

ŞEKİL TANIMA ALGORİTMALARI İLE KAYAÇ GÖRÜNTÜSÜ ÜZERİNDE KRİSTAL DAĞILIMI (CSD) TESPİTİ

Fevzi Karşlı¹, Mustafa Dihkan²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon. fkarşlı@ktu.edu.tr

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

ÖZET:

Fotogrametrik teknikler ile beraber dijital görüntü işleme teknikleri, granit kayaçlar üzerindeki tanecik boyutlarının ölçümü ve sayılarının belirlenmesi amacı ile (doku ve petrografik örgü analizi) kullanılabilmektedir. Çalışmada fotogrametrik tekniklerin yanı sıra dijital görüntü işleme ve şekil tanıma algoritmalarından faydalanılarak CSD (Crystal Size Distribution = Kristal boyut dağılımı) ve bu materyallere ilişkin çeşitli özellikler görüntü üzerinden otomatik olarak çıkarılmıştır. Bu amaca yönelik olarak çeşitli algoritmalarla oluşan bir akış diyagramı oluşturulmuştur. Çalışmanın temel amacı, kullanılan bu teknik yardımıyla granit kayaçlar üzerinde mevcut K-feldspar isimli kristallere ait CSD parametrelerinin otomatik olarak ortaya koyulmasıdır. CSD ölçümlerinin temel ölçütü olan CSD parametrelerinin belirlenmesi için Trabzon'da temin edilen iki adet granit örneği kullanılmıştır. Çalışmada, yüzeydeki taneciklerin konum, uzunluk ve şekilsel özelliklerine dayalı CSD ölçütlerinden; boyut, alan, çevre uzunluğu, yoğunluk, en boy oranı, eksentrisite, basıklık, dışbükeylik, dairesellik gibi tanımlayıcı CSD ölçütleri hesaplanmış ve bunların yüzeydeki konumsal dağılımları ortaya koyulmuştur. Çalışmada kullanılan tüm görüntüler referanslandırılmış, kamera kalibrasyonu yapılarak görüntü distorsiyon hataları giderilmiştir. Ayrıca kalibrasyon sonrasında distorsiyonu giderilmiş görüntüler üzerinden elde edilen CSD ölçütleri ile distorsiyonlu görüntülerden elde edilen ölçütler karşılaştırılarak, ölçütlerin görüntüler üzerinden ölçüm hassasiyetinde kalibrasyonun önemi ortaya koyulmuştur. MATLAB 2009b yazılımında geliştirilen program yardımıyla ilgili algoritmalar görüntülere uygulanmış, hesaplamalar yapılmış ve dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar geliştirilen algoritmanın granit kayaçların K-feldspar kristallerine ait CSD parametrelerini çok daha kolay, doğru ve kısa sürede belirlenebileceğini göstermiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Kalibrasyon, Dijital Görüntü, CSD, Şekil Tanıma, Matlab.

ABSTRACT:

Photogrammetric and digital image analysis techniques are used for counting (modal analysis) and measuring grains (texture and fabric analysis). In this study, Crystal size distribution (CSD) and many properties of intrusive materials automatically put forward by utilizing photogrammetric techniques as well as shape recognition and image analysis techniques. For this purpose a new proposed algorithm/schema was improved. The main objective of this study is to describe CSD of K-feldspar megacrysts of granitoidic rocks automatically. Two polished granite plate samples were prepared to designate CSD parameters called metrics of CSD measurements, obtained from Trabzon. Important descriptive metrics of measurements based on position, size and shape features of grains such as size, area, perimeter, density, orientation, position, aspect ratio, convexity, circularity and oblateness have been computed and their spatial distribution on the surface has been revealed. All images have been registered and camera calibration was performed to remove the image distortion errors. Furthermore, undistorted images that were obtained from the calibration process were compared to the distorted images and the importance of the calibration process has been revealed for measuring of the CSD measurement on images. 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, Shape Recognition, Matlab

1. GİRİŞ

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

Volkanik petrolojide kayaçlara ilişkin dokusal ölçümler yapılmaksızın, nasıl şekillendikleri hakkında yorum yapabilmek oldukça zordur. Dokusal analiz kayaç içersindeki kristallere ait boyut, şekil, yönelim ve konum gibi çeşitli ölçütlerin belirlenmesi ve ölçülmesi işlemlerini kapsamaktadır. Dokusal analizde üç ana doku karakteristiği büyük önem taşımaktadır. Bunlar, (1) kristallere ait boyut dağılımı (2) kristallerin konumsal dağılımı ve (3) kristallerin şeklidir. Bu parametreler volkanik kristalleşme süresince gelişim dinamiklerinin doğrudan fonksiyonudurlar (Gualda and Rivers, 2006; Inanli and Huff, 2009). Bu sebeple bu üç parametrenin en doğru şekilde belirlenmesi analiz ve değerlendirme süreci yönünden büyük önem taşımaktadır. Bu üç CSD parametresinin tespiti için dokusal analiz işleminde en temel ve öncelikli aşama kayaç örnekleri içindeki kristallerin konumlarının ve dış sınırlarının tespit edilmesidir. Genellikle bu işlem ince kesitlere ait fotoğraflar veya taramalar üzerinden el yordamı ile (Higgins, M.D., 2000; Boorman, S. vd., 2004) veya ekrandan çizim programları yardımıyla (Jerram, D.A. vd., 2003) kayaç plakalarına ait dijital görüntüler üzerinden yapılmaktadır.

Oldukça zahmetli ve zaman alıcı olan bu aşamayı otomatize edebilmek amacıyla birçok araştırmacı kristallerin konum ve sınırlarının tespitine yönelik otomatik bir metot geliştirmeye çalışmıştır (Heilbronner, R.P., 2000; Thompson, S. vd., 2001; Tarquini, S., Armienti, P., 2002; Perring, C.S. vd., 2004). Özellikle tüm kayaç alanında ve karmaşık yapıdaki polimineralik plütonik kayaçalarda bu metotların hiçbiri ile tümüyle memnun edici sonuçlar elde edilememiştir. (Jerram, D.A. vd., 1996, 2003; Barraud, J., 2006). Kesitlere ait dijital görüntü analizleri kullanılarak şekil, boyut, yönelim, bu tür özelliklerin yüzeydeki dağılımları gibi dokusal özelliklerin belirlenmesi amacıyla; teknik, biyomedikal ve yerbilimleri alanlarında yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Wang, 1997; Mowers and Budd, 1996). Dijital görüntü analizleri vasıtası ile elde edilen dokusal özellikler ile materyale ait fiziksel karakteristiği arasında kolaylıkla ilişki kurulabilmektedir.

Görüntü işleme teknikleri görüntü üzerindeki ilgilenilen objelere ilişkin çeşitli ayırt edici ve tanımlayıcı nicel özelliklerin insan müdahalesi olmaksızın elde edilebilmesine olanak sağlar. Bu özellikler objelerin tanımlanmasına ve birbirinden ayırt edilmesine olanak sağlar. Görüntü işleme tekniklerine yönelik temel aşamalar; görüntü alımı, görüntü filtrelenmesi, görüntü azaltma/yok etme, bölütleme (segmentasyon) ve özellik çıkartma olarak özetlenebilir (Marmo, R. vd., 2005). Kayaç gelişimini ortaya koyabilmek için yapılacak bir dokusal analiz işleminde morfolojik bilgiye ihtiyaç duyulduğunda, görüntü işleme teknikleri oldukça güçlü, hızlı ve başarılı bir araçtır.

Görüntü işleme teknikleri vasıtasıyla dokusal analiz işlemi için ihtiyaç duyulan birçok ölçüt, (kristal konumu, çevre uzunluğu, alanı, vb.) çeşitli teknikler ve sensörler tarafından kaydedilmiş dijital görüntüler üzerinden elde edilebilmektedir. Bunlara ek olarak görüntü işleme teknikleri kayaç yapılarına ait insan gözüyle tespit edilebilmesi oldukça güç olan çok çeşitli özelliklerin (tanecik sınırları; örn. (Heilbronner, R.P., 2000) ve mikro çatlaklar örn. (Obara, B., Kožušniková, A., 2007) belirlenmesine de olanak 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) segmentasyonu (Młynarczuk, M., 1999), bölge birleştirme (region-merging) algoritması ile segmentasyon (Lumbreras, F., Serrat, J., 1996a), RGB renkli görüntü segmentasyonu (Zhou, Y. vd., 2004), vb. (Obara, B., Kožušniková, A., 2007) olarak sayılabilir.

Çoğu araştırmacı kristallerin dış sınır çizgilerinin çizimini elle (Ammam-Myasaka, M., Nakagawa, M., 2002) veya sayısallaştırma masaları yardımıyla (Cashman, K.V. vd., 1994; Higgins, M.D., 2002a; Mangan, M.T., Cashman, K.V., 1996; Waters, C., Boudreau, A.E., 1996) yaparak elde ettikleri sonuç görüntülerini görüntü işlemeye girdi olarak kullanmaktadırlar. Bu durum ölçütlerin belirlenmesi üzerindeki operatör etkisini ortaya çıkarmakta ve hatalara sebep olmaktadır.

Günümüzde 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 de kullanılabilmektedir (Perring, C.S. vd., 2004).

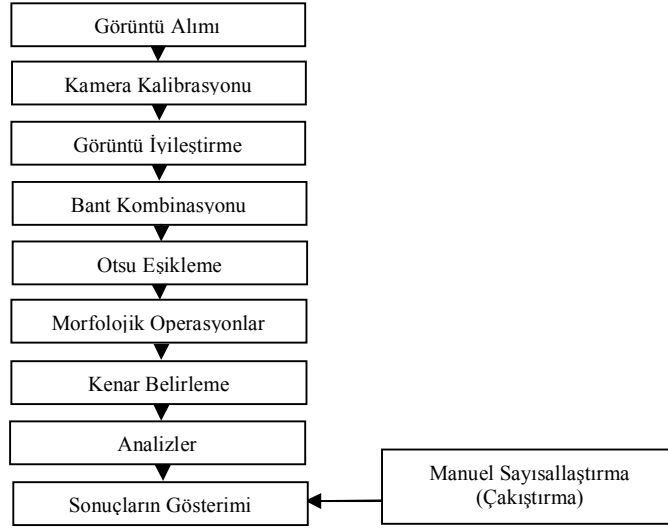
Literatürde daha önceki yıllarda tanecik sınırlarının otomatik olarak sayısallaştırılmasına yönelik olarak farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak; Barraud (2006) çalışmasında havza segmentasyon tekniğini veya Choudhury vd. (2006) çalışmasında otomatik çekirdek bölge gelişimi (Automated 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 operatör müdahalesi olmaksızın sayısallaştırılabilmesine yönelik yeni bir algoritma geliştirilmeye çalışılmıştır. Otomatize edilmiş metotlar kullanılarak yüksek doğruluklar ile tanecik boyutlarının elde edilebilmesi istenildiğinde manuel (el yordamı) doğrulama yapılması gerekmektedir. Manuel doğrulama işlemi sonuçların orijinal görüntüler üzerine karşılaştırılması sonucu görsel olarak yapılabilmektedir. Dokuların otomatik olarak sayısallaştırma kalitesi kayaç yüzeyi kalitesine ve kaydedilen görüntünün çözünürlüğü ile de doğrudan ilişkilidir (Paternell, M., Kruhl, J.H., 2009).

Bu çalışmanın temel amacı; granit özellikli kayaçların K-feldspar kristallerine ait CSD parametrelerinin parlatılmış granit levha görüntüleri üzerinden belirlenmesidir. Bu amaçla yeni bir görüntü analiz tekniği geliştirilmiş ve Matlab programında geliştirilen yazılım yardımıyla algoritmalar programlanmıştır. Bu teknik kullanılarak iki kayaç örneği üzerinde ölçümler yapılmış ve işlenmiş görüntüler üzerinden otomatik metot kullanılarak elde edilen parametreler ortaya koyulmuştur.

2. METODOLOJİ

Çalışmada kullanılan test levhalarına ait görüntülerin alımından istatistiksel analizlere ve sonuçların ortaya koyulmasına değin takip edilen akış diyagramı şekilde gösterilmiştir (Şekil 1).

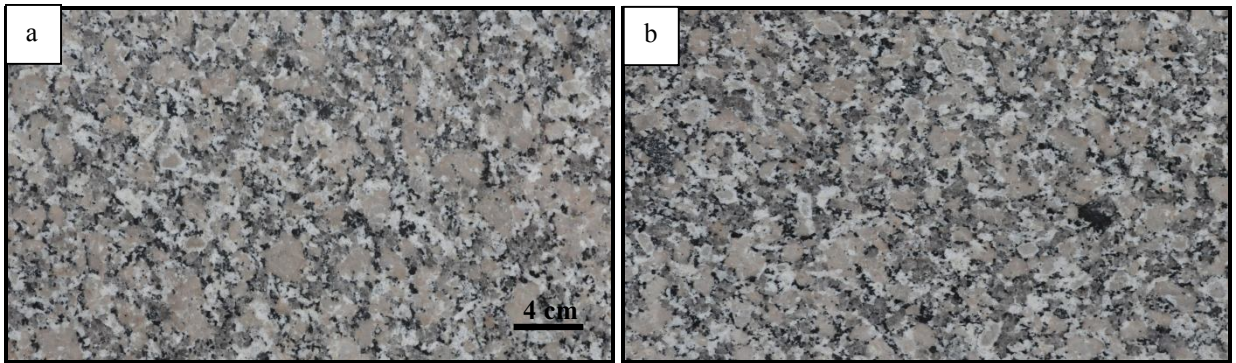


Şekil 1. Geliştirilen akış diyagramı/şeması

2.1. Görüntü Alımı ve Materyal

CSD parametrelerinin en doğru ve en hassas biçimde ortaya koyulabilmesi amacıyla, yüzeyleri parlatılmış plakalara ait yüksek kaliteli dijital görüntülerin kullanılması çok önemlidir. Çalışmada yüksek çözünürlüklü Nikon D90 SLR dijital kamerası kullanılmıştır. Kamera ile dijital görüntüler 24 mm odak uzaklığında, 4288×2848 piksel çözünürlükte ve RGB renk uzayında kaydedilmiştir. Sonuç görüntü 12.2 milyon pikselden oluşmakta ve yaklaşık olarak milimetrede 200 piksel çözünürlüktedir (5 µm).

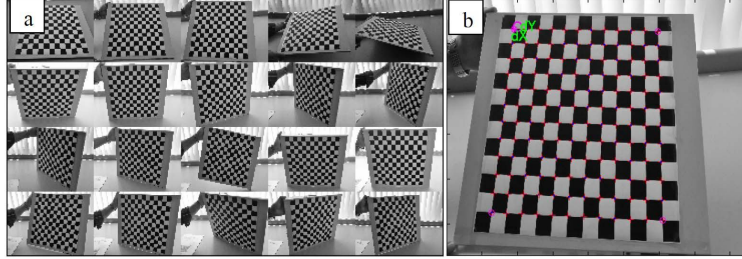
Çalışmada kullanılan granit kayaç Trabzon bölgesine ait ve uygun tanecik dağılımına sahiptir (Şekil 2). Bu granite ait tek yüzü parlatılmış iki büyük levha (35x20x2 ve 35x25x2 cm) temin edilmiştir. Örnek granit levhalar şekilsel ve yapısal olarak birbirinin aynıdır ve her ikisi üzerinde uygun tanecik 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 biçimde seçilmiştir. Örnek görüntü için koordinatlar, bir dikkörtgensel referans grid ağı üzerinden rastgele seçilmiş ve örnek boyutuna göre ölçeklenmiştir (Mock, A., Jerram, D.A., 2005).



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

2.2. Kamera Kalibrasyonu

Dijital görüntüler üzerinden yapılacak her türlü kantitatif analiz işleminde kamera kalibrasyonu büyük önem taşımaktadır (Gruen, A., Huang, T.S., 2001). Yüksek doğruluk ve hassasiyette metrik bilgiler elde edilmek istenilen çalışmalarda 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, T., Karsli, F., 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 karelej (grid) mevcuttur ve her bir karenin boyutları 30×30 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3).



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

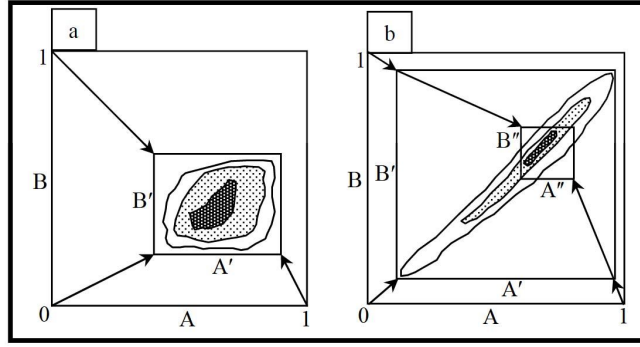
İdeal geometrik pozisyonlarda kalibrasyon levhasına 24 mm odak uzaklığıyla 20 adet görüntü alınmıştır. Matlab CCT yazılımı yardımıyla tüm kalibrasyon görüntülerine ait köşeler otomatik olarak çıkartılmıştır. Köşelerin çıkartılması işleminden sonra kalibrasyon işlemi; optimizasyon ve ardından doğrusal 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.

2.3. Filtreleme ve Gürültü Giderme

Yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinde çeşitli etkenler dolayısı ile gürültü ve deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu tip deformasyon ve gürültü etkilerini azaltmak amacıyla filtreleme olarak adlandırılan çeşitli görüntü işleme algoritmaları geliştirilmiştir. *Medyan filtre*, 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 uygulanarak görüntüler üzerindeki deformasyonlar ve gürültü etkileri görüntülerin keskinlik düzeylerinin azalmasına sebep olmadan 3x3 komşulukta medyan filtre kullanılarak giderilmiştir.

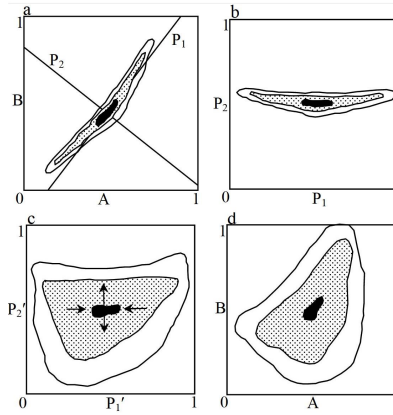
2.4. Kristallerin Tespiti ve Kenarlarının Çıkartılması

Çalışmada levha görüntüleri üzerindeki kristal objeleri çıkarmak ve kenarlarını belirlemek amacıyla dekorelasyon germe (de-correlation stretch) algoritması tabanlı yeni bir metot geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni metoda ait akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Görüntü üzerindeki kristal objelerin spektral karakteristiği incelendiğinde özellikle kırmızı banda ait spektral değerlerinin görüntü üzerindeki diğer detaylardan farklı olmasına karşın bu farklılığın iki gruplu segmentasyon aşamasında gruplama için yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Görüntüler üzerinde kristallerin arka planında dağınık geometrik obje veya yapılar ve homojen yapıda olmayan objeler mevcuttur. Bu durum granit levhalar üzerinde kristallerin tespit işlemini zorlaştırmaktadır. Bu olumsuz etkinin giderilmesi amacı ile düzeltilmiş levha görüntülerine çeşitli iyileştirme algoritmaları uygulanmıştır. Dekorelasyon germe algoritması sayesinde kristallerin görüntüler üzerinde ön plana çıkması sağlanmıştır. Dekorelasyon germe algoritması uygulanmadan önce, konumsal olarak en başarılı sonuçları elde edebilmek amacıyla levhalara ait tüm görüntülere ön işleme aşamasından geçirilmiştir. Kamera kalibrasyon işlemi de bu aşamada yapılmıştır. Dekorelasyon germe algoritması uzaktan algılamada ve görüntü işleme biliminde kullanılan bir görüntü iyileştirme tekniği olup, kayaç bilimlerinde oldukça başarılı bir biçimde uygulanabilmektedir.



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, A.R. vd. 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, R.A., 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 arttırabilmektedir. 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 de-korelasyon 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, A.R. vd. 1986; Schowengerdt, R.A., 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 eksenini görüntü üzerindeki en yüksek parlaklık değişimini ifade eder. P2 eksenini ise P1 eksenine göre türetilir. Eğer bantlar arasındaki yüksek korelasyonu giderme amacı ile, Ana Bileşenler (PCs) dönüşümü ile kontrast germe işlemi yapılır ve renk uzayının tümüyle kullanılması sağlandıktan sonra geri dönüşüm ile RGB renk uzayına geri dönülür. Bu şekilde görüntüye ait tüm spektral bilgi iyileştirilerek ortaya koyulmuştur. Bu teknik Ana Bileşenler Dönüşümüne dayalı de-correlation stretch algoritması olarak adlandırılır (Gillespie, A.R. vd., 1986; Schowengerdt, R.A., 2006).

Bu iyileştirme işleminin ardından görüntüler üç renk bandına ayrılmıştır. Bu aşamada uzaktan algılama ve dijital görüntü işleme uygulamalarında kullanılmakta olan bant aritmetiği tekniklerinden faydalanılarak görüntü tekrar iyileştirilmiştir. 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. Bu aşamada histogram tabanlı segmentasyon aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada Otsu tarafından geliştirilmiş olan otomatik eşikleme algoritması kullanılarak görüntüler eşiklenmiş ve metot yardımıyla elde edilen 0.40 eşik değeri kullanılarak görüntü ikili forma (binary) dönüştürülmüştür. Ardından görüntüye açma, kapama, doldurma gibi çeşitli morfolojik operasyonlar uygulanmıştır. Son olarak 50 pikselden küçük olan ve kristal obje olarak kabul edilemeyecek objelerin temizlenmesi ile görüntü üzerindeki gürültü ve parazitler giderilerek 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 ortaya koyulmuştur.

2.5. Analizler

2.5.1. Objeye Uzunluk Ölçümü

Objelere ait sınırların görüntü işleme teknikleri vasıtası ile kapalı poligonlar olarak elde edilmesi işleminin ardından bu poligonlar kullanılarak objelere ait şekil tanıma metodlarında kullanılan temel büyüklüklerin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde herhangi bir objeye ait uzunluk ve genişlik değerlerinin ölçümüne yönelik olarak birçok metod geliştirilmiştir. Higgins (2000) çeşitli metodları 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 de yaygın olarak kullanılmakta olan bir metottur (Mulchrone, K.F., Choudhury, K.R., 2004; Launeau, P., 2004). Bu işlem için atalet momentlerinin kullanılması oldukça popüler bir yöntemdir ancak momentlerin hesaplanma tekniğine göre farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Tensörü kapsayan en uygun elips, bir minimizasyon algoritması veya tensöre ait öz değerler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Çalışmada atalet momentleri yardımıyla obje poligonları için en uygun elipsler belirlenerek obje uzunlukları tespit edilmiştir.

2.5.2. Şekil Tanıma

Şekil tanıma yöntemine yönelik olarak farklı uzaylarda çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Burada seçilen şekil tanıma algoritmalarına göre çeşitli kestirimler yapılabilir. Örneğin, yoğunluk objenin çevre uzunluğunun karesinin obje alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda, yoğunluk bir daire için 4π 'de minimum değer alır ve bu yaklaşım kompleks düzensiz yüzey şekline sahip objeler için sonsuza gider. Iivarinen, vd. (1997) çalışmada yoğunluğu objenin büyüklüğe eş dairenin çevresinin obje çevresine oranı olarak tanımlamıştır. Bu durumda yoğunluk 0 ile 1 arasında değişen değerler almaktadır. Uygun kombinasyonlar ile kullanılması halinde belli sayıda şekil tanıma metodu objelerin sınıflandırılması için yeterlidir.

Bu çalışmada üç adet şekil tanıma metodu kullanılmıştır. Bunlar en-boy oranı, dışbükeylik ve dairesellik. 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, K.F., 2003). Dışbükeylik ise şeklin düzensizliğinin bir ölçütüdür. Dışbükeyliği belirleyebilmenin birçok yolu olmasına rağmen küçük bozulmalara karşı daha hassas olması sebebiyle alandan ziyade obje sınırına bağlı olarak elde edilmesi birçok araştırmacı tarafından ortaya koyulmuştur (Zunic, J., Rosin, P.L., 2004). Dışbükeylik (C):

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

Burada P_{conv} şekli kapsayan dışbükey örtünün (convex hull) çevresini, P ise şeklin çevresini ifade etmektedir. Dışbükey örtü şekli kapsayan minimum dışbükey kümedir. Dışbükeylik değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir ve tam dışbükey bir şekilde bu değer 1 olur. Çalışmada objelere ait alan, çevre, uzunluk, genişlik, dışbükeylik, yoğunluk ve dairesellik değerleri Matlab yazılımında kodlanan bir program yardımı ile hesaplanmıştır. Çalışmada seçilmiş olan diğer şekil tanıma metodu olan dairesellik ise kristal objelere ait alansal ve şekilsel çeşitli ölçütler (alan, çevre, basıklık vb.) kullanılarak belirlenmiştir. Basıklık ölçütü obje daireselliği tespitinde önemli bir parametredir. Sıfır basıklık değerine sahip objeler tam dairesel olarak kabul edilmektedir. Basıklık değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır:

$$\text{Basıklık} = 1 - (\text{En Küçük Eksen Uzunluğu} / \text{En Büyük Eksen Uzunluğu}) \quad (2)$$

2.5.3. Konumsal İstatistikler

Matlab yazılımının sahip olduğu yüksek hesaplama ve istatistiksel analiz kabiliyetleri sayesinde her bir poligona ait çeşitli öznitelikler de elde hesaplanmıştır. Bunlardan bazıları alan ve çevre, boyut, konum, ağırlık merkezi konumu, eksentrisite, yönelim olarak sayılabilir.

Bahsedilen tüm analizler sonucunda elde edilen sonuçlar doğrudan bir harita biçiminde sayısallaştırılmış ve parlatılmış referanslandırılmış levha görüntüsü üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, herhangi bir parametrenin konumsal dağılımı renk değerleri yardımıyla üretilen çeşitli haritalar ve tablolar vasıtasıyla sunulmuştur.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, granit kayalar üzerindeki K-feldspar kristallerine ait çeşitli ölçütlerin tespitine yönelik olarak uygun bir otomatik görüntü analiz tekniği geliştirilmiştir. Bu amaçla iki adet örnek levhaya (20x35x2 ve 25x35x2) ait görüntüler yüksek çözünürlüklü bir dijital kamera vasıtası ile kaydedilmiştir. Bu işlemin ardından bu görüntüler, K-feldspar kristalleri hakkında çeşitli ölçütlerin 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 1’de çalışmada kullanılan otomatik CSD belirleme metodunun sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 1. Granit örneklerine ait istatistiksel bilgiler

Örnek Adı	Kristal Sayısı	Ortalama Kristal Boyutu (mm ²)	En Uzun Kristal Boyu (mm)	En Boy Oranı	Ortalama Yönelim (deg.)
Örnek_1	212	71.79	544.14	1.58	199.38
Örnek_2	302	59.97	311.24	1.61	187.01

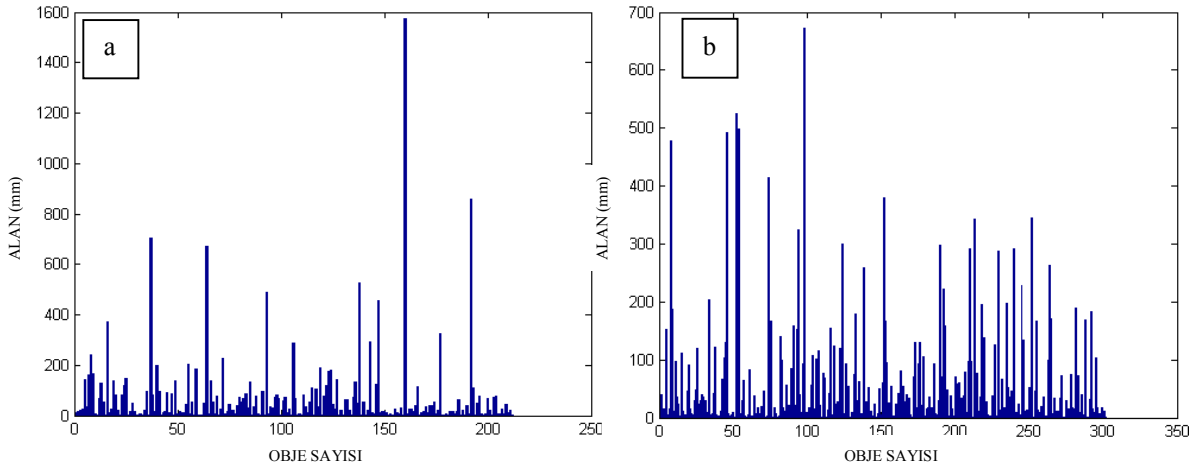
Çalışmanın ilk aşamasında örnek levhalara ilişkin görüntüler yukarıda bahsedildiği üzere dik alım tekniğine uygun olarak kaydedilmiştir. Ardından kalibrasyon işlemi yapılarak kameraya ait önemli distorsiyon parametreleri ve odak noktası koordinatları hesaplanmıştır. Bu parametrelere göre iki örnek görüntü üzerindeki distorsiyonlar giderilmiş ve düzeltilmiş örnek görüntüleri elde edilmiştir. Kalibrasyon sonuçlarının tam manasıyla ortaya konulabilmesi için düzeltilmiş ve düzeltilmemiş görüntüler üzerinden 20 adet tanecik seçilerek alan ve çevre ölçüleri bakımından karşılaştırılmıştır. Tablo 2’deki değerler incelendiğinde, resim uzayında alan ölçümlerinde 11.03 mm² ve çevre ölçümlerinde de 2.14 mm değerlerine varan farklar meydana geldiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla CSD ölçütlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda görüntülerin kalibrasyonu ve üzerindeki distorsiyonların giderilmesinin zaruri olduğu açık bir şekilde ortaya koyulmuştur.

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

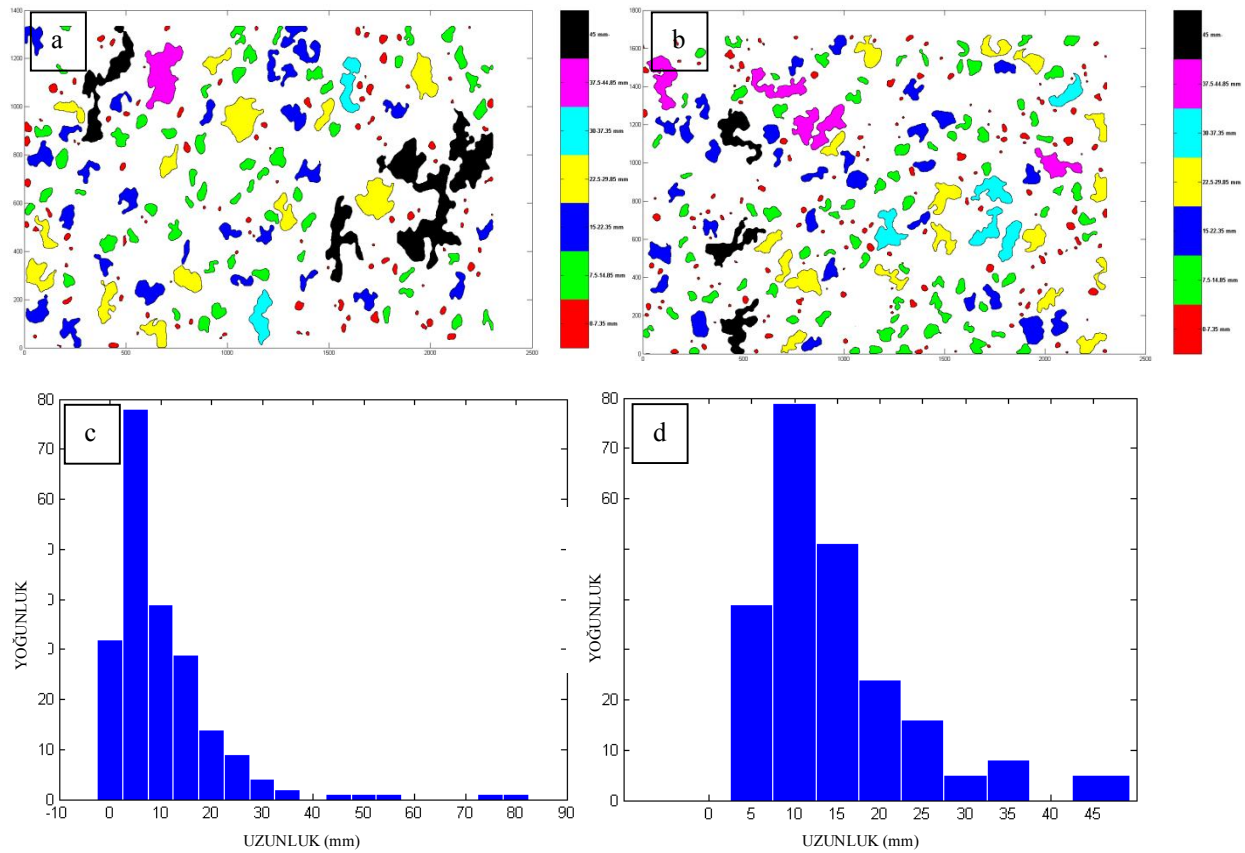
CSD numarası	Düzeltilmiş görüntü		Düzeltilmemiş görüntü		Farklar	
	Alan (mm ²)	Çevre (mm)	Alan	Çevre	Alan	Çevre
1	10.08	11.76	13.25	13.76	3.17	2.00
2	17.91	15.56	20.97	17.10	3.06	1.54
3	19.85	17.01	24.82	18.85	4.97	1.84
4	24.10	18.93	30.78	21.07	6.68	2.14
5	141.68	70.10	152.71	72.06	11.03	1.96
6	33.86	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

3.1. Obje Alan ve Uzunluk Sonuçları

İki örneğe ait alan dağılımları geliştirilen akış diyagramına göre hesaplanılarak 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 7 incelendiğinde örnek_1 için hesaplanan CSD uzunluklarının çoğunlukla örnek_2 için hesaplanılanlardan daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca şekil 7c ve d incelendiğinde, 5 ile 15 mm arasında uzunluk değerlerine sahip kristal objelerin örnekler üzerinde yoğunlukta olduğu görülebilmektedir.



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



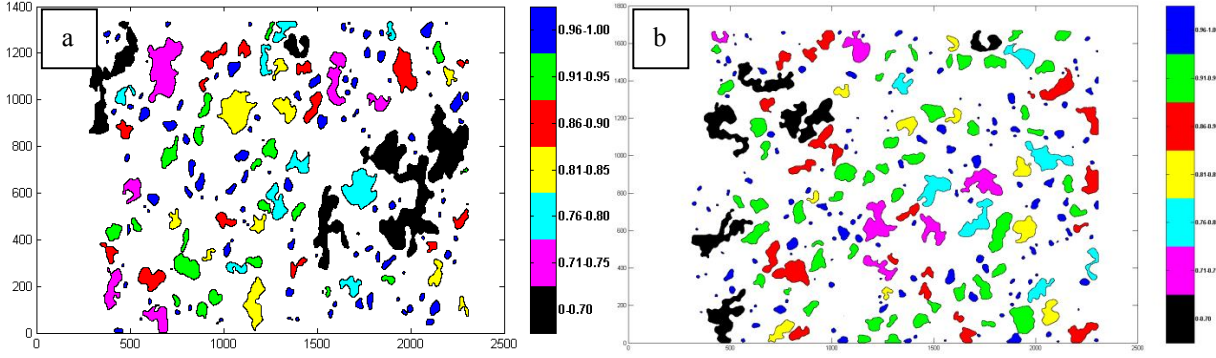
Şekil 7. Kristal boylarının histogramı (a) Örnek_1 enterpole edilmiş uzunluk haritası (b) Örnek_2 uzunluk haritası (c) ve (d) Örnek_1 ve Örnek_2 uzunluklara ilişkin yoğunluk.

3.2. Şekil Tanıma Sonuçları

Çalışmada geliştirilen yeni metoda ilişkin akış diyagramına göre, her iki örnek üzerinde bulunan her bir kristal obje için poligonlar ve poligonlara ait öznitelik bilgileri elde edildikten sonra en-boy oranı, dışbükeylik ve dairesellik gibi önemli şekil tanıma parametreleri hesaplanılmıştır. Örneklere ilişkin en-boy oranı parametresi incelendiğinde maksimum 3.5 değerine ulaştığı ve yoğun olarak 1 ile 2.5 değerleri arasında değişim göstermekte olduğu görülmektedir. Bu durum görüntü üzerinde tespit edilmiş olan kristallerin elips şekline yakın bir geometrik şekle sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

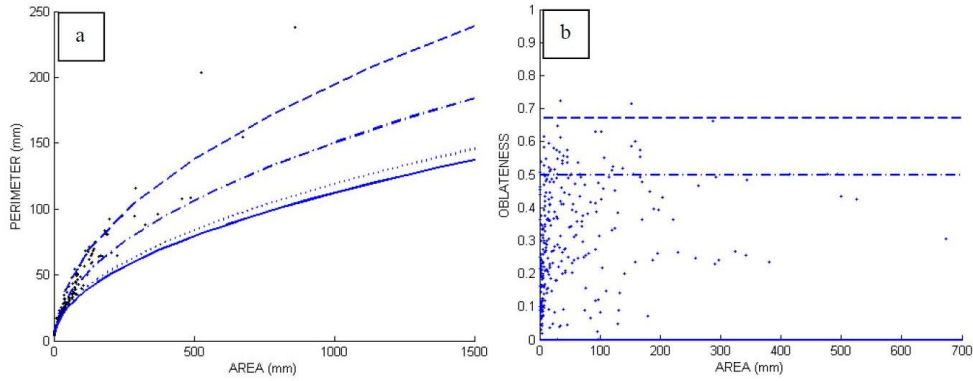
Çalışmada kullanılan bir diğer şekil parametresi olan dışbükeylik değerlerine göre de kristaller sınıflandırılmıştır. Akış diyagramına göre oluşturulmuş olan dışbükeylik haritası şekil 8'de görülmektedir. Dışbükeylik haritası incelendiğinde dışbükeylik değerlerinin rastgele bir değişim göstermediği görülmektedir. Burada yüksek dışbükeylik değerlerine sahip kristaller düşük değer taşıyanlardan kolaylıkla ayırt edilebildiği görülmektedir. Yüksek dışbükeylik değerlerinin genellikle küçük obje kümeleri ile ilişkili olduğu harita

üzerinden anlaşılabilir. 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.

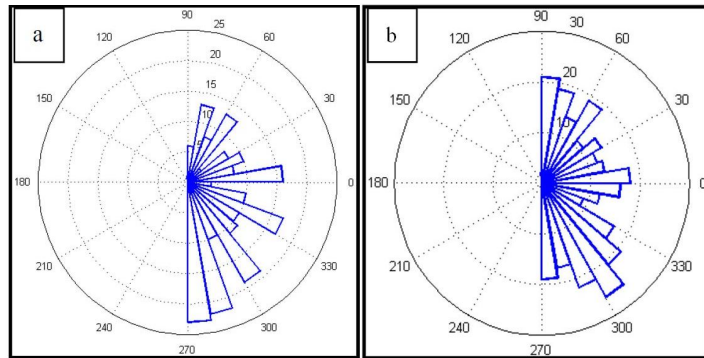
Dairesellik parametresi için ise şekil 9 da görülen tüm kristal objelere ilişkin çeşitli öznelik bilgilerine (alan, çevre ve basıklık) göre çeşitli yaklaşımlarda bulunulmuştur. Yapılan dairelilik testinde alan-çevre oranı ve basıklık değerleri incelenmiş ve sonuçlar şekil 9a ve b de ifade edilmiştir. Şekil 9a incelendiğinde alan-çevre oranının her iki örnek üzerinde bulunan tüm objeler için 10:1 oranını aştığı ve çoğu kristalin 2:1 eliptik oranına yaklaştığı görülebilmektedir.



Şekil 9. Dairesellik Testi. (a) Alan-çevre uzunluklarına ilişkin grafik. *Koyu çizgi* obje şekillerinin tam dairesel şekil ile olan ilişkisini ortaya koymaktadır; *noktalı çizgi* 2:1 oranlı eliptik şekilleri; *kesikli-noktalı çizgi* 5:1 oranlı eliptik şekilleri; *kesikli çizgi* 10:1 oranlı eliptik şekilleri ifade etmektedir. (b) Kristallere ait alan-basıklık değerlerine ilişkin grafik. *Koyu çizgi* tam daire şeklini (basıklık = 0); *kesikli-noktalı çizgi* 2:1 oranlı eliptik şekli (basıklık = 0.5); *kesikli çizgi* 5:1 oranlı eliptik şekli ifade etmektedir (basıklık = 0.67).

3.2. Obje Yönelim Sonuçları

Kristallerin morfolojik yönelimlerini ortaya koyabilmek için her iki örnek levha üzerinde bulunan tüm kristallerin yönelimleri hesaplanmıştır. Yönelim değerleri tüm kristaller için levhalar üzerinde x ekseninden itibaren ölçülmüştür. Her iki örnek levha üzerindeki K-feldspar kristallerine ilişkin yönelim değerlerine göre daire grafikleri şekil 10 a ve b de görülmektedir. Yönelim değerleri 90 – 270 derece arasında değişmektedir. Bu kabaca tüm kristallerin benzer yönelime sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 10. K-feldspar kristalleri yönelim değerlerinin daire grafikleri. (a) ve (b) Örnek_1 ve Örnek_2.

Sonuç olarak çalışmada tanecik tespiti ve sınırlarının belirlenmesine yönelik görüntü işleme ve analiz tekniklerinden faydalanan yeni bir metod 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 başkalaşimlarla 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

- 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.
- 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.
- Gualda, G.A.R., Rivers, M., 2006. Quantitative 3D petrography using X-ray tomography: application to Bishop tuff pumice clasts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 154, 48–62.
- 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.
- Inanli, F.O., Huff, W.D., 2009. Quartz crystal size distribution of the Ordovician Millbrig K-bentonite. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 184, 285–291.
- 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.
- Młynarczyk, 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. Utilization 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.
- 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, BMVC'97, Essex, Great Britain, pp. 430–439.
- URL-1, Retrieved from http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc. (15 Haziran 2009).