarak tanımlayabilmek için yoğun bir çaba vardır [1-4]. Günümüze değin tane şekil karakterizasyonunu tanımlama alanında birçok teknik geliştirilmiştir. Ancak günümüzde halen şekil özelliklerini tek başına ölçen evrensel olarak kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır [4-9]. Fakat tane şekil parametrelerini ölçen ve sonuçları bilimsel olarak kullanılabilen metotlar vardır. Görüntü analiz tekniği de bu yöntemlerden biri olup, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel malzemelerde taneler çok nadiren küresel şekildedirler. Küresel olmayan tanelerin farklı üretim teknolojilerindeki davranışları değişmekte ve numunenin gerçek özellikleri hakkındaki bilgiler tam ve yeterli olamamaktadır. Bu nedenle birçok alandaki uygulamalarda tanelerin boyutuna ek olarak, şekli ile ilgili bilgiye de ihtiyaç duyulmaktadır. Tanelerin şekli; parçalı malzemenin özelliklerini tanımlamada yardımcı olmakta, malzemenin fizikokimyasal özelliklerinde değişimler oluşturması nedeniyle proseste tanenin davranışını etkilemekte ve oluşan bazı mekanizmalarda etken rol oynamaktadır.

Cevher zenginleştirmede proseslerin belirlenmesi, proseslerde kullanılacak aletlerin seçimi, performanslarının değerlendirilmesi, istenen verimde sistemin çalışabilmesi için otomatik kontrol gibi çalışmalarda, zenginleştirme öncesi ve sonrası taşıma, stoklama, konsantre ve artığın susuzlandırılması ve/veya filtrasyonu gibi tüm işlemlerde tanenin davranışı incelendiğinde tane şekli önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu parametre uygulanan ufalama metoduna ve/veya cevherin doğasına bağlı olabilir.

Bu çalışmanın amacı, farklı oluşum gösteren kromitlerin çeneli kırıcıda kırılmasıyla elde edilen ürünlerde, görüntü analiz tekniği ile tane şekli karakterizasyonu ve tane şekli üzerine (yuvarlaklık, pürüzlülük ve uzunluk oranı); tane boyutunun ve cevher oluşum tipinin etkisini araştırmaktır.

II. TANE ŞEKLİ VE ÖNEMİ

Tane şeklinin karakterizasyonu hem akademik hem de endüstriyel çevrelerde, örneğin; seramik, metalurji, vd. mühendislik dallarında ve hemen hemen tüm uygulamalı bilimlerde çok önem arz eder [10]. Tanelerin davranışında önemli bir faktör olan tane şekli, ufalanmış farklı ürünlerde değişiklik gösterir. Bu, taneleri içeren herhangi bir işlemde veya mineral kazanım prosesinde önemlidir [11].

Cevher hazırlama ve zenginleştirme proseslerinde ve diğer endüstri dallarındaki her ünite işlem, tanelerin davranışı tarafından bir şekilde etkilenmektedir. Parçalı malzemelerin mekanik özellikleri, şekildeki değişimlerle birlikte farklılık gösterebilmektedir [10].

Tane şekli, tanelerin sıvılarda ve gazlardaki sürüklenme olayını etkilediğinden, küreye eş değer hacim ya da izdüşüm alanını kullanarak yapılan hesaplamalarda gerçek çökme hızları tahmin edilememektedir. Sulandırmada, pnömatik ve hidrolik taşımada, susuzlandırmada, havalı sınıflandırmada (pnömatik ayırıcı), siklonla ayırmada ve karıştırma işlemlerinde tane şekli önemli bir parametredir. Filtrasyon işlemlerinde su akışına direnç gösteren yataklanma şeklinde de etkili rol oynar. Ayrıca bir sedimantasyon olayında tanelerin yoğunluğu kadar, şekli de etkilidir [10].

Mineral endüstrisinde, flotasyon, jig işlemi, eleme, sınıflandırma, sallantılı masa, ağır ortam ayırması, siklon ayırımı ve diğer birçok birim ünite, tane şekline duyarlıdır. Kömürün jig ile zenginleştirilmesinde sadece tane boyutu ve yoğunluğu değil, şekle de bağlı olan bir tabakalanma vardır. Benzer şekil etkisi, sallantılı masa ve sınıflandırıcıların çalışmasında da vardır. Eğer elemelerde boyutlandırma için yetersiz zaman kullanılırsa sonuçlar tane şekli tarafından kuvvetli bir şekilde etkilenmektedir [12]. Tane şeklinin flotasyon verimi üzerine etkisini birçok araştırmacı incelemiş ve farklı görüşler ileri sürmüşlerdir. Örneğin; otojen öğütmenin flotasyonda daha yüksek verimlerle sonuçlanan, daha düşük pürüzlülüğe sahip yuvarlak taneler oluşturduğunu belirtilmektedir [13]. Hiçyılmaz ve arkadaşları [14], yüksek yuvarlaklığa ve düşük uzunluk oranına sahip tanelerin Hallimond tüpündeki flotasyonunda verimin yüksek olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün flotasyon üzerine ters etkisi olduğunu belirtirken, bazı araştırmalarda ise daha yuvarlak ve pürüzlü olan tanelerin flotasyon veriminin düştüğü tespit edilmiştir [15-17].

III. UFALAMA VE TANE ŞEKLİ

Ufalama işleminde tanelerin aldığı şekil, kristal çatlakları gibi malzeme karakteristiklerine ve uygulanan kırma işleminin özelliğine bağlı olabilir. Ufalamanın tane şekli üzerine etkileri olduğu bilinmesine rağmen, bu etkileri ölçmek için çok az araştırma yapılmıştır. Bunun nedeni ise, bilimsel olarak kabul edilmiş şekil ölçüm metodlarının ve aletlerin eksikliğidir. Yapılan çalışmaların sonuçları arasında uzlaşmazlıklar vardır. Bond ve Heywood, kırılmada üretilen tanelerin şeklinin kırılan malzemenin karakteristiklerine bağlı olduğunu belirtirken, Rose, malzeme değirmen cinsinin tane şekli üzerine esas etkiye sahip olduğuna işaret etmektedir [7].

Ufalamada kullanılan alete ve aletin uyguladığı kuvvetin cinsine ve şiddetine bağlı olarak çıkan ürünün şekli farklı olabilir. Örneğin, malzemeye uygulanan kuvvetin şiddeti yüksek olduğunda, yani kuvvetli kırma işleminde, çoğalan kırıkların keşişimiyle meydana getirilen keskin kenarlı oldukça düzensiz tanelerin oluşması beklenebilir [18]. Tanelerin; yüzey aşınması ya da köşelerde/kenarlarda koparma vasıtasıyla sürtünerek aşınması halinde, uzaklaştırılan küçük parçalar hayli düzensiz şekillerde olabilmelerine rağmen, tanelerin yuvarlaklaşma olasılığı daha fazladır. Sistemde baskın olan koşullar genellikle makinenin cinsine ve kırılan tanelerin boyut ve özelliklerine bağlıdır. Tsubaki ve Jumbo, tane şeklinin tane boyutuyla değiştiği sonucuna varmışlardır [19].

Holt, merdaneli kırıcı gibi tek geçişli cihazların genellikle köşeli taneler ürettiğini, buna karşılık bilyalı değirmenler gibi tutucu sistemlerin daha yuvarlak taneler oluşturduğunu belirtmektedir [20]. Bilyalı değirmenlerdeki yuvarlaklaştırma etkisi artan öğütme süresiyle birlikte daha da etkili hale gelmektedir [8]. Durney ve Meloy, tanelerin çeneli kırıcıda tek seferde geçiş sağlanarak beslenmesi durumunda ürünlerin epeyce köşeli olduğunu, tıka basa beslemenin daha yuvarlak taneler meydana geldiğini belirtmişlerdir [11]. Bir çeneli kırıcıda aynı koşullarda kırılan kömür tanelerinin şekil dağılımlarının tane boyutuna bağlı olduğu, kuvars için böyle bir özelliğin olmadığı belirtilmiştir [7]. Kuvvetli kırmanın baskın olduğu çeneli kırıcı ile üretilen tanelerin daha düzensiz şekilli olduğu ve değirmende artan öğütme süresiyle birlikte tanelerin daha yuvarlak hale geldiğini belirtilmektedir [18].

Bilyalı, çubuklu ve otojen değirmenlerde öğütülmüş kalsit, kuvars, talk ve barit tanelerinin şekil özellikleri taramalı elektron mikroskobu kullanarak araştırılmış ve

tane şekli iki boyutlu olarak tane izdüşümlerinin ana eksenleri ölçülerek uzama ve yuvarlaklık gibi şekil tanımlayıcılarıyla ifade edilmiştir [15,16; 21-23]. Bu çalışmalarda, otojen değirmende öğütülen kalsit taneleri en yüksek uzama değerine sahip olurken, çubuklu değirmen en düşük uzama değerine sahip taneler üretmiştir. Aynı koşullarda barit cevheri her üç değirmende öğütülmüş, bilyalı değirmenin en yüksek uzunluk oranını ve en düşük yuvarlaklık değerini verdiği, buna karşılık otojen değirmenin en küçük uzunluk oranını ve en yüksek yuvarlaklık değerini bulmuşlardır [21]. Kuvars ve talkın çubuklu değirmende en yüksek uzunluk oranı ve en düşük yuvarlaklık derecelerine sahip olduğu bulunmuştur.

Hoşten ve Özbay, Kef grubuna ait ve oluşum tipi belirtilmeyen kromit cevherini çubuklu değirmen ve pistonlu pres ufalama sistemiyle öğütmüş ve bu ufalama sistemlerinin mineral serbestleşmesi ve tane şekli üzerine etkisini araştırmışlardır [24]. Çubuklu değirmen ile elde edilen tane şekillerinin tane boyutuyla değişmediğini, pistonlu pres ile elde edilen tanelerin ise tane boyutu küçüldükçe yuvarlaklıklarının azaldığını bulmuşlardır. Ayrıca piston pres ufalamayla elde edilen tane şekillerinin ince boyutlarda çubuklu değirmene göre daha az yuvarlak olduğunu belirtmişlerdir.

IV. MALZEME VE METOT

Çalışmalarda kullanılan malzemeler, farklı oluşum tipi gösteren beş farklı kromit cevherleridir. Dört tanesi (Dereboyu, Kef, Lasir ve Yunuskuyu) Etibank Şark Kromları İşletmesi'nden sağlanan, diğeri cevher ise Eskişehir Ege Metal A.Ş.'ne ait stok sahasından alınan Bantlı cevherdir. Çalışmalarda her cevher grubundan yaklaşık 200 kg. örnek kullanılmıştır. Cevherleri oluşturan mineralleri tespit etmek, kromit taneleri ile yan kayaç ilişkilerini saptamak, cevherlerin yapısal ve dokusal özelliklerini belirlemek için ince ve parlak kesitler yapılmıştır. Ayrıca parlak kesitler üzerinde yapılan tane boyut ölçümleri ile cevherlerin ortalama tane boyutları ve dağılımları tespit edilmiştir.

IV.1 Kromitlerin Petrografisi ve Mineralojisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan kromitler için yapılan mineralojik analizlerin sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 1. Kromit cevherlerinin mineralojik bileşimi

Cevher	Mineralojik bileşim
Bantlı	Kromit+serpantinleşmiş olivin+klorit+piroksen+talk
Dereboyu	Kromit+ piroksen+ serpantin+olivin+klorit+ amfibol
Kef	Kromit+olivin+klorit+serpantin+talk
Lasir	Kromit+olivin+klorit+serpantin+amfibol
Yunuskuyu	Kromit+serpantinleşmiş olivin+klorit+talk

Bantlı: Kromitçe zengin olmayan, yan kayacının büyük çoğunluğunun ağ yapısı gösteren serpantinleşmiş olivin olan ve bantlı oluşum yapısı gösteren cevher.

Dereboyu: Yoğun kromit içeren benekli kromit oluşumları sergileyen, yan kayacı piroksen ağırlıklı, ayrıca serpantinleşmiş piroksen ve olivinler içeren cevher.

Kef: Masif yapı gösteren, yan kayacının çoğunluğunu bozmuş olivinlerin oluşturduğu cevher. Olivinlerin bozmadığı hamur içerisinde kromitler genellikle özşekillerini korumuş fakat yine de kataklastik yapı göstermektedir. En fazla deformasyon ise, olivinlerin serpantinleştiği ve kloritlerin olduğu hamur içerisinde görülmektedir. Burada kromit taneleri bol kırıklıdır ve öz şekilleri bozulmuştur.

Lasir: Saçınımlı yapı gösteren ve oldukça yoğun kromit bulunan ve yan kayacı klorit, serpantinleşmiş olivin içeren cevher.

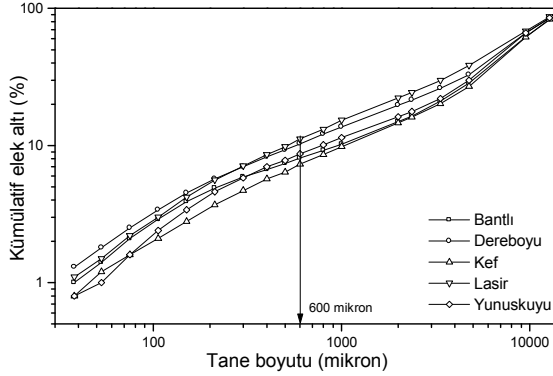
Yunuskuyu: Yankayaç özellikleri ile Bantlı cevhere benzemektedir. Fakat oluşumu Leopar olarak tanımlanan nodüllü cevherdir. Kromit ile yan kayaç kontağında antigorit olarak belirlenen serpantin minerali vardır. Klorit ve talk da tespit edilen diğer bozuma mineralleridir.

Kromit cevherlerinin hepsinin ortak özelliği, kromit tanelerinin basınç etkisiyle kataklastik deformasyon şekilleri sergilemeleridir. Alterasyon ürünleri olan serpantin ve klorit hamurları içerisinde deformasyonun etkisiyle kromit tanelerinin bol kırıklı yapı sergilediği yapılan ince ve parlak kesit incelemelerden anlaşılmaktadır [25].

IV.2 Örnek Hazırlama

IV.2.1 Boyut Küçültme Çalışmaları

Kromit tanelerinin cevherdeki dağılımları parlak kesitler üzerinde görüntü analizi ile tespit edilmiş ve cevher gruplarının hepsinde tanelerin yaklaşık %99'unun 600 µm altında olduğu bulunmuştur. Bu yüzden ufalanan cevherlerin 600 µm altı ürünleri görüntü analizöründe incelenmiştir. Cevher gruplarının, çeneli kırıcı ürünlerinin tane boyut dağılımları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Cevher gruplarının çeneli kırıcı çıkışı ürünlerinin tane boyut dağılımları

IV.2.2 Parlak Kesit Hazırlama

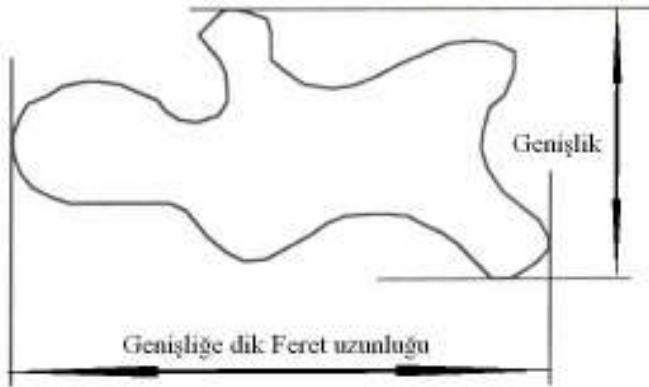
Çeneli kırıcıda ufalanan cevher gruplarının ürünleri elenerek; -600+500, -500+400, -400+300, -300+212, -212+150, -150+106, -106+75, -75+53 ve -53+38 µm boyut fraksiyonlarına ayrılmışlardır. Fraksiyonların temsili örnekleri, soğuk kalıplama yöntemi ile kalıplara alınmış ve otomatik aşındırma ve parlatma makinesi ile parlak kesit haline getirilmişlerdir. Kalıpların yüzeylerinde, tanelerin en dengeli konumda yer almalarını sağlamak için viskozitesi düşük yani sertleşme süresi uzun olan epofix reçine ve sertleştirici kullanılmıştır. Kalıplama çalışmalarında, karıştırma ile meydana gelen hava kabarcıklarının varlığı, tanelerin aşındırma ve parlatma safhalarında kalıp yüzeylerinden kopmalarına sebep olabilmektedir. Bu kabarcıkların uzaklaştırılması için, Epofix reçine+sertleştirici karışımı vakum cihazında tutulmuştur.

Cevher gruplarının -600+500, -500+400 ve -400+300 μm boyut fraksiyonları için 2'şer, diğer 6 fraksiyon için 1'er adet olmak üzere toplam 45 adet kalıba alma çalışması yapılmıştır.

IV.3 Görüntü Analizi

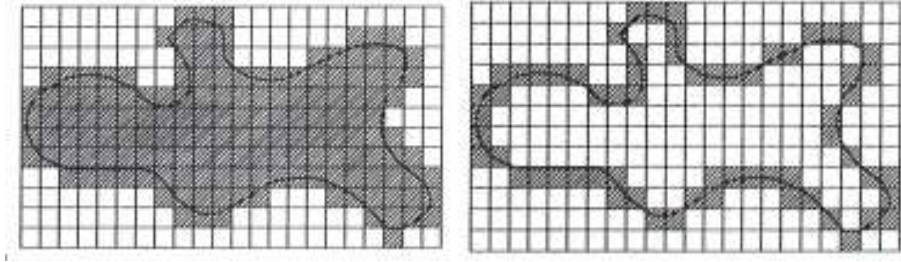
Otomatik aşındırma ve parlatma ile yeteri kadar parlak hale getirilen parlak kesitlerdeki tamamen serbest kromit tanelerinin şekil karakterizasyonu Leco 2001 otomatik görüntü analiz cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Optik bir mikroskopla elde edilen görüntü, otomatik olarak CCD kamera vasıtasıyla analizörün görüntü monitörüne aktarılmaktadır. Bu görüntüler, 512 x 480'lik piksellere bölünerek, hafızaya alınmakta ve yeniden analog hale dönüştürülerek karşımıza çıkmaktadır. Eşiklendirme ile, 0-100 gri seviyesindeki reçine fazı ile 101-255 gri seviye arasındaki kromitlerin bit düzlemlerine aktarılması ile faz ayırımı gerçekleştirilebilmiştir. Görüntü kenarlarında kesilen tanelerin uzaklaştırılması, varsa tanelerdeki boşlukları doldurma, birbirine değen tanelerin ayrılması için daraltma ve daha sonra genişletme işlemlerini takiben ölçüm değerlerinin Excel formatında kaydedilmesi aşamalarıyla kesitlerdeki tüm serbest taneler ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan tane şekil tanımları aşağıda verildiği gibidir [25,26]:

•**Uzunluk Oranı (Aspect Ratio)** : Genişliğe (en kısa Feret) dik Feret uzunluğu/genişlik'tir. Bir kare veya dairenin uzunluk oranı 1'dir. Bu değer artarsa tane daha da uzar (Şekil 2).



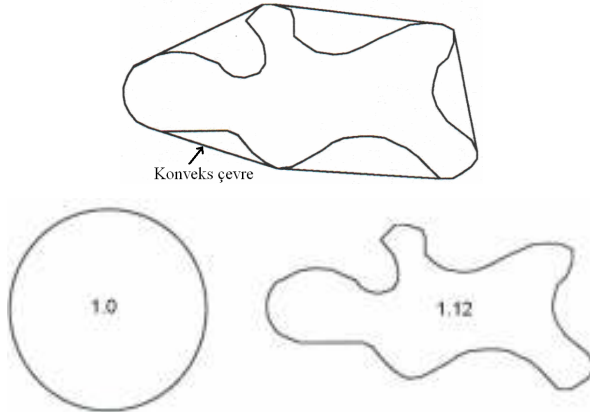
Şekil 2. Leco 2001 görüntü analizörüyle tanenin uzunluk oranının ölçülmesi

•**Yuvarlaklık (Roundness):** $[(4\pi A)/P^2]*100$ ‘dür ve daire için bu değer 100’dür [26]. Burada; A : Alan; tane sınırları içerisinde bulunan piksellerin toplamıdır, P : Çevre; taneyi çevreleyen piksellerin toplamıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Leco 2001 görüntü analizörüyle tanenin alan ve çevre ölçümü

•**Pürüzlülük (Roughness):** Pürüzlülük gerçek çevre değerinin konveks çevre değerine (8 açıda ölçülen Feret uzunluklarının etrafındaki uçların giriş uzunluklarının toplamı) bölünmesiyle elde edilmektedir. Daire gibi pürüzsüz şekiller için 1 değerini almaktadır. (Şekil 4).

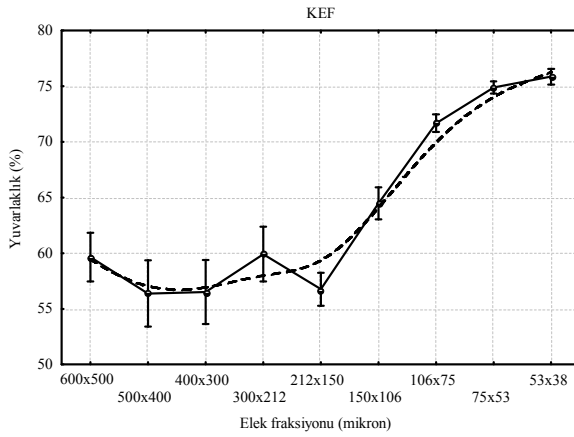
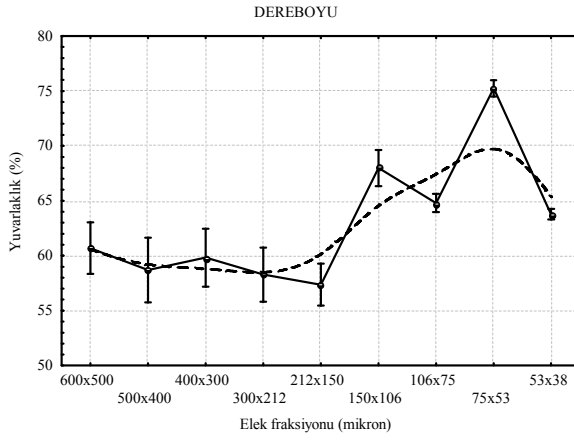
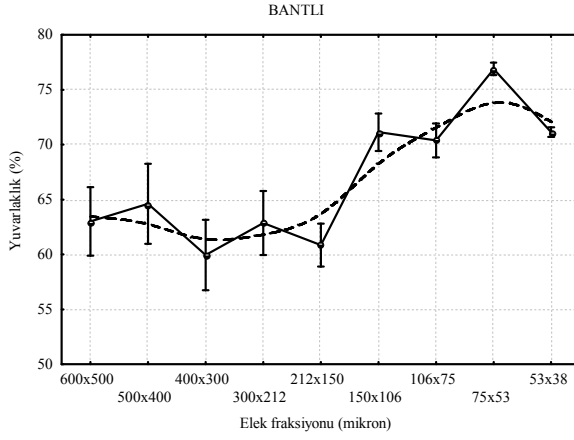


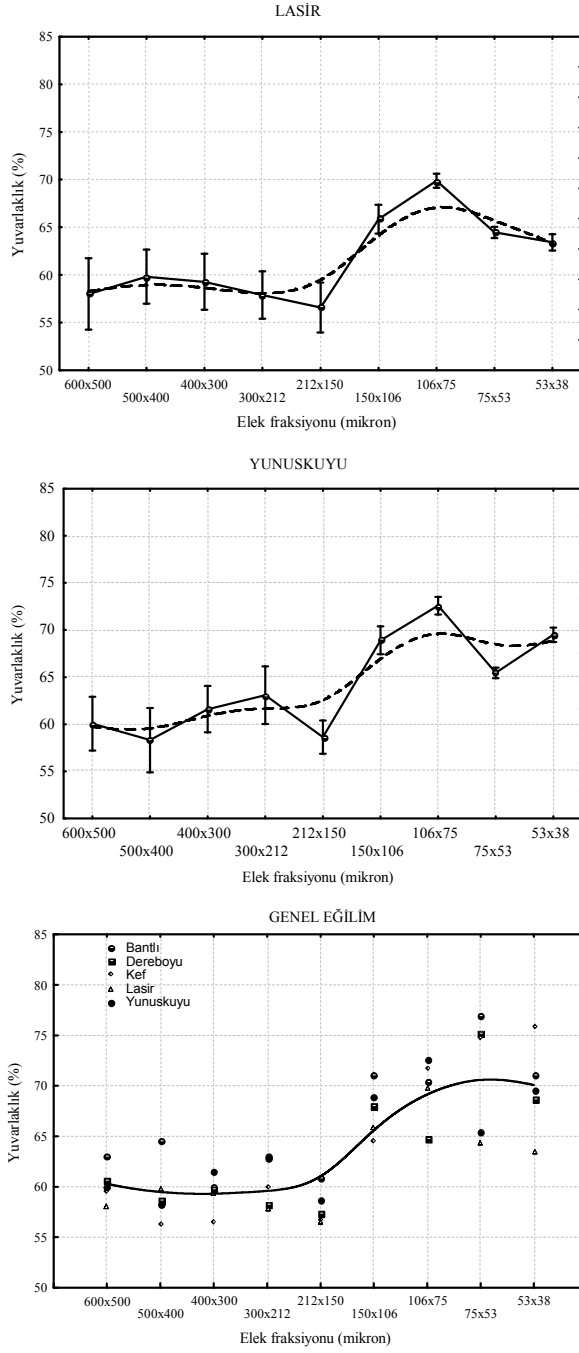
Şekil 4. Leco 2001 görüntü analizöründe konveks çevre ve pürüzlülük

V. BULGULAR

V.1 Yuvarlaklık değişimi

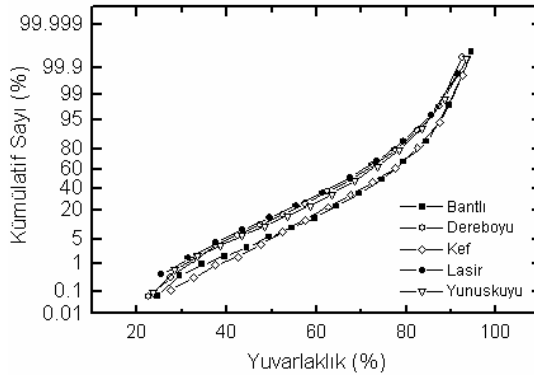
Şekil 5, çeneli kırıcıda kırılan kromit cevherlerinin %95 güven seviyesinde ortalama yuvarlaklık değerlerinin sınırlarını, tane boyutunun fonksiyonu olarak göstermektedir.





Şekil 5. Kromit cevherlerinin ortalama yuvarlaklık değerleri ve genel değerlendirme

Görüldüğü gibi, cevherlerin yuvarlaklığı tane boyutu ile değişmektedir. Yani tane şekli tane boyutunun bir fonksiyonudur. Cevher grupları, aynı tane boyutunda birbirinden farklı yuvarlaklık değerlerine sahiptir. Bu da tane şeklinin cevher tipine bağlı olduğunu göstermektedir. Sonuçlar tüm cevherler için bulunan ortalama yuvarlaklık değerleriyle tek bir grafikte ayrıca değerlendirilmiştir. Şekil 5'deki genel grafik incelendiğinde, genel sonuç olarak çeneli kırıcıda ufalanan kromit cevher gruplarının 150 μm 'a kadar düşük yuvarlaklık değerleri verdiği ve değişimin yatay olduğu, bu boyuttan sonra ise yuvarlaklığın arttığı görülmektedir. Buna göre cevher tipleri farklılık göstermesine rağmen, çeneli kırıcıda ufalanan kromit cevherleri için genel bir yuvarlaklık değişim eğilimi bu grafikten anlaşılmaktadır. Çeneli kırıcıda ufalanan cevher gruplarının yuvarlaklık değerlerinin kümülatif dağılımı ise Şekil 6'da verilmiştir.

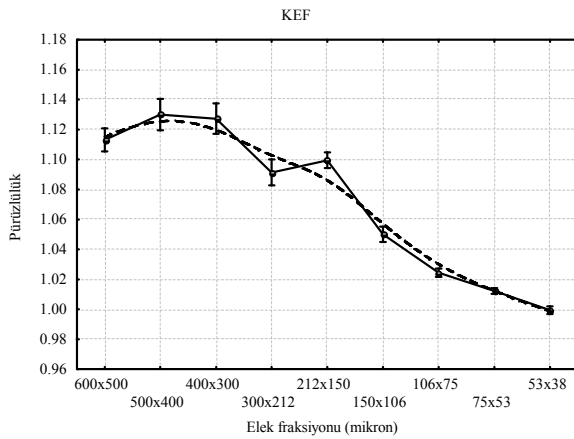
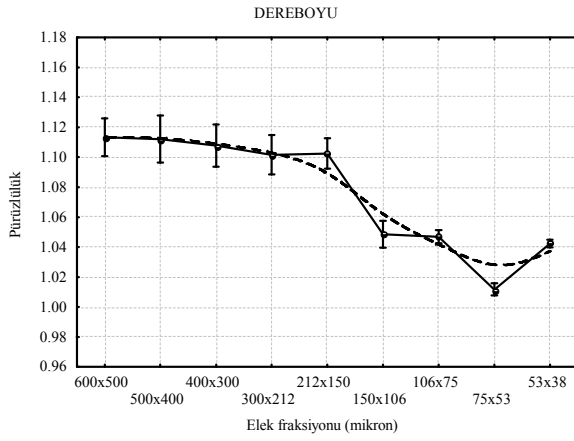
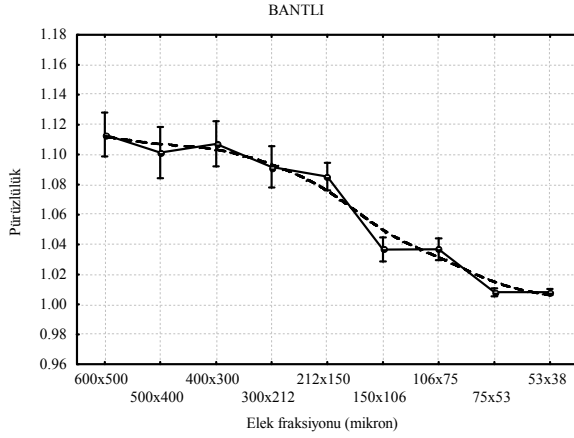


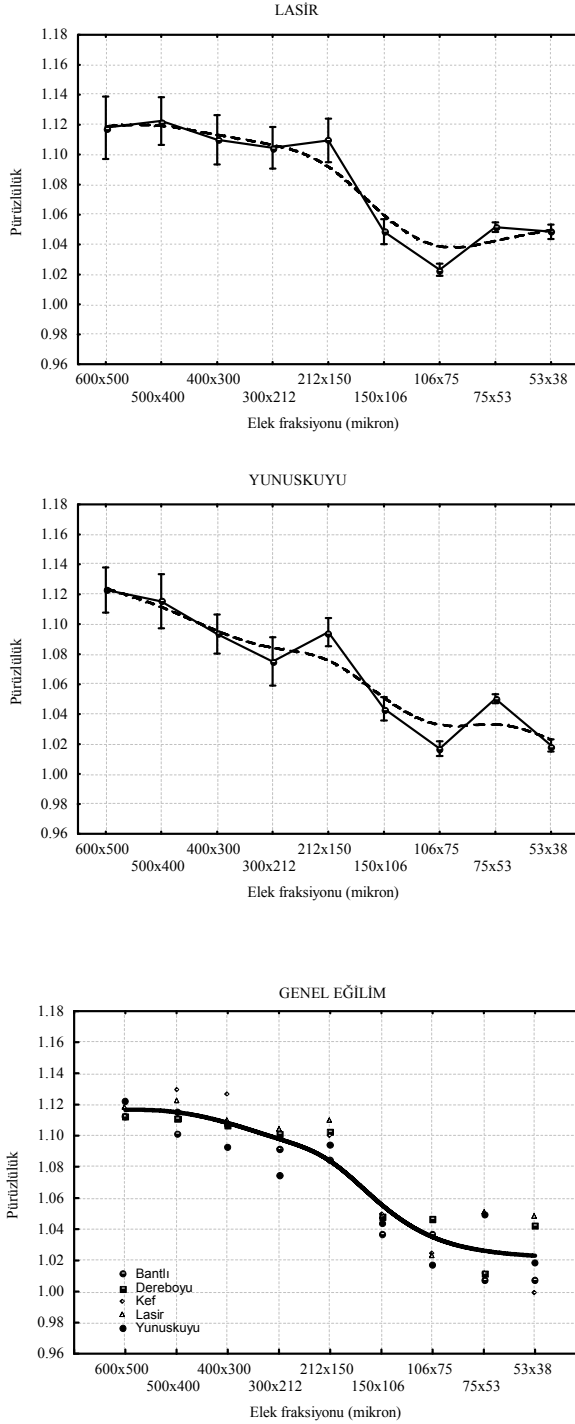
Şekil 6. Çeneli kırıcıda ufalanmış kromit cevherlerinin yuvarlaklık değerlerinin kümülatif dağılımı

Yukarıdaki şekildeki verilere göre, ortalama %72.3 yuvarlaklığa sahip bantlı cevher ile ortalaması %71.8 olan Kef cevheri birbirine benzer dağılımlara sahiptir. Diğer cevher grupları ise ortalaması daha düşük olan bir yuvarlaklık dağılımına sahiptir. Buradan da görüldüğü gibi kromitlerin hepsi aynı kümülatif dağılım göstermemekte, farklılıklar olabilmektedir.

V.2 Pürüzlülük değişimi

Şekil 7, çeneli kırıcıda ufalanan kromitlerin tiplerine göre %95 güven seviyesinde ortalama pürüzlülük değerlerinin sınırlarını, tane boyutlarına göre göstermektedir.

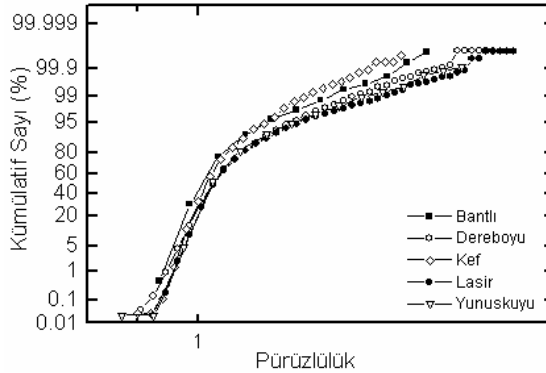




Şekil 7. Kromit cevherlerinin ortalama pürüzlülük değerleri ve genel değerlendirme

Görüldüğü gibi, tanelerin pürüzlülüğü tane boyutu küçüldükçe her cevher grubu için azalmaktadır. Yani pürüzlülük tane boyutuna bağlı bir tane özelliğidir. Tüm cevher gruplarındaki pürüzlülük değişimi aynı değildir. Fakat 150 μm 'den sonra değerler daha da düşmektedir. Aynı tane boyutuna sahip farklı tipteki kromit tanelerinin pürüzlülük değerlerinin birbirinden farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Genel değerlendirme grafiğinde ise çeneli kırıcıda kırılan kromitlerin tane boyutuna göre pürüzlülük değişimi için karakteristik bir dağılım görmek mümkündür.

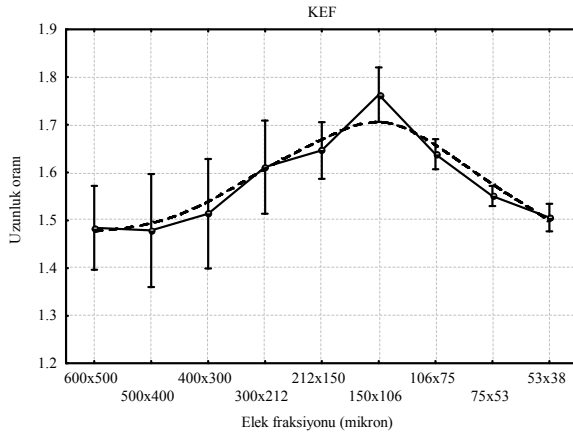
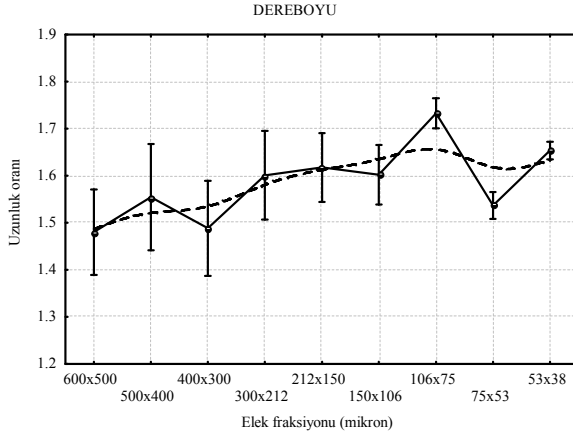
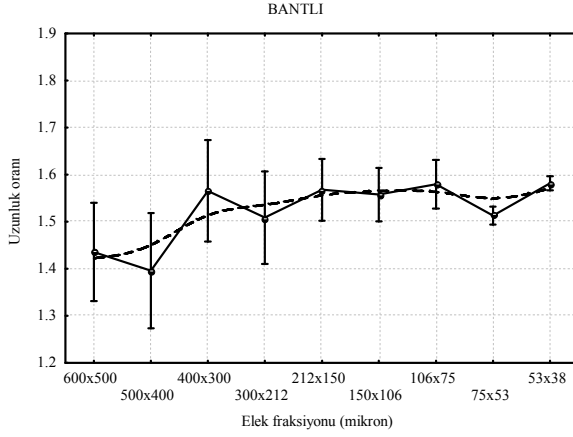
Çeneli kırıcıda ufalanmış cevherlerin pürüzlülük değerlerinin kümülatif dağılımı ise Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre, cevher gruplarından ortalama pürüzlülüğü 1.044 olan Dereboyu ve ortalama pürüzlülüğü 1.042 Yunuskuyu grubu benzer pürüzlülük dağılımına sahipken diğer cevher gruplarının farklı olduğu görülmektedir. Diğer tüm cevher grupları farklı bir dağılım göstermektedir. Cevher gruplarının pürüzlülük dağılımları sıralaması büyükten küçüğe şu şekildedir: Lasir (ort.: 1.049), Kef (ort.: 1.026) ve Bantlı (ort.: 1.02).

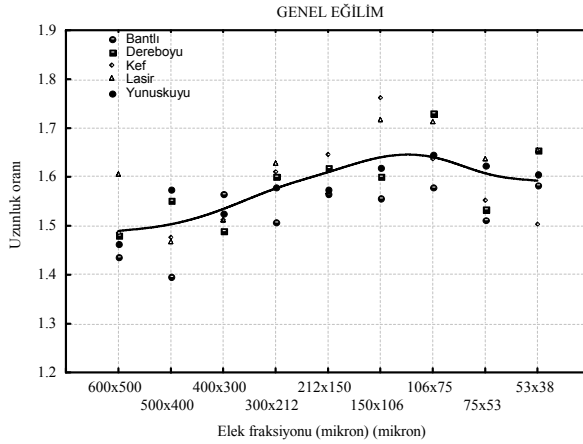
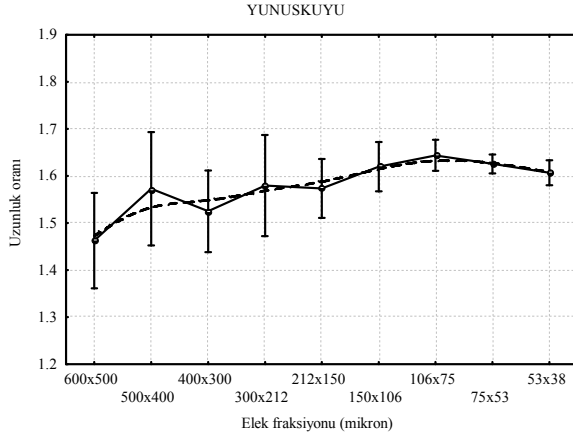


Şekil 8. Çeneli kırıcıda ufalanmış kromit cevherlerinin pürüzlülük değerlerinin kümülatif dağılımı

V.3 Uzunluk oranı değişimi

Cevher gruplarının çeneli kırıcıda kırıldıklarında 600 μm altı ürünlerinin uzunluk oranı değişimleri karşılaştırılmıştır. Tane boyutlarına göre cevherlerin %95 güven seviyesinde ortalama uzunluk oranı değerlerinin sınırları ve genel değerlendirme grafiği Şekil 9'da sunulmuştur.

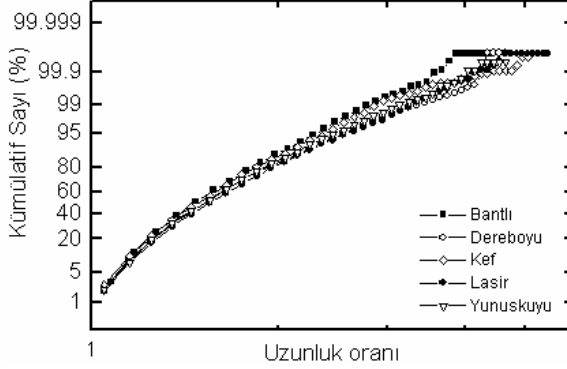




Şekil 9. Kromit cevherlerinin ortalama uzunluk oranı değerleri ve genel değerlendirme

Uzunluk oranı değerleri açısından cevher gruplarının çeneli kırıcı ile ufalanan cevher gruplarının ortalama uzunluk oranı değerlerinin tane boyutu ile değiştiği görülmektedir. Yani uzunluk oranı şekil parametresi tane boyutuna bağlıdır. Cevher gruplarının uzunluk oranı değişimi birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle bu özelliğin de cevher oluşum tipine bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Cevher gruplarının çeneli kırıcıda ufalanmalarıyla elde edilen ürünlerin uzunluk oranı değerlerinin kümülatif dağılımı ise Şekil 10'da verilmiştir. Uzunluk oranı dağılımı karşılaştırmasına göre Lasir grubu diğer tüm cevher gruplarından farklı ve en yüksek uzunluk oranına sahip olduğu (ort.: 1.66) anlaşılmaktadır. Ortalaması 1.55

olan Bantlı ve ortalaması 1.57 olan Kef grubu uzunluk oranı en düşük dağılıma sahip cevher gruplarıdır. Ortalaması 1.63 olan Dereboyu ve ortalaması 1.62 olan Yunuskuyu cevher grupları ise diğer cevher gruplarının arasında olan bir dağılım sergilemektedir.



Şekil 10. Çeneli kırıcıda ufalanmış kromit cevherlerinin uzunluk oranı değerlerinin kümülatif dağılımı

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tane şeklinin kompleks oluşundan dolayı, şekli tek başına karakterize eden bir parametre ya da yöntem günümüzde bulunmamaktadır. Özellikle ufalama sistemleriyle elde edilen parçalı sistemlerdeki tanelerin şeklinin çok daha karmaşık olduğu yapılan bu çalışmayla da anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada tane şekli, görüntü analiziyle elde edilen üç tane şekil parametresiyle (yuvarlaklık, pürüzlülük ve uzunluk oranı) karakterize edilmiştir.

Ufalanmış cevherlerin iri boyut fraksiyonlarında çoğunlukla ölçülen serbest tanelerin gang minerallerinden tane sınırları boyunca koparak serbest kaldıkları görülmüştür. Bu boyutlarda, kırık olan tanelerin ya tane şekillerini olduğu gibi koruduğu ya da çatlak hatları boyunca kırıldığı tespit edilmiştir. Bir başka deyişle önce gang minerallerinden kopma, daha sonra da şartlar uygun olduğunda taneler kırıklık hatları boyunca ufalanarak tane şekilleri almaktadır. Tanelerin belli bir boyuta kadar şekil değişikliklerinin fazla olmaması bu şekilde açıklanabilir. Genel olarak çeneli kırıcıda, şekil karakteristiklerinin bazı tane boyutlarından sonra değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Çeneli kırıcı ile ufalama işleminde, taneler üzerine etkili olan kuvvetler sıkıştırma vasıtasıyla yapılmakta ve taneler kırılmaya maruz kalmaktadır. Besleme hızlı yapılmadığından kırılan taneler sistemi kısa sürede terk etmektedir. Ancak kromit kırılğan bir cevher olduğundan kolaylıkla ufalanmakta ve kırıcı içerisinde küçülen taneler, sistemi terk ederken tane tane etkileşimiyle sıkıştırma kuvvetinin yanı sıra sürtünme kuvvetinin de etkisinde kalmaktadır. Çünkü kırıcıda ovalama hareketinden dolayı sürtünme kuvvetleri de etkindir. Ufalanen tanelerin sistemi terk etmeden önce tane sınırları ve çatlaklar gibi zayıflık zonlarından sonra tekrar kırılması halinde tane şekli, tane incelikle daha da değişiklik göstermektedir. Bu yüzden yuvarlaklık, pürüzlülük ve uzunluk oranı parametreleri tane küçüldükçe özellikle belli bir boyuttan sonra daha fazla değişim göstermektedir. Bu durum cevherlerin oluşum tipine bağlı olarak birbirlerine göre değişim göstermektedir. Genel değerlendirme grafiklerinde, çeneli kırıcıda ufalanen kromit cevherlerinin tane şekil değişiminin tane boyutuyla değişiminin genel bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Bu durum her üç tane şekil parametresi için geçerlidir.

Cevher hazırlama birim operasyonlarında besleme, ürün ve atık akışlarında tane şekil dağılımları tane şeklinin mineral verimini nasıl etkilediğini öğrenmek için karakterize edilmeye ihtiyaç göstermektedir. Böylece, devreler verimi optimize etmek için dizayn edilebilir. Arzu edilen mineral için tane şeklinin uygun ufalama aletleriyle elde edilip edilemediği araştırılabilir. Bu tip araştırmaların değerlendirilmesinde görüntü analizinin etkin bir yöntem olduğu ve tane şekli ile ilgili faydalı kantitatif bilgiler sağlayabileceği bu çalışma ile görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Meloy, T.P., “Geometry for characterizing fractured particle shape”, *Powder Technology*, 55, 285-291, 1980.
- [2] Tang, S., McFarlane, C.M., Paul, G.C. and Thomas, C.R., “Characterizing latex particles and fractal aggregates using image analysis”, *Colloid P. Sci.* 277, 325-333, 1999.
- [3] Kaye, B. H, Junkala, J. And Clark, G. G., “Domain plotting as a technique for summarizing fine particle shape, Texture and Size Information”, *Part. Part. Syst. Charact.*, 15, 180-190, 1998.

- [4] Podzeck, F., “A shape factor to assess the shape of particles using image analysis”, *Powder Technology*, 93, 47-53, 1997.
- [5] Pons, M.N., Vivier, H., Belaroui, K., Bernard-Michael, B., Cordier, F. and Oulhana, D., “Particle morphology: from visualisation to measurement”, *Powder Tech.*, 103, 44-57, 1999.
- [6] Frances, C., Bolay, N. L., Belaroui, K., and Pons, M. N., “Particle morphology of ground gibbsite in different grinding environments”, *Int. J. Min. Proc.*, 61, 41-56, 2001
- [7] Kaya, E., Hogg. R., and Kumar, S.R., “Particle shape modification in comminution”, *KONA*, No 20, 2002.
- [8] Oliver, J.F., Huh, C. ve Mason, S.G., “An experimental study of some effects of solid surface roughness on wetting”. *Colloids Surf.* 1, 79–104, 1980.
- [9] Oja, M. and Tuunila, R., “The Influence of cominution method to particle shape”, Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress, C4, 64-70, 2000.
- [10] Meloy, T.P. and Clark, N.N., Modern shape analysis: Its meaning, relevance and problems”, *Advances in Mineral Processing, A Half of Progress in Application of Theory to Practice*, New Orleans, Louisiana, March 3-5, 67-79, 1986.
- [11] Durney, T. E., Meloy, T.P., “Particle shape effects due to crushing method and size”, *International Journal of Mineral Processing*, 16, 109-123, 1986.
- [12] Ferlund, J. M. R., “The effect of particle form on sieve analysis: a test by image analysis”, *Engineering Geology*, 50, 111-124, 1998.
- [13] Forsberg, E. and Zhai, H., “Shape and surface properties of particles liberated by autogenous grinding”, *Scand. J. Metallurgy*, 1, 14, 25-32, 1985.
- [14] Hiçyılmaz, C. Bilgen, S., Akdoğan, G., Ulusoy, U., “Role of shape and morphological properties of particles on floatability-pyrite example”, Balkan Kongresi, 26-30 Mayıs, Varta Dornei, Romanya, 127-133, 1997.
- [15] Ulusoy, U., Hiçyılmaz, C., ve Yekeler, M., “Role of shape properties of calcite and barite particles on apparent hydrophobicity”, *Chemical Engineering and Processing*, 43, 1047–1053, 2004.

- [16] Ulusoy, U., Yekeler, M., ve Hiçyılmaz, C., Kalsit mineralinin şekil, pürüzlülük ve ıslanabilirliğinin karakterizasyonu”, *Madencilik*, 11-24, 2004,
- [17] Hiçyılmaz, C., Ulusoy, U., and Yekeler, M., “Flotation responses to the morphological properties of particles measured with three-dimensional approach”, *International Journal of Mineral Processing*, 75, 229-239, 2005.
- [18] Kaya, E., Kumar, S.R. and Hogg, R., “Particle shape characterization using image analysis technique”, *Chancing Scopes in Mineral Processing*, Kemal, Arslan, Akar & Canbazoglu (eds.), Balkema, Rotterdam, 47-52, 1996.
- [19] Tsubaki, J. and Jimbo, G., “A Proposed new characterization of particle shape and its application”, *Powder Technology*, 22, 161-169, 1979.
- [20] Holt, C.B., “The shape of particles produced by comminution: A Review”, *Powder Technology*, 59-63, 1981.
- [21] Ulusoy, U., Hiçyılmaz, C., ve Yekeler, M., “Determination of the shape, morphological and wettability properties of quartz and their correlations”, *Minerals Engineering*, 951-964, 2003.
- [22] Hiçyılmaz, C., Ulusoy, U., and Yekeler, M., “Effects of the shape properties of talc and quartz particles on the wettability based separation processes”, *Applied Surface Science*, 233, 204-212, 2004.
- [23] Yekeler, M., Ulusoy, A., ve Hiçyılmaz, C., “Effect of particle shape and roughness of talc mineral ground by different mills on the wettability and floatability”, *Powder Technology*, 140, 68-78, 2004.
- [24] Hoşten, Ç., ve Özbay, C., “A Comparison of particle bed breakage and rod mill grinding with regard to mineral liberation and particle shape effects”, *Minerals Engineering*, Vol.11, No.9, 871-874, 1998.
- [25] Taşdemir, A., Görüntü analizi yöntemi ile üfalanmış minerallerin tane şekil karakterizasyonu, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 2005.
- [26] Leco 2001 *Image Analysis System Operator's Manual*, 1992.

