

**Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak
Mineral Tanıma**

Fatih ABA
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sevcin KÜRÜM
NİSAN -2014

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

**GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANARAK MİNERAL
TANIMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ABA

(101116108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Mart 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Nisan 2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sevcan KÜRÜM (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Engin AVCI (F.Ü)

Doç. Dr. Melahat BEYARSLAN (F.Ü)

NİSAN-2014

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Bu çalışmada görüntü işleme ve yapay sinir ağları kullanarak mineral tanıma matlab bilgisayar programı hazırlanmıştır. Çalışmam esnasında her türlü destek, bilgi ve tecrübesiyle çalışmamda yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sevcin KÜRÜM'e, programsal bilgileri elde etme esnasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Engin AVCI'ya ve Doç. Dr. Servet SOYGÜDER'e en içten duygularla teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Fatih ABA

ELAZIĞ – 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
2. POLARİZAN MİKROSKOP VE ÖZELLİKLERİ.....	2
3. IŞIK ve ÖZELLİKLERİ.....	5
3.1. Beyaz Işık, Homojen (Monokromatik) Işık, Polarize Işık	5
3.2. Işığın yansıması ve Kırılması (Kırılma İndisi)	5
3.3. İzotrop Ortamlarda Işığın Yayılması.....	7
3.4. Anizotrop Ortamlarda Işığın Yayılması	8
3.5. Anizotrop Minerallerde Çift Kırma	9
3.6. Anizotrop Minerallerde Sönme.....	10
3.7. Beyaz Işıktaki Çift Nikolde Anizotrop Bir Levhanın Durumu	10
3.8. Anizotrop Minerallerde Girişim Renkleri ve Çiftkırmanın Saptanması	11
4. ÇALIŞMADA KULLANILACAK MİNERALLER VE ÖZELLİKLERİ.....	14
4.1. Feldispat Grubu Mineraller.....	14
4.1.1. Alkali Feldispatlar	14
4.1.2. Plajiyoklaslar	15
4.2. Piroksen Grubu Mineraller	15
4.3. Kuvars	17
4.4. Hornblend (Bazaltik Hornblend)	17
4.5. Biyotit.....	18
4.6. Muskovit.....	19
4.7. Olivin.....	19

5. YAPAY SİNİR AĞLARI	20
5.1. Biyolojik Sinir Ağlarının Yapısı	20
5.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	21
5.3. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	23
5.4. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları	24
5.5. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	26
5.6. Öğrenme Oranı	27
5.7. Geri Yayılım Algoritması	28
6. GÖRÜNTÜ İŞLEME	30
6.1. Görüntü Türleri	30
6.2. Renk Kavramı	33
6.3. Renk Sistemleri	33
6.4. Renk Uzayları	33
6.4.1. RGB Renk Uzayı	34
6.4.2. Lab Renk Uzayı	34
6.5. Görüntü Sınıflandırma	35
7. MATLAB'DA GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY SİNİR AĞLARI	
KULLANIMI	37
7.1. Matlab Programlama Arayüzü	37
7.1.1. Matlab Ana Ekran	37
7.2. Matlab Kod Yazma Editörü	38
7.3. Matlab'da Yapay Sinir Ağları Kullanımı	38
7.4. Matlab'da Görüntü İşleme	40
8. UYGULANAN YÖNTEMLER	42
9. BULGULAR	47
10. SONUÇ	48
11. KAYNAKLAR	49

ÖZET

Farklı metot ve algoritmalar kullanılarak mineraller tanımlanabilir. Bu metotlardan bir tanesi minerallerin mikroskobik (polarize) renklerini kullanarak minerali tanımlamaktır. Renk spektrumunda her bir rengin bir piksel değeri vardır. Bu çalışmada RGB spektrumunda tanımlanan RGB değerleri giriş değerlerini oluşturmak için parametre olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci safhasında, mineralin ince kesitinden çok sayıda görüntü, mikroskoba monte edilmiş dijital fotoğraf makinesi ile elde edilmiştir. Elde edilen bu görüntüler bilgisayara JPEG formatıyla kaydedilmiştir. Bu görüntülerin piksel değerleri matrise yüklenerek görüntü kümeleri oluşturulmuştur. K-Means algoritması kullanılarak görüntünün piksel değerlerinden elde edilen değerler 3 gruba ayrılmıştır.

Çalışmanın ikinci safhasında, birinci safhada elde edilen sonuçlar, oluşturulan yapay sinir ağlarında kullanılarak minerallerin tanımlanması yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan, alkali feldispat, plajiyoklaz, piroksen ve kuvars mineralleri yaklaşık %12 - %80 doğruluk oranında iken olivin, muskovit, hornbled ve biyotit %64'ün üzerinde doğruluk değeri ile sonuçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Yapay Sinir Ağları, Mineral Tanımlama.

SUMMARY

Minerals Recognition Of Using The Image Processing And Neural Network

The different methods and algorithms can be used to identify the minerals. One of the methods of identifying minerals is to use the the microscopic / polarizaton colors of minerals. Each color has a pixel value in the color spectrum. The pixel values of RGB (Red, Green, Blue) color spectrum are used as parameters to populate the the input data for this study.

In the first phase of this study, a lot of images are taken from the thin sections of the minerals by using a digital camera mounted to a microscope. These polarized images are transmitted into the testing and development computer as Joint Photographic Experts Group (JPEG) images. The data which is obtained from the pixel values of one of the images is loaded to the matrixes for further image clustering process. The K-Means algorithm is used to classify the loaded image data based on the pixel values of the mineral. The image data is divided into three clusters using K-Means to avoid the local minima.

In the second phase of this study, the output data obtained from the first step is used to train a neural network with forward propagation. Once a neural network with forward propagation training is completed, the neural network identified the minerals.

The Alkali Feldspar, Plagioklas, Pyroxene and Quartz Minerals which are used in this study proved with approximately between %12 and %80 accuracy whereas the olivin, muscovite, hornblende, and biotite minerals proved with over than 64% accuracy.

Key words: Image Processing, Artifical Neural Networks, Mineral Recognition.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. (a) Olympus CX31-P model polarizan mikroskobu ve mikroskop elemanları (b) bilgisayar basit bir polarizan mikroskopun görünümü	2
Şekil 2.2 Polarizör ve analizörün birbirine paralel olması durumunda ışığın durumu	3
Şekil 2.3. Polarizör ve analizörün eğik olması durumunda ışığın durumu	4
Şekil 2.4. Polarizör ve analizörün birbirine dik olması durumunda ışığın durumu.....	4
Şekil 3.1. (a) Adi beyaz ışık ve (b) polarize ışığın yayılım şekli	5
Şekil 3.2. Yansıma kanunu.....	6
Şekil 3.3. Işığın kırılma kanununa göre kırılma ve yansıması	6
Şekil 3.4. İzotrop minerallerde ışığın yayılma prensibi.....	7
Şekil 3.5: Anizotrop mineral olan kalsitte çift kırınımın izlenmesi.....	8
Şekil 3.6. Anizotrop minerallerde ışığın yayılmasına bağlı olarak oluşan elipsoidal şekil ...	9
Şekil 3.7: Minerallerin sönme ve maksimum aydınlık durumlarındaki pozisyonları.....	10
Şekil 3.8. Newton Girişim renkleri ve mineraller (Winter, 2003).....	12
Şekil 3.9. Anizotrop minerallerde dalga boyu mertebelerine karşılık gelen çift kırınım değerleri ve polarizasyon renkleri.....	13
Şekil 4.1. Ortoklas ve sanidin mineralinin çapraz nikolde görünümü.....	14
Şekil 4.2. Farklı plajiyoklas minerallerinin mikroskopta görünümü.	15
Şekil 4.3. Farklı ojit minerallerinin görünümü	16
Şekil 4.4. Diyopsit mineralinin görünümü	16
Şekil 4.5. Kuvars minerallerinin mikroskopta görünümü	17
Şekil 4.6. Farklı hornblend minerallerinin mikroskopta görünümü	18
Şekil 4.7. Farklı biyotit kristallerinin görünümü	18
Şekil 4.8. İnce kesitte farklı polarizasyon rengine sahip muskovit minerallerinin görünümü	19
Şekil 4.9. İnce kesitte farklı polarizasyon rengine sahip olivin minerallerinin görünümü ..	19
Şekil 5.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı	21
Şekil 5.2. Yapay sinir ağlarının yapısı.	21
Şekil 5.3. Perceptronla Sınıflandırma	26
Şekil 5.4. 3 sınıftan oluşan veri kümesi ve bu veriyi sınıflandıran perceptron katmanı.....	27
Şekil 5.5. Çok katmanlı Perceptron	28
Şekil 6.1. Sayısal görüntüde piksellerin gösterilmesi.	30

Şekil 6.2. İkili (Binary) görüntü	31
Şekil 6.3. a) 128, b)64, c) 32, d)16, e) 8 gri değer düzeyi ile oluşturulmuş şekiller görülmetedir	32
Şekil 6.4. Farklı piksel sayısında görüntü örneği.	32
Şekil 6.5. RGB renk uzayı.....	34
Şekil 6.6. CIELab renk uzayı	35
Şekil 7.1. Matlab ana ekran görüntüsü.....	38
Şekil 7.2. Yapay sinir ağlarının m-file ile yazılması	39
Şekil 7.3. Simule edilen yapay sinir ağının grafiksel gösterimi	39
Şekil 7.4. Matlab Neural Network Toolbox	40
Şekil 8.1. Michel – Levy renk tablosunun matlab’a gösterilmesi	42
Şekil 8.2. Çiftkırınım değerlerinin RGB değerleri	42
Şekil 8.3. a) Orijinal görüntü ve b) k mean algoritmasının oluşturduğu renk kümeleri	43
Şekil 8.4. Sınıflandırma sonrasında kümelerin gösterimi	44
Şekil 8.5. Yapay sinir ağı giriş değerleri.....	45
Şekil 8.6. Oluşturulan yapay sinir ağlarının yapısı.....	45
Şekil 8.7. Mineral isminin Matlab command window’da yazılması	46

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Minerallerin ışıkkırma indislerinin pratikteki genel tanımlanmaları ve bazı tipik minerallere ait örnekler	7
Çizelge 2. Tek optik eksenli kalsit ve kuvars minerallerinde çift kırınım değerleri.....	10
Çizelge 3. Mineral sınıflandırmasında elde edilen veriler.	47

1. GİRİŞ

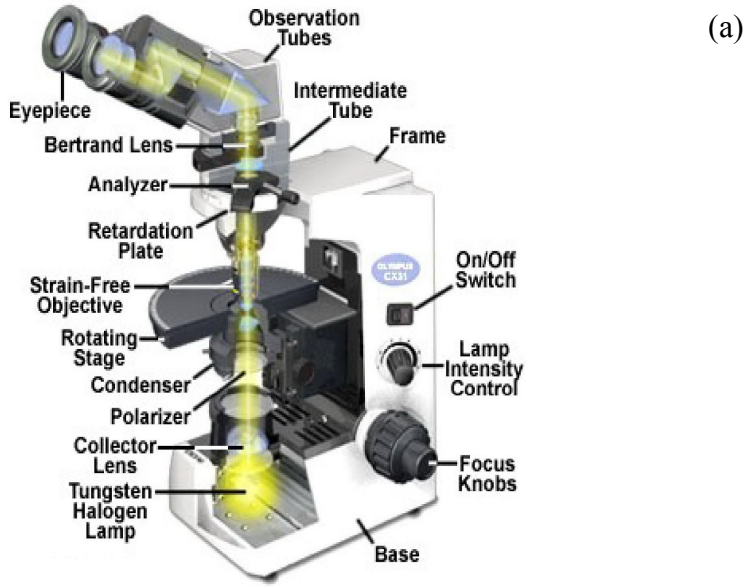
Bu tez çalışmasında belirlenen silikat minerallerinin mikroskopik (polarizasyon) renkleri referans alınarak, bu renklerin görüntü işleme teknikleri ile sayısal veriler haline dönüştürülmesi ve bu verilerin değerlendirilerek minerallerin tanınması gerçekleştirilmiştir.

Petrografik çalışmalarda, kayaç ve minerallerin polarizan mikroskop altında incelenmeleri ile ortaya konulan optik, dokusal ve mineralojik parametrelerin tanımı ve tayini yapılmaktadır. Bu nedenle polarizan mikroskopta yapılan, kayaç oluşturan minerallerin incelenmesi ve petrografik kayaç tanımlamaları en temel yöntemlerden birisi olup, kimyasal analiz yöntemlerine göre ucuz ve daha hızlı olduğundan hala çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan polarizasyon (Interference) rengi minerallerin en önemli optik özelliklerinden biridir ve minerallerin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipulasyonu ve analizi demektir (Castelman, 1996). Bu çalışmada görüntü işleme ve yapay sinir ağları yardımıyla, polarizan mikroskopta, ince kesitlerde bulunan minerallerin, polarizasyon renklerinden yararlanarak tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Seçilen mineral örneklerinin en iyi gözlenebildiği farklı kayaçlardan ince kesitlerden alınan fotoğraflar kullanılmıştır. İnce kesit (thin section), mikroskopta incelemek için, kayaçtan kesilerek lamin üzerine yapıştırılmış yaklaşık 30 mikron kalınlığında (0,030 mm.) inceltilmiş yassı kayaç parçasıdır. Pek çok laboratuvar işleminden sonra inceleme aşamasına gelmiş petrografik amaçlı ince kesitler, polarizan mikroskop ile incelenmektedir. Polarizan mikroskoplarda var olan nikol prizmalar devredeyken, minerallerin ışığa karşı gösterdikleri özelliklere bağlı olarak farklı çift kırınım değerleri (Birefringence) gelişir. Buna bağlı olarak da mineraller bir dizi farklı girişim (Interference) renkleri gösterirler. Bu renk farklılığı minerallerin optik özelliklerinden bir tanesidir. İşte minerallerin gösterdiği bu farklı renkler referans alınarak, bu renklerin görüntü işleme teknikleri ile sayısal veriler haline dönüştürülmesi ve daha sonra yapay sinir ağları ile bu verilerin değerlendirilerek minerallerin tanınması çalışılmıştır.

2. POLARİZAN MİKROSKOP VE ÖZELLİKLERİ

Bilindiği gibi petrografik incelemede kullanılan mikroskobun özel bir mikroskop olması, yani polarizan özellik taşıyan bir mikroskop olması gerekir. Bu mikroskobu diğer mikroskoplardan ayıran en önemli özellik; ışık kaynağının hemen üstünde ve mikroskop tablasının altında, ışığın geliş yönünde dik olarak ve tek yönde titreşmesini sağlayan, yani ışığı polarize eden bir polarizör ve objektifin üstünde polarizörden gelen ışığı yeniden polarize eden ve titreşim yönü gelen titreşim yönüne dik olan bir analizör bulunmasıdır (Şekil 2.1).



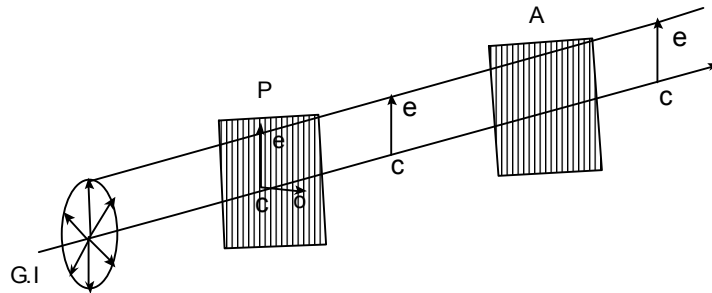
Şekil 2.1. (a) Olympus CX31-P model polarizan mikroskobu ve mikroskop elemanları (b) bilgisayar basit bir polarizan mikroskopun görünümü

Polarizan mikroskoplarda bulunan 4 polaroid (Polarizör, Analizör, Toplayıcı mercek ve Bertrant Merceği) sisteminden ikisini oluşturan Polarizör (I. Nikol) ve Analizör (II. Nikol) bu çalışma kapsamında kullanılacak parametrelerden olan minerallerin polarizasyon renklerini oluşturmaya sebep oldukları için, ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Buna göre Polarizör (I. Nikol) ve Analizör (II. Nikol), mikroskopta polarize ışık üreten özel prizmalardır. Kalsitin çift kırılması ile polarize ışığın elde edildiği polarizasyon prizmasını ilk kez William Nicol (1829) yapmış olup, bugün kalsitten (İzlanda Spatı türü) yapılan polarizasyon-prizmalarına “Nikol Prizması” veya kısaca “Nikol” ismi verilmektedir.

Polarizör, mikroskop tablasının altında olup, ışık kaynağından gelen doğal ışığı polarize hale getirir. Bu nedenle polarizör ismini alır. Analizör ise oküler ile objektif arasında bulunur (Şekil 2.1) ve aşağıdan gelen polarize ışığı analize eder yani tekrar polarize eder. Bu nedenle analizör ismini alır. Nicol prizmalar mikroskopta birbirine göre üç farklı durumda yerleştirilebilir;

- 1-Nikollerin paralel olması
- 2- Nikollerin birbirine eğik olması
- 3-Nikollerin dik olması

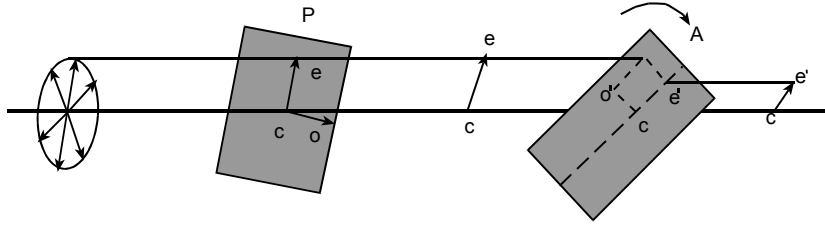
Nikollerin paralel olması durumunda; Birinci Nikol (polarizör)’den çıkan ışın ikinci Nikol (analizör)’ün giriş düzleminin normali yönünde ilerler. Yani polarize ışık analizörün iki temel titreşim istikametinden biriyle çakıştığından analizörde sadece bir bileşen (ekstraordiner) meydana gelir ve o da analizörü olduğu gibi geçerek göze ışık gelir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Polarizör ve analizörün birbirine paralel olması durumunda ışığın durumu (Kerr, 1977)

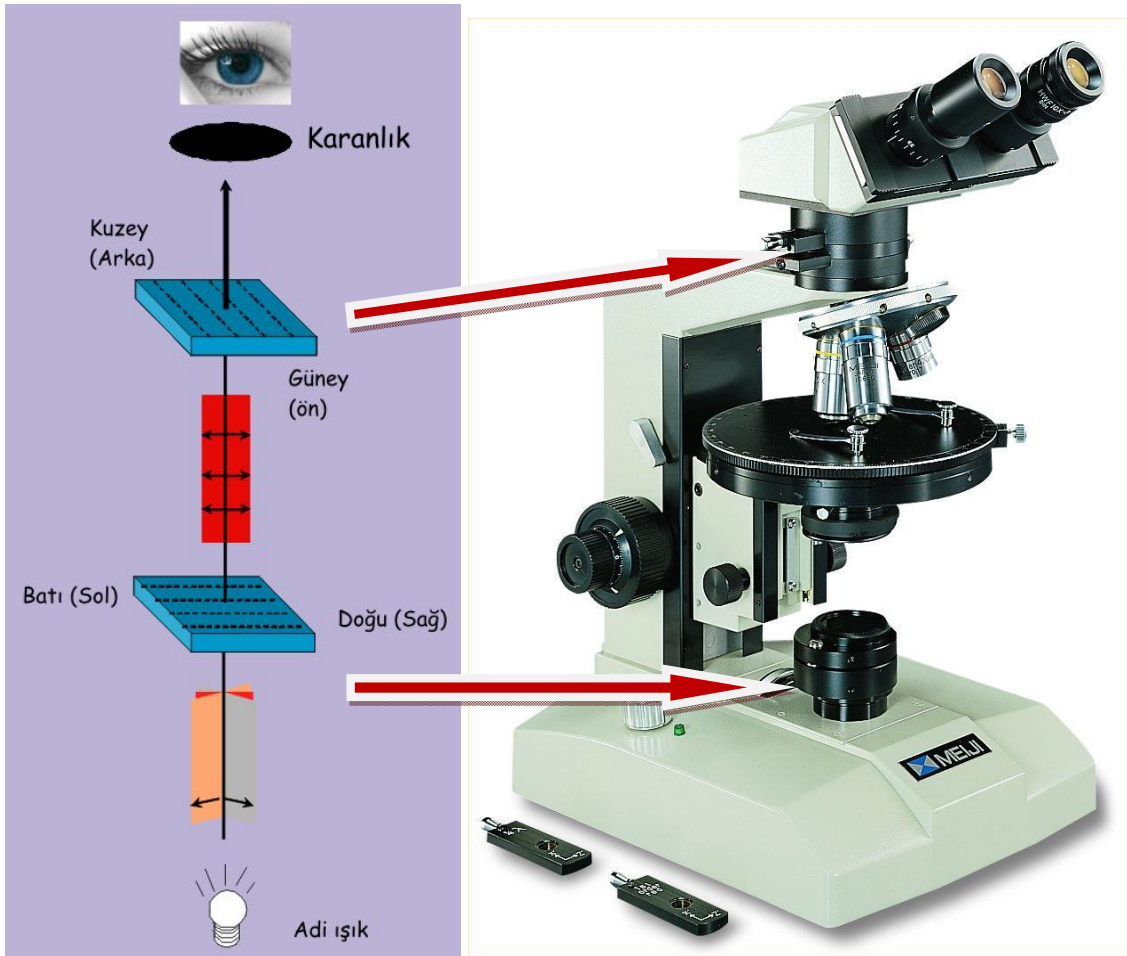
Nikollerin birbirine eğik olması durumunda; Polarizörden çıkan polarize ışığın amplitüdü (ce) ile analizörden çıkanındaki (ce') arasında bir azalma vardır. İki Nikol arasındaki açı büyüdükçe bu azalma artacak ve sonunda 90° olduğu zaman (ce') bileşeni

sıfırlanacak ve göz karanlık görecektir. Yani böylece çapraz Nikol konumu ortaya çıkacaktır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Polarizör ve analizörün eğik olması durumunda ışığın durumu (Kerr, 1977)

Nikollerin dik olması durumunda; Polarizörden gelen polarize ışık, analizörün temel titreşim istikametlerinden birine paraleldir. Yani analizör ve polarizörün titreşim yönleri oküler kıllarındaki yatay (D-B) ve dikey (K-G) yönlerle karşılık gelmektedir. Dolayısıyla tek bir bileşen, ordiner bileşen meydana gelir ve o da tam yansımayla analizörün karartılmış yüzeyinde emildiğinden göze ışık gelmez, karanlık olur (Şekil 2.4).

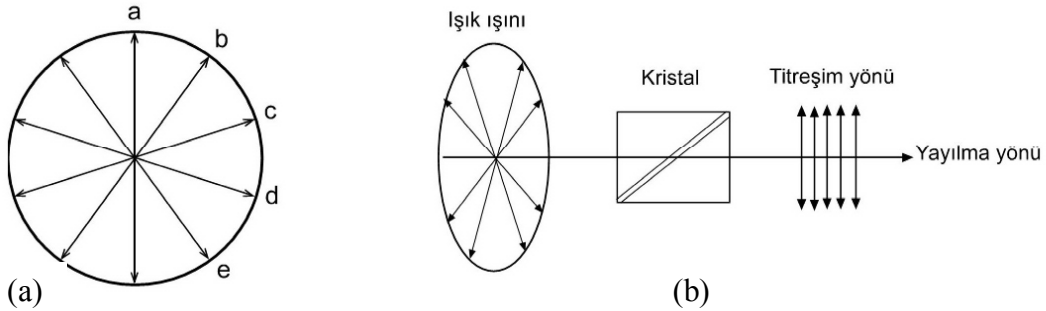


Şekil 2.4. Polarizör ve analizörün birbirine dik olması durumunda ışığın durumu

3. IŞIK ve ÖZELLİKLERİ

3.1. Beyaz Işık, Homojen (Monokromatik) Işık, Polarize Işık

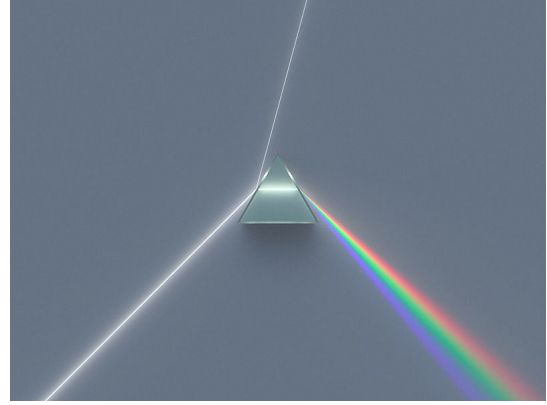
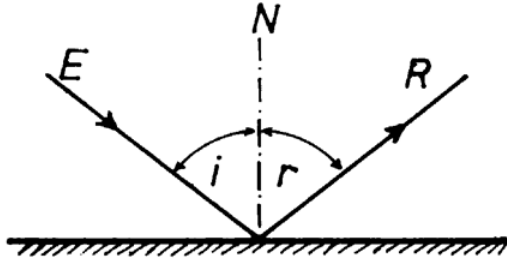
Doğal ışık her yönde ve her düzlemde yayılan bir titreşim olayıdır, titreşimleri bir düzlem içerisinde, fakat bu düzlemin bütün yönlerinde yayılan ışık akla gelir. Işık vektörleri geliş güzel etrafa yayılır. Örneğin Şekil 3.1’de sayfa düzlemine dik yönde yayılan adi ışığın bir kısmı sayfa düzlemine (a) yönünde, bir kısmı (b) yönünde bir kısmı (c) yönünde v.s. titreşir. Tek bir dalga boyundan oluşan ışığa ‘homojen veya monokromatik (tek renkli) ışık’ ismi verilir. Bu tip ışık hareketleri izotrop ortamlarda mevcuttur. Bilindiği üzere izotrop ortamlarda (amorf ve kübik kristaller) yönler eşdeğerlidir. Yayılma yönüne dik tek bir düzlemde ve yalnız bir yönde titreşen ışığa ‘polarize ışık’ denir (Şekil 3.1) (Kerr, 1977).



Şekil 3.1. (a) Adi beyaz ışık ve (b) polarize ışığın yayılım şekli (Kerr, 1977)

3.2. Işığın Yansıması ve Kırılması (Kırılma İndisi)

Yansıtan bir yüzeye ışık-ışını eğik bir açı altında gelirse yansımaya uğrar. Gelen ışının normalle yaptığı açı, yansıyan ışığın yine normalle yaptığı açıya eşittir (Şekil 3.2). Aynı zamanda yansıyan ışın, gelen ışının normalle yaptığı düzlem içerisinde bulunur. O halde “yansıma kanunu” şu şekilde tanımlanabilir: Gelen ışın, normal ve yansıyan ışın bir düzlem içerisinde bulunur ve bunların normal ile yaptıkları açılar birbirine eşittir.



Şekil 3.2. Yansıma kanunu. E = Gelen ışın, N = Normal, R = Yansıyan ışın, i = Gelme açısı, r = Yansıma açısı.

Bir ortamdan başka bir ortama eğik olarak giren ışın kırılmaya uğrar. Örneğin bir ışık demeti hava gibi az yoğun izotrop bir ortamdan cam gibi daha yoğun izotrop bir ortama geçerken, bu ışığın bir kısmı cam tarafından geldiği ortama yansıtılır, bir kısmı da cam içine girer (Şekil 3.3). Bu ışın gelen ışının yolunu izlemez, kırılarak yoluna devam eder. İşte ışığın ikinci ortamda yayılma yönünün değişmesine “kırılma” denir. Optikçe hafif (ışığı kırma indisi düşük) bir ortamdan gelen ışın, optikçe yoğun (ışığı kırma indisi büyük) bir ortama girince normale yaklaşacak şekilde kırılır. Yansıma ve kırılma kanunu gereğince yansıyan ve kırılan ışınlar arasında aşağıdaki bağıntılar bulunur. Doğada bulunan her anizotrop mineralin sabit bir ışığı kırma değeri vardır. Petrografik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bazı minerallerin kırılma indis değerlerinin sınıflaması Çizelge 2’de görülmektedir.

$$SAP = i = A_1AB_1, \text{ keza } RAP_1 = r = AB_1B$$

$$AA_1B_1 \text{ üçgeninde } \sin i = A_1B_1 / AB_1, \text{ } ABB_1$$

$$\text{üçgeninde } \sin r = AB / AB_1' \text{ dir.}$$

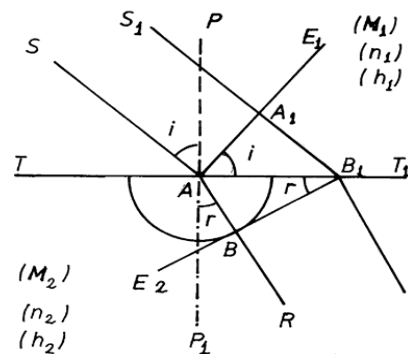
$$\sin i / \sin r = A_1B_1 / AB$$

$$A_1B_1 = h_1t \text{ ve } AB = h_2t$$

$$\sin i / \sin r = h_1 / h_2$$

$$\sin i / \sin r = h_1 / h_2 = n_2 / n_1$$

$$n = 1 / h$$



Şekil 3.3. Işığın kırılma kanununa göre kırılma ve yansıması

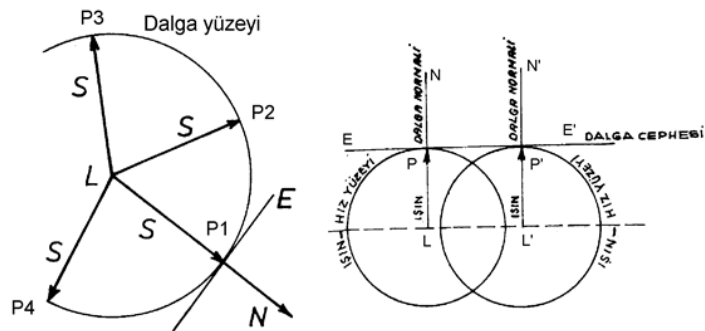
Çizelge 1. Minerallerin ışık kırma indislerinin pratikteki genel tanımlanmaları ve bazı tipik minerallere ait örnekler.

İşıkkırma İndisi	Tanımlanması	Bazı Örnekler
< 1,50	Çok küçük	Tridimit, zeolit grubu mineraller, sodalit, volkan camları v.d.
1,51 – 1,60	Küçük	Feldspat mineralleri, lösit, nefelin, kuvars, mika grubu mineralleri, vollastonit, aktinolit, Kanada balzamu v.d.
1,61 – 1,70	Orta	Hornblend, turmalin, apatit, andalusit v.d.
1,71 – 1,80	Yüksek	Piroksen grubu mineralleri, olivin, zoisit, disten v.d.
>1,80	Çok yüksek	Monazit, rutil, titanit, zirkon v.d.

3.3. İzotrop Ortamlarda Işığın Yayılması

Bazı mineraller analize ışıkta, mikroskop tablası çevrildiğinde tamamen karanlık bir durum alırlar. Bunlara izotrop mineraller adı verilir. Kübik sistemde kristalleşen bütün mineraller, amorf olan cam (doğal veya yapay), opal, kanada balzamu veya ince kesit yapımında kullanılan diğer yapıştırıcılar v.b. bu özelliği gösterir.

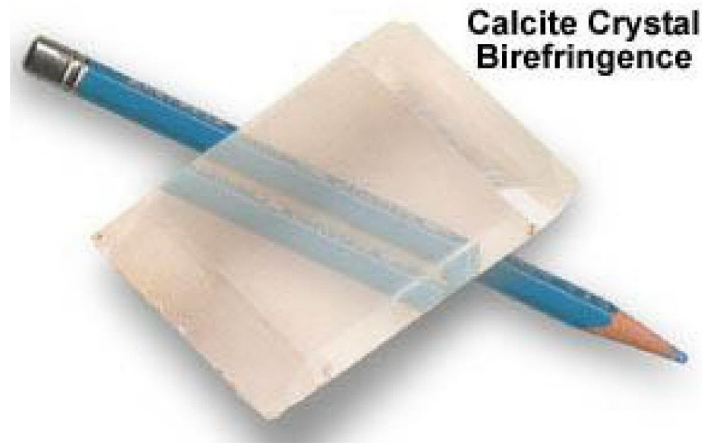
İzotrop bir cismin içindeki bir L noktasından yayılan bir ışık kaynağı düşünelim (Şekil 3.4). Bu ışık kaynağından çıkarak her yönde yayılan ışınlar (LP1, LP2, LP3, LP4 ...) belirli bir süre sonunda P1, P2, P3, P4 gibi noktalara ulaşır. Bu noktaların hepsi L merkezinden aynı S mesafesinde bulunurlar, zira izotrop cisimlerde her yönde ışık hızı aynıdır. Bu P1, P2, P3, P4 noktalarının meydana getirdiği yüzeyi izotrop cismin belli bir andaki “ışın-hız yüzeyi veya dalga yüzeyi” dir. Yani ışın boyunca ilerleyen dalgaların belli bir zaman aralığında varmış oldukları yüzeye “ışın-hız yüzeyi veya dalga yüzeyi” denir. Görüldüğü gibi bütün yönleri eşdeğer karakter gösteren izotrop ortamlarda dalga yüzeyi bir küre yüzeyidir. İzotrop ortamlarda ışık, ilerleme istikametine dik enine titreşimler olup, ışınlar yönü ile dalga normalleri yönü birbirleri ile çakışmaktadır.



Şekil 3.4. İzotrop minerallerde ışığın yayılma prensibi

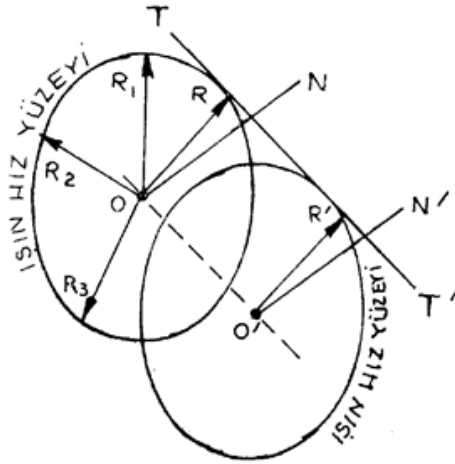
3.4. Anizotrop Ortamlarda Işığın Yayılması

Kübik sistemde kristalleşmiş mineraller ve amorf mineraller hariç diğer sistemlerde (hegzagonal, tetragonal, trigonal, ortorombik, monoklinik ve triklinik) oluşmuş minerallere ait (bazı özel kesitleri dışındaki) bütün kesitler, analize ışıktaki ışığı geçirirler ve bunlara anizotrop mineraller adı verilir. Bir başka ifade ile bunlarda ışığın yayılma hızı, keza ışığı kırma indisi yönlerine bağlı olarak değişir. Bir ışık dalgası kübik olmayan bir kristale geldiğinde, kristal içinde genellikle iki dalga halinde kırılır. Bu durum bir kalsit kristalinin dilinim yüzeyinde çok belirgin olarak görülebilir. Kalsit kristali ile kağıt üzerindeki bir noktaya bakıldığı zaman, bunun iki nokta olarak görüldüğü (Şekil 3.5) ve kristal çevrildiğinde görüntülerden birinin sabit kaldığı (olağan veya ordiner ışık), diğerinin ise bunun çevresinde döndüğü (olağanüstü veya ekstraordiner ışık) gözlenir.



Şekil 3.5: Anizotrop mineral olan kalsitte çift kırımın izlenmesi.

Kübik sistemin dışındaki diğer bütün sistemlerde kristallenmiş minerallerde (strese uğramış kübik kristallerde ve keza strese uğramış amorf maddelerde de) ışığın hızı, yayılma yönüne bağlı olarak değişir. Dolayısıyla bunlarda ışın-hız yüzeyi (dalga yüzeyi) artık izotrop minerallerdeki gibi bir küre değildir. Anizotrop ortamlarda ışın-hız yüzeyleri (dalga yüzeyleri) elipsoiddir (Şekil 3.6). Anizotrop ortamlarda minerallerde dalga normalleri ile ışık ışınları birbirlerinden farklı olup birbirleriyle genellikle çakışmaz. Ayrıca ışık dalgalarının ışınlar boyunca hızı, dalga cephesinin dalga normali boyunca ilerleme hızından daha büyüktür.



Şekil 3.6. Anizotrop minerallerde ışığın yayılmasına bağlı olarak oluşan elipsoidal şekil

3.5. Anizotrop Minerallerde Çift Kırma

Izotrop bir ortamdan gelen adi ışığın anizotrop bir ortama girerken birbirine dik titreşen polarize iki kısma ayrılması özelliğine ‘çift-kırma’ denir (Kerr, 1977). Bir mineralin çift-kırma değeri maksimum ve minimum ışık kırma indisleri arasındaki farktır ($\delta = n_{\max} - n_{\min}$).

Anizotrop maddeler daima çift-kırma özelliğine sahip olmasına rağmen, bunlarda bazı yönler istisnai bir durum gösterirler. Örneğin, kalsit kristaline c-ekseni yönünde bakılacak olursa, herhangi bir çift-kırılmanın meydana gelmediği görülür. O halde ışık c-ekseni yönünde aynı izotrop ortamlarda olduğu gibi kırılmadan doğru olarak kristali geçmektedir. Bunun için c-eksenine ‘izotrop eksen’ veya ‘optik eksen’ ismi verilir. Bütün hegzagonal, trigonal ve tetragonal kristallerin kristalografik c-ekseni, optik eksen (OE) ile çakışır. Bu tip kristallerde bir tek optik eksen mevcut olduğundan, bunlara ‘bir optik eksenli’, ortorombik, monoklinal ve triklinik kristallerde ise iki tane optik eksen bulunduğu için bunlara ‘iki optik eksenli’ mineraller ismi verilir. Bir optik eksenli kristallerde ekstraordiner ve ordiner ışıkların kırılma indisleri arasındaki farka $\Delta = n_e - n_o$ (TOE +) ve $\Delta = n_o - n_e$ (TOE -) ‘çift kırma şiddeti’ denir (Çizelge 2). İki optik eksenli kristallerde n_x , n_y , n_z olmak üzere karakteristik üç farklı ışığı kırma indisi söz konusudur. Bunlarda da $\Delta = n_z - n_x$ değerleri yine çift kırma şiddetini verir.

Kristallerde Δ şiddeti pozitif (+) veya negatif (-) olabilir. Buna göre kristaller ‘optik pozitif’ ve ‘optik negatif’ olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kristalleri ayrıca çift-kırma şiddetlerine göre ‘zayıf ve kuvvetli’ olmak üzere birbirinden ayırmak mümkündür.

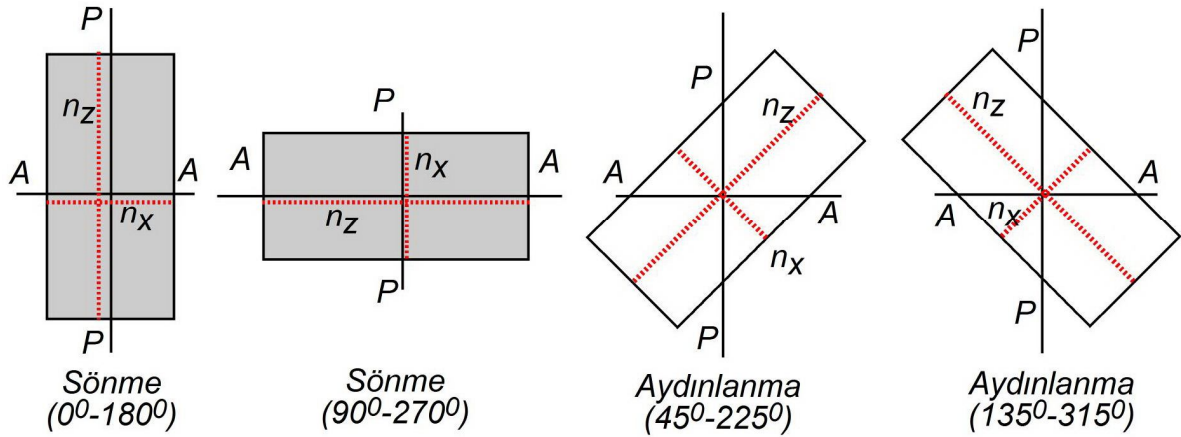
Çizelge 2. Tek optik eksenli kalsit ve kuvars minerallerinde çift kırınım değerleri

	n_o	n_e	Çift-kırma değeri
Kalsit	1.6585	1.4863	0.1722
Kuvars	1.5443	1.5534	0.0091

3.6. Anizotrop Minerallerde Sönme

Anizotrop mineralden geçen ışık, polarizör ve analizörün PP ve AA titreşim yönleriyle çakıştığında, kristal levhasında sönme meydana gelir ($\varphi=0$ veya $\varphi=\pi/2=90^\circ$ olduğunda çift nikolde ışığın şiddeti, $J=0$ olur) (Şekil 3.7). Kristal levhasının bu durumuna “sönme durumu” veya “kararma durumu” denir. Bu nedenle kristal mikroskop tablasında bulunan mineral, nikoller arasında 360° döndürüldüğünde dört defa sönme durumuna gelir, yani dört defa söner.

$\varphi=\pi/4=45^\circ$ için çift nikolde ışığın şiddeti (J) maksimum bir değere ulaşacaktır. O halde kristal levhasının titreşim yönleri PP ve AA ile 45° açı yaptığı zaman, kristal en fazla aydınlanma durumunda görünecektir ki buna “maksimum aydınlanma” durumu denir.



Şekil 3.7: Minerallerin sönme ve maksimum aydınlık durumlarındaki pozisyonları

3.7. Beyaz Işıktaki Çift Nikolde Anizotrop Bir Levhanın Durumu

Görünür beyaz ışığın dalga boyları $4000-8000 \text{ \AA}$ (veya $400-800 \text{ \mu m}$) arasında değişmektedir. Uç dalga boyları arasında $1/2$ ilişkisi olduğundan bir kristal levhası en kısa dalga boyundaki ışık için, örneğin bir λ -levhası keza en uzun dalga boyundaki ışık için bir $\lambda/2$ -levhası rolü oynar. Bunun için bazı λ 'ların girişim olayı sonucunda zayıflama veya

tamamen yok olma durumu ile, diğer taraftan diğerlerinin ise kuvvetlenme durumu söz konusudur. Kristal levhasında beyaz ışığın her bir λ 'sı için şiddet dağılımı farklı olacağından beyaz yerine çeşitli renkler meydana gelecektir. Anizotrop minerallerin çapraz (çift) nikoller altında göstermiş oldukları renge polarizasyon (girişim veya Interference) rengi denir.

3.8. Anizotrop Minerallerde Girişim Renkleri ve Çiftkırmanın Saptanması

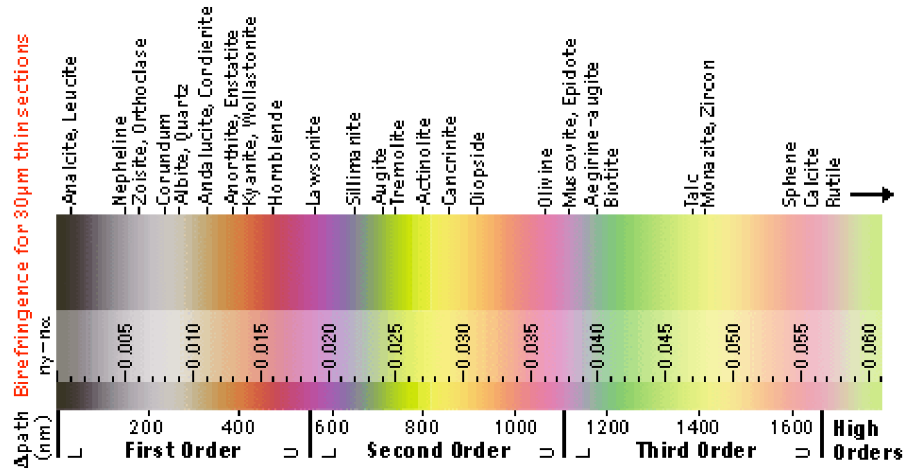
Bir minerale ait girişim renkleri mineral kesitinin çiftnikol arasında incelenmesi esnasında gözlenir. Sönme durumu dışında diğer konumlarda, polarizörden gelen ışık, mineral tarafından birbirine dik yönde titreşen iki ışığa ayrılır. Bu iki ışığın titreşim yönleri analizörün titreşim yönünden farklı durumda ise girişime uğrarlar.

Belirtilen bu durumun nedeni de, bu iki ışığın mineral içinden farklı hızlarda geçmeleri (farklı ışık kırma indisleri nedeni ile) ve minerali bir faz farkı ile terk etmeleridir. Eğer faz farkı “0, 1, 2 ... n” dalga boyunda ise geçen ışık analizörün titreşim düzleminde yok edilir ve dolayısı ile göze ışık gelmez. Fakat beyaz ışık bir çok dalga boylarının karışımı olduğu için, belirli bir mineral tanesinde, dalga boylarından yalnız biri bu şekilde ortadan kaldırılacaktır. Aynı zamanda faz farkı $1/2, 3/2, 5/2...$ şeklinde olan dalga boyları da bunlara karşıt gelen maksimum parlaklıktaki rengi oluşturacaklardır. Bu şekilde dalga boyunun ortadan kaldırılması ve diğerlerinin girişimi sonucu çift nikol arasında mineralin girişim rengi ortaya çıkacaktır.

Girişim renklerinin bütün türlerini pratik olarak izleyebilmek için anizotrop bir mineralden yapılmış kamadan yararlanılabilir. Zira böyle bir kama için çift-kırma şiddeti ($\Delta = n_z - n_x$) sabit olduğundan, R yol farkları d kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Kamanın d=0 ucundan itibaren yol farkının devamlı artmasıyla bütün renk dizilerini izlemek mümkündür (Kerr, 1977). Bu amaç için genellikle kuvars veya jips minerallerinden yapılmış kamalar kullanılır. Haçlanmış ve paralel nikoller arasında böyle bir kama gün ışığında kullanıldığı takdirde Şekil 3.8 ve 3.9’da görülen renkleri sırasıyla gösterir. Bunlara “Newton Girişim Renkleri” adı verilir.

Çift nikolde elde edilen bu girişim renklerini daha iyi düzenleyebilmek için, bunlar “mertebelere” ayrılır. Güneş spektrumunun en açık yerine karşılık gelen dalga boyu $\lambda = 551$ nm birim olarak alınır ve her merteye $= 1\lambda$ olarak kabul edilir. O halde I. merteye için yol farkı $R = 0$ ’dan $R = 551 \mu\text{m}$ ’ye kadar devam eder ($R = 0-551 \mu\text{m}$). II. merteye $1101 \mu\text{m}$,

III. mertebe 1652 μm 'a kadar devam eder. Böyle bir ayırım yardımıyla aynı zamanda belirgin renk değişimlerinin sınırları da elde edilir (Şekil 3.8 ve 3.9). Bu renk değişimi kırmızıdan maviye periyodik olarak tekrarlanır. Ancak her seferinde aralarda az miktarda ton farkı bulunmaktadır. Pratik olarak en önemli sınır I. ve II. mertebe arasında bulunan koyu kırmızı ile menekşe kırmızısı arasındaki sınırdır. Bu sınırda yol farkının çok küçük miktardaki değişimiyle kırmızı portakal renginden sarıya, keza mordan maviye dönüş meydana gelir.

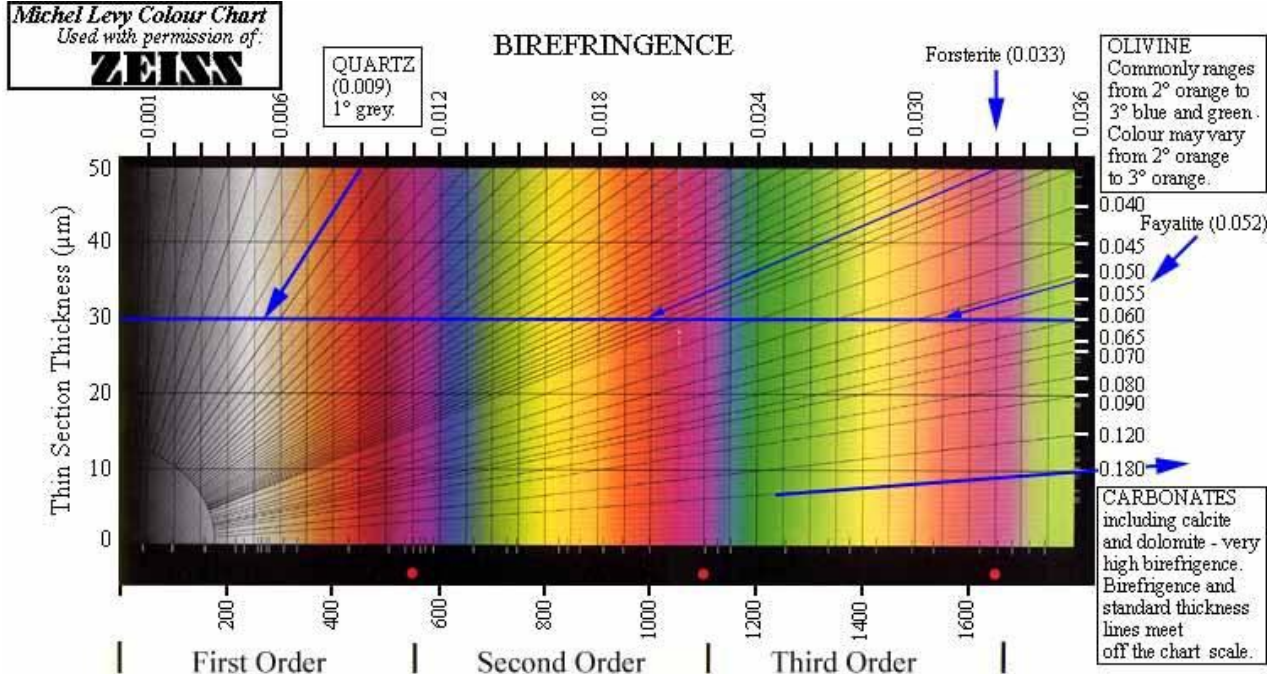


Şekil 3.8. Newton Girişim renkleri ve mineraller (Winter, 2003)

Bilindiği üzere, bir mineralin gösterdiği girişim renkleri, mineralin kalınlığı (d) ve çift-kırma şiddetinin (Δ) yanı sıra, mineralin optik oryantasyonuna (yönelimi) bağlıdır (Şekil 3.9). Bir mineralin çift kırma değeri de ince kesitte ışığın mineralden geçtiği yöne bağlıdır. Optik eksenlerden birine dik olan kesitlerde çift kırma değeri sıfır (mineral izotrop davranır, çift nikolde sürekli karanlık, siyah görülür) iken, optik eksenlerden herhangi birine paralel kesilmiş kesitlerde ışığın şiddeti maksimumdur. Bu nedenledir ki aynı mineralin farklı taneleri aynı kesitte siyahtan çok canlı renklere kadar değişen çift kırma renkleri gösterebilirler.

İnce kesit hazırlanırken kesit, ya mikrometre ile istenilen kalınlığa getirilir. Ya da bazı minerallerin incekesitte gösterdikleri girişim renklerine dikkat edilir. İyi tanınan bir mineralin, normal girişim renkleri dışında bir renk vermesi, ince kesit kalınlığının bulunmasında yardımcı olabilir. Örneğin kuvars veya ortoklaz gibi mineraller I. Dizinin sarı rengini gösteriyorlarsa, kesitin normal ince kesit kalınlığı olan 0,030 mm den daha kalın, turuncu veya kırmızımsı renkler veriyorlarsa, çok daha kalın bir durumda olduğu

anlaşılır. Belirtilen bu hususlardan faydalanılarak aynı kesit içinde, incelenen ve çift kırma değeri aranan mineralin gösterdiği maksimum girişim rengi saptanır ve diyagramdan bu renge karşı gelen çift-kırma değeri okunur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Anizotrop minerallerde dalga boyu mertebelerine karşılık gelen çift kırınım değerleri ve polarizasyon renkleri.

4. ÇALIŞMADA KULLANILACAK MİNERALLER VE ÖZELLİKLERİ

Bu konu kapsamında Michel-Levy renk indeks tablosunda verilen ve magmatik kayalarda bulunan önemli minerallerin girişim renkleri ile olan özellikleri ve bu minerallerin özellikle bu yönleriyle benzedikleri minerallerden bahsedilecektir. Minerallerin sırası Michel-Levy renk tablosundaki sıra dikkate alınarak verilmiştir (tanımlamalar Klein et al., 1993 ve Erkan, 1978'den alınmıştır).

4.1. Feldispat Grubu Mineraller

4.1.1. Alkali Feldispatlar

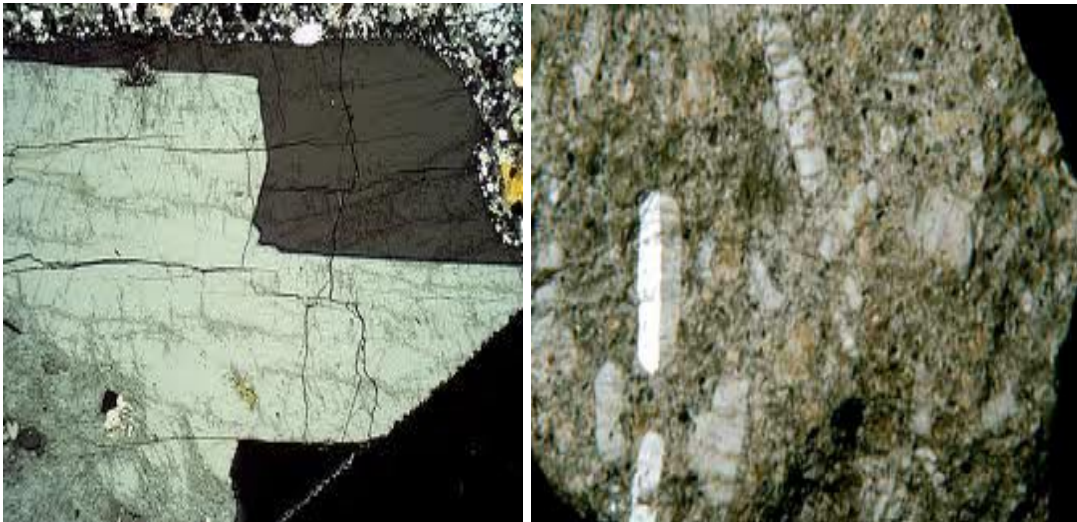
Ortoklaz: (K, Na) $AlSi_3O_8$

Sanidin: (K, Na) $AlSi_3O_8$

<u>Ortoklas</u>	<u>Sanidin</u>	
$n_x = 1,518 - 1,518 - 1,525$		
$n_y = 1,524 - 1,522 - 1,530$		Çift-kırma = 0,007 – 0,008
$n_z = 1,526 - 1,523 - 1,532$		

Çift-kırma: Zayıftır. I. dizinin beyaz ve gri renklerini gösterir (Şekil 4.1).

Benzer Renkteki Mineraller: Plajiyoklazlar ve kuvars.



Şekil 4.1. Ortoklas ve sanidin mineralinin çapraz nikolde görünümü

4.1.2. Plajiyoklaslar

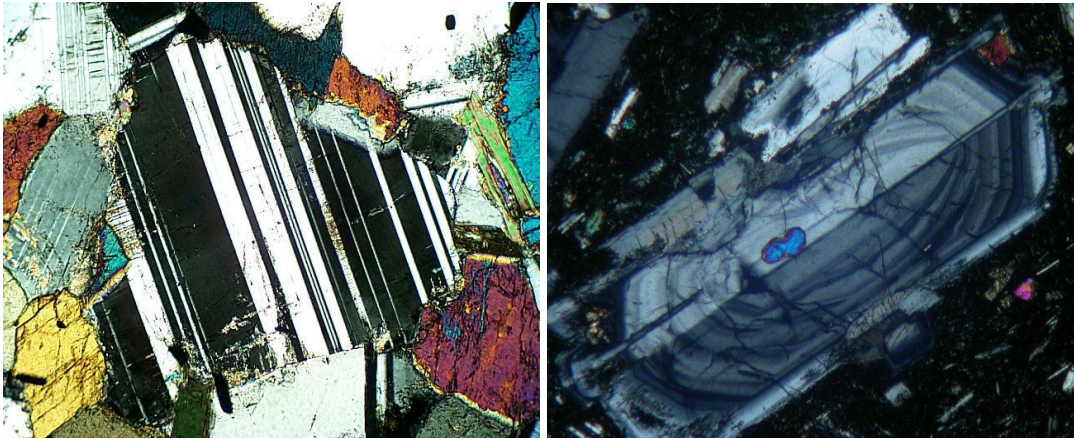
Albit: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Anortit: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

	Albit	Anortit	
n_x	1,527	1,577	
n_y	1,532	1,585	Çift-kırma = 0,009 – 0,011
n_z	1,538	1,590	0,011 – 0,013

Çift-kırma: Zayıftır. I.Dizinin gri, beyaz veya soluk sarı girişim renklerini gösterirler (Şekil 4.2).

Benzer Renkteki Mineraller: Alkali feldispatlar ve kuvars.



Şekil 4.2. Farklı plajiyoklas minerallerinin mikroskopta görünümü.

4.2. Piroksen Grubu Mineraller

Ojit: $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$

$n_x = 1,670 - 1,743$

$n_y = 1,676 - 1,750$

$n_z = 1,694 - 1,772$

Çift-kırma = 0,021 – 0,025

Diyopsit: $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

$n_x = 1,650 - 1,698$

$n_y = 1,657 - 1,706$

$n_z = 1,681 - 1,727$

Çift-kırma = 0,029 – 0,031

Enstatit: $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_6]$

$$n_x = 1,650 - 1,665$$

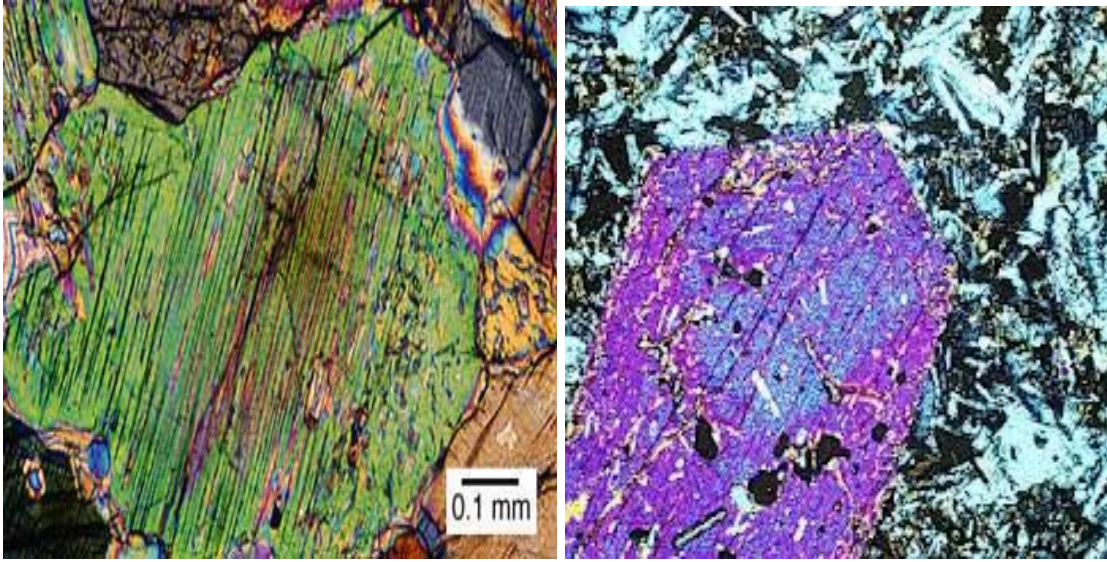
$$n_y = 1,653 - 1,670$$

$$n_z = 1,658 - 1,674$$

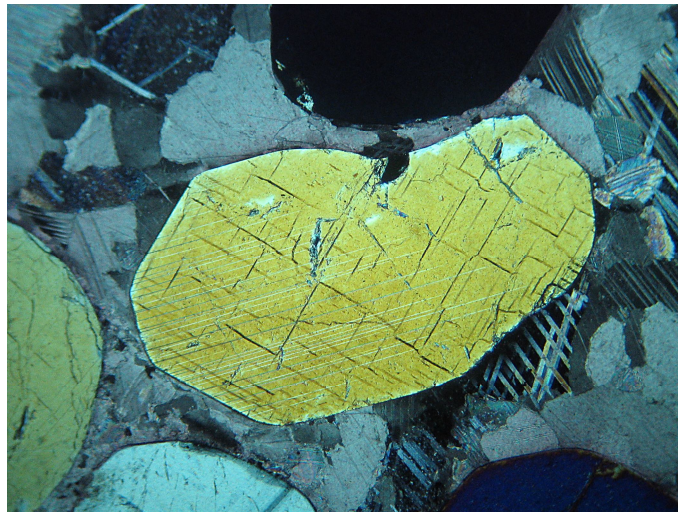
$$\text{Çift-kırma} = 0,008 - 0,009$$

Çift-kırma: Piroksen grubu minerallerinin ışık kırma indisleri $n = (1,65) - 1,715 - (1,84)$ arasında değişirken, çift kırma ise $0,008 - 0,024 - (0,034)$ arasında bir değer taşımakta, yalnız bazı piroksen türlerinde ise $0,060$ 'a kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3 ve 4.4).

Benzer Renkteki Mineraller: Amfibol grubu mineralleri, biyotit ve olivin.



Şekil 4.3. Farklı ojit minerallerinin görünümü.



Şekil 4.4. Diyopsit mineralinin görünümü

4.3. Kuvars: SiO₂

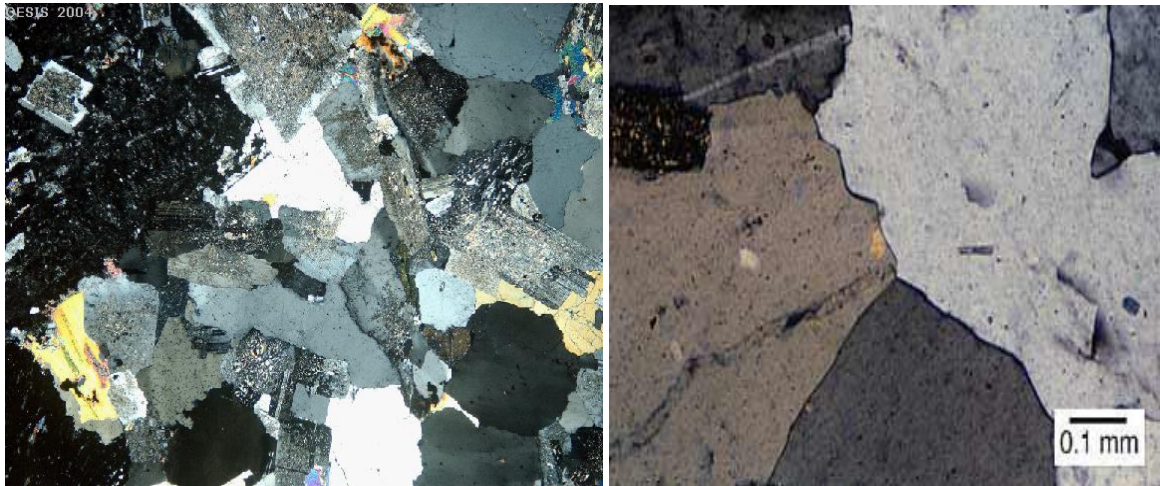
$$n_o = 1,544$$

$$\text{Çift-kırma} = 0,009$$

$$n_e = 1,553$$

Çift-kırma: Işık kırma indisi Kanada balzaminin ışık kırma indisine çok yakındır. Diğer minerallerin ışık kırma indislerini Becke Çizgisi yardımı ile kıyaslayarak saptamak için faydalıdır. Analizörsüz incelendiğinde, kapanım içermeyen kuvars kristalleri belirgin bir optik engebeye sahip olmadıklarından, ilk bakışta, ince kesitte bulunan boşluklarla karıştırılabilirler (Şekil 4.5).

Benzer Renkteki Mineraller: Feldispat grubu (alkali feldispatlar ve plajiyoklazlar). İnce kesit kalınlığının fazla olması durumunda diyopsit.



Şekil 4.5. Kuvars minerallerinin mikroskopta görünümü.

4.4. Hornblend (Bazaltik Hornblend):



$$n_x = 1,670 - 1,692$$

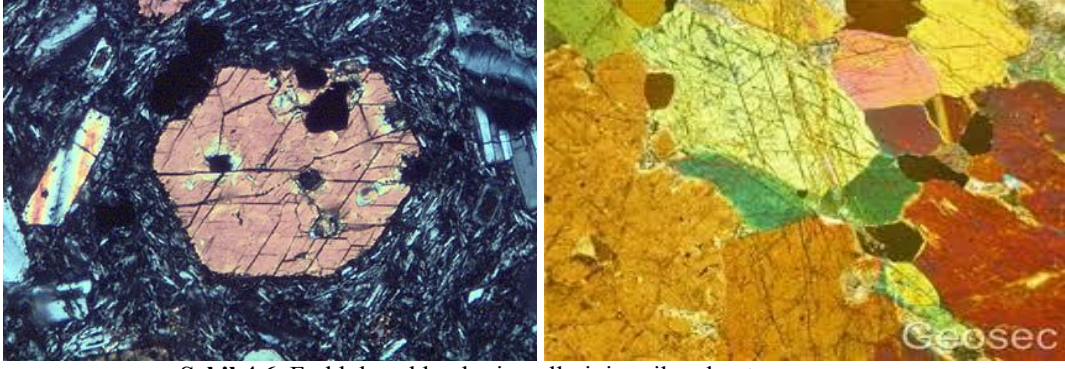
$$n_y = 1,683 - 1,730$$

$$\text{Çiftkırma} = 0,019 - 0,026$$

$$n_z = 1,693 - 1,760$$

Çift-kırma: Kuvvetlidir. II ve III. Dizilere ait girişim renklerini gösterirler. Fakat girişim renkleri genellikle mineralin kendi rengi ile maskelenir (Şekil 4.6).

Benzer Renkteki Mineraller: Biyotit, piroksen grubu.



Şekil 4.6. Farklı hornblend minerallerinin mikroskopta görünümü.

4.5. Biyotit:



$$n_x = 1,570 - 1,630$$

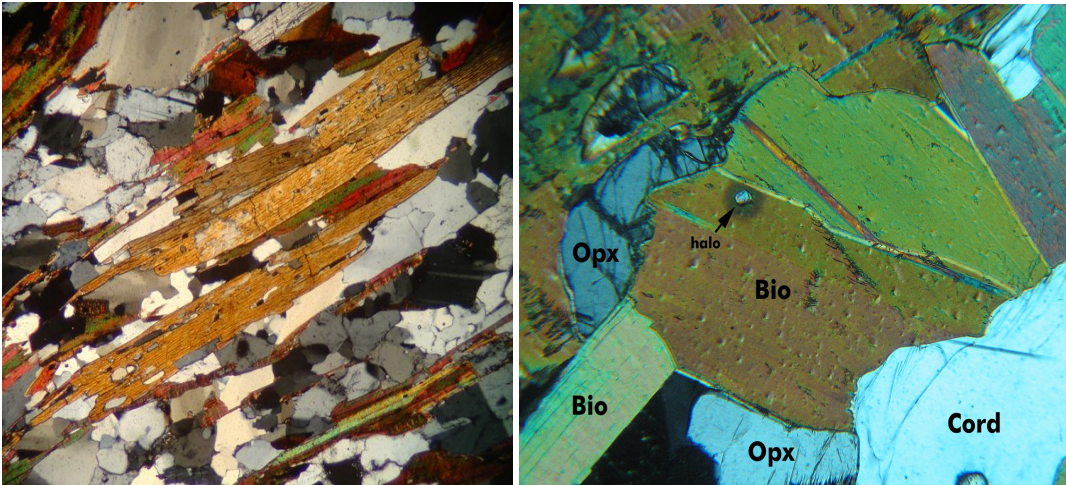
$$n_y = 1,610 - 1,700$$

$$n_z = 1,610 - 1,700$$

$$\text{Çiftkırma} = 0,033 - 0,044$$

Çift-kırma: Kuvvetli – çok kuvvetlidir. III ve IV. Dizinin girişim renklerini gösterir (Şekil 4.7). Ancak mineralin kendi rengi girişim rengini maskeleyebilir. Tam sönme durumuna getirildiğinde ince pulsu ve pırıltılı bir görünüme sahip olması biyotit ve diğer mika mineralleri için çok tipik bir özelliktir. (001) yüzeyine paralel kesitlerinde ise çiftkırma yaklaşık olarak sıfırdır ($n_z - n_y = 0,001$).

Benzer Renkteki Mineraller: Amfibol grubu ve piroksen grubu mineralleri.



Şekil 4.7. Farklı biyotit kristallerinin görünümü

4.6. Muskovit: $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

$$n_x = 1,560 - 1,572$$

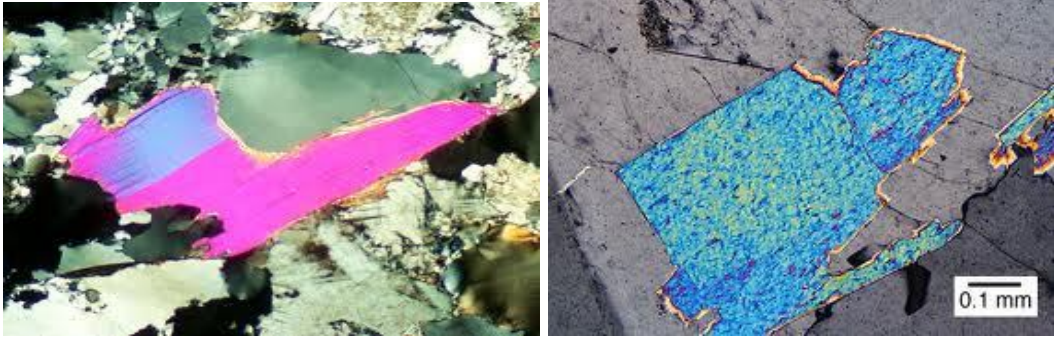
$$n_y = 1,593 - 1,611$$

$$n_z = 1,599 - 1,615$$

$$\text{Çiftkırma} = 0,037 - 0,040$$

Çift-kırma: Kuvvetlidir. II. ve II. Dizilerin girişim renkleri görülür (Şekil 4.8). Dilinim yüzeyine paralel kesitlerinde ise çiftkırmanın zayıf ($n_z - n_y = 0,006 - 0,005$) oluşu nedeni ile I. Dizinin alt sıralarındaki renkler görülür.

Benzer Renkteki Mineraller: Olivin



Şekil 4.8. İnce kesitte farklı polarizasyon rengine sahip muskovit minerallerinin görünümü.

4.7. Olivin: $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$

Forsterit

Fayalit

$$n_x = 1,635 - 1,640 \quad - \quad 1,805 - 1,835$$

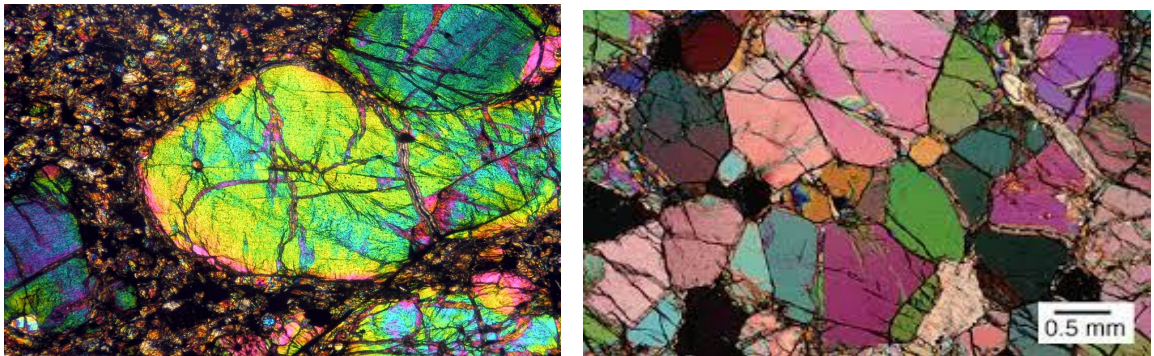
$$n_y = 1,651 - 1,660 \quad - \quad 1,838 - 1,877$$

$$n_z = 1,670 - 1,680 \quad - \quad 1,847 - 1,886$$

$$\text{Çiftkırma} = 0,037 - 0,040$$

Çift-kırma: Kuvvetlidir. Girişim renkleri II. Dizinin üst sıralarındaki renkler görülür (Şekil 4.9).

Benzer Renkteki Mineraller: Piroksen grubu, muskovit.



Şekil 4.9. İnce kesitte farklı polarizasyon rengine sahip olivin minerallerinin görünümü

5. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağıları, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Yapay sinir ağıları, bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Yapay sinir ağıları zaman zaman bağlantıcılık (connectionism), paralel dağıtılmış işlem, sinirsel-işlem, doğal zekâ sistemleri ve makine öğrenme algoritmaları gibi isimlerle de anılmaktadır.

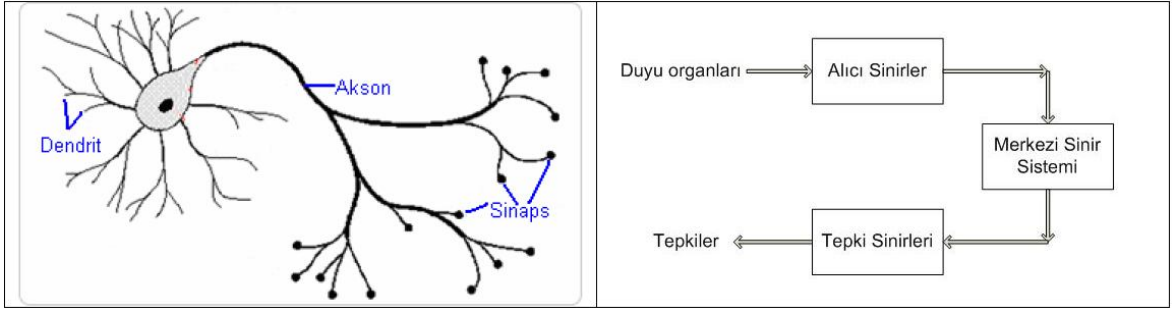
Yapay sinir ağıları bir programcının geleneksel yeteneklerini gerektirmeyen, kendi kendine öğrenme düzenekleridir. Bu ağlar öğrenmenin yanı sıra, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneğine de sahiptir.

Yapay sinir ağıları insan beyninin bazı organizasyon ilkelerine benzeyen özellikleri kullanmaktadır. Yapay sinir ağıları bilgi işleme sistemlerinin yeni neslini temsil ederler. Genel olarak yapay sinir ağıları model seçimi ve sınıflandırılması, işlev tahmini, en uygun değeri bulma ve veri sınıflandırılması gibi işlerde başarılıdır. Geleneksel bilgisayarlar ise özellikle model seçme işinde verimsizdir ve sadece algoritmaya dayalı hesaplama işlemleri ile kesin aritmetik işlemlerde hızlıdır.

Yapay sinir ağıları sistemi bir “düğümün kümesidir” ve bu “düğümün arasında ağırlıklandırılmış bağlantılar (weighted connections)” vardır. Burada her düğümün giriş ve çıkışı vardır. Her bir düğüm onun düğüm fonksiyonu tarafından basit hesaplama getirir. Düğümlerin bağlantı şekli ağın mimarisini verir.

5.1. Biyolojik Sinir Ağlarının Yapısı

Sinir hücresi ya da nöron, sinir sisteminin temel fonksiyonel birimidir. Çeşitli biçim ve büyüklüklerde olabilir. Sinirsel uyarıları elektriksel ve kimyasal yolla iletir. Hücre gövdesi büyüktür ve çekirdek burada yer alır. Kısa uzantıları dendrit, uzun uzantıları akson olarak adlandırılan sinir sistemini oluşturan hücrelerdir. Nöron çeşitlerine göre, nöron gövdesinden çıkan uzantıların sayısı ve şekli değişiktir (Şekil 5.1).

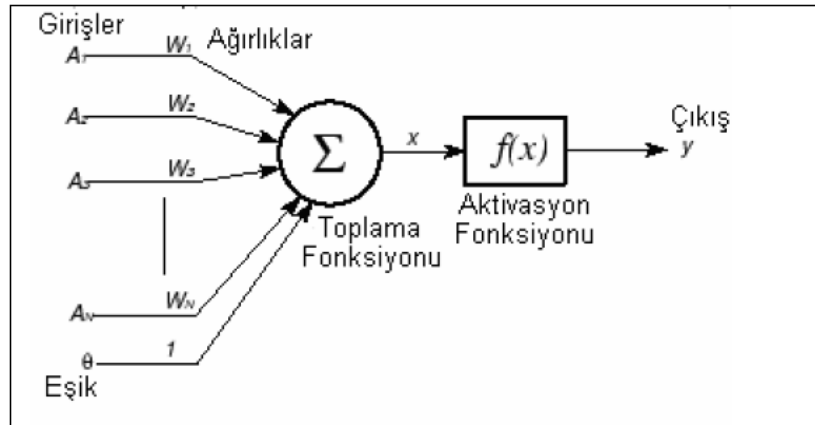


Şekil 5.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı

Başka hücrelerden gelen uyarılar dendritlerin uçlarından alınır ve aksonların uçlarından diğer hücrelere iletilir. Nöron gövdesinden bir dendrit, bir akson çıktıktan sonra bir araya gelerek tek bir uzantı halinde hücreden ayrılıyorsa tek kutuplu görünürler. Dendrit ve akson, nöron gövdesinin birbirine karşı gelen iki bölgesinden çıkarlarsa nöron iki uzantılıdır bu iki kutuplu nöron olarak adlandırılır. Nöron gövdesinden çok sayıda dendrit ve tek bir akson çıkıyorsa bu hücre çok kutuplu nöron adı verilir.

5.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir hücreleri de biyolojik sinir hücrelerine benzer yapıdadır. Yapay nöronlar da aralarında bağ kurarak yapay sinir ağlarını oluştururlar. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi yapay nöronların da giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktılarını ilettikleri bölümleri bulunmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Yapay sinir ağlarının yapısı.

Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

1. Girdiler; Girdiler nöronlara gelen verilerdir. Girdiler yapay sinir hücresine bir diğer hücreden gelebileceği gibi direk olarak dış dünyadan da gelebilir. Bu girdilerden gelen

veriler biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.

2. Ağırlıklar; Yapay sinir hücresine gelen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe ulaşmadan önce geldikleri bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin üretilen çıktı üzerindeki etkisi ayarlanabilmektedir. Bu ağırlıkların değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Ağırlığı sıfır olan girdilerin çıktılar üzerinde herhangi bir etkisi olmamaktadır.

3. Birleştirme fonksiyonu; Birleştirme fonksiyonu bir yapay sinir hücresine ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur.

4. Aktivasyon fonksiyonu; Birleştirme (toplama) fonksiyonundan çıkan net toplam hücrenin çıktısını oluşturmak üzere aktivasyon fonksiyonuna iletilir. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmama özelliğinden gelmektedir (Kıymacı, 2010).

Aktivasyon fonksiyonu seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır. Geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevi de kullanıldığı için hesaplamaların yavaşlamaması için türevi kolay hesaplanır bir fonksiyon seçilir.

- Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal problemler çözmek amacıyla aktivasyon fonksiyonu doğrusal bir fonksiyon da seçilebilir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonları matematiksel olarak

$$F(x) = A \times x$$

şeklinde genellenebilir. Bu formülde A sabit bir katsayıdır.

- Adım Aktivasyon Fonksiyonu

Girdilerin sıfırdan büyük olup olmamasına göre -1 veya 1 çıktısı veren fonksiyondur. Sadece iki çeşit çıktı vermektedir.

- Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için sıfır ile bir arasında bir değer üretir. Sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi; $F(x) = \frac{1}{(1 + e)^{-x}}$ şeklinde verilebilir.

- **Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu**

Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir. Matematiksel ifadesi:

$$F(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

5. Çıktılar; Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer nöronun çıktı değeri olmaktadır. Bu değer ister yapay sinir ağının çıktısı olarak dış dünyaya verilir ister tekrardan ağın içinde kullanılabilir. Nöronun bir çıktısı olmasına rağmen bu çıktı istenilen sayıda nörona bağlı olabilir.

6. Öğrenme; Öğrenme kuralı Hebbian öğrenme kuralı denilen basit bir modele dayanır. Hebbian öğrenme kuralı temel olarak “Eğer iki sinir hücresi aynı zamanda etkin ise aralarındaki bağ gücü artar” kuramına dayanmaktadır. Öğrenmenin amacı, her bir sinir hücresinin girişlerindeki değişken bağlantı ağırlıklarını derlemektir. İstenen bazı sonuçları elde etmek için, giriş bağlantılarının ağırlıklarını değiştirme işlemi uyma işlevi olarak adlandırılabilirdiği gibi öğrenme kipi olarak da adlandırılabilir.

Danışmanlı ve danışmansız olmak üzere iki tip öğrenme türü vardır. Danışmanlı öğrenmede bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmen, bir veri alıştırma kümesi veya ağ sonuçlarının performansını derecelendiren bir gözlemci olabilir. Danışmanlı öğrenmede eğitilmiş sinirlere öğretme işaretini göndererek sinirler eğitilir. Bu işaretin bağlantısındaki ağırlıkları ayarlamakta kullanılır.

5.3. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay Sinir Ağları, uygulanan ağ modeline göre değişik karakteristik özellikler göstermelerine karşın temel birkaç ortak özelliğe sahiptirler.

Birinci özellik; yapay sinir ağlarında sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılımlılığıdır (Haykin, 1994). Yapay sinir ağları birçok nörondan meydana gelir ve bu nöronlar eş zamanlı olarak çalışarak karmaşık işlevleri yerine getirir. Diğer bir deyişle karmaşık işlevler birçok nöronun eş zamanlı çalışması ile meydana getirilir. Süreç içerisinde bu nöronlardan her hangi biri işlevini yitirse dahi sistem güven sınırları içerisinde çalışmasına devam edebilir.

İkinci özellik ise genelleme yeteneği, diğer bir deyişle ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmesidir (Efe ve Kaynak, 2004).

Üçüncü olarak, ağ fonksiyonları non-lineer olabilmektedir. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki non-lineer alt birimler özellikle, istenen eşleştirmenin denetim ya da tanımlama işlemlerinde olduğu gibi non-lineer olması durumunda işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak olası kılarlar.

Dördüncü özellik ise, sayısal ortamda tasarlanan yapay sinir ağlarının, donanımsal gerçekleştirilebilirlikleridir. Bu özellik belki de yapay sinir ağlarının günlük hayatta daha da fazla yaşamımızın içine girebileceğinin göstergesidir.

5.4. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları

Yapay sinir ağları makine öğrenmesini gerçekleştirebilirler. Yapay sinir ağlarının temel işlevi zaten bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.

Bilgi işleme yöntemleri geleneksel programlamadan farklıdır. Bu nedenle geleneksel programlamanın getirdiği birçok olumsuzluk ortadan kaldırılabilir

Bilgiler ağın tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağın tamamına yayılarak değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanmaktadır. Nöronlardan bazılarının işlevini yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

Örnekleri kullanarak öğrenirler. Yapay sinir ağlarının öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. Ağın başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağa olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilir.

Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. Yapay sinir ağları eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler.

Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. Yapay sinir ağlarının en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır.

Örüntü (pattern) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. Yapay sinir ağları kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile bir sonraki verinin hangi kümeye dâhil olacağının karar verilmesi konusunda kullanılabilirler.

Örüntü tamamlama yapabilirler. Ağa eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdır.

Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. Yapay sinir ağları online olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.

Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine yapay sinir ağları eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.

Hata toleransına sahiptirler. Yapay sinir ağlarının eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı yapar. Dereceli bozulma gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar.

Dağıtık belleğe sahiptirler. Yapay sinir ağlarında bilgi ağa dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağırlık bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur. Bütün bu saydıklarımız yapay sinir ağlarının avantajlarıdır.

Yapay sinir ağlarının, pek çok avantajın yanında bazı dezavantajları da vardır. Belli başlı dezavantajları;

Donanım bağımlıdır. Yapay sinir ağlarının en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. Yapay sinir ağlarının en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir.

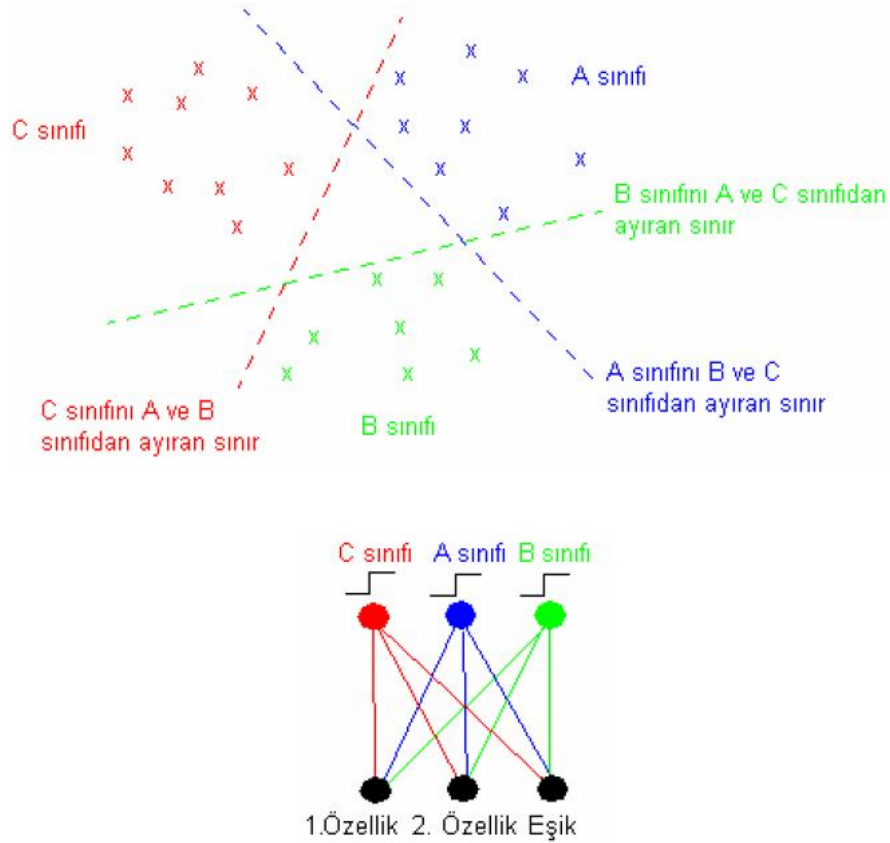
Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur. Yapay sinir ağlarında probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir.

Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur. Yapay sinir ağlarında öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin belirlenmesi için belirli bir standart olmamakla birlikte her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir.

- Çıkışla (perceptronun cevabıyla) gerçek sınıf aynı ise ($y=t$) ağırlıkları değiştirme
- Farklılarsa ($y \neq t$), ağırlıkları aşağıdaki denkleme göre güncelle;

$$w_{yeni} = w_{eski} + \mu(t - y) \cdot x$$

İkiden fazla sınıfı birbirinden ayırmak için bir perceptron katmanı oluşturmak gerekir. Örneğin; Şekil 5.4'de 3 sınıftan oluşan bir veri kümesi ve bu verinin sınıflandıran perceptron katmanı görülmektedir.



Şekil 5.4. 3 sınıftan oluşan veri kümesi ve bu veriyi sınıflandıran perceptron katmanı

Her bir sınıfı diğer iki sınıftan ayırt etmek için bir perceptron kullanılmıştır. Ağda 3 perceptron olduğundan 3 çıkış bulunmaktadır.

Doğrusal olmayan karar sınırları üretebilmek için çok katmanlı perceptronlar kullanılır. Çok katmanlı perceptronlar genellikle geriye yayılım algoritmasıyla eğitilirler.

5.6. Öğrenme Oranı

Yapay sinir ağlarındaki öğrenme oranı denetlenebilir birkaç etkene bağlıdır. Daha düşük bir öğrenme oranı yeterli derecede eğitilmemiş bir sistem üretmek için çok daha fazla zaman harcanacağı anlamına gelmektedir. Daha yüksek öğrenme oranında bir ağ, daha yavaş öğrenen bir ağa göre gerçek ayrımlar yapamayabilir.

Bu etkenler, bir ağı eğitilmesinde ne kadar süre alacağının belirlemede önemli bir rol oynar. Bu etkenlerin herhangi birisini değiştirmek, eğitme süresini çok fazla arttırabilir ve hatta çok büyük hatalara sebep olabilir.

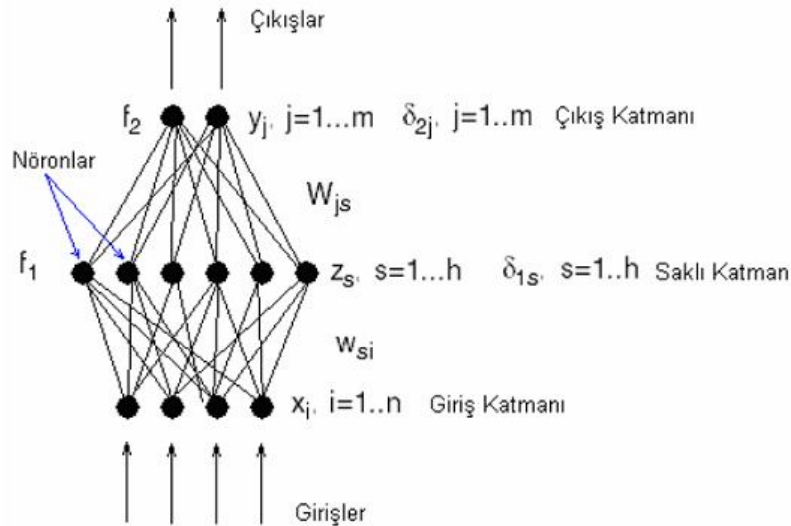
Birçok öğrenme işleminde, öğrenme oranı veya öğrenme sabiti kullanılır. Öğrenme oranı genellikle pozitif ve sıfır ile bir arasında bir değer olmaktadır.

Eğer birden büyük öğrenme oranı seçilirse ağırlıkları uyarlayacak öğrenme algoritmasını ayarlamak kolay olur ancak ağda salınımlar ortaya çıkar. Küçük öğrenme oranı, anlık hataları hızlı bir şekilde düzeltmemesine karşın en iyi sonuca ulaşma şansını yükseltmektedir.

5.7. Geri Yayılım Algoritması

Geri beslemeli ağ mimarileri, genellikle danışmansız öğrenme kurallarının uygulandığı ağlarda kullanılmaktadır. Geri beslemeli ağlarda isminden de anlaşılacağı gibi bir tür geri besleme işlemi vardır. Hopfield ağı, bu tür mimariye sahip bir yapay sinir ağıdır. Bu tür ağlarda bir sinirin çıkışı diğer her bir sinirin girişine bağlıdır. (Elmas, 2003)

Eğitim setindeki her bir örnek için aşağıdaki 3 adımın tekrarlanması gerekmektedir. Sistemin eğitime; önceden belirlenmiş bir hata değerine ulaşıncaya kadar ya da maksimum çevrim sayısına erişilinceye kadar devam edilir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Çok katmanlı Perceptron (Url[1])

Algoritmada kullanılan terimler ve açıklamaları;

- x: Bir eğitim örneği
- n: Örneklerin boyutu
- h: Saklı katmandaki nöron sayısı

m: Çıkış katmanındaki nöron sayısı

f₁: Saklı katmandaki aktivasyon fonksiyonu

f₂: Çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonu

z: Saklı katmanın çıkışları

1. Adım: İleri Yayılım;

Her saklı nöron için net_i ve y_i hesaplanır,

i = 1, ..., h:

$$net_i = \sum_{r=1}^n w_{ri} x_r \quad z_i = f_1(net_i)$$

Her çıkış nöronu için net_j ve y_j hesaplanır,

j=1, ..., m:

$$net_j = \sum_{i=1}^h w_{ij} z_i \quad y_j = f_2(net_j)$$

2. Adım: Geri Yayılım:

Her çıkış nöronu için hata hesaplanır,

j = 1, ..., m:

$$\delta_{2j} = (t_j - y_j) f_2'(net_j)$$

Her saklı nöron için hata hesaplanır,

i = 1, ..., h:

$$\delta_{1i} = f_1'(net_i) \sum_{j=1}^m w_{ij} \delta_{2j}$$

3. Adım: Ağırlıklar Güncellenir:

$$w_{ij}(yeni) = w_{ij}(eski) - \mu \delta_{2j} z_i$$

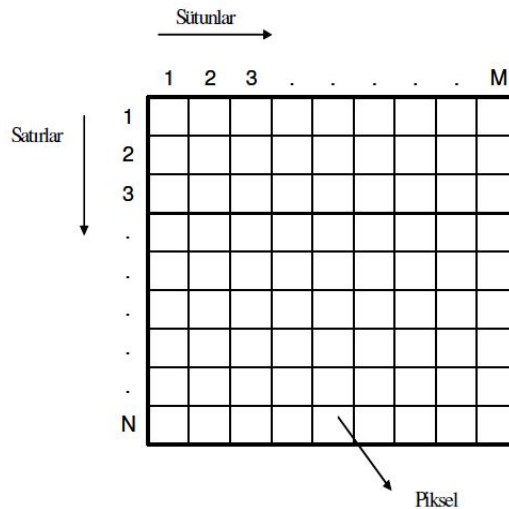
$$w_{ri}(yeni) = w_{ri}(eski) - \mu \delta_{1i} x_r$$

6. GÖRÜNTÜ İŞLEME

Görüntü işleme, genel terim olarak resimsel bilgilerin manipulasyonu ve analizi demektir (Castelman, 1996). Bir başka ifade ile görüntü işleme, verilerin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işleminden sonra, başka bir aygıtta okunabilir bir biçime dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarmasına yönelik bir çalışma olan "Sinyal işlemeden" farklı bir işlemdir. Görüntü işleme, daha çok, kaydedilmiş olan, mevcut görüntüleri işlemek, yani mevcut resim ve grafikleri, değiştirmek, yabancılaştırmak ya da iyileştirmek için kullanılır.

6.1. Görüntü Türleri

Bir görüntünün temel bileşeni; piksel-resim elemanı (pixel-picture element) dir. Dolayısı ile görüntü deyince $M \times N$ boyutlu piksellerden oluşan bir matris akla gelmelidir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Sayısal görüntüde piksellerin gösterilmesi.

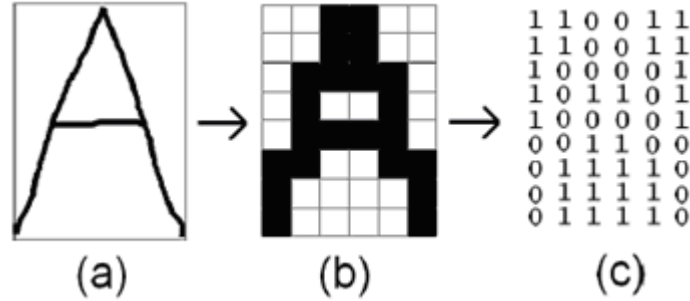
Bir pikselin iki temel özelliği söz konusudur:

1.Radyometrik özelliği: Pikselin algılandığı elektromanyetik spektrumdaki gri değeri

2.Geometrik özelliği: Görüntü matrisinde sahip olduğu matris koordinatları

Bir resmin sayısallaştırılmasının açıklanması amacı ile öncelikle siyah–beyaz resim göz önünde bulundurulmuştur. Siyah–beyaz resim sadece iki gri değerden oluşan bir

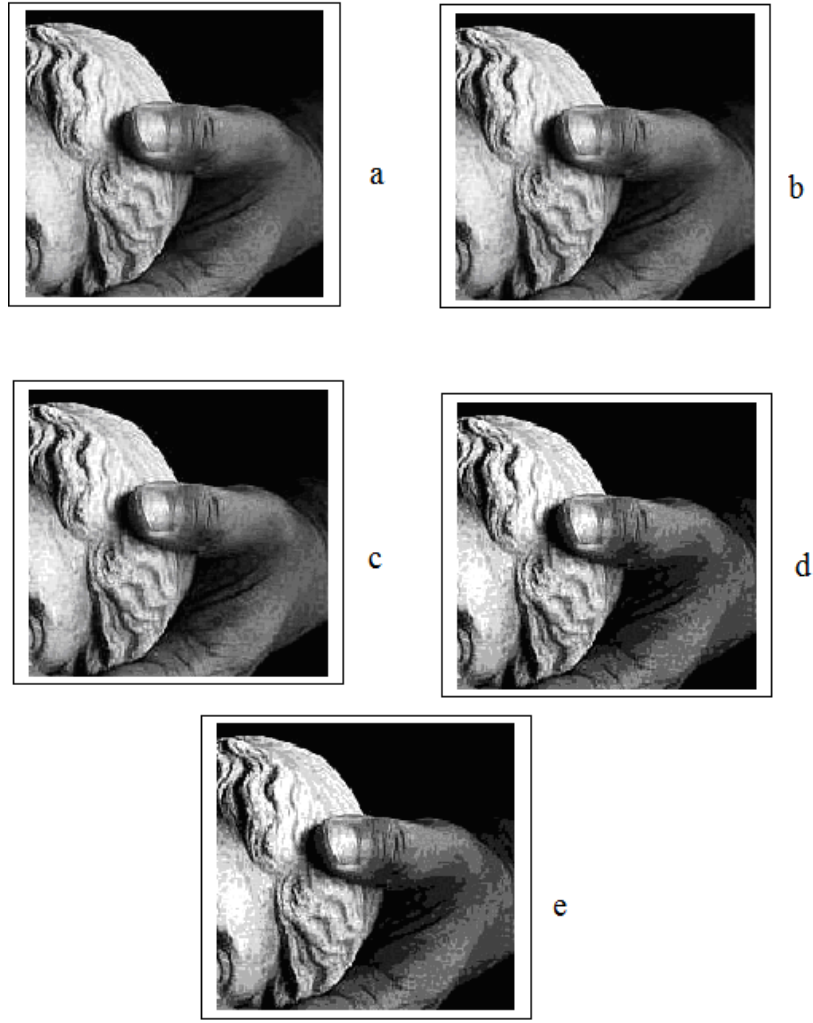
resimdir. Böyle bir görüntüde her bir piksel ya siyah ya da beyaz olarak oluşur (John, 1999). Bu şekilde 0 ve 1 kodlanmış piksellerden oluşan görüntülere ikili görüntü (binary image) adı verilir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. İkili (Binary) görüntü.

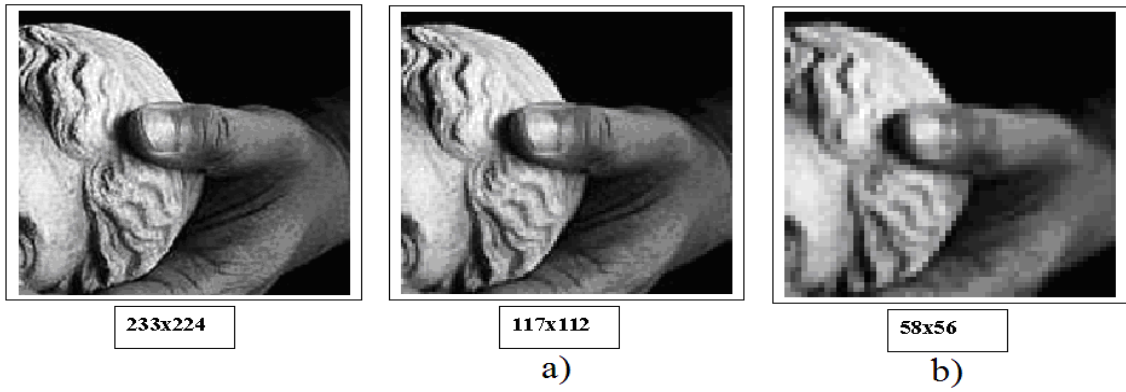
Gri tonlu görüntülerde; görüntü farklı gri ton değerlerinden oluşur. Gri değer aralığı $G=\{0,1,2,...,255\}$ şeklinde ifade edilir. Bunun anlamı; gri tonlu bir görüntüde 256 tane farklı gri ton değeri daha doğrusu gri değer bulunabilir. 0 gri değeri kural olarak siyah renge, 255 gri değeri ise beyaza karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri tonlar oluşur (John,1999).

Gri düzeyli bir görüntüde gri değer aralığı o görüntünün radyometrik çözünürlüğü ile doğrudan ilgilidir. Yani bir başka deyişle, bir görüntüdeki gri değer aralığı o görüntünün radyometrik çözünürlüğü ile ilgili bilgi içerir. Örneğin 256 gri değer aralığına sahip bir görüntüde 256 gri değere karşılık gelen değer 2^8 dir. Yani bu görüntüyü 8 bitlik görüntü şeklinde ifade ederiz. Aynı geometrik çözünürlüğe sahip iki görüntüden 8 bitlik görüntü ile 6 bitlik görüntüyü karşılaştıracak olursak 8 bitlik görüntüde 256 tane gri değer aralığı olmasına rağmen 6 bitlik görüntüde 64 tane gri değer aralığı söz konusu olacaktır. Dolayısıyla, objeden gelen enerji, radyometrik çözünürlüğü düşük olan görüntüde daha az bir gri değer aralığı şeklinde algılanacak ve objenin ayırt edilebilirliği ve yorumlanabilirliği azalacaktır. Bunun sonucunda, sayısal görüntü işlemenin bazı otomatik işlemlerinde gri değer düzeyinin azlığı elde edilecek sonuçların kalitesini ve doğruluğunu doğrudan etkileyecektir. Şekil 6.3- (a) görüntüsünde 0–255 arasındaki gri değer düzeyleri orijinal görüntünün yarısı kadardır. Ya da (e) görüntüsü ele alınacak olursa, orijinal görüntüde her 64 gri değer düzeyine (e) görüntüsünde bir gri değer düşmektedir. Söz konusu kriterler görüntünün kalitesini etkileyen kriterlerdir (Url[2]).



Şekil 6.3. a) 128, b)64, c) 32, d)16, e) 8 gri değer düzeyi ile oluşturulmuş şekiller görülmektedir.

Görüntünün kalitesini etkileyen diğer bir unsur da görüntüdeki piksel sayısıdır. Örneğin Şekil 6.4’deki orijinal görüntü 233x224 pikselden oluşmasına karşın a) görüntüsü 117x112, b) görüntüsü 58x56 pikselden oluşmaktadır.



Şekil 6.4. Farklı piksel sayısında görüntü örneği.

6.2. Renk Kavramı

Renk konusunda iki ayrı yaklaşım vardır. Bunlar; renklerin değişik sistemlere göre sınıflandırılmaları, sıralanmaları ve bunlar arasında daha çok sezgiye dayanan bir takım uyum kurallarını içeren eski yaklaşım ve rengin insan gözüne ve ışığın varlığına bağlı olduğu düşünülen bilimsel yaklaşımdır (Sirel, 1974).

Renk konusuna bilimsel yaklaşımda, rengin psikolojik oluşumu ve gözlemci üzerinde görsel bir etkisi olan spektrumun bir parçası olan ışık enerjisinin fiziksel tanımlaması yapılır. Bunların sonucunda da renk biliminde psikolojik ve fiziksel algılamının birleşimi olan psiko-fiziksel algılama terimi ortaya çıkmıştır. Böylece renk ile ilgili bilimsel anlamda araştırma, inceleme ve standartlaşma alanında ilerlemeleri sağlayan renkmetri (colorimetry) biliminin temelleri oluşturulmuştur. Renk ile ilgili yapılan ve yaygın olarak kabul gören teknik tanım 1940 yılında Amerika Optik Derneği Renkmetri Komitesi nin yaptığı tanımdır.

Renk, mekânsal veya geçici ışık özelliklerini içerir. Işık, gözün retinasının uyarılmasından kaynaklanan ve görsel algılamalar aracılığıyla bir gözlemcinin farkına vardığı ışıksal enerjidir. (Hardeberg, 1999).

6.3. Renk Sistemleri

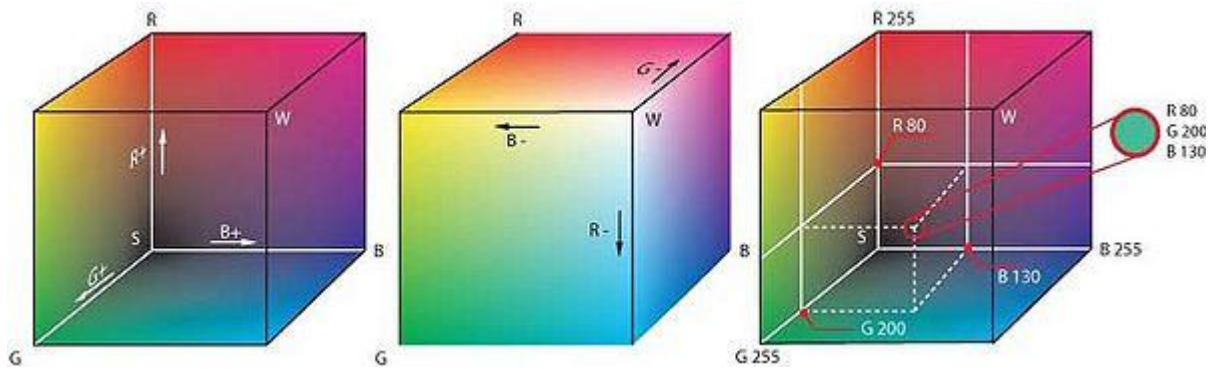
Rengi tanımlamak, renk bütünüünün bileşenlerini bulmak, benzer özellikte renklerin bir araya geldiği ve renk değişimlerinin düzenli bir biçimde sıralandığı renk sistemleri oluşturmak amacıyla pek çok sanatçı, bilim adamı ve kuruluş değişik çalışmalar yapmıştır. Bunlardan bir bölümü yalnızca renkli yüzeyler ile ilgilenmiş, bir bölümü daha kapsamlı bir yaklaşımla, rengi duyulanma ya da ışığın fiziksel ya da psikolojik algılaması biçiminde ele almış ve yüzey renkleri ayrımını yapmıştır (Ünver, 2000).

6.4. Renk Uzayları

Renk uzayları renkleri tanımlamak için kullanılan matematiksel modellerdir. Renk uzayları, bütün renkleri temsil edecek şekilde oluşturulur. Renk uzayları 3D olarak tasarlanır. Çünkü Renkmetri biliminin temelini oluşturan Grassmann'ın birinci kanununa göre bir rengi belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişkene gerek vardır. Renklerin renk uzayındaki yerleri bu değişkenlere göre belirlenir. Her renk uzayının kendine özgü biçimde renk oluşturma için bazı standartları vardır. Renk uzayları oluşturulurken bir başka renk uzayına doğrusal ya da doğrusal olmayan yöntemlerle dönüşüm yapılabilmelidir.

6.4.1. RGB Renk Uzayı

RGB renk uzayı toplamalı renk karışımı yöntemiyle bir birim küpün içinde renkleri tanımlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 6.5). RGB renk uzayı bilgisayar monitörleri, tarayıcılar ve katodik televizyon tüpleri gibi cihazlarda kullanılır.

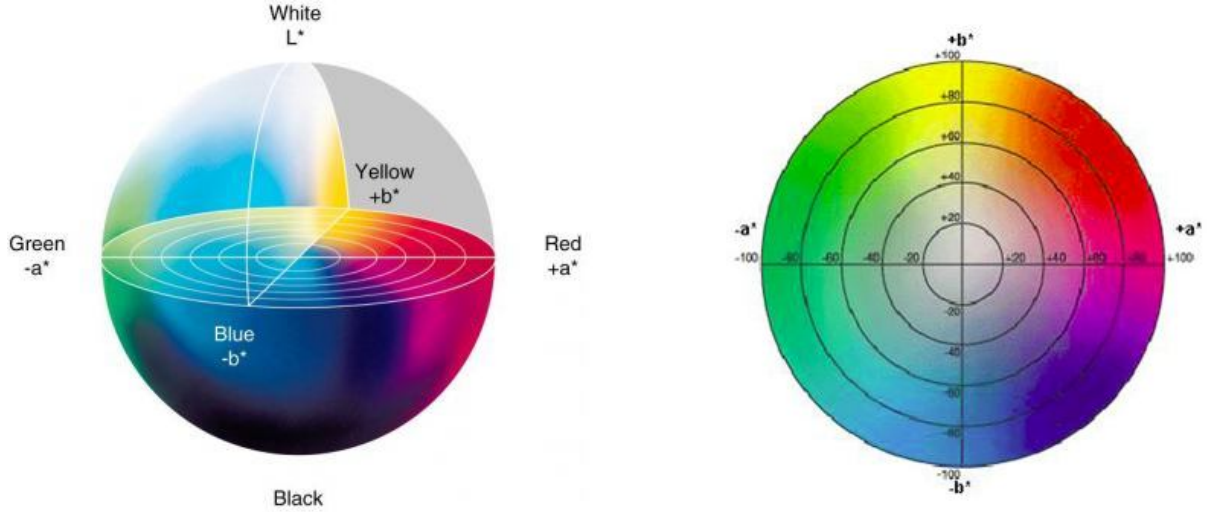


Şekil 6.5. RGB renk uzayı

Herhangi bir rengi bilgisayarda görüntülemek için bu üç renk belirli yoğunluklarda karıştırılır. RGB renk uzayı koordinat eksenleri kırmızı, yeşil ve mavi olan 3D bir uzay olarak düşünülebilir. Oluşturulmak istenilen renkler bu üç ana rengin koordinatları cinsinden ifade edilebilir (Şekil 6.5).

6.4.2. Lab Renk Uzayı

Bir rengin uyarımı değiştiği zaman, gözlemci bir süre sonra renkte bir farklılık algılayacaktır. CIE Lab renk uzayının en belirgin özelliği renk uzayının algılama yönünden düzgün değişim göstermesidir. CIE Lab renk uzayı Munsell renk sistemi üzerine kuruludur. CIE Lab renk uzayı 1976 yılında görsel medya için tasarlanıp oluşturulmuştur. Günümüzde CIE Lab renk uzayı çeşitli alanlar için standart renk uzayı olarak seçilmiştir ve bugün pek çok uygulamada kullanılmaktadır.



Şekil 6.6. CIELab renk uzayı

CIE Lab renk uzayının bileşenleri değer (L: lightness), tonlama ve doygunluk (a, b) dir. L, bir rengin açıklığını, a ve b ise rengi oluşturmaktadır (Şeki 6.6).

6.5. Görüntü Sınıflandırma

Bir veri grubu içinde belirli bir sınıf oluşturan objelerin benzerliğinden yola çıkarak ve özelliklerine göre seçilerek gruplandırılması olarak tanımlanabilir. Otomatik sınıflandırma verilen bir obje kümesi içinde benzer objelerin homojen sınıfları oluşturmaları veya verilen objenin özelliğinden yola çıkarak birçok veya daha öncede tanımlanmış sınıfların oluşturulmasının matematik ve istatistik yöntemlerle gerçekleştirilmesidir.

Denetimli Sınıflandırma: Denetimli sınıflandırmada görüntünün hangi sınıflara ayrılacağı, ya da görüntüden hangi sınıfların elde edilmek istenildiği önceden bilinir. Bunun için görüntüden belirlenen sınıflara ait denetim alanlarının seçilmesi gerekmektedir. Denetim alanlarının seçimi sınıflandırmanın doğruluğunu etkileyen bir aşamadır. Uygulamada çokça karşılaşılan sorun sınıf çakışmasıdır. Sınıf çakışmasının nedenlerinden biri de denetim alanlarının ölçümünde yapılan hatalardır.

Denetimsiz Sınıflandırma: Bu yöntem; piksellerin, kullanıcı müdahalesi olmadan algoritmalar yardımı ile otomatik olarak kümelendirilmesi temeline dayanmaktadır.

Bu yöntem karar kuralı olarak, minimum uzaklığı kullanır. Pikseller, görüntünün sol üst köşesinden başlanarak soldan sağa ve satır satır analiz edilir. Aday piksel ile her bir küme ortalaması arasında spektral uzaklık hesaplanır ve en yakın kümeye atanır. Öncelikle istenilen sınıf sayısı kadar oluşturulan kümenin ortalaması hesaplanır ve her iterasyondan

sonra, her bir kümenin yeni ortalaması hesaplanılarak, bu ortalamalar bir sonraki iterasyon kümelerinin tanımlanmasında kullanılır.

Denetimsiz sınıflandırma yöntemi olan K-Mean Clustering, eldeki verileri özelliklerine göre hiçbir sınıf bilgisi olmadan K sayıda kümeye gruplama işlemidir. Gruplama, ilgili kümenin merkez değeri ile veri setindeki her objenin/nesnenin arasındaki farkın kareleri toplamının minimumu alınarak gerçekleştirilir (Url [3]).

K adet merkez belirlemek için:

- 1- Rasgele merkez noktalar atanır. ($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i$)
- 2- Örnekler en yakın μ_i lerin kümesine atanır.
- 3- μ_i ler tekrar hesaplanır. (temsil ettikleri örneklerin ortalaması bulunarak)
- 4- μ_i lerde değişiklik olmuşsa 2. adıma dönülür, olmamış ise algoritma sonlandırılır.

7. MATLAB'DA GÖRÜNTÜ İŞLEME VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANIMI

7.1. Matlab Programlama Arayüzü

MATLAB (matrix laboratory) sayısal hesaplama ve dördüncü nesil programlama dilidir. MathWorks tarafından geliştirilmiştir. MATLAB, matris işlenmesine, fonksiyonlar ve veri çizilmesine, algoritmalar uygulanmasına, kullanıcı arayüzü oluşturulmasına ve diğer dillerle yazılmış programlar ile etkileşim oluşturulmasına izin verir. C, C++, Java, ve Fortran dillerini içerir.

MATLAB, öncelikli olarak sayısal işleme yönelik üretilmiş olmasına rağmen, isteğe bağlı olarak sembolik hesaplama yapabilen MuPAD sembolik motorunu kullanır. Ek paket, dinamik ve gömülü sistemler için Simulink'i, grafiksel çoklu alan simülasyonunu ve model tabanlı tasarımı ekler.

2004'te, MATLAB akademik ve endüstriyel alandaki kullanıcı sayısı bir milyon civarındaydı (Goering, 2004). MATLAB kullanıcıları mühendislik, bilim ve ekonomi gibi çeşitli alanlardan gelmektedir. MATLAB, yaygın olarak akademik ve araştırma kurumlarında olduğu kadar endüstriyel işletmelerde de çok kullanılmaktadır.

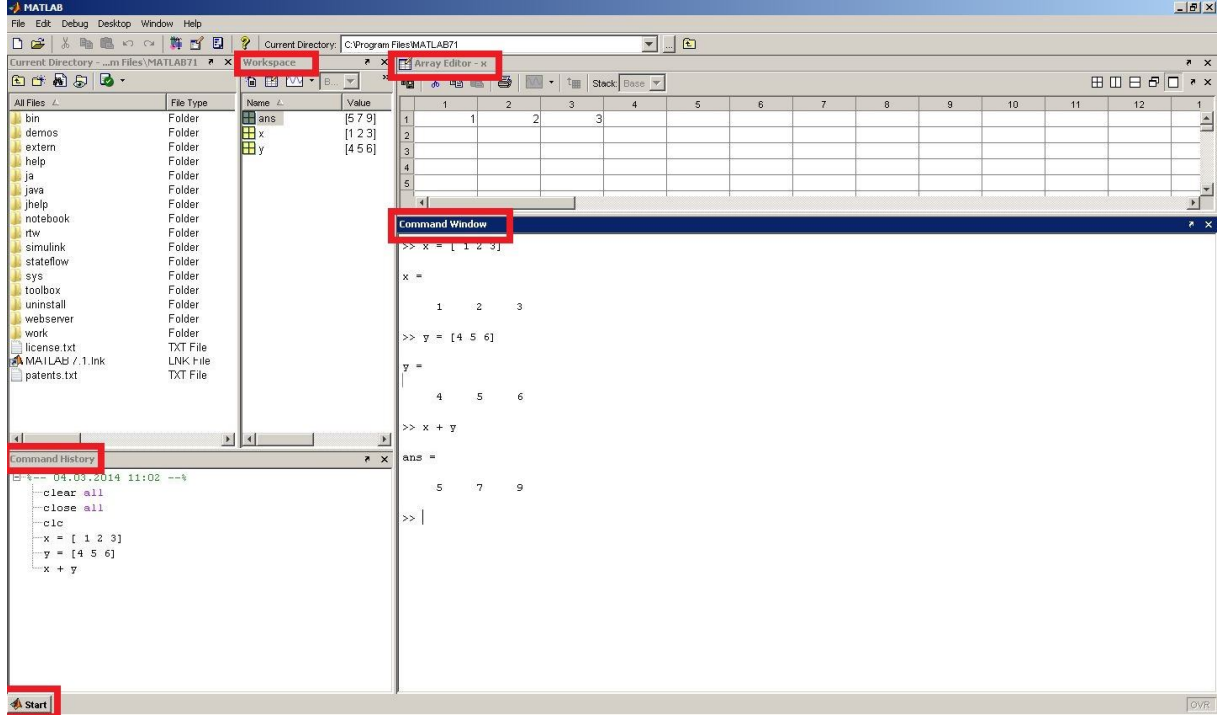
7.1.1. Matlab Ana Ekran

Matlab ana ekranında bulunan kısımlar;

Command Window; Bu ekrana tek satırlı fonksiyonlar ve komutlar yazılarak işlemler yapılabilir. Ayrıca döngü ve karar yapıları ile çok sayıda fonksiyon ve komut bir arada kullanılabilir.

Workspace; alanında ise o anda işlem yapılan, yüklenmiş olan tüm değişkenler ve matrisler yer almaktadır. Bunlardan istenilenler Array Editor (Matris Düzenleyici) denilen arabirim ile görüntülenir.

Command History kısmında; önceden yapılan çalışmalarda kullanılan kodların listesi bulunmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Matlab ana ekran görüntüsü

7.2. Matlab Kod Yazma Editörü

Matlab ortamında kod ile uygulama işlemi, menu→new→m-file yolu izlenerek açılan m-file editor ile gerçekleştirilir. Programda kullanılan fonksiyon, matris, değişken vb. değerler sonradan kullanılmak ya da farklı algoritmalara değişken/sonuç ataması yapabilmek için yazılacak kodlar m-file editörde düzenlenir ve kaydedilir.

M-file editörün diğer bir avantajı ise yazılan kodlardaki hataları kullanıcıya gösterebilmesidir. Örneğin; boyutu 1x3 boyutundaki bir matris ile 3x2 boyutundaki başka bir matrisin cebirsel çarpma işlemi mümkün olmayacağından, m-file'ı test ettiğimizde command window'da "Inner matrix dimensions must agree." şeklinde hata mesajı yazacaktır.

7.3. Matlab'da Yapay Sinir Ağları Kullanımı

Matlab'da yapay sinir ağları kullanımı; m-file Editor ve Neural Networks toolbox ile yapılmaktadır.

- Yapay sinir ağlarının m-file kullanımı, standart Matlab kodları kullanılarak oluşturulan algoritma ile yapılmaktadır. Algoritma yazma adımları;

1. Önceden belirlenen giriş ve çıkış değerlerinin sayısı ve matrisleri oluşturulur.

2. Ağ yapısında kullanılacak yapay sinir ağının; modeli, katman sayısı, aktivasyon fonksiyonu ve eğitim türü belirlenir.
3. Maksimum iterasyon sayısı belirlenir.
4. Yapay sinir ağındaki minimum hata değeri belirlenir.
5. Giriş ve çıkış değerleri kullanılarak yapay sinir ağının eğitimi yapılır.

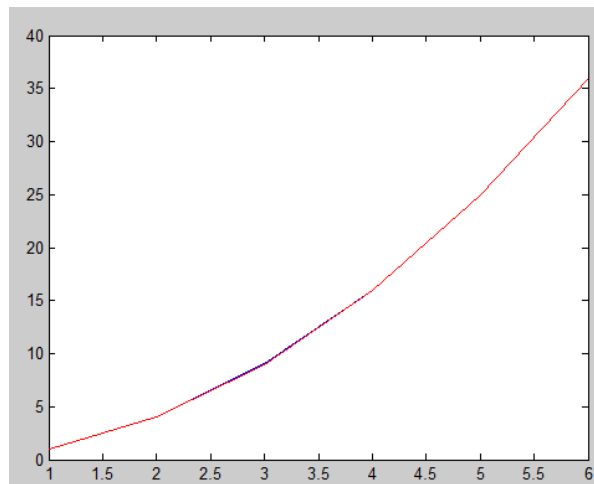
Şekil 7.2’de, tek girişli ve tek çıkışlı, iki katmandan oluşan (1.katman 3 nöron, 2. katman 1 nöron), aktivasyon fonksiyonu tanjant hiperbol fonksiyonu ve doğrusal fonksiyondan oluşan, bir sayının karesini hesaplayan yapay sinir ağı modeli görülmektedir.

```
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 P=[1 2 3 4 5 6]; % Giriş değerleri
2 T=[1 4 9 16 25 36]; % Girişe karşılık çıkış değerleri
3 net = newff(minmax(P),[3 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
4 net.trainParam.epochs = 100; %Max. iterasyon sayısı
5 net.trainParam.goal = 0.001; %Min. hata değeri
6 net.trainParam.lr = 0.01;
7 net.trainParam.mc = 0.95;
8 net1= train(net, P, T);%P girişi ve T çıkışını kullanarak eğitme
9 simul= sim(net1,P); %Eğittiğimin simule edilmesi
10 plot(simul); %Similasyonu çizdir
11 hold on
```

Şekil 7.2. Yapay sinir ağlarının m-file ile yazılması

Giriş (P) = 6 değeri için;

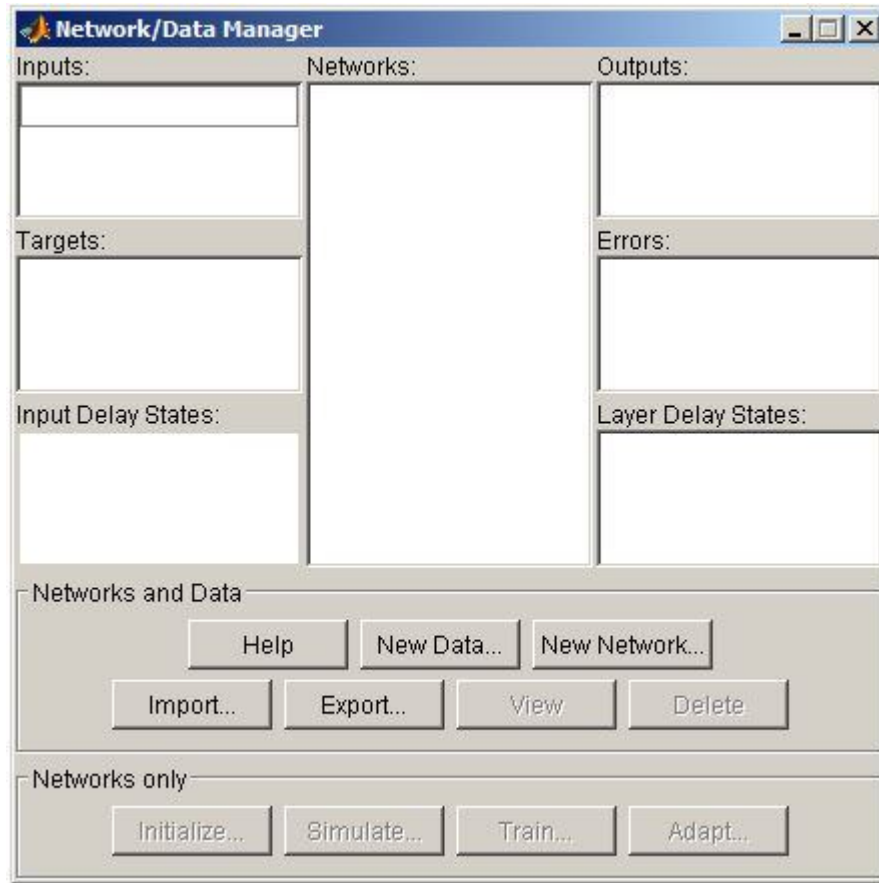
Çıkış = 35.9805 bulunmuştur. (Şekil 7.3.)



Şekil 7.3. Simule edilen yapay sinir ağının grafiksel gösterimi

- Yapay sinir ağlarının Matlab Neural Network Toolbox aracına erişim için command window'da ">>nntool" komutu yazılır.

Açılan pencerede; yeni bir ağ oluşturmak için "New Network" ya da önceden yapılmış bir çalışmayı açmak için "Import" butonu seçilir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Matlab Neural Network Toolbox

7.4. Matlab'da Görüntü İşleme

Matlab sağladığı görüntü işleme araçları ile bu alanda en çok tercih edilen uygulama gelişme aracıdır. Matlab'ın matematiksel gücü, işlem yetenekleri, hazır algoritmaları ve tasarım araçları ile görüntü işleme uygulamalarında ideal bir ortam oluşturmaktadır. Matlab ile bir görüntü dosyası matris olarak uygulama ortamına alınır. Bu matris üzerinde yapılan işlemler, uygulanan algoritmalar sonucunda elde edilen matriste bir resim olarak görüntülenebilir. Matlab görüntü işleme fonksiyonları işlevlerine göre şu şekilde gruplara ayrılabilir (Url [4]).

- Görüntü yükleme fonksiyonları: Görüntü dosyalarını Matlab ortamına aktarmak için kullanılırlar.
- Görüntüleme fonksiyonları: Görüntü matrislerini ekranda resim olarak görüntülemek için kullanılırlar.
- Görüntü yazma fonksiyonları: Görüntü matrisini dosya olarak kaydetmek için kullanılırlar.
- Görüntü dönüşüm fonksiyonları: Görüntü türlerini birbirine dönüştürmek için kullanılırlar.
- Uzamsal dönüşüm fonksiyonları: Görüntü üzerine uzamsal işlemler yapmak için kullanılırlar.
- Görüntü analizi ve istatistik fonksiyonları: Görüntü analizi gerçekleştiren ve istatistik değerler çıkaran fonksiyonlardır.
- Görüntü aritmetiği fonksiyonları: Görüntüler için aritmetiksel işlemler yapılmasını sağlarlar.
- Görüntü düzenleme ve iyileştirme fonksiyonları
- Doğrusal filtreleme ve dönüşüm fonksiyonları: Doğrusal filtre oluşturma ve uygulamak için kullanılırlar.
- Biçimsel işlem fonksiyonları: Görüntü türüne göre biçimsel işlemler yapmak için kullanılırlar.
- Alan tabanlı, komşuluk ve blok işlem fonksiyonları: Görüntünün bir bölümü için işlem yapılmasını sağlayan fonksiyonlardır.

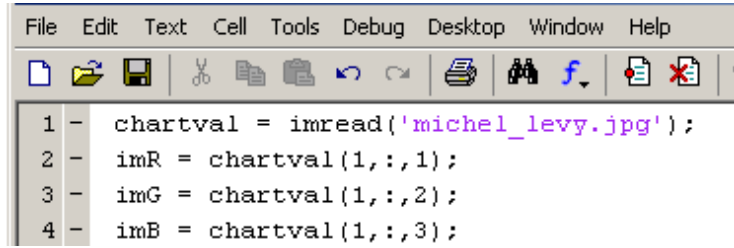
8. UYGULANAN YÖNTEMLER

Önceki bölümlerde polarizan mikroskoptaki mineral görüntülerinin nasıl oluştuğu, matlab uygulama geliştiricisinde yapay sinir ağları ve görüntü işlemenin nasıl oluşturulacağı hakkında bilgiler verilmişti. Bazı minerallerin birden fazla renkte görünmesi, benzer renkte minerallerin olması sebebi ile görüntünün RGB değerlerini etkileyebilecek görüntü filtreleme, histogram eşitleme vb. görüntü işleme teknikleri uygulanmamıştır. Görüntü işleme yalnızca görüntünün sınıflandırılmasında kullanılmıştır.

Bu bölümde polarizan mikroskopta görüntüsü kaydedilen mineral resminin görüntü işleme ve yapay sinir ağları kullanılarak mineral isimlendirmesinde kullanılan yöntemler adım adım anlatılmaktadır.

1.Adım: Denetimli sınıflandırma yöntemi kullanılarak Michel–Levy Renk Tablosu, ince kesit kalınlığı 0.03 mm kabul edilerek minerallerin çiftkırınım değerlerine göre sınıflandırma yapılmıştır.

Şekil 8.1’de “imread” komutu kullanılarak renk tablosunun RGB değerleri belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Çiftkırınım değerlerinin karşılık geldiği piksel numaraları belirlenip her bir çiftkırınım değeri için matris oluşturulmuştur (Şekil 8.2).



```
1 - chartval = imread('michel_levy.jpg');
2 - imR = chartval(1,:,:)
3 - imG = chartval(1,:,:)
4 - imB = chartval(1,:,:)
5 -
```

Şekil 8.1. Michel – Levy renk tablosunun matlab’a gösterilmesi

Y(=0.03)	N - n	Piksel No	No	R	G	B
30	0,001	14	1	32	28	29
60	0,002	28	2	44	40	41
90	0,003	41	3	49	47	48
....			4	48	46	47
....			...			...
2100	0,070	965	14	72	74	73

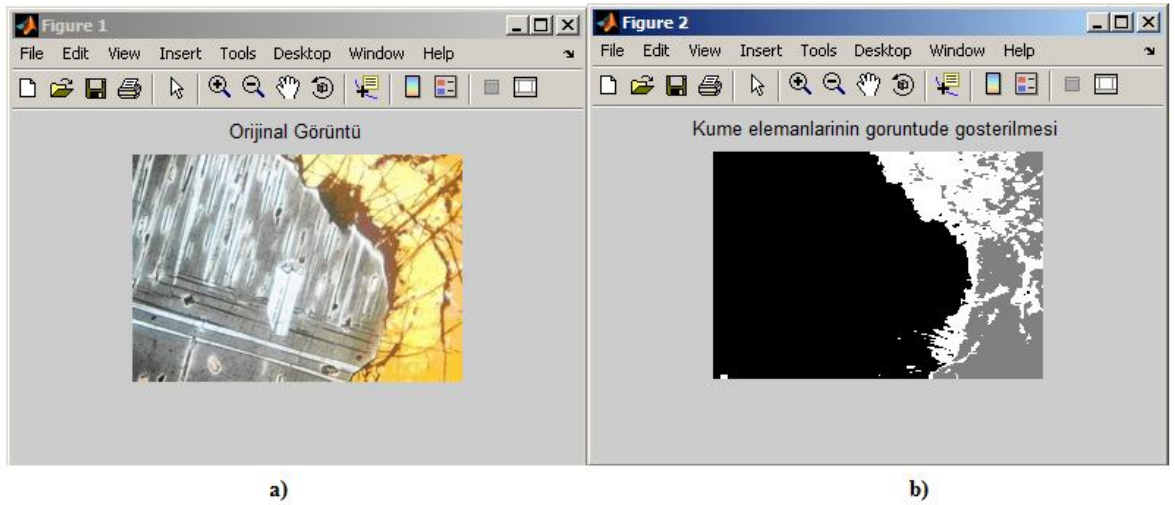
Piksel Numaraları

1-14 piksel aralığındaki RGB değerleri

Şekil 8.2. Çiftkırınım değerlerinin RGB değerleri

2. Adım: Görüntü işlemenin denetimsiz sınıflandırma yöntemi olan k mean algoritması ile incelenecek mineral resminin sınıflandırılması yapılmıştır.

K mean algoritmasının sınıflandırmasında 3 farklı küme belirtilmiştir. Küme elemanları, görüntünün renk değerlerinin küme merkezine olan öklid uzaklığına göre yapılmıştır. Şekil 8.3. b) de görünen siyah, beyaz ve gri renkler orijinal görüntünün sınıflandırma sonrası oluşan küme elemanlarını göstermektedir.



Şekil 8.3. a) Orijinal görüntü ve b) k mean algoritmasının oluşturduğu renk kümeleri

K mean algoritmasının matlab kod yazılımı;

```
[cluster_idx cluster_center] = kmeans(ab,nColors,'distance',...  
'sqEuclidean', 'Replicates',3);
```

biçiminde yazılmaktadır. Burada;

— cluster_idx: Her bir pikselin üye olduğu küme numarası.

— cluster_center: Küme merkezini

— kmeans: kmeans algoritmasını

— ab: Piksellerin renk değeri

— nColors: kmeans küme sayısını,

— distance ve sqEuclidean: kmean küme elemanlarının küme merkeze olan Öklid mesafelerinin hesaplanmasını

— Replicates: kmean iterasyon sayısını

göstermektedir.

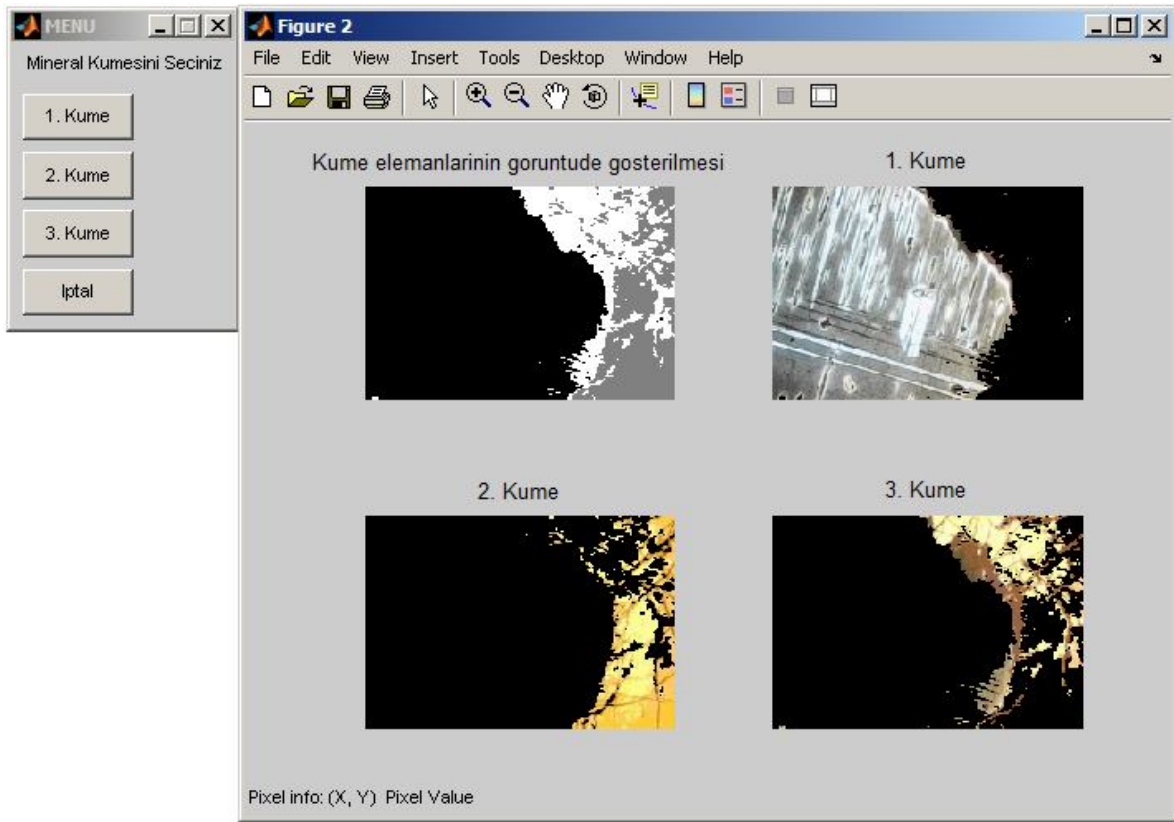
K mean sınıflandırması sonunda küme elemanlarının RGB değerlerinin ait olduğu piksele atanması;

```

for k = 1:3
    color = I;
    color(rgb_label ~= k) = 0;
    segmented_images{k} = color;
end

```

döngüsü kullanılarak yapılmıştır. Burada kullanılan, `color(rgb_label ~= k) = 0;` komutu eğer piksel değeri kümeye ait değil ise 0 (siyah) yap anlamına gelmektedir. Şekil 8.4’de sınıflandırma ve for döngüsü sonunda elde edilen görüntüler verilmiştir.



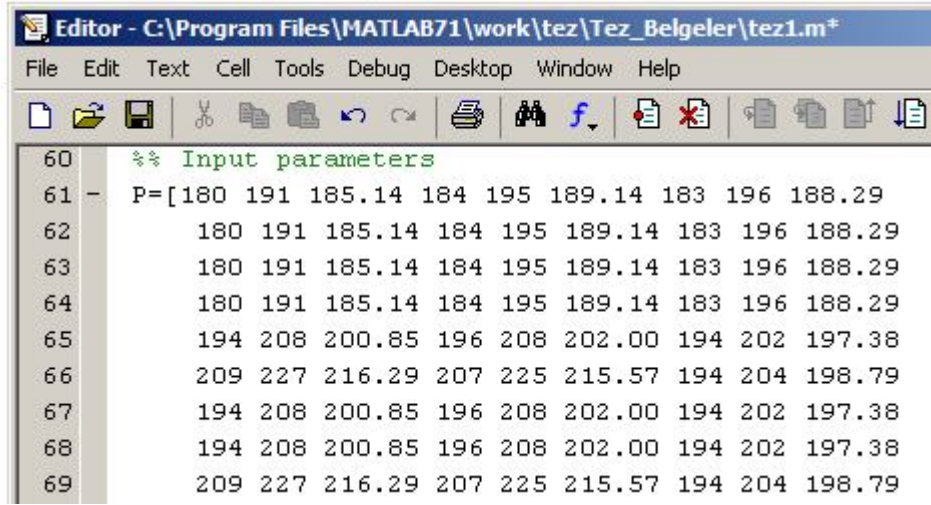
Şekil 8.4. Sınıflandırma sonrasında kümelerin gösterimi

Yapılan sınıflandırma sonrasında isimlendirilmek istenen kümeye ait küme numarası açılan menü penceresinden seçilir (Şekil 8.4).

Şekil 8.4’de görüldüğü gibi küme elemanı olmayan pikseller 0 değerini almıştır. Bu durumda elde edilecek kümelerin ortalama R,G,B değerleri hatalı olacaktır. R,G,B ortalama değerlerinin doğru hesaplanabilmesi için yapılan işlemlerde 0 RGB değerine sahip pikseller işleme alınmamıştır.

3. Adım: Yapay sinir ağlarını oluşturmak için;

— 1. adımda elde edilen R,G,B değerleri yapay sinir ağına 9X24 boyutunda giriş matrisi olarak yazılmıştır (Şekil 8.5).



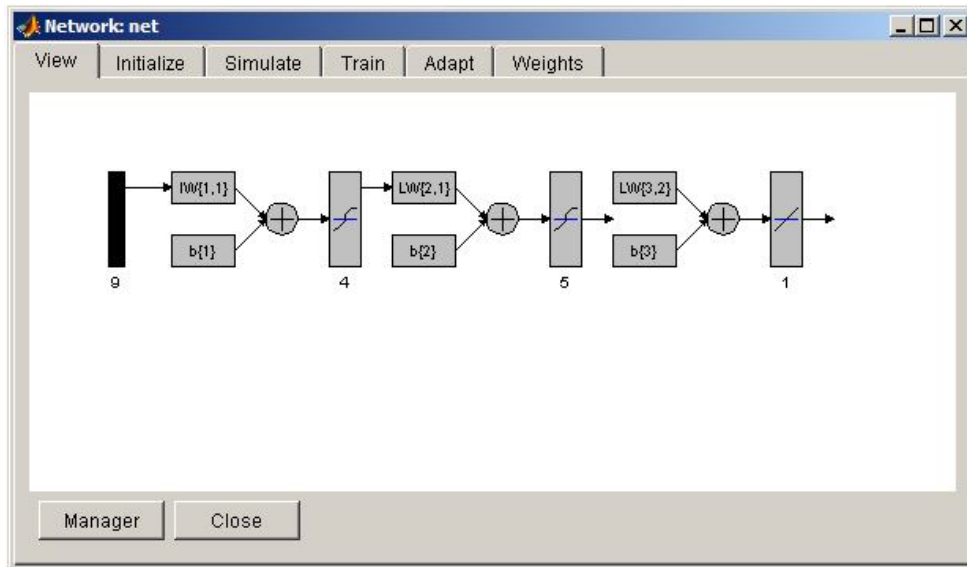
```
60 %% Input parameters
61 P=[180 191 185.14 184 195 189.14 183 196 188.29
62     180 191 185.14 184 195 189.14 183 196 188.29
63     180 191 185.14 184 195 189.14 183 196 188.29
64     180 191 185.14 184 195 189.14 183 196 188.29
65     194 208 200.85 196 208 202.00 194 202 197.38
66     209 227 216.29 207 225 215.57 194 204 198.79
67     194 208 200.85 196 208 202.00 194 202 197.38
68     194 208 200.85 196 208 202.00 194 202 197.38
69     209 227 216.29 207 225 215.57 194 204 198.79
```

Şekil 8.5. Yapay sinir ağı giriş değerleri

— Yapay sinir ağı çıkış değeri için mineral isimleri 1,2,...,8 olarak isimlendirilmiş ve yapay sinir ağı çıkış matrisi oluşturulmuştur.

— `net=newcf([minmax(P)], [5 4 1], {'tansig' 'tansig' 'purelin'}, ...
'trainlm');`

Matlab kodu kullanılarak 2 katmanlı yapay sinir ağı kurulmuştur (Şekil 8.6).



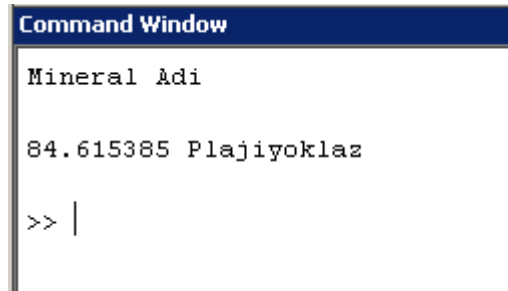
Şekil 8.6. Oluşturulan yapay sinir ağlarının yapısı

2. adımda seçimi yapılan kümenin R,G,B değerleri mineral isimlendirmesini yapmak için `x = sim(net, rgbval);` komutu kullanılarak yapay sinir ağına girişi yapılmıştır.

— Yapay sinir ağı sonucunda elde edilen sayısal değer, matlab if-else şart komutları kullanılarak mineral isimlendirmesi yapılmıştır. matlab command window'da yazdırılmıştır.

```
end
if minName(1,1)>=75
    fprintf('\n%f Alkali Feldispat\n\n',minName(1,1));
end
if minName(1,2)>=75
    fprintf('\n%f Plajiyoklaz\n\n',minName(1,2));
end
```

Matlab şart komutları sonucuna göre mineral ismi matlab command window'da yazdırılmıştır (Şekil 8.7).



Şekil 8.7. Mineral isminin Matlab command window'da yazılması

9. BULGULAR

Yapılan program sonucunun sağlıklı sonuç verebilmesi için, Çizelge 3’deki her bir mineral grubu değeri aynı görüntü dosyasının on kez programda değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 3. Mineral sınıflandırmasında elde edilen veriler.

	İstenen Değer		YSA Sonuç Deneme sayısı									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alkali Feldispat	1		1,88	0,48	1,20	1,45	0,80	0,95	1,80	1,05	0,63	1,42
		Doğruluk Oranı (%)	12,00	48,00	80,00	55,00	80,00	95,00	20,00	95,00	63,00	58,00
Plajiyoklaz	2		3,70	2,85	3,00	2,90	3,20	2,49	2,77	1,85	2,45	1,57
		Doğruluk Oranı (%)	15,00	57,50	50,00	55,00	40,00	75,50	61,50	92,50	77,50	78,50
Piroksen Grubu	3		4,11	4,50	4,90	2,67	2,91	3,16	2,57	2,63	2,83	2,91
		Doğruluk Oranı (%)	63,00	50,00	36,67	89,00	97,00	94,67	85,67	87,67	94,33	97,00
Kuvars	4		4,50	3,46	7,69	4,50	2,54	3,08	4,63	5,00	4,62	2,92
		Doğruluk Oranı (%)	87,50	86,50	7,75	87,50	63,50	77,00	84,25	75,00	84,50	73,00
Hornblend	5		6,40	4,50	5,02	4,97	4,50	3,94	6,18	3,90	4,56	4,50
		Doğruluk Oranı (%)	72,00	90,00	99,60	99,40	90,00	78,80	76,40	78,00	91,20	90,00
Biyotit	6		4,25	6,44	7,50	4,50	7,67	4,63	8,03	5,09	6,00	6,50
		Doğruluk Oranı (%)	70,83	92,67	75,00	75,00	72,17	77,17	66,17	84,83	100,00	91,67
Muskovit	7		6,75	6,28	5,00	6,24	5,25	6,43	6,85	4,50	6,25	6,18
		Doğruluk Oranı (%)	96,43	89,71	71,43	89,14	75,00	91,86	97,86	64,29	89,29	88,29
Olivin	8		7,35	8,62	7,36	-0,80	5,36	7,60	7,56	7,35	7,35	7,35
		Doğruluk Oranı (%)	91,88	92,25	92,00	10,00	67,00	95,00	94,50	91,88	91,88	91,88

Yapılan programda sonuçların hata oranı;

$$\% \text{ Hata} = (\text{İstenen Değer} - \text{Bulunan Değer}) / (\text{İstenen Değer}) * 100$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Elde edilen hata değerinin 100’den çıkarılması ile isimlendirilmenin doğruluk oranı belirlenmiştir.

10. SONUÇ

Yapılan çalışmada polarizan mikroskopta farklı girişim renklerine sahip minerallerin görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemi kullanarak mineral isimlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğu;

1. Hazırlanan ince kesit kalınlığının 0.03mm olması,
2. İsimlendirilmek istenen mineralin tam aydınlık pozisyonda ki görüntüsünün elde edilmesi,
3. Görüntündeki gürültünün az olması,

gibi etmenlere bağlıdır. Bu durumların aksi olması halinde, yapay sinir ağı giriş değerleri ile görüntüdeki mineralin renk değerleri uyumsuz olacağından yapay sinir ağının yanlış isimlendirme yapması mümkün olabilmektedir.

Görüntü işleme yöntemleri görüntünün renk değerleri olan RGB değerlerini değiştirmesinden dolayı, isimlendirilmek istenen görüntüye, görüntü işleme teknikleri olan görüntü filtreleme, histogram eşitleme, kontrast germe gibi işlemler uygulanmamış yalnızca denetimsiz sınıflandırma yöntemi olan k mean sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır.

Çalışmada kullanılan, alkali feldspatlar, plajiyoklazlar, piroksen grubu ve kuvars minerallerinin isimlendirilmesinde; %12 doğruluk oranı ile alkali Feldispatlar en az doğruluk oranı verirken, %97 doğruluk oranı ile piroksen grubu mineralleri olmuştur. Olivin, muskovit, biyotit ve hornblend minerallerinin isimlendirilmesinde ise, programın doğruluk oranı en az %64,29 ile muskovit minerali iken, % 100 oran ile biyotit minerali en fazla doğruluk oranı veren mineral olmuştur.

Sonuç olarak optik mineralojide minerallerin sadece renklerine bakarak isimlendirme yapmak bazen yanlış isimlendirme yapmamıza neden olabilir. Minerallerin renk özellikleri dışında diğer optik özelliklerinin (dilinim, ikizlenme, sönme vb.) tespit edilmesi isimlendirmenin doğru yapılmasına yardımcı olacaktır.

11. KAYNAKLAR

- Castelman, R. K., 1996. Digital image processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Efe, M.Ö. ve Kaynak, O., 2004. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 38- 41.
- Efe, Ö., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları Kuramı. Mimari, Eğitim, Uygulama, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 27-28s.
- Elmas, Ç., 2011. Yapay Zeka Uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E., 2003. Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. Pivotka, 2(6), 14-17.
- Erkan, Y., 1978. Kayaç oluşturan minerallerin polarizan mikroskopta tanınması. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 42, 438s.
- Goering, R., 2004. Matlab edges closer to electronic design automation world, EE Times.
- Hardeberg, J. Y., 1999 Acquisition and Reproduction of Colour Images: Colorimetric and Multispectral Approaches. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications, Paris.
- Haykin, S. 1994. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, New York, Macmillan College Publishing Company, ISBN 0-02- 352761-7.
- John C., 1999. The Image Processing Hand Book. Third Edition, CRC Press, ISBN:0-8493-2532-3
- John Winter, 2003, Whitman College with some slides © Jane Selverstone, University of New Mexico.
- Kerr, P.F., 1977. Optical Mineralogy. McGraw Hill. New York, p.492.
- Klein, C., Hurlbut, C.S., Dana, J.D., 1993. Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, Inc., New York, p.680.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya yayınevi, İstanbul.
- Sirel, Ş., 1974, Kuramsal Renk Bilgisi. İ.D.M.M. Akademisi Yayınları, İstanbul.
- Ünver, R., 2000. Renk Görünüm Dizgeleri. 3. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul.

Url [1]: <http://www.willamette.edu/~gorr/classes/cs449/Classification/perceptron.html>,

9 Kasım 2012

Url [2]: <http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm>, 01 Ekim 2012

Url [3]: http://cse.iku.edu.tr/ICourses/CSE015_47/K-Means_Clustering.pdf, 25 Şubat 2014
Url [4] www.matlabcentral.com, 13 Eylül 2009