

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY SİNİR AĞLARIYLA
UYDU GÖRÜNTÜLERİ SPEKTRAL BANT
ARALIKLARININ MAVİ BANT ÖRNEĞİNDE
MODELLENMESİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Yük. Müh. Hüseyin BAYRAKTAR

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve C.B.S. Programında Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 13.02.2009
Tez Danışmanı : Doç.Dr. Bülent BAYRAM (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ayhan ALKIŞ (Y.T.Ü.)
: Prof.Dr. Derya MAKTAV (İ.T.Ü.)
: Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR (İ.T.Ü.)
: Prof.Dr. Fatmagül BATUK (Y.T.Ü.)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK TEMELLER	4
2.1 Uydu Görüntüleri	4
2.2 Elektromanyetik Enerji	6
2.3 Elektromanyetik Spektrum	7
2.4 Güneş Işınması	9
2.5 Atmosferik Etkenler	10
2.5.1 Atmosferik Saçılma	10
2.5.2 Atmosferik Yutulma	12
2.6 Uzaktan Algılamada Radyasyon/Hedef Etkileşimleri	13
2.6.1 Bitkilerin Spektral Özellikleri	15
2.6.2 Suyun Spektral Özellikleri	15
2.6.3 Toprağın Spektral Özellikleri	17
3. UZAKTAN ALGILAMADA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ	18
3.1 Sayısal Görüntü Karakteristikleri	19
3.2 Optik Uzaktan Algılama	20
3.2.1 Pankromatik Görüntüleme Sistemi	20
3.2.2 Çok-Banlı (Multispectral) Görüntüleme Sistemi	20
3.2.3 Süper-Banlı (Superspectral) Görüntüleme Sistemleri	21
3.2.4 Hiper-Banlı (Hyperspectral) Görüntüleme Sistemleri	21
3.3 Termal Görüntüleme	22
3.4 Geometrik Dönüşüm ve Ayırma Gücü	23
3.4.1 Ayırma Gücü	25
3.4.1.1 Konumsal Ayırma Gücü	25
3.4.1.2 Spektral Ayırma Gücü	27
3.4.1.3 Radyometrik Ayırma Gücü	28
3.4.1.4 Zamansal Ayırma Gücü	29
3.5 Sınıflandırma	30
3.5.1 Sınıflandırma Yöntemi	30
3.5.2 Özellik Elde Etme	31
3.5.3 Sınıflandırıcılar	31

3.5.3.1	Kontrollü Sınıflandırma.....	33
3.5.3.2	Ayırt Edilebilirlik Analizi.....	35
3.5.3.3	Kontrolsüz Sınıflandırma	37
3.5.3.4	Kontrollü / Kontrolsüz Karışık Sınıflandırma	39
3.5.4	Parametrik Olmayan Sınıflandırma	40
3.5.4.1	Seviye-Dilimli Sınıflandırma	40
3.5.4.2	En Yakın Komşuluk Sınıflandırıcısı.....	40
3.5.4.3	Yapay Sinir Ağları (Y.S.A.) Sınıflandırıcısı	40
3.5.5	Katiya Karşı Yumuşak Sınıflandırma.....	41
4.	ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER ve YÖNTEM.....	43
4.1	Kullanılan Veriler	43
4.1.1	LANDSAT Uydu.....	43
4.1.2	TERRA / ASTER Uydu.....	45
4.1.3	IRS 1C/D Uydu.....	47
4.2	Modern Modelleme Yöntemleri	48
4.2.1	Bulanık Mantık	48
4.2.2	Genetik Algoritmalar	50
4.2.3	Yapay Sinir Ağları.....	50
4.2.3.1	Merkezi Sinir Sistemi	50
4.2.3.2	Yapay Sinir Ağları ve Özellikleri	52
4.2.3.2.1	Nöron (İşlemci Eleman)	54
4.2.3.2.2	Aktivasyon Fonksiyonu	56
4.2.3.3	Yapılarına Göre YSA Türleri	57
4.2.3.3.1	Geri Beslemeli Ağlar	57
4.2.3.3.2	İleri Beslemeli Ağlar	58
4.2.3.4	YSA’larda Öğrenme Algoritmaları	58
4.2.3.5	Çok Katmanlı Perseptron.....	59
5.	UYGULAMA	60
5.1	Giriş	60
5.2	Renkli ve Çok-Bantlı Görüntü İşleme	62
5.2.1	Çok-Bantlı Görüntü Analizi	62
5.2.2	Renkli Görüntü İşleme.....	63
5.2.2.1	Renkli Görme	63
5.2.2.2	Üç-renkli Görüntüleme.....	64
5.2.2.3	Renk Belirleme	65
5.3	Uzaktan Algılamada Görüntülerin Yorumlanması.....	67
5.3.1	Renkli Bileşen Görüntüler	67
5.3.1.1	Gerçek Renk Bileşeni	68
5.3.1.2	Yanlış Renk Bileşeni	68
5.3.1.3	Doğal Renk Bileşeni	69
5.4	Bitki Örtüsü İndeksleri	70
5.4.1	Basit Bitki Örtüsü İndeksleri	70
5.4.2	Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	72
5.4.3	Bitki Örtüsü İndeksleri ile İlgili Yorumlar	74
5.5	Modelleme Çalışmaları.....	76
5.5.1	Kullanılan Yazılımlar	76
5.5.2	Modelin Kurulmasında İlk Aşamalar	79
5.5.3	Karşılaşılan Güçlükler	85
5.5.4	Sonuç Model.....	86

5.5.4.1	Girdi Verilerinin Üretilmesi	89
5.5.4.1.1	Üretilen Girdi Verilerinin Kontrolü.....	92
5.5.4.2	Sonuç Modelin Kurulması.....	95
5.5.4.3	Geliştirilen Uygulama Yazılımı.....	98
5.5.4.4	Modelin Bağımsız Test Verileri ile Sınanması.....	101
Deney 1		101
Deney 2		102
Deney 3		104
Deney 4		106
Deney 5		107
Deney 6		108
Deney 7		109
Deney 8		110
6.	SONUÇLAR.....	112
	KAYNAKLAR.....	115
	ÖZGEÇMİŞ.....	118

KISALTMA LİSTESİ

AGA	Anlık Görüş Alanı
ANN	Artificial Neural Network
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
Bİ	Bitki İndeksi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CMAC	Cerebellar Model Articulation Control
DVI	Difference Vegetation Index
EMR	Electromagnetic Radiation
EO-1	Earth Observing Mission 1
ETM+	Enhanced Thematic Mapper
FEWS	Famine Early Warning System
GA	Genetik Algoritma
GIFOV	Ground Instantaneous Field Of View
GLCF	Global Land Cover Facility
GMDH	Group Method of Data Handling
GSİ	Ground Sample Interval
GUI	Graphical User Interface
GVI	Gren Vegetation Index
HRV	High Resolution Visible
IFOV	Instantaneous Field Of View
IRS	Indian Remote Sensing
KDKÖ	Kısa Dalga Kızılötesi
KYM	Kırmızı Yeşil Mavi
LANDSAT	Land Observation Satellite
LAI	Leaf Area Index
LISS	Linear Imaging Self Scanning Sensor
LM	Levenberg-Marquardt
LVQ	Learning Vector Quantization
MATLAB	Matrix Laboratory
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MLP	Multi Layer Perseptron
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectrometer
MS	Multi Spectral
MSE	Mean Square Error
NDVI	Normalised Differential Vegetation Index
NDWI	Normalised Difference Water Index
NLAPS	National Land Archive Production System
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ODKÖ	Orta Dalga Kızılötesi
PAN	Pankromatik
PURELIN	Linear Transfer Function
RBF	Radial Basis Function
RGB	Red Gren Blue
RVI	Ratio Vegetation Index
RVS	Regression Variable Substitution
RPROP	Resilient Backpropagation (Esnek Geri Yayılım)
SARVI	Soil Adjusted Ratio Vegetation Index
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index

SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre
SSE	Sum Squared Error
SWIR	Shortwave Infrared
TKÖ	Termal Kızılötesi
TIR	Thermal Infrared
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
UV	Ultra Violet
VNIR	Very Near Infrared
WiFS	Wide Field Sensor
YKN	Yer Kontrol Noktası
YKÖ	Yakın Kızılötesi
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Uzaktan algılamada verinin toplanması ve işlenmesi modeli	4
Şekil 2.2 Elektromanyetik enerjinin dalga özelliği(Schenk, 1999)	6
Şekil 2.3 Elektromanyetik spektrum ve algılama aralıkları	8
Şekil 2.4 Atmosfer üzerindeki ve deniz seviyesindeki güneş ışıması [3]	9
Şekil 2.5 Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması	11
Şekil 2.6 Serbest saçılma [2]	11
Şekil 2.7 Dalga uzunluğuna bağlı olarak atmosfer geçirgenliği	13
Şekil 2.8 Cisimlerin spektral yansıtım eğrileri	14
Şekil 2.9 Bitkilerde meydana gelen yansıma ve yutulma	15
Şekil 2.10 Suda meydana gelen yansıma ve yutulma [2]	16
Şekil 3.1 Görüntü algılama sistemlerinin sınıflandırılması (Özbalmumcu,1999)	18
Şekil 3.2 Sayısal görüntü ve piksel parlaklık değerleri	19
Şekil 3.3 Siyah&beyaz ve renkli film algılama aralıkları [2]	20
Şekil 3.4 Dört adet bant içeren çok-bantlı bir IRS 1D uydusu görüntü parçası	21
Şekil 3.5 Hiper-spektral görüntü küpü	22
Şekil 3.6 Termal görüntüleme sistemi	22
Şekil 3.6 Yeniden örnekleme	25
Şekil 3.7 Anlık görüş açısı (α) ve yeryüzü uzunluğu olarak gösterimi	26
Şekil 3.8 Bazı uzaktan algılama sistemlerinin iki boyutlu parametre uzayında gösterimi (Schowengerdt,1997)	28
Şekil 3.9 Güneşle eş-zamanlı yörünge	29
Şekil 3.10 Sınıflandırma yönteminde veri akışı	32
Şekil 3.11 Kontrollü sınıflandırmadaki temel adımlar (Lillesand ve Kiefer, 2000)	34
Şekil 3.12 Yüksek ve düşük ayırt edilebilirlik	36
Şekil 3.13 3 boyutlu uzayda iki vektör arasındaki uzaklık	36
Şekil 3.14 K-ortalamlar algoritmasının, 2 boyutlu idealize edilmiş veriler için bir uygulaması	39
Şekil 3.15 Katı ve yumuşak sınıflandırma	41
Şekil 4.1 LANDSAT uydu sistemlerinin kullanım zamanları (Özkan, 2001)	43
Şekil 4.2 ASTER, LISS-III ve ETM+ bantlarının atmosfer modeli üzerinde gösterimi	45
Şekil 4.3 TERRA/ASTER ve VNIR algılayıcısı	46
Şekil 4.4 Bulanık görüntü işlemenin genel yapısı (Tizhoosh, 1997)	50
Şekil 4.5 Sinir hücresinin bölümleri[1] ve (a) Sağlıklı bir sinir hücresi	51
Şekil 4.6 YSA genel yapısı	52
Şekil 4.7 Temel YSA mimarisi	53
Şekil 4.8 Tek girdili nöron modeli	55
Şekil 4.9 Çok girdili nöron modeli	55
Şekil 4.10 Katman transfer fonksiyonu logsig olan bir perseptron katmanı	59
Şekil 5.1 İnsan gözü (sağ göz, yukarıdan)	63
Şekil 5.2 İnsan gözünün kırmızı, yeşil ve mavi ışığa duyarlılığı (Mather, 2001)	64
Şekil 5.3 Ekranda renkli görüntünün oluşumu	65
Şekil 5.4 KYM (RGB) renk uzayı (Hildebrand ve Reusch, 2000)	66
Şekil 5.5 Renk Dairesi	67
Şekil 5.6 Temel renklerin (K, Y, M) farklı oranda birleşimi ile farklı renklerin oluşması	68
Şekil 5.6 TM-3 ve TM-4 bantlarının toprak çizgisi ile saçılma diyagramı	71
Şekil 5.7 Bitki örtüsü indeksleri (Van Gölü kıyısı TM görüntüsü)	72
Şekil 5.8 LANDSAT TM “Bant4, NDVI, Bant-2” “K, Y, M” bileşimi	75
Şekil 5.9 LANDSAT TM bant-1 ve diğer bantlar arasındaki veri dağılımı	77
Şekil 5.10 Excel yazılımının sınırlayıcı etkisi	78
Şekil 5.11 Bir LANDSAT uydu görüntüsü ve kaplama alanı	79

Şekil 5.12 İkinci çalışma sistem performansı(ilk deney)	80
Şekil 5.13 İkinci çalışma sistem performansı(ikinci deney).....	81
Şekil 5.14 İkinci çalışma model sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	82
Şekil 5.15 İkinci çalışma test verisi ile model sonuçlarının grafiksel gösterimi	82
Şekil 5.16. İkinci çalışma test bölgesinin (a) Gerçek Bant-1, (b) Sentetik Bant-1, (c) Erdas yazılımının ürettiği doğal renk bileşeni görüntü, (d) Modelimizin ürettiği renkli bileşen görüntü(KYM) (e) Landsat TM 321 KYM kombinasyonu (orijinal görüntü).....	84
Şekil 5.17 Farklı nem seviyelerindeki alüvyonlu toprak yansıma değişimi (Albertz ve Kreiling, 1974).....	86
Şekil 5.18 Meşe ağacı yaprağının zamana bağlı yansıma değişimi (Albertz ve Kreiling, 1974)	87
Şekil 5.19 Eğitim verisi olarak kullanılan LANDSAT çerçevelerinin konumlarının Türkiye haritası üzerinde gösterimi	88
Şekil 5.20 Girdi verilerinin üretilmesi akış şeması.....	91
Şekil 5.21 Eğitim verisi bant-1 ve bant-2 veri dağılımı	92
Şekil 5.22 Eğitim verisi bant-1 ve bant-3 veri dağılımı	92
Şekil 5.23 Girdi verilerinin üç boyutlu uzayda gösterimi	93
Şekil 5.24 Girdi verilerinin başka bir yöntemle elde edilmesi akış şeması.....	93
Şekil 5.25 Yeni yöntemle elde edilen eğitim verisi bant-1 ve bant-2 veri dağılımı	94
Şekil 5.26 Yeni yöntemle elde edilen eğitim verisi bant-1 ve bant-3 veri dağılımı	94
Şekil 5.27 Sonuç model ağ mimarisi	96
Şekil 5.28 Geri-yayılım akış şeması (Özkan, 2001)	97
Şekil 5.29 Yeterli sistem performansına ulaşılması	98
Şekil 5.30 Uygulama yazılımı	99
Şekil 5.31 Uygulama yazılımı işlem akış şeması	100
Şekil 5.32 Test verileri ile modelin sınanması-1 (a)Orijinal görüntü, (b)Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas) (c)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntü.....	101
Şekil 5.33 Oymapınar havzası LANDSAT TM görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramları (a) Su kütlesi mevcut, (b) Su kütlesi çıkarılmış	102
Şekil 5.34 İstanbul LANDSAT ETM görüntüsü ve üzerinde IRS 1D/LISS III görüntüsü	103
Şekil 5.35 Test verileri ile modelin sınanması-2 (a)LANDSAT ETM+ görüntüsü bant 3,2,1 KYM kombinasyonu, (b)IRS-1C/LISS Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas) (c)Üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk KYM bileşeni görüntü	103
Şekil 5.36 IRS 1C/D uydusunun çalışma alanları üzerinden geçiş yörüngesi.....	104
Şekil 5.37 Test verileri ile modelin sınanması-3 (a)LANDSAT ETM+ görüntüsü bant 3,2,1 KYM kombinasyonu, (b)IRS-1C/LISS Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas) (c)Üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk KYM bileşeni görüntü	105
Şekil 5.38 Aynı spektral aralığa duyarlı bantlar (a)LANDSAT 7 ETM+ bant3 (kırmızı) ve (b)IRS 1D LISS III bant 2 (kırmızı)	106
Şekil 5.39 Test verileri ile modelin sınanması-4 (a) Üretilen ASTER sentetik gerçek renk KYM bileşeni görüntüsü (b)ASTER görüntüsü doğal renk bileşeni (Erdas) (c)ASTER görüntüsü yanlış renk bileşeni	107
Şekil 5.40 Test verileri ile modelin sınanması-5 ASTER test görüntüsünün (a) Doğal renk bileşeni görüntüsü (Erdas), (b)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntüsü.....	108
Şekil 5.41 Test verileri ile modelin sınanması-6 LANDSAT ETM+ (a) Bant 3,2,1 KYM kombinasyonu, (b)Üretilen sentetik gerçek renk KYM bileşeni görüntü.....	108
Şekil 5.42 Fransa LANDSAT ETM+ görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramı	109
Şekil 5.43 Test verileri ile modelin sınanması-7 LANDSAT ETM+ (a)Orijinal görüntü, (b)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntü.....	109
Şekil 5.44 Houston LANDSAT ETM+ görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramı.....	110
Şekil 5.45 Test verileri ile modelin sınanması-8 Mihrabat Korusu (a)Gerçek renk fotoğraf	

(b)Modelin ürettiği sentetik gerçek renk fotoğraf.....	110
Şekil 6.1 (a) ASTER bant1 ve MODIS bant3 (b) Mavi bant ve sentetik mavi bant saçılma diyagramları (Tonooka vd., 2004)	113

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Özellik uzayındaki iki dağılım arasındaki mesafe ölçütleri	37
Çizelge 4.1 TM Spektral Bantları (Lillesand ve Kiefer, 2000)	44
Çizelge 4.2 ASTER algılayıcı sistemi özellikleri	46
Çizelge 4.3 TERRA / ASTER yörüngesi	47
Çizelge 4.4 IRS çerçeveleri arasındaki ileri ve yan bindirme miktarları.....	48
Çizelge 4.5 İstatistik ve YSA arasındaki benzer yönler	53
Çizelge 4.6 Biyolojik sinir sistemi ve YSA sistemi arasındaki benzerlikler.....	54
Çizelge 4.7 Aktivasyon fonksiyonları	56
Çizelge 5.1 Uzaktan algılamada kullanılan bazı uydular ve özellikleri	61
Çizelge 5.2 Bitki Örtüsü İndekslerine Genel Bakış.....	74
Çizelge 5.3 İkinci çalışma alanı eğitme verisi parlaklık değerleri istatistikleri.....	80
Çizelge 5.4. İkinci çalışma alanı test verisi parlaklık değerleri istatistikleri.....	80
Çizelge 5.5 Kullanılan LANDSAT görüntüleri.....	88
Çizelge 5.6 Homojen alanların istatistiksel değerleri	89
Çizelge 5.7 Verilerin düzenlenmesi 1. adım	90
Çizelge 5.8. Verilerin düzenlenmesi 2. adım	90

ÖNSÖZ

Kıymetli zamanını ayırarak danışmanlığımı üstlenen, lisans, yüksek lisans ve de doktora çalışmam süresince deneyimlerini benden esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Bülent BAYRAM'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Başta Anabilim Dalı Başkanımız sayın Prof.Dr. Ayhan ALKIŞ olmak üzere, Y.T.Ü. Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Anabilim Dalı'nın değerli öğretim üyelerine ve özellikle Anabilim Dalı Eski Başkanımız sayın Prof.Dr. Ahmet YAŞAYAN'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jüri üyeliğimi kabul eden ve değerli fikirlerini ve vaktini benimle paylaşan sayın Prof.Dr. Derya MAKTAV'a teşekkürlerimi sunarım.

Sayın Doç.Dr. Erkan BEŞDOK ve sayın Doç.Dr. Coşkun ÖZKAN'a şahsıma gösterdikleri ilgi ve verdikleri bilimsel desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Gösterdikleri sabır ve hoşgörü ile tez çalışmasının en güzel şekilde sürmesini sağlayan aileme ve özellikle eşim Ayşegül BAYRAKTAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, yaptığım çalışmalar boyunca bilimsel desteğini ve kıymetli tavsiyelerini benden esirgemeyen, yapay zekâ yöntemleri ile beni tanıştıran, gönül ve bilim insanı Dr.Abdüsselam ALTUNKAYNAK'a, arkadaşlarım Finans Uzmanı A.Murat KILIÇ'a, Bio. Nezir MAZİ'ye, Kontrol Müh. M.Koray SARITEKE'ye ve ismini sayamadığım diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

Renk kavramı, özellikle çok-bantlı uydu görüntüleri ile çalışıldığı durumlarda büyük önem taşımaktadır ve yeryüzünün farklı algılama aralıklarına duyarlı spektral bantları görüntü işleme teknikleri açısından önemli bir veri kaynağını oluşturmaktadır. Diğer taraftan çeşitli renk kombinasyonları hem görsel, hem de bilimsel olarak yorumlama kabiliyetini artırmaktadır. Uydu görüntüleri üzerinde ölçümler yapan, yorumlarda bulunan uzaktan algılama uzmanlarının çoğu herhangi bir görüntüyü incelemeye ilk başladıklarında, araziye gerçek renkleriyle görme ihtiyacını hissetmektedirler.

Uydu görüntüsü sınıflandırma çalışmalarında, işleme sokulan bantların sayısı ve duyarlı oldukları spektral aralık, sınıflandırma sonucunu doğrudan etkileyeceği için büyük öneme sahiptir. Sınıflandırmaya dâhil edilecek her bir yeni bant, yeryüzündeki objelerle ilgili farklı yansıtım değerleri içeren, objelerin birbirlerinden ayırt edilmesini kolaylaştıracak yeni bir veri kaynağıdır. Yapılan tez çalışması sonucunda; kullanılacak çok-bantlı uydu görüntüsünde mevcut olmayan “sentetik yeni bir bant (veya bantlar)” üretilmesi hedeflenmiştir.

Bu amacı gerçekleştirme yönünde yürütülen çalışmada, LANDSAT TM ve ETM+ algılayıcısının verilerinden faydalanılarak, girdi verilerinin “yeşil” ve “kırmızı” olduğu, üretilen çıktı verisinin ise “sentetik olarak üretilmiş mavi” olduğu, iki girdili ve bir çıktılı bir yapay sinir ağları modeli kurulmuştur. Kurulan modelin tatminkâr sonuçlar verdiği, çalışmanın uygulama bölümünde verilen görsel ve istatistiksel örneklerle gösterilmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi girdi ve çıktılardan lineer olmayan ilişkiler kurabilen ve çok girdi ve çok çıktılı sistemlerin kurulmasında daha efektif olduğu düşünülen bir yöntemdir. Diğer özelliklerinin yanında paralel çalışmasından dolayı bilgileri hızlı bir şekilde işleyebilmesi ve donanımının daha kolay gerçekleştirilebilir olması YSA’yı diğer Yapay Zekâ yöntemlerine göre daha cazip kılmaktadır.

Mavi bölgeye duyarlı olmayan uydulara örnek olarak ASTER/TERRA ve IRS-1D/LISS III uydularına ait test verilerinin kurulan modelde işlenmesi sonucunda, test verileri için kendilerinde mevcut bulunmayan 0.45-0.52 μm algılama aralığında sentetik yeni bir bant oluşturulmuş ve bu sayede “gerçek renkli görüntü” birçok uygulama için yeterli doğrulukla elde edilebilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağları, uzaktan algılama, spektral aralıklar, modelleme, görüntü işleme

MODELING SPECTRAL BAND RANGES OF SATELLITE IMAGES ON BLUE BAND CASE WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

Color concept has a remarkable importance especially when working on multispectral satellite images and also increases the capability of interpreting various combinations of spectral bands which are sensitive to earth's different sensing intervals both visually and scientifically. Most of remote sensing experts, who make measurements and comments on satellite images, need to see the terrain's true colors before starting to examine the image.

Number of processing bands and spectral interval which they are sensitive are very important at satellite image classification since they are directly affecting the classification result. Every single band to be added to the classification is a new data source which contains different reflection values about objects on earth and eases them to be distinguished. At the end of this study, it is aimed to produce "a new synthetic band or bands" which are not available at multispectral satellite image.

During this study which aims to eliminate such a deficiency, a two input and one output artificial neural network has been modeled at which inputs are "green" and "red", output is "synthetically produced blue". Data from LANDSAT TM and ETM+ have been used. At the application part of the study, using visual and statistical samples, it has been shown that established model has satisfactory outcomes. Artificial Neural Networks (ANN) method is taught to be more effective at multi input / multi output systems since it has the capability of non-linearly interrelating inputs and outputs. Because of parallel operating, ANN can process the data faster and also realizing its hardware is easier. Apart from its other characteristics, those mentioned above make ANN more preferable than other Artificial Intelligence methods.

As an example to satellites which are not sensitive to blue zone, test data from ASTER/TERRA and IRS-1D/LISS III have been processed at the model. In the end, mentioned test data possessed a synthetic new band between 0.45-0.52 μm sensing interval which they didn't have before. So that "true color image" was obtained appropriately for many applications.

Keywords: Artificial neural networks, remote sensing, spectral ranges, modeling, image processing

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama, yeryüzü ile fiziksel temas olmaksızın, hava ya da uydu platformlarına yerleştirilen algılayıcılar yardımıyla yeryüzünün fiziksel özellikleri hakkında bilgi elde etme bilimidir. 1972 yılı ile yani ilk LANDSAT sisteminin fırlatıldığı zamanla kıyaslandığında, uzaktan algılama sistemleri, günümüzde çok fazla çeşitlilik sergilemektedir (Schowengerdt,1997). Uzaktan algılama yeryüzü özelliklerinin haritalarının üretilmesi, görüntülenmesi ve tahmininde kullanılabilmektedir. Bu üç alandan harita üretimi, özellikle de tematik haritalar, belki de diğerlerinden daha yaygın olan ve öncelikle uygulanılandır (Foody, 2000).

İnsanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için, yeterli ve sürdürülebilir bir besin üretimine ihtiyacı olmasının suyun tarım alanları için erişilebilir olmasına bağlı bulunması (Droogers, 2002) nedeniyle, su ve tarım alanlarının gözlenmesi ve korunmasında etkin olarak kullanılabilen uzaktan algılama verileri, son yıllarda çevresel uygulamalar için önemini diğer uygulamalarına oranla daha fazla artırmaktadır.

Hâlihazırda görev yapan, 1m'den daha küçük ve 1000 m.ye kadar konumsal çözünürlükle elektromanyetik spektrumun elde edilebilen hemen hemen bütün bantlarını örnekleyen ve 10nm spektral çözünürlüklü hava sistemleri ile tamamlanan uydu sistemleri bulunmaktadır. Hiper-bantlı ve çok-bantlı uydu görüntü verisi uygulamaları ve bu verileri sağlayan algılayıcılar hızlı bir gelişim halindedir (Andrew ve Ustin, 2008; Gorsevski ve Gessler, 2007 ve Pengra vd., 2007) ve bu algılayıcılar yeryüzünü elektromanyetik spektrumun çok küçük algılama aralıklarına duyarlı çok sayıda bantlarıyla sürekli olarak görüntülemektedir.

Çeşitli geometrik, radyometrik ve spektral ayırma gücüne sahip çok sayıda uydu algılayıcısı bulunmaktadır. Bu uydu algılayıcılarının, tasarlanış amaçlarına göre elektromanyetik spektrumun farklı aralıklarına duyarlı çeşitli sayıda spektral bantları bulunmaktadır. Uzaktan algılanmış görüntü verisinin etkili olarak değerlendirilebilmesinde, araziye gerçek renkleriyle gösterebilen yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri geleneksel olarak en rahat yorumlama ve görselleştirmeyi sağlamaktadır (Patra vd., 2006; Chen ve Tsai,1998; Tonooka vd., 2004 ve Yun, 2005). Bindschadler vd., (2008), 1100 ayrı LANDSAT ETM+ çerçevesini kullanarak Antarktika'nın gerçek renk bileşeni görüntülerini ve bunların mozaigini oluşturmuştur.

Uydu görüntüsü sınıflandırma çalışmalarında, işleme alınan bantların sayısı ve duyarlı oldukları spektral aralık, sınıflandırma sonucunu doğrudan etkileyeceği için büyük öneme sahiptir. Sınıflandırmaya dâhil edilecek her yeni bant, yeryüzündeki objelerle ilgili farklı yansıtım değerleri içeren, objelerin birbirlerinden ayırt edilmesini kolaylaştırılacak yeni bir veri kaynağıdır. Yapılan çalışma sonucunda; kullanılacak çok-bantlı uydu görüntüsünde mevcut olmayan “*sentetik yeni bir bant (veya bantlar)*” üretilmesi hedeflenmiştir.

Uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan, şu anda kullanımda olan veya önceki tarihlerde büyük miktarda veri toplayıp kullanım ömrünü tamamlamış birçok uyduda birbirleri ile özdeş, ya da yakın algılama aralıklarına sahip bantlar bulunmaktadır. Belirli spektral aralıklara bazı uydular duyarlı iken, bazı uydular duyarlı değildir. Bu çalışmada, bir uydunun spektral bant zenginliğinin, kendisinde bulunmayan fakat diğer uydu ya da uydularda bulunan bantların yapay zekâ yöntemleri ile modellenmesi ile artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, sahip olduğu spektral algılama aralığı zenginliği ve verilerine ulaşabilmenin diğer uydulara göre daha rahat olduğu düşünülen, LANDSAT uydusu görüntülerinin kullanılması düşünülmüştür. Yerkürenin neredeyse tamamına yakın kısmını kaplayan ETM(+), TM ve MSS algılayıcılarından elde edilmiş 70’li ve 90’lı yıllara ait ESDI (Earth Science Data Interfece) tarafından bilimsel amaçlı olarak yayınlanan görüntülere, internet üzerinden bedelsiz ulaşılabilir. LANDSAT uydusu görüntüleri, görünür bölgenin tamamı ile birlikte yakın kızılötesi, orta dalga kızılötesi ve termal kızıl ötesine duyarlı bantlara sahiptir. Örneğin, ASTER/TERRA uydusu görüntüleri çok daha geniş bir spektral algılama aralığına sahip olmasına karşın, LANDSAT uydusunun duyarlı olduğu görünür bölgenin “mavi” kısmına karşılık gelen 0.45-0.52 μm aralığına duyarlı değildir. Bu bilgiler ışığında, LANDSAT uydusu bantları arasındaki korelasyon incelenmiş ve çalışmada LANDSAT uydusu verileri kullanılarak, ASTER/TERRA, SPOT ve IRS uyduları gibi uyduların sahip olmadığı 0.45-0.52 μm aralığının modellenmesi sonucunda bu uydular, görüntülerinde mevcut bulunmayan 0.45-0.52 μm algılama aralığında sentetik yeni bir banta sahip olmuş ve bu sayede “gerçek renkli görüntü” birçok uygulama için yeterli doğrulukla elde edilebilmiştir.

Büyük bilim adamı Albert Einstein, matematik modellerin ne kadar ayrıntılı olurlarsa olsunlar gerçeği tam yansıtamayacaklarını ve ne kadar gerçekçi olurlarsa olsunlar doğa olaylarını tam temsil edemeyeceklerini belirtmiştir. Bu yorumdan da anlaşılabileceği

üzere; gerçek dünya olaylarının modellenmesinde başarı bazı uygulamalarda yüksek olabilir de, sınırlıdır.

Uygulamada, girdi ve çıktılardan lineer olmayan ilişkiler kurabilen ve çok girdi ve çok çıktılı sistemlerin kurulmasında daha efektif olduğu düşünülen Yapay Sinir Ağları(YSA) yöntemi öncelikli olarak kullanılmıştır. Diğer özelliklerinin yanında paralel çalışmasından dolayı bilgileri hızlı bir şekilde işleyebilmesi ve donanımının daha kolay gerçekleştirilebilir olması YSA'yı diğer yapay zekâ yöntemlerine göre daha cazip kılmaktadır. Aitkenhead ve Dyer (2007)'de, YSA'nın spektral yansıtım değerleri ve arazi fiziksel parametreleri gibi birden çok veri içeren veri kümelerine uygulandığında çok etkili sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Temelde insan zeki davranışlarını makineye aktarmaya çalışan yapay zekâ uygulamaları genel olarak; Bulanık (Fuzzy) Mantık, Uzman Sistemler, Genetik ve Tabu Arama ve Yapay Sinir Ağları (YSA) olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Bunlardan YSA teknikleri literatürde çok spektrumlu uydu görüntü verilerinin sınıflandırılması için üzerinde en çok araştırmanın yapıldığı alan olmuştur. Dağılımdan bağımsız, hataları ve gürültüyü tolere edebilen, değişen çevre şartlarına kendini uyarlayabilen, öğrenme ve genelleme yeteneğine sahip karakterinden dolayı birçok bilimsel alanda olduğu gibi uzaktan algılama biliminde de YSA'nın etkin kullanım alanları araştırılmaktadır (Özkan,2001).

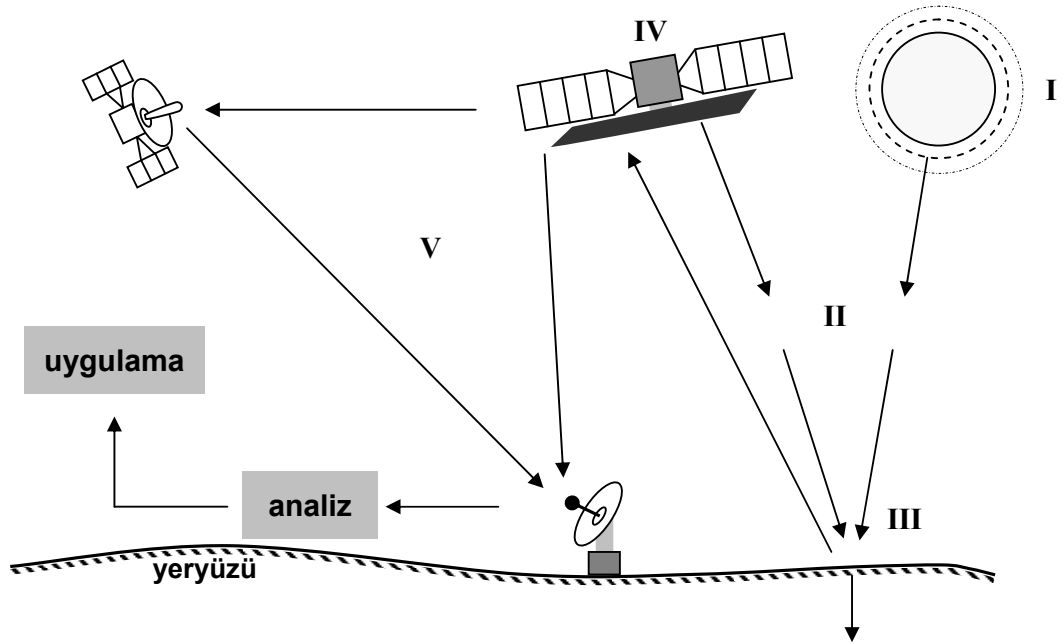
Uzaktan algılama teknolojisinin tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yoğun kullanma alanı bulunmaktadır ve sürekli bir gelişim halindedir. Ülkemiz, bir bölümü ülkemizde üretilen 27 Eylül 2003 tarihinde başarılı bir şekilde yörüngesine fırlatılan, pil hücrelerinden iki tanesinin ömrünü tamamlaması ile, Ağustos 2006 tarihi itibarı ile çalışamaz duruma gelmiş olan Türkiye'nin ilk yer gözlem uydusu BİLSAT ve şu anda yapım aşamasında olan, 2008 başında tamamlanması öngörülmüş, fakat henüz uzaya fırlatılmamış olan RASAT uyduları ile bu teknolojiyi kullanan, üreten ve pazarlayan ülkeler arasında yer alacaktır. Ayrıca, Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) tarafından, 1m'den daha yüksek konumsal çözünürlüğe sahip olması beklenen "GÖKTÜRK RFP" adı verilen keşif ve gözetleme uydu sisteminin ihale yapım aşamasına gelinmiştir. Yapılan çalışmanın, özellikle ülkemize ait bu uyduların ve yakın gelecekte üretilecek başka uydu sistemlerinin veri çeşitliliğini zenginleştirmekle kalmayıp, uydu tasarımını da olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

2. TEORİK TEMELLER

2.1 Uydu Görüntüleri

Uzaktan algılama ilk aşamasında askeri amaçlı olarak gelişmiştir. Bunu izleyen yıllarda araştırmaların ana konusunu çevre amaçlı araştırmalar oluşturmuştur. Özellikle bitkilerin gelişiminin izlenmesi, su, hava kirlenmesi incelemeleri bunlara örnek olarak verilebilir. Uzaktan algılama verileri hem mekânsal hem de zamansal amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır (Bayram, 1998). Afet etkilerinin izlenmesinde uzaktan algılama yöntemleri etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Farklı zamanlarda alınmış, farklı konumsal ayırma gücüne sahip uydu görüntüleri ile uzaktan algılamanın kıyı çizgisi korunmasına yönelik uygulanması (Bayram, vd., 2004), vb. çevresel uygulamalar da sıklıkla yapılmaktadır.

Uzaktan algılamada verinin toplanmasından işlenmesine kadar olan aşamalar Şekil 2.1’de özetlenmiştir.



Şekil 2.1 Uzaktan algılamada verinin toplanması ve işlenmesi modeli

- **I. Enerji kaynağı veya aydınlanma:** Uzaktan algılamanın ilk gereksinimi yeryüzünü aydınlatan veya elektromanyetik enerji sağlayan bir enerji kaynağıdır.
- **II. Radyasyon ve atmosfer:** Enerji, kaynağından çıkıp yeryüzüne ulaşması sırasında,

içerisinden geçtiği atmosferle temas ve etkileşimde bulunur. Bu etkileşim enerjinin yeryüzünden yansıyıp algılayıcıya dönmesi sırasında ikinci defa olabilir.

- **III. Yeryüzü ile etkileşim:** Enerji atmosferden geçip yeryüzüne ulaştığında, yeryüzü ile hem yeryüzü hem de enerjinin özelliklerine göre etkileşir.
- **IV. Enerjinin algılayıcı tarafından kayıt edilmesi:** Enerjinin yeryüzünden saçılarak veya yutularak yansması sonucunda elektromanyetik enerjiyi toplayan ve kayıt eden algılayıcı bulunmaktadır.
- **V. Gönderme, alma ve işleme:** Algılayıcı tarafından kayıt edilen enerji, veri alma ve işleme istasyonuna iletmeli ve bir görüntü içerisine baskı ve/veya sayısal olarak işlenmelidir.

Üstteki aşamalardan geçerek kullanıcıya ulaşan veri, yeryüzü objeleri hakkındaki bilgiyi elde etmek üzere, işlenmiş görüntü görsel ve/veya sayısal veya elektronik olarak yorumlanır. Sonuç olarak uydu görüntüsü, yeryüzündeki objenin özelliklerini daha iyi anlamak, yeni bilgiler elde etmek veya bir çözüm üretmek üzere işleme tabi tutulur..

Uzaktan Algılama teknolojisinin bazı önemli uygulamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Schowengerdt,1997);

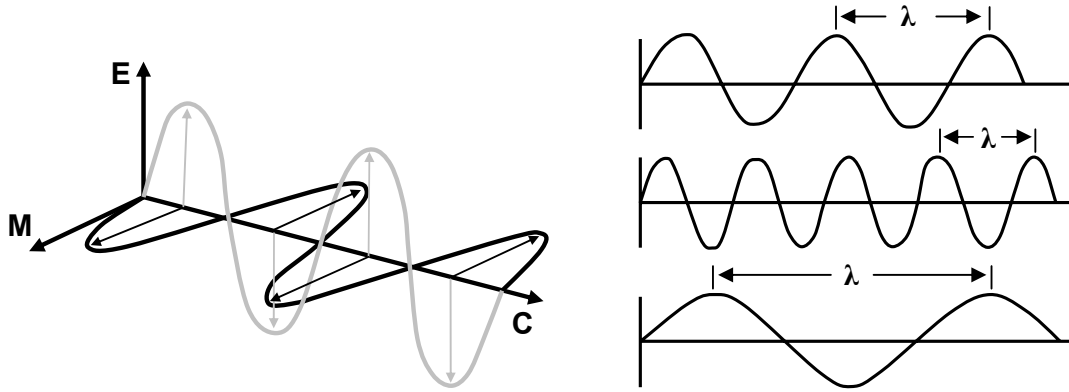
- Çevre olaylarının değerlendirilmesi ve görüntülenmesi (yerleşim alanlarının büyümesi, tehlikeli atıklar)
- Global değişimin belirlenmesi ve görüntülenmesi (atmosferdeki ozon miktarının azalması, ormanların azalması, global ısınma)
- Tarım (ürün durumu, ürün tahmini, toprak erozyonu)
- Yenilenemeyen kaynakların araştırılması (mineraller, petrol, doğal gaz)
- Yenilenebilen doğal kaynaklar (sulu alanlar, araziler, ormanlar, okyanuslar)
- Meteoroloji (atmosfer dinamikleri, hava durumu tahmini)
- Haritacılık (topografya, arazi kullanımı, mühendislik)
- Askeri gözetim ve keşif (stratejik politikalar, taktik değerlendirmesi)
- Kitle iletişim araçları (örnekler, analizler)

Uzaya gönderilen uydularda bulunan birçok uzaktan algılama sistemi, yeryüzünün tamamının düzenli bir şekilde görüntülenmesini sağlamaktadır. Ancak, tüm bu algılayıcı verilerinin topografik amaçlı uygulamalarda kullanılabileceğini söylemek fazla iyimser bir yaklaşım olacaktır (Önder,1997).

2.2 Elektromanyetik Enerji

Uzaktan algılama çalışmaları için en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi elektromanyetik dalgalar olarak yeryüzüne ulaşır. Elektromanyetik enerji, isminden de anlaşılacağı üzere, elektrik ve manyetizmanın birlikte bulunduğu durumlarda vardır. Aynı enerjinin bu iki şekli olan “elektrik ve manyetizma” Elektromanyetik Radyasyon (EMR) olarak birlikte hareket ederler (Sesören,1999).

Uzaktan algılamada, yeryüzü ile EMR arasındaki etkileşimi kaydeden platformlardan elde edilen görüntüler ve veriler toplanır, işlenir ve yorumlanır. Yeryüzünün yaydığı veya yansıttığı elektromanyetik enerjinin yoğunluğu ölçülür ve enerji yayma veya yansıtma özelliklerine göre objelerin özellikleri belirlenmeye çalışılır. Termal, kızılötesi ve optik algılayıcılar gibi pasif algılayıcılar yüzey veya nesne tarafından üretilen elektromanyetik radyasyondan yararlanırlar. Radar gibi aktif algılayıcılar da kendi enerji kaynaklarını kendileri sağlarlar. Her iki durumda da objelerin elektromanyetik enerjiyle etkileşme özellikleri esastır.



Şekil 2.2 Elektromanyetik enerjinin dalga özelliği(Schenk, 1999)

Elektromanyetik radyasyon dalga teorisinin esas özelliklerine sahiptir. Elektromanyetik radyasyonun analizi dalga teorisinin temellerine göre yapılır. Elektromanyetik radyasyon, radyasyonun ilerleme yönüne dik doğrultuda olan değişen büyüklükteki (E) elektrik alanı ve elektrik alanının sağ açısına yönelmiş bir (M) manyetik alanını içerir. Bu alanların her ikisi de ışık hızında (C) yayılırlar (Şekil 2.2).

Uzaktan algılamayı anlamakta elektromanyetik radyasyonun özellikle iki özelliği önemlidir. Bunlar, dalga boyu ve frekanstır. Dalga boyu, ardıl tepeler arasındaki mesafe olarak da ölçülebilen bir dalga devrinin uzunluğudur. Dalga boyu, genelde lambda “ λ ”

ile temsil edilir. Dalga boyu, metre (m) olarak veya nanometre (nm, 10^{-9} metre), mikrometre (μm , 10^{-6} metre) veya santimetre (cm, 10^{-2} metre) olarak ölçülür. Frekans, birim zamanda belirli bir noktadan geçen dalga devri sayısı olarak tanımlanır. Frekans normal olarak, her bir saniyedeki bir devre karşılık gelen hertz (Hz) ve onun katları olarak ölçülür[1]. Dalga boyu ve frekans aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (2.1)$$

λ = dalga boyu (m)

ν = frekans (Hz)

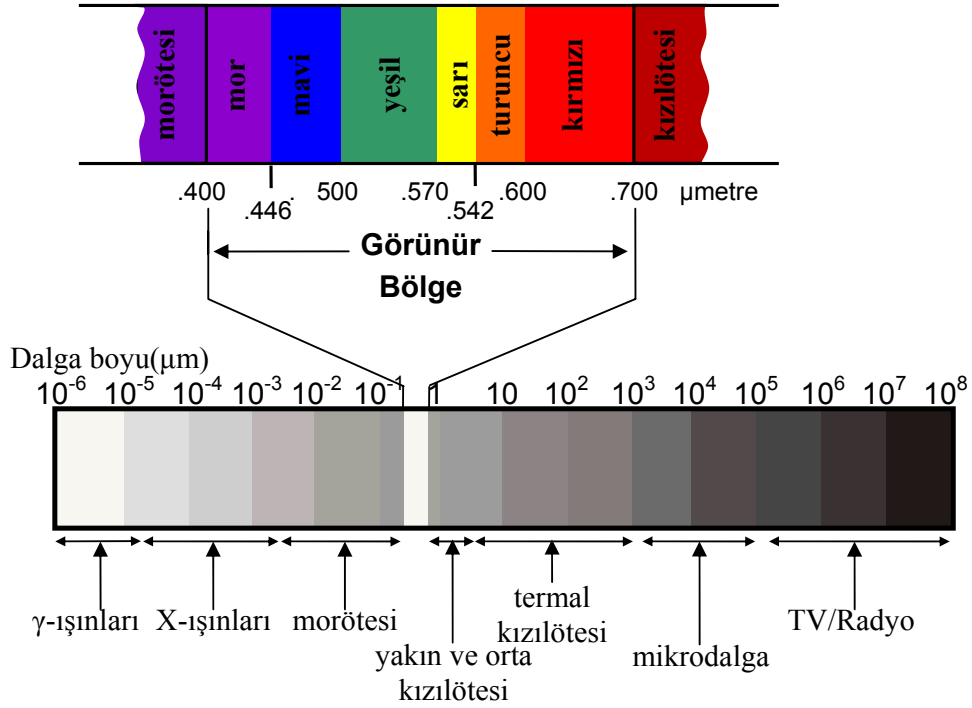
c = ışık hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s)

Bu nedenle, dalga boyu ve frekans birbirleri ile ters orantılıdır. Dalga boyu ne kadar kısalsa, frekans o kadar yükselir.

Yapılan çalışmalar, elektromanyetik enerjinin hem dalga hem de parçacık karakterli olduğunu göstermiştir. Uzaktan algılama için enerjinin bu dualitesi bir paradoks değil aksine tam bir uygunluk göstermektedir. Dalga karakteriyle elektromanyetik spektrum oluşturulurken, parçacık karakteriyle de elektromanyetik enerjinin atmosfer ve yeryüzüyle etkileşimi açıklanmaktadır. EMR'nin dalga formunda sürekli modeli Maxwell tarafından araştırılmıştır. Elektromanyetik bir dalga hem birbirlerine hem de yayılma doğrultusuna dik olan elektrik ve manyetik alanlardan oluşmaktadır (Özkan, 2001).

2.3 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum en yalın şekliyle çeşitli dalga boylarındaki radyant enerjiyi içeren ve bu radyant enerjinin, içinde elektromanyetik dalgalar halinde serbestçe hareket ettiği bir ortam olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik spektrum süreklidir. Ancak çalışmalarda kolaylık sağlanabilmesi için özellikleri göz önüne alınarak belirli bölümler ayrılmıştır. Bu bölümler arasında kesin bir sınır yoktur ve bölümler yer yer çakışırlar. Elektromanyetik spektrumun bölümleri değişik şekillerde anılır. $0.4 \mu\text{m}$ ve $0.7 \mu\text{m}$ arası “görünen spektrum”, kızılötesi ve aşağısı genellikle “dalga boyu” ve $15 \mu\text{m}$ dalga boyundan ötesi de, dalga boyu yerine, çoğunlukla frekanslarla anılır (Sesören,1999).



Şekil 2.3 Elektromanyetik spektrum ve algılama aralıkları

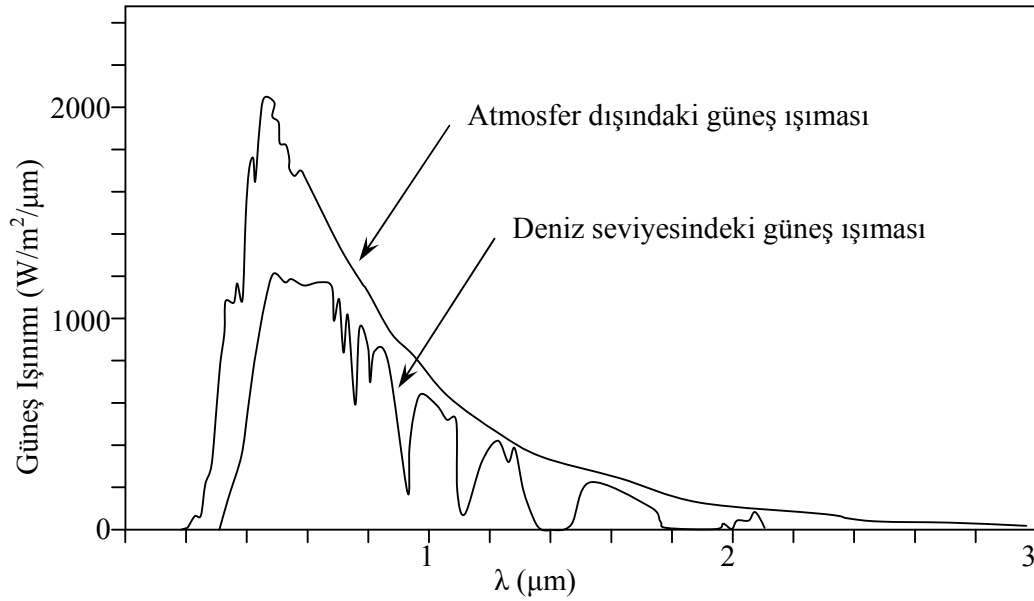
Optik bölgenin $0.38-3 \mu\text{m}$ arasındaki bölge yansıtıcı bölgedir. Bu dalga boylarında algılanan enerji öncelikle güneşten kaynaklanan ve yer yüzündeki cisimlerden yansıyan ışıındır. Yansıtıcı bölge, görünür ($0.38-0.72 \mu\text{m}$) ve yansıtıcı ($0.72-3 \mu\text{m}$) kızıl ötesi bölgelere ayrılır. Yansıtıcı kızılötesi bölge, yakın kızılötesi ($0.72-1.3 \mu\text{m}$) ve orta kızılötesi ($1.3-3 \mu\text{m}$) bölgelerden oluşmaktadır. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde oluşan EMR farklı objelerle değişik karakterde etkileşmektedir. Örneğin, görünür ve yakın kızılötesi bölgede EMR bitki örtüsünün nem içeriği, pigmentasyon ve hücresel yapısına ve toprağın nem ve mineral içeriğine bağlıdır. Yüzeylerin termal özellikleri en iyi uzak kızılötesi bölgede ayırt edilebilmektedir. Yüzeylerin elektriksel özellikleri ve pürüzlülüğü ise elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde analiz edilebilmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere farklı algılama sistemleri spektrumun farklı bölgelerinde objelerin yaydığı ve yansıttığı enerjiyi kullanarak, farklı kimyasal ve fiziksel yapıdaki objelerin özelliklerini belirlemek ve birbirlerinden ayırt etmek için tasarlanmaktadır. Spektrumun mor-ötesi (UV) bölgesindeki EMR, atmosfere nüfuz edemediği için uzaktan algılamada kullanım alanı bulmamaktadır (Özkan, 2001).

Elektromanyetik spektrumun mor-ötesi ve mavi bölgesini algılamak ve kayıt etmek atmosferdeki saçılma ve yutulmadan dolayı zor olmaktadır. Atmosferin üst

seviyelerinde bulunan ozon gazı, $0.25 \mu\text{m}$ den daha kısa dalga boylu olan mor-ötesi radyasyonunu yutmaktadır. Kısa dalga boylarını uzun dalga boylarından daha şiddetli bir biçimde etkileyen Rayleigh saçılması, kalan mor-ötesi radyasyonu ve görünür bölgenin daha kısa dalga boyuna sahip mavi bölgesinin daha uzun dalga boylarına kıyasla çok daha fazla saçılmasına ve daha az enerjinin yeryüzüne ulaşmasına ve etkileşime girmesine neden olur. Mavi ışık, kırmızı ışıktan 4 kat daha fazla saçılırken, mor-ötesi ışık 16 kat daha fazla saçılmaktadır.

2.4 Güneş Işınması

Optik uzaktan algılama tek aydınlanma kaynağı olarak güneşe dayanır. Atmosferin üstündeki solar yansıtım spektrumu, kaynak sıcaklığı olarak 5900 K 'e sahip, 500 nm dalga boyu civarına konumlanmış bir tepe yansıtımı ile, bir siyah cisim (black body) radyasyon spektrumu tarafından modellenebilir. Solar yansıtımın fiziksel ölçümü yer-tabanlı ve uzay algılayıcıları kullanılarak da gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.4'te atmosferden geçerek yer yüzüne ulaşan güneşin spektral ışınlılık eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.4 Atmosfer üzerindeki ve deniz seviyesindeki güneş ışınlılığı [3]

Atmosferden geçtikten sonra, yerdeki solar yansıtım spektrumu atmosferik geçirim pencereleri tarafından modüle edilir. Önemli enerji sadece $0.25 \mu\text{m}$ 'den, $3 \mu\text{m}$ 'ye kadar olan dalga boyu aralığında kalır.

2.5 Atmosferik Etkenler

Kaynağı hangisi olursa olsun, uzaktan algılayıcılar tarafından algılanan bütün ışınlam atmosferde belirli bir yol kat eder. Bu yol, uzaydan çekilen fotoğraflar için güneş ışığının bütün atmosferden geçip, kaynaktan tekrar algılayıcıya ulaşmasında olduğu üzere atmosferde çok uzun bir yol olabilir veya uçakta taşınan termal bir algılayıcı ile yeryüzündeki bir cisimden doğrudan doğruya neşredilen ışınlamın algılanmasında olduğu üzere atmosferde kısa bir yol olabilir. Bu nedenle atmosfer etkisi izlenen yol farkına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Genel anlamda atmosfer bir algılama sistemi tarafından algılanan ışınlamın yoğunluk ve spektral bileşimine etki yapar. Bu etkiler atmosferik saçılma ve yutulma sonucu ortaya çıkar (Örmeci 1987). Güneş ışığı dalgalarının ancak %51'i yeryüzüne ulaşmaktadır (Şekil 2.5). Bu etkiler ileriki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

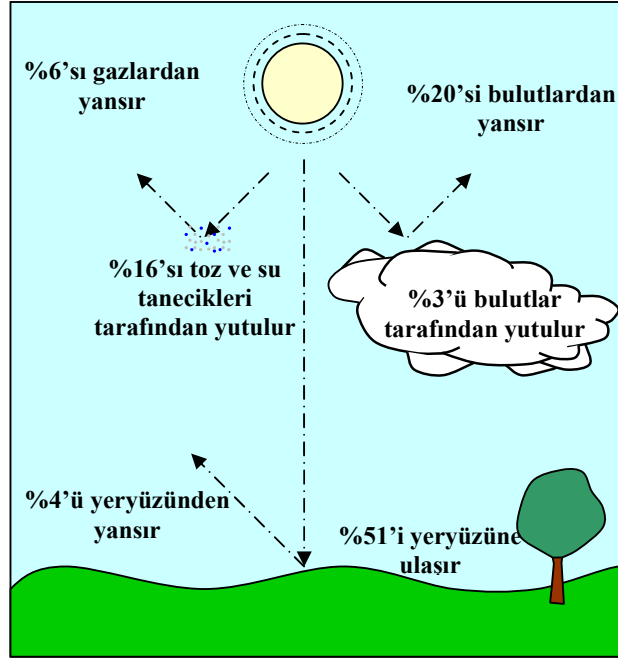
2.5.1 Atmosferik Saçılma

Atmosferik saçılma (scattering); elektromanyetik radyasyonun objenin içinde dağılması ve dağılarak sapmasıdır. Elektromanyetik radyasyon atmosferdeki gaz molekülleri ve duman, buhar, toz kristalleri, yağmur damlaları gibi askıda maddeler (aerosol maddeler) nedeni ile saçılır. Gelen enerjinin dalga boyunun bu maddelere eşit, küçük veya büyük olmasına göre “Rayleigh saçılması” veya “Mie saçılması” oluşur.

Atmosferin üst tabakalarında ve askıda bulunan maddelerin partikül çapları, ışığın dalga boyundan küçük olduğu zaman oluşan saçılmaya “Rayleigh Saçılması” denir. Atmosferin alt tabakalarında ve askıda bulunan maddelerin partikül çaplarının ışığın dalga boyuna eşit ya da küçük olduğu durumda oluşan saçılmaya da “Mie saçılması” denir.

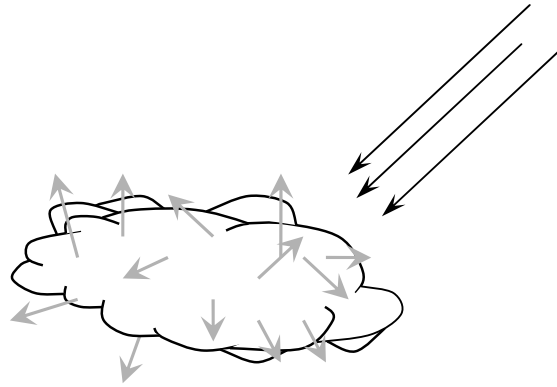
Parçacıkların boyutuna “B” dersek ve ışınlam dalga boyu λ ise;

- $B / \lambda < 0.1$ ise Rayleigh saçılması,
- $0.1 < B / \lambda < 10$ ise Mie saçılması
- $B / \lambda > 10$ ise serbest saçılmadır.,



Şekil 2.5 Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması

Serbest saçılma taneciklerin radyasyondan çok daha uzun dalga boyuna sahip olduğu durumda oluşur. Su damlacıkları ve büyük toz tanecikleri bu tip saçılmaya neden olabilir. Serbest saçılma adını bütün dalga boyları eşit bir şekilde saçılır gerçeğinden almaktadır. Bu çeşit saçılma, sis ve bulutun insan gözüne beyaz renkte görünmesine neden olur (Şekil 2.6) çünkü, mavi, yeşil ve kırmızı ışığın her biri yaklaşık olarak eşit miktarda saçılmaktadır (mavi + yeşil + kırmızı ışık = beyaz ışık).

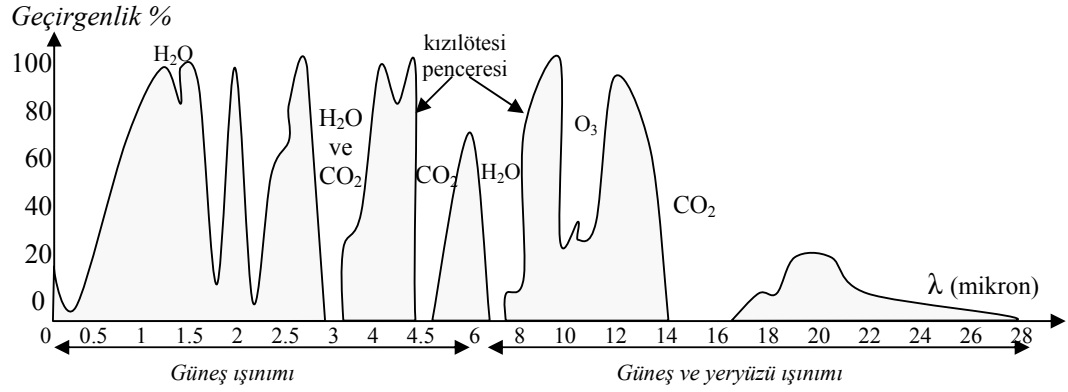


Şekil 2.6 Serbest saçılma [2]

2.5.2 Atmosferik Yutulma

Yutulma (soğurulma) elektromanyetik radyasyonun atmosferle etkileşirken meydana gelen diğer ana mekanizmadır. Saçılmanın tersine, bu olay atmosferdeki moleküllerin çeşitli dalga boylarında enerji yutmasına neden olmaktadır. Ozon, karbondioksit ve su buharı, radyasyonu yutan üç ana atmosferik bileşendir. Ozon güneşten gelen çoğu canlı için zararlı morötesi radyasyonun yutulmasını sağlamaktadır. Bu koruyucu gazın atmosferde bulunmaması halinde insanoğlunun derisinin güneş ışınlarına karşı savunmasız durumda kalması ve yanması durumunun oluşması mümkündür.

Yutulma enerjinin yeryüzüne ulaşmadan atmosferde depolanmasına, bir bakıma kayıp olmasına neden olur. Bir ortam içinde yutulmada ortama giren büyük frekanslı bir enerji daha küçük frekanslı bir enerjiye dönüştürülür, örneğin ısıya dönüştürülür. Güneş ışınımının en fazla yutulduğu ortamlar su buharı, karbondioksit ve ozondur (Örmeci, 1987). Soğurulma, özellikle ultraviole (morötesi) ve infrared (kızılötesi) ötesinde çok olup, görülebilir kısımda çok azdır. Elektromanyetik spektrum içerisinde soğurulmanın hiç olmadığı veya çok az meydana geldiği kısımlar “Atmosferik Pencere” olarak adlandırılmaktadır (Öröklü, 1988). Bazı gazlar elektromanyetik enerjiyi çok özel bölgelerinde yuttukları için, spektrumda uzaktan algılama amaçlı kullanım için incelenebilecek kısmı etkilemektedir. Atmosferik pencereler (Şekil 2.7), spektrumun atmosferik yutulmadan şiddetli bir şekilde etkilenmediği ve bu nedenle uzaktan algılayıcılar için kullanışlı olan alanlardır. Ulaşılabilen en genel enerji/radyasyon kaynaklarından ikisi olan güneş ve dünyanın karakteristikleri kıyaslanınca, uzaktan algılama için en efektif kullanılabilen dalga boyları tanımlanabilir. Spektrumun insan gözünün en duyarlı olduğu görünür bölgesi de bir atmosferik pencereye ve güneşin tepe enerji seviyesine karşılık gelmektedir. Dünyanın yaydığı ısı enerjisi de spektrumun termal kızıl ötesi bölgesinde kalan 10 μm civarında bir pencereye karşılık gelmektedir.



Şekil 2.7 Dalga uzunluğuna bağlı olarak atmosfer geçirgenliği

Uzaktan algılamada atmosferik pencerelerin önemi, algılayıcılar tarafından kaydedilebilecek enerjinin en fazla olduğu pencereler gözetilerek çok bantlı algılayıcıların tasarlanabilmesidir.

2.6 Uzaktan Algılamada Radyasyon/Hedef Etkileşimleri

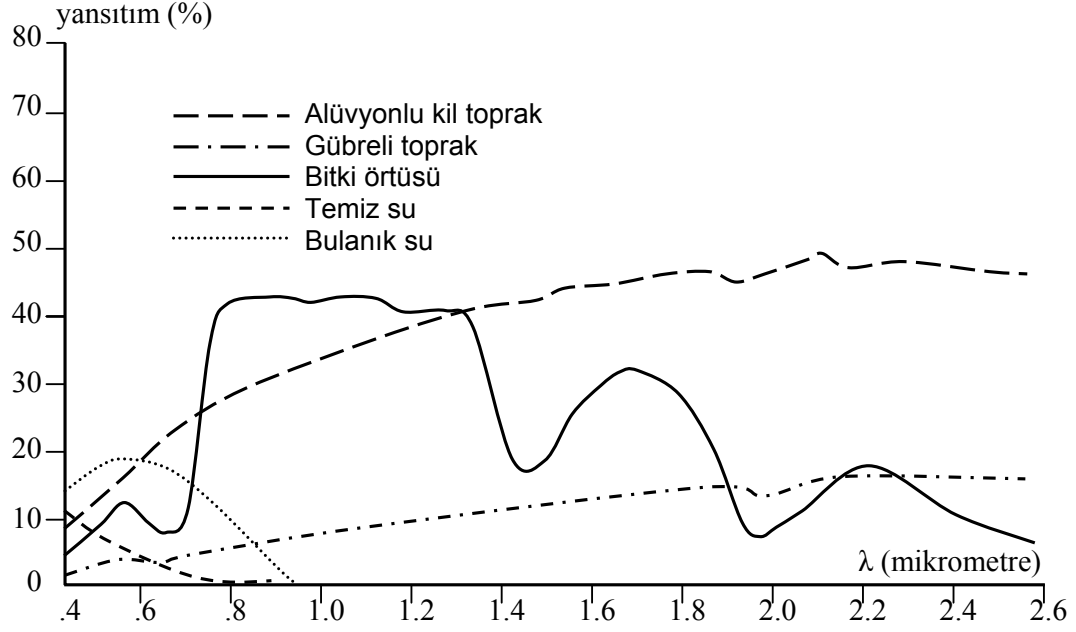
Atmosferde yutulmayan veya saçılmayan radyasyon yeryüzüne ulaşır ve etkileşime girebilir. Enerjinin yeryüzüne ulaştığı zaman gerçekleşen etkileşimin üç çeşidi vardır; yutulma (Y), iletme (İ) ve yansıma (YA). Yeryüzüne ulaşan enerjinin alt enerjilere bölünme miktarları yeryüzündeki objenin karakteristik özelliklerine ve gelen enerjinin dalga boyuna bağlıdır.

Yeryüzü özelliklerinin yansıtım karakteristikleri, gelen enerjinin yansıyan enerjiye bölümünün ölçülmesiyle nitelenebilir. Bu, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülür ve “ ρ_λ ” spektral yansıtım olarak adlandırılır ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Lillesand ve Kiefer, 2000).

$$\rho_\lambda = \frac{E_Y(\lambda)}{E_G(\lambda)}$$

$$= \frac{\text{Cisimden yansıyan dalga boyunun enerjisi}(\lambda)}{\text{Cisme gelen dalga boyunun enerjisi}(\lambda)} * 100 \quad (2.2)$$

ρ_λ , yüzde olarak ifade edilir.



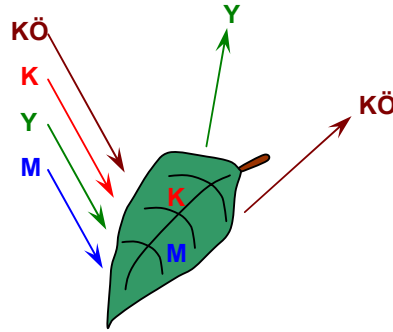
Şekil 2.8 Cisimlerin spektral yansıtım eğrileri

Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak bir objenin spektral yansıtım grafiği, “spektral yansıtım eğrisi” olarak ifade edilir. Spektral yansıtım eğrilerinin şekli, bir objenin spektral yansıtım özelliklerinin kavranmasını sağlar ve özel uygulamalar için alınmış uzaktan algılama verisinde hangi dalga boyunun seçileceğinde önemli bir etkiye sahiptir (Lillesand ve Kiefer, 2000). Uzaktan algılamada yaygın kullanılan objelerin spektral yansıma kütüphaneleri günümüzde uzaktan algılama yazılımları üzerinde bulunmaktadır. Spektral yansıma eğrileri mevcut olmayan objeler ise arazide spektrometre ile ölçülerek kolaylıkla bulunabilir (Sarıkaya, 2006).

Yeryüzündeki hedefin kompleks yapısı ve radyasyonun dalga boylarının içeriğine bağlı olarak, yutulma, iletme ve yansıma mekanizmalarına çok farklı tepkiler verdiği görülebilir. Yeryüzündeki cisimler sadece sınırlı sayıdaki dalga boyu aralığında incelenirse, birbirinden ayırt edilebileceği gibi, edilememesi de mümkündür. Örneğin su ve bitki örtüsü kızılötesi bölgede kolaylıkla ayırt edilebilirken, görünür bölgede birbirine yakın yansıtım vererek ayırt edilemeyebilir. Aynı objenin dahi spektral tepkisi zamana ve konuma bağlı olarak oldukça değişken olabilir. Bu nedenle, objeleri birbirinden ayırt edebilmek için spektral olarak hangi aralığın kullanılması gerektiğini ve spektral tepkiye etki edebilecek etkenleri bilmek, elektromanyetik radyasyonun yeryüzü ile etkileşimini doğru yorumlamak açısından önemlidir.

2.6.1 Bitkilerin Spektral Özellikleri

Bitki yapraklarının içerisindeki kimyasal bir bileşim olan klorofil, kırmızı ve mavi dalga boylarındaki radyasyonu yutar fakat yeşil dalga boylarındakileri yansıtır. Yapraklar, klorofil içeriğinin maksimum olduğu yaz aylarında en yeşil hallerini alırlar. Sonbaharda yapraklarda daha az klorofil mevcuttur; bu durumda kırmızı dalga boylarının daha az yutulması ve aynı oranda daha fazla yansması durumu vardır ve bu da yaprakların kırmızı ya da sarı (sarı, kırmızı ve mavi dalga boylarının kombinasyonudur) görünmesine neden olur.



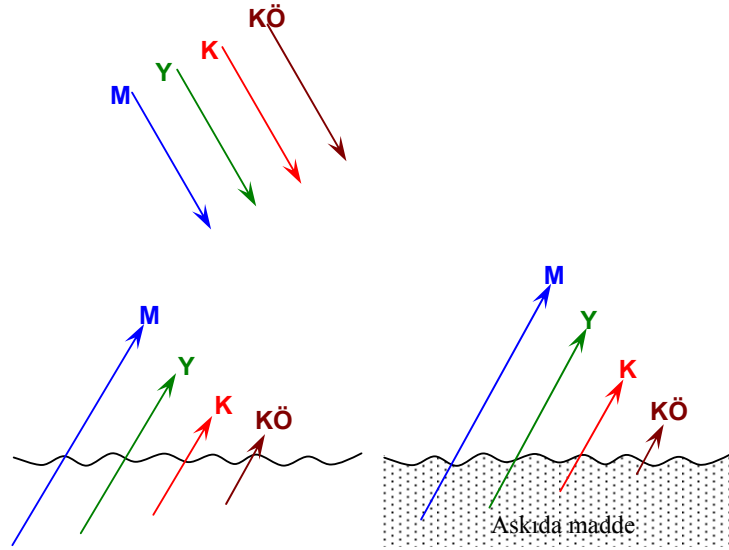
Şekil 2.9 Bitkilerde meydana gelen yansıma ve yutulma

Sağlıklı yaprakların iç yapısı yakın kızıl ötesi dalga boylarının mükemmel dağılık yansıtıcısı durumundadır. Eğer insan gözü yakın kızılötesine duyarlı olsaydı, bu dalga boylarında ağaçlar ve bitki örtüsünün göze son derece parlak görünmesi durumu oluşurdu. Bilim adamları, uzaktan algılama ile bitki örtüsünün sağlıklı ya da sağlıklısız olduğunun belirlenmesinde YKÖ yansımalarının ölçülmesi ve görüntülenmesini kullanmaktadır.

2.6.2 Suyun Spektral Özellikleri

Görünür bölgenin daha uzun dalga boyuna sahip kısmındaki radyasyon ve yakın kızılötesi radyasyonu, su tarafından görünür bölgenin daha kısa dalga boyuna sahip dalga boylarına göre daha fazla yutulur. Bu nedenle su, insan gözü tarafından, daha kısa dalga boylarındaki daha kuvvetli yansıtım nedeniyle mavi ya da mavi-yeşil görülür. Kırmızı ya da yakın kızılötesi dalga boylarında ise daha koyu görülür. Eğer su kütlelerinin üst tabakalarında askıda katı madde mevcutsa (Şekil 2.10), bu daha iyi yansıtım olmasını sağlar ve suyun daha parlak görünmesine neden olur. Suyun görünen rengi, daha uzun dalga boylarında hafif bir öteleme gösterir. Mather(2001) temiz suyun

yansıtma oranının hemen hemen sıfır olduğunu belirtmiştir. Temiz suyun bu özelliği Şekil 2.8’de açık olarak görülmektedir.



Şekil 2.10 Suda meydana gelen yansıma ve yutulma [2]

Uydu görüntüsünde su içindeki askıda madde, sıg fakat temiz su ile kolaylıkla karıştırılabilir. Su içerisinde yosun bulunduğu zaman, içerisinde klorofil bulunan yosunun mavi dalga boyunu daha fazla yutması ve yeşili daha fazla yansıtması nedeniyle, suyun daha yeşil görünmesine neden olur. Su yüzeyinin topografyası (engebeli, düzgün, yüzen maddeler, vb.) da speküler yansıtım ve renk ve parlaklıktaki diğer etkilerdeki potansiyel sorunlar nedeniyle, yorumlamada karışıklığa neden olabilir.

Suyun spektral yansımalarını etkileyen bazı önemli faktörler Sarıkaya (2006)’da aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Uydu verisinin alındığı tarih: Farklı mevsimlerde yeryüzü farklı miktarlarda güneş enerjisine maruz kalır.
- Güneş yükseklik açısı: Bu açı gelen farklı dalga boylu ışınları farklı miktarlarda etkiler. Sabah ve akşam saatlerinde, bu açının küçük olduğu durumlarda, kırmızı ışık ışını (daha büyük dalga boyu nedeniyle) mavi ve yeşil ışık ışınlarına göre yeryüzüne daha fazla iner. Bu da sabah ve akşam saatlerinde atmosferin kırmızı görünmesine neden olur.
- Atmosferdeki aerosol ve moleköl karışımları ve su buharı: Su buharı, yakın ve termal kızılötesi bölgelerindeki enerjileri yutar. Atmosferdeki diğer maddeler de enerjileri yutar ve saçar.
- Su yüzeyinin pürüzlülüğü: Durgun su ile dalgalı su yüzeyleri farklı yansır. Dalgalı su yüzeyinde düzgün yansıma olmadığı için durgun su yüzeylerine nazaran daha az

yansıma gerçekleşir.

- Suyun rengi ve bulanıklığı: Su içerisinde bulunan askıda maddeler uydu görüntüsünde farklı gri tonlamalarına neden olacaktır. Maddeler, su içinde güneş ışığının davranışını etkileyerek ışığın su içinde kırılmasını, yutulmasını ve saçılmasına etki ederler.
- Suyu çevreleyen taban yapısı, dipte ve yüzeyde bulunan bitki örtüsü: Suyu çevreleyen tabanın yapısı, ışığın su tabanından yansıma olayında önem kazanmaktadır. Dip yapısı aynı zamanda suyun yapısına doğrudan etki etmektedir. Yine dipte ve yüzeyde bulunan bitki örtüsü algılayıcılarda farklar yaratmaktadır. Suyun içerisindeki klorofil miktarı da yansımaya etki eder. Eğer sudaki klorofil miktarı artarsa mavi dalga boyundaki yansıma azalır, yeşil dalga boyundaki yansıma artar. Bu ilişkiden hareket edilirse sudaki yosunlanmalar belirlenebilir. Su için yapılan çalışmalarda elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgeleri kullanılmaktadır.

2.6.3 Toprağın Spektral Özellikleri

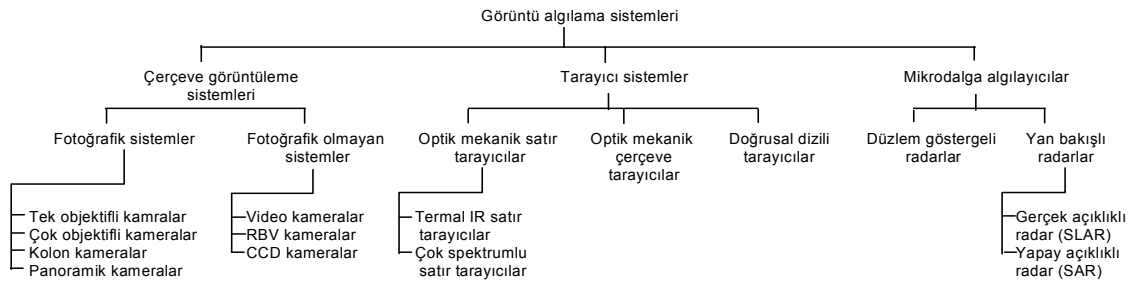
Toprağın spektral yansıtım eğrileri genellikle, suyun spektral yansıtım şekilinin aksine, dalga boyunun arttığı kadar artma şeklinde karakterize edilir (Şekil 2.8). Görünür dalga boylarının yansıması, toprakta bulunan organik maddelerden ve toprak nemi içeriğinden etkilenir. 0.85-0.93 μm aralığında ferrik demir yutulma bantı bulunmaktadır. Ferrik demirin, geniş bantta mor-ötesi radyasyonu yuttuğu gibi, topraktaki demir oksitte toprağın görsel olarak kırmızılaşmasıyla ifade edilir. Kırmızılık, kırmızıdan daha küçük ve daha büyük dalga boylarının yutulması nedeniyle oluşur. 1.3-1.5 μm ve 1.75-1.95 μm aralıklarında su yutulması bantları oluşur. Elektromanyetik spektrumun görünür bölge (optik) kısmındaki toprak yansıması bu iki su yutulma bantı arasında en büyük halini alır ve 2 μm 'den daha büyük dalga boylarını geri yollar (Mather, 2001).

3. UZAKTAN ALGILAMADA GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

Yeryüzünden yansıtılan veya yayılan enerji, uydu algılayıcıları tarafından uzaysal dağılımını oluşturan görüntüye dönüştürülür. Sayısal görüntü en küçük birimi piksel olan 2 boyutlu bir vektör dizisidir. Görüntüler, fotoğraf formatında olabileceği gibi, sayısal ortamda da kayıtlı olabilir.

Elektromanyetik spektrumun görünür ve YKÖ bölgesine duyarlı uydu ve hava platformlarındaki algılayıcılar, bir objenin rengiyle korelasyon kurarak, bu objenin kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilgili olan ölçümlerin yapılmasını sağlarlar. Termal kızıl ötesi algılayıcılarından gelen veriler, bir hedefin sıcaklık ve termal özellikleri ile ilgili iken, yüzey pürüzlülüğü ve kara üzerindeki nem içeriği elektromanyetik spektrumun mikrodalga (radar) bölgesinden toplanan veriler ile elde edilebilir. 1990'lı yıllardan itibaren mevcut uzaktan algılanmış verilerin spektral genişliği optik bölgeden mikrodalgaya kadar bütün aralığı kapsamaktadır (Mather,2001).

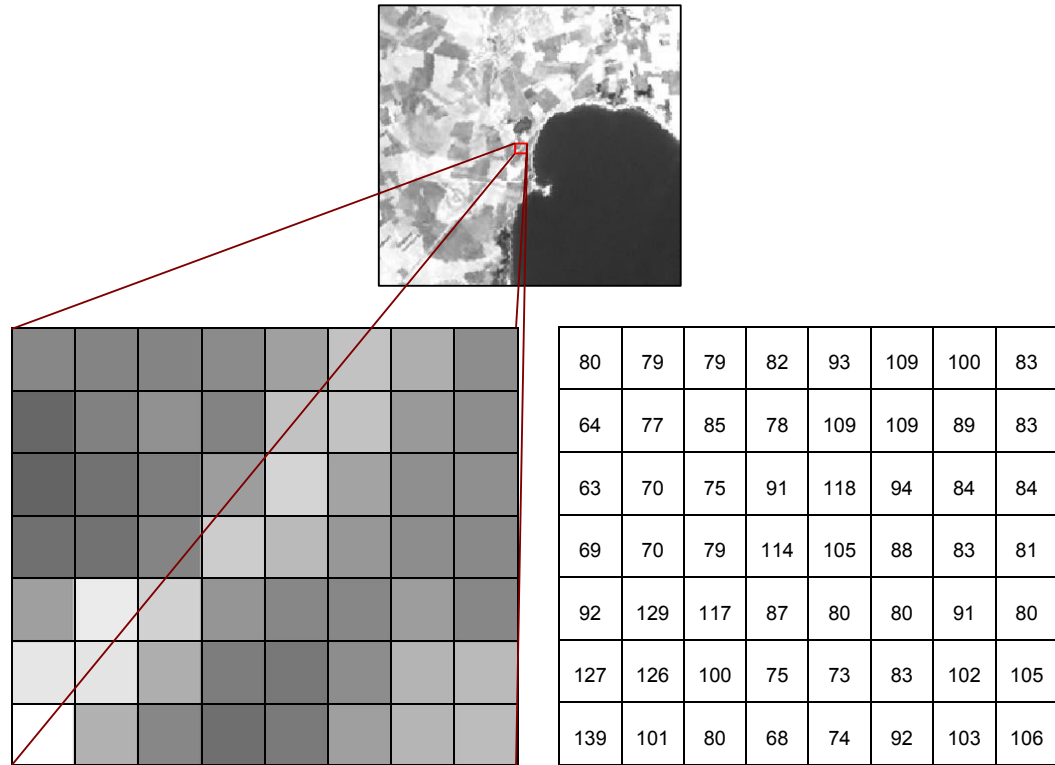
Uyduların yörünge yüksekliği çok fazla olduğundan, uydu görüntüleri hava fotoğrafları gibi merkezsiz izdüşüm ürünü olmayıp yaklaşık olarak dik izdüşüm niteliğindedir. Başka bir deyişle, uydu görüntülerinde arazi engebelerinden doğan geometrik bozukluklar ihmal edilebilecek kadar az olup, yerin yuvarlaklığı ve başka etkenlerden doğan geometrik bozukluklar oldukça etkilidir. Ancak, bu hatalar çeşitli bilgisayar teknikleri ve yazılımlar ile düzeltilenilmekte, hatalar bir piksel boyutlarına kadar indirilebilmektedir (Özbalmumcu,1999).



Şekil 3.1 Görüntü algılama sistemlerinin sınıflandırılması (Özbalmumcu,1999)

3.1 Sayısal Görüntü Karakteristikleri

Elektromanyetik enerji, hem fotoğrafik hem de elektronik olarak ortaya çıkarılabilir. Fotoğrafik işlem, enerji değişimlerini ortaya çıkarmak ve kayıt etmek için ışığa duyarlı film yüzeyindeki kimyasal tepkimelerden faydalanır. Uzaktan algılamada fotoğraf ve görüntü terimlerini ayırt etmek önemlidir. Görüntü terimi, elektromanyetik enerji ortaya çıkarılırken ve kayıt edilirken hangi dalga boyu ya da uzaktan algılama aygıtı kullanılmış olursa olsun, herhangi bir resim temsilini ifade eder. Fotoğraf, özel olarak fotoğraf filmi üzerine kayıt edilmiş görüntüleri ifade etmektedir. Fotoğraflar normal olarak $0.3\ \mu\text{m}$ 'den $0.9\ \mu\text{m}$ 'ye kadar olan dalga boyu aralığını (görünür ve YKÖ) kayıt ederler. Bu tanımlar ışığında, bütün fotoğrafların görüntü olduğu, ancak bütün görüntülerin fotoğraf olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.2 Sayısal görüntü ve piksel parlaklık değerleri

Fotoğraf, görüntüyü küçük eş-boyutlu ve şekilli alanlara bölen ve her bir alanın parlaklığını sayısal bir değer veya dijital sayı ile temsil eden piksellerle göstererek de temsil edilebilir (Şekil 3.2). Bilgisayar sistemleri her bir sayısal değeri farklı parlaklık seviyeleri olarak gösterirler. Elektromanyetik enerjiyi kayıt eden algılayıcılar, enerjiyi

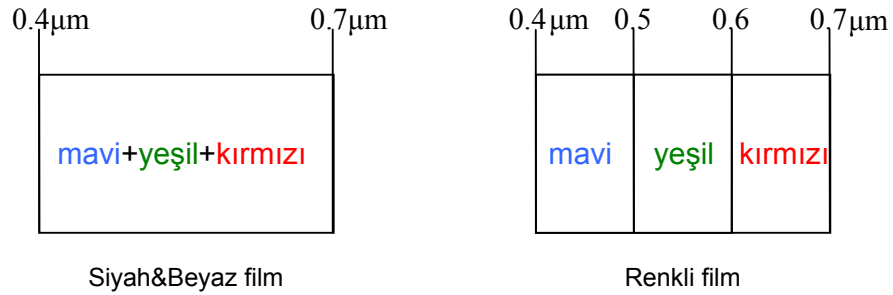
başlangıçtan itibaren sayısal formatta bir sayı dizisi olarak kayıt ederler.

3.2 Optik Uzaktan Algılama

Optik uzaktan algılama, görünür, YKÖ ve kısa dalga kızıl ötesi (KDKÖ) algılayıcılarının kullanımı ile, güneşten gelen radyasyonun yerdeki objelerden yansımalarını ortaya çıkararak yer yüzeyinin görüntülerini oluşturur. Farklı maddeler, farklı dalga boylarında farklı yansıtma ve yutma gerçekleştirir. Optik uzaktan algılama sistemleri, görüntüleme işleminde kullanılan spektral bantların sayısına bağlı olmak üzere pankromatik, çok-bantlı, süper-bantlı ve hiper-bantlı olarak sınıflandırılabilir [3].

3.2.1 Pankromatik Görüntüleme Sistemi

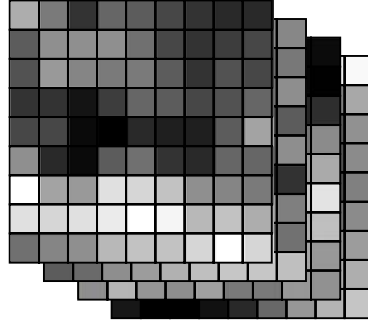
Algılayıcı geniş bir dalga boyu aralığında radyasyona duyarlı tek bir kanal dedektörüdür. Eğer dalga boyu aralığı görünür bölge ile çakışırsa, sonuç görüntü uzaydan alınmış “siyah-beyaz” fotoğrafa benzer. Ölçülen fiziksel nicelik hedeflerin görünüşteki parlaklıklarıdır. Hedeflerin spektral bilgisi veya “renk” kaybolmuştur. SPOT HRV-PAN, IKONOS-PAN, IRS 1D-PAN vb., pankromatik görüntüleme özelliğine sahip sistemlere örnek verilebilir.



Şekil 3.3 Siyah&beyaz ve renkli film algılama aralıkları [2]

3.2.2 Çok-Bantlı (Multispectral) Görüntüleme Sistemi

Algılayıcı birkaç spektral bantı olan çok-kanallı bir dedektördür. Sonuç görüntü, izlenen hedeflerin hem parlaklık hem de spektral (renk) bilgisini içeren çok-katmanlı bir görüntüdür (Şekil 3.4). LANDSAT TM, SPOT HRV-XS, IKONOS-MS, IRS 1D-LISS III, vb., çok-bantlı görüntüleme özelliğine sahip sistemlere örnek verilebilir[3].



Şekil 3.4 Dört adet bant içeren çok-bantlı bir IRS 1D uydusu görüntü parçası

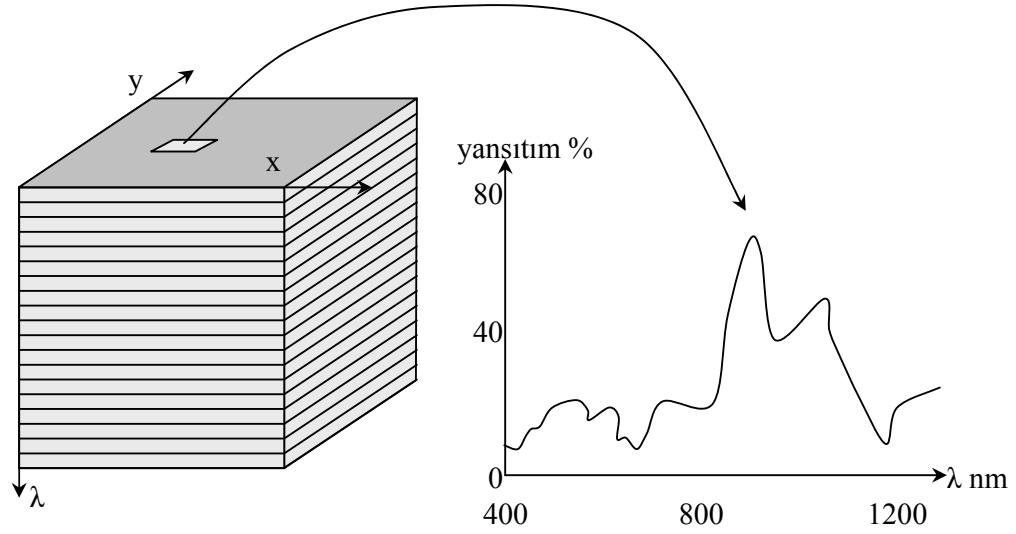
3.2.3 Süper-Bantlı (Superspectral) Görüntüleme Sistemleri

Süper-bantlı bir görüntüleme algılayıcısı, çok-bantlı bir algılayıcıdan daha fazla (>10) spektral kanala sahiptir. Bantlar, algılayıcı tarafından kayıt edilecek hedefin spektral karakteristiklerinin daha iyi olmasına imkân veren daha dar bant genişliklerine sahiptir. ASTER/TERRA uydusu elektromanyetik spektrumun YKÖ bölgesinde 3, KDKÖ bölgesinde 6 ve termal kızılötesi bölgesinde 5 adet olmak üzere 14 adet spektral aralığa duyarlı bantı ile süper-bantlı görüntüleme özelliğine sahip sistemlere örnek verilebilir. Bunun yanında MODIS ve MERIS de, süper-bantlı görüntüleme özelliğine sahip sistemlerdir.

3.2.4 Hiper-Bantlı (Hyperspectral) Görüntüleme Sistemleri

Hiper-bantlı bir görüntüleme sistemi, “görüntüleme spektrometresi” olarak da adlandırılmaktadır. Bu sistem yüz veya daha fazla bitişik spektral banttan oluşmaktadır. Hiper-bantlı bir görüntünün içerdiği hassas spektral bilgi, hedeflerin daha iyi karakterize edilmesini ve daha iyi tanımlanmasını mümkün kılar. Hiper-bantlı görüntülerin, hassas tarımcılık (ürünlerin çeşidi, sağlığı, nemlilik durumu ve gelişim durumunun takip edilmesi), kıyı yönetimi (fitoplanktonlar, kirlilik, batimetri değişimlerin takip edilmesi) gibi alanlarda potansiyel uygulamaları vardır. EO-1 uydusu üzerindeki HYPERION algılayıcısı hiper-bantlı görüntüleme özelliğine sahip bir sistemdir.

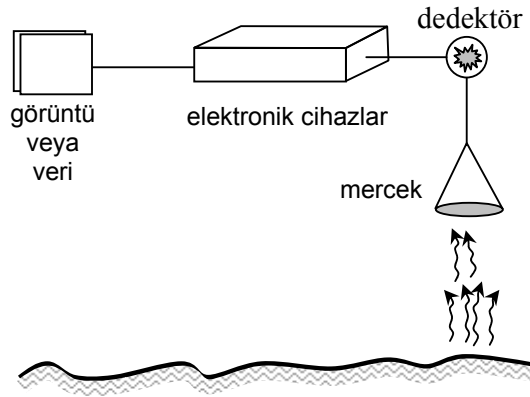
Yüz veya daha fazla bitişik spektral bant içeren hiper-spektral görüntü, üç boyutlu (iki uzaysal boyut ve bir uzaysal boyut) görüntü küpünü oluşturur (Şekil 3.5). Her bir piksel görüntülenmiş alanın tüm spektrumu ile bağlantılıdır.



Şekil 3.5 Hiper-spektral görüntü küpü

3.3 Termal Görüntüleme

Çok-bantlı sistemlerin çoğu elektromanyetik spektrumun görünür ve yansıyan kızılötesi bölgesi ile birlikte termal kızılötesi bölgesinde de algılama yapar. Bununla birlikte, termal kızılötesi bölgesindeki (3 μm - 15 μm) dünya yüzeyinden yayılan enerjinin uzaktan algılaması, yansıyan enerjinin algılanmasından farklıdır.



Şekil 3.6 Termal görüntüleme sistemi

Termal algılayıcılar, yeryüzünden yayılan termal radyasyonu ortaya çıkarmak için fotonların yüzeylerine doğrudan temasına duyarlı olan foto dedektörleri kullanırlar (Şekil 3.6). Dedektörler kendi termal emisyonlarını sınırlandırmak için, mutlak sifıra yakın derecelere kadar soğutulurlar. Termal algılayıcılar esasen, yeryüzü objelerinin

yüzey sıcaklıklarını ve termal özelliklerini ölçerler.

3.4 Geometrik Dönüşüm ve Ayırma Gücü

İşlenmemiş görüntüler genellikle geometrik bozulmalar içerir. Uydu platformunun yükseklik, eğim ve hızındaki değişikliklerinden dolayı oluşan bozulmalar sonucu açıklık açısında doğrusal olmayan değişimler oluşur. Bunun yanında atmosferik kırılma, dünya eğikliği ve panoramik bozukluk gibi etkiler de görüntüdeki bozulmaların kaynağını oluşturur. Görüntülerin geometrik olarak düzeltilmeleri (doğrultulmaları) sonucunda bozulmalar giderilerek, görüntü koordinatları x,y ve nesne uzay koordinatları x,y,z arasında analitik bir ilişki kurulur (Bayram,1998).

Görüntü verisinin bir harita projeksiyonuna dönüştürülmesi için coğrafi olarak düzeltilmesinde kullanılan yer kontrol noktaları (Y.K.N.), görüntüler üzerinde rahatlıkla görülebilen ve geometrik düzeltmenin tespit edilmesi için kullanılabilen, belirli bir konumdaki coğrafi özelliklerdir. Görüntünün geometrik dönüşümünün yapılması için görüntü üzerinde karşılıkları kesin bir şekilde tanımlanabilen ve uygun dağılmış yer kontrol noktaları gereklidir. Orijinal girdi görüntüsündeki her piksel, doğrultulmuş çıktı görüntüsünde uygun konuma getirilir ve görüntü istenen harita projeksiyonu içine hassas bir şekilde yerleştirilir.

Görüntünün geometrik dönüşümü, bir görüntünün eğilerek ya da sündürülerek planimetrik gride veya harita projeksiyonuna uygun hale getirilmesi yöntemidir. Coğrafi koordinatları bilinen yer kontrol noktaları bir haritada ve ham algılayıcı datasının her ikisinde de bulunurlar. Bu koordinatlar sonra işleme tabi tutulmak üzere bilgisayara sunulurlar. Dönüşüm, coğrafi koordinatları, uydu dataları üzerine yerleştirir ve bilinen bir planimetrik grid ağına dönüştürür (Bayraktar, 2002).

Görüntü koordinatlarından yer koordinatlarına dönüşümü sağlamada çeşitli matematiksel modeller kullanılabilir. Bu dönüşüm modelleri arasında, 4 parametrelilik basit doğrusal konform ya da başka bir deyişle benzerlik dönüşümü, 6 parametrelilik affin dönüşümü ve çeşitli derecelerden polinom dönüşümleri sayılabilir. Dönüşüm modelinin seçimi büyük ölçüde görüntünün türüne ve görüntü üzerinde oluşturulan ön işlem düzeyine bağlıdır (Önder,1997).

Küçük objeler yüksek bir doğrulukla kontrol noktası olarak belirlenebilir fakat bu tür objelerin her iki sistemde eşlenmesi kimi zaman güç olabilir. Örneğin bir görüntünün

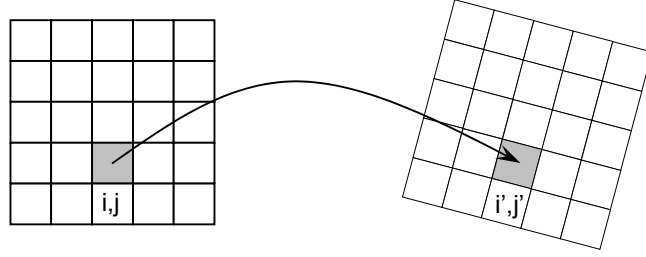
bir harita ile çakıştırılması durumunda; haritadaki bir noktanın görüntüdeki karşılığının bulunması görüntünün elverdiğı znrlğ bağlıdır. Büyük objeler daha kolay tanımlanabilir. Kontrol noktaları belirlenirken objeler arasındaki kontrast farklılıkları önemli rol oynar. Kontrol noktaları dönüşümün geometrik doğruluğunu doğrudan belirler. Küçük lekli haritalardan işaretlenen kontrol noktalarının duyarlılığı uygulamada yeterli değildir. Doğru kontrol noktası belirlemede önemli bir konu noktanın harita ve görüntüde eşlenik olmasıdır. Kontrol noktası belirlenirken harita ve görüntü arasındaki zamansal ve fiziksel farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır (Bayram,1998).

Görüntülerin geometrik olarak düzeltilmeleri sırasında gerçekleştirilen işlem adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Radyometrik düzeltme
 - atmosfer etkilerinin giderilmesi (rn; sis)
 - görüntülerin karşılaştırılmasında önemli
- Geometrik düzeltme
 - görüntü alımı sırasında, dünyanın dönmesinden kaynaklanan etkilerin giderilmesi
- Görüntünün harita koordinatlarıyla akıştırılması (UTM)
- Görüntünün yeniden örneklenmesi
 - kontrol noktalarının tanımlanması
 - referans harita veya görüntü
- Koordinat dönüştürmesi
 - dönme
 - teleme
 - Ölçeklendirme
- Sayısal değerlerinin yeniden örneklenmesi (znrlğ değiştirebilir)
 - en yakın komşu
 - Çift yönlü doğrusal (bilineer) enterpolasyon
 - l (bikbik) katlama

En yakın komşuluk yöntemi aynı zamanda sıfırncı dereceden enterpolasyon yöntemi olarak da adlandırılır. Bu yöntem ile yeni piksel gri değerleri giriş görüntüsündeki en yakında yer alan değerlerin kopyalanması ile elde edilir, dolayısı ile giriş görüntüsü ile aynı değeri alır. Bundan dolayı görüntünün radyometrik karakteri değişmez. Diğer taraftan sonuç görüntüde blok yapı bozulur. Bilineer enterpolasyon sonuçları görüntüyü

yumuşatır. Görüntüdeki keskin sınırlar sonuç görüntüde yumuşar. Bu obje yakalama tekniğinin görüntüde uygulanmasını güçleştirir. Bikübik teknik uzun bir hesaplama zamanı gerektirir. Fakat bu yöntem en elverişli yöntemdir (Bayram,1998).



Şekil 3.6 Yeniden örnekleme

Şekil 3.6 göz önünde bulundurulduğunda en yakın komşuluk yönteminde (i,j) pikselinin çevresindeki 4 pikselden en yakın olanının yansıma değeri (i',j') pikselinin yansıma değeri olarak atanır. Bilineer enterpolasyonda (çift yönlü doğrusal enterpolasyon (i,j) pikseline en yakın dört pikselin bu piksele olan ağırlıklı uzaklıkları esas alınarak yeni parlaklık değeri hesaplanır (Bayram,1998).

$$\text{Parlaklık Değeri} = \frac{\sum_{k=1}^4 \left(\frac{Z_k}{D_k^2} \right)}{\sum_{k=1}^4 \frac{1}{D_k^2}} \quad (3.1)$$

Burada Z_k dört çevre pikselin yansıma değeri, D_k ise çevre dört pikselin (i,j) pikseline olan uzaklıklarıdır. Bikübik enterpolasyonda (kübik katlama) bilineer enterpolasyondaki aynı hesaplama tekniği kullanılır. Tek fark (i,j) pikselinin çevresindeki 16 pikselin (i,j) pikseline ağırlıklı uzaklıkları hesaplanarak yeni yansıma değeri bulunur (Bayram,1998).

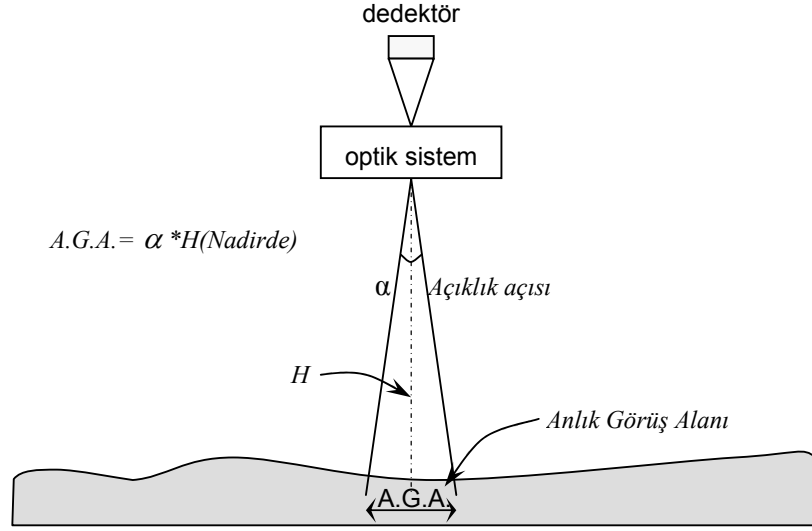
3.4.1 Ayırma Gücü

Görünen ve kızılötesi bantlarla çalışan görüntüleyici uzaktan algılama sistemlerinin başlıca özellikleri, konumsal, spektral, radyometrik ve zamansal (temporal) ayırma gücü terimleri ile açıklanır. Diğer önemli özellikler ise tarayıcı (optik-mekanik ve optik-elektronik) çalışma yöntemi ve geometrik niteliği ile ilgilidir.

3.4.1.1 Konumsal Ayırma Gücü

Çözünürlük, bir görüntüdeki eşit yansıma sahip iki nesne arasında, ayrı ayrı

belirmesine olanak tanıyan minimum ayırma gücüdür. Uzaysal (konumsal) çözünürlük olarak da tanımlanabilir.



Şekil 3.7 Anlık görüş açısı (α) ve yeryüzü uzunluğu olarak gösterimi

Konumsal ayırma gücü; “bir görüntüleme sistemi tarafından ayrık kayıt edilebilen iki nesne arasındaki en küçük uzaklık” olarak tanımlanır. Kuramsal olarak anlık görüş alanı (A.G.A.); zaman içerisindeki herhangi bir anda, bilinen bir yükseklikten, algılayıcı ile gözlenen yeryüzüne karşılık gelen alan olarak tanımlanır (Önder,1997).

İki boyutlu pikseller grubu, görüntünün üzerine inşa edildiği geometrik gridi oluşturur. Piksel boyutu ise, piksel elemanının uzunluğu ve genişliğini ifade eder. Piksel mesafesi, bir pikselin merkezi ile komşu pikselin merkezi arasındaki yer mesafesidir.

Geometrik özelliklere göre; yer yüzünde piksellere karşılık gelen alanlar arasındaki uzaklık yer örnekleme aralığı olarak adlandırılır (Ground Sample Interval-GSI). Algılayıcı sistemler, örnekleme aralığının (GSI) anlık yeryüzü görme alanına (Ground Instantaneous Field Of View-GIFOV) eşit alınmasıyla tasarımlanır. Örnekleme aralığı;

$$GSI = w \frac{H}{f} \quad (3.2)$$

dır. Burada f , odak uzaklığı ve H algılama sisteminin yeryüzünden olan yüksekliğidir. w parametresi ise detektörler arası uzaklık yani detektörlerin büyüklüğüdür. IFOV eşitliği;

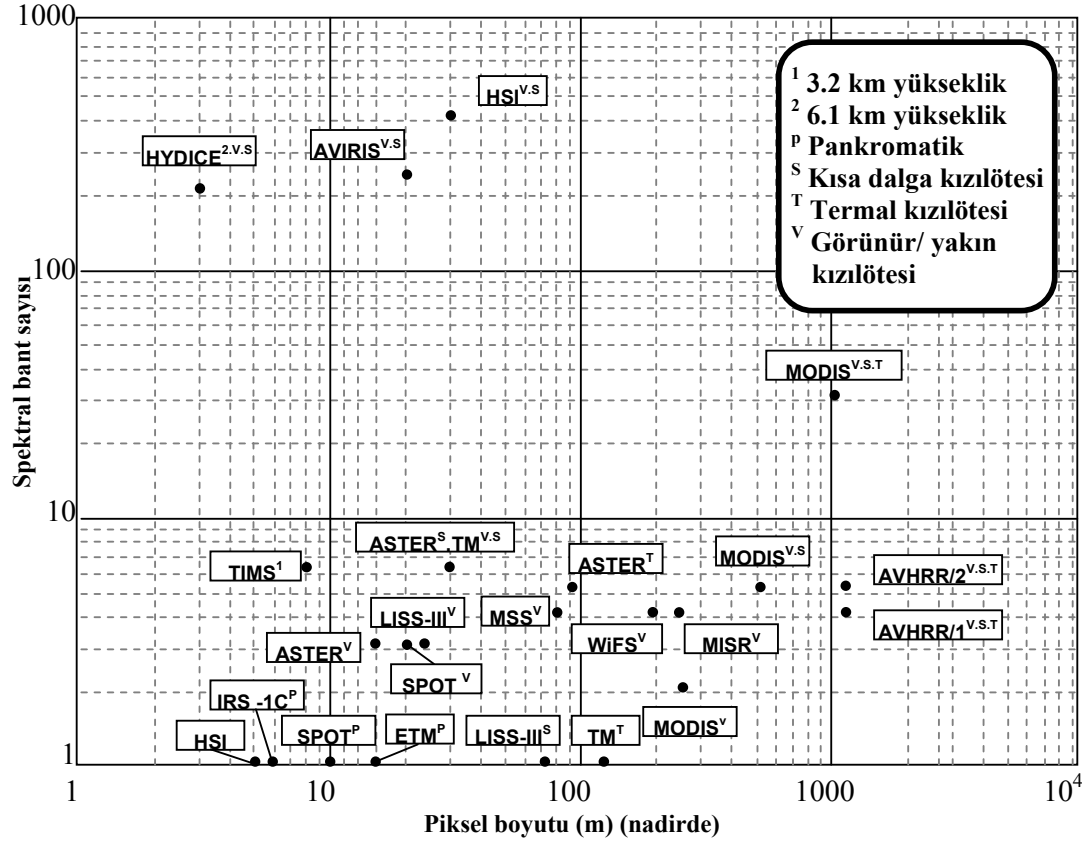
$$IFOV = 2\alpha \cdot \tan\left(\frac{w}{2f}\right) \approx \frac{w}{f} \quad (3.3)$$

ile gösterilir. IFOV parametresi, GIFOV'un açısal karşılığıdır. Bütün elemanların sabit olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte detektörlerin çalışma anında GIFOV hareket etmekte olup, bu da gösterildiğinden biraz daha büyük bir alanın projeksiyonuna neden olmaktadır (Özkan, 2001).

3.4.1.2 Spektral Ayırma Gücü

Yeryüzündeki nesnelerin ve arazi türlerinin uzaktan algılama yoluyla tanımlanabilmelerinin en önemli nedeni spektral özelliklerinin değişiklik göstermesidir. Uzaktan algılama aletinin spektral ayırma gücü, kullanılan bant genişliği ile belirlenir. Kuramsal olarak spektrum ne kadar çok ve küçük parçaya ayrılırsa, spektral ayırma gücü o kadar artar. En uygun spektral bant seçimi amaca göre değişmektedir. Örneğin, tarımsal ürün büyümesi ve gelişimi, görünen ve yansıyan kızılötesi bölgelerde dar bantlar kullanılarak daha iyi gözlenebilmektedir. Deniz durumunun izlenmesi, çok kanallı aktif ve pasif mikrodalga sistemler ile daha iyi sonuç vermektedir (Önder,1997). Üstte çok-bantlı, süper-bantlı ve hiper-bantlı görüntü alan uydu sistemleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

Sinyal; algılayıcı tarafından elde edilen verinin bilgi içeriği iken, gürültü; sinyale katılan istenmeyen değişimlerdir. Gürültü, rastgele ya da sistematik yapıda olup, aletin iyi çalışmayan mekanik veya elektronik bileşenlerinden kaynaklanır. İşte bu sinyal düzeyi ve gürültü düzeyi arasındaki orana sinyal-gürültü (S/N) oranı adı verilmektedir. Pushbroom türündeki yeni tip algılayıcılar, her tarama satırındaki elemanın bir dedektörle temsil edildiği ve doğrusal dizi oluşturan bu dedektörlerin, platformun ileri doğru hareketi ile görüntüyü elde etmesi esasına dayanmaktadır. Bu durum; görüntüleme sırasında her tarama satır elemanına daha uzun bir süre bakış (kayıt) olanağı sağlamakta ve böylece tek dedektörlü mekanik tarayıcılara kıyasla daha iyi sinyal-gürültü oranı vermektedir. Böylece pushbroom tarayıcı için her noktadaki bakış süresi daha uzun olmakta ve dar bantlarda, kabul edilemeyen düzeyde bir S/N oranı azalması olmaksızın çözüm sağlanabilmektedir (Önder,1997).



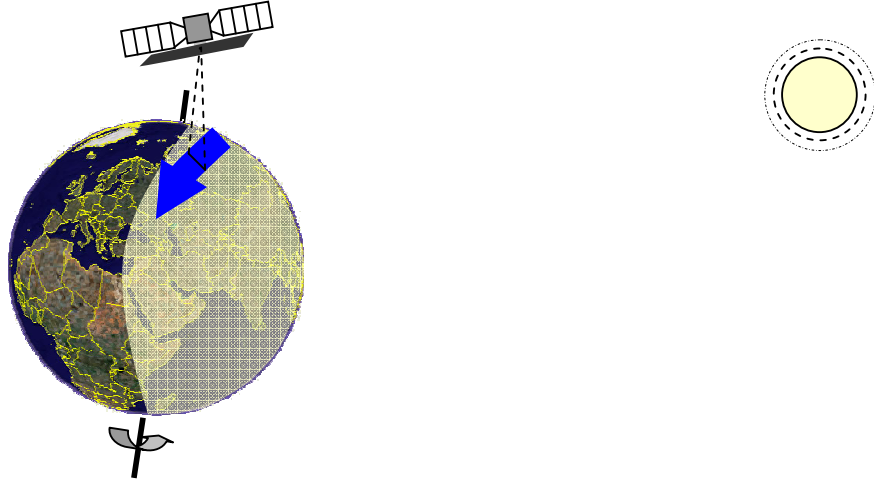
Şekil 3.8 Bazı uzaktan algılama sistemlerinin iki boyutlu parametre uzayında gösterimi (Schowengerdt,1997)

3.4.1.3 Radyometrik Ayırma Gücü

Radyometrik ayırma gücü, yoğunluk tabakasındaki algılayıcı sistem tarafından ölçülebilen en küçük değişim olarak tanımlanır. Başka bir deyişle sinyalin bölünebildiği ayırık düzey sayısının saptanmasıdır. Bir algılama sisteminin esas radyometrik ayırma gücü, dedektörün sinyal/gürültü oranına bağlıdır. Sayısal bir görüntüde radyometrik ayırma gücü, sürekli yoğunluk değerini sayısallaştırmak için kullanılan ayırık nitelendirme seviyelerinin sayısı ile sınırlıdır.

Radyometrik ayırma gücü, bilgisayar ortamında ve ikili sayı sistemi veya bit cinsinden tanımlanmaktadır. Genellikle 8 bitten oluşan ve bir bayt (byte) adı verilen radyometrik ayırma gücü gösterimi, 0 ila 255 arasında değişen $2^8=256$ farklı parlaklık seviyesinin sayısal ortamda yer almasını sağlamaktadır. Bununla birlikte LANDSAT 1,2 ve 3 uydularındaki MSS algılayıcısında radyometrik ayırma 6 bit (64 düzey), LANDSAT 4,5 ve 7 uydularındaki TM algılayıcısında 8 bit, NOAA uyduları AVHRR algılayıcısında

ise 10 bit (1024 düzey) dir. IRS 1C/D LISS III algılayıcısında radyometrik ayırma gücü 7 bit ($2^7=128$ farklı parlaklık seviyesi) iken, ASTER/TERRA uydusu yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgede 8 bit, termal kızılötesi bölgede ise 11 bit radyometrik ayırma gücüne sahiptir.



Şekil 3.9 Güneşle eş-zamanlı yörünge

3.4.1.4 Zamansal Ayırma Gücü

Optik algılama yapan uydular yeryüzünden veri toplamaları için güneşe ihtiyaç duyan pasif algılama sistemine sahiplerdir. Bu nedenle yörüngeleri güneşle eş-zamanlı olacak şekilde tasarlanır. Güneşle eş-zamanlı (Şekil 3.9) olan yaklaşık kutupsal yörüngeli uydu sistemleri (LANDSAT, ASTER, SPOT, NOAA IRS vb.) dünya üzerinde aynı alanı periyodik olarak tekrar tekrar algılayabilmektedirler. Görüntü alımı aynı bölge için aynı yerel saatte (aynı lokal güneş zamanında) gerçekleşmektedir. Algılama periyodu, LANDSAT gibi sadece nadir doğrultusunda alım yapan algılayıcılar için belirli uydu yörünge özelliklerine bağlıdır. Ancak LANDSAT 5 ve 7 uydularının tekrar geçiş kabiliyetleri 16 gün iken, bu uydu sistemlerinin yörüngeleri aynı bölge üzerinden bir biri ardına 8 gün arayla geçecek şekilde ayarlanarak, zamansal ayırma gücünü arttırabilmiştir.

SPOT, IRS gibi uydularda ise zamansal ayırma gücü arttırılabilmektedir. Örneğin IRS 1C/1D pankromatik kamerası ± 26 dereceye kadar (nadirden $\pm 398\text{km}$) döndürülebilmektedir. Bu özellik, aynı bölgenin tekrar görüntülenebilmesi kabiliyetini “5 gün” e kadar artırmaktadır. Periyodik algılamalar zamana bağlı değişim saptama

analizleri ve ürün gelişimi gibi uygulamaların yapılabilmesi için önemlidir.

3.5 Sınıflandırma

Genel olarak sınıflandırma bir veri grubu içinde belirli bir sınıf oluşturan objelerin benzerliğinden yola çıkarak ve özelliklerine göre seçilerek gruplandırılması olarak tanımlanabilir. Çok bantlı sınıflandırma tekniği, çok bantlı görüntüden iyi bir veri elde etme yöntemidir. Yöntem temel olarak sınıflandırmada ilgili sınıfın ya da sınıfların uygun seçilmesi ve doğru tanımlanmasını zorunlu kılar. Sınıflandırma işleminin amacı; çalışılan görüntüde obje sınıflarına yönelik olarak pikselleri gruplamaktır. Çok bantlı görüntülerde piksellerin spektral değerleri temel alınarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir (Bayram,1998).

Tematik (konulu) bir harita, tanımlanabilen yeryüzü özelliklerinin konumsal dağılımlarını gösterir; verilen bir alan üzerinde bir veri tanımlamasından çok bir bilgi tanımlaması sağlar. Görüntü sınıflandırma, görüntülerden tematik haritalar üretmekte kullanılan bir yöntemdir. Temalar, örneğin kırsal bölgelerin genel tanımlamasında toprak, bitki örtüsü ve su kütlesi yüzeyinden daha detaylı bir tanımlama için değişik toprak çeşitleri, bitki örtüsü ve su derinliği veya berraklığına kadar değişebilir. Bu, uzaktan algılanmış görüntülerden tematik harita üretiminde, harita için seçilen kategorilerin görüntü verisinde de ayırt edilebilir olmasını içerir. Bir takım faktörler; topografya, gölgelenme, atmosferik değişkenlik, algılayıcının kalibrasyonundaki değişimler ve A.G.A. içindeki sınıf karışımlarını içeren spektral işaretlerde karışıklığa neden olabilirler. Bu etkilerin bazıları modellenenebilirken bazıları da modellenemez (yeterli miktarda her türlü çaba ile), ve böylece bunlar basit olarak istatistiksel değişken olarak kabul edilmek durumundadırlar (Schowengerdt,1997).

3.5.1 Sınıflandırma Yöntemi

Bir görüntünün tematik sınıflandırılması geleneksel olarak aşağıdaki şekilde adımları içerir (Schowengerdt,1997).

- **Özellik elde etme:** Çok bantlı görüntü konumsal veya spektral bir dönüşümle bir özellik görüntüsüne dönüştürülür. Örnekler, bantların bir alt kümesinin seçilmesi, veri boyutlandırılmasının azaltılması için bir konumsal düzeltme filtresidir. Bu adım isteğe bağlıdır; örneğin çok bantlı görüntü istenirse direkt olarak kullanılabilir.
- **Eğitime:** Sınıflandırıcının eğitiminde kesin kategori veya sınıfların tanınması için kullanılacak pikseller elde edilir. Her bir piksele bir sınıf tabakası atayan diskriminant (ayırt etme) fonksiyonları özellik uzayında tespit edilir. Bu adım

analizciye göre kontrollü veya kontrolsüz de olabilir.

- Tabakalama: Ayırt etme fonksiyonları bütün özellik görüntüsüne uygulanır ve bütün pikseller tabakalanır. Eğer eğitime kontrollü idiyse, tabakalar diskriminant fonksiyonlarıyla birleştirilirler; kontrolsüz idiyse analizci şimdi tabakalamayı kontrollü yapmak zorundadır. Çıktı haritası her bir piksel için bir tabaka içerir.

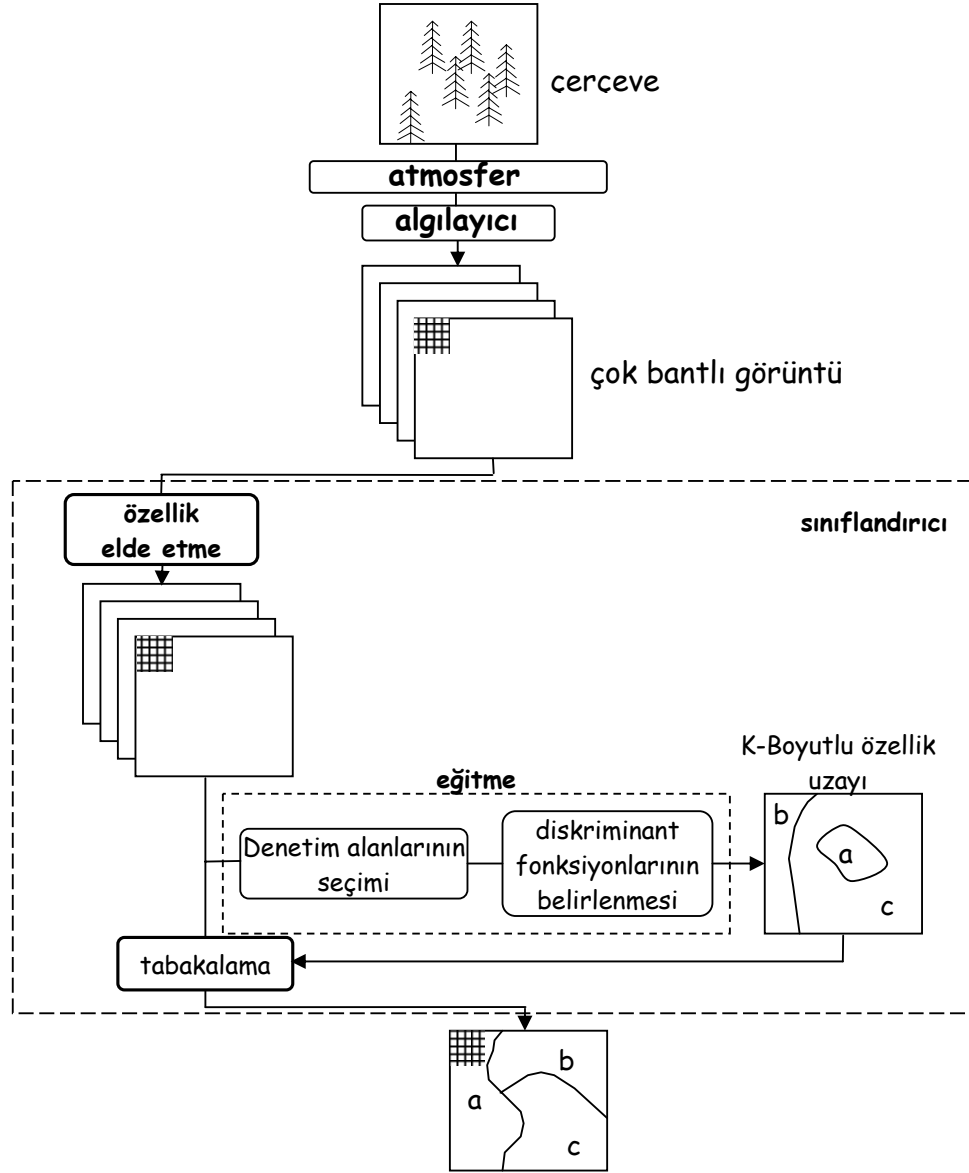
3.5.2 Özellik Elde Etme

Çok bantlı görüntü verileri bir sınıflandırmada doğrudan doğruya kullanılabilir, fakat bir görüntüde atmosferik dağılım ve topografik rölyef gibi çeşitli dış etkilerin hepsi yer almaktadır. Bunun yanında, verim analizleri ile, verilerin spektral bantlar arasında yüksek derecede ilişkilendirildiği sık sık görülmektedir. Bundan başka mekânsal yapının ölçülmesi gibi görüntüden türetilen özellikler, sınıflandırma için son derece yararlı bilgiler sağlayabilmektedir. Bu yüzden, orijinal görüntüden mümkün olabilecek en fazla bilgiyi elde etmek için, çeşitli ön sınıflandırma işlemlerinin değerlendirilmesinde dikkatli davranılmalıdır. Çeşitli durumlarda ortaya çıktığı gibi, bazı özellikler, uzaktan algılamada gri değerlerdeki istenmeyen çeşitliliği ortadan kaldırmaya eğilimlidir. Örneğin spektral oranların topografik değişimleri yok etmesi gibi. Genelde, bu gibi özellikleri kullanmak olayı anlamak için iyidir. Çünkü bunlar spektral sınıfları daha iyi ayırt eden sınıflandırıcılara olanak tanır. Ayırt edilebilirlik analizleri, verilen bir özellikler kümesinin alt kümesini daha anlamlı olarak belirlemeye olanak sağlarlar (Schowengerdt,1997).

3.5.3 Sınıflandırıcılar

Çalışmanın bu bölümünde, bu başlıktan sonra sınıflandırma kavramı ile verilen bilgiler ve şekiller aksi atıf yapılmadıkça Schowengerdt (1997)'den yararlanılarak yapılmıştır.

Bir görüntüyü kategorilere sınıflandırmak için, bu işi yapacak olan sınıflandırma algoritmasının eğitime ihtiyacı vardır. Kategoriyi temsil eden örnekler bu amaç için kullanılır. Bunlar, prototipler, örnekler ya da basitçe “denetim alanları” olarak adlandırılırlar. Denetim alanlarınca temsil edilen farklı kategorilerin tanımlanması için sınıflandırıcının eğitilmesinden sonra, eğitime esnasında geliştirilen bu “kurallar”, görüntüdeki bütün pikselleri bir katı sınıflandırma veya daha fazla yumuşak sınıflandırma eğitim kategorilerinin biriyle tabakalamak için kullanılır.



Şekil 3.10 Sınıflandırma yönteminde veri akışı

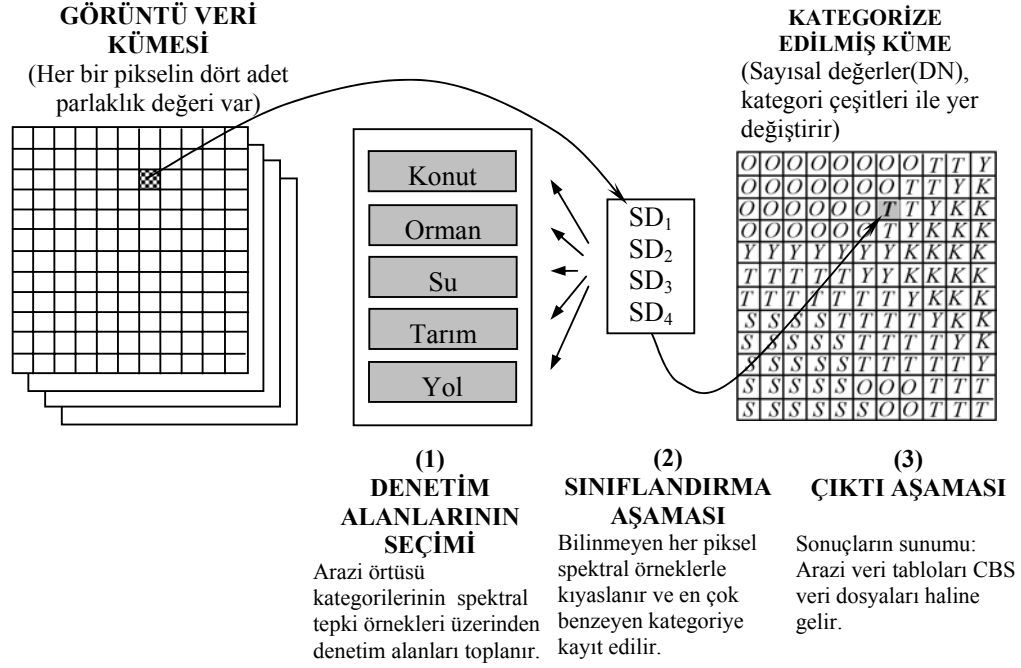
Eğer aynı görüntü içindeki piksellerden türetilen denetim alanlarına bağlı olarak sadece, bir tek görüntüyü sınıflandırmak için uğraşılıyorsa, bütün görüntüde tutarlı oldukları sürece, atmosferik faktörler, herhangi bir kritik durum oluşturmazlar. Bunlar, eğitime ve bilinmeyen piksel spektral vektörlerine aynı oranda etkiler ve spektral uzaydaki komşu pozisyonlara herhangi bir etkileri olmaz. Eğer atmosfer etkileri, ilgilenilen bölgede önemli bir değişim gösteriyorsa (örneğin sis ve dumandan dolayı) uzaysal bağımlılığı olan bir düzeltmeye ihtiyaç vardır. Eğer bir görüntüden elde edilen eğitime verisi başka bir görüntüyü sınıflandırmak için kullanılacaksa, iki görüntünün de atmosferik etkilere karşı düzeltilmesi gereklidir veya ikincisi birincisine normalize edilmelidir. Sınıflama

algoritmasının eğitimi, kontrollü ya da kontrolsüz olarak yapılabilir. Kontrollü sınıflandırmada prototip pikseller, yer gerçeklemesi, var olan haritalar veya foto yorumlamalar eşliğinde tabakalanır. Diğerinde ise prototip pikseller tabakalanmaz, fakat ayrılmış kendine has veri karakteristikleri oluşturulur.

3.5.3.1 Kontrollü Sınıflandırma

Bir kontrollü sınıflandırma işlemindeki üç temel adım Şekil 3.11’de özetlenmektedir. Eğitime aşamasında (1), analizci temsil edici denetim alanlarını tanımlar ve görüntüdeki ilgilenilen her arazi örtüsü şeridinin spektral öz niteliklerinin nümerik bir tanımlamasını geliştirir. Sınıflandırma aşamasında (2), görüntü veri kümesindeki her piksel en yakın benzerliğe sahip olduğu arazi yüzeyi sınıfına kategorize edilir. Eğer pikselin herhangi bir eğitime veri kümesine benzerliği yeterli değilse, genellikle “bilinmeyen” olarak tabakalanır. Bu yöntemde her piksele atanan sınıf tabakası, daha sonra yorumlanmış bir veri kümesinin (bir çıktı görüntüsü) karşılık gelen hücrelerine kayıt edilir. Bu sebeple çok boyutlu görüntü matrisi yorumlanmış arazi örtüsü sınıf tipinin bir yaklaşım matrisini üretmekte kullanılır. Bütün veri kümesi kategorize edildikten sonra sonuçlar çıktı aşamasında sunulur. Sayısal karakterde olan sonuçlar, birçok farklı yolda kullanılabilir. Çıktı ürünlerinin üç tipik şekli; tematik haritalar, çeşitli arazi örtüsü sınıfları için tam çerçeve veya yarım çerçeve alan istatistiklerinin çizelgeleri ve bir bir coğrafi bilgi sistemine (C.B.S.) dâhil edilmesini sağlayan sayısal veri dosyalarıdır. Bu son durumda sınıflandırma “çıktısı” C.B.S. “girdisi” haline gelmektedir. (Lillesand ve Kiefer, 2000)

İlgilenilen ana hatlar arazi araştırmaları (yer gerçekliği) ile belirlenebilir. Mesela, jeolojide, farklı mineral tiplerinin haritasının yapılması arzu edilebilir. Orman mühendisliğinde ana konu, farklı ağaç türleri veya belki de sağlıklı ve hasta ağaçlar olabilir. Tarımsal sınıflar ise farklı bitki tiplerini, ekili arazileri ve toprak neminin derecesini içerebilmektedir. Kontrollü sınıflandırmada, analizi yapan kişinin mutlaka her kategoriye en doğru şekilde temsil eden pikseller seçmesi gerekmektedir. Eğer çok bantlı görüntü yeterli görsel ayrıklık içeriyorsa, görsel inceleme ile uygun eğitim alanları bulmak mümkündür. Bununla birlikte, sınıf temsil alanları bulmak için arazi verileri veya haritalar gibi ek bilgi kaynaklarına başvurulabilir. Eğitim alanlarını bulma ve doğrulama işlemi bu yüzden üstünde durulması gereken bir konudur. Kontrollü sınıflandırmada, eğitim alanının temsil sınıfının homojen bir örneği olması önemlidir, fakat aynı zamanda sınıf için değişebilirlik içermelidir. Bu yüzden, genelde her sınıf için birden fazla eğitim alanı kullanılır.



Şekil 3.11 Kontrollü sınıflandırmadaki temel adımlar (Lillesand ve Kiefer, 2000)

Sınıf içinde değişkenlik oldukça fazla ise, eğitim alanlarının seçimi zorlaşır ve her bir sınıf için eğitim örneklerinin kapsamlı bir kümesinin belirlenmesinin tamamıyla belirli olması mümkün değildir.

Birçok durumda, homojen alanlar elde etmek mümkün değildir. Bitki örtüsünü ve toprak zeminini haritalama işleminde karmaşalık çıkaran seyrek bitki örtüsü genelde bir problem oluşturur. Bu koşullar altındaki eğitim verisini geliştirmenin bir tekniği, son sınıf işaretlerini geliştirmeden önce, etraftaki pikselleri temizlemektir. Bu, eğitim piksellerinin verilen işaretlere (signature) göre sınıflandırılması ile aşılr. Bazı eğitim pikselleri, yanlış sınıflandırılabilir veya doğru sınıfla en azından düşük bir olabilirliği bulunabilir. Bunlar eğitim kümesinden çıkarılır ve kalan piksellerden sınıf işaretleri tekrardan hesaplanır. Diğer bir yaklaşım ise, kararlı bir mekânsal ve spektral homojenlik kriterini sağlamayan eğitim alanındaki piksellerin atılmasıdır.

Uygulamada, sınıfların doğası eğitim alanlarının sınırlarının elle çizilmesini zorlaştırır. Mesela dar sokaklardaki asfalt sınıfı veya bir nehir için su sınıfı gibi. Bu gibi durumlarda, yarı otomatik olarak sınırların belirlenmesi daha uygundur. Düzensiz bir alanı tanımlamak için analizi yapan kişi tarafından belirlenen ve çekirdek bir pikselden başlayarak bölge genişletme (region-growing) algoritmaları kullanan verimli araçlar

geliştirilmiştir.

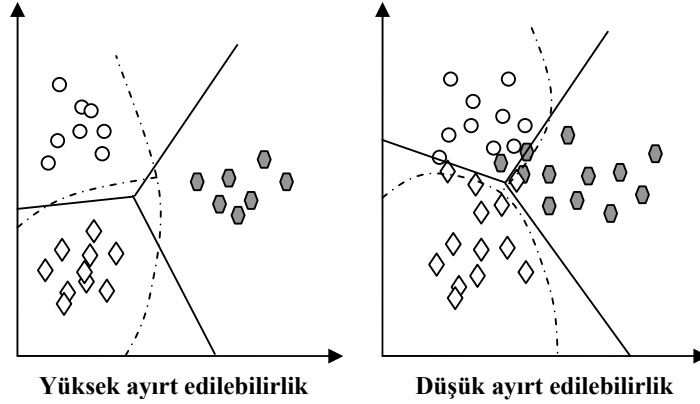
Pratikte tam olarak normal dağılıma uyan hiçbir olay olmamasına rağmen uzaktan algılama uygulamalarında (optik tabanlı veriler için) gözlenmiş olan olasılıksal işlemleri yeterli bir biçimde modellemek için çok değişkenli normal dağılımın uygun olduğu gözlenmiştir. Ayrıca normal dağılım kabulünün dışına belirli ölçüler içinde çıkmış olsa da bu kabule dayanan algoritmaların sınıflandırma performansları açısından güçlü oldukları görülmüştür. Çok değişkenli normal dağılım varsayımının sınıflandırma doğruluğu ve maliyet faktörleri arasında iyi bir denge kurduğu görülmüştür (Maktav ve Sunar, 1991).

3.5.3.2 Ayırt Edilebilirlik Analizi

Eğitim pikselleri seçildiği zaman, sınıflandırıcı tarafından kullanılacak özelliklerin tanımlanması lazımdır. Bunlar orijinal çok bantların bir alt kümesi veya hepsi veya temel bileşenler gibi çıkarılmış özellikler olabilir. Kontrollü sınıflandırma, harita temalarına göre yürütüldüğü ve kendi verilerinin karakteristiklerine göre yürütülmediği için, sınıfın diğer bir sınıftan ayırt edilebilirliğinin bir kesinliği olmayacaktır. Ayırt edilebilirlik analizleri farklı özellikteki kombinasyonlar için, sınıflandırmada beklenen hatayı tahmin etmek amacıyla eğitime verisi üzerinde uygulanabilir. Bu sonuçlar, başlangıç özelliklerinin bazılarının, görüntünün tamamıyla sınıflandırılmasından önce azaltılabileceğini gösterir. 3 boyutlu uzayda iki vektör arasındaki uzaklık için bu basit ölçümler Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Bununla birlikte bunlar, varyanslarından ve bunun sonucu olarak ayırt edilebilirliğin iyi bir ölçütü olmadıklarından sınıf dağılımlarının üst üste çakıştırmalarında kullanılmadıkları için normalize edilmiş ölçümü daha iyidir. Sınıf ortalamalarının ayrımı ile doğru orantılı ve standart sapmaları ile ters orantılıdır. Bununla birlikte, eğer ortalamalar eşitse, sınıf varyanslarına bakılmaksızın 0'a eşit olacaktır. Bunun da olasılıklara dayanan istatistiksel sınıflandırıcılar için bir anlamı yoktur. Bundan dolayı olasılık esaslı durumlar da aynı zamanda tanımlanmış olmalıdır.

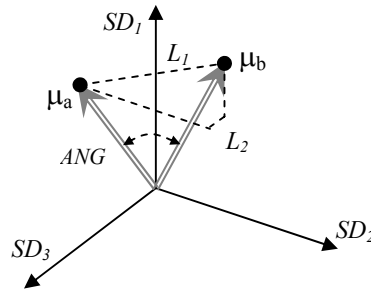
Mahalanobis ayırt edilebilirlik ölçümü, normal dağılımlar için öklid ölçümlerinin çok değerli genelleştirilmiş halidir. Eğer sınıf ortalamaları eşitse, Mahalanobis ayırt edilebilirlik ölçümü her zaman 0'a eşittir. Diverjans ve Bhattacharyya uzunluk ölçümleri bu problemi saf dışı eder. Diverjans sadece sınıf ortalamaları ve kovaryans matrisleri eşit olduğu zaman 0'a eşit olur. Bununla birlikte, her ikisinde de hala mevcut olan problem, geniş sınıf ayrılması için sınır tanımaksızın çoğalmaları ve doğru

sınıflamanın olasılığında yapıldığı gibi 1'e asimptotik olarak yakınsamamalarıdır. "a" ve "b" sınıflarının olasılıkları oranını temel alan dönüştürülmüş diverjans bu davranışı sergilememiştir. Jeffries-Matusita uzaklığı a ve b'nin olasılık fonksiyonları arasındaki farka bağlıdır ve geniş sınıf ayrımları için doğru sınıflandırma olasılığının bulunmasına benzerler, fakat dönüştürülmüş diverjanstan daha çok hesap gerektirirler.



Şekil 3.12 Yüksek ve düşük ayırt edilebilirlik

Verinin eğitimi için özellik uzayında ve karar sınırlarındaki iki olası durumu göstermektedir. Eğer eğitim sınıfları yüksek derecede ayırt edilebilir ise, sınıfları hatasız bir şekilde ayırabilecek birçok potansiyel karar arazi bölmeleri vardır; katı veya parçalı çizgilerin her ikisi de eşit bir şekilde iyi gerçekleştirebilir. Eğer farklı sınıflardan gelen eğitim verileri üst üste çakışırsa, düzgün bir karar sınırı yanlış sınıflandırma olmadan mümkün değildir. Karar sınırının tam şekli sınıflandırma hatasına yol açabilir.



Şekil 3.13 3 boyutlu uzayda iki vektör arasındaki uzaklık

L_1 , L_2 ve ANG uzaklığı ölçümleri iki vektör için 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. İki vektörün normalize edilmiş iç (nokta) ürününün ark-kosinüsü olan ANG , her iki vektörün de uzunluğundan bağımsızdır. Bu özellik bunu, topografik gölgelenme için düzeltilmemiş verinin sınıflandırılmasında kullanışlı yapar.

Çizelge 3.1 Özellik uzayındaki iki dağılım arasındaki mesafe ölçütleri

(city block)	$L_1 = \mu_a - \mu_b = \sum_{k=1}^K m_{ak} - m_{bk} $
Öklid	$L_2 = \mu_a - \mu_b = (\mu_a - \mu_b)^T (\mu_a - \mu_b) ^{1/2}$ $= \left[\sum_{k=1}^K (m_{ak} - m_{bk})^2 \right]^{1/2}$
Açısal (Angular)	$ANG = a \cos \left(\frac{\mu_a^T \mu_b}{\ \mu_a\ \ \mu_b\ } \right)$
Normalize (city block)	$NL_1 = \sum_{k=1}^K \frac{ m_{ak} - m_{bk} }{(\sqrt{c_{ak}} + \sqrt{c_{bk}}) / 2}$
Mahalanobis	$MH = \left[(\mu_a - \mu_b)^T \left(\frac{C_a + C_b}{2} \right)^{-1} (\mu_a - \mu_b) \right]^{1/2}$
Diverjans	$D = \frac{1}{2} tr[(C_a - C_b)(C_b^{-1} - C_a^{-1})]$ $+ \frac{1}{2} tr[(C_a^{-1} + C_b^{-1})(\mu_a - \mu_b)(\mu_a - \mu_b)^T]$
Dönüştürülmüş diverjans	$D' = 2[1 - e^{-D/8}]$
Bhattacharyya	$B = \frac{1}{8} MH + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(C_a + C_b)/2}{(C_a + C_b)} \right]$
Jeffries-Matusita	$JM = [2(1 - e^{-B})]^{1/2}$

3.5.3.3 Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz eğitime için, piksellerden heterojen olanlarının özellik uzaylarının kümelendiği yer belirlenir. Görüntüde sınıfları temsil ettiği kabul edilen bu gruba küme (demet, cluster) denir ve sınıf özelliğini (class signature) hesaplamak için kullanılır. Herhangi bir sınıfa ait olmasa da mutlaka bir tabaka içine dâhil edilirler. Kontrollü ve kontrolsüz eğitime birbirini tamamlar. Küme kavramı çoğu defa karıştırılmaktadır. Çok boyutlu veri uzayının bir bölgesinde ayrık olarak gruplaşmış piksel vektörleri olarak bilinir. Fakat bu duruma nadiren rastlanır. Bütün veri uzayını kat eden kapsamlı bir sınıf kümesi oluşturmak için, geniş bir eğitim örneğinin kullanılması zorunludur. Alt piksel sınıflarının karışması, algılayıcı hatası, topografik gölgeleme ve diğer faktörlerden dolayı veri dağılımı genelde karışır. K-ortalamları gibi algoritmalar veri dağılımını istenen sayıda alt bölmeye optimal olarak ayırır. Bu kümelemenin sonucunda ortaya çıkan son ortalama vektörler, alt kümelerin ortalama noktaları olacaktır.

Kontrolsüz sınıflandırma görüntü alanlarını tanımlarken, analizleri yapan kişinin alanın homojenliği ile ilgilenmesine gerek yoktur. Heterojen alanlar ise, ilgilenilen bütün sınıfların ve onların kendi sınıf değişkenliklerinin içerildiğini garantilemek için seçilebilir. Genelde bütün görüntü (belki hesap zamanını azaltmak için bölünmüş olabilir) tam anlamıyla bir tanımlama için kümeleme algoritmasında kullanılabilir. Kümelere tabakaların atanması, analizi yapan kişi tarafından eğitmeden sonra veya bütün görüntünün sınıflandırılmasından sonra yapılabilir. Çünkü kontrolsüz sınıflandırmada alan hakkında hiçbir bilgiye ihtiyaç duyulmaz. Bunun dışında potansiyel denetim alanları olarak, homojen alanların sınırlarını çizmek için de kullanışlıdır.

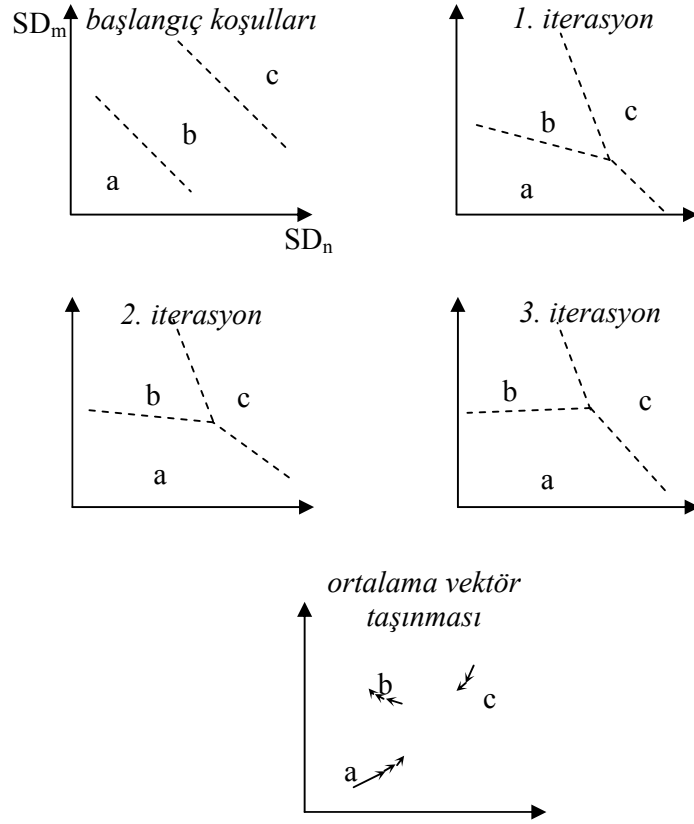
3.5.3.3.1 K-Ortalamaları Kümeleme Algoritması

Kümeleme algoritmalarından en çok kullanılanlardan biri de K-ortalamlardır. Şekil 3.14'te K-ortalamlar algoritmasının, 2 boyutlu idealize edilmiş veriler için bir örneği verilmiştir. Algoritmanın ilk adımında, her K kümesi için bir adet başlangıç ortalama vektörü keyfi olarak tanımlanır. Daha sonra her eğitim kümesinin her pikseli ortalama pikseli vektörü, en yakın olan sınıfa atanır. Böylece birinci kümenin sınırları oluşur. Daha sonra ortalama küme vektörlerinin yeni kümesi bu sınıflardan hesaplanır ve pikseller tekrardan uygun bir şekilde atanır. Her iterasyonda, K ortalamlar bulundukları özellik uzayında verilerin ağırlıklı olduğu bölgeye kayacaktır.

Bu iterasyon, piksel atamalarında iki iterasyon arasında önemli olmayan bir değişiklik oluncaya kadar devam eder. Bir iterasyondan diğerine net ortalama değişiminin hesaplanması, iterasyon sürecinin bitimini ifade eden bir kriterdir. $i-1$ 'den i 'ye kadar olan iterasyondan ortalama vektörlerin değişiminin toplamıdır.

$$\Delta\mu(i) = \sum_{k=1}^K |\mu_k(i) - \mu_{k-1}(i-1)| \quad (3.4)$$

Sonuç, başlangıçta seçilen çekirdek vektöre karşı duyarlı değildir. Eğer sonuç vektör çekirdek vektöre yakın değilse, yakınsaklık için, daha fazla iterasyona ihtiyaç vardır. Son vektör, bütün görüntüyü minimum uzaklık sınıflandırıcısı ile sınıflandırmada kullanılabilir veya kümelerin kovaryans matrisleri hesaplanır ve maksimum olabilirlik sınıflamasında ortalama vektör ile birlikte kullanılır.



Şekil 3.14 K-ortalamalar algoritmasının, 2 boyutlu idealize edilmiş veriler için bir uygulaması

3.5.3.4 Kontrollü / Kontrolsüz Karışık Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırmada sınıfların belirlenmesinin kullanıcıya bağlı olması dolayısı ile kısıtlı sınıf tanımlanabilirlik ve kontrolsüz sınıflandırmanın ise analizi yapan kişi için bir anlamı olmayan sınıflar türetmesinden dolayı, ikisinin birleşimi olan bir yaklaşım gereksinimleri daha iyi karşılayabilecek bir potansiyele sahiptir. İlk önce kontrolsüz eğitime veriler üzerine uygulanır ve elde edilen kümeler kullanılarak eğitime alanının tabakalaşmamış küme haritaları üretilir. Tipik olarak, çok fazla sayıda küme, 50 veya daha fazla, yeterli veri temsilinin sağlanması için kullanılır. Analizci daha sonra, araziye gezip görerek elde ettiği verilerden (yer gerçekliği), hava fotoğraflarından ve diğer referans verilerden haritanın bir değerlendirmesini yapar ve her kümeye ait olan tabakayı atar. Normal olarak bazı kümelerin tabakalandırılmasında alt kümelere bölünmesi veya bazı kümelerin birleşmesi gerekmektedir. Bu tabakalanmış küme verileri daha sonra kontrollü sınıflandırmada kullanılır.

3.5.4 Parametrik Olmayan Sınıflandırma

Sınıflandırma algoritmaları iki gruba ayrılabilir; parametrik ve parametrik olmayan algoritmalar, genel olarak sınıfın istatistiksel dağılımını normal dağılım olarak alırlar ve sınıflandırma için ve kovaryans matrisi gibi, parametrelerin dağılımını tahmin ederler. Parametrik olmayan algoritmalar, olasılık dağılımları için hiçbir kabul yapmazlar ve sınıfların birbirinden ıraklığı söz konusu olduğu müddetçe geniş çeşitliliğe sahip sınıf dağılımları için çok uygundur.

3.5.4.1 Seviye-Dilimli Sınıflandırma

Bu sınıflandırıcı aynı zamanda kutu sınıflandırıcısı olarak da bilinir. Bütün sınıflandırma algoritmaları arasında en basit olarak bu yöntem kabul edilir. K-boyutlu tahmin edilen ortalama vektörlerinden oluşan bir küme, K boyutlu özellik uzayında yer almaktadır. Eğer tabakalanmamış bir piksel vektörü bu kutuların herhangi birinin içinde kalıyorsa, bu sınıfa atanır. Seviye dilimli (level-slice) algoritma aynı zamanda herhangi bir tasarlanan kutu içine düşmeyen bütün piksel vektörlerini içeren “tabakalanmamış” bir sınıf oluşturur. Bu özellik sınıf sayılarının tahminlerden fazla olmasını engellemekte kullanılabilir.

3.5.4.2 En Yakın Komşuluk Sınıflandırıcısı

Bazı parametrik olmayan sınıflandırma şemaları, özellik uzayında komşu eğitim vektörlerinin tabakalarına göre bilinmeyen piksellere tabaka atar. Şunları içerir;

- En yakın komşuluk, en yakın eğitme piksel tabakasının aynısını atar.
- K en yakın komşuluk, k en yakın komşuluk eğitim piksellerinin çoğunlukta olan tabakasına göre tabaka atar.
- Ağırlıklı-uzaklık, k en yakın komşuluk eğitim piksel tabakalarına ağırlıklar atar. Bu ağırlıklar bilinmeyen pikselden olan öklid uzaklığı ile ters orantılı olarak hesaplanır.

3.5.4.3 Yapay Sinir Ağları (Y.S.A.) Sınıflandırıcısı

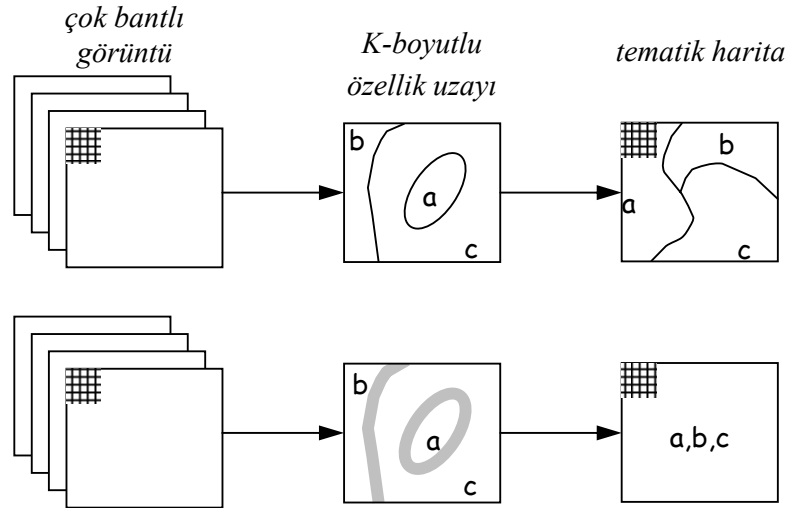
Y.S.A. algoritması, sınıflamaya parametrik olmayan yeni bir yaklaşım getirmiştir. Seviye dilimli ve histogram tahmin algoritmalarından tamamen farklıdır. Karar sınırları prototip eğitim işaretçisine uygulanan belirli bir kural ile sabitlenmemiştir. Buna karşılık karar sınırları; eğitme verilerinin tabakalanmasında hatayı en küçükleme gibi iteratif bir yaklaşıma göre belirlenir. Ağ 3 tane tabakaya sahiptir; orta tabaka ve çıktı tabakası her düğüm noktasında işleme elemanlarını içerir. Diğer yandan, girdi tabakası

düğümlemleri giriş verileri için bir ara yüzey oluşturur ve bu tabakada herhangi bir işlem yapılmaz. Girdi verileri, sınıflandırma için kullanılan özelliklerdir. Daha basitçe, eğitim piksellerinin çok-bantlı vektörlerdir. Piksellerin mekânsal komşulukları ve çok zamanlı spektral vektörler gibi diğer özelliklerde kullanılabilir.

Yapay Sinir Ağları'nın genelde, dağıtımlı yapıları ve kompleks ortamlarla güçlü bir şekilde başa çıkabilme yeteneklerinden dolayı, sınıflandırma doğruluğunun geliştirilmesi özelliğine sahip olduğu kavranmaktadır (Zhou ve Yang, 2008).

3.5.5 Katıya Karşı Yumuşak Sınıflandırma

Uzaktan algılama, gerçekte, “K” bantlı bir görüntüde her banttaki her pikselde “Q” bitlik veri ile “ 2^{QK} ” kadar çok miktarda olası kategoride sürekli bir tabakalama fonksiyonu sağlar. Neredeyse sürekli olan bu ölçü uzayı, sınıflandırmayla nispeten az sayıda soyut tabakalara sıkıştırıldığı zaman, tematik haritanın oluşturulması sürecinde verideki çok büyük miktarda bilgi ihmal edilir.



Şekil 3.15 Katı ve yumuşak sınıflandırma

Sınıflandırma algoritmalarının çoğu, her pikselin bir sınıf tabakasına atanması için bir “olabilirlik” fonksiyonu üretir. Katı bir sınıflandırma, bu sınıf tabakasının, yapay sinir ağları literatüründe belirtildiği gibi, doğru algoritma olmanın en büyük olabilirliği ile seçilmesiyle üretilir. Katı bir sınıflandırma için özellik uzayının karar sınırları iyi tanımlanmıştır (Şekil 3.15). Eğer her pikseldeki çoklu tabakalar içeren olabilirlik değerleri devam ettirilirse, yumuşak bir sınıflandırma elde edilir. Yumuşak bir

sınıflandırma için özellik uzayı karar sınırları “yumuşak sınırlı” veya “bulanık(fuzzy)” olarak düşünülebilir. Olabilirlik değerleri neyi temsil etmektedir? En kesin yorumlama, pikselin konumsal ve spektral olarak bütünlenmiş çok-bantlı vektörünün içindeki her kategorinin bağıl oranlarını temsil ettiğidir.

Katı ve yumuşak sınıflandırma arasındaki farkı görmenin bir yolu da; her iki durumda da piksel spektral vektörlerinin, çok-bantlı görüntüden karar uzayına doğru tabakalama işlemi için geçirmesidir. Katı bir sınıflandırmada karar, her bir pikselde sadece bir tabakaya izin veren “kazanan hepsini alır” mantığıdır. Yumuşak bir sınıflandırmada ise, her bir piksel için bir tabaka olması durumundan daha fazla olasılık ile, karar çok-değerlidir. Her tabakanın birleşik bir doğru olma olabilirliği vardır. Bu olabilirlikler birkaç yol ile yorumlanabilir; bunlardan biri, pikselin içinde her kategorinin oranını gösterdikleridir.

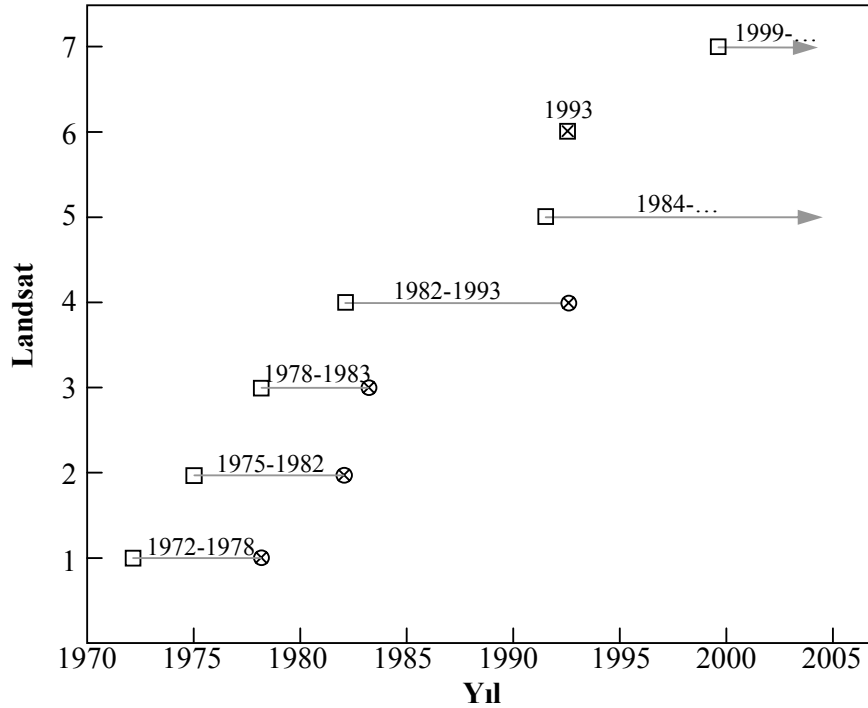
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER ve YÖNTEM

4.1 Kullanılan Veriler

4.1.1 LANDSAT Uydusu

ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) adı ile 1972 yılında uzaya gönderilen uydu sistemi, daha sonra LANDSAT-1 olarak adlandırılmış ve bunu sonraki yıllarda fırlatılan diğer LANDSAT serileri takip etmiştir. LANDSAT uydu sistemi dünya etrafında yaklaşık kutupsal bir yörüngeye sahip, güneşle eş zamanlı bir uydu sistemidir. LANDSAT serilerinin uzaya gönderiliş ve kullanım ömürleri ile ilgili bilgiler Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Çalışmada kullanılan LANDSAT görüntüleri, LANDSAT-4, 5 ve 7 uydu sistemlerinin görüntüleridir. Kullanılan LANDSAT görüntülerinin büyük kısmı, Amerikan Ulusal Arazi Örtüsü Kurumu (GLCF) tarafından internette bilimsel amaçlı kullanım için yayınlanan, Amerikan Ulusal LANDSAT Arşivi Üretim Sistemi (NLAPS) verileridir.



Şekil 4.1 LANDSAT uydu sistemlerinin kullanım zamanları (Özkan, 2001)

LANDSAT-4 ve LANDSAT-5, önceki serilerde olduğu gibi, tekrarlı, dairesel, güneşle

eş-zamanlı, yaklaşık kutupsal bir yörüngeye fırlatılmışlardır. Bununla birlikte, yörünge yükseklikleri 900 km.den 705 km.ye düşürülmüştür. Bu daha düşük seviyedeki yörüngeler, uyduların potansiyel olarak uzay mekikleri tarafından geri getirilebilmesi ve uydu üzerindeki algılayıcıların konumsal ayırma gücünün artırılması ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Ekvatorda 98.2° yörünge eğikliğine sahip bu uydular, ekvatordan kuzey-güney kısmındaki her yörüngesinde 09:45 A.M. yerel güneş zamanında geçmektedirler. Her bir yörünge, gün içerisinde 14.5 yörünge tamamlanabilmesine karşılık gelen yaklaşık 99 dakikada tamamlanmaktadır. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden kaynaklanan, ekvatordaki ardıl yörüngeler arasındaki uzaklık 2752 km.dir (Lillesand ve Kiefer, 2000).

Çizelge 4.1 TM Spektral Bantları (Lillesand ve Kiefer, 2000)

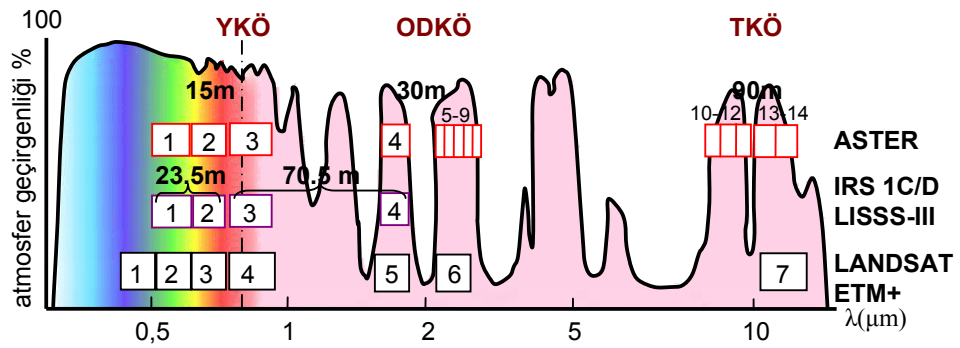
Bant	Dalga boyu (µm)	Spektral konum	Başlıca uygulamalar
1	0.45-0.52	Mavi	Kıyı haritalaması için kullanışlı yapan su kütlesi penetrasyonu için tasarlanmıştır. Toprak/bitki örtüsü ayırımı, orman çeşidinin belirlenmesi ve ekin özelliği belirlemede de kullanışlıdır.
2	0.52-0.60	Yeşil	Bitki örtüsü ayırımı ve canlılığının belirlenmesi için bitki örtüsü yeşil yansıtım tepesinin ölçülmesi amacıyla tasarlanmıştır. Ekin özelliği belirlemede de kullanışlıdır.
3	0.63-0.69	Kırmızı	Bitki çeşidi ayırımında yardımcı olan klorofil yutulması bölgesinde algılama yapmak için tasarlanmıştır. Ekin özelliği belirlemede de kullanışlıdır.
4	0.76-0.90	YKÖ	Su kütlesi çizimi ve toprak nemliliğinde olduğu gibi; bitki örtüsü çeşidi, canlılık ve biyokütle içeriğinin elde edilmesinde de kullanışlıdır.
5	1.55-1.75	ODKÖ	Bitki örtüsü nem içeriği ve toprak nemliğini gösterir. Kar örtüsünün bulutla ayırt edilmesinde kullanışlıdır.
6	10.4-12.5	Termal KÖ	Bitki örtüsü gerilme analizi, toprak nemliliği farkı ve termal haritalama uygulamalarında kullanışlıdır.
7	2.08-2.35	ODKÖ	Mineral ve kaya çeşitlerinin farkı için kullanışlı olduğu gibi bitki örtüsü nemlilik içeriğine de duyarlıdır.

Tez çalışmasında, modelin kurulması aşamasında 11 adet, test edilmesi aşamasında da 7 adet olmak üzere toplam 18 adet LANDSAT uydusu görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntülerden 13 tanesi LANDSAT-7 ETM+ algılayıcısının, 3 tanesi LANDSAT-4 ve 2 tanesi de LANDSAT-5 uydularının TM algılayıcısının verileridir. Bu veriler ile ilgili özellikler Çizelge 5.5 ve Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

185 km tarama genişliği ile algılama yapan LANDSAT-4 ve LANDSAT-5 uyduları üzerindeki TM algılayıcıları, elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi, orta dalga kızılötesi ve termal kızılötesi kısımlarından yansıyan ya da yayılan enerjiyi algılayarak 7 ayrı spektral banta kaydederler. Radyometrik ayırma gücü 8 bit olan TM sisteminin konumsal ayırma gücü 30 m.dir. 6. banta karşılık gelen termal bant için konumsal ayırma gücü, TM algılayıcısında 120 m iken, LANDSAT-7 uydusu üzerinde bulunan ETM+ algılayıcısında 60 m.dir. ETM+ algılayıcısında, TM algılayıcısına ilave olarak 0.520-0.900 μm aralığına duyarlı 15 m konumsal çözünürlüğe sahip PAN (pankromatik) algılayıcısı mevcuttur. ETM+ algılayıcısının diğer özellikleri TM algılayıcısı ile aynıdır. LANDSAT uydu sistemleri ve kullanımda olan başlıca uydu sistemleri hakkında özet bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiş ve Şekil 4.2'de ETM+ algılayıcısı bantları atmosfer modeli üzerinde gösterilmiştir.

4.1.2 TERRA / ASTER Uydusu

ASTER, NASA ve Japonya Hükümeti tarafından ortak yürütülen bir çalışma ile üretilmiş bir görüntüleme aygıtıdır ve TERRA uydusu üzerinde taşınan en yüksek konumsal ayırma gücüne sahip sistemdir. ASTER, her biri farklı spektral aralığa duyarlı, farklı optik sistemler kullanan ve farklı Japon firmaları tarafından üretilmiş, üç ayrı alt sistem aygıtını içermektedir. Bu alt sistemler sırasıyla, görünür ve YKÖ' ye duyarlı olan VNIR, kısa dalga kızılötesine duyarlı olan SWIR ve termal kızılötesine duyarlı olan TIR algılayıcılarıdır (Lillesand ve Kiefer, 2000). ASTER bantlarının atmosfer modeli üzerindeki durumu Şekil 4.2'de gösterilmektedir. ASTER alt sistemleri olan VNIR, SWIR ve TIR algılayıcılarının radyometrik performansları Arai ve Tonooka(2005) tarafından incelenmiştir.

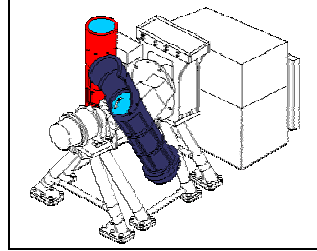
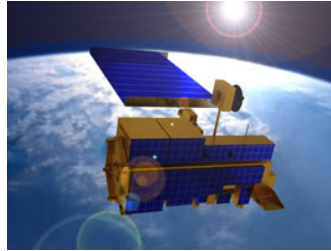


Şekil 4.2 ASTER, LISS-III ve ETM+ bantlarının atmosfer modeli üzerinde gösterimi

TERRA/ASTER'in, iniş modunda ekvatorundan ortalama geçiş zamanı 10:30 dur (± 15 dakika). Yörünge düzeltme sistemi, başlangıçta istenilen yörünge için kullanılır ve bu, uydunun görev periyodu boyunca sürdürülür. Yer izi örneği, referans yer izi örneği ile ± 20 km içinde kontrol edilir. Şekil 4.2'deki atmosfer modeli üzerinde ASTER, LISS-III ve ETM+ bantlarının yerlerinin gösterimi [4]'ten faydalanarak yapılmıştır.

Çizelge 4.2 ASTER algılayıcı sistemi özellikleri

Algılayıcı	Bant	Spektral Aralık (μm)	Tarama genişliği (km)	Konumsal ayırma gücü (m)	Radyometrik ayırma gücü (bit)
VNIR	1	0.54-0.60	60	15	8
	2	0.63-0.69			
	3N	0.78-0.86			
	3B	0.78-0.86			
SWIR	4	1.60-1.70	60	30	8
	5	2.145-2.185			
	6	2.185-2.225			
	7	2.235-2.285			
	8	2.295-2.365			
	9	2.360-2.430			
TIR	10	8.125-8.475	60	90	11
	11	8.475-8.825			
	12	8.925-9.275			
	13	10.25-10.95			
	14	10.95-11.65			



Şekil 4.3 TERRA/ASTER ve VNIR algılayıcısı

VNIR, 15 m konumsal ayırma gücüne sahip dört spektral banta sahiptir (Bant 1, 2, 3N ve 3B). Bu dört bantın ilk üçü nadir alım yaparken, dördüncüsü Şekil 4.3'te görüldüğü gibi yer izinin arka kısmına yöneltilmiştir (27.7° off-nadir). 7m'den 50 m'ye kadar doğrulukla stereo veri alımını mümkün kılan bu dördüncü bant, üçüncü bant gibi YKÖ bölgesindeki $0.78\text{-}0.86 \mu\text{m}$ aralığına duyarlıdır. ASTER bu sayede iz boyunca stereoskopik görüntü verisi toplayabilmektedir. Algılayıcı yönünün çevrilebilmesi

özelliği ile, VNIR $\pm 24^\circ$, SWIR ve TIR ise $\pm 8.55^\circ$ çapraz izde görüntü alımı yapabilmektedir.

Çizelge 4.3 TERRA / ASTER yörüngesi

Yörünge Yüksekliği(ekvatorda)	707 km
Eksentrisite	0.001
Tekrar Geçiş	16 gün
Yarı-asıl eksen	7078 km
Yörünge Eğikliği	98.2°
Görev süresi	6 yıl
Periyot	98.88 dakika
Ekvatorda komşu iki iz arasındaki mesafe	172 km

Çalışmada 2005 yılının Ağustos ayında Diyarbakır ve Mayıs 2006 tarihinde Batman şehirleri üzerinden kayıt edilmiş iki adet ASTER/TERRA uydu görüntüsü, test aşamasında kullanılmıştır.

4.1.3 IRS 1C/D Uydusu

IRS uyduları, Hindistan Devleti'ne ait uydulardır. Bu uydu ile ilgili bilgiler Bayraktar(2002)'de aşağıdaki gibi açıklanmıştır. IRS-1C ve IRS-1D uyduları güneşle eş zamanlı kutupsal bir yörüngede 817km uçuş yüksekliğinde görev yapmaktadırlar. Bu uydu programı, pankromatik kamera (PAN), LISS-III ve WiFS olmak üzere üç algılayıcıyı içerir.

Pankromatik kamera 5.8m konumsal çözünürlükte ve 70km tarama genişliğinde veri sağlamaktadır. 0.5-0.75 μm spektral aralığında kayıt yapmaktadır. Bu kamera ± 26 dereceye kadar (nadirden $\pm 398\text{km}$) döndürülebilmektedir. Bu özellik, aynı bölgenin tekrar görüntülenebilmesi kabiliyetini “5 gün” e kadar artırmaktadır. LISS-III algılayıcısı görünür bölge, yakın kızılötesi bölge (Y.K.Ö.) ve kısa dalga kızılötesi (K.D.K.Ö.) bölgelerinde dört bantta çok bantlı veri toplamaktadır. Görünür bölgede (iki bant) ve Y.K.Ö. bölgesinde (bir bant), çözünürlük 23.5m ve tarama genişliği 141km iken, K.D.K.Ö. bölgesinde çözünürlük 70.5m ve tarama genişliği 148km olmaktadır. WiFS, iki spektral bantta 188.3m olan konumsal çözünürlüğü ile 810km tarama genişliğinde veri toplamaktadır. İniş modunda ekvatordan ortalama geçiş zamanı 10:30 dur (± 5 dakika).

Algılayıcılar farklı tarama genişliklerinde veri toplamaktadırlar. LISS-III algılayıcısının tarama genişliği görünür bölge aralığında 141km iken (K.D.K.Ö.) bantta 148km dir.

PAN ve WiFS algılayıcılarının tarama genişlikleri sırasıyla 70km ve 810km dir. Her bir algılayıcının görüntü çerçeveleri arasındaki ileri ve yan bindirme ayrıntıları Çizelge 4.4’te verilmiştir. IRS 1C/D uydusu ile ilgili ayrıntılı bilgi Çizelge5.1’de bulunmaktadır.

Çizelge 4.4 IRS çerçeveleri arasındaki ileri ve yan bindirme miktarları

	Çözünürlük (m)	Tarama Genişliği (km)	Görüntü Boyutu (km×km)	İleri Bindirme (km)	Yan Bindirme (km)
LISS-III					
Görünür	23.5	141	141×141	7	23.5
K.D.K.Ö	70.5	148	141×148	7	30
PAN	5.8	70	70×70	2	~1(Opt)
WiFS	188.3	810	810×810	~80%	~80%

4.2 Modern Modelleme Yöntemleri

Özellikle son çeyrek yüzyıl içerisinde çeşitli mühendislik uygulamalarının yazılımlar aracılığı ile modellenmesi, simülasyonu, optimizasyonu (en-iyileme) ve ilerideki davranışlarının tahmin edilmesi amacıyla doğa olaylarının işleyiş ve davranış biçimlerinden esinlenerek çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında uzman sistemler olarak da adlandırılan “Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar” modelleme yöntemleri bulunmaktadır. Çalışmada, modelin kurulmasında YSA yöntemi kullanılmış olmasına karşın, diğer yapay zekâ yöntemlerinden olan bulanık mantık ve genetik algoritmalar hakkında da özet bilgi verilmesi uygun görülmüştür.

4.2.1 Bulanık Mantık

Lütfi A. Zadeh 1965’de “bulanık küme” fikrini sunduğu zaman, öncelikli amacı anlaşılabilir ve belirsiz bilginin temsil edilmesi ve yönetilmesi için biçimsel bir çatı kurmaktır. Veri ile birlikte olan belirsizlikleri dikkate alma olasılığının yanında, bulanık veri analizi, verinin doğasında bulunan bilginin şeffaf ve bilgi-tabanlı temsil edilmesinin öğrenilmesini sağlar (Höppner vd., 2000).

Gerçek dünyanın karmaşık olması genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyeiştten kaynaklanır. Her zaman, birçok teknik, ekonomik ve sosyal konu için insan düşüncesinin tam anlamı ile gelişmemiş oluşundan dolayı belirsizlikler bulunur. Kullanımda olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyememekte ve çalışmaları için sayısal bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. İnsanoğlunun yetersiz

sayılabilecek, eksik ve belirsizlikler içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, karmaşıklık ve belirsizlik içeren, tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar adı verilir.

Bulanık mantık, "ılık" veya "çok kirli" gibi bulanık kavramlar kullanarak, ne kadar çalışacağına veya ne kadar deterjan kullanması gerektiğine kendisi karar veren iklimlendirme, çamaşır makinesi ve benzeri cihazları tasarlayabilmeleri için mühendislere yardımcı olur.

İnsan düşünme tarzına yakın olması, yazılımın basit üretilebilmesi ve uygulandığının matematiksel modele ihtiyaç duymaması bulanık teorisinin avantajları arasında sayılabilir.

Tizhoosh (1997) görüntü bulanıklaştırma çeşitlerini aşağıdaki başlıklarda sıralamaktadır.

- Histogram-tabanlı gri-düzeysel bulanıklaştırması (veya kısaca histogram bulanıklaştırması) Örnek: görüntü zenginleştirme
- Bölgesel bulanıklaştırma (Örnek: kenar bulma (edge detection))
- Özellik bulanıklaştırma (Çerçeve analizi, obje tanıma)

Bulanık görüntü işleminin diğer bütün bulanık yaklaşımlarda olduğu gibi üç ana aşaması vardır;

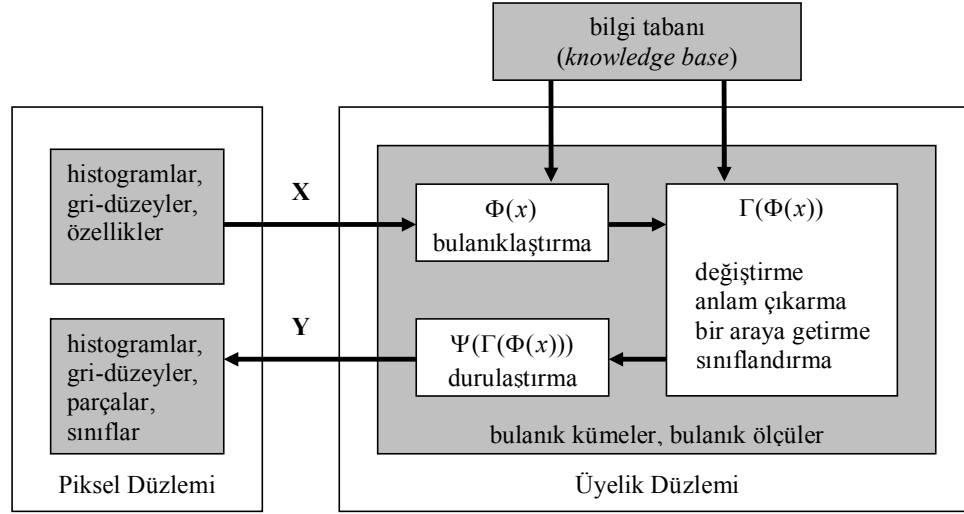
- görüntü bulanıklaştırma “ Φ ”
- üyelik değerleri üzerinde uygun bir işlem “ Γ ”
- eğer gerekliyse, görüntü durulaştırma “ Ψ ” (Şekil 4.4)

Sistemin bir girdisi olan “X” için “Y” çıktısı işlem zinciri tarafından verilmektedir.

$$Y = \Psi (\Gamma (\Phi (X)))$$

Bulanık mantıkla çalışan sistemin, görüntü işlemede kullanılan diğer yöntemlerle arasındaki ana fark “X” girdi verisidir (histogramlar, gri düzeyler, özellikler, ...). Bu “X” girdi verisi, bulanık mantığın önemli farklılığının kullanıldığı “üyelik düzleminde” işleme tabi tutulacaktır; üyelik değerlerinin değiştirilmesi/bir araya getirilmesi (modify/aggregate) için bulanık küme teorisi ve bulanık ölçü teorisi, verinin sınıflandırılması, veya bulanık çıkarımları kullanarak kararlar vermek. Yeni üyelik değerleri, yeni histogramların, değiştirilmiş gri-düzeylerin, görüntü parçalarının veya

nesne sınıflarının oluşturulması için gri-düzey düzlemine tekrar dönüştürülür.



Şekil 4.4 Bulanık görüntü işlemenin genel yapısı (Tizhoosh, 1997)

4.2.2 Genetik Algoritmalar

Yaklaşık son çeyrek yüzyılda kaydedilen çok önemli gelişmeler, 1950'li yıllardan sonra bilgisayarla yapılan sayısal hesaplamaların çok hızlı gelişmesinin sonucu olmuştur. Bu süreçte geliştirilen bazı yöntemler canlı organizmalarından esinlenerek üretilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritmalar (GA), canlı organizmaların işleyişlerinin matematiksel ifadelerle temsil edilmeye çalışılması ile ortaya çıkan yöntemlerdir.

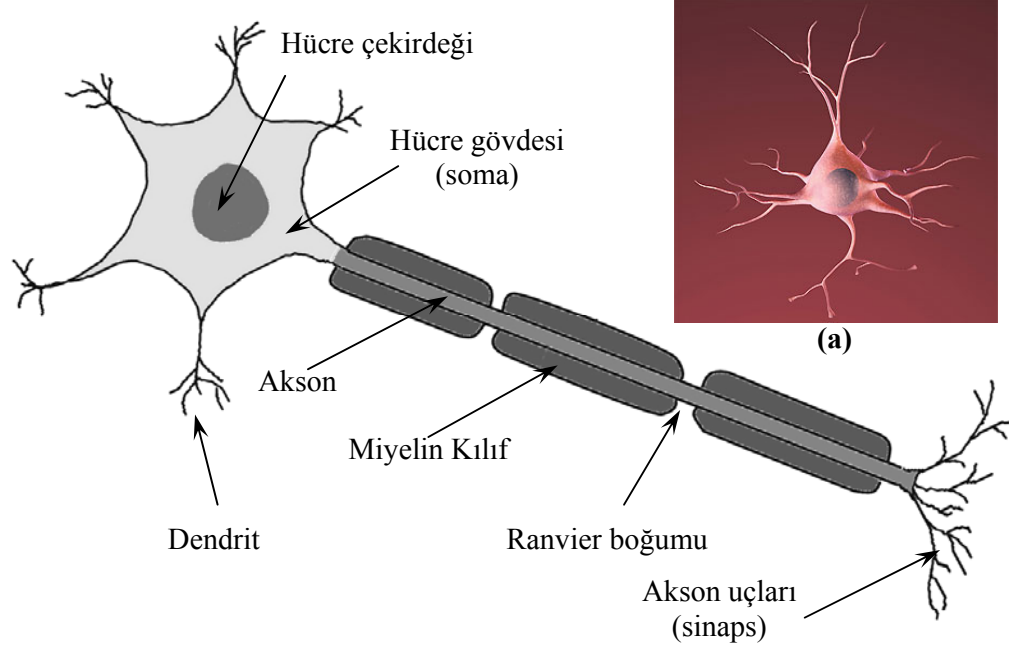
Genetik algoritmalarda parametreler kodlanarak kullanılırlar. Genelde kodlama biçimi bilgisayarların çalışma sistemiyle aynı olan ikili sayı sistemindedir. Buna karşın, bilgiler daha farklı sayı sistemlerinde de kodlanabilirler. Genetik algoritmalarda noktalar topluluğundan hareket edilmesi genel maksimuma ulaşmayı kolaylaştırmakta ve sistemin yerel maksimuma takılması önlenmektedir. Genetik algoritmalarda yöntemi belirli kabul ve şartlardan uzak tutan amaç fonksiyonu değerleri kullanılır. Genetik algoritmalar olasılık kurallarına dayanmaktadır.

4.2.3 Yapay Sinir Ağları

4.2.3.1 Merkezi Sinir Sistemi

YSA; gerçek sinir hücrelerinin modellenmesi olarak düşünülebilir. Bu nedenle gerçek

sinir hücrelerinin çalışma mantığını anlamak yararlı olacaktır. İnsan beyni, sinir sisteminin merkezini oluşturan temel yapıdır. Duyu organları vasıtasıyla bilgileri alır, işler ve bir sonuç kararı çıkartır. Çok karmaşık bir yapı olan insan beyninin çalışma mantığı hala tam olarak anlaşılamamıştır (Koca, 2006).



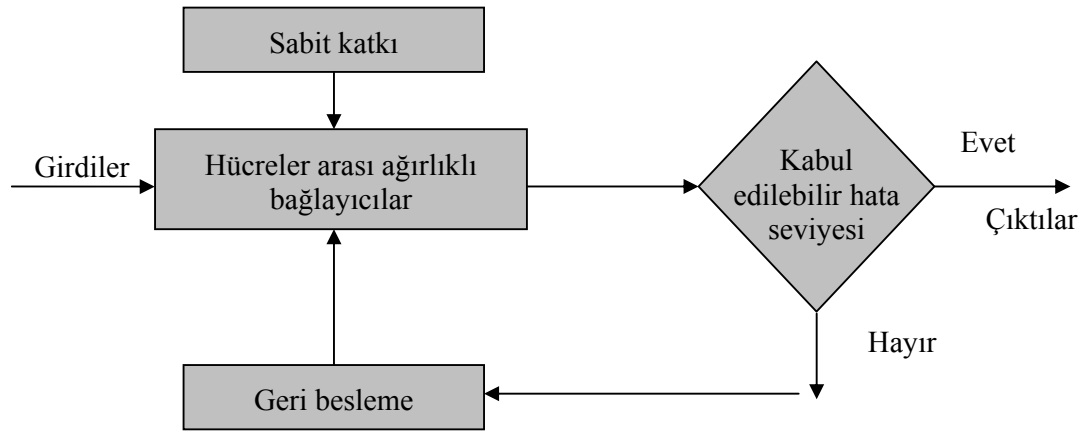
Şekil 4.5 Sinir hücresinin bölümleri[1] ve (a) Sağlıklı bir sinir hücresi

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. Başka hücrelerden gelen uyarılar dendritlerin uçlarından alınır ve aksonların uçlarından diğer hücelere 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, iki kutuplu nöron olarak adlandırılır. Nöron gövdesinden çok sayıda dendrit ve tek bir akson çıkıyorsa bu hücre çok kutuplu nöron adı verilir [1]. Akson, çekirdek tarafından bulunan sonucu diğer hücelere iletmek üzere sinapslara gönderen kısımdır. Sinir hücresinin bir başka hücre ile bağlantı kurduğu kısım olan Sinaps ise, diğer hücrenin dendriti ile birleşerek ve akson üzerinden gelen bilginin kimyasal yolla diğer hücelere

iletilmesini sağlar.

4.2.3.2 Yapay Sinir Ağları ve Özellikleri

Tez çalışmasında, modelleme için Yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. YSA yöntemi, uygulamada, girdi ve çıktılardan lineer olmayan ilişkiler kurabilen ve çok girdi ve çok çıktı sistemlerin kurulmasında daha efektif olduğu düşünülen bir yöntemdir. Diğer özelliklerinin yanında paralel çalışmasından dolayı bilgileri hızlı bir şekilde işleyebilmesi ve donanımının kolayca gerçekleştirilebilir olması YSA'yı başka yöntemlere göre daha cazip kılmaktadır.



Şekil 4.6 YSA genel yapısı

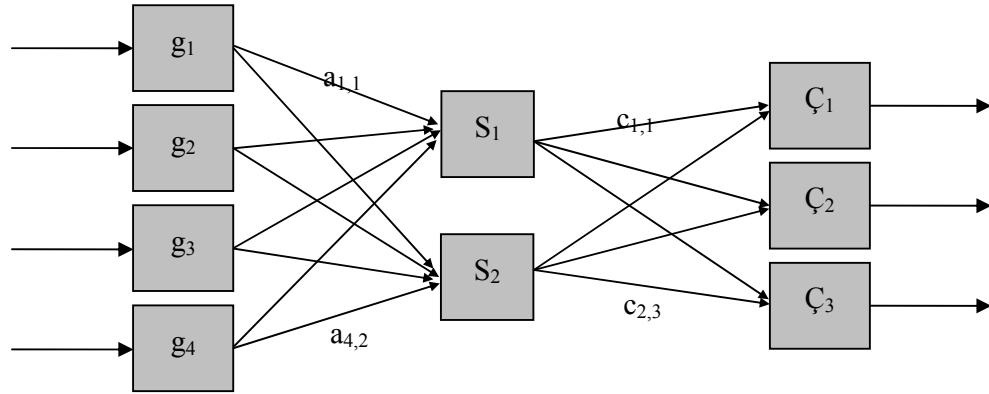
Bilgi işleme süreçleri olarak nitelendirebilecek olan YSA, verilen girdilere karşı çıktılar üreten ayrıntılı bir kara kutu modeli olarak da nitelendirilebilir. YSA sahip olduğu bazı özellikler bakımından birçok yöntemle göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu özelliklerden bazıları; paralellik, hata toleransı, öğrenilebilirlik ve gerçekleştirme kolaylığı olarak sıralanabilir.

YSA, olayların örneklerine bakmakta onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örneklerle karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yoluyla yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir.

YSA'da öğrenme, bağlantı ağırlıklarının yenilenmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

Öğrenme sonucu elde edilen bilgiler bağlantı ağırlıklarında saklanır. Bu sayede, elde edilen bilginin uzun süre saklanması mümkündür. Ayrıca, öğrenme yeteneği tam tanımlı olmayan problemlerin YSA'lar yardımıyla çözülmesine imkân sağlamaktadır.

Şekil 4.6'da YSA'nın genel yapısı gösterilmiştir. Burada, ilk hesaplamalarda elde edilen çıktılar, beklenen çıktılar ile kıyaslandıktan sonra birbirlerine kabul edilebilir hata sınırları içinde bir yaklaşıklık gösterdiği zaman YSA'nın eğitilmesine son verilir. Aksi takdirde eğitime devam edilir. Böylece, eğitime ve öğretme ile idare edilebilen bir ağ akışı söz konusudur.



Şekil 4.7 Temel YSA mimarisi

Çizelge 4.5 İstatistik ve YSA arasındaki benzer yönler

İstatistik	YSA
Model	Ağ
Tahmin	Öğrenme
Regresyon	Kontrollü Öğrenme
Enterpolasyon	Genelleme
Gözlemler	Eğitme Kümesi
Parametreler	Sinaptik Ağırlıklar
Bağımsız Değişkenler	Girdiler
Bağımlı Değişkenler	Çıktılar

YSA'larda bilgi işlemede ard arda gelen en azından üç tabaka bulunmaktadır. Bunlar; dış ortamdan bilgileri algılama tabakası ki buna giriş tabakası adı verilir, bilgileri işleme tabakası ki bu ortada bulunur ve nihayet bilgileri YSA ortamından dışarıya veren çıkış tabakasıdır. Her bir tabakada da paralel olarak çalışan hücreler vardır (Şekil 4.7). Burada girdiler "G", çıktılar "Ç" ve bunları birbirine bağlayan gerekli sayıdaki bağların

ağırlık değerleri de “a” ve “c” ile gösterilmiştir. Her YSA matematikte genel olarak bir fonksiyona karşı gelebileceğinden, girdi değişkenlerine hiçbir şeyden etkilenmediklerini belirtmek için “bağımsız değişkenler”, çıktılar ise mutlaka girdilere dayandıklarından “bağımlı değişkenler” ve son olarak da bağların her birine bu iki değişkeni birbirine bağlayan “matematik ifadenin ağırlıkları” (sabitleri, parametreleri) olarak bakabiliriz.

Son yıllarda, YSA’lar çizgisel olmayan haritalama, kendi kendini düzenleme ve kendi kendine öğrenme konularındaki güçlü kabiliyetlerinden dolayı, uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında geniş bir biçimde uygulanmaktadır (Zhang vd., 2008). Bu araştırmalarında geliştirilen YSA mimari yapıları ve öğrenme algoritmalarıyla ilgili ortaya çıkan bazı yeni kavramlar, istatistik alanında karşılıkları olmasına rağmen YSA ile çalışan bilim insanları tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. İstatistik alanında kullanılan kavramların karşılığı olarak kullanılan YSA kavramları Çizelge 4.5’te verilmektedir.

4.2.3.2.1 Nöron (İşlemci Eleman)

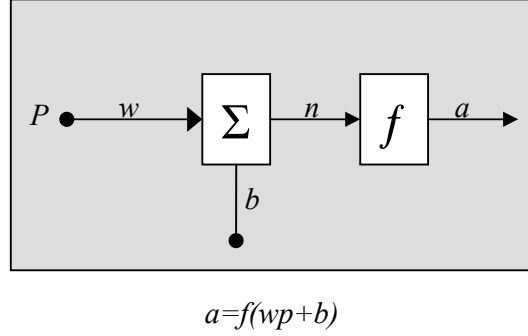
YSA’nın temel işlemci elemanı olan yapay nöronlar, ismini aldıkları biyolojik nöronlardan oldukça farklı olup beynin karmaşıklığına yaklaşamamaktadır. Bununla beraber biyolojik ve yapay nöral ağları arasında iki önemli anahtar benzerlik vardır. Birincisi, her iki ağın inşa edilen blokları (YSA beyinden çok daha basit olmasına rağmen) birbiriyle bağlantılı olan basit işlemsel elemanlardan oluşur. İkincisi, nöronlar arasındaki bağlantılar ağın fonksiyonunu belirler. Biyolojik nöronlar elektrik devrelerinden daha yavaş olmalarına rağmen (10^{-3} e karşı 10^{-9} sn), beyin birçok görevi konvansiyonel bilgisayarlardan çok daha hızlı yapabilmektedir. Bu özellikle biyolojik ağların bütünüyle paralel yapısından kaynaklanmaktadır. Bu yapı içinde bütün nöronlar aynı zamanda çalışmaktadır. YSA da bu paralel yapıyı taşımaktadır. Çizelge 4.6’da matematiksel nöral yapının biyolojik nöral yapıyla olan benzeşimi verilmektedir (Özkan, 2001).

Çizelge 4.6 Biyolojik sinir sistemi ve YSA sistemi arasındaki benzerlikler

Sinir Sistemi	YSA Sistemi
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

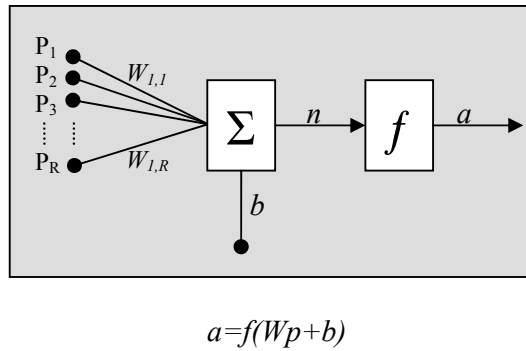
Basit bir yapay nöron, bir ya da birden çok skaler girişe ve bir çıkışa sahip olan bir

hesaplama elemanıdır. Şekil 4.8’de gösterilen nöron modelinde, “p” nöronun girişi olan skaler değeri, “w” p girişi ile nöron arasındaki ağırlık değerini, “b” nöronun bias değerini, “f” transfer fonksiyonunu, “a” nöronun çıkışını belirtmektedir.



Şekil 4.8 Tek girdili nöron modeli

“p” girişi önce “w” ağırlığı ile çarpıldıktan sonra, “b” bias değeri ile toplanır ve transfer fonksiyonundan geçirilerek “a” çıkışı hesaplanır. Bias özel bir işlem elemanıdır. Bir geri-yayılma ağında bias girdilerinin hedefi, öğrenmenin daha iyi olması için aktivasyon fonksiyonunun orijininin dengeye getirilmesini sağlamaktır. Transfer fonksiyonu doğrusal ya da doğrusal olmayan türevlenebilir bir fonksiyondur. İşte bu basit nöron modelinde, giriş ile çıkış arasında basit bir matematiksel bağıntı kurulmuştur. Fakat nöronun arzu edilen çıkışı verebilmesi için “w” ve “b” ağırlık değerlerinin optimum olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 4.9 Çok girdili nöron modeli

Çok girdili nöron modelinde aktivasyon fonksiyonuna girecek olan ağırlıklandırılmış kümülatif nöron değeri aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir,

$$n=w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \dots + w_{1,R}p_R + b \quad (4.1)$$

$$=W_P+b$$

4.2.3.2.2 Aktivasyon Fonksiyonu

İletim birimi içerisinde, YSA'nın temel hesaplama işlemlerini yapan aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu, YSA'nın temel işlevinin yapıldığı yerdir. Genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu net çıkış değerini (hücre sonuç değerini) hesaplar. YSA'larda kullanılmak üzere birçok aktivasyon fonksiyonu geliştirilmiştir (Koca, 2006). En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çalışmada modelin kurulması aşamasında aktivasyon fonksiyonu olarak, YSA uygulamalarında en çok kullanılan fonksiyonlarından biri olan “Sigmoid” fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 Aktivasyon fonksiyonları

Fonksiyon	Grafik	Denklem
Keskin Sınırlayıcı		$f(n) = \begin{cases} x < 0 \Rightarrow 0 \\ x \geq 0 \Rightarrow 1 \end{cases}$
Log-Sigmoid		$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$
Doğrusal		$f(n) = n$
Tan-Sigmoid		$f(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1$

Keskin-sınırlayıcı (hard-limit) transfer fonksiyonunun grafiği Çizelge 4.7'de verilmiştir. Burada, “n” fonksiyonun girişi, “a” ise çıkışıdır: $a=f(n)$. Bu fonksiyonda, giriş değeri 0'dan büyükse çıkış değeri “1” olmakta, giriş değeri 0'dan küçükse çıkış değeri “0” (sıfır) olmaktadır. Genellikle sınıflandırma uygulamalarında kullanılmaktadır. Log-Sigmoid fonksiyonu, doğrusal olmayan logaritmik bir

fonksiyondur. Giriş değerleri hangi aralıkta olursa olsun, çıkış “0” ile “1” arasında olmaktadır. Türevlenebilir olduğu için geri yayılım algoritmaları ile kullanılabilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. Tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonu (Tan-Sigmoid) da birçok uygulamada kullanılmaktadır. Doğrusal transfer fonksiyonunda ise, giriş hiçbir değişikliğe uğramadan, aynı şekilde çıkmaktadır. Bu tür fonksiyonlar süzgeç problemlerinde kullanılmaktadır.

YSA, aktivasyon fonksiyonu kullanmaksızın perseptron ağlarında olduğu gibi kompleks problemlere (lineer olmayan) istenen yakınsamayı sağlayacak güçte bir algoritma olamamaktadır. Eğer kullanılan aktivasyon fonksiyonu lineer olursa, ağın işlemsel yapısı da lineer özellik gösterir. Genellikle MLP yapılarında logaritmik sigmoidal veya tanjant hiperbolik ve RBF yapılarında ise Gauss fonksiyonları kullanılmaktadır. Sigmoidal fonksiyon sadece pozitif değerler üretirken, tanjant hiperbolik hem pozitif hem de negatif değerler üretir. Bu nümerik şartlanmadan dolayı tanjant hiperbolik fonksiyonların daha hızlı yakınsama eğilimi vardır. Çıkış katmanında ağ çıkış verisi eğer binari yapıda olursa (0/1) logaritmik sigmoidal fonksiyonun kullanımı daha avantajlı olabilirken, 1/C kodlama durumunda ise sigmoidal fonksiyonun değişik bir formu olan “softmax” fonksiyonu daha etkin olabilir. “Softmax” fonksiyonunda amaç, çıkışların toplamını bire eşitlemektir. Böylece YSA çıkışları sınıflandırma problemlerinde aposteriori olasılıklar olarak yorumlanabilir. Radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonlarında çıkış değerleri, girişler merkezden uzaklaştıkça monotonik olarak değişir. Bu değişim, Gauss fonksiyonunda girişler merkezden uzaklaştıkça çıkışların azalmasıyla olurken, multi-kuadratik fonksiyonda artmasıyla oluşur. Hangi fonksiyonun kullanılacağı YSA’nın çözmeye çalışacağı problemin şartlarına bağlıdır ve etkin bir şekilde deneme yanılma yoluyla tespit edilebilir (Özkan, 2001).

4.2.3.3 Yapılarına Göre YSA Türleri

Yapay sinir ağları, yapılarına göre geri beslemeli ve ileri beslemeli ağlar olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır.

4.2.3.3.1 Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli YSA’larda, bir hücrenin çıktısı önceki katman ya da katmanlardaki hücrelere girdi olarak gidebilmekte ve böylece, girişler hem ileri yönde, hem de geri yönde aktarılmış olmaktadır. Aynı zamanda aynı katmandaki hücreler birbirleri ile de bağlantı oluşturabilir. Bu yüzden geri beslemeli ağlar, yapılış şekline göre farklılıklar

gösterebilir. Ağ, dairesel bir sistem oluşturduğu için, sonuca ulaşma zamanı ileri beslemeli ağa göre daha uzun olabilir. Bu ağlara örnek olarak Hopfield ağları verilebilir.

4.2.3.3.2 İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar genellikle katmanlara ayrılmıştır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İşlemci elemanlar bir katmandan diğer bir katmana bağlanırken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmamaktadır. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perseptron-MLP), LVQ (Learning Vector Quantization), CMAC (Cerebellar Model Articulation Control) ağları ve GMDH (Group Method of Data Handling) ağları verilebilir. İleri beslemeli ağlar doğal olarak giriş uzayı ile çıkış uzayı arasında statik bir projeksiyon icra ederler. Verilen bir andaki çıkış, sadece o andaki girişin bir fonksiyonudur. Ağ, statik yapılı bir hafızaya sahiptir, diğer bir ifade ile herhangi bir andaki ağ çıkış değerleri sadece o andaki giriş verilerinin bir fonksiyonudur. Lee ve Jeng (1998), sonlu uzunluktaki veri kümelerinde fonksiyon yaklaştırma problemi için ileri beslemeli ağların uygulanmasının çok elverişli olduğunu ve yinelenen YSA'nın sonsuz uzunluktaki veri kümelerine uygulanmasının daha uygun olduğunu bildirmiştir.

4.2.3.4 YSA'larda Öğrenme Algoritmaları

YSA'nın en önemli özelliklerden biri insan beyni gibi eğitilip öğrenmesidir. Ağın öğrenmesinden kasıt, ağın bir problemin sonucunu bulmak için, hücrelerin birbirleri ile yaptığı bağlantı ağırlıklarının hesaplanmasından başka bir şey değildir. İnsan beyni bir olayı öğrenirken, ya örnek sonuç veri kümesinden faydalanır ya da örnek veri kümesi olmadan kendi kendine eldeki verilerden çıkarımlar yaparak öğrenir. Her iki öğrenme türü de YSA ile tasarlanmıştır. Örnek bir sonuç veri kümesi kullanılarak yapılan öğrenme tipine “kontrollü (supervised) eğitime”, ağın veri kümesini analiz ederek bağlantıları ve sonuçları çıkarım yaptığı eğitim tipine ise “kontROLSÜZ (unsupervised) eğitim” denir. Bunların dışında takviyeli eğitim olarak adlandırılan bir eğitim yöntemi de vardır (Koca, 2006).

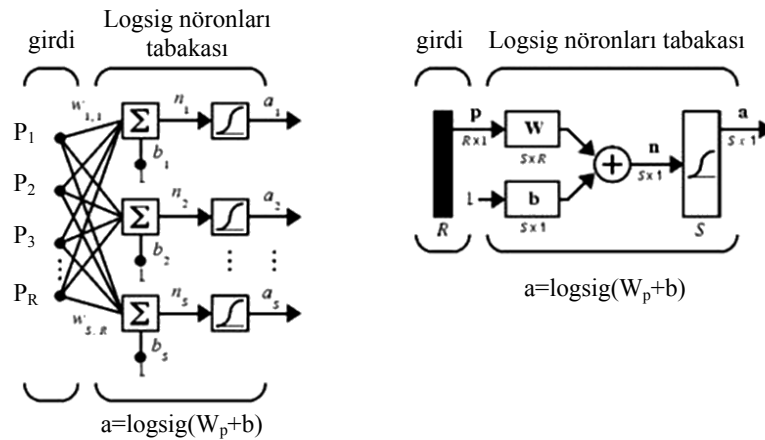
- **Kontrollü Öğrenme:** Ağ girilen girdilerin sonuç bilgisi ilk başta verilir. Ağ, hangi sonuca ulaşması gerektiğini bilir, ve her bir öğrenme sürecinde kendi bulduğu sonuç ile olması gereken sonuç arasında hatayı hesaplar. Bir sonraki öğrenmede bu hata bilgisini de kullanarak bağlantı ağırlıklarını en uygun sonucu verecek şekilde

günceller.

- **KontROLSÜZ ÖĞRENME:** Ağa girdilerin sonuç bilgisi verilmez. Ağ girdileri kendisinin gruplayacağı bir ölçüt geliştirir. Bu tip ağlara kendi kendine öğrenen ağlar denir. En çok kullanım alanlarından eksik veriyi bütüne tamamlamada kullanılır. Tablo 3’de bu çeşit bir öğrenme tipi kullanan geri beslemeli bir ağ olan Hopfield ağı ile eksik görüntü, tam görüntüye tamamlanabilmektedir.
- **TAKVİYELİ ÖĞRENME:** Bazı kaynaklarda kontrollü eğitimden farklı yeni bir eğitim türü olarak ele alınmıştır. Destekli eğitim, kontrollü eğitim gibidir, fakat tek farkı ağa sonuç bilgisi yerine, ağın ürettiği sonucun doğru ya da yanlış olduğu bilgisi verilir.

4.2.3.5 Çok Katmanlı Perseptron

Yapay sinir ağlarında çok çeşitli ağ yapıları ve modelleri vardır. En çok kullanılan ağ yapılarından birisi olan Çok Katmanlı Perseptron(Multi Layer Perceptron)’da bilginin akışı ileri yönlüdür. Öğrenme ve eğitime algoritması olarak genelde türeve dayalı geriye yayılım (back propagation) algoritmaları tercih edilir. Burada, Şekil 4.10’da da görüleceği üzere nöronlar katmanlar şeklinde organize edilmiştir. Her bir katmanda en az bir nöron bulunur. Bir önceki katmandaki tüm nöronlar bir sonraki katmandaki nöronlara bağlantı içermektedir. Bu şekilde arzu edildiği kadar katman oluşturulabilir. Şekil 4.10’da, katman transfer fonksiyonu logsig olan bir perseptron katmanı görülmektedir. Burada, girdi vektöründeki eleman sayısı “R”, katmandaki nöron sayısı da “S” olarak verilmiştir.



Şekil 4.10 Katman transfer fonksiyonu logsig olan bir perseptron katmanı

5. UYGULAMA

5.1 Giriş

Uydu görüntüsü sınıflandırma çalışmalarında, işleme sokulan bantların sayısı ve duyarlı oldukları spektral aralık, sınıflandırma sonucunu doğrudan etkileyeceği için büyük öneme sahiptir. Sınıflandırmaya dâhil edilecek her bir yeni bant, yeryüzündeki objelerle ilgili farklı yansıtım değerleri içeren, objelerin birbirlerinden ayırt edilmesini kolaylaştırılacak yeni bir veri kaynağıdır. Yapılan çalışma sonucunda; kullanılacak çok-bantlı uydu görüntüsünde mevcut olmayan “*sentetik yeni bir bant (veya bantlar)*” üretilmesi hedeflenmiştir.

Uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan, şu anda kullanımda olan, veya önceki tarihlerde büyük miktarda veri toplayıp kullanım ömrünü tamamlamış birçok uyduda birbirleri ile özdeş, ya da yakın algılama aralıklarına sahip bantlar bulunmaktadır. Belirli spektral aralıklara bazı uydular duyarlı iken, bazı uydular duyarlı değildir (Çizelge 5.1). Bu çalışmada, bir uydunun spektral bant zenginliğinin, kendisinde bulunmayan fakat diğer uydu ya da uydularda bulunan bantların yapay sinir ağları yöntemi ile modellenmesi ile artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, sahip olduğu spektral algılama aralığı zenginliği ve verilerine ulaşabilmenin diğer uydulara göre daha rahat olduğu düşünülen, LANDSAT uydusu görüntüleri üzerinde çalışılması düşünülmüştür. LANDSAT uydusu görüntüleri, görünür bölgenin tamamı ile birlikte yakın kızılötesi, orta dalga kızılötesi ve termal kızıl ötesine duyarlı bantlara sahiptir. Örneğin, ASTER/TERRA uydusu görüntüleri çok daha geniş bir spektral algılama aralığına sahip olmasına karşın, LANDSAT uydusunun duyarlı olduğu görünür bölgenin “mavi” kısmına karşılık gelen 0.45-0.52 μm aralığına duyarlı değildir. Bu bilgiler ışığında, LANDSAT uydusu bantları arasındaki korelasyon incelenmiş ve çalışmada LANDSAT uydusu verileri kullanılarak, ASTER/TERRA, SPOT ve IRS uyduları gibi uyduların sahip olmadığı 0.45-0.52 μm aralığının modellenmesi için çalışmalara başlanmıştır. Bu uydulara örnek olarak ASTER/TERRA uydusuna ait test verisinin kurulan modelde işleme sokulması sonucunda, bu test verisi, kendisinde mevcut bulunmayan 0.45-0.52 μm algılama aralığında sentetik yeni bir banta sahip olmuş ve bu sayede “gerçek renkli görüntü” birçok uygulama için yeterli doğrulukla elde edilebilmiştir.

Çizelge 5.1 Uzaktan algılamada kullanılan bazı uydular ve özellikleri

Uydu	Algılayıcı	Ayırma gücü			Tarama genişliği (km)	Tekrar geçiş (gün)
		Spektral (S=Stereo)	Konum-sal(m)	Radyo-metrik		
ALOS	PALSAR	HH;W/H H+HV,W+VH L-Bant 1270 MHz,23.6 cm.	10m-100m	3 bit 5 bit	20-350	
BİLSAT	PAN	Pan:0.538-0.700(S)	12		25	
	Multi	Görünür:0.45-0.52,0.52-0.60,0.63-0.69 YKÖ:0.77-0.9	26	8 bit	55	
ENVISAT	ASAR MERIS	C-bant HH veya VV 15 spektral bant	12.5-75 300m	3 bit 8 bit	54-400	3
EROS A1	PAN	0.5-0.9(S)	1.8/0.9	11 bit	12.5/6	1.8-4
EO-1	ALI	Pan:0.48-0.69 Multi:0.433-0.453,0.45-0.515,0.525-0.605,0.63-0.6 0.775-0.805,0.845-0.89,1.2-1.3,1.55-1.75,2.08-2.3	10 30	12 bit	37-185	
EO-1	HYPERION	220 spektral bant(0.4-2.5µm arası hiper-spektral)	30	12 bit	7.5	
IKONOS 2	SAR	L-HH(1.275 Ghz)	18	3 bit	75	44
	PAN	0.45-0.90(S)	1	11 bit	11	3.5-5
	Multi	YKÖ:0.45-0.53,0.52-0.61,0.64-0.72,0.77-.88(S)	4	11 bit	11	3.5-5
IRS 1C/D	PAN	0.5-0.75(S)	5.8	6 bit	70.5	
	LISS-III	YKÖ:0.52-0.59,0.62-0.68,0.77-0.86	23	7 bit	141	
	LISS-III	KDKÖ:1.55-1.7	70	7 bit	141	24
	WIFS	0.62-0.68,0.77-0.86	188	7 bit	812	
JERS	OPS	YKÖ:0.52-0.60,0.63-0.69,0.76-0.86(S)	18		75	44
	OPS	KDKÖ:1.60-1.71,2.01-2.12,2.13-2.25,2.27-2.40	18	6 bit		
LANDSAT 1/2/3	MSS	YKÖ:0.5-0.6,0.6-0.7,0.7-0.8,0.8-0.11	80	8 bit	185	18
LANDSAT 4/5	TM	YKÖ:0.45-0.52,0.52-0.60,0.63-0.69,0.76-0.90	30			
	TM	KDKÖ:1.55-1.75,2.08-2.35	30	8 bit	185	16
	TM	TIR:10.42-12.5	120			
LANDSAT 7	PAN	0.52-0.9	15			
	ETM	YKÖ ve KDKÖ Landsat 5 ile aynı	30	8 bit	185	16
	ETM	TIR:10.42-12.5	60			
ORBVUE	PAN	0.45-0.90	1		8	3
	Multi	YKÖ:0.45-0.52,0.52-0.60,0.62-0.695,0.76-0.9(S)	4	11 bit	8	
QUICKBIRD	PAN Multi	0.445-0.900(S) YKÖ:0.45-0.52,0.52-0.60,0.63-0.69,0.76-0.89(S)	.61- .73 2.5-2.9	11 bit	16.5	3.5
SeaStar	SeaWifs	Görünür:0.402-0.422,0.433-0.453,0.480-.500, 0.545-0.565,0.660-0.680,0.745-0.785,0.845-0.885	4500 1100	10 bit	15020	1
SPIN 2 ve Mekikler	MK-4	Görünür:0.515-0.565,0.635-0.690,0.810-0.900	15,8,15		150	8
	KVR-1000/DK1	Pan:0.49-0.59	2-1		40	-
	TK-350	Topografik Kamera:0.49-0.59(S)	10		200	-
SPOT 1/2/3	HRV-PAN HRV	0.51-0.73(S) YKÖ: 050-0.59, 061-0.68, 0.79-0.89	10 20	8 bit	60	1-4(26)
SPOT4	HRV-PAN	0.61-0.68(s)	10	8 bit	60	1-4(26)
	HRVIR	YKÖ: 050-0.59, 061-0.68, 0.79-0.89	20	8 bit	60	1-4(26)
	HRVIR	KDKÖ: 1.58-1.75	20	8 bit	60	1-4(26)
	Vegetation	0.43-0.47,0.61-0.68,0.78-0.89,1.58-1.75	100	4/8 bit	2200	1
SPOT5	HRS-PAN	0.49-0.69(S)	10	8 bit	120	1-4(26)
	HRG-PAN	0.49-0.69(S)	2.5-5	8 bit	60	1-4(26)
	HRG	YKÖ:0.49-0.61,0.61-0.68, 0.78-0.89(S)	10	8 bit	60	1-4(26)
	HRG	KDKÖ:1.58-1.75	20	8 bit	60	1-4(26)
	Vegetation	0.43-0.47,0.61-0.68, 0.78-0.89,1.58-1.75	1000	4/8 bit	2250	1
TERRA	MODIS	2 spektral bant 5 spektral bant 29 spektral bant	250 500 1000	8 bit	2330	1-2

5.2 Renkli ve Çok-Bantlı Görüntü İşleme

Çok-bantlı uydu görüntülerinin spektral bant aralıklarının modellenerek zenginleştirilmesini konu edinen Tez çalışmasında, insan görme sistemi ve bilgisayar, televizyon gibi aygıtlarda oluşturulan renk kavramı hakkında bilgi vermenin faydalı ve gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu alt başlık altında verilen bilgiler ve şekiller, aksi atf yapılmadıkça Castleman, K.R. (1996)'dan yararlanılarak yapılmıştır.

İki boyutlu sayısal görüntüler iki uzaysal değişkenin bir fonksiyonu olan bir gri seviyeye sahipleriymiş gibi düşünülebilirler. Buradan üç boyutlulara doğru bir genelleme yapılacak olursa, iki uzaysal değişkenin fonksiyonu olan bir gri seviyeye ve bir spektral değişkene sahip görüntü sonucuna varırız. Bunlar da çok-bantlı görüntüler olarak adlandırılırlar. Spektral örneklemenin üç bant ile sınırlı kaldığı durumlarda bu üç bant insan görsel sisteminin cevap verdiği kırmızı, yeşil ve mavi spektral bantlar olacaktır ki, bu süreç renkli görüntü işleme olarak tanımlanmaktadır.

Üç boyutlu bir görüntü sadece optik bir görüntünün iki uzaysal koordinatının örneklenmesi ile değil, aynı zamanda ışığın her noktadaki dalga boyu spektrumu ile de şekillendirilebilir. Böylece, her piksel üzerine düşen toplam ışık yoğunluğunu sayısallaştırmak yerine, o aydınlanmanın elektromanyetik spektrumdaki yerinin örneklenip sayısallaştırılması mümkün olur. Bu iki uzaysal değişkenin bir fonksiyonu olan gri seviye ile birlikte üçüncü değişkeni optik dalga boyu olan üç boyutlu bir görüntü teşkil eder.

Bu tip görüntülerin işlenmesi ile ilgilenen disiplin yaygın olarak çok-bantlı görüntü analizi olarak adlandırılmaktadır. Sonuçta elde edilen görüntüler ise çoklu-sayısal (multidigital) görüntüler olarak tanımlanırlar. Genellikle her biri orijinal görüntünün dar bir spektral bantta sayısallaştırılmış halinden elde edilen iki boyutlu sayısal görüntüler serisi olarak düzenlenirler.

5.2.1 Çok-Bantlı Görüntü Analizi

Çok-bantlı analiz için harcanan en büyük gayret belki de uzaktan algılama alanında olmuştur. Dünya yüzeyinde ilgilenilen bölgenin üzerinde uçan uçak ya da uzay araçları tarafından elde edilen çok-bantlı görüntüler her bir pikseli dar bant ışık ölçüm cihazlarından oluşan bir seri tarafından algılanmaktadır. Böylece, görüntü çoklu-değerli (multivalued) piksellerle sayısallaştırılır. Yaygın olarak yirmi dört ya da daha fazla spektral kanal kullanılmaktadır. Sonuç görüntüsü ise 24'lük bir küme ya da iki boyutlu

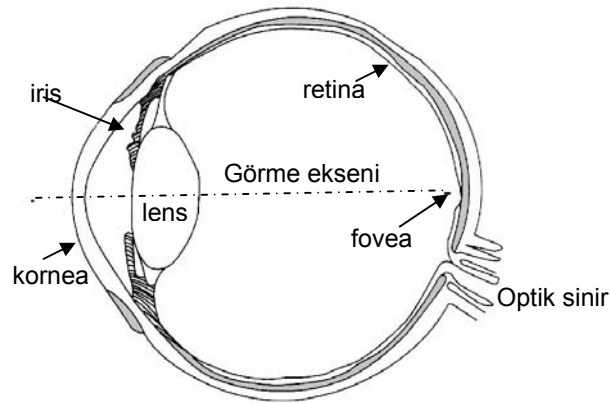
sayısal görüntüler olarak işlenmektedir. Her iki boyutlu görüntü, nesneyi dar bantlı bir optik filtrede görüldüğü gibi göstermektedir. Çok-bantlı analiz tarafından konu edilen spektral aralık, spektrumun görünür bölgesi ile sınırlandırılmak zorunda değildir. Yaygın olarak ilgilenilen alan kızıl-ötesinden görünür spektruma, oradan da morötesine dek yayılmaktadır.

Çok-bantlı analizin hatırı sayılır bir kısmını oluşturan sınıflandırma sürecinde, görüntü su, tarım alanı, ormanlar, mesken ve endüstriyel alanlar gibi farklı yüzey tiplerine karşılık gelecek şekilde bölümlere ayrılır. Herbir çoklu-değerli piksel, uzaysal yoğunluk ölçümleri kümesini kullanan yüzey tipine göre sınıflandırılır. Genellikle çıkarma ya da oran oluşturma gibi cebirsel işlemler yüzey farklarını arttırmak için görüntü kümelerinin üzerinde yapılır. Herhangi bir özel spektral aralıkta alınan obje, aydınlanma etkileri yüzünden gölgeleme sıkıntısı yaşayabileceğinden, oransal görüntüler yüzey özelliklerini daha güvenilir bir şekilde gösterebilmektedir.

5.2.2 Renkli Görüntü İşleme

5.2.2.1 Renkli Görme

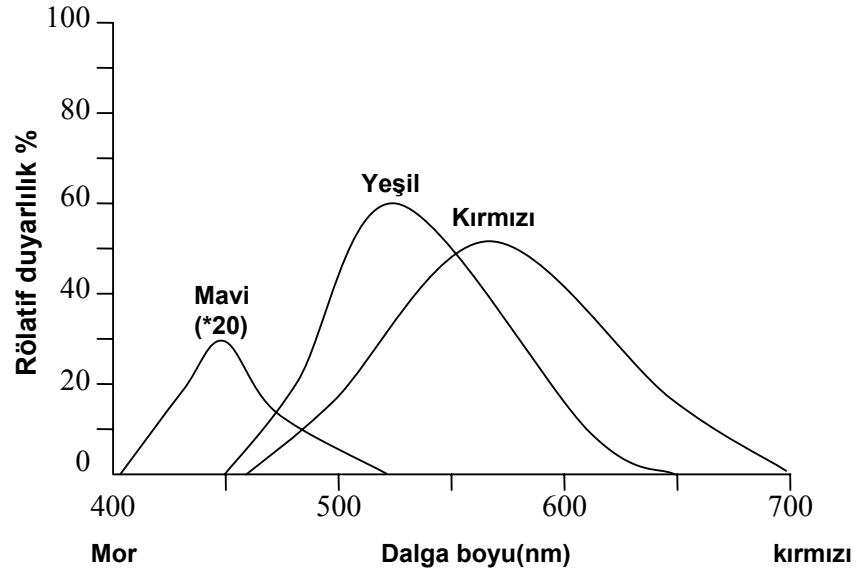
Çok-bantlı görüntülemenin en bilinen şekli normal renkli görüştür. İnsan gözünün retinası foto reseptör hücrelerle kaplanmıştır (Şekil 5.1) ve bunlar işlev olarak bir CCD çipinin üzerindeki alıcı noktalarla (pikseller) benzeşmektedirler. Foto reseptör hücreler lens ve kornea tarafından retina üzerine odaklanan görüntüden ışığı soğururlar. Sinir impulsu üreterek, optik sinir içerisinde yer alan yaklaşık bir milyon lif üzerinden beyine gönderirler. Bu sinir impulsunun frekansı, oluşan ışığın parlaklığını kodlar.



Şekil 5.1 İnsan gözü (sağ göz, yukarıdan)

Foto reseptör hücreler fiziksel şekillerine göre çubuksu (rod) ve konik (cone) olarak iki farklı türün karışımıdır. Çubuksu hücreler çok daha fazla hassastırlar ve çok hafif-duyarlı, monokromatik gece görüşü sağlarlar. Konikler ise renkli görüntü sunmakla beraber bunu ancak daha yüksek ışık seviyelerinde yapabilirler.

Konikler üç farklı biçimde oluşurlar ve bu farklı halleri başta fotokimya olmak üzere ışığı sinir uyarısına çevirmekte kullanılırlar. Konikler elektromanyetik spektrumun görünür kısmını kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç kısma bölerler. Bu yüzden bu üç renk insan görüşünde ana renkler olarak tanımlanmışlardır. Şekil 5.2’de insan gözünün kırmızı, yeşil ve mavi ışığa duyarlılığı gösterilmektedir.



Şekil 5.2 İnsan gözünün kırmızı, yeşil ve mavi ışığa duyarlılığı (Mather, 2001)

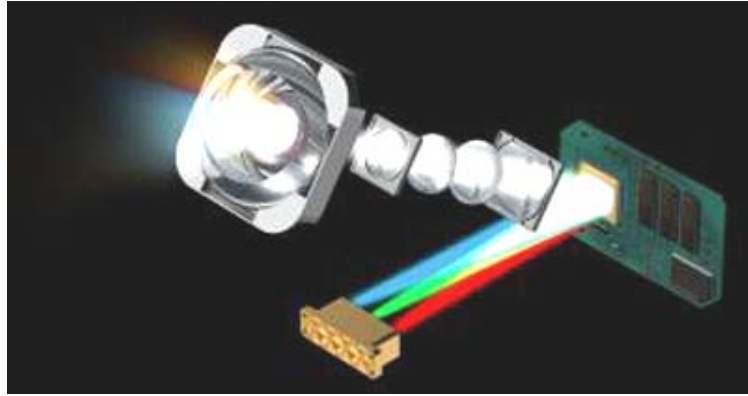
Işığa karşı foto-reseptör hücreler tarafından üretilen sinir impulsları, bir çift kutuplu hücre katmanından ve bir de sinir düğümü katmanından geçerler. Yapay sinir ağları bu retinasal hücrelerin mimarisi ve işleyişi sonrası modellenmiştir. Optik sinirde yer alan milyon tane sinir uyarılarını ileten lif yada sinir düğümü hücreleri, görüntü verisini beyne iletmektedirler.

5.2.2.2 Üç-renkli Görüntüleme

İnsan görsel sisteminin doğası gereği, özellikle televizyon kameraları, sayısallaştırıcılar, ekranlar ve yazıcılar gibi elektronik görüntüleme ürünlerinin çoğunluğuna dair gelişim gayret ve masrafları üç-renkli sistemlere harcanmıştır. Üç-renkli görüntülemeye örnek sadece renkli görüntü zenginleştirme değildir. Nicel renkli görüntü analizi de

çoğunlukla üç-renkli donanım ile yapılmakta böylelikle daha yüksek hacimlerde ve nispeten daha düşük maliyetle elde edilmektedir.

Üç-renkli görüntüleme sistemlerine en yaygın örnek olarak renkli fotoğraf ve renkli televizyon verilebilir. Her iki durumda da görünür spektrum kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere üç banta bölünerek insan gözü tarafından kullanılan sayısal spektruma yaklaştırılır. Renkli fotoğrafta, üç adet üst üste konulmuş fotoğrafik emülsiyon üzerinde farklı görüntüler meydana getirilir. Renkli televizyonda, biri kırmızının, diğeri yeşilin bir diğeri de mavi optik filtrenin arkasına yerleştirilmek üzere üç adet farklı görüntü algılayıcısı kullanılır (Şekil 5.3). Görüntüleme amacı ile kırmızı, yeşil ve mavi görüntüler ister renkli yazıcıda ister renkli ekranda üst üste bindirilir. Bu örtüşme retina üzerinde orijinal manzara ile hemen hemen aynı etkiyi üretecek böylelikle normal(gerçek renkleri ile) görünecektir.



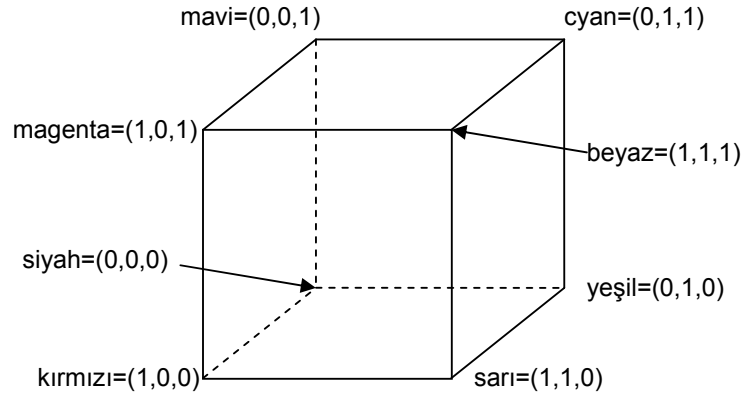
Şekil 5.3 Ekranda renkli görüntünün oluşumu

Bir sayısal üç-renkli görüntü üç koordinatın (iki uzaysal, bir spektral) skaler bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, genellikle her pikselde üç gri seviyesi (kırmızı, yeşil, mavi) olan sıradan (iki boyutlu) bir görüntüymüş gibi algılanması daha uygundur. Diğer bağlamlarda onu üç monokrom sayısal görüntünün örtüştürülmüş hali gibi kabul etmek daha faydalı olacaktır.

5.2.2.3 Renk Belirleme

KYM (RGB) Formatı: Örneğin renkli bir sayısal görüntüdeki pikselin rengi gibi bir rengi nicel olarak ifade etmenin çeşitli yolları vardır. Anlaşılması en kolay yol; kırmızı, yeşil ve mavi parlaklık değerlerini, örnek olarak, sıfır ve bir arasında ölçeklendirerek kullanmaktır. Bu kural, KYM formatı olarak adlandırılır. Her piksel ve aslında

gözümüzde canlandırmamızın mümkün olduğu her renk, Şekil 5.4'teki renk küpünde gösterilen üç alanın dörtte birlik ilk bölümünde bir noktayla ifade edilebilir. Üç renkli bir görüntünün gri düzeydeki histogramı, KYM alanındaki noktaların bir serpiştirmesidir.



Şekil 5.4 KYM (RGB) renk uzayı (Hildebrand ve Reusch, 2000)

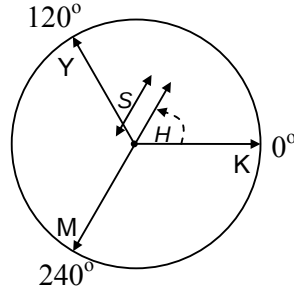
%50 Kırmızı + %50 Yeşil = Sarı
 %50 Yeşil + %50 Mavi = Turkuvaz
 %50 Kırmızı + %50 Mavi = Magenta
 %33 Mavi + %33 Kırmızı + %33 Yeşil = Beyaz

HSI Formatı : HSI formatı olarak adlandırılan bir diğer kullanışlı belirleme düzeni, Munsell tarafından geliştirilen ve sanatçılar tarafından yaygın bir şekilde kullanılan renk sisteminin bir çeşit biçimlendirmesidir. Tasarımı, insanların renkleri görüş şeklini yansıtır ve bunun yanı sıra görüntü işlemeye yönelik avantajlar da sunar.

HSI formatında geçen “I” harfi yoğunluğu (intensity) veya parlaklığı ifade eder. Bizim amaçlarımız doğrultusunda ise, eşit olmayan renk ağırlıklarını içeren farklı düzenler de kullanılmasına rağmen, sadece K, Y ve M gri-düzey değerlerinin ortalamasıdır. Yoğunluk değeri, rengi her ne olursa olsun, pikselin genel parlaklığını gösterir. KYM bileşenlerinin birlikte ortalamasını almak ve böylelikle renk bilgilerini bir köşeye koymak suretiyle, renkli bir görüntünün monokroma çevrilmesi mümkündür.

Renk bilgisini içeren iki parametre, bazen başka eş-terimler kullanılsa da, renk tonu (H, hue) ve doygunluktur (S, saturation). Bu iki parametre Şekil 5.5'teki renk daresiyle gösterilmektedir. Renk tonu “H” bir açı olarak ifade edilmektedir. Bir rengin tonu, kendisine en yakın derecede uygun düşen spektral dalga boyuna işaret eder. İsteğe bağlı

olarak, 0° renk tonu kırmızı, 120° yeşil ve 240° ise mavidir. Renk tonu, görünür spektrumun renklerini çaprazlama geçer. 240° ile 360° arası ise gözün algıladığı spektral aralıkta olmayan renkleri (mor) gösterir.



Şekil 5.5 Renk Dairesi

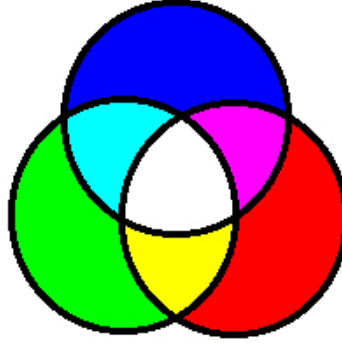
Doygunluk parametresi, renk dairesinin başlangıç yerinden çıkan noktanın yarıçapıdır. Sade veya doymuş renkler, dairenin dış kenarına doğru görülür ve bunların doygunluk değerleri uyumludur. Merkezde ise nötr (gri) gölgeler, yani sıfır doygunluk dereceli renkler vardır.

Doygunluk kavramı şu şekilde ifade edilebilir. Bir kova parlak kırmızı boyanız varsa, bu boyanın renk derecesi 0° ve doygunluğu 1 olacaktır. Kırmızıyı beyaz boyaya karıştırmak onu daha az yoğun hale getirerek doygunluğunu azaltır, fakat onu daha da koyulaştırmaz. Pembenin doygunluk derecesi 0.5 civarındadır. Karışıma daha fazla beyaz eklendikçe, kırmızı renk daha soluk hale gelir ve doygunluk azalır, sonuç olarak sıfıra (beyaza) yaklaşır. Eğer, diğer yandan, siyah boyayı parlak kırmızıyla karıştırırsanız bunun yoğunluğu düşecek (siyaha doğru), renk derecesi (kırmızı) ve doygunluğu (1.0) ise sabit kalacaktır.

5.3 Uzaktan Algılamada Görüntülerin Yorumlanması

5.3.1 Renkli Bileşen Görüntüler

Renkli bileşen görüntülerin (colour composite images) görüntülenmesinde üç temel renk olan kırmızı, yeşil ve mavi kullanılır. Bu üç renk farklı oranlarda karıştırıldıklarında, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde farklı renkleri meydana getirirler. Görünür bölgedeki bir bant olması gerekmeksizin, her bir spektral bantın ayrı bir temel renk ile eşleşmesiyle renkli bileşen görüntü meydana gelir[5].



Şekil 5.6 Temel renklerin (K, Y, M) farklı oranda birleşimi ile farklı renklerin oluşması

5.3.1.1 Gerçek Renk Bileşeni

Eğer çok-bantlı bir görüntü, görünür bölgedeki üç temel renkten (kırmızı, yeşil ve mavi) oluşuyorsa, bu üç bant “gerçek renkli” (true colour) görüntüyü elde etmek için birbiri ile birleştirilebilir. Örneğin, mavi bölgeye de duyarlı birer bantı olan LANDSAT TM görüntüsü veya çok-bantlı IKONOS görüntüsünün bant 3’ü (kırmızı bant), bant 2’si (yeşil bant) ve bant 1’i (mavi bant) (Çizelge 5.1), görüntülemek için sırasıyla K, Y ve M renklerine atandıkları zaman, elde edilen renkli bileşen görüntünün renkleri, insan gözünün gözlemlediği şekle benzetilmektedir.

Tez çalışmasının ana amacı, görüntü yorumlamada çok önemli olduğu düşünülen, görüntüyü arazinin gerçek renkleri ile görülebildiği “gerçek renkli” görüntü haline getirme işlemini, bu özelliği olmayan uydu görüntülerinde de gerçekleştirmektir.

5.3.1.2 Yanlış Renk Bileşeni

Herhangi bir çok-bantlı görüntü için görünen renk ataması, tamamıyla keyfi bir şekilde yapılabilir. Bu durumda, görüntülenen görüntüdeki bir objenin rengi ile aynı objenin gerçek rengi arasında benzerlik bulunmamaktadır. Bu sonuç ürün “yanlış renk bileşeni” (false colour composite) olarak bilinmektedir. Yanlış renk bileşenlerini türetmenin birçok yolu vardır. Bununla birlikte, bazı yöntemler görüntüdeki belirli nesneleri tanımlamak için daha uygun olabilirler [5].

Örneğin ASTER, SPOT veya IRS çok-bantlı görüntülerini görüntülemek için kullanılan en genel bileşen yöntemi aşağıda gösterilmiştir,

K→Bant 3 (YKÖ, $\approx 0.78 \mu\text{m}-0.86 \mu\text{m}$)

Y→Bant 2 (Görünür, $\approx 0.63 \mu\text{m}-0.69 \mu\text{m}$)

M→Bant 1 (Görünür, $\approx 0.54 \mu\text{m}-0.60 \mu\text{m}$)

“Yanlış renk bileşeni” yöntemi görüntüdeki bitki örtüsünün belirgin bir şekilde algılanmasını sağlar. Bitki örtüleri, elektromanyetik spektrumun YKÖ aralığında yüksek yansımaya değerlerine sahip oldukları için, bu tip görüntülerde bitki örtüsünün çeşidine ve durumuna bağlı olarak kırmızının farklı tonları şeklinde görünürler. Temiz su, yüksek yeşil bant yansıtımı nedeniyle koyu mavi olarak görünürken, yüksek kırmızı bant yansımaya sahip bulanık su ise, içerisindeki askıda maddeden dolayı temiz sudan daha açık renkte görünür (Şekil 2.10). Çıplak toprak, yollar ve binalar ise, bileşenlerine bağlı olarak mavi, sarı ve grinin farklı tonlarında görünürler.

Kısa-dalga kızılötesi bantlı bir optik görüntüyü görüntülemenin “yanlış renk bileşeni” yöntemi ile diğer bir gösterimi de aşağıda sunulmaktadır.

$$\left. \begin{array}{l} K \rightarrow \text{KDKÖ bantı (ASTER bant 4, LANDSAT TM bant 5)} \\ Y \rightarrow \text{YKÖ bantı (ASTER bant 3, LANDSAT TM bant 4)} \\ M \rightarrow \text{Kırmızı bant (ASTER bant 2, LANDSAT TM bant 3)} \end{array} \right\} \quad (5.1)$$

5.3.1.3 Doğal Renk Bileşeni

Optik görüntülerde üç temel renk bantından (mavi, yeşil, kırmızı) birinin veya bir kaçının eksik olması durumunda, spektral bantlar (bunlardan bazıları görünür bölgede olmayabilir) görüntülenen renklerin renkli fotoğrafta görülebilen renklere benzetilmesi şeklinde birleştirilebilirler; örneğin, bitki örtüsü yeşil, su mavi, zemin kahverengi veya gri görünür. Birçok kişi bu bileşeni de “doğru renk bileşeni” olarak tanımlar. Bununla beraber, çoğu durumda renkler hedef renklerin “doğru” renklerine simule edilmeye çalışılacağı için, bu terim yanıltıcı olmaktadır. Bunun yerine “Doğal renk bileşeni” (natural colour composite) tercih edilir. “Doğru renk bileşeni” ve “doğal renk bileşeni” birbirinden farklı kavramlardır.

Mavi bölgeye duyarlı olmayan ASTER çok-bantlı algılayıcısının ilk üç bantı sırasıyla yeşil (bant1), kırmızı (bant2) ve YKÖ (bant3) bölgesine duyarlıdır. ASTER görüntüsü için aşağıdaki KYM kombinasyonu kullanılarak doğal renkli görüntü elde edilebilir. Çalışmada, bu konu ile ilgili yapılmış yorumlar ve üretilmiş örnekler ileriki bölümlerde verilmiştir (Şekil 5.16(c)).

$$\left. \begin{aligned} K &\rightarrow Bant_2 \\ Y &\rightarrow \frac{(3 * Band_1 + Band_3)}{4} \\ M &\rightarrow \frac{(3 * Band_1 - Band_3)}{4} \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

5.4 Bitki Örtüsü İndeksleri

Tez çalışmasında elektromanyetik spektrumun mavi bölgesine duyarlı olmayan uydu görüntüleri için, mavi bant aşağıda açıklandığı gibi yapay olarak üretilmiştir. Bu sayede üzerinde işlem yapılan görüntü sahip olmadığı yeni bir banta kavuşmuş olmakta ve dolayısı ile, görüntünün spektral zenginliği artmaktadır. Görüntüde spektral zenginliği artırmaya yönelik olarak uygulanan bir başka yöntemse Bitki Örtüsü İndekslerinin üretilmesidir.

Bitki Örtüsü İndeksleri, uydu görüntüsünde bitki örtüsü bulunan alanları vurgulamak için çok-bantlı görüntünün farklı bantlarının kombinasyonunu alarak yeni oran ya da fark görüntülerini oluşturmaktadır. Bu sayede, uydu görüntülerinden yapılan ölçümlerle bitki örtüsü parametreleri arasındaki ilişki elde edilmektedir. Bu alt başlıkta, Bitki Örtüsü İndeksleri ile ilgili verilen bilgiler ve aksi atıf yapılmadıkça Gorte (2000)'den alınmıştır.

Uzaydan bitki örtüsünün büyüme ve durum belirlenmesine olan ilgi, tarım ürünlerinin stratejik bir meta olarak kabul edilmeye başlandığı 1972 yılına dek dayanmaktadır. 70'li yıllarda uydular kullanılarak mahsul tahmini politik öncelik kazanmış ve bu sayede yerkürenin gözlemlenmesine dair uydu programlarına gerekli fonun ayrılması garanti altına alınmıştır.

Tarım mahsulüne dair birçok alan ölçümlerinin ortaya çıkardığı üzere, elektromanyetik spektrumun kırmızı/yakın-kızılötesi kısmında çok spesifik bir yansıma karakteristiği oluşur. Görünen ışığın çoğu bitki örtüsü tarafından yutulur. Buna karşın dünya yüzeyini kaplayan diğer birçok maddeye (toprak, kaya) kıyasla yeşil yansıma oldukça düşüktür. Bunun yanında, sağlıklı bitki örtüsünde yakın-kızılötesi yansıma diğer birçok toprak örtüsüne nazaran çok daha yüksektir. Bitki örtüsü yansıma eğrileri (örneğin Şekil 2.8) kırmızı bölge ile yakın-kızıl ötesi dalga boyları arasında çok dik tırmanışlar gösterirler.

5.4.1 Basit Bitki Örtüsü İndeksleri

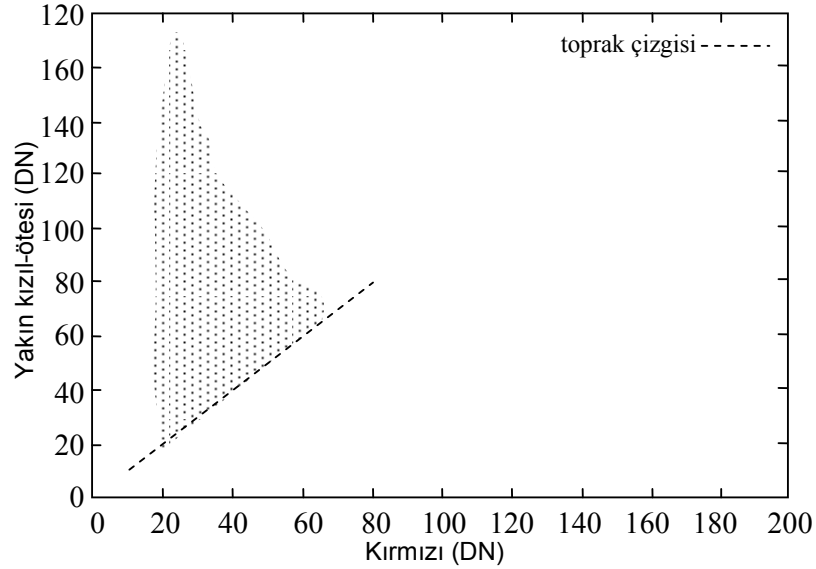
Uzaktan algılanmış çok-bantlı bir görüntüde bitki yaşamının varlığının göstergesi yakın-kızılötesi ile kırmızı bantlardaki yansıma değerleri kıyas edilerek elde edilir. Yakın-

kızılötesi ve kırmızı arasında ister fark ister oran seçilebilir; her iki durumda da yüksek değerler bitki örtüsünü gösterecektir. Böylelikle geniş bir aile olan bitki örtüsü indekslerinin Fark Bitki Örtüsü İndeksi (DVI) ve Oran Bitki Örtüsü İndeksi (RVI) olarak anılan iki üyesini tanımlamak mümkün olacaktır,

$$DVI = YKÖ - K \quad (5.3)$$

ve

$$RVI = \frac{YKÖ}{K} \quad (5.4)$$

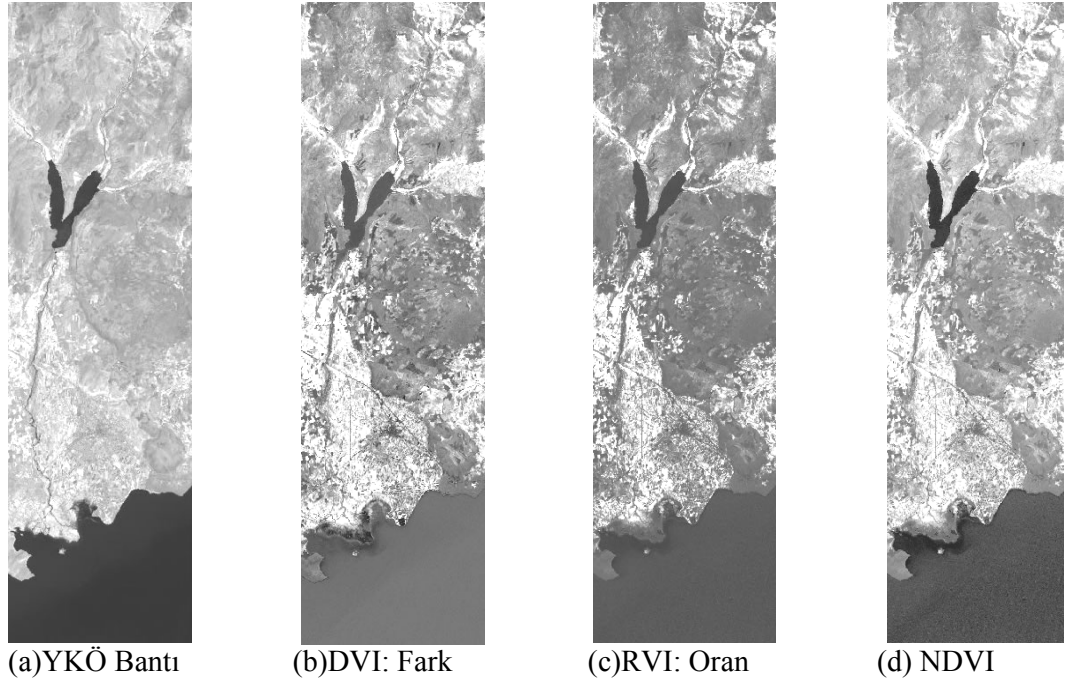


Şekil 5.6 TM-3 ve TM-4 bantlarının toprak çizgisi ile saçılma diyagramı

Bitki örtüsü indekslerini anlamak için uzayda (K, YKÖ) bir görüntünün pikselleri birleştirilerek çizilen saçılma diyagramlarını (Şekil 5.6) incelemek faydalı olacaktır. Örneğimizde bu LANDSAT TM'den alınmıştır. (K, YKÖ) vektörlerinin üçgen biçimli demeti düzenli olmayan (non-uniform) bitki örtüsü alanlarının tipik görüntüsünü teşkil eder. En yoğun bitki örtüsüne sahip olan pikseller üçgenin tepesinde; düşük K ve yüksek YKÖ (K, YKÖ) vektörlerine sahiptirler. Bilhassa çıplak toprak pikselleri olmak üzere bitki örtüsünden yoksun pikseller, üçgenin sağ alt köşesinde bulunan toprak çizgisinde bulunmaktadırlar. Toprak çizgisinde yer alan farklılıklar toprak tipi ve toprak nemine bağlı olarak meydana gelmektedir. Koyu ve ıslak toprak, aynen su gibi, toprak çizgisinin sol tarafında görülmektedir.

Oran indeksleri toprak çizgisinin, orijinden geçtiğini kabul ederler, böylece bir (K,YKÖ) vektör indeksi vektör (orijinden (K, YKÖ)'e dek bir doğru) ile toprak çizgisi

arasındaki bir açıya dayanmaktadır. Yukarıda gösterilen Oran Bitki Örtüsü İndeksi (RVI) en basit örnektir. Eş-bitki örtüsü çizgileri orijinden geçerler. Görüntünün aydınlanmasının eşit olmadığı engebeli bir arazide aydınlanmanın güneş kadar eğim yönüne bağlı olduğu durumlarda, RVI faydalı olmaktadır. Bunun çarpımsal bir etki olduğu ve dalga boyuna bağlı olmadığı kabul edilirse, oran indeksleri aydınlanma farklarından etkilenmeyeceklerdir. RVI sonuçları sıfır ile sonsuz arasında yer almakla beraber toprak çizgisinde bunun altındaki değerler ortaya çıkmayacaktır. Fark (ya da düşey) indeksler, bir pikseldeki bitki örtüsü miktarının (K, YKÖ) vektörü ile onun toprak çizgisine olan izdüşümü arasındaki Öklid mesafesi ile alakalı olduğunu kabul ederler. Eş-bitki örtüsü çizgileri toprak çizgisine paraleldirler. Aşağıda gösterilen fark indeksi bir düşey indekstir. Düzenli aydınlanan düz arazinin avantajı ise sonuçların toprağın durumuna oran indekslerinde olduğundan daha az bağımlı olmasıdır. Veriler “0” ile “1” yansıma aralıklarına normalleştirildikten sonra, negatif değerlerin (toprak çizgisinin altında kalanlar) oluşmaması beklenirken, DVI değerleri “-1” ile “1” arasında olur.



Şekil 5.7 Bitki örtüsü indeksleri (Van Gölü kıyısı TM görüntüsü)

5.4.2 Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

Yaygın olarak bilinen indekslerden biri de Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü

İndeksi'dir (NDVI) ve,

$$NDVI = \frac{YK\ddot{O} - K}{YK\ddot{O} + K} \quad (5.5)$$

olarak tanımlanır.

İsmine rağmen NDVI orijinden geçen eş-çizgilerle bir oran indeksidir. NDVI sonuçları aydınlanmadan bağımsızdır. Aralığı teorik olarak -1 ile 1 arasında olmakla beraber uygulamada K değerinin YKÖ değerinden büyük olmasına çok zor rastlanır (Şekil 5.6) ki bu da aralığı [0 .. 1]'e düşürür.

Şekil 5.7 bir LANDSAT TM görüntüsünün yakın kızıl-ötesi bantının izleyen üç bitki örtüsü indeksini göstermektedir: DVI, RVI ve NDVI. Yakın kızılötesi bant topografyaya bağlı olarak oluşan aydınlanma farklarını gösterir. Bu farklar DVI'da hala görülebilirken RVI ve NDVI'ya etki etmezler.

Birçok çalışma, NDVI ile bitki örtüsü miktarı arasında iyi bir korelasyonun olduğunu göstermiştir. Sonuçların, geniş aralıktaki bir ölçekte, SPOT-XS (20m)'den NOAA-AVHRR (1-4 km)'ye dek farklı konumsal ayırma gücüne sahip görüntü tabanında faydalı olduğu ispatlanmıştır. İkinci bahsi geçen ölçek global NDVI gözlem sahalarını düzenli olarak oluşturulmasını sağlamakta, böylece bilim adamlarının biyosfer'deki değişimler üzerinde çalışmalarına imkan vermekte iken, ilk bahsedilen de havza ölçekleri üzerinde detaylı çalışmalara fırsat tanımaktadır.

Şunu da belirtmek gerekir ki, NDVI'dan elde edilen bilgi genellikle niteliksel olarak diğer NDVI verileri ile bağlantılı kullanılır; örneğin bitki örtüsünün sona erme vaktini görüntüleme ya da benzer karakteristiğe sahip farklı bölgelerin kıyaslanması gibi. NOAA uydu görüntüleri üzerine kurulan, Amerikan Uluslararası Gelişim Ajansı (US AID)'nın bir projesi olan, FEWS (Famine Early Warning System – Erken Kıtık Uyarı Sistemi) dokümantasyonu aşağıdaki görüşleri bildirmiştir;

“NDVI'nın büyüklüğü, görüntülenen bitki örtüsündeki fotosentez aktivitesinin seviyesinin bir göstergesidir. FEWS üç ayda bir bütün Afrika Kıtasının NDVI görüntüsünü almaktadır. Temel NDVI görüntüsü, bitki örtüsünün nerede olduğunu ve aktivite durumunu göstermektedir, fakat bunun üzerinde sınırlı bir değeri vardır.”

5.4.3 Bitki Örtüsü İndeksleri ile İlgili Yorumlar

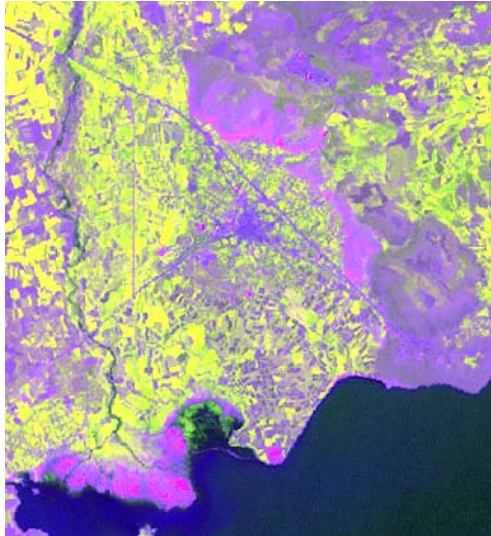
Bitki örtüsü indekslerindeki kısıtlamalara rağmen, uzaktan algılanan görüntüler üzerinden bitki örtüsü indeksleri ile yapılan hidrolojik modellerin parametre tahminleri etkin bir biçimde yapılabilmektedir.

Çizelge 5.2 Bitki Örtüsü İndekslerine Genel Bakış

Başlıca İndeksler	
Farklılık Bitki Örtüsü İndeksi (DVI)	$DVI = YKÖ - K$
Oran Bitki Örtüsü İndeksi (RVI)	$RVI = \frac{YKÖ}{K}$
Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Farklılığı İndeksi (NDVI)	$NDVI = \frac{YKÖ - K}{YKÖ + K}$
Normalleştirilmiş Nemlilik Farklılığı İndeksi (NDWI)	$NDWI = \frac{KDKÖ - ODKÖ}{KDKÖ + ODKÖ}$
Gren Bitki Örtüsü İndeksi (GVI)	$GVI = \frac{YKÖ + KDKÖ}{K + ODKÖ}$
Toprak-Çizgisi ile İlgili İndeksler	
Düşey Bitki Örtüsü İndeksi	$PVI = \frac{YKÖ - aK - b}{\sqrt{1 + a^2}}$ $YKÖ_{toprak} = aK_{toprak} + b$
Ağırlık Farklılığı B.İ (Weighted Difference VI)	$WDVI = YKÖ - \frac{YKÖ_{toprak}}{K_{toprak}} K$
Toprak Düzeltmeli B.İ. (Soil Adjusted VI)	$SAVI = \frac{(1 + L)(YKÖ - K)}{YKÖ + K + L}$
Toprak Düzeltmeli Oran B.İ. (Soil Adjusted Ratio VI)	$SARVI = \frac{YKÖ}{K + b/a}$
Dönüştürülmüş Toprak Düzeltmeli B.İ. (Transformed Soil Adjusted VI)	$TSAVI = \frac{a * (YKÖ - a * K - b)}{K + a * YKÖ - a * b}$
Yaprak Alanı İndeksi	
Yaprak Alanı İndeksi ve Toprak Düzeltmeli B.İ. arasındaki bağıntı	$SAVI = c_1 - c_2 e^{-c_3 LAI}$
a=0.96916, b=0.084726, L=0.5 ve c ₁ =0.69, c ₂ =0.59, c ₃ =0.91	

Evapotranspirasyonun su denge denklemlerinde artık terim olarak kalmasındansa, piksel başına gerçek değer hesaplanması olasılığı mevcuttur. Hangi mevcut bitki örtüsü indeksinin farklı şartlar altında bu amaca yönelik olarak en uygun olduğu henüz araştırma aşamasındadır ve aşağıdaki etkenler dikkate alınmaktadır.

- Yüzey, yansımalarla karakterize edilmektedir ve bir görüntü, yansımaların ölçümünü içerdiği gibi, aynı zamanda da aydınlanma farkları ve atmosferden etkilenmektedir. Bu nedenle radyometrik düzeltmeler uygulanmalıdır.
- Aydınlatma üzerindeki topografya etkisinin düzeltilmesi için, görüntü çözünürlüğüne uygun doğruluğa sahip bir Sayısal Yükseklik Modeli gerekmektedir. Bunun mevcut olmadığı durumlarda, oran bazlı indeksler normalleştirilmiş oldukları için düşey indekslere tercih edilirler. Oran indeksleri açık bir şekilde bir diğer bilinmeyen olan aydınlanma ile uğraşmaktadırlar. Bu yüzden zayıf aydınlanmış parlak nesneler ile iyi aydınlanmış mat nesneleri ayırt edemezler. Düz bölgelerde olduğu gibi aydınlanmanın düzenli olduğu bilindiğinde bu karmaşa söz konusu olmaz.
- Belirli indekslerin (NDVI gibi) yüksek bitki örtüsü söz konusu olunca iyi çalıştıkları bilinmektedir. Bununla birlikte diğerleri düşük bitki örtüsünde daha iyi performans sergilemektedirler. İkinci durumda, toprak durumunun etkisi daha büyüktür ve bunlar için toprak ayarlamalı indeksler (SAVI, SARVI, TSAVI) geliştirilmiştir.
- Yaprak Alan İndeksi (LAI) nadir yöneltmedeki her bir birim alandaki yaprakların kümülatif alanı olarak tanımlanmaktadır. Toplam biyokütleyi temsil eder ve ekin rekoltesi, gölge dayanımı ve ısı akımları için bir göstergedir. LAI ile birçok bitki örtüsü indeksi arasında doğrusal olmayan bir ilişki gözlenmiştir (Çizelge 5.2).



Şekil 5.8 LANDSAT TM “Bant4, NDVI, Bant-2” “K, Y, M” bileşimi

Bitki örtüsü indeksleri oluşturulduktan sonra farklı spektral aralıktaki bantlarla “KYM” kombinasyonunda yerine konularak farklı görüntüler elde edilebilir. Örneğin Van Gölü kıyısındaki bir bölge için LANDSAT TM algılayıcısından oluşturulmuş NDVI bantı ile, farklı bitki örtülerinin ayırt edilmesine yardımcı olacak, diğer bantlar ile kombinasyon oluşturabilir. Şekil 5.8’de gösterilen örnekte, görüntülenen renk atamaları şu şekildedir.

$$\left. \begin{aligned} K &= \text{TM 4 (Yakın kızıl-ötesi bantı)} \\ Y &= (\text{TM 4} - \text{TM 3}) / (\text{TM 4} + \text{TM 3}) \text{ (NDVI bantı)} \\ M &= \text{TM 2 (yeşil bant)} \end{aligned} \right\} \quad (5.6)$$

Yeşil, parlak sarı ve altın sarısı bölgeleri gibi en az üç farklı bitki örtüsü tipi bu renk bileşenli görüntüde ayırt edilebilir. Yeşil alanlar sık sıralanmış ağaçları gösterirken, parlak sarı alanlar çalılık veya daha az yoğun ağaçlar ile kaplıdır. Altın sarısı alanın ise doğal çim kaplı alan olduğu düşünülmekte ve bitki örtüsü olmayan alanlar ise koyu mavi ve magenta görünmektedir.

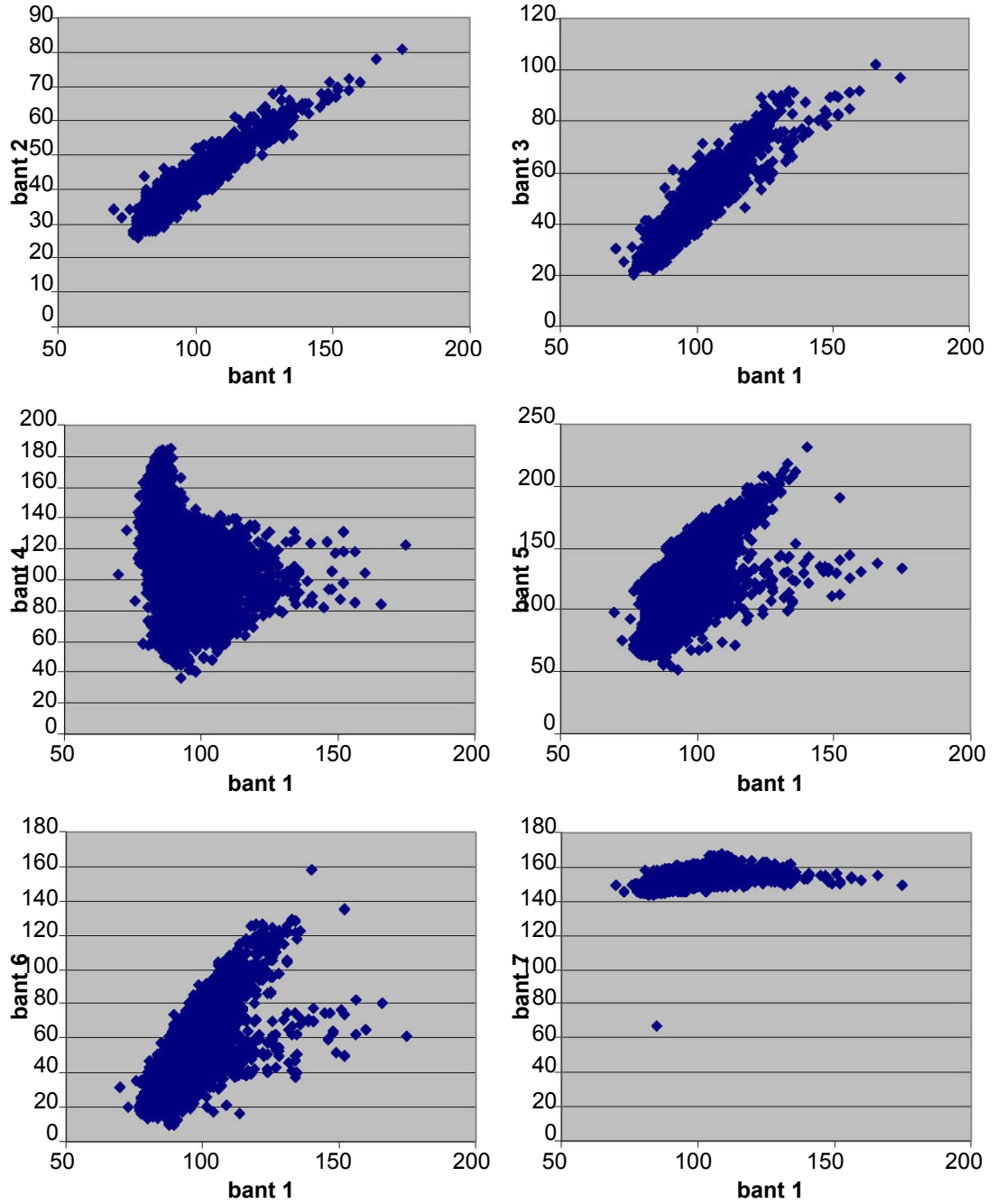
Bunun yanında, farklı yılların aynı mevsimlerinde alınmış görüntülerden üretilen bitki indekslerinin de “KYM” formatında bir araya getirilerek oluşturulan görüntülerle faydalı yorumlamaların yapılabildiği uygulamalar da mevcuttur.

5.5 Modelleme Çalışmaları

LANDSAT TM bantları arasındaki veri dağılımı incelenmiş ve Şekil 5.9’dan da görülebileceği üzere, TM’nin özellikle elektromanyetik spektrumun görünür bölgesine duyarlı ilk üç bantı arasında korelasyonun yüksek çıktığı görülmüştür. Bu bilgi ışığında, TM görüntüsünün 0.52-0.60 μm algılama aralığındaki 2.Bantı ile, 0.63-0.69 μm algılama aralığındaki 3.Bantı kullanılarak 0.45-0.52 μm algılama aralığındaki 1.Bantının modellenmesi çalışmalarına başlanmıştır. Kurulacak modelin sonucunda, 1.Bant sentetik olarak üretilerek, bu yeni sentetik bantın ASTER, SPOT, IRS gibi uydu sistemlerinin görüntülerine ilavesiyle “gerçek renkli” (true colour) görüntü elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.9’daki eksenler parlaklık değerini göstermektedir.

5.5.1 Kullanılan Yazılımlar

Modellemede, uzmanların kimine göre bir programlama dili, kimine göre de bir yazılım geliştirme aracı olan, aynı zamanda içerisinde mevcut araç kutularından (toolbox) da yararlanılabilen Mathworks MATLAB programı kullanılmıştır. İngilizce açılımı “MATrix LABoratory”, kısaltılmış hali ise MATLAB olarak ifade edilen bu yazılım, adından da anlaşılacağı üzere boyutlandırma gerektirmeyen matrisler yani diğer bir deyişle diziler ile çalışmaktadır. Özellikle, mühendislik alanındaki sistem analizlerinde kullanılan MATLAB; görüntü işleme, yapay sinir ağları, bulanık mantık, optimizasyon, sayısal işaret işleme, veri üretme, veritabanı, süzgeç tasarımı, sistem tanıma, dalgacıklar gibi araçları ile kullanıcılar için gelişmiş bir ortam oluşturmaktadır.



Şekil 5.9 LANDSAT TM bant-1 ve diğer bantlar arasındaki veri dağılımı

MATLAB’de yapılan tüm girdiler ve çıktılar, diğer programlama dillerindeki gibi belirteç gerektirmeksizin bir matris tanımlar. Bu özelliği ile Fortran, Basic ve C gibi programlama dillerine kıyasla işlemlere ve programlaya ayrılacak zamanı minimuma indirgeyerek; programlama dilleri arasında kendine has bir yer edinmiştir. MATLAB, sayısal analiz, matris ve dizi işlemleri, sinyal işleme, algoritma geliştirme, C, C++, Java

ve internet ile ilişik programlama ve grafiksel kullanıcı arayüzü (Graphical User Interface–GUI) formu program yazma gibi sayısal işlemleri, kullanımı kolay bir grafik arayüzü üzerinden, diğer programlama dillerindeki geleneksel kodlamaya karşın matematiksel denklem yazma kolaylığında sağlamaktadır (Uzunoğlu, vd., 2002).

MATLAB’ın başka bir önemli noktası da mükemmel derecede kapsamlı ve geliştirilebilir bir programlama dili oluşudur. Bu özelliği ile temel bilgisayar kullanıcılarını bile birer programcı yapmakta ve kendi programlarını hazırlamalarına izin vermektedir. MATLAB olduğu sürece, Pascal, Fortan ve C bilmeden kullanıcıların program yazabilmesi, bunları C ve C++ dilinde çevirebilmesi ve paket dağıtımını yapabilmesi sağlanır. MATLAB derleyicisi, MATLAB ile geliştirilen uygulamaları MATLAB’ın yüklü olmadığı sistemlerle de çalıştırabilir hale getirmektedir. MATLAB derleyicisi çalışılan işletim sistemine göre yürütülebilir uygulamalar oluşturmaktadır. Örneğin Windows işletim sistemlerinde MATLAB derleyicisi kullanılarak “.EXE” uzantılı Win32 uygulamaları elde edilebilir (Uzunoğlu, vd., 2002).

Görüntüdeki veri dağılımını incelemekte ve istatistiksel hesaplamaları yapmakta kullanılan Microsoft Excel programının kapasitesi, çalışmadaki birçok uygulama için yetersiz kalmıştır. Uydu görüntülerindeki veri büyüklüğüne karşın, Excel yazılımının “65536 satır” (Şekil 5.10) kapasitesine sahip olması, çalışmanın ilk aşamalarında sınırlayıcı olmuştur. Çalışmanın bahsi geçen ilk aşamalarında Excel yazılımının yoğun olarak kullanılması nedeniyle, bu aşamalarda kullanılan eğitme ve test verisinin büyüklüğü bu kısıtlamanın içerisinde kalarak belirlenmek durumunda kalmıştır.

65529	146	143	171
65530	138	132	157
65531	148	143	161
65532	140	149	192
65533	169	166	191
65534	187	161	179
65535	164	151	175
65536	225	192	209

Şekil 5.10 Excel yazılımının sınırlayıcı etkisi

Çalışmada uydu görüntülerinin bantlarının ayrılması, görüntü üzerinde ilgilenilen bölgelerin kırılması, üretilen sentetik mavi bant görüntünün diğer bantlarla birleştirilmesi vb., uydu görüntüleri ile yapılan işlemlerde Erdas Imagine 8.4 yazılımı kullanılmıştır.

Çalışma başlangıcında Excel yazılımı, “.Net” ortamında üretilmiş yazılımlar, vb., kullanılarak çözüm üretilmeye çalışıldıysa da, bu yazılımların elde edilmek istenen sonuca ulaştırmayacağı görülmüş ve gerekli görülen kısımlarda MATLAB ortamında yazılımlar üretilerek çözüme ulaşılmıştır. Üretilen yazılımlarla ilgili bilgi ileriki aşamalarda verilmiştir.

5.5.2 Modelin Kurulmasında İlk Aşamalar

İlk aşamada 169*169 piksel boyutunda (28561 piksel~ 2570 hektar) bir arazinin ilk 20000 pikseli sistemin eğitimi için, kalan 8561 piksel ise test verisi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların olumlu olduğu gözlemlendikten sonra, sistemin eğitime ve test verilerinin artırılması uygun görülmüştür.

Model kurulma çalışmalarının ikinci aşamasında, İstanbul şehri Avrupa yakasında bulunan heterojen dağılıma sahip bir bölgenin, “65536 satır” kapasiteli Excel yazılımının sınırlayıcı etkisi dikkate alınarak, 248*250 piksel boyutunda (62000 piksel ~5580 hektar) LANDSAT uydu görüntüsü parçası kullanılmıştır. Bir LANDSAT görüntüsünün yaklaşık 185*185 km boyutunda (~3.422.500) hektar olduğu düşünüldüğünde (Şekil 5.11), yaklaşık 7,5 * 7,5 km büyüklüğünde olan çalışma alanının(Şekil 5.16) tüm görüntünün çok küçük bir parçası olduğu görülmektedir. Eğitime ve test verisinin her ikisi de aynı boyuttadır ve aynı LANDSAT çerçevesinin farklı bölgelerinden seçilmiştir.



Şekil 5.11 Bir LANDSAT uydu görüntüsü ve kaplama alanı

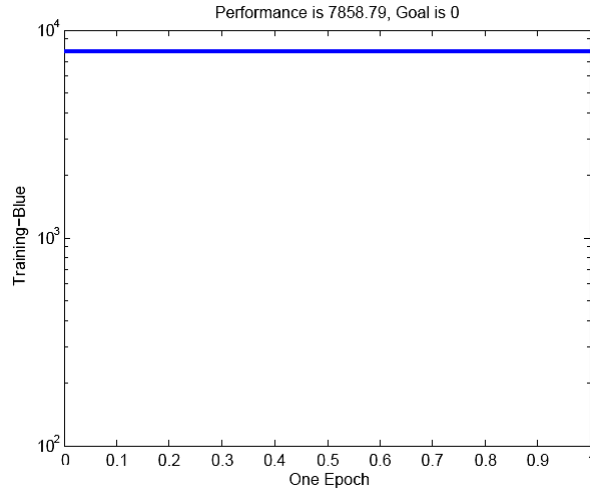
Çizelge 5.3 İkinci çalışma alanı eğitime verisi parlaklık değerleri istatistikleri

Bant	Spektral Aralık	Veri Aralığı	Ortalama (Mean)	Ortanca (Median)	Standart Sapma
1	0.45- 0.52 μm	73 – 211	88.9	85	11.5
2	0.52- 0.60 μm	49 – 236	73.7	70	15.1
3	0.63- 0.69 μm	36 – 255	66.1	60	23.4

Çizelge 5.4. İkinci çalışma alanı test verisi parlaklık değerleri istatistikleri

Bant	Spektral Aralık	Veri Aralığı	Ortalama (Mean)	Ortanca (Median)	Standart Sapma
1	0.45- 0.52 μm	73 – 155	84.2	82	8.0
2	0.52- 0.60 μm	50 – 181	68.0	66	10.7
3	0.63- 0.69 μm	34 – 227	55.9	51	17.5

İkinci aşamada kullanılan eğitime ve test verilerinin istatistikleri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te verilmiştir. Bu aşamada, eğitime verisi için “iki girdili” ve “bir çıktılı” bir sistem kurulmuştur. Transfer fonksiyonu olarak “sigmoid” fonksiyonunun kullanıldığı kurulan ilk sistem sonunda hatalar, kabul edilebilecek miktarın çok üzerinde çıkmıştır (Şekil 5.12).



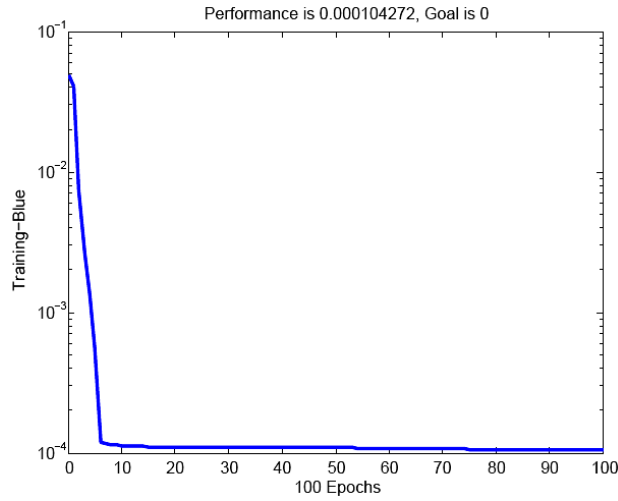
Şekil 5.12 İkinci çalışma sistem performansı(ilk deney)

Farklı transfer fonksiyonları ve farklı parametreler denendiğinde performansın oldukça arttığı görülmüştür, ancak bu sonuçlar da kabul edilebilecek hata miktarının üzerinde kalmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, oluşan büyük hatanın sigmoid fonksiyonunun yapısından $(1 / (1 + e^{-x}))$ kaynaklandığı (Çizelge 4.7) belirlenmiştir.

Sigmoid fonksiyonunun yapısında bulunan “x” parametresinin alacağı değerler büyük öneme sahiptir. Bu parametreye, 8 bit radyometreye sahip bir görüntüde bulunan 0 ile 255 arasında veriler geldiğinde, çok büyük ya da çok küçük değerler karşımıza

çıkmaktadır. Bu da, sistem performansının yeterli seviyeye ulaşamaması ile sonuçlanmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için, verileri “-1, 1”, “0, 1”, vb., belirli aralıkta sıralayarak verinin standartlaştırılmasına karar verilmiştir. Çeşitli standartlaştırma fonksiyonları denenerek, elde edilen değerlerle ayrı ayrı modeller kurulduysa da, en iyi değeri veren (5.7) fonksiyonunun kullanılması uygun görülmüştür. Bu fonksiyonla veriler 0.1 ile 0.9 değerleri arasında sıralanmaktadır. Verilerin standartlaştırılması sonrası kurulan modelin performansı Şekil 5.13’te gösterilmiştir.

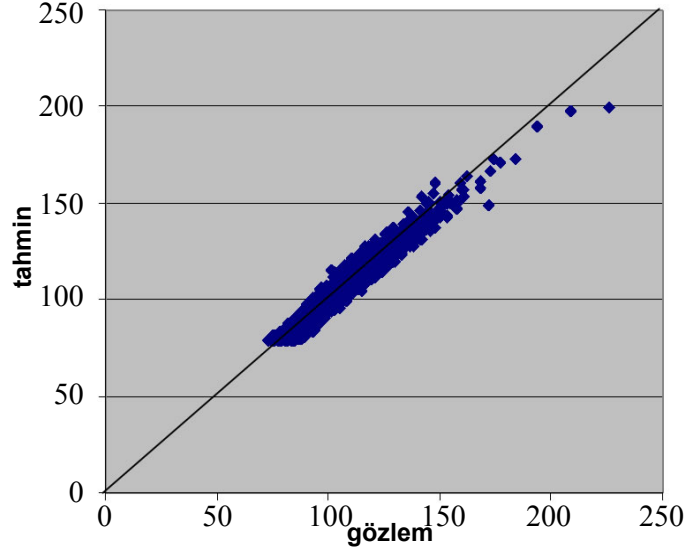
$$\left(x_i = 0,8 * \frac{(x - x_{min})}{(x_{maks} - x_{min})} + 0,1 \right) \quad (5.7)$$



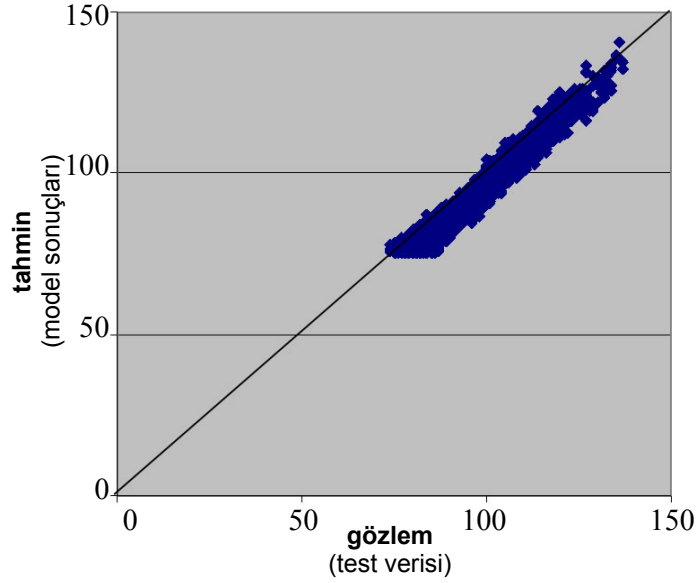
Şekil 5.13 İkinci çalışma sistem performansı(ikinci deney)

Model kurulduktan sonra, standartlaştırılmış olan veriler daha önce kullanılan fonksiyonun tam tersi kullanılarak elde edilen (5.8) fonksiyonu ile “0.1-0.9” aralığından “0-255” aralığındaki gerçek gri-değerleri haline dönüştürülmüştür. Kurulan modelin performansı Şekil 5.14’te görülmektedir. Eksenler parlaklık değerlerini göstermektedir.

$$\left(x = \frac{(x_i - 0,1)}{0,8} * (x_{maks} - x_{min}) + x_{min} \right) \quad (5.8)$$



Şekil 5.14 İkinci çalışma model sonuçlarının grafiksel gösterimi



Şekil 5.15 İkinci çalışma test verisi ile model sonuçlarının grafiksel gösterimi

Kurulan model sonuçları ve “gözlem ve tahmin” değerlerinin grafiksel sonuçları Şekil 5.15’te görülmektedir. Şekil 5.15’te de görüleceği üzere, gözlem ve tahmin değerleri eksenlerin açtığı ortayı üzerinde dağılmıştır. Gözlem ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı “0.96” olarak, “ E ” Nash-Sutcliffe model verimliliği katsayısı (denklem 5.9) ise 0.91 olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki denklemde “ $B_g \rightarrow$ ölçülen bant değerleri”, “ $B_T \rightarrow$ tahmin edilen bant” ve “ $N \rightarrow$ veri sayısı” nı ifade etmektedir.

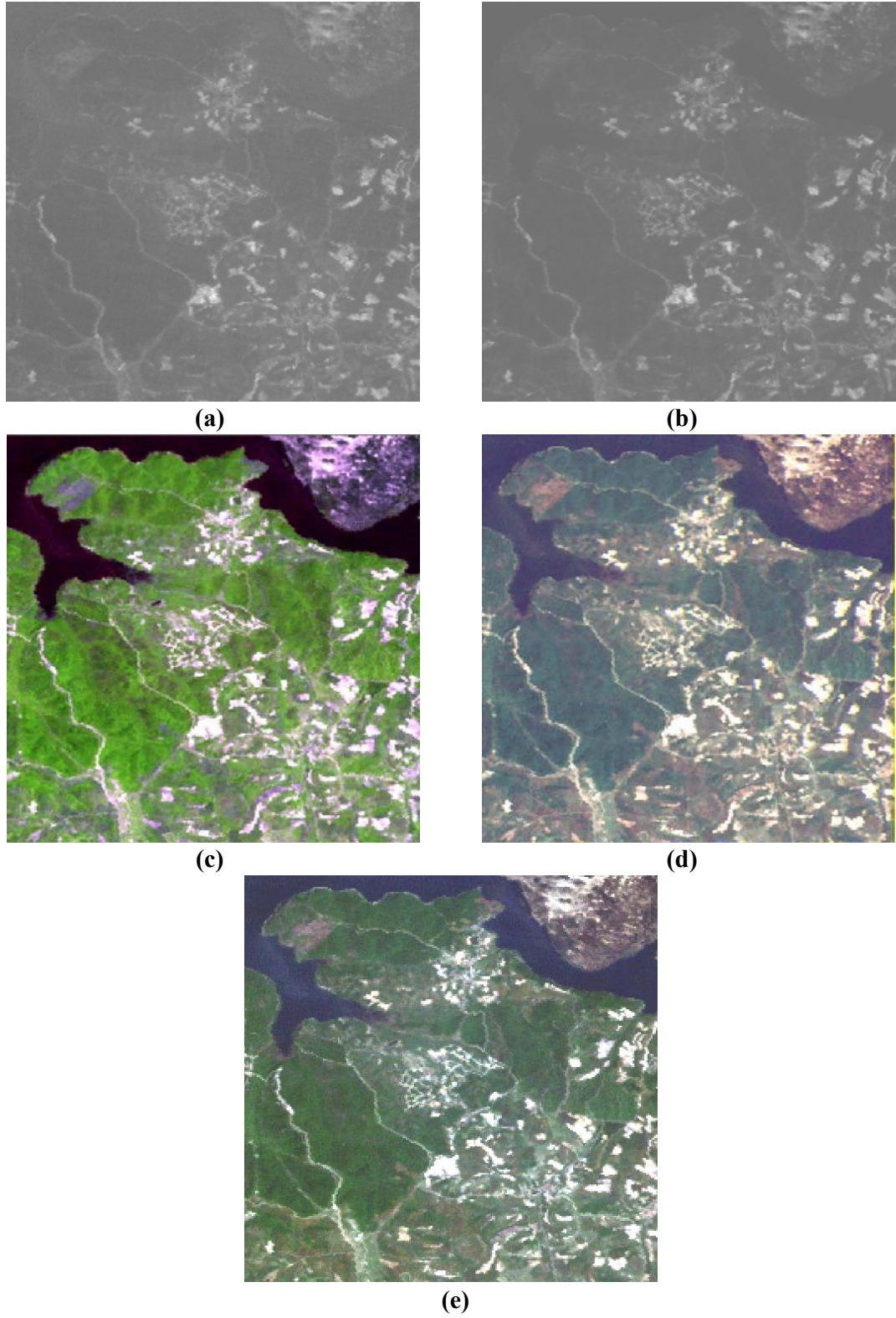
$$E = 1 - \frac{\text{ortalama}(h^2)}{\text{Var}(\text{gözlem})} = 0.91 \quad E = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_{gi} - B_{Ti})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_{gi} - \overline{B_g})^2} \quad (5.9)$$

“E” Nash-Sutcliffe model verimliliği katsayısı, ilk olarak Nash ve Sutcliffe (1970) tarafından hidrolojik modellerin tahmin kabiliyetlerinin belirlenmesi amacı ile kullanılmıştır. Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı $-\infty$ ile 1 arasında değişebilir. Verimliliğin 1 olması ($E=1$) model sonucunun gözlem verisi ile mükemmel olarak eşleşmiş olması anlamına gelmektedir. Verimliliğin 0 olması ($E=0$) ise, model tahminlerinin gözlem verisinin ortalaması kadar hassas olduğunu göstermektedir. Verimliliğin sıfırdan küçük olması ise ($-\infty < E < 0$), gözlemlerin ortalamasının modelden daha iyi tahmin yaptığı durumda oluşmaktadır.

Sonuç olarak, E model verimliliğinin 1'e yakın olma durumu, modelin o derecede hassas sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Şekil 5.15'te test verisi ve buna karşılık gelen model sonuçlarının oluşturduğu veri dağılımının açığı ortayından geçen ve “mükemmel çizgi” olarak tanımlanan çizginin yakınında olmakla birlikte, çok az miktarda altında kaldığı görülmektedir. Bunun, eğitime ve test verilerinin nispeten farklı veri dağılımlarına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Eğitime ve test verilerinin istatistiklerini gösteren Çizelge 5.3 ve 5.4'te de görülebileceği gibi; örneğin Bant-2 için eğitime verisi “49-236” aralığındayken, test verisi “50-181” aralığında kalmaktadır. Her iki veri için de aynı standartlaştırma denklemi kullanılmış olmasına rağmen, denklemin verinin “maksimum” ve “minimum” değerlerine duyarlı olması nedeniyle farklılıklar meydana gelmektedir. Yani, bir piksel eğitime ve test verisinde de aynı parlaklık değerine sahip olsa bile standartlaştırıldıktan sonra farklı değerler alabilmektedir. Çalışmada bu soruna ilişkin üretilen çözümler aşağıdaki bölümlerde belirtilmiştir.

Mükemmel çizgi, modelleme sonucunda oluşan değerlerin (tahmin), test verisi (gözlem) değerleri ile arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak göstermektedir. Gözlem ve tahmin değerleri mükemmel yani tam doğru bir modelde, saçılma diyagramında mükemmel çizgi üzerinde kalırlar. Saçılma diyagramındaki bu dağılımın mükemmel çizgiye uzaklığı yada yakınlığı incelendiğinde, model sonucunda üretilmiş verinin doğruluğunun derecesi anlaşılabilmektedir.



Şekil 5.16. İkinci çalışma test bölgesinin (a) Gerçek Bant-1, (b) Sentetik Bant-1, (c) Erdas yazılımının ürettiği doğal renk bileşeni görüntü, (d) Modelimizin ürettiği renkli bileşen görüntü(KYM) (e) Landsat TM 321 KYM kombinasyonu (orijinal görüntü)

Şekil 5.15'ten istatistiksel, Şekil 5.16'dan da görsel olarak görülebileceği gibi ikinci

çalışmadaki modelin sonucunda üretilen test bölgesinin “sentetik Bant-1”i ile “gerçek Bant-1” sayısal değerleri birbirine çok yakındır. Erdas Imagine yazılımının, çalışmanın 5.3.1.3 başlıklı bölümünde açıklanan Denklem 5.2 ile ürettiği “doğal bileşen” görüntünün (Şekil 5.16(c)), “gerçek bant-3, gerçek bant-2 ve sentetik bant-1”in KYM bileşeni görüntüsü (Şekil 5.16 (d)) yanında yapay kaldığı ve üretilen verinin gerçek veriye yakınlığı ve benzerliğinin Erdas yazılımının ürettiği veriden çok daha üstün olduğu görülmektedir. Bu durum, Şekil 5.16(e)’de görülen orijinal görüntüye bakıldığında daha net anlaşılmaktadır.

5.5.3 Karşılaşılan Güçlükler

Çalışmanın ilk aşamalarında kurulan modelin başarılı sonuçlar verdiği görülse de çalışmanın başından beri özellikle iki soru ve sorun ortaya çıkmaktadır. Bunlar,

- Uydu görüntülerinin sahip olduğu, yazılımların sınırlarını zorlayan veri miktarı ile nasıl başa çıkılacak?
- Üretilen model “genel” olabilecek mi?

sorularıdır.

Veriler, sistemin eğitilmesi için uydu görüntülerinden olduğu gibi alındıklarında çok büyük bir veri miktarı ortaya çıkmaktadır. Modelleme çalışmalarının ilk aşamalarında kullanılan 7.5km*7.5 km.lik görüntü parçasında dahi 62000 piksel mevcuttur. Bu verilerin olduğu gibi modele sokulması halinde, modelin kapasitesini artırmak mümkün olamamaktadır. Bu da, kurulan modeli, ne kadar iyi sonuç vermiş olursa olsun “yerel” olmaktan kurtaramamaktadır. Oysa dünya üzerinde, elektromanyetik spektrumda farklı yansıtımlar veren sayılamayacak kadar çok obje bulunmaktadır. Bu soruna çeşitli çözümler üretilmeye çalışılmıştır.

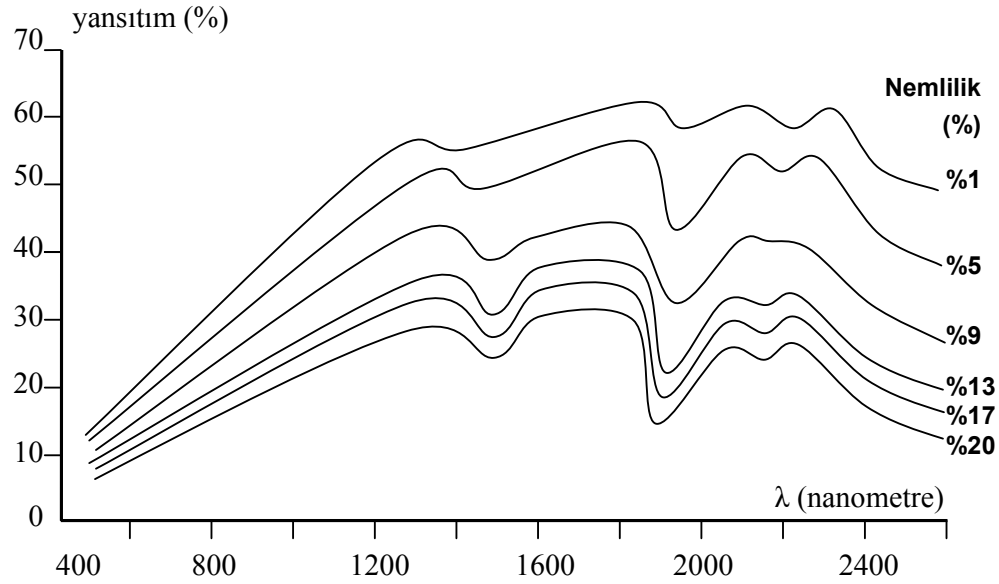
Daha fazla veriyi işleme sokabilmek için, görüntü içerisinde aynı parlaklık değerine sahip olan piksellerin ayıklanmasına yönelik, MATLAB ortamında geliştirilen bir yazılımla, girdi verilerinin içindeki her bir satır tekil hale getirilebilmişse de, bu yazılımın 5*5 km.den (~28000 piksel) büyük alanlarda etkin olarak kullanılamayacağı görülmüştür. Büyük veri miktarı sistemin kilitlenmesine neden olmuştur. İkinci aşama olarak, “.Net” ortamında benzer bir yazılım üretilmiştir. Bu yazılım, öncesine göre daha yüksek performans sergilemiş olsa da aynı problemlerle karşılaşmıştır.

Oysa herhangi bir uydu görüntüsü içerisinde birbirine eşit olmasa da çok yakın değerlere sahip yüz binlerce piksel olabilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında,

üstte üretilmeye çalışılan yazılımların etkin çalışması durumunda dahi sorunu tam olarak çözemeyeceği görülmüştür. Birbirine eşit ya da benzer yansıtım değeri veren veriler, modelin üzerine gereksiz yük bindirmekte, doğru çalışmasına olumsuz etki edebilmekte ve sonuçta “genel olma” özelliğini azaltmaktadır.

5.5.4 Sonuç Model

Kurulan modelin genel olabilmesi için, dünyanın bir başka bölgesinden alınmış veride de yeterli doğrulukta modelleme kabiliyetine sahip olması gereklidir. Dünya üzerinde bulunan objelerin çeşitliliği ve bu objelerin farklı mevsim ve aydınlanma koşullarında farklı özellikler gösterebilmeleri dikkate alındığında, çok daha geniş ve mümkün olduğu kadar genel bir model kurabilmek için dünyanın hepsini olmasa dahi büyük bir kısmını temsil edebilecek verinin temin edilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

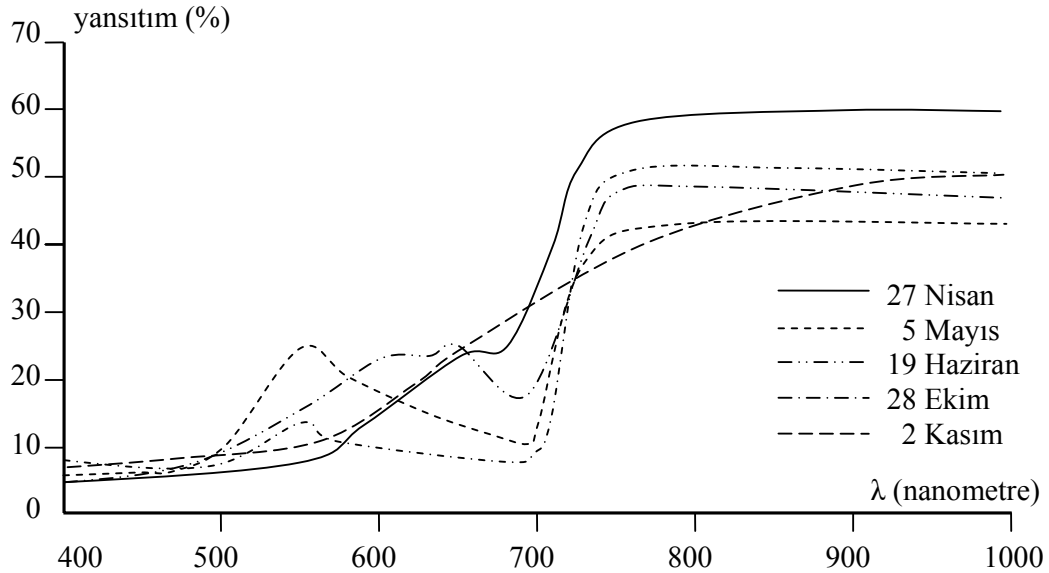


Şekil 5.17 Farklı nem seviyelerindeki alüvyonlu toprak yansıma değişimi (Albertz ve Kreiling, 1974)

Yaklaşık olarak 185km * 185km çerçeve boyutuna sahip, ~30m konumsal çözünürlüklü çok-bantlı LANDSAT görüntülerinin bir bantının dahi boyutu ~ 6150 * 6150 piksel olmakta ve bu, her bir bant için en az 38.000.000 adet piksele karşılık gelmektedir. Bu devasa derecede büyük veri miktarının, oluşturulan modele ayıklanmadan olduğu gibi girmesi, günümüzde sıradan kullanıcıların kullandıkları en yüksek performansa sahip bilgisayar yazılım ve donanımı ile dahi mümkün görünmemektedir.

Albertz ve Kreiling, (1974) aynı objenin farklı nem seviyelerinde ve farklı mevsimlerde farklı yansıtımlar verdiğini Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'deki gibi göstermiştir. Genel bir model kurabilmek için; dünyanın farklı bölgelerinden, farklı mevsimlerde alınmış, farklı yansıtımlar veren objelere ait verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda da, yukarıda da değinildiği gibi, söz konusu verinin çok yüksek boyutta olması sorunu ile karşılaşmaktadır.

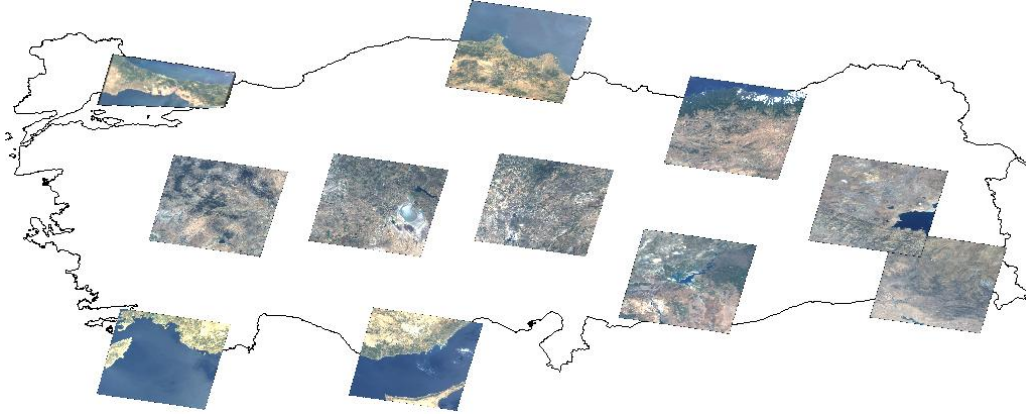
Uydu görüntülerinde orman, deniz, göl, tarım alanları vb., kendi içerisinde homojenitesi bulunan ve aynı ya da benzer özellikler gösteren, yani aynı ya da benzer gri değer aralıklarına sahip objeler bulunmaktadır. Örneğin Şekil 5.11'de görülen 185km *185km boyutundaki LANDSAT uydu görüntüsünde, çıplak gözle dahi görülebilen su kütlesi görüntü içerisinde 15.000.000 pikselden daha büyük bir alanı kaplamaktadır. Bu su kütlesini temsil edebilecek yeterli sayıda veri kullanılabilir ise, hem gereksiz veri tekrarı önlenecek, hem de modele çok daha hafif yük binmesi sağlanacaktır. Modelin doğru çalışmasında, aynı ya da benzer özelliğe sahip verinin tekraren girilmesinin bir faydası olmamaktadır.



Şekil 5.18 Meşe ağacı yaprağının zamana bağlı yansıma değişimi (Albertz ve Kreiling, 1974)

Yukarıda anlatılan çözüm mantığına uygun olarak, Şekil 5.19'da Türkiye haritası üzerindeki dağılımları gösterilen 11 adet LANDSAT uydu görüntüsü, modelde eğitime verisinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Optik algılama sistemine sahip uydular güneş

ışınlarının yeryüzünden yansıyan enerjisini kayıt etmekte, görüntü kalitesi bulutluluk ve nem oranlarından oldukça etkilenmektedir. Bu nedenle, uzaktan algılama uzmanlarının görüntü alımı için tercih ettikleri mevsim, kullanılış amaçlarına göre bu olumsuz etkilerin minimum olduğu Mayıs-Eylül dönemine denk gelmektedir. Bu doğrultuda, kullanılan LANDSAT uydu görüntüleri, dönemsel olarak Mayıs-Eylül ayları arasında kalmaktadır. Bu verilerin özellikleri Çizelge 5.5’te gösterilmektedir.



Şekil 5.19 Eğitim verisi olarak kullanılan LANDSAT çerçevelerinin konumlarının Türkiye haritası üzerinde gösterimi

Çizelge 5.5 Kullanılan LANDSAT görüntüleri

İz / Sıra (path/row)	Tarih	Uydu (LANDSAT)
029 / 039	27.Şubat.2001	7
170 / 31	13.Haziran.2001	7
170 / 33	13.Haziran.2001	7
170 / 34	30.Temmuz.1989	4
171 / 33	23.Eylül.1989	4
171 / 34	22.Mayıs.2002	7
173 / 32	17.Temmuz.2000	7
173 / 34	20.Mayıs.2002	7
175 / 33	13.Haziran.2000	7
176 / 31	27.Temmuz.1987	5
176 / 35	07.Ağustos.2000	7
177 / 33	10.Mayıs.2000	7
179 / 33	01.Ağustos.1987	5
179 / 35	01.Ağustos.1990	4
180 / 31	02.Temmuz.2000	7
180 / 32	06.Haziran.2005	7
181 / 31	25.Temmuz.2000	7
195 / 29	30.Temmuz.2001	7

5.5.4.1 Girdi Verilerinin Üretilmesi

Kullanılan LANDSAT uydu görüntülerinin ayrı ayrı olarak her birinde oluşabilecek maksimum sayıdaki homojen alan oluşturulmaya çalışılmıştır. Homojen alanlar üretmek amacıyla her bir görüntü çok ayrıntılı ve mümkün olabildiği kadar çok homojen alanın üretildiği, hassas bir kontrolsüz sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir görüntüde, modellemede kullanılacak spektral aralıklara karşılık gelen bantlar (bant-1, bant-2 ve bant-3) işleme sokularak oluşturulan ve kendi içlerinde homojen olan alanların, her bir bantta aldıkları maksimum, minimum ve ortalama değerler bulunmuştur. Bu değerlerin, ait oldukları homojen alanı yeterince temsil ettiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.6 Homojen alanların istatistiksel değerleri

Homojen alan: 1			
Toplam piksel sayısı: 2287076			
İstatistikler			
Bant	Minimum	Maksimum	Ortalama
1	24	73	63,784
2	1	29	16,068
3	6	23	12,238
Kovaryans			
Bant	1	2	3
1	8,086	1,31	-0,2
2	1,31	1,573	1,139
3	-0,2	1,139	2,265
Homojen alan: 2			
Toplam piksel sayısı: 696911			
İstatistikler			
Bant	Minimum	Maksimum	Ortalama
1	1	73	64,059
2	15	38	23,453
3	16	47	25,582
Kovaryans			
Bant	1	2	3
1	9,422	2,727	4,377
2	2,727	4,133	3,44
3	4,377	3,44	8,199

Çizelge 5.6'da çok küçük bir kısmının görülebildiği üzere, oluşturulan maksimum

sayıda ve minimum boyuttaki homojen alanlar görüntüde yüz binlerce piksele karşılık gelirken, sadece üç değer ile (min., maks. ve ortalama) temsil edilebilmektedir. Girdi verilerinin üretilmesinde takip edilen işlemler Şekil 5.20’de özetlenmiştir.

Her bir görüntü için oluşturulan tabloların düzenlenmesi ve içerisinden istenilen bilgilerin ayıklanması durumunda da yine on binlerce satırdan oluşan tablolarla karşılaşmaktadır. Bu tabloların içerisinden 1., 2. ve 3., bantlara ait min., maks. ve ortalama değerlerinin öncelikle ayrılması ve bunun için ilgili olmayan satırların silinmesi gerekmektedir. Söz konusu işlem gerçekleşince Çizelge 5.7’deki gibi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.7 Verilerin düzenlenmesi 1. adım

1	24	73	63,784
2	1	29	16,068
3	6	23	12,238
1	1	73	64,059
2	15	38	23,453
3	16	47	25,582

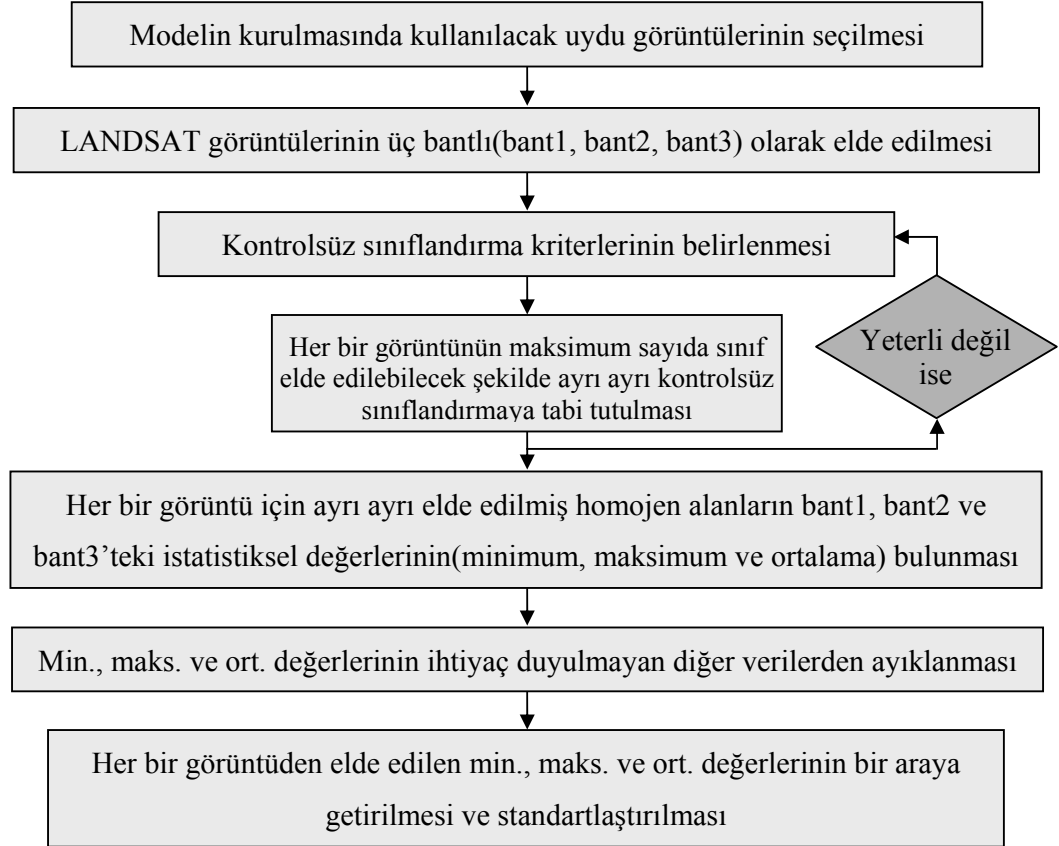
Veriler, Çizelge 5.7’deki gibi düzenlense dahi bu yetmemekte, art arda gelen her bir üç satırın ayrı ayrı transpozisinin alınması ve bunların alt alta yazılması gerekmektedir. Söz konusu işlem gerçekleştirilince veriler, Çizelge 5.8’deki duruma dönüşmektedir.

Çizelge 5.8. Verilerin düzenlenmesi 2. adım

Bant 1	Bant 2	Bant 3
24	1	6
73	29	23
63,784	16,068	12,238
1	15	16
73	38	47
64,059	23,453	25,582
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Son işlem gerçekleştirilip veriler Çizelge 5.8’deki duruma dönüşünce, artık bant 1,2 ve 3 değerlerinin alt alta yer aldığı 3 sütundan oluşan bir tablo elde edilmekte ve bu şekli ile model kurulması için hazır hale gelmiş olmaktadır. Verilerin düzenlenmesi için üstte sıralanan işlem adımları önce manuel olarak yapılmaya çalışılmışsa da, her bir tablonun

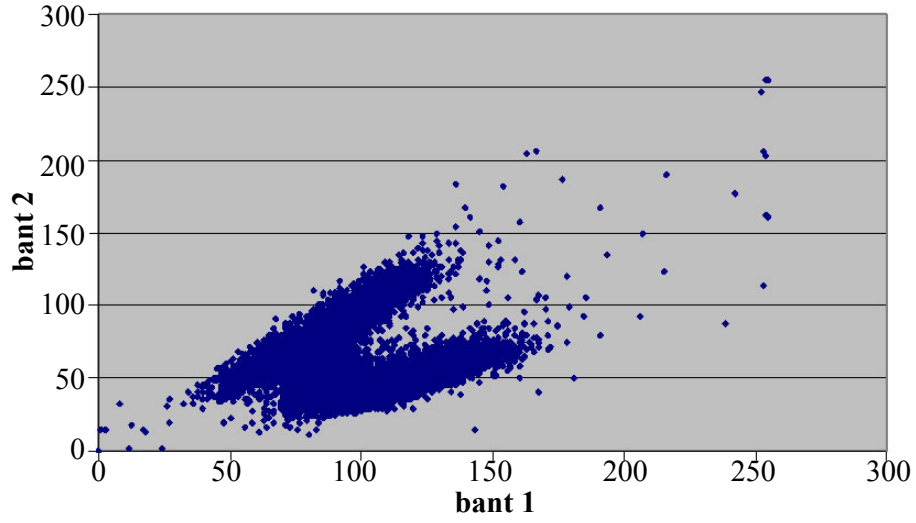
on binlerce satırdan oluşması nedeniyle günler süren çok uzun bir çalışma zamanı aldığı ve istenmeden de olsa veriye bir takım zararların verilebildiği görülmüştür. Ayrıca 2. işlem adımında belirtildiği gibi, verinin her bir üç satırın ayrı ayrı transpozisinin alınarak alt alta yazılması da en az ilk işlem adımı kadar uzun ve yorucu olabilmekte, dikkatin dağılması neticesinde istenmeyen hatalar yapılabilmektedir.



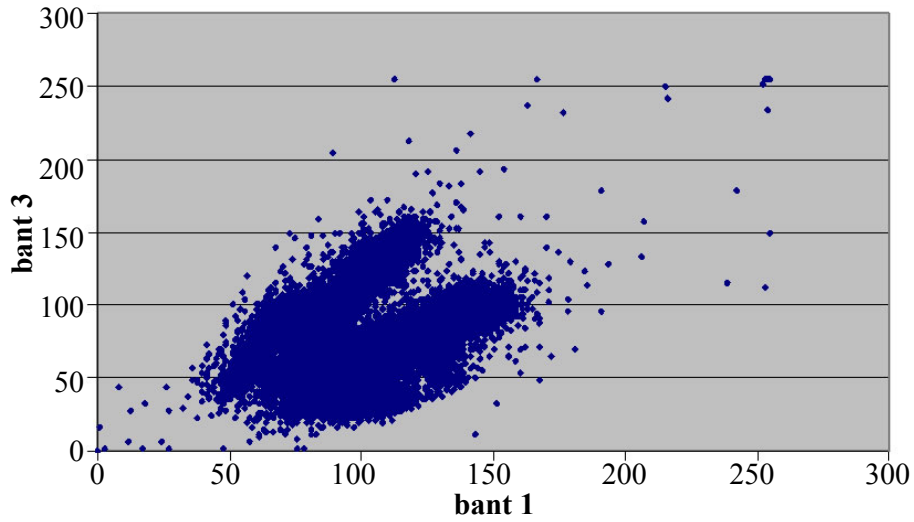
Şekil 5.20 Girdi verilerinin üretilmesi akış şeması

Üstte açıklanan nedenlerden dolayı, bu işlemlerin manuel olarak doğru bir şekilde yapılamayabileceği ve oluşabilecek hatalardan dolayı da yapılmaması gerektiği görülmüştür. Neticede, MATLAB yazılımı üzerinde çalışan bir program yazılarak söz konusu işlemlerin hem hızlı, hem de hatasız olarak yapılması sağlanmıştır. Üretilen bu yazılım, kullanılan bütün LANDSAT görüntülerinden elde edilen verilerle işleme sokularak, kurulacak modele girdi oluşturacak veriler hazır hale getirilmiştir. Girdi verilerinin üretilmesinde takip edilen işlem adımlarının akış şeması Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırmada maksimum sayıda sınıf elde edilebilmesi amacıyla, her bir görüntüden en az 3000 sınıf çıkarılması istenmiş, maksimum iterasyon

değeri “7”, konverjans eşiği ise “0.97” olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.21 Eğitim verisi bant-1 ve bant-2 veri dağılımı



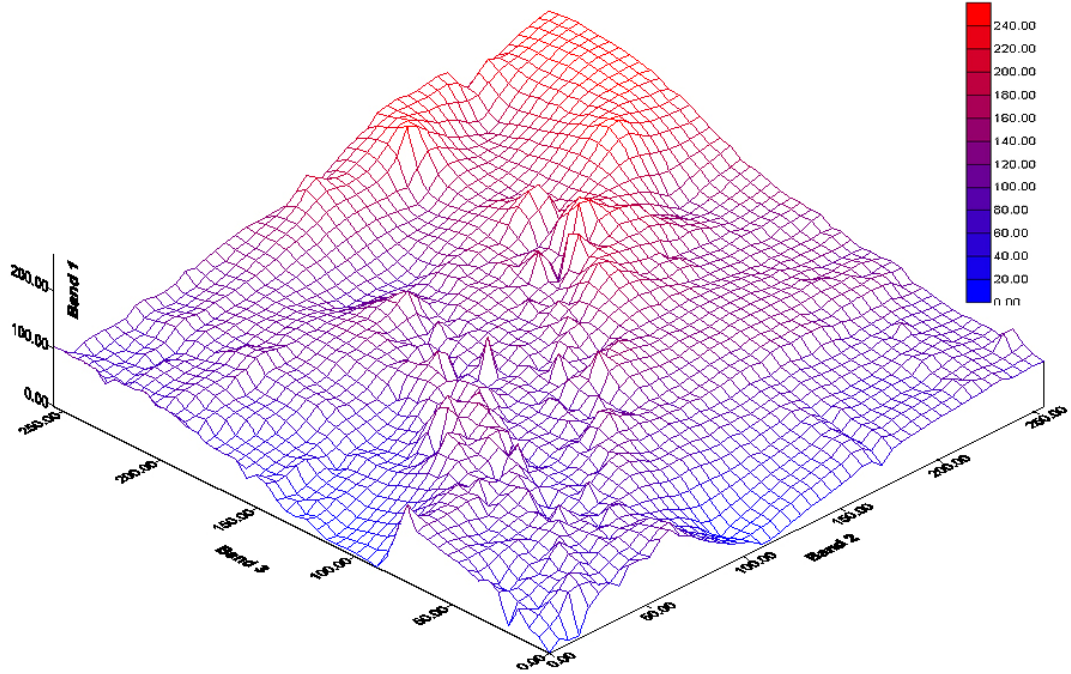
Şekil 5.22 Eğitim verisi bant-1 ve bant-3 veri dağılımı

Sonuçta, her bir LANDSAT görüntüsünden elde edilen tablolar birbirine ilave edilince 3 satırlı ve 57066 sütunlu bir veri kümesi oluşturulmuştur. Şekil 5.21’de girdi verilerinden bant 1 ve bant 2 arasındaki dağılım ve Şekil 5.22’de ise bant 1 ve bant 3 arasındaki dağılım gösterilmiştir. Şekil 5.23’te ise girdi verilerinin üç boyutlu uzayda gösterimi gerçekleştirilmiştir.

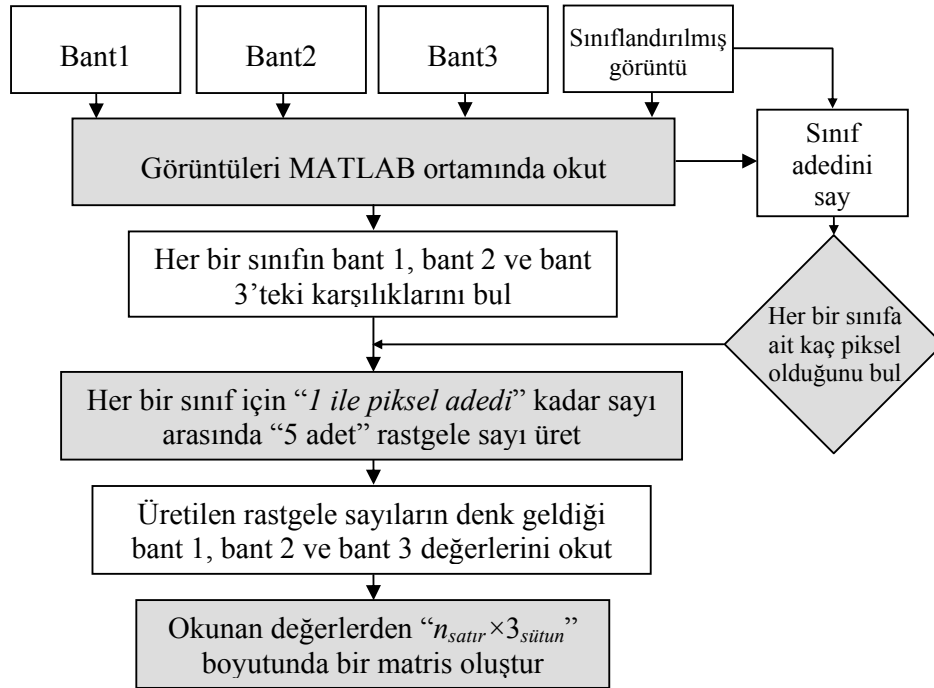
5.5.4.1.1 Üretilen Girdi Verilerinin Kontrolü

Kurulacak modelin doğruluğu, girdi verilerinin doğru ve sağlıklı bir şekilde elde edilmesine bağlı olduğu için, üstte açıklanan yöntemlerden bağımsız başka bir yöntemin

de geliştirilmesi gerekli görülmüştür. Bu şekilde, hem üretilen girdi verileri başka bir yöntemle kontrol edilmiş olacak, hem de yeni yöntemle üretilen veriler daha uygun görülürse modellemeye bu verilerle devam etme olanağı sağlanmış olacaktır.

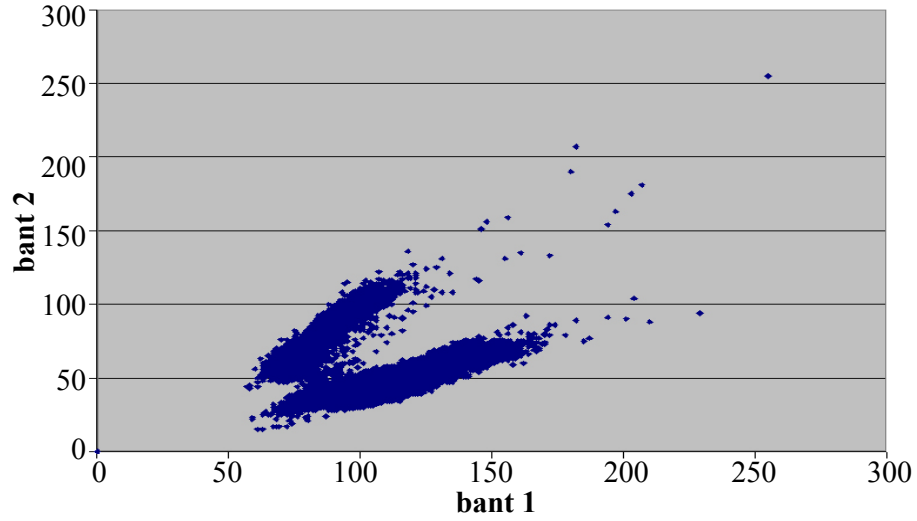


Şekil 5.23 Girdi verilerinin üç boyutlu uzayda gösterimi

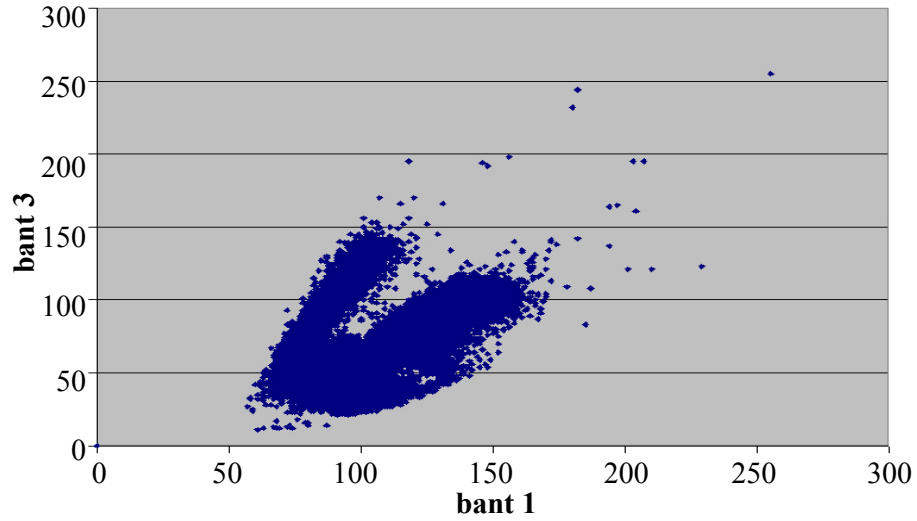


Şekil 5.24 Girdi verilerinin başka bir yöntemle elde edilmesi akış şeması

Şekil 5.24'te gösterilen akış şeması ile özetlenen yeni yöntem ile, arzu edilirse daha az ya da daha çok sayıda veri, daha hızlı bir biçimde üretilebilmektedir. Bu yöntemle elde edilen veriler daha önce kullanılan yöntemle elde edilen verilerle kıyaslandığında çok yakın çıkmış (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26) ve bu şekilde girdi verilerinin doğruluğu teyit edilmiştir. Üretilen özgün yazılımın gerekirse biraz daha geliştirilerek ileriki başka çalışmalarda da etkin olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.25 Yeni yöntemle elde edilen eğitime verisi bant-1 ve bant-2 veri dağılımı



Şekil 5.26 Yeni yöntemle elde edilen eğitime verisi bant-1 ve bant-3 veri dağılımı

5.5.4.2 Sonuç Modelin Kurulması

Girdi verileri, önceki aşamalarda Denklem 5.7 kullanılarak, Excel programında standartlaştırılmıştı. Aynı şekilde, üretilen model sonuçları da, standart halden gri değer aralığına (0-255) yine Excel programı kullanılarak yapılmıştı. Excel programının getirdiği sınırlandırmalar Bölüm 5.5.3'te ifade edilmiştir. Ayrıca; modele sokulan görüntülerin "ASCII" formatına dönüştürülmesi ve model sonucunda üretilen "ASCII" formatındaki verinin gri değerlere, yani görüntüye dönüştürülmesi ise .Net ortamında yazılmış olan bir yazılım ile yapılmaktaydı.

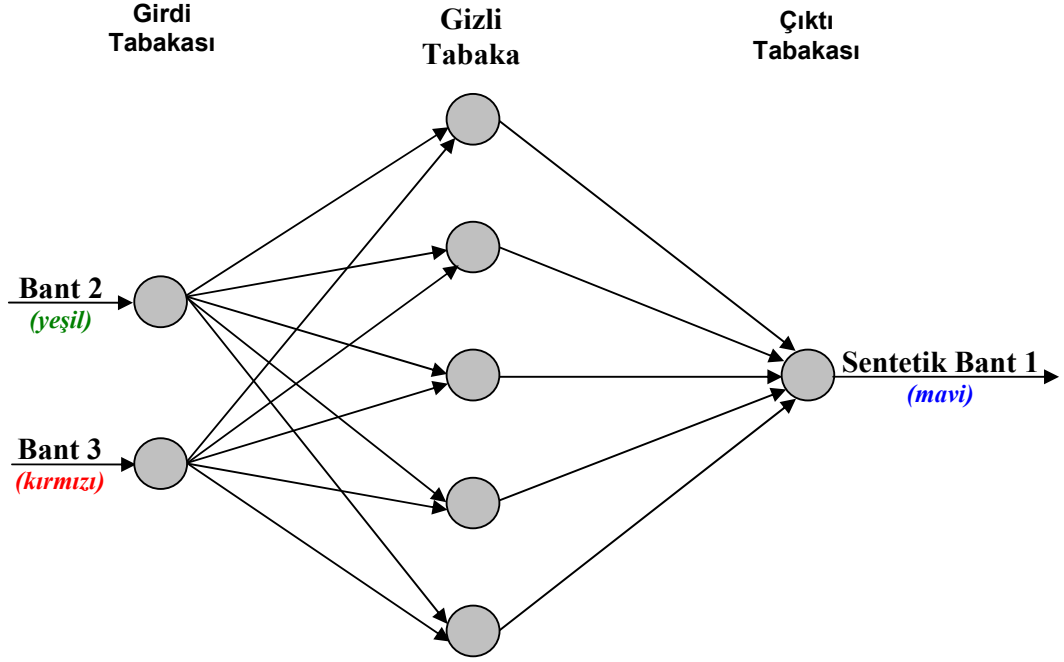
Hem zaman kaybına, hem veri dağınıklığına, dolayısı ile olası işlem hatalarına sebep olabilecek üstte sıralanan işlemlerin tek bir yazılım çatısı altına alınmasına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu çatının da, modelleme için YSA araç-kutusunun (toolbox) kullanıldığı MATLAB ortamında olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçta, üstte sıralanan işlemlerin tümü MATLAB ortamında üretilen yazılım ile yapılır hale getirilmiştir. Üretilen yazılımın efektif olarak çalıştığı görülmüştür.

Modelin kurulması için kullanılan girdi verilerinin standartlaştırılması gerektiği 5.5.2 Bölümünde açıklanmıştı. Sigmoid fonksiyonunun yapısından dolayı uygulanması gereken standartlaştırma (normalleştirme) yöntemlerinin kabiliyeti, farklı çalışmalar için değişebilmektedir. Örneğin Bolat ve Kalenderli(2003)'de veriler 0 ile 1 arasında kalacak şekilde standartlaştırılmışsa da, bu çalışmada verilerin 0.1 ile 0.9 arasında kalacak şekilde standartlaştırılmasının daha uygun olduğu görülmüştür. Standartlaştırma için Denklem 5.7 dışında, Denklem 5.10 ve yine bir standartlaştırma yöntemi olan, verinin her bir elemanın logaritmasının alındığı "logaritma yöntemi" de denendiyse de, ilk yöntem kadar iyi sonuçlar vermemesi nedeniyle daha önce kullanılan yöntemin kullanımına devam edilmiştir. Denklem 5.10'da, " z_i " standartlaştırılmış değeri, " x_i " gri değeri, " $\bar{x}$ " verideki tüm gri değerlerin ortalamasını ve " s " ise tüm gri değerlerin standart sapmasını ifade etmektedir.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (5.10)$$

İki girdisi (LANDSAT bant-2 ve bant-3) ve bir çıktısı (sentetik bant-1) olan sistemimizde YSA modellemesi için birçok farklı senaryo uygulanmış ve denenerek en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu senaryoların her birinde farklı ağ çeşitleri (Hopfield, geri-yayılım algoritmaları, vb.), farklı eğitme fonksiyonları (Levenberg-

Marquardt, RPROP, vb.), farklı adaptasyon öğrenme fonksiyonları (Gradyent azaltma, vb.), farklı performans fonksiyonları (MSE, SSE, vb) kullanılmıştır. Farklı saklı tabaka sayıları denenmiş ve en uygun saklı tabaka sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bütün bu işlemlerde, tabakalarda farklı işlemci eleman (nöron) adedi ile sistem çalıştırılmış ve sonuçta farklı transfer fonksiyonu (tanjant hiperbolik sigmoid, PURELIN(doğrusal), vb.) kullanılarak işlem sonlandırılmıştır.

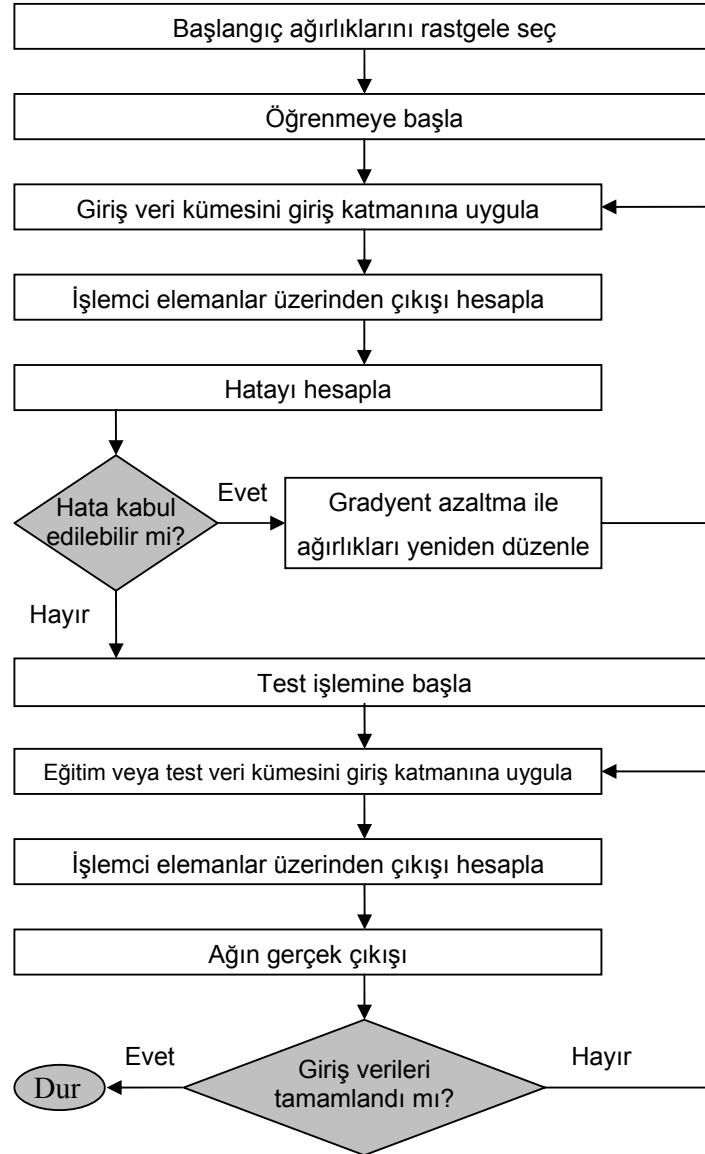


Şekil 5.27 Sonuç model ağ mimarisi

Performans değerleri Şekil 5.29’da gösterilen çalışma sonucu kurulan modelde; ağ çeşidi olarak “ileri beslemeli (feed forward) geri-yayılımlı ağ” (Şekil 5.28) kullanılmıştır. Yapay sinir ağının ağırlıklarının hesaplanması için, eğitim sürecinde “Levenberg-Marquardt eğitme fonksiyonu” algoritmasından yararlanılmıştır. Adaptasyon öğrenme fonksiyonu olarak “Gradyent azaltma fonksiyonu” kullanılmıştır. Kurulan modelin iki adet saklı tabakası vardır ve 5 adet işlemci eleman (nöron) kullanılmıştır. Tanjant hiperbolik sigmoid fonksiyonu ise transfer fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Kurulan modelin ağ mimarisi Şekil 5.27’de görülmektedir.

Öğrenme algoritmaları, kendisinden önce geliştirilen algoritmalara alternatif olarak ortaya çıkmıştır ve önceki algoritmaların iyi yönlerini geliştirip, kötü yönlerini azaltmaya yönelmiştir. Levenberg-Marquardt algoritması da, Newton ve Gradyen Azalması algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve kısıtlamalarını ortadan

kaldırır. Genel olarak Levenberg-Marquardt algoritması yavaş yakınsama probleminden etkilenmez. Burada hedef, performans fonksiyonun en küçük yapacak ağırlık değerini bulmaktır (Bolat ve Kalenderli, 2003). Ngia vd. (1998), lineer olmayan adaptif filtreler için eğitim algoritması olarak çok-tabakalı ileri beslemeli YSA'ları filtre yapısı olarak kullanan LM ile ilgili ayrıntılı bilgi vermektedir.



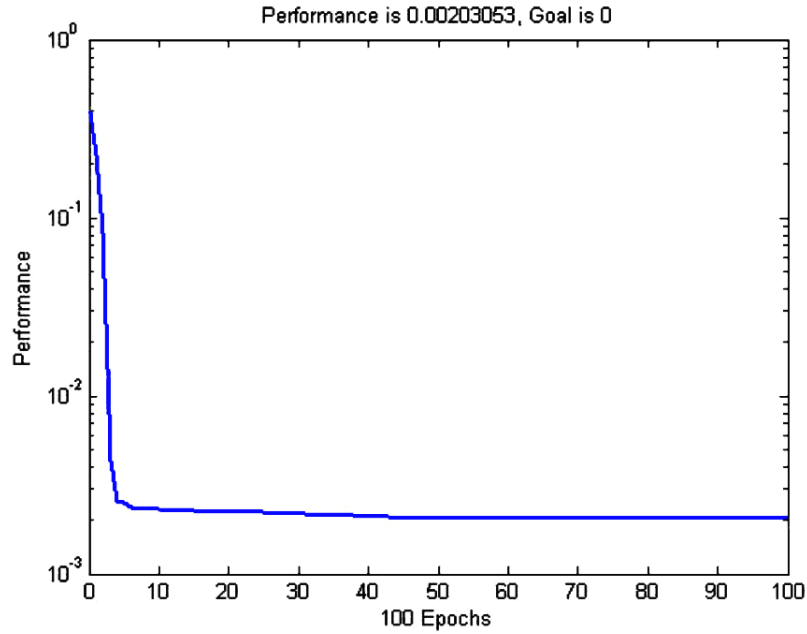
Şekil 5.28 Geri-yayılım akış şeması (Özkan, 2001)

Adaptasyon öğrenme fonksiyonu olarak kullanılan “Gradyent azaltma fonksiyonu”, verilen bir nöron için nöronun girdisi(P) ve hatası(E), ağırlık (Veya bias) öğrenme oranı(LR) ve momentum sabitinden(MC) ağırlık değişimini(dW) hesaplamaktadır. Aşağıdaki denklemde “ dW_i ” bir önceki ağırlık değişimini, “ gW ” ise gradyent ağırlığını

ifade etmektedir.

$$dW = MC*dW_i + (1-MC)*LR*gW \quad (5.11)$$

Modelin eğitilmesi 100 epok (yineleme) sonra, yeterli performans kriterine ulaşılması üzerine sonlandırılmıştır (Şekil 5.29). Epok, YSA'da sistemin eğitilmesi aşamasında döngüye kaç sefer gireceğini gösteren değerdir. Sistem epok sayısı kadar ağırlık katsayılarını günceller.



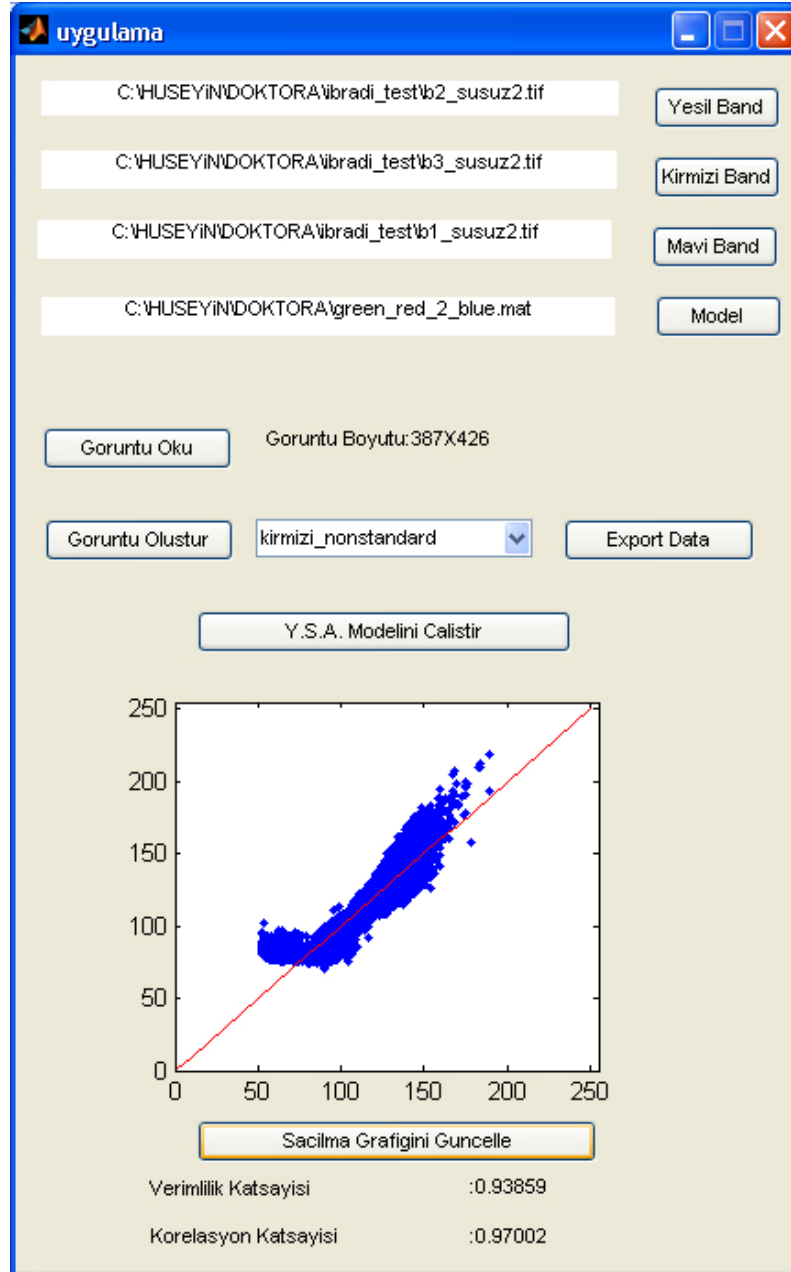
Şekil 5.29 Yeterli sistem performansına ulaşılması

5.5.4.3 Geliştirilen Uygulama Yazılımı

Çalışmada gelinen noktada, girdi verilerinin üretilmesinden, YSA modelinin kurulması ve sınanması aşamalarına kadar yapılan bütün işlemlerin MATLAB ortamında üretilen yazılımlarla yapılabildiği belirtilmişti.

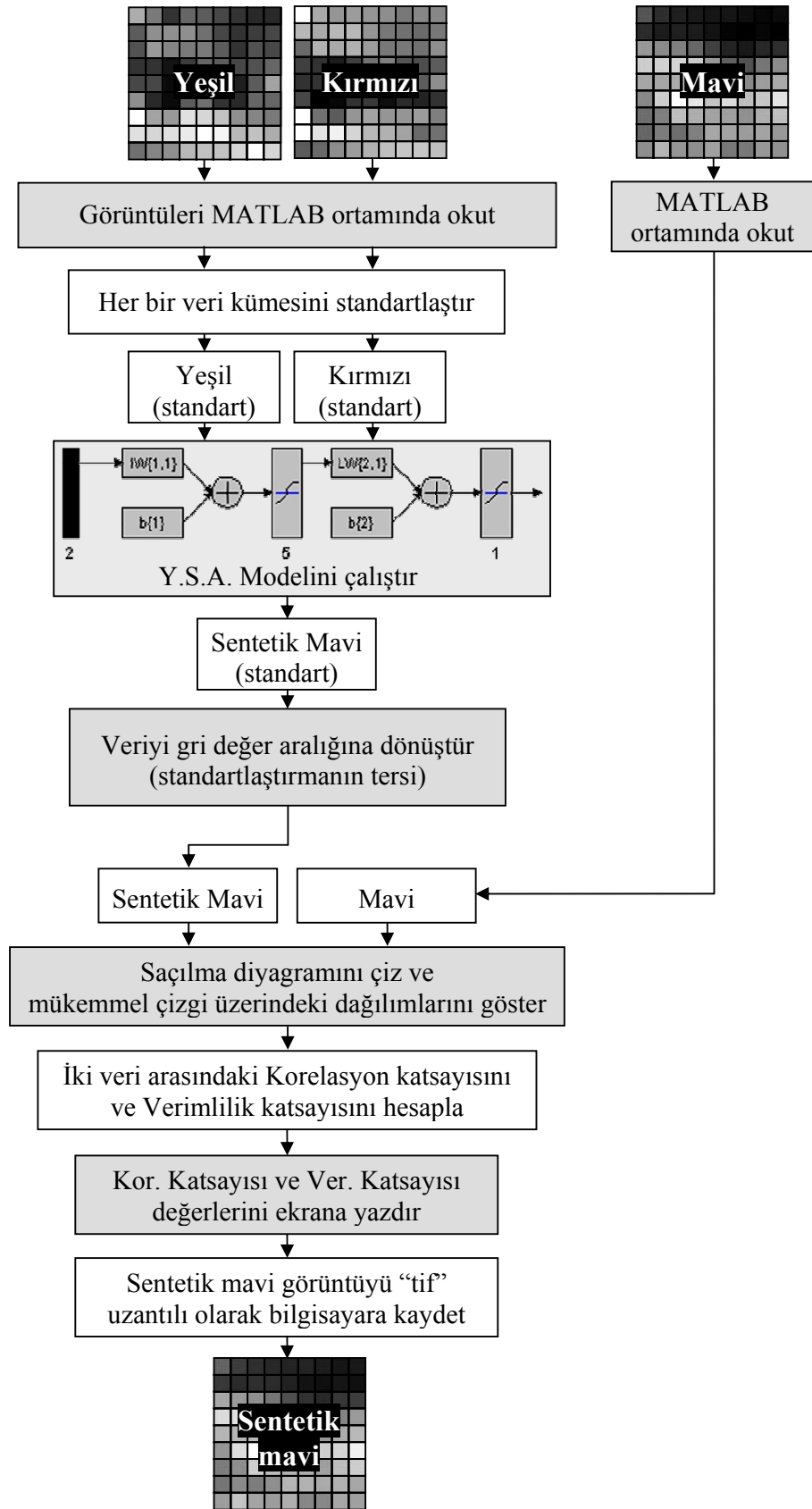
Girdi verisi olan uydu görüntülerinin okutulması, bu görüntülerin MATLAB ortamında işlem yapabilecek hale dönüştürülmesi, dönüştürülen verilerin YSA modelinde işleme girmeden önce standartlaştırılması, standartlaştırılmış verilerin YSA modeli içerisinde simule edilmesi, model sonucu üretilen verinin tekrar gri-değer aralığına dönüştürülmesi, mevcutsa orijinal görüntü (mavi bant) ve model sonuçlarının (sentetik mavi bant) karşılaştırılarak gözlem-tahmin saçılma diyagramının çizdirilmesi, standart sapma ve verimlilik katsayılarının hesaplanması ve gösterimi ve sonuç olarak üretilen

sentetik mavi bantın “tif” uzantılı bir görüntü olarak bilgisayara kayıt edilmesi işlemlerinin hepsi, sırasıyla farklı yazılımlar aracılığı ile yapılmaktaydı.



Şekil 5.30 Uygulama yazılımı

Grafiksel kullanıcı arayüzü, (GUI) formlu program yazma gibi sayısal işlemleri, kullanımı kolay bir grafik arayüzü üzerinden gerçekleştirilmesine de olanak sağlayan MATLAB’ın bu özelliğinden faydalanılarak, üstte sıralanan işlemleri gerçekleştiren yazılımlar, Şekil 5.30’da gösterilen “uygulama” adı verilen tek bir grafik arayüzlü yazılımda bütünleştirilmiştir. Yazılımının işlem akış şeması Şekil 5.31’de gösterilmiştir.

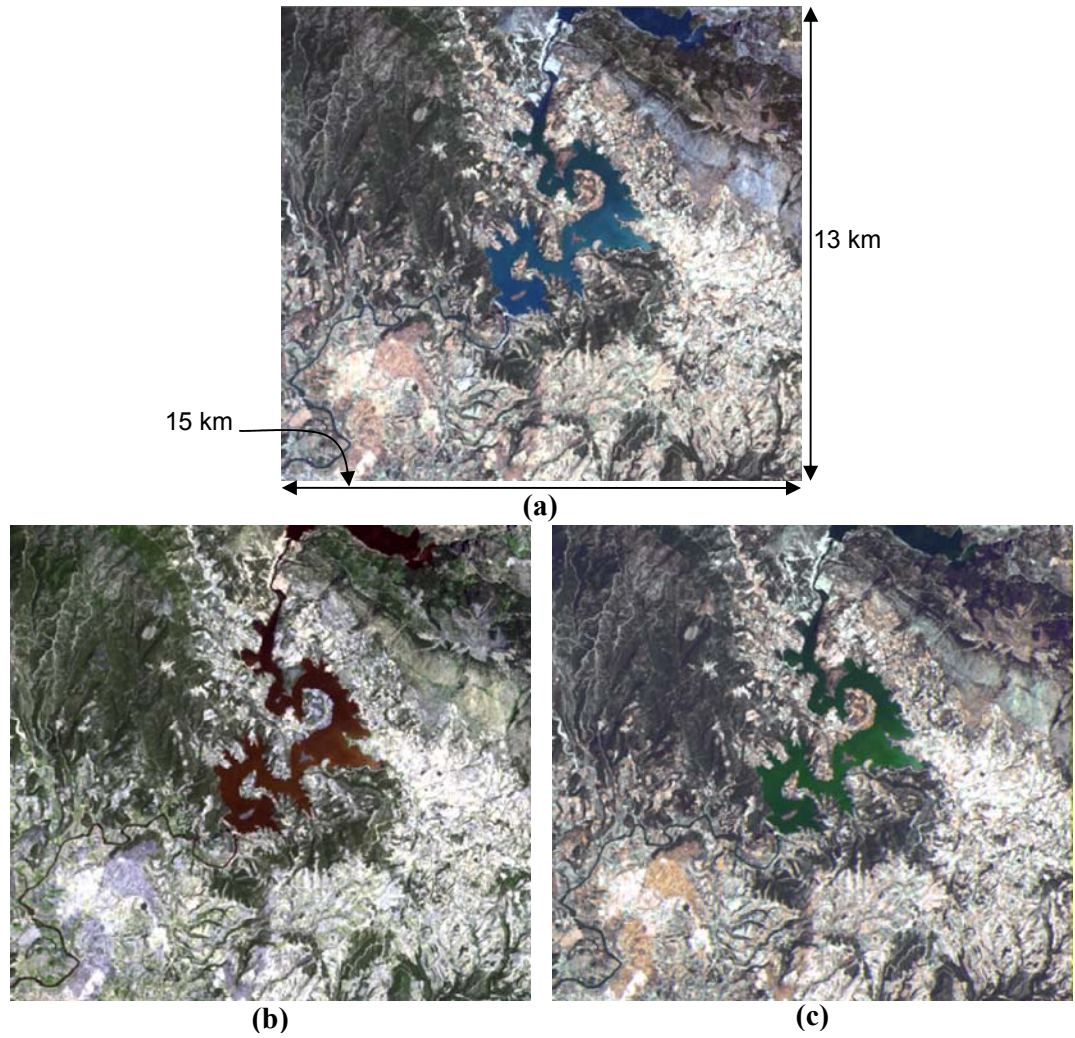


Şekil 5.31 Uygulama yazılımı işlem akış şeması

5.5.4.4 Modelin Bağımsız Test Verileri ile Sınanması

Üretilen modelin sınanmasında eğitime aşamasında yararlanılan görüntülerin dışında, başka görüntüler kullanılmalıdır. Bu aşamada kullanılan test verileri bu ilke gözetilerek seçilmiştir. Test verileri, üretilen modelde işleme sokulmuş ve aşağıda sıralanan şekillerdeki görüntüler elde edilmiştir. Modelin ürettiği “sentetik bant-1”, tek başına (gri-değerler) sunulmak yerine, aynı verinin orijinaline ait “bant-2 ve bant-3” verileri ile **KYB** bileşeninde bir araya getirilerek sunulmuştur.

Deney 1

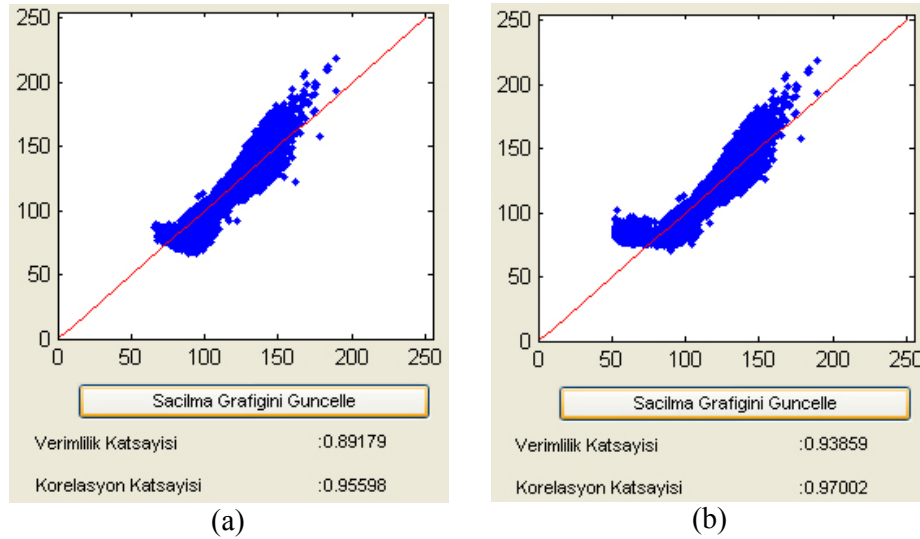


Şekil 5.32 Test verileri ile modelin sınanması-1 (a)Orijinal görüntü, (b)Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas) (c)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntü

Oymapınar Barajı havzasına ait LANDSAT TM görüntüsü için çalışmada kurulan modelin ürettiği “sentetik gerçek renk bileşeni” görüntünün, orijinal görüntü ile çok yakın benzerlik gösterdiği görülmektedir. Üretilen bu “sentetik gerçek renk bileşeni”,

Denklem 5.2’de gösterilen mantıkla Erdas Imagine yazılımında üretilen doğal renk bileşeni” görüntü ve orijinal **KYM** bileşeni görüntü ile birlikte verilmiştir. Denklem 5.2’deki mantıkla üretilen “doğal renk bileşeni” görüntünün ise kurulan modelin ürettiği görüntüyle karşılaştırıldığında yapay kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.32’de de görülebileceği gibi, modelimizin ürettiği (c) görüntüsü, (a) orijinal görüntü ile görüntüdeki su kütlesinin kapladığı alan haricinde çok yüksek korelasyon sağlamıştır (Şekil 5.33). Su kütlelerinin verdiği yansıtımın özellikle de elektromanyetik spektrumun mavi bölgesinde çok düşük olmasının, modelin bu konu ile ilgili kabiliyetini kısıtladığı düşünülmektedir. Bu etkinin gösterilmesi amacıyla Şekil 5.32’deki uydu görüntüsü üzerindeki su kütlesi kısmen kapatılarak işleme tekrar sokulduğunda, Şekil 5.33 (b)’de görüldüğü gibi hem korelasyon katsayısı, hem de verimlilik katsayısının olumlu yönde belirgin bir biçimde artış gösterdiği görülmektedir.



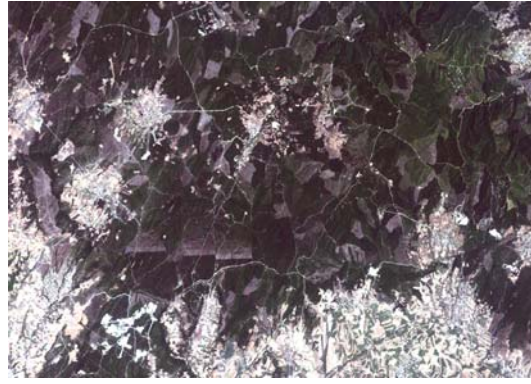
Şekil 5.33 Oymapınar havzası LANDSAT TM görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramları (a) Su kütlesi mevcut, (b) Su kütlesi çıkarılmış

Deney 2

Modelin IRS-1D/LISS III algılayıcı verisi üzerindeki performansını test etmek üzere İstanbul’un batı tarafında bulunan Şekil 5.34’te görülen görüntü parçası çalışma alanı olarak kullanılmıştır. LANDSAT ve IRS görüntülerinin mevsimsel ve aydınlanma farklarını minimuma indirmek amacıyla yakın tarihli olmasına dikkat edilmiştir. LANDSAT görüntüsü 25.Temmuz.2000(p181r31) tarihinde, IRS görüntüsü ise 29.Temmuz.2000(p43r40) tarihinde kayıt edilmiştir. Kullanılan görüntüler arazi üzerinde aynı alanı kaplayacak şekilde kesilerek işlem yapılmıştır.



Şekil 5.34 İstanbul LANDSAT ETM görüntüsü ve üzerinde IRS 1D/LISS III görüntüsü



(a)



(b)

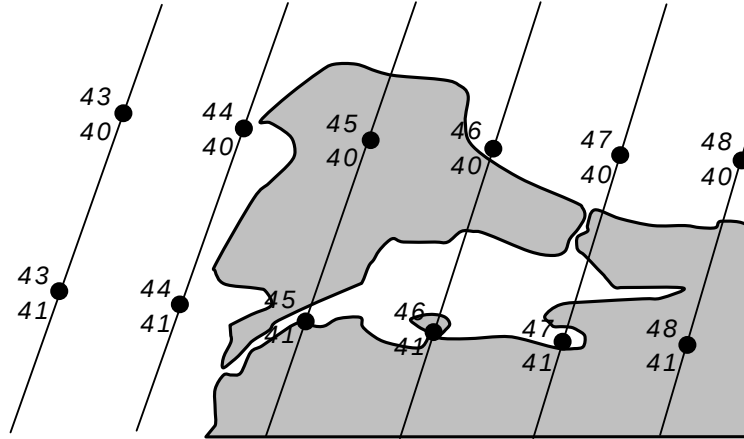


(c)

Şekil 5.35 Test verileri ile modelin sınanması-2 (a)LANDSAT ETM+ görüntüsü bant 3,2,1 **KYM** kombinasyonu, (b)IRS-1C/LISS Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas)
(c)Üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk **KYM** bileşeni görüntü

Aynı bölgeyi kaplayan, LANDSAT 7 TM ve IRS_1D/LISS III görüntüsü Şekil 5.34’te görülmektedir. Kurulan YSA modelini çalıştıran “uygulama” yazılımında, girdi verileri olarak IRS-1D/LISS III algılayıcısının elektromanyetik spektrumun “yeşil (0.52–0.59 μm)” ve “kırmızı (0.62–0.68 μm)” bölgesine duyarlı 1. ve 2. bantı işleme sokulmuştur. Üretilen “sentetik mavi bant” görüntü, görünür bölgeye duyarlı diğer bantlarla **KYM** kombinasyonunda birleştirilmiştir. Aynı IRS görüntüsünden Denklem 5.2’deki mantıkla “doğal renk bileşeni” görüntü de üretilmiştir. Şekil 5.35(b) ve Şekil 5.35(c)’de gösterilen IRS görüntüleri, Şekil 5.35(a)’da gösterilen gerçek renkli LANDSAT görüntüleri ile görsel olarak karşılaştırıldığında, üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk bileşeni görüntünün, gerçek renklere çok daha yakın olduğu görülmektedir.

Deney 2’de kullanılan IRS görüntüsü 43. izden alınmıştır. Oysa test alanı 46. izin kaplama alanı içerisinde kalmaktadır. Dolayısı ile Şekil 5.36’daki geçiş yörüngesinde görüldüğü gibi test verisi nadir alım değildir.



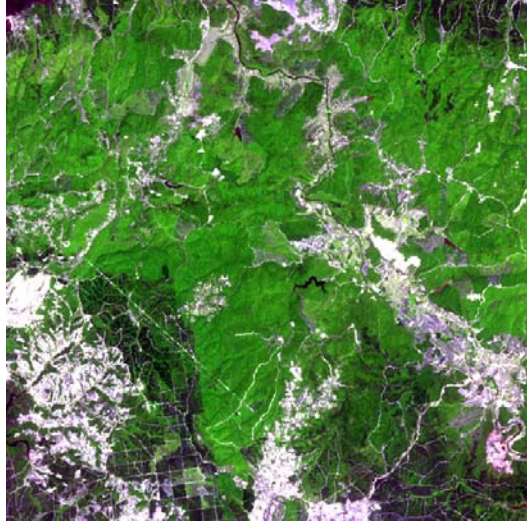
Şekil 5.36 IRS 1C/D uydusunun çalışma alanları üzerinden geçiş yörüngesi

Deney 3

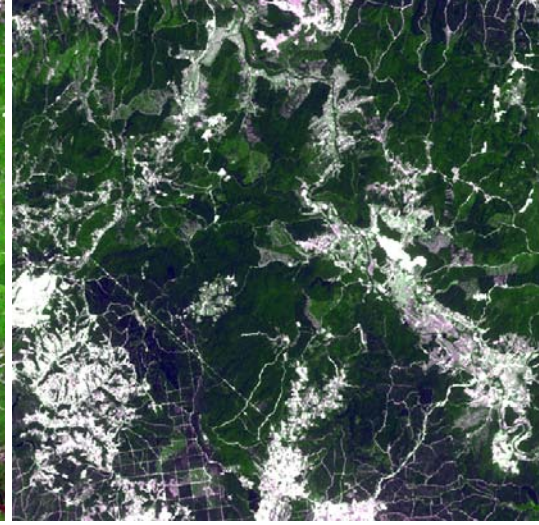
Çalışmanın bu aşamasında İstanbul’un Asya yakasında bulunan Şekil 5.37’de görülen IRS-1D/LISS III algılayıcı verisi görüntü parçası çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan LANDSAT görüntüsü 2.Temmuz.2000 (p180r31) tarihinde, IRS görüntüsü ise 26.Temmuz.2000 (p44r40) tarihinde kayıt edilmiştir. Aynı yılın aynı ayında da olsa iki veri arasında aydınlanma farkları mevcuttur. Bu fark, Şekil 5.38’de aynı spektral aralığa duyarlı olan ETM+ (bant3) ve LISS-III (bant2) görüntülerinde görülmektedir. Kullanılan görüntüler arazi üzerinde aynı alanı kaplayacak şekilde kesilerek işlem yapılmıştır.



(a)



(b)



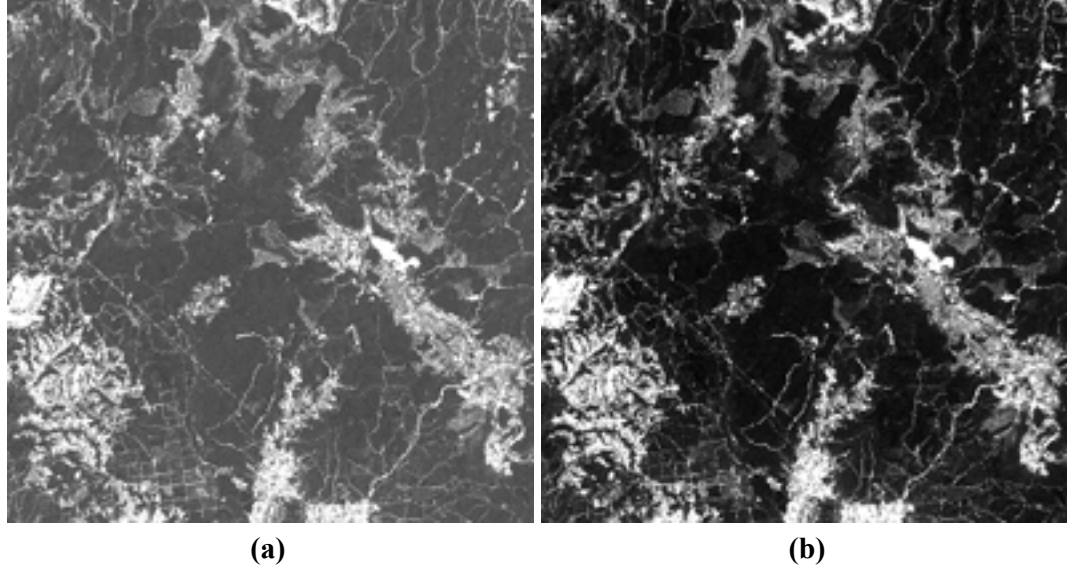
(c)

Şekil 5.37 Test verileri ile modelin sınanması-3 (a)LANDSAT ETM+ görüntüsü bant 3,2,1 **KYM** kombinasyonu, (b)IRS-1C/LISS Doğal renk bileşeni görüntü(Erdas) (c)Üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk **KYM** bileşeni görüntü

IRS görüntüsünden Denklem 5.2'deki mantıkla üretilen “doğal renk bileşeni” görüntü (Şekil 5.37(b)) ve Şekil 5.35(c)'de gösterilen “sentetik gerçek renk bileşeni” görüntü gerçek renkli LANDSAT görüntüsü ile görsel olarak karşılaştırıldığında, üretilen IRS-1C/LISS sentetik gerçek renk bileşeni görüntünün, gerçek renklere çok daha yakın olduğu görülmektedir. Şekil 5.37(a) ve Şekil 5.37(c) arasındaki ton farkının, Şekil 5.38'de gösterildiği gibi iki görüntü arasındaki 24 günlük farktan kaynaklanan aydınlanmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deney 3'te kullanılan IRS görüntüsü 44. izden alınmıştır. Oysa test alanı 47. izin

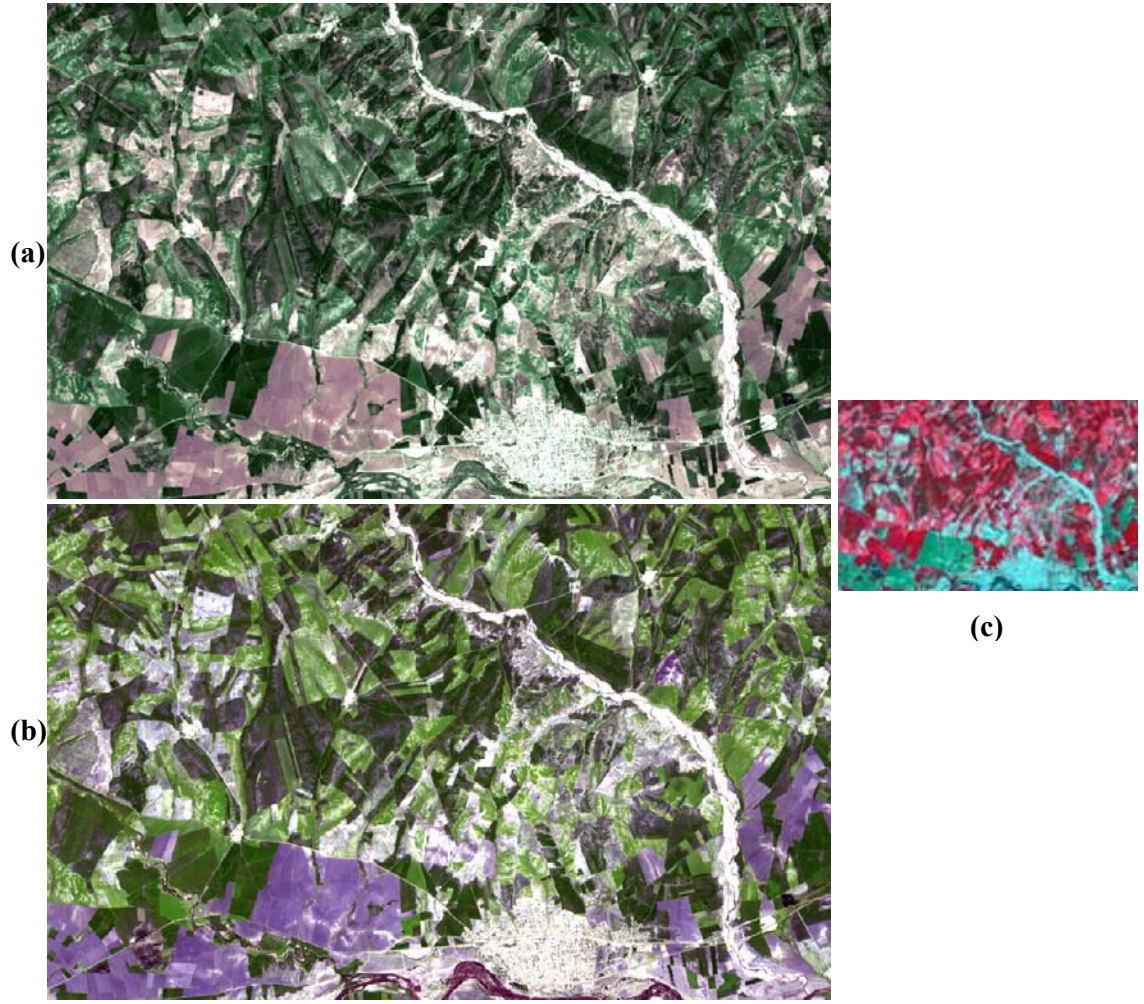
kaplama alanı içerisinde kalmaktadır. Dolayısı ile, Şekil 5.36'daki geçiş yörüngesinde görüldüğü gibi test verisi nadir alım değildir.



Şekil 5.38 Aynı spektral aralığa duyarlı bantlar (a)LANDSAT 7 ETM+ bant3 (kırmızı) ve (b)IRS 1D LISS III bant 2 (kırmızı)

Deney 4

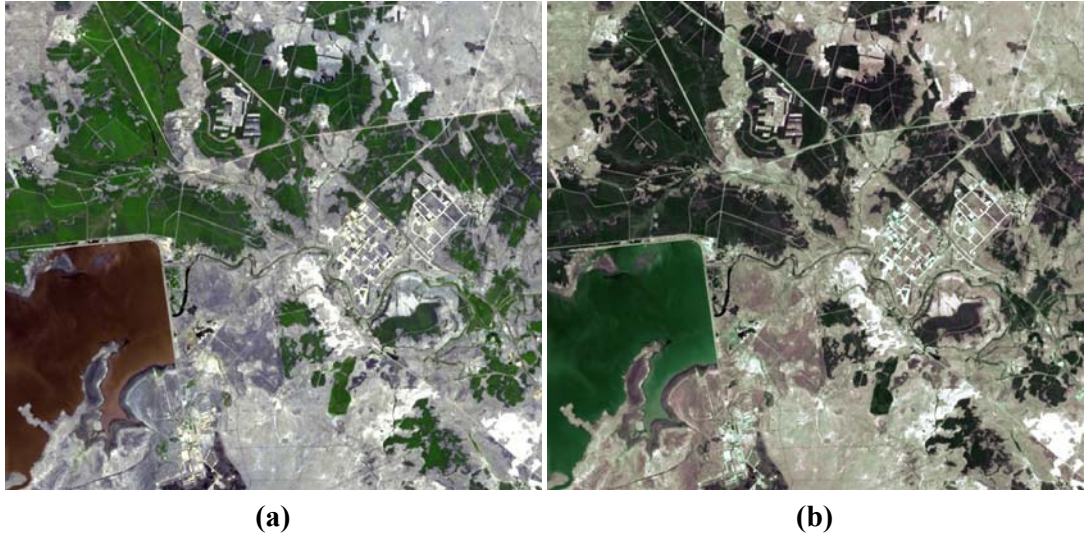
Batman'ın batısında kalan 1167*738 piksel boyutlu, yaklaşık 19.500 ha alana sahip bir bölgeyi kaplayan, 24.Mayıs.2006 tarihli TERRA/ASTER görüntüsü, “uygulama” yazılımında, girdi verileri olarak algılayıcının elektromanyetik spektrumun “yeşil (0.54–0.60 μm)” ve “kırmızı (0.63–0.69 μm)” bölgesine duyarlı 1. ve 2. bantı işleme sokulmuştur. Üretilen “sentetik mavi bant” görüntü, görünür bölgeye duyarlı diğer bantlarla **KYM** kombinasyonunda birleştirilmiştir. TERRA/ASTER görüntüsü kullanılarak üretilen “sentetik gerçek renk bileşeni” görüntünün, Denklem 5.2'deki mantıkla üretilen “doğal renk bileşeni” görüntü ile görsel olarak mukayese edildiğinde, gerçek renklere çok daha yakın sonuç verdiği görülmektedir (Şekil 5.39).



Şekil 5.39 Test verileri ile modelin sınanması-4 (a) Üretilen ASTER sentetik gerçek renk **KYM** bileşeni görüntüsü (b) ASTER görüntüsü doğal renk bileşeni (Erdas) (c) ASTER görüntüsü yanlış renk bileşeni

Deney 5

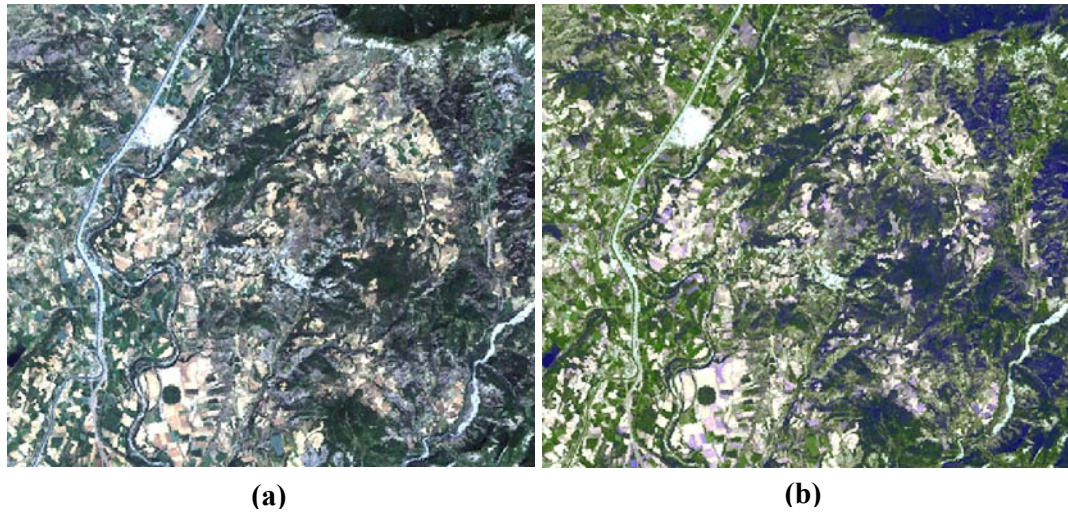
Devegeçidi Barajı havzasındaki ağırlıklı olarak pamuk tarımı yapılan araziye kaplayan Ağustos 2005 tarihli ASTER görüntüsü, “uygulama” yazılımında, girdi verileri olarak algılayıcının elektromanyetik spektrumun “yeşil (0.54–0.60 μm)” ve “kırmızı (0.63–0.69 μm)” bölgesine duyarlı 1. ve 2. bantı işleme sokulmuştur. Üretilen “sentetik mavi bant” görüntü, görünür bölgeye duyarlı diğer bantlarla **KYM** kombinasyonunda birleştirilmiştir (Şekil 5.40). Sonuçta, kurulan modelin sağladığı görüntünün hem pamuk ekili alanlarda, hem de bunun dışında kalan alanlarda gerçek renklere daha yakın olduğu görsel olarak yorumlanmaktadır.



Şekil 5.40 Test verileri ile modelin sınanması-5 ASTER test görüntüsünün (a) Doğal renk bileşeni görüntüsü (Erdas), (b)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntüsü

Deney 6

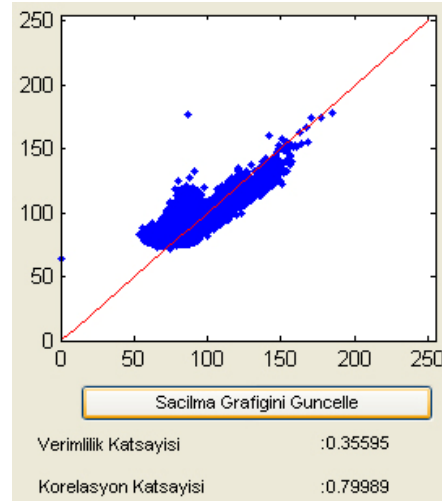
Kurulan modelin, girdi verilerinden çok daha farklı yansımalar verebilecek dünyanın başka bölgelerine ait verilerle de test edilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Bu doğrultuda Avrupa kıtasında Fransa'nın doğusunda İtalya sınırlarına yakın bir bölgeyi kaplayan 30.Temmuz.2001 tarihli, 18.346 ha alana sahip LANDSAT ETM+ uydu görüntüsü parçası kullanılmıştır.



Şekil 5.41 Test verileri ile modelin sınanması-6 LANDSAT ETM+ (a) Bant 3,2,1 **KYM** kombinasyonu, (b)Üretilen sentetik gerçek renk **KYM** bileşeni görüntü

Üretilen sentetik gerçek renkli görüntünün (Şekil 5.41) verdiği yansımalar, girdi

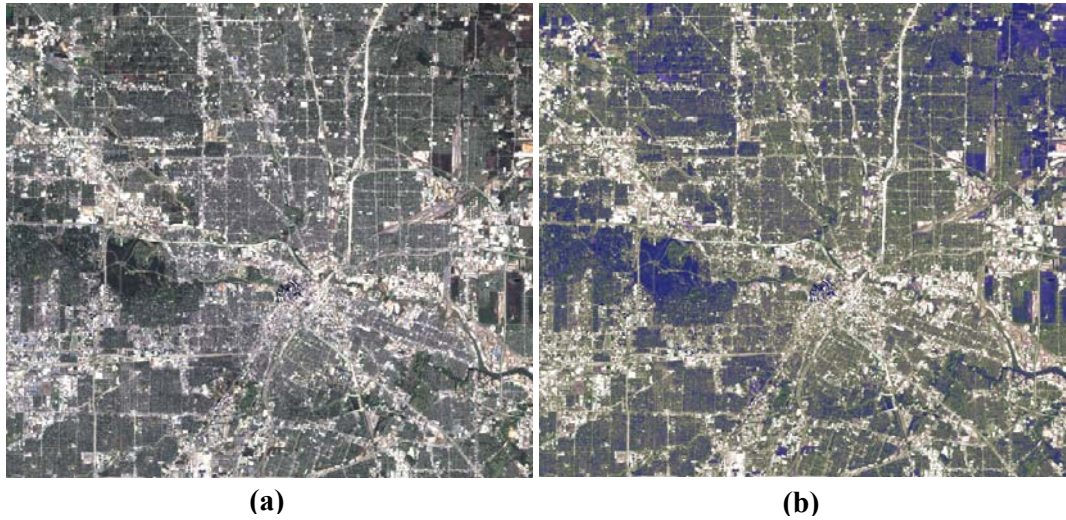
verilerinin yansıtım karakterinden farklı karaktere sahip olmasına rağmen Şekil 5.42’de de görüldüğü üzere korelasyon katsayısı 0.80 mertebesinde, E verimlilik katsayısı ise 0.36 mertebesinde çıkmaktadır.



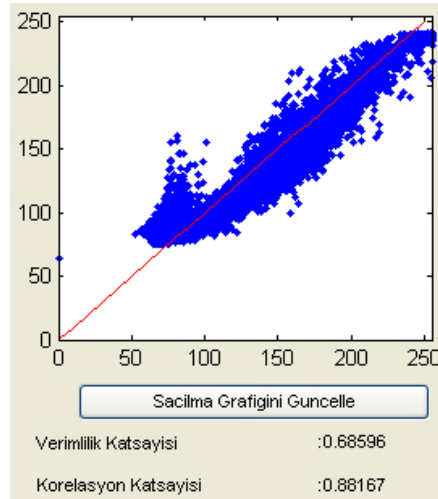
Şekil 5.42 Fransa LANDSAT ETM+ görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramı

Deney 7

Amerika Birleşik Devletleri, Teksas eyaletinde Houston şehir merkezini kapsayan 27.Şubat.2000 tarihinde alınmış, 728*809 piksel boyutlu (53740 ha) LANDSAT ETM+ görüntü parçası üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 5.43 Test verileri ile modelin sınanması-7 LANDSAT ETM+ (a)Orijinal görüntü, (b)Üretilen sentetik gerçek renk bileşeni görüntü



Şekil 5.44 Houston LANDSAT ETM+ görüntüsü gözlem/tahmin saçılma diyagramı

Çalışmada kurulan modelin ürettiği sentetik mavi bant ve orijinal görüntünün mavi bantı arasındaki bağıntısını gösteren saçılma diyagramı ve performans değerleri (Şekil 5.44), test verisinin farklı bir iklim kuşağında (yarı tropik) olması ve girdi verilerinde bulunmayan Şubat ayı verisi olmasına rağmen oldukça yüksek çıktığı görülmektedir (Korelasyon katsayısı: 0.88, *E* Verimlilik katsayısı:0.69).

Deney 8

Çalışmada kurulan modelin; modelin kurulmasında kullanılan girdi verilerinin sahip olduğu yansıtımlarla benzerliği bulunmayan, hatta havadan bile alınmamış, amatör bir kamera ile çekilmiş bir manzara görüntüsünde sağladığı kabiliyet denenmiştir.



Şekil 5.45 Test verileri ile modelin sınanması-8 Mihrabat Korusu (a)Gerçek renk fotoğraf (b)Modelin ürettiği sentetik gerçek renk fotoğraf

Beykozdaki Mihrabat Korusu’ndan alınmış bu görüntüdeki (Şekil 5.45(a)), “mavi, yeşil ve kırmızı” bantlar ayrılmış, yeşil ve kırmızı bant verilerinin modelde işleme tabi tutulması sonucunda elde edilen “sentetik mavi bant”, tekrar yeşil ve kırmızı bantlarla bütünleştirilmiştir (Şekil 5.45(b)).

6. SONUÇLAR

Renk kavramı, özellikle çok-bantlı uydu görüntüleri ile çalışıldığı durumlarda büyük önem taşımaktadır ve yeryüzünün farklı algılama aralıklarına duyarlı spektral bantların çeşitli kombinasyonları hem görsel, hem de bilimsel olarak yorumlama kabiliyetini artırmaktadır. Uydu görüntüleri üzerinde ölçümler yapan, yorumlarda bulunan uzaktan algılama uzmanlarının büyük çoğunluğu herhangi bir görüntüyü incelemeye ilk başladıklarında, araziye gerçek renkleriyle görme ihtiyacını hissetmektedirler.

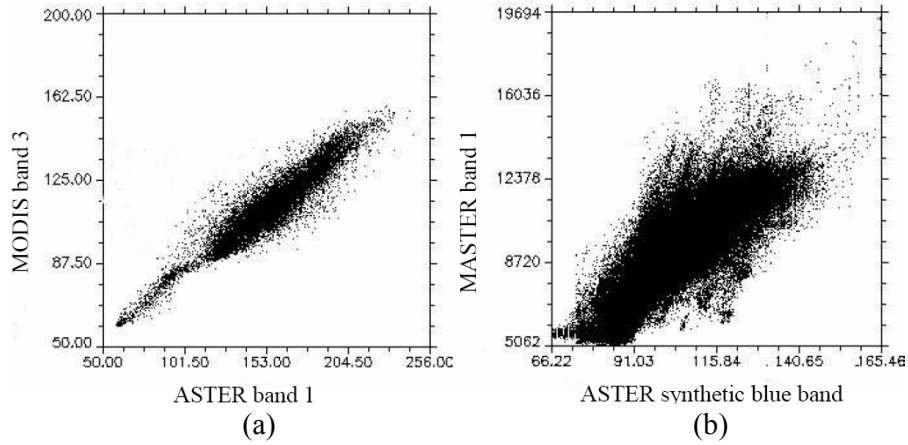
Bazı insanlar, doğuştan gelen bir rahatsızlıkla bazı renkleri oldukları gibi görememektedirler. Sağlıklı bir insanın renkleri ayırt etmesi, gözün yapısında bulunan mavi, yeşil ve kırmızıya duyarlı üç ayrı cins koni hücresinin uyum içinde çalışmasıyla mümkün olmaktadır. Dikromatik renk körlüğü diye bilinen rahatsızlığın tıbbi literatürde “tritanopia” denilen vakalarında, mavi rengi ayırt eden koni hücresi bulunmamakta ve bu rahatsızlığı olan insanlar mavi rengi görememektedirler. Bu rahatsızlığa sahip kişilerin gördüğü renkler, yeşil, kırmızı ve bu iki rengin karışımıyla görülen renklerdir. Benzer bir durum olarak, SPOT, TERRA/ASTER, IRS-1C/D gibi, uzaktan algılama uydularının birçoğunda elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinin “mavi” kısmına duyarlı spektral bant bulunmamaktadır. Dolayısı ile bu uydular gerçek renk bileşeni görüntü sağlama kabiliyetinden yoksundurlar.

Uydu algılayıcılarının tasarım aşaması, bir nevi hangi özelliklerden ya da kabiliyetlerden feragat edileceğine karar verme aşamasıdır. Uydular yörüngeye oturtuluş amaçlarına göre en optimum özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmaya çalışılmaktadır. Uydu hangi algılama aralıklarına duyarlı olacak, konumsal ve radyometrik ayırma güçleri ne kadar olacak, yeryüzündeki bir noktayı en çok hangi sıklıkta gözlemleyebilecek, bir geçişinde ne kadar alanı tarayabilecek, gerektiğinde uzayda manevralar yapabilecek mi, vb. birçok özellikten en gerekli olanlar belirlenip, tasarım o şekilde sonuçlandırılmaktadır. Ayrıca uzaya gönderilecek uydunun boyutu, ağırlığı, yörünge yüksekliği, vb. parametreler de proje maliyetlerini çok yüksek rakamlara çekebilmekte ve uydunun kullanımda kalma süresini de etkilemektedir.

Belki üstte sıralanan gerekçelerle, belki de mavi dalga boyunun atmosferde maksimum saçılmaya, kırmızı ışığın yaklaşık 4 katı kadar, maruz kalması nedeniyle “mavi” bölgeye duyarlı bir spektral banttan fedakârlık edilebilmektedir. Böyle dahi olsa, bunun görsel ve bilimsel olarak bir eksikliğe neden olacağı kesindir.

Bu eksikliği gidermek amacıyla yürütülen çalışmada, yapay sinir ağıları modelleme yöntemiyle LANDSAT TM ve ETM+ algılayıcısının verilerinden faydalanılarak, girdi verilerinin “yeşil” ve “kırmızı” olduğu, üretilen çıktı verisinin ise “sentetik olarak üretilmiş mavi” olduğu, iki girdili ve bir çıktılı bir model kurulmuştur. Kurulan modelin tatminkâr sonuçlar verdiği, çalışmanın uygulama bölümünde verilen görsel ve istatistiksel örneklerle gösterilmiştir.

Yapılan çalışmaya benzer bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ancak, doğal renk bileşeni görüntüler (natural colour) elde etmek için birkaç çalışma yapıldığı tespit edilmiştir. Chen ve Tsai(1998)’nin çalışması ve bu çalışmayı biraz daha geliştiren Patra vd.(2006)’nın çalışması bunlara örnek olarak verilebilir. Her iki çalışmada da “mavi, yeşil, kırmızı ve kızılötesi” bantların yer aldığı spektral bir dönüşüm fonksiyonu kurulmaya çalışılmıştır. Ayrıca her iki çalışmada da görüntü üzerinden YKN’lerin toplanmasına benzer, spektral kontrol toplanması gerekmektedir. Uydu görüntüsü işleme yazılımlarınca üretilen “doğal renk bileşeni” görüntüler bile işlem yapmak için “yeşil” ve “kırmızı”ya duyarlı bir bantın dışında “yakın kızılötesi”ne de duyarlı bir banta ihtiyaç duymaktadır. Oysa ki, çalışmada sunulan modelde, “mavi bant” yakın kızıl-ötesine duyarlı bir veriye yada her bir görüntüden ayrı ayrı spektral kontrol noktaları toplanmasına ihtiyaç duyulmadan, sentetik olarak üretilabilmektedir.



Şekil 6.1 (a) ASTER bant1 ve MODIS bant3 (b) Mavi bant ve sentetik mavi bant saçılma diyagramları (Tonooka vd., 2004)

Tonooka vd.(2004) ise TERRA/MODIS uydusundan alınan verilerle, TERRA/ASTER uydusunda bulunmayan mavi bantı Regresyon değişkenini değiştirme (RVS) yöntemiyle yapay olarak üreterek, “gerçek renk bileşeni” görüntü elde etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu yöntemle, Şekil 6.1(a)’da görüldüğü gibi yüksek korelasyon

veren “ASTER bant1” ve “MODIS bant3” görüntüleri kullanılmasına rağmen, üretilen yapay bantın, gerçek bantla korelasyonunun Şekil 6.1(b)’den öteye gidemediği görülmektedir. Bu sonucun, çalışmanın 5.Bölümünde verilen üretilen modelin bağımsız test verileriyle sınanmasına yönelik deney sonuçlarının çok altında kaldığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde de büyük bilim adamı Albert Einstein’ın, matematik modellerin ne kadar ayrıntılı olurlarsa olsunlar gerçeği tam yansıtamayacakları ve ne kadar gerçekçi olurlarsa olsunlar doğa olaylarını tam temsil edemeyecekleri görüşünü belirtmenin yararlı olacağı düşünülmektedir. Gerçek dünya olaylarının modellenmesinde başarı bazı uygulamalarda yüksek olabilse de, sınırlı kalmaktadır.

Yapılan çalışmanın, uzaya gönderilmesi planlanan özellikle ülkemize ait uyduların ve yakın gelecekte üretilecek başka uydu sistemlerinin veri çeşitliliğini zenginleştirmekte kullanılacağı ve uydu tasarımında faydalanılacağı umut edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aitkenhead, M.J. ve Dyer, R., (2007), "Improving Land-cover Classification Using Recognition Treshold Neural Networks", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Journal, ASPRS, Volume 73, Number 4, pp 413-421.
- Albertz, J. ve Kreiling, W., (1974), "Photogrammetric Guide", Helbert Wichmann Verlag, Karlsruhe
- Andrew, M.E. ve Ustin, S.L., (2008), "The Role of Environmental Context In Mapping Invasive Plants With Hyperspectral Image Data", Remote Sensing of Environment, Volume 112, Issue 12, pp. 4301-4317.
- Arai, K. ve Tonooka, H., (2005), "Radiometric Performance Evaluation of ASTER VNIR, SWIR, and TIR", IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing, Volume 43, Issue 12, pp 2725-2732.
- Bayraktar, H. (2002), "Sazlıdere Barajı Havzası Zamansal Değişim Analizinin Uydu Görüntü Verileri ile Yapılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayram, B. (1998), "İstanbul Örneğinde Uydu Görüntülerinin Coğrafi Bilgi Sistem ile Bütünleştirilmesi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayram, B., Bayraktar, H., Helvacı, C. ve Acar, U. (2004), "Coast Line Change Detection Using Corona, SPOT and IRS-1D Images", Geo-Imagery Bridging Continents, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Commission 7, pp 437-442.
- Bindschadler, R., Vornberger, P., Fleming, A., Fox, A., Mullins, J., Binnie, D., Paulsen, S.J., Granneman, B. ve Gorodetzky D.,(2008), "The Landsat Image Mosaic of Antarctica", Remote Sensing of Environment, Volume 112, Issue 12, pp. 4214-4226.
- Bolat, S. ve Kalenderli, Ö. (2003), "Levenberg-Marquardt Algoritması Kullanılan Yapay Sinir Ağı ile Elektrot Biçim Optimizasyonu", International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks – TAINN 2003
- Castleman, K.R. (1996), "Digital Image Processing", Prentice Hall Inc., New Jersey
- Chen, C.F. ve Tsai, H.Y. (1998), "A Spectral Transformation Technique for Generating SPOT Natural Color Image", 3. Poster Oturumu, GIS Development Sunumları, ACRS. Online ulaşım: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1998/ps3/ps3021pf.htm> (erişim 27.09.2007)
- Droogers, P., (2002), "Global irrigated area mapping: Overview and recommendations", Working Paper 36, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Foody, G.M. (2000), "Image Classification with a Neural Network: From Completely-Crisp to Fully-Fuzzy Situations", "Advances in Remote Sensing and GIS Analysis", kitabında makale, John Wiley&Sons, Kitap editörleri: Atkinson, P.M.; Tate, New Jersey, pp.17-39.
- Gorsevski, P.V. ve Gessler, P.E., (2008), "The design and The Development of A Hyperspectral and Multispectral Airborne Mapping System", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, In Press, Corrected Proof.

Gorte, B.G.H, (2000) “Land Use and Catchment Characteristics”, “Remote Sensing in Hydrology and Water Management”, kitabında makale, Kitap editörleri: Schultz, G.A. ve Engman, E.T., Springer-Verlag, Berlin, 133-156.

Hildebrand, L. ve Reusch, B., (2000), “Fuzzy Color Processing”, “Fuzzy Techniques in Image Processing”, kitabında makale, Physica-Verlag, Springer, Kitap editörleri: Kere, E.E. ve Nachtgael, M., Gent, 267-386.

Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R., Runkler, T. (2000), “Fuzzy Cluster Analysis, Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition”, John Wiley&Sons, İngiltere.

Koca, H.K., (2006), “Kontrast Tutucu Maddeli Meme MR’ı Örneğinde Yapay Sinir Ağları ile Görüntü Segmentasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lee T.T. ve Jeng J.T., (1998), “The Chebyshev-Polynomials-Based Unified Model Neural Networks for Function Approximation”, Systems, Man, and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions, Vol. 28, No. 6, pp 925-935.

Lillesand, T.M. ve Kiefer, R.W., (2000), “Remote Sensing and Image Interpretation”, John Wiley&Sons, 2000, Amerika Birleşik Devletleri.

Maktav, D. ve Sunar, F., (1991), “Uzaktan Algılama: Kantitatif Yaklaşım, Çeviri, “Swain, P.H., Davis, S.M., 1978. “Remote Sensing: Quantitative Approach”, New York, McGraw Hill, Hürriyet Ofset.

Mather, P.M., (2001), “Computer Processing of Remotely Sensed Images”, John Wiley&Sons, İngiltere

Nash, J.E. ve Sutcliffe, J.V., (1970), “River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10 (3), pp 282–290.

Ngia, L.S.H., Sjoberg, J. ve Viberg, M. (1998), “Adaptive neural nets filter using a recursive Levenberg-Marquardtsearch direction”. Signals, Systems & Computers, 1998. Conference Record of the Thirty-Second Asilomar Conference, Volume 1, pp 697–701.

Önder, M., (1997), “Uydu Görüntülerinden Coğrafi Bilgi Sistemine Temel Oluşturacak Nitelikte Topografik Harita Üretimi ve Güncelleştirmesine Yönelik Analizler”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Örmeci, C., (1987), “Uzaktan Algılama”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Örüklü, E., (1987), “Uzaktan Algılama”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Özbalımcı, M., (1999), “Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulmasında Kullanılan Veri Kaynakları Veri Toplama Sistemleri ve Konumsal Veri Toplama Yöntemlerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özkan, C., (2001) “Uydu Görüntü Verisinin Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Patra, S.K., Shekher, M., Solanki, S.S., Ramachandran, R. ve Krishnan R. (2006), “A technique for Generating Natural Colour Images From False Colour Composite

Images”, International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 14, pp. 2977-2989.

Pengra, B.W., Johnston, C.A. ve Loveland, T.R., (2007), “Mapping An Invasive Plant, Phragmites Australis, In Coastal Wetlands Using The EO-1 Hyperion Hyperspectral Sensor”, Remote Sensing of Environment, Volume 108, Issue 1, pp. 74-81.

Sarıkaya, Ö. (2006), “IKONOS Uydu Görüntüsüyle Haliç’te Su Kalitesi Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Schenk, T., (1999), “Digital Photogrammetry”, TerraScience, Ohio, Amerika Birleşik Devletleri.

Schowengerdt, R.A., (1997), “Models and Methods for Image Processing”, Academic Press, Amerika Birleşik Devletleri.

Sesören, A., (1998), “Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar”, Mart Matbaacılık Sanatları, İstanbul.

Tizhoosh, H.R., (1997), “Fuzzy-Bildverarbeitung, Einführung in Theorie und Praxis”, Springer, Berlin.

Tonooka, H., Shinoda, T. ve Hayashi, S., (2004), “Generation of ASTER Synthetic Blue-band Image by Regression Variable Substitution method with MODIS data”, “MODIS データを用いた回帰変数置換法による ASTER 疑似青バンド画像の生成”, Proc. of the 37th conference of RSSJ, pp.241-242 (Japonca)

Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ö.Ç., (2002), “MATLAB 6.0 – 6.5”, Türkmen Kitabevi, Beyoğlu, İstanbul.

Yun, Z., (2005), “Method for Generating Natural Colour Satellite Images”, patent başvurusu, Online ulaşım: <http://www.freepatentsonline.com/20050089219.html> (erişim 27.09.2007)

Zhang, X., Tong, X.H., Liu, M.L., (2008), “Genetic Algorithm Optimized Neutral Network Classification and Overlapping Pixel Change Detection Based on Remote Sensing For Urban Sprawl: A Case Study in Jiading District Of Shanghai, China”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. ISPRS Pekin, pp 743-748.

Zhou, L., Yang, X., (2008), “Use of Neural Networks For Land Cover Classification From Remotely Sensed Imagery”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. ISPRS Pekin, pp 575-578.

[1] http://tr.wikipedia.org/wiki/Sinir_hücre

[2] “Fundamentals of Remote Sensing”, A Canada Centre for Remote Sensing Tutorial, http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

[3] <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm>

[4] <http://asterweb.jpl.nasa.gov/images/spectrum.jpg>

[5] http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/opt_int.htm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	17.09.1976	
Doğum yeri	Kayseri	
Lise	1991-1994	T.E.D. Kayseri Koleji
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve C.B.S. Programı
Doktora	2002-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve C.B.S. Programı

Çalıştığı kurumlar

1994-1995	TURSAB, Enformasyon Memuru
2000	Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi
2000	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü, Araştırma Görevlisi (Devam ediyor)