**T.C**
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ROBOTİK BİR MİKROSKOP SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME ve YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE ANALİZİ

**Nurdan BAYKAN**

**DOKTORA TEZİ**
**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**
**ANA BİLİM DALI**
**KONYA, 2010**

# ÖZET

**DOKTORA TEZİ**
**ROBOTİK BİR MİKROSKOP SİSTEMİNDEN ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME ve YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE ANALİZİ**

**Nurdan BAYKAN**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nihat YILMAZ**
**2010, 135 Sayfa**

**Jüri :**
**Prof. Dr. Ahmet ARSLAN**
**Yrd. Doç. Dr. Nihat YILMAZ**
**Yrd. Doç. Dr. Gürsel KANSUN**
**Yrd. Doç. Dr. Süleyman TOSUN**
**Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ**

Kayaçların isimlendirilmesi için, kayaç içindeki mineraller ve bulunma yüzdeleri tespit edilmelidir. Kayaçlar bazen gözle analiz edilebilseler bile, esas inceleme mikroskop altında ince kesitler kullanılarak yapılmaktadır. Yapılan incelemeler saatler sürmekte ve sonuçlar inceleme yapan kişiye göre değişebilmektedir. Yapılan tez çalışmasında kayaç yapıcı minerallerin başında gelen kuvars, muskovit, biyotit, klorit ve opak minerallerinin tespit edilmesi üzerine çalışılmıştır. Mineral tespit çalışmalarında kullanılan piksel değerleri hem tek nikol, hem de çift nikol görüntülerden alınmıştır. Yapılan tüm çalışmalarda Çok Katmanlı

Yapay Sinir Ağı (ÇKYSA) kullanılmıştır. Mineral tanıma için kullanılan ilk dijital görüntüler, James Swift marka mikroskoba bağlı Videolab kamera ile Inca programı ile elde edilmiştir. Görüntüler 450x370 piksel boyutlarında RGB formatında renkli görüntülerdir. Toplam 325 adet piksel değeri RGB, HSV ve $L^*a^*b^*$ renk uzaylarında ayrı ayrı alınarak, mineral etiketleme çalışmaları yapılmıştır. Mineral etiketlemede RGB renk uzayında ortalama %89,53; HSV'de % 87,5; $L^*a^*b^*$'de %89,59; RGB ve HSV renk uzayları birlikte kullanıldığında %87,45 başarı elde edilmiştir. Aynı dijital görüntülerden alınan toplam 400 adet piksel değeri ile RGB renk uzayında mineral sınıflandırma çalışmaları da yapılmıştır. Sınıflandırmada minerallerin tümü için ortalama %93,86 başarı elde edilmiştir. Her mineralin ayrı ayrı sınıflandırma başarılarını tespit etmek içinse, paralel çalışan ÇKYSA mimarileri kullanılmıştır. Sonuçta kuvars, muskovit, biyotit, klorit, opak için elde edilen sınıflandırma başarıları sırasıyla %90,67; %96,16; %93,91; %92 ve %97,62'dir.

Mineral tanıma için kullanılan diğer dijital görüntüler, Meiji MX9430 marka mikroskoba bağlı Kameram590cu kameram ile Kameram programı ile elde edilmiştir. Görüntüler 675x500 piksel boyutlarında RGB formatında renkli görüntülerdir. Toplam 600 adet piksel değeri kullanılarak, geliştirilen bir bulanık mantık tabanlı önişlem algoritması ile RGB renk uzayında, mineral sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Hem önişlem uygulanmış, hem de uygulanmamış verilerle yapılan sınıflandırmada %98'in üzerinde başarı elde edilmiştir. Başarılar karşılaştırıldığında, önişlem ile ÇKYSA mimarisinde gizli katmandaki nöron sayılarının çok azaldığı, böylece işlem süresinin azaldığı ve performansın arttığı görülmüştür.

Tez kapsamında mikroskop incelemelerinde kullanılabilecek bir mekanik sistem tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen Lcd ekranlı, Pic mikrodenetleyici kullanan bilgisayar kontrollü sistem yardımıyla otomatik olarak ince kesitin hareket yönü, mikroskop tablasının ve analizörün kontrolü yapılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler**

Mineral, mikroskop, görüntü işleme, yapay zekâ, bulanık kümeleme, robotik mikroskop

## ABSTRACT

**PhD THESIS**

**ANALYSIS OF MICROSCOPIC IMAGES PROVIDED BY A ROBOTIC MICROSCOPE SYSTEM VIA IMAGE PROCESSING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES**

**Nurdan BAYKAN**

**Selcuk University**
**Graduate School of Natural and Applied Sciences**
**Department of Computer Engineering**

**Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nihat YILMAZ**
**2010, 135 Pages**

**Jury :**
**Prof.Dr. Ahmet ARSLAN**
**Assist. Prof. Dr. Nihat YILMAZ**
**Assist. Prof. Dr. Gürsel KANSUN**
**Assist. Prof. Dr. Süleyman TOSUN**
**Asist. Prof. Dr. Mesut GÜNDÜZ**

Minerals and percentage of their area in rocks must be identified for naming rocks. Sometimes, rocks can be observed with eyes, but the base observations are made under the microscope with using thin sections. Observations take many hours and the results may change according to the researchers. In this study rock forming minerals quartz, muscovite, biotite, chlorite and opaque were used for mineral recognition. Pixel values used for mineral recognition were taken from both crossed-polarized and plane-polarized images. Multi-layered Artificial Neural Network

(ANN) was used in all analyses. At the first step, thin section images were collected from Videolab camera mounted on a James Swift microscope and transmitted by Inca software. Total images have been stored in RGB format with a dimension of 450x370 pixels. Totally 325 pixel values were taken in RGB, HSV and $L^*a^*b^*$ color spaces and used for recognition. Labeling results have been achieved as 89,53% in RGB; 87,5% in HSV; 89,59% in $L^*a^*b^*$ and 87,45% when RGB and HSV were used together. 400 pixel values taken from same images were used for mineral classification in RGB color space. For classification of all minerals, 93,86% successful classification result has been achieved. Multiple ANNs were used for classify minerals individual. 90,67%, 96,16%, 93,91%, 92% and 97,62% successful results have been achieved for quartz, muscovite, biotite, chlorite and opaque, respectively.

The other digital images were collected from Kameram590cu camera mounted on a Meiji MX9430 microscope and transmitted by Kameram software. Images have been stored in RGB format with a dimension of 675x500 pixels. 600 pixel values were used for classification. A new preprocess algorithm based on fuzzy logic has been established in RGB color space. 98% successful results were achieved from both original data and preprocessed data set. Rely on the results, it can been concluded that the number of neurons in hidden layer decreased as in line with the decrease in time, yet the performance increased.

An electromechanical system has been established in this study. The directions of thin section movements, controls of experimental stage and analyzer can be controlled by this mechanical system. It is used Pic microcontroller and all controls can be seen in Lcd screen.

**Keywords**

Mineral, microscope, image processing, artificial intelligence, fuzzy clustering, robotic microscope

## TEŞEKKÜR

Bu konuyu seçmemi sağlayan ve çalışmalarım sırasında yönlendirici desteklerini esirgemeyerek, çalışmamın her aşamasında benimle birlikte tüm gayretini gösteren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihat YILMAZ'a;

Çalışmalarımı yönlendiren Prof. Dr. Ahmet ARSLAN'A ve Yrd. Doç. Dr. Gürsel Kansun'a;

Çalışmalarımın ilk aşamasında yardımda bulunan Sayın Dr. Hüseyin DEVECİ'ye ve Selçuk Üniversitesi Kimya Bölümü'ne;

İlk mikroskobik görüntülerimin çekilmesinde yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Refika KURBANLI'ya;

Mikroskobik incelemelerde yardımda bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Kürşat Asan'a;

Çalışmalarımda kullandığım ince kesitleri sağlayan Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne;

Çalışmalarımda yardımcı olan Selçuk Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim elemanlarına;

Çalışmalarım sırasında moral ve yönlendirici desteklerini esirgemeyerek, büyük bir sabırla, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayıp yardımda bulunan, yol gösteren eşim Ömer Kaan BAYKAN'a ve aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (S.Ü. B.A.P.) Koordinatörlüğü'nün 13.03.2008 tarihli 2008/2.1 karar numaralı 08101002 no'lu doktora tez projesi olarak desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı S.Ü. B.A.P. koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Tezimi, doktora çalışmalarım sırasında kaybettiğim babam Remzi AKHAN'a ithaf ederim.

Nurdan Akhan BAYKAN

Konya, 2010

# İÇİNDEKİLER


ÖZET……..... iii

ABSTRACT……..... v

TEŞEKKÜR……... vii

İÇİNDEKİLER……..... viii

ŞEKİLLER LİSTESİ…….. x

TABLOLAR LİSTESİ…… xiii

SİMGELER ve KISALTMALAR…….. xv

1. GİRİŞ…….. 1

1.1. Tezin Amacı ve Literatüre Katkısı…..…… 1

1.2. Tezin Organizasyonu…… 4

2. LİTERATÜR ÖZETİ…….. 5

3. IŞIK ve MİKROSKOP……..... 9

3.1. Işık ve Özellikleri……..... 9

3.2. Polarize Işık…….. 10

3.3. Mikroskop ve Çeşitleri……..... 11

3.4. Polarize Işık Mikroskobu……..... 13

4. MİNERALLER ve MİNERAL İNCELEME……..... 16

4.1. İnce Kesit ve Yapımı…… 16

5. DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME……..... 23

5.1. Kullanılacak Görüntünün Elde Edilmesi…….. 26

5.2. Önişleme……..... 30

5.3. Özellik Çıkartımı ve Veri Azaltma……..... 33

5.4. Nitelik Analizi…….. 43

6. YAPAY ZEKÂ (YZ) TEKNİKLERİ……..... 45

6.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)…… 45

6.1.1. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA)…… 50

6.1.2. Lineer olmayan tek katmanlı yapay sinir ağları (LTKYSA)……..... 53

6.2. Kümeleme Algoritmaları…….. 56

6.2.1. K-Ortalama kümeleme……...…… 57

6.3. Bulanık Mantık (BM)……..... 59
7. MİNERAL TANIMA İÇİN KULLANILAN METOTLAR ve DENEYSEL SONUÇLAR……..... 66
7.1. Kullanılan Görüntüler……..... 67
7.2. Mineral Etiketleme……..... 69
7.3. Mineral Sınıflandırma…….. 85
8. GELİŞTİRİLEN MİNERAL TANIMA SİSTEMİ……..... 90
8.1. Tasarlanan Mekanik Sistemin Donanımı……..... 91
8.2. Tasarlanan Mekanik Sistemin Yazılımı……..... 102
8.3. Bulanık Mantık Tabanlı Mineral Sınıflandırma Yöntemi……..... 104
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER……..... 116
KAYNAKLAR……..... 128

# ŞEKİLLER LİSTESİ


Şekil 3.1. Polarize ışık elde etme……..... 11

Şekil 3.2. Standart bir polarize ışık mikroskobun parçaları……..... 14

Şekil 3.3. Oküler üzerinde polarizör ve analizörün titreşim istikametlerini gösteren birbirine dik çizgiler……... 15

Şekil 4.1. İnce kesit yapımı……... 18

Şekil 4.2. Michel Levy renk tablosu……..... 21

Şekil 4.3. Basitleştirilmiş Michel Levy renk tablosu…… 22

Şekil 5.1. Renkli görüntü için mavi-yeşil-kırmızı bandlar…… 24

Şekil 5.2. Renkli görüntü……..... 24

Şekil 5.3. 0 – 255 arası gri değerler için renk skalası…… 24

Şekil 5.4. Gri seviye görüntü……. 25

Şekil 5.5. Siyah-beyaz görüntü……..... 25

Şekil 5.6. Dijital görüntü bileşenleri……..... 27

Şekil 5.7. Analog video sinyalinin örneklenmesi……..... 28

Şekil 5.8. Örnek bir sensör hücresi……... 29

Şekil 5.9. Ortalama filtre maskesi……..... 31

Şekil 5.10. Ortanca filtre uygulaması…… 31

Şekil 5.11. Histogram eşitleme……..... 32

Şekil 5.12. Histogram eşitleme adımları……... 33

Şekil 5.13. Elektromanyetik renk tayfı……..... 36

Şekil 5.14. RGB renk uzayı – 1……. 37

Şekil 5.15. RGB renk uzayı – 2……. 38

Şekil 5.16. HSV renk uzayı – 1……. 39

Şekil 5.17. HSV renk uzayı – 2……. 39

Şekil 5.18. RGB – HSV karşılaştırması…… 41

Şekil 5.19. $L^*a^*b^*$ renk uzayı……. 42

Şekil 6.1. Nöron gösterimi…… 47

Şekil 6.2. YSA'da yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları……..... 48

Şekil 6.3. YSA ağ yapıları……..... 49

Şekil 6.4. Tek gizli katmanlı ÇKYSA yapısı…… 51

Şekil 6.5 Bire karşı hepsi yöntemiyle *k*=5 sınıf için LTKYSA örneği……..... 55
Şekil 6.6 Bire karşı bir yöntemiyle *k*=3 sınıf için LTKYSA örneği……..... 56
Şekil 6.7. *k*=3 için K-Ortalama uygulaması örneği (“+” küme merkezi)……..... 58
Şekil 6.8. K-Ortalama kümeleme algoritması adımları……. 58
Şekil 6.9. Bulanık mantık üyelik fonksiyonu örnek parametreleri……... 61
Şekil 6.10. Bulanık mantık üyelik fonksiyonu örnekleri…….. 61
Şekil 6.11. Bulanık sistem yapısı…….. 62
Şekil 6.12. Mamdani bulanık mantık çıkarımı……..... 64
Şekil 6.13. Sentroid yöntemi ile durulaştırma……... 65
Şekil 7.1. İnce kesit örnekleri…… 67
Şekil 7.2. Mineral görüntü örneği……..... 68
Şekil 7.3. Önişlem uygulanmış mineral görüntü örneği…… 69
Şekil 7.4. Görüntülerden minerallere ait piksel değerlerinin okunmasına örnek..... 71
Şekil 7.5. Renk uzaylarında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisi……..... 72
Şekil 7.6. RGB renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği..... 75
Şekil 7.7. HSV renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği..... 78
Şekil 7.8. RGB + HSV renk uzayında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisi……. 79
Şekil 7.9. RGB + HSV analizinde ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği……..... 81
Şekil 7.10. $L^*a^*b^*$ renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği. 83
Şekil 7.11. Etiketleme ve sınıflandırma uygulamalarının akış diyagramı ……... 84
Şekil 7.12. Mineral sınıflandırmasında kullanılan tek çıkışlı ÇKYSA mimarisi….. 87
Şekil 7.13. Paralel çalışan ÇKYSA mimarileri……..... 88
Şekil 8.1. Tez projesi kapsamında alınan Meiji MX9430 serisi mikroskop..... 91
Şekil 8.2. Meiji marka mikroskoba bağlı kamera……..... 92
Şekil 8.3 Otomatik mekanik sistemin mikroskoba monte edilmiş hali……..... 94
Şekil 8.4 Mekanik sistemin bağlantı şeması – 1……... 95
Şekil 8.5 Mekanik sistemin bağlantı şeması – 2……... 95
Şekil 8.6 Step motor – 1…… 96
Şekil 8.7 Step motor – 2…… 97

Şekil 8.8 Servo motor…… 98
Şekil 8.9 İnce kesitin hareketini kontrol eden step motorlar……..... 99
Şekil 8.10 Mikroskop tablasının aşağı-yukarı hareketini kontrol eden step motor... 100
Şekil 8.11 Mikroskop tablasının dönmesini kontrol eden step motor……... 100
Şekil 8.12 Analizörü kontrol eden servo motor…… 101
Şekil 8.13 Mekanik sisteme bağlı Lcd ekran…… 101
Şekil 8.14 Mekanik sistemin motor kontrol kartı…….. 102
Şekil 8.15 Mekanik sistemin kontrol yazılımının blok şeması……..... 103
Şekil 8.16 Geliştirilen program arayüzü……... 103
Şekil 8.17 Meiji mikroskoptan alınan mineral görüntü örneği……..... 105
Şekil 8.18 $B_{çift}$ renk kanalındaki küme merkezleri için minerallerin yerleşmesi….. 106
Şekil 8.19 Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS) yapısı……..... 107
Şekil 8.20 Bulanık sistem modeli…….. 108
Şekil 8.21 $B_{çift}$ renk kanalı için oluşturulan bulanık giriş üyelik fonksiyonları…… 109
Şekil 8.22 $B_{çift}$ renk kanalı için oluşturulan bulanık çıkış üyelik fonksiyonları…… 110
Şekil 8.23 Bulanık sistem modeline ait kural tabanı……..... 111
Şekil 8.24 Bulanık sistem modeline ait kural izleyici……... 112
Şekil 8.25 Bulanık önişleme uygulamasının akış diyagramı…… 115
Şekil 9.1 Mineral etiketlemedeki sonuç görüntülere örnekler…….. 120
Şekil 9.2 Renk uzaylarında mineral etiketlemedeki sonuç piksel sayıları fark grafiği……..... 121
Şekil 9.3 400 veriye ait dağılım grafiği……. 124
Şekil 9.4 Bulanık mantık uygulanmış ve uygulanmamış veriye ait zaman performans grafiği……. 125

## TABLOLAR LİSTESİ


Tablo 4.1. Polarizan mikroskopta görülen mineral özellikleri…….. 19

Tablo 4.2. Bazı minerallerin tek nikolde gösterdikleri renkler……..... 20

Tablo 5.1 HSV için H değerleri…… 40

Tablo 5.2 RGB'den $L^*a^*b^*$ renk uzayına dönüşüm……... 43

Tablo 6.1 Bire karşı bir yöntemiyle 3 sınıflı sınıflandırma örneği…… 56

Tablo 7.1 325 adet veri için minerallere ait piksel sayıları……... 70

Tablo 7.2 ÇKYSA eğitmesi için minerallere ait RGB piksel değerleri örnekleri..... 71

Tablo 7.3 Renk uzaylarında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisine ait parametre değerleri…… 72

Tablo 7.4 RGB renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi……..... 74

Tablo 7.5 RGB renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar…….. 75

Tablo 7.6 ÇKYSA eğitmesi için minerallere ait HSV piksel değerleri örnekleri..... 76

Tablo 7.7 HSV renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi……..... 77

Tablo 7.8 HSV renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar…….. 77

Tablo 7.9 RGB + HSV renk uzayları birlikte kullanıldığında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi……..... 80

Tablo 7.10 RGB + HSV renk uzaylarının birlikte kullanıldığı mineral etiketlemedeki başarılar……..... 80

Tablo 7.11 Çift ve tek nikolde minerallere ait $L^*a^*b^*$ piksel değerleri örnekleri….. 82

Tablo 7.12 $L^*a^*b^*$ renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi……..... 82

Tablo 7.13 $L^*a^*b^*$ renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar……..…….. 84

Tablo 7.14 400 adet veri için minerallere ait piksel sayıları……..... 85

Tablo 7.15 Mineral sınıflandırma için kullanılan ÇKYSA mimarisine ait parametre değerleri……. 86

Tablo 7.16 5 çıkışlı mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları……. 86

Tablo 7.17 Mineral sınıflandırmasında paralel çalışan ÇKYSA için sonuçlar…..... 88

Tablo 7.18 Mineral sınıflandırmada kullanılan LTKYSA sınıflandırıcı çiftleri….. 89
Tablo 7.19 Mineral sınıflandırma için LTKYSA sonuçları…….. 89
Tablo 8.1 Meiji marka mikroskoba ait teknik özellikler……... 92
Tablo 8.2 Kameram 590cu marka CCD kameranın teknik özellikleri…….. 93
Tablo 8.3 Kullanılan step motor özellikleri……... 97
Tablo 8.4 K-Ortalama ile bulunan küme merkezleri……..... 106
Tablo 8.5 $B_{çift}$ renk kanalındaki küme merkezlerine atanan mineral değerleri…..... 107
Tablo 8.6 $B_{çift}$ renk kanalına ait giriş üyelik fonksiyonları değerleri……... 109
Tablo 8.7 Bulanık sistem kural örnekleri…….. 110
Tablo 8.8 Çift ve tek nikolde minerallere ait bulanık önişlem sonucundaki piksel değerleri örnekleri……..... 113
Tablo 8.9 Bulanık önişlem geçirilmiş veriler için mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları……. 114
Tablo 9.1 Renk uzaylarında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarileri…….. 117
Tablo 9.2 Renk uzaylarında mineral etiketlemedeki başarılar…….. 119
Tablo 9.3 5 çıkışlı mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları……..... 121
Tablo 9.4 Mineral sınıflandırmasında paralel çalışan ÇKYSA için sonuçlar……... 122
Tablo 9.5 Mineral sınıflandırmasında karşılaştırma…….. 123
Tablo 9.6 Bulanık önişlem uygulanmış verilerle, önişlem yapılmayan verilerin mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçlarının karşılaştırılması……. 126

## SİMGELER ve KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| ixj | : Dijital görüntü boyutu |
| $g_{ij}$ | : Piksel |
| I(i,j) | : Piksel parlaklık değeri |
| CCD | : Charge Couple Devices |
| CMOS | : Complementary Metal Oxide Semiconductor |
| L | : Gri seviye sayısı |
| $n_i$ | : Bir gri seviyedeki toplam piksel sayısı |
| F(j,k) | : Dijital görüntü |
| $M_u$ | : F(j,k) dijital görüntüsünün (m,n)'nci dereceden uzaysal momenti |
| YZ | : Yapay zekâ |
| YSA | : Yapay sinir ağları |
| w | : Nöron ağırlığı |
| $\theta$ | : Eşik değeri |
| $y = F(v)$ | : Nöron çıkışı |
| ÇKYSA | : Çok katmanlı yapay sinir ağları |
| GY | : Geri yayılım algoritması |
| $y_j^{(t)}$ | : j'inci nöronun beklenen çıkış değeri |
| $E_j$ | : j'inci nöronun çıkış hatası |
| $\Delta w_{ij}(t)$ | : Nöron ağırlık değişim miktarı |
| $\eta$ | : Öğrenme katsayısı |
| $\alpha$ | : Momentum katsayısı |
| $\delta_j$ | : j'inci nörona ait faktör |
| LTKYSA | : Lineer olmayan tek katmanlı yapay sinir ağları |
| $f(net)$ | : Non-lineer aktivasyon fonksiyonu |
| $X_j^{(i)}$ | : Lineer olmayan tek katmanlı yapay sinir ağı giriş vektörü |
| $t_j^{(i)}$ | : $X_j^{(i)}$ için beklenen çıkış değeri |
| *k* | : K-ortalama kümeleme algoritması için küme sayısı |

| | |
|---|---|
| $n$ | : K-ortalama kümeleme algoritmasında kümelenecek eleman sayısı |
| O($nkt$) | : K-ortalama kümeleme algoritması hesaplama karmaşıklığı |
| BM | : Bulanık Mantık |
| $\mu(x)$ | : Üyelik derecesi |
| r | : Korelasyon katsayısı |
| $y_p$ | : ÇKYSA'nda son işlem çıkış değeri |
| MHM | : Mekanizma hareket miktarı |
| SMAA | : Step motor adım açısı |
| YO | : Yarıçap oranları |
| GKA | : Grafik kullanıcı arayüzü |
| BÇS | : Bulanık çıkarım sistemi |
| RGB | : Red – Gren – Blue renk uzayı |
| HSV | : Hue – Saturation – Value renk uzayı |
| $L^*a^*b^*$ | : Luminance – a – b renk uzayı |

# 1. GİRİŞ

Mineraller yeryüzündeki kayaçları oluşturan bileşenlerdir. Mineraller kayaçları, kayaçlar ise yerkabuğunu oluştururlar. Kayaçların isimlendirilmesi için içerdikleri minerallerin neler olduğu ve minerallerin bulunma yüzdeleri tespit edilmelidir. Bunun için jeologlar tarafından kayaçlar makro, mikro ve kimyasal analiz yöntemleriyle incelenmektedir. Büyük taneli kayaçlar gözle analiz edilebilseler bile, kayacın tam ve doğru bir şekilde isimlendirilmesi için mikroskop altında incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı kayaçlardan alınan ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenmektedir. Bu tipte bir inceleme saatler, hatta günler alabilmekte ve sayısız mineralojik bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak ihtiyaç duyulan sonuçların, mümkün olan en kısa zamanda bilinmesi gerekmektedir. Bilim ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanlar minerallerin karmaşıklığına rağmen, istenilen bu bilgilere hızlı ve hassas bir şekilde ulaşmak istemektedirler. Özellikle modern ve otomatik görüntü yakalama cihazlarının gelişmesi, mikroskop özelliklerinin ve hassasiyetlerinin artması ile birlikte insanlar günümüzde kayaçları en ince ayrıntılarına kadar inceleyebilmektedirler. Son yıllarda, otomasyon sistemleri ve sayısal görüntü analizi programları ile hızlı ve doğru sonuçlar üreten mineral tanıma sistemleri üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Klasik metotlarla çok uzun zaman alan ince kesit incelemeleri, otomatik görüntü analizleriyle çok kısa zamanda yapılabilmektedir.

## 1.1. Tezin Amacı ve Literatüre Katkısı

Mikroskop, çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük cisimlerin bir ya da birkaç mercek yardımıyla büyütülerek, görüntüsünün incelenmesini sağlayan bir alettir. Özellikle son yıllarda sanayi, metalürji, genetik, jeoloji, diş, arkeoloji ve adli bilimler (kriminoloji) alanlarında büyük ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Bu

alanlarda, mikroskoptan alınan görüntülerde nesne tanıma, sınıflandırma ve nesne sayma vb. işlemleri yapılmaktadır. Farklı alanlarda alınan mikroskobik görüntülerde; metalik yüzeyin veya kayaç yüzeyinin deformasyonu, hücre sayımı, hastalıklı hücre tespiti, parmak izi, imza tespiti gibi incelemeler yapılmaktadır. Günümüzde daha çok bu işlemler mikroskop önüne geçen bir uzman tarafından gözle incelenerek, uzun zaman alınan bir süreçte yapılmaktadır. Ancak bu yöntemle hem işlem uzun zaman almakta, hem de belli bir standart olmadığı için işlem sonuçları objektif olmadan, incelemeyi yapan kişiye bağlı kalmaktadır. Bu da sonuçta hata oranını oldukça arttırmaktadır.

Mikroskop kullanarak yapılan incelemelerde birçok sorunla karşılaşılmaktadır. İncelenecek örnek numunenin hastalıklı olması ya da temas halinde ölümcül sonuçlara ulaşılması tehlikesi, incelemede dikkat edilmesi gereken en önemli noktadır. Tıp alanındaki patolojik numunelerin ya da mineraloji alanında zehirli minerallerin incelenmesi zararlı olabilmektedir. Hastalık bulaşabilen patolojik numunelerin ya da kanserojen madde içeren minerallerin ince kesit alımında ya da incelenmesinde bu noktaya özellikle dikkat edilmelidir. İncelenen numuneden doğru sonuçlar elde edebilmek için, mikroskop altında hassas bir ölçümle, eşit adımlarda ilerleyerek numunenin her alanının incelenmesi ve kesin sonuçların elde edilmesi gerekmektedir.

Görüntü işleme, insan beyninde olan görsel uygulamaların, bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesidir. Diğer bir deyişle, görüntülerin bilgisayar ortamında incelenmesidir. Görüntü işleme kavramı, dijital teknikte orijinal görüntüden yeni bir görüntü oluşturmak için kullanılır. Görüntü işleme teknikleri, görüntünün netliğinin arttırılması, görüntüden yeni bir görüntü elde edilmesi, orijinal görüntü hazırlama vb. işlemlerini kapsamaktadır. Mikroskopla incelemedeki görüntü işleme yöntemlerin temel amacı incelemelere doğruluk getirmektir. Bu nedenle görüntü işleme algoritmalarıyla yapılacak işlemler çok daha güvenli sonuçlar verecektir.

Sayısal görüntülerin analizinde matematiksel yöntemlere dayanan görüntü işleme algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla beraber son yıllarda gelişen ve her alanda uygulanmaya başlanan yapay zekâ teknikleri görüntü analizleri işlemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar, yapay zekâ tekniklerinin görüntü analizinde kullanılabileceğini, yüksek doğrulukta ve

güvenilirlikte sonuçlar üretebileceğini ortaya koymuştur. Başarı ve performansının arttırılması, işlem zamanının azaltılması amacıyla hibrid sistemler de görüntü analizinde kullanılmaktadır.

Bu noktalardan hareketle yapılan bu çalışma, kayaç oluşturan temel beş adet mineralin polarizan mikroskop altında alınan görüntülerinden, renk özelliklerine göre yapay zekâ teknikleriyle sınıflandırma çalışmasını ve başarılarını göstermek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca polarizan mikroskobun çalışmasını otomatik olarak kontrol etmek için, bilgisayar kontrollü 5 farklı motordan oluşan mekanik sistemin tanıtılması amaçlanmıştır. Yapılan tez çalışmasının literatüre katkıları şöyle sıralanabilir:

1- Aynı mikroskoptaki sabit bir aydınlatma altında, sabit bir kamera kullanılarak yeterli sayıda ince kesit görüntüleri alınmıştır. Tez çalışması kapsamındaki araştırmalarda, mineraloji alanında sabit bir ortamda yapılan böyle bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle alınan görüntüler, daha sonraki çalışmalar için bir veritabanı olarak kullanılabilir durumdadır.

2- Mikroskoba bağlı sabit bir CCD kamera kullanılarak alınan ince kesit görüntülerinde mineral etiketleme yapılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar genellikle mineral sınıflandırma olduğu için etiketleme çalışması bu alanda öncelikli bir çalışma olmuştur.

3- Yapılan tez çalışması kapsamında, mineral görüntüleri bilgisayar ortamında incelenerek, 4-8 saat süren mineral incelemeleri yaklaşık olarak 10-15 dakika gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Böylece zaman kısaltmış ve performansta kazanç sağlamıştır.

4- Farklı renk uzaylarında çalışılmıştır. Bu renk uzaylarının mineral incelemedeki başarıları ve işlem süreleri incelenmiştir.

5- Mineral sınıfladırma çalışmalarında bulanık mantık tabanlı yeni bir önişlem algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile ÇKYSA'daki işlem süresi kısaltılmış ve pratikte kullanılabilir hale getirilmiştir. Böylece mineral tanıma sistemi, ileride yapılabilecek bir gömülü sistem için de uyumlu hale getirilmiştir.

6- Mikroskobik incelemelerde kullanılmak üzere tasarlanan mekanik sistem ile hassas incelemeler yapılabilmektedir. Mikroskop tablasının, ince kesitin hareketinin ve analizörün kontrolleri bilgisayar tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Mekanik sistemin kontrolü için de bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir.
7- Tez çalışmasındaki uygulamalar ve mekanik sistem yalnız mikroskobik incelemelerde değil; mühendislik, biyoloji, tıp gibi alanlarda mikroskop kullanan her çalışmada ihtiyaca cevap verebilecek yapıdadır.

## 1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması ince kesit incelemesi, mineral etiketleme ve sınıflandırma, mekanik sistem tasarımı, yapay zekâ uygulamaları gibi çok geniş konuların tümünü içermektedir. Bu konuların çok geniş çalışma alanları bulunmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında bu konulardan temel konu başlıkları ile özet olarak bahsedilmiştir. Daha fazla bilgi verilen referans kaynaklarda bulunabilir. Tezin içeriğinde, Bölüm-2'de bu tez konusu ile ilgili literatür özeti, Bölüm–3, 4, 5, 6'da tez çalışması kapsamında kullanılan ışık, mikroskop, mineral, görüntü işleme ve yapay zekâ konuları ile ilgili teorik bilgiler, Bölüm-7'de yapılan deneyler ve sonuçları, Bölüm 8'de de tez kapsamında geliştirilen mineral tanıma sistemi verilmiştir. Son olarak Bölüm-9'da çalışmalara ait değerlendirmeler yapılmıştır.

# 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Kayaçlar; bir veya birçok mineralden oluşmuş, genellikle anorganik olan, katı yerkabuğunu oluşturan ve jeolojik bir bütünlüğe sahip kütleler şeklinde tanımlanmıştır ( Rosenbusch, 1873; Erkan, 2001). Bu nedenle kayaçları tanımlamak için öncelikle mineralleri tanımlamak gerekmektedir. Son yıllarda bilgisayarlı görüntü işlemenin ve mikroskopların daha da gelişmesi, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte mineral tanımlama üzerine de çalışmalar artmıştır.

Mikroskopta mineral inceleme üzerine ilk çalışmayı Starkey ve Samantaray (1993) yapmıştır. Mikroskop tablası ile birlikte üzerindeki ince kesitin dönmesi yerine, dönebilen bir polarize sistemi için ilk denemeyi yapmışlar ve bu sistemi kullanarak, kenar belirleme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışma daha sonraki yıllardaki çalışmalara öncelik teşkil etmiştir.

Sonraki yıllarda Samantaray (1993), Lumbreras ve Serrat (1996) petrografik veriler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Kocsis ve ark. (1998) görüntü işleme ve polarize ışık mikroskobu kullanarak hücre incelemesi, Hagni (1999) mermer, Hope ve ark. (2001) ise maden cevheri ile çalışmalar yapmışlardır.

Standart bir polarize ışık mikroskobunda mikroskop tablası döndürülerek, ince kesit incelenmektedir. Ancak tabla döndüğü için her dönüşte ince kesit de döneceği için alınan görüntü sabit kalmamaktadır. Bu nedenle sabit görüntü elde etmek için, ilk olarak Fueten (1997) çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada ince kesitin taramasında, mikroskopta mikroskop tablasının dönmesinin yerine polarizör döndürülmüştür. Mikroskoptaki sabit polarizör çıkarılarak, bilgisayar kontrollü, step motor ile kontrol edilen, dönebilen bir polarizör mikroskoba takılmıştır. Step motor ile her adımda 0,9° dönebilen sistemde böylece 180° derece dönmede toplam 200 adet sabit görüntü elde edilmiştir. Çalışma kapsamında 640x480 piksel boyutlarında RGB 24-bit, ince kesit mineral görüntüleri elde edilmiştir. Dönebilen polarizör sisteminin ardından Goodchild ve Fueten (1998) bu sistemi kullanarak, elde edilen mineral görüntülerinde, kendilerinin geliştirdiği bir algoritma ile kenar belirleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritma, sadece kapalı

kenar cisimlerin bulunmasında başarılı olmuştur. Fueten ve Goodchild (2001) geliştirdikleri dönebilen polarizör sistemini kullanarak mikroskobik görüntülerde kuvars mineralindeki c-ekseni yönelimlerini bulma çalışmaları yapmışlardır. Thompson ve ark. (2001) ise aynı sistemi kullanarak tek nikol ve çift nikol görüntüler elde etmişlerdir. Bu görüntüleri kullanarak, minerallerden renk ve doku özellikleri çıkarmış ve bu özelliklere göre yapay sinir ağlarıyla mineral sınıflandırma yapmışlardır. Bu çalışmaların ardından Fueten (2002), mikroskop altındaki ince kesit görüntülerden kayaçlardaki deformasyonları tespit etmek amacıyla avi görüntülerinin alınmasını sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda Fueten ve Mason (2007) mineral görüntülerinde kendi algoritmalarıyla kenar tespitinde yapay sinir ağlarını kullanmışlar, elde edilen kenar bilgilerinden faydalanarak segmentasyon gerçekleştirmişlerdir.

Takahashi (2002) mikroskop altında minerallerdeki ikizlenmenin tespiti; Bortchagovsky ve ark. (2003) polarize ışık mikroskobunda sönüm açısını kullanarak pirolitik karbonun optik özelliklerinin tespiti; Crelling (2005) kömür ve karbon örneklerinden alınan görüntülerdeki çift kırma renklerinin ayırt edilmesi; Smith ve Beerman (2007) gri seviye değerlerini kullanarak tonalite kayacından alınan ince kesit görüntülerdeki plajioklas mineralinin incelenmesi çalışmalarını yapmışlardır. Goodall ve Scales (2007) otomatik sistem kullanarak altın mineralinin bulunmasının avantaj ve dezavantajlarını inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Miao-Ling ve ark. (2007) dönebilen bir analizör kullanarak, polarize ışık altında grafitin sönme açısını ve içerisinde bulunan karbon taneciklerini incelemişlerdir.

Renk; görüntü analizinde kullanılan ilk ve en önemli parametre değeridir. Farklı renk uzayları ve bu uzaylarda dijital görüntü analizleri üzerine farklı çalışmalar yapılmıştır. Swenson ve Dimond (1998) farklı renk uzaylarını, renk uzaylarının birbirlerine dönüşümlerini ve bunu gerçekleştiren donanım tasarımını; Segnini ve ark. (1999) L*a*b* uzayında patates cipslerinin kalite kontrolünün renk değerleriyle yapılmasını; Yam ve Papadakis (2004) renk uzaylarında yiyeceklerin dış yüzey renklerinin incelenmesini; Yu ve Chen (2006) farklı renk uzaylarının birbirlerine dönüşümlerini ve dönüşüm etkilerini, Gökay ve Gundogdu (2008) mermer renklerinin bulunması üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Görüntü işleme, insan beyninde olan görsel uygulamaların, bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesidir. Diğer bir deyişle, görüntülerin bilgisayar ortamında incelenmesidir (Akhan, 2004). Teknolojinin gelişmesi ile birlikte görüntülerin otomatik olarak elde edilmesi ve analizi bir ihtiyaç haline gelmiştir. Eğitilmiş kişiler tarafından gözle yapılan görüntü incelemelerinde kişiye bağlı etkenlerden dolayı tutarsızlıklar oluşmaktadır. Bu nedenle objektifliği, doğruluğu, tutarlılığı ve hızı arttırabilmek için bilgisayar destekli sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Baykan, 2007). Son yıllarda her türlü alanda bilgisayar destekli görüntü işleme çalışmaları yapılmaktadır (Gonzales, 1993). Baba ve ark. (1996) biyolojik nesnelerin ince kesit görüntülerinde alan çıkarımı, Porter ve Canagarajah (1997) doku sınıflandırması, Marschallinger (1997) otomatik mineral sınıflandırmasında farklı yöntemlerin denenmesi, Lescure ve ark. (2001) biyolojik görüntülerde kalınlık tespiti, Kaczmarek ve ark. (2003) diş görüntülerinde görüntü analiziyle çatlakların tespiti, Forero ve ark. (2004) şekil ve renk özelliklerini kullanarak tüberküloz bakterilerinin tanımlanması, Gonzales-Barron ve Butler (2006) farklı metotlar kullanarak ekmek kalitesinin tespiti, Li ve ark. (2006) tıbbi verilerde segmentasyon çalışmaları yapmışlardır. Mineral alanında da Akesson ve ark. (2004) granit içindeki mikro çatlakların bulunması, Singh ve Mohan Rao (2005) görüntü işleme ve yapay sinir ağlarıyla maden cevherinin sınıflandırılması, Pritsos ve ark. (2005) elektron mikroskobu ile cam seramiğinin termal aktivitesinin incelenmesi, Donskoi ve ark. (2007) görüntü işleme ve doku sınıflandırmasıyla demir parçacıklarının tespit edilmesini gerçekleştirmişlerdir. Son yıllarda görüntü işleme uygulamaları mikroskobik görüntülerde de yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Bonnet, 2004; Baykan ve Yılmaz, 2010).

Bilgisayar kontrollü sistemlerden elde edilen görüntülere önişleme, segmantasyon, uzay dönüşümleri, nitelik çıkarımı gibi görüntü işleme teknikleri uygulanarak görüntü ve görüntüdeki nesneleri tanımlayıcı nitelikler elde edilmektedir. Elde edilen bu nitelikler yapay sinir ağları, karar destek sistemleri, yapay bağışıklık sistemleri gibi yapay zekâ yöntemleri ya da istatistiksel yöntemler kullanarak değerlendirilmekte ve görüntü hakkında bilgi edinilmektedir (Petersen ve ark., 2002; Baykan, 2007). Lee (1997) nesne tanımada, Sjöström ve ark. (1999) hücre saymada, Serhatlıoğlu ve ark. (2003), Übeyli ve Güler (2003), Doppler

sinyallerinin sınıflandırılmasında, Yıldırım ve ark. (2004) koroner arter hastalığının sınıflandırılmasında, Güler ve Übeyli (2005) Behçet hastalığının teşhisinde Doppler sinyallerinin etkisinin belirlenmesinde, Çomak ve ark. (2007) destek vektör makineleriyle kalp hastalıklarının teşhisinde, Uğuz ve ark. (2008) Markov model ile beyin hastalıklarının tanısında, Güler ve ark. (2009) beyin yaralanmalarında hasar tespitinde, Kodaz ve ark. (2009) yapay bağışıklık sistemiyle tiroit hastalığının teşhisinde, Babaoğlu ve ark. (2009) efor stres testiyle koroner arter hastalığının teşhisinde yaptıkları çalışmalarla biyomedikal alanlarda yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Sagiroglu ve ark. (2002) lazer diyotların bant genişliklerinin modellenmesinde, Mingoti ve Lima (2006) Özdüzenleyici Haritalar (SOM), Bulanık C-Ortalama (Fuzzy-C-Means), K-Ortalama (K-Means) ve kümeleme algoritmalarının karşılaştırılmasında, Bagherieh ve ark. (2008) Kentaki kömürlerinin incelenmesinde, Sagiroglu ve Yılmaz (2009) web tabanlı robot görme sistemlerinde görüntü tanımada farklı yapay zekâ tekniklerini kullanmışladır.

Literatür araştırma sonucunda, mikroskop ile yapılan incelemelerde bilgisayar kontrollü otomatik bir görüntü alma sisteminin olmadığı; mineral incelemesinde kısa zaman aralığında, tutarlı, doğru ve objektif sonuçlar verecek bir sisteme ihtiyaç duyulduğu gözlenmiştir. Tez çalışması kapsamında bu ihtiyaçlara cevap verebilecek bilgisayar kontrollü otomatik görüntü alma mekanizması tasarlanmış, bu mekanizma kullanılarak elde edilen görüntülerde mineral sınıflandırma ve resim etiketleme çalışmaları yapılmıştır. Mineral tanıma için önerilen sistem görüntü analizi ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

# 3. IŞIK ve MİKROSKOP

## 3.1. Işık ve Özellikleri

Işık, doğrusal dalgalar halinde yayılan elektromanyetik dalgalara verilen addır. Isı, radyo dalgaları, X ışınları gibi diğer enerji şekillerinden farklı olarak ışınlar gözle görülebilir. Gözle görülebilir ışık dalga boyu 380 – 780 m. arasındadır ancak bilimsel terminolojide gözle görünmeyen dalga boylarına da ışık denilebilir. Işığın özellikleri, radyo dalgalarından gamma ışınlarına kadar gidebilen, elektromanyetik dalganın boyuna göre değişir. Işığın bir diğer özelliği ise, dalgalar halinde yayılması ve bu sırada enerjisini kaybetmemesidir.

Işığın ve tüm diğer elektromanyetik dalgaların temel olarak üç özelliği vardır:

1- Frekans: Dalga boyu ile ters orantılıdır, insan gözü bu özelliği **renk** olarak algılar. Bir cismin rengi, yansıttığı ışığın frekansına bağlıdır.
2- Şiddet: Genlik olarak da geçer, insan gözü tarafından parlaklık olarak algılanır.
3- Polarite: Titreşim açısıdır, normal şartlarda insan gözü tarafından algılanmaz.

Işığın kütlesi yoktur. Işığın daha doğrusu ışığı oluşturan parçacıkların yani fotonların kütlesi yoktur. Onlar sadece enerjidirler.

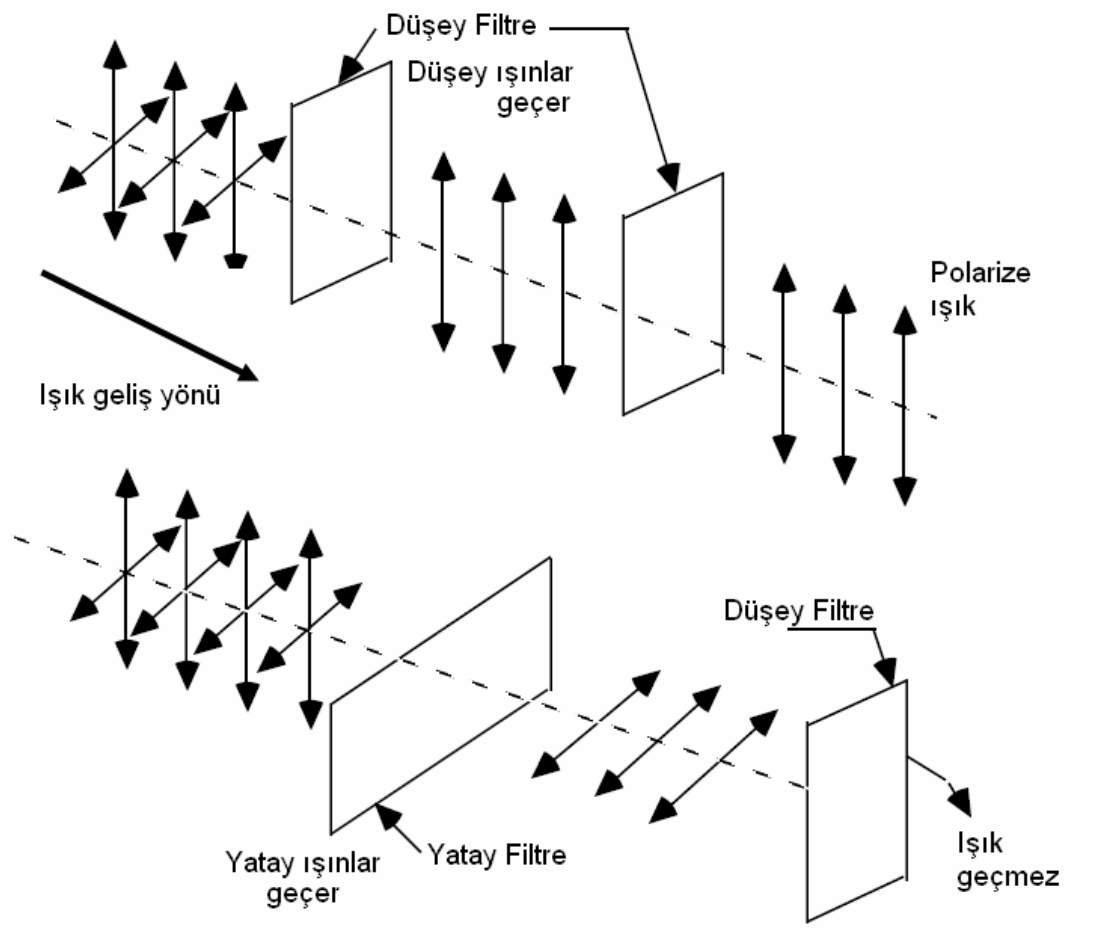
Işık insan gözünün görebilmesinin ana nedenidir. Çünkü görme işleminde ışık kaynağından çıkan ışınlar etrafımızdaki cisimlere çarparak gözümüze ulaşırlar ve daha sonra retinaya bağlı sinirler aracılığı ile burada oluşan görüntü, işlenmesi ve yorumlanması için beyne yollanır. Işık foton denilen kütlesiz ve yüksüz parçacıklardan oluşur. Tüm parçacıklar gibi fotonlar da dalga özelliği gösterirler. Yani bir dalga boyları ve bir frekansları vardır. Işık ışınları da fotonların ilerlerken aldıkları yoldur. Fotonlar kaynaklarından çıktıktan sonra eğer önlerinde hiç bir engel yoksa düz doğrultuda ve hiç sapmadan yayılırlar. Herhangi bir cisme çarpınca da cismin şeffaf olup olmamasına göre yansır veya kırılırlar (Wikipedia, 2010).

### 3.2. Polarize Işık

Işığın özel bir filtreden (süzgeç) geçirilmesi ile oluşan ışığa **polarize ışık** denir (Şekil 3.1). Polarize ışık, gün ışığı gibi çeşitli dalga boylarında ışınlar içerir. Ancak bunların hepsi aynı düzlemde titreşim yaparlar. Bu yüzden doğal ışığı polarize etmek için, düzlemlerden yalnız birindeki titreşime izin verip, diğerlerini söndürmek gerekir (Açıkalın ve ark., 1996). Bunun için filtre kullanılır. Polarize ışık filtresi, kendine gelen ışınlardan sadece kendine paralel olarak titreşen dalgaların geçişlerine izin verir. Filtre sonsuz sayıda paralel yarıklardan oluşmuştur. Yarıklarla aynı düzlemde titreşen ışık dalgaları yarıklardan geçebilir. Yarıklarla aynı düzlemde titreşmeyen ışık ya yansıtılır ya da tutulur. Filtreden geçen ışık, yalnızca bir düzlemde titreşim yapar. Bu ışığa polarize olmuş ışık adı verilir. Polarize filtreler fotoğrafçılıkta ve çeşitli mühendislik dallarında kullanılırlar. Kameraya giren ışık şiddetini kontrol ederler (Kılıçkaya, 1996).

Doğal ışık, yayılma doğrultusuna dik olan bütün düzlemlerde, polarize ışık ise bu düzlemlerin her birindeki elektromanyetik titreşim hareketidir. Gün ışığı çeşitli dalga boylarındaki ışınları içerir ve hepsi aynı düzlemde titreşim yaparlar. Bu nedenle doğal ışığı, polarize etmek için düzlemlerden yalnız birine izin verip, diğerlerini söndürmek gerekir. Bu nedenle nikol prizma kullanılır.

Nikol prizmasından elde edilen polarize ışık, ikinci bir nikol prizmadan geçirilirse, ikinci prizmanın durumuna göre ışık bu prizma tarafından ya tamamen ya da kısmen emilir ya da hiç emilme olmaz. Eğer tam emilme olursa, ikinci prizmaya bakıldığında karanlık; kısmen emildiği zaman yarı aydınlık; hiç emilme olmadığı zaman ise aydınlık görülür. Tamamen karanlık iken, ikinci prizma yavaş yavaş döndürülmeye başlanırsa, dönme 90° olduğunda aydınlık, dönme devam ettiğinde 180° olduğunda tekrar karanlık olur. Tam karanlık durumda prizmalar birbirine dik, tam aydınlık olduğunda ise birbirine paraleldir (Açıkalın ve ark., 1996).




Şekil 3.1. Polarize ışık elde etme

### 3.3. Mikroskop ve Çeşitleri

Mikroskop; küçük cisimlerin incelenmesi ve analizi için, uygun bir mercek yardımıyla bunların uygun bir ölçekte görülebilecek kadar büyütülmüş görüntülerini oluşturan bir araçtır. Mikroskoplar bugün başta tıp olmak üzere, birçok bilim dalında kullanılmaktadır (Baş ve Kansun, 1992). Mikroskoplar genel olarak kullanım alanlarına göre altı farklı tiptir:

1- Işık mikroskobu: Bugün en çok kullanılan, en basit mikroskop ışık mikroskoptur. Işık kaynağı olarak elektrikli aydınlatma kullanılır. Kaynak optik tüpün altına yerleştirilir ve alttan aydınlatma yapılır. İnceleme

yapılacak malzeme, tabla üzerine yerleştirilir ve kaynaktan gelen ışığın yoğunlaştırılmasıyla incelenmektedir.

2- Stereoskobik (Biyolojik) mikroskop: Cisimlerin üç boyutlu görüntülerini temin etmek maksadıyla stereoskopik mikroskoplar yapılmıştır. İki mikroskop optik sisteminin bir dürbün şeklinde bir sehpa üstüne montesinden ibarettir. Bu mikroskoplar biyoloji laboratuarları için elverişlidir(Wikipedia, 2010).

3- Araştırma mikroskopları: Birden fazla mikroskobik tekniğin kullanılmasına imkân veren gelişmiş mikroskoplardır. Üzerilerine ilave edilmiş ek parçalarla, değişik araştırmalar yapılabilmektedir. İlave ışık kullanılabilir. Farklı ışık filtreleri mevcuttur. Diğer mikroskoplardan fazla objektifleri bulunabilir (Akşit ve ark., 1995).

4- Elektron mikroskobu: Cisimden saçılan elektronların görüntülenmesi için kullanılan mikroskop çeşididir. Işık kaynağı yerine elektronlar ve cam mercekler yerine elektromanyetik kondansatörler kullanılır. Elektronların dalga boyu nanometre boyutlarında görüntülemenin yapılmasına olanak sağlar.

5- Metalürji mikroskobu: Işığı geçiremeyen maden parçalarının incelenmesi için mikroskoba ek olarak kuvvetli bir ışık kaynağı ilave edilmiştir. Işık kaynağından gelen ışık, incelenecek parçaya çarptırılır ve objektife yansıyan ışıklar kullanılarak inceleme yapılır.

6- Polarizan mikroskoplar: Özellikle jeolojik çalışmalarda kayaç ve minerallerin incelenmelerinde kullanılır. Canlı incelemeye uygun olan bu mikroskop hücre ve dokuların bazı kısımlarını polarize ışığa gösterdikleri özel tepkilerden hareketle geliştirilmiştir. Bu tip mikroskop tez kapsamında kullanılan mikroskop türüdür ve sonraki bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

### 3.4. Polarize Işık Mikroskobu

Petrografik incelemede özel bir mikroskop olan **polarize ışık mikroskobu** kullanılmaktadır. Işığın polarizasyonu esasına dayanan bir mikroskop türüdür (Boztoprak, 2001). Bu mikroskobu diğer mikroskoplardan ayıran en önemli özellik ışığın filtrelenmesidir. Işık kaynağının hemen üstünde ve mikroskop tablasının altında, ışığın geliş yönüne dik olarak ve tek yönde titreşmesini sağlayan, yani gelen ışığı polarize eden bir **polarizör** ve objektifin üstünde ise, titreşim yönü gelen ışığın titreşim yönüne dik olan bir **analizör** bulunmasıdır. Diğer bir deyişle, ışığın yayılma doğrultusuna dik bir doğrultuda ışık dalgalarını kutuplayan kısma polarizör (kutuplayıcı), kendisine gelen dalgaların kontrolüne yarayan ve yapı olarak polarizörün aynısı olan kısma ise analizör (çözümleyici) denir. Polarizör ve analizör polaroid filtreler olabildiği gibi, kalsit kristallerin belirli bir yönde kesilmiş ve yapıştırılmış levhaları, yani nikol prizması da olabilir (Erkan, 2001).

Kayaç oluşturan minerallerin ve dolayısıyla kayaçların mikroskop altında incelenmelerinde, alttan aydınlatma özelliği olan normal polarizan mikroskoplar kullanılır. Standart bir polarizan mikroskopta alttan üste doğru şu parçalar bulunur (Şekil 3.2) (Baş ve Kansun, 1992):

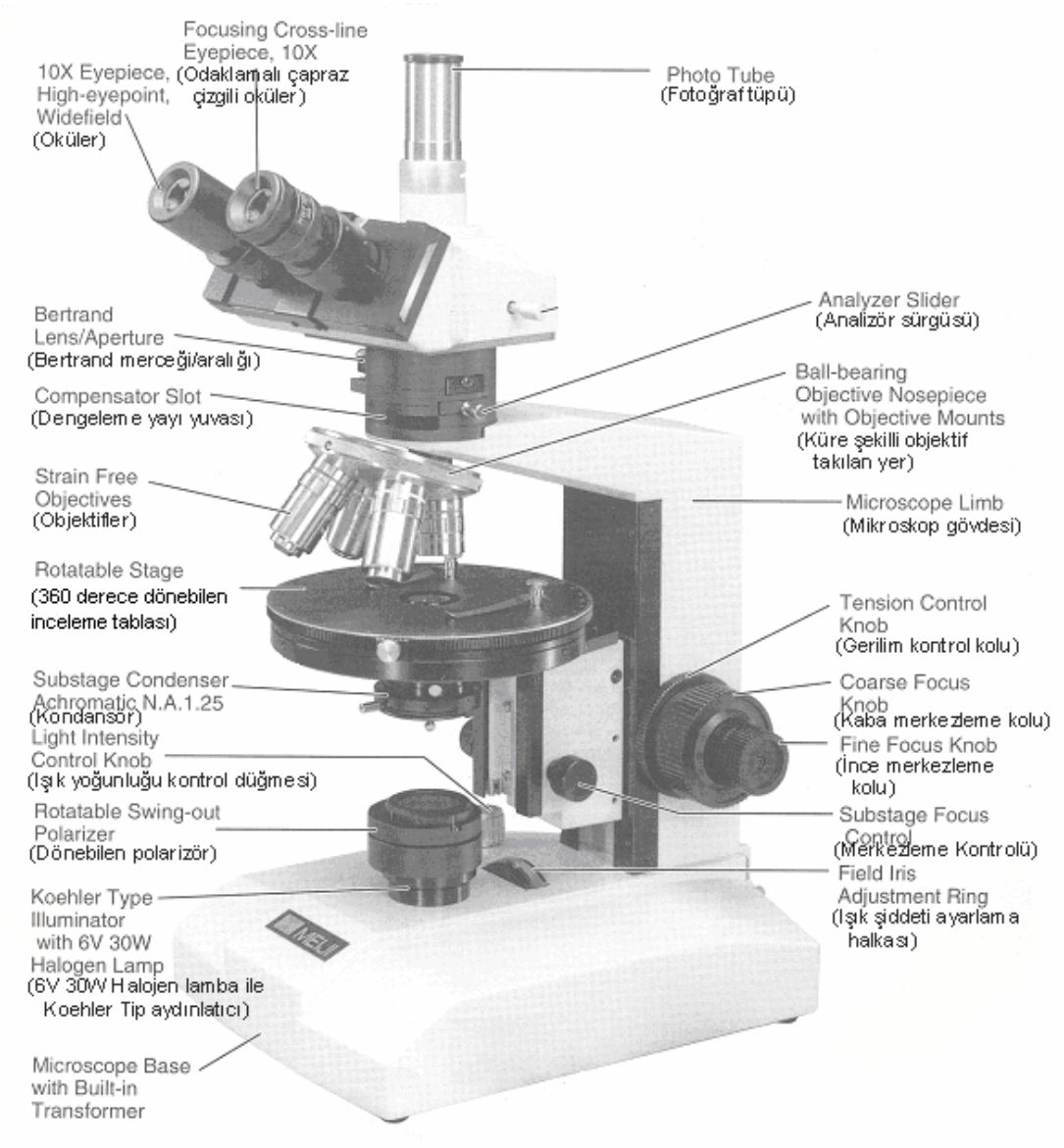
1- Işık kaynağı: Mikroskopta incelenecek cismin görüntüsünü almada aydınlatma işlemini görür. Mikroskopların büyüklüğüne göre farklı voltajlarda olabilirler (6V, 6W; 6V 20 W gibi). Mikroskop gövdesinin en alt kısmında bulunur.
2- Ayna: Işık kaynağından gelen ışığı yukarı doğru yansıtmaya yarar.
3- Alt kondansatör: Alttan gelen ışığı toplayarak yukarı gönderir.
4- Diyafram: Gelen ışığın çapını büyültür ya da küçültür.
5- Polarizör: Işık kaynağından gelen ışığı polarize ışığa dönüştürür.
6- Mikroskop tablası: Mikroskop ekseni etrafından 360° dönebilen, kenarları açı bölmeli inceleme tablasıdır.
7- Objektif: İnceleme tablası üzerindeki cisme ait görüntüyü büyüterek yukarı kısma gönderir. Mikroskoplarda farklı büyütmeye sahip birden çok objektif bulunur.

8- Analizör: Polarizörden yani incelenen cisimden gelen ışınların analizini yapar.

9- Bertrand Merceği: Optik işaret tayini yapılırken kullanılır. Büyültücü bir mercektir.

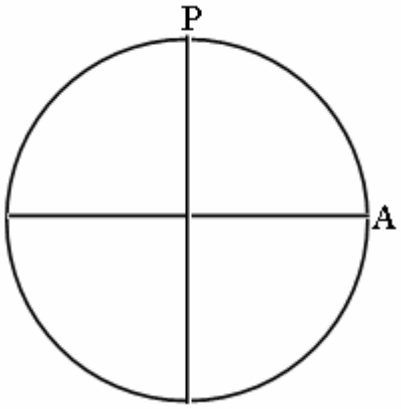
10- Yansıtıcı ayna: Alttan gelen görüntüyü yukarı doğru okülere yansıtır.

11- Oküler: Alttan gelen görüntüyü büyülterek göze verir.




Şekil 3.2. Standart bir polarizan mikroskobun parçaları

Oküler üzerinde birbirine dik iki çizgi bulunur. Bunlar polarizör ve analizörün titreşim istikametlerini gösterir. Polarizörün titreşim istikameti genellikle Kuzey-Güney, analizörün titreşim istikameti ise genellikle Doğu-Batı'dır (Şekil 3.3). Bütün mikroskoplarda polarizörün titreşim istikameti sabittir. Bazı mikroskoplarda analizörün titreşim istikameti istenilen yere döndürülebilir.




Şekil 3.3. Oküler üzerinde polarizör ve analizörün titreşim istikametlerini gösteren birbirine dik çizgiler

# 4. MİNERALLER ve MİNERAL İNCELEME

Üzerinde yaşadığımız yer küre, hayvan, bitki ve insanlardan oluşan canlıların yanı sıra minerallerin oluşturduğu taş ve madenler ile birlikte bir bütün halindedir (Kurt ve Arık, 2003). Doğal olarak tabiatta oluşan, belli bir kimyasal bileşimi ve formülü, kendine özgü fiziksel özellikleri ve atomik yapısı olan maddeye **mineral** denir (Baş, 1992). Mineraller tek başlarına ya da diğer minerallerle birleşerek kayaçları oluştururlar ve bazı yerlerde toplanarak maden yatağı meydana getirirler (Genç, 1987). Bir veya daha fazla çeşitteki mineralin bir arada bulunmasıyla oluşmuş katı kütlelere de **kayaç** denir. Kayaç içerisinde minerallerden başka fosil, kömür gibi maddeler de bulunabilir. Mineralleri ve özelliklerini inceleyen bilim dalı **Mineraloji**, kayaçlarla ilgilenen bilim dalı ise **Petrografidir**. Petrografi kayaçları tanımlamakta ve adlandırmaktadır. Ancak bunun için de öncelikle bu kayaçları oluşturan minerallerin tanınması; türlerinin ve miktarlarının saptanması; renk, yapı, doku gibi değişik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle kayaçların isimlendirilmesi için önce mineral tanıma gerekmektedir. Kayaçlarının büyük taneli olanlarının hangi minerallerden oluştukları çıplak gözle incelenerek, kayaç adlandırılabilir. Ancak bu şekilde yapılan bir isimlendirme yeterli olmayabilir ve hatta hatalı olabilmektedir. Tüm kayaçların mineral bileşimlerinin doğru bir şekilde yapılması, ancak polarizan mikroskop altında ve ince kesitte minerallerin özelliklerinin tam olarak incelenmesi ile mümkün olabilir (Erkan, 2001).

## 4.1. İnce Kesit ve Yapımı

Kayaçları oluşturan mineraller çoğunlukla çıplak gözle tanınamayacak kadar küçük boyuttadır. Kayaç içindeki minerallerin tanınması için, kayaçtan **ince kesit** yapılarak, bunun polarizan mikroskop altında incelenmesi gerekmektedir (Erkan, 2001).

İnce kesit yapmak için öncelikle, kayaç elmas uçlu bir disk ile yaklaşık 0,5 – 1 cm kalınlığa sahip kare veya dikdörtgen şeklinde kesilir (Şekil 4.1a ve 4.1b). Kesilen parça dönen bir metal disk üzerinde aşındırılır ve düzeltilir. Daha sonra cam üzerine dökülen ince parlatma tozu ile parça parlatması yapılır (Şekil 4.1c). Parça temizlendikten ve kurutulduktan sonra, aşındırılmış yüzey, daha önceden hazırlanan "lam" adı verilen bir cam üzerine, Kanada Balzamı türünde bir yapıştırıcı ile yapıştırılır (Şekil 4.1d). Lam üzerindeki parça önce ince kesit kesme makinesinde kalınlığı yaklaşık 0,5 – 1 mm' ye ulaşıncaya kadar kesilir. Daha sonra üstte kalan kısım, yine aşındırma tozu ile birlikte, metal disk üzerinde aşındırılarak, ince kesit ~ 0,03 mm'ye kadar inceltilir. Üst kısmın da parlatma işleminden sonra ince kesit, üst kısımdan da yine Kanada Balzamı türünde bir yapıştırıcı ile ince bir cam olan "lamel" ile yapıştırılır (Şekil 4.1e). Böylece kayaca ait ince kesit hazırlanmış olur. Artık ince kesite mikroskop altında bakılarak (Şekil 4.1f), minerallere ait görüntüler incelenebilecek hale gelmiştir (Şekil 4.1g) (Baş ve Kansun, 1992).

İnce kesiti yapılan bir mineral veya bir kayaç artık mikroskop altında incelenebilir hale gelmiştir. İnce kesiti yapılan bir kayacın özelliklerini belirleyebilmek için, her şeyden önce bu kayaç içerisindeki minerallerin neler olduğunun ortaya konması gerekir.

Polarizan mikroskop altında mineraller çeşitli özellikleri ile tanımlanır. Bu özelliklere **Optik Özellikler** denir. Minerallerin optik özellikleri mikroskop altında **Tek Nikol** ve **Çift Nikol** olarak yapılan incelemelerle belirlenir (Tablo 4.1). Mikroskopta analizör mekanik bir kol yardımıyla devreye sokulabilir ya da devreden çıkarılabilir. Analizör devreden çıkarılarak **tek nikol altında inceleme**, analizör devrede iken **çift nikol arasında inceleme** yapılmaktadır. Minerallerin tanımlanmasında hem tek, hem de çift nikolde incelemeler beraber yapılmalıdır (Baş ve Kansun, 1992).




Şekil 4.1. İnce kesit yapımı

a) Kayacın diskle kesilmesi b) Kesilen kayacın düzgün kare şekline getirilmesi c) Metal disk ile pürüzsüzleştirme ve parlatma d) Lam üzerine yapıştırma e) Üzerine lamel yapıştırma f) İnce kesite mikroskop altında bakılması

g) Minerallere ait görüntü

Tablo 4.1. Polarizan mikroskopta görülen mineral özellikleri

| | | **Tek Nikol** | **Çift Nikol** |
|---|---|---|---|
| **OPTİK ÖZELLİKLER** | **ORTOSKOPİK İNCELEMELER** | Şekil | Şekil |
| | | Biçim | Biçim |
| | | Renk | Çift kırma |
| | | Pleokroizma | Uzanım işareti |
| | | Beke çizgisi ve kırma indisi | İzotrop – Anizotrop |
| | | Röliyef (optik engebe) | Röliyef (optik engebe) |
| | | Dilinim | Dilinim |
| | | Dilinim açısı | Dilinim açısı |
| | | Çatlaklanma | Çatlaklanma |
| | | Kapanım | Kapanım |
| | | Bozunma(alterasyon) | Bozunma(alterasyon) |
| | | | Sönme |
| | | | Sönme açısı |
| | | | İkizlenme |
| | | | Zonlanma |
| | | | Dispersiyon |
| | **KONOSKOPİK İNCELEMELER** | | Optik şekil ve optik işaret |

**Renk**, polarizan mikroskopta minerallerin tek nikolde gösterdikleri renktir. Bir mineralin mikroskoptaki rengi; beyaz ışığın bir mineralden geçerken absorbsiyona (emilmeye) uğrama derecesi ile ilgili bir olaydır. Mineral beyaz ışığın tamamını aynı derecede absorbe ederse, o mineral renksiz (beyaz) görülür. Buna karşılık, beyaz ışığın bir kısmı diğerlerinden daha fazla emilirse mineral renkli (yeşil, kahve, mavi gibi) görülür. Mikroskop altında, bazı minerallerin renkleri aşağıda verilmiştir (Tablo 4.2).

Minerallerin çift nikol atında gösterdikleri renk, **çift kırma** rengi olarak adlandırılır. Bir mineralin "çift kırma değeri ve çift kırma (girişim / polarizasyon) rengi" **Michel Levy Renk Tablosu (Michel Levy Color Chart)** ile belirlenir (Şekil 4.2).

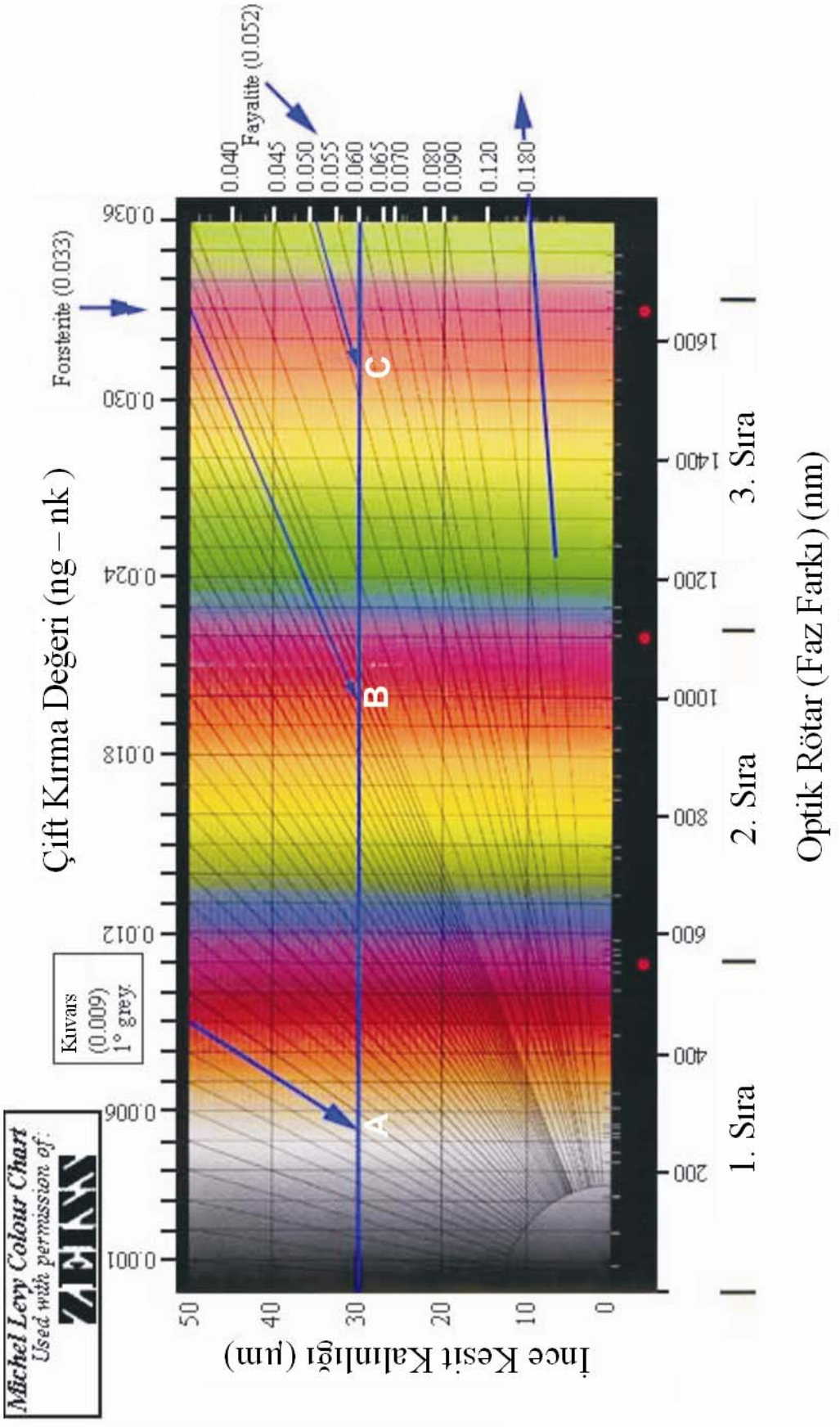
Tablo 4.2. Bazı minerallerin tek nikolde gösterdikleri renkler

| Mineral | Renk |
|---|---|
| Kuvars | Beyaz (renksiz) |
| Muskovit | Yeşil, pembe, mavi |
| Biyotit | Yeşil, kahverengi |
| Klorit | Yeşil, kırmızı, pembe |
| Opak | Siyah |

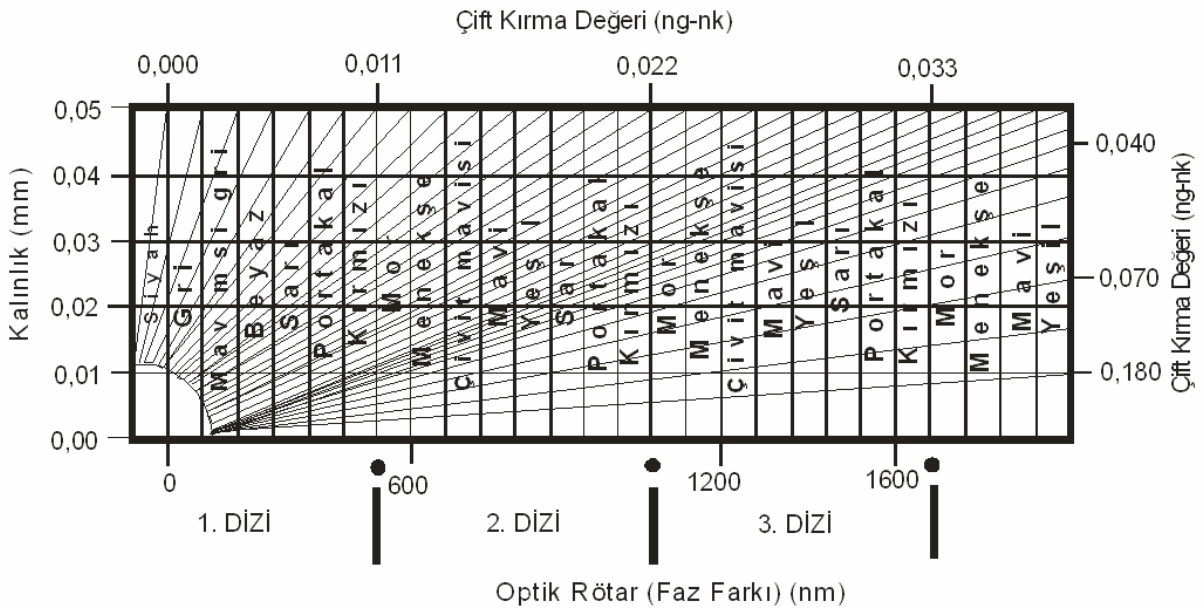
Michel Levy Renk Tablosu'nda; sol düşey sütunda "İnce Kesit Kalınlığı", üst yatay ve sağ düşey sütunda "Çift Kırma Değeri", alt yatay sütunda ise "Optik Rötar (Faz Farkı)" değerleri yer alır. Her bir çift kırma değeri yanında, bu değere karşılık gelen mineraller yer alır.

Renk tablosu içerisinde ise; minerallerin, mikroskopta çapraz nikoller altında gösterdikleri çift kırma renkleri izlenir. Bu renkler siyahla başlar. Daha sonra gri - mavimsi gri - beyaz - sarı - portakal - kırmızı - mor/eflatun - menekşe - çivit mavisi/çivit (indigo) – gök mavisi şeklinde devam eder (Şekil 4.2 ve 4.3).

Renk tablosunda her bir kırmızı nokta arası 1 periyodu ifade eder. Yukarıda belirtildiği gibi, her bir nokta atlayışında renkler tekrarlanır ve gittikçe soluklaşır (Baş ve Kansun, 1992).




Şekil 4.2 Michel Levy renk tablosu




Şekil 4.3 Basitleştirilmiş Michel Levy tablosu

# 5. DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

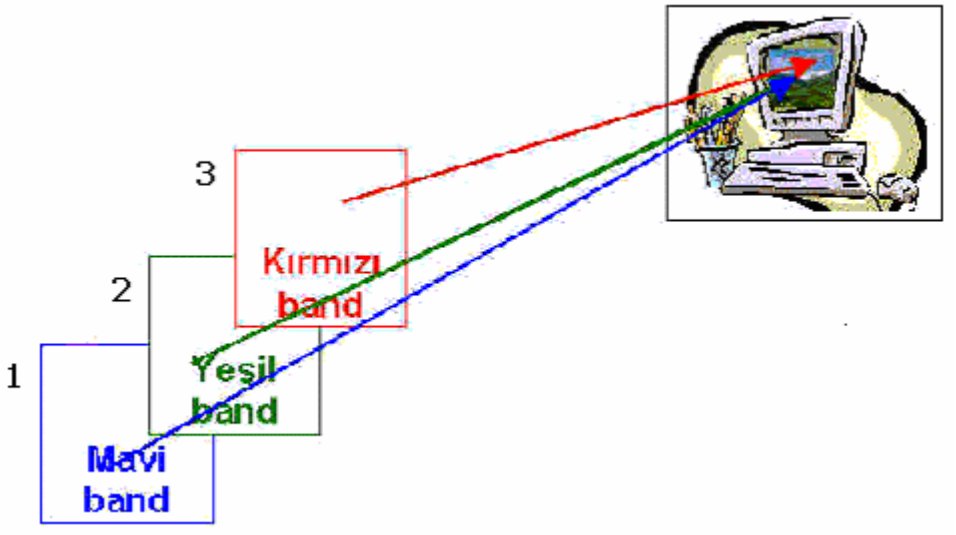
Görüntü işleme; dijital kameralar, video kameralar, tarayıcılar vb. cihazlardan elde edilen dijital görüntülerin bilgisayar ortamında veya Dijital Sinyal İşlemci'ler (DSP - Digital Sinyal Processor) ile işlenmesidir. Diğer bir deyişle, dijital görüntülerin bilgisayar yardımıyla incelenmesidir. Görüntü işleme teknikleri, bir görüntüden yeni bir görüntü elde etmek, asıl görüntünün netliğini ya da parlaklığını arttırmak, boyutlarını değiştirmek, renkli-gri-siyah beyaz dönüşümlerini gerçekleştirmek, döndürme işlemleri vb. için kullanılmaktadır.

Dijital görüntü işleme için görüntü elde etme cihazlarından elde edilen ilk görüntü ana resimdir ve bu resme **dijital görüntü** denir. Bir dijital görüntü iki boyutlu bir g matrisidir ve **piksel** adı verilen $g_{ij}$ elemanlarından oluşmaktadır. Burada dijital görüntünün boyutu (ixj)'dir. i, g matrisinin satır numarası ve j ise g matrisinin sütun numarasıdır (Gonzales and Woods, 1993; Baykan, 2001; Karabörk, 2002). Dijital görüntüdeki her bir (i,j) noktasındaki pikselin parlaklık değeri I(i,j) ile gösterilir.

Temel olarak 3 farklı görüntü formatı vardır. Bunlar:

1- Renkli Görüntü
2- Gri Seviye Görüntü
3- Siyah – Beyaz Görüntü (Binary Görüntü)

Renkli görüntüde her bir piksel değeri, temel olarak belirlenen 3 temel rengin birleşiminden oluşan bir değere sahiptir. Kırmızı (red), yeşil (green) ve mavi (blue) 3 temel renk olarak belirlenmiş ve RGB olarak gösterilmiştir (Şekil 5.1). Her bir renk bandı 8 bit ile gösterilebildiği için, toplamda her bir piksel 3 x 8 = 24 bit ile gösterilebilmektedir. Yani her bir piksel için kırmızı, yeşil ve mavi band değerleri bulunmaktadır (Şekil 5.2) (Umbaugh, 1999; Akhan, 2004).




Şekil 5.1 Renkli görüntü için mavi-yeşil-kırmızı bandlar



Şekil 5.2 Renkli görüntü

Gri seviye görüntüde, her bir piksel değeri 8 bit ile ifade edilmektedir. Bu nedenle her bir piksel değeri $2^8 = 256$ farklı değer alabileceği için, bir piksel değeri 0 – 255 arası bir değere sahiptir (Şekil 5.3, Şekil 5.4).




Şekil 5.3 0 – 255 arası gri değerler için renk skalası

Renkli görüntüyü gri seviye bir görüntüye dönüştürürken, bir pikselin her 3 renk bandındaki RGB değerleri bulunarak Denklem 5.1'e göre dönüşüm yapılır.

$$\text{Pikselin gri renk değeri} = \frac{R+G+B}{3} \tag{5.1}$$



Şekil 5.4 Gri seviye görüntü

En basit görüntü tipi binary (siyah – beyaz) görüntü tipidir. Siyah – beyaz resimde her bir piksel, sadece 1 bit ile ifade edilir. Böylece $2^1 = 2$ olduğundan her bir piksel "0" veya "1" değerini alabilmektedir (Şekil 5.5). "0" piksel değeri siyah rengi, "1" piksel değeri ise beyaz rengi göstermektedir. Siyah beyaz resimde, renkli resme göre renk bilgisi kaybolmaktadır. Buna karşın çeşitli görüntü analizi algoritmaları yardımıyla resim içerisinde yer alan objeler tespit edilip objelere ait tanımlayıcı bazı nitelikler elde edilebilmektedir.

Gri seviye bir görüntüden siyah-beyaz görüntü elde etmek için bir eşik değeri belirlenir. Piksel değeri Denklem 5.2'ye göre, bu eşik değerinden büyük ise "1", küçük ise "0" değerini alır. Böylece siyah-beyaz görüntü elde edilir.



Şekil 5.5 Siyah-beyaz görüntü

$$\text{Pikselin siyah-beyaz değeri} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer pikselin gri değeri} > \text{eşik değeri} \\ 0 & \text{Eğer pikselin gri değeri} < \text{eşik değeri} \end{cases} \quad (5.2)$$

Görüntü işleme adımları, temel olarak 4 tanedir:

1- Kullanılacak görüntünün elde edilmesi (acquisition)
2- Önişleme (preprocess)
3- Özellik çıkartımı ve veri azaltma (feature extraction and data reduction)
4- Nitelik analizi (feature analysis)

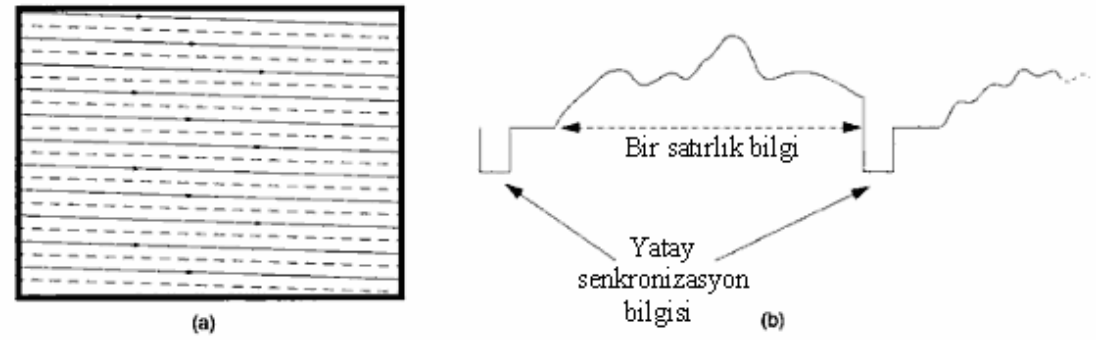
Görüntünün elde edilmesi kamera, tarayıcı, sensör ya da fotoğraf makinesi kullanılarak bir ortamdan görüntüyü elde etme işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Önişlem, görüntü üzerinde analiz yapmadan önce analizi kolaylaştıracak iyileştirmeler veya vurgulamaların yapılması için kullanılan işlemlerdir (Yılmaz, 2005). Önişlem, ayrıca resim hakkında bilgilerin toplanması ya da sonraki adımlarda kullanılmak üzere resim boyutunun azaltılması işlemleridir. Veri azaltma (data reduction) adımında ya işlemler için gerekli olan veriler alınıp, veri azaltma işlemi gerçekleştirilir ya da bilgiler frekans uzayına alınır ve analiz için görüntüye ait özellik çıkarımı (feature extraction) yapılır. Son adım olan nitelik analizi (feature analysis) kısmında ise, elde edilen özellik verileri incelenerek, sonuç değerlendirmeleri yapılır.

## 5.1. Kullanılacak Görüntünün Elde Edilmesi

Bilgisayarlı görme sistemleri donanım ve yazılım olmak üzere iki temel bileşenden meydana gelmektedir. Görüntü yakalama cihazı, bilgisayar ve görüntüleme cihazı; donanım bileşenini oluşturur. Yazılım ise görüntüyü istenilen amaca uygun hale getirmek için görüntü verileri üzerinde işlem yapmaya yarayan programlardır.

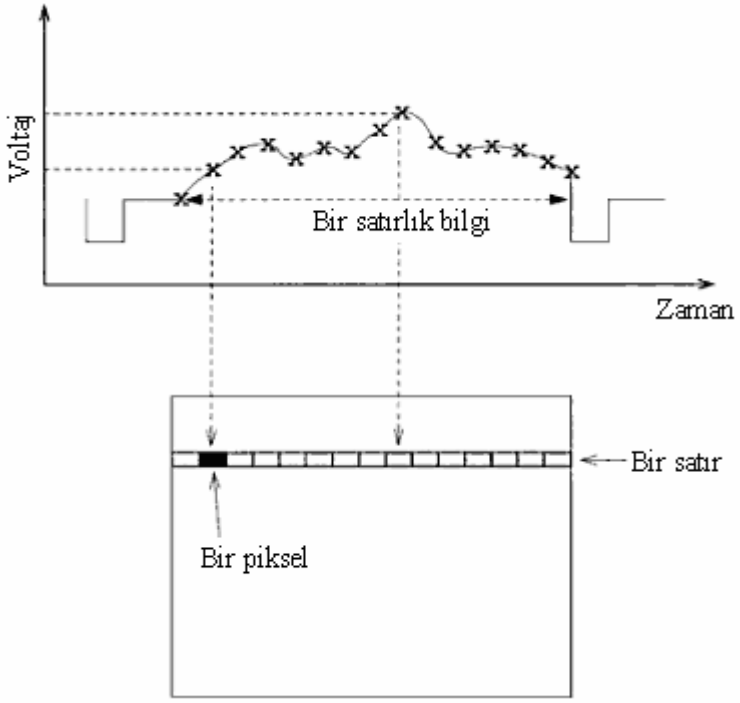
Nesnelere veya sahneye ait görüntüler standart video kamera, sayısal kamera, tarayıcı vb. cihazlar kullanılarak elde edilir. Objelerden yansıyan ve geçen ışığın

dalga boylarına göre kullanılan algılayıcının isimlendirilmesi farklılıklar göstermektedir (Infrared, X-ray, Lazer vb.). Bir dijital kamera USB (Universal serial bus), FireWare (IEEE 1394), kamera link veya Gigabit Ethernet (IEEE 802.3) aracılığıyla bilgisayara bağlanmakta ve dijital görüntüler bilgisayara aktarılmaktadır. FireWare iletim hızı olarak 400-800 Mbps, USB 2.0 480 Mbps hızlarını desteklemektedir. Mimarileri farklıdır ancak video görüntüsü aktarımının kayıpsız ve hızlı olması ve sürekliliği açısından FireWare kullanılması önerilmektedir. Analog kameralar frame grabber kartları yardımıyla bilgisayarlara bağlanmaktadırlar. Frame grabber kartları standart analog video giriş sinyallerini bilgisayarın anlayabileceği dijital resim formatına dönüştürmektedirler. Video standardı olarak dünyanın farklı bölgelerinde NTSC, PAL, SECAM standartları kullanılmaktadır. Standart video sinyalinin dijital görüntüye dönüştürülmesi işlemi **sayısallaştırma** olarak adlandırılmakta ve sürekli sinyalin örneklenmiş formu bilgisayarlarda kullanmaktadır. Standart video sinyali framelerden meydana gelmektedir. Her bir frame alanlara bölünebilmekte ve her bir alan video bilgisi taşıyan satırlardan oluşmaktadır. Şekil 5.6a'da düz çizgiler birinci alan bilgisini, kesikli çizgiler ise ikinci alan bilgisini göstermektedir. İki alan bir frame'i oluşturmaktadır. Bu yapı interlaced video olarak isimlendirilir. Şekil 5.6b'de ise bir çizgideki bilgiye uygun elektriksel sinyaller görülmektedir. Bu sinyal analog (sürekli) bir sinyaldir ve örneklenerek sayısal sinyal şekline dönüştürülmektedir. Dönüştürme işleminde Nyquist kriterine uygun olarak örnekleme frekansı tespit edilmektedir (Umbaugh, 1999)




Şekil 5.6 Dijital görüntü bileşenleri
(a) 2 alandan oluşan bir frame (b) video sinyali

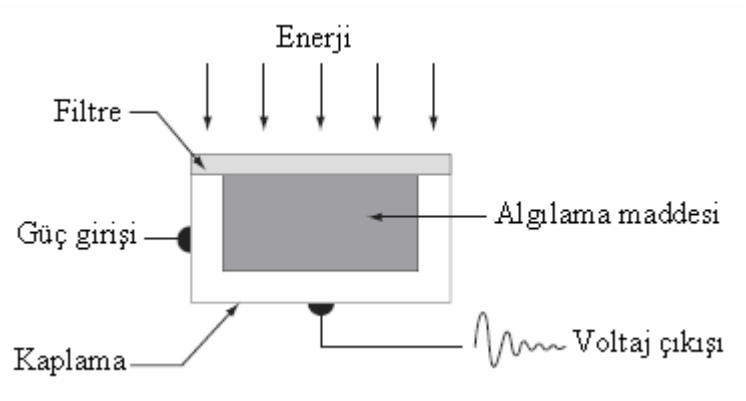
Her bir örneklemdeki voltaj değeri bu noktada görüntünün parlaklık değerine uygun olarak bir dijital değere dönüştürülmekte ve depolanmaktadır. Bu sayı resimdeki piksellerin değerlerini belirlemekte kullanılmaktadır. Bu işlem tüm frame boyunca tekrar edilir ve işlem sonucunda frame dijital hale getirilmiş olur (Şekil 5.7) (Umbaugh, 1999).




Şekil 5.7 Analog video sinyalinin örneklenmesi

Objelerden yansıyan veya geçen ışınlar, görüntüleme cihazlarında kullanılan sensörlerin yüzeyine gelmektedir. Sensörler gelen ışığın miktarına bağlı olarak çıkışlarında bir voltaj değeri üretmektedirler. Sensörler; noktasal, çizgi, alan, dairesel vb. şekillerde üretilebilmektedirler (Şekil 5.8). Tarayıcılarda çizgi sensörleri; dijital kameralarda CCD alan sensörleri kullanılmaktadır. Çizgi sensörleri bir hat boyunca sabit hızda ilerleyerek her adımda objeden yansıyan ışığı değerlendirmektedir. Alan sensörleri ise bir defada sahneye ait görüntüyü elde edebilmektedir. Alan sensöründe 4000x4000 ve daha fazla sensör hücresi yer alabilmektedir. Sensörlerin ürettiği analog voltaj bilgileri örneklenerek dijital değerler elde edilmektedir. Bu değerler piksel değerlerini ifade etmekte kullanılmaktadır (Gonzales and Woods, 1993).

Dijital kameralarda CCD (Charge Couple Devices) ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) olmak üzere iki tip görüntü sensörü kullanılmaktadır. CMOS sensörler CCD sensörlere göre daha ucuz olup enerji tüketimi daha azdır. Gürültüye karşı daha hassastır. CCD sensörler ile daha kaliteli görüntüler elde edilebilir. Profesyonel uygulamalarda genellikle CCD sensöre sahip kameralar tercih edilir (Gonzales and Woods, 1993).




Şekil 5.8 Örnek bir sensör hücresi

Dijital görüntülerin oluşturuldukları programdan bağımsız olarak bilgisayar ortamında işlenmesi ve daha sonra kullanılabilmesi için, kaydedilmesi gerekmektedir. Dijital görüntüler farklı formatlarda kaydedilebilirler:

1- Pict: Bütün programların ortak kullandığı dosya formatıdır.
2- Tiff: Bilgisayarlar arası ortak bir dosya formatıdır. Tüm programlar tarafından desteklenir. Bu formatta kayıtlı dosyalar, herhangi bir uygulama programının sayfa içine alındığında görüntü ve zeminin renk değerlerini azaltma ve değiştirme olanağı verir. Sıkıştırılmamış dosya formatıdır.
3- Gif (Graphics Interchange Format): İnternet üzerinde oldukça yaygın kullanılan bir formattır. Az sayıda renk içeren (1 ila 8 bitlik) dokümanlarda oldukça iyi sıkıştırma sağlar, animasyonlarda zamanlama ve farklı boyutlardaki resimleri bir arada tutar.

4- Png (Portable Network Graphics): Kayıpsız wave table sıkıştırma yöntemini kullanır. Gerçek renk ve saydamlık bilgilerini içeren resim kalitesini internete taşımayı amaçlamaktadır.
5- Jpg: Resim işleme programlarının yüksek boyutlu dosyalarını sıkıştırarak disk üzerinde kayıt edebilmesine imkân veren bir formattır. Jpeg veya Jpg formatının özelliği gerçek renk değerlerini içermesidir. Bu nedenle fotoğrafik (çizgisel/grafiksel olmayan) görüntüler için kullanılmalıdır.
6- Bmp: Windows ve Microsoft'un geliştirdiği bir formattır. Windows ile birlikte gelen Paint programı görüntüleri bu formatta işler. Bmp formatı 1–24 bit arasında değişen bir piksel derinliğini içerebilir. Tiff gibi sıkıştırılmamış dosya formatıdır (Pakhira, 2008).

## 5.2. Önişleme

Önişlem aşamasında resim üzerindeki gereksiz bilgiyi; yani gürültüyü, tekrar eden verileri veya sınıflandırmada faydasız verileri ortadan kaldırma işlemleri yapılmaktadır. Görüntüdeki gürültülerin etkisinin yok edilmesine yumuşatma (smoothing) da denilmektedir. Bunun için **dijital filtreler** kullanılır. Filtre uygulaması ile görüntüdeki yüksek ya da düşük frekanslar bastırılıp, kenarlar belirginleştirilir. Gürültü yok etmede kullanılan filtreler:

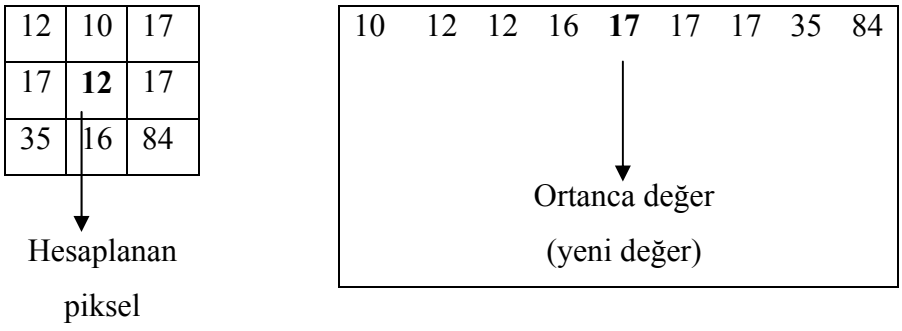
1- Alçak geçiren filtre (lowpass filter): Yüksek frekanstaki değerleri yok etmekte ve alçak frekanstaki değerleri değiştirmeden bırakmaktadır. Bu filtrenin uygulanmasından sonra, sonuç görüntüde tam bir yumuşatma elde edilmektedir.
2- Yüksek geçiren filtre (highpass filter): Yüksek frekanstaki değerleri koruduğu için, bu filtre uygulamasının sonucunda kenar noktaları keskinleştirilmektedir. Bu sayede görüntünün kontrastı arttırılabilmektedir.

3- Gauss filtresi: Genellikle görüntü analizlerinde kullanılmaktadır. Çünkü kabul edilebilecek yumuşatma derecelerini seçmek için sistem tasarımcılarına imkân tanımaktadır.
4- Blur filtresi: Uygulandığında resme bulanıklaştırma yapılmış olur
5- Ortalama filtresi (mean filter): *m x m* boyutlu bir alandaki piksel değerlerinin ortalaması alınarak ortada bulunan pikselin yeni değeri hesaplanır. Bu işlem için Şekil 5.9'teki maske kullanılır.

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ |
| $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ |
| $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{9}$ |

Şekil 5.9 Ortalama filtre maskesi

6- Ortanca filtresi (median filter): Bir pikselin yeni değerini belirlemek için, ilgili pikselin mxm komşuluğundaki pikselleri kullanır. Komşuluk içindeki pikseller önce küçükten büyüğe ya da büyükten küçüğe doğru sıralanır, ortada kalan değer ilgili pikselin yeni değeri olarak atanır (Şekil 5.10) (Umbaugh, 1999; Akhan, 2004).




Şekil 5.10 Ortanca filtre uygulaması

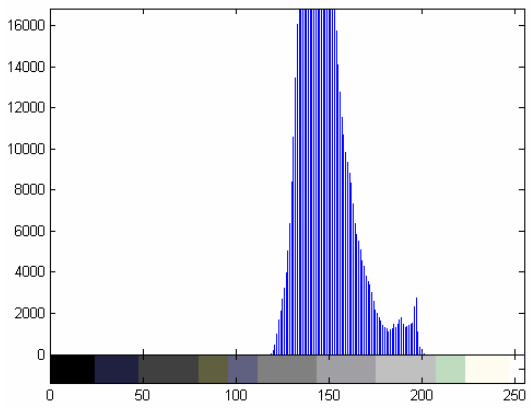
Gri seviye bir resimde her bir gri seviyede ya da renkli resimde her bir renk bandında kaç adet piksel olduğunu gösteren grafiğe **histogram** denir. Histogram, görüntüdeki verilerin dağılımını veya kullanım sıklığını ya da frekansını gösteren bir tablodur. Bir görüntüde, piksel değerlerinin yoğunluk fonksiyonunun 0–255 değerleri arasında düzgün dağılması beklenir. Yani gri değerlerin olasılıklarının eşit olması istenir (Altan, 2004). Ancak bazen değerler birbirine çok yakın ya da çok uzak olabilecek şekilde dağılım düzgün olmamaktadır. Bu nedenle görüntüdeki piksellerin değerleri, çıkışta düzgün dağılım olacak şekilde **histogram eşitleme** yapılır (Şekil 5.11). Histogram eşitlemeye ait algoritma adımları Şekil 5.12'de verilmiştir.



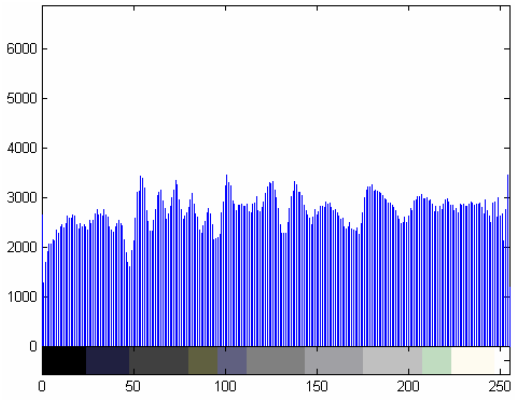
(a1)Histogram eşitlenmemiş orijinal resim



(b1) Histogram eşitleme yapılmış resim




(a2) Orijinal resme ait histogram




(b2) Histogram eşitlenmiş resme ait histogram

Şekil 5.11 Histogram eşitleme

**İşlem:** Dijital görüntüde histogram eşitleme uygulaması

**Girişler:** A orijinal görüntü, L gri seviye sayısı, N toplam piksel sayısı, $n_i$ (i=1….L) her bir gri seviyedeki piksel sayısı

**Çıkış:** B histogram eşitlenmiş görüntü

**Algoritma:**

**1)** A görüntüsünde, her bir L gri seviyedeki $n_i$ toplam piksel sayısı bulunur.

**2)** L gri seviyelerindeki $n_i$ piksel sayıları, N sayısına bölünerek normalize yapılır.

**3)** Elde edilen sayılar, maksimum gri seviye değeri ile çarpılıp, en yakın tam sayıya yuvarlanır.

**4)** B yeni görüntüsüne ait yeni histogram elde edilir.

Şekil 5.12 Histogram eşitleme adımları

### 5.3. Özellik Çıkartımı ve Veri Azaltma

Dijital görüntülerden özellik çıkartımı; dijital resme, resmin içindeki objelere veya resmin bir bölgesine ait tanımlayıcı özelliklerin elde edilmesi işlemidir. İstatistiksel yöntemler, histogram ve projeksiyon, segmentasyon, doku analizi, sezgisel yöntemler vb. dijital görüntülerden özellik çıkartımı için kullanılan teknikler arasında yer almaktadır (Gonzales and Woods, 1993; Umbaugh, 1999 ).

Histogram özellikleri, istatistik tabanlı özelliklerdir. Histogramdan bir resme ait ortalama gri seviye değeri, gri seviyelerin dağılımını gösteren enerji değeri, kontrast hakkında bilgiler sağlayan standart sapma değeri elde edilebilir (Denklem 5.3, 5.4, 5.5) (Umbaugh, 1999).

$$\text{Ortalama gri değer} = \bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \tag{5.3}$$

$$\text{Varyans = standart sapma} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \tag{5.4}$$

$$\text{Enerji} = \sum_{i=0}^{L-1}\left[\frac{x_i}{N}\right]^2 \tag{5.5}$$

Burada; N görüntüdeki toplam piksel sayısı, x piksel değeri ve L gri seviye sayısıdır.

**Projeksiyonlar** genellikle siyah beyaz resim üzerine uygulanır. Belirlenen doğrultudaki beyaz piksellerin sayısının bulunmasında kullanılır. Doğrultu olarak genellikle yatay ve düşey eksenler seçilir. İstenilirse küçük açı değişimleri ile projeksiyonlar oluşturulabilir (Yılmaz, 2005).

**Moment** istatistiksel tabanlı bir özelliktir. Resimdeki objelerin ağırlık merkezi, yönelimi ile ilgili bilgilerin elde edilmesinde de kullanılır. Düşük seviyeli momentler (geometrik moment) ve yüksek seviyeli momentler (Zernike, Pseodo-Zernike) olarak iki grupta incelenebilir. Momentten faydalanılarak objenin ağırlık merkezi Denklem 5.6 kullanılarak bulunabilir.

$$M_u(m,n) = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_k^m y_j^n F(j,k) \qquad (5.6)$$

Burada; $M_u$, F(j,k) dijital görüntüsünün (m,n)'nci dereceden uzaysal momentidir. Bu denklemde; $x_k, y_j$ ölçeklenmiş koordinatlar iken, $x_k$ ve $y_j$ Denklem 5.7'ye göre bulunur.

$$x_k = K - \frac{1}{2} \qquad y_j = J + \frac{1}{2} - j \qquad (5.7)$$

Bu kullanım momentleri ölçekten bağımsız kılmaktadır. Bu duruma göre (m,n)'nci dereceden ölçeklendirilmiş moment Denklem 5.8'e göre bulunur.

$$M_u(m,n) = \frac{1}{J^n K^m}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} x_k^m y_j^n F(j,k) \qquad (5.8)$$

Buradan ağırlık merkezi momentler kullanılarak Denklem 5.9'a göre hesaplanır (Sağıroğlu ve ark., 2003).

$$x_k = \frac{M(1,0)}{M(0,0)} \qquad y_k = \frac{M(0,1)}{M(0,0)} \qquad (5.9)$$

Dijital görüntülerde yer alan objelere ait niteliklerin tespit edilmesi için öncelikle objelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Dijital görüntülerde objelerin veya objelere ait anlamlı parçaların tespit edilmesi işlemi **segmentasyon** olarak adlandırılır. Segmentasyon algoritmaları, resimdeki renk, desen, parlaklık vb. değişimleri göz önüne almaktadır. Parlaklık değişimleri ikili eşikleme yöntemleriyle, renk değişimleri renk uzayları arasındaki dönüşümle, desen değişimleri frekans ekseni işlemleri ile tespit edilebilir (Umbaugh, 1999; Baykan, 2007). Segmentasyon bölge bazlı segmentasyon, kümeleme algoritmalarına dayanan segmentasyon ve kenar/çizgilerin birleştirmesine dayanan segmentasyon başlıklarında incelenebilir.

Bölge bazlı segmentasyon, bölge birleştirme veya bölge ayırma algoritmaları kullanılarak yapılabilir. Bölge birleştirme, benzerlik ölçütüne uygun olarak benzer özellikteki komşu piksellerin bir araya getirilmesine dayanır. Benzerlik ölçütü renk, gri seviye değeri olabilir. Bölge ayırma ise tanımlanmış bölgeleri kullanılan benzerlik ölçütüne göre daha küçük alt bölgelere ayırmaya dayanır (Sağıroğlu ve ark., 2003).

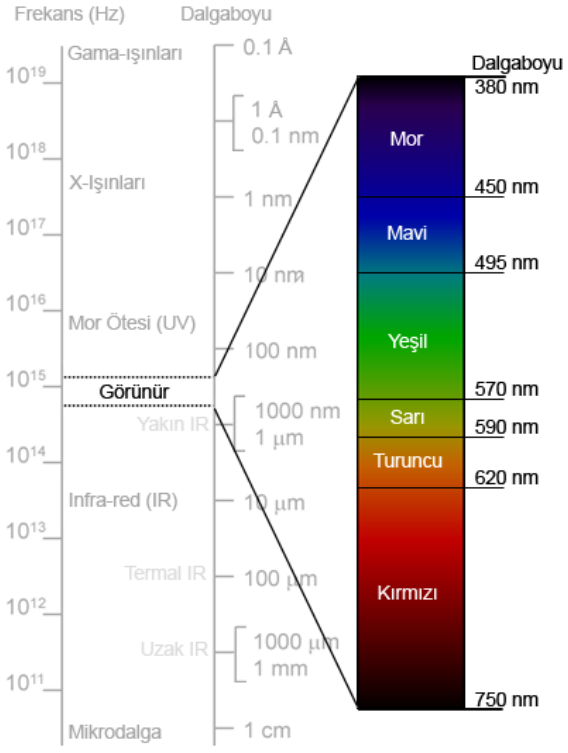
Kenar/çizgi tespiti, gri seviye resimlerde objeleri arka plandan ve birbirinden ayırmak, objelerin sınırlarını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bir resimde kenar/çizgi, kısa uzaysal mesafede büyük parlaklık değişimini ifade etmektedir. Kenar tespiti için kullanılan pek çok teknik, orijinal resim ile seçilen filtrenin konvülüsyonuna dayanmaktadır. Sadece kenar noktalarına ilişkin bilgi üreten Roberts; hem kenar noktalarına ilişkin bilgi hem de kenarın yönelimi ile ilgili bilgi üreten Sobel, Prewit; sabit bir maskenin, sekiz yön için, sekiz faklı durumunu resme uygulayan Kirsch, Robinson; ikinci türeve dayanan Laplacian vb. yöntemler kenar/sınır tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır (Umbaugh, 1999). Bu operatörler kullanılarak elde edilen kenarların uygun şekilde birleştirilmesi ile resimdeki objeler tespit edilebilir.

Dijital görüntüde tespit edilen objeler etiketlenir. Etiketlenen siyah beyaz resimden objeyi tanımlayıcı özellikler elde edilir. Objeye ait alan, alanın merkezi, moment bilgileri, çevre vb. özellikler objenin yeri ve büyüklüğü hakkında bilgi sağlarken, Eular sayısı, şekil faktörü, incelik oranı, projeksiyon gibi bilgiler objenin şeklini tanımlayıcı bazı özelliklerdir.

Doku bir nesnenin yapısını ve yüzeyini ifade eden bir özelliktir. Doku genel anlamda karşılıklı olarak ilişkilendirilmiş bir dizi piksel ile tanımlanır. Doku tanımanın temel amacı doku tanıma ve doku tabanlı şekil analizi ile görüntünün yorumlanmasıdır. Doku analizinde dokudan elde edilen enerji, entropi, en olasılıklı değer gibi özellikler sıklıkla kullanılmaktadır. Enerji gri seviyenin dağılımı, entropi görüntü verisini kodlamak için gerekli olan bit sayısı gibi bilgileri sağlamaktadır.

Işık, cisimler üzerine çarpar ve kısmen soğurulup kısmen yansır. Cisimden yansıyan ışıklar göze geldiğinde, cisim yansıyan ışığın dalga boyunda görülür. Buna cisme ait **renk** denir. Tüm dalga boyları birden aynı anda gözümüze yansırsa cisim beyaz, hiç ışık ulaşmazsa siyah olarak görülür (www.manyah.com) (Şekil 5.13).

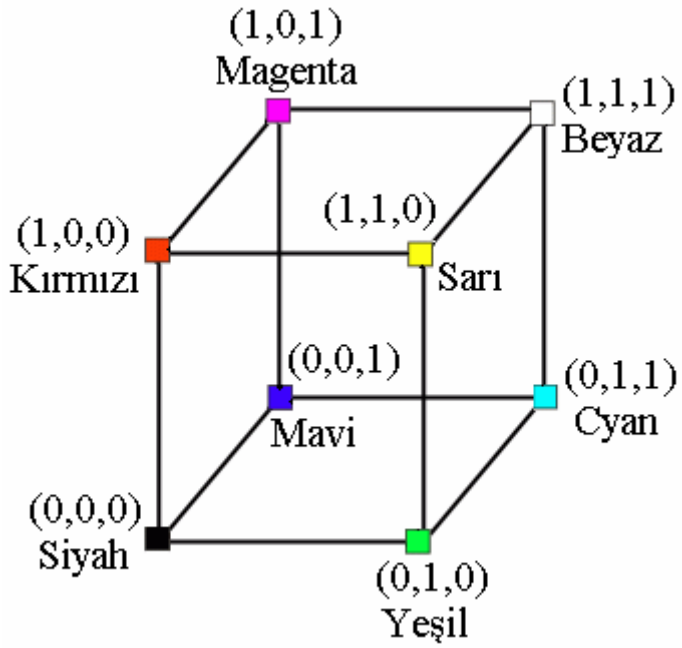
Dijital görüntülerin görüntü alma cihazlarından elde edilmesi esnasında birden çok renk uzayı kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan renk uzayları RGB, HSV ve $L^*a^*b^*$ renk uzaylarıdır. Genelde elde edilen görüntü RGB uzayındadır. Ancak her bir renk uzayının farklı kullanımı ve avantajı olduğu için birbirlerine dönüştürülebilirler. Görüntü hangi renk uzayında ise, görüntü bilgilerinde belirtilerek işlem yapılabilir.




Şekil 5.13 Elektromanyetik renk tayfı

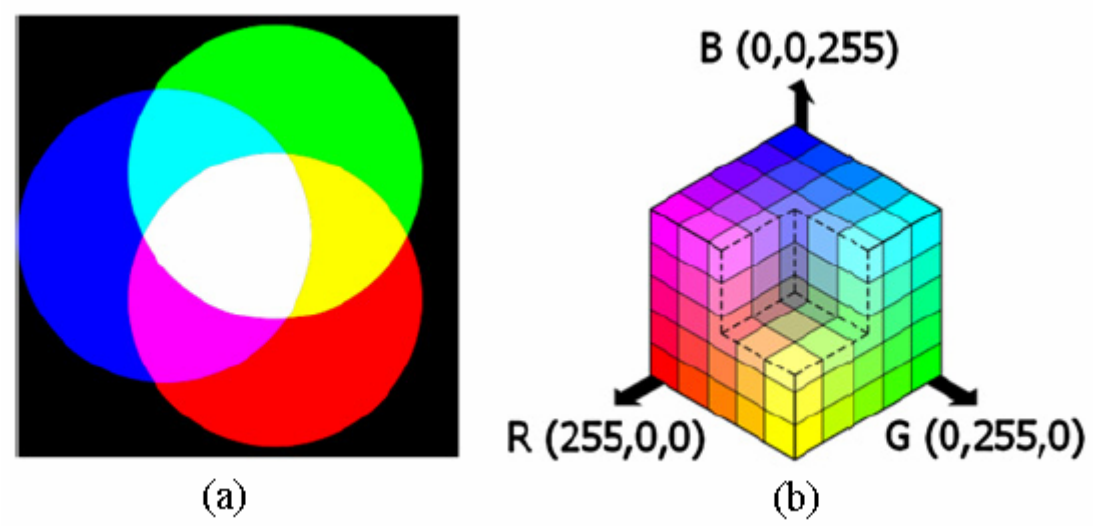
RGB renk uzayı 1953'te ilk fotoğraf makinesi Polaroid'te ve ondan sonra da televizyonlarda standart kabul edilmiştir. Günümüzde de tüplü ekranlarda, tarayıcılarda, televizyon ve manüel fotoğraf makinelerinde standart olarak kullanılır. İnternette de kullanılan renk sistemi RGB renk sistemidir. Ancak RGB çok yaygın olarak kullanılmasına rağmen, cihaza çok bağımlıdır. Cihazın değişmesi ile birlikte renk de değişir. Tarayıcı, monitör, yazıcı gibi aygıtlarla beraber kullanıma uygun değildir (Wikipedia, 2010).

RGB (Red-Green-Blue) renk uzayı kırmızı-yeşil-mavi olmak üzere 3 temel renk bileşeni ve bunların farklı yoğunlukta karıştırılmasıyla elde edilen renk değerleri ile ifade edilir. Her bir renk bileşeni 0–255 arasında bir değerle ifade edilir. RGB renk uzayı bir birim küp üzerine, renk değerleri [0,1] arasında olacak şekilde yerleştirildiğinde, her bir köşe bir rengi tanımlayacak şekilde tasarlanmıştır. RGB renk uzayında, doğadaki tüm renkler kırmızı-yeşil-mavi olmak üzere 3 temel renk referans alınarak elde edilir. Her renk %100 oranda karıştırılırsa beyaz renk, %0 oranında karıştırılırsa siyah renk elde edilir (Gonzales and Woods, 1993; Swenson and Dimond, 1998; Katırcıoğlu, 2007) (Şekil 5.14, Şekil 5.15).



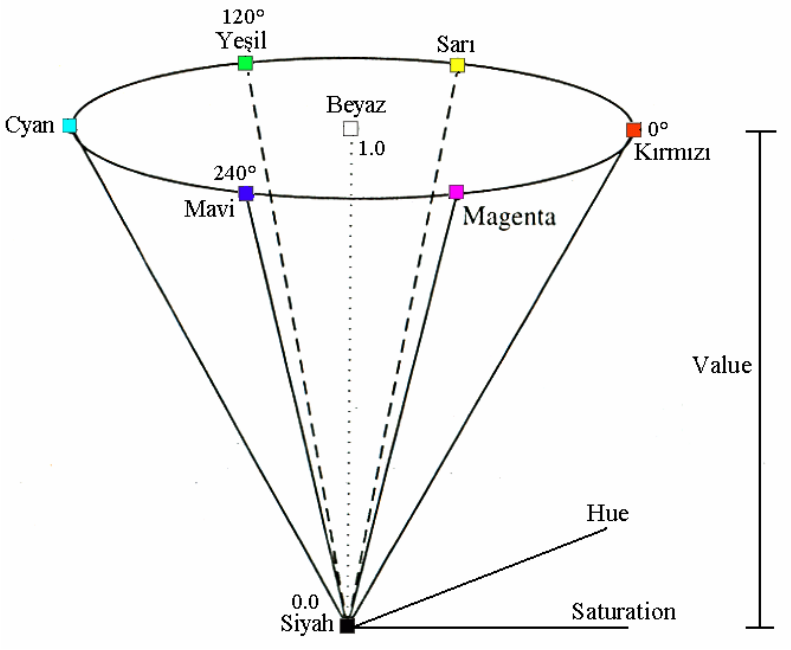

Şekil 5.14 RGB renk uzayı – 1

HSV renk uzayı 1978 yılında Alvy Ray Smith tarafından tanımlanmıştır. Amacı renk bilgisinden yoğunluk bilgisi elde ederek, değişen ışık etkilerini yok edebilen ve insan görmesine daha yakın bir yapı oluşturmaktır (Wikipedia, 2010). HSV renk uzayı günümüzde, çok yüksek kalitedeki bilgisayar grafiklerinde kullanılmaktadır. Çünkü grafikler için çok farklı renk seçenekleri sunabilmektedir. RGB gibi temel renklere bağlı olmadan insan algılama sistemine daha uygun renk değerleri verebilmektedir. HSV, RGB renk uzayından Denklem 5.10'e göre elde edilir (Chen and Wu, 2005; Yu and Chen, 2006).

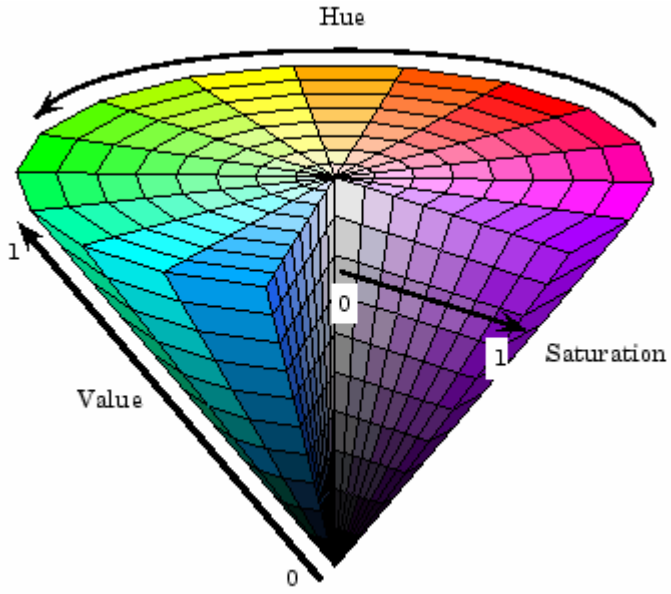



Şekil 5.15 RGB renk uzayı – 2
a) RGB renk uzayında renklerin karışımı
b) RGB renk küpünde renklerin yerleşmesi

HSV (Hue-Saturation-Value) renk uzayı renk tonu-doygunluk-değer olmak üzere 3 parametre ile ifade edilir. Bu renk uzayı da RGB gibi cihaz bağımlıdır. Konik bir biçime sahiptir (McAndrew, 2004, Matlab) (Şekil 5.16, Şekil 5.17). Renk tonu, baskın olan dalga boyunu ifade eder. 0 – 360 derece arası bir değerdir (www.topbits.com) (Tablo 5.1). Doygunluk, rengin canlılığını yani içerisindeki gri ton miktarını ifade eder. Yüksek doygunluk canlı renkleri, düşük doygunluk soluk yani gri ton miktarı yüksek renkleri ifade eder. Değer ise, rengin parlaklığını gösterir. Parlaklık değeri "0" ise renk siyah, "1" ise beyazdır. Matlab uygulamalarında her üç parametre değeri de 0 – 1 arasında değer almaktadır.




Şekil 5.16 HSV renk uzayı – 1




Şekil 5.17 HSV renk uzayı – 2

$$
\begin{aligned}
V &= m \\
S &= \begin{cases} \dfrac{(m-n)}{m} & , eger\ m \neq 0 \\ 0 & , \deg ilse \end{cases} \\
H &= \begin{cases} \tan imsiz & , eger\ \ S = 0 \\ \dfrac{60 \times G - B}{\delta} & , m = R \\ \dfrac{60 \times (B-R)}{\delta + 120} & , m = G \\ \dfrac{60 \times (R-G)}{\delta} + 240, & m = B \end{cases}
\end{aligned}
\tag{5.10}
$$

Burada;

$$
\begin{aligned}
m &= max(R,G,B) \\
n &= min(R,G,B) \\
\delta &= (m-n)
\end{aligned}
$$

Denklem 5.10 için, R, G, B değerleri [0, 255] arasındadır. H, [0, 360]; S, [0, 1] ve V, [0, 255] değerleri arasındadır.

Tablo 5.1 HSV için H değerleri

| Açı değeri | Renk Tonu |
|---|---|
| 0 – 60 | Kırmızı |
| 60 – 120 | Sarı |
| 120 – 180 | Yeşil |
| 180 – 240 | Cyan |
| 240 – 300 | Mavi |
| 300 – 360 | Magenta |

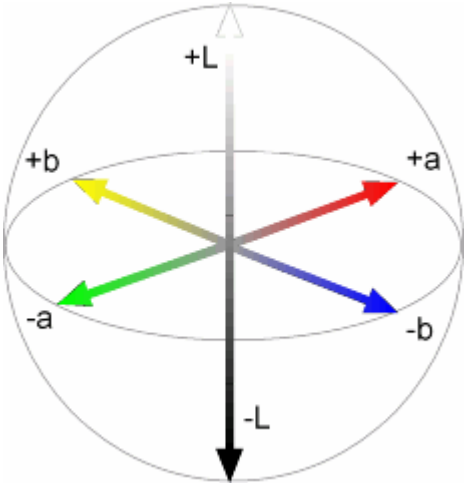
Bir resim üzerindeki herhangi bir renge ait sadece koyuluk değerini değiştirmek istediğimizde, ilgili renk, RGB renk küpünde hareket ettirilmelidir. Ancak daha koyu renk elde etmek için aynı anda birden çok renk kanalına ait değer değiştirilmek zorunda kalınabilir. Bu da ilk baştaki orijinal rengin değişmesine neden

olmaktadır. Ancak HSV renk kanalında sadece değer (value) değiştirildiğinde istenilen koyuluk derecesi ayarlanabilir. Renk tonu (hue) ve doygunluk (saturation) parametreleri değiştirilmediğinden, ilk baştaki orijinal renk bilgisi de sabit kalmış olur (Şekil 5.18).




Şekil 5.18 RGB – HSV karşılaştırması
(a) RGB = (64, 92, 161) HSV = (223, 60, 63)
(b) RGB = (85, 121, 212) HSV = (223, 60, 83)

$L^*a^*b^*$ renk uzayı, 1976 yılında Fransızca ismi Commission Internationale d'Eclairage (CIE) olan Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination) tarafından özellikle görsel medya için ortaya konulmuştur. CIE, aydınlatma işlemi için birçok standart belirlemiştir. En çok kullanılan aydınlatma standardı 6500 Kelvin değerine karşılık gelen D65 gün ışığı aydınlatmadır. Bu aydınlatma sisteminde insan görme sistemi aydınlatmanın kalitesine bağlı kalmadan renk tonunu ayırt edebilmektedir. Örneğin beyaz bir kâğıt, akşam ışığında bile beyaz olarak algılanabilmektedir. CIE, renk ölçümlerinde benzer sonuçlar elde etmek için; insan görme sistemine benzer, aydınlatmadan en az etkilenen birçok renk uzayı tanımlamıştır. Bunlar içinde en çok kullanılanın Lab renk uzayıdır (Şekil 5.19).




Şekil 5.19 $L^*a^*b^*$ renk uzayı

$L^*a^*b^*$ (Luminance-a-b) renk uzayında L, parlaklık değeridir ve (0, 100) arasındadır. Diğer iki parametreden a (yeşil – kırmızı) ton ve b ise (maviden – sarıya) doygunluktur. Bu iki değer (-120, 120) arasında değer alabilmektedir ve rengi oluştururlar. $L^*a^*b^*$ renk uzayı RGB ve HSV'den farklı olarak cihaz bağımlı değildir. Lab değerleri, aynı aydınlatma altında renkli ve beyaz nesneye göre hesaplanan CIE XYZ değerlerine göre, RGB renk uzayından Tablo 5.2'deki Denklem 5.11, 5.12 ve 5.13'e göre elde edilir (Swenson ve Dimond, 1998; Gann, 1999; Segnini ve ark., 1999; Yam ve Papadakis, 2004; Leon ve ark. 2006; Kang, 2006; Schanda, 2007). Matlab uygulamalarında bu üç değer de 0 – 255 arasında bir değer almaktadır.

$L^*a^*b^*$ renk uzayının en önemli özelliklerinden birisi, bileşenlerin herhangi birisindeki sabit değişim miktarının görüntü üzerinde aynı oranda değişime neden olmasıdır. L bileşenindeki sabit değişimler parlaklığı, a ve b bileşenlerindeki değişim rengi eşit şekilde etkiler. Eğer $L^*$ bileşeninde bir değişim varsa fakat $a^*$ ve $b^*$ bileşenlerinde değişim yok ise parlaklık değişmiş, renk sabit kalmıştır. Tersi durumda, eğer $a^*$ ve $b^*$ bileşenlerinde değişim varsa fakat $L^*$ bileşeninde değişim yok ise renk değişmiş, parlaklık sabit kalmıştır. Denklem 5.11, 5.12 ve 5.13 için RGB değerleri [0, 255] arasındadır. D65 aydınlatma altında $X_n$=95,047, $Y_n$=100 ve $Z_n$=108,883 olarak alınmaktadır (Green ve MacDonald, 2002).

Tablo 5.2 RGB'den $L^*a^*b^*$ renk uzayına dönüşüm

Adım 1: RGB değerlerinin normalizasyonu

$$R' = \frac{R}{255} \quad G' = \frac{G}{255} \quad B' = \frac{B}{255} \tag{5.11}$$

Adım 1: Matris çarpımı

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

$C_{11} = .412453 \quad C_{12} = .35758 \quad C_{13} = .180423$
$C_{21} = .212671 \quad C_{22} = .71516 \quad C_{23} = .072169$
$C_{31} = .019334 \quad C_{32} = .119193 \quad C_{33} = .950227$

Adım 2: Fonksiyon hesaplama

$$\begin{aligned} L &= 116\left[f(Y/Y_n)\right] - 16 \\ a &= 500\left[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)\right] \\ b &= 200\left[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)\right] \\ f(X/X_n) &= X/X_n{}^{1/3} \quad \text{if } X/X_n \rangle 0.008856 \\ f(X/X_n) &= 7.787 * X/X_n + 16/116 \quad \text{eger } X/X_n \le 0.008856 \\ f(Y/Y_n) &= Y/Y_n{}^{1/3} \quad \text{if } Y/Y_n \rangle 0.008856 \\ f(Y/Y_n) &= 7.787 * Y/Y_n + 16/116 \quad \text{eger } Y/Y_n \le 0.008856 \\ f(Z/Z_n) &= Z/Z_n{}^{1/3} \quad \text{if } Z/Z_n \rangle 0.008856 \\ f(Z/Z_n) &= 7.787 * Z/Z_n + 16/116 \quad \text{eger } Z/Z_n \le 0.008856 \end{aligned} \tag{5.13}$$

## 5.4. Nitelik analizi

Dijital görüntülerden elde edilen tanımlayıcı nitelikler bir araya getirilerek resim veya objeler için özellik vektörleri oluşturulur. Obje veya resimlere ait özellik vektörleri istatistiksel yöntemler ve/veya yapay zekâ teknikleri ile değerlendirilerek sınıflandırma, tanıma, tahmin gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Sınıflandırma veya tanıma işlemlerinde küme merkezlerini belirlemekte kullanılan ortalama

vektörü ile objeye ait özellik vektörü arasında ilişki Öklit uzaklığı, mutlak uzaklık, Minkowski uzaklığı gibi istatistiksel yöntemlerle incelenebilir. Öklit uzaklığı Denklem 5.14'e göre hesaplanmaktadır.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(a_i - b_i)^2} = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \cdots + (a_n - b_n)^2} \qquad (5.14)$$

Burada; a ve b n boyutlu özellik vektörleridir.

Günümüzde diskriminant analizi, Lineer Fisher sınıflandırıcı, destek vektör makinesi gibi istatistiksel yöntemler sınıflandırmada; yapay sinir ağları, yapay bağışıklık sistemi, bulanık mantık, zeki optimizasyon teknikleri, uzman sistemler gibi yapay zeka teknikleri de sınıflandırma, tanıma, tahmin işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

# 6. YAPAY ZEKÂ (YZ) TEKNİKLERİ

Yapay zekâ (YZ) (artificial intelligence), zekâ ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların gerçekleştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi hususunda çalışan bilim dalıdır. Diğer bir deyişle yapay zekâ; düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek, problemlerin çözümüne uygulanması olarak da ifade edilebilir.

Yapay zekâ araştırmacılarının baştan beri ulaşmak istediği ideal, insan gibi düşünen ve davranan sistemler yaratmaktır. Genel olarak YZ teknikleri; insan zekâsı veya beyninin ve insan vücudundaki diğer sistemlerin çalışmasını örnek alarak problemlerin çözülmesi için geliştirilen algoritmalardır. YZ teknikleri; yapay sinir ağları (YSA) (Artificial Neural Network – ANN), bulanık mantık (BM) (Fuzzy Logic – FL), genetik algoritmalar (GA) (Genetic Algorithms – GA), karınca algoritması (KA) (Ant Colonies – AC), yapay bağışıklık sistemi (YBŞ) (Artificial Immune System – AIS) ve uzman sistemler (US) (Expert Systems – ES) başta olmak üzere farklı teknikler içermektedir (Öztemel, 2003; Sağıroğlu ve ark., 2003).

## 6.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyni bilinen en karmaşık ve gizemli hesaplayıcıdır. İnsan beyninin en önemli özellikleri öğrenme yolu ile bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfetme yeteneğidir. Beynin bu özellikleri dikkate alınarak, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Kısacası Yapay Sinir Ağları

(YSA) insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan yaklaşımlardır (Öztemel, 2003; Sağıroğlu ve ark., 2003; Baykan, 2007; Tezel, 2007).

YSA yapılarının esin kaynağı, beyni oluşturan biyolojik hücrelerin ya da literatürde bulunan ismiyle nöronların işleyiş yöntemidir. Pek çok araştırmacı beyin fonksiyonlarını taklit edebilen YSA modelleri üzerinde çalışmaktadır. YSA günümüzde birçok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahip bir sistemdir. Mühendislik alanında, imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, tıp alanında, tarımsal alanda, uzay ve havacılık sanayinde, yüzey modellemede vb. alanlarda tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri yorumlama, veri filtreleme gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Sağıroğlu ve ark. 2003, Baykan, 2007; Tezel, 2007)

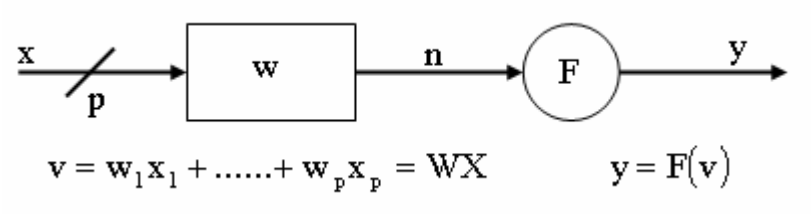
YSA, bir sisteme ait tekli veya çoklu parametrelere bağlı olarak verilen giriş verileri ile sistemin yine tekli veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. YSA, giriş değerlerine uygun olarak çıkış değerleri üretir (Sağıroğlu ve ark. 2003; Baykan, 2007).

YSA, genel olarak birbirine bağlı doğrusal ve/veya doğrusal olmayan, tek başına çok basit yapıları olan birçok işlemci elemandan yani nöronlardan oluşmaktadır. Bir yapay nöron temel olarak girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkış olmak üzere 5 bölümde incelenebilir (Şekil 6.1) (Haykin, 1999; Sağıroğlu ve ark. 2003).

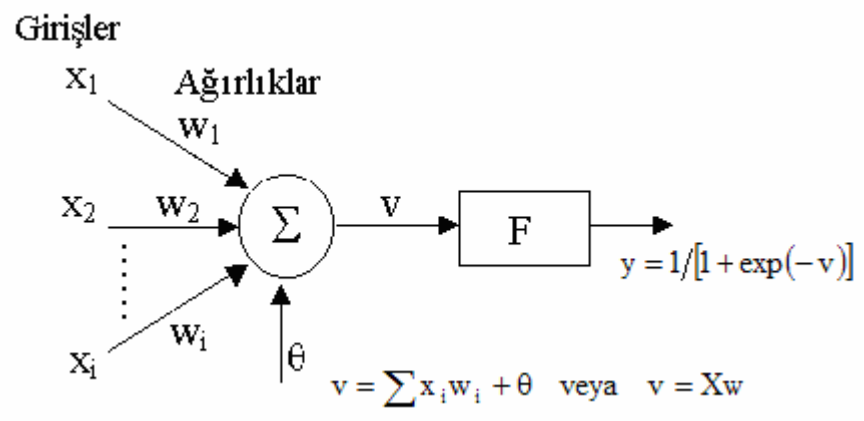
Şekil 6.1'de x girişleri, y çıkışı, F transfer (aktivasyon) fonksiyonunu, p nöron giriş sayısını, n çıkış sayısını, w ağırlıkları, θ eşik (threshold) değerini ifade etmektedir. Nöronlar arasındaki bağlantılar **ağırlık** adı verilen ayarlanabilir parametreler ile karakterize edilir. Ağırlıklar bir nörona gelen bilginin önemini ve nöron üzerindeki etkisini gösterir (Öztemel, 2003). Girişler p elemanlı sütun ve ağırlıklar p elemanlı satır vektörleridir. Nöron için girişler ve ağırlıklar çarpılarak, toplayıcıya uygulanır ve elde edilen ağırlıklı toplam v, nöronun aktivasyon fonksiyonundan (F)geçirilerek çıkış elde edilir (Denklem 6.1). Burada $x_i$ i'inci girişi, $w_{ij}$ j'inci elemandan i'inci elemana bağlantı ağırlığını, $\theta_i$ eşik değerini, $v_i$ nöron çıkışını göstermektedir (Sağıroğlu ve ark., 2003).

Aktivasyon fonksiyonları bir YSA' da nöronun çıkış genliğini istenilen değerler arasında sınırlamak için kullanılırlar. YSA'larda kullanılacak aktivasyon

fonksiyonlarının türevi alınabilir olması ve süreklilik arz etmesi gerekmektedir. Kullanım amacına uygun olarak tek veya çift fonksiyon olabilirler. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları Şekil 6.2'de ve Denklem 6.2'de verilmiştir (Sağıroğlu ve ark., 2003; Zaknich, 2003; Tezel, 2007).




(a) Nöronun blok diyagramı



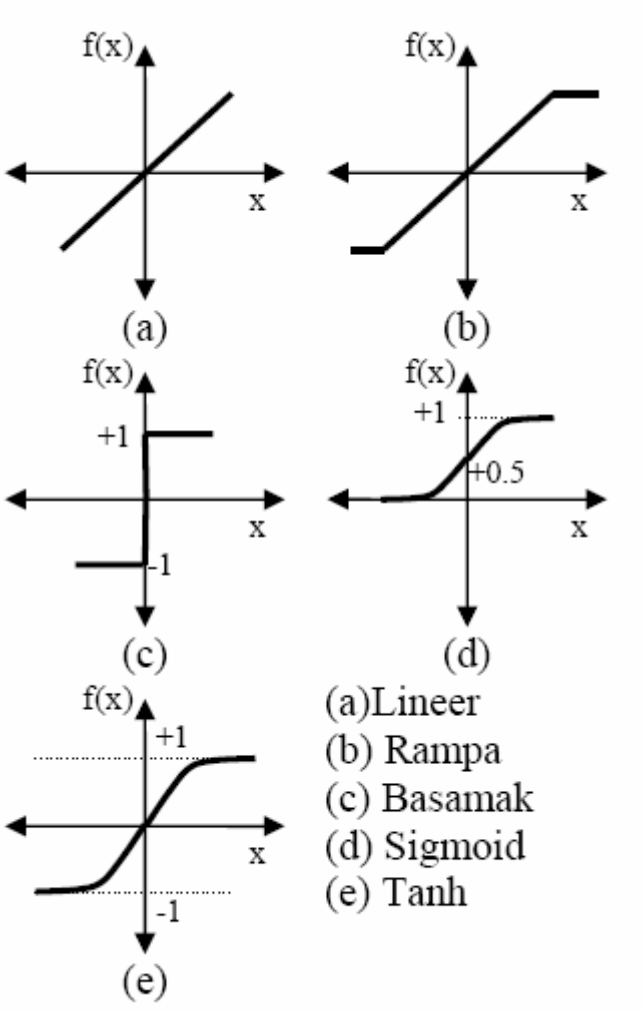

(b) Nöronun detaylı gösterimi

Şekil 6.1 Nöron gösterimi

$$v_i = \sum_{i=1}^{n} x_i w_{ij} - \theta_i$$
$$y = F(v) \qquad (6.1)$$

Ağın yapısını nöronlar arasındaki bağlantılar belirler. YSA çıkışında istenilen hedefe ulaşmak için, ağ çıkışındaki hatayı sıfıra indirecek şekilde ağırlıkların değiştirilmesi gerekmektedir. Bu değişim, YSA'da kullanılan yapıya ve öğrenme kurallarına göre yapılır. Yapılarına göre YSA iki gruba ayrılır:

1- İleri beslemeli ağlar: Giriş katmanında hiçbir veri işleme olmaz. Girişteki veriler, giriş katmanından çıkış katmanına tek yönlü bağlantılarla iletilirler (Şekil 6.3-a). Çok katmanlı perseptronlar (Multi Layered Perceptrons – MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ileri beslemeli ağlara örnek verilebilir (Sağıroğlu ve ark., 2003).




Şekil 6.2 YSA'da yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları

2- Geri beslemeli ağlar: Dinamik hafızaları vardır. Girişteki veriler, hem giriş katmanından çıkış katmanına doğru, hem de geri yönde çıkış katmanından giriş katmanına doğru, çift yönlü bağlantılarla iletilir (Şekil 6.3-b). Geri beslemeli ağlara örnek olarak Hopfield ağı verilebilir (Sağıroğlu ve ark., 2003).

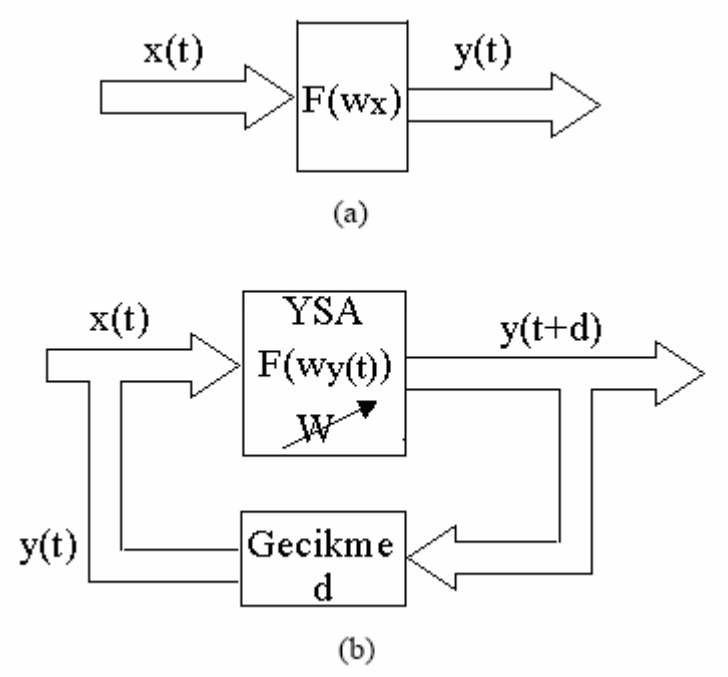
Lineer (doğrusal) aktivasyon fonksiyonu için y=Ax

Rampa aktivasyon fonksiyonu için $y = \begin{cases} a & x \geq c \\ -a & x \leq -c \\ x & -c < x < c \end{cases}$

Basamak aktivasyon fonksiyonu için $y = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x \langle 0 \end{cases}$ (6.2)

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu için $y = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu için $y = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{2x}}$




Şekil 6.3 YSA ağ yapıları

(a) İleri beslemeli ağ yapısı (b) Geri beslemeli ağ yapısı

Öğrenme algoritmalarına göre YSA üç gruba ayrılır:

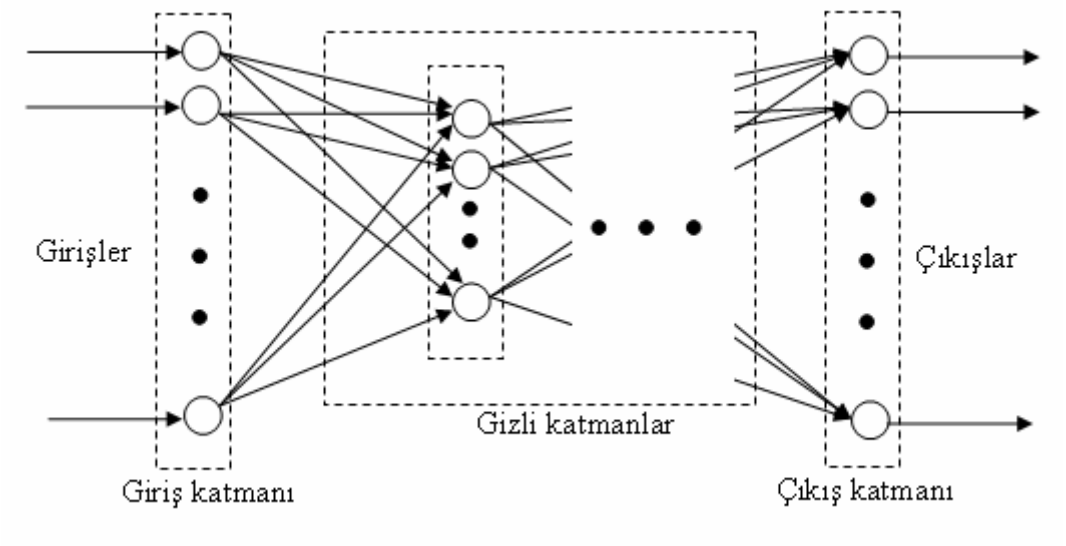
1- Danışmanlı öğrenme: Bu tür öğrenmede YSA, olayı öğrenebilmesi için bir öğretmene veya danışmana ihtiyaç duyar. YSA'ya ne öğrenmesi gerektiği örnek bir giriş-çıkış veri seti ile öğretilir. İstenilen çıkış ile YSA sonucundaki çıkışın arasındaki farka (hata) göre, nöronlar arası

bağlantıların ağırlığı, en uygun çıkışı elde etmek için bir öğrenme algoritması ile düzenlenir. Geri yayılım (Back Propagation – BP) algoritması bu tür için örnek verilebilir.

2- Danışmansız öğrenme: Bu tür öğrenmede YSA, olayı öğrenebilmesi için bir öğretmene ihtiyaç duymaz. Sisteme sadece giriş verileri verilir. YSA'nın giriş verilerine göre kendi kendisine öğrenmesi beklenir. Giriş verilerinden elde edilen YSA çıkışına göre, sistem kuralları ve bağlantı ağırlıklarını kendi kendine günceller. ART ve SOM bu tür öğrenmeye örnek verilebilir.
3- Takviyeli öğrenme: Bu öğrenme algoritmasında da bir öğretmen vardır. Ancak öğretmen, giriş verisine karşı çıkış verisi vermek yerine, YSA çıkışının verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanır. LVQ (Learning Vector Quantization) bu tür için örnek verilebilir (Öztemel, 2003; Sağıroğlu ve ark., 2003).

### 6.1.1. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA)

Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (ÇKYSA) (Multi Layered Artificial Neural Network – MLPNN), danışmanlı öğrenme algoritması kullanan ileri beslemeli bir ağdır. Bir giriş ve bir çıkış katmanı ile bu katmanlar arasında bulunan bir ya da birden fazla gizli katmandan oluşmaktadır. Her katmanda farklı sayılarda nöron bulunabilir. Her nöronun bir çıkışı vardır ve bu çıkışlar bir sonraki katmandaki nöronlara bağlıdır. Giriş ve çıkış katmanındaki nöron sayısı probleme göre tespit edilirken, gizli katmanlardaki nöron sayısı genellikle deneme yoluyla belirlenir. Şekil 6.4 tek gizli katmana sahip temel bir ÇKYSA yapısını göstermektedir (Yılmaz, 2005).




Şekil 6.4 Tek gizli katmanlı ÇKYSA yapısı

ÇKYSA danışmanlı öğrenme algoritması kullanmaktadır. Ağa hem girişler, hem de bu girişlere karşılık gelen çıkışlar gösterilir. Ağın her giriş için, o girişe karşılık gelen çıkış değerini üretmesi beklenir. ÇKYSA eğitilirken; ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata, geriye doğru yayılarak, hata minimuma düşünceye kadar ağırlıkların değiştirildiği Geri Yayılım (GY) (Back Propagation – BP) algoritması kullanılır. GY algoritması kullanılarak ağın eğitimi sırasında gizli katmandaki her bir j nöronunun çıkışı Denklem 6.3'e göre hesaplanır.

$$y_j = f\left(\sum w_{ji} x_i\right) \qquad (6.3)$$

Burada; y çıkış değeri, f aktivasyon fonksiyonu, x giriş sinyali, w ağırlık değeridir. Ağın eğitimi esnasında YSA'nın ürettiği çıkış değerlerinin beklenen çıkış değerlerine ne kadar yaklaştığının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için beklenen çıkış değerleri ile YSA'nın ürettiği çıkış değerleri arasındaki fark yani **hata** hesaplanır. Çıkış katmanında $y_j$ j. nöronun ÇKYSA çıkış değeri ve $y_j^{(t)}$ ise j. nöronun beklenen çıkış değeri iken j. nöron için hata Denklem 6.4'e göre, toplam hata da Denklem 6.5'e göre hesaplanır (Öztemel, 2003).

$$E_j = y_j^{(t)} - y_j \tag{6.4}$$

$$E = \frac{1}{2}\sum_j \left(y_j^{(t)} - y_j\right)^2 \tag{6.5}$$

Eğitimin amacı, ÇKYSA'nın giriş verilerine karşılık ürettiği çıkışın beklenen çıkış değeriyle aynı ya da en yakın olmasıdır. Bu nedenle hesaplanan hatanın en az olması amaçlanır. Çıkış katmanındaki bütün nöronlar için toplam hata bulunduktan sonra, bu hatayı en aza indirmek için çıkış katmanından giriş katmanına doğru geri yönde nöronların ağırlıkları güncellenir. Eğitim sırasında ağın çıkışındaki hataya bağlı olarak, i. ve j. katmandaki nöronlar arasındaki ağırlıklardaki $\Delta w_{ij}(t)$ değişikliği Denklem 6.6'ya göre hesaplanır.

$$\Delta w_{ji}(t) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(t-1) \tag{6.6}$$

Burada; $\Delta w_{ji}(t-1)$ (t-1) anında i. ve j. katmandaki nöronlar arasındaki ağırlık değişim miktarı, $\eta$ öğrenme katsayısı, $\alpha$ momentum katsayısı, x giriş sinyali ve $\delta_j$ gizli veya çıkış katmanındaki herhangi bir j nöronuna ait bir faktördür. Çıkış katmanındaki bu faktör Denklem 6.7'ye göre hesaplanır.

$$\begin{aligned} \delta_j &= \frac{\partial f}{\partial net_j}\left(y_j^{(t)} - y_j\right) \\ net_j &= \sum x_j w_{ji} \end{aligned} \tag{6.7}$$

Burada da; $y_j$ j. nöronun ÇKYSA çıkış değeri ve $y_j^{(t)}$ ise j. nöronun beklenen çıkış değeridir. Ara katmandaki nöronlar için beklenen herhangi bir çıkış değeri olmadığından, $\delta_j$ faktörü ara katmandaki nöronlar için Denklem 6.8'e göre hesaplanır.

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j}\right)\sum w_{qi}\delta_q \tag{6.8}$$

Başarılı ve hızlı bir eğitim süreci için $\eta$ öğrenme katsayısı ve $\alpha$ momentum katsayısı değerlerinin seçimi önemlidir. Genellikle [0, 1] arasında değer alırlar ve her probleme göre ideal değerleri seçilir (Sağıroğlu ve ark., 2003).

GY algoritması için bu adımlar her giriş değeri için tekrarlanır. Eğitmenin tüm giriş değerleri için bir kez tamamlanması bir **iterasyon** süresince olur (Haykin, 1999). Eğitim süresince amaç, Denklem 6.5'teki toplam hatayı en aza indirmektir. Bu nedenle ÇKYSA eğitimi sırasında, maksimum iterasyon sayısı ya da istenilen en az hata değeri eğitimi durdurmak için kullanılır. Ağın başarısını ölçmek için, eğitimi tamamlanmış ağ, farklı bir veri seti ile test edilir.

### 6.1.2. Lineear olmayan tek katmanlı yapay sinir ağları (LTKYSA)

Tek katmanlı algılayıcılar, 1958 yılında Rosenblat tarafından örüntü sınıflandırmak amacıyla geliştirilmiştir (Rosenblat, 1958). İki sınıflı bir sınıflandırıcıdır. Giriş verilerini bir düzlem veya doğru ile iki sınıfa ayırmaya çalışır. Giriş ve çıkış katmanlarından oluşmaktadır. Giriş katmanındaki her bir giriş, *W* ağırlık değerleri ile çıkış katmanına bağlanmaktadır.

Non-lineer tek katmanlı algılayıcı bir nöronun basitleştirilmiş matematiksel modelidir. Rumelhart ve ark. göre, TKA çok sayıda girişe $X = (x_1, x_2, ...x_n)$ ve bir çıkışa *O* sahiptir. Çıkış değeri Denklem 6.9'a göre hesaplanmaktadır.

$$O = f(W^T X + \theta_o) \qquad (6.9)$$

$f(net)$, non-lineer bir aktivasyon fonksiyonudur. Bu aktivasyon fonksiyonuna sigmoid fonksiyon örnek olarak verilebilir.

LTKYSA'da başlangıç ağırlıkları rasgele küçük değerler seçilir. Eğitme vektörlerine uygun çıkışlar üretebilmek için ağırlıkların tespit edilmesi gerekir. Ağırlıkların bulunması için eğitim aşamasında, eğitim setinin maliyet fonksiyonu minimum yapılmalıdır. Örnek bir maliyet fonksiyonu, giriş vektörleri için bilinen

gerçek sonuçlar ile ağın ürettiği sonuçlar arasındaki farkların karesel toplamına dayanmaktadır (Denklem 6.10).

$$\text{maliyet} = f_t = \frac{1}{N_1 + N_2} \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{N_j} \left( t_j^{(i)} - f\left( W^T X_j^{(i)} + \theta_0 \right) \right)^2 \qquad (6.10)$$

Burada $t_j^{(i)}, X_j^{(i)}$ giriş vektörü için arzu edilen çıkış; $N_i$, $X_i$ sınıfından alınan eğitme örneklerinin sayısıdır.

Bir öğrenme kuralı yardımıyla maliyet fonksiyonunu minimum yapan ağırlık değerleri hesaplanabilir. Delta kuralı (eğim azaltımlı optimizasyon algoritması) ile ağın eğitimi gerçekleştirilebilir. Eğitme işleminin t'inci adımında ağırlık değerleri Denklem 6.11'e uygun olarak değiştirilebilir.

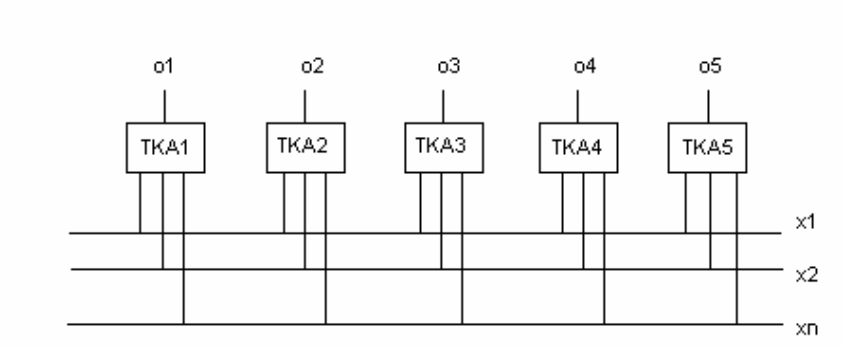
$$\begin{aligned} W_{(t+1)} &= W_t - \eta \frac{\partial f_t}{\partial W} \\ \theta_{0(t+1)} &= \theta_{0(t)} - \eta \frac{\partial f_t}{\partial \theta_0} \end{aligned} \qquad (6.11)$$

Burada $\eta$ öğneme katsayısı ve $\frac{\partial f_t}{\partial W}$ maliyet fonksiyonunun eğimidir.

Tek katmanlı algılayıcılar, iki sınıflı problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalar sonucunda LTKYSA'ların çok sınıflı problemlerde kullanılabilmesi mümkün olmaktadır. Çok sınıflı durumda temel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır.

1- Bire karşı hepsi yöntemi: Bu yöntemde *k* farklı sınıf için *k* adet LTKYSA yapısı oluşturulmaktadır. Sınıflandırma işleminde kullanılacak veri seti sayısı sınıf sayısı kadar olup, orijinal veri seti ile aynı boyuttadır. Bu yöntemde *k*'inci LTKYSA için *k*'inci sınıfa ait giriş değerleri 1, diğer giriş değerleri ise 0 olarak etiketlenir. Belirlenen bir öğrenme kuralına göre eğitilir. Eğitmede optimum parametreler tespit edilir. Daha sonra tüm LTKYSA yapılarına eğitmede kullanılmayan bir giriş verisi verilerek çıkışlar incelenir. LTKYSA çıkışları incelenerek (en büyük çıkış değerine

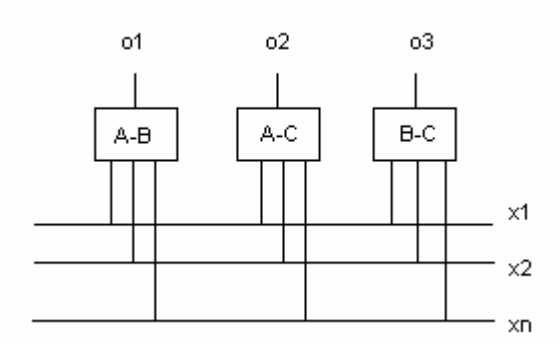
sahip ağ göz önüne alınarak), ağa verilen giriş değerinin hangi sınıfa ait olduğu tespit edilir (Şekil 6.5).




Şekil 6.5 Bire karşı hepsi yöntemiyle *k*=5 sınıf için LTKYSA örneği

2- Bire karşı bir yöntemi: Bu yaklaşımda ise sınıflandırıcı çiftleri kullanılır. Bu yöntemde *k* sınıf için *k(k-1)/2* adet sınıflandırıcı oluşturulur. Sınıflandırma işleminde kullanılacak veri seti sayısı *k(k-1)/2* sayısı kadardır ve orijinal veri setinin boyutundan küçüktür (sadece sınıflandırıcı çiftine ait verileri içerir). Her bir LTKYSA sadece iki sınıfı birbirinden ayırabilir. Belirlenen bir öğrenme kuralına göre eğitilir. Eğitmede optimum parametreler tespit edilir. Daha sonra her bir LTKYSA yapısına eğitmede kullanılmayan bir giriş verisi verilerek çıkışlar incelenir. Ağların sonuçlarını değerlendirebilmek amacıyla Voting (oylama), Directed Acyclic Graph (DAG), Hastie-Tibshiranie (H-T) gibi çeşitli yöntemler (fusion rules) geliştirilmiştir (Şekil 6.6) (Raudys, 2001).

Oylama yönteminde, bir giriş verisi için aynı anda tüm çıkışlardan hangi sınıfa ait sonuç alındığına bakılır. Her bir sınıfa ait çıkışların toplam sayısı bulunur. En çok sayıda çıkış alınan sınıf, sonuç sınıf değeri olarak alınır.




Şekil 6.6 Bire karşı bir yöntemiyle *k*=3 sınıf için LTKYSA örneği

Bire karşı bir yönteminde A, B, C olmak üzere 3 sınıf olduğu varsayıldığında;

$$3 \text{ x } (3 - 1) / 2 = 3$$

adet olmak üzere A – B, A – C ve B – C LTKYSA mimarileri oluşturulmaktadır. Tüm ağların çıkışları için Tablo 6.1'deki gibi sonuçların elde edildiği düşünülürse;

Tablo 6.1 Bire karşı bir yöntemiyle 3 sınıflı sınıflandırma örneği

| | Sınıflandırıcı | | |
|---|---|---|---|
| | A – B | A – C | B – C |
| Ağ çıkış değeri | 0 | 1 | 1 |
| Çıkış değerine göre belirlenen sınıf | Çıkış = B | Çıkış = A | Çıkış = B |

Voting (oylama) yöntemine göre A = 1, B = 2 ve C = 0 oyu aldığından verilen giriş değerleri için çıkış değeri B sınıfı olarak tespit edilir.

## 6.2. Kümeleme Algoritmaları

Kümeleme, benzer özellik gösteren veri elemanlarının kendi aralarında kümelere ayrılmasıdır. Bu ayrımı gerçekleştirmek için **kümeleme algoritmaları** kullanılır. Kümeleme algoritması uygulanan veri setindeki her bir veriye **nesne** adı verilir. Bu nesneler iki boyutlu düzlem üzerinde noktalarla gösterilir. Kümeleme algoritmaları, *n* adet nesneyi $k \leq n$ olacak şekilde *k* adet kümeye ayırırlar. Bu ayırma

işleminde nesneler, Euclidean uzaklığı, Manhattan uzaklığı ya da Chebychev uzaklığı gibi **benzerlik fonksiyonu** kullanılarak, küme merkezlerine olan uzaklıklarına göre ilgili kümeye yerleştirilirler. Böylece küme içi benzerlikler maksimum, kümeler arasındaki benzerlikler minimum olacak şekilde kümeleme yapılır. Küme benzerliği kümedeki nesnelerin ortalama değeri yani kümenin ağırlık merkezi ile ölçülür. Kümeleme algoritmaları, veri azaltma ve nesnelerin doğal sınıflarını bulmak için kullanılır. K-Ortalama, K-Medoids, Bulanık-C-Ortalama, Agnes, Cure gibi değişik kümeleme algoritmaları bulunmaktadır (Han ve Kamber, 2001; Demiralay ve Çamurcu, 2005; Baykan, 2007).

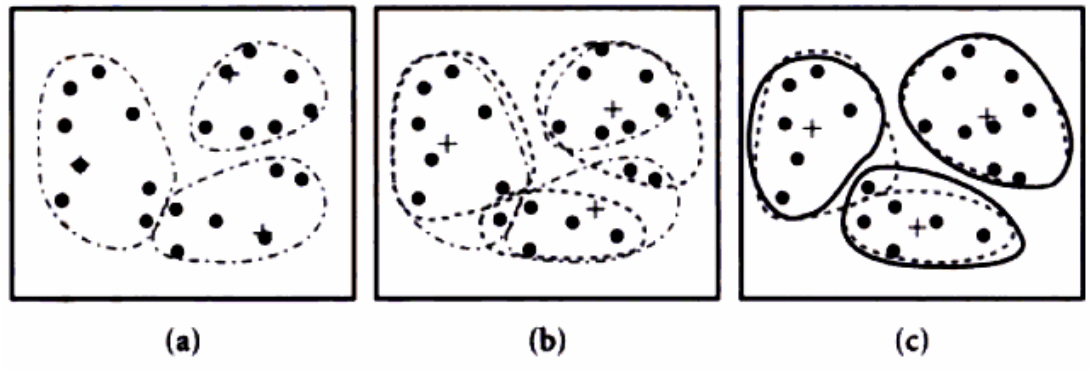
### 6.2.1. K-Ortalama kümeleme

Kümeleme algoritmaları içinde en çok kullanılanı "K-Ortalama" (K-Means) kümeleme algoritmasıdır. 1967'de J.B.Mac Queen tarafından geliştirilmiştir. Her verinin sadece bir kümeye ait olmasına izin verir (Işık ve Çamurcu, 2007).

K-Ortalama, kümeleme işlemine başlarken ilk önce rast gele *k* adet nesneyi, *k* adet küme merkezi olarak seçer (Şekil 6.7a). Sonra her bir nesnenin, bu *k* adet kümeden hangisine ait olduğuna bakar. Bu işlemi yaparken, her nesnenin, *k* adet kümenin küme merkezine olan uzaklığını Denklem 6.12'ye göre hesaplar ve en az uzaklığı olan yani en benzer olduğu kümeye ilgili nesneyi yerleştirir. Nesnelerin yerleştirilmesinden sonra küme merkezleri tekrar hesaplanıp, yeni küme merkezleri bulunur (Şekil 6.7b). Her kümenin merkez noktası, gruptaki nesneleri en iyi temsil edecek şekilde düzenlenir. Bu çalışma döngüsü, tüm elemanlar bir kümeye yerleştirilene ve küme merkez noktaları sabit kalana kadar devam eder (Şekil 6.7c). K-Ortalama kümeleme algoritmasının adımları Şekil 6.8'de gösterilmiştir (Han ve Kamber, 2001).

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \qquad (6.12)$$

Burada; E tüm nesnelerin farklarının karesinin toplamı, p verilen bir nesneyi, $m_i$ ise $C_i$ kümesine ait küme merkezini göstermektedir. Bu fonksiyon, oluşturulan kümeleri mümkün olduğunca aynı türden nesnelerle oluşturmakta ve kümeleri de birbirlerinden mümkün olduğunca farklı yapmaktadır.




Şekil 6.7 *k*=3 için K-Ortalama uygulaması örneği ("+" küme merkezi)

**İşlem:** Kümedeki nesnelerin ortalama değerlerini kullanarak K-Ortalama uygulaması
**Girişler:** *n* adet eleman ve *k* adet küme sayısı
**Çıkış:** *k* adet kümeye ayrılmış nesneler
**Algoritma:**
**1)** Başlangıçta rast gele *k* adet nesne, *k* adet küme merkezi olarak seçilir.
**2)** Her bir nesnenin, küme merkezlerine olan uzaklıkları hesaplanır ve en az uzaklığa sahip olduğu kümeye yerleştirilir.
**3)** Nesnelerin kümelere yerleştirilmesinden sonra yeni küme merkezleri bulunur.
**4)** Tüm küme merkezleri sabit kalana kadar 1., 2. ve 3. adımlar tekrarlanır.
**5)** Veriler, istenilen küme sayısı kadar kümeye ayrılmış olur.

Şekil 6.8 K-Ortalama kümeleme algoritması adımları

K-Ortalama kümeleme algoritması ölçeklenebilir ve çok sayıda nesne olsa bile etkili bir kümeleme işlemi yapabilmektedir. K-Ortalama algoritmasının hesaplama karmaşıklığı Denklem 6.13'ye göre hesaplanmaktadır.

$$O(nkt) \quad (6.13)$$

Burada; $n$ toplam nesne sayısı, $k$ küme sayısı, $t$ işlemin kaç kez tekrarlanacağını gösteren döngü sayısıdır.

Bazen $k$ küme sayısı önceden belirlendiğinde gerekli küme sayısından daha az ya da daha çok küme sayısı seçilmiş olabilir. Bu seçim, uygulama için dezavantaj oluşturabilir. Bu gibi durumlarda K-Ortalama kümeleme algoritması küme sayısı değil, sadece küme merkezlerinin belirlendiği ve küme sayısının bunlara göre belirlendiği durumlarda da uygulanabilir (Han ve Kamber, 2001).

## 6.3. Bulanık Mantık (BM)

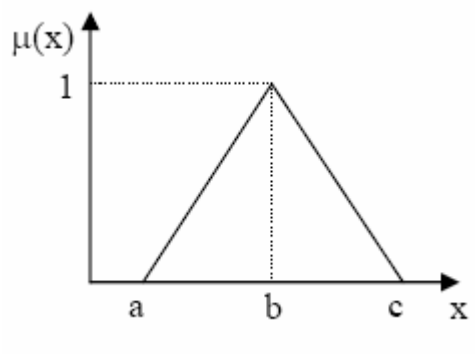
Bulanık mantık (BM) (Fuzzy Logic – FL) kavramı ilk olarak 1965 yılında Lotfi Asker Zadeh tarafından ortaya konulmuştur. Bulanık mantık, insan düşünce sistemini temel alan, belirsizlik içeren ifadeleri matematiksel olarak ifade edebilen bir yöntemdir (Zadeh ve ark., 1996).

Klasik mantıkta bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Matematiksel ifade ile yazılacak olursa, eleman bir kümeye ait ise "1", değilse "0" değerini alır. Başka bir deyişle "ya hep ya hiç" durumu bulunmaktadır. Ancak günlük hayatta kesin olarak bilinmeyen, belirsizliklerin olduğu durumlar mevcuttur. Her kümenin sınırları ve her elemanın değeri kesin olarak belli değildir. İnsan düşünce sistemi bu belirsiz sınırları algılayabilir ve "az", "çok", "daha az", "daha çok" gibi ifadelerle üyelik tanımlaması yapabilmektedir. Böylece kesin olmayan küme sınırları içinde sözel bilgiler de bulunabilmektedir. Bu gibi durumlarda klasik mantık yetersiz kalmaktadır. Bu noktadan hareketle, klasik mantık yerine insan düşünce sistemini temel alan, sözel bilgileri de işleyebilen bulanık mantık sistemi geliştirilmiştir (Ross, 1995; Şen, 2004; Şentürk, 2006).

Bulanık mantık kavramında bir elemanın bir bulanık kümenin üyesi olup olmadığı **üyelik fonksiyonları** ile belirlenir. Üyelik fonksiyonu, elemanın o küme için **üyelik derecesini** belirlemek için kullanılır. Bulanık mantıkta bir elemanın

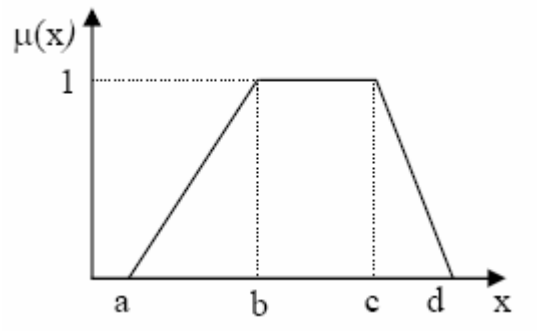
üyelik derecesinin değeri [0, 1] arasında değişir. Burada 1'in değeri tam üyeliği, 0'a yakın değer ise bulanık kümedeki elemanın üyeliğinin zayıf olduğunu belirtir. Yani 0,3 üyelik derecesine sahipse, %30 o kümeye aittir denilir. Dolayısıyla değeri 0 olan eleman bulanık kümenin üyesi değildir (Zadeh ve ark.,1996; Şen,2004).

Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları ya bir nokta, ya da bir doğru şeklindeyken; bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları hem doğrusal hem de bir fonksiyon şeklinde olabilir. Klasik kümelerde üyelik derecesi sadece 0 ve 1 olduğundan, üyelik fonksiyonları arasında bir geçiş bölgesi bulunmazken, bulanık üyelik fonksiyonları iç içe geçebilmektedir. Uygulanacak üyelik fonksiyonları probleme ve veri setine göre farklı türlerde seçilebilir (Şekil 6.9, Şekil 6.10). (Şen, 2004; Gülbağ, 2006)



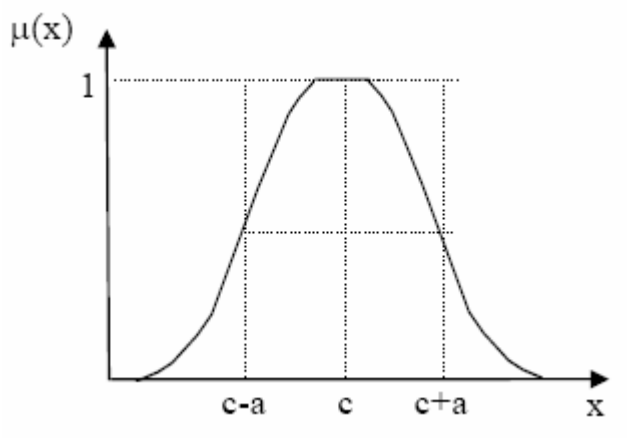

$$f(x,a,b,c)=\begin{cases}0 & ;x<a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & ;a\le x\le b\\ \dfrac{c-x}{c-b} & ;b\le x\le c\\ 0 & ;c<x\end{cases}$$

(a) Üçgen üyelik fonksiyonu ve parametreleri




$$f(x,a,b,c)=\begin{cases}0 & ;x<a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & ;a\le x<b\\ 1 & ;b\le x\le c\\ \dfrac{d-x}{d-c} & ;c\le x\le d\\ 0 & ;d<x\end{cases}$$

(b) Trapez üyelik fonksiyonu ve parametreleri

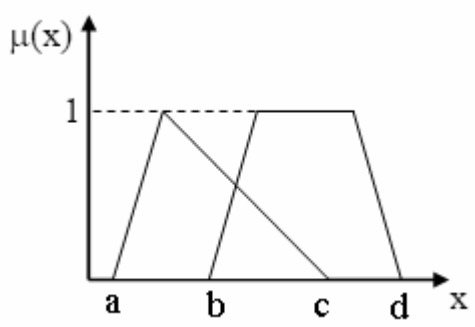



$$f(x,a,b,c)=\frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}$$

(c) Çan eğrisi üyelik fonksiyonu ve parametreleri

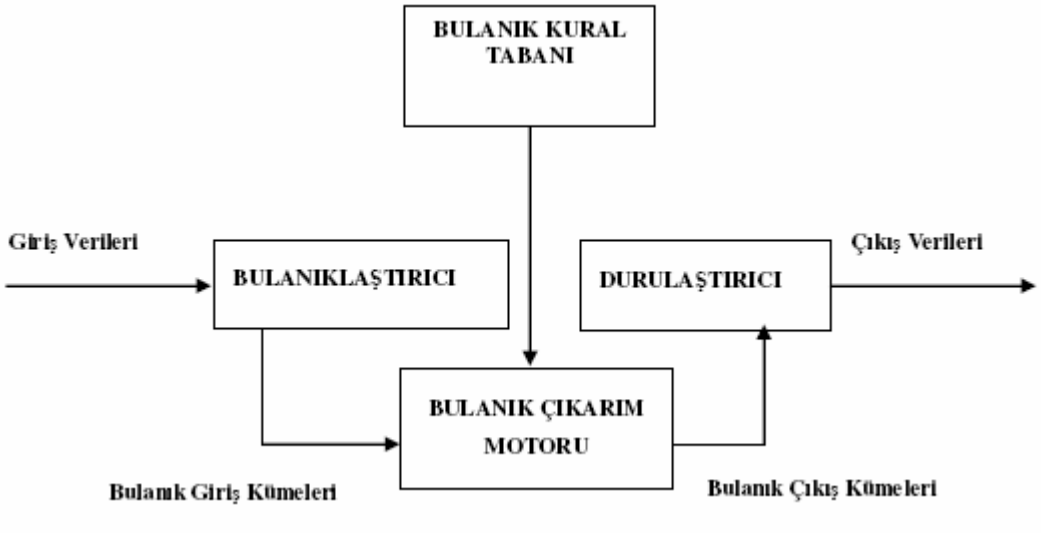
Şekil 6.9 Bulanık mantık üyelik fonksiyonu örnek parametreleri

Burada μ(x) değeri, üyelik fonksiyonuna göre elde edilen üyelik derecesini; a, b, c, d (0, x) arasında belirlenen sayıları göstermektedir.




Şekil 6.10 Bulanık mantık üyelik fonksiyonu örnekleri

Bulanık sistem temelde dört kısımdan oluşur (Şekil 6.11) (Şen, 2004):




Şekil 6.11 Bulanık sistem yapısı

1- Bulanıklaştırma: Bulanık sistemin ilk bölümüdür. Verilerin sisteme girildiği aşamadır. Bu birimin amacı, gerçek sayılarla ya da sözel ifadelerle tanımlanmış giriş ifadelerini bulanık ifadelere çevirmektir. Her giriş değeri için bir üyelik fonksiyonu tanımlanır. Bir E giriş verisindeki bir x elemanı için A bulanık kümesine aitliğinin üyelik derecesi Denklem 6.14'e göre ifade edilir.

$$\mu_A(x): E \rightarrow [0,1] \qquad (6.14)$$

Üyelik fonksiyonunu değeri, x'in A bulanık kümesine aitlik derecesini verir. Böylece klasik mantık yerine, kısmi üyelik derecesi tanımlanmış olur.

2- Kural tabanı: Bulanık kurallar giriş – çıkış arasındaki bağlantıyı sağlarlar. Kurallar, eldeki verilerden hareketle uzman bilgisiyle tanımlanırlar ve kural tabanını oluştururlar. E, F, G kümelerinde $x \in E, y \in F, z \in G$; A, B, C bulanık kümeler ise örnek bir kural ifadesi Denklem 6.15'ye göre yazılır.

EĞER x A ise, o halde z B'dir. (6.15)

Kuralın ilk kısmındaki yer alan şart ifadesi birden fazla olabilir. Bu durumda değişkene ait ifadeler VE, VEYA operatörleri ile birbirlerine bağlanarak Denklem 6.16'deki gibi kullanılabilir (Gülbağ, 2006).

EĞER x A VE y C ise, o halde z B'dir. (6.16)

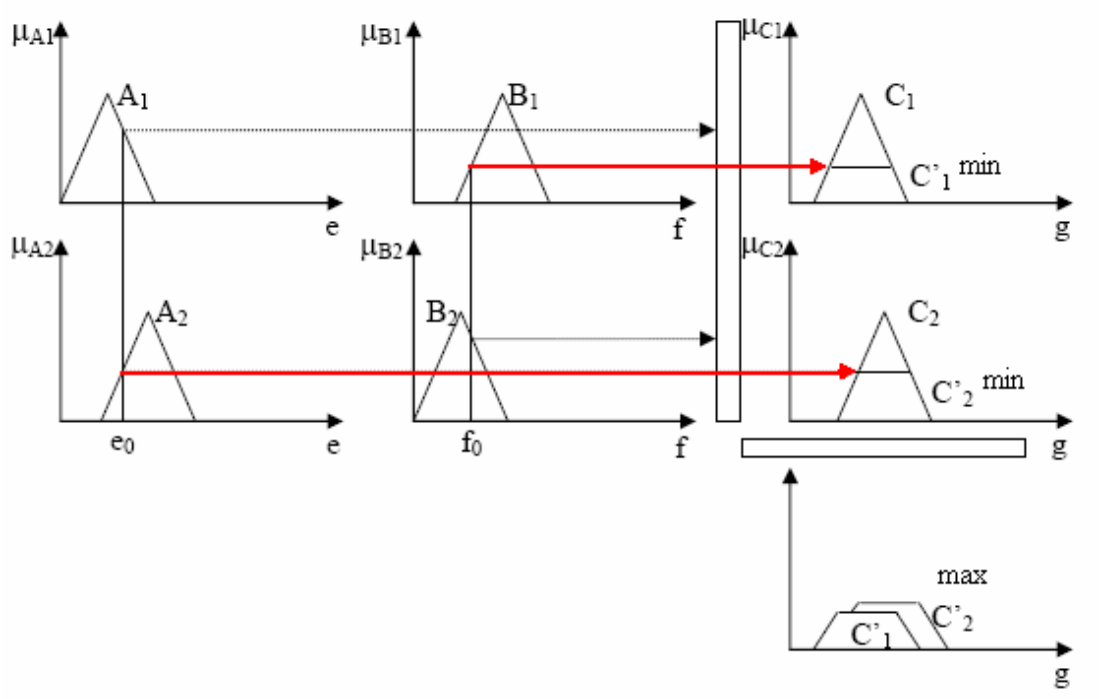
3- Bulanık çıkarım işlemi: İnsan karar verme ve çıkarım yapma yeteneğine benzer bir şekilde çalışarak çıkarım yapan kısımdır. Kuralları içeren "kural tabanı", üyelik fonksiyonlarını içeren "veri tabanı" ve kurallara bağlı olarak çıkış üreten "karar mekanizması" bulunmaktadır. En çok Mamdani ve Sugeno çıkarım sistemleri kullanılır.

Mamadani tipi bulanık model insan davranışlarına daha uygundur ve bu nedenle çok yaygın olarak kullanılır. E, F, G kümelerinde $e \in F, f \in F, g \in G$ ve $A_i$, $B_i$, $C_i$ (i=1, 2) için olmak üzere iki kural tanımlaması Denklem 6.17'deki gibi ifade edilebilir (Gülbağ, 2006).

EĞER e $A_1$ VE f $B_1$ ise, o halde g $C_1$'dir.
EĞER e $A_2$ VE f $B_2$ ise, o halde g $C_2$'dir. (6.17)

Kuralları VE miminum operatörü ve kuralları birleştirmek için de VEYA maksimum operatörü kullanıldığında, Şekil 6.12'daki Mamdani çıkarım sistemi çalışır. Sistem girişleri kesin ya da bulanık giriş olabilir. Ancak çıkarım işlemi sonundaki veriler kesinlikle bulanık verilerdir (Gülbağ, 2006).

Sugeno tipi bulanık modelde çıkışta bir fonksiyona bağlı olarak çıkış değerleri kesin sonuç olarak bulunur.




Şekil 6.12 Mamdani bulanık mantık çıkarımı

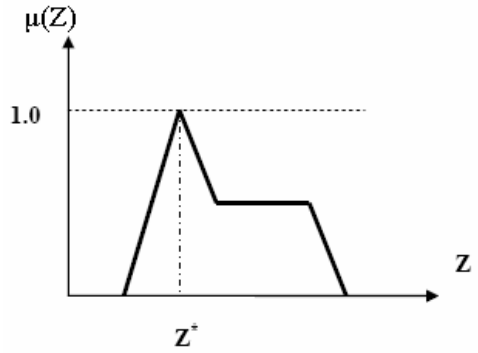
4- Durulaştırma: Pratik uygulamalarda sonuç, kesin bir değer olarak verilmelidir. Veri işlemede insan düşünce sistemine göre veriler bulanık mantık sisteminde işlenmiş olsalar da, dış dünyaya bu verilerin kesin sonuçlarının gönderilmesi gerekmektedir. Bulanık olan bu bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne durulaştırma denir. Durulaştırma işlemi için:

- Sentroid ya da ağırlık merkezi (centroid, center of area or gravity)
- En büyük üyelik ya da yükseklik (max-membership principle, height method): Bulanık çıktılarda en büyük üyelik derecesine sahip bulanık küme değeri alınır.
- Ağırlıklı ortalama yöntemi (weighted average method): Sadece simetrik üyelik fonksiyonlarında kullanılır ve bulanık çıktının ağırlık ortalaması alınır.
- Ortalama en büyük üyelik (mean-max membership, middle of maxima): En büyük üyelik derecesine sahip bulanık çıktıların ortalaması alınır.

- Toplamların merkezi (center of sums): Bulanık çıktıların birleşimi yerine cebirsel toplamları alınır.
- En büyük alanın merkezi (center of largest area): Bulanık çıktıların en büyük alanlısının ağırlık merkezi alınır.
- En büyük ilk veya son üyelik derecesi (first or last of maxima): Tüm bulanık çıktıların birleşiminde en büyük ya da en küçük üyelik derecesine sahip olan değer alınır.

yöntemlerinden biri kullanılabilir (Ross, 1995)

Bu yöntemler içinden en çok kullanılanı sentroid yöntemidir. Bu yöntem ile bulanık çıktının ağırlık merkezi bulunur ve buna karşılık gelen değer alınır. Şekil 6.13'deki sentroid durulaştırma Denklem 6.18'e göre yapılır (Ross, 1995; Şen 2004).




Şekil 6.13 Sentroid yöntemi ile durulaştırma

$$z^* = \frac{\int \mu_{ç}(z) \cdot z dz}{\int \mu_{ç}(z) dz} \qquad (6.18)$$

Burada $\mu_{ç}$ birleştirilmiş çıktı üyelik derecesini ifade etmektedir (Ross, 1995).

# 7. MİNERAL TANIMA İÇİN KULLANILAN METOTLAR ve DENEYSEL SONUÇLAR

Mineraloji alanında, kayaç yapıcı mineraller yani kayacın içinde en çok bulunan minerallerin tespit edilmesi önemli bir konudur. Minerallerin neler olduğunun ve bulunma yüzdelerinin tespit edilmesi, kayacın isimlendirilmesini sağlamaktadır. Mikroskop altında incelenen görüntünün çift kırma rengi, röliyefi (kabarıklılık), şekli, dilinimi (içerisindeki düzenli çizgiler), çatlaklığı (içerisindeki düzensiz çizgiler), rengi ve ikizlenmesi minerali tespit etme ve etiketlemede kullanılan optik özelliklerdir. Ancak kayaç içindeki birden çok mineralin tek tek bu özelliklerle incelenip, sonuçların bulunması 4–8 saat gibi oldukça uzun zaman alan ve zahmetli bir iştir. Ayrıca incelenen kayacın içinde zehirli bir mineralin bulunması da tehlike yaratmaktadır. Bu nedenlerden yola çıkarak; kayacın kesit alanının el değmeden incelenmesi ve alınan mikroskobik görüntünün bilgisayarda çok kısa sürede incelenerek, mineral etiketlemenin yapılması bu alanda yapılan çalışmalardaki en büyük sıkıntılardan birini çözecektir.

Bu tez çalışmasında, polarizan bir mikroskop sistemine bağlı sabit bir kamera yardımıyla alınan ince kesit görüntülerinde, dijital görüntü işleme ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak; mineral sınıflandırma ve dijital ince kesit görüntülerde mineral etiketleme yapılmıştır. Tez kapsamında, mikroskop üzerinde inceleme yaparken kullanılacak, bilgisayar kontrollü bir mekanizmanın tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geliştirilen bir önişlem algoritmasının mineral sınıflandırmaya etkisi incelenmiştir.

Çalışmada alınan ilk görüntülere, ortanca filtresi ve arkasından histogram eşitleme uygulanmıştır. Farklı renk uzaylarında alınan piksel değerleri kullanılarak, bu resimlerde önce mineral etiketleme ve ardında da mineral sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Renk uzaylarının mineral etiketlemedeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalarda sınıflandırıcı olarak ÇKYSA kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan diğer görüntüler, tez kapsamında tasarlanan mikroskoba bağlı bilgisayar kontrollü mekanizma yardımıyla alınmıştır. Bu görüntülerden elde

edilen piksel değerleri kullanılarak, K-Ortalama ile küme merkezlerinin bulunduğu, bulanık mantık tabanlı bir önişlem algoritması geliştirilmiştir. Önişlemden geçirilen veriler yine ÇKYSA ile sınıflandırılmış ve mineral sınıflandırmadaki başarılar karşılaştırılmıştır.

## 7.1. Kullanılan Görüntüler

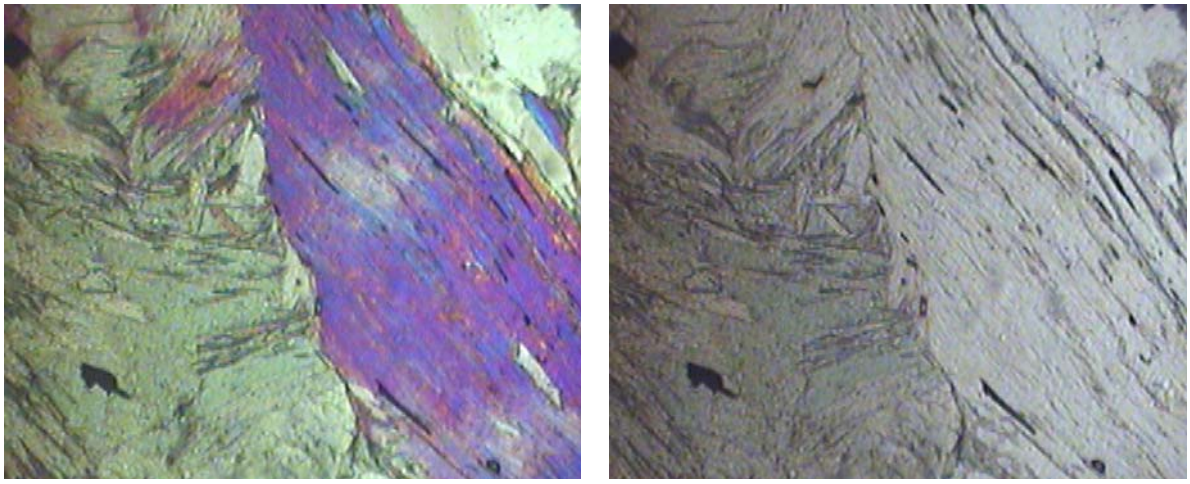
Bu çalışmada kullanılan mineral görüntülerinin alındığı ince kesitler, Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden elde edilmiştir (Şekil 7.1). Kayaçlardan hazırlanan ince kesitler mikroskoptaki dönebilen bir tabla üzerine yerleştirilerek, Pentium–4 bilgisayara bağlı James Swift marka bir mikroskopta incelenmiştir. Görüntü alımı sırasında analizör ve polarizör birbirine dik konumda tutulmuştur. Görüntüler, Videolab marka sabit bir dijital kamera yardımıyla alınarak, Inca görüntü yazılım programı ile otomatik olarak bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 7.1 İnce kesit örnekleri

İnce kesitlerin mikroskop altında incelenerek dijital görüntüleri alınırken, aydınlatma 12V/100W halojen lamba ile alttan yapılmıştır. Görüntü alımı, x10

büyütme ile yapılmıştır. Görüntüler hem tek nikol, hem çift nikolde alınmıştır. Alınan tüm görüntüler RGB formatında 640x480 piksel boyutlarında, 150 dpi çözünürlüktedir. Alınan ince kesit görüntülerde öncelikle dış kenar çevresi uzman görüşü ile kesilerek, resimler 450x370 piksel boyutlarına indirgenmiştir. Böylelikle görüntülerde kenar çerçevede bulunan bulanıklıklar ve karanlık bölgeler yok edilmiştir (Şekil 7.2).

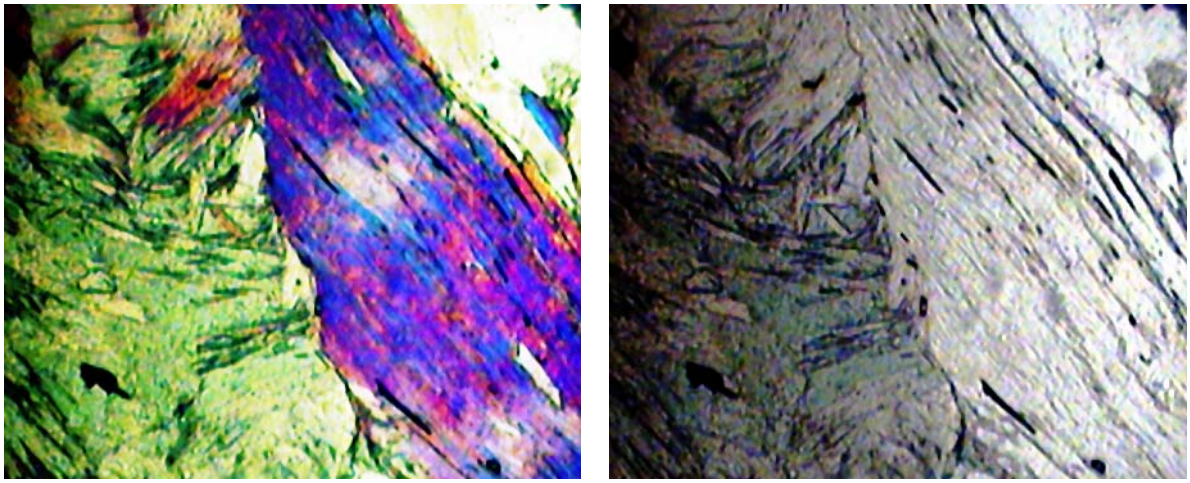


(a) Çift nikol görüntüye örnek (b) Tek nikol görüntüye örnek

Şekil 7.2 Mineral görüntü örneği

450x370 piksel boyutlarına getirilmiş yeni boyutlu görüntülere, önce ortanca filtre, sonra da histogram eşitleme uygulanarak önişlem yapılmıştır (Şekil 7.3). Böylece gürültü giderilmiş ve daha netleşmiş olan görüntülerde, tanımlamada kullanılacak olan mineraller uzman tarafından tespit edilmiş; kayaç yapıcı minerallerin başında gelen ve doğada en çok bulunan; kuvars, muskovit, biyotit, klorit, opak minerallerin tespit edilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmalarda dokuz (9) adet ince kesitten toplam yirmi iki (22) adet görüntü elde edilmiştir. Kuvars minerali tüm görüntülerde bulunurken; muskovit, biyotit, klorit, opak mineralleri sırasıyla yirmi (20), dört (4), on iki (12) ve yedi (7) adet görüntüde bulunmuştur.



(a) Çift nikol görüntüye örnek (b) Tek nikol görüntüye örnek

Şekil 7.3 Önişlem uygulanmış mineral görüntü örneği

## 7.2. Mineral Etiketleme

Kayaç isimlendirilmesi için ince kesitler mikroskop altında incelenirken, içerisindeki minerallerin ve bulunma yüzdelerinin neler olduğunun tespit edilmesi uzman tarafından gözle yapılmaktadır. Ancak bilgisayarda yapılacak otomatik mineral tanıma sisteminde bu kriterlerin yanında minerallerin doğru yerde tespit edilmesi de önemlidir. Bu çalışmada, ince kesitlerden elde edilen dijital görüntülere ait pikseller; RGB, HSV ve $L^*a^*b^*$ renk uzaylarında görüntü işleme ve ÇKYSA kullanılarak tek tek bir mineral grubuna atanarak etiketlenmiştir. Gerçekleştirilen otomatik mineral tanıma sistemi ile görüntüde hangi minerallerin, hangi oranda bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuç görüntülerdeki mineral etiketleme başarıları karşılaştırılarak, renk uzaylarının mineral tanımadaki etkileri incelenmiştir. Mineral etiketleme için kullanılan görüntüler Bölüm 7.1'de anlatılan önişlemden geçirilmiş görüntülerdir.

RGB formatında alınan dijital görüntülerden, 5 ayrı minerale ait farklı sayıda RGB piksel değerleri, her resimden ayrı ayrı alınarak ÇKYSA için eğitme veri seti oluşturulmuştur. Eğitme veri seti için, görüntülerden alınan minerallere ait piksel

sayıları Tablo 7.1'de gösterilmiştir. Toplamda beş minerale ait 325 adet piksel değeri eğitme için kullanılmıştır.

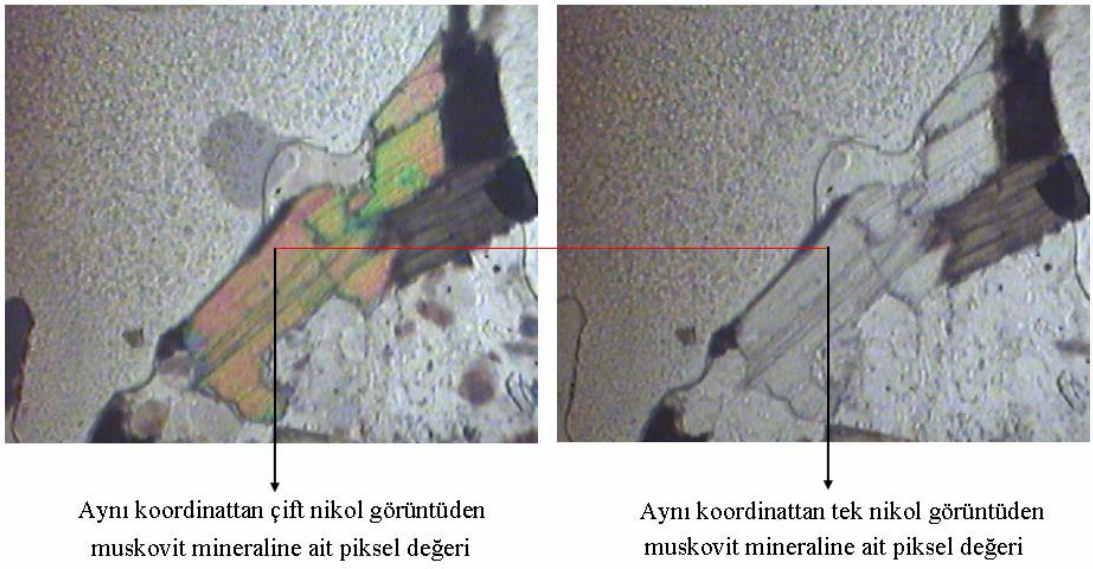
Tablo 7.1 325 adet veri için minerallere ait piksel sayıları

| Mineral | Piksel sayısı |
|---|---|
| Kuvars | 110 |
| Muskovit | 100 |
| Biyotit | 20 |
| Klorit | 60 |
| Opak | 35 |

Mineral tespitinde hem tek nikol, hem de çift nikoldeki görüntüler beraber incelenmektedir. Çünkü ince kesitin kalınlığının değişmesinden dolayı, çift nikolde bazı mineraller Şekil 4.2'de gösterilen Michel Levy Renk Tablosu'na göre farklı renk değerleri alabilmektedirler. Tek nikolde ise, mineraller renksiz ya da birbirlerine çok benzer özellikte renk özellikleri gösterebilmektedirler. Ayrıca mikroskop incelemesinde hatalı bir görüntünün alınması, mineralin sönme konumuna girmesine ve gerçekte renkli olması gerektiği yerde, tamamen ya da kısmen siyah renkte görünmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle mineral tespit etmede her iki nikoldeki görüntüler birlikte incelenerek, sonuç alınmalıdır. Bu nedenle eğitme veri seti için minerallerden alınan toplam 325 adet pikselin hem çift nikoldeki, hem de tek nikoldeki RGB piksel değerleri birlikte kullanılmıştır (Şekil 7.4) (Tablo 7.2).

Tez çalışmasında dijital görüntülerde mineral etiketlemede sınıflandırıcı olarak Matlab 7.4.0'da (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak; ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA kullanılmıştır (Şekil 7.5). RGB renk uzayında mineral etiketleme için, giriş katmanında çift nikolden gelen 3 adet $R_{çift}$, $G_{çift}$, $B_{çift}$ ve tek nikolden gelen 3 adet $R_{tek}$, $G_{tek}$, $B_{tek}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş verisi kullanılmıştır. Çıkış olarak ise 5 farklı mineral için 5 çıkış vardır. Gizli katmandaki nöron sayısı 10 nörondan 150 nörona kadar 5'er nöron arttırılarak, 1000 iterasyondan 10000 iterasyona kadar tüm iterasyonlarda eğitme işlemi yapılmıştır. Gizli katmandaki nöronlarda tanjant sigmoid, çıkış katmanındaki nöronlarda logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonları

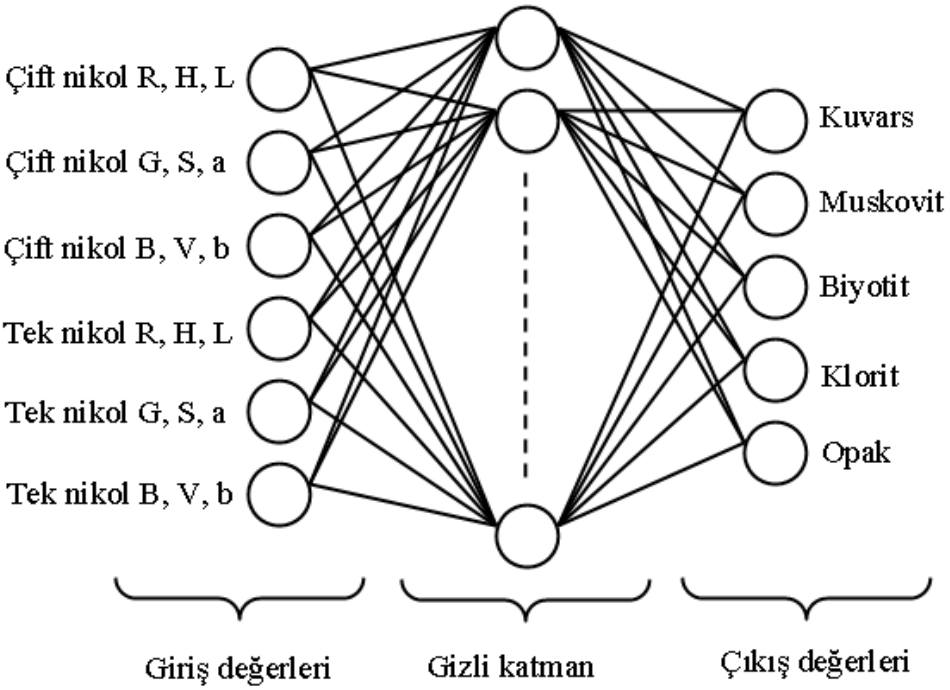
kullanılmıştır. Momentum ve öğrenme katsayıları sırasıyla 0,8 ve 0,1 olarak seçilmiştir. Giriş verileri [-1, 1] ve çıkış verileri ise [0, 1] arasında ölçeklendirilmiştir. ÇKYSA için kullanılan parametreler ve parametre değerleri Tablo 7.3'de verilmiştir.




Şekil 7.4 Görüntülerden minerallere ait piksel değerlerinin okunmasına örnek

Tablo 7.2 ÇKYSA eğitmesi için minerallere ait RGB piksel değerleri örnekleri

| | Çift Nikol | | | Tek nikol | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_{çift}$ | $G_{çift}$ | $B_{çift}$ | $R_{tek}$ | $G_{tek}$ | $B_{tek}$ |
| Kuvars | 219 | 219 | 223 | 198 | 206 | 202 |
| Kuvars | 198 | 210 | 215 | 170 | 190 | 178 |
| Muskovit | 89 | 12 | 36 | 154 | 146 | 101 |
| Muskovit | 235 | 146 | 134 | 215 | 239 | 206 |
| Biyotit | 101 | 61 | 36 | 57 | 28 | 36 |
| Biyotit | 93 | 57 | 49 | 40 | 20 | 28 |
| Klorit | 65 | 134 | 53 | 20 | 32 | 32 |
| Klorit | 85 | 154 | 77 | 32 | 53 | 53 |
| Opak | 4 | 8 | 20 | 4 | 4 | 8 |
| Opak | 8 | 8 | 16 | 8 | 8 | 16 |




Şekil 7.5 Renk uzaylarında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisi

Tablo 7.3 Renk uzaylarında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisine ait parametre değerleri

| Parametre | Değeri |
|---|---|
| ÇKYSA mimarisi | 3 katmanlı (giriş – gizli katman- çıkış) |
| Gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonu | Tanjant sigmoid |
| Çıkış katmandaki aktivasyon fonksiyonu | Logaritmik sigmoid |
| Momentum katsayısı | 0,8 |
| Öğrenme katsayısı | 0,1 |
| Kullanılan araç | Matlab 7.0.4, Neural Network Toolbox |
| Giriş parametre ölçeği | [-1, 1] |
| Çıkış parametre ölçeği | [0, 1] |
| Gizli katman nöron sayısı | 10: 5: 150 |
| İterasyon sayısı | 1000: 1000: 10000 |

Eğitme işleminde ÇKYSA'nın sonuçlarının daha güvenilir olması için eğitme setine 5-fold çapraz doğrulama (cross validation) uygulanmıştır (François, 2007). Çapraz doğrulamada veri seti *k* adet alt kümeye bölünmektedir. Bu alt kümelerden bir tanesi doğrulama için, geri kalan *k-1* adet alt küme ise eğitme için kullanılmaktadır. Çapraz doğrulamada eğitme – doğrulama işlemi *k* defa tekrarlanmakta ve her tekrara **fold** denilmektedir. Sonuç olarak *k* adet işlemin ortalaması alınarak, başarı hesaplanmaktadır (Diamantidis ve ark., 2000).

Yapılan çalışmada eğitme işleminde ÇKYSA'nın daha güvenilir olması için 5-fold çapraz doğrulama uygulanmıştır. 5-fold'un ortalaması o iterasyon için eğitme sonucu olarak alınmıştır. Eğitme ve doğrulama için o iterasyonun ne kadar iyi sonuç verdiği yüzde hata değerine göre değerlendirilmiştir (Denklem 7.1).

$$\%\text{Hata} = \left( \frac{\sum_{z=1}^{k} \sum_{i=1}^{h} \left| d(z,i) - a(z,i) \right|}{m * n * k} \right) * 100 \qquad (7.1)$$

Burada; z'inci alt küme için, d(z,i) ÇKYSA için beklenen çıkış değeri, a(z,i) ÇKYSA'nın verdiği çıkış değeri, n eğitme ya da test için örnek sayısı, m eğitme ya da test için özellik sayısı, h ÇKYSA çıkış sayısı ve k fold sayısıdır. En küçük hatayı bulmaya ek olarak, ayrıca r-kare korelasyon değerine de bakılmıştır (Denklem 7.2). Böylece en iyi ÇKYSA mimarisine karar verilmiştir (Tablo 7.4)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left( x_i - \bar{x} \right) \left( y_i - \bar{y} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left( x_i - \bar{x} \right)^2 \sum_{i=1}^{n} \left( y_i - \bar{y} \right)^2}}; \quad -1 \le r \le +1 \qquad (7.2)$$

$$RSQ = r^2$$

Burada; n toplam eleman sayısı, $x_i$ ve $y_i$ i'inci eleman ve $\bar{x}, \bar{y}$ ise tüm x ve y'lerin ortalamasıdır.

Tablo 7.4 RGB renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi

| En iyi ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme hatası (mse) | Korelasyon ($r^2$) |
|---|---|---|---|
| 6 x 85 x 5 | 4000 | 0,0042 | 0,98 |

ÇKYSA'nda test işlemi yapabilmek için elde edilen 22 adet görüntünün her birindeki tüm piksellerin hem çift nikolde, hem de tek nikolde R, G, B değerleri okunarak her görüntü için test veri seti oluşturulmuştur. Böylelikler her görüntü için;

$$450 \times 370 = 166500$$

adet test edilecek piksel değeri elde edilmiştir.

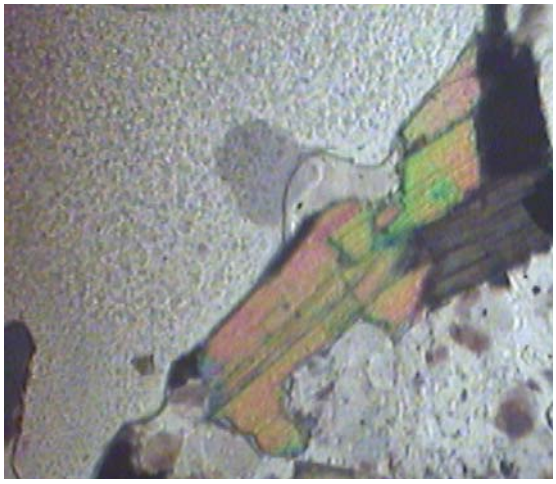
Test işleminde her görüntü için test veri seti ÇKYSA'na verilerek, piksellerin tek tek bir mineral grubuna atanarak etiketlenmesi yapılmıştır. Bunun için ÇKYSA çıkışında bir son işlem uygulanmıştır. Son işlemde ÇKYSA'nın bir seferde verdiği 5 adet çıkıştan en büyük olanı "1", diğerleri "0" yapılmıştır (Denklem 7.3). Böylelikle her seferde çıkış değerlerinden yalnız bir tanesi bir mineral olarak etiketlenmiştir.

$$y_p(n) = \begin{cases} 1 & \text{eger } y_j = \max(y_T) \\ 0 & \text{degilse} \end{cases} \qquad (7.3)$$

Burada $y_p$ sonuç çıkış değeri, $y_j$ ÇKYSA'nın j. çıkışı (j=1…5) ve $y_T$ bir seferdeki 5 adet ÇKYSA çıkış değerleridir. Sonuç olarak her giriş görüntüsü için etiketlenmiş bir sonuç görüntüsü elde edilmiştir. Bu sonuçların orijinal görüntülere benzerliği ve minerallerin doğru yerde bulunup bulunmadığı uzman tarafından kontrol edilmiştir (Şekil 7.6). Elde edilen sonuç görüntülerde her mineralin görüntülerde doğru olarak bulunma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 7.5).

Tablo 7.5 RGB renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar

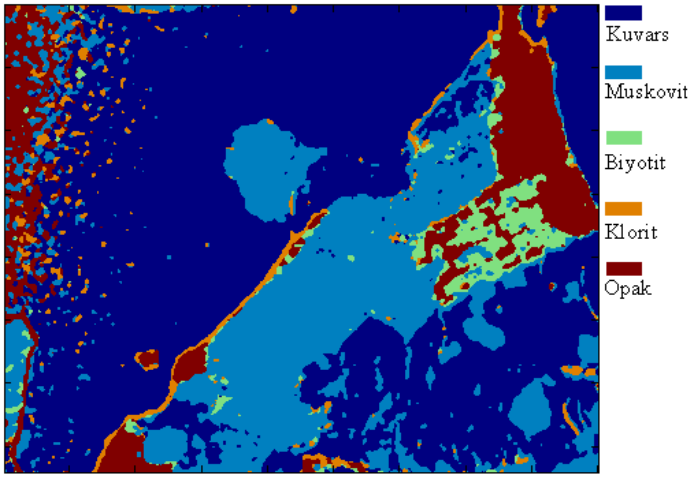
| | Toplam piksel sayısı | RGB renk uzayındaki başarı oranı (%) |
|---|---|---|
| Kuvars | 1721610 | 81,55 |
| Muskovit | 1355310 | 84,69 |
| Biyotit | 36630 | 98,11 |
| Klorit | 476190 | 89,58 |
| Opak | 73260 | 93,70 |
| Ortalama başarı (%) | | 89,53 |



(a) Çift nikol görüntü örneği



(b) Tek nikol görüntü örneği




(c) RGB renk uzayında etiketlenme yapılmış sonuç resmi örneği

Şekil 7.6 RGB renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği

RGB renk uzayı cihaz bağımlı olduğundan, insan renk algılama sistemine benzer cevaplar veremeyebilmektedir. Bu nedenle görüntüleri insan renk algılama sistemine daha yakın olan HSV renk uzayında döndürerek, aynı çalışmayı tekrar yapıp, sonuçları karşılaştırdık.

RGB renk uzayında kullanılan aynı koordinattaki 325 adet pikselin HSV renk uzayındaki değerleri alınarak eğitme veri seti hazırlanmıştır (Tablo 7.6). RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüştürme işlemi Matlab 7.4.0'da (R2007) Image Processing Toolbox kullanarak rgb2hsv Matlab komut işlevi ile yapılmıştır. Bu dönüşümde [0, 255] arasında R, G, B değeri alan pikseller, [0, 1] arasında H, S, V değerleri almaktadırlar. 0'dan 1'e doğru; H değerleri kırmızı-sarı-yeşil-cyan-mavi-magenta-kırmızı sırasında soldan sağa doğru renk tonlarında; S değeri düşük doygunluk yani soluk renklerden yüksek doygunluğa yani canlı renklere ve V değeri ise karanlık yani siyah renklerden parlak renklere yani beyaza kadar değer vermektedir.

Tablo 7.6 ÇKYSA eğitmesi için minerallere ait HSV piksel değerleri örnekleri

| | Çift Nikol | | | Tek nikol | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_{çift}$ | $S_{çift}$ | $V_{çift}$ | $H_{tek}$ | $S_{tek}$ | $V_{tek}$ |
| Kuvars | 0,66667 | 0,01794 | 0,87451 | 0,41667 | 0,03884 | 0,80784 |
| Kuvars | 0,54902 | 0,07907 | 0,84314 | 0,40000 | 0,10526 | 0,74510 |
| Muskovit | 0,94805 | 0,86517 | 0,34902 | 0,14151 | 0,34416 | 0,60392 |
| Muskovit | 0,01980 | 0,42979 | 0,92157 | 0,28788 | 0,13808 | 0,93725 |
| Biyotit | 0,06410 | 0,64356 | 0,39608 | 0,95402 | 0,50877 | 0,22353 |
| Biyotit | 0,03030 | 0,47312 | 0,36471 | 0,93333 | 0,50000 | 0,15686 |
| Klorit | 0,30864 | 0,60448 | 0,52549 | 0,50000 | 0,37500 | 0,12549 |
| Klorit | 0,31602 | 0,50000 | 0,60392 | 0,50000 | 0,39623 | 0,20784 |
| Opak | 0,62500 | 0,80000 | 0,078431 | 0,66667 | 0,50000 | 0,031373 |
| Opak | 0,66667 | 0,50000 | 0,062745 | 0,66667 | 0,50000 | 0,062745 |

HSV renk uzayında da minerallerin etiketlenmesi için sınıflandırıcı olarak Matlab 7.4.0 (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak Şekil 7.5'de verilen 6 girişli ve 5 çıkışlı, ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı

ÇKYSA mimarisi kullanılmıştır. HSV renk uzayında mineral etiketleme için $H_{çift}$, $S_{çift}$, $H_{tek}$, $S_{tek}$, $V_{tek}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş verisi kullanılmıştır. Çıkış olarak ise 5 farklı mineral için 5 çıkış vardır. HSV renk uzayında da, Tablo 7.3'de verilen RGB renk uzayındaki ÇKYSA'nın parametre değerleri kullanılmıştır. 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak yapılan eğitme işlemi sonucunda en küçük eğitme hatasına sahip en iyi ÇKYSA mimarisine karar verilmiştir (Tablo 7.7)

Tablo 7.7 HSV renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi

| En iyi ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme hatası (mse) | Korelasyon ($r^2$) |
|---|---|---|---|
| 6 x 135 x 5 | 5000 | 0,0049 | 0,91 |

HSV renk uzayında test işlemi için dijital görüntülerdeki tüm piksellerin hem çift nikolde, hem de tek nikolde H, S, V değerleri okunarak, her biri 166500 adet pikselden oluşan 22 adet görüntüye ait test veri seti oluşturulmuştur. Test işleminde ÇKYSA'nın çıkışında en büyük değere sahip olan çıkış "1", diğer çıkışlar "0" yapılmıştır. Böylelikle her seferde çıkış değerlerinden yalnız bir tanesi bir mineral olarak etiketlenerek, her giriş görüntüsü için etiketlenmiş bir sonuç görüntüsü elde edilmiştir. Bu sonuçların orijinal görüntülere benzerliği ve minerallerin doğru yerde bulunup bulunmadığı uzman tarafından kontrol edilmiştir (Şekil 7.7). Elde edilen sonuç görüntülerde her mineralin görüntülerde doğru olarak bulunma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 7.8).

Tablo 7.8 HSV renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar

| | Toplam piksel sayısı | HSV renk uzayındaki başarı oranı (%) |
|---|---|---|
| Kuvars | 1721610 | 82,33 |
| Muskovit | 1355310 | 85,06 |
| Biyotit | 36630 | 89,78 |
| Klorit | 476190 | 84,97 |
| Opak | 73260 | 95,36 |
| Ortalama başarı (%) | | 87,5 |

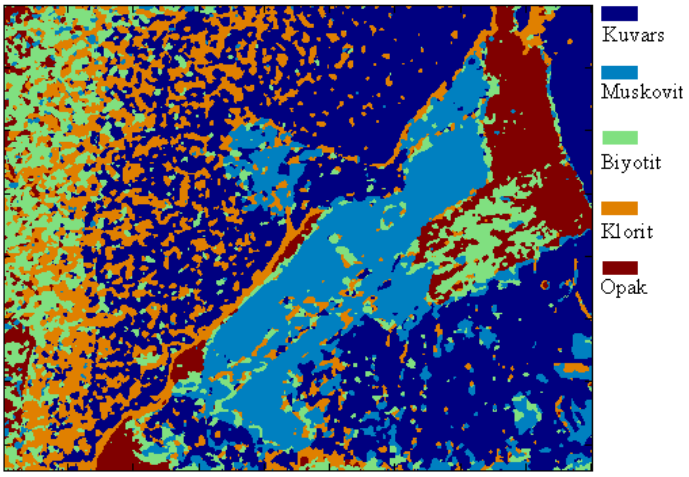
Hem RGB hem de HSV renk uzaylarında ayrı ayrı mineral etiketleme işlemlerinden sonra, ÇKYSA için her 2 renk uzayından gelen piksel değerlerini birlikte kullanarak, mineral etiketleme analizi tekrar yapılmıştır. Böylelikle her 2 renk uzayından gelen veriler ile renk uzaylarının hatalı sonuç veren noktalarının yok edilmesi amaçlanmıştır. Aynı koordinattan alınan 325 adet pikselin RGB ve HSV piksel değerlerini birlikte kullanılarak eğitme veri seti hazırlanmıştır.



(a) Çift nikol görüntü örneği



(b) Tek nikol görüntü örneği

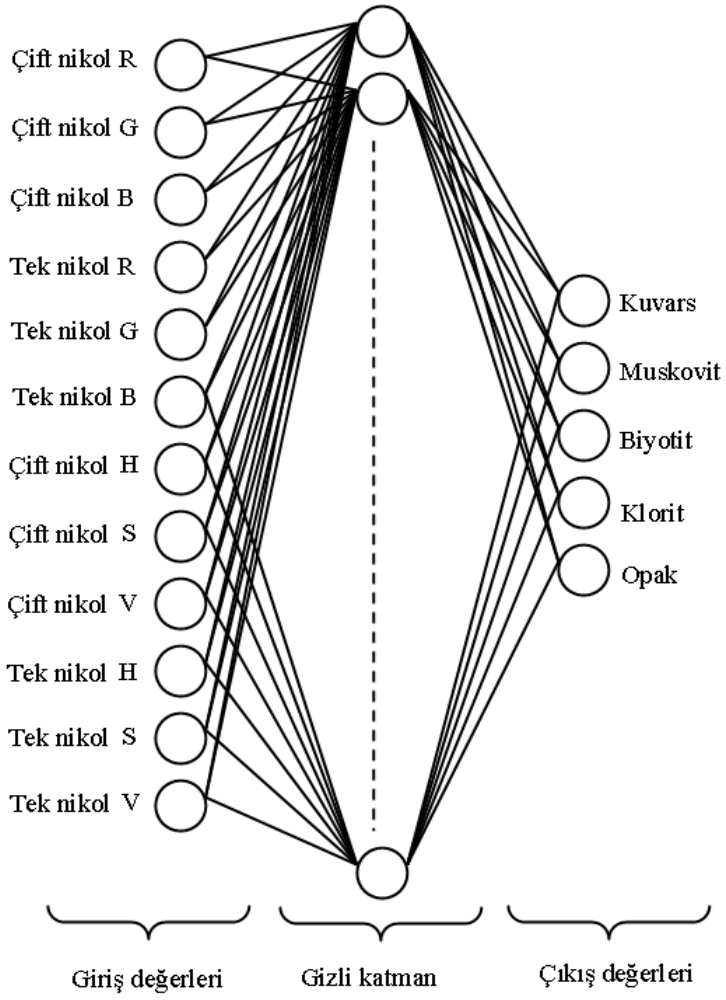



(c) HSV renk uzayında etiketlenme yapılmış sonuç resmi örneği

Şekil 7.7 HSV renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği

RGB ve HSV renk uzaylarına ait piksel değerlerinin birlikte giriş olarak kullanıldığı mineral etiketleme analizinde de sınıflandırıcı olarak Matlab 7.4.0

(R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak Şekil 7.8'de verilen 12 girişli ve 5 çıkışlı, ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA mimarisi kullanılmıştır. RGB renk uzayından gelen 6 adet $R_{çift}$, $G_{çift}$, $B_{çift,}$ $R_{tek}$, $G_{tek}$, $B_{tek}$ ve HSV renk uzayından gelen 6 adet $H_{çift}$, $S_{çift}$, $V_{çift}$, $H_{tek}$, $S_{tek}$, $V_{tek}$ piksel değerleri birlikte kullanılarak 12 adet giriş verisi kullanılmıştır. Çıkış olarak ise 5 farklı mineral için 5 çıkış vardır. ÇKYSA için Tablo 7.3'de verilen RGB renk uzayındaki ÇKYSA'nın parametre değerleri kullanılmıştır. 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak yapılan eğitme işlemi sonucunda en küçük eğitme hatasına sahip en iyi ÇKYSA mimarisine karar verilmiştir (Tablo 7.9)




Şekil 7.8 RGB + HSV renk uzayında mineral etiketleme için kullanılan ÇKYSA mimarisi

Tablo 7.9 RGB + HSV renk uzayları birlikte kullanıldığında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi

| En iyi ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme hatası (mse) | Korelasyon ($r^2$) |
|---|---|---|---|
| 12 x 30 x 5 | 5000 | 0,0018 | 0,93 |

Test işlemi için dijital görüntülerdeki tüm piksellerin hem RGB, hem de HSV değerleri okunarak, her biri 166500 adet pikselden oluşan 22 adet görüntüye ait test veri seti oluşturulmuştur. Test işleminde ÇKYSA'nın çıkışında en büyük değere sahip olan çıkış "1", diğer çıkışlar "0" yapılmıştır. Böylelikle her seferde çıkış değerlerinden yalnız bir tanesi bir mineral olarak etiketlenerek, her giriş görüntüsü için etiketlenmiş bir sonuç görüntüsü elde edilmiştir. Bu sonuçların orijinal görüntülere benzerliği ve minerallerin doğru yerde bulunup bulunmadığı uzman tarafından kontrol edilmiştir (Şekil 7.9). Elde edilen sonuç görüntülerde her mineralin görüntülerde doğru olarak bulunma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 7.10).

Tablo 7.10 RGB + HSV renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar

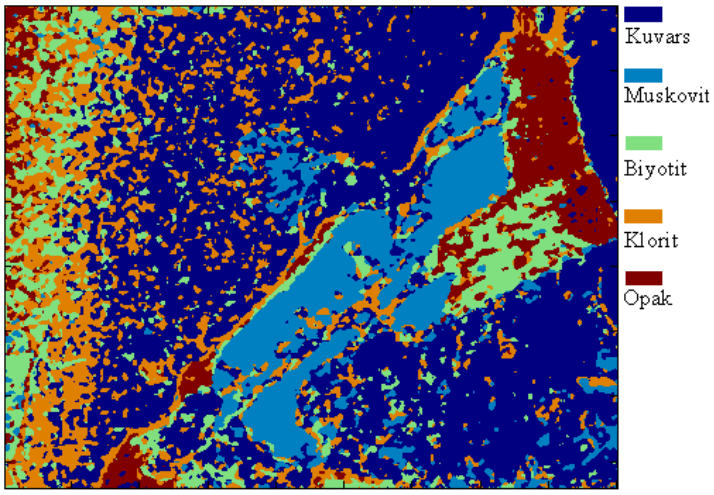
| | Toplam piksel sayısı | RGB + HSV renk uzayındaki başarı oranı (%) |
|---|---|---|
| Kuvars | 1721610 | 84,78 |
| Muskovit | 1355310 | 81,41 |
| Biyotit | 36630 | 89,79 |
| Klorit | 476190 | 86,34 |
| Opak | 73260 | 94,95 |
| Ortalama başarı (%) | | 87,45 |



(a) Çift nikol görüntü örneği



(b) Tek nikol görüntü örneği




(c) RGB + HSV renk uzayında etiketlenme yapılmış sonuç resmi örneği

Şekil 7.9 RGB + HSV analizinde ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği

RGB ve HSV renk uzaylarından sonra mineral etiketleme için son olarak cihaz bağımsız olan $L^*a^*b^*$ renk uzayında da analizler tekrarlanmış ve 3 renk uzayına ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. RGB ve HSV renk uzaylarında kullanılan aynı koordinattaki 325 adet pikselin Lab renk uzayındaki değerleri alınarak eğitme veri seti hazırlanmıştır (Tablo 7.11). RGB renk uzayından Lab renk uzayına dönüştürme işlemi Matlab 7.4.0'da (R2007) Image Processing Toolbox kullanarak makecform(srgb2lab) Matlab komut işlevi ile yapılmıştır.

$L^*a^*b^*$ renk uzayında da minerallerin etiketlenmesi için sınıflandırıcı olarak Matlab 7.4.0 (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak Şekil 7.5'de verilen 6 girişli ve 5 çıkışlı, ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA mimarisi kullanılmıştır. $L^*a^*b^*$ renk uzayında mineral etiketleme için, giriş katmanında çift nikolden gelen 3 adet $L_{çift}$, $a_{çift}$, $b_{çift}$ ve tek nikolden gelen 3 adet $L_{tek}$, $a_{tek}$, $b_{tek}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş verisi kullanılmıştır. Çıkış olarak ise 5 farklı mineral için 5 çıkış vardır. $L^*a^*b^*$ renk uzayında da, Tablo 7.3'de verilen RGB renk uzayındaki ÇKYSA'nın parametre değerleri kullanılmıştır. 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak yapılan eğitme işlemi sonucunda en küçük eğitme hatasına sahip en iyi ÇKYSA mimarisine karar verilmiştir (Tablo 7.12)

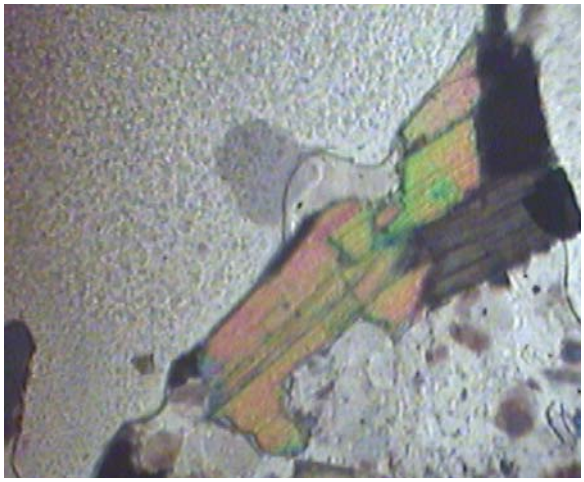
Tablo 7.11 Çift ve tek nikolde minerallere ait $L^*a^*b^*$ piksel değerleri örnekleri

| | Çift Nikol | | | Tek nikol | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $L_{çift}$ | $a_{çift}$ | $b_{çift}$ | $L_{tek}$ | $a_{tek}$ | $b_{tek}$ |
| Kuvars | 94,31 | 0,33 | -0,92 | 91,68 | -1,70 | 0,49 |
| Kuvars | 92,96 | -2,80 | -0,97 | 88,26 | -4,38 | 0,81 |
| Muskovit | 40,90 | 45,12 | -4,37 | 79,98 | -3,39 | 15,81 |
| Muskovit | 84,14 | 15,47 | 10,02 | 96,32 | -6,49 | 6,26 |
| Biyotit | 58,55 | 9,09 | 20,77 | 43,69 | 17,01 | -0,73 |
| Biyotit | 51,97 | -12,41 | 1,32 | 37,36 | 15,50 | -2,99 |
| Klorit | 72,56 | -30,12 | 27,81 | 40,48 | -7,55 | -2,51 |
| Klorit | 77,48 | -26,68 | 2,11 | 50,72 | -9,48 | -3,14 |
| Opak | 21,44 | 5,70 | -13,19 | 21,44 | 5,70 | -13,19 |
| Opak | 20,60 | 3,38 | -20,14 | 13,72 | 4,52 | -10,46 |

Tablo 7.12 $L^*a^*b^*$ renk uzayında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi

| En iyi ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme hatası (mse) | Korelasyon ($r^2$) |
|---|---|---|---|
| 6 x 16 x 5 | 2000 | 0,01 | 0,94 |

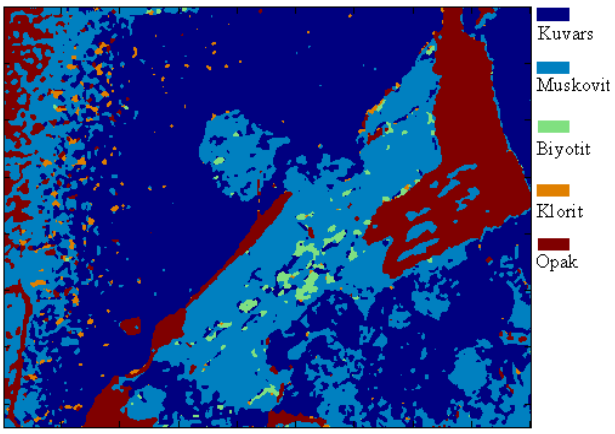
$L^*a^*b^*$ renk uzayında test işlemi için dijital görüntülerdeki tüm piksellerin hem çift nikolde, hem de tek nikolde L, a, b değerleri okunarak, her biri 166500 adet pikselden oluşan 22 adet görüntüye ait test veri seti oluşturulmuştur. Test işleminde ÇKYSA'nın çıkışında en büyük değere sahip olan çıkış "1", diğer çıkışlar "0" yapılmıştır. Böylelikle her seferde çıkış değerlerinden yalnız bir tanesi bir mineral olarak etiketlenerek, her giriş görüntüsü için etiketlenmiş bir sonuç görüntüsü elde edilmiştir. Bu sonuçların orijinal görüntülere benzerliği ve minerallerin doğru yerde bulunup bulunmadığı uzman tarafından kontrol edilmiştir (Şekil 7.10). Elde edilen sonuç görüntülerde her mineralin görüntülerde doğru olarak bulunma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 7.13).



(a) Çift nikol görüntü örneği



(b) Tek nikol görüntü örneği



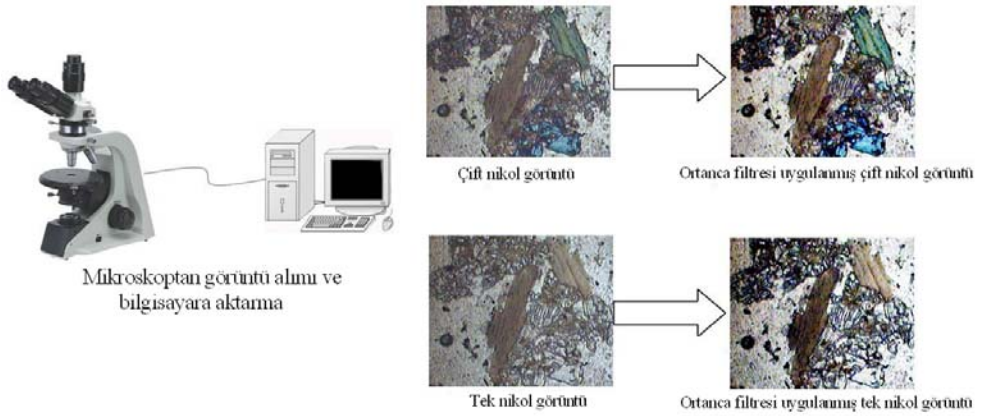

(c) $L^*a^*b^*$ renk uzayında etiketlenme yapılmış sonuç resmi örneği

Şekil 7.10 $L^*a^*b^*$ renk uzayında ÇKYSA ile mineral etiketlenmiş görüntü örneği

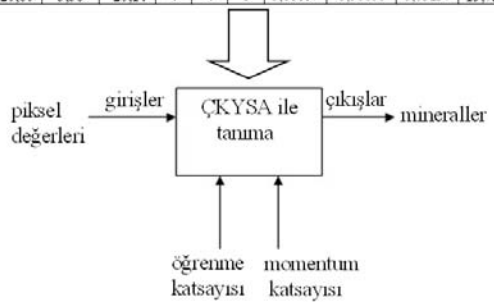
Tablo 7.13 $L^*a^*b^*$ renk uzayında mineral etiketlemedeki başarılar

| | Toplam piksel sayısı | RGB + HSV renk uzayındaki başarı oranı (%) |
|---|---|---|
| Kuvars | 1721610 | 83,8 |
| Muskovit | 1355310 | 85,44 |
| Biyotit | 36630 | 95,17 |
| Klorit | 476190 | 91,11 |
| Opak | 73260 | 92,42 |
| Ortalama başarı (%) | | 89,59 |

Mineral etiketleme ve sınıflandırma için yapılan analizlerin temel olarak akış diyagramı Şekil 7.11'de gösterilmiştir.




| Mineral | Çift nikol görüntü | | | | | | | | | Tek nikol görüntü | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R | G | B | H | S | V | L | a | b | R | G | B | H | S | V | L | a | b |
| Kuvars | 219 | 219 | 223 | 0,66667 | 0,017937 | 0,87451 | 94,31 | 0,33 | -0,92 | 198 | 206 | 202 | 0,41667 | 0,038835 | 0,80784 | 91,68 | -1,70 | 0,49 |
| Kuvars | 198 | 215 | 215 | 0,5 | 0,07907 | 0,84314 | 92,96 | -2,80 | -0,97 | 170 | 190 | 182 | 0,43333 | 0,10526 | 0,74510 | 88,26 | -4,38 | 0,81 |
| Kuvars | 227 | 239 | 243 | 0,54167 | 0,06584 | 0,95294 | 97,16 | -1,50 | -1,51 | 210 | 227 | 215 | 0,38235 | 0,07489 | 0,89020 | 94,84 | -3,73 | 1,81 |
| Muskovit | 89 | 12 | 36 | 0,94805 | 0,86517 | 0,34902 | 40,90 | 45,12 | -4,37 | 154 | 146 | 101 | 0,14151 | 0,34416 | 0,60392 | 79,98 | -3,39 | 15,81 |
| Muskovit | 235 | 146 | 134 | 0,01980 | 0,42979 | 0,92157 | 84,14 | 15,47 | 10,02 | 215 | 239 | 206 | 0,28788 | 0,13808 | 0,93725 | 96,32 | -6,49 | 6,26 |
| Muskovit | 174 | 97 | 64 | 0,04893 | 0,62644 | 0,68235 | 71,91 | 14,41 | 21,85 | 125 | 125 | 117 | 0,16667 | 0,06400 | 0,49020 | 75,32 | -0,99 | 2,74 |
| Biyotit | 101 | 61 | 36 | 0,06410 | 0,64356 | 0,39608 | 58,55 | 9,09 | 20,77 | 57 | 28 | 36 | 0,95402 | 0,50877 | 0,22353 | 43,69 | 17,01 | -0,73 |
| Biyotit | 33 | 57 | 49 | 0,03030 | 0,47312 | 0,36471 | 51,97 | -12,41 | 1,32 | 40 | 20 | 28 | 0,93333 | 0,50000 | 0,15686 | 37,36 | 15,50 | -2,99 |
| Klorit | 65 | 134 | 53 | 0,30864 | 0,60448 | 0,52549 | 72,56 | -30,12 | 27,81 | 20 | 32 | 32 | 0,50000 | 0,37500 | 0,12549 | 40,48 | -7,55 | -2,51 |
| Klorit | 85 | 154 | 73 | 0,30864 | 0,52597 | 0,60392 | 77,48 | -26,68 | 2,11 | 32 | 53 | 53 | 0,50000 | 0,39623 | 0,20784 | 50,72 | -9,48 | -3,14 |
| Opak | 8 | 8 | 16 | 0,66667 | 0,50000 | 0,06275 | 21,44 | 5,70 | -13,19 | 8 | 8 | 16 | 0,66667 | 0,50000 | 0,06275 | 21,44 | 5,70 | -13,19 |
| Opak | 4 | 8 | 20 | 0,62500 | 0,80000 | 0,07843 | 20,60 | 3,38 | -20,14 | 4 | 4 | 8 | 0,66667 | 0,50000 | 0,03137 | 13,72 | 4,52 | -10,46 |




Şekil 7.11 Etiketleme ve sınıflandırma uygulamalarının akış diyagramı

### 7.3. Mineral Sınıflandırma

Mineral etiketleme uygulamasında elde edilen sonuçlarda en iyi sonucun RGB renk uzayında olduğu görüldükten sonra, bu renk uzayındaki verilerin sayısı arttırılarak, mineral sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Bölüm 7.1'de anlatılan önişlemden geçirilmiş RGB formatındaki görüntülerden elde edilen veri ile ÇKYSA kullanılarak mineral sınıflandırma yapılmıştır.

RGB formatında alınan hem çift nikol hem de tek nikol dijital görüntülerden mineral sınıflandırma için, 5 ayrı minerale ait farklı sayıda RGB piksel değerleri, her resimden ayrı ayrı alınarak ÇKYSA için veri seti oluşturulmuştur. Sınıflandırma analizi için görüntülerden alınan minerallere ait piksel sayıları Tablo 7.14'de gösterilmiştir. Toplamda beş minerale ait 400 adet piksel değeri sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

Tablo 7.14 400 adet veri için minerallere ait piksel sayıları

| Mineral | Piksel sayısı |
|---|---|
| Kuvars | 110 |
| Muskovit | 110 |
| Biyotit | 60 |
| Klorit | 60 |
| Opak | 60 |

Mineral sınıflandırmada sınıflandırıcı olarak Matlab 7.4.0'da (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak; Şekil 7.5'de verilen ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA kullanılmıştır. RGB renk uzayında mineral etiketleme için, $R_{çift}$, $G_{çift}$, $B_{çift}$, $R_{tek}$, $G_{tek}$, $B_{tek}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş verisi kullanılmıştır. Çıkış olarak ise 5 farklı mineral için 5 çıkış vardır. Gizli katmandaki nöron sayısı 10 nörondan 200 nörona kadar 1'er arttırılarak, 1000 iterasyondan 10000 iterasyona kadar tüm iterasyonlarda eğitme ve test işlemleri yapılmıştır. Gizli katmandaki nöronlarda tanjant sigmoid, çıkış katmanındaki nöronlarda logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Momentum

katsayısı 0,8 ve öğrenme katsayısı 0,1 olarak seçilmiştir. Giriş ve çıkış verileri sırasıyla [-1, 1] ve [0, 1] arasında ölçeklendirilmiştir. ÇKYSA için kullanılan parametreler ve parametre değerleri Tablo 7.15'te verilen şekilde kullanılmıştır.

Tablo 7.15 Mineral sınıflandırma için kullanılan ÇKYSA mimarisine ait parametre değerleri

| Parametre | Değeri |
|---|---|
| ÇKYSA mimarisi | 3 katmanlı (giriş – gizli katman- çıkış) |
| Gizli katmandaki aktivasyon fonksiyonu | Tanjant sigmoid |
| Çıkış katmandaki aktivasyon fonksiyonu | Logaritmik sigmoid |
| Momentum katsayısı | 0,8 |
| Öğrenme katsayısı | 0,1 |
| Kullanılan araç | Matlab 7.0.4, Neural Network Toolbox |
| Giriş parametre ölçeği | [-1, 1] |
| Çıkış parametre ölçeği | [0, 1] |
| Gizli katman nöron sayısı | 10: 1: 200 |
| İterasyon sayısı | 1000: 1000: 10000 |

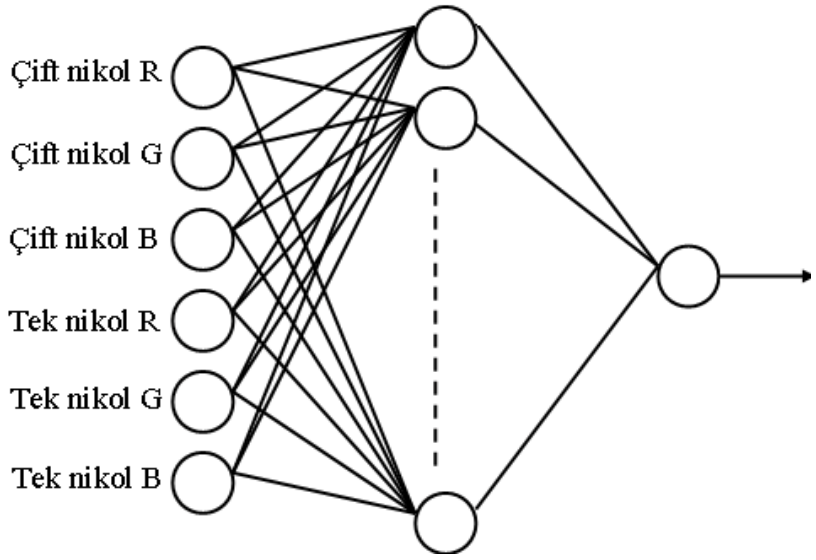
Mineral sınıflandırmada 400 adet veriye 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak eğitme ve test işlemi yapılmıştır. Bunun için 5-fold yapılarak 5 parçaya ayrılan 400 veride 4 fold yani 320 adet veri eğitme ve kalan fold yani 80 adet veri ise test işlemi için kullanılmıştır. Tüm ÇKYSA mimarilerinde eğitme ve test işlemi tekrarlandıktan sonra, en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarisi tespit edilmiştir (Tablo 7.16).

Tablo 7.16 5 çıkışlı mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları

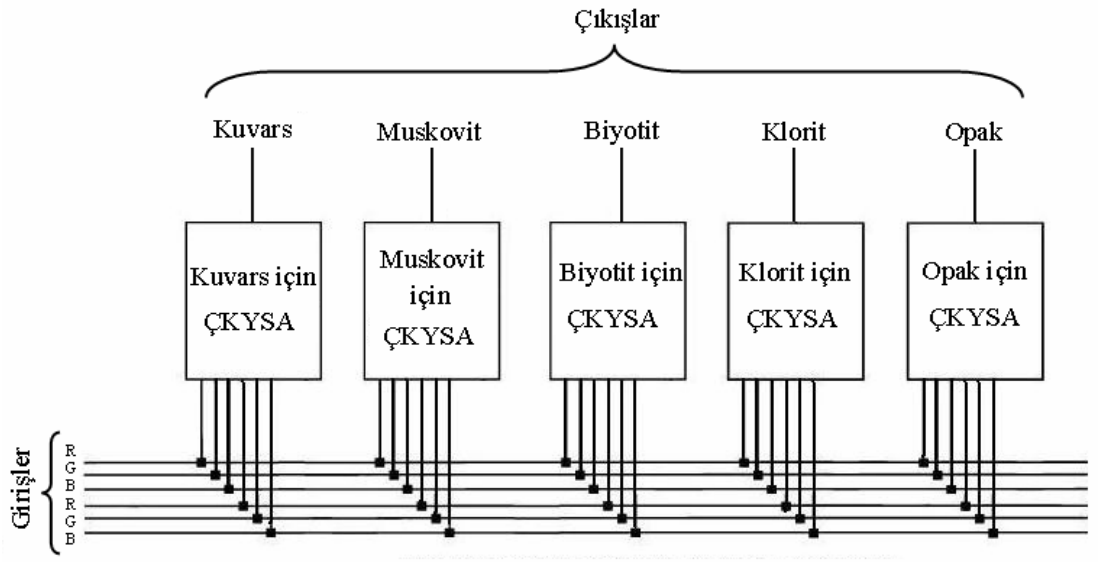
| ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme başarısı (%) | Eğitme korelasyon ($r^2$) | Test başarısı (%) | Test Korelasyon ($r^2$) | 5-fold toplam süre (dk) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 x 21 x 5 | 8000 | 97,93 | 0,9355 | 93,86 | 0,72 | 6,75 |

5 çıkışlı ÇKYSA ile yapılan mineral sınıflandırılmasından sonra 400 veriyi kullanarak paralel çalışan 5 ayrı ÇKYSA ile her mineralin ayrı ayrı sınıflandırılması yapılmıştır. Böylece her mineralin sınıflandırma başarıları tespit edilmiştir. Bunun için 6 girişli ve her mineral için tek çıkışı olan Şekil 7.12'deki ÇKYSA mimarisi kullanılmıştır.

Her mineral için ayrı ayrı kullanılan ÇKYSA için de Matlab 7.4.0'da (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak; Şekil 7.12'de verilen ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA kullanılmıştır. RGB renk uzayında yapılan mineral etiketlemede, her mineralin sınıflandırılması için $R_{çift}$, $G_{çift}$, $B_{çift}$, $R_{tek}$, $G_{tek}$, $B_{tek}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş kullanılmıştır. Çıkış olarak ise her mineral için 1 çıkış kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı 10 nörondan 200 nörona kadar 1'er arttırılarak, 1000 iterasyondan 10000 iterasyona kadar tüm iterasyonlarda eğitme ve test işlemi yapılmıştır. Gizli katmandaki nöronlarda tanjant sigmoid, çıkış katmanındaki nöronlarda logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Momentum ve öğrenme katsayıları sırasıyla 0,8 ve 0,1 olarak seçilmiştir. Giriş ve çıkış verileri sırasıyla [-1, 1] ve [0, 1] arasında ölçeklendirilmiştir. ÇKYSA için kullanılan parametreler ve parametre değerleri Tablo 7.15'de verilen şekilde kullanılmıştır. Paralel çalışan ÇKYSA mimarileri Şekil 7.13'te gösterilmiştir.




Şekil 7.12 Mineral sınıflandırmasında kullanılan tek çıkışlı ÇKYSA mimarisi




Şekil 7.13 Paralel çalışan ÇKYSA mimarileri

Minerallerin ayrı ayrı sınıflandırılmasında kullanılan paralel çalışan ÇKYSA'larına ait verilerde de 400 adet veriye 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak eğitme ve test işlemi yapılmıştır. Bunun için 5-fold yapılarak 5 parçaya ayrılan 400 veride 4 fold yani 320 adet veri eğitme ve kalan fold yani 80 adet veri ise test işlemi için kullanılmıştır. Tüm ÇKYSA mimarilerinde eğitme ve test işlemi tekrarlandıktan sonra en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarileri tespit edilmiştir (Tablo 7.17).

Tablo 7.17 Mineral sınıflandırmasında paralel çalışan ÇKYSA için sonuçlar

| | Kuvars | Muskovit | Biyotit | Klorit | Opak |
|---|---|---|---|---|---|
| ÇKYSA mimarisi | 6 x 196 x 1 | 6 x 13 x 1 | 6 x 66 x 1 | 6 x 86 x 1 | 6 x 21 x 1 |
| İterasyon sayısı | 8000 | 7000 | 9000 | 9000 | 3000 |
| Eğitme başarısı (%) | 98,4 | 99,69 | 98,18 | 98,86 | 98,34 |
| Eğitme korelasyon ($r^2$) | 0,94 | 0,98 | 0,94 | 0,94 | 0,93 |
| Test başarısı (%) | 90,67 | 96,16 | 93,91 | 92 | 97,62 |
| Test Korelasyon ($r^2$) | 0,61 | 0,84 | 0,71 | 0,51 | 0,87 |
| 5-fold toplam süre (dk) | 12,15 | 5,25 | 7,55 | 10,15 | 2,13 |

ÇKYSA'dan sonra LTKYSA ile de mineral sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma için bire karşı bir yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde *k(k-1)/2* adet sınıflandırıcı oluşturulacağı için, 5 mineral için;

$$5\ (5-1)\ /\ 2 = 10$$

adet sınıflandırıcı bulunmaktadır. Bu sınıflandırıcı çiftleri Tablo 7.18'de gösterilmiştir.

Tablo 7.18 Mineral sınıflandırmada kullanılan LTKYSA sınıflandırıcı çifleri

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| S1 | Kuvars – muskovit | | S6 | Muskovit – klorit |
| S2 | Kuvars – biyotit | | S7 | Muskovit – opak |
| S3 | Kuvars – klorit | | S8 | Biyotit – klorit |
| S4 | Kuvars – opak | | S9 | Biyotit – opak |
| S5 | Muskovit – biyotit | | S10 | Klorit - opak |

Matlab 7.4.0'da (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak; Şekil 6.6'da verilen yapıda LTKYSA kullanılmıştır. Eğitme işlemi için gradyant azaltma algoritması kullanılmıştır. LTKYSA çıkışı için oylama yöntemi kullanılmıştır. 2-fold çapraz doğrulama ile 250 tekrarlı sınıflandırma yaparak en iyi sonuç elde edilmiştir (Tablo 7.19).

Tablo 7.19 Mineral sınıflandırma için LTKYSA sonuçları

| Fold sayısı | İşlem sayısı | Sınıflandırma hatası (%) |
|---|---|---|
| 2 | 250 | 0,212 |

# 8. GELİŞTİRİLEN MİNERAL TANIMA SİSTEMİ

İnce kesitlerin polarizan mikroskop altında incelenmesinde hassas bir ölçüm yapılması çok önemlidir. Mikroskopta inceleme yaparken, net görüntü alabilmek için mikroskop tablasının aşağı yukarı hareketinin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Böylece incelenecek aparatın objektiflere uzaklığı ayarlanmış olur.

İnceleme esnasında ince kesitin mikroskop tablası üzerinde hareket ettirilmesi de özen gösterilmesi gereken bir noktadır. Elle kontrol edilen ince kesitin tüm alanı incelenememekte ve bazen incelenmesi gereken önemli bir alan gözden kaçırılmaktadır.

İnce kesitin mikroskop tablası üzerinde hareket ettirilmesinin yanında, mikroskop tablasının da döndürülerek farklı açılardan görüntü alınması gerekmektedir. Böylece hangi mineralin hangi açıda sönme açısına girdiği, hangi alanın hatalı sonuç verdiği ya da hangi minerallerin birbirleri arasına girişim yaptığı daha iyi anlaşılabilir. İnceleme tablasının hassas bir şekilde ve eşit adımlarda döndürülememesi incelemede hatalı sonuçlar verebilmektedir.

İnce kesitin kalınlığının değişmesinden dolayı, çift nikolde bazı mineraller Şekil 4.2'de gösterilen Michel Levy Renk Tablosu'na göre farklı renk değerleri alabilmektedirler. Tek nikolde ise, mineraller renksiz ya da birbirlerine çok benzer özellikte renk özellikleri gösterebilmektedirler. Bunun yanında inceleme sırasında mineraller sönme konumuna girebilmekte ve aslında renkli olması gerektiği yerde, tamamen ya da kısmen siyah renkte görünebilmektedirler. Bu sebeplerden dolayı mineral incelemede hem çift hem de tek nikolde mineral incelenmesi yapılmalıdır. Bunun için de ince kesitin incelenmesi sırasında analizör devreye alınıp – devre dışı bırakılmalı ve her 2 nikolde de görüntü alımı yapılmalıdır.

Bütün bu noktalardan hareketle tez kapsamında bu sorunları en aza indirmek için bilgisayar kontrollü, mikroskoba monte edilebilen bir otomatik mekanik sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar kontrollü sistem yardımıyla otomatik olarak ince kesit, mikroskop tablası üzerinde objektif altında X, Y, Z eksenlerinde hareket ettirilebilmekte, mikroskop tablası 1 derece hassasiyetle

döndürülebilmekte, analizör kontrolü yapılabilmekte ve yapılan işlemler Lcd ekranda gözlemlenebilmektedir. Bu işlemler için gerekli olan kontrol kartları tasarlanmış, ilgili kontrol birimi yazılımları ve bilgisayar programları yazılmıştır.

## 8.1. Tasarlanan Mekanik Sistemin Donanımı

Tez çalışması kapsamında Meiji marka MX9430 serisi, sabit kameralı trinoküler polarizan mikroskop alınmıştır (Şekil 8.1).




Şekil 8.1 Tez projesi kapsamında alınan Meiji MX9430 serisi mikroskop

Meiji marka MX9430 serisi mikroskoba ait özellikler Tablo 8.1'de verilmiştir.

Tablo 8.1 Meiji marka mikroskoba ait teknik özellikler

| Özellik | Değer |
|---|---|
| Başlık | Trinoküler (3 başlıklı) |
| Oküler | (Geniş çaplı, odaklamalı, çapraz çizgili) HWF 10X ve HWF 10XF |
| Objektifler | 4X, 10X, 40X |
| İnceleme tablası | Açı bölmeli, 360 derece dönebilen, dairesel, kilitlenebilen |
| Polarizör | Dönebilen |
| Analizör | Kayabilen sürgülü |
| Mercek | Kayabilen Bertrand mercek |
| Aydınlatma | Köhler tipi, 6V / 30W halojen ampul |
| Kondansatör | NA1.25 |

Polarizan mikroskop üzerinde sabit bir CCD renkli kamera bulunmaktadır (Şekil 8.2). Mikroskoba monte edilmiş olan, Mikrosistem firmasının ürettiği Kameram 590cu marka kameranın özellikleri Tablo 8.2'dedir (Mikrosistem, 2010).



Şekil 8.2 Meiji marka mikroskoba bağlı kamera

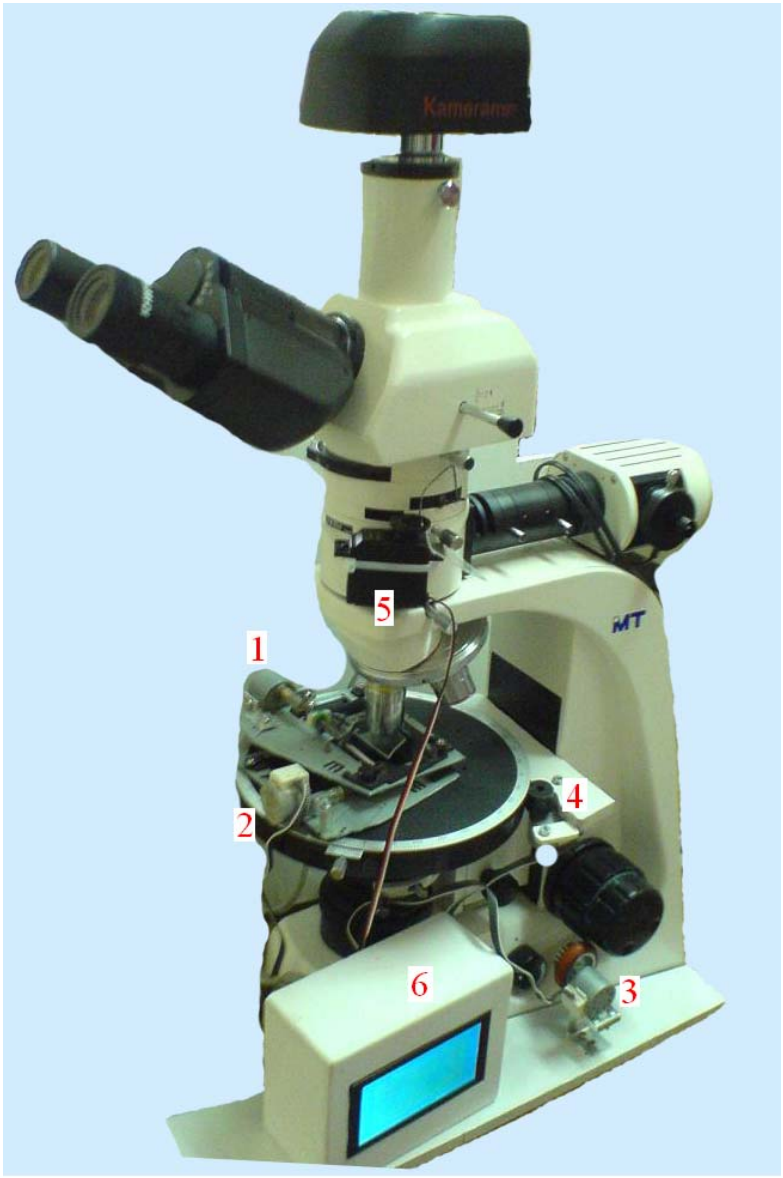
Meiji marka üst aydınlatma sistemine sahip sabit kameralı polarizan mikroskobu kullanarak incelemede kullanılacak bilgisayar kontrollü otomatik mekanik sistem tasarımı yapılmış ve mikroskoba monte edilmiştir (Şekil 8.3).

Tablo 8.2 Kameram 590cu marka CCD kameranın teknik özellikleri

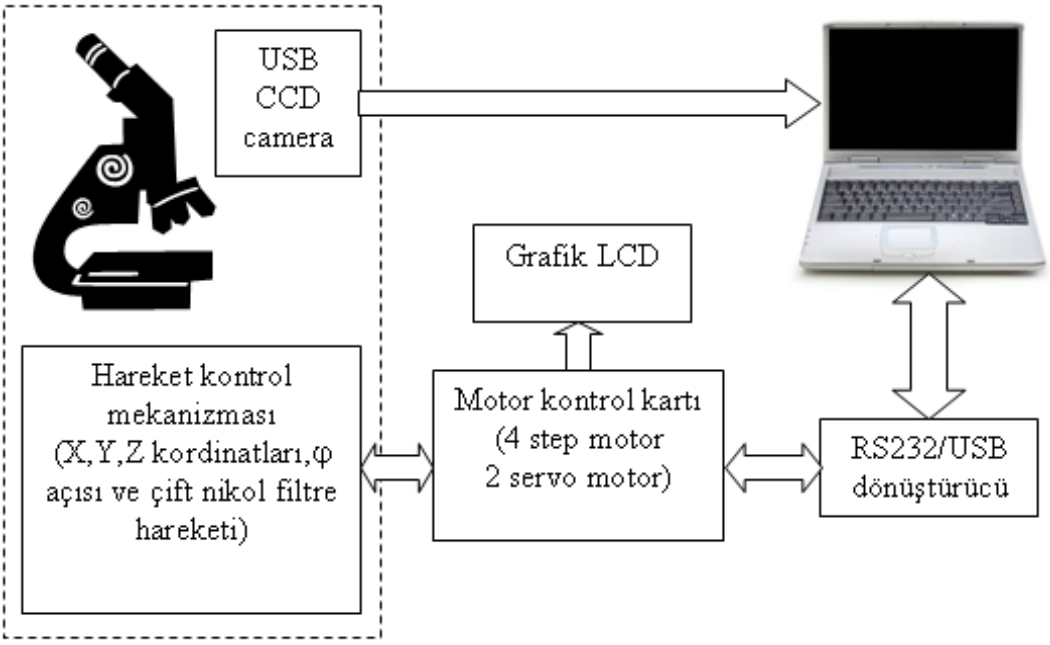
| Özellik | Değer |
|---|---|
| Maksimum çözünürlük | 5 megapiksel |
| Maksimum resim boyutu | 2592 x 1944 piksel |
| Sensör tipi | CCD renkli |
| Sensör boyutu | ½ inç |
| Piksel ölçüleri | 3,2 x 3,2 mikron |
| Efektif piksel | 2048 x 1536 piksel |
| Yakalama hızı | 21 fps |
| Mikroskop bağlantı arayüzü | c |
| Bit derinlik değeri | 3 x 8 bit |
| PC monitör ön izleme | 2048 x 1536 piksel |
| Oküler bağlantı aparatı | Opsiyonel |
| Harici kullanım | Yok |
| IR filtre | Var |
| PC bağlantısı | Usb 2.0 |
| İşletim sistemi uyumu | Win 2000 / XP |

Usb bağlantısıyla mikroskoba monte edilmiş CCD kameradan alınan görüntüler, bilgisayara aktarılmaktadır. Motorların kontrolü, bir motor kontrol kartı üzerindeki Pic18F4620 mikro denetleyici aracılığıyla yapılmaktadır. Bilgisayardan gelen komutlar, motor kontrol kartına RS232 / Usb dönüştürücü ile iletilmektedir. Motor kontrol kartı üzerinde toplam 6 adet motor sürücüsü bulunmaktadır. Tasarlanan mekanik sistemde 5 adet motor sürücüye bağlı 4 adet step motor, 1 adet servo motor bulunmaktadır. Mekanik sistem ayrıca objektiflerin hareket ettirilmesi için kullanılabilecek 1 adet servo motorun daha sisteme eklenmesine izin

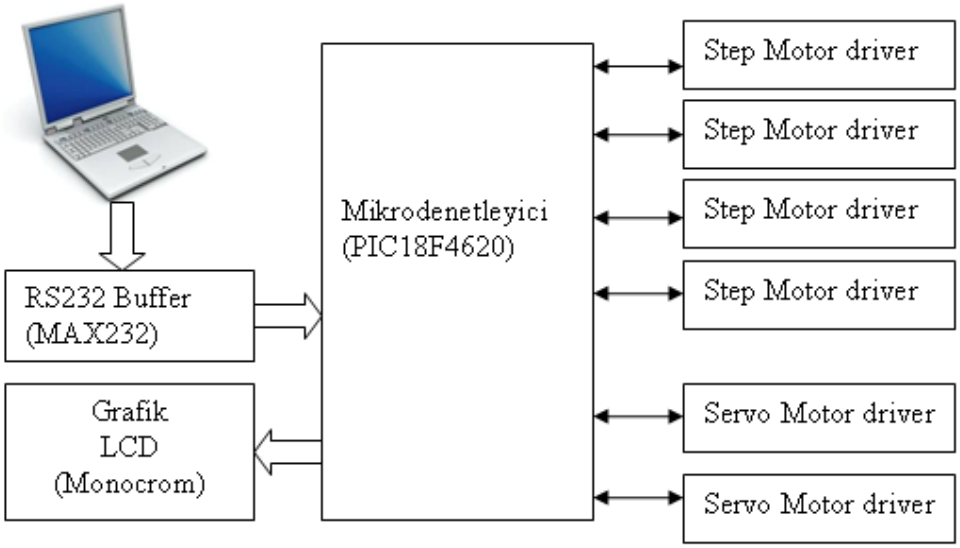
verebilmektedir. Sistemde bulunan LCD ekran, bilgisayardan gelen komutları, motorlarla ilgili bilgileri göstermek amacıyla kullanılmıştır. (Şekil 8.4, Şekil 8.5).




Şekil 8.3 Otomatik mekanik sistemin mikroskoba monte edilmiş hali

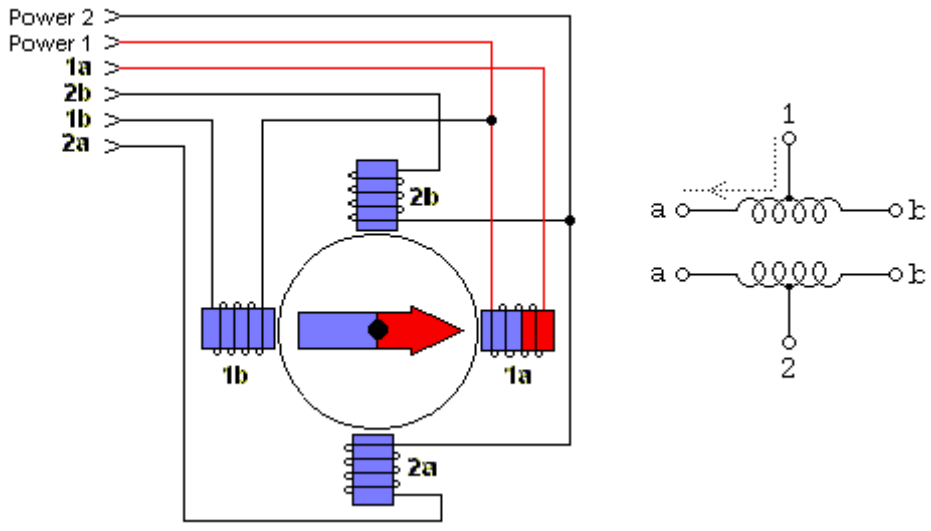



Şekil 8.4 Mekanik sistemin bağlantı şeması – 1




Şekil 8.5 Mekanik sistemin bağlantı şeması – 2

Step motorlar, motor milinin istenilen açılarda ve hassasiyette hareket edebilmesine imkân tanıyan motorlardır. Şafta bağlı sabit mıknatısa sahip döner kısım (rotor) ve belirli aralıklarla yerleştirilmiş elektromıknatıslara sahip sabit kısımdan (stator) oluşmaktadır. Statorda bulunan elektromıknatıslara belirli bir düzende enerji verilecek olursa, sabit mıknatıslı rotor dönmeye başlar. Her defasında motor belirli bir açı kadar döner ve bu durum bir **adım** olarak isimlendirilir. Step motorun bir tam devir yapması için gerekli adım sayısı rotorda kutup sayısına bağlıdır. Günümüzde 0,9 derece adım açılarına sahip step motorlar bulunmaktadır. Motor pozisyonu herhangi bir geri besleme mekanizması olmadan kontrol edilebilir. Step motorlar tek kutuplu ve çift kutuplu adım motorlar olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Step motorların dönüş yönleri programla değiştirilebilir. 4, 5, 6 kablolu step motorlar mevcuttur. Bu kablolar aracılığı ile step motorların dönüş yönü, dönüş miktarı ve hızı ayarlanabilir. Bir mikro denetleyici ile step motorların hareketini kontrol etmek için ULN2003 gibi sürücü devrelere ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 8.6, Şekil 8.7) (Tablo 8.3) (Şahin ve ark., 2006; www.robot.metu.edu.tr).




Şekil 8.6 Step motor – 1




Şekil 8.7 Step motor – 2

Tablo 8.3 Kullanılan step motor özellikleri

| Özellik | Değer |
|---|---|
| Model | 24BYJ48-AD3 |
| Faz | 4 |
| Çalışma voltajı | 12 V DC |
| Faz direnci | 300 ± 7 % Ω/faz |
| Adım açısı | 5,625 */ 64 |
| Redüktör oranı | 1 / 64 |
| Pull-in tork | ≥ 39,2 mN.M |
| Başlangıç torku | ≥ 21,6 mN.M |
| Sürtünme momenti | 78,4 – 196 mN.M |
| Pull-in frekansı | ≥ 600 Hz |
| Pull-out frekansı | ≥ 800 Hz |
| Yalıtım direnci | ≥ 10 M Ω |
| Maximum sıcaklık | ≤ 40 K |
| Gürültü | ≤ 35 dB (A) |

Bir DC motorun şaftının dişli sistemiyle bir potansiyometreye bağlanmasıyla servo motor oluşturulur. Servo sistemde yer alan kontrol devresi potansiyometreden elde edilen voltaj bilgisine göre motorun pozisyonu hakkında bilgi edinir ve gelen sinyale uygun olarak doğru pozisyona dönmeyi sağlar. Servo motorlara bağlantı

genellik 3 kablo ile gerçekleştirilir. Kablolardan ikisi motora gerekli enerjiyi sağlarken üçüncü kablo kontrol sinyalleri için kullanılır. Darbe kod modülasyonu yöntemiyle gerekli kontrol sinyalleri mikro denetleyiciden motora aktarılır. Mikro denetleyiciden aktarılan kontrol sinyalleri genellikle 20 ms'lik peryoda sahip olup, lojik 1 seviyesindeki sinyalin genişliği motorun dönme açısını belirler. Dönüş açıları 90 veya 180 derece olabilir (Şekil 8.8) (Şahin ve ark., 2006).



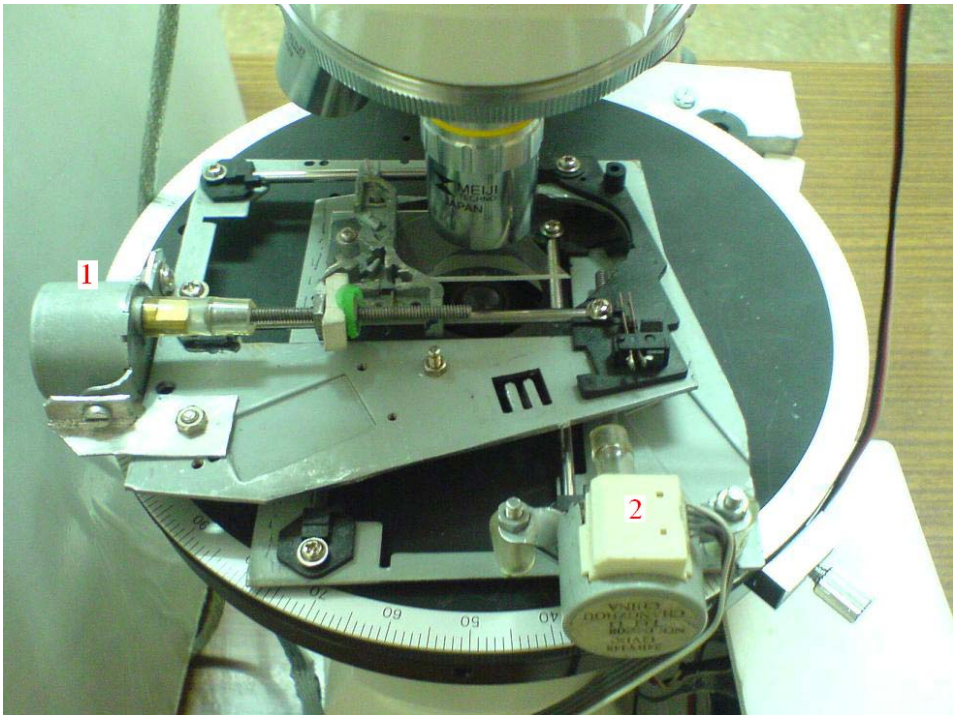
Şekil 8.8 Servo motor

Şekil 8.3'de gösterilen mekanik sistemde kullanılan 1 ve 2 numaralı motorlar, ince kesitin x ve y ekseninde istenilen adım sayısı kadar hareket ettirilmesi için kullanılan step motorlardır. (Şekil 8.9). 1 ve 2 numaralı motorların dönme hassasiyetleri Denklem 8.1'e göre hesaplanmıştır ve kullanılan redüktör ve sonsuz dişli sayesinde 0,183μm/adım'dır. Motor ve redüktörde oluşan boşluklar ise yazılım ile giderilmektedir.

$$\text{Hassasiyet} = \text{MHM} / (360° / \text{SMAA})$$

$$0{,}183\,\mu\text{m} = \frac{0{,}75\,\text{mm}}{360 \Big/ \frac{5{,}625}{64}} \tag{8.1}$$

Burada; MHM, mekanizma hareket miktarı olup 0,75 mm / tur ve SMAA ise step motor adım açısı olup 5,625 / 64'tür (Tablo 8.3).




Şekil 8.9 İnce kesitin hareketini kontrol eden step motorlar

Şekil 8.3'de gösterilen mekanik sistemde kullanılan 3 numaralı motor, mikroskop tablasını aşağı-yukarı yönde hassas bir şekilde hareket ettirmek için kullanılan step motordur. (Şekil 8.10). 3 numaralı motorun dönme hassasiyeti 32,226 nm/adım'dır ve Denklem 8.2'ye göre hesaplanmaktadır.

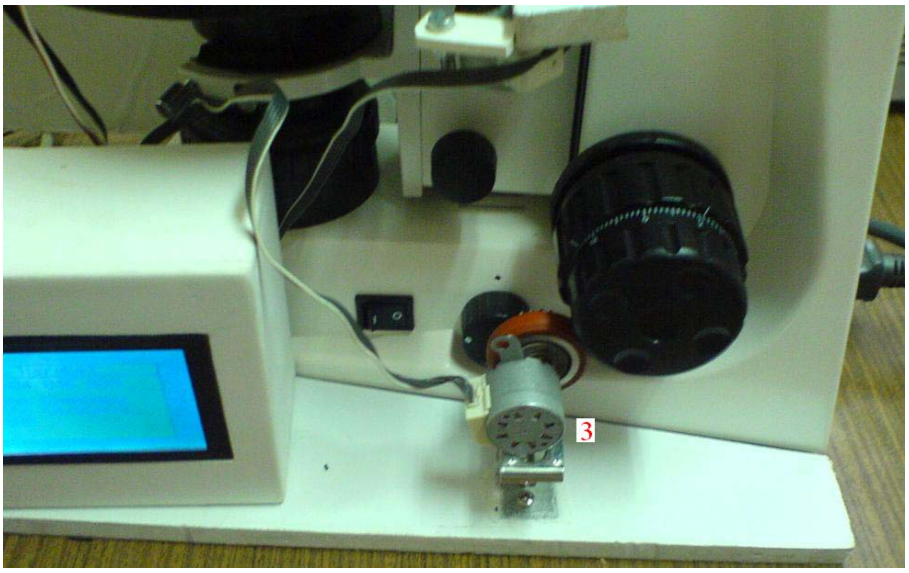
$$\text{Hassasiyet} = 1\text{ mm} / 5 \cdot (\text{YO}) \cdot (360° / \text{SMAA})$$

$$32{,}226\,\text{nm} = \frac{1\,\text{mm}}{5 \cdot \frac{5}{3{,}3} \cdot \frac{360}{5{,}625 / 64}} \qquad (8.2)$$

Burada; YO, yarıçap oranları ve SMAA ise step motor adım açısı olup 5,625 / 64'tür (Tablo 8.3). YO= $r_{tabla}$ / $r_{motor}$ 'dur. Yarıçap oranları $r_{tabla}$ = 5 cm ve $r_{motor}$ = 3,3 cm'dir.

Mekanik sistemde kullanılan 4 numaralı motor, mikroskop tablasını 0 – 360 derece arasında, ayarlanan hassasiyette döndürmek için kullanılan step motordur. 4 numaralı motorun dönme hassasiyeti 1 derecedir (Şekil 8.11). 5 numaralı motor, ince kesitin incelenmesi sırasında çift nikolde ve tek nikolde görüntü almak için

kullanılan analizörü kontrol eden servo motordur (Şekil 8.12). Mekanik sistemde kullanılan grafik Lcd ekran, bilgisayardan gönderilen komutları ve motorların adım sayısının göstermektedir (Şekil 8.13).




Şekil 8.10 Mikroskop tablasının aşağı-yukarı hareketini kontrol eden step motor




Şekil 8.11 Mikroskop tablasının dönmesini kontrol eden step motor

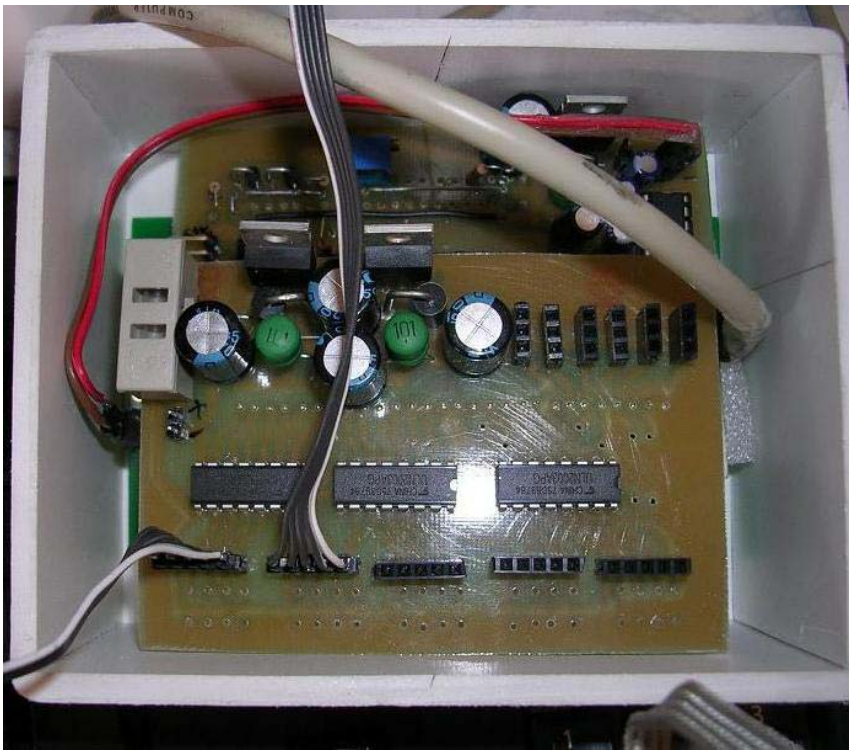



Şekil 8.12 Analizörü kontrol eden servo motor




Şekil 8.13 Mekanik sisteme bağlı Lcd ekran

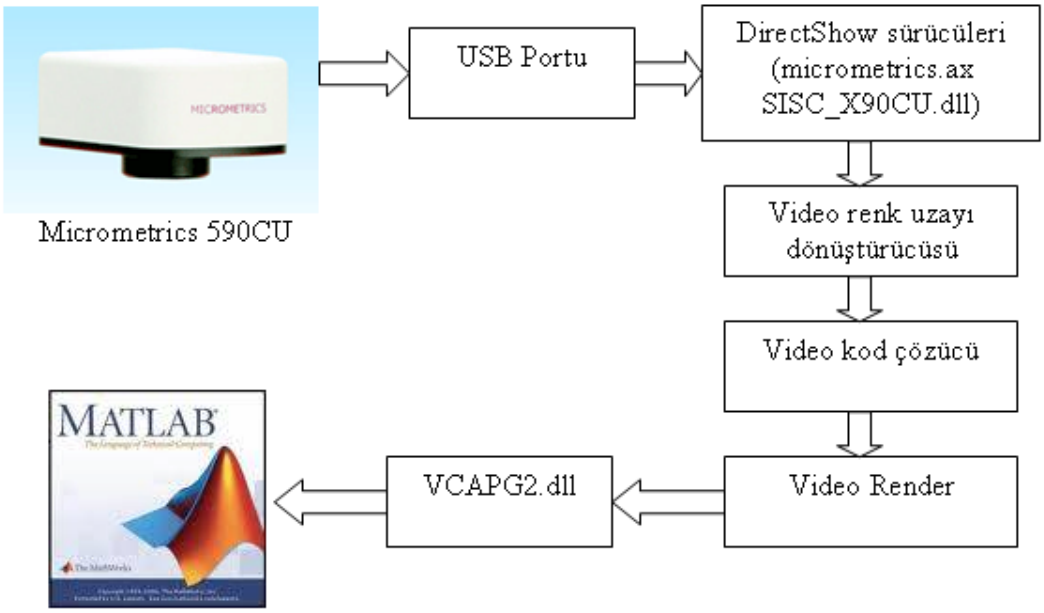
Mekanik sistemi kontrol eden motor kontrol kartı Şekil 8.14'deki gibidir.



Şekil 8.14 Mekanik sistemin motor kontrol kartı

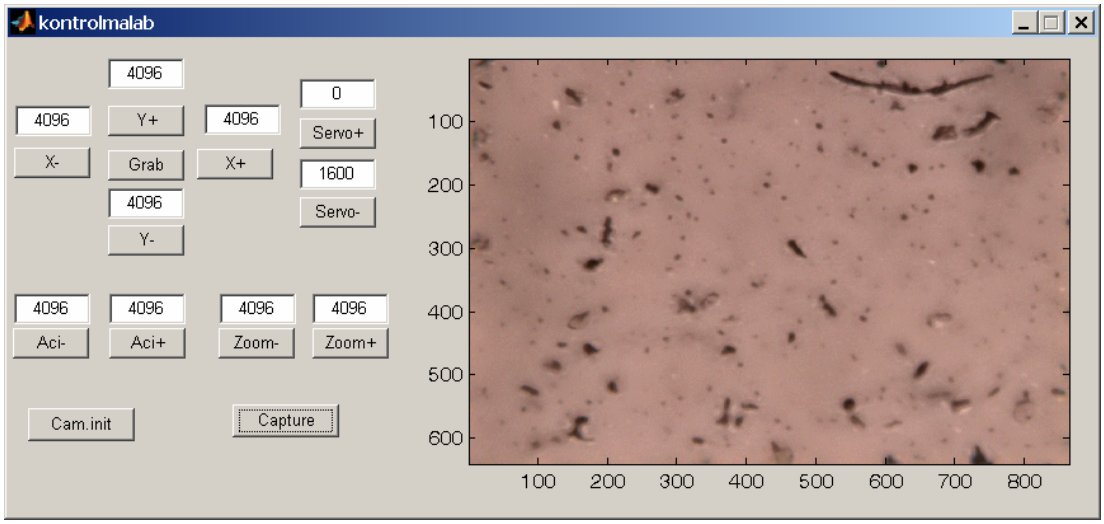
## 8.2. Tasarlanan Mekanik Sistemin Yazılımı

Tez kapsamında yapılan mekanik sistemin kontrolü için Matlab 7.4.0'da (R2007) Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) (Graphics User Interface – GUI) kullanarak bir yazılım geliştirilmiştir. Usb bağlantısı ile bilgisayara bağlı CCD kameradan görüntülerin alımı ve ince kesitin incelenmesi sırasında gerekli olan motor kontrolleri GKA aracılığıyla yapılmaktadır. Sisteme ait blok şema Şekil 8.15'tedir. GKA ile yapılan program arayüzü Şekil 8.16'da gösterilmiştir.




Şekil 8.15 Mekanik sistemin kontrol yazılımının blok şeması

Renk uzayı dönüştürücüsü, kameradan alınmış görüntünün renk uzayını, dll yardımıyla arayüzün geliştirildiği programın RGB renk uzayına dönüştürmek için; kod çözücü, sıkıştırılmış görüntü kayıt formatını sinyalin işlenmesini ve görüntülenmesini kolaylaştırmak için çözmede; render, video görüntüleri görüntülemek için ve VCAPG2.dll dosyası ise, alınan video görüntüsünü Matlab formatına dönüştürmek için kullanılmaktadır.




Şekil 8.16 Geliştirilen program arayüzü

Programdaki X-, X+, Y-, Y+ butonları ile mekanik sistemdeki 1 ve 2 numaralı step motorlar kontrol edilmektedir. X butonları ile ince kesit x ekseninde ve Y butonları ile y ekseninde hareket ettirilmektedir. Zoom-, Zoom+ butonları 3 numaralı motor yardımıyla mikroskop tablasının aşağı – yukarı yönde hareketini sağlamaktadır. Aci- ve Aci+ butonları 4 numaralı motor ile mikroskop tablası saat yönünde ya da saat yönüne ters yönde çevirmektedir. Servo-, Servo+ butonları 5 numaralı motor ile analizörü kontrol etmektedir.

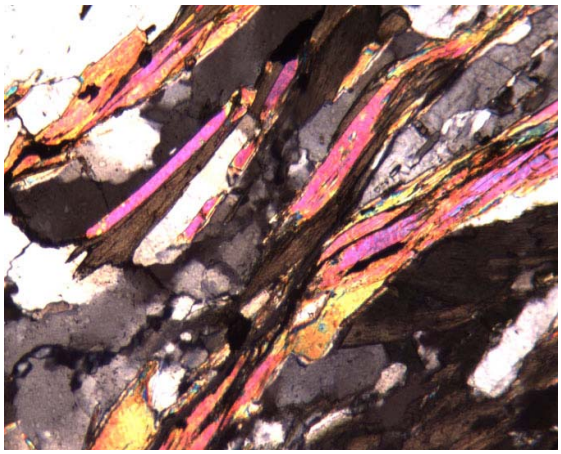
## 8.3. Bulanık Mantık Tabanlı Mineral Sınıflandırma Yöntemi

Farklı renk uzaylarında minerallerden alınan piksel değerleriyle ÇKYSA kullanarak mineral etiketleme ve sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Doktora tez projesi kapsamında alınan Meiji marka mikroskop kullanılarak alınan yeni dijital görüntülerde mineral sınıflandırma yapmak için, bulanık mantık tabanlı yeni bir önişlem algoritması geliştirilmiştir. Bu önişlem ile ÇKYSA için iterasyon sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısının azaltılması amaçlanmıştır. Böylece uygulamalarda zamandan kazanç sağlanarak, performans arttırılmıştır.

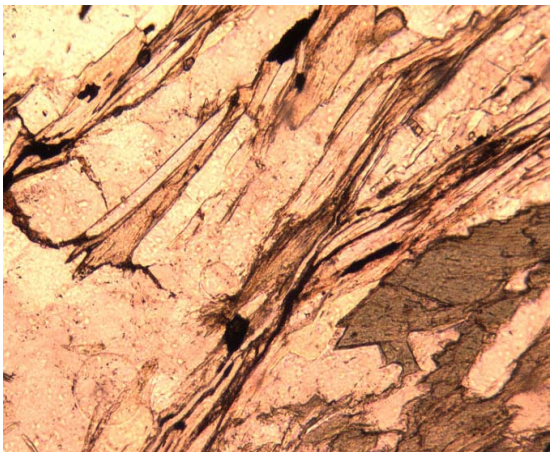
Tez çalışması kapsamında alınan Meiji marka mikroskoba, Bölüm 8.1 ve Bölüm 8.2'de anlatılan, tez kapsamında tasarımı yapılan mekanik aksam monte edilmiştir. Daha sonra, bu mekanik aksamı kullanılarak ince kesitlerden yeni dijital görüntüler elde edilmiştir. Görüntü alımı sırasında analizör ve polarizör birbirine dik konumda tutulmuştur. Görüntüler, Usb bağlantılı Mikrosistem firmasının Kameram 590cu marka sabit dijital kamera yardımıyla alınarak, Kameram görüntü yazılım programı ile otomatik olarak Pentium–4 bilgisayara kaydedilmiştir.

İnce kesitlerin mikroskop altında incelenerek dijital görüntüleri alınırken, aydınlatma 6V/30W halojen lamba ile alttan yapılmıştır. Görüntü alımı, x10 büyütme ile yapılmıştır. Görüntüler hem tek nikol, hem çift nikolde alınmıştır. Alınan tüm görüntüler RGB formatında 675x500 piksel boyutlarında, 300 dpi çözünürlüktedir. Alınan tüm görüntüler uzman tarafından incelenmiş ve görüntülerde hiçbir hata ve dijital sorun olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 8.17). Yeni alınan dijital görüntülerde

de mineral sınıflandırma için kuvars, muskovit, biyotit, klorit, opak minerallerin tespit edilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.



(a) Meiji mikroskoptan alınan çift nikol görüntüye örnek



(b) Meiji mikroskoptan alınan tek nikol görüntüye örnek

Şekil 8.17 Meiji mikroskoptan alınan mineral görüntü örneği

Çalışmalarda onbeş (15) adet ince kesitten toplam yirmi beş (25) adet görüntü elde edilmiştir. Kuvars, muskovit, biyotit, klorit, opak mineralleri sırasıyla on altı (16), on dört (14), yedi (7), on (10) ve altı (6) adet görüntüde bulunmuştur.

RGB formatında alınan dijital görüntülerden, 5 mineralin her biri için 120 adet piksel değeri alınarak;

$$120 \times 5 = 600$$

600x6 boyutunda veri seti oluşturulmuştur.

İnce kesitte incelenen mineraller her zaman sabit bir renk değerinde değil, ince kesitin kalınlığına göre Michel Levy Renk Tablosu'na göre farklı renk değerlerinde bulunabilmektedirler. Bu nedenle mineral sınıflandırma işleminde piksel değerlerinin de belli bir aralık değeri içinde değerlendirilmesi için bulanık mantık önişlem uygulanmıştır.

Hem çift hem de tek nikolde alınan piksel değerleri her bir R, G, B renk kanalı için K-Ortalama kümeleme algoritması kullanılarak, 5 ayrı küme merkezi etrafında gruplandırılmıştır.

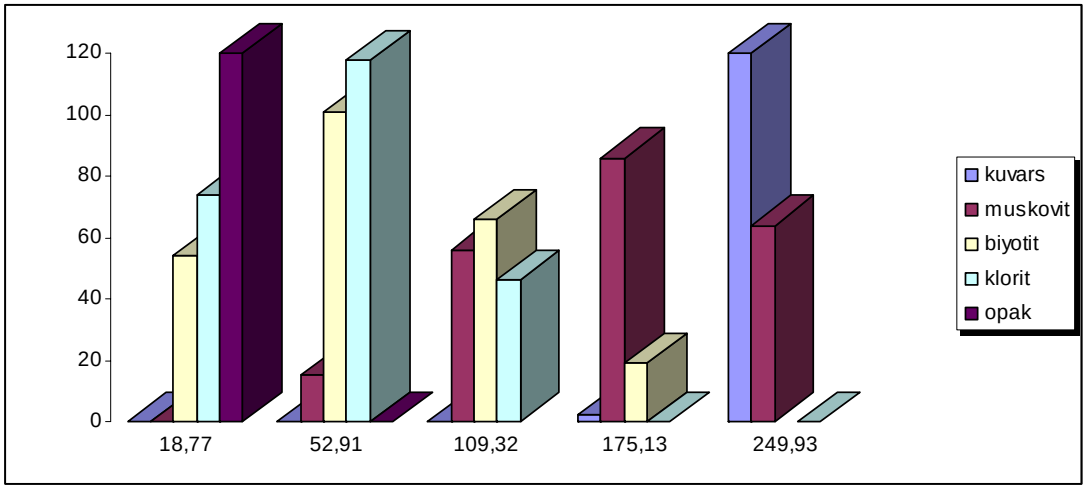
K-Ortalama kümeleme için Matlab 7.4.0'da (R2007) kmeans komut işlevi ile 100 iterasyonda 10 tekrarlı kümeleme yaparak, 10 tekrarın ortalama değerleri

alınmıştır. K-Ortalama kümeleme algoritması kullanarak, her renk kanalında elde edilen küme merkezleri Tablo 8.4'te verilmiştir.

Tablo 8.4 K-Ortalama ile bulunan küme merkezleri

| | Ortalama $R_{çift}$ | Ortalama $G_{çift}$ | Ortalama $B_{çift}$ | Ortalama $R_{tek}$ | Ortalama $G_{tek}$ | Ortalama $B_{tek}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Merkez 1 | 15,41 | 15,79 | 18,77 | 19,30 | 11,89 | 13,31 |
| Merkez 2 | 56,01 | 67,77 | 52,91 | 124,40 | 99,64 | 69,29 |
| Merkez 3 | 104,68 | 121,26 | 109,32 | 174,06 | 153,61 | 129,83 |
| Merkez 4 | 152,86 | 169,36 | 175,13 | 210,30 | 204,43 | 171,03 |
| Merkez 5 | 251,98 | 253,72 | 249,83 | 251,30 | 245,76 | 222,65 |

Minerallerin üyelik fonksiyonlarının merkezleri K-Ortalama kümeleme algoritması ile bulunan küme merkezleridir. Hangi küme merkezine sahip üyelik fonksiyonunun hangi minerale ait olduğunu bulmak için, minerallerin o küme merkezleri etrafındaki dağılımlarına bakılmıştır. Minerallere ait piksel değerlerinin $B_{çift}$ renk kanalında bulunan küme merkezleri etrafında toplanma grafiği Şekil 8.18'te gösterilmiştir.




Şekil 8.18 $B_{çift}$ renk kanalındaki küme merkezleri için minerallerin yerleşmesi

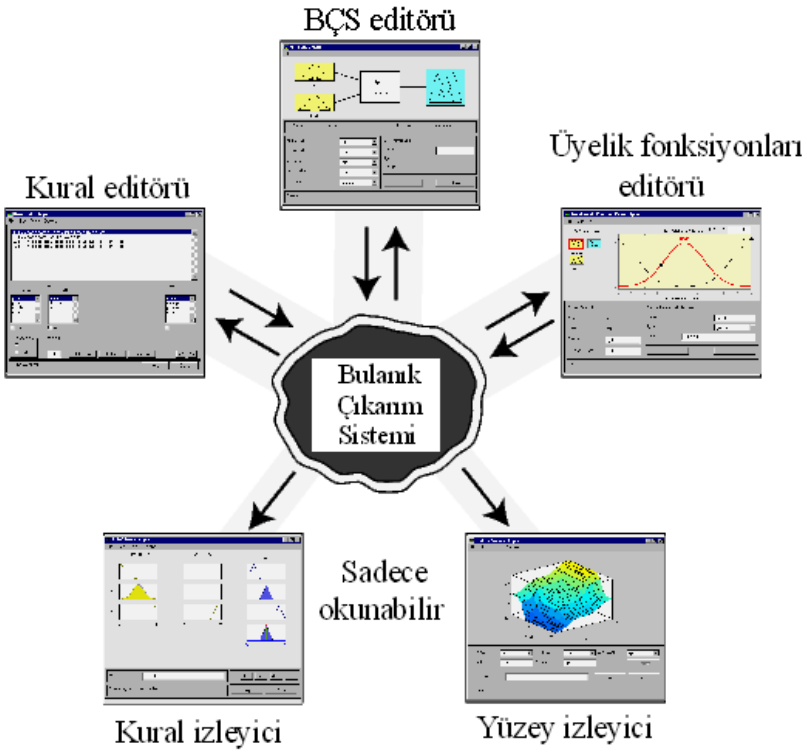
Şekil 8.18'te görülebileceği gibi her küme merkezi etrafında en çok piksel değerine sahip mineral, o küme merkezine sahip üyelik fonksiyonuna atanmıştır (Tablo 8.5).

Tablo 8.5 $B_{çift}$ renk kanalındaki küme merkezlerine atanan mineral değerleri

| | Merkez 1 | Merkez 2 | Merkez 3 | Merkez 4 | Merkez 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 18,77 | 52,91 | 109,32 | 175,13 | 249,83 |
| Mineral | Opak | Klorit | Biyotit | Muskovit | Kuvars |

Her renk kanalında küme merkezleri ve her küme merkezine sahip üyelik fonksiyonlarına hangi mineralin atanacağı belirlendikten sonra bulanık sistem modeli oluşturulmuştur.

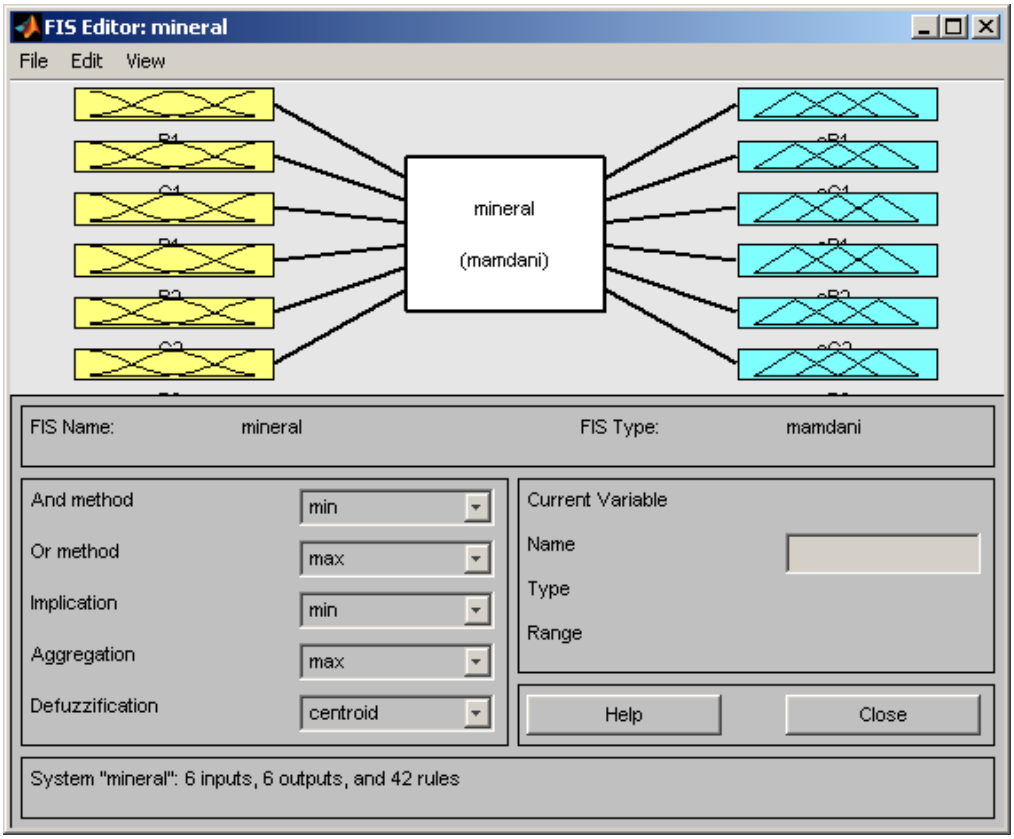
Mineral sınıflandırma için bulanık mantık ile model oluşturmada Matlab 7.4.0'da (R2007) Fuzzy Logic Toolbox'ından Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS) (Fuzzy Interference System – FIS) editörüyle Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Şekil 8.19'de BÇS'nin yapısı görülmektedir (Caspur, 2010).




Şekil 8.19 Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS) yapısı

BÇS editörü (FIS Editor), bulanık sistemde giriş ve çıkışların tanımlandığı bölümdür. Bunun için öncelikle değişkenler tanımlanır ve sistem ana yapısı oluşturulur (Şekil 8.20) (Yalpır, 2007).

Üyelik fonksiyonları editöründe (Membership Function Editor), her değişken için tüm üyelik fonksiyonları tanımlanır. BÇS editörü yardımıyla her bir özellik ya da kriter üyeliklere ayrılarak bulanıklaştırılır. Geliştirilen algoritmada her 5 mineral için birer üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca görüntüde bulunabilecek bilinmeyen farklı bir mineralin bulunabilmesi durumu için de sınır renk değerlerinde 2 adet daha üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Böylelikle hem giriş de, hem de çıkışta her değişken için 7 adet üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. $B_{çift}$ renk kanalına ait giriş üyelikler Şekil 8.21'deki gibi oluşturulmuştur. Her renk kanalı için giriş üyelik aralığı [0 255] arasındadır. Çıkış üyelik aralığı ise [-1, 1] arasına eşit aralıklarla ölçeklendirilmiştir (Şekil 8.22)

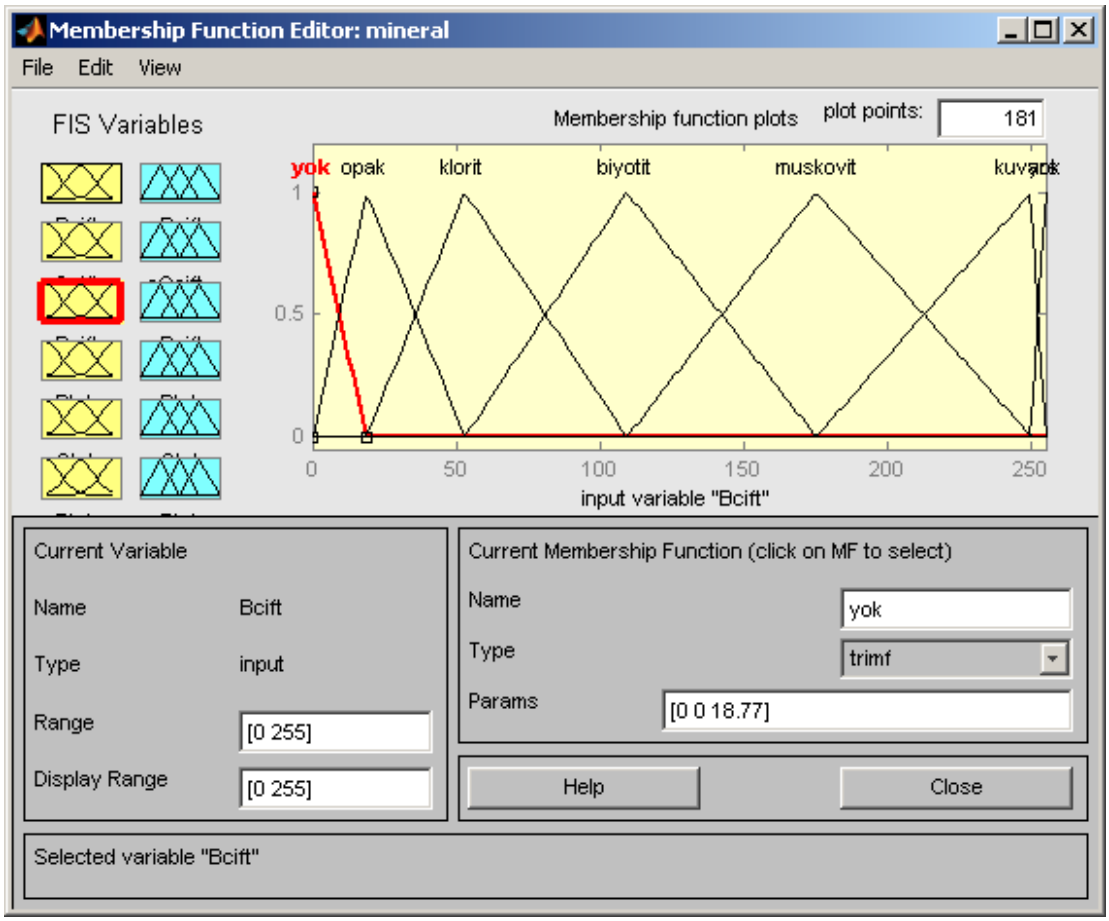



Şekil 8.20 Bulanık sistem modeli

$B_{çift}$ renk kanalına ait giriş üyelik fonksiyonları bilgileri Tablo 8.6'te verilmiştir.

Tablo 8.6 $B_{çift}$ renk kanalına ait giriş üyelik fonksiyonları değerleri

| Mineral | Üyelik numarası | Üyelik türü | Değer aralığı |
|---|---|---|---|
| Bilinmeyen | 1 | Üçgen | [0 0 18,77] |
| Opak | 2 | Üçgen | [0 18,77 52,91] |
| Klorit | 3 | Üçgen | [18,77 52,91 109,32] |
| Biyotit | 4 | Üçgen | [52,91 109,32 175,13] |
| Muskovit | 5 | Üçgen | [109,32 175,13 249,83] |
| Kuvars | 6 | Üçgen | [175,13 249,83 255] |
| Bilinmeyen | 7 | Üçgen | [249,83 255 255] |

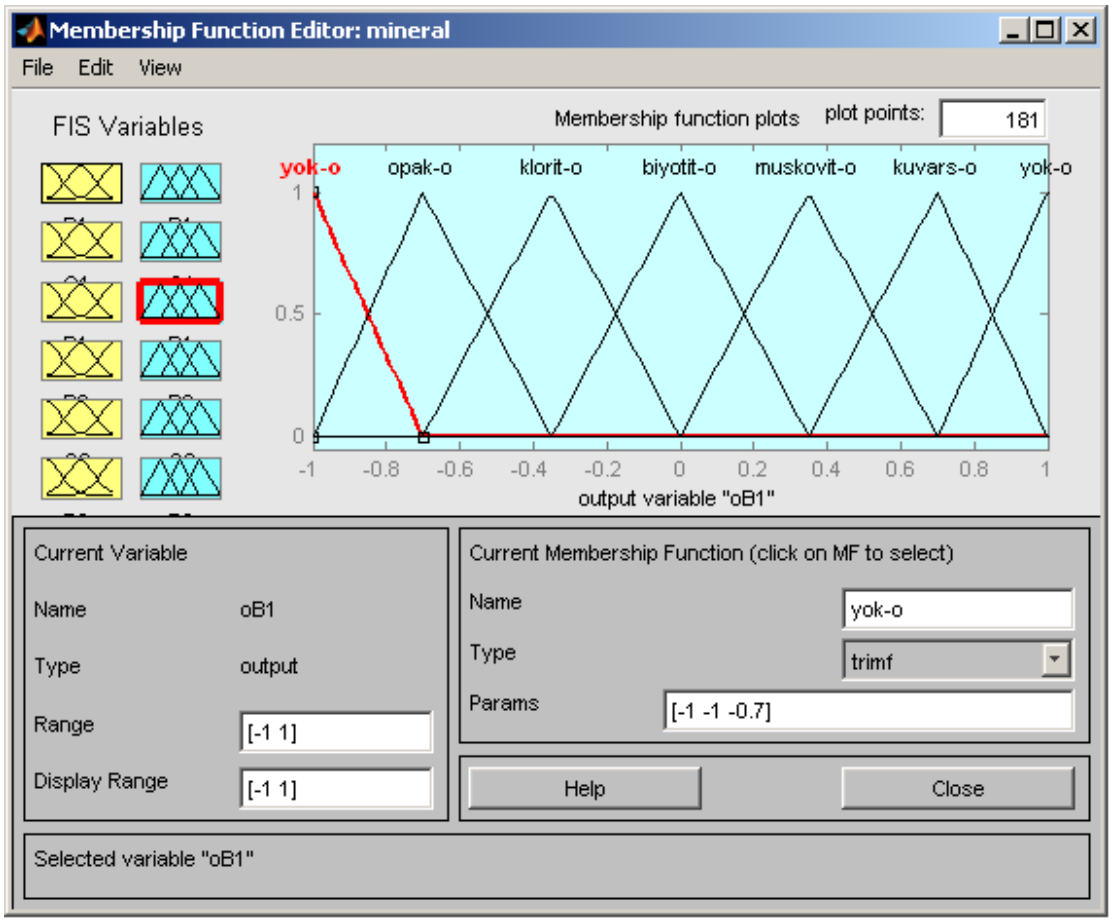



Şekil 8.21 $B_{çift}$ renk kanalı için oluşturulan bulanık giriş üyelik fonksiyonları

Kural editörü (Rule Editor), bulanık sistemin davranışlarını tanımlayan kuralları oluşturmak için kullanılır (Yalpır, 2007). Oluşturulan üyeliklere göre kurallar tanımlanır. Tablo 8.7'da geliştirilen bulanık mantık modelindeki bazı kurallar görülmektedir.

Tablo 8.7 Bulanık sistem kural örnekleri

| |
|---|
| **1.** 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0**:** 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 |
| **2.** 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0**:** 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0 |
| **3.** 0, 0, 3, 0, 0, 0, 0**:** 0, 0, 3, 0, 0, 0, 0 |

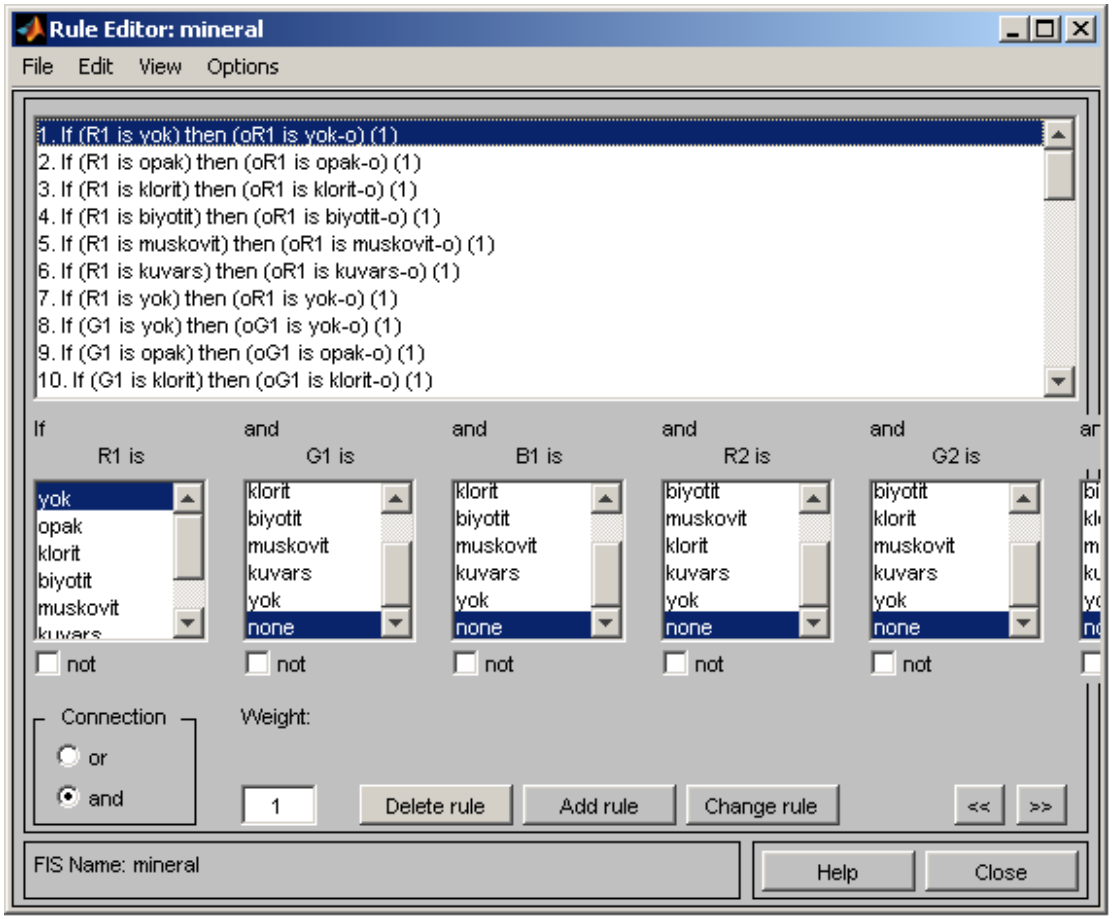



Şekil 8.22 $B_{çift}$ renk kanalı için oluşturulan bulanık çıkış üyelik fonksiyonları

Kurallardaki numaralar her bir özelliğe ait üyelik numaralarını ifade etmektedir. Örneğin; kurallardaki ilk numara ilk mineral değerini, ikinci değer ise ikinci mineral değerini göstermektedir. Buna göre 2. örnekteki kural şöyle tanımlanabilir:

**Eğer** giriş değeri klorit **ise**, çıkış minerali klorittir.

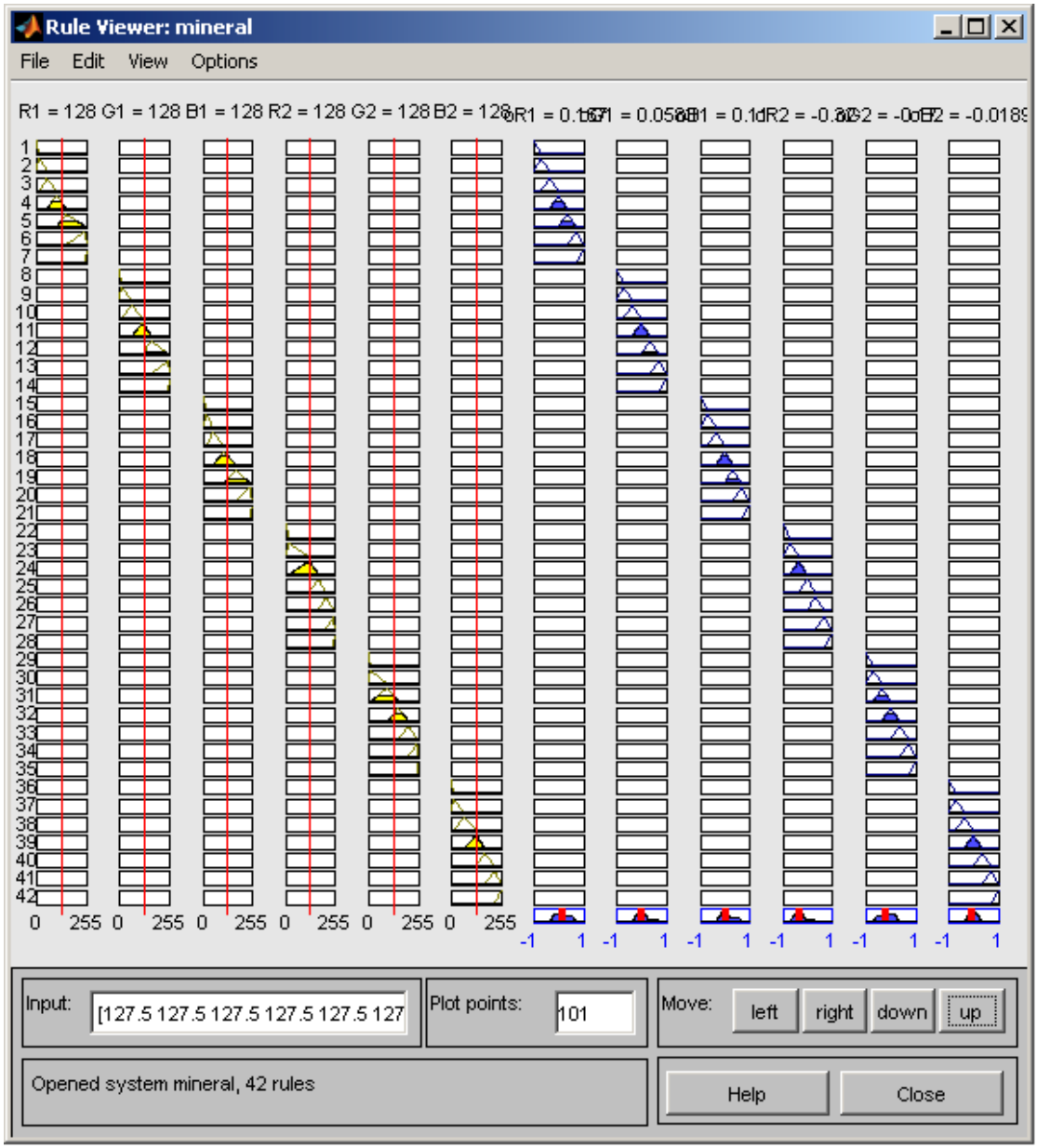
Geliştirilen bulanık mantık modelindeki kural tabanı Şekil 8.23'de gösterilmiştir (Yalpır, 2007).




Şekil 8.23 Bulanık sistem modeline ait kural tabanı

Kural izleyici (Rule Viewer) ve yüzey izleyici (Surface Viewer) BÇS'yi incelemek için kullanılır. Bunlar sadece okunabilir araçlardır. Üyelik fonksiyonları ve değerleri belirlendikten sonra veriler girilerek test yapılan bölümdür (Yalpır,

2007). Şekil 8.23'de oluşturulan kural tabanına göre giriş verileri, verilerin hangi kuralları tetiklediği Şekil 8.24'te gösterilmiştir.




Şekil 8.24 Bulanık sistem modeline ait kural izleyici

Bulanık mantık önişlemde çıkış değerlerinin hesaplanması Denklem 8.3'e göre hesaplanmaktadır.

Eğer giriş $in_j$ ise, çıkış $out_j$ olur. (j=1,2,…..,7)) (8.3)

Burada in ve out j'inci giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarıdır. Her bir giriş değeri 2 üyelik fonksiyonu kesmekte ve 2 değer elde edilmektedir. Durulaştırmada çıkış üyelik değerleri, çıkış üyelik fonksiyonlarının kestikleri noktalara göre sentroid (ağırlık merkezi) yöntemiyle bulunmuştur (Denklem 8.4) (Raudys ve ark., 2007).

$$\text{Çıkış değeri} = \int x\mu_{out}(x)dx \,/\, \int \mu_{out}(x)dx \quad (8.4)$$

Bulanık mantık önişlem modelinden gelen piksel değerlerine ait örnekler Tablo 8.8'de verilmiştir.

Tablo 8.8 Çift ve tek nikolde minerallere ait bulanık önişlem sonucundaki piksel değerleri örnekleri

| | Çift Nikol | | | Tek nikol | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_{çift_bulanık}$ | $G_{çift_bulanık}$ | $B_{çift_bulanık}$ | $R_{tek_bulanık}$ | $G_{tek_bulanık}$ | $B_{tek_bulanık}$ |
| Kuvars | 0,7547 | 0,6915 | 0,9067 | 0,9067 | 0,5927 | 0,4134 |
| Muskovit | 0,6729 | -0,0296 | 0,3656 | 0,6230 | 0,4316 | 0,1444 |
| Biyotit | -0,3393 | -0,2966 | -0,3312 | -0,1302 | -0,2040 | -0,4436 |
| Klorit | -0,4431 | -0,5653 | -0,5725 | 0,4255 | 0,1788 | -0,1495 |
| Opak | -0,7186 | -0,7434 | -0,7449 | -0,6427 | -0,6811 | -0,6423 |

Bulanık sistemden elde edilen verilere 5-fold çapraz doğrulama uygulanarak eğitme ve test işlemi yapılmıştır. Bunun için 6 girişli, 5 çıkışlı ÇKYSA kullanılmıştır. ÇKYSA için Matlab 7.4.0'da (R2007) Neural Network Toolbox kullanılarak; Şekil 7.5'de verilen ileri beslemeli, hatayı geri yayma algoritması kullanan, 3 katmanlı ÇKYSA kullanılmıştır. Her mineralin sınıflandırılması için $R_{çift_bulanık}$, $G_{çift_bulanık}$, $B_{çift_bulanık}$, $R_{tek_bulanık}$, $G_{tek_bulanık}$, $B_{tek_bulanık}$ piksel değerleri olmak üzere 6 adet giriş kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı 10 nörondan 200 nörona kadar 1'er arttırılarak, 1000 iterasyondan 10000 iterasyona kadar tüm iterasyonlarda eğitme ve test işlemi yapılmıştır. Gizli katmandaki nöronlarda tanjant

sigmoid, çıkış katmanındaki nöronlarda logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Momentum ve öğrenme katsayıları sırasıyla 0,8 ve 0,1 olarak seçilmiştir. Giriş değerleri bulanık sistem çıkışında [-1, 1] arasına ölçeklenmiş olarak elde edildiği için ÇKYSA için aynen kullanılırken, çıkış verileri [0, 1] arasına ölçeklendirilmiştir. Tüm ÇKYSA mimarilerinde eğitme ve test işlemi tekrarlandıktan sonra, en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarileri tespit edilmiştir (Tablo 8.9).

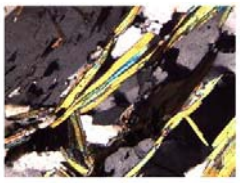
Tablo 8.9 Bulanık önişlemden geçirilmiş veriler için mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları

| ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme başarısı (%) | Eğitme korelasyon ($r^2$) | Test başarısı (%) | Test Korelasyon ($r^2$) | 5-fold toplam süre (dk) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 x 85 x 5 | 1000 | 99,39 | 0,99 | 98,51 | 0,95 | 1,41 |
| 6 x 123 x 5 | 2000 | 99,72 | 0,99 | 98,74 | 0,95 | 3,58 |
| 6 x 26 x 5 | 3000 | 99,86 | 0,99 | 98,79 | 0,94 | 3 |
| 6 x 35 x 5 | 4000 | 99,91 | 0,99 | 98,85 | 0,94 | 4,1 |
| 6 x 54 x 5 | 5000 | 99,95 | 0,99 | 98,92 | 0,94 | 5,9 |
| 6 x 36 x 5 | 6000 | 99,95 | 0,99 | 98,94 | 0,94 | 6,1 |
| 6 x 45 x 5 | 7000 | 99,96 | 0,99 | 98,95 | 0,94 | 7,2 |
| 6 x 37 x 5 | 8000 | 99,92 | 0,99 | 98,91 | 0,94 | 7,35 |
| 6 x 61 x 5 | 9000 | 99,96 | 0,99 | 99,01 | 0,94 | 11,6 |
| 6 x 61 x 5 | 10000 | 99,99 | 0,99 | 98,97 | 0,94 | 12,35 |

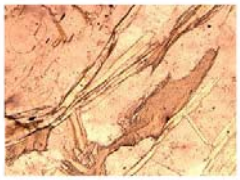
Bulanık önişlem uygulamanın akış diyagramı Şekil 8.25'te gösterilmiştir.



Mikroskoptan görüntü alımı ve bilgisayara aktarma



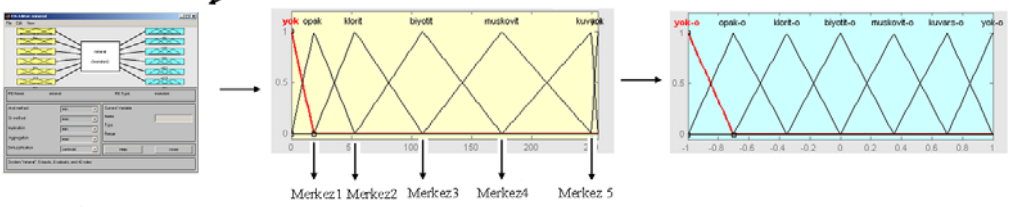
Çift nikol görüntü



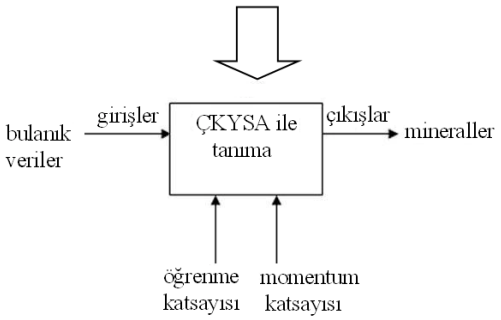
Tek nikol görüntü

| Mineral | Çift nikol görüntü | | | Tek nikol görüntü | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R | G | B | R | G | B |
| Kuvars | 250 | 255 | 250 | 201 | 161 | 126 |
| Kuvars | 255 | 255 | 253 | 208 | 162 | 136 |
| Muskovit | 248 | 82 | 166 | 251 | 208 | 166 |
| Muskovit | 252 | 94 | 179 | 249 | 193 | 156 |
| Biyotit | 57 | 74 | 55 | 157 | 89 | 54 |
| Biyotit | 60 | 78 | 54 | 160 | 90 | 54 |
| Klorit | 124 | 82 | 66 | 240 | 153 | 110 |
| Klorit | 96 | 63 | 46 | 191 | 99 | 84 |
| Opak | 8 | 6 | 7 | 28 | 16 | 18 |
| Opak | 10 | 6 | 7 | 19 | 11 | 9 |

| K-Ortalama ile küme merkezleri bulma | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Merkez 1 | Merkez 2 | Merkez 3 | Merkez 4 | Merkez 5 |
| Ortalama $R_{çift}$ | 13,41 | 36,01 | 104,68 | 132,86 | 231,98 |
| Ortalama $G_{çift}$ | 15,79 | 67,77 | 121,26 | 169,36 | 253,72 |
| Ortalama $B_{çift}$ | 18,77 | 52,91 | 109,32 | 175,13 | 249,83 |
| Ortalama $R_{tek}$ | 19,30 | 124,40 | 174,06 | 210,30 | 251,30 |
| Ortalama $G_{tek}$ | 11,89 | 99,64 | 153,61 | 204,43 | 245,76 |
| Ortalama $B_{tek}$ | 13,31 | 69,29 | 129,83 | 171,03 | 222,65 |




| Bulanık önişlem sonucu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Çift Nikol* | | | *Tek nikol* | | |
| | $R_{çift_bulanık}$ | $G_{çift_bulanık}$ | $B_{çift_bulanık}$ | $R_{tek_bulanık}$ | $G_{tek_bulanık}$ | $B_{tek_bulanık}$ |
| Kuvars | 0,7547 | 0,6915 | 0,9067 | 0,9067 | 0,5927 | 0,4134 |
| Muskovit | 0,6729 | -0,0296 | 0,3656 | 0,6230 | 0,4316 | 0,1444 |
| Biyotit | -0,3393 | -0,2966 | -0,3312 | -0,1302 | -0,2040 | -0,4436 |
| Klorit | -0,4431 | -0,5653 | -0,5725 | 0,4255 | 0,1788 | -0,1495 |
| Opak | -0,7186 | -0,7434 | -0,7449 | -0,6427 | -0,6811 | -0,6423 |




Şekil 8.25 Bulanık önişleme uygulamasının akış diyagramı

# 9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Mineral sınıflandırılması ve kayaçların isimlendirilmesi için mikroskop altında ince kesit incelemesi, uzman tarafından saatler süren bir çalışma ile yapılmaktadır. Bu inceleme, çok dikkat isteyen ve bir ince kesit için 4-8 saat arasında bir zamanda ancak tamamlanabilen bir işlemdir. Bu yöntem ile elde edilen inceleme sonuçları; inceleme yapan kişiye göre, mikroskoba ve ince kesite göre değişkenlik arz edebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında dijital görüntülerde görüntü işleme ve yapay zekâ teknikleri kullanarak mineral etiketleme ve sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Mineral sınıflandırma için bulanık mantık temelli bir önişlem algoritması da geliştirilmiştir. Ayrıca tez kapsamında, mikroskoba monte edilerek, otomatik incelemelerin yapılmasına imkân verebilen bilgisayar kontrollü bir mekanik sistem tasarlanmıştır. Mineral analiz çalışmalarında uzman tarafından tespit edilmiş; kayaç yapıcı minerallerin başında gelen ve doğada en çok bulunan; kuvars, muskovit, biyotit, klorit, opak minerallerin tespit edilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Tez kapsamında yapılan ilk çalışmalarda polarizan mikroskoba bağlı sabit bir CCD kamera yardımıyla 9 adet ince kesitten alınan toplam 22 adet dijital görüntüde mineral etiketleme yapılmıştır.

Dijital görüntülerde mineral etiketleme için, minerallere ait toplam 325 adet piksel değeri hem tek hem de çift nikolde RGB, HSV ve $L^*a^*b^*$ renk uzaylarında kullanılarak, en iyi ÇKYSA yapısı tespit edilmiştir. 325x6 boyutundaki veri setine 5-fold çapraz doğrulama uygulayarak eğitme ve doğrulama yapıldıktan sonra, test işlemi için her bir dijital görüntüye ait tüm pikseller ÇKYSA'ya verilerek her pikselin bir mineral olarak etiketlenmesi yapılmıştır. Sonuç resimler uzman tarafından kontrol edildikten sonra minerallerin doğru olarak bulunma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 9.1).

Tablo 9.1 Renk uzaylarında mineral etiketlemede en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarileri

| | En iyi ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme hatası (mse) | Korelasyon ($r^2$) |
|---|---|---|---|---|
| RGB | 6 x 85 x 5 | 4000 | 0,0042 | 0,98 |
| HSV | 6 x 135 x 5 | 5000 | 0,0049 | 0,91 |
| RGB + HSV | 12 x 30 x 5 | 5000 | 0,0018 | 0,93 |
| $L^*a^*b^*$ | 6 x 16 x 5 | 2000 | 0,01 | 0,94 |

Tez kapsamında yapılan mineral etiketleme çalışmasında en iyi sonuç görüntüleri RGB renk uzayında elde edilmiştir (Tablo 9.2, Şekil 9.1) Ayrıca uzman tarafından 4–8 saat süren inceleme ÇKYSA ile dakikalar içinde tamamlanmıştır. Böylece zaman kısaltılarak, performans arttırılmıştır.

Biyotit ve klorit mineralleri birbirlerine dönüşebilen mineral türleridir. Bu nedenle renk özellikleri de birbirlerine benzemektedir. Mineral etiketleme çalışmalarında kullanılan görüntülerde, biyotit ve klorit minerallerinin renk değerleri benzer özellik göstermektedir. Bu nedenle HSV renk uzayında bu minerallerin ayırt edilmeleri zor olmuştur ve tespit başarıları da diğer renk uzaylarına göre daha düşüktür. Ayrıca görüntülerdeki bazı yerlerde bu minerallerin renk değerleri daha koyu tonlarda olduğundan, biyotit, klorit ve opak mineralleri tam olarak ayırt edilememiştir.

Mineral etiketleme başarılarına süre yönünden bakıldığında en iyi performans $L^*a^*b^*$ renk uzayında elde edilmiştir. 5-fold çapraz doğrulama ile eğitme süresi 0,56 dk'dır. Ortalama olarak bir resim için etiketleme süresi ise 11,20 dk olmuştur. $L^*a^*b^*$ renk uzayından sonra en iyi test başarısı RGB renk uzayında 12,99 dk olmuştur. Hem eğitme hem de test işlemi için mineral tespit başarıları gibi zaman yönünden de en kötü sonuçlar HSV renk uzayında bulunmuştur.

Minerallere ait başarılara ayrı ayrı bakıldığında RGB renk uzayı tüm minerallerde en yüksek başarıyı vermemiş olmasına rağmen ortalama başarıda $L^*a^*b^*$ renk uzayı ile birlikte en yüksek başarıya sahiptir. Ancak Şekil 9.1'deki sonuç görüntülerine bakıldığında, mineral etiketlemede en iyi sonucun RGB renk uzayında alındığı görülmektedir.

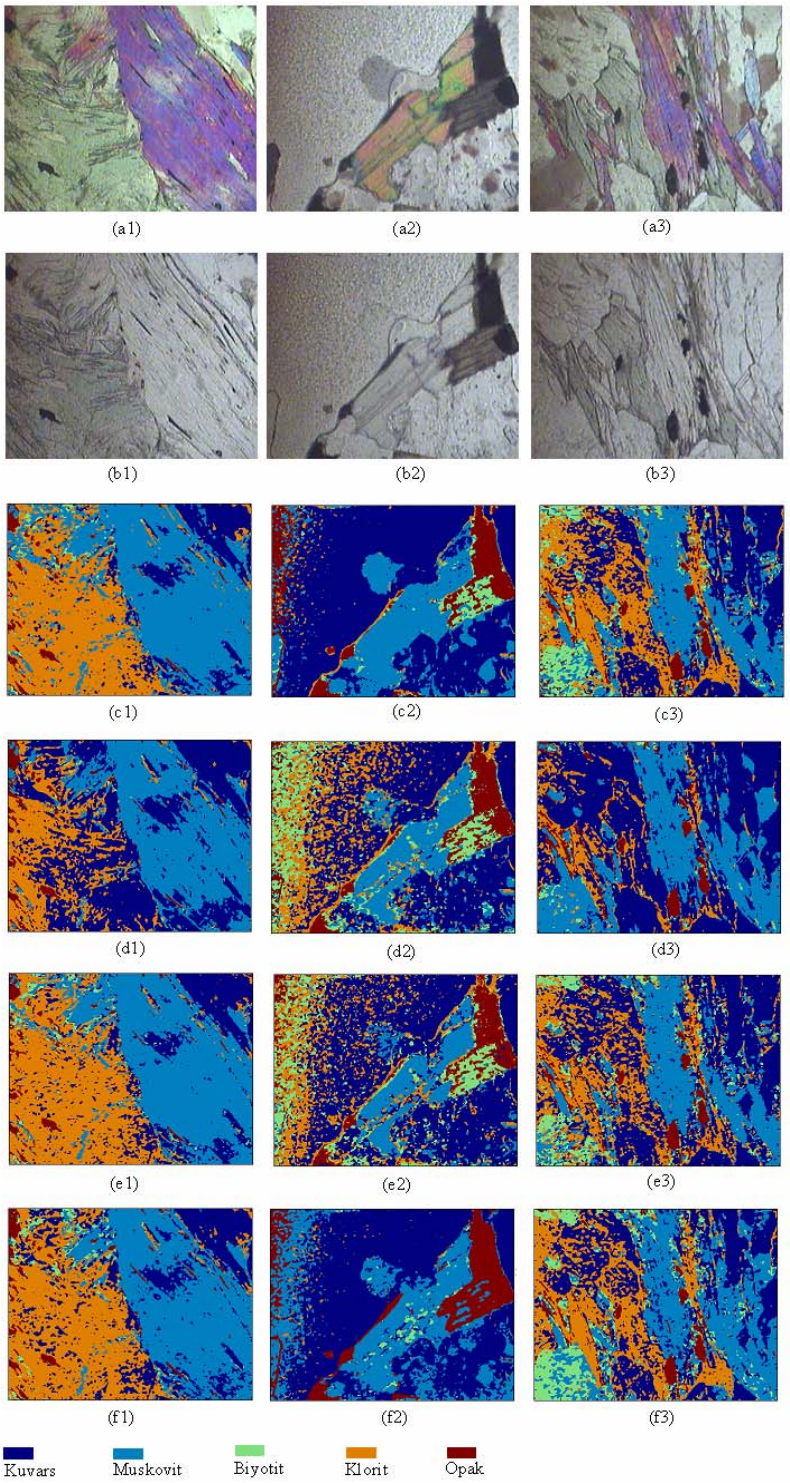
RGB ve HSV renk uzaylarına karşı $L^*a^*b^*$ renk uzayı cihaz bağımsız bir renk uzayıdır. Bu nedenle görüntü analizlerinde ve tez kapsamında yapılan mineral tanıma çalışmalarında en iyi sonuç değerlerinin $L^*a^*b^*$ renk uzayında alınması beklenmektedir. Tablo 9.2'de de görüldüğü gibi ortalama mineral tanıma başarısında en iyi sonuç bu renk uzayında elde edilmiş olmasına rağmen, sonuç görüntüleri karşılaştırıldığında en iyi sonuç görüntüsünün RGB renk uzayında elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak minerallerin renk değerlerinin bu renk uzayında çok az farklarla değişmesi gösterilebilir. $L^*a^*b^*$ renk uzayında biyotit mineralinin renk değerleri dönüşüm yapabildiği klorit ya da dalgalı sönme durumuna girmiş olan kuvars minerali renk değerlerine benzerdir. Bu nedenden dolayı mineral etiketlemede hatalı sonuç görüntüleri elde edilebilmektedir.

Mikroskoba bağlı kameradan elde edilen ilk dijital görüntüler incelendiğinde, aydınlatmadan kaynaklanan deformasyonların olduğu görülmektedir. Önişlem yardımıyla bu deformasyonların bir kısmı giderilebilmiş olsa da, bu durum komşu pikseller arasındaki renk değişimleri üzerinde etkili olmaktadır. $L^*a^*b^*$ renk uzayı RGB renk uzayına göre aydınlatmaya karşı daha hassastır ve bu da etiketleme sonucunu olumsuz etkilemektedir. RGB renk uzayı ise bu değişimlere karşı daha az duyarlı olduğundan etiketlenmiş resimler orijinal resme daha yakın sonuçlar üretmektedir.

Görüntülerdeki minerallerin toplam piksel sayılarına karşılık, görüntülerdeki piksellerin etiketlenmesi sonucunda bulunan minerallere ait piksel sayıları arasındaki farkların grafiği Şekil 9.2'de gösterilmiştir.

Tablo 9.2 Renk uzaylarında mineral etiketlemedeki başarılar

| | Kuvars | Muskovit | Biyotit | Klorit | Opak | Ortalama başarı (%) | Süre (dk) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Eğitme | 1 resim etiketleme süresi |
| Toplam piksel sayısı | 1721610 | 1353510 | 36630 | 476190 | 73260 | | | |
| RGB renk uzayındaki başarı oranı (%) | 81,55 | 84,69 | 98,11 | 89,58 | 93,70 | 89,53 | 1,02 | 12,99 |
| HSV renk uzayındaki başarı oranı (%) | 82,33 | 85,06 | 89,78 | 84,97 | 95,36 | 87,5 | 1,34 | 34,72 |
| RGB + HSV uzayındaki başarı oranı (%) | 84,78 | 81,41 | 89,79 | 86,34 | 94,95 | 87,45 | 1,04 | 11,72 |
| $L^*a^*b^*$ uzayındaki başarı oranı (%) | 83,8 | 85,44 | 95,17 | 91,11 | 92,42 | 89,59 | 0,56 | 11,20 |



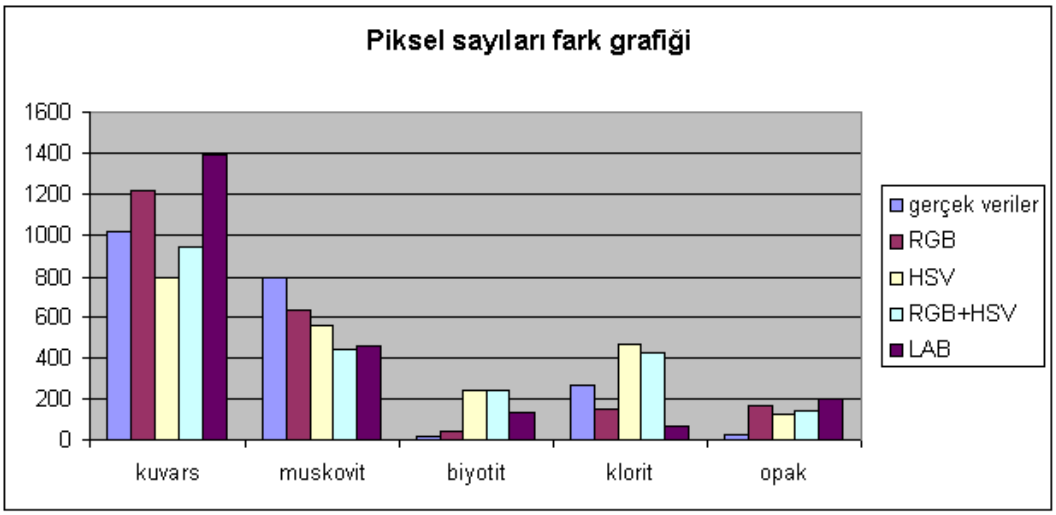

Şekil 9.1 Mineral etiketlemedeki sonuç görüntülere örnekler

(a1), (a2), (a3): Çift nikoldeki orijinal görüntüler,

(b1), (b2), (b3): Tek nikoldeki orijinal görüntüler,

c, d, e, f: Etiketlenmiş resimler – c (RGB), d (HSV), e (RGB + HSV), f ($L^*a^*b^*$)

Literatür incelendiğinde, mineral inceleme alanında fazla çalışma olmadığı, yapılan çalışmaların da daha çok mineral sınıflandırma üzerine olduğu görülmektedir. Bu nedenle tez kapsamında yapılan mineral etiketleme çalışması, bu alanda farklı bir yaklaşım olmuştur.




Şekil 9.2 Renk uzaylarında mineral etiketlemedeki sonuç piksel sayıları fark grafiği

Tez çalışması kapsamında yapılan diğer çalışmada, aynı dijital görüntülerden minerallerden alınan toplam 400 adet piksel değeri kullanılarak 400x6 boyutundaki veri seti ile mineral sınıflandırma yapılmıştır.

Mineral etiketleme çalışmasında en iyi sonuç RGB renk kanalında alındığı için mineral sınıflandırma bu renk kanalında yapılmıştır. Mineral sınıflandırma için 5-fold çapraz doğrulama ile ÇKYSA'da sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 9.3).

Tablo 9.3 5 çıkışlı mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçları

| ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme başarısı (%) | Eğitme korelasyon ($r^2$) | Test başarısı (%) | Test Korelasyon ($r^2$) | 5-fold toplam süre (dk) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 x 21 x 5 | 8000 | 97,93 | 0,9355 | 93,86 | 0,72 | 6,75 |

5 çıkışlı ÇKYSA ile mineral sınıflandırmadan sonra her mineralin ayrı ayrı sınıflandırma başarılarını tespit etmek için 5-fold çapraz doğrulama uygulayarak

paralel çalışan 5 ayrı ÇKYSA kullanılmıştır. Böylece en iyi sonuç veren ÇKYSA mimarileri bulunmuş ve her mineralin sınıflandırma başarıları tespit edilmiştir (Tablo 9.4). Tablo 9.4'te görüleceği gibi kuvars ve klorite ait başarılar 5 çıkışlı ÇKYSA ile yapılan mineral sınıflandırma başarısından daha azdır. Ancak tüm minerallerin tespit edilmesinin ortalama başarısı %94,072'tür ve 5 çıkışlı ÇKYSA ile yapılan sınıflandırmadan daha iyi başarı elde edilmiştir. Paralel çalışan 5 ayrı ÇKYSA kullanılan mineral sınıflandırma sisteminde başarının yüksek olmasının sebebi, minerallerin tamamının tek bir sistemde ayrı ayrı sınıflandırılması yerine; sadece tek bir mineralin diğer minerallerden ayırt edilmesinin daha kolay olmasıdır.

Tablo 9.4 Mineral sınıflandırmasında paralel çalışan ÇKYSA için sonuçlar

| | Kuvars | Muskovit | Biyotit | Klorit | Opak |
|---|---|---|---|---|---|
| ÇKYSA mimarisi | 6 x 196 x 1 | 6 x 13 x 1 | 6 x 66 x 1 | 6 x 86 x 1 | 6 x 21 x 1 |
| İterasyon sayısı | 8000 | 7000 | 9000 | 9000 | 3000 |
| Eğitme başarısı (%) | 98,4 | 99,69 | 98,18 | 98,86 | 98,34 |
| Eğitme korelasyon ($r^2$) | 0,94 | 0,98 | 0,94 | 0,94 | 0,93 |
| Test başarısı (%) | 90,67 | 96,16 | 93,91 | 92 | 97,62 |
| Test Korelasyon ($r^2$) | 0,61 | 0,84 | 0,71 | 0,51 | 0,87 |
| 5-fold toplam süre (dk) | 12,15 | 5,25 | 7,55 | 10,15 | 2,13 |

Literatürde minerallere ait piksel değerlerinin renk değerleri alınarak farklı sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Marschalliger, 1997 yılında otomatik bir mineral sınıflandırma sistemi yapmıştır. Ancak verinin nasıl elde edildiği, önişlemin nasıl yapıldığı ve deneysel çalışmalar hakkında bilgi vermemiştir. 2001 yılında Thompson ve arkadaşları 10 mineral için HSV renk uzayında renk ve doku özellikleri kullanarak sınıflandırma yapmışlardır. Ancak sadece mineral sınıflandırma yapmışlar, mineral etiketleme yapmamışlardır. Ayrıca kullanılan veri setinin boyutu ile ilgili net bilgi verilmemiştir. Bununla birlikte tez kapsamında opak sınıflandırmasında daha yüksek başarı, biyotitte ise yaklaşık aynı sonuç elde edilmiştir. Ayrıca 36 test örneğini kullandıkları analizlere göre kuvarsta daha yüksek başarı elde edilmiştir (Tablo 9.5). Fueten ve Mason (2007) mineral sınıflandırma için

3 ayrı ÇKYSA denemişlerdir. Ancak eğitme ve test işlemlerinde çapraz doğrulama uygulamadan sadece 1 tekrar yapmışlardır ve gizli katmandaki nöron sayısı belli değildir. Tüm yapılan çalışmalarda araştırmacılar kendi veri setlerini kullandıkları için, tez kapsamında yapılan çalışmalarla tam olarak karşılaştırma yapılamamıştır.

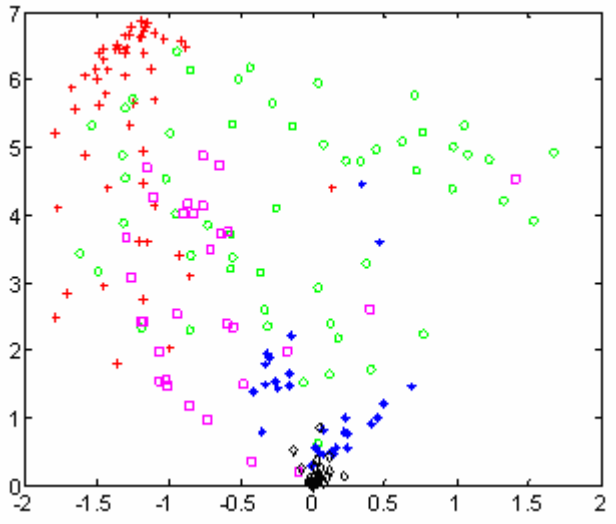
Tablo 9.5 Mineral sınıflandırmasında karşılaştırma

| | Kuvars | | Biyotit | | Opak | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Test örnek sayısı | | Test örnek sayısı | | Test örnek sayısı | |
| Thompson ve ark. (2001) | 36 | 74 | 36 | 74 | 36 | 74 |
| | 85,74 | 95,30 | 95,95 | 95,95 | 81,48 | 93,65 |
| Tez çalışması (2007) | 5-fold doğrulama ile 110 | | 5-fold doğrulama ile 60 | | 5-fold doğrulama ile 60 | |
| | 90,67 | | 93,91 | | 97,62 | |

LTKYSA ile yapılan sınıflandırmada %78,8 sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Bu başarı ÇKYSA ile elde edilen sonuçlardan daha kötüdür. LTKYSA, veriye ait özelliklerin çok dağınık olduğu zamanlarda veriyi sınıflandırmada iyi performans verememektedir. Kullanılan 400 adet veriye ait özellik dağılım grafiği Şekil 9.3'te verilmiştir. Şekil 9.3'te de görüleceği gibi veri dağılımı çok karmaşıktır. Bu nedenle LTKYSA ile sınıflandırma da iyi performans alınamamıştır.

Mikroskop altında yapılan ince kesit incelemelerinde; kesitin tam ve net olarak incelenememesi, hassas ölçüm yapılamaması, incelenen kesite ait görüntünün net olmaması, kesitin istenilen yöne istenilen açı kadar döndürülememesi konuları uzman tarafından yapılan mineral tanımalarında karşılaşılan sorunlar arasındadır. Bu nedenle tez kapsamında bu sorunları en aza indirmek için bilgisayar kontrollü, mikroskoba monte edilebilen bir otomatik mekanik sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistem yardımıyla, objektif altında, mikroskop tablası üzerine yerleştirilen bir yatak içine yerleştirilen ince kesit x ya da y ekseni yönünde 0,183 μm/adım hassasiyetle ilerletilebilmektedir. Ayrıca inceleme esnasında görüntünün netliğini ayarlamak için mikroskop tablası aşağı-yukarı yönde 32,226 nm/adım hassasiyetle hareket ettirilebilmektedir. Görüntü alımı sırasında mikroskop tablası da yaklaşık 1 derece hassasiyetle saat yönünde ya da saat yönüne ters yönde

çevirilebilmektedir. Çift nikol ya da tek nikol görüntü alımı sırasında analizörün kontrolü de bu sistem ile yapılabilmektedir. Tüm bu kontroller bilgisayar tarafından kontrol edilerek otomatik olarak yapılabilmekte ve tüm işlemler Lcd ekranda gözlenebilmektedir. Sistemin kontrolüne ve görüntü alımının otomatik olarak yapılabilmesine imkân verebilen bir program arayüzü de kullanıcılar için geliştirilmiştir.



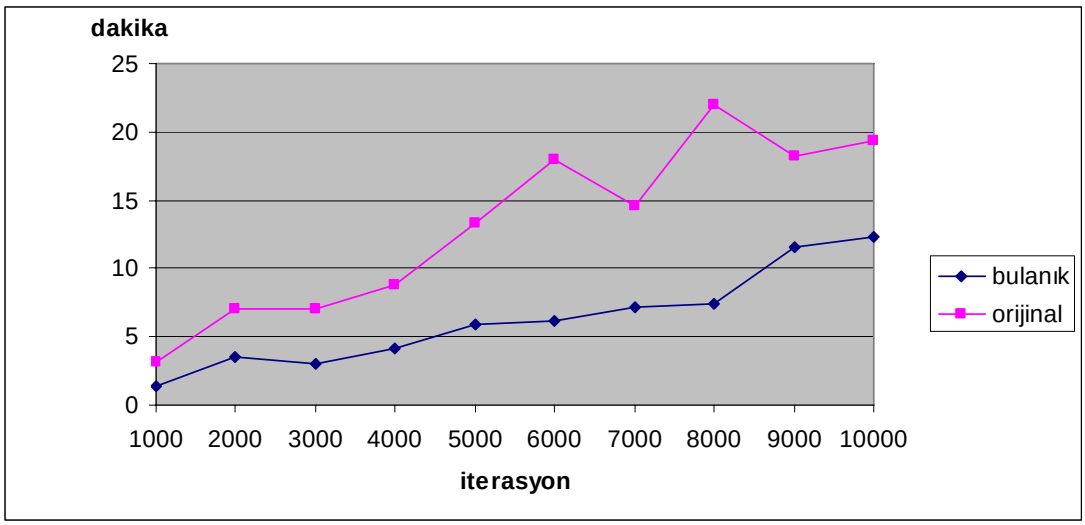

Şekil 9.3 400 veriye ait özellik dağılım grafiği

Tez kapsamında tasarımı gerçekleştirilen bu prototip mekanik sistem yalnız mineral incelemelerinde değil; mikroskop kullanan tıp, biyoloji, mühendislik, endüstri gibi çok farklı alanlarda da kolaylıklar ve ölçümlerde hassasiyet getirecektir. Rast gele yapılan ya da bir standartı olmayan ölçümler artık bilimsel standartlarda yapılabilecektir.

Mineral tanıma için hibrit sistemlerin kullanılması da tez bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Bunun için K-Ortalama ile her mineral için küme merkezlerinin bulunduğu ve bunların bulanık mantıkta üyelik fonksiyonlarının merkezi olarak alındığı bir önişlem metodu geliştirilmiştir. Bu metot ile sınıflandırmada kullanılan ÇKYSA için iterasyon sayısını ve gizli katmandaki nöron sayısını azaltarak, zamanı daha da kısaltmak hedeflenmiştir. Bulanık önişlem uygulanmış verilerde, orijinal veriler ile ulaşılan aynı sınıflandırma başarıları elde edilmiştir. Ancak Tablo 9.6'da

de görüleceği gibi orijinal verilerde yüksek sınıflandırma başarılarının elde edildiği ÇKYSA mimarilerinde gizli katmandaki nöron sayısı çok fazladır. Bu da sistemi oldukça büyük, hantal ve yavaş çalışır bir hale getirmektedir. Bulanık önişlem uygulayarak çok küçük mimarilerde aynı sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Böylece ileride yapılabilecek bir gömülü sistem için çok daha küçük yapıda ÇKYSA mimarileri bulunmuştur (Tablo 9.6).

Bulanık mantık önişlem uygulanarak yapılan mineral sınıflandırmada en iyi test başarısı %99,01 olarak 9000 iterasyonda, gizli katmanda 61 nöron ile elde edilmiştir. Bu sınıflandırma için süre 11,6 dk olarak bulunmuştur. Yaklaşık aynı başarı değeri, önişlem uygulanmamış veri ile 8000 iterasyonda, gizli katmanda 144 nöron ile bulunmuştur. Ancak bu sınıflandırmada süre 22 dk'dır ve bulanık önişlem uygulanmış veri ile yapılan sınıflandırmanın 2 katı sürede tamamlanmıştır. Bu karşılaştırmadan da görüleceği gibi önerilen bulanık mantık tabanlı önişlem algoritması pratik uygulamalarda zaman yönünde çok kazançlı olabilecektir. Bulanık önişlem uygulanmış ve uygulanmamış veri ile yapılan sınıflandırmaya ait zaman grafiği Şekil 9.4'te verilmiştir.




Şekil 9.4 Bulanık mantık uygulanmış ve
uygulanmamış veriye ait zaman performans grafiği

Tablo 9.6 Bulanık önişlem uygulanmış verilerle, önişlem yapılmayan verilerin mineral sınıflandırmasında en iyi sonuç veren ÇKYSA sonuçlarının karşılaştırılması

| Bulanık önişlem uygulanan verilerin sınıflandırma sonuçları | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme başarısı (%) | Eğitme korelasyon ($r^2$) | Test başarısı (%) | Test Korelasyon ($r^2$) | 5-fold toplam süre (dk) |
| 6 x 85 x 5 | 1000 | 99,39 | 0,99 | 98,51 | 0,95 | 1,41 |
| 6 x 123 x 5 | 2000 | 99,72 | 0,99 | 98,74 | 0,95 | 3,58 |
| 6 x 26 x 5 | 3000 | 99,86 | 0,99 | 98,79 | 0,94 | 3 |
| 6 x 35 x 5 | 4000 | 99,91 | 0,99 | 98,85 | 0,94 | 4,1 |
| 6 x 54 x 5 | 5000 | 99,95 | 0,99 | 98,92 | 0,94 | 5,9 |
| 6 x 36 x 5 | 6000 | 99,95 | 0,99 | 98,94 | 0,94 | 6,1 |
| 6 x 45 x 5 | 7000 | 99,96 | 0,99 | 98,95 | 0,94 | 7,2 |
| 6 x 37 x 5 | 8000 | 99,92 | 0,99 | 98,91 | 0,94 | 7,35 |
| 6 x 61 x 5 | 9000 | 99,96 | 0,99 | 99,01 | 0,94 | 11,6 |
| 6 x 61 x 5 | 10000 | 99,99 | 0,99 | 98,97 | 0,94 | 12,35 |
| | | | | | | |
| Bulanık önişlem uygulanmamış verilerin sınıflandırma sonuçları | | | | | | |
| ÇKYSA mimarisi | İterasyon sayısı | Eğitme başarısı (%) | Eğitme korelasyon ($r^2$) | Test başarısı (%) | Test Korelasyon ($r^2$) | 5-fold toplam süre (dk) |
| 6 x 28 x 5 | 1000 | 99,23 | 0,99 | 98,57 | 0,95 | 3,08 |
| 6 x 150 x 5 | 2000 | 99,69 | 0,99 | 98,81 | 0,95 | 7,05 |
| 6 x 130 x 5 | 3000 | 99,82 | 0,99 | 98,91 | 0,95 | 7,06 |
| 6 x 133 x 5 | 4000 | 99,89 | 0,99 | 98,91 | 0,94 | 8,85 |
| 6 x 142 x 5 | 5000 | 99,94 | 0,99 | 98,95 | 0,94 | 13,3 |
| 6 x 175 x 5 | 6000 | 99,94 | 0,99 | 98,98 | 0,94 | 18 |
| 6 x 120 x 5 | 7000 | 99,98 | 0,99 | 98,99 | 0,94 | 14,55 |
| 6 x 144 x 5 | 8000 | 99,97 | 0,99 | 99,04 | 0,95 | 22 |
| 6 x 123 x 5 | 9000 | 99,99 | 0,99 | 99,15 | 0,94 | 18,2 |
| 6 x 113 x 5 | 10000 | 99,99 | 0,99 | 99,03 | 0,94 | 19,4 |

Bu tez çalışmasında, polarizan bir mikroskop sistemine bağlı sabit bir kamera yardımıyla alınan ince kesit görüntülerinde, dijital görüntü işleme ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak; ince kesitte bulunan mineral türleri ve oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen sistem, uzman tarafından gerçekleştirilen görsel denetim metoduna göre daha hızlı, daha güvenilir sonuçlar üretmektedir. Görüntünün elde edilmesi için geliştirilen mekanizma yardımıyla görüntüler otomatik olarak elde edilebilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan mineral etiketleme ve sınıflandırma çalışmaları, bu alandaki diğer araştırmacılar için ileride yapacakları çalışmalara bir yol açmakta, temel bilgilerin bulunduğu bir kaynak olmaktadır. Tez kapsamında yapılan çalışmalara ek olarak, yeni algoritmaların ve tekniklerin kullanılması ya da kullanılanlara ilave edilmesi ile çok daha fazla sayıda mineral tespit edilmesi mümkün olabilecektir.

Geliştirilen prototip mekanik sistem ilerideki geliştirilebilecek ve gömülü sistemler ile birlikte kullanılabilecek bir yapıdadır. Eklenecek yeni motorlar ile farklı incelemelerde kullanılabilecek hale getirilebilir. Sisteme entegre edilecek bir network altyapısı ile telemikroskopi çalışmaları yapılabilir.

Geliştirilen önişlem algoritması ile farklı analizlerde kullanılan ÇKYSA mimarilerinin yapıları küçültülebilir.

## KAYNAKLAR

Açıkalın, E., Cingi, İ., Erol, K., 1996, "Laboratuar teknikleri ve gereçleri", Açık Öğretim Fakültesi Yayınları: 548, Eskişehir, 151 sayfa

Akesson, U., Hansson, J., Stigh, J., 2004, "Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading", Engineering Geology 72:131-142

Akhan, N., 2004, "Bilgisayar destekli iris tanıma", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 75 sayfa

Akşit, F., Akgün, Y., Kiraz, N., 1995, "Genel mikrobiyoloji ve immünoloji", Açık Öğretim Fakültesi Yayınları: 453, Eskişehir, 281 sayfa

Altan, O., 2004, "Fotogrametri-II Ders Notları", İstanbul Teknik Üniversitesi,

Baba, N., Ichise, N., Tanaka, T., 1996, "Image area extraction of biological objects from a thin section image by statistical texture analysis", Electron Microscopy 45: 298-306

Babaoğlu, İ., Baykan, Ö. K., Aygul, N., Ozdemir, K., Bayrak, M., 2009, "Assessment of exercise stress testing with artificial neural network in determining coronary artery disease and predicting lesion localization", Expert Systems with Applications 36:2562-2566

Bagherieh, A. H., Hower, J. C., Bagherieh, A. R., Jorjani, E., 2008, "Studies of the relationship between petrography and grindability for Kentucky coals using artificial neural network", International Journal of Coal Geology 73:130-138

Baş, H., 1992, "Genel Mineraloji (Kristalografi)", Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Konya, 229 sayfa

Baş, H., Kansun, G., 1992, "Mineraloji drs notları", Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Konya, 70 sayfa

Baykan, N. A., Yılmaz, N., 2010, "Mineral identification using color spaces and artificial neural network", Computers&Geosciences 36(1):91-97

Baykan Ö. K., 2001, "Dijital Görüntü Kalitelerinin Tanımlanması Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya

Baykan, Ö. K., 2007, "Bilgisayar destekli un kalite izleme sistemi tasarımı", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 82 sayfa

Bonnet, N., 2004, "Some trends in microscope image processing", Micron 35:635-653

Bortchagovsky, E. G., Reznik, B., Gerthsen, D., Pfrang, A., Schimmel, T., 2003, "Optical properties of pyrolytic carbon deposits deduced from measurements of the extinction angle by polarized light microscopy", Carbon 41(12): 2430-2433

Boztoprak, Y., 2001, "Enjeksiyonla kalıplanmış plastik parçalarda oluşan yönlenme ve artık gerilmelerin polarize ışık mikroskobu yardımıyla incelenerek kritik noktaların belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134 sayfa

Caspur, 2010, www.caspur.it

Chen, C., Wu, W., 2005, "Color pattern recognition with the multi-channel non-zero-order joint transform correlator based on the HSV color space", Optics Communications 244(1-6): 51-59

Crelling, J. C., Glasspool, I., J., Gibbins, J. R., Seitz, M., 2005, "Bireflectance imaging of coal and carbon specimens", International Journal of Coal Geology 64: 204-216

Çomak, E., Arslan, A., Türkoğlu, İ., 2007, "A decision support system based on support vector machines for diagnosis of the heart valve diseases", Computers in Biology and Medicine 37:21-27

Demiralay, M., Çamurcu, A. Y., 2005, "Cure, agnes ve k-means algoritmalarındaki kümeleme yeteneklerinin karşılaştırılması", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 4(8): 1-18

Diamantidis, N.A., Karlis, D., Giakoumakis E.A., 2000, "Unsupervised stratification of cross-validation for accuracy estimation", Artificial Intelligence 116(1-2): 1-16

Donskoi, E., Suthers, S. P., Fradd, S. B., Young, J. M., Campbell, J. J., Raynlyn, T. D., Clout, J. M. F., 2007, "Utilization of optical image analysis and automatic texture classification for iron ore particle characterisation", Minerals Engineering 20(5):461-471

Egmont-Petersen, M., de Ridder, D., Handels, H., 2002, "Image processing with neural networks-a review", Pattern Recognition 35:2279:2301

Erkan, Y., 2001, "Kayaç oluşturan önemli minerallerin mikroskopta incelenmesi", T.M.M.O.B. Jeoloji Müh. Odası Yayınları:42, Ankara, 438 sayfa

Forero, M. G., Sroubek, F., Cristobal, G., 2004, "Identification of tuberculosis bacteria based on shape and color", Real-Time Imaging 10:251-262

François, D., Rossi F., Wertz V., Verleysen, M., "Resampling methods for parameter-free and robust feature selection with mutual information", Neurocomputing 70(7-9): 1276-1288

Fueten, F., 1997, "A computer-controlled rotating polarizer stage for the petrographic microscope", Computers&Geosciences 23(2):203-208

Fueten, F., Goodchild, J.S., 2001, "Quartz *c*-axes orientation determination using the rotating polarizer microscope", Journal of Structural Geology 23 (6-7): 895-902

Fueten, F., Hynes, K., Van Luttikhuisen, R.L., 2002, "An experimental setup for the analysis of analogue deformation experiments using the rotating polariser stage", Journal of Structural Geology 24: 241-245

Fueten, F., Mason, J., 2007, "An artificial neural net assisted approach to editing edges in patrographic images collected with rotating polarizer stage", Computers & Geosciences 33(9): 1176-1188

Gann, R. G., 1999, "Desktop scanners – Image quality evaluation", Prentice-Hall Basım, A.B.D., 300 sayfa

Genç, S., 1987, "Mineraller-Kayaçlar, Jeolojik yapılar ve saha jeolojisi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 221 sayfa

Gonzales, R.C., Woods, R.E., 1993, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Basım, Amerika, 716 sayfa

Gonzales-Barron, U., Butler, F., 2006, "A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumb features by digital image analysis", Journal of Food Engineering 74:268-278

Goodall, W. R., Scales, P. J., 2007, "An overview of the advantages and disadvantages of the determination of gold mineralogy by automated mineralogy", Minerals Engineering 20: 506-517

Goodchild, J.S., Fueten, F., 1998, "Edge detection in petrographic images using the rotating polarizer stage", Computers&Geosciences 24(8):745-751

Gren, P., MacDonald, L. W., 2002, "Colour engineering: achieving device independent colour", John Wiley and Sons Basım, A.B.D., 458 sayfa

Gökay, M. K., Gundogdu, I. B., 2008, "Color identification of some Turkish marbles", Construction and Building Materials 22: 1342-1349

Gülbağ, A., 2006, "Yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar ile uçucu organik bileşiklerin miktarsal tayini", Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 149 sayfa

Güler, İ., Übeyli, E. D., 2005, "Detection of ophthalmic arterial doppler signals with Behcet disease using multilayer perceptron neural network", Computers in Biology and Medicine 35, 121-132

Güler, İ., Gökçil, Z., Gülbandilar, E., 2009, "Evaluating of traumatic brain injuries using artificial neural networks", Expert Systems with Applications 36:10424-10427

Hagni, R. D., 1999, "Mineralogy of beneficiation problems involving fluorspar concentrates from carbonatite-related fluorspar deposits", Mineralogy and Petrology 67: 33-44

Han, J., Kamber, M., 2001, "Data mining: concepts and techniques", Morgan Kaufmann Basım, A.B.D., 550 sayfa

Haykin, S., 1999, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", IEEE Basım, 700 sayfa

Işık, M., Çamurcu, A.Y., 2007, "K-means, k-medoids ve bulanık c-means algoritmalarının uygulamalı olarak performanslarının tespiti", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 6(11): 31-45

Hope, G. A., Woods, R., Munce, C. G., 2001, "Raman microprobe mineral identification", Minerals Engineering 14(12): 1565-1577

Kang, H. R., 2006, "Computational color technology", SPIE Basım, A.B.D., 511 sayfa

Kaczmarek, E., Matthews-Brzozowska, T., Miskowiak, B., 2003, "Digital image analysis in dental research applied for treatment of fissures on occlusal surfaces of premolars", Annals of Biomedical Engineering 31:931-936

Karabörk H., 2002, "Digital Fotogrametride Manuel ve Yarı Otomatik Yöntemlerin Değerlendirme Doğruluğuna Etkisi Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya

Katırcıoğlu, F., 2007, "Renkli görüntülerin bağıntı matrisine dayalı ayrıştırılması ve kenar algılama", Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 100 sayfa

Kılıçkaya, S., 1996, "Temel fizik", Açık Öğretim Fakültesi Yayınları: 331, Eskişehir, 121 sayfa

Kocsis, K., Hyttinen, M., Helminen, H.J., Aydelotte, M. B., Modis, L., 1998, "Combination of digital image analysis and polarization microscopy: Theoretical considerations and experimental data", Microscopy Research and Technique 43 (6): 511:517

Kodaz, H., Özşen, S., Arslan, A., Güneş, S., 2009, "Medical application of information gain based artificial immune recognition system (AIRS): Diagnosis of thyroid disease", Expert Systems with Applications 36:3086-3092

Kurt, H., Arık, F., 2003, "Mineraloji", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 254 sayfa

Lee, J., 1997, "Object recognition using a neural network with optimal feature extraction", Mathematical and Computer Modelling 25 (12), 105-117

Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J., 2006, "Color measurement in *L*a*b** units from RGB digital images", Food Research International 39: 1084-1091

Lescure, P., Dupoisot, H., Stamon, G., 2001, "Thickness extraction from biological images and interference colors", Pattern Recognition Letters 22: 857-867

Li, S., Fevens, T., Krzyzak, A., Li, S., 2006, "Automatic clinical image segmentation using pathological modeling, Pca and Svm", Engineering Applications of Artificial Intelligence 19:403-410

Lumbreras, F., ve Serrat ,J., 1996 "Segmentation of petrological images of marbles", Computers&Geosciences 22(5): 547-558

Matlab 7.4.0 (R2007)

McAndrew, A., 2004, "Introduction to digital image processing with Matlab", Thomson Course Technology Basım, A.B.D., 510 sayfa

Marschallinger, R., 1997, "Automatic mineral classification in the macroscopic scale", Computers&Geosciences 23: 119-126

Miao-Ling, L., Le-Hua, Q., He-Jun, L., Guo-Zhong, X., 2007, "Measurement of the extinction angle about laminar pyrocarbons by image analysis in reflection polarized light", Materials Science&Engineering A 448:80-87

Mikrosistem, 2010, Mikrosistem Ltd. Şti., www.mikroskopi.com

Mingoti, S. A., Lima, J. O., 2006, "Comparing SOM neural network with fuzzy c-means, k-means and traditional hierarchical clustering algorithms", European Journal of Operational Research 174:1742-1759

Öztemel, E., 2003, "Yapay sinir ağları", Papatya Yayıncılık, 232 sayfa

Pakhira, M. K., 2008, "Computer graphics multimedia and animation", Prentice-Hall Basım, A.B.D., 392 sayfa

Porter, R., Canagarajah, N., 1997, "Robust rotation-invariant texture classification: wavelet, Gabor filter and GMRF based schemes", IEEE Proceedings, Visual Image Signal Processing 144(3): 180-188

Pritsos, C., Kontonasaki, E., Chatzistavrou, X., Papadopoulou, L., Pappas, F., Koidis, P., Paraskevopoulos, K. M., 2005, "Studying morphological characteristics of

thermally treated bioactive glass ceramic using image analysis", Journal of the European Ceramic Society 25: 891-897

Raudys, S., 2001, "Statistical and Neural Classifiers: an integrated approach to design (Advances in pattern recognition)", Springer Basım, 289 sayfa

Raudys, S., Baykan, Ö. K., Babalik, A., Denisov, V., Bielskis, A. A., 2007, "Classifier fusion in recogniton of wheat varieties", Multiple Classifier System 2007 Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 4472: 62-71

Rosenblat, F., 1958, ""The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain", Psychoanalytic Review, 65 (6): 386-408

Rosenbusch, H., 1873, "Mikroskopische physiographie der mineralien und massigen gesteine: Ein hülfsbuch bei mikroskopischen gesteinnstudien, Cilt 1", E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung Basım, 398 sayfa

Ross, T. J., 1995, "Fuzzy logic with engineering applications", McGraw-Hill Basım, 600 sayfa

Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., 2003, "Mühendislikte yapay zeka uygulamaları", Ufuk Yayınevi, 426 sayfa

Sagiroglu, S., Celebi, F. V., Danisman, K., 2002, "Modelling of the linewidth enhancement factor with the use of radial basis function network", International Journal of Electronics and Communications 56(1): 51-54

Sagiroglu, S., Yilmaz, N., 2009, "Web-based mobile robot platform "for real-time exercise", Expert Systems with Applications 36: 3153-3166

Samantaray, A.K., 1993, "Computer assisted petrographic image analysis and quantization of rock textures", Doktora tezi, Western Ontario Üniversitesi, Ontario, Kanada, 176 sayfa

Schanda, J., 2007, "Colorimetry: understanding the CIE system", John Wiley and Sons Basım, A.B.D., 459 sayfa

Segnini, S., Dejmek, P., Öste, R., 1999, "A low cost video technique for colour measurement of potato chips", Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 32(4): 216-222

Serhatlıoğlu, S.,Hardalaç, F., Güler, İ., 2003, "Classification of transcranial Doppler signals using artificial neural network", Journal of Medical Systems 27(2):205-214

Singh, V., Mohan Rao, S., 2005, "Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification", Minerals Engineering 18:1412-1420

Sjöström, P.J., Frydel, B.R., Wahlberg, L.U., 1999, "Artificial neural network-aided image analysis system for cell counting", Cytometry 36, 18-26

Smith, J. V., Beerman, E., 2007, "Image analysis of plagioclase crystals in rock thin sections using grey level homogeneity recognition of discrete areas", Computers & Geosciences 33: 335-356

Starkey, J., Samantaray, A.K., 1993, "Edge detection in petrographic images", Journal of Microscopy 172(3): 263-266

Swenson, R. L., Dimond, K., R., 1998, "A universal colour transformation archtitecture", Pattern Recognition Letters 19: 805-813

Şahin, H., Dayanık, A., Altınbaşak, C., 2006, "Pic programlama teknikleri ve Pic 16f877a", Atlaş Yayıncılık, İstanbul, 526 sayfa

Şen, Z., 2004, "Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri", Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 191 sayfa

Şentürk, S., 2006, "Deney planlamasında bulanık mantık yaklaşımı", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 85 sayfa

Takahashi, Y., 2002, "Practical method of determining plagioclase twinning laws under the microscope", 53(11-12): 795-800

Tezel, G., 2007, "Biyomedikal işaretlerin yeni bir adaptif aktivasyon fonksiyonlu yapay sinir ağı ile sınıflandırılması", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 162 sayfa

Thompson, S., Fueten, F., Bockus, D., 2001, "Mineral identification using artificial neural networks and the rotating polarizer stage", Computers & Geosciences 27(9): 1081-1089

Uğuz, H., Öztürk, A., Saraçoğlu, R., Arslan, A., 2008, "A biomedical system based on fuzzy discrete hidden Markov model fort he diagnosis of the brain diseases", Expert Systems with Applications 25:1104-1114

Umbaugh, S. E., 1999, "Computer Vision and Image Processing : A Practical Approach Using CVIPtools" , Prentice-Hall Basım, A.B.D., 504 sayfa

Übeyli, E. D., Güler, İ., 2003, "Neural network analysis of internal carotid arterial Doppler signals: predictions of stenosis and occlusion", Expert Systems with Applications 25:1-13

Yalpır, Ş., 2007, "Bulanık mantık metodolojisi ile taşınmaz değerleme modelinin geliştirilmesi ve uygulanması: Konya örneği", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 245 sayfa

Yam, K. L., Papadakis, S. E., 2004, "A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces", Journal of Food Engineering 61: 137-142

Yıldırım, H., Altınsoy, H. B., Barışçı, N., Ergün, U., Oğur, E., Hardalaç, F., Güler, İ., 2004, "Classification of frequency of carotid artery stenosis with MLP and RBF neural networks in patients with coroner artery disease", Journal of Medical Systems 28(6):591-601

Yılmaz, N., 2005, "Web tabanlı mobil robot sistemi tasarımı, gerçekleştirilmesi ve uygulamaları", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 137 sayfa

Yu, C. H., Chen, S. Y., 2006, "Universal colour quantisation for different colour spaces", Iee Proceedings-Vision Image and Signal Processing 153 (4): 445-455

Zadeh, L. A., Klir, G. J., Yuan, B., 1996, "Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems", World Scientific Basım, 826 sayfa

Zaknich, A., 2003, "Neural networks for intelligent signal processing", World Scientific Basım, Singapur, 484 sayfa

Wikipedia, 2010, http://tr.wikipedia.org/