

KAYAÇ ÜZERİNDE KRİSTAL DAĞILIMININ (CSD) DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE TESPİTİ

M. Dihkan¹, F. Karslı²

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.
¹mdihkan@ktu.edu.tr, ²fkarsli@ktu.edu.tr

ÖZET

Dijital görüntü analiz teknikleri, tanecik boyutlarının ölçümü ve sayısının belirlenmesi çalışmalarında (doku ve petrografik örgü analizi) kullanılmaktadır. Çalışmada fotogrametrik ve görüntü işleme tekniklerinden faydalanılarak CSD (Crystal Size Distribution = Kristal boyut dağılımı) ve bu materyallere ilişkin çeşitli özellikler görüntü üzerinden ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, kullanılan bu teknik yardımıyla granit kayalar üzerinde mevcut K-feldspar isimli kristallere ait CSD parametrelerinin otomatik olarak ortaya koyulmasıdır. CSD ölçümlerinin temel ölçütü olan CSD parametrelerinin belirlenmesi için yüzeyleri parlatılmış iki adet granit örneği hazırlanmıştır. Yüzeydeki taneciklerin şekilsel ve konumsal özelliklerine dayalı CSD ölçütlerinden bazıları; yönelim, boyut, konum, alan, en boy oranı, dışbükeylik, dairesellik, çevre, şekil ve birim alandaki popülasyon yoğunluğu olarak sıralanabilir. Çalışmada kullanılan tüm görüntüler referanslandırılmış, kamera kalibrasyonu yapılarak görüntü distorsiyon hataları giderilmiştir. MATLAB 2009b yazılımında geliştirilen program yardımıyla ilgili algoritma görüntülere uygulanmış ve CSD parametreleri ortaya koyulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar geliştirilen algoritmanın granit kayaların K-feldspar kristallerine ait CSD parametrelerini çok daha kolay, doğru ve kısa sürede belirlenebileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Kalibrasyon, Dijital Görüntü, CSD, Matlab.

DETERMINE CRYSTAL SIZE DISTRIBUTION ON ROCKS BY USING DIGITAL IMAGES

ABSTRACT

Digital image analysis techniques are used for counting (modal analysis) and measuring grains (texture and fabric analysis). Crystal size distribution (CSD) and many properties of intrusive materials may be put forward by using photogrammetric and image analysis techniques. For this purpose a new proposed algorithm/schema was improved in this study. The main objective of this study is to describe CSD of K-feldspar megacrysts of granitoidic rocks automatically. Two polished plate samples, namely granite, were prepared to designate CSD parameters called metrics of CSD measurements. The important metrics of measurements on CSD are: orientation, size, position, area, perimeter, aspect ratio, convexity, circularity, shape, and population density in a per unit area ect. All images have been registered and camera calibration was performed to remove the image distortion errors. Then, image processing techniques were applied to corrected images for detecting the CSD parameters by using improved code in Matlab 2009b software. The experimental results also indicate that the effect of the crystal image can be improved obviously and the crystals can be identified more easily and exactly.

Keywords: Calibration, Digital Image, CSD, Matlab

1. GİRİŞ

Bilimsel olarak kayaların tanımlanması, içerdikleri detayların çeşitli ölçek ve seviyelerde gözlemlenmesi ve ölçülmesi işlemlerini kapsamaktadır. Genel bir tanım olarak bir jeolog için kayaç şekli ve dokusu, kayacın menşeyini ve yapısını anlamakta yeterli olan temel ölçütlerdir. Bununla birlikte kayaların kristalleşme ve dokusal oluşum süreçlerinin karmaşıklığı mevcut modellerin test edilebilmesi amacıyla daha fazla ölçüt belirlenmesini gerektirmektedir. Özellikle volkanik kayalara ait dokusal ölçütlerin belirlenmesi oldukça subjektif olmalarından dolayı genellikle zor olabilmektedir. Bu sebeple kayalara ait ölçütlerin belirlenmesi işlemi, en doğru ölçüm teknikleri ve en uygun istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Barraud, 2006).

Dokusal analiz volkanik petrolojide kullanılan en temel araçlardan birisidir. Kayalara ait dokusal ölçümler yapılmaksızın, nasıl şekillendikleri hakkında yorum yapabilmek oldukça zordur. Dokusal analiz kayaç içersindeki kristallerin boyut, şekil, yönelim ve konumlarının belirlenmesi ve ölçülmesi işlemlerini kapsamaktadır. Dokusal analiz yapabilmeyen en basit ve en ucuz yolu, kayaç örneklerini ince kesitler halinde kesmek ve mikroskop altında kesilen katmanlar üzerindeki kristallerin dış sınırlarının çizmektir. Dolayısıyla, kristal kenarlarının tespiti ve çizilmesi halen birçok dokusal analiz metodunda öncelikli aşamadır. Genellikle bu işlem ince kesitlere ait fotoğraflar veya taramalar üzerinden el yordamı ile (Higgins, 2000; Boorman, et al., 2004), ekran üzerinden çizim programları

yardımıyla (Jerram, et al., 2003) veya kayaç plakalarına ait dijital görüntüler üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca birçok araştırmacı kristal sınırlarının tespitine yönelik otomatik bir metot geliştirmeye çalışmıştır (Heilbronner, 2000; Thompson, et al., 2001; Tarquini, and Armienti, 2002; Perring, et al., 2004). Özellikle tüm kayaç alanında ve karmaşık yapıdaki polimineralik plütonik kayaçlarda bu metotların hiçbiri ile tümüyle memnun edici sonuçlar elde edilememiştir. Bununla birlikte bir parametrenin ortalamasının alınmasını (örn. boyut, yönelim) veya konumsal dağılım şeklini belirleyen eşsiz bir ölçüt hesaplanması tekniğini kullanan birçok dokusal ölçüt belirleme tekniği, konumsal bilgi kayıplarına sebep olmaktadır (Jerram, et al., 1996, 2003; Barraud, 2006).

Literatürde kesitlere ayrılmış materyallere ait dijital görüntülerin analizine yönelik olarak; şekil, boyut, yönelim, bu tür özelliklerin yüzeydeki dağılımları gibi dokusal özelliklerin belirlenmesi amacıyla teknik, biyomedikal ve yerbilimleri alanlarında yapılmış olan birçok çalışma mevcuttur. Kesitlere ait dijital görüntü analizleri, petrol ve suya ilişkin yer bilimlerinde (Mowers and Budd, 1996) ve toprak bilimlerinde olduğu gibi materyalin dokusal özellikleri ile fiziksel nitelikleri arasında ilişki kurulabilmesine olanak tanır (Protz and Van den Bygaart, 1998). Wang (1997) çalışmasında çakıl taşı materyallerinin boyut dağılımını ve geometrisini incelemiştir. Bu tür bir çalışmada, her bir tanecik boyutunu ve şeklini doğru olarak ölçebilmek için birbirine dokunur biçimde kalan tanecik kesitleri tercihen insan müdahalesi olmadan otomatik olarak birbirinden ayrıştırılmalıdır (Erdogan, 2000). Bu amaçla görüntü işleme ve analiz tekniklerinden faydalanılmaktadır. Görüntü işleme teknikleri görüntü üzerinden çeşitli sayısal özelliklerin çıkartılmasına olanak sağlar. Bunlar seçilen objenin kodlanmış karakteristik özellikleri olarak açıklanabilirler ve bir sınıftaki objelerin diğerlerinden ayırt edilebilmesinde kullanılırlar. Görüntü işleme tekniklerine yönelik temel aşamalar; görüntü alımı, görüntü filtrelenmesi, görüntü azaltma/yok etme, bölütleme (segmentasyon) ve özellik çıkartmadır (Marmo et al., 2005). Kayaç davranışlarını anlayabilmek için morfolojik bilgiye ihtiyaç duyulduğunda, görüntü işleme ve analiz teknikleri oldukça güçlü bir araçtır. Görüntü işleme tekniklerinden faydalanmak kayaç yapılarına ait çok çeşitli özelliklerin (tanecik sınırları; örn. (Heilbronner, 2000) ve mikro çatlaklar örn. (Obara and Kožušniková, 2007)) ortaya çıkartılmasını sağlar. Mikroskop ile elde edilmiş görüntüler üzerinden tanecik segmentasyonu ve analizine yönelik olarak da çeşitli görüntü analiz metotlarından faydalanılmaktadır. Literatürde bu amaçla yoğun olarak kullanılan segmentasyon metotlarından bazıları; havza (watershed) metodu (Młynarczuk, 1999), bölge birleştirme (region-merging) algoritması ile segmentasyon (Lumbreras and Serrat, 1996a), RGB renkli görüntü segmentasyonu (Zhou et al., 2004; Obara and Kožušniková, 2007) olarak sayılabilir.

Araştırmacılar çoğunlukla kristallerin sınır çizgilerinin çizimini elle (Amma-Myasaka and Nakagawa, 2002) veya sayısallaştırma masaları yardımıyla (Cashman et al., 1994; Higgins, 2002a; Mangan and Cashman, 1996; Waters and Boudreau, 1996) yapmayı tercih etmektedirler ve bu işlemin ardından elde edilen sonuç görüntülerini görüntü işlemeye girdi olarak kullanmaktadırlar. Bununla birlikte artık görüntü işleme teknolojisi kristal boyutları ve şekilleri üzerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde niceliksel verinin ilk aşamada elde edilebilmesine de olanak tanımaktadır. Bu tip veriler; yerçekimsel kristal oluşumu, seçilen tanecik yönelimlerinin gelişimi, tercih edilen taneciklerin boyut ve şekil bakımından sıralanması gibi kaba istatistiksel değerlendirme süreçlerinde kullanılabilir (Perring et al., 2004).

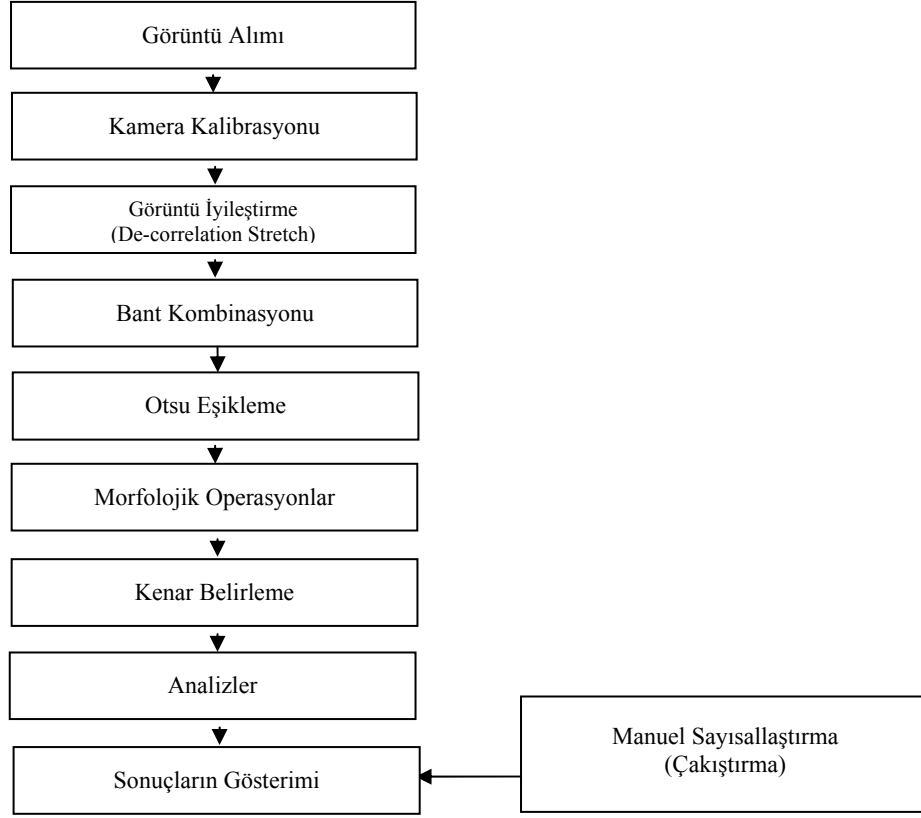
Literatürde daha önceki yıllarda tanecik şekillerinin otomatik olarak sayısallaştırılmasına yönelik olarak farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak; Barraud (2006) çalışmasında havza segmentasyon tekniğini veya Choudhury vd. (2006) çalışmasında otomatik çekirdek bölge gelişimi (Automated Seeded Region Growing (CASRG)) tekniğini, kesit görüntüleri üzerinden otomatik çok yüzeyli tanecik materyallerinin kenarlarını belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Bu çalışmada granit kayaç örnekleri üzerinde bulunan taneciklerin sayısallaştırılması amacıyla geliştirilen yeni bir algoritma kullanılmıştır. Bu metotlar kullanılarak yüksek doğruluk ile tanecik boyutlarının elde edilebilmesi istenildiğinde manuel (el yordamı) doğrulama gerekmektedir. Manuel doğrulama işlemi sonuçların orijinal görüntüler üzerine çakıştırılması sonucu görsel olarak yapılabilmektedir. Dokuların otomatik olarak sayısallaştırma kalitesi kayaç yüzeyi kalitesine ve kaydedilen görüntünün çözünürlüğüne bağlıdır (Paternell and Kruhl, 2009).

Bu çalışmanın temel amacı; granit özellikli kayaçların K-feldspar kristallerine ait CSD parametrelerinin otomatik tanecik kenar belirleme metotları kullanılarak tanımlanması ve parlatılmış granit levha görüntüleri üzerinden bu parametrelerin belirlenmesidir. Bu amaçla bilgisayar destekli bir görüntü analiz tekniği geliştirilmiş ve iki kayaç örneği üzerinde ölçümler yapılmıştır. Sonuç olarak,

işlenmiş görüntüler üzerinden otomatik metot kullanılarak elde edilen parametreler ortaya koyulmuştur.

2. METODOLOJİ

Çalışmanın metodoloji bölümü görüntülerin alımından istatistiksel analizlere ve sonuçların ortaya koyulmasına değin 7 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Geliştirilen akış diyagramı/şeması

2.1. Görüntü Alımı

Görüntü alımı, görüntünün onu oluşturan sayısal değerlere dönüştürülerek sayılar ile temsil edilmesi işlemidir. Yüksek doğrulukta sonuçlar elde edebilmek amacıyla, yüzeyleri parlatılmış plakalara ait yüksek kaliteli dijital görüntülerin kullanılması çok önemlidir. Bu sebeple görüntü alımında genel olarak yüksek çözünürlüklü SLR dijital kameralar kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan dijital görüntüler yüksek çözünürlüklü Nikon D90 kamerası ile 24 mm odak uzaklığında 4288×2848 piksel çözünürlüklü olarak kaydedilmiştir. Sonuç görüntü 12.2 milyon pikselden oluşmakta ve yaklaşık olarak milimetrede 200 piksel çözünürlüktedir (5 µm). Bu yüksek çözünürlüklü görüntü akış diyagramında da görüldüğü üzere tanecik kenar görüntülerinin manuel düzeltilmesi aşamasında kullanılmıştır.

2.2. Materyal ve Ön Hazırlık

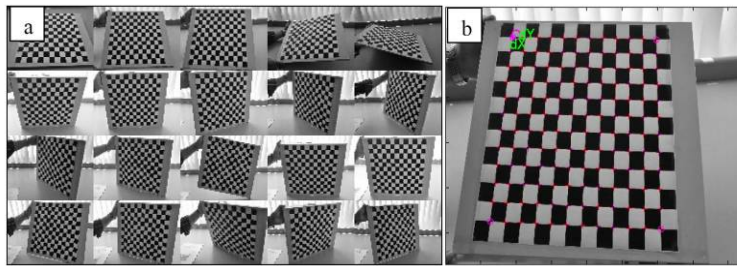
Çalışmada Trabzon bölgesine ait uygun tanecik dağılımına sahip granit kullanılmıştır (Şekil 2). Bu granite ait tek yüzü parlatılmış iki büyük levha (35x20x2 ve 35x25x2 cm) temin edilmiştir. Her iki örnek granit levha şekilsel ve yapısal olarak birbirinin aynıdır ve her ikisi üzerinde uygun tanecik dağılımına sahip 2 cm boyutuna varan büyüklüklerde K-feldspar kristalleri mevcuttur. Renkli görüntüler üzerindeki her bir piksel için grid koordinatları Matlab programında kodlanan yazılım yardımıyla belirlenmiş ve kontrol noktaları renkli levha görüntüsü köşelerinde tek piksel ile temsil edilecek şekilde seçilmiştir. Örnek görüntü için koordinatlar, bir dikdörtgensel referans grid ağı üzerinden rastgele seçilmiş ve örnek boyutuna göre ölçeklenmiştir (Mock and Jerram, 2005).



Şekil 2. Örnek_1 (a) ve Örnek_2 (b) kayaç kesitlerine ait dijital görüntüler.

2.3. Kamera Kalibrasyonu

Kamera kalibrasyon işlemi niceliksel görüntü analizleri için büyük bir önem taşımaktadır (Gruen and Huang, 2001). Bu sebeple görüntüler üzerinden en hassas ve en uygun metrik bilgilerin elde edilebilmesi için kamera kalibrasyon işleminin doğru şekilde yapılması bir önkoşuldur. Doğru yöneltme parametrelerinin kullanılmaması fotogrametri ve bilgisayarla görme çalışmalarında uygun olmayan sonuçların elde edilmesine yol açabilmektedir (Kavzoglu and Karsli, 2008). Bu çalışmada CSD boyutlarının, şekillerinin ve diğer parametrelerinin en doğru biçimde elde edilebilmesi amacıyla Nikon D90 SLR dijital kamera Matlab Camera Calibration Toolbox (CCT) (URL-1, 2009) kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için hazırlanan düzlemsel bir kalibrasyon levhası kullanılmıştır. Levha üzerinde x ve y yönlerinde 11 adet kare karelaj (grid) mevcuttur ve her bir karenin boyutları 30×30 mm olarak tasarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kamera kalibrasyon işlemi; (a) Kalibrasyon levha görüntüleri, (b) Belirlenen grid köşeleri

İdeal geometrik pozisyonlarda kalibrasyon levhasını kapsayan 20 adet görüntü 24 mm odak uzaklığında kaydedilmiştir. Matlab CCT yazılımı yardımıyla tüm kalibrasyon görüntülerine ait köşeler otomatik olarak çıkartılmıştır. Köşelerin çıkartılması işleminden sonra kalibrasyon işlemi; optimizasyon ve ardından doğrusal olmayan optimizasyon olmak üzere iki aşamalı olarak uygulanmıştır. İlk aşamada herhangi bir mercek distorsiyonunu içermeyen kalibrasyon parametreleri için kapalı formda çözüm yapılmıştır. Doğrusal olmayan aşamada ise tüm kalibrasyon parametreleri üzerindeki re-projeksiyon hataları minimize edilmiştir. Bu işlemin ardından iki parlatılmış levha görüntüsü üzerindeki distorsiyonlar giderilmiş ve düzeltilmiş görüntüler elde edilmiştir. Nikon D90 kamerasına ait kalibrasyon sonuçları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Nikon D90 Dijital SLR kamera kalibrasyon parametreleri

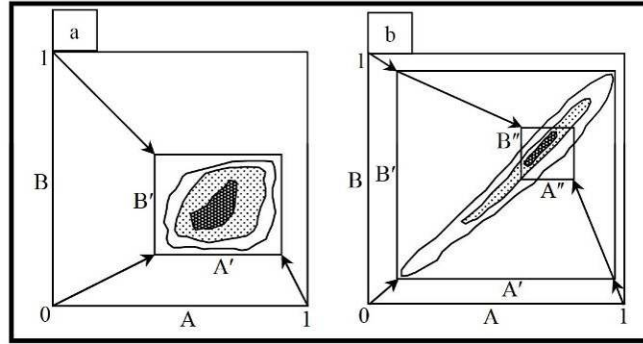
Parametre	Değer (piksel)	Std. Sapma (piksel)
Odak uzaklığı	4785.21	4.50
Asal nokta (x_0, y_0)	2124.84, 1402.48	7.14, 6.88
Eğiklik	0.000, (90.00) degrees	0.00
Distorsiyon [çapsal (k_1, k_2, k_3), teğetsel (p_1, p_2)]	-0.0514, 0.1367, -0.0004 -0.0007, 0.0000	0.00, 0.05, 0.00 0.00, 0.00
Piksel hatası (x ve y yönünde)	1.09, 0.87	

2.4. Filtreleme ve Gürültü Giderme

Görüntülerin sahip olduğu yüksek çözünürlük sebebiyle, üzerlerinde çeşitli küçük distorsiyonlar ve gürültüler bulunmaktadır. Bunlar görüntülerin keskinlik düzeylerinin azalmasına sebep olmadan 3x3 komşulukta medyan filtre kullanılarak giderilmiştir. Medyan filtre kullanımı özellikle rastgele gürültü dağılımına sahip görüntülerde iyi sonuç vermektedir. Bu filtre başarılı gürültü azaltma kabiliyeti ve küçük boyutlu lineer yumuşatma filtrelerinden daha az bulanıklaştırmaya sebep olması nedeniyle literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmada, filtre parlatılmış plakalara ait gri düzeyli görüntülere uygulanmıştır.

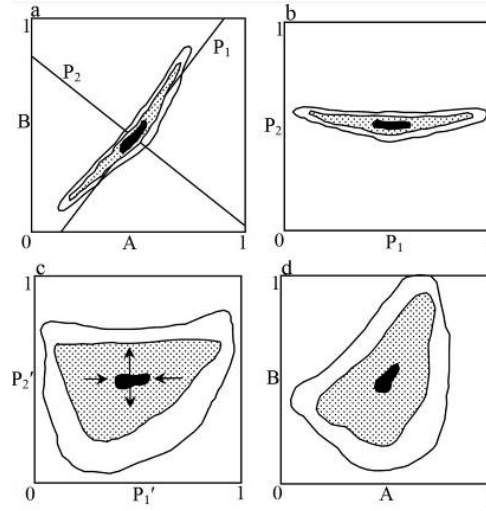
2.5. CSD Sınırlarını Belirlemek İçin Tasarlanan Akış Diyagramı

Çalışmada yüzeyi parlatılmış renkli granit levha görüntüleri üzerinde çalışan dekorelasyon germe (decorrelation stretch) algoritması tabanlı yeni bir metot geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni metoda ait akış diyagramı şekil 1’de görülmektedir. Dekorelasyon germe algoritması uygulanmadan önce, konumsal olarak en başarılı sonuçları elde edebilmek amacıyla levhalara ait tüm görüntülere ön işleme aşaması uygulanmıştır. Kamera kalibrasyon işlemi de bu aşamada yapılmıştır. Dekorelasyon germe algoritması uzaktan algılamada kullanılan bir görüntü iyileştirme tekniği olup, kayaç bilimlerinde oldukça başarılı bir biçimde uygulanabilmektedir. Bu algoritma çalışmanın ilerleyen safhalarında detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 4. İki banda ait lineer germe işlemi sonucu oluşan durum için şematik gösterim. A ve B bantlarına ait (a) düşük korelasyonlu ve (b) yüksek korelasyonlu veri (Gillespie, 1986).

Renkli görüntüler üzerinde yapılan zıtlık iyileştirme işlemlerinde en büyük sorunlardan birisi spektral bantlar arasındaki korelasyondur. Eğer birbirlerine korelasyonu olan 3 bant görüntüleniyorsa, renk küpünde gri değer dağılımı, en koyu pikselden en parlak renkli piksele değin çizgiye yakın biçimde oluşur. Bu durumda mevcut renk uzayının çok küçük bir bölümünden faydalanılabilmektedir (Schowengerdt, 2006). Geleneksel zıtlık germe metodu gri değer kümesini Şekil 4a’da görüldüğü gibi eksenlere paralel bir biçimde genişleterek yayar. Zıtlık germe işlemi zayıf korelasyonlu görüntüler üzerinde bulunan renk çeşitliliğini arttırılabilmektedir. Fakat yüksek korelasyonlu veri kullanıldığında kümenin basıklığını azaltamamakta ve iyi sonuçlar vermemektedir (Şekil 4b). Bu sebeple bantları arasında yüksek korelasyon bulunan renkli levha görüntülerinin iyileştirilmesi aşamasında, her bandın geleneksel zıtlık germe metodu kullanılarak iyileştirilmesi uygun bir metot değildir.



Şekil 5.Yüksek korelasyonlu veri için dekorelasyon germe işlemi şematik gösterimi. **(a)** Kaydedilen verinin varyans diyagramı ve ortogonal ana eksenler: P1 ve P2. **(b)** Ana bileşen dönüşümünden sonra veri kümesinin görünümü. **(c)** Korelasyonsuz hale getirilmiş P1 ve P2 bantlarına lineer zıtlık germe işleminin uygulanması. **(d)** Kontrast germe işlemi uygulanan verinin (A, B) koordinat sistemine geri dönüşümü (Gillespie et al., 1986; Schowengerdt, 2006).

Dekorelasyon germe algoritması gri değerler kümesini şekil 5’de görüldüğü üzere A ve B eksenleri yerine temel eksenler (P1, P2) boyunca genişletir ve bu sayede yüksek korelasyonlu çok bantlı görüntüler üzerinde oldukça başarılı sonuçlar elde eder. Temel eksenler azalan varyans değerlerinin sıralanması sonucu belirlenir. P1 eksen görüntü üzerindeki en yüksek parlaklık değişimini ifade eder. P2 eksen ise P1 eksenine göre türetilir. Eğer bantlar arasındaki yüksek korelasyon giderilmek isteniyorsa, Ana Bileşenler (PCs) dönüşümü ile kontrast germe işlemi yapılır ve renk uzayının tümüyle kullanılması sağlandıktan sonra geri dönüşüm ile RGB renk uzayına geri dönlür. Bu şekilde görüntüye ait tüm spektral bilgi iyileştirilerek ortaya koyulmuştur. Bu teknik Ana Bileşenler Dönüşümüne dayalı de-correlation stretch algoritması olarak adlandırılır (Gillespie, et al., 1986; Schowengerdt, 2006).

Çalışmada, tasarlanan akış diyagramına göre dekorelasyon germe işleminin ardından Otsu tarafından geliştirilmiş olan otomatik eşikleme algoritması kullanılarak görüntüler eşiklenmiş ve çeşitli morfolojik operasyonlar görüntüye uygulanmıştır. Bu işlemlerin ardından kenar belirleme, analiz ve gösterim aşamaları gerçekleştirilmiştir.

2.6. Analizler

2.6.1. Obje Uzunluk Ölçümü

Literatürde herhangi bir objeye ait uzunluk ve genişlik değerlerinin ölçümüne yönelik olarak birçok metot geliştirilmiştir. Higgins (2000) çeşitli metotları inceleyerek eğri üzerindeki iki nokta arasındaki en uzun mesafeyi kullanan metodu tercih etmiştir. Objeyi kapsayan en uygun elipsin büyük yarı ekseninin kullanılması yoluyla obje uzunluğu ölçümü yaygın olarak kullanılmakta olan bir metottur (Mulchrone and Choudhury, 2004; Launeau, 2004). Bu işlem için atalet momentlerinin kullanılması oldukça popüler bir yöntemdir ancak momentlerin hesaplanma tekniğine göre farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. En uygun elips bir minimizasyon algoritması veya tensore ait öz değerler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Çalışmada atalet momentleri yardımıyla obje poligonları için en uygun elipsler belirlenerek obje uzunlukları tespit edilmiştir.

2.6.2. Şekil Tanıma

Şekil tanıma yönelik olarak farklı uzaylarda çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Yoğunluk, objenin çevre uzunluğunun karesinin obje alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, yoğunluk bir daire için $4\pi'$ ’de minimum değer alır ve bu yaklaşım kompleks düzensiz şekildeki objeler için sonsuza gider. Ivarinen et al. (1997) çalışmasında yoğunluğu objenin büyüklüğe eş dairenin çevresinin obje çevresine oranı olarak tanımlamıştır. Bu durumda yoğunluk 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır.

Bu çalışmada sadece iki şekil tanıma metodu kullanılmıştır. Bunlar en-boy oranı ve dışbükeyliktir. En yaygın kullanılan şekil tanıma metodu objenin uzunluğu ve genişliği arasındaki en-boy oranının (AR) hesaplanması metodudur. En-boy oranı metoduna örnek verilecek olursa, bu oran yapısal jeolojide çeşitli uygulamalarda belli kabuller altında sonlu şekil değiştirme ile ilişkilendirilebilmektedir (Mulchrone, 2003). Dışbükeylik ise şeklin düzensizliğinin bir ölçütüdür. Dışbükeyliği tespit edebilmenin birçok yolu olmasına rağmen küçük bozulmalara karşı daha hassas olması sebebiyle alandan ziyade obje sınırına bağlı olarak tanımlanır (Zunic and Rosin, 2004). Dışbükeylik (C):

$$C = \frac{P_{conv}}{P} \quad (1)$$

Burada P_{conv} şekli kapsayan dışbükey örtünün (convex hull) çevresini ve P şeklin çevresini ifade etmektedir. Dışbükey örtü şekli kapsayan minimum dışbükey kümedir. Dışbükeylik 0 ile 1 arasında değişmektedir ve dışbükey şekilde bu değer 1 olur. Çalışmada objelere ait alan, çevre, uzunluk, genişlik, dışbükeylik ve yoğunluk değerleri Matlab yazılımında kodlanan program yardımı ile hesaplanmıştır.

Çalışmada Matlab yazılımından faydalanılmasındaki temel neden, geleneksel çizim programlarından üstün olarak tanımlanan her bir poligon ile ilgili alan ve çevre, boyutlar, pozisyon ve eksentrisite gibi çeşitli şekil tanımlayıcı meta verileri kolayca belirleyebilmesidir. Sonuçlar doğrudan bir harita biçiminde sayısallaştırılmış ve parlatılmış referanslandırılmış levha görüntüsü üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, herhangi bir parametrenin konumsal dağılımı renk değerleri yardımıyla çeşitli harita ve tablo biçimlerinde üretilebilmekte ve sunulabilmektedir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, granit kayalar üzerindeki K-feldspar kristallerini tespitine yönelik olarak uygun bir otomatik görüntü analiz tekniği geliştirilmiştir. Bu amaçla iki örnek levhaya (20x35x2 ve 25x35x2) ait görüntüler dijital kamera vasıtası ile elde edilmiştir. Bu işlemin ardından bu görüntüler, K-feldspar kristalleri hakkında çeşitli bilgilerin elde edilebilmesi amacıyla yukarıda bahsedilen otomatik görüntü işleme ve analiz süreçlerinden geçirilmiştir. Uygulamada kullanılan örnekler örnek_1 ve örnek_2 olarak adlandırılmış ve bunlara ait görüntüler Şekil 2’de gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 2’de çalışmada kullanılan otomatik CSD belirleme tekniğinin sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 2. Düzeltilmiş ve düzeltilmemiş görüntülere ait tanecik alan ve çevre değerleri

CSD numarası	Düzeltilmiş görüntü		Düzeltilmemiş görüntü		Farklar	
	Alan (mm ²)	Çevre (mm)	Alan	Çevre	Alan	Çevre
1	10.08	11.76	13.25	13.76	3.17	2.00
2	17.91	15.56	20.97	17.10	3.06	1.54
3	19.85	17.01	24.82	18.85	4.97	1.84
4	24.10	18.93	30.78	21.07	6.68	2.14
5	141.68	70.10	152.71	72.06	11.03	1.96
6	33.86	23.07	34.00	23.25	0.14	0.18
7	160.25	64.29	162.11	64.24	1.87	0.05
8	242.64	94.75	246.67	95.56	4.03	0.81
9	166.34	64.91	165.78	64.72	0.56	0.20
10	8.98	11.90	8.89	12.15	0.09	0.25
11	67.68	37.67	67.30	37.41	0.38	0.26
12	127.17	70.93	127.24	71.70	0.07	0.78
13	54.36	30.71	54.99	31.05	0.63	0.34
14	2.18	6.48	1.85	6.32	0.34	0.16
15	372.40	96.37	371.41	95.95	0.99	0.42
16	13.39	16.61	14.45	17.42	1.06	0.81
17	27.27	19.36	27.32	19.48	0.04	0.12
18	137.05	66.47	134.46	67.06	2.59	0.58
19	82.33	35.68	81.34	35.13	0.99	0.55
20	20.12	22.72	19.37	22.42	0.74	0.30

Uygulamanın ilk aşamasında bahsedildiği üzere örnek levhalara dik alım şeklinde görüntüler 4288x2848 piksel geometrik çözünürlükte alınarak RGB renk uzayında kaydedilmiştir. Bu işlemin ardından kalibrasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Burada kameraya ait önemli distorsiyon parametreleri ve odak noktası koordinatları hesaplanılarak ortaya koyulmuştur. Bu parametrele göre iki örnek görüntü üzerindeki distorsiyonlar giderilmiş ve düzeltilmiş örnek görüntüleri elde edilmiştir. Düzeltilmiş ve düzeltilmemiş görüntüler üzerinden 20 adet tanecik seçilerek alan ve çevre ölçüleri bakımından karşılaştırılmıştır. Tablo 2’de görülmekte olan karşılaştırmalar sonucunda, resim uzayında alan ölçümlerinde 11.03 mm^2 ve çevre ölçümlerinde de 2.14 mm değerlerine varan farklar tespit edilmiştir. Dolayısıyla CSD belirleme işleminde görüntülerin kalibrasyonu ve üzerindeki distorsiyonların giderilmesinin zaruri olduğu açık bir şekilde ortaya koyulmuştur.

Kristaller görüntüler üzerinde kırmızı renk tonlarında gözükmedirler. Görüntüler üzerinde kristallerin arka planında dağınık geometrik obje veya yapılar ve homojen yapıda olmayan objeler mevcuttur. Bu durum granit levhalar üzerinde CSD tespit işlemini zorlaştırmaktadır. Bu olumsuz etkinin giderilmesi amacı ile düzeltilmiş levha görüntülerine çeşitli iyileştirme algoritmaları uygulanmıştır. Dekorelasyon germe algoritması sayesinde CSD’lerin görüntüler üzerinde ön plana çıkması sağlanmıştır. Bu kontrast germe işleminin ardından görüntüler üç renk bandına ayrılmıştır. Bu aşamada uzaktan algılama ve dijital görüntü işleme uygulamalarında kullanılmakta olan bant aritmetiği teknikleri kullanılmıştır. Bu aşamada spektral değerler incelendiğinde, en uygun kombinasyonun kırmızı banda ait piksel değerlerinin mavi banttan çıkartılması ile oluşan fark görüntülerinde olduğu görülmüştür. Elde edilen bu fark görüntüsü gri düzeyli bir görüntü olup, kristal objelerin bu görüntü üzerinde yüksek oranda ayırt edilebilir duruma geldiği görülmüştür. Ancak ayırt edilebilirliğin en yüksek düzeye çıkartılabilmesi için fark görüntüsü üzerinde bulunan gürültü ve benzeri küçük objelerin temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaç ile görüntü öncelikle otomatik eşikleme algoritmalarından Otsu tarafından geliştirilen metot yardımıyla elde edilen 0.40 eşik değeri kullanılarak ikili forma dönüştürülmüştür ve ardından görüntüye açma, kapama, doldurma gibi morfolojik operasyonlar uygulanmıştır. Son olarak 50 pikselden küçük olan ve kristal obje olarak kabul edilemeyecek objelerin temizlenmesi ile görüntü üzerindeki gürültü ve parazitler giderilmiştir. Bu aşamada iyileştirme işlemi tamamlanmış ve görüntüler mantıksal (logic) formata dönüştürülmüştür. Ardından görüntüdeki her bir kristal için kenar belirleme algoritmaları yardımıyla sınırlar belirlenmiş ve objelere ait dokusal ve şekilsel tüm özellikler (alan, çevre, ağırlık merkezi koordinatları, eksentrisite, dışbükey örtü, vb.) hesaplanmıştır.

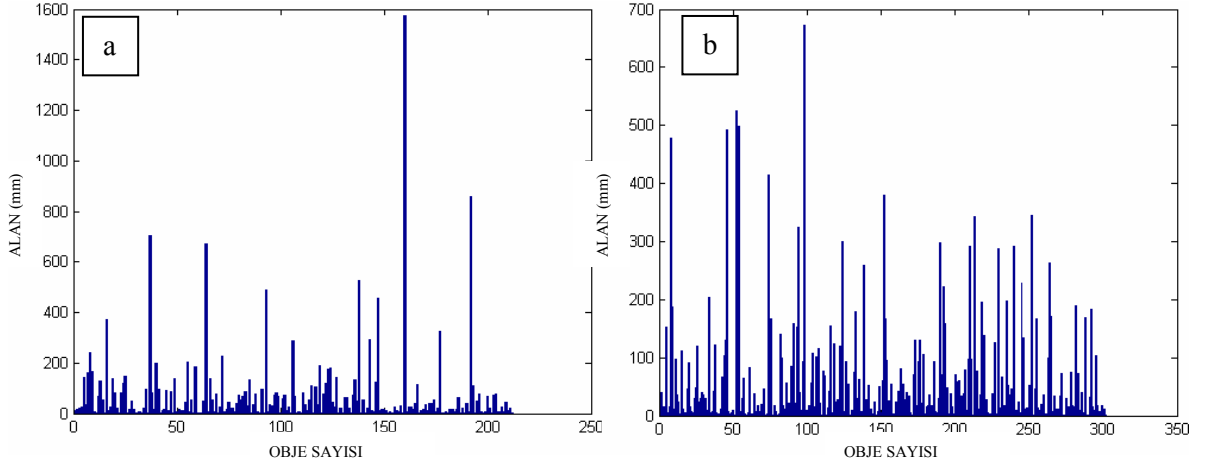
Şekil tanıma aşamasında ise objeleri kapsayan en uygun elipsler belirlenmiş ve her bir elips için eksentrisite değerleri hesaplanmıştır. Bu işlemlerin ardından enterpolasyon tekniği kullanılarak obje boyutlarına göre renklendirilmiş haritalar oluşturulmuştur. Aynı şekilde objelere ait dışbükeylik değerlerine göre renklendirilmiş bir obje haritası da oluşturulmuştur. İstatistiksel olarak tüm sonuçlar irdelenerek sonuçlar ortaya koyulmuştur.

3.1. Objeler Alan ve Uzunluk Sonuçları

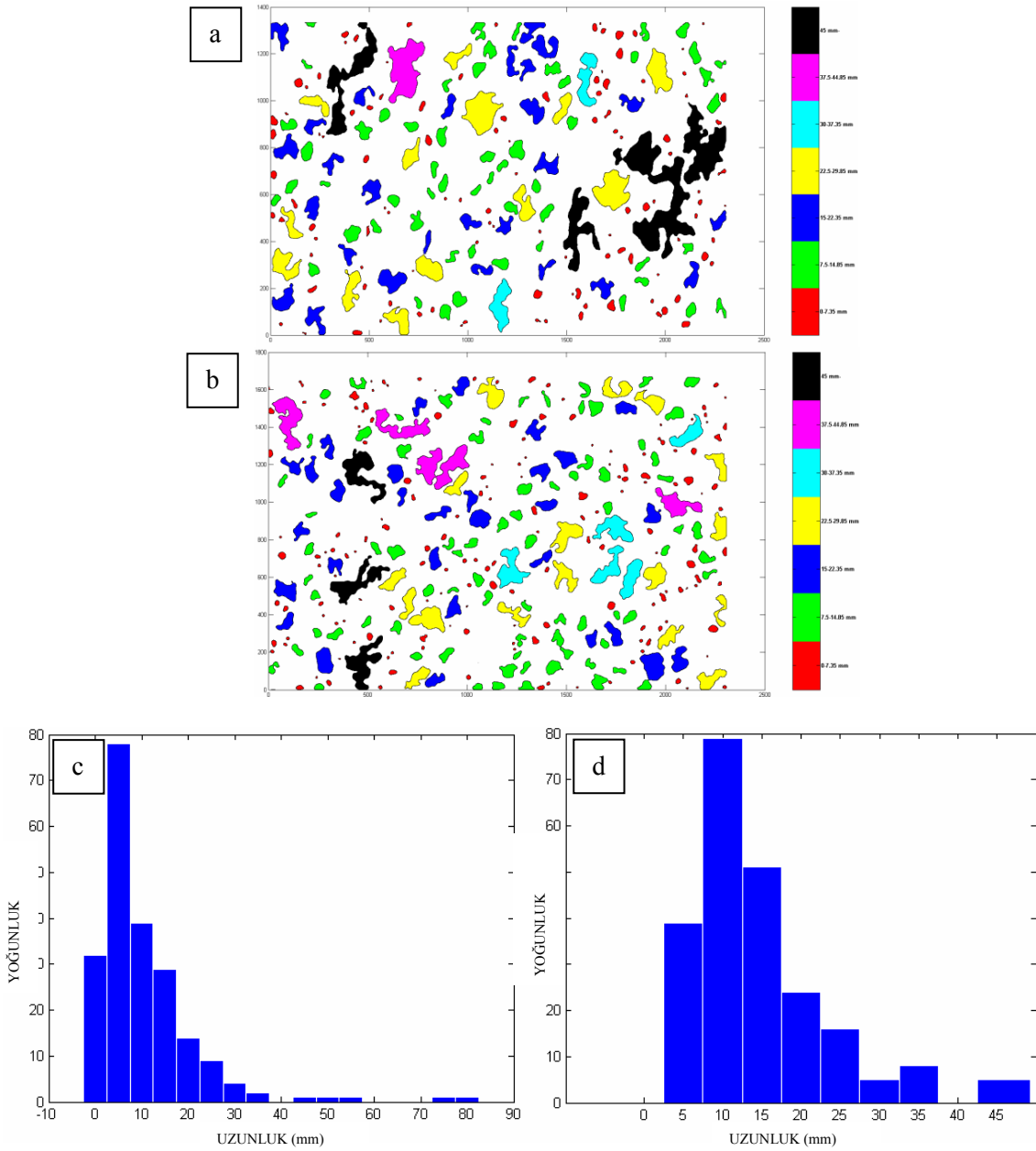
İki örneğe ait alan dağılımları geliştirilen akış diyagramına göre hesaplanarak Şekil 6’da gösterilmiştir. Dağılımlar incelendiğinde kristal alan değerlerinin her iki örnek için de nispeten küçük olduğu görülmektedir. Örnekler için elips metodu kullanılarak hesaplanan CSD uzunlukları incelendiğinde kristal uzunluklarının görüntü ölçeğinde örnek_1 için 0.7 – 80 mm, örnek_2 için ise 0.7 – 45 mm aralığında değiştiği görülebilmektedir (Şekil 7). Bu da kristal boyutlarının normal dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak şekil 11 incelendiğinde örnek_1 için hesaplanan CSD uzunluklarının örnek_2 için hesaplanılardan daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

3.2. Şekil Tanıma Sonuçları

Yukarıda da bahsedildiği üzere geliştirilen akış şemasına göre, her iki örnek üzerinde bulunan kristaller için en-boy oranı ve dışbükeylik gibi şekil tanıma parametreleri hesaplanılmıştır. Tüm örneklerle yönelik olarak en-boy oranı parametresi incelendiğinde maksimum 3.5 değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum görüntü üzerinde tespit edilmiş olan kristallerin elips şekline yakın bir geometrik şekilde olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak en-boy oranı her iki örnek için 1 ile 2.5 değerleri arasında değişim göstermektedir.

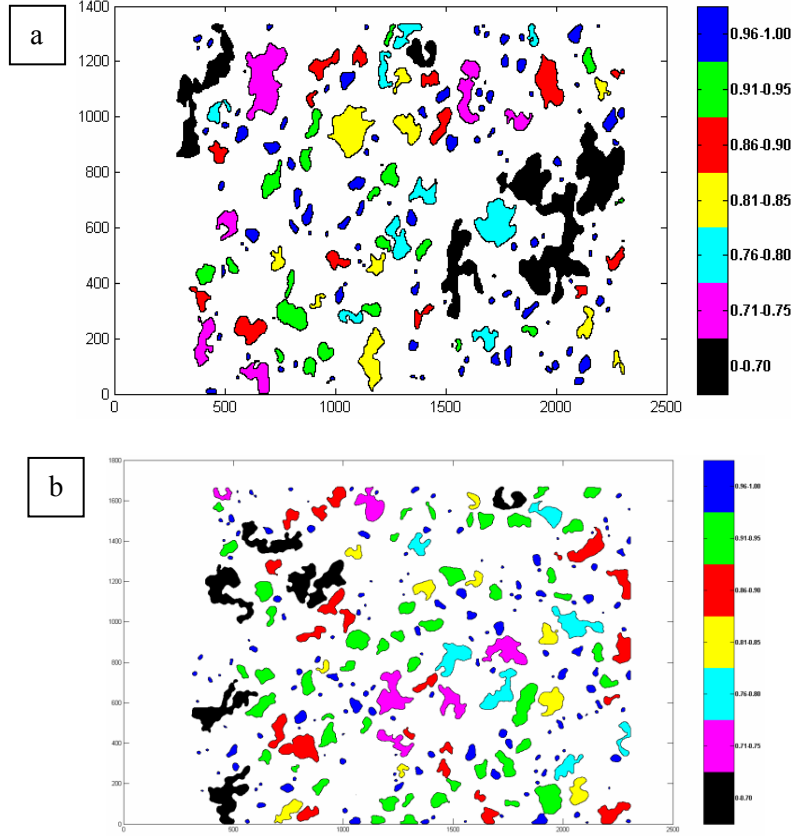


Şekil 6. CSD örneklerinin histogramı (a) Örnek_1 kristal alanları (b) Örnek_2 kristal alanları



Şekil 7. Kristal boylarının histogramı (a) Örnek_1 enterpole edilmiş uzunluk haritası (b) Örnek_2 uzunluk haritası (c) ve (d) Örnek_1 ve Örnek_2 uzunluklara ilişkin yoğunluk.

Çalışmada kullanılan bir diğer şekil parametresi olan dışbükeylik değerlerine göre de kristaller sınıflandırılmıştır. Akış diyagramına göre oluşturulmuş olan dışbükeylik haritası şekil 8'de görülmektedir. Dışbükeylik haritası incelendiğinde dışbükeylik değerlerinin rastgele bir değişim göstermediği görülmektedir. Burada yüksek dışbükeylik değerlerine sahip kristaller düşük değer taşıyanlardan kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir. Yüksek dışbükeyliğin genellikle küçük obje kümelerine bağlı olduğu görülmektedir. Düşük dışbükeylik değeri taşıyan bölgelerin ise büyük ve kompleks yapıdaki tek kristaller ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bu durumlar her iki örneğe ait tüm haritalarda gösterilmiştir (Şekil 8a, b, c ve d).



Şekil 8. Dışbükeylik değerlerinin iki örnek için konumsal dağılımı. (a) ve (b) Örnek_1 ve Örnek_2.

Sonuç olarak çalışmada tanecik tespiti ve sınırlarının belirlenmesine yönelik görüntü işleme ve analiz tekniklerinden faydalanılan yeni bir akış şeması ortaya koyulmuş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca kamera kalibrasyonunun taneciklere ait metrik ölçütler üzerindeki etkisi de ortaya koyulmuş ve giderilmiştir. Kullanılan şekil tanıma teknikleri yardımıyla yapılan analizlerde tanecikler şekilsel özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Dokusal parametreler yardımıyla harita ve tablo örnekleri elde edilmiştir. Son olarak çalışmada kullanılan metodun farklı düzeyde başkalaşımın meydana gelmiş kayaç türleri üzerinde test edilmesi gerekmektedir. Gelecekte bu amaca yönelik olarak farklı granitoid kayaçlardan elde edilen daha fazla sayıda örnek üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- URL-1, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc. (15 Haziran 2009).
- Gruen, A., Huang, T.S., 2001, Calibration and orientation of cameras in computer vision, *Springer-Verlag*, New York, Inc., Secaucus, NJ, 235 p.
- Amma-Myasaka, M., Nakagawa, M., 2002, Origin of anorthite and olivine megacrysts in island-arc tholeiites; petrological study of 1940 and 1962 ejecta from Miyake-Jima volcano, Izu-Mariana arc, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 117, 263–283.
- Barraud, J., 2006. The use of watershed segmentation and GIS software for textural analysis of thin sections, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 154, 17–33.
- Boorman, S., Boudreau, A., Kruger, F.J., 2004, The lower zone-critical zone transition of the Bushveld Complex: a quantitative textural study, *Journal of Petrology*, 45(6), 1209–1235.
- Cashman, K.V., Mangan, M.T., Newman, S., 1994, Surface degassing and modifications to vesicle size distributions in active basalt flows, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 61, 45–68.

- Choudhury, R.K., Meere, P.A., Mulchrone, K.F.**, 2006, Automated grain boundary detection by CASRG, *Journal of Structural Geology*, 28(3), 363–375.
- Erdogan, M.**, 2000, Measurement of polished rock surface brightness by image analysis method, *Engineering Geology*, 57, 65–72.
- Gillespie, A.R., Kahle, A.B., Walker, R.F.**, 1986, Color enhancement of highly correlated images, I. Decorrelation and HSI contrast stretches, *Remote Sensing of Environment*, 20, 209–235.
- Heilbronner, R.P.**, 2000, Automatic grain boundary detection and grain size analysis using polarization micrographs or orientation images, *Journal of Structural Geology*, 22, 969–981.
- Higgins, M.D.**, 2000, Measurement of crystal size distributions, *American Mineralogist*, 85(9), 1105–1116.
- Higgins, M.D.**, 2002a, A crystal size-distribution study of the Kiglapait layered mafic intrusion, Labrador, Canada: evidence for textural coarsening, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144, 314–330.
- Jerram, D.A., Cheadle, M.J., Hunter, R.H., Elliott, M.T.**, 1996, The spatial distribution of grains and crystals in rocks, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 125(1), 60–74.
- Jerram, D.A., Cheadle, M.J., Philpotts, A.R.**, 2003, Quantifying the building blocks of igneous rocks: are clustered crystal frameworks the foundation?, *Journal of Petrology*, 44(11), 2033–2051.
- Kavzoglu, T., Karsli, F.**, 2008, Calibration of a digital single lens reflex (SLR) camera using artificial neural networks, *XXIst ISPRS Congress, Proceedings of Commission V*, 3-11 Jul 2008, p.27, Beijing, CHINA.
- Launeau, P.**, 2004, Evidence of magmatic flow by 2-D image analysis of 3-D shape preferred orientation distributions, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 175(4), 331–350.
- Lumbreras, F., Serrat, J.**, 1996a. Segmentation of petrographic images of marbles, *Computer and Geosciences*, 22, 547–558.
- Mangan, M.T., Cashman, K.V.**, 1996, The structure of basaltic scoria and reticulite and inferences for vesiculation, foam formation, and fragmentation in lava fountains, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73, 1–18.
- Marmo, R., Amodio, S., Tagliaferri, R., Ferreri, V., Longo, G.**, 2005, Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: Methodology proposal and examples, *Computers & Geosciences*, 31, 649–659.
- Młynarczuk, M.**, 1999, Some remarks on the application of image analysis and image processing for the description of the geometrical structures of rock, *Physicochem Probl Miner Proces*, 33, 107–116.
- Mock, A., Jerram, D.A.**, 2005, Crystal size distributions (CSD) in three dimensions: insights from the 3D reconstruction of a highly porphyritic rhyolite, *Journal of Petrology*, 46, 1525–1541.
- Mowers, T.T., Budd, D.A.**, 1996, Quantification of porosity and permeability reduction due to calcite cementation using computer-assisted petrographic image analysis techniques, *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 80(3), 309–322.
- Mulchrone, K.F.**, 2003, Application of Delaunay triangulation to the nearest neighbour method of strain analysis, *Journal of Structural Geology*, 25(5), 689–702.
- Mulchrone, K.F., Choudhury, K.R.**, 2004, Fitting an ellipse to an arbitrary shape: implications for strain analysis, *Journal of Structural Geology*, 26(1), 143–153.
- Obara, B., Kožušniková, A.**, 2007, Utilisation of the image analysis method for the detection of the morphological anisotropy of calcite grains in marble, *Computers & Geosciences*, 11, 275–281.
- Perring, C.S., Barnes, S.J., Verrall, M., Hill, R.E.T.**, 2004, Using automated digital image analysis to provide quantitative petrographic data on olivine-phyric basalts, *Computers & Geosciences*, 30(2), 183–195.
- Peternell, M., Kruhl, J.H.**, 2009, Automation of pattern recognition and fractal geometry based pattern quantification, exemplified by mineral phase distribution patterns in igneous rocks, *Computers & Geosciences*, 35(7), 1415–1426.
- Protz, R., Van den Bygaart, A.J.**, 1998, Towards systematic image analysis in the study of soil micromorphology, *Sciences of Soils*, 3(4), 1–11.
- Schowengerdt, R.A.**, 2006, Remote sensing models and methods for image processing, *Third Edition, Academic Press*, Tucson, Arizona, 515pp.
- Tarquini, S., Armienti, P.**, 2002, Quick determination of crystal size distributions of rocks by means of a color scanner, *Image Analysis and Stereology*, 22, 27–34.
- Thompson, S., Fueten, F., Bockus, D.**, 2001, Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer stage, *Computers & Geosciences*, 27(9), 1081–1089.
- Wang, W.**, 1997, Image analyses of aggregates, *Computers & Geosciences*, 25, 71–81.
- Waters, C., Boudreau, A.E.**, 1996, A reevaluation of crystal size distributions in chromite cumulates, *American Mineralogist*, 81, 1452–1459.
- Zhou, Y., Starkey, J., Mansinha, L.**, 2004, Segmentation of petrographic images by integrating edge detection and region growing, *Computers & Geosciences*, 30, 817–831.
- Zunic, J., Rosin, P.L.**, 2004, A new convexity measure for polygons, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(7), 923–934.
- Iivarinen, J., Peura, M., Srel, J., Visa, A.**, 1997. Comparison of combined shape descriptors for irregular objects, In: Clark, A.F. (Ed.), 8th British Machine Vision Conference, Essex, Great Britain, pp. 430–439.