

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAYA İNCE KESİT GÖRÜNTÜLERİNDE  
MİNERALLERİN AYRILMASI VE ANALİZİ**

**Ali Hikmet ZİROĞLU**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2013**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KAYA İNCE KESİT GÖRÜNTÜLERİNDE MİNERALLERİN AYRILMASI VE ANALİZİ

Ali Hikmet ZİROĞLU

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı: Doç. Dr. Şahin EMRAH  
Eş Danışmanı: Doç. Dr. Refik SAMET

Görüntü bölütleme işlemi sonucu olarak görüntüler anlamlı bölütlere ayrılırlar ve böylece görüntüler analiz edilmeye hazır hale gelirler. Görüntü bölütleme, görüntülerin analizi, yüz tanıma, iris tanıma, içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri vb. uygulamalar için bir ön çalışma niteliğinde amaca yönelik olarak birçok farklı teknik ile geliştirilip kullanılmıştır. Bu teknikler, problemin çözümüne odaklı farklılıklar göstermişlerdir. Bu tezde de kayalardan alınan ince kesit görüntülerini minerallerine doğru bir biçimde ayırtırmak için uygulanabilecek görüntü bölütleme tekniği tartışılmıştır. Minerallerine ayrılmış ince kesit görüntüsü üzerinde yapılabilecek ölçüm ve analizler değerlendirilmiştir. Bölütleme, ölçüm ve analizlerin yapılabilmesi için disiplinler arası bir çalışma ile geliştirilen yazılım da incelenmiştir.

**Ekim 2013, 55 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, görüntü bölütleme, bilgisayarla görme, bulanık mantık, petrografik görüntü analizi

## **ABSTRACT**

Masters Thesis

### **SEGMENTATION AND ANALYSIS OF MINERALS IN ROCK THIN SECTION IMAGES**

Ali Hikmet ZİROĞLU

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Computer Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şahin EMRAH  
Co-Supervisor: Assoc Prof. Dr. Refik SAMET

As a result of image segmentation process images are segmented into meaningful segments so that images are ready to be analyzed. Image segmentation is implemented via different techniques for various applications such as image analysis, face recognition, iris recognition, content based image retrieval systems, etc. These techniques differ from each other by focusing on the solving of the problem. In this thesis, we discuss image segmentation technique in order to segment rock thin section images into the minerals. Measurements and analyses of segmented thin section images are considered. Also software which is developed via interdisciplinary study for segmentation, measurements and analyses is examined.

**October 2013, 55 pages**

**Key Words:** Image processing, image segmentation, computer vision, fuzzy logic, petrographic image analysis

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek yetiştirme ve gelişmeye katkıda bulunan Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan danışman hocalarım sayın Doç. Dr. Şahin EMRAH ve sayın Doç. Dr. Refik SAMET'e; disiplinler arası gerçekleştirdiğimiz projede bilgi ve tecrübelerini paylaşan Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na; şimdiye kadarki akademik yaşamımda bana katkısı bulunan ve bu noktaya gelmeye yardımcı olan tüm hocalarıma; çalışmalarım süresince maddi manevi her türlü desteği eksik etmeyen aileme ve dostlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinasyon Birimi (No: 11B4343001) tarafından desteklenmiştir.

Ali Hikmet ZİROĞLU

Ankara, Ekim 2013

## İÇİNDEKİLER

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET.....                                                     | i   |
| ABSTRACT .....                                                | ii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                | iii |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....                                      | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                         | vii |
| ÇİZELGE DİZİNİ .....                                          | ix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                | 1   |
| 2. KURAMSAL TEMELLER.....                                     | 3   |
| 2.1 Dijital Görüntü İşleme .....                              | 3   |
| 2.1.1 Histogram .....                                         | 4   |
| 2.1.2 Dijital görüntülerde uzaysal filtreleme .....           | 5   |
| 2.1.2.1 Yumuşatma filtreleri.....                             | 7   |
| 2.1.2.2 Keskinleştirme filtreleri.....                        | 8   |
| 2.1.3 Renk ve renk uzayları.....                              | 10  |
| 2.1.3.1 RGB renk uzayı.....                                   | 10  |
| 2.1.3.2 CMYK renk uzayı.....                                  | 11  |
| 2.1.3.3 HSI renk uzayı.....                                   | 11  |
| 2.2 Bulanık Mantık .....                                      | 12  |
| 2.2.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları .....           | 13  |
| 2.2.2 Bulanık kümeler üzerinde işlemler .....                 | 14  |
| 2.2.3 Bulanık bağıntı ve bileşke.....                         | 15  |
| 2.2.4 Bulanık çıkarım sistemleri .....                        | 17  |
| 2.2.5 Fuzzy C-Means algoritması.....                          | 18  |
| 2.3 Petrografik Görüntü Analizi.....                          | 20  |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                    | 23  |
| 3.1 Görüntünün Minerallerine Ayrılması.....                   | 23  |
| 3.1.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonlarının tanımı ..... | 24  |
| 3.1.2 Görüntünün bulanıklaştırılması .....                    | 26  |
| 3.1.3 Güçlü ve zayıf piksellerin belirlenmesi .....           | 28  |
| 3.1.4 Farklı örnekler almak.....                              | 31  |

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.2 Kesitin Petrografik Analizi .....</b>                        | <b>32</b> |
| <b>3.3 Mikro Jeoloji Örneklerin İnteraktif İşlem Yazılımı .....</b> | <b>37</b> |
| <b>3.3.1 İnce kesit görüntüsünün yüklenmesi .....</b>               | <b>37</b> |
| <b>3.3.2 Minerallerin sınırlarının belirlenmesi .....</b>           | <b>41</b> |
| <b>3.3.3 Ölçümler ve kayaların adlandırılması .....</b>             | <b>45</b> |
| <b>3.3.4 Kaydetme ve yükleme işlemleri .....</b>                    | <b>48</b> |
| <b>4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>                                   | <b>50</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                              | <b>53</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                               | <b>55</b> |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|      |                                                     |
|------|-----------------------------------------------------|
| CMY  | Cyan Magenta Yellow                                 |
| CMYK | Cyan Magenta Yellow Key                             |
| FCM  | Fuzzy C-Means                                       |
| HSV  | Hue Saturation Value                                |
| RGB  | Red Green Blue                                      |
| USB  | Universal serial bus                                |
| QAPF | Quartz, Alkali Feldspar, Plagioclase, Feldspathoids |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 8-bitlik dijital görüntü ve histogramı .....                                                       | 5  |
| Şekil 2.2 $3 \times 3$ 'lük filtre örneği .....                                                              | 6  |
| Şekil 2.3 Averaj filtresi .....                                                                              | 7  |
| Şekil 2.4 Sobel filtresi .....                                                                               | 9  |
| Şekil 2.5 Laplacian filtreleri.....                                                                          | 9  |
| Şekil 2.6 RGB koordinat sistemi.....                                                                         | 10 |
| Şekil 2.7 CMY koordinat sistemi.....                                                                         | 11 |
| Şekil 2.8 HSI koordinat sistemi .....                                                                        | 12 |
| Şekil 2.9 a. Analizör devredeyken, b. analizör devre dışındayken elde edilmiş<br>ince kesit görüntüleri..... | 21 |
| Şekil 3.1 Kaya ince kesit görüntüsü.....                                                                     | 23 |
| Şekil 3.2 Mineralden örnek alınması .....                                                                    | 25 |
| Şekil 3.3 Mavi bileşenin histogram grafiği .....                                                             | 26 |
| Şekil 3.4 Mavi bileşenin üyelik fonksiyonu.....                                                              | 26 |
| Şekil 3.5 Piksel yoğunluk değerlerinden bulanık kümelerle aitlik hesaplanması .....                          | 27 |
| Şekil 3.6 Görüntünün bulanıklaştırılması .....                                                               | 28 |
| Şekil 3.7 Güçlü pikseller .....                                                                              | 29 |
| Şekil 3.8 Zayıf pikseller .....                                                                              | 30 |
| Şekil 3.9 İkili eşikleme ile alınan sonuç.....                                                               | 30 |
| Şekil 3.10 İkinci örnek .....                                                                                | 31 |
| Şekil 3.11 İki örnek ile alınan sonuç.....                                                                   | 32 |
| Şekil 3.12 Taneciğin ana ve küçük eksenini .....                                                             | 33 |
| Şekil 3.13 Kaya adlandırılmasında kullanılan örnek diyagram (Streckeisen 1976).....                          | 36 |
| Şekil 3.14 Dosya yükleme yardımcısı.....                                                                     | 38 |
| Şekil 3.15 İnce kesit yüklendikten sonraki hali .....                                                        | 38 |
| Şekil 3.16 Ölçek menüsü.....                                                                                 | 39 |
| Şekil 3.17 Ölçek yerleştirme .....                                                                           | 40 |
| Şekil 3.18 Mineral oluşturma .....                                                                           | 41 |
| Şekil 3.19 Kırmızıya boyalı mineral tanecikleri .....                                                        | 42 |
| Şekil 3.20 En küçük tanecik boyutu $100 \text{ nm}^2$ .....                                                  | 43 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.21 Üç farklı mineral için örnek mineral boyama ..... | 44 |
| Şekil 3.22 Ölçümler menüsü .....                             | 45 |
| Şekil 3.23 QAPF menüsü .....                                 | 46 |
| Şekil 3.24 QAPF diyagramı (Streckeisen 1976) .....           | 47 |
| Şekil 3.25 İnce kesiti ölçekli kaydetme arayüzü .....        | 48 |
| Şekil 3.26 Proje kaydetme arayüzü .....                      | 49 |
| Şekil 4.1 Kaya ince kesiti .....                             | 51 |
| Şekil 4.2 FCM yöntemi ile alınan sonuç .....                 | 51 |
| Şekil 4.3 Önerilen teknik ile alınan sonuç .....             | 52 |

## ÇİZELGE DİZİNİ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1 Mutlak aç ı farklılıkları ve ağırlıklandırma faktörü ..... | 35 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

## 1. GİRİŞ

Görüntü bölütleme, görüntüyü birden fazla bölüte ayırma işlemine denir. Amacı ise giriş görüntüsünden problemin çözümüne uygun anlamlı bölütler elde etmektir. Sonuç olarak elimizde belirli bir özelliğe göre benzer piksellerin aynı bölütü oluşturduğu bölütlenmiş bir görüntü vardır. Bölütlenmiş görüntü, ileriki aşama olarak görüntünün analizi, yüz tanıma, iris tanıma, içerik tabanlı görüntü erişim sistemleri vb. uygulamalarda kullanılabilir (Gonzalez ve Woods 2007). Bu tezde de kayaların ince kesit görüntülerinin minerallerine ayrılması üzerine geliştirilmiş görüntü bölütleme algoritması tartışılmıştır.

Kaya ince kesit görüntüleri, kayaların petrografik analizinde jeoloji mühendisleri tarafından kullanılmaktadır (Prikryl 2006). Petrografik analiz, kayaçtaki minerallerin oluşturduğu dokuyu inceleyen, kayaların türlerini tespit etmeye ve kayaları adlandırmaya yarayan bir analizdir. Bu analizde ince kesit görüntülerindeki minerallerin sınırları belirlenir ve sınırları belirlenen minerallerin optik özellikleri el ile yaklaşık olarak bulunur. Böyle bir analizin bilgisayar ortamında yapılması ile analize hem hız hem de doğruluk kazandırılmıştır.

Kaya ince kesitleri renkli görüntüler olduğu için, pikseller renk değerlerine göre sınıflandırılabilirler. Fakat minerallerin bozunumlarından kaynaklı ya da mikroskop ışığının minerale olan değişik açılarından kaynaklı mineralin tüm tanecikleri aynı renk değerlerine sahip olmayabilir (Reedy 2006). Bu problemin çözülebilmesi için analizi yapacak uzman ile interaktif çalışacak bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu tezde ince kesit görüntüsündeki minerallerin sınırlarını belirlerken yararlanılan kuramsal temelleri inceledikten sonra probleme önerilen bulanık kural tabanlı görüntü bölütleme tekniği tartışılmıştır. İlk olarak Zadeh (1965) tarafından tanıtılmış olan bulanık mantık bu tekniğin temelini oluşturmaktadır. Literatürde görüntü işleme ve bölütlemenin bulanık mantık yardımı ile yapıldığı birçok çalışma mevcuttur (Karmakar ve Dooley 2001, Chien ve Cheng 2002, Dooley vd. 2003, Potrebic 2004).

Kaya ince kesitlerin minerallerine ayrılmasında kullanılacak bulanık mantık tabanlı teknikte uzmanın mineralden her örnek alışı ile temel renkleri modelleyen bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları güncellenir ve piksellerin minerale olan üyeliği hesaplanır. Belli bir üyelik değerinin üstündeki pikseller başlangıç noktası olarak kabul edilir ve daha zayıf üyeliğe sahip komşu pikseller ile birlikte minerale dahil edilir. Böylece sadece renk özelliği değil, piksellerin uzaysal ilişkileri de bölütlemeye dahil edilmiş olunur.

Minerallerin sınırlarının belirlenmesinin ardından yapılan ölçüm ve analizler de ileriki bölümlerde tartışılmıştır. Minerallerin taneciklerinin alanı, eksen, şekli, açısı gibi birçok özelliği ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Ayrıca yapılan ölçümler sonrası volkanik kayaların adlandırılması da uygulamaya konulmuştur. MATLAB programlama dilinde geliştirilen interaktif işlem yazılımı da örnekler ile açıklanarak anlatılmıştır.

Bulanık tabanlı kurallar ile geliştirilen bölütleme tekniğinin karşılaştırılması ise literatürde kabul görmüş bir kümeleme algoritması olan Fuzzy C-Means (FCM) algoritması ile yapılmıştır. Aynı kaya ince kesit görüntüleri hem FCM algoritması ile hem de tezde geliştirilen bölütleme tekniği ile minerallerine ayrıştırılarak karşılaştırma yapılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Dijital Görüntü İşleme

Dijital görüntü, üç boyutlu gerçek dünyanın bilgisayar ortamına aktarılmış iki boyutlu izdüşümüdür. Veri yapısı olarak iki boyutlu diziler şeklinde saklanırlar. Bu iki boyutlu dizideki her bir eleman koordinat sisteminde eşit aralığı temsil eder ve bulunduğu satır ve sütunun yoğunluk bilgisini taşıyarak piksel adını alır (Bassman ve Besslich 1995).

Dijital görüntü ikili, gri tonlamalı ve renkli olmak üzere başlıca üç kategoriye ayrılır. İkili görüntülerde pikseller 0 ve 1 dışında değer almazlar. Yani ikili görüntü siyah beyaz görüntünün bir modellemesidir. Gri tonlamalı görüntüler ise sadece ışığın şiddet bilgisini taşır. Örnek olarak sekiz bit ile kodlanan gri tonlamalı görüntülerde pikseller 0 ile 255 arasında değer alarak grinin 256 farklı tonunu modeller. Renkli görüntülerde ise tek bir piksel birden çok değer alarak renk uzayının farklı boyutlarının değerlerini taşır. Örnek olarak Red Green Blue (RGB) renk uzayını kullanan bir renkli görüntüde, bir piksel kırmızı, yeşil ve mavi renk yoğunluk değerlerini alarak farklı renkleri modeller.

Dijital görüntü üzerinde nokta düzeyinde işlem yapılacaksa piksellerin yoğunluk değerlerini bilmek yeterli olacaktır. Nokta düzeyinde yapılan işlemlere eşikleme algoritmasını örnek olarak verebiliriz. Eşikleme algoritması girdi olarak düzlemde bir pikselin değerini alır ve çıktı olarak yeni değeri koordinatlara dokunmadan verir.

Pikselin yoğunluğu ile birlikte komşularını dikkate alarak yapılan işlemlere bölgesel düzeyde işlemler denir. Böylece pikselin uzaysal ilişkileri işlemlerde kullanılmış olunur. Bu tip işlemlere örnek olarak uzaysal filtreler ile gerçekleştirilen yumuşatma ve kenar tespit algoritmaları verilebilir.

Piksellerin uzaysal ilişkilerini kavramak için dijital görüntüdeki  $[i, j]$  pikselini, yani iki boyutlu dizide  $i$ 'ninci satır ve  $j$ 'ninci sütundaki pikseli ele alalım. Bu pikselin dikey ve yatay komşuları

$$i + 1, j, i - 1, j, i, j + 1, i, j - 1$$

koordinatlarında bulunan piksellerdir. Bu pikseller  $[i, j]$  noktasındaki pikselin dörtlü komşuluklarını oluştururlar. Sekizli komşuluklarda ise dörtlü komşuluklara ilave olarak

$$i + 1, j + 1, i - 1, j + 1, i + 1, j - 1, i - 1, j - 1$$

koordinatlarında bulunan pikseller eklenir.

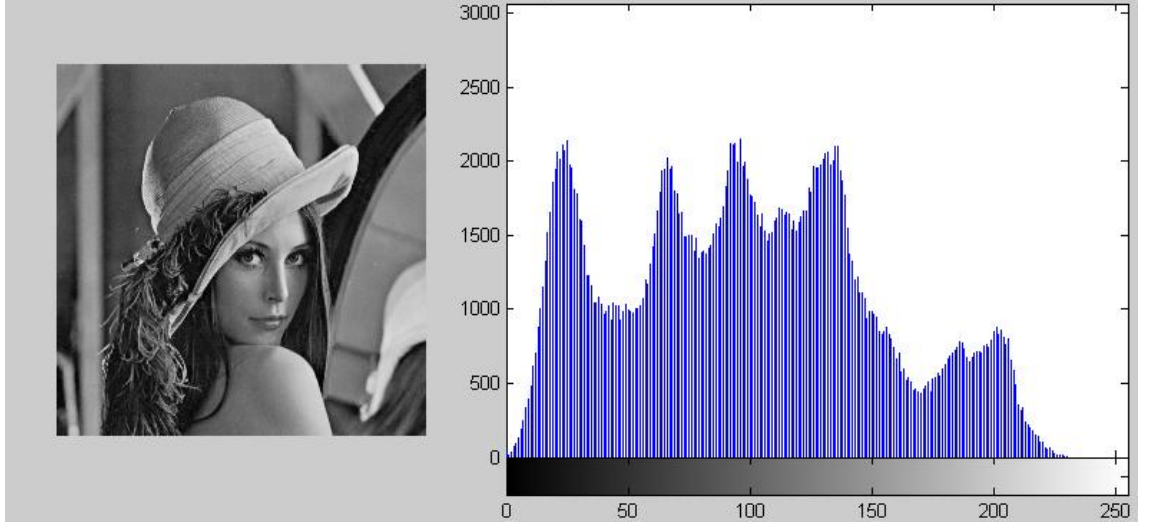
### 2.1.1 Histogram

Nokta ve bölgesel düzeyde yapılabilen işlemlere ek olarak global düzeyde de dijital görüntü üzerinde işlemler yapılabilir. Global düzeyde yapılan işlemlere histogram ve histogram üzerinde yapılan işlemler örnek olarak verilebilir.

Histogram, piksellerin alabileceği yoğunluk değerlerinin kaç adet piksel tarafından alınmış olduğu bilgisini taşır. Bu bilgi ile piksel değerlerinin nasıl dağılım gösterdiği hakkında bilgi sahibi oluruz. Histogram fonksiyonu

$$h(v_k) = n_k$$

şeklinde gösterilir. Burada  $k$  değişkeni pikselin alabileceği değerlerdir. Örneğin 8 bitlik gri tonlamalı dijital görüntüde  $k$  değişkeni  $[0, 255]$  arası tamsayı değerlerini alır ve  $v_k$   $k$ 'nci gri tonunu,  $n_k$  ise  $k$ 'nci gri tonunun kaç adet pikselde kullanıldığını gösterir. Şekil 2.1'de örnek olarak 8-bit gri tonlamalı resim ile histogramı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 8-bitlik dijital görüntü ve histogramı

Histogramların normalizasyonu  $n_k$  değerlerinin, toplam piksel sayısı  $n$ 'ye bölümü ile yapılabilir. Histogramın normalleştirilmesi ile elde edilen

$$p(v_k) = \frac{n_k}{n}$$

formülünde,  $v_k$  gri tonunun görüntüde bulunma olasılığını verecektir.

Histogramlar üzerinde görüntüyü iyileştirmek için ya da bölütleme yapmak için çeşitli işlemler uygulanabilir. Çoğu objenin pikselleri belli bir gri tonunun etrafında kümelenme yapacağından histograma bakarak bu pikseller tespit edilebilir (Kurugöllü vd. 2001). Ya da histogram eşitleme algoritması ile görüntünün kontrastı zenginleştirilerek görüntünün kalitesi artırılabilir (Acharya ve Ray 2005).

### 2.1.2 Dijital görüntülerde uzaysal filtreleme

Uzaysal filtreler, pikselin ve pikselin komşularının değerlerini göz önüne alır ve pikselin değerinde değişiklik yapar. Bu bölümde görüntünün bulandırılmasında,

keskinleştirilmesinde, kenar tespitinde, gürültünün giderilmesinde uzaysal filtrelerinin kullanımını tartışacağız.

Optik lens sisteminden kaynaklı gürültüler, obje ile kamera arasındaki hareket ya da kameranın doğru odaklanmaması gibi durumlarda, işlenecek olan görüntü bozulmuş dijital görüntüler şeklinde karşımıza çıkabilir. Bu durum görüntünün işlenmesini ve o görüntüden doğru sonuçlar çıkarılmasını güçleştirir. Bu sebepler ile öncelikle alınan dijital görüntüyü iyileştirmeliyiz. Görüntü iyileştirmesi için uzaysal filtreler kullanılabilir (Gonzales ve Woods 2007).

Filtreler çekirdek matris şeklinde  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$  gibi tek sayılı boyutlara sahip olabilir. Böylece merkez piksel ve o pikselin komşuları belirlenmiş olur. Filtrenin her elemanı artık piksel değil katsayı olarak adlandırılır ve filtrenin amacına göre katsayılar belirlenir. Şekil 2.2’de katsayıları A’den I’ya kadar olan  $3 \times 3$ ’lük bir filtre gösterilmiştir.

|   |   |   |
|---|---|---|
| A | B | C |
| D | E | F |
| G | H | I |

Şekil 2.2  $3 \times 3$ ’lük filtre örneği

Örnek olarak görüntünün  $i$ ’nci satır ve  $j$ ’nci sütundaki pikselin değeri  $p[i, j]$  ile gösterilsin.  $p[i, j]$  pikseline şekil 2’deki filtreyi uyguladığımızda pikselin yeni değeri  $h[i, j]$

$$h_{i,j} = A p_{i-1,j-1} + B p_{i-1,j} + C p_{i-1,j+1} + D p_{i,j-1} + E p_{i,j} + F p_{i,j+1} + G p_{i+1,j-1} + H p_{i+1,j} + I p_{i+1,j+1}$$

şeklinde hesaplanır. Daha sonra bir sonraki piksele geçilir ve bu işlem baştan sona tüm pikseller için yapılır.

### 2.1.2.1 Yumuşatma filtreleri

Yumuşatma filtrelerinden görüntünün ön işleme çalışmaları sırasında yararlanılır. Görüntüyü yumuşatma filtrelerinden geçirmenin etkisi olarak bulandırılmış bir görüntü ya da gürültüsü azaltılmış bir görüntü çıktı olarak elde edilir. Görüntünün bulandırılması ile küçük detaylar kalkar, geniş yer tutan objelerin bölütlenmesi kolaylaşır, çizgi ya da eğri gibi devamlılığı olan objeler arası boşluklar kapanır. Nokta bazında oluşmuş tuz ve biber gürültüsü gibi gürültülerin kaldırılmasında yumuşatma filtreleri oldukça etkilidir.

Averaj filtresi, merkez piksel ve komşuluklarındaki piksellerin yoğunluk değerlerinin ortalamasının merkez piksele atanması ile elde edilir.  $3 \times 3$ 'lük filtrede 8'li komşuluklara bakılmış olunur (Şekil 2.3).

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Şekil 2.3 Averaj filtresi

$p_{i,j}$  pikseline averaj filtresinin uygulanması sonucu pikselin yeni değeri olan  $h_{i,j}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$h_{i,j} = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 p[i+m, j+n]$$

Merkez pikselin ve komşuluklarındaki piksellerin nasıl düzenlendiğine bakılarak da yumuşatma amaçlı filtreler yaratılabilir. Medyan filtresi çok geniş çapta kullanma alanı bulan bu tip filtrelerden biridir. Medyan filtresi, averaj filtresinin aksine doğrusal bir filtre değildir. Merkez pikselin komşuluklarındaki pikselleri sıralayarak medyan değerinin merkezdeki piksele atanması ile elde edilir.

### 2.1.2.2 Keskinleştirme filtreleri

Görüntüdeki kenar piksellerin belirginleştirilmesi, ince detayların vurgulanması ya da bulanıklığı azaltıp görüntüyü iyileştirmek için keskinleştirme filtreleri kullanılabilir. Bir önceki bölümde yumuşatma işlemi için piksellerin ortalamalarının ya da orta değerin kullanıldığını inceledik. Matematikte ortalama integral ile paralellik arz eder. Yumuşatma filtreleri için integrale paralel işlemler uyguladıysak, yumuşatmanın tersi keskinleştirme filtreleri için integralin tersi türeve paralel işlemler uygulamalıyız. Bu bölümde keskinleştirme işlemleri için görüntüde türevin nasıl kullanıldığını tartışacağız.

Dijital görüntünün türevi, pikseller arası yoğunluk farklarının hesaplanması ile bulunur. Birinci dereceden türev düz yüzeylerde sıfır değerini alacaktır. Piksel değerlerinin değişmeye başladığı anda ve değişikliğin boyutuna göre sıfırdan farklı değerler alacaktır. Dijital görüntüde  $[x, y]$  noktasındaki pikselin x-eksenine göre türevi aşağıda verilmiştir:

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1, y) - f(x, y)$$

Kullanılan filtrelerin katsayılarındaki değişiklikler ya da pikselin hangi komşularının dikkate alınacağını değişmesi ile birinci dereceden türevi kullanan farklı operatörler oluşturulabilir. Sobel operatörü görüntünün birinci dereceden türevini kullanan keskinleştirme filtrelerine örnek olarak verebiliriz. Sobel filtresinin şekil 2.4'teki filtreleri x-ekseni ve y-eksenine göre merkezin birinci türevinin bulunmasında kullanılır. Katsayı olarak 2'nin kullanılması merkez pikselin değerine ağırlık verilmesi içindir. Ardından x ve y eksenlerine göre bulunan türevlerin mutlak değerlerinin toplanması ile merkez piksel için Sobel operatörü uygulanmış olur:

$$\nabla f = |G_x| + |G_y|$$

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0  | 0  | 0  |
| 1  | 2  | 1  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

Şekil 2.4 Sobel filtresi

Görüntünün ikinci dereceden türevi de düz yüzeylerde sıfır değerini alacaktır. Piksel değerleri değişmeye başladığı anda ikinci dereceden türev birinci dereceden türevden daha güçlü bir tepki verir. Aynı oranda piksel değişimlerinde ikinci dereceden türev birinci dereceden türevin aksine sıfır değerini alır. Dijital görüntüde  $[x, y]$  noktasında bulunan pikselin y-eksenine göre ikinci dereceden türevi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f_{x,y+1} + f_{x,y-1} - 2f(x,y)$$

Laplacian operatörü görüntünün ikinci dereceden türevini kullanan keskinleştirme filtrelerinden biridir. Şekil 2.5'teki filtrelerden dörtlü komşuluklar dikkate alınacaksa birinci filtre, sekizli komşuluklar dikkate alınacaksa ikinci filtre ile merkez pikselin Laplacian operatörü ile ikinci dereceden türevi bulunmuş olunur. Ayrıca filtreler merkez pikselin katsayısı pozitif, komşular negatif olacak şekilde de kullanılabilir.

|   |    |   |
|---|----|---|
| 0 | 1  | 0 |
| 1 | -4 | 1 |
| 0 | 1  | 0 |

|   |    |   |
|---|----|---|
| 1 | 1  | 1 |
| 1 | -8 | 1 |
| 1 | 1  | 1 |

Şekil 2.5 Laplacian filtreleri

### 2.1.3 Renk ve renk uzayları

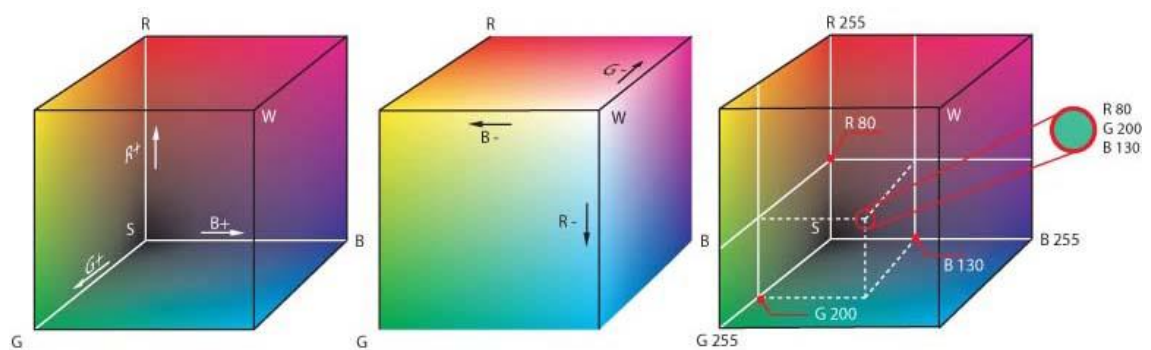
İnsan gözü elektromanyetik tayfta 0,4 ile 0,7 mikron arasındaki dalga boylarını görebilir. Görünür ışılda denen bu çok ince bandın en düşük dalga boyunu kırmızı, en yüksek dalga boyunu ise mor olacak şekilde algılarız.

Objelerin hangi renk olduğuna, yansıttıkları ışığın dalga boyuna bakarak karar verilir. Doğada objeler üzerlerine gelen ışığın bazı dalga boylarını soğurur, bazı dalga boylarını ise yansıtırlar. Eğer obje üzerine gelen tüm ışığı soğuruyor ise siyah, hepsini yansıtıyor ise beyaz renklidir.

Renk uzayları, dijital ortamda doğadaki renkleri modellemek için oluşturulmuş koordinat sistemleridir. Her bir renk, tanımlanan bu koordinat sistemindeki bir noktaya denk gelmektedir.

### 2.1.3.1 RGB renk uzayı

Bu bölümde RGB renk uzayını ele alalım. İngilizcedeki “Red”, “Green”, “Blue” yani kırmızı, yeşil, mavi renkleri temel renkler olarak ele alınıp oluşturulmuştur. Renkli monitörlerde dijital görüntülerin renklerini tanımlamada kullanılan bir renk uzayıdır. RGB renk uzayında her renk kırmızı, yeşil ve mavi renklerinin birbirine eklenmesi sonucu elde edilmeye çalışılır. RGB renk uzayının 8-bitlik resimlerde kullanımı için oluşturulan koordinat sistemi şekil 2.6’da gösterilmiştir.

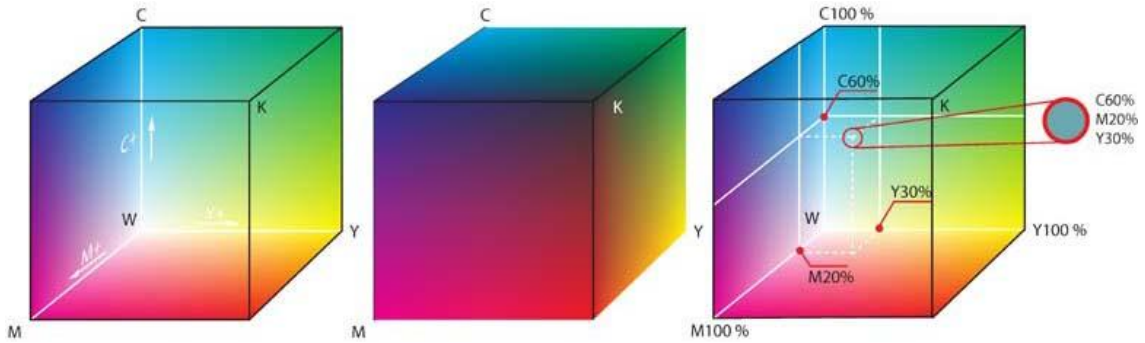


Şekil 2.6 RGB koordinat sistemi

Bu renk uzayında merkez noktası, yani  $[0,0,0]$  noktası siyah rengini ve  $[255,255,255]$  noktası beyaz rengini oluşturur. Basitçe farklı bir renk oluşturmak için kırmızı, yeşil ya da mavi temel renklerinden birinin değerini değiştirmek yeterli olacaktır.

### 2.1.3.2 CMYK renk uzayı

CMY renk uzayı İngilizcede “Cyan”, “Magenta” ve “Yellow” yani camgöbeği, galibarda ve sarı renkleri temel renkler olarak ele alınır. Renkli baskı yapan yazıcılarda kullanılmaktadır. Merkez noktası, yani hiçbir rengin katkı sağlamaması ile beyaz renk elde edilirken üç rengin de tam katkısı ile siyah rengi elde edilir. Ancak pratikte yazıcılarda üç rengin tam birleşimi ile elde edilen siyahın bulanık çıkması sebebi ile siyahı modelleyen dördüncü bir boyut “Key” ismi ile uzaya eklenir ve CMYK renk uzayı elde edilir.



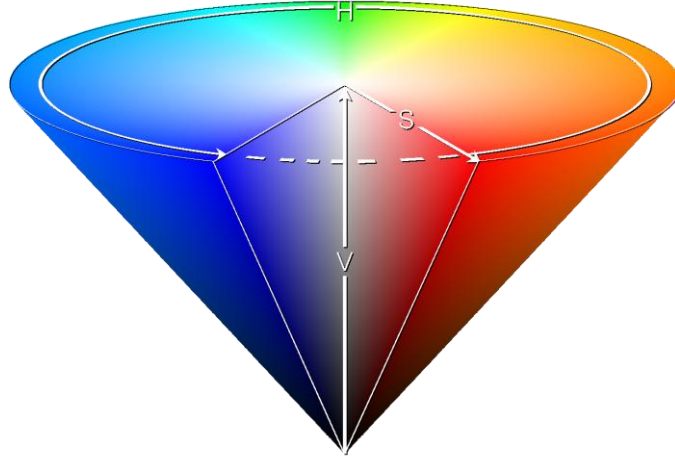
Şekil 2.7 CMY koordinat sistemi

### 2.1.3.3 HSI renk uzayı

HSI renk uzayı, koordinat sisteminin eksenleri olarak “Hue”, “Saturation” ve “Intensity” yani “renk tonu”, “renk doygunluğu” ve “renk şiddeti” değişkenlerinin kullanıldığı bir renk uzayıdır. RGB ve CMY renk uzayları bilgisayar ortamında kullanıma uygunken insanın renk algısına uygun değildir. İnsanlar renkleri tanımlarken, rengi oluşturabilecek diğer renk karışımları ile renkleri tanımlamazlar. Bunun yerine rengin ismini söyledikten sonra doygunluğu ve şiddeti hakkında bilgi

verirler. HSI renk uzayı ile insan renk algısı modellenmiştir. HSI renk uzayının kullanım alanı, insan algısını modellemesinin avantaj sağladığı yerlerdir. Arayüzden renk seçimlerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır.

HSI renk uzayı farklı tipte koordinat sistemlerinde tanımlanmıştır. Biz burada silindirik koordinat sisteminde tanımlanmış HSI renk uzayını inceleyeceğiz (Şekil 2.8). Renk tonu  $0^\circ - 360^\circ$  arası dereceler alır. Her bir derece rengin başka bir tonunu tanımlamada kullanılır. Renk doygunluğu 0 ile 100 arası değer alır. Renk doygunluğu 0 iken piksel sadece grinin tonlarını alabilir durumdadır. Renk şiddeti de 0 ile 100 arası değer alır ve rengin aydınlığını, yani beyaz oranını belirlemede kullanılır.



Şekil 2.8 HSI koordinat sistemi

## 2.2 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, dilsel değişkenlerin matematiksel modellemeler şeklinde kullanılmasını sağlar. Klasik mantıkta bir kümenin elemanları kümeye aittir ya da değildir. Bulanık mantıkta ise kümelere üye olmanın belli dereceleri vardır (Lee 2005).

Örnek olarak “soğuk” dilsel değişkenini ele alalım. 18 santigrat derecenin altındaki dereceleri soğuk kümesinin elemanı olarak kabul edersek, 19 santigrat derece soğuk kümesinin dışında kalacaktır. Öte yandan bulanık soğuk kümesini tanımlarken olası her

derece için üyelik tanımlayabiliriz. Böylece 19 santigrat derecenin soğuk kümesine tam değil ama tama yakın üyelik sağladığını modelleyebiliriz.

### 2.2.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonları

Klasik kümelerde, eğer  $x$  değişkeni  $A$  kümesine ait ise  $x \in A$ , değilse  $x \notin A$  şeklinde gösterilir. Bulanık kümelerde ise olası  $x$  değişkenlerinin hepsi  $A$  kümesinin elemanıdır. İlave olarak elemanların bulanık kümeye üyelik dereceleri vardır. Üyelik dereceleri üyelik fonksiyonu  $\mu_A$  ile gösterilir ve  $A$  kümesine ait her eleman için  $[0,1]$  aralığında değer alır. Eğer  $\mu_A x_i = 1$  ise  $x_i$   $A$  kümesinin tam üyesidir. Eğer  $\mu_A x_i = 0$  ise  $x_i$   $A$  kümesine ait değildir. Eğer  $0 < \mu_A x_i < 1$  ise  $x_i$   $A$  kümesinin bulanık üyesidir.

Üyelik fonksiyonları ayrık ya da sürekli fonksiyon olabilirler. Örnek olarak ayrık ise:

$$A = \{ a, 0.4 , b, 0.5 , c, 1 , d, 0 , (e, 0.2) \}$$

şeklinde olabilir. Sürekli ise:

$$\mu_A x = \frac{1}{(1 + x^2)}$$

şeklinde üyelik fonksiyonu tanımlanabilir.

Bulanık bir kümenin sıfırdan farklı üyelik derecesine sahip elemanlarını içeren kümeye destek kümesi denir ve  $supp()$  ile gösterilir. Örneğin  $A$  kümesi  $X$ 'in bir bulanık kümesi olsun. Aşağıdaki koşulu sağlayan klasik kümeye  $A$ 'nın destek kümesi denir ve  $supp(A)$  ile gösterilir.

$$supp A = \{X | \mu_A x > 0, x \in X\}$$

Bulanık bir kümenin belli bir  $\alpha$  üyelik derecesinden büyük ya da eşit üyelik derecesine sahip elemanları içeren kümeye o bulanık kümenin  $\alpha$  – kesiti denir. Sadece elemanları içerdiğinden klasik bir kümedir. Yukarıda örnek olarak verilen bulanık  $A$  kümesinin  $\alpha$  değeri 0.3 olacak şekilde  $\alpha$  – kesiti alınırsa aşağıdaki klasik küme elde edilir:

$$A^{0.3} = \{a, b, c\}$$

### 2.2.2 Bulanık kümeler üzerinde işlemler

Bulanık kümeler üzerinde klasik kümelerdeki işlemleri modellerken iki tip operatörden faydalanılır. Bunlar üçgensel norm ( $t - norm$ ) ve üçgensel conorm ( $t - conorm$ )'dur.

$T: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu değişmeli, birleşmeli, monoton ve etkisiz elemanı bir ise  $t - norm$  operatörüdür. Aşağıda  $\forall x, y, z \in [0,1]$  için  $t - norm$ 'un özelliklerini inceleyelim.

$$T(x, y) = T(y, x)$$

$$T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), z)$$

$$T(x, y) \leq T(x', y'), x \leq x', y \leq y'$$

$$T(x, 1) = x$$

Bulanık kümelerde kesişme işlemi de bir  $t - norm$  operatörüdür. Standard kesişme işlemi bulanık kümelerde minimum (ve,  $\wedge$ ) operatörü ile aynı operatöre denk gelir. Standart kesişme işlemi dışında Yager, Lukasiewicz gibi birçok isim bulanık kümelerin kesişimi için  $t - norm$  operatörleri tanımlamışlardır.  $A$  ve  $B$ ,  $X$ 'te tanımlı bulanık iki küme olmak üzere standart kesişme işlemi

$$A \cap B = \min(A(t), B(t)), \forall t \in X$$

şeklinde tanımlanır.

$S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  fonksiyonu değişmeli, birleşmeli, monoton ve etkisiz elemanı sıfır ise  $t - conorm$  operatörüdür. Aşağıda  $\forall x, y, z \in [0,1]$  için  $t - conorm$ 'un özelliklerini inceleyelim.

$$S(x, y) = S(y, x)$$

$$S(x, S(y, z)) = S(S(x, y), z)$$

$$S(x, y) \leq S(x', y'), x \leq x', y \leq y'$$

$$S(x, 0) = x$$

Bulanık kümelerde birleşme işlemi bir  $t - conorm$  operatörüdür. Standard birleşme işlemi bulanık kümelerde maksimum (veya,  $\vee$ ) operatörü ile aynı operatöre denk gelir.

Standart birleşme işlemi dışında Yager, Lukasiewicz gibi birçok isim bulanık kümelerin kesişimi için  $t$  – *conorm* operatörleri tanımlamışlardır.  $A$  ve  $B$ ,  $X$ 'te tanımlı bulanık iki küme olmak üzere standart birleşme işlemi

$$A \cup B = \max A(t), B(t), \forall t \in X$$

şeklinde tanımlanır.

$A$  bir bulanık küme ve  $t \in [0,1]$  olsun. Bulanık kümelerin tümleyeni standart olarak  $1 - A(t)$  ile gösterilir.

### 2.2.3 Bulanık bağıntı ve bileşke

Bulanık bağıntı bulanık kümelerin kartezyen çarpımının alt kümesidir.  $X$  ve  $Y$  iki bulanık küme ve kartezyen çarpımları da  $X \times Y$  olsun. Klasik bağıntı bu iki küme arasındaki elemanların arasında bağıntı olup olmadığı hakkında bilgi verir. Kümeler arasındaki bu bağıntıların  $[0,1]$  arasında derecelendirilip, her ikili için  $\mu_R(x,y)$  üyelik fonksiyonlarının oluşturulması ile bulanık bağıntı oluşturulur.

$$X \rightarrow Y \text{ } x,y = R(X \times Y) = \{((x,y), \mu_R(x,y)) | (x,y) \in X \times Y\}$$

İki veya ikiden fazla küme arasında bağıntılar tanımlanabilir. Biz örnek olarak iki küme arasındaki bağıntıyı inceleyelim.  $X$  ve  $Y$  bulanık kümesi aşağıdaki gibi tanımlansın:

$$X = \{ a, 0.7, b, 0.9, (c, 1) \}$$

$$Y = \{ k, 0.9, l, 0.6, (m, 0.3) \}$$

Bu iki bulanık kümenin kartezyen çarpımı, tüm elemanların ikili eşleşmelerini içerir:

$$X \times Y = \{ a,k, a,l, a,m, b,k, b,l, b,m, c,k, c,l, (c,m) \}$$

İkilideki elemanların üyelik derecelerinden bağıntı kümesindeki ikilinin üyeliğinin hesaplanması için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Biz burada örnek olarak minimum operatörün kullanılması ile oluşan bağıntıyı örnekleyeceğiz. İkili bulanık bağıntının üyelik dereceleri minimum operatörü ile bulunup aşağıdaki matris şeklinde gösterilir:

| $R(X \times Y)$ | k   | L   | m   |
|-----------------|-----|-----|-----|
| a               | 0.7 | 0.6 | 0.3 |
| b               | 0.9 | 0.6 | 0.3 |
| c               | 0.9 | 0.6 | 0.3 |

İki farklı uzaydaki bulanık bağıntının birleştirilmesi için bileşke işlemi uygulanır. Bileşke işlemi çıkarım sistemlerinin oluşturulmasında kullanılan kritik bir işlemdir. Bileşke işleminin birçok farklı yol ile tanımı yapılabilir (Jang vd. 1997). Biz burada max-min bileşkesini ele alacağız. Örnek olarak  $R$   $X \times Y$  ve  $S$   $(Y \times Z)$  bağıntılarından  $R \circ S$  bileşkesi hesaplanarak  $T(X \times Z)$  bağıntısının elde edilmesini tartışalım.  $x \in X, y \in Y, z \in Z$  şeklinde tanımlandığında bileşke işlemi  $Y$  uzayındaki  $y$ 'leri maksimum yapacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$R \circ S \ x, z = \max[\min\{R(x, y), S(y, z)\}], \forall y \in Y$$

Bir önceki örnekteki  $X$  ve  $Y$  bulanık kümelerine ek olarak  $Z$  bulanık kümesini tanımlayalım:

$$Z = \{ i, 0.2, (j, 0.8) \}$$

$R(X \times Y)$  bağıntısını yukarıda hesaplamıştık.  $S(Y \times Z)$  bağıntısı hesaplandığında aşağıdaki sonuç elde edilir:

| $S(Y \times Z)$ | i   | j   |
|-----------------|-----|-----|
| k               | 0.4 | 0.8 |
| l               | 0.4 | 0.8 |
| m               | 0.4 | 0.7 |

$T(X \times Z)$  bağıntısının  $a, i$  elemanının  $R \circ S$  bileşkesinin yardımı ile nasıl hesaplandığına bakalım:

$$\begin{aligned}
R \circ S \ a, i &= \max \min R \ a, y, S \ y, i, \forall y \in Y \\
&= \max[\min R \ a, k, S \ k, i, \min R \ a, l, S \ l, i, \min R \ a, m, S \ m, i] \\
&= \max[\min 0.7, 0.4, \min 0.6, 0.4, \min\{0.3, 0.4\}] \\
&= \max[0.4, 0.4, 0.3] \\
&= 0.4
\end{aligned}$$

Geriye kalan ikililer hesaplandıktan sonra aşağıdaki bağıntı matrisi elde edilir:

| $T(X \times Z)$ | i   | j   |
|-----------------|-----|-----|
| a               | 0.4 | 0.7 |
| b               | 0.4 | 0.8 |
| c               | 0.4 | 0.8 |

#### 2.2.4 Bulanık çıkarım sistemleri

Bulanık çıkarım sistemleri bulanık küme ilkelerini kullanarak var olan bilgilerden yeni bilgiler elde edilmesini amaçlar. Klasik çıkarım sistemlerine göre en büyük artısı sözel değişkenlerin çıkarım sistemlerinde kullanılmasına olanak sağlamasıdır. Bulanık çıkarım sistemleri üç kısımdan oluşur (Nguyen vd. 2010). Birinci kısım *Eğer – İse* (*If – Then*) kuralları diye adlandırılan bulanık kurallardan oluşur. İkinci kısım önceki bilgilerden elde edilmiş bulanık değişkenler ve üyelik fonksiyonlarından oluşur. Üçüncü kısım ise yaklaşık akıl yürütme mekanizmasından oluşur ki bu mekanizmada çıkarım işlemi gerçekleştirilir.

*Eğer – İse* kuralları öncül ve soncul kısımlarından oluşur. Öncül kısmında sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve aralarındaki mantıksal ilişkiler yer alır. Soncul kısımda ise giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır.

İkinci kısım bulanık değişkenler ve üyelik fonksiyonları içerir. Bulanık değişkenler ve üyelik fonksiyonları *Eğer – İse* sözel kurallarının öncül ve soncul kısımlarının oluşturulmasında kullanılır.

Yaklaşık akıl yürütme, klasik mantık ile yapılan çıkarımların bulanık değişkenler ile yapılması ile gerçekleştirilir. Klasik mantıkta çıkarım sistemine örnek olarak modus ponens verilebilir. Klasik mantıkta modus ponens derki eğer  $A$  önermesi doğru ise  $B$  önermesi doğrudur:

$$\text{Eğer } A \text{ ise } B$$

Modus ponens'in bulanık mantıktaki karşılığı ise genelleştirilmiş modus ponens'tir. Genelleştirilmiş modus ponens,  $A, A', B, B'$  bulanık kümeler olarak kabul edildiğinde şu şekilde gösterilir:

*Kural: Eğer  $X A$  dan ise  $Y B$  dendir*

*Gözlem:  $X = A'$*

*Çıkarım:  $Y = B'$*

$A, A'$  ve  $B$  bulanık kümelerinden genelleştirilmiş modus ponens kullanılarak  $B'$  bulanık kümesini hesaplamak için bulanık bağıntı ve bileşke kurallarından faydalanılır:

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B)$$

Bu eşitlikte  $A \rightarrow B$  bağıntısının farklı yaklaşımlarla hesaplanması ile farklı bulanık çıkarım sistemleri elde edilir. Örneğin Mamdani yaklaşımında  $A \rightarrow B(x, y)$  bağıntısı  $\min[A(x), B(y)]$  olarak hesaplanırken, Lukasiewicz yaklaşımında  $\max[0, 1 - A(x) + B(y)]$  şeklinde hesaplanır. Çıkarımın kullanım amacına uygun yaklaşım ile bağıntı hesaplanır.  $A'$  bulanık kümesi ile  $A \rightarrow B$  bağıntısının bileşkesi çıkarımın sonucu olan  $B'$  bulanık kümesini verir.

### 2.2.5 Fuzzy C-Means algoritması

Fuzzy C-Means (FCM) algoritması veri noktalarının kümelenmesinde kullanılır. K-means algoritması ile benzer yanlar taşır. K-means kümeleme algoritmasında klasik kümeler kullanılırken FCM algoritmasında bulanık kümeler kullanılır (Bezdek 1981).

K-means kümeleme algoritmasında veriler  $k$  adet klasik kümeye ayrılır. Bu kümelenme sonucu kümelerin elemanlarının kümenin orta değerine olabilecek en yakın elemanlardan oluşması amaçlanır. FCM kümeleme algoritmasında ise bir veri noktasının tüm kümelere belli derecelerde aitliği söz konusudur.

FCM algoritması da k-means algoritması gibi bir fonksiyonun kriter kabul edilmesine ve kriter fonksiyonunun en aza küçültülmesine dayanır. FCM algoritması için aşağıdaki fonksiyon kriter fonksiyonu olarak seçilebilir (Acharya ve Ray 2005):

$$J(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \|x_k - v_i\|^2$$

Bu fonksiyonda  $x_1, x_2, \dots, x_n$   $n$  adet veri noktasıdır.  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_c\}$   $c$  adet olan kümelerin merkezleridir.  $U = [u_{ik}]$   $c \times n$  boyutunda üyelik derecelerinin tutulduğu matristir. Matrisin bir elemanı olan  $u_{ik}$  ise  $k$ 'nıncı veri noktasının  $i$ 'ninci kümeye olan üyelik derecesini verir. Üyelik derecelerinin ağırlıklandırma faktörü olarak  $m \in [1, \infty]$  genelde  $m = 2$  olarak kullanılır, ancak klasik kümelerin kullanıldığı kümeleme algoritmalarında  $m = 1$  olarak kullanılır.

Üyelik derecelerinin sağlanması gereken bazı koşullar vardır. Bunlar:

$$0 \leq u_{ik} \leq 1; \quad \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1; \quad 0 < \sum_{k=1}^n x_k < n$$

Bu koşullar; üyelik derecelerinin 0 ve 1 arasında kalmasını, her veri noktasının en az bir kümeye ait olmasını, tüm kümelere olan üyelik derecelerinin toplamının 1 olmasını ve her kümede en az bir adet veri noktası bulunmasını sağlamaktadır.

FCM algoritması her adımda küme merkezlerini aşağıdaki şekilde günceller:

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m}, i = 1, 2, \dots, c$$

$k$ 'nıncı veri noktasının  $i$ 'ninci kümeye olan üyelik derecesini veren  $u_{ik}$  ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$u_{ik} = \frac{\frac{1}{(x_k - v_i)^2}^{\frac{1}{m-1}}}{\sum_{j=1}^c \frac{1}{(x_k - v_j)^2}^{\frac{1}{m-1}}}, i = 1, 2, \dots, c; k = 1, 2, \dots, n$$

Bu denklemler ışığında FCM algoritması aşağıdaki adımlar ile özetlenebilir:

1.  $U$  matrisindeki üyelik derecelerine rastgele olacak şekilde değerler atanır, küme sayısı  $c$  ve ağırlıklandırma faktörü  $m$  belirlenir.
2. Kümelerin merkezleri  $V$  hesaplanır.
3. Kümelerin merkezlerine göre  $U$  matrisi güncellenir.
4. Üyelik dereceleri yakınsamışsa yani küçük bir pozitif sayıyı temsil eden  $\varepsilon$  değerinden daha az bir değişim varsa algoritma sonlanır.
5. Üyelik dereceleri yakınsamamışsa 2. adımdan devam et.

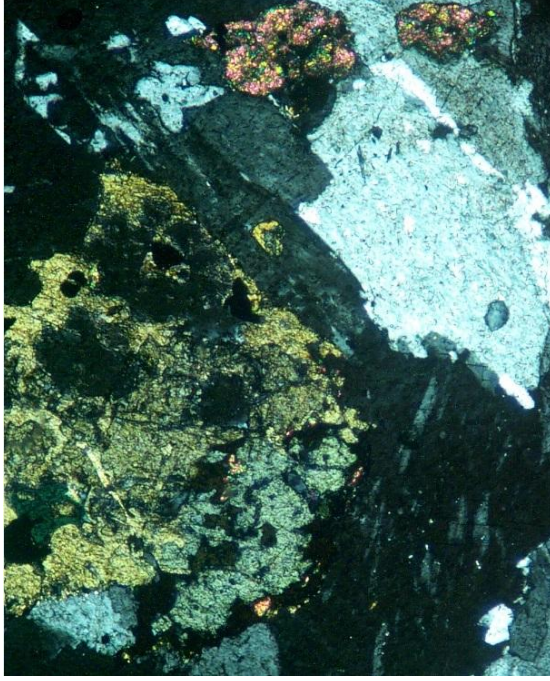
Ayrıca FCM algoritması, yakınsamanın kontrolü ile sonlanabileceği gibi devir sayısına konulan limit ile de sonlandırılabilir.

### 2.3 Petrografik Görüntü Analizi

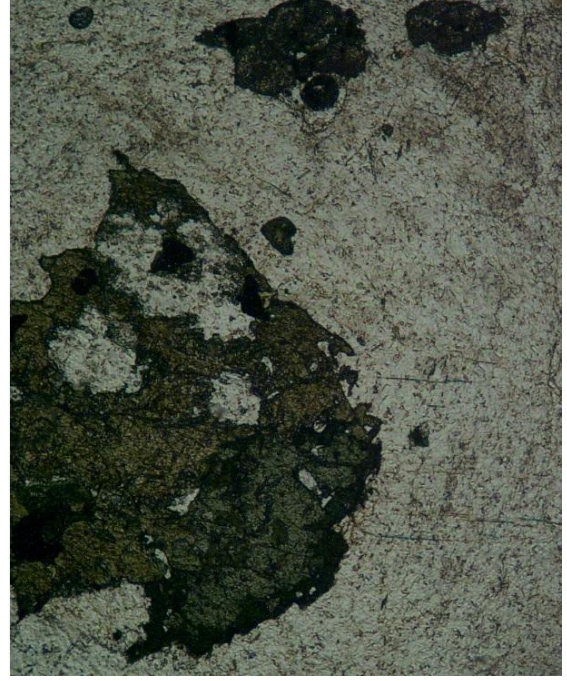
İnce kesitlerin petrografik analizi ile kayacın mineralleri ve mineral dokusu incelenir. Ayrıca kayaçların adlandırılması ile ilgili yardımcı bilgiler de elde edilir. Petrografik analizde kullanılacak kayaç örneğinden küçük levhalar çıkarılır. Bu levhalardan lamelin üzerinde  $30 \mu m$  kalınlığında bir kayaç tabakası olacak şekilde ince kesitler elde edilir. Bu kalınlık iletilen ışık ile çalışmayı mümkün kılmaktadır.

Petrografik analiz için polarizan mikroskoplar kullanılır. Polarizan mikroskoplarda ince kesitin analizi için mikroskopa iki adet polarizör yerleştirilmiştir. İlk polarizör, ışık kaynağı ile ince kesit arasına yerleştirilmiştir. İkinci polarizör ise ince kesit ile mercek ve kameranin arasına yerleştirilir ve analizör adını alır. Analizörün devrede (Şekil 2.9.a)

ve devre dışında (Şekil 2.9.b) olmasına göre polarizen mikroskoplarda iki farklı şekilde ince kesitler incelenebilir.



a.



b.

Şekil 2.9 a. Analizör devredeyken, b. analizör devre dışındayken elde edilmiş ince kesit görüntüleri

İnce kesitlerin incelenmesi sırasında yayınlanmış tahmin çizelgelerinden (Williams vd. 1982, Matthew vd. 1991) faydalananarak görsel tahmin yapılabilir ya da nokta sayma metodu değişik nokta boyutları ile uygulanabilir (Stoltman 1989, Goins ve Reedy 2000). Bu iki metodun da artıları ve eksileri mevcuttur. Görsel tahmin metodunun artısı, yapılan analizin görece daha hızlı olmasıdır. Bu da aynı zaman diliminde daha fazla ince kesit görüntüsünün incelenmesine olanak sağlayarak daha çok ince kesitin analize dâhil edilmesine olanak sağlar. Fakat bu metot tahmine dayalı olduğundan analizi yapan kişinin tecrübesiyle direk olarak bağlantılıdır. Bu nedenle analizin doğruluğu daha fazla ince kesit incelenebilse de tartışmalıdır.

Nokta sayma metodu uygulanırken görüntü karelere bölünür. Ardından minerale ait tanecikleri oluşturan kareler tespit edilir ve analiz için gerekli olan alan, uzunluk gibi

parametreler hesaplanır. Nokta sayma metodu çok farklı şekillerde uygulanabilir. Noktaların boyutu ve taneciğin birden fazla noktayı kapladığında hesaplamaların nasıl yapılacağı ile ilgili metodun değişik uygulamaları mevcuttur. Nokta sayma metodunun temel amacı minerallerin gerekli parametrelerinin olabildiğince doğru olarak hesaplanmasını sağlamaktır.

Kayacı oluşturan bileşenlerin hacimsel birleşim oranlarını tahmin etmede ince kesit görüntüsündeki minerallerin alanları jeoloji mühendisliğinde uzun süredir kullanılmaktadır (Chayes 1954, Daniels vd. 1968). Alan hesaplamalarının kayacın tümüne dair doğru bilgi vermesi için ne kadar çok ince kesit görüntüsü incelenirse o kadar gerçeğe yakın ölçüm elde edilir. Ancak alan hesaplamaları çok zaman kaybettirdiği için incelenebilecek ince kesit sayısı sınırlıdır.

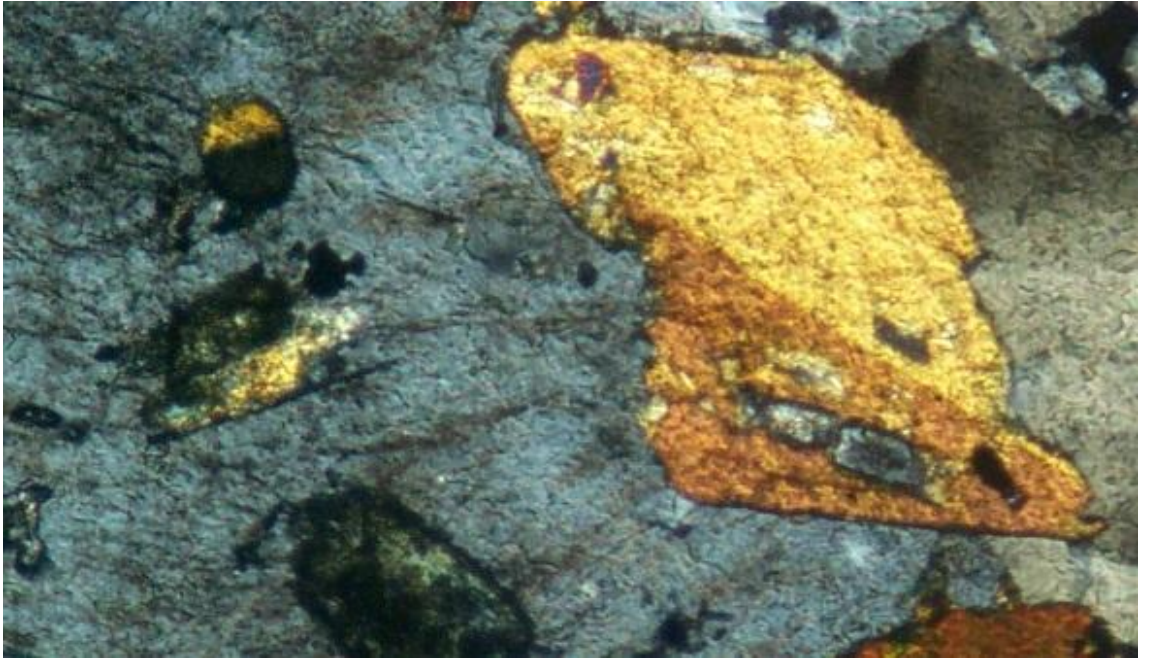
Alan ile ilgili ölçümler dışındaki hesaplamalarda ya hızlı ama daha az güvenilir ya da yavaş ama daha güvenilirdir. Örneğin tanecik ortalama uzunluğunu hesaplamak için her taneciğin teker teker uzunluğunun mikrometre cinsinden ölçülmesi tanecik sayısı ile doğru orantılı olarak çok fazla zaman alacaktır. Öte yandan taneciklerin yuvarlaklığı ile ilgili bir ölçüm tahmin yürütülerek çok hızlı bir şekilde yapılabilir.

Geleneksel ölçüm metotlarına alternatif olarak analiz için gerekli olan ölçümler bilgisayar yardımı ile hesaplanabilir. Bilgisayarın hesaplamaları doğru yapabilmesi için minerallerin sınırlarının doğru bir şekilde belirlenmiş olması ve bir pikselin kaç mikrometreye tekabül ettiği tam olarak belirlenmesi yeterlidir. Ardından yapılacak hesaplamalar hem hız hem doğruluk açısından geleneksel ölçüm metotlarını geride bırakacaktır (Baykan ve Yılmaz 2010, Yeşiloğlu-Gültekin vd. 2012).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Görüntünün Minerallerine Ayrılması

Bu bölümde kaya ince kesit görüntülerinde bulunan minerallerin sınırlarının belirlenmesi için geliştirilen yöntemi tartışacağız. Yani ana materyalimiz, kaya ince kesitleridir (Şekil 3.1). Kaya ince kesitleri, laboratuvar ortamında kayalardan lamel üzerine örnek alınması ile elde edilir. Bu ince kesitlerin görüntüleri ise mikroskopa yerleştirilen yüksek çözünürlüklü kameralar aracılığı ile bilgisayara aktarılır. Ardından jeoloji mühendisi uzmanlar tarafından minerallerin sınırları belirlenir. Mineraller belirlendikten sonra, her bir mineralin alanı hesaplanarak ince kesit görüntüsü petrografik analiz için hazır hale getirilir. Petrografik analiz sonucu kayanın türüne karar verilir.



Şekil 3.1 Kaya ince kesit görüntüsü

Yapılacak petrografik analizler için ilk yapılması gereken, minerallerin sınırlarının tespit edilmesidir. Tek bir mineral, aynı ince kesit görüntüsü içinde farklı renk ve parlaklık değerlerinde olabilmektedir. Bunun başlıca sebepleri mineral bozunması ve

ışık kaynağı ile ışığı kıran mineralin, kesitin farklı noktalarında farklı açılarda olmasıdır. Bu sebeplerden dolayı, mineralleri renk özelliğine göre sınıflandırdığımızda, aynı minerale ait farklı renkli tanecikler, farklı mineralmiş gibi sınıflandırılır ve hata yapmış oluruz. Geliştirilen teknikte, bu tip hataların önüne geçmek için, uzmanın mineralden alacağı örneklerden yardım alınır.

Bu bölümde, uzmanın mineralden örnek alması ile başlayan süreçte mineral sınırlarının nasıl tespit edildiği detaylı olarak ele alınmıştır. Uzmanın mineralden örnek alması ile birlikte örneğin histogram bilgisinden bu mineralle bağıntılı bulanık kümeler oluşturulur. Bu bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarından yola çıkarak henüz bir minerale ataması yapılmamış piksellerin üyelikleri hesaplanır. Bu üyelikler, piksellerin, örneği alınmış minerale ne derecede ait olduğunun belirlenmesinde yol göstericidir. Yüksek üyelik derecesine sahip olan pikseller, örneği alınmış minerale ait bir piksel olarak kabul edilir. Daha düşük üyelik derecesine sahip olan pikseller ise, görüntüdeki konumlarından yola çıkılarak minerale ait olup olmadıklarına karar verilir.

### **3.1.1 Bulanık kümeler ve üyelik fonksiyonlarının tanımı**

Petrografik analizin en çok zaman alan ve en çok hataya açık olan kısmı, minerallerin alanlarının el ile hesaplanmasıdır. Bu işlemin bilgisayar ortamında yapılması, uzmanlara hem zaman kazandıracaktır hem de alan hesabının çok daha doğru yapılmasına olanak sağlayacaktır. Ama bu hesabın bilgisayar ortamında doğrulukla yapılabilmesi için önce minerallerin sınırlarının bir uzmanın belirlediği kadar doğru belirlenmesi gerekmektedir. Uzmanın, bilgisayar programı ile interaktif çalışma içinde olması ile minerallere ayırma işleminin doğruluğu garanti edilir. Uzman ile bilgisayarın interaktif çalışması, uzmanın ince kesit üzerinden aynı minerale ait örnekleri programa giriş yapması ile sağlanmıştır (Şekil 3.2).

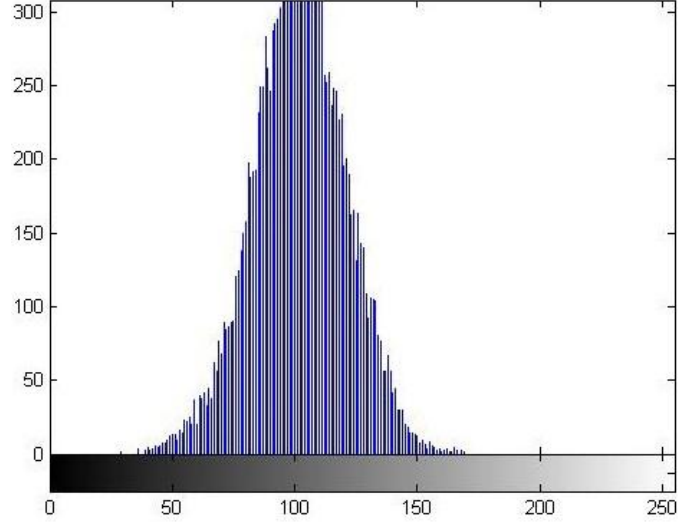


Şekil 3.2 Mineralden örnek alınması

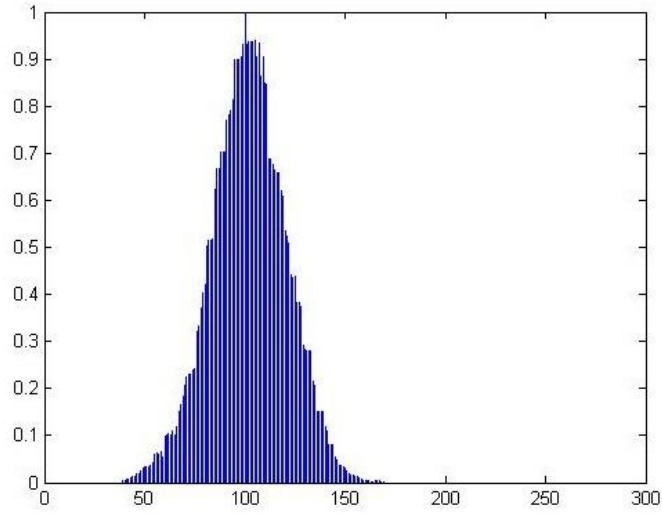
Red Green Blue (RGB) renk uzayı ile oluşturulan renkli dijital görüntülerde pikselin bileşenlerinin pikselin rengini oluşturduğunu bölüm 2.1’de tartışmıştık. Görüntüyü renk özelliğine göre bölgelere ayırmak istediğimizde, bölge içindeki piksel yoğunluk değerlerinin birbirine eşit olmadığı, fakat bir dağılım sergilediği gözlemlenir. Bu dağılım, yani histogram bilgileri, bölgenin renginin bulanık kümeler ile modellenmesinde kullanılmıştır. Histogram, pikselin bileşenlerinin alabileceği değer aralığı olan 0 – 255 arasındaki her bir değer kaç pikselde görüldüğü bilgisini taşımaktadır. Histogramın normalizasyonu, yani histogram değerlerinin toplam piksel sayısına bölümü ise 0 – 255 arası yoğunluk değerlerinin, örneğin içinde görülme olasılığını verecektir. Bu olasılık değerleri aynı zamanda görüntüdeki diğer piksellerin bu bölgeye ait olabilirliğini de bize göstermektedir.

Şekil 3.2’deki ince kesitten alınan örneğin mavi renk bileşeninin histogramı şekil 3.3’te gösterilmiştir. Histogram değerleri çıkarıldıktan sonra, histogram değerleri  $1 \times 3$ ’lük orta değer filtresi ile olası gürültüden arındırılır. Histogram bilgisinden üyelik fonksiyonunu elde etmek için histogram değerleri 0 – 1 aralığına normalize edilir. Böylece alınan örnekteki piksellerin mavi renk bileşeninin yoğunluk değerlerinin görülme olasılığı bulunur. Başka bir açıdan bakarsak, tüm ince kesitte, örneği alınan

minerale ait piksellerin mavi renk bileşeninin yoğunluk değerlerinin olabilirliği bulunmuştur. Bu da mavi bileşenin üyelik fonksiyonu anlamına gelir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Mavi bileşenin histogram grafiği

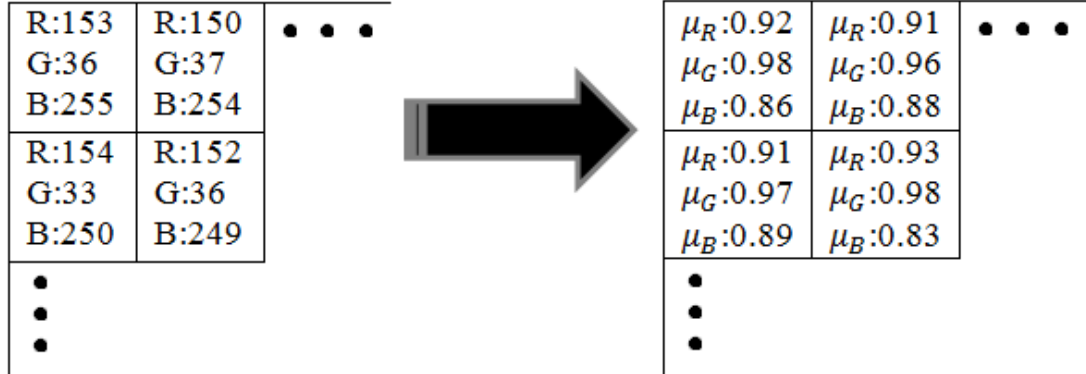


Şekil 3.4 Mavi bileşenin üyelik fonksiyonu

### 3.1.2 Görüntünün bulanıklaştırılması

Minerale örnek alınıp bulanık kümeler oluşturulduktan sonra görüntünün bulanıklaştırılma işlemine geçilir. Görüntüdeki pikseller ilk etapta kırmızı, yeşil ve mavi

bileşenlerin yoğunluk değerlerinden oluşurlar. İstenen ise piksellerin, örneği alınan mineralin rengine benzerliği gösteren değeri almasıdır. Bu istek doğrultusunda ilk etapta piksellerin kırmızı bileşeninden kırmızı bulanık kümesine, yeşil bileşeninden yeşil bulanık kümesine ve mavi bileşeninden mavi bulanık kümesine olan aitlikler hesaplanır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Piksel yoğunluk değerlerinden bulanık kümelere aitlik hesaplanması

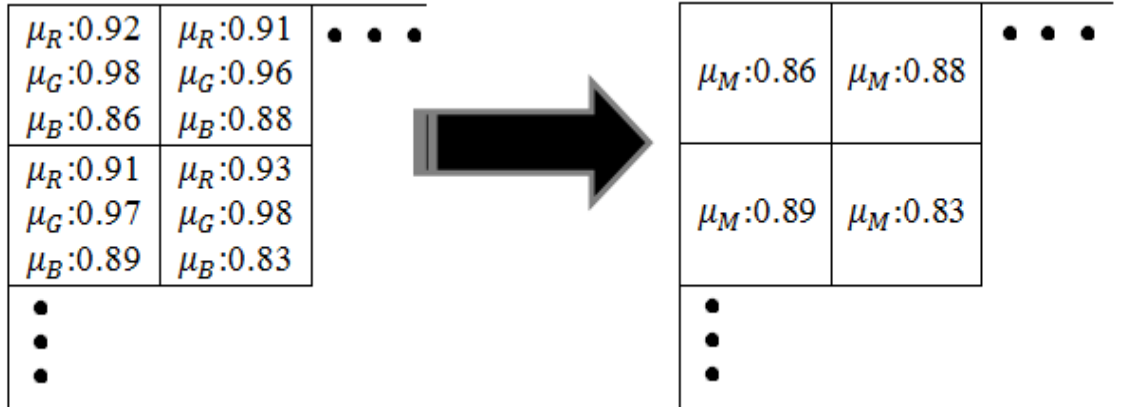
RGB renk paleti ile piksellerin renklerinin oluşturulmasında her bileşenin eşit oranda katkısı vardır. Tek bir bileşenin farklılaşması ortaya bambaşka bir rengin çıkmasını sağlar. Yani, iki bileşenin yüksek aitlik dereceleri almasına rağmen bir bileşenin aitliğinin düşük olması, pikseli mineralin renginden uzaklaştırır. Bu sebeple 3 bileşenin de belli bir aitliğin üzerinde değer aldığı garanti edilmeli. Mamdani çıkarımında kullanılan minimum operatörü ile üç bileşeninde belli bir eşik değerinin üstünde olması garanti edilir.

Görüntünün  $i$ 'ninci satır ve  $j$ 'ninci sütununda yer alan pikselin kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerini  $P_{i,j} 1$ ,  $P_{i,j} 2$ ,  $P_{i,j} 3$  şeklinde gösterelim. Mineralden alınan örnek ile oluşturulan kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerinin bulanık kümelerinin üyelik fonksiyonları  $\mu_R$ ,  $\mu_G$  ve  $\mu_B$  şeklinde, mineralin üyelik fonksiyonunu  $\mu_M$  şeklinde gösterilsin. Pikselin minerale aitliğini bulmak için kullanılacak Mamdani çıkarımı:

$$\text{Eğer } \mu_R P_{i,j} 1 \wedge \mu_G P_{i,j} 2 \wedge \mu_B P_{i,j} 3 \text{ ise}$$

$$\text{sonuç } \mu_M = \min \mu_R P_{i,j} 1, \mu_G P_{i,j} 2, \mu_B P_{i,j} 3$$

Kuralımız söz ile şöyledir: “Eğer pikselin kırmızısı mineralin kırmızısından, pikselin yeşili mineralin yeşilinden ve pikselin mavisi mineralin mavisinden ise piksel minerale aittir”. Sonuçta her piksel için elde edilen değer, o pikselin, örneği alınan minerale ait olma derecesidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Görüntünün bulanıklaştırılması

### 3.1.3 Güçlü ve zayıf piksellerin belirlenmesi

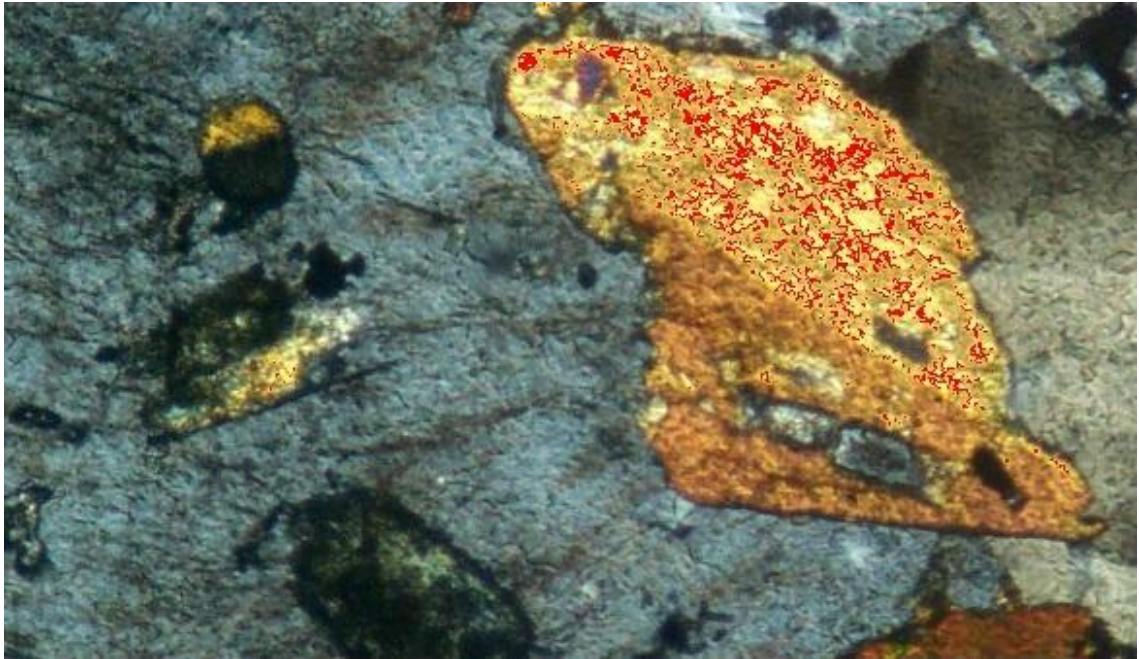
Bulanıklaştırılmış görüntüde belli bir üyelik derecesi üstündeki pikselleri minerale dahil ederek yapılacak sınıflandırma, sadece renk özelliği ile yapılmış bir segmentasyon olurdu. Oysa ki renk bilgisi dışında piksellerin uzaysal ilişkileri de segmentasyonun doğruluğuna katkı sağlayabilecek bir özelliktir.

Bulanıklaştırılmış görüntüden kesin bölütlerin elde edilmesi aşamasında piksellerin uzaysal ilişkilerinden yararlanmak için Canny kenar bulma yönteminde kullanılan ikili eşiklemenin benzeri kullanılmıştır (Canny 1986). Canny, kenar pikseli olduğuna kesin karar verilen piksellerden kenar takibi yaparak kenarları bulmak için ikili eşiklemeyi kullanır. İnce kesit görüntüsünün minerallere ayrılması probleminde ise ikili eşikleme,

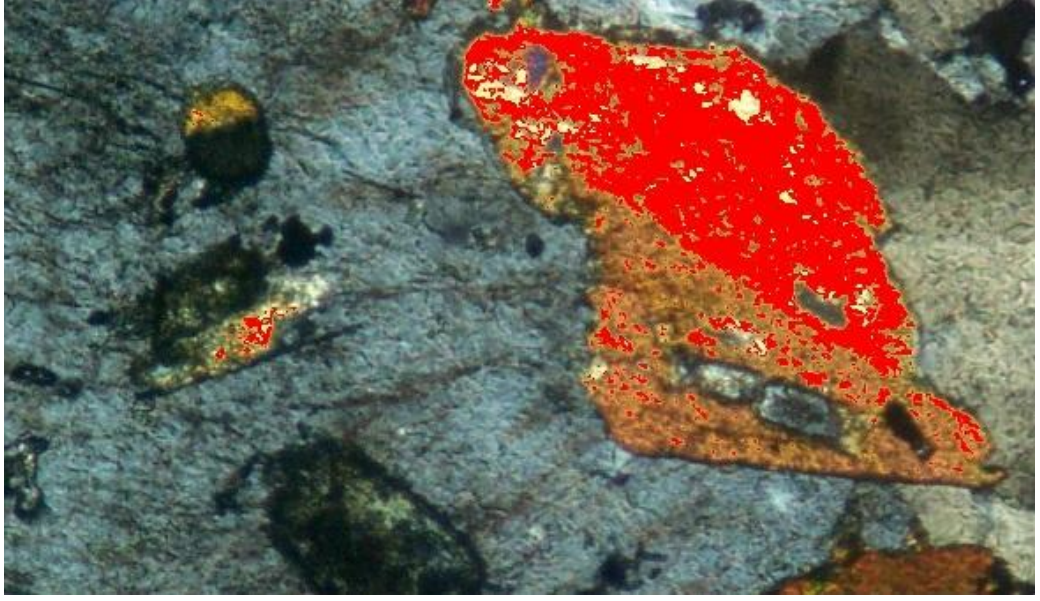
minerale kesin olarak ait olduğu kabul edilen piksellerden yola çıkarak minerallerin tespit edilmesinde kullanılır.

İkili eşiklemede iki adet eşik değeri belirlenir. Bu eşik değeri  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  şeklinde gösterelim ve  $\alpha_1 > \alpha_2$  olsun. Bulanık görüntünün bu iki eşik değeri ile  $\alpha$  – kesiti alınarak, sıfır ve birlerden oluşan ikili görüntüler elde edilir. Bu ikili görüntülerden  $\alpha_1$  – kesiti ile oluşan görüntü, minerale daha yüksek üyelik derecesi ile ait olan pikselleri içerdiğinden “güçlü pikseller” olarak adlandırılmıştır.  $\alpha_2$  – kesiti ile elde edilen ikili görüntü ise güçlü pikseller ile beraber daha düşük üyelik dereceli pikselleri içerdiğinden “zayıf pikseller” olarak adlandırılmıştır.

Bu iki eşik değeri belirlemede probleme en uygun iki değer belirlenmeye çalışılır. Minerallerin segmentasyonu için  $\alpha_1 = 0.8$  ve  $\alpha_2 = 0.2$  olarak belirlenmiştir. Örnek olarak, şekil 3.2’de alınan örnek ile belirlenen güçlü ve zayıf pikseller şekil 3.7 - 3.8’de kırmızı ile işaretlenerek gösterilir.

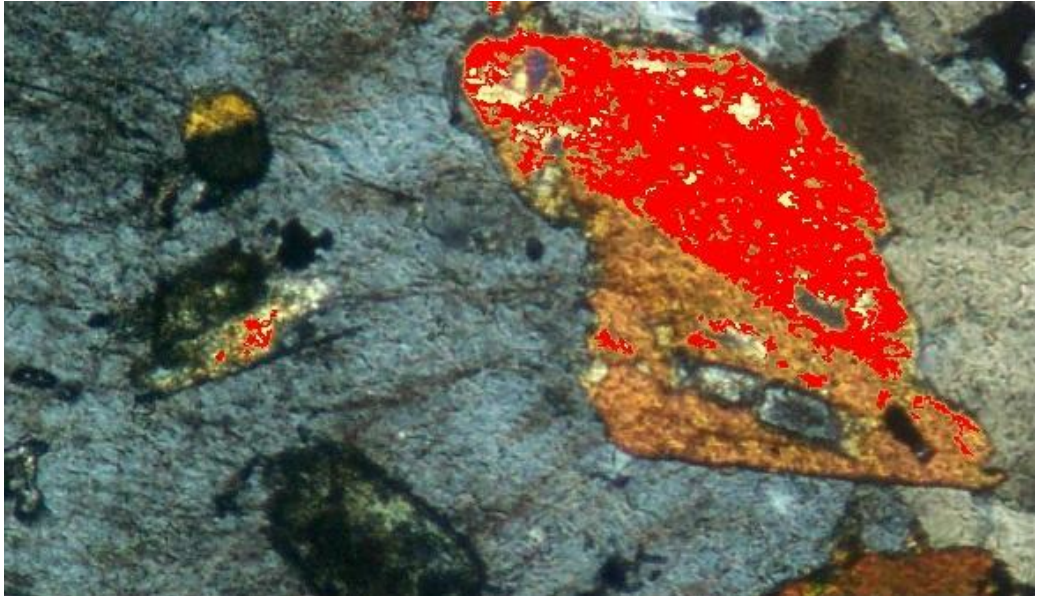


Şekil 3.7 Güçlü pikseller



Şekil 3.8 Zayıf pikseller

Güçlü piksellerin minerale ait olduğuna kesin gözü ile bakılır ve hemen mineralin piksellerine dahil edilir. Zayıf piksellerin minerale dahil edilip edilmemesine karar verilmesinde, minerale dahil edilmiş diğer piksellerle komşuluğuna bakılır. Böylece güçlü piksellere komşu olan zayıf pikseller bloğu minerale dahil edilip segmentasyon tamamlanır (Şekil 3.9).

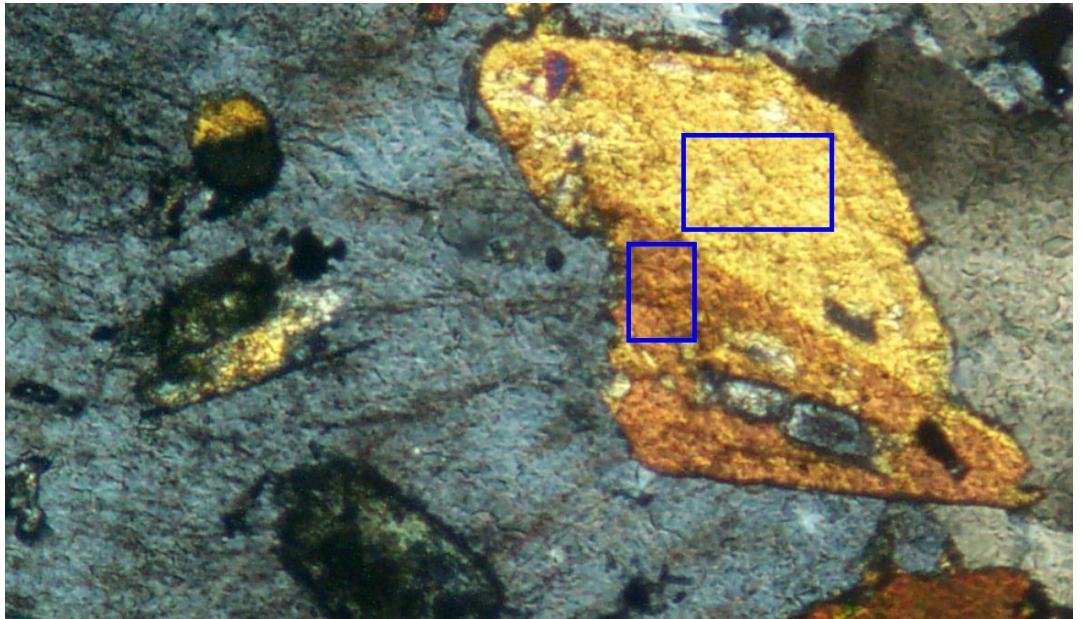


Şekil 3.9 İkili eşikleme ile alınan sonuç

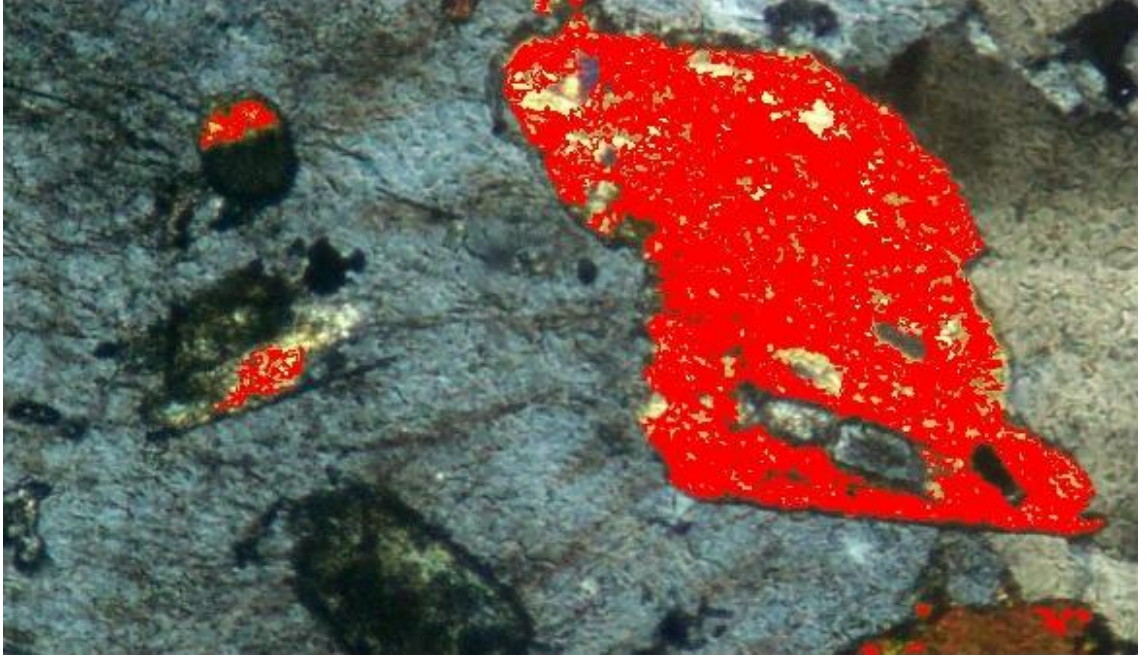
İkili eşikleme sonucunda minerale ait olduğu sonucuna varılan piksellerin, sadece güçlü piksellerin ya da bütün zayıf piksellerin minerale dahil edilmesinden daha doğru bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sadece güçlü pikselleri almak, minerale ait olan ama alınan örneğe güçlü bir üyeliği bulunmayan mineral piksellerinin dışarıda kalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bütün zayıf pikselleri almak, minerale ait olmayan fakat alınan örneğe benzer bir taneciği mineral sınırlarına yanlış bir biçimde dahil edilmesine neden olmaktadır. İkili eşikleme ile bu tip hatalar azaltılmıştır.

#### 3.1.4 Farklı örnekler almak

Aynı mineral, bozunma ya da mikroskop ışığının açısı nedeni ile kaya ince kesit görüntüsü içinde farklı renk değerlerine sahip olabilir. Bu yüzden alınan tek örnek ile mineralin farklı renkli taneciklerinin tespit edilemediğine analizi yapan uzman tarafından karar verilebilir. Bu gibi durumlarda, mineralin farklı renkteki bölümleri ve taneciklerinin, mineral sınırları içine dahil edilmesi için farklı örnekler alınarak segmentasyon tamamlanmaya çalışılır. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi şekil 3.2'dekine ek olarak alınan ikinci örnek ile bir daha çıkarım yapılarak şekil 3.11'deki sonuç elde edilir.



Şekil 3.10 İkinci örnek



Şekil 3.11 İki örnek ile alınan sonuç

### 3.2 Kesitin Petrografik Analizi

İnce kesit görüntüsündeki minerallerin tamamının sınırları belirlendikten sonra yapılacak analizler için bazı hesaplamalar yapılmalıdır. Bu hesaplamalar, alan ve eksenler ile ilgili ölçümlerden oluşur. Bilgisayar yardımı olmadan bu ölçümler ya görsel tahminle ya da nokta sayma yöntemi ile yapılmaktadır. Bölüm 2.1’de tartıştığımız gibi bu iki yöntemin de artıları ve eksileri mevcuttur. Görsel tahmine dayalı hesaplamalar daha hızlı olacak fakat doğruluktan taviz verilecektir. Nokta sayma ile yapılan hesaplamalar noktanın büyüklüğüne göre daha az hata payı içerirken çok fazla zaman kaybına neden olacaktır. Bilgisayar yardımı ile yapılan hesaplamalar ise çok hızlı bir şekilde ve kesin doğruluk ile hesaplanacaktır.

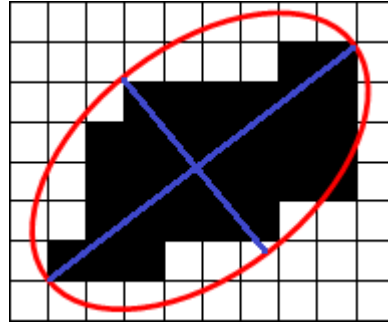
İlk olarak alan ile ilgili hesaplamalara bakalım. Taneciklerin tek tek alanları hesaplandıktan sonra mineralin toplam alanı, ortalama tanecik alanı ve mineralin tüm ince kesitteki yüzdesinin nasıl hesaplandığına bakalım. Tek bir taneciğin içindeki piksellerin toplamı  $P_T$  ile taneciğin kaç pikselden oluştuğu elde edilir. Bir pikselin kaç

$nm^2$  olduğu ise ölçek bilgisinden elde edilir. Taneciğin içindeki piksel sayısının bir pikselin alanı ile çarpılması ile taneciğin gerçekte kaç  $nm^2$  olduğu bulunur.

$$Tanecik\ Alanı = P_T \times Piksel\ Uzunluğu$$

Mineralin toplam alanı, minerali oluşturan taneciklerin alanlarının toplanması ile elde edilir. Mineralin alanını  $A_T$  ile gösterirsek, ortalama tanecik alanı  $A_T$ 'nin tanecik sayısına bölünmesi ile elde edilir. Mineralin tüm ince kesitteki yüzdesi  $A_T$ 'nin ince kesitin toplam alanına yüzdesinden çıkartılır.

Eksen ile ilgili olarak taneciklerin ortalama ana eksenleri ile ortalama küçük eksenleri hesaplanır. Taneciğin eksenleri, tanecik ile aynı ikinci momente sahip elipsin eksenlerinden elde edilir (Şekil 3.12). Daha sonra tüm tanecikler için bulunan ana ve küçük eksenlerin ortalaması alınır.



Şekil 3.12 Taneciğin ana ve küçük eksen

Alan ve eksen ölçümlerine ilaveten minerallerin kesitteki açısal konumları da dikkate alınarak kayacın delinebilirliği ile ilgili bir katsayı olan, Howarth ve Rowland (1987) tarafından tanımlanan doku katsayısı da hesaplanabilir. Doku katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$TC = AW \times \frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} + \frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times \frac{AF_1}{5}$$

Burada  $TC$  doku katsayısı,  $AW$  paketlenme yoğunluğu,  $N_0$  görünüm oranı 2'nin altında olan tane sayısı,  $N_1$  görünüm oranı 2'nin üstünde olan tane sayısı,  $FF_0$   $N_0$  tanelerinin şekil faktörünün aritmetik ortalaması,  $AR_1$   $N_1$  tanelerinin görünüm oranlarının ortalaması ve  $AF_1$  tane yönelimini ifade eden açı faktörüdür.

Paketlenme yoğunluğu ince kesit görüntüsündeki taneciklerin toplam yüzey alanının, tüm ince kesit görüntüsüne oranıdır. Tüm taneciklerin alanları toplamına  $A_i$  dersek paketlenme yoğunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$AW = \frac{A_i}{\text{Toplam Alan}}$$

Tanenin küresellikten ne kadar saptığını belirlemek için görünüm oranı hesaplanır. Tane uzunluğunu tane genişliğine oranlayarak, yani ana eksen küçük eksene oranlayarak görünüm oranı bulunur.

$$\text{Görünüm Oranı} = \frac{D_{max}}{D_{min}}$$

Taneciklerin küresellikten ne kadar saptığını gösteren bir başka ölçüm ise tane çevresinin pürüzlülüğüdür. Şekil faktörü, tane çevresinin pürüzlülüğünü ölçmede kullanılır.

$$\text{Şekil Faktörü} = \frac{4\pi(\text{Tane Alanı})}{(\text{Tane Çevresi})^2}$$

Uzamış taneler görünüm oranı 2'den büyük tanelerdir. Uzamış taneler için tane yönelimini ifade eden açı faktörü hesaplanır. Öncelikle tanenin ana eksen ile yatay arasındaki açı hesaplanır. Tüm uzun tanelerin yatay ile arasındaki açı hesaplandıktan sonra tüm bu açılar arası mutlak farklar ( $\beta$ ) hesaplanır. Açı farkı  $90^0$ 'den büyük ise, sonuç  $180^0$ 'den çıkartılır ve  $\beta$  değerleri elde edilmiş olur.  $N_1$  adet uzamış tane olduğundan  $[N_1 \times (N_1 - 1)]$  2 adet  $\beta$  değeri hesaplanır. Açı faktörü hesaplanırken

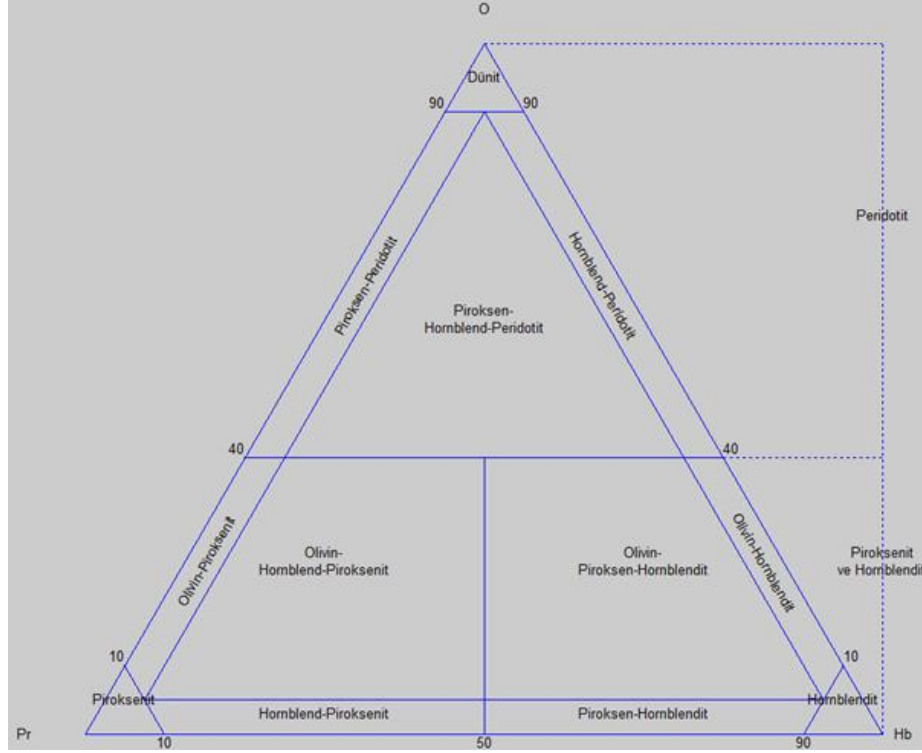
belli bir  $\beta$  aralığında kaç adet açı farkı olduğuna göre ve o açı farkının ağırlığına göre açı faktörü hesaplanır. Çizelge 3.1’de  $\beta$  değer aralıkları için ağırlıklandırma faktörleri verilmiştir.  $i$ ’ninci ağırlıklandırma faktöründe kaç adet açı farkı olduğu  $X_i$  ile gösterilirse açı faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Açı Faktörü = \sum_{i=1}^{N_1-1} \frac{X_i}{[N_1 \times (N_1 - 1)]} \times i$$

Çizelge 3.1 Mutlak açı farklılıkları ve ağırlıklandırma faktörü

| Açı Farkı ( $\beta$ ) | $i$ |
|-----------------------|-----|
| $\beta \leq 10$       | 1   |
| $10 < \beta \leq 20$  | 2   |
| $20 < \beta \leq 30$  | 3   |
| $30 < \beta \leq 40$  | 4   |
| $40 < \beta \leq 50$  | 5   |
| $50 < \beta \leq 60$  | 6   |
| $60 < \beta \leq 70$  | 7   |
| $70 < \beta \leq 80$  | 8   |
| $80 < \beta \leq 90$  | 9   |

Bu tip hesaplamalar ile birlikte ince kesitlerin alındığı volkanik kayaların tipini belirlemeye yönelik analizler, minerallerin kapladığı toplam alandan yola çıkarak yapılabilir. Örnek olarak plutonik bir kayaktan alınan ince kesitler adlandırılırken mafik mineraller %90’nın üstünde ise ve olivin, piroksen ve hornblend minerallerinden oluşan bir kayacın analizi yapılıyor ise şekil 3.13’teki diyagram bu kayanın adlandırılmasında kullanılabilir.



Şekil 3.13 Kaya adlandırılmasında kullanılan örnek diyagram (Streckeisen 1976)

Bu adlandırmada kayacı oluşturan 3 mineralin birleşme oranından sınıflandırılması yapılmak istenir. Kayaçta var olan 3 mineralin toplam alanları hesaplanır. 3 mineralin her biri için toplam mineral alanındaki yüzdeleri bulunur. Üçgenin köşesindeki mineralin birleşme oranındaki büyüklüğü kadar köşeye yakın olacak şekilde bir nokta şekle konur ve noktanın içine düştüğü bölge kayacın sınıfını belirler.

Tabi ki kayaçtan alınan tek bir ince kesit örneği ile sınıflandırma tamamlanmaz. Ne kadar çok örnek alınırsa kayacın adlandırılmasının keskinliği o kadar artar. Kayaç adlandırması alan hesabına bağlıdır ve bilgisayar yardımı ile alan hesabı daha hızlı ve kesin bir şekilde yapılmıştır. Bilgisayar yardımı, aynı zaman diliminde incelenecek ince kesit sayısını arttırmıştır. Bu sebeplerden dolayı, diğer hesaplamalarda olduğu gibi, kayaçların adlandırılmasında da hız ve keskinlik artışı olur.

### **3.3 Mikro Jeoloji Örneklerin İnteraktif İşlem Yazılımı**

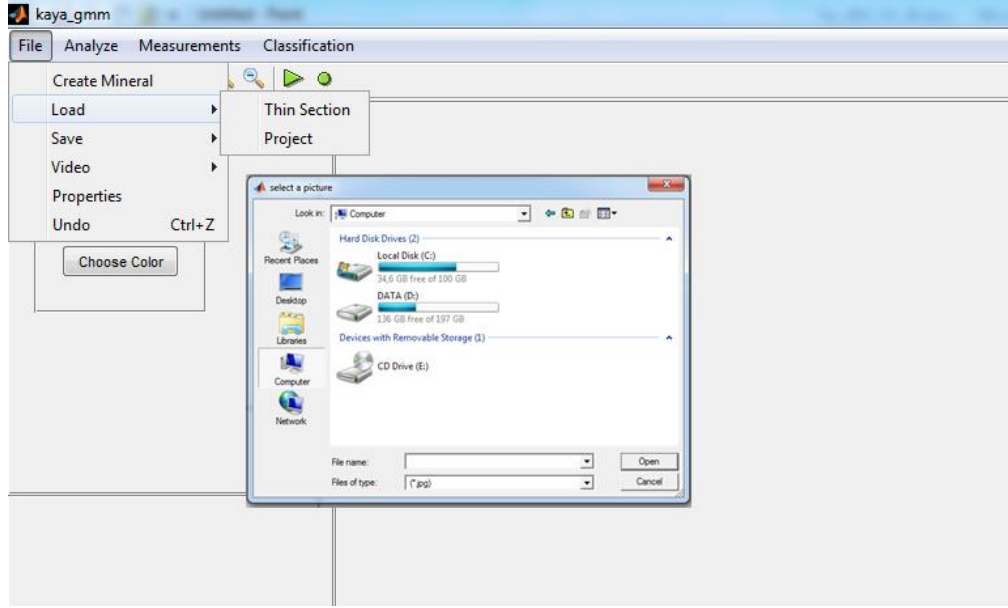
Yapılan segmentasyon ve analizlerin rahat kullanılmaları için bilimsel araştırma projesi kapsamında Jeoloji Mühendisliği ile disiplinler arası bir çalışma ile mikro jeoloji örneklerin interaktif işlem yazılımı geliştirildi. Bu bölümde geliştirilen uygulama detaylı incelenmiştir.

#### **3.3.1 İnce kesit görüntüsünün yüklenmesi**

Analizi yapılacak ince kesit görüntüsü iki şekilde yüklenebilir. Ya dosya sisteminden ya da USB (evrensel seri yolu, universal serial bus) tipinde bağlantı kullanan kameranın, programın çalıştığı bilgisayara takılması ile görüntüler elde edilebilir.

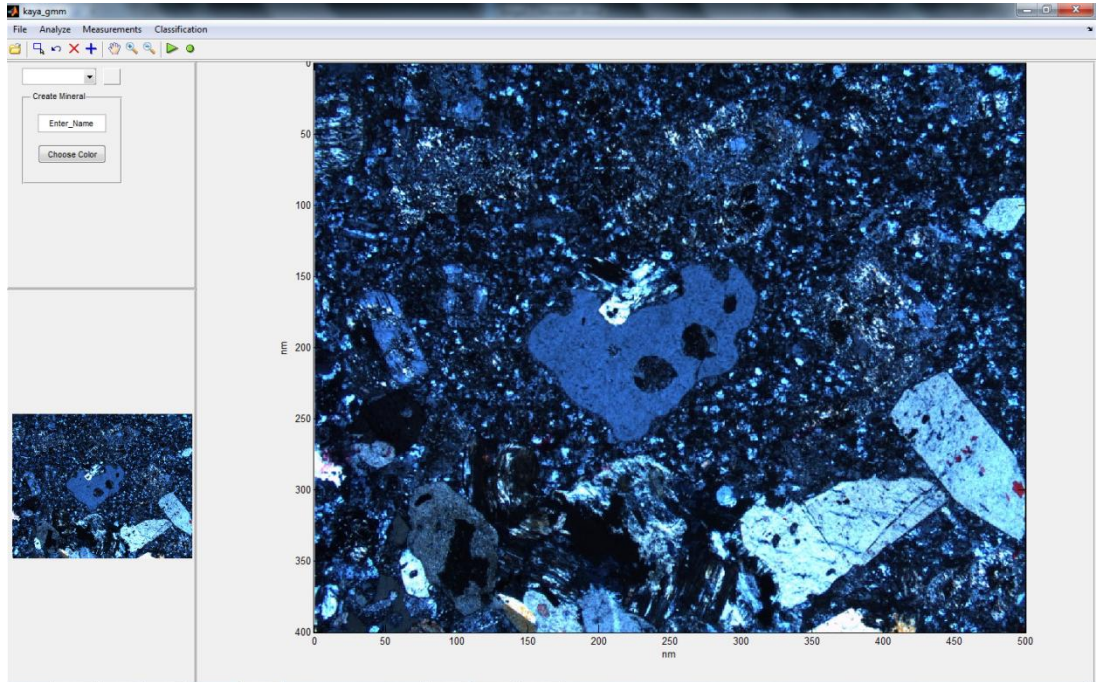
Görüntünün yüklenmesinin ardından ilk yapılması gerekenler; y ekseninin belirlenmesi ve yüklenen görüntüdeki minerallerin oluşturulmasıdır. Y ekseninin uzunluğunun doğru olması, hesaplanacak ölçümlerin ve yerleştirilecek ölçeğin doğru olması için önem arz etmektedir.

İlk olarak ince kesit görüntüsünün dosya sisteminden nasıl yüklendiğine bakalım. “File” menüsünde “Load” un altında “Thin Section” seçilerek ya da araç çubuğundan “Browse” butonu ile şekil 3.14’deki dosya yükleme yardımcısına ulaşılabilir. Bu yardımcıdan, yüklenmek istenen ince kesit görüntüsü seçilip “Open” butonu tıklanarak ince kesit görüntüsü yüklenebilir.



Şekil 3.14 Dosya yükleme yardımcısı

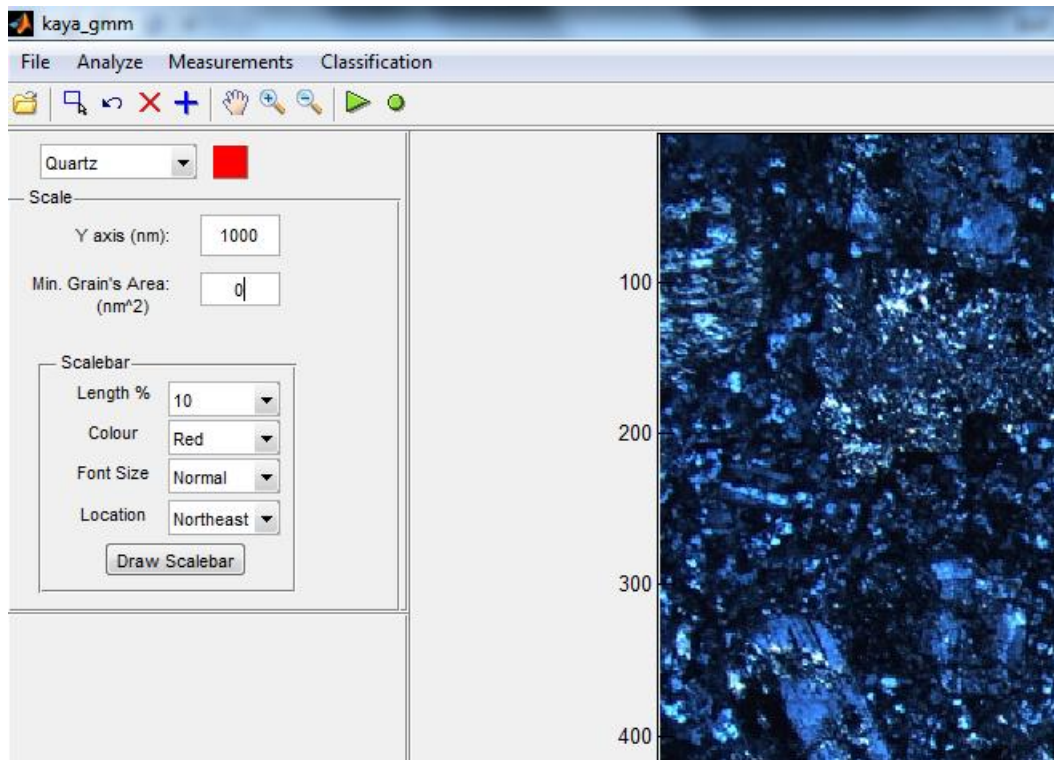
İnce kesit yüklendikten sonra grafik arayüzü, şekil 3.15'teki gibi sağda minerallerin detaylı çalışması yapılacak olan görüntüyü gösterir. Şekil 3.15'te sol alttaki görüntü ise orijinal ince kesit görüntüsünü gösteren referans görüntüdür.



Şekil 3.15 İnce kesit yüklendikten sonraki hali

Kameradan ince kesit görüntüsü yüklemek için mikroskobun kamerasının bilgisayar bağlantısını USB ile gerçekleştiriyor olması gereklidir. Kameranin USB çıkışın yazılımın çalıştığı bilgisayara takılmasının ardından araç çubuğunda “Video Input” butonu ile kameradan görüntü alınmaya başlanır. Yine araç çubuğunda “snapshot” butonu ile de o an ekranda görünen ince kesit görüntüsü analizi yapılmak üzere sabitlenir.

Görüntü yüklendikten sonra, ince kesit üzerinde herhangi bir işleme başlamadan önce y ekseninin uzunluğu girilmelidir. Y ekseninin uzunluğunu girmek için “Measurements” menüsünden “Scale” tıklanır ve şekil 3.16’daki ölçek menüsünden “Y axis (nm)” parametresinin değeri değiştirilir. Varsayılan olarak bu değer 1000 nm kabul edilir.

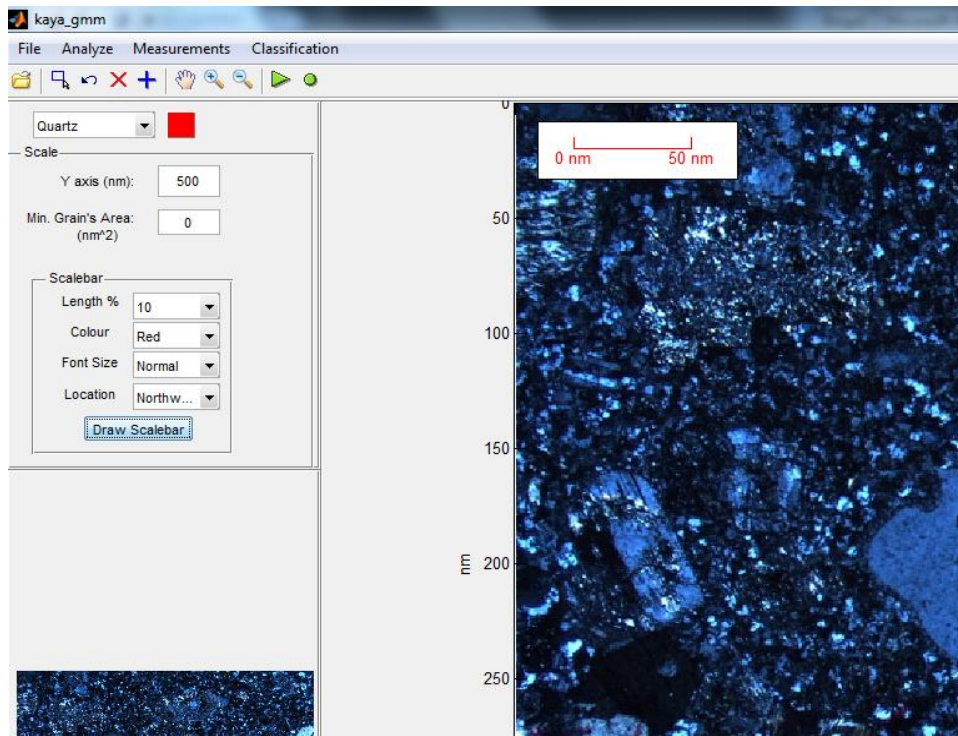


Şekil 3.16 Ölçek menüsü

Y ekseninin değeri girildikten sonra ölçeği görüntüye yerleştirmek için “Measurements” altında “Scale” menüsünden “Draw Scalebar” tıklanır. Görüntüye eklenecek olan ölçeğin değiştirilebilir özellikleri aşağıdaki gibidir:

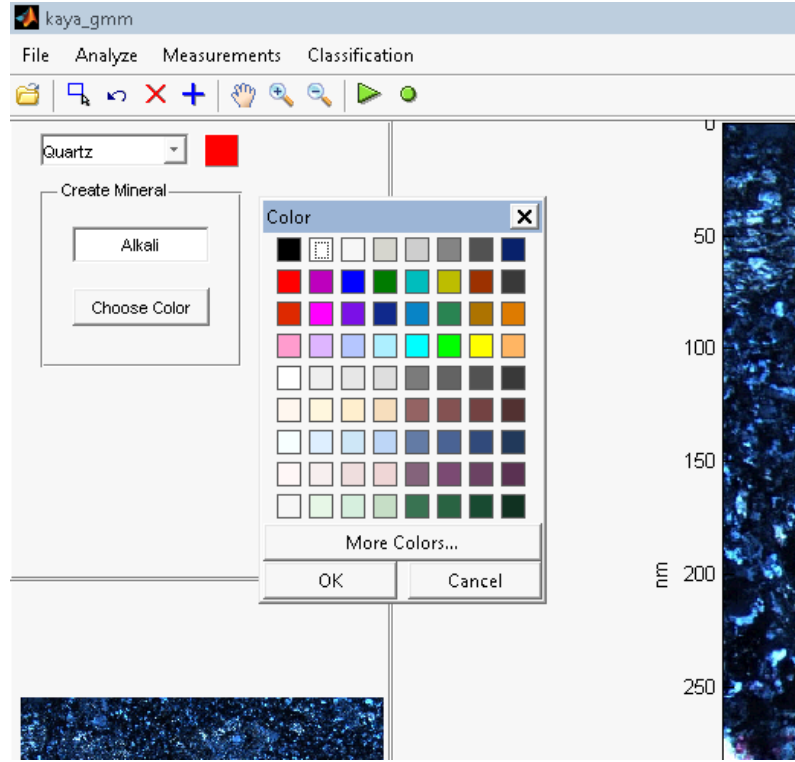
- Uzunluğu y ekseninin %10, %20, %30 ya da %40 ı olabilir.
- Renk kırmızı, yeşil, mavi, beyaz ya da siyah olabilir.
- Yazı tipi kalın ya da normal olabilir.
- Konumu kuzeydoğu, kuzeybatı, güneybatı ya da güneydoğu olabilir

Şekil 3.17’de örnek olarak yerleştirilmiş ölçek görülmektedir. Bu ölçek, uzunluğu y ekseninin %10’u, rengi kırmızı, yazı tipi normal ve konumu kuzeydoğu olacak şekilde çizdirilmiştir.



Şekil 3.17 Ölçek yerleştirme

Analizi yapan uzman, yüklenen ince kesitteki mineralleri tespit eder ve teker teker oluşturur. Mineralleri oluşturmak için “File” menüsünden “Create Mineral” tıklanarak mineral oluşturma menüsüne ulaşılabilir. Bu menüde oluşturulacak mineralin ismi girildikten sonra “Choose Color” butonu tıklanarak minerale atanacak renk seçilir (Şekil 3.18). Renk seçimi yapıp “Ok” butonu tıklandığında mineral oluşturulur. Yazılım, daha önce oluşturulmuş mineralleri kontrol ederek, aynı renkte ya da aynı isimde iki tane mineral oluşturulmasına izin vermez.

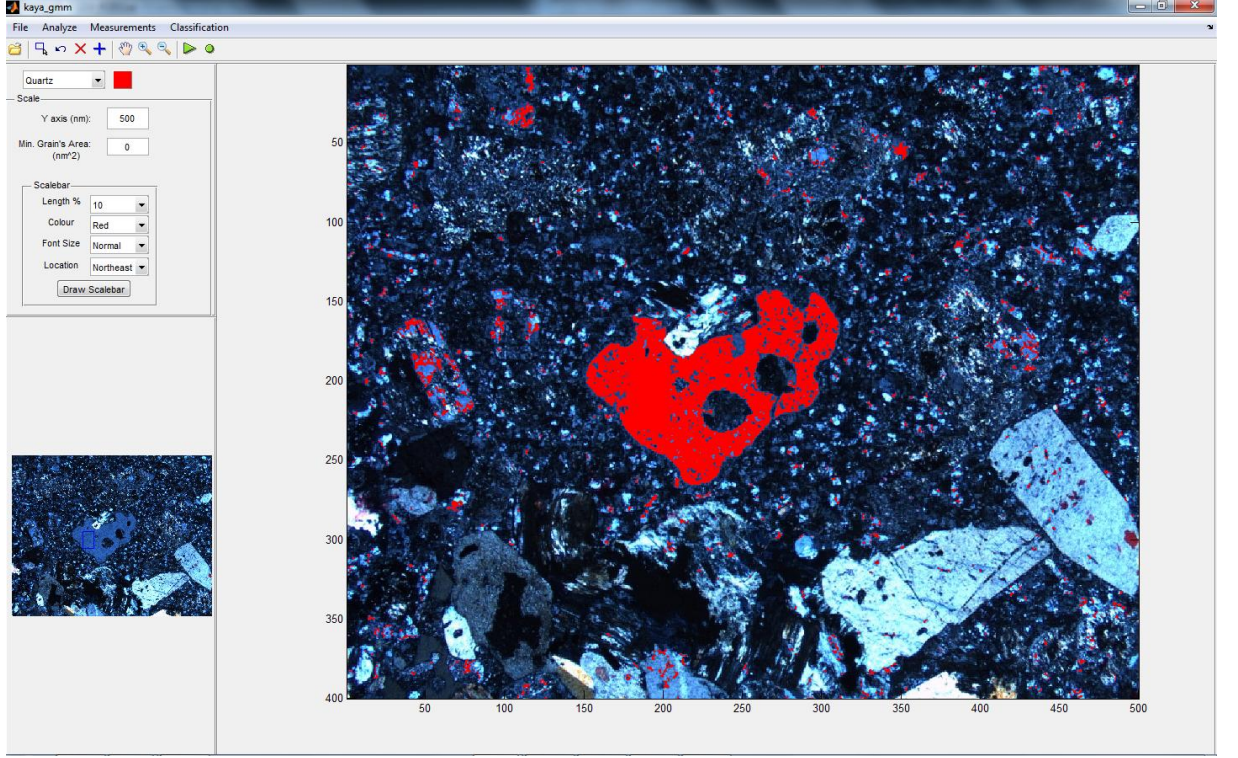


Şekil 3.18 Mineral oluşturma

### 3.3.2 Minerallerin sınırlarının belirlenmesi

Oluşturulmuş bir mineralin sınırlarının belirlenmesi için seçilen mineralden örnek alınması gerekmektedir. Yazılımın arayüzünde o an hangi mineralin seçili olduğunu gösteren ve seçili minerali değiştirmenize yarayan açılır pencere, araç çubuğunun hemen altındadır. Açılır pencerenin yanında da seçili minerale hangi rengin atanmış olduğu gösterilir.

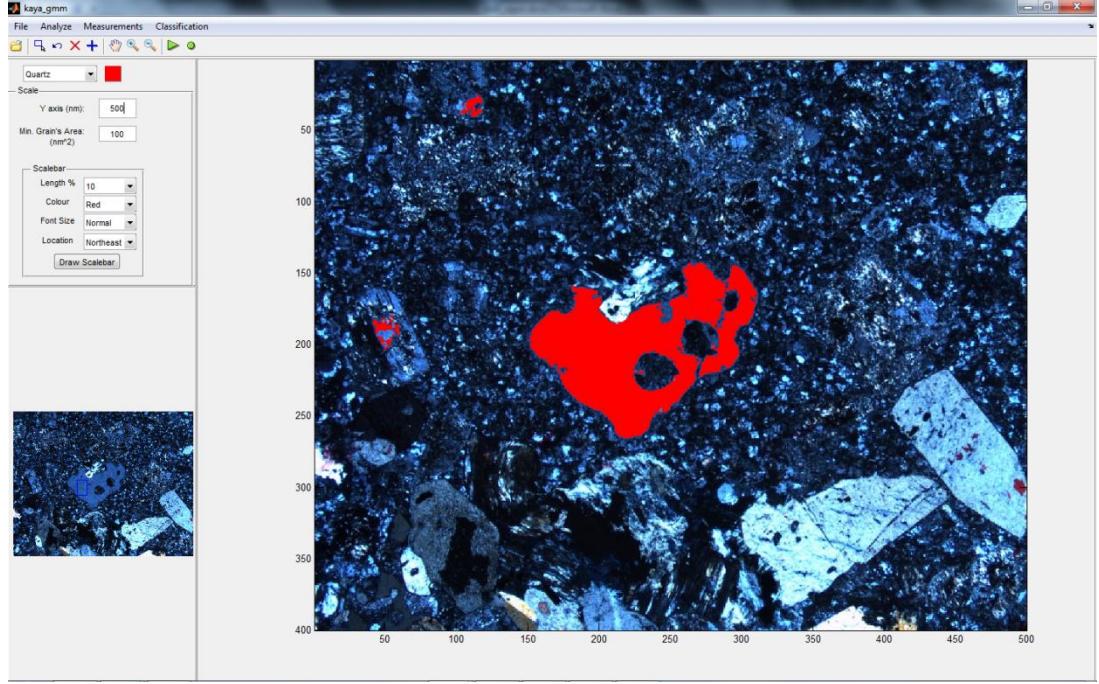
Çalışılacak mineral seçildikten sonra “Analyze” menüsünden ya da araç çubuğundan “Take Sample” tıklanarak mineralden örnek alma işlemi başlatılır. Yazılım, “Take Sample” tıklandıktan sonra kullanıcıdan farenin imleci ile seçili minerale ait örnek almasını bekler. Örnek alındıktan sonra tespit edilen mineral tanecikleri mineralin rengine boyanır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Kırmızıya boyalı mineral tanecikleri

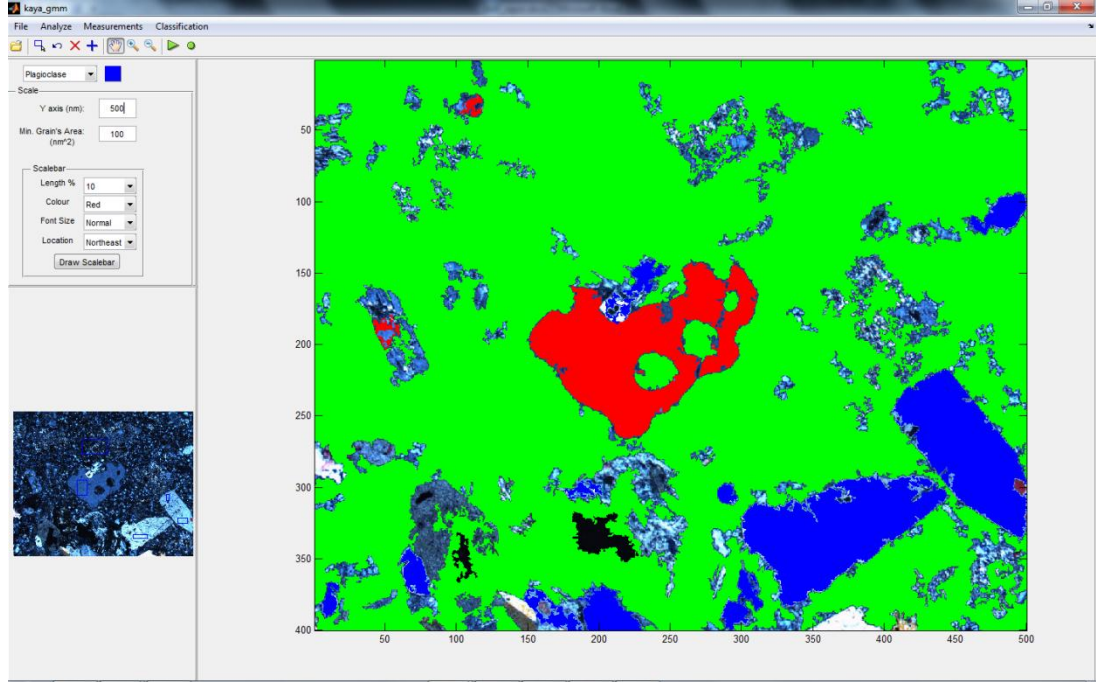
Kabul edilebilir en küçük tanecik boyutunun birimi  $nm^2$  dir. Varsayılan olarak değeri 0'dır. Değer 0 iken hiçbir boyuttaki tanecik elenmez ya da tanecik içindeki boşluklar doldurulmaz.

Ölçek menüsündeki “Min Grain's Area” parametresi değiştirilerek, üzerinde çalışılan mineralin en küçük tanecik alanı belirlenebilir. Şekil 3.20'de en küçük tanecik boyutu  $100 nm^2$  olacak şekilde ayarlandıktan sonraki boyalı mineral tanecikleri görülür.



Şekil 3.20 En küçük tanecik boyutu  $100 \text{ nm}^2$

Kabul edilebilir en küçük tanecik boyutu, her mineral için farklı ya da aynı olacak şekilde ayarlanabilir. Şekil 3.21’de y eksenini  $500 \text{ nm}$  iken her mineral için en küçük tanecik alanı  $100 \text{ nm}^2$  olarak ayarlandığı zaman yapılan bir segmentasyon örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Üç farklı mineral için örnek mineral boyama

Analizi yapan uzmanın yanlış olarak minerale atandığını düşündüğü tanecikler için tanecikleri silmeye yarayan arayüz de geliştirilmiştir. Araç çubuğundan ya da “Analyze” menüsü altından “Delete Grain” butonu tıklandıktan sonra imleç ile silinecek olan tanecik tıklanarak tanecik silinebilir. Tanecik silinmeden önce hangi minerale ait tanecik silinecekse o mineralin seçili olması gereklidir. Yazılım, seçili minerale ait bir taneciğin tıklanmasını bekler ve aksi halde silme işlemini gerçekleştirmeyip uyarı verir. Ayrıca araç çubuğundan “Zoom In”, “Zoom Out” ve “Pan” butonları ile ince kesit görüntüsü üzerinde istenilen alan ile ilgili detaylı çalışma yapılması mümkündür.

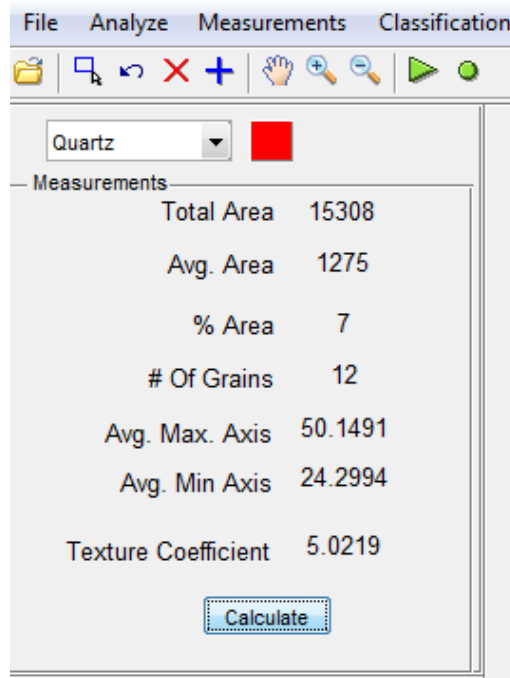
Tanecik ekleme için de iki yol izlenebilir. Menüde “Analyze” altından ya da araç çubuğunda “Add Grain” butonu tıklanarak ekleme işlemi yapılabilir. “Add Grain” butonu tıklandıktan sonra ince kesit üzerinde daha hiçbir minerale eklenmemiş ama seçili minerale ait olduğu düşünülen alana tıklanır. Burada dikkat edilmesi gereken tıklanan alanın seçili mineral ya da başka bir mineral ile çevrili olması gerektiğidir. Yani “Add Grain” butonunu kullanmak için eklenecek alanın sadece bir minerale eklenecek bir alan olması gerekir. Aksi halde o alandan tekrar “Take Sample” butonu ile örnek almak gereklidir.

Geri alma işlemi son yapılan işlemin geri alınmasını sağlamaktadır. Araç çubuğundan ya da “File” menüsü altından “Undo” tıklanarak son yapılan işlem geri alınır.

“File” menüsü altında “Properties” tıklanarak özellikler menüsüne ulaşılabilir. Bu menüde mineralin ismi ve rengi değiştirilebilir. Ayrıca mineral tamamen silinebilir. Burada yapılan işlemler, ince kesit görüntüsüne hemen yansıtılır.

### 3.3.3 Ölçümler ve kayaların adlandırılması

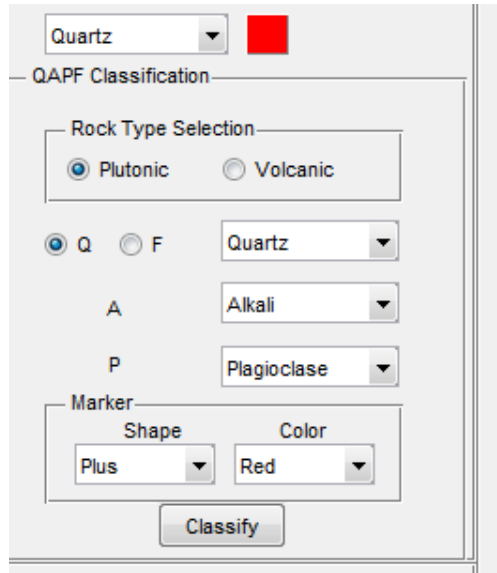
“Measurements” menüsü altından “Show” tıklanarak ölçümler menüsüne ulaşılabilir (Şekil 3.22). Bölüm 3.2’de tartışılan hesaplamaların ölçümlerine bu menüden ulaşılabilir. Bu menüde seçili mineralin toplam alanı, ortalama alanı, toplam alanın bütün görüntüdeki yüzdesi, toplam tanecik sayısı, ortalama uzun eksen uzunluğu, ortalama kısa eksen uzunluğu ve doku katsayısı gösterilir. Mineral sınırlarında yapılan değişikliklerin ölçümlere yansımaları için “Calculate” butonu tıklanır.



Şekil 3.22 Ölçümler menüsü

Alan ve eksen ile ilgili hesaplamaların dışında kesitin doku katsayısı da hesaplanır. Doku katsayısının hesaplanmasında kullanılan paketlenme yoğunluğu, görünüm oranı şekil faktörü ve açı faktörü gibi ölçümler, “Measurements” menüsü altında “Export” tıklanarak yazılımın çalıştığı dizinin altına “minerals.xls” dosyası şeklinde kaydedilebilir.

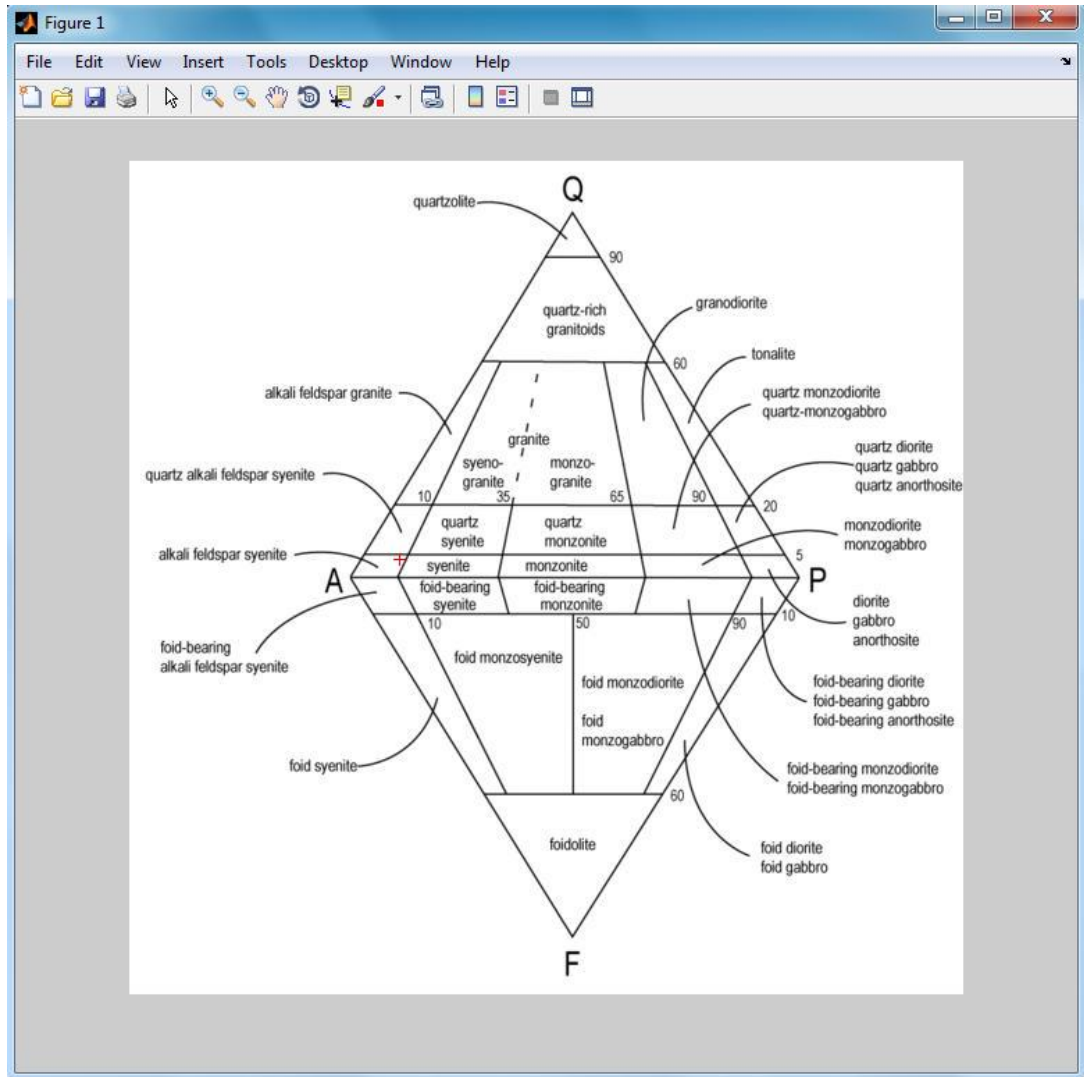
Minerallerin sınırları belirlenip alan ölçümleri yapıldıktan sonra bu alan ile ilgili ölçümler kayaların adlandırılmasında kullanılabilir. “Classification” menüsü altında kayaların adlandırılması ile ilgili menülere ulaşılır. Bu menülere örnek olarak QAPF (İng. quartz, alkali feldspar, plagioclase, feldspathoids) menüsü şekil 3.23’te gösterilmiştir. Bu menüde, plutonik kayaları adlandırmak için “Rock Type Selection” altından “Plutonic” radyo butonu, volkanik kayaları adlandırmak için “Volcanic” radyo butonu seçilir. Daha sonra QAPF diyagramındaki “A”, “P” ve “Q” ya da “F” değerlerinin oluşturulmuş hangi minerallerden alınacağı seçilir. Alan oranlarının sonuç olarak hangi renk ve şekil olarak diyagramda gösterileceği “Marker” altındaki menülerden seçilebilir.



Şekil 3.23 QAPF menüsü

Minerallerin adlandırılmasında QAPF menüsünün yanı sıra, mafik minerallerin %90'ın üstünde olduğu ince kesitler için “Ultramafic” menüsü ve gabroik kayaların adlandırılması için “Gabbroic” menüsü kullanılabilir. Bu menülerde de kaya tipine göre farklı diyagramlar seçilebilmektedir.

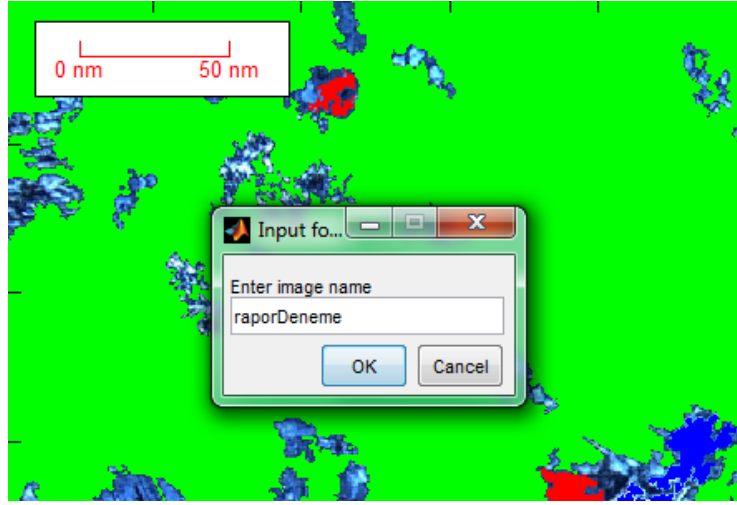
Şekil 3.24'te örnek olarak kuvars mineralini içeren plutonik bir kayacın adlandırılması için kullanılan diyagram gösterilmektedir. İşaretçi varsayılan olarak artı şeklinde ve kırmızıdır. Şekil 3.24'teki adlandırma örneğinde, tüm tespit edilen minerallerin %7'si kuvars, %72'si alkali feldispat, %12'si plajiyoklas ikenki adlandırma sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.24 QAPF diyagramı (Streckeisen 1976)

### 3.3.4 Kaydetme ve yükleme işlemleri

“File” menüsü altında “Save” menüsünden “Thin Section” tıklanarak şekil 3.25’deki ince kesiti ölçekli kaydetme arayüzüne ulaşılabilir. Kaydedilen ince kesit görüntüleri programın başlatıldığı dizinde kullanıcının girdiği isim ile, “JPEG” formatında bulunabilir.

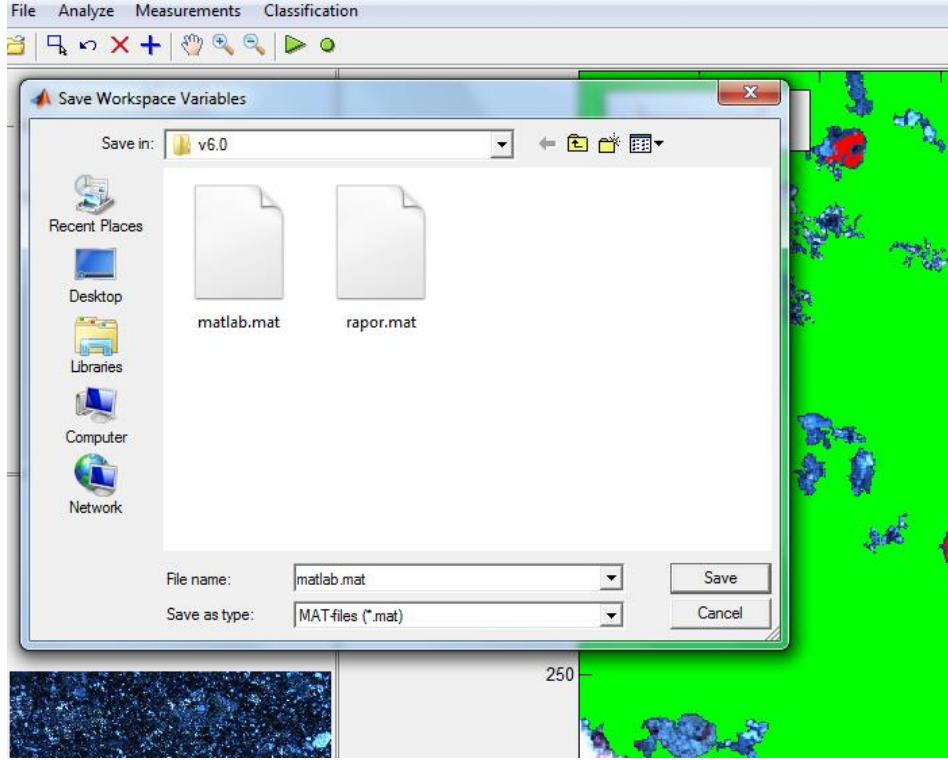


Şekil 3.25 İnce kesiti ölçekli kaydetme arayüzü

Bir kayanın adlandırılması yapılırken, kayadan alınan birçok ince kesitin mineral analizi yapılması gereklidir. Tek bir adlandırma işleminin bir seferde yapılamayacak kadar uzun bir işlem olmasından dolayı, sürecin proje halinde kaydedilmesi gerekmektedir.

“File” altında “Save” menüsünden “Project” tıklanarak projeyi kaydetmede kullanılacak olan arayüze ulaşılabilir (Şekil 3.26). Bu arayüz ile “.mat” uzantılı olarak proje, istenilen isim ile ve istenilen dizine kaydedilebilir.

Üzerinde çalışılan ince kesit görüntüsü ile beraber ince kesitte tespit edilmiş olan mineraller ve minerallerin özellikleri de proje kaydetme işlemi ile otomatik kaydedilir. Ayrıca daha önce üzerinde çalışılmış ve diyagramlara eklenmiş ince kesit görüntülerinin mineral özellikleri ve kaya adlandırması için kullanılan diyagramlar da kaydedilmiş olur.



Şekil 3.26 Proje kaydetme arayüzü

“File” altında “Load” menüsünden “Project” seçilerek daha önce kaydedilen “.mat” uzantılı proje yüklenebilir. Projenin yüklenmesi ile en son çalışılan ince kesit görüntüsüne ve üzerinde kaydedilene kadar tespit edilmiş olan minerallere ulaşılabilir.

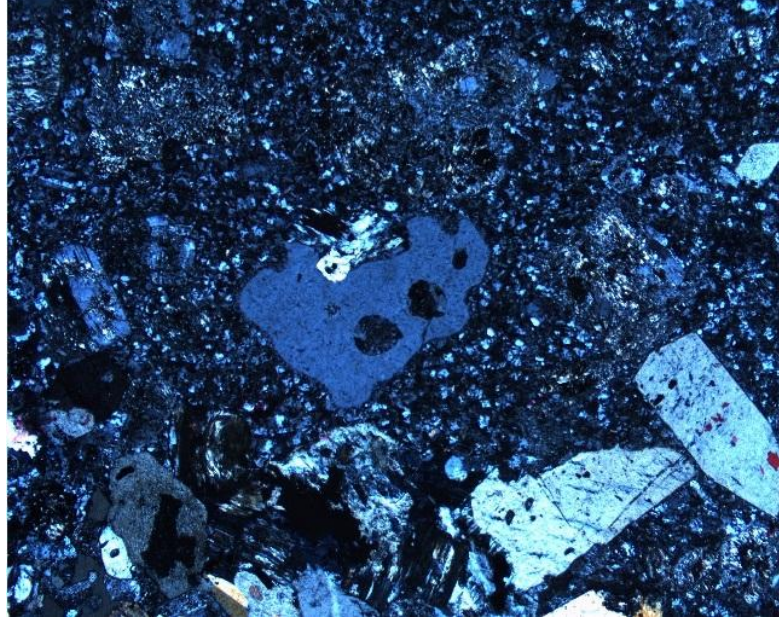
#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma sonucu Jeoloji Mühendisliğinde yapılan petrografik analizine bilgisayar ortamında hız ve keskinlik kazandırılmıştır. Kaya ince kesit görüntüsündeki tüm minerallerin doğru bir biçimde sınırlarının belirlenmesi ve analizlerinin yapılması amacına ulaşılmıştır.

Kaya ince kesit görüntülerinde minerallerin sınırlarını belirlemek için önerilen bulanık kural tabanlı görüntü bölütleme algoritması, Fuzzy C-Means (FCM) algoritması ile karşılaştırılmıştır. FCM algoritması, sayısı önceden belirtilen bulanık kümelere, veri noktalarının üyelik derecelerini hesaplayarak çalışan bir kümeleme yöntemidir. FCM ve önerilen teknik MATLAB R2011a kullanılarak bilgisayar ortamında uygulanmıştır (Samet vd. 2012). Yapılan denemelerde ince kesit görüntüleri 3 minerale ayrıştırılmıştır. Görüntülerin 3 minerale ayrıştırılmasının sebebi, kaya adlandırması işleminde üç farklı mineralin birleşme oranından yola çıkılarak kayanın tipine karar verilmesidir (Le Bas ve Streckeisen 1991).

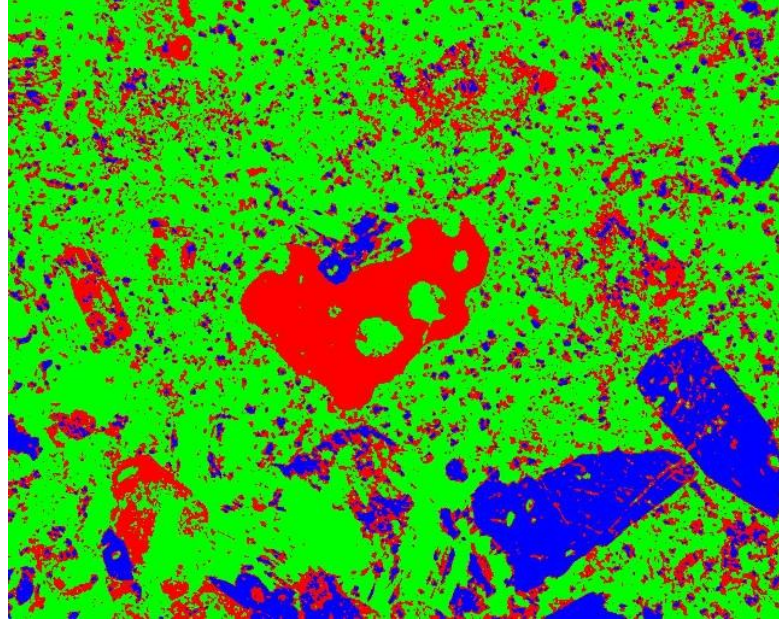
FCM algoritmasına her piksel  $1 \times 3$ 'lük vektörler şeklinde kırmızı, yeşil ve mavi bileşeni ayrılmadan giriş olarak verilir. Piksellerin ayrılacağı sınıfların sayısı 3, en az iyileşme miktarı  $\varepsilon = 0.00001$  ve en fazla tekrar sayısı 100 olarak seçilir. Tezde geliştirilen yöntemde ise her mineral için 2 örnek alınmış, yani toplamda 6 örnekle bölütleme yapılmıştır.

Tekniklerin, görüntüleri minerallerine bölütlemesi için giriş olarak verilen kaya ince kesit görüntüsü şekil 4.1'de gösterilmiştir.

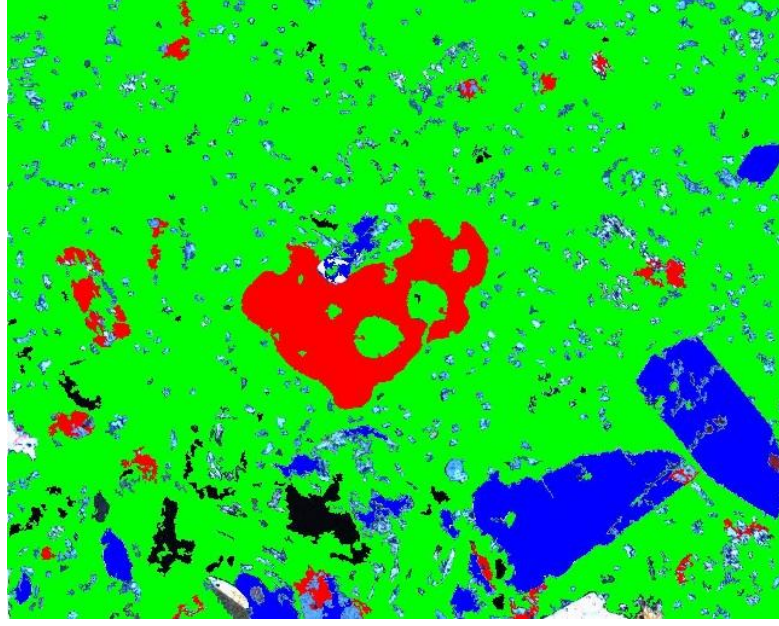


Şekil 4.1 Kaya ince kesiti

Alınan sonuçlar ise FCM tekniği için şekil 4.2’de, önerilen teknik için ise şekil 4.3’te gösterilmiştir. Görsel olarak söylenebilir ki önerilen teknik, FCM tekniği ile yapılan bölütlemeden daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 4.2 FCM yöntemi ile alınan sonuç



Şekil 4.3 Önerilen teknik ile alınan sonuç

Aynı mineralin görüntünün farklı yerlerindeki taneciklerinde farklı renk değerlerinde bulunmasından ve ince kesitte görülen her taneciğin bir minerale ait olmamasından dolayı kaya ince kesitlerinin minerallere ayrılma problemi tamamıyla otomatik görüntü bölütleme yöntemleri ile çözülememektedir. FCM yönteminden yararlanılamamasının sebebi de budur.

FCM yönteminde piksellerin kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerinin değerleri dikkate alınır. Piksellerin uzaysal ilişkileri dikkate alınmaz. Bu durum, FCM yönteminin pikselleri sınıflandırmasında eksik yönü olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Acharya, T. and Ray, A. J. 2005. Image Processing Principles and Applications. Wiley-Interscience, 449 p., New Jersey
- Bassman, H. and Besslich, P. W. 1995. Ad Oculos Image Processing Student Version 2.0. International Thomson Publishing, 446 p., London
- Baykan, N. A. and Yılmaz, N. 2010. Mineral Identification Using Color Spaces and Artificial Neural Networks. Computers and Geosciences, 36; 91-97
- Bezdek, J. C. 1981. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press, 256 p., New York
- Canny, J. A. 1986. Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, No. 6; 679-698
- Chayes, F. 1954. The Theory of Thin-Section Analysis. Journal of Geology, 62; 92-101
- Chien, B-C. and Cheng, M-C. 2002. A Color Image Segmentation Approach Based on Fuzzy Similarity Measure. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1; 449-454
- Daniels, R. B., Gamble, E. E., Bartelli, L. J. and Nelson, L. A. 1968. Application of the Point-Count Method to Problems of Soil Morphology. Soil Science, 106; 149-152
- Dooley, L. S., Karmakar, G. C. and Murshed, M. 2003. A Fuzzy Rule-Based Colour Image Segmentation Algorithm. IEEE International conference on image processing, 1; 977-980
- Goins, E. and Reedy, C. L. 2000. Digital image analysis in microscopy for objects and architectural conservation. Objects Specialty Group Postprints, 7; 122-133
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. 2007. Digital Image Processing. 3/E Prentice Hall, 976 p., Cambridge
- Howarth, D. F. and Rowlands, J. C. 1987. Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. Rock Mech. Rock Eng, 20; 57-85
- Jang, J. R., Sun, C. and Mizutani, E. 1997. Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence. Prentice Hall, 614 p, Cambridge

- Karmakar, G. C. and Dooley L. 2001. A Generic Fuzzy Rule Based Technique For Image Segmentation. IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing, 3; 1577-1580
- Kurugöllü, F., Sankur, B. and Harmancı, A. E. 2001. Color image segmentation using histogram multithresholding and fusion. Image and vision computing, 19; 915-928
- Le Bas, M. J. and Streckeisen, A. L. 1991. The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the Geological Society, 148; 825-833
- Lee, K. H. 2005. First course on fuzzy theory and applications. Springer, 335 s., Berlin
- Matthew, A. J., Woods, A. J. and Oliver, C. 1991. Spots before the eyes: New comparison charts for visual percentage estimation in archaeological material. Recent developments in ceramic petrology, 81; 211-263
- Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L. and Walker, E. A. 2010. A first course in fuzzy and neural control. Chapman and Hall/CRC, 312 p., ABD
- Potrebic, M. 2004. Iterative Fuzzy Rule Base Technique for Image Segmentation. Neural network applications in electrical engineering, 7; 221-224
- Prikryl, R. 2006. Assessment of rock geomechanical quality by quantitative rock fabric coefficients: Limitations and possible source of misinterpretations. Engineering Geology, 87; 149-162.
- Reedy, C. L. 2006. Review of digital image analysis of petrographic thin sections in conservation research. Journal of the American institute for conservation, 45; 127-146
- Samet, R., Amrahov, S.E. and Ziroğlu, A.H. 2012. Fuzzy Rule-Based Image Segmentation technique for rock thin section images. Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA), 3; 402-406
- Streckeisen, A. L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1; 1-15
- Stoltman, J. B. 1989. A quantitative approach to the petrographic analysis of ceramic thin sections. American Antiquity, 54; 147-160
- Williams, H., Turner, F. J. and Gilbert, C. M. 1982. Petrography: An introduction to the study of rocks in thin section. W. H. Freeman, 626 p., San Francisco
- Yeşiloğlu-Gültekin, N., Keçeli, A. S., Sezer, E. A., Can, A. B., Gökçeoğlu, C. and Bayhan, H. 2012. A computer program (TSecSoft) to determine mineral percentages using photographs obtained from thin sections. Computers and geosciences, 46; 310-316
- Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, 8; 338-353

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Hikmet ZİROĞLU

Doğum Yeri : İskenderun/HATAY

Doğum Tarihi : 01.10.1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : İstiklal Makzume Anadolu Lisesi (2000-2004)

Lisans : Ankara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği (2005-2010)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2010 – Kasım 2013)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Sosyal Güvenlik Kurumu, Hizmet Sunumu Genel Müdürlüğü (2011- )

### Yayınları (SCI ve diğer)

Samet, R., Amrahov, S.E., **Ziroğlu, A.H.** 2012. Fuzzy Rule-Based Image Segmentation technique for rock thin section images. Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA), 3; 402-406