

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IKONOS UYDU GÖRÜNTÜSÜYLE HALIÇ'TE SU
KALİTESİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ömer Visali SARIKAYA**

**Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ
MÜHENDİSLİĞİ**

EKİM 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IKONOS UYDU GÖRÜNTÜSÜYLE HALIÇ'TE SU
KALİTESİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ömer Visali SARIKAYA
(501011737)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Eylül 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Ekim 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Cumali KINACI (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU (İ.T.Ü.)**

EKİM 2006

ÖNSÖZ

Türkiye’de Haliç, çevrecilik ve çevre kirlenmesinin sembolü haline gelmiştir. İSKİ’nin yürüttüğü çevre projeleri sayesinde Haliç temizlenmiştir.

Tez konum olan “Uydu görüntüleriyle su kalitesi analizi” konusunu seçmemdeki neden Uzaktan Algılama teknolojilerinin bu konuda uygulanıp uygulanmadığını görmek ve test etmek içindir. Amacım, su kalitesi numune noktalarını sıklaştırmada, yersel veri destekli Uzaktan Algılama teknolojilerini kullanıp, sonuçta her bir su kalitesi parametresi için bir model oluşturmaktır. Daha sonra su yüzeyini her bir su kalitesi parametresinin modeli için sınıflandırılarak su kalitesi parametrelerinin sudaki dağılımını gösteren haritalar elde etmektir.

Bu çalışmanın yürütücülüğünü yapan Sayın Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ’ye, Jüri üyelerim Prof.Dr. Cumali KINACI ve Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU’na, su kalitesi izleme çalışmasından elde edilen verilerin bilimsel çalışmalarda kullanılmasındaki memnuniyetlerini belirten ve her türlü kaynak temininde yardımcı olan İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Öğretim Üyelerinden Prof.Dr. Halil İbrahim SUR’a, uydu görüntülerinin temininde emeği geçen INTA Spacetürk CBS & Fotogrametrik Uygulamalar Grup Lideri Tuna ÜNSAL Bey’e, meteoroljik verilerin temininde emeği geçen Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarından Mahmut KAYHAN Bey’e, uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmelerindeki yardımlarından dolayı Hollanda’da bulunan ITC Uluslararası Geo-enformasyon ve Dünya Gözlem Enstitüsü Su Kaynakları Departmanı personelinden Dr. Ambro GIESKE ve Ir. Gabriel PARODI’ye, uygulamalarda yardımcı olan Araş.Gör. Semih EKERCİN’e, manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bir daha Haliç’in kirlenmesi gibi çevre sorunlarının yaşanmaması dileklerimle...

Eylül,2006

Ömer Visali SARIKAYA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. Daha önce Yapılan Çalışmalar	2
2. ELEKTROMANYETİK ENERJİ	6
2.1. Elektromanyetik Enerji	6
2.2. Elektromanyetik Spektrum	7
2.3. Cisimlerin Spektral Özellikleri	8
2.3.1. Bitkilerin spektral karakteristiği	9
2.3.2. Toprağın spektral karakteristiği	10
2.3.3. Suyun spektral karakteristikleri	11
3. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME	13
3.1. Sayısal Görüntüler ve Genel Özellikleri	13
3.2. Görüntü İşleme Yöntemleri	13
3.2.1. Ön işleme	14
3.2.2. Görüntü iyileştirme	15
3.2.2.1. Kontrast artırımı	15
3.2.2.2. Filtreleme	16
3.2.3. Görüntü dönüşümleri	17
3.2.3.1. Aritmetik bant işlemleri	17
3.2.3.2. İstatistiksel analizler	18
3.2.3.3. İndeksler	18
4. UYDU VERİLERİ VE ÇÖZÜNÜRLÜK	20
4.1. Uydu Verileri ve CBS Entegrasyonu	20
4.2. Çözünürlük	22
4.3. IKONOS Uydu Sistemi	22

5. RADYOMETRİK DÜZELTME	29
5.1. Radyometrik Düzeltmenin Amacı	29
5.2. Atmosfer Üstü Güneşten gelen Işınmın ve Güneş Sabitinin Bulunması	32
5.3. Atmosfer Üstü Yansıma Değerlerinin hesaplanması	34
5.4. IKONOS Uydu görüntülerinde Radyometrik Düzeltme	39
6. ATMOSFERİK DÜZELTME	41
6.1. Atmosferik Düzeltmenin Amacı	41
6.2. Görünür Bölgede Atmosferik Düzeltme Teknikleri	42
6.2.1. Ön işlemler	42
6.2.2. Objelerin yersel yansıma özelliklerine göre atmosferik düzeltme metodları	45
6.2.2.1. İki yansıma ölçme metodu	46
6.2.2.2. İki referans yüzeyi metodu	46
6.2.2.3. IKONOS uydu görüntüsü San Andreas Adası Örnek Çalışması	47
6.2.3. Atmosferik işlemlere dayalı kesin atmosferik düzeltme metodları	49
6.2.3.1. Radyatif transfer modelleri	50
6.2.3.2. Görüntü işlemeye yönelik bant iletim modelleri	51
6.2.3.3. ATCOR yazılımı	51
6.2.3.4. Standart atmosferler	58
6.2.3.5. Radyozonde ölçümlerinden uygun ATCOR standart atmosfer tipinin belirlenmesi	59
6.3. Görünür bölgede atmosferik etkileşim	64
6.3.1. Temiz havanın bileşimi	64
6.3.1.1. Su Buharı	64
6.3.1.2. Ozon	64
6.3.1.3. Aerosoller	65
6.3.2. Atmosferik parametreler	66
6.3.2.1. Optik yol	66
6.3.2.2. Işınmın atmosferde zayıflamasına neden olan işlemler	68
6.3.2.3. Atmosferde saçılma	69
6.3.2.4. Atmosferde yutulma	72
6.3.3. Yeryüzüne güneşten ulaşan toplam ışınm	73
6.3.3.1. Yeryüzüne güneşten direkt gelen ışınm	73
6.3.3.2. Atmosferde dağılmış spektral ışınm	74
6.3.4. Atmosferik albedo	75
6.3.5. Çok yönlü dağınık ışınm (Multiple Reflected Diffuse Radiation)	76
6.3.6. Güneşten atmosfere girerek dağılıp yeryüzüne ulaşan ışınm	77
6.3.7. Yeryüzüne güneşten direkt ve atmosferde dağılmış olarak gelen ışınm	77
6.3.8. Görünür bölge için görüntü atmosferik düzeltme denklemi	78

6.4. İki yönlü yansıma dağılım fonksiyonları (BRDF)	79
7. SINIFLANDIRMA	82
7.1. Kontrolsüz Sınıflandırma	84
7.2. Kontrollü Sınıflandırma	85
8. UYGULAMADA DEĞERLENDİRİLEN SU KALİTE PARAMETRELERİ VE ÇOKLU LİNEER REGRESYON	87
8.1. Su Kalitesi Kavramı ve Uzaktan Algılama ile Ölçülebilme Kriterleri	87
8.2. Uygulamada değerlendirilen Su Kalitesi Parametreleri	89
8.2.1. Askıda Katı Madde	89
8.2.2. Klorofil-a	90
8.2.3. Seki Disk Derinliği	91
8.2.4. Çözünmüş Oksijen	92
8.2.5. Fekal Koliform	92
8.3. Haliç'te Su Kalitesini belirlemek için yapılan yersel ölçümler	93
8.4. Çoklu Lineer Regresyon	94
8.4.1. Çoklu regresyonda dikkat edilecek hususlar	95
9. UYGULAMA	97
9.1. Uygulama Alanı	97
9.2. Uygulama Konusu ve Amacı	98
9.3. Uygulamada Kullanılan Veriler	101
9.4. ATCOR Yazılımı ile Yersel Yansıma Görüntülerinin oluşturulması	106
9.4.1. ATCOR yazılımında girdiler ve işlem sırası	106
9.4.2. Yersel yansıma görüntülerinin elde edilmesi	113
9.5. Çoklu Lineer Regresyon ile Su Kalitesi Parametrelerinin Denklemlerinin bulunması	113
9.6. Görüntülerdeki Su - Kara ayrımının yapılması için yapılan işlemler	116
9.7. Su Kalitesi Parametre Haritalarının elde edilmesi	118
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	124
EKLER	130
ÖZGEÇMİŞ	165

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
BRDF	: Bidirectional Reflectance Distribution Function
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
GIS	: Geographical Information System
GPS	: Global Positioning System
TOA	: Top of the Atmosphere
WWW	: World Wide Web
PCA	: Principle Component Analysis
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
LAI	: Leaf Area Index
SAVI	: Soil Adjusted Vegetation Index
OSAVI	: Optimum Soil Adjusted Vegetation Index
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
SQL	: Structured Query Language
DBMS	: Database Management System
GUI	: Graphical User Interface
IFOV	: Instantaneous Field of View
GSD	: Ground Sampling Distance
RMSE	: Root Mean Square Error
PAN	: Pankromatik
MSI	: Multispektral
PSM	: Pan-Sharpned Multispectral
DRA	: Dynamic Range Adjustment
AOI	: Area of Interest
DN	: Digital Number
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper
AU	: Astronomical Unit
LAT	: Local Apparent Time
GMT	: Greenwich Mean Time
UTC	: Universal Time
RTM	: Radiative Transfer Model
LUT	: Look up table
HOT	: Haze Optimized Transform
NPT	: Under normal pressure and temperature conditions
NIR	: Near Infrared (Yakın Kızılötesi)
UTM	: Universal Transversal Merkator Projeksiyonu
TDI	: Time Delay and Integration
MTFC	: Modulation Transfer Function Correction
CCD	: Charge-coupled device

ÇO	: Çözünmüş oksijen
DO	: Dissolved oxygen
BOİ	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
BOD	: Biochemical Oxygen Demand
TSS	: Total suspended matter
CFU	: Colony forming unit
FPAR	: Absorbed photosynthetically active radiation
SDD	: Seki Disk Derinliği

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 IKONOS Uydu Yörünge Özellikleri.....	23
Tablo 4.2 IKONOS Uydu Sensör Özellikleri.....	24
Tablo 4.3 IKONOS GEO Ürün seçenekleri tablosu.....	26
Tablo 4.4 Bazı yüksek yersel çözünürlüklü uydu sistemleri.....	28
Tablo 5.1 ETM+ Sensörü için Spektral Işınım Aralıkları ($W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$)...	32
Tablo 5.2 ETM+ Sensörü için ESUN değerleri ($W m^{-2} \mu m^{-1}$).....	35
Tablo 5.3 Landsat uyduları için K1 ve K2 sabitleri.....	36
Tablo 5.4 IKONOS Kalibrasyon Katsayıları.....	39
Tablo 5.5 IKONOS ESUN ve Bant genişliği değerleri.....	40
Tablo 6.1 Çalışmada kullanılan kalibrasyon noktalarının özellikleri.....	48
Tablo 6.2 Objelerin yüzde olarak yersel yansıma değerleri.....	48
Tablo 6.3 RTM Özellikleri.....	50
Tablo 6.4 ATCOR Standart Atmosfer Tipleri.....	52
Tablo 6.5 Objelerin yüzde olarak yersel yansıma değerleri.....	57
Tablo 6.6 Örnek Ravinsonde Ölçümleri.....	62
Tablo 8.1 Örnek su numune ölçümleri.....	93
Tablo 9.1 Oşinografik istasyonların koordinatları.....	100
Tablo 9.2 Uygulamada kullanılan IKONOS görüntülerinin geometrik ve radyometrik özellikleri.....	104
Tablo 9.3 Ruyet ve günlük toplam yağış bilgileri.....	105
Tablo 9.4 Veri ölçüm tarihlerinin karşılaştırılması.....	106
Tablo 9.5 Uydu görüntüleri için oluşturulan C1 değerleri.....	109
Tablo 9.6 Görüntüler için seçilen atmosfer tipleri.....	109
Tablo 9.7 2001 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri.....	115
Tablo 9.8 2004 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri.....	115
Tablo 9.9 2005 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri.....	116
Tablo A.1 29/11/2001 tarihli su kalitesi ölçümleri.....	136
Tablo A.2 26/10/2004 tarihli su kalitesi ölçümleri.....	137
Tablo A.3 23/03/2005 tarihli su kalitesi ölçümleri.....	138
Tablo A.4 Chl-a ölçümleri.....	138
Tablo A.5 2001 dönemi AKM konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri.....	145
Tablo A.6 2001 dönemi AKM konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler.....	146
Tablo A.7 2001 dönemi Chl-a konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri.....	148
Tablo A.8 2001 dönemi Chl-a konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler.....	148
Tablo A.9 2001 dönemi Seki Disk derinlikleri için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri.....	150
TabloA.10 2001 dönemi Seki Disk Der. için ölçülen ve hesaplanan değerler..	150

TabloA.11	2001 dönemi ÇO konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri.....	151
TabloA.12	2001 dönemi ÇO konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler.....	152
TabloA.13	2001 dönemi CFU/100ml için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri.....	153
TabloA.14	2001 dönemi CFU/100 ml için ölçülen ve hesaplanan değerler....	154
TabloA.15	2004 dönemi su kalitesi parametreleri için regresyon denklemleri.	156
TabloA.16	2005 dönemi Chl-a konsantrasyonu için regresyon denklemleri...	156
TabloA.17	2005 dönemi Chl-a konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler.....	156

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Dalga Boyu – Genlik İlişkisi.....	6
Şekil 2.2 : Dalga Boyu – Enerji İlişkisi.....	7
Şekil 2.3 : Elektromanyetik Spektrum ve görünür bölge tayfı.....	8
Şekil 2.4 : Cisimlerin spektral yansıma eğrileri.....	9
Şekil 2.5 : Bitkilerin Spektral Yansıma Eğrisi.....	10
Şekil 2.6 : Toprağın nem miktarına göre yansıma eğrisi.....	10
Şekil 2.7 : Suyun Karakteristik Yansıma eğrisi.....	12
Şekil 3.1 : 8 bitlik bir görüntü histogramında lineer kontrast artırımı.....	16
Şekil 3.2 : Piksel ve komşuluk bazlı dönüşümler.....	16
Şekil 3.3 : $\cos \theta$ görüntüsü.....	18
Şekil 4.1 : IKONOS Spektral Duyarlılık Eğrileri.....	24
Şekil 4.2 : Görüntü alım geometrisi.....	25
Şekil 4.3 : DRA Histogram Gerdirme.....	27
Şekil 4.4 : IKONOS Eurasia Bölgesi Yer İstasyonu Kapsama Alanı.....	27
Şekil 5.1 : Güneş – Sensör Yolu.....	29
Şekil 5.2 : DN – Işınım Dönüşümü.....	30
Şekil 5.3 : Güneş Spektrumu.....	33
Şekil 5.4 : Zaman Denklemi.....	37
Şekil 5.5 : L_K değerinin hesabı.....	39
Şekil 6.1 : Bir ETM görüntüsünde satır düşmesi.....	43
Şekil 6.2 : Satır düşmelerinden arındırılmış görüntü.....	44
Şekil 6.3 : Satır şeritlenme hataları.....	44
Şekil 6.4 : Hatalı DN değerli pikseller.....	45
Şekil 6.5 : Spectra Modülü iş akışı.....	54
Şekil 6.6 : Açık Doğru ve HOT dönüşümü.....	55
Şekil 6.7 : HOT histogramı.....	55
Şekil 6.8 : ATCOR girdi ve çıktı görüntüleri.....	57
Şekil 6.9 : Orta Enlem Yaz Standart Atmosfer profili.....	58
Şekil 6.10 : Orta Enlem Kış Standart Atmosfer profili.....	59
Şekil 6.11 : Türkiye’de Radyozonde ölçümlerinin yapıldığı istasyonların bulunduğu şehirler.....	60
Şekil 6.12 : Radyozonde ölçümlerinin yapıldığı düzenek.....	60
Şekil 6.13 : Radyozonde cihazı ve rasatları işleyen bilgisayar.....	61
Şekil 6.14 : 1 Eylül 2006 tarihi için Ozon Dağılımı.....	65
Şekil 6.15 : Güneş fotometre istasyonu.....	66
Şekil 6.16 : m_r kavramı.....	67
Şekil 6.17 : Bourger Kanunu.....	68
Şekil 6.18 : Saçılma Çeşitleri.....	70
Şekil 6.19 : Haliç bölgesi IKONOS yeşil ve NIR bantları.....	71
Şekil 6.20 : Yutulma ve rayleigh saçılmalarının ışınımına etkisi.....	71

Şekil 6.21	: Dalga boyuna bağlı olarak atmosferik pencereler.....	73
Şekil 6.22	: Atmosferik albedo.....	76
Şekil 6.23	: Çoklu saçılma.....	77
Şekil 6.24	: Sensöre ulaşan toplam ışınım.....	78
Şekil 6.25	: Ayna ve Lambertian yansıma.....	80
Şekil 6.26	: Güneş Parıltısı.....	80
Şekil 6.27	: MISR Sensörü.....	81
Şekil 6.28	: Goniometre aleti.....	81
Şekil 7.1	: Özellik uzayı.....	83
Şekil 7.2	: ISODATA sınıflandırma.....	85
Şekil 8.1	: AKM konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansıma eğrisine yaptığı değişiklikler.....	90
Şekil 8.2	: Chl-a konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansıma eğrisine yaptığı değişiklikler.....	91
Şekil 8.3	: Suyun berraklığının seki diski ile ölçümü.....	91
Şekil 8.4	: Regresyon analizi iş akış şeması.....	95
Şekil 9.1	: Haliç'in boy kesiti.....	97
Şekil 9.2	: Haliç'in İstanbul'da bulunduğu bölge.....	99
Şekil 9.3	: Haliç'in taban topoğrafyası ve regresyon analizinde kullanılan oşinografik istasyonlar.....	101
Şekil 9.4	: IKONOS Pushbroom tarama modları.....	103
Şekil 9.5	: ATCOR IKONOS Default kalibrasyon dosyası.....	107
Şekil 9.6	: Bağlı azimut açısı.....	110
Şekil 9.7	: Erdas ATCOR Spectra Modülü.....	111
Şekil 9.8	: Erdas ATCOR Spectra Modülü-2.....	112
Şekil 9.9	: Maskeleme ve Haliç Kıyı aoi ile kesilerek elde edilen görüntü....	117
Şekil 9.10	: Maske görüntüsü.....	118
Şekil A.1	: 28/11/2001 tarihli IKONOS Uydu görüntüsü.....	130
Şekil A.2	: 25/10/2004 tarihli IKONOS Uydu görüntüsü.....	131
Şekil A.3	: 22/03/2005 tarihli IKONOS Uydu görüntüsü.....	132
Şekil A.4	: Atmosferik düzletme öncesi ve sonrası görüntüler (2001).....	139
Şekil A.5	: Atmosferik düzletme öncesi ve sonrası görüntüler (2004).....	139
Şekil A.6	: Atmosferik düzletme öncesi ve sonrası görüntüler (2005).....	140
Şekil A.7	: AS istasyonunun yeri.....	140
Şekil A.8	: AA istasyonunun yeri.....	141
Şekil A.9	: ES istasyonunun yeri.....	141
Şekil A.10	: HK istasyonunun yeri.....	142
Şekil A.11	: VS istasyonunun yeri.....	142
Şekil A.12	: CA istasyonunun yeri.....	143
Şekil A.13	: KP istasyonunun yeri.....	143
Şekil A.14	: UK istasyonunun yeri.....	144
Şekil A.15	: GK istasyonunun yeri.....	144
Şekil A.16	: Pankromatik bantta GK istasyonu yakınında oluşan dalgalanmalar.....	145
Şekil A.17	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen AKM kons. arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	146
Şekil A.18	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen AKM kons. arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	147
Şekil A.19	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen AKM kons. arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	147

ŞekilA.20	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	148
ŞekilA.21	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	149
ŞekilA.22	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	149
ŞekilA.23	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen SDD arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	150
ŞekilA.24	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen SDD arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	151
ŞekilA.25	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen SDD arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	151
ŞekilA.26	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen ÇO kons. arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	152
ŞekilA.27	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen ÇO kons. arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	153
ŞekilA.28	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen ÇO kons. arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	153
ŞekilA.29	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	154
ŞekilA.30	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	155
ŞekilA.31	: 2001 dönemi hesaplanan ve ölçülen CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	155
ŞekilA.32	: 2005 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak).....	157
ŞekilA.33	: 2005 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak).....	157
ŞekilA.34	: 2005 dönemi hesaplanan ve ölçülen Chl-a kons. arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak).....	158
ŞekilA.35	: 28/11/2001 tarihli AKM Kon. Dağılım haritası.....	159
ŞekilA.36	: 28/11/2001 tarihli Chl-a Kon. Dağılım haritası.....	160
ŞekilA.37	: 28/11/2001 tarihli Seki D.Der. Dağılım haritası.....	161
ŞekilA.38	: 28/11/2001 tarihli F.Koliform Dağılım haritası.....	162
ŞekilA.39	: 28/11/2001 tarihi ÇO Kon. Dağılım haritası.....	163
ŞekilA.40	: 22/03/2005 tarihli Chl-a Kon. Dağılım haritası.....	164

SEMBOL LİSTESİ

c	: Elektromanyetik enerjinin hızı
λ	: Dalga boyu
ν	: Frekans
Q	: Foton Enerjisi
h	: Plank Sabiti
θ_z	: Güneş Zenit Açısı
L_{min}	: Minimum Işınım
L_{max}	: Maksimum Işınım
Q_{CALmax}	: Maksimum DN değeri
$Q_{CAL min}$	: Minimum DN değeri
F_b	: Güneşten gelen ışınım miktarı
T_k	: Kinetik Sıcaklık
r_g	: Güneş Yarıçapı
r_0	: Dünya – Güneş ortalama mesafesi
I_{SC}	: Güneş Sabiti (Solar Constant)
ρ	: Yansım
L_λ	: Sensör tarafından algılanan ışınım
d	: Dünya-Güneş Mesafesi (Uydu görüntüsü çekim anındaki)
d_a	: Gün açısı (Day angle)
d_n	: Jülyen gün sayısı (Julian Day number)
E_0	: Dışmerkezlik (Eccentricity)
δ	: Güneş Sapma Açısı (Solar Declination)
E_t	: Zaman Denklemi
L_C	: İlgilenilen noktanın boylamı
ω	: Saat açısı
ϕ	: İlgilenilen noktanın enlemi
P	: Basınç
T	: Sıcaklık
u	: Atmosferde düşeydeki toplam su buharı miktarı
e^o	: Yoğuşma buhar basıncı
m_r	: Bağlı optik kütle
k	: Optik derinlik
m	: Optik yol uzunluğu
τ	: Atmosfer geçirgenliği
I	: Atmosferde bir düşey kolonda bulunan ozon miktarı
w	: Atmosferde bir düşey kolonda bulunan su buharı miktarı
ρ_a	: Ortalama atmosferik albedo
I_{dr}	: Yeryüzüne Rayleigh saçılmasından ulaşan ışınım miktarı
I_{da}	: Yeryüzüne Mie saçılmasından ulaşan ışınım miktarı
I_n	: Atmosferden yeryüzüne inen ışınım miktarı
ρ_g	: Yerin albedo değeri (Ground albedo)
θ_v	: Uydu zenit açısı

ÖZET

Gerek uydu teknolojisindeki gelişme ve gerekse bilgisayar donanım ve yazılımlarındaki gelişmeler uzaktan algılama teknolojilerini ve bu teknolojiler kullanılarak üretilmiş verileri değerlendirip analiz eden Coğrafi Bilgi Sistemleri için bir çıkış olmuştur.

Günümüzde, Uzaktan Algılama ve uzaktan algılama verilerini bir girdi olarak kullanıp değerlendiren Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojileri daha da yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Günümüzde artık herkese internet tabanında ulaşan uydu görüntüleri ve CBS verileri hemen hemen herkes tarafından kullanılmaktadır. Uzaktan Algılama teknolojisi ile, kentsel planlama, haritacılık, yer altı ve yer üstü kaynakların incelenmesi, su havzalarının yönetimi, kaçak yapı takibi, su kalitesi izlemesi, meteorolojik olayların izlenmesi gibi pek çok mühendislik çalışmaları hızlı ve ekonomik bir biçimde gerçekleştirilmektedir.

Suyun insan hayatı ve ekolojik dengeler için ne kadar önemli olduğu bir gerçektir. Son yıllarda çevresel etkilerden dolayı su kirliliği insanlığı ve doğayı tehdit eder hale gelmiştir. Bundan dolayı bu sorunlara acil olarak çözüm yolları üretilmesi gerekmektedir.

Önceleri Altın Boynuz olarak bilinen Haliç, bir zamanlar İstanbul'un en güzel mekanlarından biri iken, düzensiz şehirleşme ve yanlış sanayileşme gibi çevresel olumsuzluklardan dolayı bu güzelliğini kaybetmiştir.

Bu çalışmanın amacı klasik haritacılıktaki nokta sıklaştırmasına benzer, su kalitesi numune noktalarının sıklaştırılmasıdır. Bunun için yersel veri destekli IKONOS uydu görüntüleri kullanıldı.

Bu çalışma on bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümü olan giriş bölümünde yapılan çalışma hakkında kısaca bilgi verilmektedir ve dünyada bu konuda yapılmış birkaç çalışma tanıtılmaktadır.

İkinci bölümde, uzaktan algılamanın temelini oluşturan elektromanyetik enerji ve objelerin spektral karakteristiklerinden bahsedilmektedir.

Üçüncü bölümde, dijital görüntü özellikleri, dijital görüntü işleme teknikleri (ön işlem ve görüntü zenginleştirme) ve görüntü dönüşümleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, çözünürlük ve çalışmada kullanılan IKONOS uydusu ile ilgili bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, radyometrik düzeltme ve IKONOS görüntülerinde atmosfer üstü ışıyım ve yansıma değerlerinin hesaplanması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde, atmosferik düzeltme konusu ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmamda kullandığım ATCOR yazılımı ile ilgili bilgiler de verilmiştir.

Yedinci bölümde, uzaktan algılamada bilgi çıkarımı için vazgeçilmez olan sınıflandırma konusu genel hatlarıyla anlatılmıştır.

Sekizinci bölümde, çalışmamda değerlendirilen su kalitesi parametreleri tanımlanmış ve çoklu lineer regresyonun mantığı anlatılmıştır.

Dokuzuncu bölümde, uygulamaya geçilerek, çalışmada kullanılan veriler, ATCOR yazılımı ile gerçekleştirilen işlem adımları, görüntülerde su – kara ayrımının gerçekleştirilmesi için yapılan maskeleme işlemi, çoklu lineer regresyon ile su kalitesi parametre denklemlerinin bulunması, bulunan denklemlere göre su kalitesi haritalarının oluşturulması ve sunulması işlemleri anlatılmaya çalışılmıştır.

Tezin son bölümünde ise uygulama bölümündeki sonuçlar değerlendirilmiş ve IKONOS uydu görüntülerinin su kalitesi çalışmalarında nasıl sonuç verdiği irdelenmiştir.

WATER QUALITY ANALYSIS IN THE GOLDEN HORN WITH THE HELP OF IKONOS IMAGERY

SUMMARY

The development in satellite technology, computer hardware and software has marked a new epoch for Remote Sensing and GIS which uses remotely sensed data as an input.

Nowadays, GIS has widespreaded to the end users by means of the easiness of reaching to remotely sensed data via the WWW.

Engineering studies like urban planning, mapping, underground and ground resource monitoring, watershed management, illegal construction, water quality and meteorologic event monitoring can be established via remote sensing in a economic and fast way.

It is a fact that water is vital for human life as well as ecological balance. Nowadays, water pollution has been threatening both mankind and nature, because of the environmental effects. Therefore, urgent solutions should be found out to overcome these problems.

Haliç, formerly known as Golden Horn, one of the most beautiful places in the world, has come to the edge of losing its beauty due to such negative environmental factors as unplanned urbanization and wrong industrialization.

The aim of this study is to condense the water quality sample points by means of in-situ measurement supported IKONOS image data.

This study is formed of ten chapters. In the first chapter, a brief summary of the work and some similar studies done around the world is given.

The second chapter covers the electromagnetic energy that is the basis of remote sensing and some object's spectral characteristics.

The third chapter focuses on the digital image feature and processing.

The fourth chapter deals with resolution types and IKONOS satellite system.

The fifth chapter covers radiometric correction and calculating TOA radiance and reflectance values for IKONOS images.

The sixth chapter examines atmospheric correction detailed. It also covers the ATCOR atmospheric correction software I used for this study.

Classification, which is essential for information extraction, is explained briefly in the seventh chapter.

The water quality parameters that I used in my study is defined and the logic of multi lineer regression is explained in the eighth chapter.

The ninth chapter, which includes the application, presents the data, explains the process steps done with ATCOR, masking for distinguishing water from land, finding the water quality parameter equations with multi linear regression and finally forming the water quality maps with the aid of the equations.

In the last chapter, the results of the application are examined and the use of IKONOS imagery for water quality mapping is discussed.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve çalışmanın amacı

Günümüzde insan nüfusunun hızlı artışı, beraberinde doğal kaynakların tükenmesi, beslenme ve yerleşme sorunları gibi sorunlar getirmiştir. Bu gibi sorunlar Uzaktan Algılama ile ekonomik ve hızlı bir şekilde izlenebilir. Uzaktan Algılamayı tanımlarsak;

Bir cisimle direkt temas etmeksizin, o cismin özellikleri hakkında bilgi elde etme bilimidir. Uzaktan Algılama sistemlerinde en sık ölçülen nicelik, ilgilenilen cisimden yayılan elektromanyetik enerjidir.

Uzaktan Algılamanın temelleri çevresel gözlemler için balonlardan 1860 yılında çekilmiş resimlere dayanmaktadır. Balonlardan çekilen fotoğraflar daha sonra uçaklardan çekilerek II. Dünya savaşında sivil amaçlı kullanımlara açılmıştır.

İlk defa kara parçalarının özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan uydu 1972 yılında fırlatılan Landsat – 1 uydusudur.

Daha sonraları uyduların çözünürlükleri (yersel, spektral, zamansal ve radyometrik) geliştirilerek yeni uydular atılmaya ve kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzdeki uydu görüntüleri ile toprak, orman alanlarının cins ve alansal miktarlarının belirlenmesi, jeoloji haritalarının yapımı, bitki hastalıklarının tesbiti, kentsel planlamaya altlık teşkil etme gibi işlevlerde kullanılabilir.

Yeryüzündeki su kaynakları, ekolojik dengeler açısından önemli bir unsurdur. Bu kaynaklardaki kirlenmeler ekolojik dengeleri bozmaya ve sulardaki canlı hayatı yok etmeye sebep olabilmektedir. Bu tip kaynakların hızlı ve ekonomik bir şekilde sürekli olarak gözlemlenmesi gerekmektedir.

Suyun ışığı yansıtma, geçirme ve yutma özellikleri dikkate alınarak, atık suların denizlere boşaldığı deşarj noktaları, gemilerin boşalttığı atıklar, endüstriyel alanlardan gelen atıklar belirlenebilmektedir.

Kirli suda yüzen maddeler ışığın geçişini zorlaştırmakta ve yutulmasına ya da saçılmasına neden olmaktadır. Bu gibi kirlilikler uydu görüntüsü üzerinde sınıflandırma yapılmaksızın, uygun bant kombinasyonları kullanılarak gözle görülebilir.

Bu çalışmada IKONOS uydu verilerinin yanında, atmosferik düzeltmede kullanılmak üzere radyozonde ve ruyet ölçümleri, günlük ortalama yağış miktarları, çoklu lineer regresyonda kullanılmak üzere İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'nden temin edilen Haliç bölgesine ait Su Kalitesi ölçümleri kullanılmıştır.

Üç döneme ait veriler temin edildi. Bunlar sırasıyla 28/11/2001, 25/10/2004 ve 22/03/2005 tarihleridir. Uydu verileri önceden rektifiye edilmiş Geo ürünlerdir. Rölyef hataları hariç ± 15 m konumsal doğruluğa sahiptirler. Kamera modelini içerdikleri için radyometrik düzeltmeleri kolaylıkla yapılmıştır. Her bir uydu görüntüsünün radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapıldıktan sonra, uydu geçişleri ile 1 gün ara ile ölçülmüş su kalitesi parametre değerleriyle yersel yansıma değerleri çoklu lineer regresyona sokularak, her bir uydu görüntüsü için su kalitesi parametre denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemler ve yersel yansıma görüntüleri yardımıyla, her bir döneme ait su kalitesi parametrelerinin haritaları elde edildi. Yersel yansıma görüntüleri orijinal uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapıldıktan sonra elde edildi.

1.2. Daha önce yapılan çalışmalar

Bu konu ile ilgili ilk çalışmalar fotogrametrik yöntemlerle yapılmıştır. Ontario gölü kaynaklarının gölün bulanıklığına olan etkisini incelemek için fotogrametrik uçuşlar yapılmıştır. Burada temel parametre olarak bulanık alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, kıyı rüzgarlarından oluşan kıyı akıntılarının olduğu yerler (bulanık yerler) renkli fotoğraflarda mavi-beyaz karışımından beyaza doğru bir renkte gözüktüğü, temiz yerlerden (koyu) rahatlıkla ayırt edilebildiği görülmüştür (Pluhowski, 1973).

1972 yılında Landsat – 1 uydusunun fırlatılmasıyla, bir dizi gölde su kalitesi çalışması yapılmıştır.

1982 ve 1984 yıllarında Landsat 4 ve 5 uydularının fırlatılmasından sonra, su kalitesi çalışmalarını yapanlar MSS (Multispectral Scanner) verilerine ek olarak TM

(Thematic Mapper) verilerini de kullanmaya başlamışlardır. TM verileri MSS verilerine nazaran yersel, spektral ve radyometrik çözünürlük açısından daha gelişmişti.

ABD’de Green Körfezi, Michigan, Yellowstone ve Jackson göllerinde yapılan çalışmalarda, yakın eşzamanlı alınmış yersel örneklerle uzaktan algılama verileri çoklu regresyon analizlerine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda TM yansıma değerleri, SDD ve AKM parametreleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca geliştirilen modellerin sadece ilgili çalışma bölgesi için kullanılabileceği görülmüştür (**Lathrop, 1992**).

Uydu verileri ile Haliç’teki su kalitesi belirlenmesi konusunda çalışma yapılmıştır. Landsat-5 TM verisi kullanılarak yapılan sınıflandırma sonrasında, sınıflandırılmış görüntü yersel verilerle kıyaslanarak, evsel ve endüstriyel deşarjların görüntüde doğru görüntülediği görülmüştür. Ayrıca yapılan çoklu regresyon analizi ile, TM görüntüsünün yansıma değerleri ve AKM, hümkik madde ve poliaromatik hidrokarbonlar arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. TM görüntüsünün 1,2,3 ve 4. bantları yukarıda bahsedilen parametreler için uygun bir veri seti oluşturmaktadırlar (**Coşkun ve Örmeci, 1994**).

Landsat TM uydu verileri kullanılarak İstanbul Ömerli Barajındaki su kalitesi ile ilgili değerlendirme yapılmıştır. TM verileri kullanılarak Ömerli Barajı rezervuarındaki suyun genel bir kalite değerlendirmesi, kullanılan uydu verileri ile yakın eşzamanlı AKM ölçme sonuçları elde edilmediğinden nicelik bakımından olmasada nitelik bakımından sağlanmıştır (**Müftüoğlu, 1994**).

Uydu verileri kullanılarak Batı Karadeniz’de AKM ve Chl-a alansal konsantrasyonlarının belirlenmesi konusunda çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda Tuna Nehri’nin çıkış ağzındaki AKM ve Chl-a miktarlarının Türkiye kıyılarına ulaşınca kadar önemli oranlarda azaldığı, fakat 20.000 m³/sn’ye ulaşan Boğaz üst suyu kanalı debisi ile birlikte Marmara Denizi’nde büyük kütleli girdilere sebep olduğu görülmüştür (**Müftüoğlu ve diğ., 1995**).

Endonezya’nın Teluk Banten bölgesinde SPOT ve Landsat TM uydu görüntüleri kullanılarak AKM konsantrasyonlarının belirlenmesi konusunda çalışılmıştır. Çalışmanın sonunda bu görüntülerin, AKM konsantrasyonlarının belirlenmesinde yeterli doğruluğu verdiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada çoklu lineer regresyon ve

bio-optik modelleme yöntemleri kullanılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemin sonuç haritalarının benzer olduğu, fakat bio-optik modellemenin çoklu lineer regresyon yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca geometrik, radyometrik, atmosferik ve su-hava etkileşimi düzeltmelerinin yapılmasının, doğruluğu artırıcı faktörler olduğu görülmüştür. **(Ambarwulan, 2002).**

Macaristan'ın Sajo sel baskın alanında hiperspektral sensörlerden alınmış görüntüleri kullanılarak su kalitesi parametreleri incelendi. Çalışmada, AKM ve Chl-a parametreleri yeteri doğrulukta elde edilmiştir. Yine bu çalışmada çoklu lineer regresyon ve bio-optik modelleme yöntemleri uygulanmıştır ve bio-optik modellemenin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca Chl-a parametresinin tesbitinde MERIS sensörünün uygunluğu çalışmaların sonucunda görülmüştür. **(Turdukulov, 2003).**

ABD Minnesota göller bölgesinde IKONOS uydu görüntüleri ile bir su kalitesi çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda IKONOS görüntülerinin küçük alanlarda su berraklığının tesbitinde uygun olduğu görülmüştür. IKONOS uydusunun sensörü, Landsat TM sensörü ile benzer spektral özellikler taşıdığından, TM görüntüleri için bulunmuş modellerin IKONOS görüntüleri için de uygulanabileceği görülmüştür. IKONOS uydu görüntülerinin tek dezavantajı su yüzeylerinin, gölge ve asfalt yüzeylerle spektral olarak karışmasıdır **(Sawaya, 2003).**

Istanbul'da Büyük Çekmece içmesuyu havzasında IKONOS uydu görüntüleri ve eşzamanlı (real time) alınmış su numuneleri ile bir çalışma yapılmıştır. Görüntü sınıflandırıldıktan sonra bazı derelerden tarımsal kirleticilerin geldiği tespit edilmiş ve bu dereler ISKI tarafından koruma altına alınmıştır. Çalışmada Chl-a ve berraklık parametreleri için dağılım haritaları elde edilmiştir **(Başpehlivan ve diğ., 2004).**

Tezde yapılan uygulamanın amacı, radyometrik ve atmosferik olarak düzeltilmiş IKONOS uydu görüntüleri ve yersel olarak ölçülmüş askıda katı madde, Chl-a, çözünmüş oksijen konsantrasyonları, seki disk derinliği ve fekal koliform miktarları arasında çoklu lineer regresyon yapılarak, suyun yersel yansıma değerleri ve su kalitesi parametreleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırmaktır.

Bunun için bölüm 1.1'de anlatılan işlemler yapılarak her bir döneme ait su kalitesi parametrelerinin haritaları elde edilmiştir. Uygulamada kullanılan yöntemde, yersel

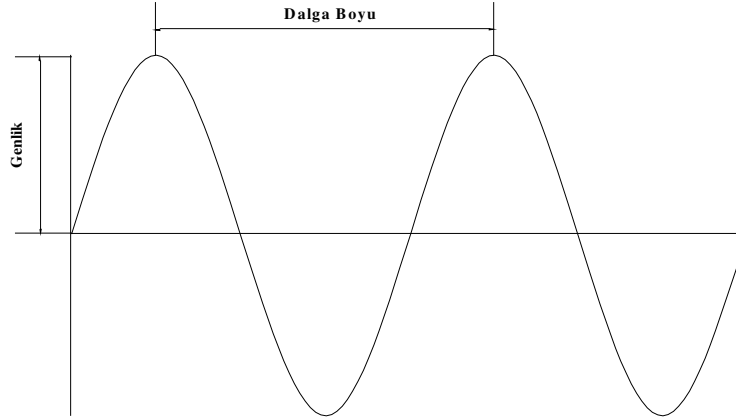
olarak alınmış su kalitesi ölçüm noktaları, sanki görüntünün tamamı için alınmış gibi sıklaştırılmıştır. IKONOS görüntüsünün kullanılmasının amacı, yersel çözünürlüğünün yüksek olmasıdır. Çalışmanın sonunda, IKONOS uydu görüntülerinin Haliç gibi dar su yollarında, Chl-a, AKM, SDD, Fekal Koliform ve ÇO parametrelerinin tahmini için kullanılmasının uygunluğu, korelasyon katsayılarının yüksekliği ve sonuç haritalarının yersel ölçümlerle olan uyumluluğu ile gösterilmiştir.

2. ELETROMANYETİK ENERJİ

2.1. Elektromanyetik Enerji

En bilinen elektromanyetik enerji şekli olan güneş, diğer elektromanyetik enerji çeşitleri gibi ışık hızı ile harmonik dalgalar şeklinde hareket eder. X ışınları, kızıl ve mor ötesi ışınlar, ısı, radyo ve televizyon dalgaları birer elektromanyetik enerji şeklidir. Elektromanyetik enerji katı, sıvı veya gaz halindeki cisimlerle temasta şiddet, doğrultu, dalga boyu, polarizasyon ve faz farkı gibi bakımlardan bir çok değişikliğe uğramaktadır. Uzaktan algılamada bu değişiklikler saptanıp, sensörler tarafından kaydedilmektedir. Bu işlemler sonucu ortaya çıkan görüntü ve veriler kayıt edilen elektromanyetik ışınımında değişikliğe neden olan cisim özelliklerinin belirlenmesi için yorumlanmaktadır. Elektromanyetik enerjinin üç önemli karakteristiği vardır; Genlik, Dalga Boyu ve frekans.

Şekli 2.1’de dalga boyu – genlik ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Dalga boyu – Genlik İlişkisi

Dalga boyu, frekans ve foton enerjisi arasındaki ilişki aşağıdaki formüller ve Şekil 2.2 ile açıklanabilir.

$$C = \lambda * \nu \quad (2.1a)$$

$$Q = h * \nu \quad (2.1b)$$

Bu iki ifade birleştirilirse;

$$Q = h * \frac{c}{\lambda} \quad (2.1c)$$

elde edilir. Bu formüllerdeki semboller;

c = Elektromanyetik enerjinin hızı (ışık hızı) = $3 * 10^8$ m / s

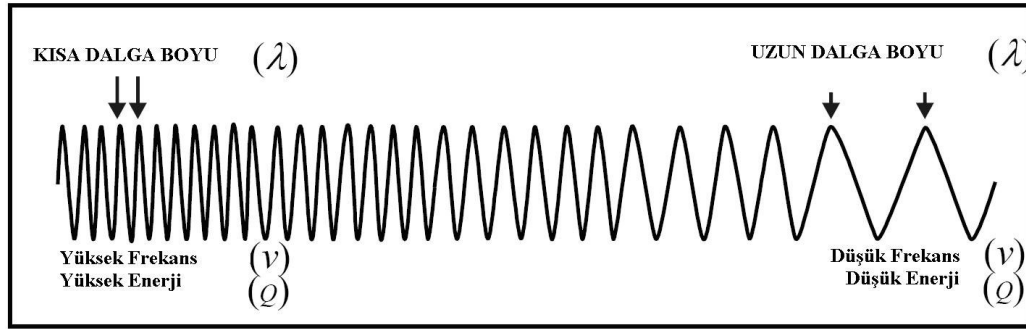
λ = Elektromanyetik enerjinin dalgaboyu (metre)

ν = frekans (s^{-1} ya da Hz)

Q = 1 fotonun enerjisi (J)

h = Plank sabiti = $6.6 * 10^{-34}$ (J / s)

Bu formüllerde ışık, ayrı parçacıklardan (fotonlar) oluşuyor.

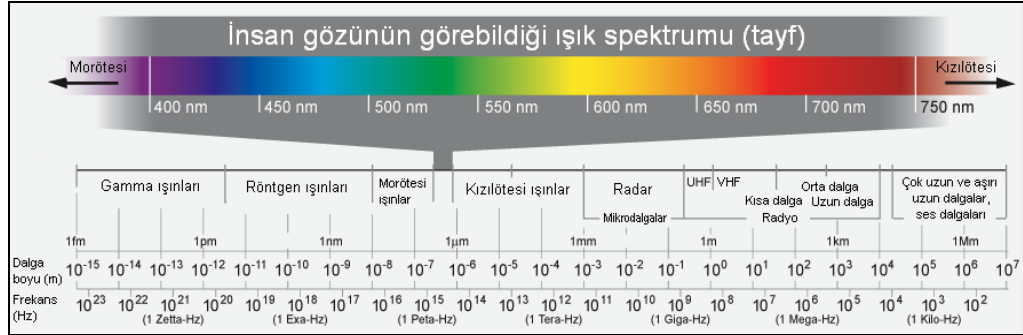


Şekil 2.2 : Dalga boyu – Enerji ilişkisi

2.2. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrumda elde edilen enerji cinsleri tanımlanabilir. Aşağıdaki şekilde dalga boyuna göre sınıflandırılmış elektromanyetik enerjiler görülmektedir. Bölgeler birbirinden kesin çizgilerle ayırt edilmişse de, gerçekte kesin olarak ayırt edilemezler.

Uzaktan algılamada kullanılan dalga boyları, 0.4 – 14 µm arası dalga boyları görünür ve kızılötesi, 5 – 500 mm arası dalga boyları mikrodalga ışınlardır.



Şekil 2.3 : Elektromanyetik Spektrum ve görünür bölge tayfı

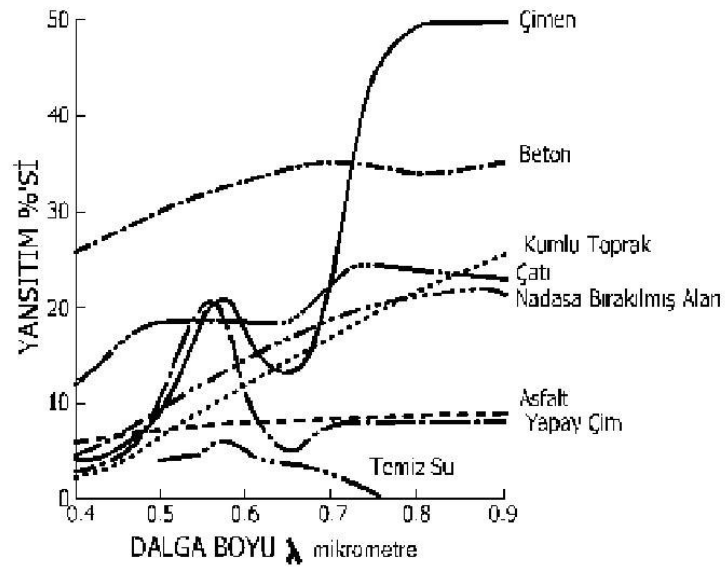
Uzaktan algılamadaki algılayıcılar, çevre hakkında bilgi elde etmek için elektromanyetik enerji toplayan ve uygun bir formatta sunan bir cihazdır. Termal, kızılötesi ve optik algılayıcılar yüzeyden gelen elektromanyetik enerjiyi toplarlar. Bunlara pasif algılayıcılar denir. Mikrodalga bölgesinde çalışan algılayıcılar ise kendi enerji kaynaklarını kendileri sağlarlar ki, buna aktif algılama denir.

Yapılacak projenin amacına uygun algılayıcıların seçilmesi gerekir. Çünkü, bir algılayıcının yeryüzünün tüm özelliklerini tespit etmesi mümkün değildir. Algılayıcılar elektromanyetik spektrumun belli bir aralığında hizmet verirler. Algılanacak cisim hangi bant aralığında öbür objelerden farklı davranıyorsa, o bandın verilerine ihtiyaç vardır. Davranış farkının maksimum olduğu bant aralığını seçmek en uygundur. Böylelikle obje diğer objelerden rahatlıkla ayırt edilebilir.

2.3. Cisimlerin Spektral Özellikleri

Her cisim kendi fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak elektromanyetik enerjiyi yansıtır, yutar ya da iletir. Fakat enerjinin korunumu yasasına göre objeden yansıtılan, obje tarafından yutulan ve objenin içinden geçip iletilen enerji objeye gelen ilk enerjiye eşittir. Objeye gelen enerjinin alt enerjilere bölünme miktarları tamamen objenin karakteristik özelliklerine ve gelen enerjinin dalga boyuna bağlıdır. Cismin bu tepkisi bir “Spektral Yansıma Eğrisi” ile ifade edilebilir. Cisimleri uzaktan algılama ile tespit etmek için uygun bant aralıklarını tespit etmek gerekir.

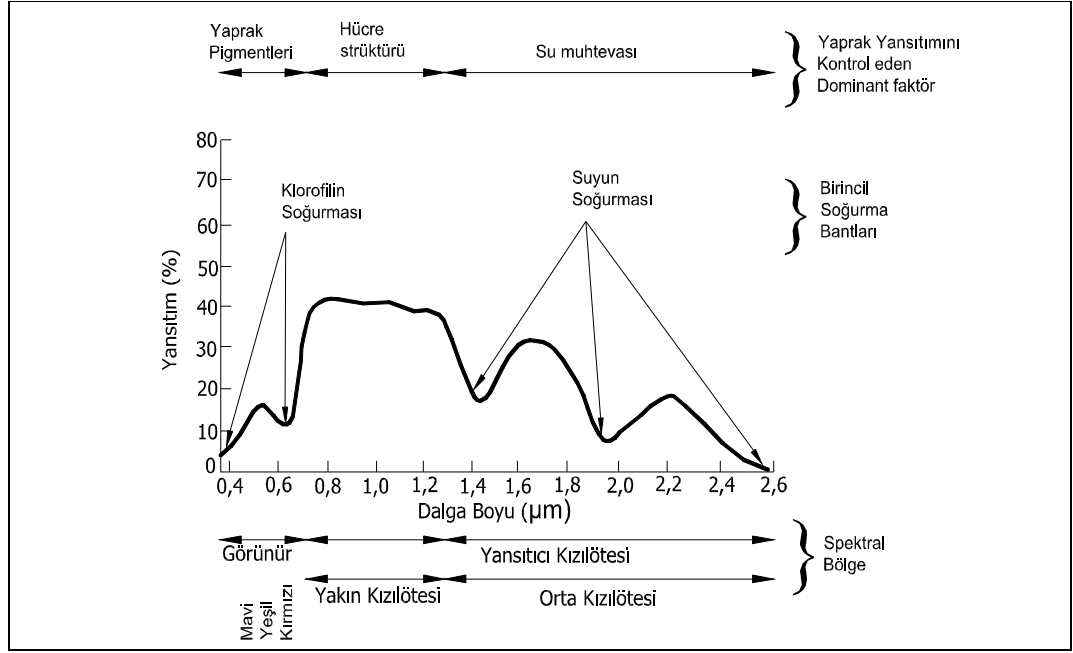
Bu da ancak cismin spektral yansıma eğrisini bilmekten geçer. Bu spektral yansıma eğrileri günümüzde kolaylıkla elde edilebilir. Uzaktan algılamada yaygın kullanılan objelerin spektral yansıma kütüphaneleri günümüzde Uzaktan Algılama yazılımları ile beraber gelmektedir. Spektral yansıma eğrileri mevcut olmayan objeler ise arazide spektrometre ile ölçülerek kolaylıkla bulunabilir. Algılanmak istenen cisim ile diğer cisimlerin spektral yansıma eğrileri arasındaki farkın maksimum olduğu bantlarda algılama yapmak en doğru sonucu verir. Şekil 2.4’de çeşitli cisimler için verilmiş spektral yansıma eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Cisimlerin spektral yansıma eğrileri (Rencz ve Ryerson, 1999)

2.3.1. Bitkilerin Spektral Karakteristiği

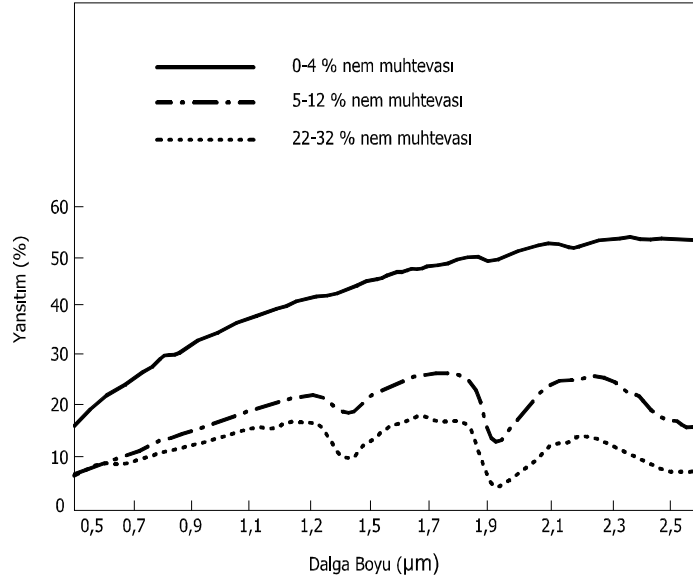
Sağlıklı bir bitkinin spektral yansıma eğrisi Şekil 2.5’te gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere bitki en çok yakın kızılötesi bölgesinde yansıma gösteriyor. İnsan gözünün duyarlı olduğu görünür bölgedeysen en çok yeşil ışığı yansıtır. Bu nedenden dolayı bitkileri yeşil renkte görürüz. Ormancılık uygulamalarında yakın kızılötesi bantlar kullanılır. Gerek hastalıklı ağaçların tesbitinde ve gerekse orman sınırlarının belirlenmesinde kullanılır. Hastalıklı veya yaşlı bitkilerde klorofilin yavaş yavaş kaybolmasından dolayı yakın kızılötesi bölgesindeki yansıma düzeyinin düşmeye başladığını görüyoruz.



Şekil 2.5 : Bitkilerin spektral yansıma eğrisi

2.3.2. Toprağın Spektral Karakteristiği

Toprağın yansıtımını etkileyen faktörler; İçindeki nem miktarı, yüzey pürüzlülüğü, demir oksit ve organik madde içeriğidir. Şekil 2.6'da toprağın içindeki nem miktarına göre spektral yansıma eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.6 : Toprağın nem miktarına göre yansıma eğrisi

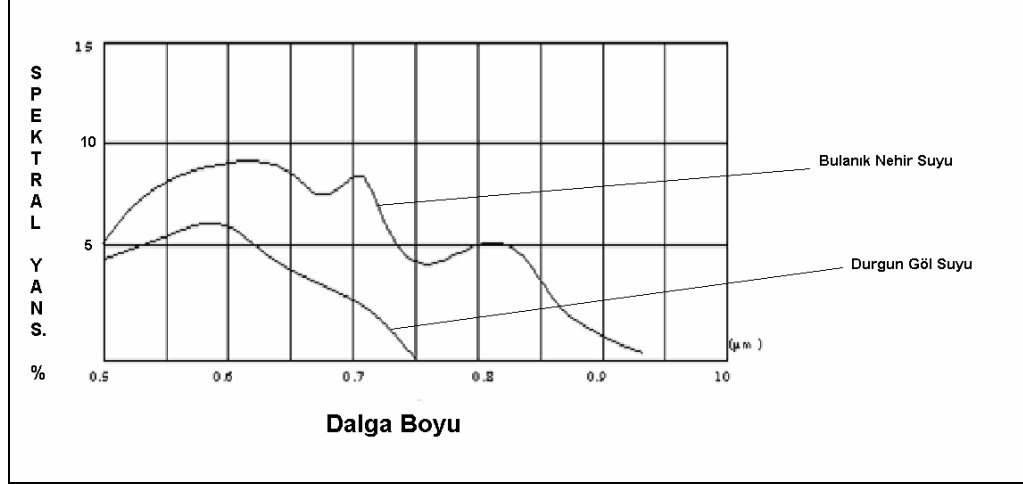
2.3.3. Suyun Spektral Karakteristikleri

Günümüzde uydu görüntüleri ile su kirliliği, deniz yüzey sıcaklarının, sahil şeridi değişikliklerinin izlenmesi gibi çalışmalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmaları yaparken yersel veri desteklemeleriyle modeller oluşturulabilir.

Suyun spektral yansımaları etkileyen en önemli faktör AKM konsantrasyonudur. Yapılan araştırmalar sonucunda kirli suyun yansıtma oranının temiz suya oranla daha yüksek olduğu ve bunun uzun dalga boylarına doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Hatta temiz suyun yansıtma oranının neredeyse sıfır olduğu dikkat çekmiştir (**Mather, 1987**).

Suyun spektral yansımaları etkileyen bazı önemli faktörler şunlardır;

- **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 molekül karışımları ve su buharı:** Su buharı, yakın ve ısı kızıltötesi 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. Şekil 2.7’de bu görülmektedir.



Şekil 2.7 : Suyun karakteristik yansımaya eğrisi (Örmeci, 1987)

- **Suyun rengi ve bulanıklığı:** İçerisinde bulunan askıda maddeler uydu görüntüsünde farklı gri tonlamalarına neden olacaktır. Maddeler, su içinde güneş ışığının davranışını etkileyerek ışığın su içinde kırılmasını, yutulmasını ve saçılmasını etkilerler.
- **Suyu çevreleyen taban yapısı, dipte ve yüzeyde bulunan bitki örtüsü:** Suyu çevreleyen tabanın yapısı, ışığın su tabanından yansımaya olayında önem kazanmaktadır. Dip yapısı aynı zamanda suyun yapısına doğrudan etki etmektedir. Yine dipte ve yüzeyde bulunan bitki örtüsü algılayıcılarda farklar yaratmaktadır (Coşkun, 1992). Suyun içerisindeki klorofil miktarı da yansımaya etki eder. Eğer sudaki klorofil miktarı artarsa mavi dalga boyundaki yansımaya azalır, yeşil dalga boyundaki yansımaya artar. Bu ilişkiden hareket edilirse sudaki yosunlanmalar belirlenebilir. Su için yapılan çalışmalarda elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgeleri kullanılmaktadır.

3. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

Uzaktan algılama ile elde edilmiş veriler kendi başlarına bir görüntüden başka bir anlam ifade etmezler. Dijital görüntü işleme teknikleri uygulanarak istenilen bilgiler ortaya çıkarılır.

3.1. Sayısal Görüntüler ve genel özellikleri

Matematiksel olarak ve bilgisayar diliyle konuşmak gerekirse, sayısal görüntü en küçük birimi piksel (picture element – resim elemanı) olan 2 boyutlu bir vektör dizisidir. Görüntüler, fotoğraf formatında olabileceği gibi, manyetik bir bantta da kayıtlı olabilir.

Elektromanyetik yöntemlerle algılanmış ve sayısal olarak kayıt edilmiş CCT (Computer Compatible Tape) formatındaki bilgiler bilgisayar analizlerinde kullanılabilir. CCT’ler bilgi kaybına neden olmadan çok fazla, yoğun ve detaylı bilgileri sayısal formatta içerirler. Yer hakkındaki bilgilere bu sayısal formattaki bilgilerin analizleri yapılarak ulaşılır (**Gazioğlu, 1996**).

Yeryüzünde küçük bir alana karşılık gelen bölgenin görüntüdeki ortalama parlaklık değeri bir sayıdır ve bu da bir piksele karşılık gelmektedir. Yeryüzünde bir piksele karşılık gelen alan ne kadar değişik görünüm ve değerlere sahip olursa olsun, pikselin bir spektral banttaki değeri, tek bir sayı ile ifade edilir (**İmamoğlu, 2004**).

3.2. Görüntü işleme yöntemleri

Uydu görüntüleri artık günümüzde standard kişisel bilgisayarlar (PC) kullanılarak işlenebiliyor. Piyasada kullanılan pek çok görüntü işleme yazılımı vardır. En çok kullanılanları; Erdas Imagine, PCI Geomatica, ENVI, ER Mapper ve IDRISI gibi.

Görüntü işleme aşağıdaki konuları kapsar;

Ön işleme, görüntü zenginleştirme, görüntü dönüşümleri, görüntü sınıflandırması ve analizi.

3.2.1. Ön İşleme

İşlenmemiş görüntüler genellikle geometrik bozulmaları içerir. Bunun nedeni, algılayıcı yüksekliğinden, konumundan, hız değişikliklerinden, yeryüzü eğriliği ve atmosferik etkilerden ileri gelir.

Görüntülerin geometrik olarak düzeltilmeleri sonucunda bozulmalar giderilerek, görüntü koordinatları ve nesne koordinatları arasında analitik bir ilişki kurulur (Bayram, 1998).

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

Kontrol noktaları dönüşümün geometrik doğruluğunu doğrudan etkiler. Onun için her zaman kesin ve yeri kolaylıkla belirlenebilen noktalar seçmek gerekir. Çatı kenarlarından ve yerden belirli bir yükseklikteki noktalardan kontrol noktası seçmek doğru değildir. Bu tür noktalar uydunun tam nadir noktasında doğru sonuç verir. Diğer türlü, yükseklikten dolayı yatayda konumsal kaymalar meydana gelir.

Geometrik düzeltmenin son adımı olan yeniden örneklemede (resampling), geometrik olarak düzeltilmiş görüntünün yeni piksel değerleri hesaplanır. Bunun için 3 farklı yöntem uygulanır;

- **En yakın komşuluk yöntemi (nearest – neighbor):** Bu yöntem ile yeni piksel gri değerleri giriş görüntüsündeki (geometrik düzeltmeden önceki görüntü) en yakında yer alan değerlerin kopyalanması ile elde edilir. Böylece giriş görüntüsü ile sonuç görüntü aynı piksel değerlerinde olur.

Bu yöntem hesap bakımından kolay ve hızlı olmasına görüntüde kaymalar oluşturması büyük bir dezavantajdır. Analiz işlemleri için uygundur. Çünkü orijinal piksel değerleri korunmaktadır.

- **Bilineer enterpolasyon yöntemi (Bilinear Interpolation):** Bu yöntemde ise en yakın 4 pikselin mesafelere göre ağırlıklı ortalamaları alınır. Bu yöntem kenarları yumuşatır. Özellikle uydu görüntülerinden çıktı alınacağı zaman bu yöntem uygulanır. Fakat analizlerde kullanılmaz. Çünkü orijinal piksel değerleri değişmektedir.
- **Kübik enterpolasyon yöntemi (cubic convolution):** Bu yöntemde ise en yakın 16 pikselin ağırlıklı ortalamaları alınarak yeni piksel değeri olarak atanır. Yine görüntüde bir yumuşatma sağlar. Aşağıda son iki yöntem için bir bağıntı verilmiştir. Formülde bilinear enterpolasyon için $n=4$, kübik enterpolasyon için ise $n=16$ alınmalıdır.

$$\text{Yeni görüntüdeki parlaklık değeri} = \left(\sum_{k=1}^n (Z_k / D_k^2) \right) / \left(\sum_{k=1}^n (1 / D_k^2) \right) \quad (3.1)$$

Z_k = Piksellerin parlaklık değerleri

D_k = Piksellerin (i, j) pikseline olan uzaklıkları

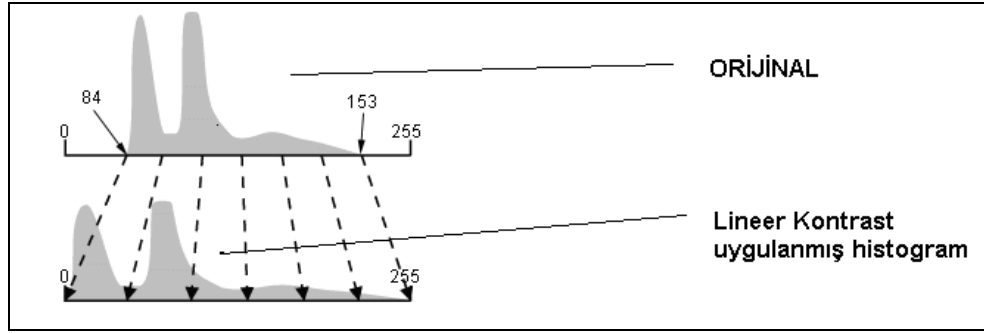
3.2.2. Görüntü İyileştirme

Görüntü kontrast artırımı ve filtreleme gibi işlemlerden geçilerek iyileştirilir.

3.2.2.1. Kontrast Artırımı

Üç genel yöntemi bulunan kontrast artırımında genel amaç, piksel orijinal parlaklık değerlerini histogramda daha geniş bir alana yayarak daha belirgin hale getirmektir.

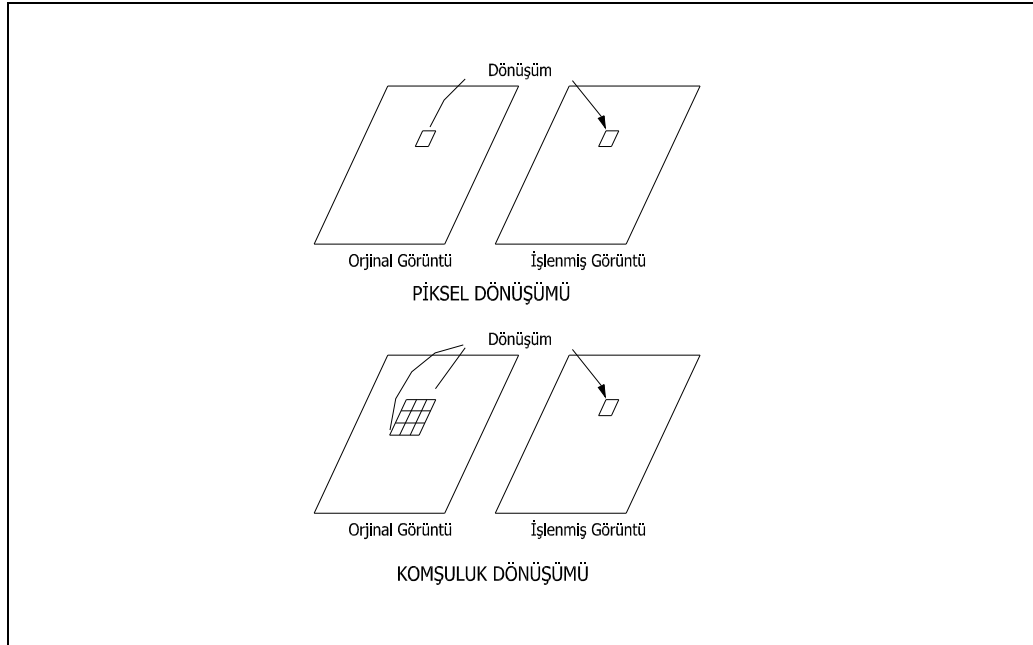
- **Lineer Kontrast Artırması:** Bu yöntemde, bir görüntüde olan en düşük ve en yüksek parlaklık değerleri daha geniş bir alana lineer olarak dağılır. Bu durumda açık tonda olan yerler daha açık, koyu tonda olan yerler daha koyu gözükecek ve yorumlama kolaylaşacaktır.
- **Histogram Eşitleme:** Kontrast artırımında en çok tercih edilen bu yöntemde, orijinal görüntüde parlaklık değerlerinin en yoğun olduğu bölge, daha az yoğun olan bölgeye göre daha geniş bir alana yayılır.
- **Gauss Dağılımına göre kontrast artırımı:** Bu yöntemde de görüntü histogramı normal dağılım eğrisiyle eşleştirilir.



Şekil 3.1 : 8 bitlik bir görüntü histogramında lineer kontrast artırımı

3.2.2.2. Filtreleme

Filtrelemede, kontrast artırımındaki gibi sadece piksellerin kendisi dönüşmez. Piksellerin belli bir çevresinde pencereler tanımlanıp, bu pencereler görüntü üzerinde gezdirilerek piksellere yeni değerler atanır.



Şekil 3.2 : Piksel ve komşuluk bazlı dönüşümler (Coşkun, 1992)

Filtrelemenin amacı, belli objeleri daha iyi yorumlanabilir hale getirmek için bazı verileri vurgulamak ya da bastırmaktır. İki tür filtre vardır;

Düşük Frekanslı filtreler (Low Pass Filters): Görüntü üzerinde belli bir alanda piksel değerleri arasındaki farklılık az ise bu alan düşük frekanslı bir alandır. Görüntü üzerinde göreceli olarak küçük bir alanda piksel değerleri arasında çok fazla fark oluşuyorsa, bu alana yüksek frekanslı alan denir. Düşük frekanslı filtreler ile düşük

frekanslı alanlar vurgulanıp, yüksek frekanslı alanlar bastırılır. Böylelikle görüntü bulanıklaşmış olur. Bu aynı zamanda görüntüyü genelleştirir.

Yüksek frekanslı filtreler (High Pass Filters): Bu filtreler de yüksek frekanslı alanlar vurgulanıp düşük frekanslı alanlar bastırılır.

3.2.3. Görüntü Dönüşümleri

Görüntü dönüşümlerinde birden fazla bant üzerinden işlem yapılır. 3 önemli metodu vardır; Aritmetik Bant İşlemleri, İstatistiksel Analizler, İndeksler.

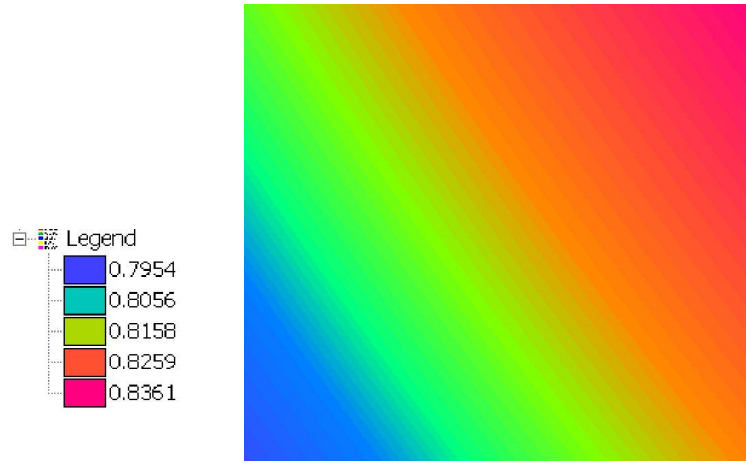
3.2.3.1. Aritmetik Bant İşlemleri

Bantlar arasında aritmetik işlemler yapılır. Bu bir multispektral veri setinin iki bandı ya da farklı tarihli iki tek bant olabilir. Aşağıda örnekler sunulmuştur.

Çıkarma işleminde iki görüntü arasındaki değişim analizleri (Change Detection) yapılabilir. Çarpma işleminde tek bir görüntü üzerinden işlem yapılır. Yani görüntü, değerleri 0 ve 1 olan başka bir görüntü ile çarpılır. Bunun amacı görüntüdeki belli bölgeleri maskeleyerek çıkarmak. Bu, günlük uygulamalarda pek çok yerde kullanılabilir. Örneğin bulutların görüntüden maskelenmesi için. Bazı testler görüntüye uygulanarak bulutlar tespit edilir. Örneğin bulutların ısıları düşük olup, parlaklık değerleri çok yüksektir. Bu gibi karakteristikler testlerle uygulanarak 0 ve 1 pikselleri tespit edilir. Bulut piksellerine tanımsız ya da 0 değerleri tanımlanarak ve diğer bulutsuz piksellere 1 parlaklık değerleri tanımlanarak yeni bir görüntü elde edilir. Elde edilen görüntü ile orijinal uydu görüntüsü çarpılarak bulutsuz alanlar görüntüden maskelenir. İkinci olarak Su – Kara ayrımlarının yapılmasında. Su objeleri sınıfları elde edildikten sonra, bu piksellere 1 değerleri ve bunların dışındakileri 0 ya da tanımsız parlaklık değerleri tanımlanarak yeni bir görüntü elde edilir.

Bu görüntü ile orijinal görüntü çarpılarak su sınırları haritası elde edilir. Daha sonra bu raster haritadan su sınırı vektör haritası elde edilebilir. Ayrıca TERRA MODIS ve NOAA AVHRR gibi büyük tarama genişliğine sahip uydu görüntülerinde radyometrik düzeltme yaparken, tarama genişliğinden dolayı güneş zenit açısını diğer uydu görüntülerindeki gibi sabit kabul edemeyiz. AVHRR görüntülerinde, diğer uydu görüntülerinde (IKONOS ve Landsat gibi küçük tarama genişliğine sahip uydular) olduğu gibi zenit açısı görüntüde sabit ve görüntünün nadir noktasına eşit

kabul edemeyiz. Bu durumda bir zenit açısı görüntüsü oluşturulur. Daha sonra bu görüntünün kosinüs fonksiyonu alınır. Orijinal görüntünün yansımaya görüntüsü elde edildikten sonra bu görüntü, zenit açısının kosinüs görüntüsüne bölünürse doğru yansımaya değerlerini içeren görüntü elde edilir. Şekil 3.3'te ITC' nin geliştirdiği ILWIS uzaktan algılama ve CBS yazılımının “Map Calculations” özelliği kullanılarak bir TERRA MODIS görüntüsü için elde edilmiş $\cos \theta$ (Zenit açısının kosinüsü) görüntüsü görülmektedir. Renklerin ifade ettiği değerler lejandda verilmiştir.



Şekil 3.3 : $\cos \theta$ görüntüsü

3.2.3.2. İstatistiksel Analizler

Analizler içerisinde en çok tercih edilen temel bileşenler analizidir (PCA – Principle Component Analysis). Temel bileşenler analizi, korelasyonu yüksek olan bantlar arasında uygulanır. Birbirine dik iki eksen tanımlanarak işlemlere devam edilir. Bu analiz ile çok bantlı görüntüler daha az banda indirgenerek veri sıkıştırması sağlanır.

3.2.3.3. İndeksler

Uzaktan algılamanın doğal kaynakların gözleminde en önemli yeri bitki örtüsü ve ürünleri almaktadır. Bu objelerin, görüntülerden daha rahat çıkarılabilmesi ve yorumlanabilmesi için çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi olan NDVI'nin (Normalized Difference Vegetation Index) formülü;

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3.1)$$

NIR : Yakın Kızılötesi bandı, Red : Kırmızı bant piksel değerleri.

Bu işlem, görüntüdeki her bir piksel için yapılarak yeni bir görüntü elde edilir. Ortaya çıkan sonuç üründe piksel değerleri bitki varlığı ve yoğunluğu hakkında bilgi verebilir. Parlak yerler yoğun bitki örtüsünü gösterirken, koyu yerler bitki bulunmayan alanları ifade eder. Bu formülde piksel değeri denirken yersel yansıma değerleri anlaşılmalıdır. NDVI bir kaç döneme ait görüntülerin farklarının yorumlanmasında kullanılacaksa, atmosferik etkilerden arınmış yersel yansıma değerleri kullanılmalıdır. Bu formülde parlaklık değerleri kullanılırsa yanlış sonuçlar verir. Diğer başka önemli indeksler ise şunlardır;

LAI (Leaf Area Index), OSAVI (Optimum Soil Adjusted Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index).

4. UYDU VERİLERİ VE ÇÖZÜNÜRLÜK

4.1. Uydu verileri ve CBS entegrasyonu

Günümüzde uydu verileri pek çok ihtiyaca hizmet etmektedir. Yeryüzü kaynaklarının ve çevresel kirliliklerin izlenmesi, yüksek yersel çözünürlüklü uydular ile orto – görüntü üretimi, kaçak yapı takibi, kent bilgi sistemleri için güncel veri sağlama, orman kadastrosu gibi uygulamaları hızlı, doğru ve ekonomik olarak gerçekleştirmek mümkündür. Uydu görüntüleri artık web tabanlı olarak internetten rahatlıkla temin edilebilmektedir. Burada önemli olan projenin amacına uygun uydu görüntüsü temin etmektir. Kamu kurumlarında da merkezi bir CBS veritabanı kullanılarak, uydu görüntülerinin her bir kurum tarafından mükerrer satın alınmasının önüne geçilmelidir. Aynı şekilde vektör ve buna bağlı sözel veriler uydu görüntüleriyle süperpoze edilerek kullanıcılara çok verili bir ortam sunulmadır. Uydu görüntüleri CBS ortamıyla son kullanıcılara açılabilceği gibi, uydu görüntülerinden sınıflandırma yoluyla elde edilen sınıflandırılmış görüntüler de açılmalıdır. Veriler son kullanıcılara açılırken aşağıdakilerin dikkate alınması gereklidir;

- Gerek vektör ve gerekse raster veriler aynı projeksiyon sisteminde ve datumda olmalıdır ya da yazılımın “on the fly” özelliği ile farklı sistemlerdeki veriler üst üste getirilebilmelidir.
- Her bir verinin metadata ‘sı (veri hakkında veri) olmalıdır. Bu verinin üretimi ile ilgili bilgilerdir. Verinin üretim tarihi, nasıl üretildiği ve doğruluğu gibi bilgiler içerir.

Günümüzde son kullanıcılara web tabanlı ulaşılabilir. CBS, kurumsal yapıdan kurumlar arası (enterprise GIS) yapıya geçmiştir. Bunun için her bir kurum, her bir kurumun bölümleri ve her bir bölümdeki personel için bilgiye ulaşmada yetkilendirmeler yapılmalıdır. Yani hangi kişiler hangi verilere ulaşacak ve veriler üzerinde ne gibi haklara sahip olacak (sadece veriyi görme ve veriyi değiştirme gibi) gibi bilgiler tanımlanmalıdır. Bu yetkilendirmeler merkezi bir veritabanı yönetimi sistemi ile rahatlıkla yapılabilir. Örnek veritabanı yönetim sistemlerinden bazıları;

Oracle, MS SQL Server, MySQL ve MS Access gibi. Grafik verilerin yönetimi içinse, bir DBMS (Veritabanı yönetim sistemi) üzerine SDE (Spatial Database Engine) yazılımı gereklidir. Örnek olarak Oracle Spatial ya da ESRI'nin ürünü olan ArcSDE ve bunun grafiksel arayüzünü (GUI) sağlayan ArcGIS Desktop yazılımları vardır.

Bir CBS projesine başlanırken en önemli adım proje ihtiyaçlarına göre ağ yapısının, donanım ve yazılımların ölçeklenmesidir. Ayrıca raster verilerin ağ trafiğine çok fazla yük getirmemeleri için, sıkıştırılarak merkezi veritabanından son kullanıcıya aktarılması gerekir. Bunun için de her bir yazılım, kendi sıkıştırma metodlarını geliştirmiştir. Çünkü ağ trafiğinde en çok yeri raster görüntüler almaktadır. Örnek olarak ESRI firmasının CBS verilerini WWW'de yayınlama ürünü olan ArcIMS, raster verilerini jpg, png ve gif formatlarına sıkıştırarak son kullanıcıya (client) aktarır. Bu işlem sırasında ArcXML komutları uygulanarak kullanıcının istediği alan Web Browser'a (Internet Explorer, Netscape, Mozilla Firefox, vs.) aktararak görüntü koordinatlı olarak gelebilmektedir.

- Veriler çoklu yazılım platformlarında kullanılabilecek formatta olmalıdır (interoperability) ya da tek bir format üzerinde anlaşılır ve o format kullanılır. Örneğin raster görüntüler için GeoTIFF (Georeferenced TIFF) formatı yazılımlar tarafından tanınan yaygın bir formattır. Bu format NASA'nın bünyesinde çalışan Dr.Niles Ritter tarafından geliştirilmiştir.

Günümüzde artık uydu verileri tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Bu verileri CBS ortamında diğer vektör verilerle yayınlanırsa bir anlam ifade eder. Bu şekilde farklı disiplinlerden insanlar aynı verilere bakarak farklı sonuçlar çıkarabilecektir.

CBS uygulamaları, geleceğe doğru web (internet, intranet) tabanına kayacaktır. Bu da tamamen ağ hızlarının artmasına bağlıdır. Artık CBS araçları ve verilerine web üzerinden (bir web browser ile) ulaşarak merkezi bilgisayarlara (server) işlem verdirebilecektir. Web üzerinden kullanılabilecek CBS araçlarının gelişimi, ağ hızlarının gelişimi ile orantılı olacaktır (**Dangermond, 2005**).

4.2. Çözünürlük

Uzaktan algılamada 4 çözünürlükten bahsedilebilir;

Yersel (Spatial), Spektral, Radyometrik ve Zamansal (Temporal) çözünürlük.

Yersel çözünürlük, bir görüntüleme sistemi tarafından ayırık ayırt edilebilen 2 nesne arasındaki en küçük uzaklıktır. Tarayıcı, yapısı itibarıyla bir anda yeryüzünde ancak küçük alandan veri alabilir. Tarayıcının bu görüş alanına “Anlık Görüş Alanı (IFOV – Instantaneous Field of View)” denir.

Yeryüzündeki nesnelerin ve arazi türlerinin uzaktan algılama ile tanımlanabilmelerinin en önemli nedeni objelerin kendilerine has olan spektral özellikleridir. Teorik olarak elektromanyetik spektrum ne kadar parçaya ayrılırsa, spektral ayırma gücü o kadar iyi olur. Ancak optimal çözüm en az bandı kullanarak istenilen ayrımı yapabilmektir. Bunun için spektral çözünürlük, yapılacak olan işin amacına uygun olarak düzenlenir.

Parlaklık değerlerinin bilgisayar ortamında saklanabilmesi için belirli sayıda ayırık değerler biçiminde ifade edilmesi gerekir. Radyometrik ayırma gücü ya da radyometrik duyarlılık; algılayıcı tarafından toplanan verilerin, seçilebilen ayırık parlaklık değeri sayısı ve düzeyinin belirlenmesini tanımlar. Diğer bir deyişle, sinyalin bölünebildiği ayırık düzey sayısının saptanmasıdır (**Önder, 1997**).

Radyometrik çözünürlük, her bir bantta toplam olabilecek veri değerini ifade eder. Veriler bit olarak gösterilir. 8 bitten oluşan bir veri, 2^8 ‘lik bir değer alır. Bu da 0 dan başlayıp 255’e kadar değişen 256 farklı gri renk tonu değeri demektir. Değer ne kadar yüksek olursa ayırt edilebilirlik o kadar iyi olur (**Yomralıoğlu, 2000**).

Zamansal çözünürlük, bir algılayıcının aynı noktayı ardışık olarak algılayabildiği zaman dilimidir. IKONOS uydusu, bu süreyi kısaltmak için uyduya eğiklik (tilt) verebilmektedir.

4.3. IKONOS Uydu Sistemi

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri günümüzde hava fotoğrafları ile yarışır hale gelmiştir. Güncel coğrafi bilgiye dayanan bir çok uygulamalarda hava fotoğraflarından daha çok kullanım alanları bulmaya başlamıştır. Hava

fotoğraflarının zaman zaman teknik, politik ve fiziksel sınırlamalarla karşı karşıya kaldığı durumlarda, daha esnek yapıdaki uydu görüntüleri devreye kolayca girebilmekte ve çoğu kez, birlikte kullanıldığı uygulama alanlarında daha gerçekçi sonuçlara kısa sürede ulaşılmasına olanak vermektedirler.

Dünyanın ilk ve yüksek çözünürlüklü ticari uydusu olan IKONOS-1 29 Nisan 1999 yılında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde bulunan Vandenberg uzay istasyonundan Space Imaging firması tarafından fırlatılmıştır. Fakat roketin istasyondan planlanan süreden 4.5 dakika geç ayrılması sonucu uydu gerekli hıza ulaşamamış ve yörüngeyi yakalayamamıştır. IKONOS-1 uydusu Güney Pasifik Okyanusuna düşmüştür. İkinci uydu IKONOS-2 adıyla 24 Eylül 1999'da fırlatılmıştır.

Pankromatik ve multispektral görüntülerin birleştirilmesi ile “pan-sharpened” görüntüler elde edilir. Bu durumda pankromatik bandının yersel çözünürlüğü ve multispektral bantlarının spektral çözünürlüğü birleştirilmiş olur.

IKONOS uydu görüntüleri, şehir planlama, arazi kullanımı ve analiz çalışmaları, haritacılık, tarım, ormancılık, maden aramaları, kamu kurumları (elektrik, telefon şirketleri vs.), çevre çalışmaları, ulusal güvenlik ve telekomünikasyon, nakliye sistemleri ve acil yanıt sistemleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

IKONOS uydusu yerden 681 km yükseklikte olup nadirden, pankromatik 0.82 m, multispektral bantlarda 3.2 m yersel çözünürlüğe sahip görüntü alabilmektedir. Tarama genişliği (swath) nadirde 11.3 km olup, nadirden 26° eğiklikte 13.8 km' dir (Space Imaging, 2004).

IKONOS Uydu yörünge ve sensör özellikleri Tablo 4.1 ve 4.2 'de verilmiştir.

Tablo 4.1: IKONOS Uydu Yörünge Özellikleri (Space Imaging, 2004)

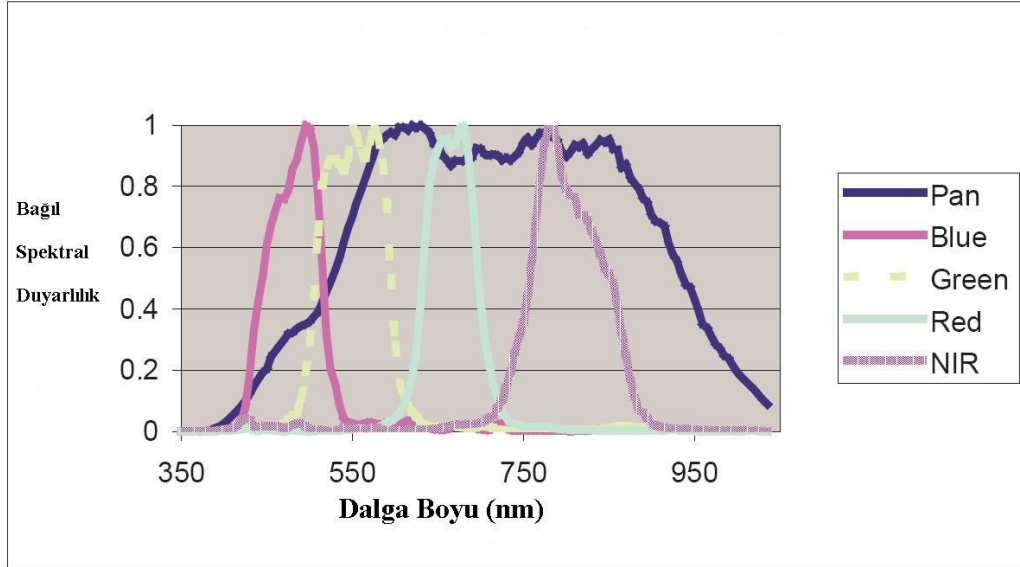
Yükseklik	681 km
Yörünge Eğim Açısı (Orbital Inclination)	98.1 derece
Yörüngedeki Hızı	4.7 mil/saniye – 7.5 km/saniye
Ekvator Geçiş Zamanı	Alçalma Durumunda $\approx$ 10:30
Yörünge Periyodu	98 dakika
Yörünge Tipi	Kutupsala yakın, güneş uyumlu

Tablo 4.2: IKONOS Uydu Sensör Özellikleri

Yersel Çözünürlük	Nadirde 0.82 m (Pankromatik Bant), 3.2 m (multispektral) 26° nadirden sapmada 1.0 m (Pankromatik Bant), 4.0 m (multispektral)
Bant Aralıkları	Pankromatik: 0.45-0.90 µm, Bant 1 (Mavi): 0.45-0.52 µm, Bant 2 (Yeşil): 0.52-0.60 µm, Bant 3 (Kırmızı): 0.63-0.69 µm, Bant 4 (Yakın Kızılötesi): 0.76-0.90 µm
Dinamik Aralık	11 bit

IKONOS uydusu ayrıca nadirden her yöne doğru $\pm 50^\circ$ sapmalı olarak çekim yapabilmektedir. Sensör, uçuş yönüne paralel tarama sistemine göre (pushbroom) veri toplamaktadır (Bakker ve diğ., 2004, s.86-87).

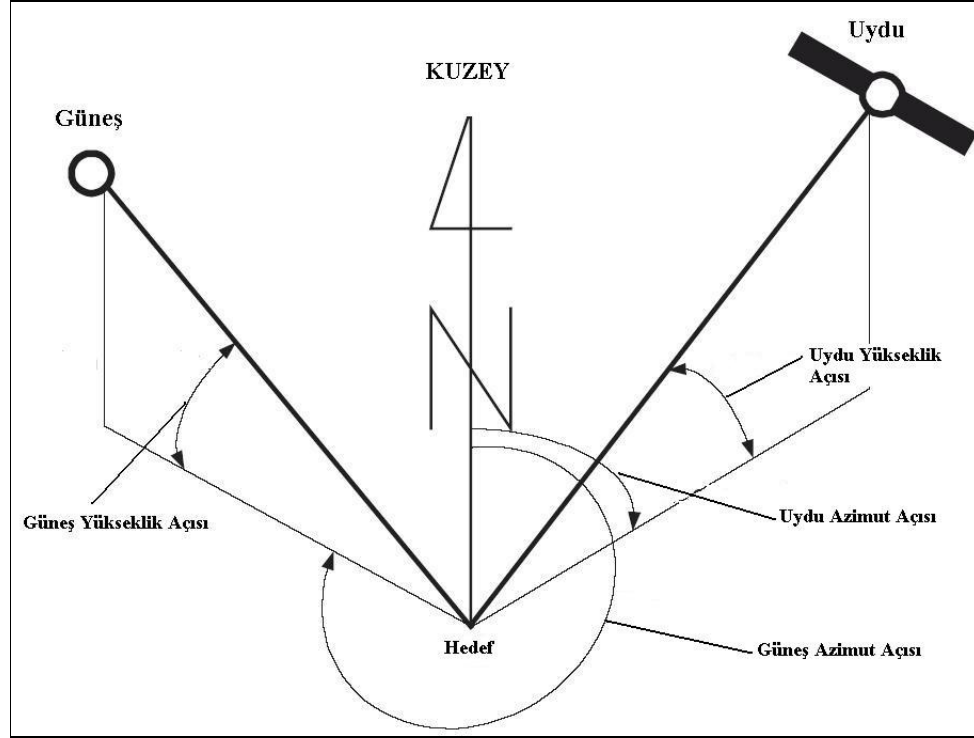
Şekil 4.1’de IKONOS uydusunun spektral duyarlılık eğrileri verilmiştir.

**Şekil 4.1 : IKONOS Spektral Duyarlılık Eğrileri (Grodecki ve Dial, 2001)**

Yersel çözünürlüğü ne olursa olsun, tüm IKONOS ticari ürünleri 1 m GSD'ye yeniden örneklenerek son kullanıcıya sunulmaktadır.

Uydu görüntülerinin metadata'sında Sensör ve Güneş'in çekim anındaki azimut ve yükseklik açıları verilmektedir. Bu veriler gerek radyometrik ve gerekse atmosferik düzeltmede kullanılmaktadır.

Şekil 4.2'de bu açılar açıklanmaktadır.



Şekil 4.2 : Görüntü alım geometrisi (Grodecki ve Dial, 2001)

Bu açıların görüntü metadata dosyasında karşılıkları şunlardır;

Nominal Collection Azimuth: Uydu Azimut Açısı, Nominal Collection Elevation: Uydu yükseklik açısı, Sun Angle Azimuth: Güneş azimut açısı, Sun Angle Elevation: Güneş yükseklik açısı.

IKONOS uydusu mono görüntü çekimi dışında stereo görüntü çekimi de yapabilmektedir. Spot uydusundan farklı olarak stereo görüntü çiftini farklı yörünge geçişinde değil, aynı yörünge geçişinde eğiklik (tilt) özelliğini kullanarak elde eder. Bunun diğer sisteme göre avantajı, görüntü çiftinin ışık ve görüntü içeriğinin hemen hemen aynı olmasıdır.

Çalışmada kullanılan IKONOS GEO ürünüdür ve bantlar 4 Bant 4 Dosya şeklindedir. Yani her bant ayrı GeoTIFF dosyasıdır.

GEO ürünler daha önceden belirlenmiş bir elipsoid ve harita projeksiyonuna göre geometrik olarak düzeltilmiş ve rektifiye edilmiştir. Rektifikasyon işlemi görüntüdeki hataları düzeltir ve belirlenen harita projeksiyonuna göre yeniden örnekler (resampling). Bu ürün, topoğrafyadan kaynaklanan ötelemeler hariç ± 15 m (RMSE) standart yatay doğruluğa sahiptir. Bu ürün ayrıca görüntü geometri modeli (kamera bilgileri) ile birlikte sunulmaktadır (Inta Spaceturk, 2006).

Tablo 4.3'te GEO ürün seçenekleri tablosu vardır. Her kolondan bir özellik seçilerek ürün sipariş verilir.

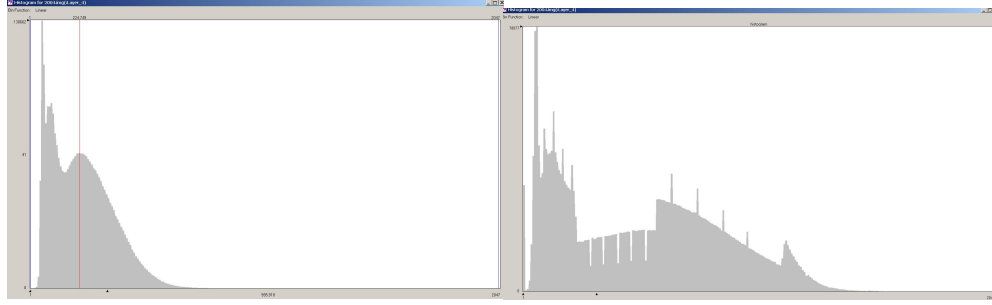
Tablo 4.3: IKONOS GEO Ürün seçenekleri tablosu

Ürün Tipi	Dosya Formatı	Harita Proj.	Datum/Elipsoid	Dinamik Aralık
1m PAN	GeoTIFF	- UTM	WGS 84	11 bit
4m MSI	TIFF	- TM	NAD 83 (GRS 1980)	8 bit
1m PSM	NITF 2.0	- Albers Konik Alan Koruyan		
1m PAN + 4m MSI		- Lambert Konik Açık Koruyan		

Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri; 4 m MSI (çok bantlı), GeoTIFF dosya formatlı, UTM harita projeksiyonlu, WGS 84 datum/elipsoid ve 11 bit dinamik aralığına sahip görüntülerdir.

Radyometrik doğruluğun korunması açısından DRA (Dynamic Range Adjustment) özelliğinin kapalı olmasına ve yeniden örnekleme metodunun “en yakın komşuluk (nearest neighbourhood)” olarak seçilmesi gereklidir. İleri ki bölümlerde gerçekleştirilecek olan atmosferik düzeltmelerde bu iki özelliğin sağlanması önemlidir. DRA özelliği ile IKONOS görüntüsünün histogramı lineer olmayan bir dönüşüm ile gerdirilerek, görüntü görsel olarak iyileştirilmektedir. Fakat orijinal radyometrik doğruluk bu işlemten sonra kalmamaktadır. Görüntüler sipariş verilirken, bu özellik default (hazır ayarlanmış) olarak “ON” olarak gelmektedir. Görüntü sağlayıcıya bu özelliğin “OFF” olması için talimat verilmelidir. Aşağıdaki şekilde bir görüntünün “DRA OFF” ve “DRA ON” histogramı gösterilmektedir. Bu bilgiler uydu görüntülerinin metadata dosyalarında bulunur.

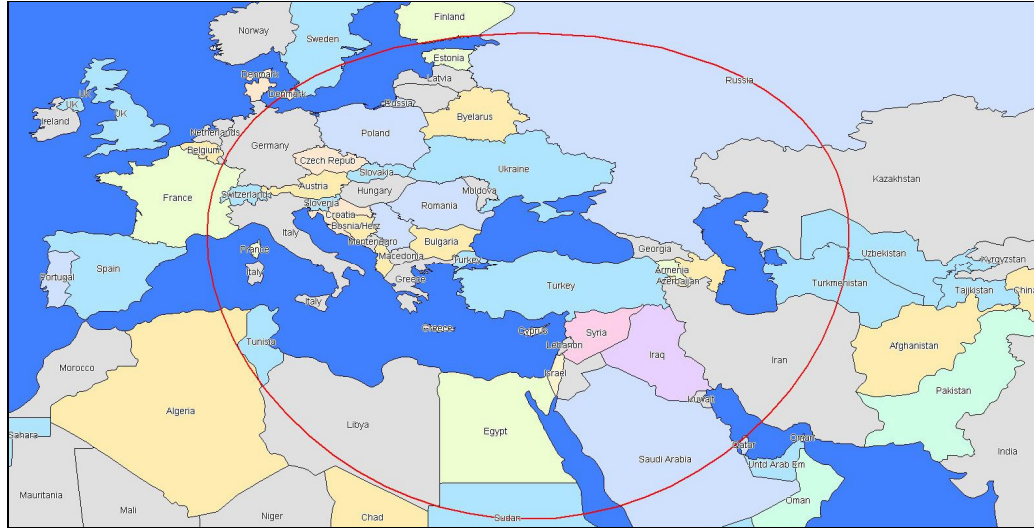
Şekil 4.3'te soldaki DRA gerdirme uygulanmamış ve sağdaki aynı görüntünün DRA gerdirme uygulanmış histogramıdır.



Şekil 4.3 : DRA Histogram Gerdirme

İstenilen tarihleri ait görüntüler online görüntü arşivlerinden kolaylıkla önizlemeleri (preview) yapılabilir ve bilgisayara indirilebilir. Görüntü ararken tarih, bölge, bulutluluk oranı ve AOI (Area of Interest) tanımlanarak, görüntüler bilgisayara indirilmeden incelenebilir.

Ülkemizde Ankara'da bulunan yer istasyonu şekil 4.4'te gösterilen bölgede IKONOS uydu görüntüleri siparişi alabilmektedir.



Şekil 4.4 : IKONOS Eurasia Bölgesi Yer İstasyonu Kapsama Alanı (Inta Spaceturk Web Sitesi – www.sieurasia.com – Online Arşiv Web Uygulaması)

Tablo 4.4'te bazı yüksek yersel çözünürlüklü uydu sistemleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.4: Bazı yüksek yersel çözünürlüklü uydu sistemleri (İmamoğlu, 2004)

	Earth Watch 'QuickBird'		Orbital Sciences OrbView 3	
Özellik/Mod	Pan.	MSI	Pan.	MSI
Yersel Çözünürlük	0.61-0.72 m	2.44 – 2.88 m	1 m	4 m
Bantlar	0.45-0.90 μm	0.45-0.52 μm 0.52-0.60 μm 0.63-0.70 μm 0.76-0.90 μm	0.45-0.90 μm	0.45-0.52 μm 0.52-0.60 μm 0.63-0.70 μm 0.76-0.90 μm
Tekrarlama Zamanı	1-5 gün		<3 gün	
Tarama Genişliği	16.5 km		8 km	
Dinamik Aralık	11bit		11 bit	

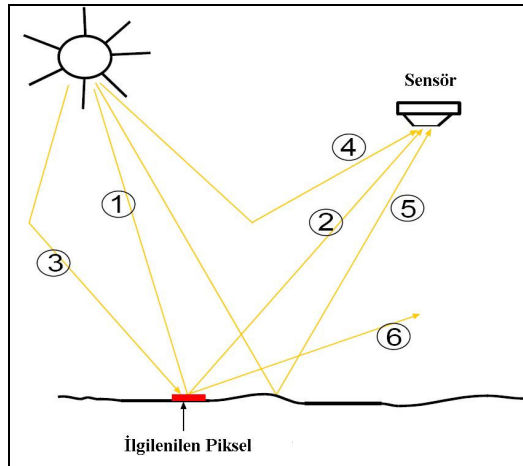
5. RADYOMETRİK DÜZELTME

5.1. Radyometrik düzeltmenin amacı

Kantitatif çalışmalarda parlaklık değerleri (DN Values) yerine fiziksel bir büyüklük olan ışıyım (radiance) kullanılır. Daha sonra yansıyan ve gelen enerjinin bir oranı olan atmosfer üstü yansıma (TOA reflectance), bulunan ışıyım ve bir kaç değişken değerden oluşan bir formül ile bulunur. Uydu görüntüsünde DN değerlerinden atmosfer üstü yansıma değerlerine geçiş radyometrik düzeltme olarak ifade edilmektedir. Işıyım, algılayıcı tarafından ölçülen enerjidir. Birimi $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ya da $mW cm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ olabilir. Bu birimlerde sr, stereografik radyan ya da steradyan olarak ifade edilir ve uzayda katı bir açıyı ifade eder.

1 steradyan'ı ifade etmek gerekirse, yarıçapı 1 birim olan kürede $1m^2$ alana karşılık gelen merkezi katı açıdır.

Güneşten gelen enerji, sensöre farklı yollardan ulaşır. Şekil 5.1 bunu basit bir şekilde ifade etmektedir.

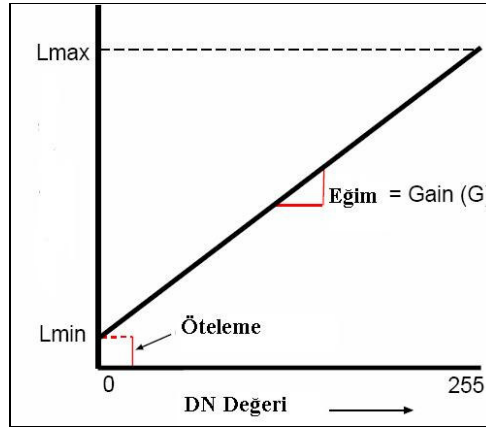


Şekil 5.1 : Güneş – Sensör Yolu

Şekil 5.1’de numara ile gösterilenler sırasıyla; 1) Güneşten direkt gelen ışınım, 2) Yansıyan Enerji, 3) Güneşten gelip dağılan ışınım, 4) Güneşten gelip yeryüzüne ulaşmayıp, atmosferden sensöre yansıyan ışınım (path radiance), 5) Komşu piksellerden (alanlardan) yansıyan ışınım (adjecency radiance), 6) Hedef pikselden yansiyıp sensöre ulaşmayan ışınım.

Atmosferik düzeltmenin yapılmadığı bazı durumlarda piksel yansıma değeri 1’den büyük çıkabilir. Bunun nedeni 2+4+5 ışınımının, 1+3 ışınımından büyük olmasıdır. Bu hatanın atmosferik düzeltmeyle giderilmesi gereklidir.

Piksel parlaklık değerleri (DN values) ve ışınım arasındaki ilişki lineer bir doğru ile ifade edilebilir. Şekil 5.2’de x-ekseni DN değerleri ve y-ekseni Spektral ışınım olarak ifade edilirse, DN değerlerinden ışınım değerleri kolaylıkla hesaplanabilir.



Şekil 5.2 : DN – Işınım Dönüşümü

Şekilde, 8 bitlik bir görüntü için örnek verilmiştir. Bu denklemi formülize etmek gerekirse;

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}}{QCAL_{\max} - QCAL_{\min}} \right) * (DN - QCAL_{\min}) + L_{\min \lambda} \quad (5.1)$$

Formülde geçen terimler;

$L_{\min}$ = Minimum Işınım ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)

$L_{\max}$ = Maksimum Işınım ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)

$QCAL_{\max}$ = Maksimum DN değeri (= 8 bitlik görüntü için 255)

$QCAL_{\min}$ = Minimum DN değeri (= 0 ya da 1)

Formülde geçen L_{max} ve L_{min} değerleri her bir uydu görüntüsünün metadata dosyasında ya da uydu görüntüsü sağlayıcıların web sitelerinde bulunur. Örneğin Landsat 7 uydusundaki ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) sensöründe her bir bant için iki farklı algılama ayarı (gain setting) vardır. Termal bant (Bant 6) için her iki ayarda veri alınırken (low and high gain setting), diğer bantlarda yüzeyin tipine göre ve güneş yükseklik açısına göre ayar seçilir. Yüksek ayarda (high gain) sensör daha az bir ışınlam aralığında ölçer, fakat daha hassas olarak ölçer. Düşük ayarda ise (low gain) daha yüksek ışınlam miktarları ölçülür, fakat hassasiyeti düşük olarak ölçer. Bu özelliğin görüntülerdeki faydası, parlak objelerin çok parlak ve koyu objelerin çok koyu çıkmasını önlemektir.

Yüzey tipi olarak kara (çöl ve buz olmayan), çöl, buz / kar, su, deniz buzu ve yanardağ / gece olarak sıralanabilir. Radyometrik düzeltmede bu ayarlar (gain settings) dikkate alınmalıdır. Ayarlar her görüntü için ayrı olup görüntülerin header dosyalarında bulunabilir.

Sensörlerin algılama düzeyleri zamanla değiştiğinden (sensor degradation), radyometrik kalibrasyon katsayıları zamanla değişmektedir. Dolayısıyla ilk başta laboratuvarda ölçümler yapılarak bulunan kalibrasyon katsayıları (preflight calibration) zamanla değişmektedir. Zaman zaman sensörler spektral olarak özelliği değişmeyen bölgelerde test edilerek kalibrasyon değerleri yenilenmektedir. Bu işleme fırlatma sonrası kalibrasyon (post launch calibration) denir. Örnek bölgeler olarak; NOAA AVHRR sensörü için Libya Çölü, SPOT için K. Afrika Çölü ve yüksek çözünürlüklü uyduların kalibrasyonu için ABD'nin Texas eyaletinde bulunan White Sands Füze Alanı sıralanabilir.

Aşağıdaki tabloda ETM+ sensörünün Spektral Işınlam Aralığı tablosu vardır. Bant ayarlarına göre L_{min} ve L_{max} seçilerek ışınlam miktarları bulunabilir. Görüntü tarihi de dikkate alınarak her bir bant için L_{min} ve L_{max} değerleri bulunarak denklem 5.1' de yerlerine konur. $QCAL_{max}$ ve $QCAL_{min}$ değerleri de bilindiğinden, DN değeri değişken olacaktır. Her bir bant için 5.1 denklemi uygulanır ve sonuçta her bir bant için ışınlam haritaları elde edilir. Bu uzaktan algılama yazılımlarının harita hesap araçlarıyla kolaylıkla yapılabilir. 5.1 denklemindeki DN değişkeni yerine görüntünün bir bandı tanımlanacak (raster görüntü) ve çıktı için (output) bir dosya tanımlanacak.

Tablo 5.1: ETM+ Sensörü için Spektral Işınım Aralıkları (W/(m² sr µm))
(<http://landsat7.usgs.gov>)

Bant Numarası	1 Temmuz 2000 ‘den önce				1 Temmuz 2000 ‘den sonra			
	Düşük Gain		Yüksek Gain		Düşük Gain		Yüksek Gain	
	Lmin	Lmax	Lmin	Lmax	Lmin	Lmax	Lmin	Lmax
1	-6.2	297.5	-6.2	194.3	-6.2	293.7	-6.2	191.6
2	-6.0	303.4	-6.0	202.4	-6.4	300.9	-6.4	196.5
3	-4.5	235.5	-4.5	158.6	-5.0	234.4	-5.0	152.9
4	-4.5	235.0	-4.5	157.5	-5.1	241.1	-5.1	157.4
5	-1.0	47.70	-1.0	31.76	-1.0	47.57	-1.0	31.06
6	0.0	17.04	3.2	12.65	0.0	17.04	3.2	12.65
7	-0.35	16.60	-0.35	10.932	-0.35	16.54	-0.35	10.80
8	-5.0	244.00	-5.0	158.40	-4.7	243.1	-4.7	158.3

5.2. Atmosfer üstü güneşten gelen ışınımın ve güneş sabitinin bulunması

Güneşten gelen spektral ışınım aşağıdaki Planck Yasası ile, belli bir dalga boyu aralığı için bulunabilir.

$$F_b (\text{watt m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}) = c_1 / (\lambda^5 * (\exp (c_2 / (\lambda * T_k)) - 1)) \quad (5.2)$$

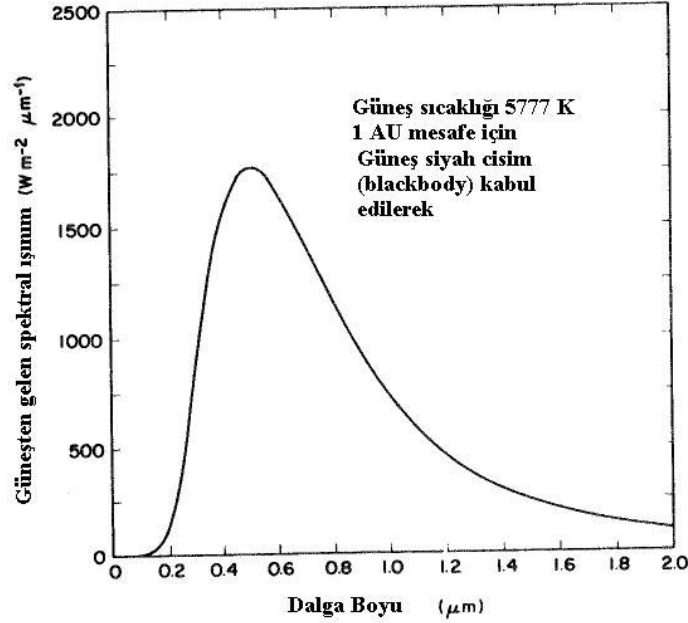
$c_1 = 3.7427 * 10^8 (\text{watt } \mu\text{m}^4 \text{ m}^{-2})$; $c_2 = 1.4388 * 10^4 (\mu\text{m K})$; T_k = Kinetik Sıcaklık (K) ; λ = Dalga Boyu (μm)

T_k = Güneş için 5777 K alınabilir.

Bu formülden güneş sabiti (solar constant) hesaplanabilir. Güneş sabiti, tüm dalga boyları için 1 Astronomik birim (1 AU) uzaklıktan, 1 birim alana dik olarak gelen toplam güneş enerjisidir. 1 astronomik birim, güneşle dünyanın bir sene için ortalama

mesafesini belirtir ve yaklaşık 149.597.890 km $\pm$ 500 km dır. Bu mesafe 3 Ocak'ta 0.983 AU ile en küçük ve 4 Temmuz'da 1.017 AU ile en büyük değerini alır.

Güneş sabiti 1367 watt/m² dir. Bu değer atmosfer üstü ışıınım miktarıdır. Bu miktar aynı zamanda şekil 5.3'te kapalı alanın toplam alanıdır. Yani planck fonksiyonunun dalga boyu değişken kabul edilerek integralidir.



Şekil 5.3 : Güneş Spektrumu (Iqbal, 1983, s.35)

Belli bir bant aralığı için güneşten gelen ışıınım miktarı bulunmak isteniyorsa, integralin sınırları bandın sınırları olur.

Planck formülü ile güneş sabitinin bulunması için Dünya-Güneş mesafesinin ve güneş yarıçapının da dikkate alınması gerekir.

Dünya güneş ortalama mesafesi r_0 ve güneş yarıçapı r_g dersek;

$$I_{sc} = \int (F_b * (r_g / r_0)^2) d\lambda \quad (5.3)$$

Formülüyle güneş sabiti bulunur. Yine bu integralin alt ve üst sınırları ile oynanarak istenilen bant aralığı için güneşten gelen toplam ışıınım bulunur.

5.3. Atmosfer üstü yansıma değerlerinin hesaplanması

Atmosfer üstü yansıma değerlerinin hesaplanması aşağıdaki formüle göre yapılır.

$$\rho = \text{yansıyan enerji} / \text{gelen enerji} = (L_{\lambda} * \pi * d^2) / (ESUN_{\lambda} * \cos \theta_z) \quad (5.4)$$

L_{λ} = Sensör tarafından algılanan ışınlam ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

d^2 = Dünya-Güneş Mesafesi (Uydu görüntüsü çekim anındaki) (AU)

θ_z = Güneş Zenit açısı (Uydu görüntüsü çekim anındaki)

ESUN = Bant aralığına bağlı atmosfer üstü güneşten gelen ışınlam miktarı (Band dependent exoatmospheric irradiance) ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)

Yansımanın birimi yoktur. 0-1 ya da 0-100 arasında ifade edilir. Işınlam değerinden atmosfer üstü yansıma değerinin hesaplanması şu avantajları getirir; Güneş zenit açısının ve güneşten gelen ışınlamın normalizasyonu.

Unutulmamalıdır ki, yerdeki cisimden gelen yansıma bu formülle bulunmaz. Yerden gelen yansıma değerini bulmak için atmosferik düzeltme yapılmalıdır. ESUN değeri her bir uydunun her bir bandı için hesaplanmıştır ve uydu web sayfasında yayınlanır. ESUN değeri sensörün bağlı spektral duyarlılığı, bant aralığı ve o bant aralığı için güneşten gelen ışınlam miktarına bağlıdır.

Bu formülde bilinmeyip hesaplanması gerekenler;

L_{λ} , 5.1 denklemiyle bulunabilir. d ve θ_z değerleri ATCOR gibi yazılımlar ile bulunabileceği gibi hesap ile de bulunabilir. ATCOR gibi yazılımlarla bulunacağı zaman uydu görüntüsünün çekim tarihi ve görüntünün enlem ve boylam bilgileri girdi olarak girilir ve sonuçta güneşin zenit ve azimut açıları hesaplanır. Dar görüş açılı (narrow field of view) sensörler için görüntü merkezinin enlem ve boylam bilgileri girilir. Bazen güneş zenit açısı ve azimutu uydu görüntüsü metadata dosyası ya da header dosyasında verilir. ESUN değerleri görüntü sağlayıcı firmalar tarafından verilmektedir. Örnek olarak tablo 5.2'de ETM+ sensörünün ESUN değerleri gösterilmektedir. Birimler $W m^{-2} \mu m^{-1}$ cinsindendir.

Tablo 5.2: ETM+ Sensörü için ESUN değerleri ($W/(m^2 \mu m)$)(NASA Web Sayfası-4)

ETM+ Bant 1	1969.00
ETM+ Bant 2	1840.00
ETM+ Bant 3	1551.00
ETM+ Bant 4	1044.00
ETM+ Bant 5	225.70
ETM+ Bant 7	82.07
ETM+ Bant 8	1368.00

6.bant için ESUN değeri verilmemiştir. Çünkü termal banttır.

Termal bantlarda ışıınımdan atmosfer üstü sıcaklık değerine geçilebilir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır.

$$T_{B6} = K2 / (\ln (K1/L_{B6})+1) \quad (5.5)$$

T_{B6} = Cisim tarafından yayılan ısı sıcaklığı (Brightness temperature). Bu sıcaklık termometre ile ölçülen kinetik sıcaklık değildir. Bu termal bant için hesaplanır. Landsat uydularında bu bant altıncı banttır. (K)

L_{B6} = Termal bant için ışıınım değeri ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

$K1$ = Sabit ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), $K2$ = Sabit (K)

$K1$ ve $K2$ sabitleri Landsat 4, 5 ve 7 uyduları için tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Landsat uyduları için K1 ve K2 sabitleri

Sabit	K1	K2
Birimler	$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$	Kelvin (K)
Landsat 4	671.62	1284.30
Landsat 5	607.76	1260.56
Landsat 7	666.09	1282.71

d ve θ_z değerlerinin bulunması için uydu geometrisi ile ilgili birkaç denklem verilmesi gereklidir.

Öncelikle gün açısının (day angle) hesaplanması gereklidir.

$$Da = 2 * \pi * (d_n - 1) / 365 \quad (5.6)$$

da = Gün açısı (Radyan açı cinsinden), d_n = Jülyen gün (Julian Day) (1-365)

$$E_0 = (r_0 / r)^2 = 1.00011 + 0.034221 * \cos(da) + 0.00128 * \sin(da) + 0.000719 * \cos(2*da) + 0.000077 * \sin(2*da) \quad (5.7)$$

E_0 = Dışmerkezlik (Eccentricity) (birimsiz), r_0 = Dünya-Güneş ortalama mesafe (1 AU), r = Dünya güneş mesafesi (AU)

Güneşin konumunu kışın ve yazın ifade etmenin yaygın bir şekli radyan açı cinsinden δ güneş sapma açısıdır (solar declination).

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 * \cos(da) + 0.070257 * \sin(da) - 0.006758 * \cos(2*da) + 0.000907 * \sin(2*da) - 0.002697 * \cos(3*da) + 0.00148 * \sin(3*da) \quad (5.8)$$

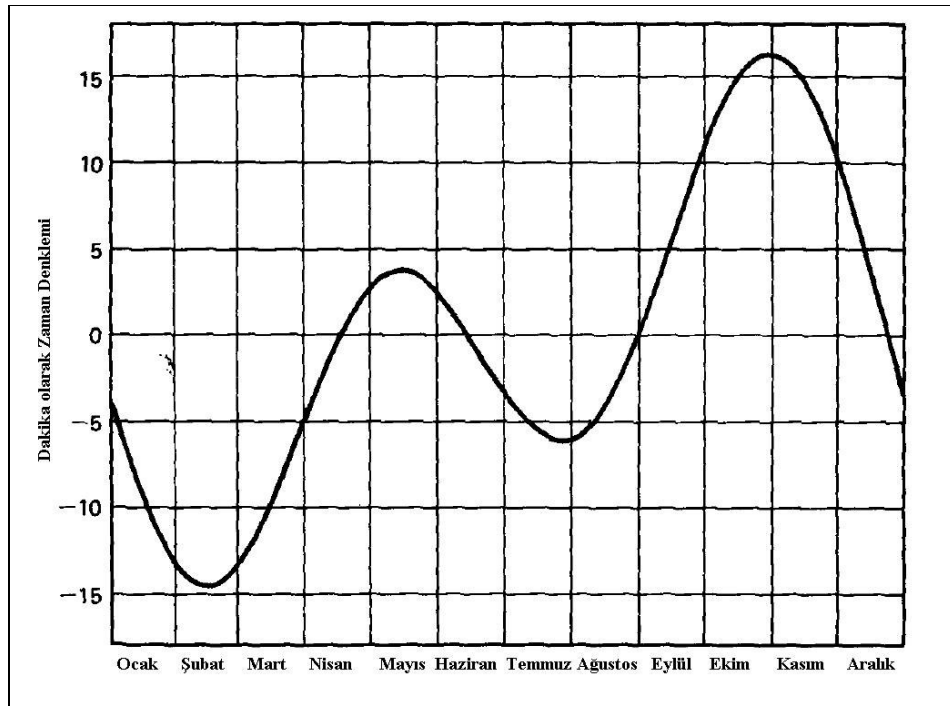
Dünya kendi eksenini etrafında döner ve aynı zamanda eliptik bir yörüngede güneş etrafında döner. Bu eliptik yörüngede seyri sırasında, hızı Kepler Kanununa göre değişir. Eliptik yörüngede eşit zamanda eşit alan süpürmesi gerektiğinden güneşin konumu ve yerel zamanın tesbitinde düzensizlikler oluşmaktadır.

Bunun düzeltilmesi “Zaman Denklemi” (Equation of Time) ile gerçekleştirilir. Radyan açı cinsinden zaman denklemi aşağıdaki gibidir.

$$E_t = 0.000075 + 0.001868 \cdot \cos(da) - 0.032077 \cdot \sin(da) - 0.014615 \cdot \cos(2 \cdot da) - 0.04089 \cdot \sin(2 \cdot da) \quad (5.9)$$

E_t dakika cinsinden ifade edilmek istense 229.18 ($=24 \cdot 60 / (2 \cdot \pi)$) katsayısı ile çarpılmalıdır.

Şekil 5.4’te zaman denkleminin zamana bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. Yıl içerisindeki maksimum değeri 16 dakikadır.



Şekil 5.4 : Zaman Denklemi (Gieske, 2005)

Uydu görüntülerinin metadata’larında görüntü çekim zamanı UTC (Universal Time) = GMT (Greenwich Mean Time) olarak verildiğinden aşağıdaki denklem ile yerel güneş zamanı (Local Solar Time ya da Local Apparent Time) bulunabilir.

$$LAT = UTC + 4 \cdot L_C / 60 + E_t / 60 \quad (5.10)$$

LAT ve UTC saat biriminde, L_C açı birimi olarak derece ve E_t dakika birimindedir. L_C , ilgilenilen noktanın boylamıdır.

LAT değeri bulunduktan sonra saat açısı (hour angle) hesaplanır. Bunun için aşağıdaki formülden yararlanılır.

$$\Omega = 15 * (\text{LAT} - 12) * \pi / 180 \quad (5.11)$$

Bu formülde LAT saat biriminde ve saat açısı ω radyan cinsindendir. Bu durumda güneş zenit açısı şöyle bulunur;

$$\cos(\theta_z) = \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \cos(\omega) \quad (5.12)$$

Bu formülde φ , ilgilenilen noktanın enlemidir.

Ayrıca Dünya Güneş arası uzaklık,

$$d = r / r_0 = 1 + 0.0167 * \sin\left(\frac{2 * \pi * (d_n - 93.5)}{365}\right) \quad (5.13)$$

formülü ile bulunabilir. Burada parantez içindeki değer radyan açı cinsindendir. d ise AU cinsindendir.

Dünyada bir noktaya ulaşan güneş enerjisi, Güneş – Dünya mesafesi ve ilgili boylamdaki güneş zenit açısına bağlı olarak değişmektedir. Bir noktada güneşten gelen TOA ışıının bulunması için noktanın enlemi, boylamı ve yerel zamanının bilinmesi gerekir. Yukarıdaki formüller kullanılarak bu işlem kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Daha sonra aşağıdaki formül uygulanır.

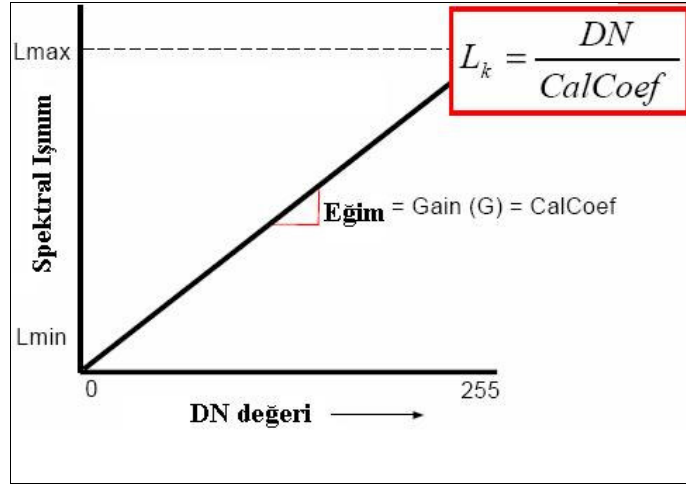
$$I_n = I_{SC} * E_0 * \cos(\theta_z) \quad (5.14)$$

I_n = İlgili noktadaki güneşten gelen toplam TOA ışıının miktarı (watt / m²)

I_n değeri ayrıca bir bant aralığı için de bulunabilir. Bu durumda I_{SC} değeri 5.3 denklemindeki integralin alt ve üst sınırları değiştirilerek, ilgili bant aralığı için yeni bir değer bulunur ve 5.14 denkleminde yerine konulur. Pratikte bu bir excel spreadsheet kullanılarak yapılabilir. Her bir dalga boyu için ışıının miktarı hesaplanır. Dalga boyunda küçük artımlar yapılır. Daha sonra 5.3 şeklinde gösterilen eğrinin altındaki alanlar trapezoidlere bölünerek bu alanlar ayrı ayrı hesaplanır. Bu alanların toplamı ilgili bant aralığı için TOA ışıının miktarı olur.

5.4. IKONOS uydu görüntülerinde radyometrik düzeltme

IKONOS uydu görüntülerinde radyometrik düzeltme, Space Imaging firmasının verdiği kalibrasyon değerleri ve kalibrasyon formülü kullanılarak yapılır.



Şekil 5.5 : L_k değerinin hesabı (Van Leeuwen, 2004)

IKONOS uydu görüntülerinde offset değeri yoktur. Sadece eğim değerleri vardır. Calcoef (Calibration Coefficients yani Kalibrasyon Değerleri) değerleri Space Imaging firması tarafından tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4: IKONOS Kalibrasyon Katsayıları ($DN \cdot cm^2 \cdot sr / mw$) (Spaceimaging web sayfası)

Görüntü yılı ve bit değeri	MS-1 (Mavi)	MS-2 (Yeşil)	MS-3 (Kırmızı)	MS-4 (NIR)
11 bit				
22/02/01 öncesi	633	649	840	746
22/02/01 sonrası	728	727	949	843
8 bit				
22/02/01 öncesi	79	81	105	93
22/02/01 sonrası	91	91	119	105

$$L_K = DN / Calcoef \quad (5.15)$$

Formülüyle verilen L_K değerinin birimi $mW \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ olur ve bir bant aralığının tümü için hesaplanır. Bu değer TOA yansıma formülünde (5.4 denklemi) kullanılması için,

$$L_\lambda = L_K * 10 / (\text{bant genişliği}) \quad (5.16)$$

formülü ile L_λ 'ya çevrilmesi gereklidir. Bu formül kullanılırken bant genişliğinin μm birimi cinsinden olması gereklidir. Tablo 5.5'te IKONOS uydu görüntüleri için ESUN ve bant genişliği değerleri vardır.

Tablo 5.5: IKONOS ESUN ve Bant genişliği değerleri (Van Leeuwen, 2004)

Bant	ESUN ($W \text{ m}^{-2} \mu m^{-1}$)	Bant Genişliği (μm)
1 (Mavi)	1939.429	0.0713
2 (Yeşil)	1847.400	0.0886
3 (Kırmızı)	1536.408	0.0658
4 (NIR)	1147.856	0.0954

Her bir banttaki her piksel için L_λ ve ρ değerleri bulunarak radyometrik kalibrasyon yapılmış olur. TOA yansıma değerini bulmak için 5.4 denklemi kullanılır. Formülde L_λ , $ESUN_\lambda$ ve θ_z (metadata dosyasında verilmektedir) bilinmektedir. d mesafesi ise 5.13 formülü yardımıyla hesaplanır.

6. ATMOSFERİK DÜZELTME

6.1. Atmosferik düzeltmenin amacı

Bilimadamları için uzaktan algılama sensöründen elde edilebilecek en değerli bilgi, belirli bir objeden (piksel) dünya yeryüzeyinden yansıyan belirli bir bant aralığındaki güneş ışıını mı ya da yayımlanan termal ışıını mıdır. Eğer uydu ve yeryüzü arasında atmosfer ortamı olmasaydı herhangi bir bant aralığındaki ışıınımlar sensöre değışmeden gelecekti. Diğer bir deyişle yeryüzündeki objeden yansıyan ışıını m ile sensöre ulaşan ışıını m miktarı aynı olacaktı.

Atmosferin homojen olmayan yoğun ve tabakalı yapısı içerisinde bulunan su buharı, aerosoller ve diğer gazlar, yeryüzünden gelen ışıınımları birçok şekilde değışikliğe uğratar. Bunun için atmosferik düzeltme teknikleri kullanılarak, uydu görüntüleri bu ışıını m değışikliklerinden arındırılarak hedeften gelen orijinal ışıını m değeri bulunur.

Objeye tarafından yayımlanan termal ışıını m ile objeden yansıyan güneş ışıını mının atmosferik düzeltimi arkasında yatan fiziksel kurallar aynı olmasına karşın, aşağıdaki nedenlerden dolayı ikisi ayrı ayrı atmosferik etkenlerden arındırılır (Görünür bölge ve termal bölgede olmak üzere);

- Yansıyan güneş ışıını mı uydunun ve güneşin çekim anındaki konumuna bağlıdır. Güneş ve uydunun çekim anındaki azimut ve zenit açıları önem kazanmaktadır. Yayımlanan termal ışıını m ise bu geometriye daha az bağlıdır.
- Görünür bölgedeki ışıını m atmosferi iki kez katederken, yayımlanan termal ışıını m sadece bir kez kateder.
- Objelerden yansıma, objelerin yansıtabilirliğine (reflectivity) bağlıken, termal bölgedeki ışıını m yayımlanması objelerin yayını m (emissivity) özelliğine bağlıdır.
- Işığın görünür bölgesindeki saçılma (scattering) ve yutulma (absorption) gibi atmosferik etkiler, termal bölgeyi farklı şekilde etkiler.

Atmosferik düzeltmeler projenin amacına uygun olarak yapılmalıdır. Bazen atmosferik düzeltmeler gerekmeyp, ön işlemlerin (cosmetic correction) yapılması yeterlidir. Bazen de karmaşık atmosferik düzeltme modellerinin uygulanması gerekir.

Konum bilgisinin önemli olduğu projelerde (yerdeki yansıma değerlerinin önemi yoksa) atmosferik düzeltme yapmak gerekmez. Öte yandan evapotranspirasyon ve yüzey sıcaklığı haritalama gibi, yerden gelen ışınlm miktarının önemli olduğu uygulamalarda atmosferik düzeltme kaçınılmazdır.

Günümüzde uygulanacak olan atmosferik modelden daha çok, elde mevcut olan atmosferik veriler önemlidir. En önemli atmosferik veri, radyozonde (radiosonde) ölçümleridir. Bu ölçümlerde bir balon ve bu balona bağlı olan atmosferik verileri kaydeden bir cihaz, düşeyde atmosferin profilini çıkartır.

6.2. Görünür bölgede atmosferik düzeltme teknikleri

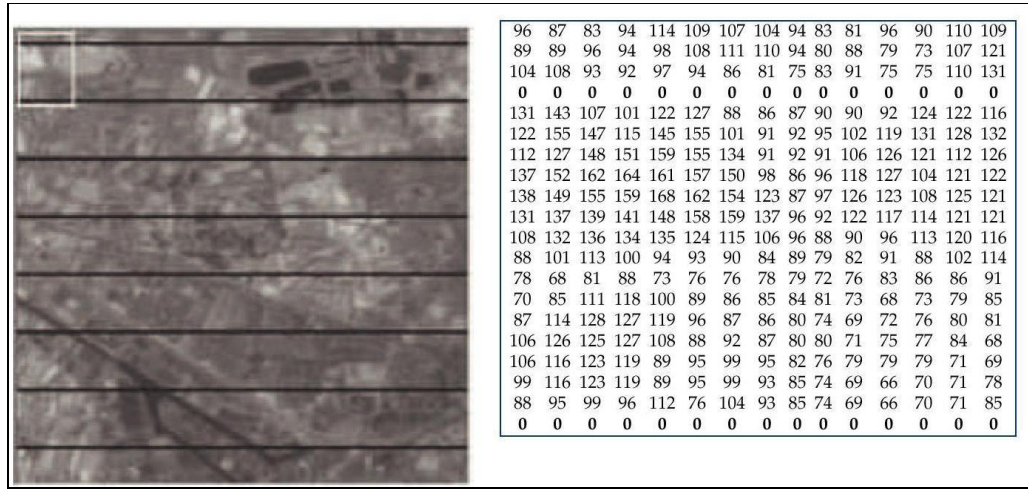
Görünür bölgedeki atmosferik düzeltme teknikleri projeden beklenen sonuç ürünlere bağlıdır. 3 temel gruba ayrılabilir. Bunlar ön işlemler (cosmetic corrections), objelerin yersel yansıma özelliklerine göre atmosferik düzeltme metodları ve atmosferik işlemlere dayalı kesin atmosferik düzeltme metodları olarak sıralanabilir. Bu sıralama basitten karmaşığa doğru gitmektedir.

6.2.1. Ön işlemler

Bu yöntemler atmosferik düzeltme teknikleri değildir. Amaç görüntüdeki gözle görülür görsel hataları ve gürültüyü gidermektir. Bu işlem için basit filtreleme ve görüntü iyileştirme teknikleri kullanılır. Bu işlemler, günümüzde son kullanıcılara ulaşmadan önce uydu yer istasyonlarında gerçekleştirilmektedir. Ön işlemleri gerektirecek (cosmetic corrections) bazı problemler şunlardır;

- Satır Düşmeleri (Periodic Line dropouts)
- Satır Şeritlenmesi (Line Striping)
- Rastgele gürültü ya da piksel parlaklık değeri hataları (Random Noise or Spike Corrections)

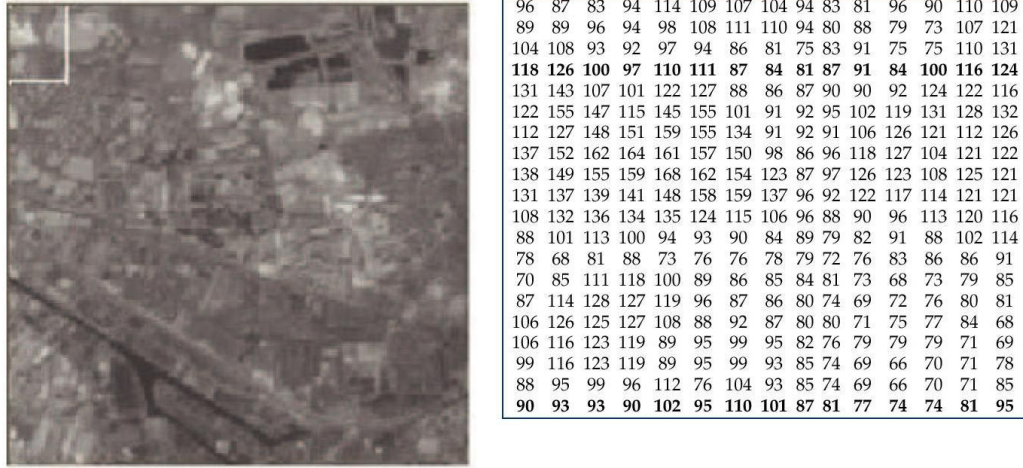
Satır düşmelerinin nedeni sensördeki dedektörlerden birinin yanlış veri vermesi ya da arızalanmasıdır. Örneğin Landsat ETM sensöründe 16 adet dedektör olup, birinin arızalanması durumunda her 16 satırda 0 dizisinin oluşmasına ve görüntüde siyah bir çizginin oluşmasına neden olur. Şekil 6.1’de Hollanda Enschede şehri ve civarının bir ETM görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde bir sensörün arızalanmasından kaynaklanan satır düşmeleri oluşmuştur. Sağdaki değerler ise uydu görüntüsünde beyaz çerçeve ile gösterilen alanın piksel değerleridir. Koyu rakamlarla gösterilen değerler (sıfırlar) hatalı satırlardır.



Şekil 6.1 : Bir ETM görüntüsünde satır düşmesi (Bakker ve diğ., 2004, s.133)

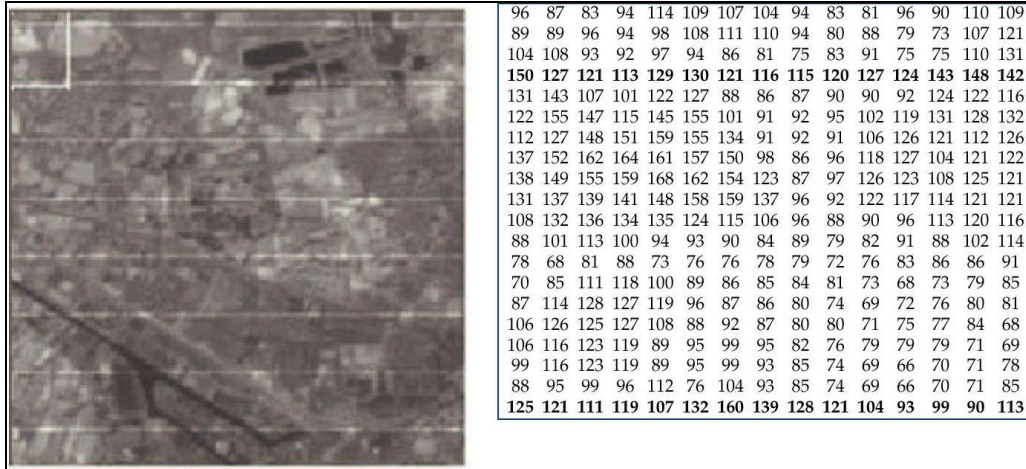
Bunun çözümü şu şekilde olur; 1) Hatalı satırlar tespit edilir. Bunun için görüntüdeki her bir satırın ortalama DN değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama DN değerleri, tüm görüntünün ortalama DN değeri ile kıyaslanır. Belli bir toleransın dışına çıkan satırlar hatalı satır olarak tespit edilip düzeltme işlemine geçilir. Arazi örtüsünün çok değişken olduğu görüntülerde, alt görüntü kümeleri oluşturularak aynı işlemler her bir görüntü kümesi için ayrı ayrı yapılır. 2) Hatalı satırlardaki piksellerin düzeltilmesi. Bunun için hatalı satırdan bir önceki ve bir sonraki satırlardaki piksellerin ortalama DN değerleri alınarak hatalı satırlardaki piksellere atanır. Bu durumda görüntü düzeltilir ama her 16 satırda bir yapay veri olacaktır. Bu işlemler uzaktan algılama yazılımlarında tek bir komutla gerçekleştirilebilir (Bakker ve diğ., 2004, s.133).

Şekil 6.2’de düzeltilmiş görüntü ve DN değerleri görülmektedir. Koyu olan DN değerleri yapay değerlerdir.



Şekil 6.2 : Satır düşmelerinden arındırılmış görüntü (Bakker ve diğ., 2004, s.134)

Satır şeritlenmeleri (line striping) dedektörlerin zamanla algılama düzeylerinin değişmesinden kaynaklanır. Bunun sonucunda görüntüde, bazı satırlar diğer satırlardan daha koyu ya da parlak çıkar. Bu tip hataların giderilmesi için her bir dedektör için histogram oluşturulur ve bunlar karşılaştırılır. Birini standart kabul ederek, diğerlerinin histogramları buna göre eşleştirilir (histogram matching). Daha sonra bulunan yeni DN değerleri piksellere atanır. Şekil 6.3’de bu hata görülmektedir.

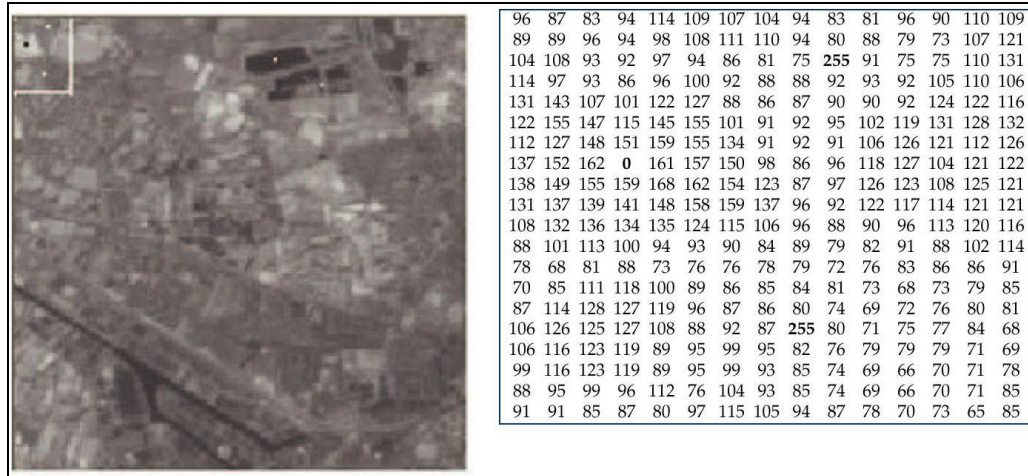


Şekil 6.3 : Satır şeritlenme hataları (Bakker ve diğ., 2004, s.134)

Şekilde koyu rakamlarla gösterilen DN değerleri satır şeritlenmesinden kaynaklanan hatalı satırlardır.

Satır şeritlenme ve düşme hataları sistematik hatalar ya da gürültülerdir (noise). Bunların giderilmesi kolaydır. Fakat düzensiz olan gürültülerin (random noise) giderilmesinde sayısal filtreleme (digital filtering) gibi daha karmaşık metotların kullanılması gerekir. Rasgele gürültülere örnek olarak düzensiz piksel parlaklık değer hataları verilebilir (spike errors). Bunların oluşmasındaki nedenlerden bazıları şunlardır; verilerin iletiminde meydana gelen hatalar ve dedektördeki geçici hatalar. Bunun sonucunda, çevresindeki piksellere göre çok daha koyu ya da parlak olan pikseller oluşur. Bu da verilerin değerlendirilmesinde olumsuz bir rol oynar.

Hatalı DN değerli bir piksel, etrafındaki piksellerin DN değerleri ile karşılaştırılarak bulunabilir. DN farkı belli bir toleransın üstündeki piksel hatalı kabul edilerek, etrafındaki piksellerin DN değerlerinin ortalaması alınarak piksele atanır. Aşağıdaki şekilde bu hataya örnek bir görüntü vardır. Koyu rakamlarla gösterilen DN değerleri hatalı DN değerli piksellerdir.



Şekil 6.4 : Hatalı DN değerli pikseller (Bakker ve diğ., 2004, s.135)

6.2.2. Objelerin Yersel Yansıma özelliklerine göre Atmosferik Düzeltme Metodları

Bu metodlar, herhangi bir atmosferik değer bilinmesini gerektirmez. Bu yöntemlerde TOA ve yersel yansımalar arasında lineer bir ilişki olduğu kabul edilir. Aslında gerçekte tam bir lineer ilişki yoktur, ama uygulamalarda diğer hatalardan küçük olduğu için, lineer ilişkiymiş gibi kabul edilir ve bu uygulamalarda yeterli doğruluğu sağlar. 2 adet metod vardır; iki yansıma ölçme metodu ve iki referans yüzeyi metodu.

6.2.2.1. İki yansıma ölçme metodu

Bu metodun çıktısı atmosferik olarak kesin düzeltilmiş bir görüntüdür. Yani görüntüden bilimsel anlamda nicel ölçmeler yapılabilir. Bu metotta gerekli olan spektrometre aletinin atmosferik olarak düzeltilecek uydu görüntüsünün bandı ile aynı bant aralığında ölçüm yapabilmesi gereklidir. Eğer birden çok bant atmosferik olarak düzeltilecekse, spektrometre aygıtının birden çok bandı ayrı ayrı ölçecek filtrelerinin olması gereklidir.

Spektrometre ile ölçme sırasında şunlara dikkat edilmelidir; 1) Bölgenin daha önceki bir uydu görüntüsünden bazı koyu ve parlak alanlar seçilir. Bu alanların 3 görüntü pikselinden daha büyük olmasına dikkat edilir. Koyu ve parlak alanlar her bir banda göre değişiklik göstereceğinden, her bir bant için ayrı alanlar seçilmelidir. 2) Bu alanların zaman içerisinde yansıtabilirlik bakımından sabit olması (reflective invariant) gerekmez. Ama alanların yansıtabilirlik açısından olabildiğince homojen olması gereklidir. 3) Uydu geçişi sırasında tüm alanlar, tüm bantlar için spektrometre ile ölçülür.

Daha sonra büro çalışmalarına geçilir. Uydu görüntüsünün radyometrik kalibrasyonu (düzeltmesi) her bir bandı için ayrı yapılarak, örnek alan piksellerinin TOA yansıma değerleri bulunur. Daha sonra örnek pikseller için TOA ile yersel yansıma değerleri arasındaki lineer ilişki her bir bant için bulunur. Bu denklemler TOA görüntüsünün her bir bandına uygulanarak yersel yansıma değerlerini içeren görüntüler elde edilir. Bu görüntülerdeki pikseller birimsiz olup 0-10 ya da 0-100 arasında değer alırlar.

6.2.2.2. İki referans yüzeyi metodu

Bu metotta aynı bölgenin iki farklı uydu görüntüsünden ve yansıtabilirlik bakımından sabit alanlardan faydalanılır. Bunlar, asfalt, beton, kumsal ve açık taş ocakları olabilir. Her iki görüntüde olacak şekilde bir koyu ve bir parlak alan seçilir. Birinci görüntüdeki sabit yansıtabilirliği sahip alanların TOA yansıması ρ_1 ve ikinci görüntüde ρ_2 kabul edilirse ve A, B ve C sabit yansıtabilirliği sahip alanlar olarak kabul edilirse;

$$\rho_1^A - \rho_2^A = \Delta \rho^A \text{ (1. ve 2. görüntülerdeki atmosfer farkından kaynaklanan fark)}$$

$$\rho_1^B - \rho_2^B = \Delta \rho^B, \rho_1^C - \rho_2^C = \Delta \rho^C \quad (6.1a)$$

Daha sonra bu piksellerin ρ_1 ve $\Delta \rho$ değerleri arasındaki lineer ilişki tespit edilir.

Lineer ilişki;

$$\rho_1 = a + b * \Delta \rho \quad (6.1b)$$

$$\text{Buradan } \Delta \rho \text{ çekilirse } \rightarrow \Delta \rho = \frac{\rho_1 - a}{b} \quad \text{bulunur.} \quad (6.1c)$$

Bu $\Delta \rho$ değeri ρ_2 görüntüsüne eklenirse ρ_2^1 görüntüsü bulunur.

$$\rho_2^1 = \rho_2 + \Delta \rho \quad (6.1)$$

Yazdığımız formülleri sözel olarak ifade edersek; 1. görüntünün atmosferi 2. görüntüye yapay olarak uygulandı. İki görüntünün atmosferleri şimdi aynı olduğundan, iki görüntü arasındaki fark, objelerde meydana gelen değişikliklerle açıklanabilir. Bu yöntem, ile farklı tarihli görüntüde belli bir parametrenin zaman içerisindeki değişimini izlemek amacıyla kullanılabilir. Bu yöntemde yersel yansıma değerlerindeki değişim miktarı belirlenir. Bu yöntem için gerekli minimum nokta sayısı ikidir. ρ_2 görüntüsüne $\Delta \rho$ değerinin eklenebilmesi için önce $\Delta \rho$ görüntüsü oluşturulur. $\Delta \rho$ görüntüsündeki tüm piksellerin değeri $\Delta \rho$ 'ya eşittir.

6.2.2.3. IKONOS Uydu görüntüsü San Andreas Adası örnek çalışması

Bu çalışmada Güney Amerika'da Kolombiya'nın San Andreas adası için alınmış bir IKONOS uydu görüntüsünün atmosferik bir düzeltme yöntemi olan ampirik doğru (empirical line) yöntemi test edilmiştir (**Karpouzli ve Malthus, 2003**).

Bu çalışmanın sonunda ampirik doğru metodunun IKONOS uydu görüntülerinin atmosferik düzeltiminde yeterli doğrulukta sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır.

Metot, aslında 6.2.2.1. bölümünde anlatılan metodun aynısıdır. Bu çalışmada, 9 kalibrasyon alanı ve 5 kalibrasyon kontrol alanı (validation target) kullanılmıştır. Çalışmada örnek alanların seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat edildi;

- Yansıtabilirlik bakımından olabildiğince homojen bölgeler, tercihen Lambertian ve yatay.
- Değişik objelerin seçilmesi ve bitki örtüsünden sakınılması.

- Alanlar minimum 12 x 12 m büyüklükte. Yani IKONOS görüntü pikselinin minimum 3 katı.
- Koyu pikseller olarak; koyu asfalt ve derin sular. Parlak pikseller olarak kum, beton gibi objeler seçildi.

Tablo 6.1’de kalibrasyon noktalarının özellikleri hakkında bilgi verilmektedir. Tablo 6.2’de ise her bir bant için spektrometre ile ölçülen ve ampirik doğru metodu ile bulunan yersel yansımaları verileri % olarak verilmektedir. Bu noktalar kalibrasyon kontrol noktalarıdır.

Tablo 6.1: Çalışmada kullanılan kalibrasyon noktalarının özellikleri (**Karpouzli ve Malthus, 2003**)

Kalibrasyon noktası	Açıklaması
1	Hentbol sahası - %95 yoğunluklu kısa çim
2	Ana yoldaki eski asfalt kaplama – Yol işaretleri yok
3	Hentbol sahası - %70 yoğunluklu kısa çim ve seyrek ayak otu
4	Plajdaki beyaz Coraline tipi kum
5	Yeni yol asfaltı, bazı parlak yol işaretlemeleri mevcut

Tablo 6.2: Objelerin yüzde olarak yersel yansımaları değerleri (**Karpouzli ve Malthus, 2003**)

Nokta	Ampirik doğru metodu ile bulunan				Spektrometre ile ölçülen				Fark			
Bant	B	G	R	NIR	B	G	R	NIR	B	G	R	NIR
1	6.3	10.2	9.8	39.4	6.3	9.5	8.9	39	0	0.6	0.9	0.4
2	8.3	8.2	9	8.5	5.9	6.2	6.4	6.6	2.4	2	2.6	1.9
3	8.1	12	13.6	35.9	6.4	10	10.8	36.1	1.8	2	2.7	-0.3
4	49	56.5	66.6	68.6	48.1	55.8	65.7	71.1	0.9	0.7	0.9	-2.4
5	7.1	7.1	8.4	8.1	8.5	9	9.2	9.6	-1.4	-1.8	-0.8	-1.5

Spektroradyometre aleti ile her bir obje için birkaç ölçüm yapılmıştır ve bunların ortalaması alınmıştır. Daha sonra Space Imaging firmasının verdiği bağıl spektral duyarlılık eğrilerine göre, ölçümlerle her bir IKONOS bandı için yersel yansıma değerleri % olarak hesaplanmıştır.

Lineer regresyon sonucu bulunan denklemler (her bir bant için 4 tane olmak üzere) ile her bir bant atmosferik olarak düzeltilmiştir.

Bu çalışmada çıkan sonuçlar ise şöyle sıralanmıştır;

- Bu metodun IKONOS uydu görüntülerinin atmosferik düzeltiminde yeteri doğruluğu sağladığı görülmüştür.
- Spektroradyometre ölçümleri uydu geçişi ile aynı zamanda yapılamıyorsa, yansıtabilirlik bakımından sabit objeler seçilmelidir.
- Yöntem yansımaları, Lambertian (her yöne eşit olarak yansıtan obje) yansıma olarak var sayar ve atmosferik etkilerin tüm görüntüde aynı olduğunu var sayar. Yani topoğrafyadan kaynaklanan farklı yansımaları yok sayar. Bunun için yöntemin topoğrafya bakımından engebeli olmayan yerlerde uygulanması öngörülür.

6.2.3. Atmosferik işlemlere dayalı kesin atmosferik düzeltme metodları

Bu yöntemler atmosferik profilde bulunan atmosferik bileşenlerle ilgili ayrıntılı bir bilgiye ihtiyaç duyarlar. Eğer atmosferik profil yeteri doğrulukta tanımlanabilirse, bu yöntemlerden elde edilecek yersel yansıma değerleri maksimum %10 hata ile bulunabilir (**Parodi, 2006**).

Bu yöntemin dezavantajı, atmosferik düzeltme için gerekli olan verileri bulma zorluğudur.

İki yöntemden bahsedilebilir; MODTRAN ve LOWTRAN gibi radyatif transfer modellerini kullanarak yapılan atmosferik düzeltmeler ve ATCOR yazılımı mantığı ile yapılan atmosferik düzeltmeler.

6.2.3.1. Radyatif transfer modelleri

Bu modeller atmosferik profildeki atmosferik bileşenlerin ayrıntılı bir tanımına ihtiyaç duyarlar. LOWTRAN, MODTRAN, Code 5S ve 6S, Streamer modelleri radyatif transfer modellerine örnektir. Bu modellere girdi olarak;

- Atmosfer tipi: Bu standart atmosferlerden birinin seçimi ya da kullanıcı tanımlı olabilir.
- Sıcaklık ve basınç profili (Radyozonde verilerinden elde edilebilir)
- Su Buharı, Ozon, Metan, Karbon Monoksit ve diğer gazların atmosferdeki dağılımları
- Arazi rakımı ve sensör ile ilgili bilgiler.

Aşağıdaki tabloda bazı RTM'lerin özellikleri görülmektedir.

Tablo 6.3: RTM özellikleri (Parodi, 2006)

Özellik/RTM	Streamer	MODTRAN	6S
Bulut	Bulut Fiziksel özelliklerinin kullanıcı seçimi	Sekiz bulut modeli	Bulut yok
Aerosoller	6 optik model	4 optik model	6 optik model ve kullanıcı tanımlı
Yutulma	H ₂ O, O ₃ , CO ₂ , O ₂	H ₂ O, O ₃ , CO ₂ , O ₂ ve CH ₄ , N ₂ O, CO gibi gazlar	H ₂ O, O ₃ , CO ₂ , O ₂ ve CH ₄ , N ₂ O, CO gibi gazlar
Atmosferik profil	Standart ve kullanıcı tanımlı	Standart ve kullanıcı tanımlı	Standart ve kullanıcı tanımlı
Yeryüzü yansıma	Lambertian, BRDF ve kullanıcı tanımlı BRDF	Lambertian	Lambertian ve BRDF
Termal Bant	Termal Bant atmosferik düzeltimi var	Termal Bant atmosferik düzeltimi var	Termal Bant atmosferik düzeltimi yok
Ücret	freeware	300 \$	freeware

6.2.3.2. Görüntü işlemeye yönelik bant iletim modelleri

Günlük uzaktan algılama uygulamalarında RTM'leri kullanmak pratik değildir. Günümüzde artık uzaktan algılama uydularına atmosferik düzeltmeyi gerçek zamanlı (real time) olarak yapacak sistem ve sensörler tasarlanmaktadır. Bu şekilde, görüntü çekim anındaki atmosfer profili ölçülerek, atmosferik düzeltme son kullanıcıya gelmeden gerçekleşecektir.

ATCOR gibi yazılımlarda atmosferik durumu bilmeye gerek kalmamaktadır. ATCOR yazılım mantığı bölüm 6.2.3.3. de anlatılacaktır.

Bazı RTM modellerinde ayrıntılı bir atmosfer tanımı yerine, bazı standart atmosferik parametrelerin tanımı istenmektedir. Buna örnek olarak SMAC yazılımı verilebilir. SMAC yazılımı, Code 5S ve 6S RTM'lerinin basitleştirilmiş hali olup, NOAA AVHRR görüntüleri için geliştirilmiştir. Su buharı, ozon ve aerosol profilleri yerine atmosferde bir düşey kolondaki toplam miktarları istenmektedir. Bu ise güneş fotometrelerle kolaylıkla ölçülebilmektedir.

6.2.3.3. ATCOR yazılımı

ATCOR yazılımı Atmospheric Correction terimlerinin kısaltmasından gelir. Alman Uzay ve Havacılık merkezinden Dr. R. Richter tarafından geliştirilmiştir. Erdas Imagine ve PCI Geomatics uzaktan algılama yazılımlarına ücretli bir eklenti (add-on) olarak gelebiliyor. ATCOR yazılımının amacı, RTM modellerindeki gibi ayrıntılı bir atmosferik veriye ihtiyaç olmadan uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmelerini yapabilmektir. MODTRAN RTM'nin belli hesapları LUT'larda (Look up table – Veritabanı) saklanmaktadır. Belli atmosfer, aerosol, ruyet, rakım, güneş zenit açısı değerleri için yapılacak düzeltmeler LUT'larda saklanmaktadır. Aradaki değerler enterpole edilerek bulunmaktadır. Yeryüzündeki objelerin kendilerine has spektral yansıma eğrileri vardır. Bu spektral yansımalar uydudaki sensöre gelene kadar atmosferin saçıcı ve yutucu etkenlerinden etkilenmektedir. ATCOR yazılımıyla gelen obje yersel yansıma veritabanı yardımı ile, görüntüdeki TOA yansıma değerleri obje veritabanına eşleştirilmeye çalışılır. Unutulmamalıdır ki, bir objenin TOA spektral yansıma eğrisi ile veritabanındaki yersel spektral yansıma eğrisi aynı trendi göstermelidir. Bu iki eğri, ATCOR'un sunduğu atmosferik değişkenler oynanarak eşleştirilir. Böylece çekim anındaki atmosfer yapay olarak oluşturularak, atmosferik düzeltme gerçekleştirilir. Bunun için iyi bilinen objeler

seçilir. Örnek olarak; deniz, göl, çayır, asfalt, kum, beton ve çam spektral yansım kütüphanesinde bulunan objelerden bazılarıdır. Görüntü üzerinde bu objeler seçilerek, spektral yansım eğrileri ATCOR spektral yansım kütüphanesinde bulunan eğrilerle eşleştirilir.

ATCOR yazılımının LUT'ları MODTRAN4 RTM'nin şu değişkenleri üzerine kuruludur;

5 tane standart atmosfer tipi, 5 aerosol tipi, 10 ruyet mesafesi, 6 arazi yüksekliği, 8 güneş zenit açısına göre ve 30 adet sensör destekli atmosferik düzeltme (**ATCOR Manual, 2004**).

ATCOR yazılımının 3 adet modülü vardır; Spectra, ATCOR2 ve ATCOR3. Spectra modülü ile objelerin TOA ve veritabanında kayıtlı yersel spektral yansım eğrileri eşleştirilir. ATCOR2 modülü engebeli olmayan yüzeyler için, ATCOR3 modülü engebeli olan yüzeyler için atmosferik düzeltme yapar. ATCOR3 modülünde, ATCOR2 modülündeki girdiler ve yüzeyin sayısal yükseklik modeli gereklidir. Bu modelden eğim ve bakı haritaları üretilerek atmosferik düzeltme hesabına katılır.

Standart atmosfer tipleri olarak 5 adet vardır. Her bir standart atmosfer tipinin yüksekliğe bağlı olarak basınç, sıcaklık, bağıl nem ve kesin nem miktar değişimleri ve düşeydeki toplam su buharı miktarları belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda ATCOR standart atmosfer tipleri ve düşeydeki toplam su buharı miktarları verilmiştir.

Tablo 6.4: ATCOR Standart atmosfer tipleri (**ATCOR Manual, 2004**)

ATCOR Atmosfer Tipi	Düşeydeki toplam su buharı (g/cm ²)
Orta Enlem Kış (Midlatitude Winter)	0.85
Sonbahar (Autumn)	1.14
ABD Standart Atmosfer (US Standard)	1.42
Orta Enlem Yaz (Midlatitude Summer)	2.92
Tropikal	4.11

Aerosol tipi olarak 5 tip arasından seçilebiliyor;

- Kırsal (Rural) : Şehirsel / Endüstriyel kirlenmenin olmadığı kırsal alanlar.
- Kentsel (Urban) : Kırsal aerosoller + Şehirsel alanlardaki yanma ve endüstriyel kaynaklardan gelen aerosoller.
- Çöl : Kuru, kumlu koşullar. Görüş mesafesi rüzgar hızına bağlıdır.
- Deniz : Deniz üstündeki ve atmosferin en alt 2-3 km'lik tabakasında bulunan deniz-tuz zerreciklerinin oluşturduğu aerosol şeklidir.
- Okyanus : LOWTRAN5 deniz aerosol modelidir.

Yatay görüş mesafesi bir başka değişkendir. Bu mesafe, meteorolojik istasyonlardan alınabilir. Buna ruyet ölçümleri de denir. ATCOR LUT'larda, 10 adet yatay görüş mesafesine göre hesaplanmış değerler vardır. Aradaki mesafeler lineer olarak enterpole edilir.

Yeryüzü rakımı 0-2.5 km arasında, 0.5 km aralıklar için hesaplanmıştır. Böylelikle noktanın rakımından dolayı ortaya çıkan Rayleigh saçılma katsayı farklılıkları hesaba katılmaktadır. Aradaki rakımlar lineer olarak enterpole edilir.

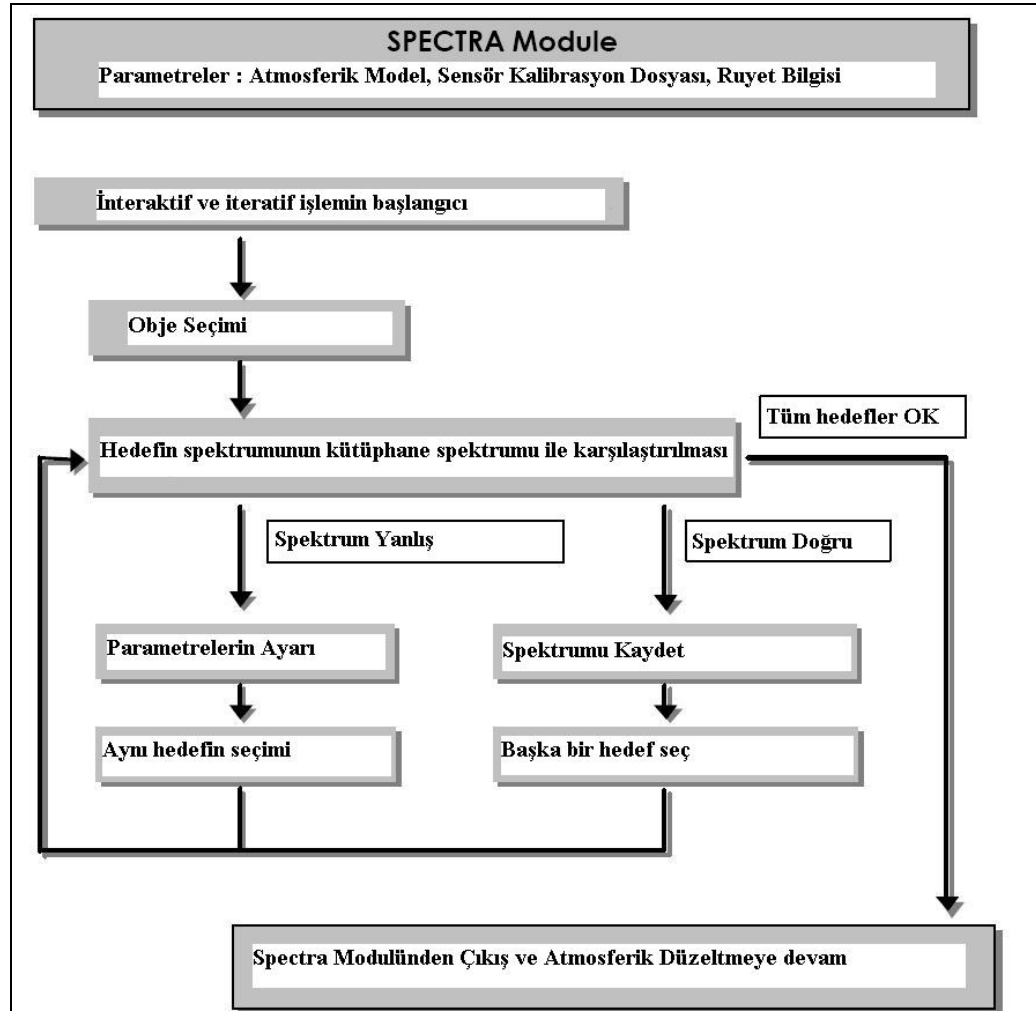
Güneş zenit açısı 0^0 - 70^0 aralığında her 10^0 'de bir hesaplanmıştır. Aradaki değerler lineer olarak enterpole edilir.

ASTER, IRS, Landsat, Ikonos ve Spot ATCOR yazılımıyla desteklenen bazı sensörlerdir.

ATCOR yazılımındaki adımlar şöyle özetlenebilir;

- 1) DN değerlerinden ışıınım değerlerine geçiş. ATCOR yazılımı ile beraber gelen kalibrasyon dosyaları yardımıyla yapılır.
- 2) ATCOR'un Spektral yansım kütüphanesinden yararlanarak hedef objelerin spektral yansım eğrileri ile referans eğriler (ATCOR kütüphanesi) eşleştirilir.
- 3) Puslu alanların giderilmesi.
- 4) LUT tablolarındaki bilgilere göre yersel yansım değerlerinin olduğu görüntünün üretimi.

Aşağıdaki şekilde ATCOR yazılımının Spectra modülünde yapılan işlerin akış şeması vardır.



Şekil 6.5 : Spectra Modülü İş akışı (ATCOR Manual, 2004)

ATCOR yazılımında Spectra modülünden sonra pusun giderilmesi işlemi yapılır. Pus gideriminde görüntü önce 3 sınıfa ayrılır. Açık, bulutlu ve puslu alanlar. Bulutlu alanlar görüntüden maskelenirken, pus aşağıdaki algoritmaya göre temizlenir;

- Tasseled Cap Pus Dönüşümü ile pussuz ve puslu alanların maskelenmesi. Bunun için aşağıdaki bağıntı uygulanır.

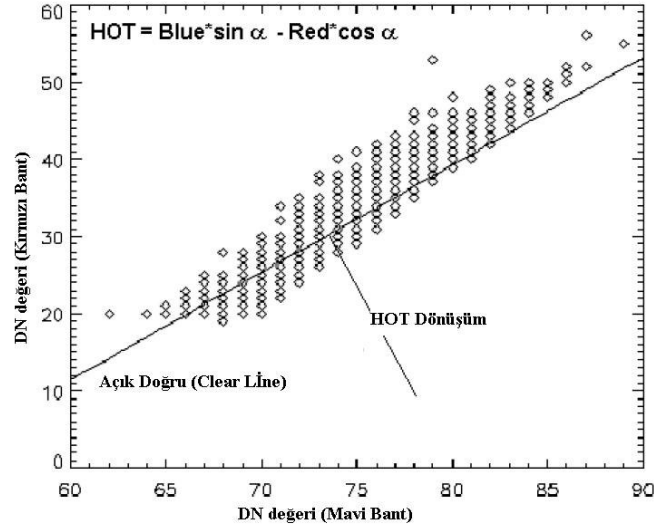
$$TC = 0.846 * BLUE - 0.464 * RED \quad (6.1)$$

Blue : Bant 1 (Mavi) DN değerleri, RED : Bant 3 (Kırmızı) DN değerleri. Pussuz (açık) alanlar, TC ortalama değerinden küçük değerlerin oluşturduğu pikseller olarak kabul edilir (Van Leeuwen, 2005).

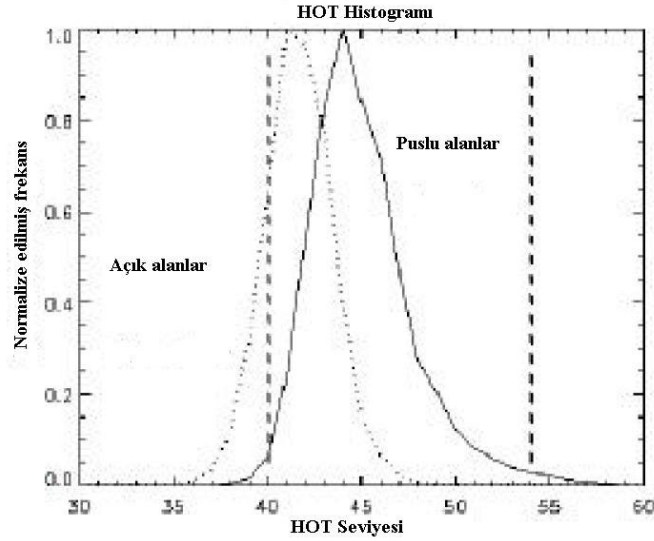
- Açık alanlar için kırmızı ve mavi bantları arasındaki regresyon doğrusunun eğiminin (α) hesabı (açık ya da pussuz doğru).
- Puslu alanlar bu doğruya dik olur. Başka bir deyişle HOT (Haze Optimized Transform) dönüşümü aşağıdaki bağıntıyla açıklanır. Daha sonra puslu alanlar için HOT histogramı hesaplanır (Şekil 6.7).

$$\text{HOT} = \text{BLUE} * \sin \alpha - \text{RED} * \cos \alpha \quad (6.2)$$

Aşağıdaki şekilde örnek bir açık doğru ve HOT doğrusu görülmektedir.



Şekil 6.6 : Açık Doğru ve HOT Dönüşümü (ATCOR Manual, 2004)



Şekil 6.7 : HOT histogramı (ATCOR Manual, 2004)

- 800 nm altındaki tüm bantlar için her bir HOT Seviyesi için histrogramlar hesaplanır. Bu histrogramlardan faydalanarak puslu alanlardaki piksel DN değerlerinden çıkarılacak pus sinyalleri (haze signal) Δ hesaplanır. Δ değerleri şöyle hesaplanır; Puslu pikseller için her bir HOT seviyesine (HOT_j) tekabül eden DN değeri eksi HOT_j histogramının alt % 2 'lik kısmının eşik değerine tekabül eden DN değeri. Yeni piksellerin (pusu giderilmiş) DN değerleri ise şöyle hesaplanır;

$$DN (\text{pusu giderilmiş}) = DN (\text{eski}) - \Delta (\text{pustan gelen fazla sinyal}) \quad (6.3)$$

- Algoritma sadece kara üzerinde çalıştığından, su pikselleri NIR bandı kullanılarak işlem dışında tutulur.

Bu algoritmanın bazı kısıtlamaları aşağıda sıralanmıştır;

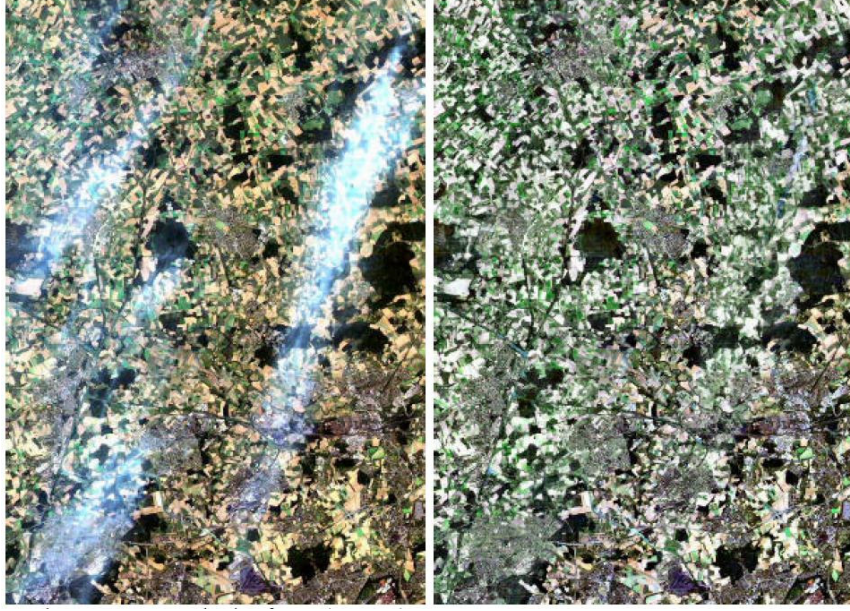
- Bu algoritmanın uygulanması için görüntüde açık ve puslu alanların olması gereklidir. Görüntünün çoğunda bulut ve pus hakimse, algoritma başarılı olamaz.
- Mavi ve kırmızı bantlar arasındaki korelasyon belli bir değerin altındaysa ($r < 0.8$), algoritma başarılı sonuçlar üretemez.
- Algoritma suyun üzerindeki pus gidermede uygun değildir. (**ATCOR Manual, 2004**)

Bu işlemlerin sonunda sadece hedef pikselden gelen yersel yansıma değeri bulunur. SMAC yazılımındaki gibi bir banttaki bir piksel için yersel yansıma değeri bulunmaz. Görüntüdeki tüm bantlardaki tüm pikseller aynı anda işleme girer ve her bir bant için yersel yansıma değerlerinin olduğu görüntüler oluşturulur.

ATCOR yazılımının bazı kısıtlamaları şunlardır;

Geniş bant aralığına sahip sensörler, dar görüş açılı (Narrow FOV) sensörler ve spektrumun 400 – 2500 nm aralığı için uygundur. Sonuç ürünün doğruluğu sensör kalibrasyon dosyası ve LUT'ların kalitesine bağlıdır.

Sonuç ürünler, girdi ürünlere göre kontrast bakımından daha iyidir. Arazi üzerindeki sis giderilmiştir. Şekil 6.8'de Almanya'nın Essen kentinin bir Landsat 5 TM görüntüsü için yapılmış sis giderimi ve atmosferik düzeltme çalışması görülmektedir.



Şekil 6.8 : ATCOR girdi ve çıktı görüntüleri (ATCOR Manual, 2004)

ATCOR yazılımından çıkan görüntüler yersel yansıma görüntüleridir. Ayrıca termal bantlar için sıcaklık haritaları üretilir. Görüntünün bit değerini korumak için yapılmış faktör çarpımları dikkate alınmalıdır. Yansıma değerleri dört ile çarpılmışsa, sonuç ürün dörde bölünerek yansıma değerleri bulunur. IKONOS görüntülerinde bit değerini korumak için 10 faktörü ile yansıma değerleri çarpılır. Sonuç üründen yansıma okunmak isteniyorsa, piksel değerleri 10'a bölünerek yapılmalıdır.

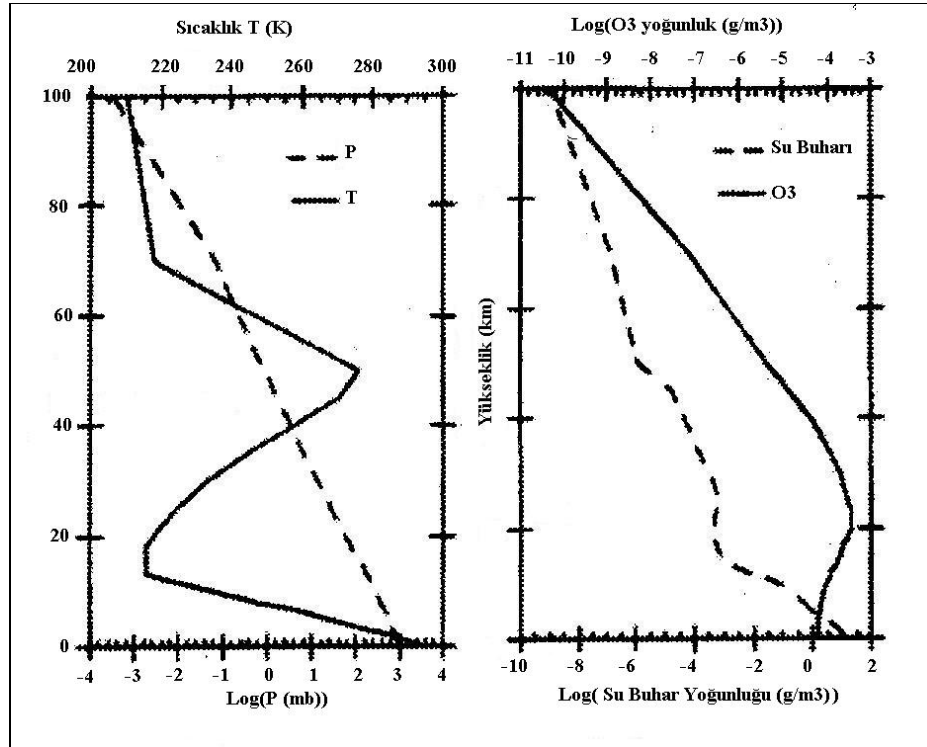
Sonuç ürünlerin doğruluğunu kontrol etmek için aşağıdaki tablo kullanılabilir.

Tablo 6.5: Objelerin yüzde olarak yersel yansıma değerleri(ATCOR Manual, 2004)

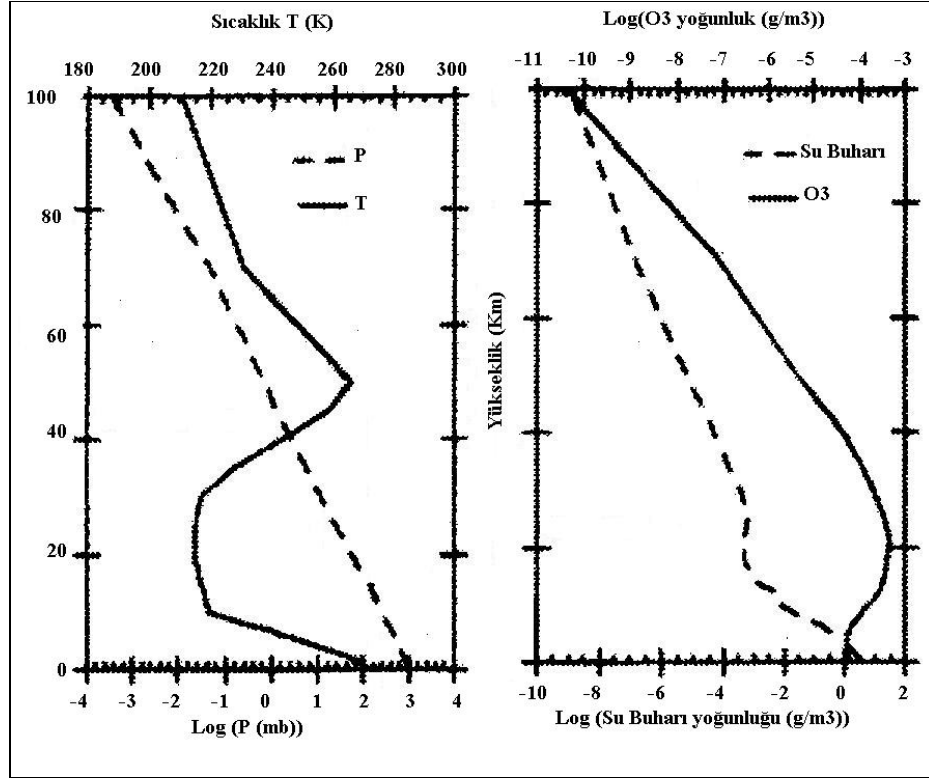
Hedef	Mavi Bant	Yeşil Bant	Kırmızı Bant	NIR Bandı
Su	3 - 5	4 - 6	2 - 3	0 - 1
Yoğun Koyu Bitki örtüsü	0.5 - 2.5	2 - 5	1 - 3	16 - 25
Yeşil Bitki Örtüsü	3 - 6	6 - 12	4 - 8	35 - 50
Tarımsal Toprak	4 - 8	7 - 12	10 - 15	15 - 25
Koyu Asfalt	8 - 9	9 - 10	9 - 10	10 - 12
Parlak Asfalt	14 - 16	16 - 18	16 - 19	18 - 22

6.2.3.4. Standart Atmosferler

Atmosfer bileşenlerin yer ve mekan olarak çok çabuk değişmesi, bilimadamlarını standart atmosferler tanımlamalarına neden olmuştur. Bu atmosferler, dünyanın belli bölgelerindeki atmosferik ölçümlere dayandı. Dünya üzerindeki yaygın birkaç standart atmosfer; ABD Standart, Orta Enlem Yaz, Orta Enlem Kış, Tropikal, Çöl ve Kutup atmosferleri olarak sıralanabilir. Standart atmosferlerin tanımlanması uzaktan algılama açısından da bir kolaylıktır. Çalışılan bölgeye en yakın atmosfer tipi seçilir ki, bu da RTM'lerin basitleştirilmesinde büyük rol oynar. Aşağıdaki şekillerde orta enlem yaz ve kış atmosfer profilleri gösterilmiştir. Şekillerde yüksekliğe bağlı olarak sıcaklık, basınç, ozon gazı ve su buharının değişimi gösterilmiştir. Basınç, ozon ve su buharı miktarları logaritmik cetvelde belirtilmiştir. Tüm atmosferlerdeki benzer özellikler şunlardır; Basınç değişim trendi tüm atmosferlerde benzerdir, ozon gazı atmosferin en alt 15-30 km'lik tabakasında yer almaktadır (Ultraviyole ışınların dünyadaki canlılara gelmesini önlemek için), su buharı miktarı dünya'ya yaklaşıldıkça artmaktadır ve su buharının çoğu atmosferin alt kesimindedir.



Şekil 6.9 : Orta Enlem Yaz Standart Atmosfer profili (Tanre ve Deroo, 1990)



Şekil 6.10 : Orta Enlem Kış Standart Atmosfer profili (Tanre ve Deroo, 1990)

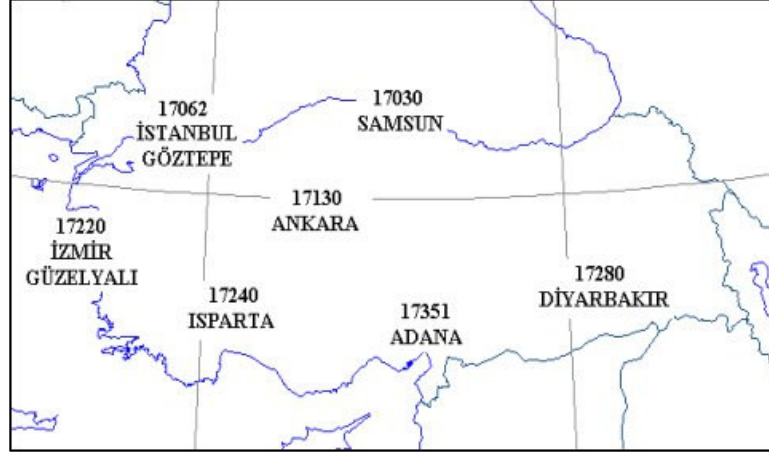
6.2.3.5. Radyozonde ölçümlerinden uygun ATCOR standart atmosfer tipinin belirlenmesi

Tablo 6.4’de ATCOR standart atmosfer tiplerinin düşeydeki toplam su miktarları g/cm^2 olarak verilmişti. Bunun anlamı şudur; yeryüzünden atmosferin en üst tabakasına kadar 1 cm^2 ’lik bir kesit alınırsa, toplam H_2O (su buharı) miktarı (gram olarak), o kolon için g/cm^2 biriminde ifade edilebilir.

Bu bölümde, radyozonde aleti ve Türkiye’de nasıl ve nerelerde ölçüldüğü hakkında kısa bir bilgi verilecektir.

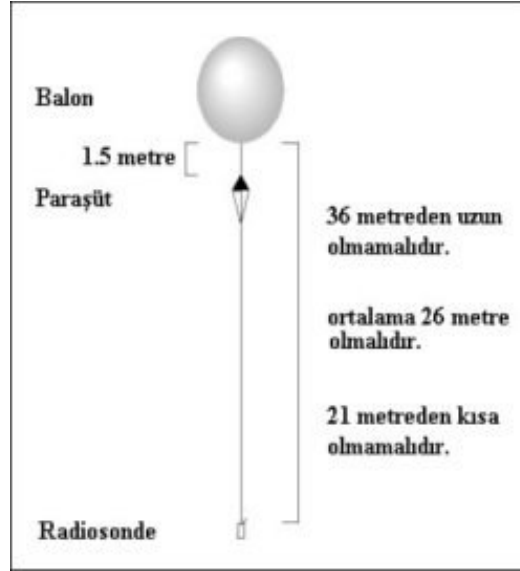
1920’ lerin başlarında Fransız bilim adamları BUREU ve IDRAC ile onlardan ayrı çalışan Rus bilim adamı MOLTCHANOV atmosferin çeşitli seviyelerindeki hava koşulları hakkındaki bilgileri, radyo dalgaları aracılığıyla toplamak ve yayınlamak için bir cihaz üzerinde çalışmaya başladılar. 1930 yılında Rus MOLTCHANOV bu günkü radiosonde cihazının atası denilebilecek ilk radiosonde cihazını geliştirmeyi başardı (**Devlet Meteoroloji Genel Md.’lüğü web sayfası**).

Ülkemizde 7 adet radyozonde ölçümleri yapan meteorolojik istasyon bulunmaktadır. Bunlar şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Türkiye’de Radyozonde ölçümlerinin yapıldığı istasyonların bulunduğu şehirler (Devlet Meteoroloji Genel Md.’lülü web sayfası)

Rasatlar, yerel saatte saat 0 ve 12’de olmak üzere günde iki defa yapılmaktadır. Ölçümler, aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere bir balon, bir paraşüt ve nem, sıcaklık ve basınç değerlerini belli yükseklik aralıklarında ölçen radyozonde aleti ile gerçekleşir.

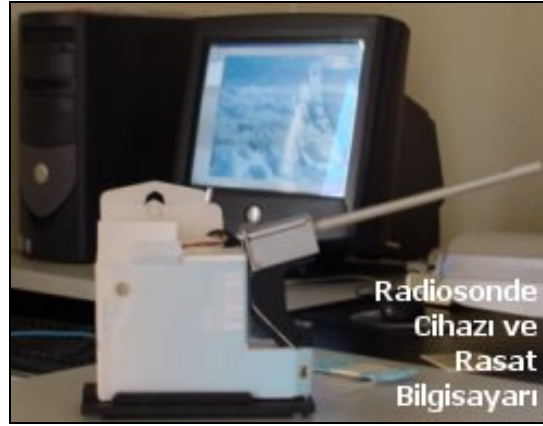


Şekil 6.12 : Radyozonde ölçümlerinin yapıldığı düzenek (Devlet Meteoroloji Genel Md.’lülü web sayfası)

Paraşütün görevi, balon patladıktan sonra radyozonde aygıtının yerleşim yerlerinde can ve mal kaybına neden olmasına önlemektir.

Radyozonde cihazı , radyo dalgaları aracılığıyla, herhangi bir yer alıcı istasyonuna basınç(P), sıcaklık(T) ve nem(U) değerlerini otomatik olarak gönderen ve balon yardımıyla taşınan, enerji kaynağı olarak ta pili kullanan meteorolojik ölçüm cihazıdır.

Radyozonde aletleri dünyada pek çok ülke, firma ve acentalar tarafından üretilmektedir. Fakat tıpkı otomobil üretiminde olduğu gibi radyozondelerde de belirli bir standart vardır ve hepsinin çalışma prensibi aynıdır. Radyozonde cihazlarının temel parçaları, meteorolojik sensörler, elektronik bilgi kodlayıcıları ve telemetrik (radyo dalgalarını kullanan) transmitter (gönderici) dir. Aşağıdaki şekilde radyozonde cihazı ve rasatları işleyen bilgisayar görülmektedir. Radyozonde verilerinin yanında rüzgar hızı ve yönü de ölçülüyorsa, bu ölçümlere ravinsonde ölçümleri denir.



Şekil 6.13 : Radyozonde cihazı ve rasatları işleyen bilgisayar (Devlet Meteoroloji Genel Md.'lüğü web sayfası)

Veri, son kullanıcılara excel formatında gelmektedir. Excel spreadsheet'leri ile gelen veriler, radyozonde ölçümlerinin yapıldığı istasyon no., yıl, ay, gün ve saat (0 ya da 12) olarak tarih, hPa (mbar) biriminde basınç, metre olarak yükseklik, % olarak bağıl nem, İşba sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), açı derecesi olarak rüzgar yönü ve rüzgar hızı (m/s) bilgilerini içermektedir.

Bağıl nem; havanın içerisinde çözülmüş halde bulunan su buharı miktarının, havayı doyma noktasına getirmek için gerekli maksimum su miktarına oranıdır. İşba sıcaklığı ise yoğuşmanın (saturation) başlayacağı sıcaklığa denir.

Örnek olarak radyozonde ölçümlerinde sıcaklık 15 °C ve İşba sıcaklığı 13 °C olarak ölçülmüşse, havanın doyma noktasına çok yakın olduğu, bir başka deyişle bağıl nem miktarının çok yüksek olduğu söylenebilir. Hava sıcaklığının 2 °C azalması halinde, havada çözülmüş olarak bulunan nem yoğunlaşarak bir yağış şeklinde ya da sis gibi görüşe etki eden hava hadiselerinin oluşmasına neden olur (**Ertaş, 2004**).

Bu gibi zamanlarda alınmış görüntüler puslu gözüktür. Objeler olması gerekenden daha parlak gözüktürler ve pus giderimi algoritmaları gerekli olur. Uzaktan algılama uygulamaları için radyozonde rasatlarının 5 km yüksekliğe kadar yapılmış ölçümleri yeterli olur. Çünkü su buharı miktarının % 95'i atmosferin bu aralığında bulunur (**ATCOR Manual, 2004**).

Aşağıdaki tabloda birkaç ravinsonde ölçümü verilmiştir.

Tablo 6.6: Örnek ravinsonde ölçümleri

yıl	ay	gun	saat	bsnsvy (hPa.)	yuks (m.)	sck (oC)	nem (%)	isba (oC)	rzgyon (o)	rzghiz (m/sec)
2001	11	28	0	1017	39	7,2	88	5,4	220	3,8
2001	11	28	0	1016	53	7,3	87	5,3	220	4,4
2001	11	28	0	1014	65	7,4	86	5,2	220	4,8
2001	11	28	0	1012	79	7,4	84	4,9	220	5,2
2001	11	28	0	1011	91	7,5	83	4,8	220	5,4
2001	11	28	0	1009	105	7,6	82	4,7	221	5,8
2001	11	28	0	1008	117	7,7	81	4,7	221	6,2
2001	11	28	0	1006	132	7,8	80	4,6	221	6,4
2001	11	28	0	1004	144	7,8	79	4,4	221	6,7
2001	11	28	0	1003	158	7,9	77	4,1	221	7,1

İlgili rasatlardan düşeydeki toplam su buharı miktarını (u) bulmak için aşağıdaki adımlar sırasıyla gerçekleştirilir (**Linsley ve diğ., 1975**).

Yoğuşma buhar basıncı (saturation vapour pressure) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$e^o (T) = 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right] \quad (6.4)$$

Bu formülde, e^o kPa, T ise °C cinsindendir. Daha sonra sırasıyla e_a , ρ_v ve u bulunur. e^o , e_a ve ρ_v değerleri her bir yükseklik için hesaplanır. Daha sonra toplam u miktarı, ρ_v değişimi lineer kabul edilerek hesaplanır.

$$e_a = e^o * \text{Bağıl Nem} \quad (6.5)$$

Formülde, e_a ve e^0 kPa cinsindendir.

Aşağıdaki formülde $R_g = 2870$, e_a mbar cinsinden, T ise Kelvin biriminden olmak üzere;

$$\rho_v = 0.622 * e_a / (R_g * T) \quad (6.6)$$

g / cm^2 biriminden ρ_v bulunur.

Formüllerde mbar ve kPa biriminin kullanımına dikkat edilmelidir. Birim dönüşümü için $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pascal (Pa)}$ eşitliği göz önüne alınır.

$$u = \rho_v * h \quad (6.7)$$

u ve ρ_v , g / cm^2 birimindedir. h ise iki rasat yüksekliği arasındaki fark olup, cm birimindedir. ρ_v değişimi atmosferde lineer kabul edilirse aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$u_i = h_i * (\rho_{vi} + \rho_{vi+1}) / 2 \quad (6.8)$$

Sonuç u değeri, kümülatif olarak u_i değerlerinin toplamı olarak bulunur. İlgili işlemler bir excel spreadsheet ile kolayca yapılabilir. Her bir değer için bir kolon açılarak değerler hesaplanabilir. Kümülatif değer summation fonksiyonu kullanılarak bulunabilir.

u değeri hangi standart ATCOR atmosfer u değerine yakın ise, o atmosfer seçilir. Bu değerler tablo 6.4'de verilmiştir. Atmosfer, zaman ve konuma bağlı olarak hızlı değiştiğinden, uydu geçiş tarihine ve yerine en yakın rasatlar baz alınarak yapılmalıdır. Böylece, ATCOR yazılımında kullanıcının spektral kütüphaneye eşleştirmek için kullandığı bir parametre belirlenmiş oluyor. Ruyet (yatay görüş mesafesi) bilgileri de meteorolojik istasyonlardan temin edilebilir. Aerosol tipi bölgeden bölgeye değişmektedir. ATCOR yazılımı için bu atmosferik bilgilerin hiçbiri gerekmiyor. Bilinmesi durumunda, kullanıcının oynayacağı değerler azalır. Yani kullanıcının bir cismin yersel yansıma değerlerini kütüphanedekiyle eşleştirmesi için değiştireceği parametre sayısı azalmış olur.

6.3. Görünür bölgede atmosferik etkileşim

6.3.1. Temiz havanın bileşimi

Temiz hava, aerosolsuz ve 78% nitrogen, 21% oksijen ve 1% diğer gaz moleküllerinden oluşur. Güneş enerjisini etkileyen en önemlileri arasında, ozon, oksijen, nitrogen, su buharı, karbondioksit, amonyak ve metan verilebilir. Normal atmosferler için aerosoller, farklı kaynaklı ve büyüklükteki toz parçacıkları olarak tanımlanabilir. Bu aerosollerin güneş ışınımı üzerindeki etkileri, atmosferik düzeltme algoritmasında en karmaşık konudur (Parodi, 2006).

6.3.1.1. Su Buharı

Su buharı, atmosferin alt tabakalarında bulunur. Atmosferin yerden 0-5 km'lik tabakasında su buharı miktarının %95'i bulunur. Su buharı zaman ve mekana göre hızlı değişen bir atmosferik bileşendir. Radyozonde veya güneş fotometrelerle ölçülebilir. Literatürde su buharı miktarı için 2 birim kullanılır;

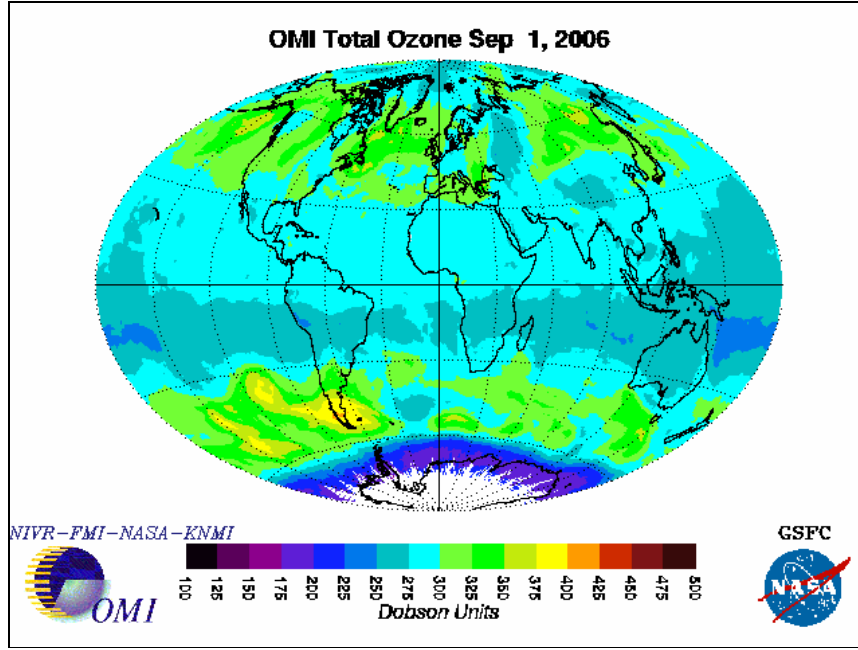
Karışma Oranı (Mixing Ratio) (ppm) = Bir birim hacimde su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranı olarak ifade edilir.

Düşeydeki toplam su buharı miktarı (cm ya da g / cm^2) = 1 cm^2 lik alana sahip bir kolonun yerden TOA'ya (Atmosfer en üst tabakası) kadar çıktığını düşünelim. NPT'de bu kolonda gram olarak bulunan su buharı miktarını ifade eder. Suyun yoğunluğu $1 \text{ g} / \text{cm}^3$ olduğundan, bu değer aynı zamanda cm olarak da ifade edilebilir.

6.3.1.2. Ozon

Ozon gazı atmosferin ilk 50 km'lik tabakasında bulunup, yerden 15-35 km yükseklik aralığında daha yoğun olarak bulunur. Ozon, ultraviyole ışınlarını soğurduğundan dünyadaki canlı hayat için önemlidir. Ozon, uydular vasıtasıyla sürekli olarak izlenen bir atmosferik parametredir. Atmosferdeki değişimi, su buharı ve aerosollere kıyasla yavaştır. Atmosferdeki miktarı DU (Dobson Units) olarak ifade edilir. Eğer birim alandaki bir düşey kolondaki (yerden TOA'ya kadar) ozon, 0°C ve 1 atm basınca getirilip bu birim alana homojen olarak dağıtılsa, oluşacak dilimin mm biriminde yüksekliğinin %1'i DU olarak ifade edilir. Bu değer yaklaşık olarak 300 DU olur. Bu

değer, güneş fotometreleriyle ölçülebileceği gibi NASA'nın OMI sensörüyle de ölçülmektedir. NASA'nın http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html web sayfasında ozon tabakasının durumu günlük olarak görülebilmektedir. Şekil 6.14'de DU biriminden ozon gazının atmosferdeki dağılımı (1 Eylül 2006) görülmektedir. Şekil 6.14'de görüldüğü üzere ozon tabakası güney kutbu civarında incelmıştır (düşeydeki toplam ozon miktarı azalmıştır).



Şekil 6.14 : 1 Eylül 2006 tarihi için Ozon Dağılımı (NASA Web Sayfası - 1)

6.3.1.3. Aerosoller

Havada askıda duran çok küçük katı parçacıklar olarak tanımlanabilir. Su buharı da bu askıda duran maddelerin içinde katılışırsa, aerosol olarak kabul edilebilir. Aerosoller, şekil, hacim ve içerik olarak değişmekte olup, oluştuğu yer ve büyüklük bakımından sınıflandırılabilir. Oluştugu mevki bakımından ikiye ayrılabilir; Karasal Kaynaklı aerosoller: Duman, polen, Volkanik patlamalar, toz, orman yangınları, kömür yanmaları vb. etkilerden oluşabilir, Deniz kaynaklı aerosoller: Tuz kristalleri ve higroskopik tuzların çekirdekleri başlıca kaynaklarıdır (Parodi, 2006).

Aerosollerin atmosferdeki miktarını ölçmek için iki ölçüt kullanılabilir; 1) cm^3 hacim başına düşen toz parçacıkları sayısı. Hassas, fakat ölçülmesi zahmetli ve zaman alıcı olduğundan nadiren tercih edilen bir ölçüttür. 2) Görüş mesafesi. Subjektif olmasına karşın uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bilgiler meteorolojik

istasyonlarda alınan ruyet bilgileridir. Aerosol büyüklüğüne bağlı olarak da değişik saçılmalar gerçekleşmektedir. Dünyada aerosoller ve su buharı miktarlarını ölçmek için AERONET (Aerosol Robotic Network), NASA ve LOA-Photons tarafından kurulmuştur. Bu sistemde, dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan istasyonlarda kurulu güneş fotometreler ölçüm yapmakta ve bilgileri GOES, Meteosat veya GMS uydularından birine göndermekte, daha sonra uygun yer istasyonuna iletmektedir. Ülkemizde Mersin Erdemli’de bulunan ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü’nün çatısında bulunan güneş fotometre istasyonu, bu ağa bağlıdır. Şekil 6.15’de örnek bir güneş fotometre istasyonu görülmektedir.



Şekil 6.15 : Güneş fotometre istasyonu (NASA Web sayfası -2)

6.3.2. Atmosferik parametreler

Atmosferik optik parametreler arkasında yatan fiziksel kavramlar RTM’ler açısından önemlidir. Bunlar, optik yol, saçılma ve yutulma (soğrulma) olarak sıralanabilir.

6.3.2.1. Optik yol

Havası alınmış (vacuum) bir bölgeden geçen ışık herhangi bir değişikliğe maruz kalmamaktadır. Fakat ışık, hava gibi yarısaydam bir ortamdan geçtiği vakit, ışığın fotonları hava molekülleri ile çarpışarak gücüne kaybeder. Bu kayıp iki faktöre dayanır;

1) Işığın geçtiği ortamın uzunluğu, 2) Ortamdaki moleküllerin yoğunluğu $\rho_{\text{yoğunluk}}$

Bu iki kavram birleştirilerek optik yol ya da optik kütle (optical path or optical mass) tanımlanabilir.

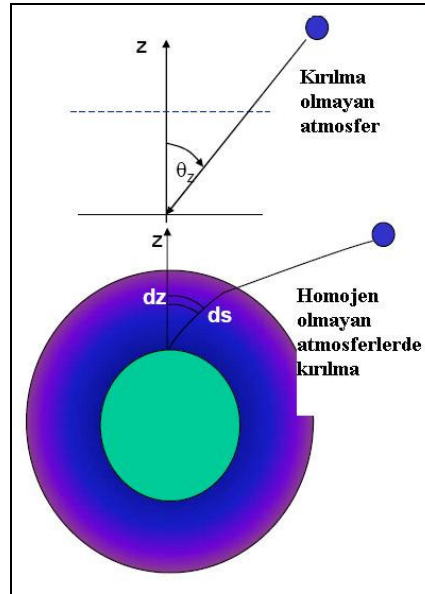
$$m = \int_0^{\infty} \rho_{\text{yoğunluk}} * ds \quad (6.9)$$

m = Optik kütle

ds burada çok küçük (diferansiyel uzunluk) bir uzunluğu belirtir. Atmosferin yoğunluğu katman katman değiştiğinden, ışık kırılması doğru şeklinde değil, eğri olur. Bu nedenden dolayı bağıl optik kütle tanımlamasına gidilmiştir. Yoğunluk her katmanda değiştiğinden dolayı, bu formül her katman için ayrı hesaplanarak sonuca gidilir.

$$m_r = \frac{\int_0^{\infty} \rho_{\text{yoğunluk}} * ds}{\int_0^{\infty} \rho_{\text{yoğunluk}} * dz} \quad (6.10)$$

Bunun için optik kütle; atmosferik bileşene (hava, su buharı, ozon, vs.), yoğunluğuna, kırılma katsayısına ve obje yüksekliğine bağlıdır. Şekil 6.16'da m_r kavramı anlatılmıştır.



Şekil 6.16 : m_r kavramı

Bu formül, zenit açısının 70° 'den küçük olduğu durumlarda, $m_r = 1 / \cos(\theta_z)$ yaklaşık formülü ile hesaplanabilir (Iqbal, 1983, s. 97-103).

6.3.2.2. Işınımın atmosferde zayıflamasına neden olan işlemler

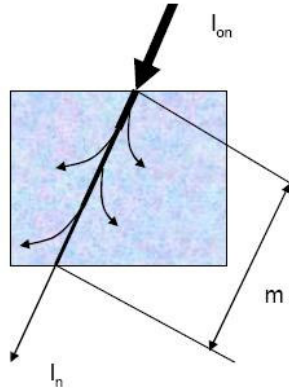
Güneşten gelip atmosfere gelen ışınım, saçılma ve yutulma gibi atmosferik olaylardan etkilenecek yeryüzüne ulaşırlar. Bourger (Beer ya da Lambert de denilmektedir) kanununa göre güneşten gelen monokromatik ışınım, aşağıdaki formüle göre bir ortamdan geçtikleri zaman değişikliğe uğrarlar. Monokromatik ışınım tek bir dalga boyu için demektir.

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} * \exp (-k_{\lambda} * m) \quad (6.11)$$

Bu formülde;

$I_{n\lambda}$ = Ortamdan sonraki ışınım, $I_{on\lambda}$ = Ortama giren ışınım, k_{λ} = Optik derinlik ya da azaltma katsayısı (optical depth or attenuation coefficient), m = Optik yol uzunluğu (optical path length), $m * k_{\lambda}$ = optik kalınlık (extinction optical thickness)

Şekil 6.17’de 6.11 formülü ile ilgili bir şekil vardır.



Şekil 6.17 : Bourger Kanunu (Parodi, 2006)

Her bir atmosferik bileşenin ışınımına etkisi birbirinden bağımsızdır. Toplam etki, bunların ayrı ayrı etkilerinin toplamı olur.

$$k_{\lambda} * m = \sum_{i=1}^{i=j} k_{i\lambda} * m_i \quad (6.12)$$

Formülde, $k_{i\lambda}$ = Her bir atmosferik bileşenin monokromatik optik derinliği, m_i = İlgili atmosferik bileşenin optik yol uzunluğudur.

Uzaktan algılamada, pratikte atmosferin toplam geçirgenliğinden (transmissivity) bahsedilebilir. Bu ortamdan (atmosfer) çıkan ışınımın, giren ışınımına oranı olarak

ifade edilebilir. Tüm atmosferin toplam monokromatik geçirgenliği (monochromatic overall transmissivity) hesaplanmak isteniyorsa, 6.11 ve 6.12 formülleri birleştirilerek, her bir atmosferik bileşenin ayrı ayrı geçirgenliklerinin çarpımına gidilir. 6.13 formülü ile ifade edilir.

$$\tau_{\lambda} = \frac{I_{n\lambda}}{I_{on\lambda}} = \exp(-k_{\lambda} * m) = \exp\left(\sum_{i=1}^{i=j} k_{i\lambda} * m_i\right) = \prod_{i=1}^{i=j} \tau_{i\lambda} \quad (6.13)$$

Bu formül, güneşten gelen direkt monokromatik ışınlamalar için geçerlidir.

Atmosferin toplam geçirgenliğini bulmak zor değildir. Güneş fotometrelerle bu işlem kolaylıkla gerçekleştirilebilir. 5.14 formülünde, I_{SC} yerine ilgilenilen dalga boyu aralığı için hesaplanan güneşten gelen ışınlam kullanılarak, TOA’de güneşten gelen (o bant aralığı için) ışınlam bulunabilir ($I_{on\lambda}$). Güneş fotometreler, güneşin hareketini izleyerek, yeryüzüne sadece güneşten direkt gelen ışınlamaları ölçer. Dolayısıyla, saçılmalar ve çok yönlü olarak dağılmış ışınlamlardan arındırılmıştır. Yani direkt $I_{n\lambda}$ ölçülür. Çeşitli filtreler uygulanarak, güneş fotometresinin belli bir dalga boyu aralığında çalışması sağlanabilir. Böylece ilgilenilen dalga boyu aralığı için olan toplam geçirgenlik katsayısı basit bir oranla bulunabilir.

6.3.2.3. Atmosferde saçılma

Atmosferik saçılma atmosferik düzeltme tekniklerinde en karmaşık konulardan biridir. Saçılmalarda, ışınlamın atmosferdeki molekül ve parçacıklara çarptıktan sonra nasıl davrandığı önemlidir. Saçılma dağılımları, ışınlam dalga boyu ve atmosferde bulunan parçacıkların birbirlerinin bağıl büyüklüklerine göre değişir. Parçacıkların boyutuna D dersek ve ışınlam dalga boyu λ ise;

$D / \lambda < 0.1$ ise Rayleigh saçılması olur.

$0.1 < D / \lambda < 10$ ise Mie saçılması olur.

$D / \lambda > 10$ ise serbest saçılma olur.

Rayleigh saçılmasında, hava molekülleriyle çarpışmadan sonra (collision), ışınlam enerjisi yaklaşık olarak %50 geriye ve %50 ileriye olarak saçılır. Mie saçılmasında ise ileriye saçılan enerji, geriye saçılana daha büyüktür. Mie saçılmasında yeryüzüne ulaşan enerji miktarı güneş zenit açısına bağlıdır. Şekil 6.18’de saçılmalar görülmektedir. Her üç durumda da ışınlam soldan sağa gitmektedir.

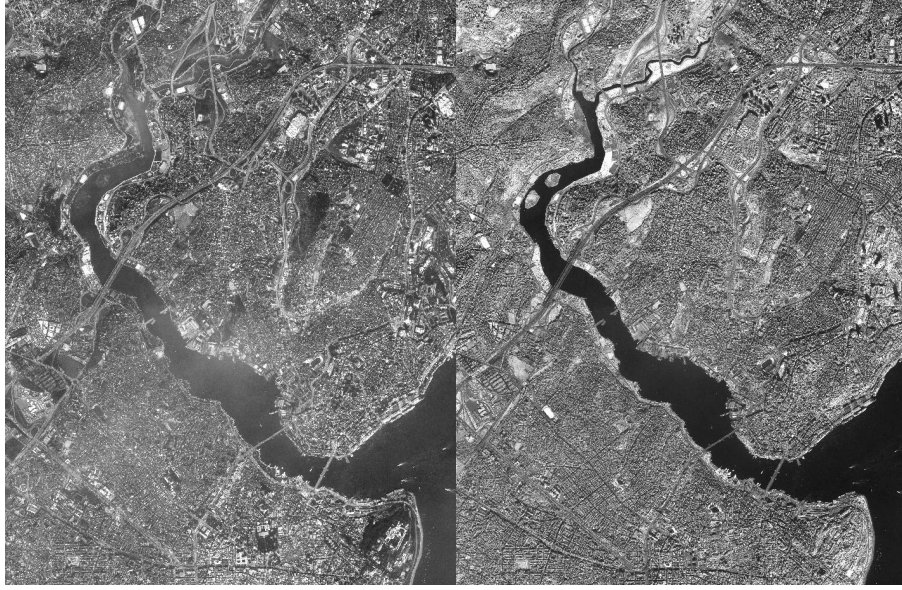


Şekil 6.18 : Saçılma çeşitleri (Parodi, 2006)

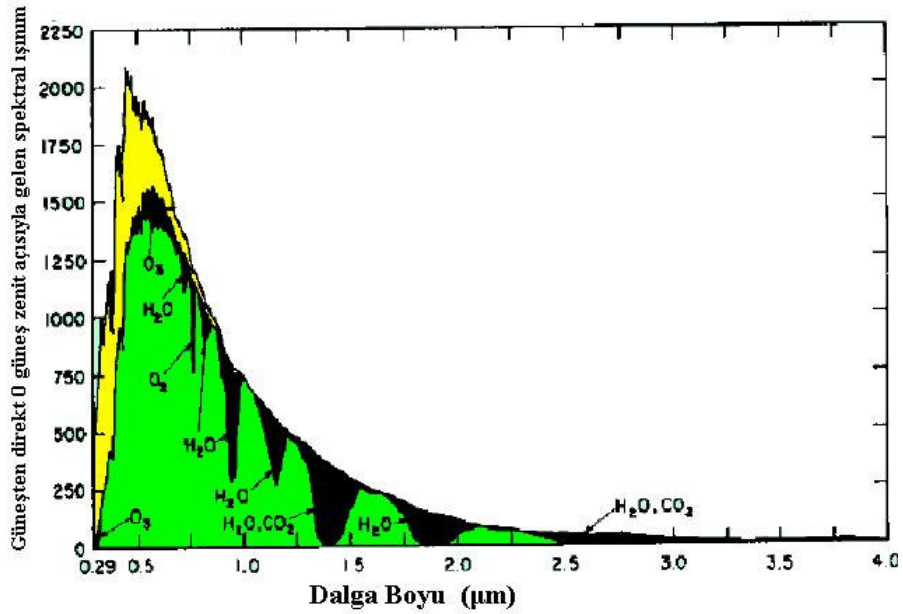
Saçılma, ışınım dalga boyunun bir kesiksiz (continuous) fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Rayleigh saçılmasından kaynaklanan geçirgenliği formül 6.14 ile ifade edebiliriz.

$$\tau_{R\lambda} = \exp (- m_{\text{hava}} * 0.008735 * \lambda^{-4.08}) \quad (6.14)$$

0.008735 katsayısı, US Standart 1962 atmosferi, deniz seviyesindeki standart basınç ve sıcaklıktaki kuru hava için geçerlidir. Bu değer, atmosferden atmosfere değişmektedir. Bu formülde m_{hava} , hava molekülleri için bağıl hava kütesidir. Bu formülle denilebilir ki, kısa dalga boylu ışınımlar uzun dalga boylu ışınımlardan daha fazla saçılmaya uğrarlar. Uzaktan algılamada kullanılan radarların, bulutların içinden geçerek yeryüzünden bilgi alabilmesi bu nedene bağlıdır. Şekil 6.19’da bir IKONOS uydu görüntüsünün mavi ve NIR bantları görülmektedir. NIR bantının Haliç üzerindeki pusten etkilenmediği görülmüyor. Oysa aynı bölge yeşil bantta saçılmaya neden olurken, piksel parlaklık değerleri olması gerekenden daha fazla olmaktadır. Şekil 6.20’de ise güneşten gelen TOA ışınım, Rayleigh saçılmasından dolayı azalan ve su buharı ve ozon gazının varlığından dolayı meydana gelen yutulmalardan dolayı azalan ışınımın dalga boylarına göre dağılımı görülmektedir. Sarı bölge Rayleigh saçılmasını, siyah bölge ise atmosferik yutulma bölgelerini ifade etmektedir. Yeşil bölge ise yeryüzüne ulaşan ışınım (I_{nλ}). Bu şekilde atmosfer aerosolsuz ($\beta = 0$), ozon 0.35 cm (NTP) miktarda, su buharı miktarı w=2 cm ve hava kütlesi (air mass) 1’dir. Işınım birimi W m⁻² μm⁻¹’dir.



Şekil 6.19 : Haliç bölgesi IKONOS yeşil ve NIR bantları



Şekil 6.20 : Dalga boyuna bağlı yutulma ve rayleigh saçılmalarının ışıınıma etkisi
(Parodi, 2006)

Mie saçılması, rayleigh saçılmasına göre matematiksel olarak daha karmaşıktır. Mie saçılması toz ve su buharının birleşmesiyle oluşan daha büyük paraçıklar için meydana gelir. Angstrom, 1930 yılında bu iki bileşenin etkilerini içeren bir bağıntı önerdi.

$$\tau_{a\lambda} = \exp (-\beta * \lambda^{-\alpha} * m_a) \quad (6.15)$$

Bu formülde (6.15) geçen terimler sırasıyla; α dalga boyu üstü, β Angstrom katsayısı, m_a = Aersoller için bağıl hava kütesidir.

α ve β değerleri, aerosollerin büyüklük ve yoğunluklarına bağlı olarak değişmektedir. Bu değerler belirli bir atmosfer için tespit edildikten sonra tüm dalga boyları için kullanılabilirler. Bu değerler iki şekilde tespit edilebilir;

1) Meteorolojik istasyonlardan yapılan ruyet ölçümlerinden. Bu durumda $\alpha = 1.3$ kabul edilir (Iqbal, 1983, s.119).

2) Güneş fotometreleriyle yapılan ölçümlerle. Teorik olarak iki ayrı dalga boyunda yapılan ölçümlerle bu katsayılar bulunabilir. Fakat 6.15 bağıntısı gazların yutulmalarını hesaba katmadığından, ölçüler yutulma olmayan dalga boylarında gerçekleştirilmelidir. Dünyada yapılan ölçümlerde, 0.38 ve 0.50 μm değerleri seçilir (Parodi, 2006).

Mie saçılmasını modelleyen birkaç yazılım vardır. Bunlardan en önemlisi Scatlab yazılımıdır. Fakat bu daha çok uzaktan algılamanın dışındaki bilimsel araştırmalar için uygundur.

6.3.2.4. Atmosferde yutulma

Karbondioksit, ozon, nitrojen, oksijen ve metan gibi gazlar, atmosferdeki parçacıklar ve hava molekülleri gibi saçılma yapmaz. Bu gazlar, ışıyımında yutulmalar meydana getirir. Yutulma, saçılmadaki gibi dalga boyunun fonksiyonu olarak ifade edilemez. Atmosferde bulunan gazların enerji durumlarına bağlıdır. Her bir gaz, ayrı dalga boylarında ayrı etkiler yapar. Bunun için her bir gaz ve dalga boyu için k_λ tabloları hazırlanmıştır. Bu tablolardaki değerler RTM yazılımlarına konulmuştur. Bourger formülüne benzer bir şekilde, yutulma için geçirgenlik tanımlanabilir. Bu geçirgenlik, dalga boyu ve atmosferik gaza bağlıdır.

$$\tau_{yutulma_\lambda} = \exp (-k_{yutulma_\lambda} * I * m) \quad (6.16)$$

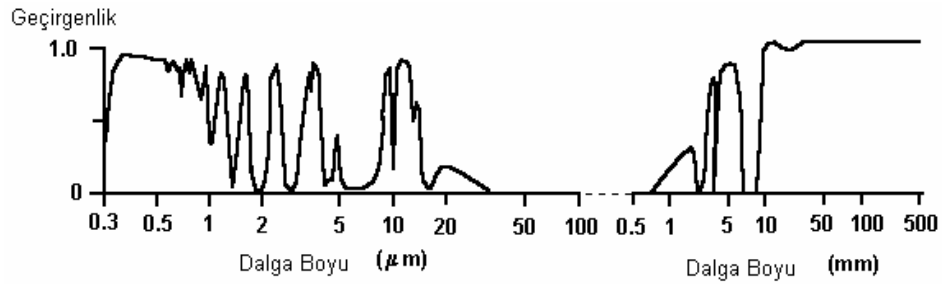
Formülde geçen $k_{yutulma_\lambda}$, her bir gaz için dalga boyuna bağlı oluşturulmuş tablolardan bulunarak yerine konur. I, gazın atmosferde bir düşey kolondaki miktarıdır, m ise gazın bağıl optik kütesidir. 6.17-6.19 formüllerinde, ozon, su buharı ve homojen karışımli gazlar (CO₂, O₂, vs.) için geçirgenlik bağıntıları verilmiştir (Iqbal, 1983, s.126-133).

$$\tau_{\text{ozon}_\lambda} = \exp(-k_{\text{ozon}_\lambda} * I * m_r) \quad (6.17)$$

$$\tau_{\text{su}_\lambda} = \exp[-0.2385 * k_{\text{su}_\lambda} * w * m_r / (1 + 20.07 * k_{\text{su}_\lambda} * w * m_r)^{0.45}] \quad (6.18)$$

$$\tau_{\text{gaz}_\lambda} = \exp[-1.41 * k_{\text{gaz}_\lambda} * m_r / (1 + 118.93 * k_{\text{gaz}_\lambda} * m_r)^{0.45}] \quad (6.19)$$

Eğer bir ekseni geçirgenlik, bir ekseni dalga uzunluğu olarak gösterirsek, oluşacak grafikteki kapalı alanlar birer atmosferik pencere ve diğer yerler ise yutulma bandları olarak adlandırılır. Algılayıcılar, bu grafikte pencerelere göre dizayn edilip uzaya fırlatılırlar. Şekil 6.21’de, düşey geçirgenlik ve yatay eksen dalga boyu olarak tanımlanmıştır.



Şekil 6.21 : Dalga boyuna bağlı olarak atmosferik pencereler

6.3.3. Yeryüzüne güneşten ulaşan toplam ışıınım

6.3.3.1. ve 6.3.3.2. bölümlerinde, güneşten gelen ışıının atmosfere girdikten sonra nasıl davrandığı irdelenecektir. Güneşten gelen ışıını, direkt olarak yeryüzüne gelen ve atmosferde saçılıp yeryüzüne gelen olarak ikiye ayırabiliriz. İleri ki bölümlerde TOA ile yersel yansıma arasındaki ilişkinin lineer olarak ifade edilebileceği görülecektir.

6.3.3.1. Yeryüzüne güneşten direkt gelen ışıınım

Güneşten direkt gelen ışıınım, sadece güneşin olduğu yönden gelen ışıınıdır. Bu ışıınım, TOA ışıınıma göre Rayleigh, Mie saçılması ve yutulmaya uğrayarak yeryüzüne iner. Direkt ışıının atmosferdeki toplam geçirgenliği, ayrı ayrı faktörlerin geçirgenliği çarpımına eşit olur. Formül 6.20’de, gazlar tek bir geçirgenlik altında toplanmıştır. Bu değer de, gazların ayrı ayrı geçirgenliklerinin çarpımına eşittir.

$$\tau_\lambda = \tau_{\text{Rayleigh}_\lambda} * \tau_{\text{aerosoller}_\lambda} * \tau_{\text{ozon}_\lambda} * \tau_{\text{gazlar}_\lambda} * \tau_{\text{su_buharı}_\lambda} \quad (6.20)$$

Yeryüzüne ulaşan toplam direkt ışınım (Beam Radiation) ise;

$$I_b = \tau_\lambda * I_{on} * E_o * \cos(\theta_z) \quad (6.21)$$

olarak ifade edilebilir.

6.3.3.2. Atmosferde dağılmış spektral ışınım

Güneşten gelen ışınımın saçılma sonucunda ayrılmış bölümüne, güneşten gelen dağılmış ışınım denir. Bu bileşen artı güneşten gelen direkt ışınım, yeryüzünde toplam güneş ışınımını (global solar radiation) oluştururlar. Saçılmada, ışınım dalga boyunun parçacık boyutuna göre bağlı büyüklükleri yanısıra, güneşin o andaki konumu da önemlidir. Ayrıca ışınım tek bir saçılmaya uğramaz, birden çok aerosolle çarpışarak çoklu saçılmaya neden olur (multiple scattering).

Bu olaylar sırasında ışınımın bir kısmı saçılır (bunun da bir kısmı yeryüzüne ve bir kısmı da tekrar uzaya) ve bir kısmı da moleküller tarafından yutulur. Bu bölümde verilecek tüm bağıntılar monokromatik ışınım için içindir.

Aşağıdaki kabullerle, yeryüzüne ulaşan toplam dağılan ışınım miktarı bulunabilir;

1) Rayleigh saçılmasından kaynaklanan dağılma (I_{dr}) : Bu saçılmada, ışınımın %50'si geriye ve %50'si ileriye doğru saçıldığı kabul edilir.

2) Aerosollerden kaynaklanan dağılma (Mie saçılması, I_{da}) : Bu saçılmada, ileriye dönük saçılma geriye dönük saçılmadan büyüktür. Güneşin konumu ve aerosol büyüklüğüne göre, ileriye dönük saçılma toplam saçılmanın %50 - %92 'sini oluşturmaktadır.

3) Atmosferdeki çoklu saçılmalarından kaynaklanan etkiyi I_{dm} ile ifade edersek.

Yeryüzüne ulaşan toplam dağılmış ışınım,

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (6.22)$$

$$I_{dr} = I_{on} * \cos\theta_z * \tau_{ma} * [0.5 * (1 - \tau_r) * \tau_a] \quad (6.23)$$

6.23 bağıntısında, τ_{ma} moleküler yutucular için geçirgenlik katsayısı, τ_r Rayleigh geçirgenliği, τ_a aerosol geçirgenliği (Mie geçirgenliği). Formülde geçen 0.5 katsayısı Rayleigh saçılmasındaki %50 ileriye dönük saçılmayı ifade eder.

$$I_{da} = I_{on} * \cos\theta_z * \tau_{ma} * [F_c * \omega_0 * (1 - \tau_a) * \tau_r] \quad (6.24)$$

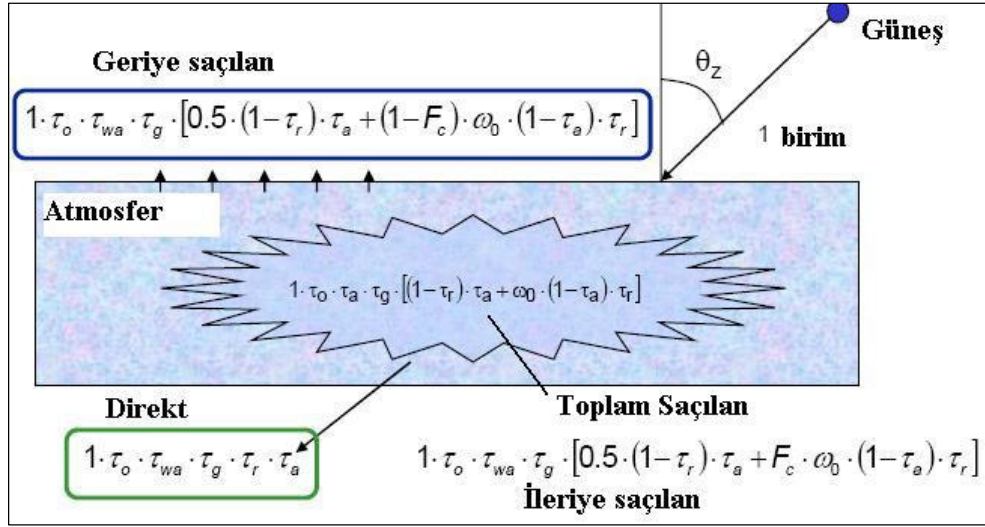
6.24 bağıntısında geçen F_c , ileriye dönük saçılmanın tüm yönler için toplam saçılmaya oranıdır. Aerosoller hem yutulma hem de saçılma işlemi gerçekleştirdiğinden, bu iki işlemi birbirinden ayırt edebilmek için ω_0 faktörü tanımlanmıştır. Bu faktöre tek saçılma albedo (single scattering albedo) adı verilmektedir. Bu ifade, aerosollerden dolayı meydana gelen saçılmış enerjinin, aerosollerden meydana gelen (yutulma ve saçılma) enerji azalmasına (attenuation) oranıdır. Bu değer, aerosol çeşidine göre değişmektedir. Şehirsel aerosoller için 0.6, kırsal aerosoller için 0.9 değeri kabul edilebilir. Yutulmanın 0 olduğu aerosollerde ise bu değer 1'dir.

6.3.4. Atmosferik Albedo

Albedo, yansıyan ışının gelen ışınım olan oranıdır. Atmosferik albedo, atmosferden uzaya geri saçılan ışının TOA'ya gelen ışınım oranı olarak ifade edilir. Bağıntı 6.25 ile matematiksel olarak ifade edilir.

$$\rho_a = \tau_{ma} * [0.5 * (1 - \tau_r) * \tau_a + (1 - F_c) * \omega_0 * (1 - \tau_a) * \tau_r] \quad (6.25)$$

Bu bağıntıdaki çoğu parametre açılara bağımlı olduğu için Iqbal tarafından tüm açı değerlerinin ortalamaları kullanılarak, ρ'_a ortalama atmosferik albedo değeri kullanılır. 6.25 bağıntısı, şekil 6.22 ile ifade edilebilir. Şekilde mavi ile gösterilen kutu, atmosferi temsil etmektedir. 1 birim enerjili ışınım atmosfere girer ve saçılır. Geriye ve ileriye saçılır. Yeryüzüne ulaşan toplam ışınım, ileriye saçılan ve direkt yeryüzüne gelen ışınımın toplamıdır. Geri yansıyan ışınım, atmosferik albedo olarak adlandırılır. İleriye ve geriye doğru saçılma miktarları, toplam saçılma miktarına eşittir. Şekilde τ_{ma} , sırasıyla ozon, su buharı ve diğer gazların geçirgenlikleri olan τ_o , τ_{wa} ve τ_g değerlerinin çarpımı ile ifade edilmiştir. Geri yansıyan ışınım uydu sensörüne giderek artı bir ışınım neden olur. Objeler görüntüde olması gerekenden daha parlak gözükür. Şekil sadece tek saçılma için geçerlidir. Çoklu saçılmalar hesaba katılmamıştır. Çoklu saçılmalar bir sonraki bölümde incelenecektir.



Şekil 6.22 : Atmosferik Albedo (Parodi, 2006)

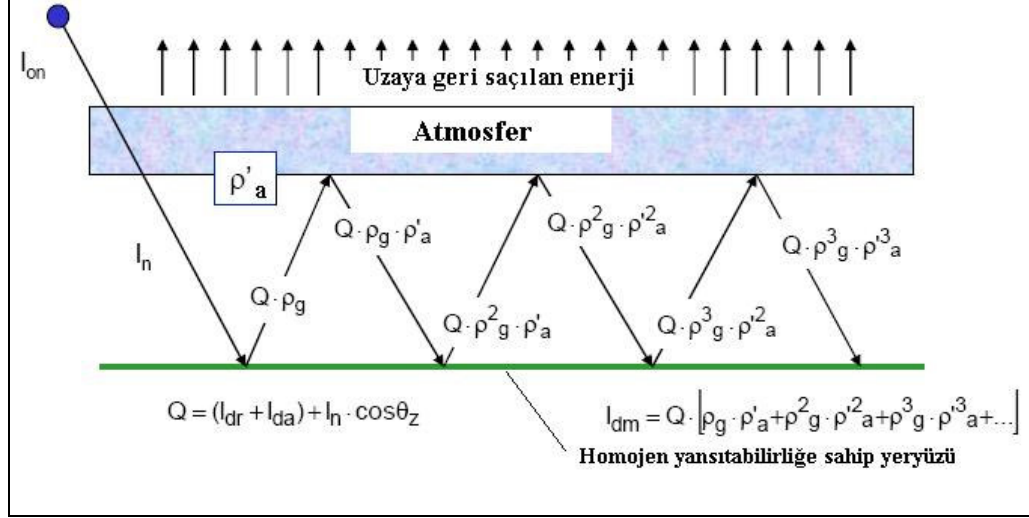
6.3.5. Çok yönlü dağınık ışıınım (Multiple Reflected Diffuse Radiation)

Yeryüzüne ulaşan ışıınım önce yeryüzünden atmosfere, daha sonra atmosferden tekrar yeryüzüne ve aynı işlemler sonsuz kere oluşmaktadır. Bu olayı basit bir şekilde modellemek için, atmosferi yansıtma (atmosferik albedo) ve yutma özellikleri olan ince bir tabaka şeklinde düşünmeliyiz. Şekil 6.23’de bu gösterilmiştir. Q ile ifade edilen değer, yeryüzüne birinci geçişte saçılmadan ve direkt ışıınımdan ulaşan ışıınımların toplamı olarak ifade edersek, formül 6.26 ile bu matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$Q = (I_{dr} + I_{da}) + I_n \cdot \cos\theta_z \quad (6.26)$$

Şekilde belirtilen ρ_g , yerin yansıma katsayısıdır. Bu, atmosferik düzeltme tekniklerinde bulunmak istenen en önemli değerdir. Çünkü atmosferik etkilerden arındırılmıştır. Çoklu yansımalar sonucunda yeryüzüne ulaşan I_{dm} değeri şekil 6.23’de ifade edilmiştir. Bu değer, Taylor serileri kullanılarak daha kısa bir ifadeye dönüştürülebilir. Bu ifade, 6.27 bağıntısı ile verilmiştir.

$$I_{dm} = Q \cdot (\rho_g \cdot \rho'_a) / (1 - \rho_g \cdot \rho'_a) \quad (6.27)$$



Şekil 6.23 : Çoklu saçılma (Parodi, 2006)

6.3.6. Güneşten atmosfere girerek dağılıp yeryüzüne ulaşan ısıtım

Önceki bölümlerde belirtilen 6.22, 6.26 ve 6.27 bağıntıları birleştirilerek, 6.28 bağıntısına ulaşılır. Bu bağıntı ile bulunan I_d değeri yeryüzüne saçılmış olarak ulaşan toplam ısıtım miktarıdır.

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} = [(I_{dr} + I_{da}) / (1 - \rho_g * \rho'_a)] + [I_n * \cos\theta_z * (\rho_g * \rho'_a) / (1 - \rho_g * \rho'_a)] \quad (6.28)$$

6.3.7. Yeryüzüne güneşten direkt ve atmosferde dağılmış olarak gelen ısıtım

Yeryüzüne ulaşan toplam ısıtım (total global spectral irradiance at the ground), direkt güneşten gelen ve tüm saçılan ısıtımların toplamıdır.

6.21 ve 6.28 bağıntıları birleştirilerek, 6.29 bağıntısına ulaşılır. Birkaç basit matematiksel işlemden sonra formül basitleştirilebilir.

$$I = [I_n * \cos\theta_z + I_{dr} + I_{da}] / (1 - \rho_g * \rho'_a) \quad (6.29)$$

$1 - \rho_g * \rho'_a < 1$ olduğundan, yeryüzüne ulaşan toplam ısıtım çoklu saçılmalar nedeniyle artmaktadır. Yapılan hesaplamaların hepsi monokromatik ısıtım (tek dalga boyu) içindir. Belli bir dalga boyu aralığı için (bir sensörün bandı için) bu hesapların her dalga boyu için yapılması gereklidir. Bu da ancak yazılımlar yardımıyla yapılabilir.

6.3.8. Görünür bölge için görüntü atmosferik düzeltme denklemi

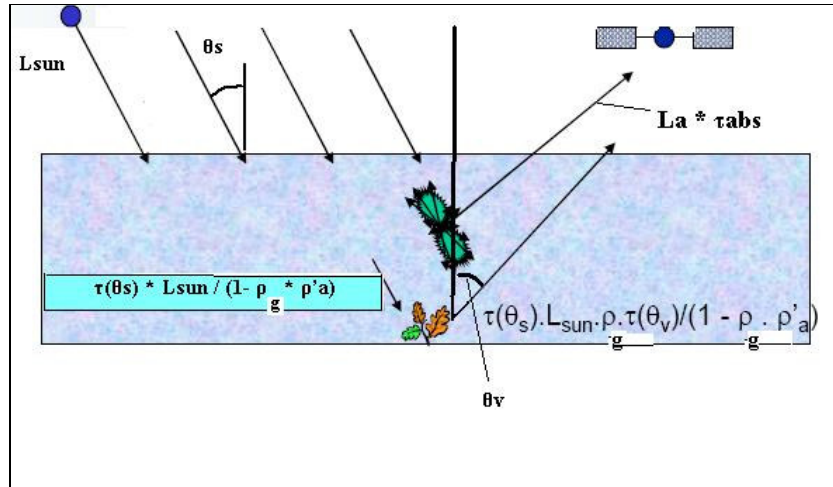
Atmosferin dışında dünyanın herhangi bir yerine güneşten gelen ışınlam miktarı L_{sun} olarak, yeryüzüne ulaşan toplam ışınlam I olarak, yeryüzüne doğru yönelen ışınlamlar için toplam geçirgenlik $\tau(\theta_s)=\tau_{\downarrow scat}(\theta_s)*\tau_{\downarrow abs}$ (Güneşin konumuna bağlı olarak değişen saçılma geçirgenliği ve moleküler yutucuların çarpımı olarak) olarak ifade edilirse ve 6.29 bağıntısını kullanılarak 6.30 bağıntısı elde edilebilir. L_{ground} ile ifade edilen değer, yeryüzünden sensöre doğru yönelen ışınlam miktarıdır.

$$L_{ground} = L_{sun} * \tau_{\downarrow scat}(\theta_s) * \tau_{\downarrow abs} * \rho_g / (1 - \rho_g * \rho'_a) \quad (6.30)$$

Bu ışınlam, atmosferden uyduya gelinceye kadar aynı atmosferik bileşenlerden etkilenir. Bu durumda, ışınlam kaynağı güneş değil, yeryüzünden yansıyan toplam ışınlam miktarıdır. Ayrıca güneşin konumu değil, uydunun konumu önem kazanmaktadır.

Bunun için yukarıya doğru atmosferin geçirgenliği ($\tau(\theta_v)$), $\tau_{\uparrow scat}(\theta_v)$ ve $\tau_{\uparrow abs}$ 'ye , sırasıyla uydu zenit açısına bağlı saçılma geçirgenliği ve yutulma geçirgenliğinin çarpımı olarak ifade edilebilir.

Bu durumda, sensöre ulaşan ışınlam miktarı, yeryüzünden hedeften yansıyan toplam ışınlam artı atmosferik albedo bahsinde belirtilen atmosferden geriye saçılan ışınlamların toplamıdır (Şekil 6.24'de L_a ile ifade edilen). Atmosferdeki toplam moleküler yutulma τ_{abs} olarak ifade edilirse ve tüm terimler L_{sun} ile bölünürse, son monokromatik denklem olan 6.31 bağıntısı bulunur.



Şekil 6.24 : : Sensöre ulaşan toplam ışınlam (Parodi, 2006)

$$\rho_{sat} = \tau_{abs} * [(\tau_{\downarrow scat}(\theta_s) * \tau_{\uparrow scat}(\theta_v) * \rho_g / (1 - \rho_g * \rho'_a)) + \rho_a] \quad (6.31)$$

Tüm atmosferik düzeltmelerde bulunmak istenen en önemli parametre ρ_g 'dir . Bu denklemde bilinen parametreler;

ρ_{sat} , uydu görüntüsü kalibre edildikten sonra elde edilen yansıma değeridir. Bu değer, atmosferik olarak düzeltilmemiş değerdir.

θ_s ve θ_v , sırasıyla güneş ve uydu zenit açılarıdır. Bunlar, görüntülerin header dosyalarında bulunabilir. IKONOS uydu görüntüleri için bu değerler, ayrı bir metadata txt dosyasında verilmektedir. Yüksek çözünürlüklü uydular (küçük tarama alanı olan uydular) için bu değerler tüm görüntüde sabit kabul edilip, görüntü merkezine göre hesaplanmaktadır.

Güneşten TOA'ya ulaşan ışınım miktarı 5.14 bağıntısı ile bulunabilir.

RTM'ler ile ve çekim anındaki atmosferik bileşenlerin bilinmesi durumunda, $\tau_{\downarrow scat}(\theta_s)$, $\tau_{\uparrow scat}(\theta_v)$, τ_{abs} , ρ'_a ve ρ_a değerleri hesaplanabilmektedir.

Belli bir andaki atmosferde sabit kalan katsayıları gruplarsak, 6.31 bağıntısı 6.32 bağıntısı ile lineer bir hale dönüşür. Bu bağıntı, bölüm 6.2.2'de belirtilen metodlara da taban teşkil etmektedir.

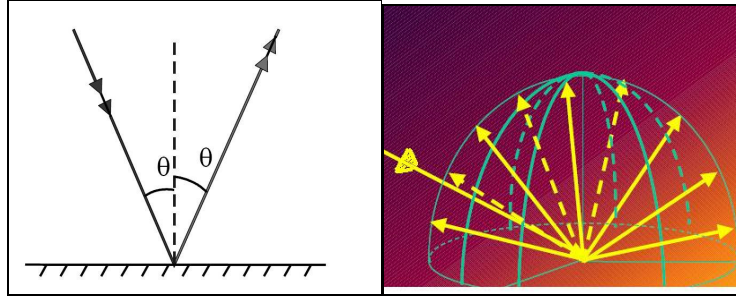
$$\rho_{sat} = A * \rho_g + B \quad (6.32)$$

A ve B katsayıları bulunduktan sonra, ρ_{sat} okumalarından kolaylıkla yersel yansıma değerleri olan ρ_g 'ye geçilebilir. Bu değer, atmosferik düzeltmeler sonucunda bulunmak istenen değerdir. Kimi yazılımlar tek bir piksel değeri için bu değeri hesaplamakta, kimi yazılımlar ise tüm bantlardaki tüm pikseller için aynı anda hesaplamaktadır.

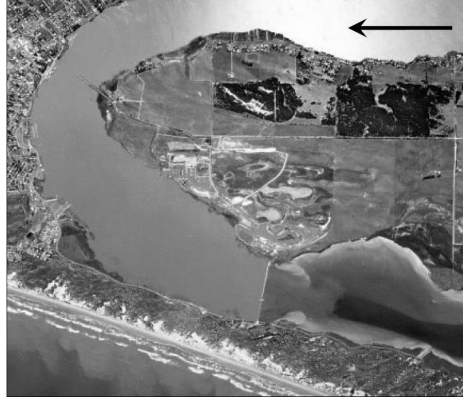
6.4. İki yönlü yansıma dağılım fonksiyonları (BRDF)

Yeryüzüne çarpıp geri dönen ışınlar, yüzey çok düzgün ise ayna yansıması (specular reflection), yüzey pürüzlü ise dağınık yansıma yapar. Dağınık yansıma ise iki türlü olur. Birincisi, 5.4 yansıma formülünün geçerli olacağı Lambertian (her yöne eşit olarak yansıma) yansıma, ikincisi BDRF ile tanımlanan (her yöne farklı miktarda yansıtan) yansıma şeklindedir. Şekil 6.25'de, ayna yansıması ve Lambertian yansıması görülmektedir. Ayna yansımasında, ışının geliş açısıyla gidiş açısı aynıdır. Bu tür

yansımalar, durgun su yüzeylerinde meydana gelir ve güneş parıltısı (sun glint) meydana getirerek, görüntüde çok parlak pikseller oluşturur. Şekil 6.26’da buna bir örnek verilmiştir. ATCOR yazılımı, lambertian yansıma göre çalışmaktadır. Güneş parıltısına, büyük tarama genişliğine sahip sensörlerde daha sık karşılaşılır.



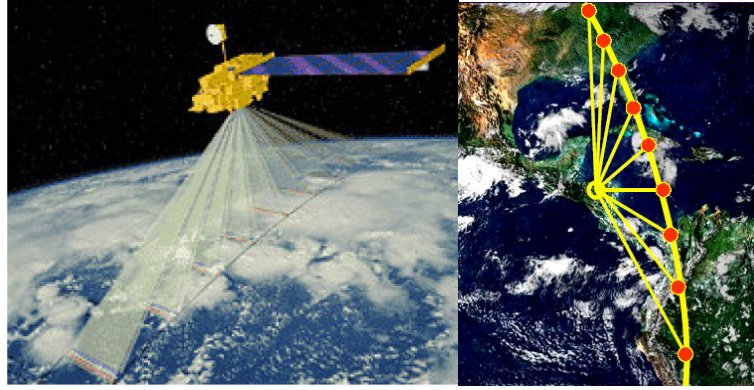
Şekil 6.25 : : Ayna ve Lambertian yansıma (soldan sağa)



Şekil 6.26 : : Güneş parıltısı (ok ile gösterilen bölgede)

BRDF, Bidirectional Reflectance Distribution Functions terimlerinin kısaltmasıdır. Yansıma burada her yönde farklıdır. Bu fonksiyonlar yansımayı, aydınlatıcı kaynağın (uzaktan algılamada güneş) ve sensörün konumunun bir fonksiyonu olarak verirler. BRDF fonksiyonları, ışınımın dalga boyu, objenin geçirgenliği, yutma özelliği, yansıtabilirliği, cismin diğer cisimlere göre konumu, obje yüzeylerinin dağılımı ve yoğunluğu gibi objenin optik ve yapısal özelliklerine göre değişir. BRDF fonksiyonları uzaktan algılamada, görüntü standardizasyonunda, görüntüler arasındaki parlaklık farklarını gidererek mozaikleme yapmada, arazi örtüsü sınıflandırmasında, bulutların maskelenmesinde, aerosollerin, yerin ve atmosferin yansıma davranışlarını incelemeye kullanılır. Günümüzde, POLDER (The Polarization and Directionality of the Earth’s Reflectances) ve MISR (Multi angle Imaging Spectroradiometer) gibi çok yönlü olarak görüntü (multi angle or multi

view) alabilen sensörler geliştirilmiştir. Bu gibi uydular BRDF fonksiyonlarının bulunmasında kullanılmaktadır. Şekil 6.27’de MISR sensörünün aynı anda birkaç görüntüyü alması görülmektedir. Sensör, TERRA uydusu üzerine bulunmaktadır. Aynı anda 9 çerçeve görüntü almaktadır. Böylece aynı bölgenin 9 ayrı açıdan çekilmiş görüntüsü elde edilmektedir.



Şekil 6.27 : MISR sensörü

Goniometre aleti ile de BDRF fonksiyonları ölçülebilir. Goniometre aleti ile sensörün çeşitli açıları için objeden gelen yansıma değerleri ölçülür. Böylelikle obje için BRDF fonksiyonu kolaylıkla bulunabilir. Şekil 6.28’de bir goniometre aleti (field gonimeter) görülebilir.



Şekil 6.28 : Goniometre aleti (NASA Web Sayfası-3)

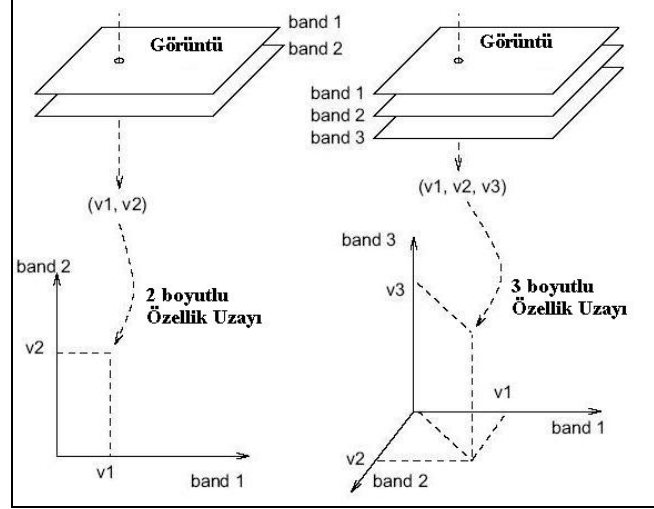
BRDF modelleri, 6S, Modtran4 ve Streamer gibi RTM’lerde entegre edilmiştir.

7. SINIFLANDIRMA

Sınıflandırmada kullanıcı bilgisayara belli kriterler tanımlayarak, bilgisayarın görüntü üzerinde yorum yapmasını sağlar. Sınıflandırmada, objelerin spektral yansımalarından yararlanır. Sınıflandırmada özellik (feature space) ve görüntü (image space) uzayından bahsetmek mümkündür. Görüntü uzayı, görüntüyü meydana getiren DN değerli piksellerin oluşturduğu 2 boyutlu uzaydır. Özellik uzayı ise görüntüdeki her bir pikselin her banttaki değerleri bir koordinat kabul edilerek oluşturulan koordinat sistemidir. Bu koordinat sisteminde birimler DN değerleridir. Şekil 7.1’de iki bantlı bir görüntü için 2 boyutlu ve üç bantlı bir görüntü için 3 boyutlu bir özellik uzayı görülmektedir. Sınıflandırmalarda bu uzaydan yararlanarak sınıflar tanımlanır. Görüntü piksellerine de çeşitli sınıflandırma algoritmaları uygulanarak piksellerin en uygun sınıfa ataması yapılır.

Girdi, çok bantlı bir görüntüdür. Çıktı ise tematik bir raster haritadır. Bu şekilde veri yükü de azaltılarak CBS’ye veri sağlanmış olur. Çünkü projelerde piksellerin yansıma değerlerinden çok, ait olduğu sınıf önemlidir. İlgili tematik raster harita, çeşitli metotlarla vektör veri haline getirilebilir. Vektör veri haline gelmesi, veri yükünü daha da hafifletir.

Sınıflandırma işlemi, kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olarak ikiye ayrılır. Kontrollü sınıflandırmada, farklı spektral grupları (cluster) temsil eden kontrol alanları kullanılarak spektral farklılıklar incelenmektedir. Kontrolsüz sınıflandırma da ise spektral olarak ayrılabilir sınıflar belirlenmekte (kontrol alansız) ve bunlardan bilgi elde etme yoluna gidilmektedir. Ayrıca sınıflandırmayı, istatistiksel olan ve olmayan şeklinde ikiye ayırabiliriz. Kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri istatistiksel temellere dayalı olarak yapılır. Yapay sinir ağları ve bulanık (fuzzy) sınıflandırma, istatistiksel olmayan yöntemler olarak sıralanabilir.



Şekil 7.1 : Özellik Uzayı (Bakker ve diğ., 2004, s.194)

Sınıflandırmada, ayırt edilecek cisimlerin farklı yansıma özelliklerine sahip olması gerekir. Bu ise cisimlerin spektral yansıma eğrilerine bakılarak yapılabilir.

Sınıflandırmada yapılan temel işlem, sınıfların özellik uzayında belirlenmesi ve görüntüdeki tüm piksellerin bir sınıflandırma algoritması seçilerek, sınıflandırma algoritmasının öngördüğü en uygun sınıfa atamasının yapılmasıdır. Sınıflandırma 5 temel adımda gerçekleştirilebilir (Bakker ve diğ., 2004, s.196);

- 1) Görüntü verisinin seçimi ve hazırlanması. Sınıflandırılacak obje ve proje amacına uygun sensör seçimi, uygun tarih ve dalga boyuna uygun bantlar seçilmelidir. Belirlenecek objeler için seçilen bantlar arasındaki korelasyon düşük olması gerekir. Aksi takdirde mükerrer bilgi üretilerek ekonomik ve zaman yönünden kayıp olur.
- 2) Özellik uzayında sınıfların (cluster) tesbiti. Burada iki türlü yaklaşım söz konusudur; kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma. Kontrollü sınıflandırmada bu, kullanıcı ile interaktif olarak gerçekleşirken, kontrolsüz sınıflandırmada algoritmaların yardımıyla iteratif ve otomatik olarak bulunur.
- 3) Sınıflandırma algoritmasının seçimi. Sınıflar özellik uzayında belirlendikten sonra, kullanıcının pikselleri hangi yöntemle (algoritma) sınıflara atayacağını belirlemesi gerekir. Bu, sınıflandırmada piksellerin DN değerleri baz alınarak yapılır.
- 4) Sınıflandırmanın yapılması. Bunun sonucunda her bir piksel, tanımlanan sınıflara ve algoritmaya uygun olarak bir sınıfa yerleştirilir.

- 5) Sonuç ürünün kontrolü ve doğruluğunun tesbiti. Bunun için yersel doğrulama (ground truth) verisine ihtiyaç vardır. Bunun için bir örnekleme yönteminin seçilmesi gerekir. Örneklemede, görüntüdeki sınıflar ve yersel doğrulama verileri belirli noktalarda karşılaştırılarak, % olarak sınıflandırma doğruluğu belirlenmektedir. Yersel doğrulama verisi olarak, daha yüksek yersel çözünürlüklü bir uydu görüntüsü, hava fotoğrafı, topoğrafik harita, GPS ölçümleri ile belirlenmiş sınıf alanları vb. kullanılabilir. Yersel doğrulama verisinin kontrollü sınıflandırmada kullanılan kontrol alanları olmaması gerekir.

Görüntü sınıflandırması, n bant kullanılarak analiz yapılabilirken, görsel yorumlama ile sadece 3 bant birlikte analiz edilir.

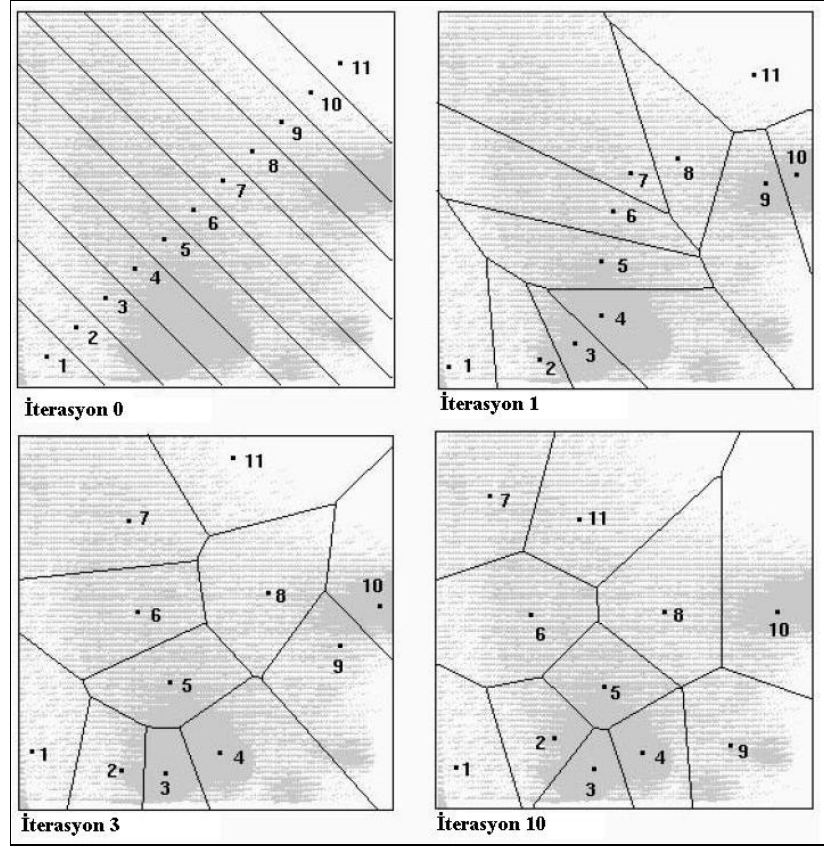
7.1. Kontrolsüz Sınıflandırma

Bölge, kullanıcı tarafından yeterli derecede bilinmiyorsa ve belirlenecek alanlar belirlenmemişse, kontrolsüz sınıflandırma uygulanabilir. Kontrolsüz sınıflandırmada, özellik uzayı sınıflandırma (clustering) algoritmaları kullanılarak sınıflandırılır. Ardışık kümeleme ve tekrarlı ardışık kümeleme (ISODATA= The Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) gibi birçok kontrolsüz sınıflandırma yöntemi vardır (**Musaoğlu, 1993**).

ISODATA sınıflandırmada, kullanıcı sınıf ve iterasyon sayısını ve bir eşik değeri tanımlar. İterasyon, bu eşik değeri ulaşıncaya kadar devam eder. Bu değer % 95 olarak tanımlanırsa, işlem iterasyonlar arasında piksellerin %95'nin sınıfları değişmeyinceye kadar devam eder (**Erdas Field Guide, 2003**). İterasyon işlemi şu şekilde yapılır;

- 1) Birinci işlemde, bilgisayar rasgele sınıf (küme) merkezleri seçer. Daha sonra pikseller spektral bakımdan hangi küme merkezine yakınsa o kümeye atanırlar.
- 2) Küme merkezlerinin bulunması işlemi iteratif olarak en uygun kümeler tanımlanıncaya kadar devam eder.
- 3) İşlem, küme merkezlerinin hareketi duruncaya kadar devam eder. İterasyon sırasında belli bir piksel sayısından küçük kümeler elimine edilir. Kümelerin son hali belli olduktan sonra sınıflandırma işlemine geçilir. Sınıflandırmada, her piksele bir sınıf atanır. Sınıflandırma sonucunda, kullanıcı isterse sınıfları birleştirebilir ya da

silebilir. Şekil 7.2’de bu işlem görülebilir. İşlemin sonucunda, küme merkezlerinin özellik uzayındaki yoğun olan bölgelerle çakıştığı görülebilir.



Şekil 7.2 : ISODATA sınıflandırma (Bakker ve diğ., 2004, s.199)

Maskleme ile su – kara ayrımı (Kıyı çizgisi) rahatlıkla yapılabilmektedir. Uygulama kısmında da anlatılacağı gibi, IKONOS NIR (4.bant) bandı kullanılarak maskleme yapıldığında, kıyı çizgisi ortaya çıkarılabilmektedir. Bunun amacı su ve kara sınıflarını ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarmak değildir. NIR bant, Su – Kara ayrımının maksimum olarak görülebildiği banttır (Ekercin, 2006).

7.2. Kontrollü Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırmada özellik uzayı, kullanıcının belirlediği örnekleme alanlarının (training areas) spektral özelliklerine göre yapılır. Kullanıcının seçtiği sınıflar spektral olarak ayırt edilebilmelidir. Yani sınıflar özellik uzayında kısmen üstü üste ya da hiç gelmemelidir.

Kontrollü sınıflandırmada, çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan yeteri sayıdaki örnek alanlar kullanılarak, piksel değerlerinden özellik dosyaları

oluşturulur. Kontrol alanlarının örneklendiği özellik dosyalarının görüntü verilerine uygulanması ile her bir görüntü elemanı(piksel), hesaplanan olasılık değerlerine göre en çok benzer olduğu sınıfa atanmaktadır (**Musaoglu, 1993**).

Kontrollü sınıflandırmada, bir çok metottan söz edilebilir. Bunlardan başlıcaları paralel kenar yöntemi (Parallelepiped classifier), en kısa uzaklık yöntemi (Minimum distance to mean classifier), en çok olasılık yöntemi (Gaussian maximum likelihood classifier) sayılabilir (**İmamoğlu, 2004**).

Kontrollü sınıflandırmada, yaygın olarak en büyük olasılık (Maksimum Likelihood) algoritması kullanılmaktadır. Bu yöntemde, bilinmeyen bir görüntü elemanının sınıflandırılması için spektral paternlerin varyans ve kovaryansı, kantitatif olarak değerlendirilir. Bu değerlendirmede, sınıf kontrol verilerini oluşturan noktalar kümesindeki dağılımın, gauss dağılımı olduğu varsayılır. Bu parametrelere bağlı olarak, belirli bir arazi örtü tipine ait görüntü elemanları için istatistiksel olasılık hesaplanır. Her bir sınıf için olasılık değerlendiriminden sonra, görüntü elemanı en çok benzer olduğu sınıfa atanır veya olasılık değeri önceden belirlenen eşik değerin altında kalan görüntü elemanları belirsiz olarak nitelendirilir (**Sunar,1991**).

Piksel bazlı sınıflandırmalarda bazı kısıtlamalar vardır. Örneğin aynı tipteki çim, büyük alanlarda farklı iklim şartları ve toprak türlerinden dolayı farklı yansıma yapabilir. Dağlık alanlardaki eğim farklılıklarından dolayı meydana gelen yansıma farklılıkları, aynı objeleri farklı sınıflara düşürebilir. Bu kısıtlamalar görüntü verisine ek bilgi ve konumsal bilgi eklemek ile mümkün olur. Örneğin tarihi arazi örtüsü haritaları ile çeşitli bölgelerdeki sınıf değişimi olasılıkları işleme katılabilir. Sayısal yükseklik modeli kullanılarak, farklı eğimlerden dolayı meydana gelen yansıma farklılıkları giderilebilir (**Bakker ve diğ., 2004, s.204-205**).

8. UYGULAMADA DEĞERLENDİRİLEN SU KALİTE PARAMETRELERİ VE ÇOKLU LİNEER REGRESYON

8.1. Su Kalitesi Kavramı ve Uzaktan Algılama ile ölçülebilme kriterleri

Su kalitesi, suyun fiziksel, kimyasal, termal ve/veya biyolojik özelliklerini anlatmak için kullanılan genel bir kavramdır. Su kalitesinin izlenmesi, çevresel sorunlarının önüne geçilmesinde önemli bir rol oynar. Klasik yollardan izlenmesi, belli dönemlerde çeşitli istasyonlardan su numuneleri alınarak ve bunların laboratuvarlarda incelenmesiyle yapılır. Bu ölçümlerle belirli bir zaman ve noktadaki değerler hassas olarak belirlenebilmektedir. Fakat bu yöntemler zaman alıcı, pahalı ve su kalitesinin izlenmesi için gerekli zamansal ve büyük su alanları için sinoptik görüşü sağlayamadığı için, bu yöntemlerle entegre olarak çalışan başka yöntemler kullanılmaktadır. İzleme, uzaktan algılama ile daha büyük alanlar için, daha ucuz ve zamansal olarak daha hızlı yapılabilir. Uzaktan algılama ile her su kalitesi parametresi ölçülemez. Suyun fiziksel özelliğini ve ısısını değiştiren parametreler doğrudan ölçülebilir. Uzaktan algılama ile ölçülebilen parametrelerin değişimi ile ilişkili olan diğer su kalitesi parametreleri ancak matematiksel modeller kullanılarak tespit edilebilir. Bu durumda uzaktan algılama verilerini kullanmak doğru olmaz. Çünkü parametrelerin, suyun yansıtabilirliğine ya da termal yayımına bir etkisi olmaz.

Askıda katı maddeler (suspended sediments), klorofiller, çözünmüş organik maddeler (humus gibi) ve yağlar (gemilerden ya da sanayilerden deşarj edilen), yüzey sularından spektrumun görünür ve termal bölgesinde gelen ışınlamaları etkiler. Bu değişimler, uzaktan algılama sensörlerinin görünür ve termal bölgesinde çalışan bantlar tarafından tespit edilebilir (Schultz ve Engman, 2000, s.288).

Ölçülecek parametre için uygun bant seçimi, su kalitesi parametresinin su içindeki konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansımaya olan etkisi doğrultusunda yapılır. Su parametreleri atmosfer gibi zamana ve mekana bağlı hızlı değiştiğinden, yersel ölçümlerle (in-situ measurements) uydu geçiş gününün aynı olması tercih sebebidir (**Schultz ve Engman, 2000, s.290**).

Uzaktan algılama ile yersel ölçümlerin karşılaştırılabilmesi için, su örnekleme noktalarının GPS ölçümleri ya da başka bir jeodezik yöntem ile koordinatlarının belirlenmesi gereklidir.

Karşılaştırmanın yapılabilmesi için uzaktan algılama verisinin, 3*3 ya da 5*5'lik piksellerinin ortalama ya da yansıma değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak yapılmalıdır (**Ritchie ve Cooper, 1988**).

Bu, her bir su örnekleme istasyonu için yapılmalıdır. Ayrıca atmosferden kaynaklanan etkiler hem görünür hem de termal bantta giderilerek, su yüzeyinden gelen ısıtım ve yansıma değerleri kullanılmalıdır. Böylece su yüzeyindeki madde miktarları belirlenebilir (**Schultz ve Engman, 2000, s.290**).

Su kalitesi parametreleri yanında, suyun yüzey sıcaklığını etkileyen faktörler de uzaktan algılama sensörlerinin termal bantlarıyla izlenebilir. Dünyada yaygın olarak elektrik santrallerinden nehirlerle, göllere ve denizlere deşarj edilen soğutma suları uzaktan algılama yöntemleri ile izlenmektedir (**Gibbons ve diğ., 1989**).

NOAA AVHRR gibi sensörlerle, büyük su kütlelerinin yüzey sıcaklıkları incelenebilmiş ve okyanusların küresel iklim üzerindeki etkilerinin (El Nino gibi) anlaşılmasında yardımcı olmuştur.

Suyun sıcaklık ve yansımaları etkileyen diğer bir faktör de yüzey üzerindeki yağ tabakalarıdır. Büyük alanları kapsayan yağ dökülmeleri uzaktan algılama ile izlenmiştir. Yağ tabakaları spektrumun görünür bölgesinde daha yüksek yansıma değerlerine, termal bölgede yağ tabakasının kalınlığına bağlı olarak daha yüksek yüzey sıcaklığının ölçülmesine neden olurlar (**Schultz ve Engman, 2000, s.298-299**).

Günümüzde su kalitesini ölçmek için özel sensörler yörüngeye yerleştirilmektedir. Bunlar, su kalitesi parametrelerinin spektral davranışlarına göre dizayn edilmiştir. Örnek olarak SeaWiFS, MOS (Modular Optical Scanner) ve OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) gibi sensörler su yüzeylerindeki klorofil değerlerini

ölçebilmektedir. MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) sensörü ile de AKM, klorofil ve bazı atmosferik parametrelerle ilgili bilgiler alınabilir. Sensörün 15 bandı mevcut olup, her bir bandın kendine has ölçme kabiliyetleri vardır. Yersel çözünürlüğü düşük olduğu için dar su yollarında kullanılmaz. Denizler, büyük göller ve okyanuslarda başarıyla ölçüm yapabilmektedir. Önümüzdeki yıllarda hiperspektral sensörlerin artmasıyla, sadece istediğimiz parametreleri ölçen bantlarla ölçüm yapabileceğiz. Bu da, parametre değişikliğinin tek bir bant üzerinden kolaylıkla izlenebilmesi anlamına gelmektedir.

8.2. Uygulamada değerlendirilen Su Kalitesi Parametreleri

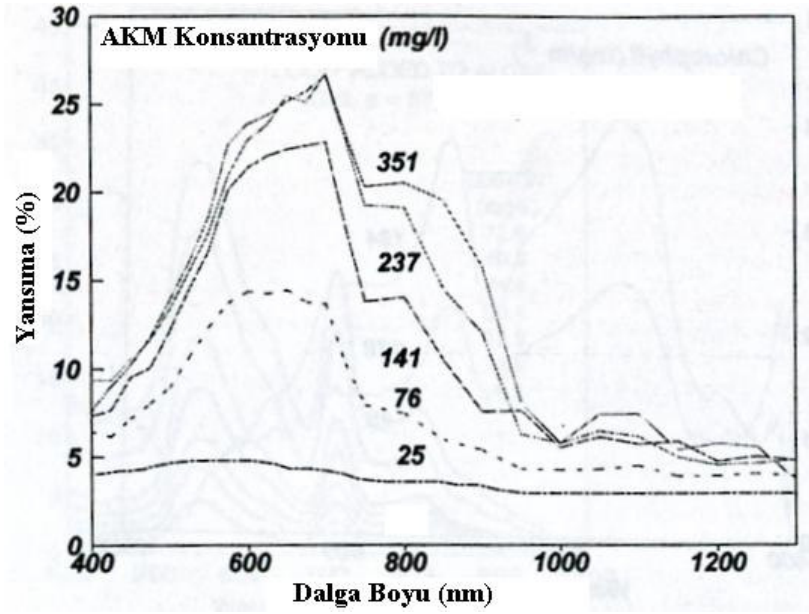
8.2.1. Askıda Katı Madde

Topraklardan kopan parçacıklar su ile uzun mesafelere taşınabildiği gibi su içerisinde uzun süre asılı kalabilir. Askıdaki bu zerrecikler suyun bulanıklığını artırdığından, güneş ışınlarının su bitkilerine ulaşmasını engeller. Bu olay, sudaki çözünmüş oksijenin azalmasına neden olur. Suyu kahverengimsi bulanık bir renk verirler (**Karpuzcu, 1984**).

Askıda katı maddeler, suyun yüzeyinden spektrumun görünür ve yakın kızılötesi kısmında yansıyan ışınım miktarını artırır (**Ritchie ve diğ., 1976**).

1.1 bölümünde anlatılan çalışmalar, su yüzeyinden gelen ışınım veya yansıma değerleri ile AKM değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Ritchie ve arkadaşlarının yaptığı yersel çalışmalar sonucunda, su yüzeyindeki AKM miktarını belirlemek için 700 ila 800 nm aralığındaki dalga boylarının en uygun olduğu görülmüştür (**Ritchie ve diğ., 1976**). Fakat Curron ve Novo'nun yaptığı çalışmalar sonucunda en uygun dalga boyunun, AKM konsantrasyonuna göre değiştiği belirlenmiştir (**Curron ve Novo, 1988**).

Şekil 8.1'de AKM konsantrasyonunun sudaki değişiminin, suyun spektral yansıma eğrisine nasıl etki ettiği görülmektedir. Veriler, bir tekneye göl yüzeyinden 50 cm yukarıya yerleştirilmiş bir spektrometre yardımıyla yapılmıştır. AKM konsantrasyonları mg / l birimindedir. Dalga boyları nm birimindedir.



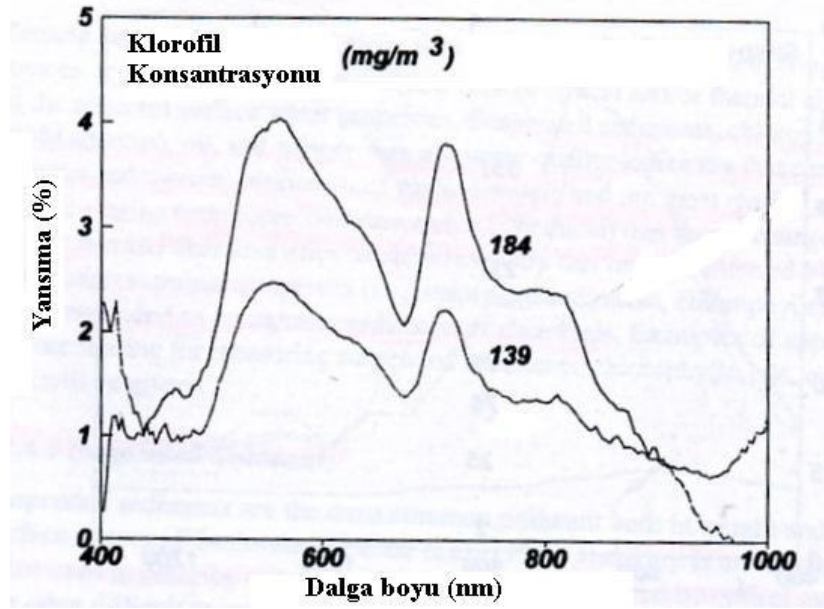
Şekil 8.1 : AKM Konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansıma eğrisine yaptığı değişiklikler (Ritchie ve diğ., 1976)

8.2.2. Klorofil-a

Chl-a, denizde gerçekleşen kimyasal ve biokimyasal proseslerin açıklanabilmesi amacıyla uzaktan algılama teknolojisi ile belirlenebilen ve yorumlanabilen bir parametredir. Chl-a parametresinin bölgelere göre değişen bir büyüklükte olması, ortamdaki temel yaşamsal fonksiyonların doğru işlediğine ait bir belirti olmasının yanında su kalitesi hakkında olumlu bir ifadedir.

Uzaktan algılama ile yapılan Chl-a tespitlerinde, dar bant ya da bant oranlarındaki ışınım ya da yansıma miktarları ve Chl-a konsantrasyonları arasındaki deneysel bağıntılar kullanılarak yapılır (Ambarwulan, 2002).

Şekil 8.2’de, Chl-a konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansıma eğrisi üzerinde yaptığı değişiklikler görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda Chl-a konsantrasyonundaki artışlar, suyun mavi dalga boyu aralığındaki yansımayı azalttığı, yeşil ve kırmızı dalga boyu aralığındaki yansımayı arttırdığı görülmüştür (Bukata ve diğ, 1995).

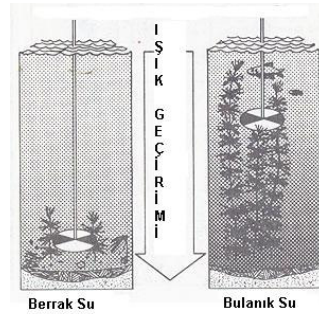


Şekil 8.2 : Chl-a konsantrasyon değişikliğinin suyun spektral yansıma eğrisine yaptığı değişiklikler (Schalles ve diğ., 1997)

Şekil 8.2’de veriler bir su tankının 1 m üzerinden spektoradyometre cihazı ile yapılmış ölçümler sonucunda elde edilmiştir.

8.2.3. Seki Disk Derinliği

Seki disk derinliği (secchi disc depth), sudaki bulanıklığı ölçen bir parametredir. Bulanıklığı, AKM konsantrasyonu gibi sudaki parçacık miktarı bazında ölçmez. Bu yöntemde, ucunda dairesel bir disk bulunan bir ip suya indirilir. Diskin suda görüldüğü maximum derinlik kaydedilir. Sudaki bulanık arttıkça seki disk derinliği değeri de azalır. Şekil 8.3’de suyun berraklığının seki diskini ile ölçümü görülmektedir.



Şekil 8.3 : Suyun berraklığının seki diskini ile ölçümü

8.2.4. Çözünmüş Oksijen

Karalarda olduğu gibi, denizlerde de çözünmüş gazların en önemlisini oksijen oluşturur. Deniz suyunda çözünmüş halde bulunan oksijen miktarı, bu miktarı azaltan ve çoğaltan başlıca iki zıt etkinin kontrolündedir. Sudaki oksijen miktarını çoğaltan faktörlerin başında fotosentez olayı, oksijence fakir yüzey sularının atmosferle ilişkide olması, akıntı ve rüzgarların etkisi gösterilebilir. Buna karşın suda çözünmüş oksijen miktarını azaltan faktörlerin başında bitki ve hayvanların solunumu, oksidasyon olaylarını içeren çeşitli kimyasal ve biyolojik olaylarla (organik maddelerin çürümesi v.b.) atmosferle ilişkide olan ve oksijence daha zengin yüzey sularından oksijen kaybı söylenebilir. Denizel ortamda oksijenin korunması, geriye dönüşü zor şartların oluşumunu engellemek açısından çok önemlidir (**Hacı, 2003**).

Su sıcaklığı da direkt sudaki çözünmüş oksijen miktarını etkiler. Yapılan çalışmalarla su sıcaklığının artışı ile beraber sudaki çözünmüş oksijen miktarının düştüğü görülmüştür. Bununla da beraber suyun kirlenme eğilimi de artmaktadır (**Abu Daya, 2004**).

Bazı parametrelerle ilişkili olarak değişen çözünmüş oksijen miktarı, suyun ışık geçirgenliğini doğrudan etkilemez. Fekal koliform parametresi için de bu geçerlidir (**Sarıkaya, 2006**).

Weiss'in yaptığı çalışmalarla, deniz suyu sıcaklığı ve tuzluluğuna bağlı olarak bazı ampirik bağıntılar elde edilmiştir (**Weiss, 1970**).

8.2.5. Fekal Koliform

Koliform bakteriler, sularda mikrobiyolojik kirliliğin izlenmesinde indikatör olarak tercih edilen mikroorganizmalardır. Bunların arasında, fekal koliform grubu bakteriler, fekal materyal üzerinde tespit edilmeleri nedeniyle kirliliğin kaynağının spesifik olarak tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, yapılan su kalitesi izleme çalışmalarında genellikle indikatör olarak fekal koliform grubu seçilmektedir (**Hacı, 2003**).

Fekal koliform değerinin belirli bir değerin üzerinde olması, o suyun hastalık saçmasına neden olur. Bu nedenden dolayı plajlarda periyodik olarak fekal koliform değerleri ölçülür ve değeri yüksek olan yerler yüzmeye yasaklanır.

Uzaktan algılama ile termal bantlarla yapılan birkaç çalışmayla, sulara dökülen kirli sular tespit edilmiştir. Kirli sular (atıksu), diğer sulara göre sıcaklıkları fazla olduğundan termal bantta tespit edilebiliyor.

8.3. Haliç'te Su Kalitesini belirlemek için yapılan yersel ölçümler

1990'lardan önce Haliç'te su kalitesi değerlerini belirlemek için ciddi bir çalışma yapılmamıştır. Zaman zaman bazı çalışmalar yapılmışsa da bunlar sınırlı kalmıştır. Bunların en önemlileri 1986 yılında İstanbul Kanalizasyon İdaresine ODTÜ tarafından yapılan çalışmadır. Ama 1994'den sonra Haliçteki kirliliği belirlemek için ciddi anlamda çalışmalar başlatılmış ve kirliliği önlemek için gerekli olan bazı projeler yapılmaya başlanmıştır (İmamoğlu, 2004).

Özellikle 1998'den sonra İSKİ, Haliç ile ilgili düzenli olarak ölçümler yaptırmış ve bunları değerlendirmiştir. İSKİ tarafından İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsüne yaptırılan bu çalışma her dönem rapor halinde sunulmaktadır.

Tablo 8.1'de bir istasyon için ölçülen parametreler görülmektedir. Bu parametrelerin yanında Chl-a miktarı da µg/L olarak ölçülmektedir.

Tablo 8.1: Örnek su numune ölçümleri

İstasyon Adı	Gözlem Derinliği (m)	Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (ppt)	Sigma- t	Seki Disk Der.(m)	ÇO mg/L	BOİ mg/L	AKM mg/L	F.Koli FC/100ml	PH
Galata K.	0.5	13.34	19.29	14.20	8	9.26	1.04	21.67	124	7.9
	2.5	13.35	19.29	14.20		9.28		22.33	190	8.15
	5.0	13.34	19.30	14.21		9.40		23.67	520	8.19
	10.0	13.31	19.41	14.30		9.27		25.67	420	8.21
	20.0	13.02	20.96	15.54		8.56		21.00	980	8.15
	25.0	14.40	30.97	22.99		6.58		32.67	320	8.04
	38.0	15.54	38.34	28.43		2.37		48.00	443	7.85

8.4. Çoklu Lineer Regresyon

Bir değişkendeki değişimin, diğer bir değişkeni nasıl etkilediğinin analizi olan regresyon analizi, diğer birçok uygulamada olduğu gibi uzaktan algılanmış verilerin istatistiksel değerlendirmesinde de kullanılmaktadır (Sunar, 1991).

Sudaki parametrelerin optik özelliklerinin zaman ve mekana bağlı değişimlerinin sonucunda, her bölge için ayrı algoritmalar geliştirmek gerekir. Bunun nedeni nehir debi, sediment miktarları, fotoplankton miktarlarındaki düzensiz değişimler gibi pek çok nedene bağlı olarak gerçekleşmektedir (Keiner ve Yan, 1998).

Bu nedenlerden dolayı da yersel ölçümler, uydu geçiş zamanına yakın olmalıdır. Uzaktan algılama ile su kalitesi parametrelerinin saptanması için kullanılan yaygın metotlarda yansıma değerleri kullanılmaktadır (Ambarwulan, 2002).

Uzaktan algılamada su kalitesi parametrelerinin tespitinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan istatistiksel yaklaşımda, su parametrelerinin yüzey konsantrasyonları ve su yüzeyinden yansıyan yansıma ya da ışıınım miktarları arasında istatistiksel bir ilişki hesaplanır. Bunun için regresyon yöntemlerinden yararlanılır (Ambarwulan, 2002).

Aşağıdaki çoklu lineer regresyon denklemi su kalitesi parametreleri araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [(Hellweger ve diğ., 2004), (Üstün ve diğ., 2006), (Lillesand ve Kiefer, 2004, s.615-617)];

$$SKP = a + b * BND1 + c * BND2 + + m * BND(n) \quad (8.1)$$

SKP = İlgili istasyon noktasında yersel olarak ölçülen su kalitesi parametresinin yüzey konsantrasyonu

a, b, c,, m = Bilinmeyen model parametreleri (Çoklu lineer regresyon sonucunda bulunacak katsayılar)

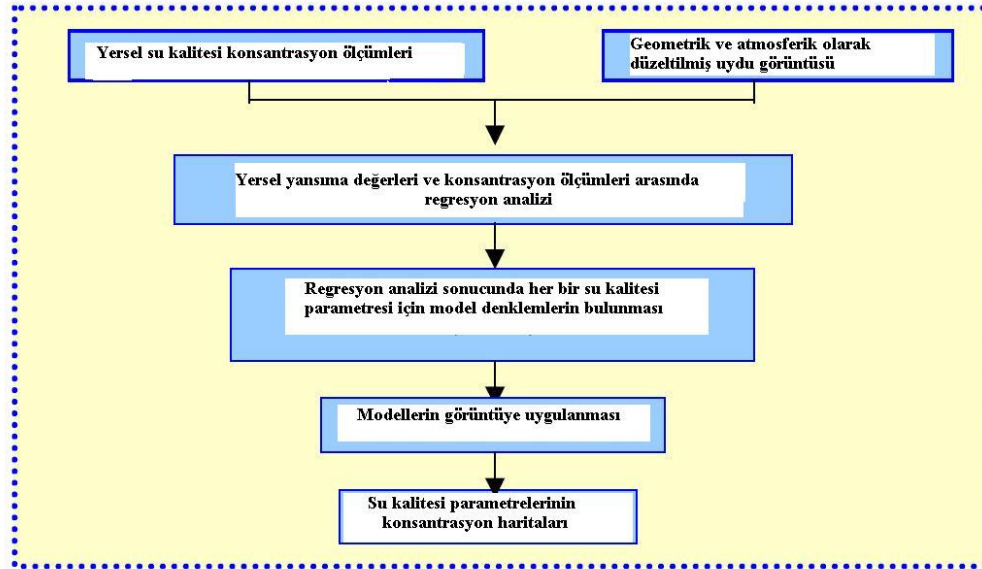
BND1, BND2,, BND(n) = İlgili istasyon noktasında n bantlı uydu görüntüsünün bantlara göre yersel yansıma ya da ışıınım değerleri.

Denklem, her bir su kalitesi parametresi için uygulanır. 1 denklemden bilinmeyen katsayılar çözülemeyeceğinden, en az n+1 istasyona ihtiyaç duyulur. Bu rakamdan fazla istasyon olması halinde, bilinmeyenler en küçük kareler yöntemine göre dengelenerek bulunur. IKONOS uydu görüntüsü için 4 bant olduğundan, minimum 5

istasyon noktasına ihtiyaç duyulur. Her bir su kalitesi parametresi için bir denklem bulunur. Bu denklemde artık model parametreleri bilinmektedir. Değişken olan ise BND değerleridir. Bu da, atmosferik olarak düzeltilmiş uydu görüntüsünden elde edilir. Bulunan modeller görüntü üzerine uygulanırsa, her bir su kalitesi parametresi için bir konsantrasyon haritası elde edilir. Bu işlem, Erdas Imagine yazılımının Modeler fonksiyonları kullanılarak kolaylıkla yapılabilir.

Regresyon sonucunda, her bir su kalitesi modelinin korelasyon katsayıları (R^2) hesaplanmalıdır. Bu ise çoklu regresyon ile bulunan denklemler ile hesaplanan su kalitesi parametre değerlerinin, yersel olarak ölçülen değerlerle karşılaştırılması ile olur. Regresyon analizinin doğruluğunun göstergesi olan korelasyon katsayısının 1'e yakınlığı, değişkenlerin büyük bir kısmının regresyon doğrusu üzerinde olduğunun göstergesidir. Bu ise korelasyonun iyi olduğunu ortaya koyar (Sunar, 1991).

Bu işlemin iş akış şeması şekil 8.4'de gösterilmiştir.



Şekil 8.4 : Regresyon analizi iş akış şeması

8.4.1. Çoklu Regresyonda dikkat edilecek hususlar

Çoklu regresyona geçilmeden önce, uydu görüntülerinin geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmalıdır. Uydu geçiş ile yersel su ölçümlerinin zamanı mümkün olduğu kadar birbirine yakın olmalıdır. En iyi doğruluğu elde etmek için tüm istasyonlardaki su numune toplama zamanları ve uydu geçiş zamanı aynı olmalıdır. İstasyon noktalarının sayısı da önem arz etmektedir. Doğruluk, nokta sayısının artmasıyla artar (Ambarwulan, 2002).

Su kalitesi çalışmalarında istasyon noktasında ölçülen yansıma değeri yetmez. Homojenliği sağlamak için, istasyon civarındaki 3*3 ya da 5*5'lik piksellerin aritmetik ortalamaları alınarak, bu ortalama değerler regresyon hesabına sokulur.

Bazı durumlarda, istasyonların karaya çok yakın oluşu nedeniyle, istasyonun kendi yansıtma değerinin yanı sıra bölgelerinden yansıyan ışınımın da etkili olmasından dolayı, 3*3 ya da 5*5'lik ortalama değerler yerine sadece o istasyona ait piksel değeri değerlendirmede kullanılır (**Sunar, 1991**).

Sudan gelen yansımayı etkileyen durumların da hesaba katılması gerekir. Bunlar; Suda oluşan dalgalar nedeniyle oluşan yansıma farklılıkları, güneşin bazı durumlarda neden olduğu ayna yansımasının (specular reflection) neden olduğu aşırı parlak pikseller, sığ kısımlarda yaşanan dip yansımaları nedeniyle oluşan yansıma farklılıklarıdır.

İstasyon noktalarının konumu, su parametrelerinin konsantrasyonu, uydu görüntüsünün geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltmesinin doğruluğu, uydu geçişi ve su ölçüm zamanları arasındaki fark ve istasyon sayısı direkt olarak regresyon analizinin sonuç doğruluğuna etki etmektedir.

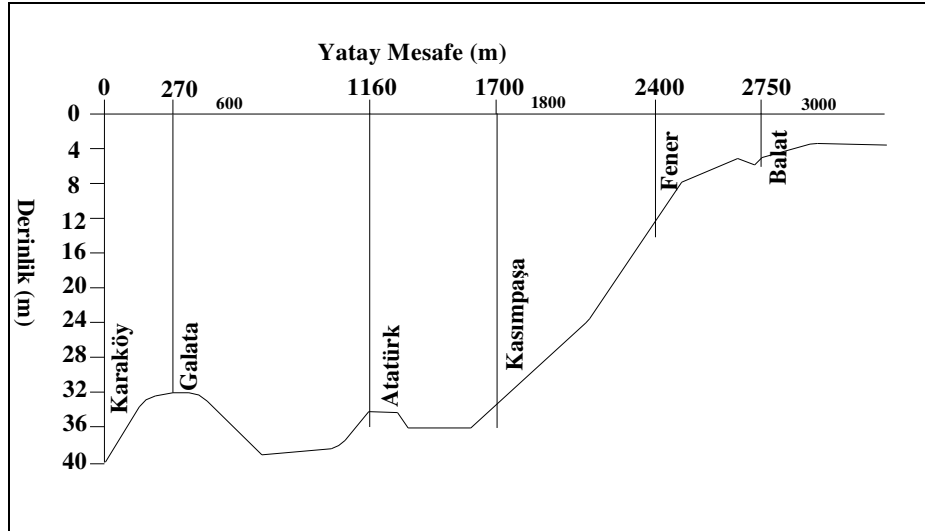
9. UYGULAMA

9.1. Uygulama Alanı

Haliç, Avrupa yakasında ve Boğaz'ın güney girişinde Sarayburnu mevkiinden başlayıp, Kağıthane ve Alibey derelerine kadar güney doğu ile kuzey batı yönünde kıvrılarak uzanan yaklaşık 7,5 km uzunluğunda en geniş yeri Cibali ile Kasımpaşa arasında 700 metrelik bir genişliği bulunan bir deniz parçasıdır (**Eroğlu ve diğ., 2001**).

Yakın zamana kadar Altın Boynuz adı ile tabii güzelliği, suyu ve havzası ile İstanbul'un en müstesna bir semti olan Haliç, son 30-40 yıl içinde Türkiye'de çevre ve su kirlenmesinin kronikleştiği bir ortam haline gelmiştir. Haliç'te su kirlenmesi çok önceleri başladığı halde bu tehlikeyi önleyecek tedbirlerin alınmasında geç kalınmıştır (**Eroğlu ve diğ., 2001**).

Şekil 9.1'de Haliç'in derinliklerini gösteren bir boy kesiti verilmiştir.



Şekil 9.1 : Haliç'in boy kesiti (Karpuzcu, 1975)

Geçmişte, çeşitli deşarj noktalarından ve atıkları taşıyan derelerden gelen kirlilik yükü nedeniyle bölgedeki su kalitesi çok bozulmuştur. Oşinografik çalışmalar, Haliç suyunun, giriş kısmı civarındaki Boğaz suyunun özelliklerine çok yakın özellikler

taşıdığını göstermiştir. Eski Galata Köprüsü taşınmadan önceki ölçümler, Boğaz'dan giren iki tabakalı suyun Haliç'in karakteristik sıcaklık, tuzluluk ve oksijen içeriğini sağladığını, fakat yüzeydeki 2-3 metrelik kısmın endüstriyel ve evsel atıkları taşıyan yüzey deşarjları nedeniyle önemli ölçüde kirlendiğini göstermektedir. Deşarjlarla giren tuzsuz su, yüzey tabakasının yoğunluğunu kısmen düşürmüş ve kirletici maddeler nedeniyle de oldukça yoğun askıda katı madde taşıyarak güneş ışınlarının ilk 1-2 metrede emilimine sebep olmuştur (Sur ve diğ., 2001).

Haliç'te su kirlenmesinin başlıca sebepleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Eroğlu ve diğ., 2001):

- Evsel atıksular
- Sanayi kaynaklı atıksular
- Katı atıklar, çöpler
- Derelerden ve yamaçlardan gelen sürüntü malzemeleri
- Diğer atıklar (Tersane ve gemi söküm yerleri ile deniz motoru ve gemilerin atıkları, mezbaha organik atıkları, yer kazanmak için yapılan doldurmalar, çöpler ve diğer atıklar olarak sıralanabilir.)

15. yy.'ın ikinci yarısında inşa edilmiş Camialtı ve Taşkızak tersaneleri önceleri ahşap deniz tekneleri inşa ettiğinden Haliç'i kirletmiyorlardı. Ancak daha sonraları metal levhalarla gemi inşaatına geçilmesi, kirliliğin artmasına neden olmuştur (Baştürk ve diğ., 2001).

1998 yılından sonra tersanelerde imalat durmuş, sadece küçük çaplı bakım onarım işleri yürütüldüğünden, denize deşarjlar bu yıldan sonra olmamıştır (Acar, 2006).

Haliç'teki kirlilik, İSKİ'nin (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) üstlenmiş olduğu Güney ve Kuzey Haliç projeleri ve Haliç dip çamurunun taranıp uzaklaştırılması projeleri ile büyük ölçüde temizlenmiştir.

9.2. Uygulama konusu ve amacı

IKONOS uydu görüntüleri ve İSKİ tarafından İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsüne belli dönemlerde yaptırılan su kalitesi ölçümlerinden AKM, Seki Disk, Chl-a, çözünmüş oksijen ve fekal koliform parametreleri arasında çoklu lineer

regresyon yaparak, uydu görüntülerinin yansıma değerleri ve bu parametreler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını araştırmaktır. Uygulama, şekil 8.4'teki gibi özetlenebilir. Uygulamanın gerçekleştiği Haliç bölgesinin taban topoğrafyasını ve bölgeyi tanımlayacak şekilde kodlanmış oşinografik istasyon adları Şekil 9.3'de verilmiştir. Derinlikler metre cinsindendir. Bu oşinografik istasyonlar çoklu lineer regresyon için alınan noktalardır. Şekil 9.2'de Haliç'in bulunduğu bölge kırmızı bir poligon içine alınarak gösterilmiştir. Tablo 9.1'de ise İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından UTM (Universal Transversal Merkator) projeksiyon sisteminde WGS 1984 elipsoid ve datumuna göre (35North UTM Bölgesine düşmektedir.) el GPS'i ile ölçülmüş oşinografik istasyonların enlem ve boylamları derece dakika saniye cinsinden görülmektedir. Koordinatların bulunduğu bu sistem, IKONOS uydu görüntülerinin koordinat sistemiyle aynıdır. Dolayısıyla uygulamada herhangi bir koordinat dönüşümüne gerek kalmamıştır.



Şekil 9.2 : Haliç'in İstanbul'da bulunduğu bölge (Kırmızı poligon ile içine alınan)

Tablo 9.1: Oşinografik istasyonların koordinatları

İstasyon Adı	Enlem	Boylam
Galata K.	41 01 14.1 N	28 58 22.86 E
Unkapanı	41 01 28.2 N	28 57 53.28 E
Kasımpaşa	41 01 50.91 N	28 57 53.00 E
Cami altı	41 01 53.88 N	28 57 21.24 E
Eski Köprü(Valide Sultan)	41 02 19.73 N	28 56 51.39 E
Haliç Köp.	41 02 36.42 N	28 56 33.72 E
Eyüp-Sütlüce	41 02 54.36 N	28 56 18.42 E
Adalararası	41 03 13.32 N	28 56 28.98 E
Adalar Sonrası	41 03 32.28 N	28 56 51.36 E

Uygulama, aşağıdaki adımlar olarak özetlenebilir;

1) ATCOR yazılımı ile yersel yansıma görüntülerinin oluşturulması. Bunun için uydu görüntüleri ile beraber gelen metadata bilgileri, radyozonde ve ruyet verileri kullanıldı. ATCOR yazılımının IKONOS sensörüne has spektral kütüphaneleri kullanarak uydu görüntüsü için özel kalibrasyon dosyası oluşturuldu. Bu işlem bölüm 9.4.4.'de ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2) Yersel yansıma görüntüleri elde edildikten sonra, bunlar ölçülen su kalitesi parametrelerinin yüzey konsantrasyon değerleriyle çoklu regresyon analizine girdi olarak sokuldu. Her bir istasyondaki yersel yansıma değerleri okundu. Bunun için her istasyonda, 3*3 ve 5*5'lik pencerelerdeki komşu piksellerin aritmetik ortalamaları alınarak regresyon hesabına sokuldu. 3*3 ve 5*5'lik ortalama değerlerin kullanılmasının amacı, her iki veri setinin regresyon sonuçlarını kıyaslamaktır. Bu şekilde regresyon denklemleri elde edilmiştir.

3) Görüntüde su-kara ayrımının yapılması. Maskeleme ve NIR bandı (orijinal bant ile) kullanılarak bu işlem gerçekleştirildi. Haliç'in kıyı çizgisi sayısallaştırılarak bir AOI (Area of Interest) dosyası oluşturuldu. Bu bilgilerle elde edilen görüntü (sadece su alanlarını içeren) ile diğer yersel yansıma görüntüleri maskelenerek regresyon

Uydu görüntüsü verileri olarak 3 farklı tarih alındı. Bunlar;

28 / 11 / 2001 (11:19 yerel saati ile)

25 / 10 / 2004 (12:11 yerel saati ile)

22 / 03 / 2005 (11:02 yerel saati ile)

İlgili görüntülerin 3,2,1 bant kombinasyonu ile önizlemeleri ve metadata bilgileri eklerde verilmiştir (Şekil A.1, A.2 ve A.3 ve devamında metadata dosya bilgileri verilmiştir). Görüntüler görüntü sağlayıcı firmadan GeoTIFF formatında 4 Bant 4 Dosya olarak geldiğinden, bunlar öncelikle Erdas Imagine yazılımının Layer Stack fonksiyonu kullanılarak 4 bandın tek bir img (Erdas'ın raster görüntü formatı) dosyası altında toplanması sağlanmıştır. Mavi 1. bant, Yeşil 2., Kırmızı 3. ve NIR bandı da 4. bant olarak atanmıştır. Erdas'ın kendi formatı olan img uzantılı raster görüntü dosyalarını kullanmanın avantajı, Erdas'ın içinde kullanılan tüm raster fonksiyonlarının bu dosya tipi üzerinde uygulanabilmesidir. TIFF dosyalarında belli başlı işlemler yapılabilir. Sonuç img dosyası daha sonra istenirse tekrar TIFF ya da başka bir formata export edilebilir.

Metadata dosyalarında yer alan ve uygulama açısından önem arz eden “DRA” parametresidir. “DRA” özelliğinin “OFF” olması gereklidir (**ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-1**).

Ayrıca radyometrik değerlerin korunması için “en yakın komşuluk” yeniden örnekleme metodunun tercih edilmesi gerekir.

Tüm görüntülerde %0 bulutluluk oranı bildirilmiştir. Fakat 2001 ve 2004 görüntülerinin bazı kesimlerinde pus görülmektedir. Pus ve sis gibi atmosferik olaylar, bulutluluk oranı içine katılmamaktadır.

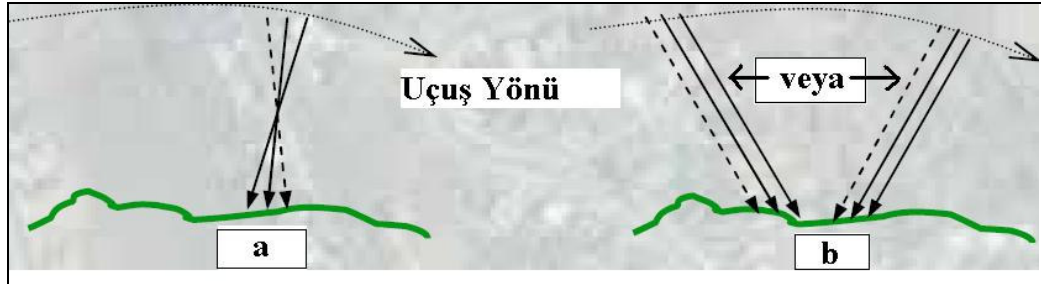
Atmosferik düzeltme açısından önem arz eden diğer parametreler ise; uydunun ve güneşin çekim anındaki azimut ve yükseklik ($= 90^\circ - \text{zenit açısı}$) açıları.

Bu değerler, ATCOR'da girdi olarak işleme girmektedir.

Metadata dosyalarında bulunan diğer parametreler; MTFC, Tarama yönü, TDI Mode.

Bunları kısaca açıklamak gerekirse;

IKONOS uydusunun iki türlü tarama yönü vardır; İleri ve geri tarama. Bu ise, şekil 9.4' te gösterilmiştir. Kesikli çizgiler ilk taranan yerlerdir. a, ileri tarama (forward) ve b ise geri (reverse) taramayı ifade eder.



Şekil 9.4 : IKONOS Pushbroom Tarama modları

İleri tarama modu, seri çekim yapılacağı zamanlarda uygulanarak uydu gövdesinin hareketi için gerekli olan zamanı azaltır. Örnek olarak birkaç komşu şeritini aynı anda alması durumunda, bu mod uygulanır. Tek çerçeve çekimlerinde geri tarama modu tercih edilir (Baltsavias, 2005).

TDI ve MTFC: Pankromatik bandı ile ilgili terimlerdir. Pankromatik bandı bu uygulamada kullanılmamıştır. TDI teknolojisi genellikle yüksek yersel çözünürlüklü uydularda kullanılır. IKONOS TDI teknolojisinde dikdörtgen CCD çipi 32 bölüme (stage) bölünmüştür. Bu bölümlerin her biri objeden gelen ışınımı okur ve kaydeder. Daha sonra TDI'nin sonunda bulunan veri kaydedici (readout register) ile bu ışınımın toplamı objeden gelen ışınım olarak kaydedilir. Böylece objeden gelen ışınım daha uzun süre okunarak daha güçlü sinyal elde edilmiş olur. IKONOS'ta genellikle 13 TDI modu kullanılır. Bunun anlamı, 13 satır TDI işlemini görüyor demektir. Fazla satırın işleme girmesi aşırı parlak piksellere neden olur (Baltsavias, 2005).

TDI teknolojisi ile beraber MTFC yöntemi de pankromatik görüntüye uygulanır. Bunun amacı TDI'dan dolayı meydana gelen sinyal karışmalarını (görüntüde bulanıklaşmayı) düzeltmek ve daha keskin bir görüntü elde etmektir. Fakat bunun sonucunda uçuş yönü doğrultusundaki keskin hatlar bulanıklaşır. Bu da özellikle otomatik kenar çıkarım algoritmaları için büyük bir dezavantajdır (Baltsavias ve diğ., 2001).

DRA ve MTFC işlemleri, Space Imaging firması tarafından son kullanıcıya gelmeden yapılır. Fakat kullanıcının bu seçenekleri açıp kapatması gibi seçenekleri mevcuttur. Quickbird sensörüyle alınan görüntülerde böyle bir seçenek son kullanıcıya sunulmamıştır.

Uygulamada kullanılan uydu görüntülerinin geometrik ve radyometrik özellikleri tablo 9.2’de verilmiştir.

Tablo 9.2: Uygulamada kullanılan IKONOS görüntülerinin geometrik ve radyometrik özellikleri

IKONOS Geo Ürün	Ürün Tipi	Dosya Formatı	Harita Proj.	Datum/Elipsoid	Rad.Çöz..	DRA/Enterpolasyon Metodu
± 15 m Standart yatay doğruluk (Rölyef hataları hariç)	4m MSI (Çokbantlı)	GeoTIFF	UTM	WGS84	11 bit	DRA OFF Nearest Neighborhood

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından yapılan su kalitesi ölçüm verileri, her biri uydu geçiş tarihine en yakın olacak şekilde seçildi. Tarihler sırasıyla, 29/11/2001, 26/10/2004 ve 23/03/2005’tir. Uygulamada seki disk derinliği, 0.5 m gözlem derinliğindeki AKM, Chl-a, fekal koliform ve çözünmüş oksijen konsantrasyonları kullanıldı. Ölçümlerde ayrıca sıcaklık, tuzluluk, BOİ (Biyokimyasal oksijen ihtiyacı) ve PH değerleri de ölçülmüştür. IKONOS sensöründe termal bant olmadığından sıcaklık değerlendirilememiştir. 29/11/2001 ve 26/10/2004 tarihleri için 9 istasyon, 23/03/2005 tarihi içinse 2 istasyon ölçümü vardır (AKM, F. Koli, ÇO ve seki disk parametre ölçümleri için). Chl-a ölçümleri için 29/11/2001 tarihi için 7, 26/10/2004 ve 23/03/2005 tarihleri içinse 9 istasyon ölçümü yapılmıştır. 23/03/2005 tarihi için AKM, F. Koli, ÇO ve seki disk parametre ölçümleri az olduğundan dolayı (iki adet), bu tarih ve parametreler için değerlendirme yapılamamıştır. Bu ölçümler tarih sırasına göre eklerde verilmiştir (Tablo A.1, A.2, A.3, ve Chl-a ölçümleri Tablo A.4 ‘te verilmiştir.)(**Su Kalitesi İzleme Çalışması Yıllık Raporları, 2001, 2004, 2005**).

Meteoroloji Gn. Md.'lüğünden alınan meteorolojik veriler olarak, su kalitesi ölçüm ve uydu geçiş günlerine ait günlük toplam yağış miktarları, uydu geçiş günleri için ravinsonde ve ruyet ölçümleri alındı.

Su kalitesi ve uydu geçiş günleri için günlük toplam yağış miktarının alınmasının nedeni, yağışın yüzey su kalitesini değiştirebileceğinden dolayıdır. Derelerden ve yağmursuyu kanallarından gelebilecek sular, yüzeyin su kalitesi karakteristiklerini değiştirir.

Uydu geçiş günleri için alınan ravinsonde ve ruyet ölçümleri, atmosferik düzeltme işleminde girdi olarak kullanıldı. Ravisonde bilgilerinden her bir görüntü için ATCOR standart atmosfer tipi belirlendi. Bu konu bölüm 9.4.2.'de anlatılacaktır.

Ravinsonde ve ruyet bilgileri 17062 istasyon kodlu İstanbul Göztepe meteorolojik istasyonundan, günlük toplam yağış bilgileri ise 17061 istasyon kodlu İstanbul Kireçburnu istasyonundan alındı. Uygulamada kullanılan parametreleri içeren radyozonde verilerin çıktısı toplam 30 sayfa tuttuğundan, tezin ekinde verilen CD'de Ek 1 klasörü içinde radyozonde_verileri.xls dosyası olarak verilmiştir. Radyozonde ölçümleri için her bir görüntü tarihi için atmosferde düşeyde bulunan toplam su buharı miktarı u da hesaplanmıştır. Her bir uydu geçiş tarihi için hesaplanan u değerleri bölüm 9.4.2.'de verilmiştir. Tüm radyozonde verileri yerel saatte 12:00'de yapılmıştır. Diğer ravinsonde parametreleri, uygulamada kullanılmadığından ekteki dosyada verilmemiştir. Ruyet ve toplam günlük yağış miktarları tablo 9.3'te verilmiştir.

Tablo 9.3: Ruyet ve günlük toplam yağış bilgileri

Tarih	Ruyet (km)	Günlük Toplam yağış (mm)
28/11/2001	15 KM	0
29/11/2001	-	0
25/10/2004	15 KM	0
26/10/2004	-	0
22/03/2005	15 KM	0
23/03/2005	-	0

Verilerin zaman açısından karşılaştırılması tablo 9.4'te yapılmıştır. Tüm saatler yerel saatte verilmiştir.

Tablo 9.4: Veri ölçüm tarihlerinin karşılaştırılması

Uydu Geçişİ	Su Kalitesi Ölçümleri	Ruyet Ölçümleri	Radyozonde Ölçümleri
28/11/2001 11:19	29/11/2001 11:00-15:00	28/11/2001 14:00	28/11/2001 12:00
25/10/2004 12:11	26/10/2004 10:00-14:00	25/10/2004 15:00	25/10/2004 12:00
22/03/2005 11:02	23/03/2005 11:00-12:00	22/03/2005 14:00	22/03/2005 12:00

9.4. ATCOR yazılımı ile yersel yansıma görüntülerinin oluşturulması

9.4.1. ATCOR yazılımında girdiler ve işlem sırası

Atmosferik düzeltme düz olan su yüzeyi üzerinde yapıldığından, ATCOR2 modülü kullanıldı.

Sırasıyla şu işlemler yapılır;

1) Güneş azimut ve zenit açıları bilinmiyorsa, ATCOR güneş konum hesaplayıcı modülü ve uydu görüntüsünün metadatasından alınacak çekim tarihi, saati ve görüntü merkezinin enlem ve boylamları ile bu parametreler hesaplanır. IKONOS uydu görüntüleri için bu değerler metadata dosyasında verildiğinden bu işleme gerek kalmamıştır.

2) Yeni bir ATCOR2 projesi açılır. Girdi görüntü dosyası (orijinal DN değerlerinin içeren 4 bantlı layer stack dosyası), yersel yansıma değerlerini içerecek dosyası, uydu çekim tarihi, hesaba girecek bantlar, ölçek çarpımları, sensör tipi, kalibrasyon dosyası (DN değerlerinden ışıyım değerlerine geçiş için katsayılar dosyası), güneş zenit açısı ve görüntü ortalama yüksekliğinin tanımlanması gereklidir. Atmosferik değişkenler sekmesinde görüş mesafesi (km olarak), aerosol tipi, standart atmosfer tipi ve termal bölge için sadece atmosfer tipi tanımlanır.

3) Modül olarak sırasıyla, Spectra (Seçilen objelerin spektral yansıma eğrilerinin kütüphanede bulunan eğrilerle, görüş mesafesi, aerosol ve atmosfer tipinin iteratif olarak değiştirilmesi ile eşleştirilmeye çalışılması için kullanılan modüldür), pus giderimi ve atmosferik düzeltme işlemlerinin yapıldığı “Run Correction” modülü ve LAI ve FPAR gibi indeks haritaların elde edilmesi için gerekli “Value Adding” modülü kullanılır. Uygulamada yersel yansıma değerlerine ihtiyaç olduğundan ilk üç modül kullanılmıştır.

4) IKONOS görüntülerinde 11 bit radyometrik değerinin korunması için “Factor for Reflectance” değerinin 10 seçilmesi gerekir. Aksi takdirde, çıktı ürün 8 bit radyometrik değerinde olacaktır. 10 ile çarpılması durumunda, sonuç üründe yersel yansıma değerlerini bulmak için, DN değerleri 10’a bölünmelidir.

5) Kalibrasyon dosyası tanımlanması : ATCOR yazılımında radyometrik düzeltme için kalibrasyon dosyaları tanımlanmıştır. ATCOR, tüm sensörler için bu dosyaları kendi Cal klasöründe tutmaktadır.

ATCOR DN değerlerinden ışıınım değerlerine geçişte aşağıdaki bağıntıyı kullanır.

$$L_{\lambda} = C0 + C1 * DN \quad (9.1)$$

Burada, C0 ve C1 şekil 5.2’de gösterildiği gibi, sırasıyla öteleme (offset) ve eğim (gain) olarak ifade edilebilir. ATCOR ‘da ışıınım birimi olarak $mW \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ kullanılır. IKONOS sensörü için gelen default kalibrasyon dosyası şekil 9.5’te verilmiştir. Space Imaging firmasının verdiği katsayılar ve 9.1 bağıntısı dikkate alınırsa, bu değerler bulunabilir. Katsayılar, 11 bit’lik ve 22/02/01 tarihinden sonraki görüntüler için geçerlidir. Sol üst köşede bulunan 4 rakamı, bant sayısını ifade eder. IKONOS görüntülerinde öteleme katsayısı olmadığından C0 değerleri tüm bantlar için sıfır verilmiştir.

4	c0	c1	[mW/cm2 sr micron]
1	-0.0000	0.00137	
2	-0.0000	0.00137	
3	-0.0000	0.00105	
4	-0.0000	0.00119	

Şekil 9.5 : ATCOR IKONOS Default Kalibrasyon dosyası

Şekil 9.5'teki katsayılar kullanılarak oluşturulan obje yansıma spektrumları hatalı çıkmaktadır. Bunun nedeni hala bilinmemektedir. Bunun yerine görüntüye has kalibrasyon dosyası, ya elle (manual in-flight calibration) ya da ATCOR 8.7 ile beraber gelen “semi-automatic in-flight calibration file generation” fonksiyonu kullanılarak oluşturulur (**ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-1**).

Bunlardan birincisi olan “Manual In-flight calibration” şu şekilde yapılır;

C0 ve C1 katsayılarını içeren default kalibrasyon dosyası bir kelime editörüyle açılır (MS Notepad ya da Wordpad gibi).

Düşük yansımalarla sahip su ya da koyu bir bitki örtüsü görüntüden seçilir. Dosyadaki C0 değerleri ile oynanarak, ölçülen spektrumun referans spektrumla uyumlu hale gelmesi sağlanır.

Daha sonra yüksek yansımaya sahip bir obje seçilir, örneğin kum, ve C1 değerleriyle oynanarak, ölçülen spektrumun referans spektrumla uyumlu hale gelmesi sağlanır.

Seçilen birinci obje tekrar (su ya da koyu bitki örtüsü) seçilerek, C0 değerleri ile tekrar oynanır. Bu işlemin sonucunda uygun C0 ve C1 değerleri elde edilir (**ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-2**).

İkinci yöntem ve uygulamada kullanılan yöntem olan “semi-automatic in-flight calibration file generation” yöntemi ile, ATCOR otomatik olarak işlem yapar. Kullanıcı, önce püskürtülen etkilenmeyen bir bölgeden özelliklerinden emin olan bir objeyi seçer. Daha sonra ya ATCOR'un kendi veritabanından ya da kullanıcının spektrometre kullanarak kendisinin bir obje için oluşturduğu spektrum dosyasını seçer. ATCOR bu iki veriyi kullanarak her bant için C0 ve C1 değerlerini otomatik olarak oluşturur (**ATCOR Web Sayfası-3**).

IKONOS uydu görüntülerinde hem bu C0 ve C1 değerleri, hem de atmosferik parametreler iteratif olarak değiştirilmesi gerektiğinden uygulama pratik olmuyordu. Uygulamada bunu aşmak için uydu geçiş gününe ait atmosferik veriler alındı ve atmosferik parametrelerin iteratif işleminden çıkarılması sağlanmıştır. Landsat ve diğer uydu görüntülerinde C0 ve C1 değerleri sorunsuz olduğundan, sadece atmosferik parametrelerle oynanarak ölçülen obje spektrumunun referans spektrumla uyumu sağlanır. Bu özellik, ATCOR yazılımının IKONOS uydu görüntüleri için bir dezavantajı olarak sayılabilir.

Uygulamada, her bir görüntü için oluşturulan kalibrasyon dosyalarının içeriği tablo 9.5'te verilmiştir. Bu kalibrasyon dosyaları, görüntülerin radyometrik ve atmosferik düzeltilmesinde kullanılmıştır. C0 değerlerinin hepsi 0 olduğundan tabloda gösterilmemiştir.

Tablo 9.5: Uydu görüntüleri için oluşturulan C1 değerleri

28/11/2001 C1 değerleri	25/10/2004 C1 değerleri	22/03/2005 C1 değerleri
0.022994	0.029197	0.021444
0.016069	0.020607	0.014561
0.017584	0.022509	0.014211
0.009708	0.012958	0.008055

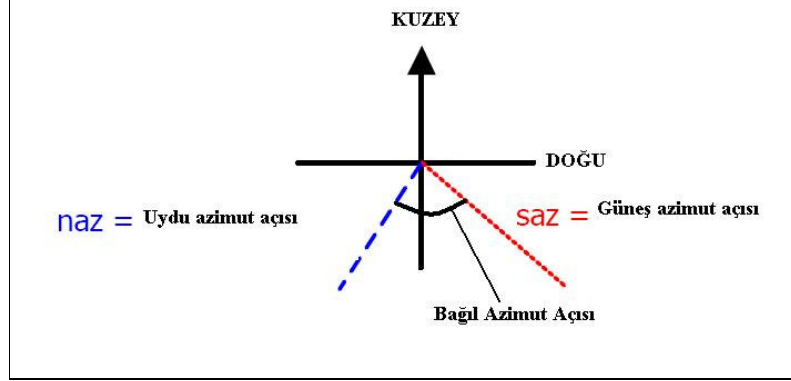
6) Atmosferik parametrelerinin tanımlanması. Bu ise, 3 değişkenin belirlenmesine dayanır; görüş mesafesi, aerosol tipi ve görünür bölge için atmosfer tipi. Yatay görüş mesafesi olarak uydu geçiş günlerinde ölçülen ruyet bilgileri kullanıldı. Bu ise tablo 9.3'te verilmiştir. Haliç, şehrin merkezinde olduğu için aerosol tipi olarak “urban” seçildi. Standart atmosfer tipini bulmak için radyozonde verileri kullanıldı. Bu değerlerden u miktarları bulundu. Bu değerlere en yakın değerler tablo 6.4'ten bakılarak, ilgili görüntüye en uygun atmosfer tipi belirlendi. Tablo 9.6'da her bir görüntü için hesaplanan toplam u değeri ve atmosfer tipi görülmektedir.

Tablo 9.6: Görüntüler için seçilen atmosfer tipleri

Görüntü tarihi	U (g / cm ²)	ATCOR atm. tipi
28-11-2001	1.09	Fall / Autumn
25-10-2004	1.56	US Standard
22-03-2005	0.63	Midlat. Winter

7) Eğim ve bağıl azimut açılarının tanımlanması: Atmosferik düzeltmede güneşin ve uydunun azimut ve zenit açıları önemli olduğundan tanımlanmalıdır. ATCOR LUT'larda belli açılar için hesap yapıldığından, aradaki değerler alınmaz, en yakın standart ATCOR değeri alınır. IKONOS uydusunun eğik olarak çekim yapabilme özelliği olduğundan, bu açının da hesaba katılması gereklidir. ATCOR menüsünde

10°, 20° ve 30° eğim açıları ve 30°, 60°, 120° ve 150° bağıl azimut açısı değerlerini içeren seçenekler vardır. Bağıl açı kavramı şekil 9.6'da açıklanmıştır.



Şekil 9.6 : Bağıl Azimut açısı

ATCOR seçeneklerinde, bağıl azimut değerleri şu şekilde ifade edilmiştir;

North = 120° bağıl azimut açısı

East = 30° bağıl azimut açısı

West = 150° bağıl azimut açısı

South = 60° bağıl azimut açısı

Bağıl azimut açısı, $|NAZ - SAZ|$ bağıntısı ile hesaplanır. Hesaplanan değer, hangi bağıl azimut değerine yakınsa o seçilir. Eğim (Tilt) açısı ise 90°- NEL (Nominal Collection Elevation, Uydu yükseklik açısı) formülüyle bulunur.

Uygulamada kullandığım uydu görüntüleri için;

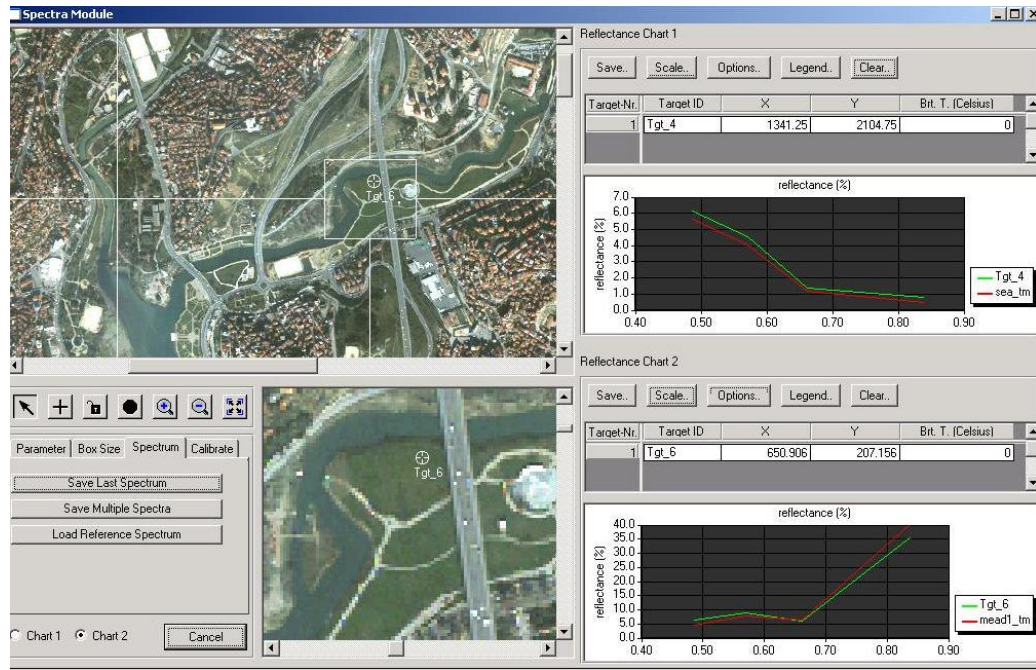
28/11/2001 tarihli görüntü için; Tilt = 20° ve North bağıl azimut.

25/10/2004 tarihli görüntü için; Tilt = 20° ve West bağıl azimut

22/03/2005 tarihli görüntü için; Tilt = 10° ve North bağıl azimut.

8) Spectra modülü çalıştırıldı. Spectra modülünün konusu, görüntüden seçilen objenin spektrumunun, atmosfer, aerosol ve görüş mesafesi bilgileri ile oynanarak, ATCOR spektral kütüphanedeki karşılığı olan spektrumla eşleştirilmesi işlemidir. IKONOS görüntülerinde bunlara ek olarak kalibrasyon dosyası da kesin olmadığından işlem zorlaşmaktadır. Onun için bu uygulamada kalibrasyon dosyası spektrumlar karşılaştırılarak bulundu, diğer atmosferik parametreler meteorolojik veriler baz alınarak sabit tutuldu. Kalibrasyon dosyasının doğruluğu, su gibi koyu

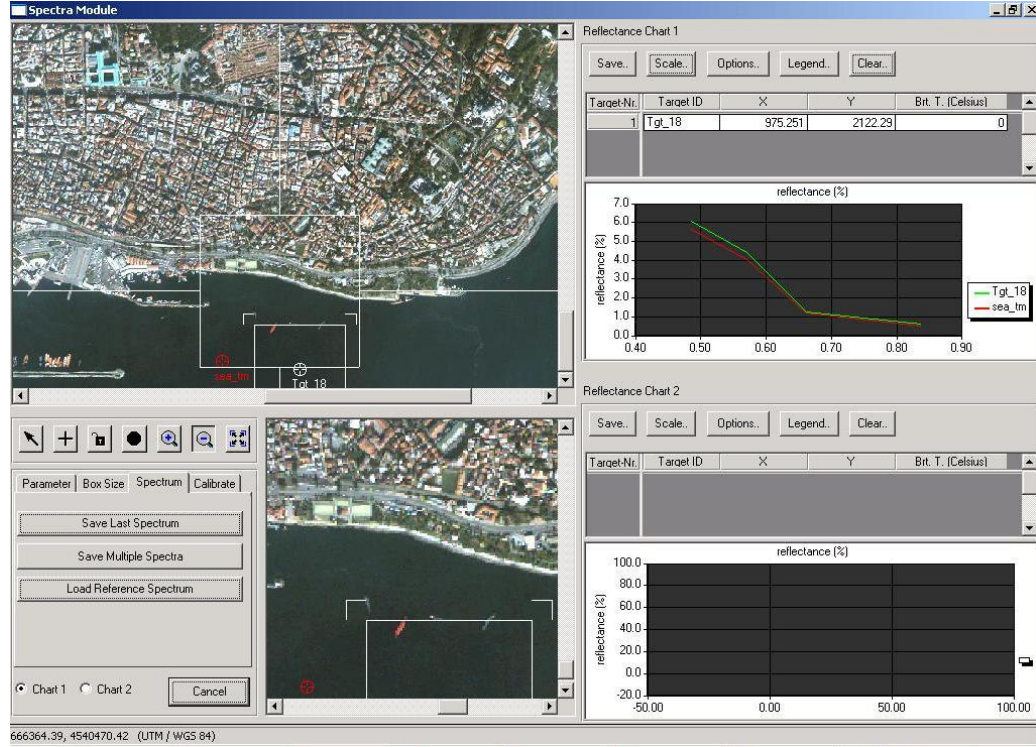
objelerde rahatlıkla tespit edilebilir. Bu gibi koyu objeler genellikle negatif yansıma değerleri vermektedir ki bu kesinlikle yanlıştır. Uygulamada kalibrasyon dosyalarının oluşturulması için denizden örnek noktalar alınmıştır. Bu işlem yapılırken sis altı bölgelerden kaçınılmıştır. Kontrol için Kağıthane deresi kenarında bulunan çayırdan ve denizde başka bir yerden örnek nokta alınmıştır. Kural olarak, ölçülen objenin ve kütüphaneden alınan spektrumun trendinin hemen hemen aynı olması gerekir. Ayrıca ölçülen spektrum, referans spektrumun %10'u kadar sapabilir (**ATCOR Manual for Imagine 8.7**). Şekil 9.7 ve 9.8'de gösterilen noktalar, kalibrasyon dosyasının ve atmosferik parametrelerin kontrolü için alınmıştır. Burada da tekrar sisli bölgelerden kaçınılmıştır.



Şekil 9.7 : Erdas ATCOR Spectra Modülü

Şekil 9.7'de Tgt_6 noktası kontrol için alınmıştır. Kağıthane deresi yanında bir çayırdan alınan nokta, Erdas ATCOR kütüphanesinde Meadow (çayır) spektrumu ile uyushmaktadır. Şekil 9.7'de sağ altta görülen iki spektrumdan kırmızı olanı, kütüphaneden IKONOS sensörü ve "Meadow" sınıfı için alınan spektrumdur. Dalgaboyları µm biriminde, yersel yansıma değerleri ise % olarak verilmiştir. Yeşil spektrum ise, seçilen Tgt_6 noktası için yersel yansıma spektrumudur. Bu spektrum, kalibrasyon dosyasındaki değerler ve seçilen atmosferik parametreler doğrultusunda ve çevresinde bulunan 5*5'lik piksellerin aritmetik ortalaması alınarak bulunur.

5*5 ayarı, “target box size” olarak ifade edilmekte ve kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Bir başka kontrol noktası da denizden alınmıştır. Bu da şekil 9.8’de gösterilmiştir.



Şekil 9.8 : Erdas ATCOR Spectra Modülü-2

Şekil 9.8’de de denizden alınan Tgt_18 kontrol noktası ile spektrumlar kontrol edilmiştir. Görüntüde beyaz nokta ile gösterilen Tgt_18 noktası seçilirken, sisten, deşarjdan (atıksu arıtma tesisi çıkışı), ayna yansımından ve dalgalı yerlerden etkilenen piksellerden kaçınılmıştır. Ayrıca taban yansımından kaçınmak için kıyıdan belli bir mesafede olan yerler seçilmiştir. Kontrol noktalarına her bir görüntü için bakıldı. Spektrumların farkları %10 eşiği içinde kaldığı görülmüştür.

9) “Haze Correction” modülü ile pus giderim algoritması bölüm 6.2.3.3’de anlatıldığı üzere otomatik olarak her üç görüntü için uygulandı. Algoritmanın, karalarda başarılı, su yüzeylerinde kısmen başarılı olduğu gözlenmiştir. 25/10/2004 tarihli görüntüde Haliç’in ortasında bulunan sis tabakası tam anlamıyla giderilememiştir.

10) Sis gideriminden sonra, “atmospheric correction” modülü çalıştırılır ve kullanıcı tarafından tanımlanan kalibrasyon dosyası ve atmosferik parametreler doğrultusunda yersel yansıma görüntüleri elde edilir.

9.4.2. Yersel yansımaya görüntülerinin elde edilmesi

Atmosferik modülün sonunda elde edilen görüntüler, 11 bit radyometrik çözünürlüğünde yersel yansımaya verileridir. Yansımaya değerleri, görüntülerin DN değerleri 10'a bölünerek bulunmalıdır. Çünkü işlemin başında radyometrik çözünürlüğünü korumak için 10 katsayısı ile çarpılmıştı. İşlem, görüntüdeki tüm atmosferin aynı tipte ve yansımının Lambertian olduğu varsayılarak yapılmıştır. İşlemin sonucunda, görüntülerin kontrastında bir artış olduğu, fakat sisin hala bazı kesimlerde giderilemediği görülmüştür. Bu da bazı piksellerde aşırı parlaklığa (fazla yansımaya) neden olmuştur. Bu da, bu parlaklığın su kirliliğinden mi yoksa sisten dolayı meydana geldiğini açıklamakta zorluk çıkarıyor. Bunu anlamının diğer bir yolu da NIR bandı ile görüntüyü incelemektir. NIR bandı sisten fazla etkilenmediği için, su kirliliğinden kaynaklanan fazla yansımalar tespit edilebilir. Pankromatik bandının spektral aralığı çok geniş olduğundan, spektral bir analiz yapmak mümkün değildir. Fakat yersel çözünürlüğü yüksek olduğu için fiziksel farklılıklar tespit edilebilir. Atmosferik düzeltme yapılmış ve orijinal görüntüler, eklerde Şekil A.4, A.5 ve A.6'da karşılaştırılmıştır.

9.5. Çoklu Lineer Regresyon ile su kalitesi parametrelerinin denklemlerinin bulunması

Bu bölüm, bölüm 8.4'de anlatılan yöntemin uygulamasıdır. Öncelikle her istasyon için, yersel yansımaya değerleri tek piksel, 3*3 ortalama ve 5*5 ortalama pencereler için her bir görüntü ve bant için okunmuştur. Regresyon hesabı tek piksel, 3*3'lük ve 5*5'lik pencerelerin ortalama değerleri için ayrı ayrı yapıldı (Örmeci, 2006). İstasyon noktalarında Valide Sultan Köprüsü, Eski köprü olarak ta geçmektedir. 2001 ve 2005 yılı görüntüleri için tüm istasyonlardan değerler okundu. Fakat 2004 yılı görüntüsünde 4 nokta (VS (EK), CA, KP ve UK) pistan etkilendiği için regreyon analizine alınmadı. Pus, yansımaya değerlerini olumsuz etkilediğinden bu işlem yapılmıştır. Pus ilgili noktalarda parlak piksellere neden olmuştur, dolayısıyla piksellerden gelen ışınlamalar radyometrik olarak doğru değildir. ATCOR'un pus giderim algoritması bu bölgelerde başarılı olmamıştır. Ayrıca 2005 yılı için sadece Chl-a parametresi için regresyon analizi yapılmıştır. Diğer parametreler için sadece 2 noktada ölçümler mevcut olduğundan, bu parametreler için regresyon analizi yapılamamıştır. 2004 yılı içinse fazla su kalitesi ölçümü olmadığından dolayı

regresyon denklemleri çözülmüş, fakat R^2 regresyon istatistiği 1 olarak çıkmıştır. Çünkü, denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşittir. Diğer yıllarda denklem sayısı bilinmeyen sayısından fazla olduğundan R^2 regresyon istatistiği 1'den küçük çıkmıştır.

Bazı noktalarda alınan 3*3 ve 5*5'lik pencerelerde, istasyon noktası pencerelerin ortasında alınamamıştır. Bunun çeşitli nedenleri vardır. Bunlar; ilgili pencerede bir tekne, kara parçası, obje gölgeleri ve dalgalanmalar nedeniyle oluşan yansıma farklılıklarıdır. Duruma göre istasyon noktası pencerenin, köşelerinden birine konularak ortalama pencere değerleri hesaplanmıştır.

Görüntülerden okunan değerler 10'a bölünerek regresyon hesabına katılmıştır. Bunun nedeni ATCOR yazılımının görüntünün 11 bit değerini korumak için uygulamış olduğu 10 çarpanıdır. Eklerde, görüntülerden alınan istasyon noktalarının yerleri gösterilmiştir. Şekil A.7'den A.15'a kadar gösterilmiştir. Ayrıca yukarıda bahsedilen ve suyun yansımaları etkileyen faktörler, yersel çözünürlük açısından daha yüksek olan pankromatik bant görüntüsünde incelenerek, olumsuz faktörler işleme katılmamıştır. Şekil A.16'ta pankromatik bantıyla 2004 yılı GK istasyonu için tespit edilen dalgalanmalar görülmektedir. Tablo 9.7, 9.8 ve 9.9'da her bir istasyon, görüntü ve bant için yersel yansıma görüntülerinden merkez piksel, 3*3 ve 5*5'lik pencere ortalama yansıma değerleri gösterilmiştir. Ayrıca her istasyonun görüntü koordinatları da verilmiştir.

Ekte verilen CD'de Ek2 klasörü içinde her bir dönem için ölçülen yansıma değerlerinin ayrıntıları verilmiştir. Her dönem, halic_ikonos_(yılı).xls dosyası olarak verilmiştir. Pencere merkezi olarak alınmayan bazı istasyon noktaları şöyle; 2001, 2004 ve 2005 yılları için KP istasyonu, pencerelerin sol üst köşesi olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni karaya yakın olmasıdır. 2001 yılı için UK istasyonu, pencerelerin sağ alt köşesi olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni köprünün gölgesidir. 2001 ve 2005 yılları için GK istasyonu, pencerelerin sağ alt köşesi olarak alınmıştır. Bunun nedeni pencerelerin köprüye gelmesidir. 2004 yılı için GK istasyonu, pencerelerin sağ üst köşesi olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni pencerelerin köprüye gelmesi ve sol üst tarafında denizin dalgalı oluşudur. Bu da şekil A.16'da gösterilmiştir.

Tablo 9.7: 2001 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri

İstasyon Noktası	Görüntü Koord.		Bant 1			Bant 2			Bant 3			Bant 4		
	Satır	Sütun	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5
AS	454	465	12,7	13,9	14,17	15,5	15,12	15,04	16,2	14,98	15,24	5,6	5,4	5,32
AA	603	338	12,0	11,89	11,65	11,3	11,28	11,12	12,5	11,4	11,37	3,5	3,73	3,75
ES	750	279	8,5	9,82	9,56	9,5	9,87	9,86	9,4	9,46	9,7	2,6	2,68	2,92
HK	887	372	9,3	11,54	11,68	11,2	11,49	11,57	12,2	10,58	10,53	2,9	3,38	3,24
VS	1013	478	12,5	11,39	11,25	11,1	10,79	10,8	9,4	8,64	8,8	3,5	3,57	3,46
CA	1208	657	13,0	13,02	12,82	13,4	12,18	11,64	8,3	8,06	7,9	3,7	3,66	3,73
KP	1229	834	11,4	11,33	11,34	9,8	9,22	9,41	7,1	6,86	6,89	4,3	4,17	4,13
UK	1402	848	6,9	8,51	8,27	6,3	6,33	6,08	4,2	4,3	4,03	2,5	2,57	2,69
GK	1507	1015	7,3	7,59	7,39	5,4	5,27	5,43	3,4	3,37	3,39	2,6	2,49	2,5

Tablo 9.8: 2004 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri

İstasyon Noktası	Görüntü Koord.		Bant 1			Bant 2			Bant 3			Bant 4		
	Satır	Sütun	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5
AS	454	465	13,8	13,18	12,94	12,4	13,39	13,07	8,4	7,94	7,84	1,2	1,57	1,66
AA	603	338	9,9	9,89	9,64	9,4	9,99	9,86	5,7	5,82	5,60	2,8	2,5	2,42
ES	750	279	7,3	7,66	7,1	7,4	7,32	7,3	3,2	2,7	3,08	1,3	1,28	1,28
HK	887	372	9,6	8,93	8,84	8,2	7,93	8,08	5,7	5,02	4,96	1,2	2,54	2,52
GK	1507	1020	5,5	6,13	6,1	5,3	5,02	4,87	1,4	2,54	2,55	0,8	0,81	0,98

Tablo 9.9: 2005 dönemi için % olarak yersel yansıma ölçümleri

İstasyon Noktası	Görüntü Koord.		Bant 1			Bant 2			Bant 3			Bant 4		
	Satır	Sütun	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5	M.	3*3	5*5
AS	454	465	5,7	5,6	5,52	6,0	5,27	5,18	2,1	2,06	2,12	0,0	0,0	0,02
AA	603	338	7,2	5,58	5,51	4,5	4,78	4,86	1,4	1,68	1,65	0,4	0,41	0,42
ES	750	279	5,9	5,88	5,84	5,1	5,02	4,91	1,0	1,27	1,28	0,1	0,26	0,36
HK	887	372	6,6	6,7	6,6	5,7	5,73	5,72	2,9	2,47	2,3	0,6	0,63	0,67
VS	1013	478	6,4	6,18	6,16	5,1	5,13	5,1	1,8	1,83	1,79	1,1	0,51	0,54
CA	1208	657	5,7	6,49	6,46	4,9	5,12	5,1	2,0	1,76	1,81	0,8	0,77	0,73
KP	1227	852	3,6	4,22	4,34	3,5	2,94	3,01	0,5	0,48	0,5	0,0	0,0	0,12
UK	1402	848	5,7	5,52	5,29	4,4	3,57	3,6	0,9	0,9	0,9	0,3	0,3	0,3
GK	1507	1023	4,6	4,69	4,56	2,2	3,11	3,05	0,9	0,42	0,5	0,1	0,17	0,24

Çoklu lineer regresyon sonucunda regresyon denklemleri, R^2 katsayıları, ölçülen ve hesaplanan parametreler arasındaki dengeleyici doğru bulunmuştur. İstatistiksel ayrıntılar ekte verilen CD'nin Ek2 klasöründe her dönem için halic_ikonos_(yılı).xls şeklinde verilmiştir. 2004 yılı için yeterli ölçü olmadığından, 5*5'lik ortalama değerler için regresyon denklemleri dengelemesiz olarak bulundu. Regresyon analizinde MS Excel'in "Regression" fonksiyonu kullanıldı.

Eklerde, regresyon denklemleri, R^2 değerleri, ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması ve bunların dengeleyici doğruları gösterilmektedir.

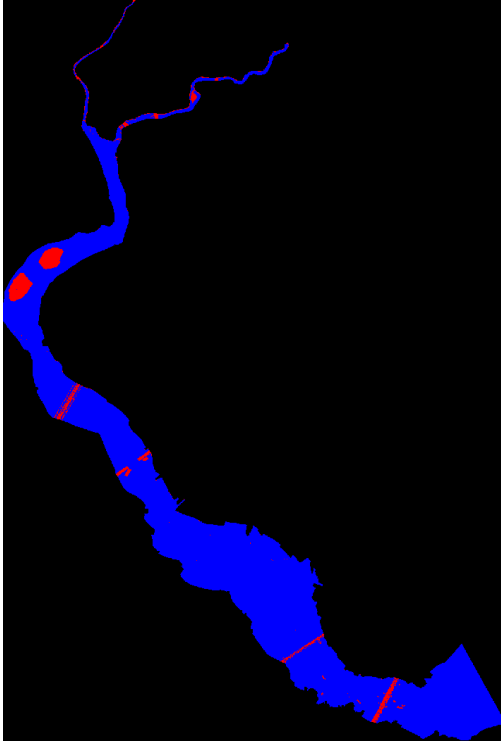
9.6. Görüntülerdeki Su - Kara ayrımının yapılması için yapılan işlemler

Uygulamada bu işlemin yapılma amacı, bulunan regresyon modellerinin sadece su yüzeyleri üzerinde uygulanmasını sağlamaktır. Bunun için maskeleme ile Su – Kara ayrımı (Kıyı çizgisi) rahatlıkla yapılabilir. IKONOS NIR (4.bant) bandı kullanılarak maskeleme yapıldığında, kıyı çizgisi ortaya çıkarılabilmektedir.

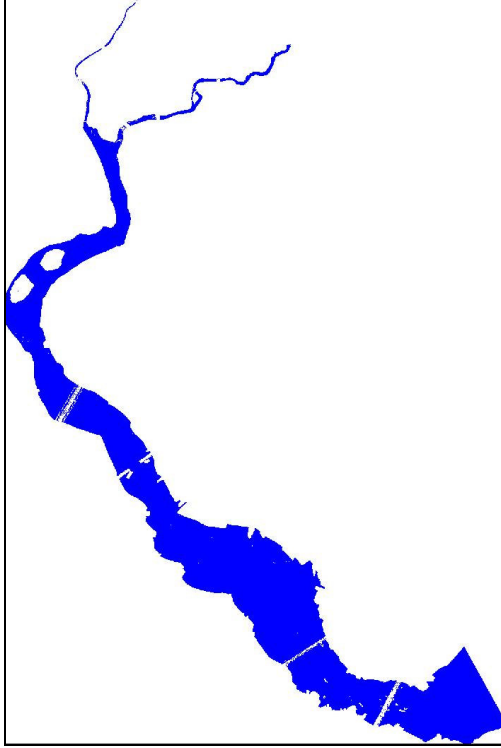
Bunun amacı, su ve kara sınıflarını ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarmak değildir. NIR bandı, Su – Kara ayrımının maksimum o banttır.

Bu işlem, 2001 ve 2005 görüntüleri için yapıldı. 2004 görüntüsünün büyük bir bölümü pus altında kaldığından işlem yapılmamıştır. İşlem sonucunda, sadece su yüzeylerine içeren bir maske oluşturulur. Bu maske yersel yansıma görüntülerine uygulanır. Sonuçta, sadece su yüzeylerinin yersel yansıma değerlerini içeren kısımlar kalır.

Bunun için ilk önce Haliç'in bir aoi (area of interest)'si oluşturuldu. Bu aoi ile kıyı çizgileri belli oldu. Daha sonra maskeleme ile orijinal NIR görüntüsü maskelendi. Elde edilen maskelenmiş görüntü, aoi ile kesilerek sadece su yüzeylerinin olduğu bölgeler elde edildi. Bu görüntüde adalar, tekne ve gemiler ve adalar kırmızı renkte gösterilmiştir. Şekil 9.9'da bu görülmektedir. Kırmızı sınıflara 0 piksel değeri atanarak, bir maske oluşturuldu. Bu ise şekil 9.10'da gösterilmiştir. Bu görüntü, ilgili yersel yansıma değerli görüntüler ile çarpılarak (maskelenerek), regresyon denklemlerinin uygulanacağı görüntüler elde edildi. Bu işlem, 2001 ve 2005 görüntüleri için ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 9.9 : Maskeleme ve Haliç kıyı aoi ile kesilerek elde edilen görüntü



Şekil 9.10 : Maske görüntü

9.7. Su Kalitesi Parametre Haritalarının elde edilmesi

Bu haritalar, 2001 yılı için AKM, Chl-a, Seki D.D., ÇO ve F.Koli parametreleri, 2005 yılı için Chl-a parametresi için yapıldı. Regresyon analizde en yüksek R-kare değerine sahip regresyon denklemleri kullanıldı. 2004 yılı görüntüsü püstan çok fazla etkilendiği için, bu görüntü için herhangi bir su kalitesi parametre haritası elde edilmemiştir. İşlemlerde dikkat edilmesi gereken husus, yersel yansıma haritalarının 10 çarpanlı olmasıdır. Bu çarpan, regresyon denklemlerindeki katsayılar 10'a bölünerek aşılabilir (ilk katsayısı hariç). İlk katsayının 10'a bölünmemesinin nedeni, herhangi bir piksel değeriyle çarpılmamasındandır. Eklerde, şekil A.35 ile A.40 arasında su kalitesi parametre haritaları görülmektedir.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması; çevre sorunları ile birlikte tükenen doğal kaynaklar, yeryüzünün daha geniş boyutlar içinde hızlı ve ekonomik olarak araştırılmasını, sorunları nedenleri ile ortaya koyarak önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak üzere uzaktan algılama teknolojisi kullanılabilir.

Uzaktan algılama yoluyla elde edilen uydu verilerinde çevre geniş bir bölge içinde bir bütün olarak incelendiğinden, gözlenen problem nedenleri ile birlikte sinoptik bir bakış açısıyla, hızlı ve arazi çalışmalarına kıyasla daha az zahmetle gerçekleştirilebilmektedir.

Çalışmada yersel veri destekli IKONOS Geo ürünlü uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler öncelikle olarak ATCOR yazılımı ile radyometrik ve atmosferik olarak düzeltilmiştir. Daha sonra yersel su kalitesi ölçümleri ile çoklu lineer regresyon analizi yapılarak regresyon denklemleri elde edilmiştir. 2004 görüntüsünde pus, ATCOR yazılımının algoritması tarafından giderilemediğinden, nokta sayısı 5'e düşmüş, bu da regresyon denklemlerinin dengelemesiz olarak çözülmesine neden olmuştur. Bu yüzden, herhangi bir IKONOS uydu görüntüsü sipariş verilmeden önce, sadece bulutluluk oranına değil, ayrıca görüntünün önizlemesinde su yüzeyleri üzerinde herhangi bir sis ya da pus olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü sis ve pus gibi radyometrik doğruluğu bozan etkenler, bulutluluk oranında yer almazlar. Ayrıca, görüntülerde radyometrik doğruluğun korunması için DRA (Dynamic Range Adjustment) özelliğinin kapalı olması gerektiği literatür çalışmalarında görülmüştür. 2001 ve 2005 görüntülerinde regresyon analizi dengelemeli olarak yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

2001 yılı AKM ve Chl-a konsantrasyonu tahmini için en yüksek R-kare değerine, 5*5'lik ortalama değerler kullanılarak elde edilmiştir. Seki disk derinliği tahmini için, merkez piksel değerleri, 3*3 ve 5*5'lik ortalama değerleri alınarak, hemen hemen aynı R-kare değerleri elde edilmiştir. Uygulamanın en yüksek R-kare değeri olan 0,98 ise ÇO konsantrasyonunun 3*3'lük ortalamalar yardımıyla bulunmuştur.

Bu parametre için merkez piksel değerleri ve 5*5'lik pencereler kullanıldığında da 0.90'nın üzerinde R-kare değerleri elde edilmiştir.

Fekal koliform miktarı tahmininde düşük R-kare değerleri elde edilmiştir. En yüksek R-kare değeri 5*5'lik pikseller kullanılarak elde edilmiştir ($R^2 = 0.73$).

2005 yılı için sadece Chl-a parametre tahmini yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda en yüksek R-kare değeri merkez piksel değerleri kullanılarak elde edilmiştir. 3*3 ve 5*5'lik ortalamaları kullanıldığında R^2 katsayısı 0.73'e düşmüştür.

Oşinografik istasyon sayısının azlığından dolayı regresyon denklemlerinin başka bir veri grubu ile kontrol imkanı olmamıştır. İleri ki çalışmalarda uzaktan algılama teknolojilerinin de uygulanabilirliği düşünülerek, oşinografik nokta sayısı artırılabilir. Nokta sayısı arttığında dengeleyici doğru, daha doğru tespit edilebilecek ve su kalitesi parametresi ile DN değerleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı daha rahat tespit edilebilecektir. Çünkü nokta sayısının artmasıyla dengeleyici doğru ve buna bağlı R-kare katsayıları daha kesin olarak belirlenebilecektir. Ayrıca köprülere ya da gölge yapabilecek cisimlere çok yakın istasyon kurulmamasının gerekliliği anlaşılmıştır. Güneşin açısına bağlı olarak cisim istasyon üzerinde gölge yaparak, yanlış yorumlara neden olacaktır. Aynı zamana ait yüksek çözünürlüklü bir görüntü yardımıyla, istasyona etki eden diğer olaylar izlenebilir. Bu örneğin, bir tekne ya da teknenin geçmesiyle oluşan dalgalanmalar ya da güneşin neden olduğu ayna (specular) yansıması olabilir. Bunlara göre de istasyon noktası, kullanılacak pencerenin uygun bir köşesine ya da ortasına konularak regresyon işlemlerine geçilir.

Genel olarak daha fazla piksellerin ortalamaları alınarak yapılan hesaplar daha doğru çıkmıştır. Bunun nedeni yansıma değerinin daha homojen bir bölgeye yayılarak, tek bir değer in işleme sokulmasını önlemektir.

Pusun neden olduğu etkiler su yüzeylerinde kolaylıkla giderilemediğinden, su kalitesi ölçümlerinin gerçek zamanlı olarak spektrometre ile ölçülerek ve numunelerinin alınarak incelenmesi ve bunun uydu görüntülerinin TOA yansıma değerleri ile ilişkilendirilmesi daha doğru olacaktır.

IKONOS görüntülerinin diğer bir avantajı da yüksek yersel çözünürlüğüdür. Bu özellik ile Haliç gibi dar su yollarının su kalitesi analizi yapılabilir. Spektral çözünürlüğü yüksek olan sensörlerin dezavantajı, yersel çözünürlüklerinin düşük olmasıdır. Bu özellik de, bu tip dar yerlerde çalışma fırsatı sunmuyor. Ama ileride

sensör teknolojisinin gelişmesiyle, hem yersel hem de spektral olarak yüksek (hiperspektral sensörler) çözünürlüklü uydular ile su kalitesi analizi daha başarılı bir şekilde yapılacaktır.

Bio-optik modelleme, yapay sinir ağları vb. yöntemler kullanılarak daha hassas sonuçlar elde edilebileceği literatürde belirtilmişse de, bu çalışmada daha basit ve pratik bir yöntem olan çoklu lineer regresyon analizi ile su kalitesi parametrelerinden AKM, Chl-a, seki disk derinliği ve ÇO parametreleri için yüksek R^2 değerleri, fekal koliform parametresi içinse biraz daha düşük bir R^2 değeri elde edilebileceği görülmüştür. Su kalitesi parametre haritaları oluşturulduğunda şunlar gözlenmiştir; 2001 yılı görüntüsü için AKM konsantrasyonu dağılımı harita üzerinden incelendiğinde, AKM konsantrasyonunun yersel veriler ile uyum içerisinde olduğu ve Haliç'in kuzeyine gidildikçe arttığı görülmüştür. Ayrıca, Haliç'in güney kıyılarında AKM konsantrasyonunun, kıyılarda Haliç'in daha derin yerlerine göre daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca Valide Sultan (Eski Köprü) köprüsünün güney batı ayağında AKM konsantrasyonunda bir ani artışı olduğu gözlenmiştir. Haliç'in kuzeyindeki derelere bakıldığında, Alibeyköy deresinin (soldaki dere) Kağıthane deresine göre daha az bulanık olduğu görülmüştür.

2001 yılı klorofil-a dağılımına bakıldığında, 2005 yılı klorofil-a dağılımının aksine, değerlerin Haliç'in girişinde yoğun olduğu açıkça görülmüştür. Yine AKM konsantrasyonundaki gibi, Valide Sultan köprüsünün chl-a dağılımı için adeta bir engel görevi gördüğü görülmüştür.

2001 yılı seki disk ölçüm dağılımlarına bakıldığında, Haliç'in kuzeyine doğru bir azalma olduğu görülmüştür. Camialtı ve Taşkızak tersaneleri civarında seki disk değerlerinde keskin bir hattın olduğu görülmüştür. 2001 yılı fekal koliform miktar dağılımı ise güneyden kuzeye doğru arttığı görülmüştür. 2001 yılı ÇO konsantrasyonları kuzeyden güneye doğru artmaktadır. Yine Alibeyköy deresinin ÇO konsantrasyonunun diğer dereye göre yüksek olduğu görülmüştür.

ÇO ve F.Koli parametreleri, sudaki ışığın geçirgenliğine direkt etki etmemesine rağmen, regresyon analizlerinde bu parametreler için yüksek anlamlılıklar bulunmuştur. Ölçümlerin geneline bakıldığında, AKM, Chl-a ve ÇO konsantrasyonlarının yüksek olduğu noktalarda (plankton ve alglerin yoğun olduğu bölgelerde), ÇO parametresi için de yüksek korelasyon değerleri olduğu görülmüştür. Bu da, ÇO parametresinin direkt ölçülebilen bir parametre olmamasına rağmen, diğer

iki parametreye bağılı olarak değiştiğinden dolayı uzaktan algılama ile tespit edilebilmesini sağlamıştır. Bu gibi yerlerde O parametresi için ölçülen ve hesaplanan değerler uyumlu çıkmıştır. rnek olarak 2001 yılı için CA istasyonu verilebilir.

2001 yılı için ES istasyonu ölçümlerine bakıldığında, AKM konsantrasyonunun yüksek, Chl-a konsantrasyonunun ise düşük olduğu görülmüştür. Bu da, sudaki alglerin az olduğuna ve O konsantrasyonunun da düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu şekilde olan yerlere bakıldığında, O parametresi için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki uyumsuzluk göze çarpmaktadır.

2001 yılı ES, AA ve AS istasyonlarına bakıldığında AKM, Chl-a ve F.Koli konsantrasyonlarının yüksek, O konsantrasyonlarının düşük olduğu görülecektir. Bu yerlerde evsel atık içeren deşarjlardan bahsedilebilir. Bu istasyonlarda ölçülen ve hesaplanan F.Koli değerleri, diğer istasyonlardan daha uyumlu çıktığı görülmüştür.

Sonuçta, O ve F.Koli parametrelerinin direkt ölçülebilen parametreler olmamasına rağmen, AKM ve Chl-a parametrelerine bağılı olarak değiştiğinden, uzaktan algılama ile tesbiti mümkün olmuştur.

Su kalitesi haritalarında görülen küçük renk yamaları da yanıltıcıdır. Bu gibi yerler tekne ya da teknelerin geçiş yollarından etkilenen bölgeler olarak yorumlanabilir.

Haliç'ın oşinografik yapısı ve su kalitesi haritaları incelendiğinde, Haliç'ın kuzeyinin daha durgun ve su kalitesi bakımından daha homojen olduğu söylenebilir. Haliç'ın güneyinin (ağzının) gerek motor trafiği ve gerekse akıntılar nedeniyle su kalitesi bakımından çok değişken olduğu söylenebilir. Bu da, Boğaz girişindeki istasyonlarda, hesaplanan değerlerle ölçülen değerler arasındaki farkın, diğer noktalara nazaran biraz daha farklı çıkmasına neden olmuştur.

Uydu görüntülerinin sabah saatlerinde alınmış olması, sisin görüntüdeki etkisini artırmıştır. Çünkü sıcaklık değişimlerinin olduğu sabah ve akşam saatlerinde sisin etkisi artmaktadır. Ayrıca mevsim geçişlerinde gün boyu sisin etkisi görülebilmektedir. Bu gibi istenmeyen atmosferik etkilerden kaçınmak için, görüntülerin öğleden sonra alınmasında büyük fayda olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca gün içindeki rüzgarın etkisi de önemlidir. Rüzgarın etkisi hem olumlu, hem de olumsuz olabilmektedir. Rüzgarın bölgedeki sisi dağıtması bir avantaj olabilir, fakat su yüzeylerinde dalgalanmalar oluşturması bir dezavantajdır. Bu da direkt olarak yansıma değerlerine etki etmektedir.

Ölçülen ve hesaplanan su kalitesi parametreleri arasındaki farkın bir başka önemli nedeni de ölçümlerin zaman farklılığıdır. Gerçek zamanlı (real-time) ölçümler ile bu aşılabılır.

Bu işlemi gerçekleştirmek için otomatik ölçümler yapan istasyonlar (buoy-şamandıra) kurularak, uydu geçiş anında, merkezi bir istasyondan komut verilerek ölçümlerin gerçek zamanlı alınması sağlanabilir.

Çalışma, Haliç gibi su kalitesinin çok değişken olduğu alanlarda bile uydu görüntülerinden başarı ile faydalanabileceğini göstermiştir. Bunun da somut kanıtı, su kalitesi haritalarının yersel verilerle olan uyumluluğudur.

KAYNAKLAR

- Abu Daya, M.I.**, 2004. Coastal water quality monitoring with remote sensing in (East Kalimantan) Makassar Strait, Indonesia, *M.Sc. Thesis*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Acar, Y.**, 2006. Kişisel görüşme, İSKİ Gn. Md. Atıksu Arıtma ve Ruhsat Den. Dai. Bşk.'lığı Avrupa Atıksu Kontrol Ruh. Müdürlüğü, Kağıthane, İstanbul.
- Ambarwulan, W.**, 2002. Mapping of TSM Concentrations from SPOT and Landsat TM Satellite Images for Integrated Coastal Zone Management in Teluk Banten, Indonesia, *M.Sc. Thesis*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- ATCOR Manual for Imagine 8.7**, 2004. Haze reduction, atmospheric and topographic correction, Geosystems GmbH, Germany.
- ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-1**. www.geosystems.de/support, IKONOS Calibration pdf document.
- ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-2**, www.geosystems.de/support, Calibration files in ATCOR pdf document.
- ATCOR Teknik Destek Web Sayfası-3**, www.geosystems.de/atcor/sensor_updates.
- Bakker, W.H., Grabmaier, K.A., Huurneman, G.C., Van Der Meer, F.D., Prakash, A., Tempfli, K., Gieske, A.S.M., Hecker, C.A., Janssen, L.L.F., Parodi, G.N., Reeves, C.V., Weir, M.J.C., Gorte, B.G.H., Horn, J.A., Kerle, N., Pohl, C., Van Ruitenbeek, F.J., Woldai, T.**, 2004. Principles of Remote Sensing, ITC Educational Book Series, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Baltsavias, E., Pateraki, M., Zhang, L.**, 2001. Radiometric and geometric evaluation of IKONOS images and their use for 3D building modelling, *Joint ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from Space 2001"*, 19-21 September, Hannover, Germany.
- Baltsavias, E.**, 2005. How to get base geospatial data for SDI from high resolution satellite images, *2005 ISPRS Tutorial*, AfricaGIS 2005, Tshwane, Pretoria, South Africa.

- Başpehlivan, C., Sarıkaya, Ö.V., Karaburun, A. and Döker, M.F.,** 2004. Land use change detection and water quality management in İstanbul's water basins by using IKONOS imagery, *ISPRS Congress*, İstanbul.
- Baştürk, A., Mete, B., Altun, L.,** 2001. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Haliç Dönüşüm projeleri, *Haliç 2001 Sempozyumu*, İSKİ Yayınları No:37, 36-63, 3-4 Mayıs.
- Bayram, B.,** 1998. İstanbul Örneğinde uydu görüntülerinin coğrafi bilgi sistemi ile bütünleşmesi, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bukata, R.P., Jerome, J.H., Kondratyev, K.Y., Pozdnyakov, D.V.,** 1995. Optical properties and remote sensing of inland and coastal waters, CRC Press, USA.
- Coşkun, H.G.,** 1992. Uydu verileri ile İstanbul Boğazı ve Haliç'te su kirliliğinin makro düzeyde belirlenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkun, H.G. and Örmeci, C.,** 1994. Water Quality Monitoring in Haliç (Golden Horn) using satellite images, *EARSEL Workshop on Remote Sensing and GIS for Coastal Zone Management*, The Netherlands, 84-93.
- Currin, P.J. and Novo, E.M.M.,** 1988. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: A review, *J. Coastal Res.*, **4**, 351-368.
- Dangermond, J.,** 2005. Kişisel Görüşme, ESRI Merkezi, Redlands, CA, ABD.
- Devlet Meteoroloji Genel Md.'lüğü web sayfası,**
www.meteor.gov.tr/2005/sorular/ravinsonde/ravinsonde.htm
- Ekercin, S.,** 2006. Kişisel görüşme, Uzaktan Algılama ABD, İnşaat Fakültesi, İTÜ, İstanbul.
- Erdas Field Guide,** 2003. Yedinci basım, Leica Geosystems, ABD.
- Eroğlu, V., Sarıkaya, H.Z., Eldemir, M.,** 2001. Güney ve kuzey Haliç çevre koruma projeleri, *Haliç 2001 Sempozyumu*, İSKİ Yayınları No:37, 21-35, 3-4 Mayıs.
- Ertaş, S.K.,** 2004. Meteoroloji ders kitabı, DHMİ Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, Hava Trafik Müdürlüğü, 28-29.

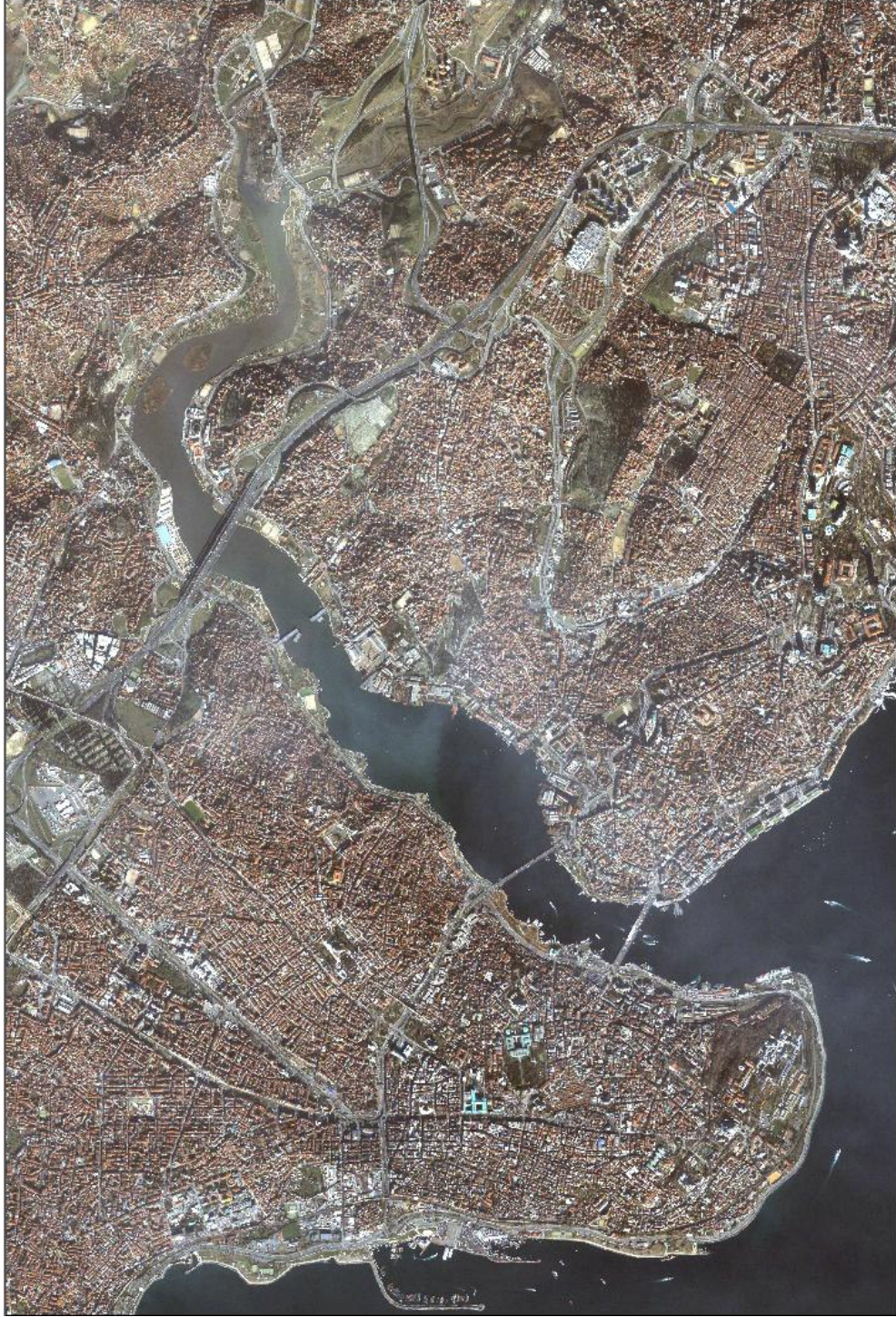
- Gazioğlu, C.**, 1996. Uzaktan Algılama yöntemi ile Çanakkale Boğazı bağlantılı Marmara Denizi – Ege Denizi etkileşiminde Saros Körfezi Kirlenme Araştırması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gibbons, D.E., Wukelic, G.E., Leighton, J.P., Doyle, M.J.**, 1989. Application of Landsat Thematic Mapper data for coastal thermal plume analysis at Diablo Canyon, *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, **55**, 903-909.
- Gieske, A.**, 2005. Lectures Module 9 INTRO DynRS, ITC, The Netherlands.
- Grodecki, J. and Dial, J.**, 2001. IKONOS Geometric Accuracy, ISPRS Workshop “High resolution mapping from space”, Hanover, Germany, 19-21 September, CD-ROM.
- Hacı, M.**, 2003. Deniz suyu kalitesi izleme bilgi sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hellweger, F.L., Schlosser, P., Lall, U., Weissel, J.K.**, 2004. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **61**, 437-448.
- İmamoğlu, Z.**, 2004. IRS uydu verileri kullanarak Haliç’te su kalitesinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, GYTE, Gebze, Kocaeli.
- Inta Spaceturk**, 2006. IKONOS Ürünleri Teknik Özellikleri Broşürü, Inta Spaceturk, Ankara.
- Iqbal, M.**, 1983. An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, New York.
- Karpouzli, E. and Malthus, T.** 2003. The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery, *Int. Journal of Remote Sensing*, **Vol.24 No.5**, 1143-1150.
- Karpuzcu, M.**, 1975. Haliç’teki Kirlenme Probleminin Etüdü İçin Uygun Bir Matematik Modelin Araştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karpuzcu, M.**, 1984. Çevre Mühendisliği, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Keiner, L.E. and Yan, X.H.**, 1998. A Neural Network Model for Estimating Sea Surface Chlorophyll and Sediment from Thematic Mapper Imagery, *Remote Sensing Environment*, **66**, 153-165.
- Lathrop, R.G.**, 1992. Landsat Thematic Mapper Monitoring of Turbid Inland Water Quality, *Phot. Eng. And Remote Sensing*, **Vol.58 No.4**, 465-470.

- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W.**, 2004. Remote Sensing and Image Interpretation 5th edition, John Wiley & Sons.
- Linsley, R.K., Kohler, Jr. M.A., Paulhus, J.L.H.**, 1975. Hydrology for Engineers 2nd edition, McGraw – Hill Education, 33-34.
- Mather, P.M.**, 1987. Computer Processing of Remotely Sensed Images An Introduction, John Wiley and Sons Publishers, England.
- Musaoğlu, N.**, 1993. İstanbul Ümraniye Örneğinde Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak Metropoliten Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Müftüoğlu, O.**, 1994. Landsat Thematic Mapper Verileri kullanılarak Ömerli Barajında su kalitesi değerlendirmesi, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi, Cilt.4 Sayı.2*, 83-87.
- Müftüoğlu, O., Örmeci, C., Gönenç, E., Doğan, E.**, 1995. Uydu Verileri ile Batı Karadeniz'in durumu, *Karadeniz Çevre Konferansı*, İstanbul, 28-30 Haziran.
- NASA Web sayfası - 1**, http://jwocky.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html.
- NASA Web sayfası -2**, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.
- NASA Web Sayfası – 3**, <http://www.asd.ssc.nasa.gov/vv/images/sfg.jpg>.
- NASA Web Sayfası – 4**,
http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html.
- Okuş, E., Aslan, A., Taş, S., Yılmaz, N., Polat, Ç.**, 2001. Haliç'te Nutrient ve Klorofil a dağılımı, *Haliç 2001 Sempozyumu*, İSKİ Yayınları No:37, 145-152, 3-4 Mayıs.
- Önder, M.**, 1997. Uydu görüntülerinden coğrafi bilgi sistemine temel oluşturacak nitelikte topografik harita üretimi ve güncelleştirmesine yönelik analizler, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Örmeci, C.**, 1987. Uzaktan Algılama: Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Örmeci, C.**, 2006. Kişisel görüşme, Uzaktan Algılama ABD, İnşaat Fakültesi, İTÜ, İstanbul.
- Parodi, G.**, 2006. Module 10 Elective Notes – From Satellite to ground radiances Version 1, ITC WRS Division, Enschede, The Netherlands.

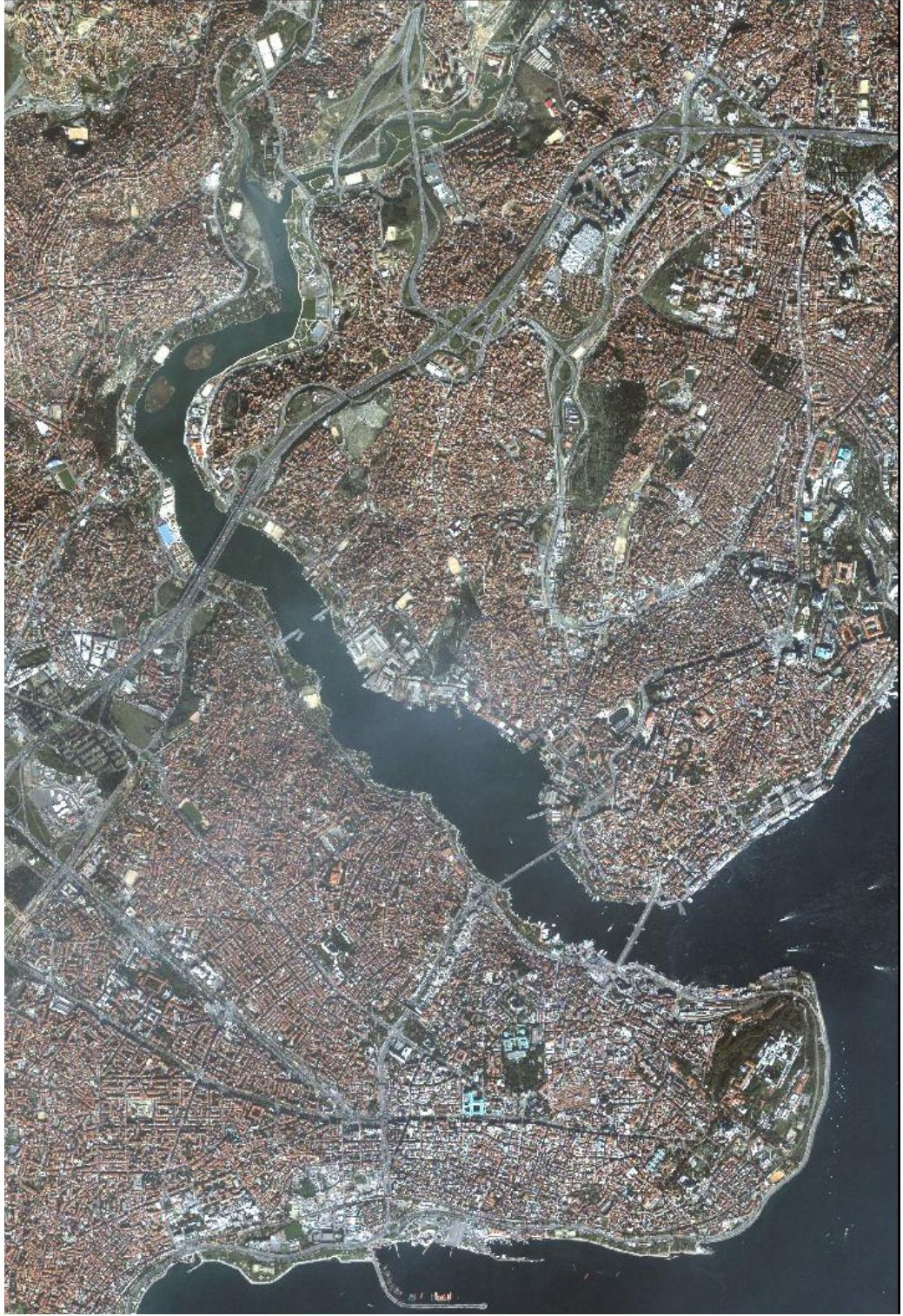
- Pluhowski, J.P.**, 1973. Remote Sensing of Turbidity Plumes in Lake Ontario, *Journal and Research U.S. Geol. Survey*, **Vol.1 No.5**, 609-614.
- Rencz, A.N. and Ryerson, R.A.**, 1999. Manual of Remote Sensing Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, John Wiley and Sons Publishers.
- Ritchie, J.C., Schiebe, F.R., McHenry, J.R.**, 1976. Remote Sensing of suspended sediment in surface water, *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, **42**, 1539-1545.
- Ritchie, J.C. and Cooper, C.M.**, 1988. Comparison on measured suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS Data, *Int. Journal of Remote Sensing*, **9**, 379-387.
- Sawaya, K.E.**, 2003. Extending satellite remote sensing to local scales: Land and water resource monitoring using high resolution imagery, *Remote Sensing of Environment*, **88**, 144-156.
- Sarıkaya, H.Z.**, 2006. Kişisel görüşme, İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği, İnşaat Fakültesi, İTÜ, İstanbul.
- Schalles, J.F., Schiebe, F.R., Starks, P.J., Troeger, W.W.**, 1997. Estimation of algal and suspended sediment loads (singly and combined) using hyperspectral sensors and integrated mesocosm experiments, *4th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Vol.1, 247-248.
- Schultz, G.A. and Engman, E.T.**, 2000. Remote Sensing in hydrology and water management, Springer, Berlin, Germany.
- Space Imaging**, 2004. IKONOS Product Guide Version 1.4
- Space Imaging Web Sayfası**, www.spaceimaging.com/products/ikonos/spectral.htm
- Su Kalitesi İzleme Çalışması Yıllık Raporları**, 2001, 2004, 2005. İSKİ, İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Sunar, F.**, 1991. Körfezlerdeki su kalitesinin uydu görüntü verileri yardımıyla incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sur, H.İ., Okuş, E., Altıok, H., Müftüoğlu, A.E.**, 2001. Haliç'in fiziksel oşinografisi ve ıslah çalışmalarının etkileri, *Haliç 2001 Sempozyumu*, İSKİ Yayınları No:37, 131-144, 3-4 Mayıs.

- Tanre, D., Deroo, C.,** 1990. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: The 5s code., *Int. Journal of Remote Sensing*, **11**, 659-668.
- Turdukulov, U.,** 2003. Determination of water quality parameters using imaging spectrometry (Case Study for the Sajo floodplain, Hungary), *M.Sc. Thesis*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Ustun, B., Ekercin, S., Oztopal, A.,** 2006. Investigation of Water Quality Parameters by using Multiple Regression and Genetic Algorithms in the Istanbul Strait, Turkey, *26th EARSeL Symposium NEW DEVELOPMENTS AND CHALLENGES IN REMOTE SENSING*, 29 May-2 June, Warsaw, POLAND.
- Van Leeuwen, B.,** 2004. High Resolution Satellites, ITC Elective 9 Introduction into Dynamic Remote Sensing, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Van Leeuwen, B,** 2005. Exercise Atmospheric Correction using ATCOR 8.7, ITC GTS, Enschede, The Netherlands.
- Weiss, R.F.,** 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater, *Deep-Sea Res.*, **17**, 721-735.
- Yomralıoğlu, T.,** 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar, K.T.Ü., Trabzon.

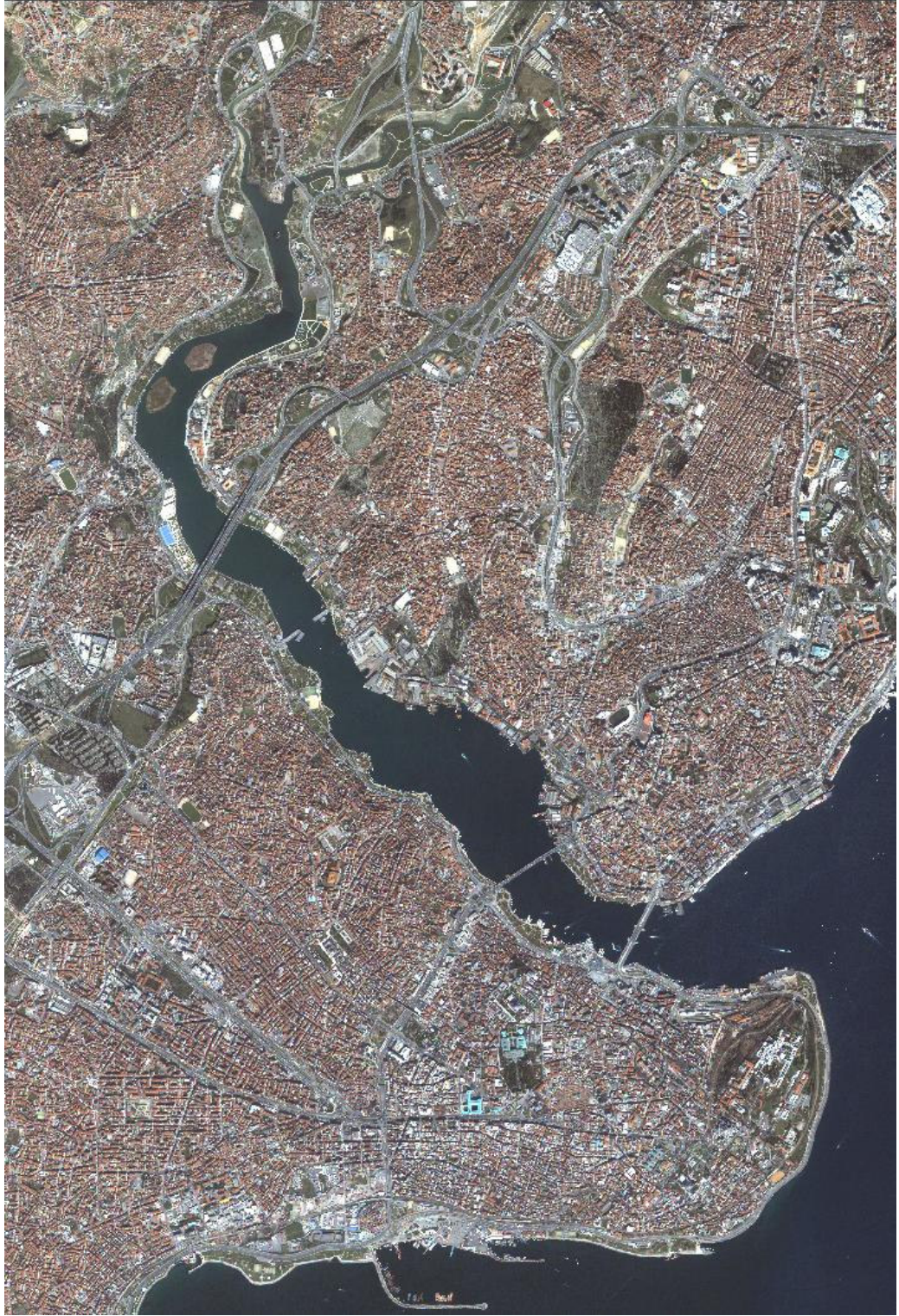
EKLER



Şekil A.1 : 28/11/2001 tarihli IKONOS görüntüsü



Şekil A.2 : 25/10/2004 tarihli IKONOS görüntüsü



Şekil A.3 : 22/03/2005 tarihli IKONOS görüntüsü

• **Tüm uydu görüntülerinin metadata dosyalarında aynı olan parametreler:**

Product Order Metadata

Creation Date: 06/14/06

Product Work Order Number: DEMO

Product Order Number: 2230540

Customer Project Name: HALIC

Ground Station ID: RGS8

License Type: Single Organization

Component Geographic Corner Coordinates

Number of Coordinates: 4

Coordinate: 1

Latitude: 40.9985549925 degrees

Longitude: 28.9236785528 degrees

Coordinate: 2

Latitude: 41.0756844403 degrees

Longitude: 28.9259261447 degrees

Coordinate: 3

Latitude: 41.0745078089 degrees

Longitude: 28.9950591930 degrees

Coordinate: 4

Latitude: 40.9973815342 degrees

Longitude: 28.9927310494 degrees

Component Map Coordinates (in Map Units)

UL Map X (Easting): 661793.64 meters

UL Map Y (Northing): 4548944.35 meters

Pixel Size X: 4.0000000000 meters

Pixel Size Y: 4.0000000000 meters

Product Order Map Units: meters

Columns: 1453 pixels

Rows: 2142 pixels

Reference Height: 65.5181503296 meters

Sensor Type: Satellite

Sensor Name: IKONOS-2

Processing Level: Standard Geometrically Corrected

Image Type: MSI

Interpolation Method: Nearest Neighbor
Multispectral Algorithm: None
Stereo: Mono
Mosaic: No
Map Projection: Universal Transverse Mercator
 UTM Specific Parameters
 Hemisphere: N
 Zone Number: 35
Datum: WGS84
Product Order Pixel Size: 4.0000000000 meters
Product Order Map Units: meters
MTFC Applied: Yes
DRA Applied: No
Media: Electronic
Product Media Format: Electronic
File Format: GeoTIFF
 TIFF Tiled: No
 Bits per Pixel per Band: 11 bits per pixel
Multispectral Files: Four Files
• 2001 yılı uydu görüntüsüne has metadata bilgileri:
Source Image ID: 2001112809190210000011107404
Product Image ID: 000
Sensor: IKONOS-2
Acquired Nominal GSD
 Cross Scan: 1.01 meters
 Along Scan: 0.91 meters
Scan Azimuth: 0.05 degrees
Scan Direction: Forward
Panchromatic TDI Mode: 13
Nominal Collection Azimuth: 281.6660 degrees
Nominal Collection Elevation: 63.70618 degrees
Sun Angle Azimuth: 171.2651 degrees
Sun Angle Elevation: 27.30559 degrees
Acquisition Date/Time: 2001-11-28 09:19 GMT
Percent Cloud Cover: 0

• **2004 yılı uydu görüntüsüne has metadata bilgileri:**

Source Image ID: 2004102509110180000011122483

Product Image ID: 001

Sensor: IKONOS-2

Acquired Nominal GSD

Cross Scan: 0.90 meters

Along Scan: 0.86 meters

Scan Azimuth: 270.04 degrees

Scan Direction: Reverse

Panchromatic TDI Mode: 13

Nominal Collection Azimuth: 6.3653 degrees

Nominal Collection Elevation: 72.44343 degrees

Sun Angle Azimuth: 168.3754 degrees

Sun Angle Elevation: 36.10446 degrees

Acquisition Date/Time: 2004-10-25 09:11 GMT

Percent Cloud Cover: 0

• **2005 yılı uydu görüntüsüne has metadata bilgileri:**

Source Image ID: 2005032209021970000011129603

Product Image ID: 002

Sensor: IKONOS-2

Acquired Nominal GSD

Cross Scan: 0.86 meters

Along Scan: 0.86 meters

Scan Azimuth: 90.00 degrees

Scan Direction: Forward

Panchromatic TDI Mode: 13

Nominal Collection Azimuth: 49.8678 degrees

Nominal Collection Elevation: 75.47948 degrees

Sun Angle Azimuth: 154.7784 degrees

Sun Angle Elevation: 47.08998 degrees

Acquisition Date/Time: 2005-03-22 09:02 GMT

Percent Cloud Cover: 0

Tablo A.1 : 29/11/2001 tarihli su kalitesi ölçümleri

İstasyon Adı	29.11.01	Gözlem Derinliği Sampling	Sıcaklık	Tuzluluk	Sigma -t	Seki D Der. Sec. D.	ÇO	BOİ	AKM	F Koli	ph
	Saat	Depth m.	Temperature °C	Salinity Ppt.	Sigma -t	Depth m.	DO mg/L	BOD mg/L	TSS mg/L	Coliform FC/100mL	ph
Galata K.	11	0.5	13.34	19.29	14.20	8	9.26	1.04	21.67	124	7.9
		2.5	13.35	19.29	14.20		9.28		22.33	190	8.15
		5.0	13.34	19.30	14.21		9.40		23.67	520	8.19
		10.0	13.31	19.41	14.30		9.27		25.67	420	8.21
		20.0	13.02	20.96	15.54		8.56		21.00	980	8.15
		25.0	14.40	30.97	22.99		6.58		32.67	320	8.04
Kasımpaşa		38.0	15.54	38.34	28.43		2.37		48.00	443	7.85
	13	0.5	13.33	19.64	14.47	4	8.44	1.91	26.00	205	8.23
		2.0	13.33	19.65	14.48		8.27		24.00	250	8.25
		4.0	-	-	-		7.30		24.33	250	8.24
Eski Köprü	14	0.5	12.82	20.41	15.15	1.8	5.42	3.97	25.00	6 800	8.08
		2.5	13.07	21.98	16.32		5.09		48.00	3 250	8.06
		5.0	13.44	24.77	18.41		4.06		54.67	2 000	8.01
Eyüp-Sütlüce	15	0.5	12.82	20.66	15.35	0.8	0.45	55.89	73.00	30 000	7.83
		2.5	13.07	21.81	16.19		0.62		152	7 500	7.86
		5.0	13.43	24.43	18.14		2.30		174	6 000	7.98
Cami altı	14	0.5	13.25	19.65	14.49	2.5	7.30	3.62	29.00	1 350	8.2
		2.5	13.30	19.67	14.50		8.62		25.00	150	8.23
		5.0	13.30	19.69	14.51		8.21		20.67	<1	8.29
		10.0	13.19	19.91	14.70		9.30		22.67	1 200	8.24
Unkapamı	12	0.5	13.36	19.35	14.25	8	9.28	0.81	23.67	88	8.3
		2.5	13.36	19.36	14.25		9.39		28.67	35	8.31
		5.0	13.28	19.62	14.46		9.36		21.00	110	8.29
		10.0	13.13	20.06	14.83		8.53		23.33	280	8.27
		20.0	13.04	20.57	15.24		8.49		21.00	1 200	8.29
		34.0	15.58	38.09	28.22		1.98		48.33	1 500	7.88
Adalararası	15	0.5	12.83	20.88	15.52	0.3	0.40	25.02	100	100 000	7.85
		2.0	13.17	22.52	16.72		0.11		126	13 200	7.82
		4.0	13.27	23.04	17.10		0.96		148	4 700	7.91
Adalarsonrası	15	0.5	12.45	19.67	14.64	0.3	1.89	16.47	88.00	150 000	7.84
		2.5	13.11	21.67	16.08		0.10		152	47 500	7.82
		5.0	14.26	14.58	10.43		0.06		138	65 000	7.83
HaliçKöp.	15	0.5	12.79	20.49	15.22	1	1.53	1.53	67.00	50 000	7.89
		2.5	13.05	21.92	16.28		1.94		71.00	8 000	7.9
		5.0	13.43	24.95	18.55		2.71		68.00	4 100	7.96

Tablo A.2 : 26/10/2004 tarihli su kalitesi ölçümleri

İstasyon Adı	26.10.2004 Saat	Gözlem	Sıcaklık	Tuzluluk	Sigma-t	Seki D Der.	ÇO	BOİ	AKM	Fekal Koliform	Ph
		Derinliği	Temperature	Salinity	Sigma-t	Sec. D. Depth	DO	BOD	TSS	Fecal Coliform	Ph
		Depth m	°C	psu		m	mg/L	mg/L	mg/L	CFU/100mL	
Galata K.	10	0.5	18.23	18.63	12.73	5.5	8.19	<2	30.60	400	8.06
		2.5	18.16	18.72	12.81		7.92		29.80	180	8.12
		5.0	18.16	18.73	12.82		8.27		26.60	380	8.18
		10.0	18.27	19.12	13.09		7.55		25.60	90	8.17
		20.0	16.37	29.58	21.50		5.09		44.80	450	7.96
		25.0	15.39	35.60	26.35		3.14		51.00	460	7.87
Unkapanı	11	38.0	15.10	38.29	28.49		1.12		58.60	3800	7.81
		0.5	18.05	18.04	12.32	1.5	9.50	8.18	35.20	400	8.16
		2.5	18.09	18.36	12.55		8.90		20.80	350	8.16
		5.0	18.22	18.65	12.75		8.06		26.00	180	8.08
		10.0	18.16	19.85	13.67		7.85		20.20	80	8.06
		20.0	16.24	30.20	22.00		5.55		33.00	56	8.00
Kasımpaşa	12	34.0	15.07	38.27	28.48		0.16		59.60	150	7.74
		0.5	18.32	17.90	12.15	1.5	9.69	6.08	42.50	600	8.13
		2.0	18.28	17.90	12.16		9.68		41.25	820	8.16
		4.0	18.26	17.91	12.18		9.55		36.80	580	8.13
Cami altı	12	0.5	18.07	18.06	12.34	2	10.15	4.90	36.20	750	8.16
		2.5	18.15	18.36	12.54		10.15		29.60	920	8.17
		5.0	18.37	18.63	12.70		8.05		20.20	520	8.14
		14.0	17.34	24.99	17.77		6.25		31.80	34	8.10
Eski Köprü	13	0.5	18.27	17.38	11.77	1.5	10.92	11.74	32.20	1080	8.15
		2.0	18.15	17.80	12.12		9.05		28.40	820	8.12
		4.0	18.29	18.51	12.62		6.89		31.60	440	8.09
Haliç Köp.	13	0.5	18.89	17.46	11.69	1.5	9.46	5.64	29.00	110	8.12
		2.0	18.32	17.41	11.78		8.09		30.40	800	8.06
		4.0	18.60	18.63	12.65		4.28		24.80	180	7.99
Eyüp-Sütlüce	13	0.5	19.08	16.58	10.98	1	8.59	9.32	30.80	3000	8.00
		2.0	18.52	18.12	12.28		8.01		25.80	1500	8.03
		4.0	18.77	18.71	12.67		4.13		26.20	450	7.96
Adalararası	13	0.5	19.58	16.94	11.14	1.5	6.30	5.54	27.00	3500	7.96
		2.0	18.62	18.31	12.40		6.79		29.60	1800	7.99
		4.0	18.86	18.68	12.63		4.29		27.00	400	7.94
Adalarsonrası	14	0.5	19.17	17.68	11.80	0.3	2.93	13.24	70.00	3500	7.78
		3.0	18.85	17.31	11.59		4.50		40.40	1400	7.87

Tablo A.3 : 23/03/2005 tarihli su kalitesi ölçümleri

İstasyon Adı	23.3.2005 Saat	Gözlem	Sıcaklık	Tuzluluk	Sigma -t	Seki D. Der.	ÇO	BOİ	AKM	Fekal Koliform	Ph
		Derinliği	Temperature	Salinity	Sigma -t	Sec. D. Depth	DO	BOD	TSS	Fecal Coliform	Ph
		Depth m	oC	psu		m	mg/L	mg/L	mg/L	CFU/100mL	
Galata K.	11	0.5	7.87	19.37	15.04	9	9.54	0.66	16.20	180	7.57
		2.5	7.85	19.37	15.05		9.65		15.80	38	7.88
		5.0	7.84	19.55	15.19		9.63		20.60	250	7.85
		10.0	7.86	19.62	15.24		9.62		21.00	580	7.87
		20.0	8.17	20.48	15.88		9.56		20.80	800	7.86
		25.0	10.09	24.53	18.78		8.22		22.40	1800	7.86
		38.0	15.30	38.17	28.35		2.03		47.40	15000	7.70
Unkapanı	12	0.5	7.97	18.38	14.26	7	9.15	3.08	12.40	50	7.86
		2.5	7.80	19.06	14.81		9.56		15.60	-	-

Tablo A.4 : Chl-a ölçümleri (µg/L)

İstasyon/Tarih	29/11/2001	26/10/2004	23/03/2005
Galata Köprüsü	4.44	9.94	0.81
Unkapanı Köprüsü	6.28	43.76	1.14
Kasımpaşa	-	51.73	1.56
Camialtı	7.01	52.33	1.56
Valide Sultan Köp.	4.90	93.05	1.57
Haliç Köp.	-	74.10	1.70
Eyüp-Sütlüce	1.43	63.06	1.43
Adalar arası	2.02	50.60	1.28
Adalar sonrası	1.61	27.61	2.17



Şekil A.4 : 28-11-2001 tarihli IKONOS görüntüsü (Atmosferik düzeltme önce ve sonrası)



Şekil A.5 : 25-10-2004 tarihli IKONOS görüntüsü (Atmosferik düzeltme önce ve sonrası)



Şekil A.6 : 22-03-2005 tarihli IKONOS görüntüsü (Atmosferik düzeltme önce ve sonrası)



Şekil A.7 : AS istasyonunun yeri



Şekil A.8 : AA istasyonunun yeri



Şekil A.9 : ES istasyonunun yeri



Şekil A.10 : HK istasyonunun yeri



Şekil A.11 : VS istasyonunun yeri



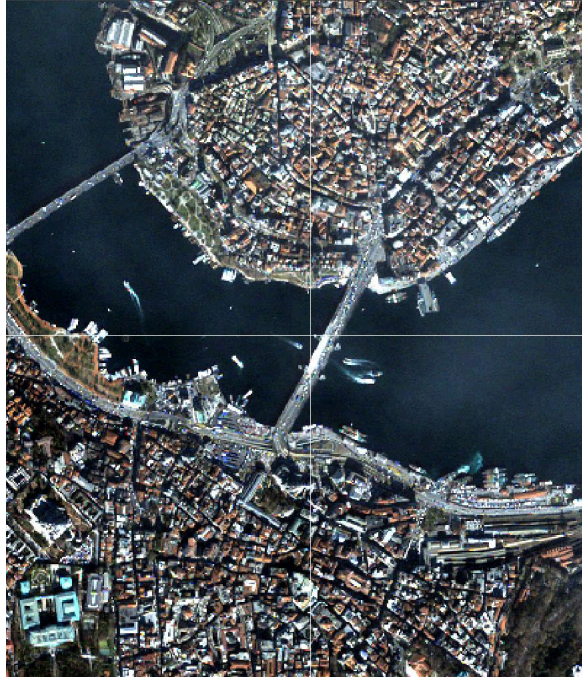
Şekil A.12 : CA istasyonunun yeri



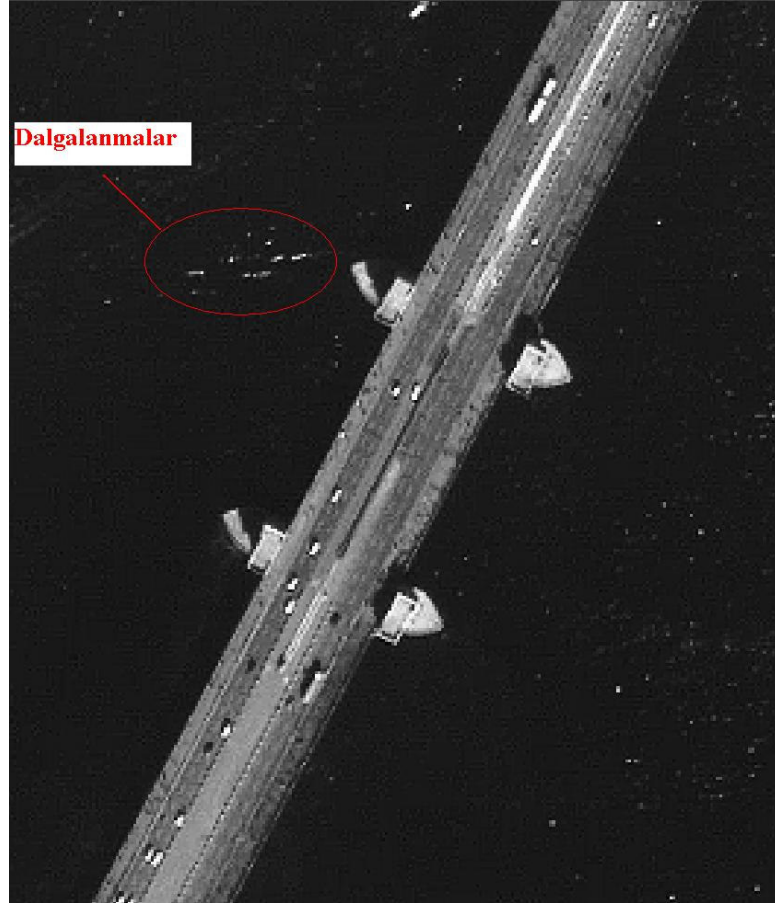
Şekil A.13 : KP istasyonunun yeri



Şekil A.14 : UK istasyonunun yeri



Şekil A.15 : GK istasyonunun yeri



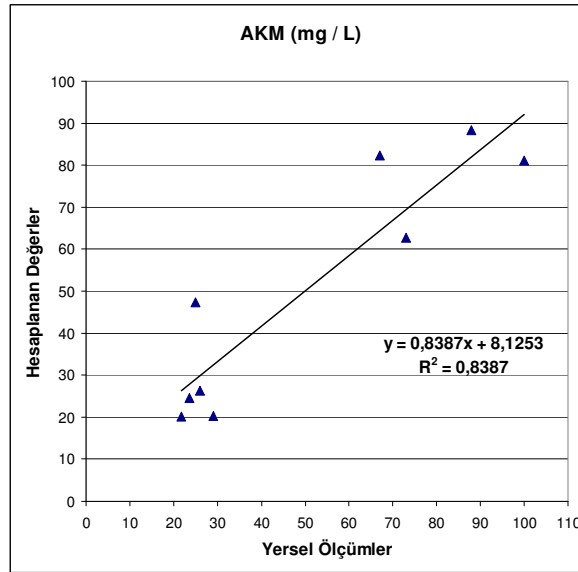
Şekil A.16 : GK istasyonunun sol üstünde olan dalgalanmalar.(IKONOS Pankromatik bandından alınmıştır.)

Tablo A.5 : 2001 dönemi AKM konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri

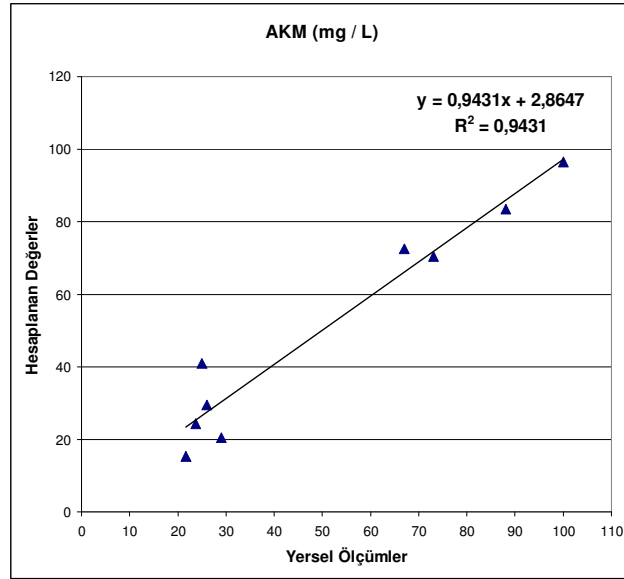
AKM (Merkez piksel)	$AKM(mg/L)=28,8260 - 0,5001*BND1 - 5,8847*BND2 + 11,1931*BND3 - 4,3184*BND4$	$R^2= 0,839$
AKM (3*3)	$AKM(mg/L)= -18,5866 + 18,6243*BND1 - 25,9949*BND2 + 22,4492*BND3 - 18,5260*BND4$	$R^2= 0,943$
AKM (5*5)	$AKM(mg/L)= -3,8979 + 23,5595*BND1 - 34,6847*BND2 + 25,3990*BND3 - 20,3597*BND4$	$R^2= 0,946$

Tablo A.6 : 2001 dönemi AKM konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler

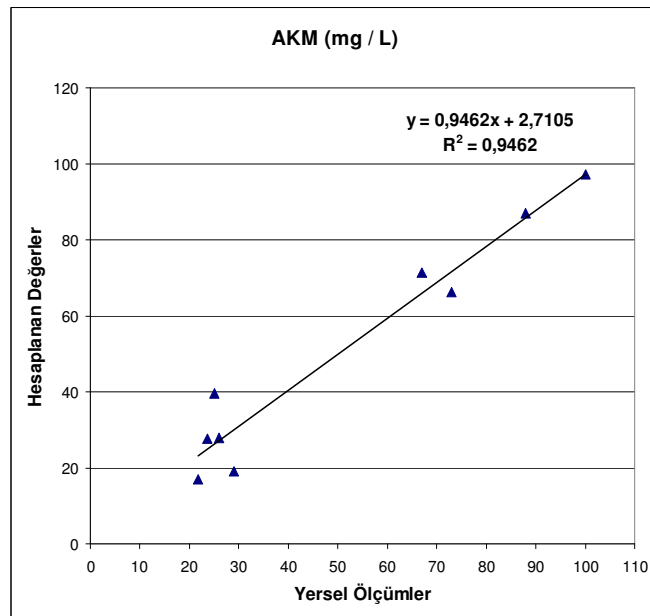
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer (mg/L)
AS	88,40694382	83,49691351	87,05039719	88
AA	81,12686813	96,45282647	97,31488746	100
ES	62,65769813	70,454157	66,26036207	73
HK	82,29873438	72,55112845	71,4617869	67
VS	47,35526255	40,8825301	39,61896913	25
CA	20,39443816	20,41936624	19,11601276	29
KP	26,35671877	29,50192127	27,79795148	26
UK	24,51673261	24,27829986	27,64699594	23,67
GK	20,22660346	15,30285711	17,07263705	21,67



Şekil A.17 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan AKM konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



Şekil A.18 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan AKM konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



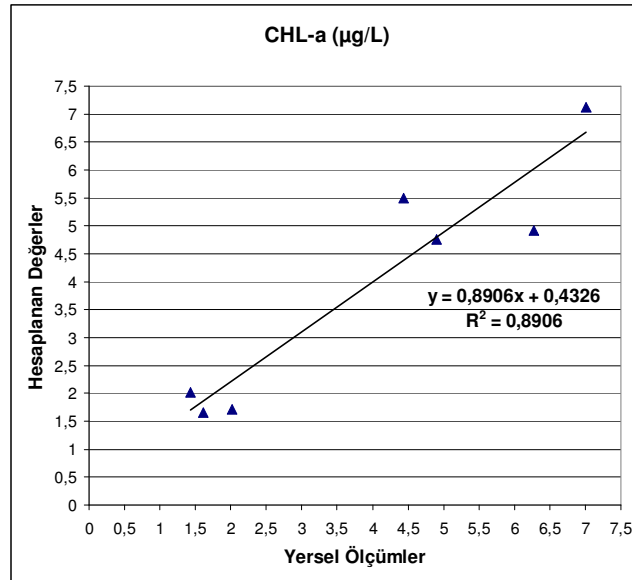
Şekil A.19 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan AKM konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)

Tablo A.7 : 2001 dönemi Chl-a konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R² değerleri

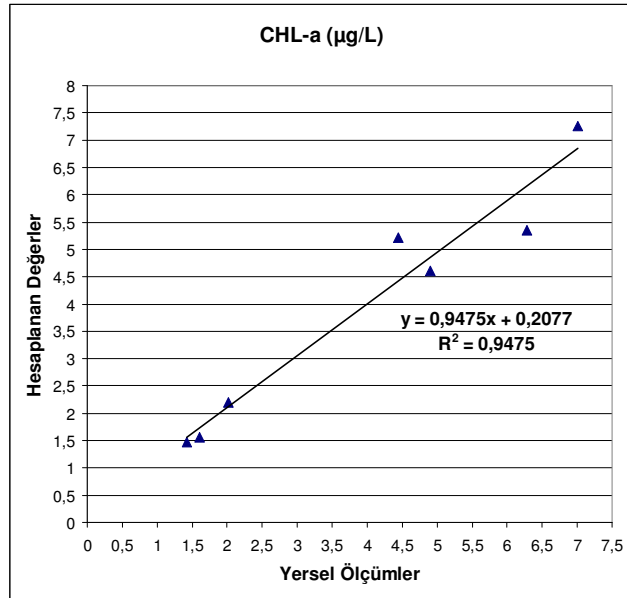
Chl-a (Merkez piksel)	$\text{Chl-a } (\mu\text{g/L}) = 2,0264 + 0,3616 \cdot \text{BND1} + 0,4408 \cdot \text{BND2} - 0,9517 \cdot \text{BND3} + 0,6466 \cdot \text{BND4}$	R ² = 0,891
Chl-a (3*3)	$\text{Chl-a } (\mu\text{g/L}) = -1,0693 + 1,1121 \cdot \text{BND1} + 0,1080 \cdot \text{BND2} - 1,1162 \cdot \text{BND3} + 0,4181 \cdot \text{BND4}$	R ² = 0,948
Chl-a (5*5)	$\text{Chl-a } (\mu\text{g/L}) = -0,4647 + 1,1315 \cdot \text{BND1} + 0,1084 \cdot \text{BND2} - 1,0556 \cdot \text{BND3} + 0,0887 \cdot \text{BND4}$	R ² = 0,957

Tablo A.8 : 2001 dönemi Chl-a konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler

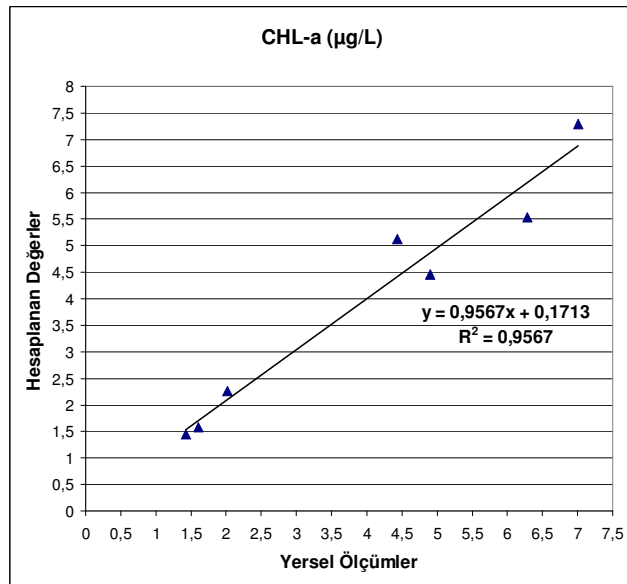
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer (µg/L)
AS	1,655704247	1,559284646	1,58329287	1,61
AA	1,714441961	2,206952341	2,253003921	2,02
ES	2,023526103	1,47901145	1,440832928	1,43
VS	4,757350508	4,61169812	4,452953553	4,9
CA	7,128284411	7,259532439	7,294514583	7,01
UK	4,918388145	5,353270953	5,536426462	6,28
GK	5,492304625	5,220250049	5,128975684	4,44



Şekil A.20 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



Şekil A.21 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



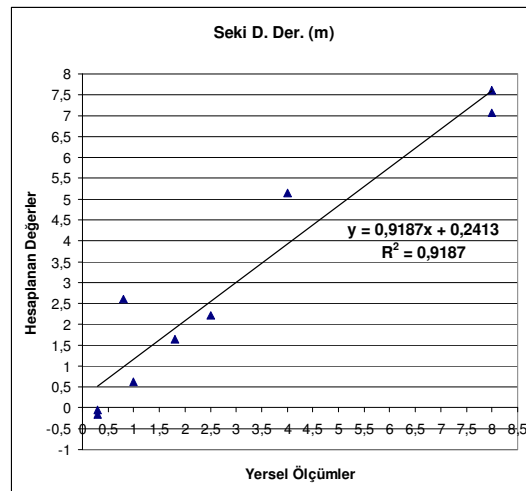
Şekil A.22 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)

Tablo A.9 : 2001 dönemi Seki Disk derinlikleri için regresyon denklemleri ve R² değerleri

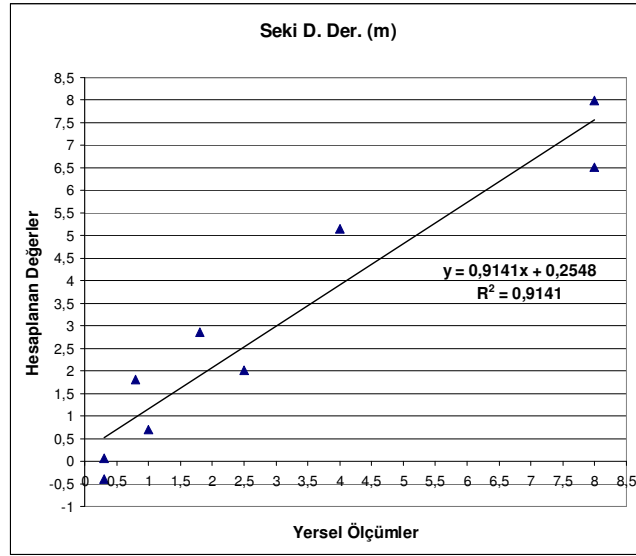
SDD (Merkez piksel)	$SDD(m) = 10,3274 - 0,5620*BND1 - 0,0811*BND2 - 0,6652*BND3 + 1,5690*BND4$	R ² = 0,919
SDD (3*3)	$SDD(m) = -13,7799 - 1,4742*BND1 + 0,5716*BND2 - 0,9764*BND3 + 2,2780*BND4$	R ² = 0,914
SDD (5*5)	$SDD(m) = -10,5824 - 0,7546*BND1 - 0,1230*BND2 - 0,7071*BND3 + 2,2605*BND4$	R ² = 0,910

Tablo A.10 : 2001 dönemi Seki Disk Der. için ölçülen ve hesaplanan değerler

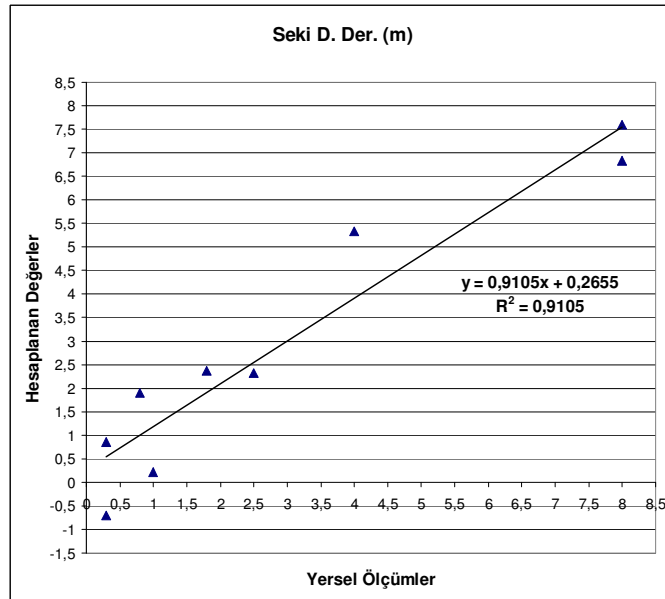
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer (m)
AS	-0,057159031	-0,393980686	-0,711571372	0,3
AA	-0,156756052	0,065432381	0,859899631	0,3
ES	2,606369308	1,813358849	1,896751963	0,8
HK	0,627006362	0,704765935	0,222995533	1
VS	1,640638968	2,85276577	2,362848214	1,8
CA	2,21872386	2,015647583	2,32146028	2,5
KP	5,149418359	5,148560557	5,331091377	4
UK	7,067268975	6,508641773	6,824709674	8
GK	7,60448925	7,984807839	7,5918147	8



Şekil A.23 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan S.D.Derinlikleri arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



Şekil A.24 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan S.D. Derinlikleri arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



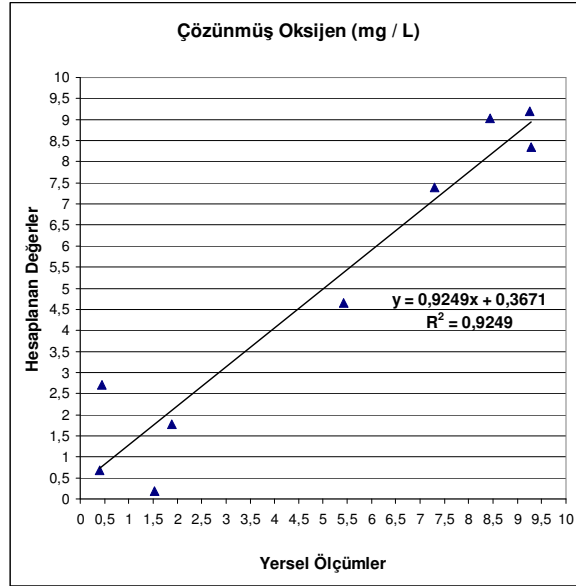
Şekil A.25 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan S.D. Derinlikleri arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)

Tablo A.11 : 2001 dönemi ÇO konsantrasyonu için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri

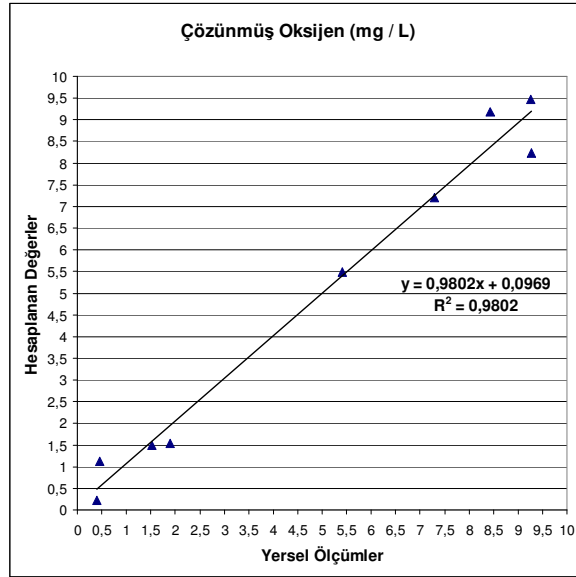
ÇO (Merkez piksel)	$\text{ÇO(mg/L)} = 7,1602 - 0,1488 \cdot \text{BND1} + 0,4045 \cdot \text{BND2} - 1,3299 \cdot \text{BND3} + 2,1032 \cdot \text{BND4}$	$R^2 = 0,925$
ÇO (3*3)	$\text{ÇO(mg/L)} = 9,2456 - 1,1597 \cdot \text{BND1} + 1,4652 \cdot \text{BND2} - 2,1603 \cdot \text{BND3} + 3,4493 \cdot \text{BND4}$	$R^2 = 0,980$
ÇO (5*5)	$\text{ÇO(mg/L)} = 6,8294 - 1,0463 \cdot \text{BND1} + 1,4706 \cdot \text{BND2} - 2,1284 \cdot \text{BND3} + 3,6903 \cdot \text{BND4}$	$R^2 = 0,972$

Tablo A.12 : 2001 dönemi ÇO konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler

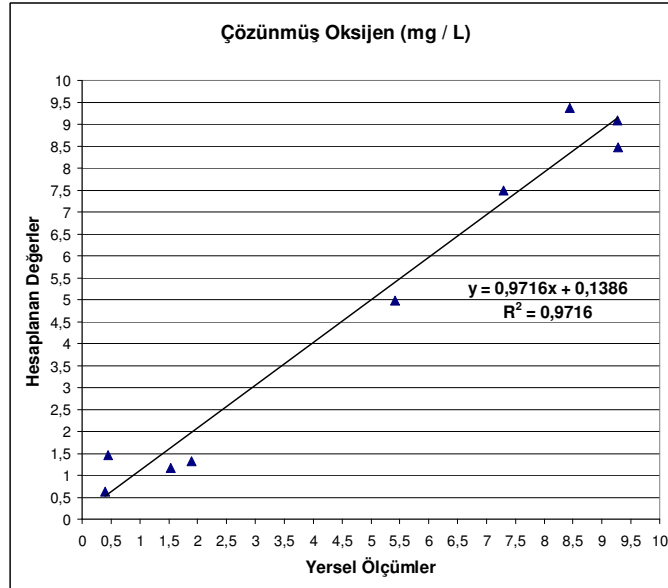
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer (mg/L)
AS	1,773554688	1,543900121	1,315633119	1,89
AA	0,682630617	0,222178748	0,630970642	0,4
ES	2,705232491	1,126173357	1,456386036	0,45
HK	0,181081616	1,500024849	1,167183566	1,53
VS	4,649986832	5,494721765	4,97878658	5,42
CA	7,389465529	7,204469769	7,483315927	7,3
KP	9,02920783	9,178818485	9,378285561	8,44
UK	8,354096446	8,226371948	8,466758726	9,28
GK	9,204743951	9,473340958	9,092679844	9,26



Şekil A.26 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan ÇO konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



Şekil A.27 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan ÇO konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



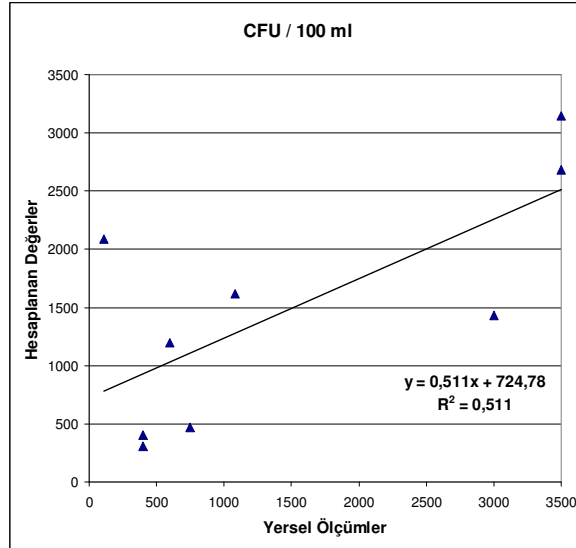
Şekil A.28 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan ÇO konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)

Tablo A.13 : 2001 dönemi CFU/100ml için regresyon denklemleri ve R^2 değerleri

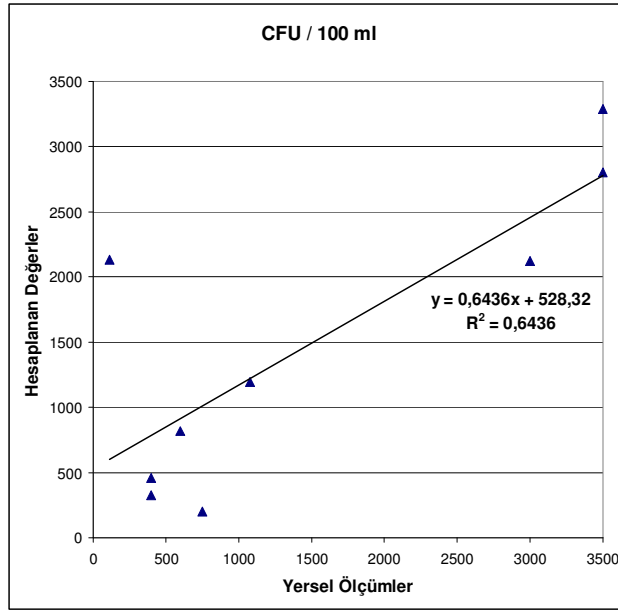
Merkez piksel	$CFU/100ml = -568,6832 + 144,0951*BND1 - 362,1811*BND2 + 390,2902*BND3 + 210,1852*BND4$	$R^2 = 0,511$
3*3	$CFU/100ml = 345,8702 + 71,3862*BND1 - 522,2253*BND2 + 663,6210*BND3 - 17,6867*BND4$	$R^2 = 0,644$
5*5	$CFU/100ml = 1331,2474 - 311,7596*BND1 - 412,6848*BND2 + 625,0591*BND3 + 656,0985*BND4$	$R^2 = 0,727$

Tablo A.14 : 2001 dönemi CFU/100 ml için ölçülen ve hesaplanan değerler

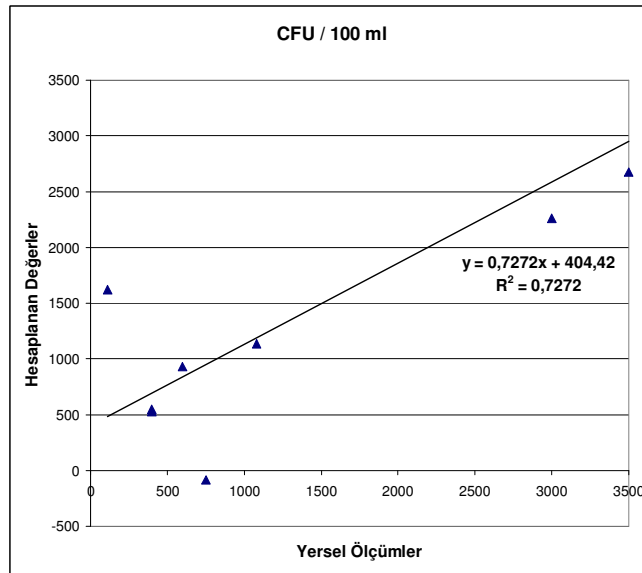
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer CFU/100ml
AS	3147,256214	3287,624214	3723,180545	3500
AA	2682,087676	2803,257208	2677,485505	3500
ES	1430,61434	2122,971967	2260,63529	3000
HK	2086,050708	2130,625869	1622,764632	110
VS	1616,671776	1194,690548	1137,577878	1080
CA	468,4205092	198,6647848	-83,94650213	750
KP	1199,483227	818,4438641	928,8744139	600
UK	308,5140619	455,7952484	527,7656392	400
GK	400,9014876	327,9262961	545,6625985	400



Şekil A.29 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



Şekil A.30 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



Şekil A.31 : 2001 dönemi ölçülen ve hesaplanan CFU/100 ml arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)

Tablo A.15 : 2004 dönemi su kalitesi parametreleri için regresyon denklemleri

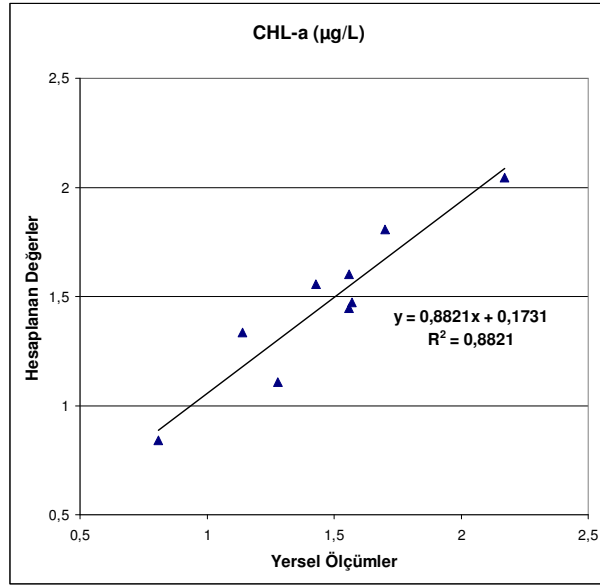
5*5 AKM(mg/L)	AKM= -86,0731+39,5616*BND1-8,9707*BND2-28,8193*BND3-7,6288*BND4
5*5 Chl-a (µg/L)	Chl-a= -441,3584+140,7212*BND1-7,8994*BND2-177,3281*BND3+85,2607*BND4
5*5 Seki D.D.(m)	SDD= 32,9127-7,8581*BND1-0,3757*BND2+10,2598*BND3-3,8890*BND4
5*5 ÇO(mg/L)	ÇO= -14,6961+8,5326*BND1-1,7887*BND2-9,8746*BND3+4,8248*BND4
5*5 CFU/100ml	CFU/100ml= 16792,4213-6885,5532*BND1+3083,5909*BND2+4988,3180*BND3-2171,2712*BND4

Tablo A.16 : 2005 dönemi Chl-a konsantrasyonu için regresyon denklemleri

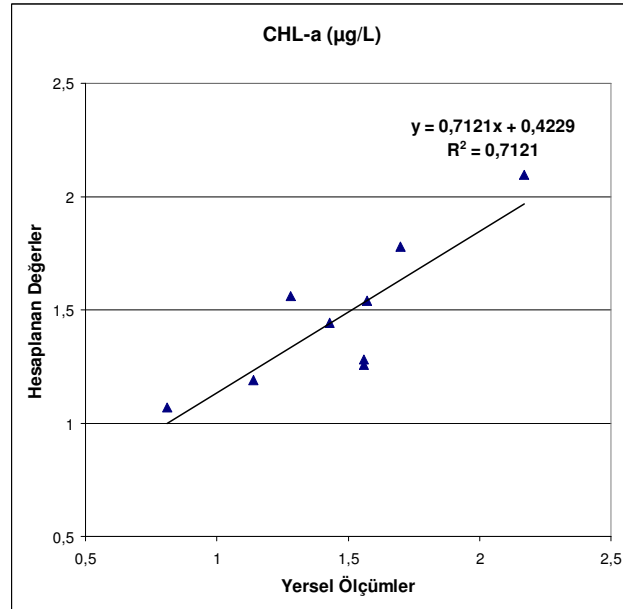
Merkez piksel	Chl-a(µg/L)=0,9647-0,2104*BND1 +0,3367*BND2 +0,1236*BND3 -0,0754*BND4	R ² = 0,882
3*3	Chl-a(µg/L)=1,1765 -0,0627*BND1 +0,0286*BND2 +0,5434*BND3 -0,7654*BND4	R ² = 0,712
5*5	Chl-a(µg/L)=0,3387 +0,2525*BND1 -0,1357*BND2 +0,5462*BND3 -1,1891*BND4	R ² = 0,718

Tablo A.17 : 2005 dönemi Chl-a konsantrasyonu için ölçülen ve hesaplanan değerler

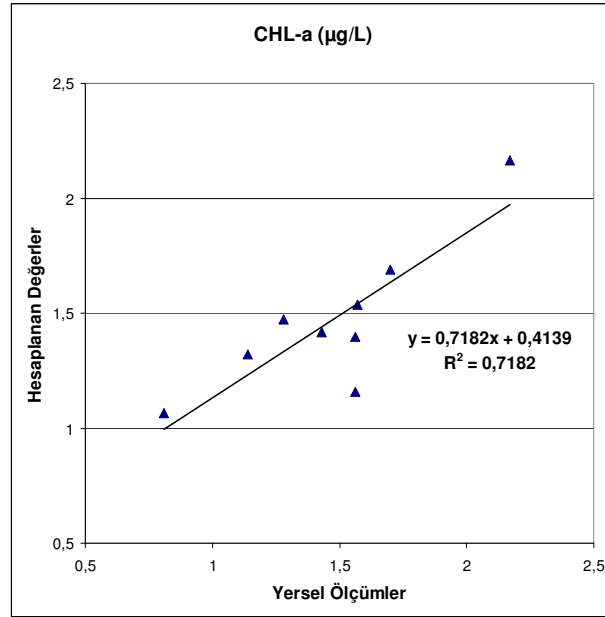
İstasyon	Merkez Piksel	3*3 ortalama	5*5 ortalama	Ölçülen değer (µg/L)
AS	2,045300459	2,095311932	2,163755111	2,17
AA	1,107868228	1,562244816	1,472299788	1,28
ES	1,55663363	1,442292195	1,418114342	1,43
HK	1,808570967	1,78005475	1,688567369	1,7
VS	1,474957916	1,539581659	1,537631739	1,57
CA	1,602241864	1,282804412	1,398370684	1,56
KP	1,447570343	1,256663629	1,156527751	1,56
UK	1,335569538	1,191732278	1,320777436	1,14
GK	0,841287055	1,069314331	1,063955781	0,81



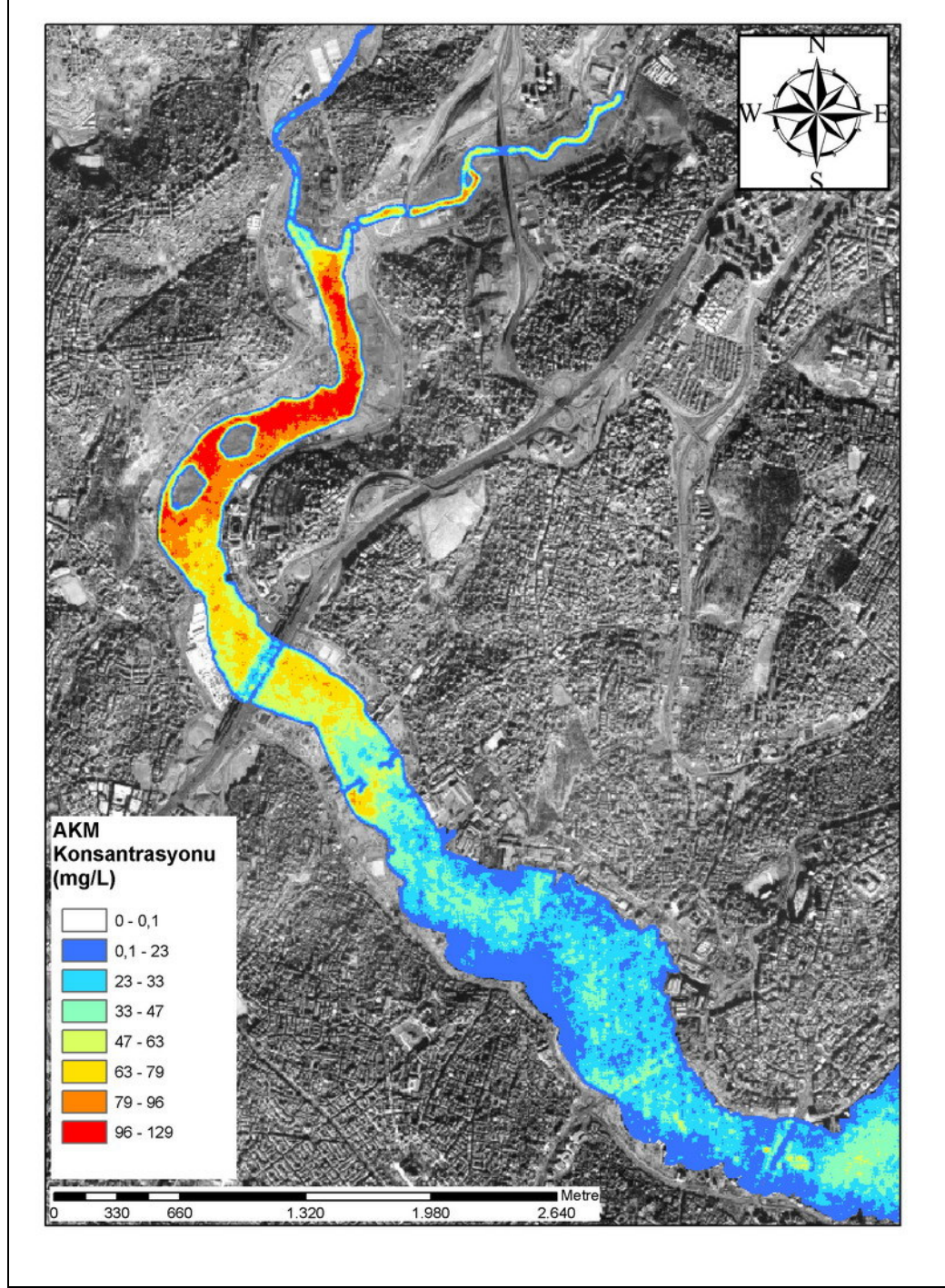
Şekil A.32 : 2005 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (merkez pikseller kullanılarak)



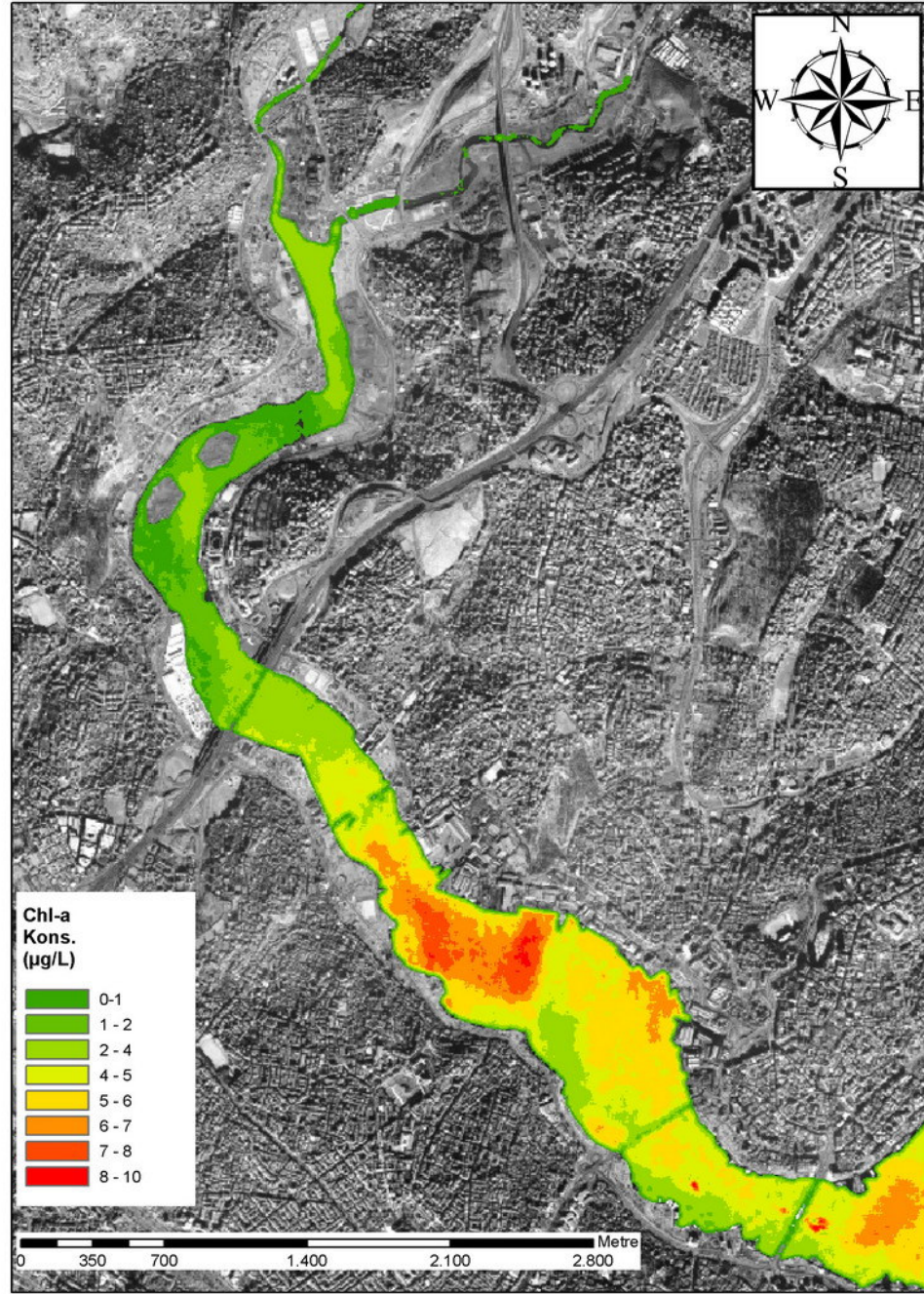
Şekil A.33 : 2005 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (3*3 ortalamalar kullanılarak)



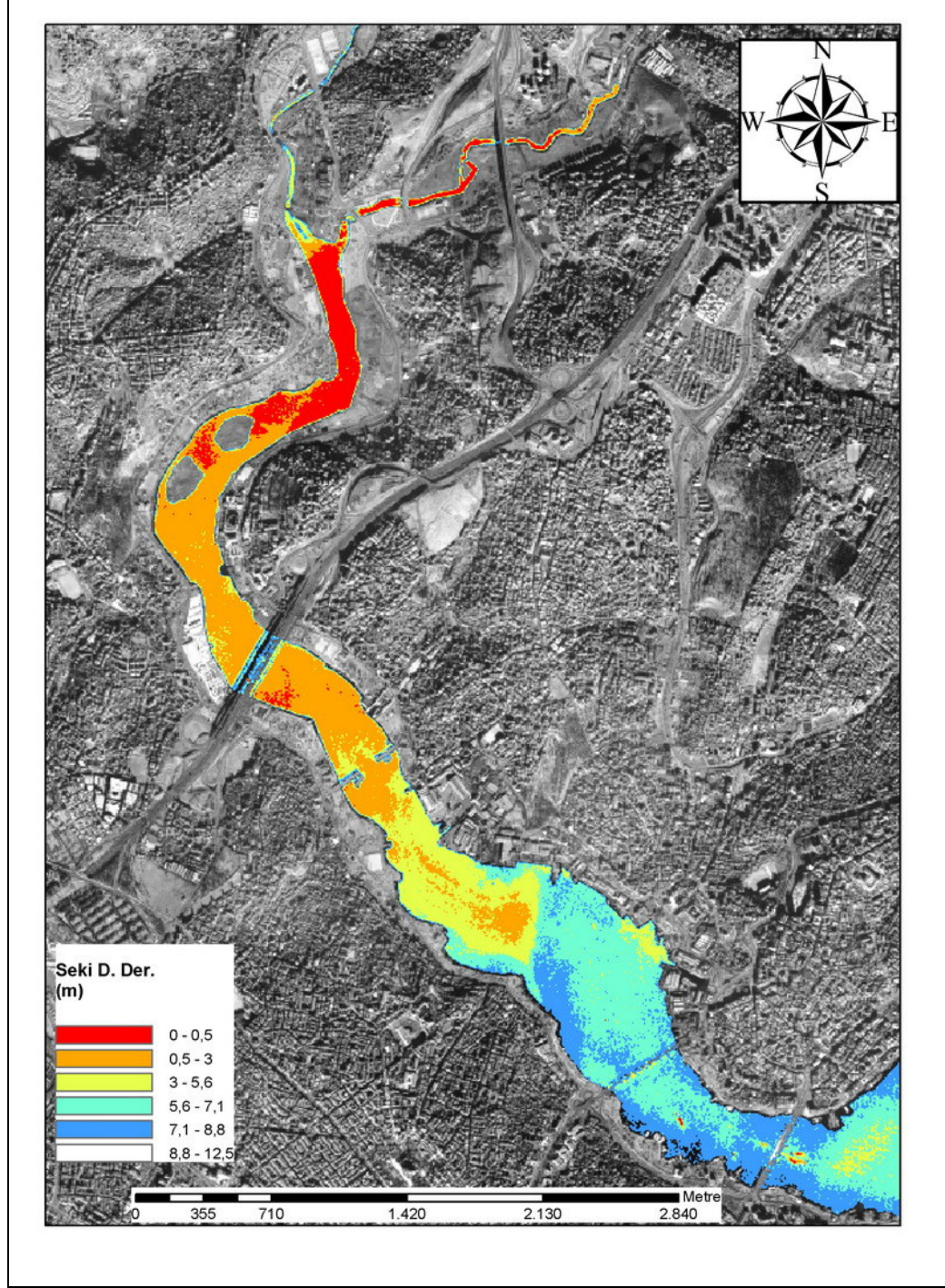
Şekil A.34 2005 dönemi ölçülen ve hesaplanan Chl-a konsantrasyonları arasındaki dengeleyici doğru (5*5 ortalamalar kullanılarak)



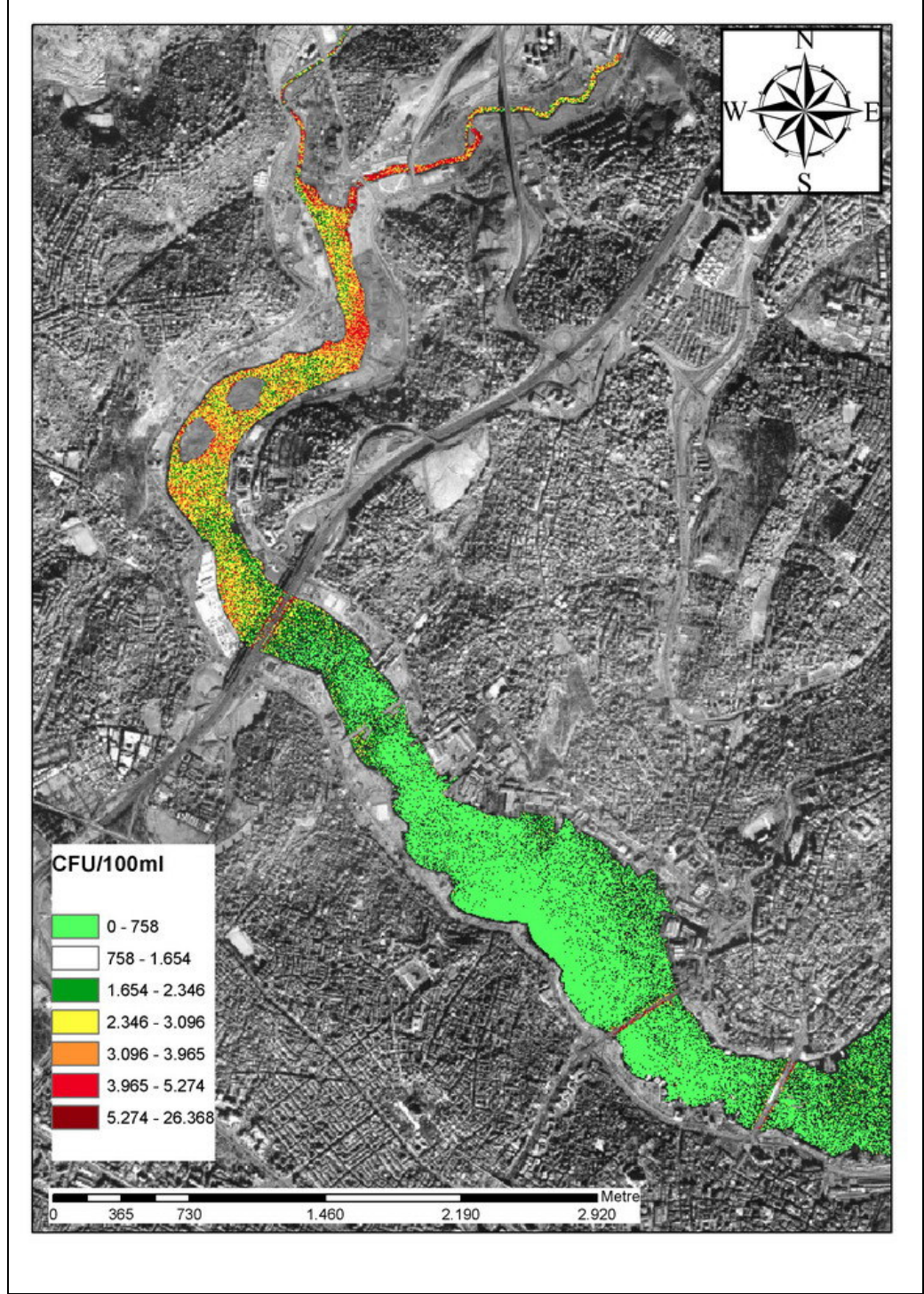
Şekil A.35 : 28/11/2001 tarihli AKM Kon. Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)



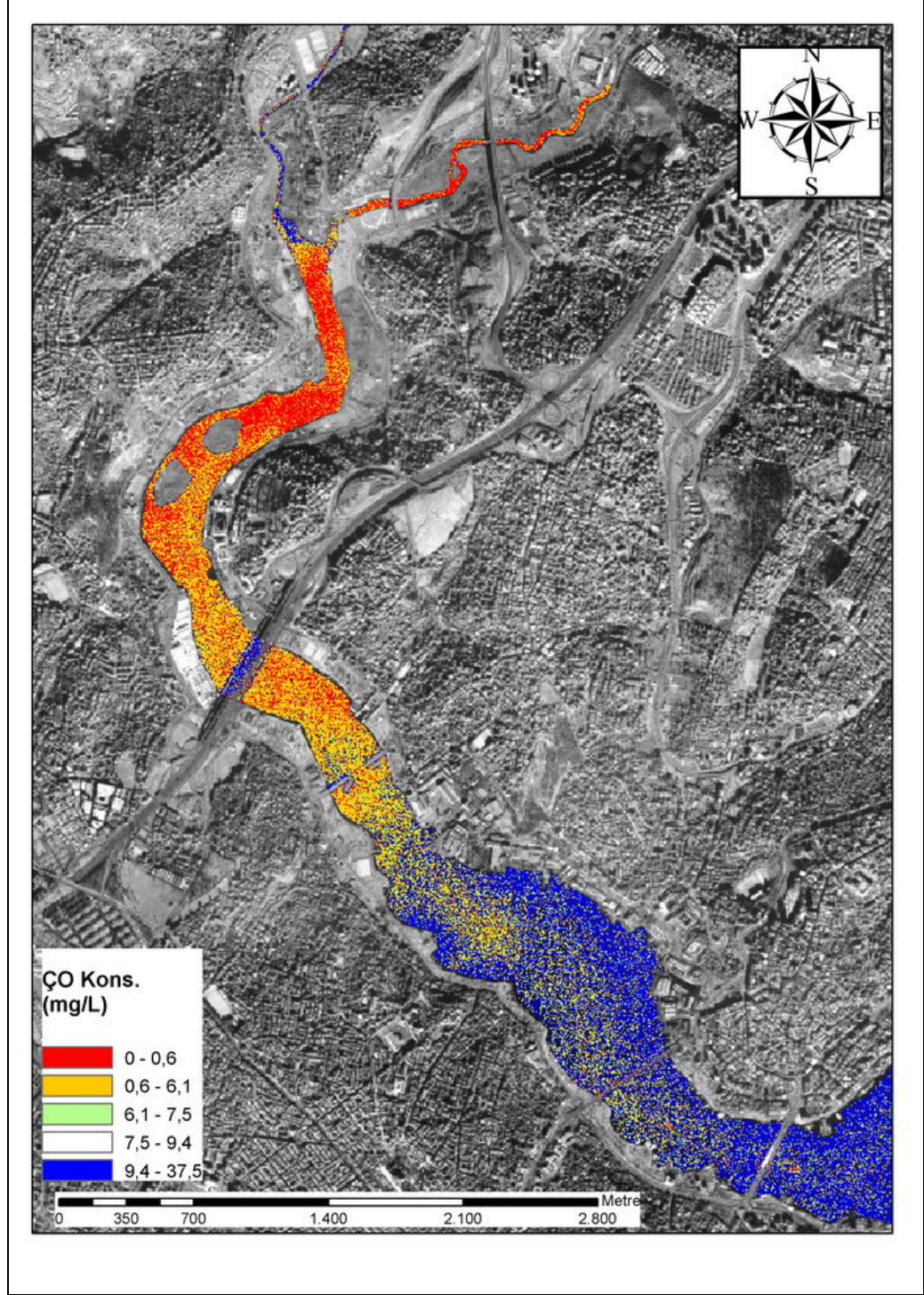
Şekil A.36 : 28/11/2001 tarihli Chl-a Kon. Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)



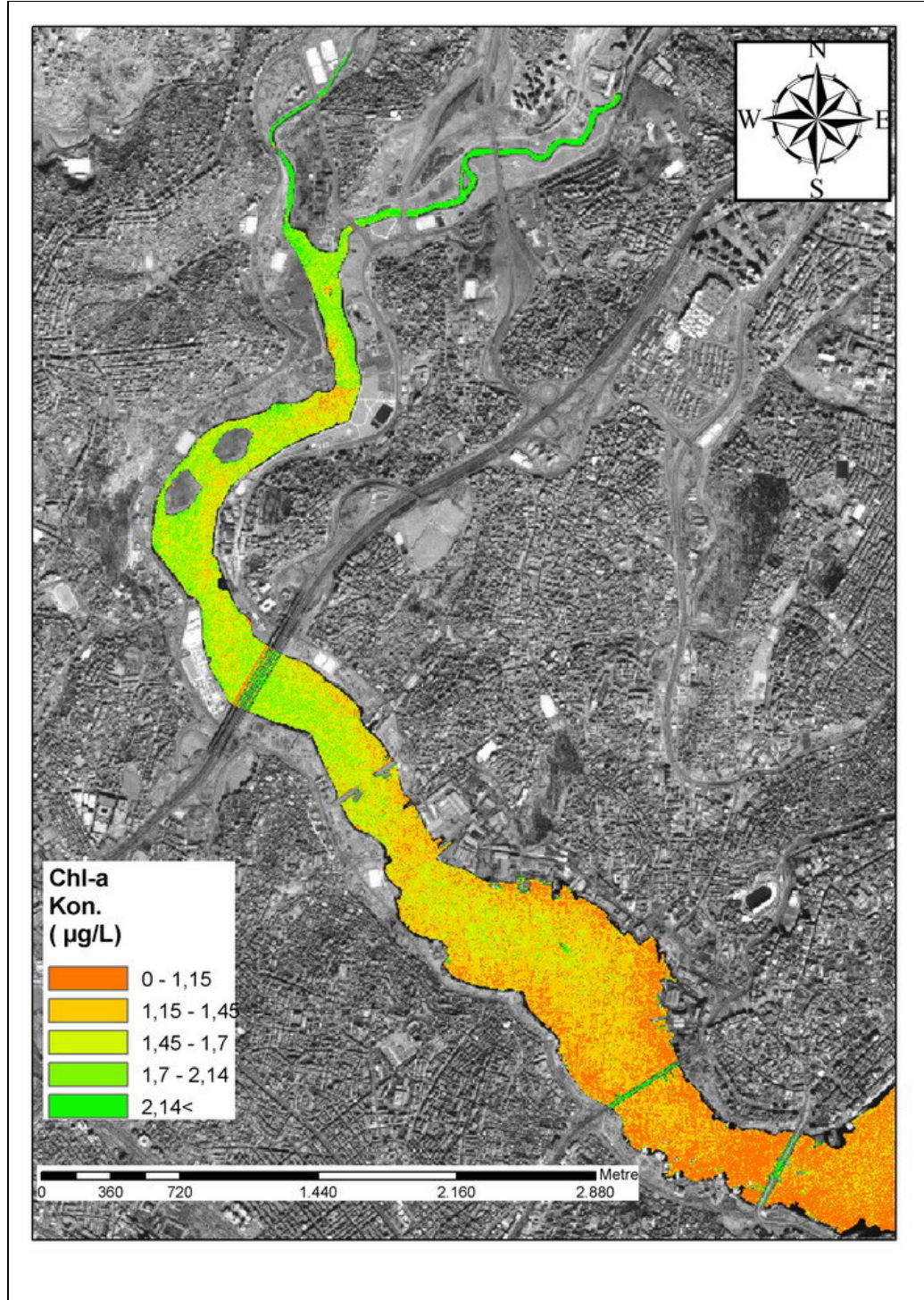
Şekil A.37 : 28/11/2001 tarihli Seki Disk Der. Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)



Şekil A.38 : 28/11/2001 tarihli Fekal Koliform Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)



Şekil A.39 : 28/11/2001 tarihli ÇO Konsantrasyonu Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)



Şekil A.40 : 22/03/2005 tarihli Chl-a Konsantrasyonu Dağılım haritası (Pankromatik bant arka planda)

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Visali Sarıkaya 1979 yılında İstanbul'da doğdu. 1995 yılında Özel Üsküdar Fazilet Koleji'nden mezun oldu. Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünü kazanarak, 2001 yılında Harita Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği yüksek lisans programına kabul edildi. Halen aynı bölümde yüksek lisansını sürdürmektedir.