

**PORSUK BARAJ GÖLÜ
SU KALİTESİ İZLEME ÇALIŞMALARINDA
UZAKTAN ALGILAMA VE
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN
KULLANILMASI**

FATMA BİLGE
Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
EYLÜL-1997

**PORSUK BARAJ GÖLÜ ›
SU KALİTESİ İZLEME ÇALIŞMALARINDA
UZAKTAN ALGILAMA VE
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN
KULLANILMASI**

Fatma Bilge

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Teknolojileri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Tuncay DÖĞEROĞLU

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

Eylül-1997

Fatma Bilge'nin Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı Porsuk Baraj Gölü Su Kalitesi İzleme Çalışmalarında Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması başlıklı tez...27.08.1997.... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Öğretim Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı): Y. Doç. Dr. Tuncay DÖĞER OĞU

Üye : Prof. Dr. Serap KARA

Üye : Doç. Dr. Can AYDAY

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliği Kurulu'nun

27.08.1997 tarih ve 14/2..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ersan PÜTÜN
Enstitü Müdürü
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖNSÖZ

“Porsuk Baraj Gölü Su Kalitesi İzleme Çalışmalarında Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması” başlıklı bu çalışma, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın başlangıcından beri sürekli bilgi, hoşgörü, anlayış ve yardımlarını esirgemeyerek beni her zaman destekleyen, böylelikle çok farklı disiplinlerde kanımca önemli bir bilgi birikiminin oluşmasını sağlayan, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren, değerli danışman hocam Sn.Yrd. Doç. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU’na,

Değerli görüş ve önerileri ile çalışmaya ışık tutan ve yurt içi ve yurt dışı deneyimlerini sürekli bizlerle paylaşan, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezinin (ANAÇEVREM) her türlü imkanlarından yararlanmamı sağlayan ANAÇEVREM Müdürü hocam Sn. Prof. Dr. Serap KARA’ya,

Çalışmalar sırasında eşsiz sabır ve ilgileriyle beni her zaman destekleyen, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, çalışmaya yoğun katkıda bulunan A.Ü. Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü Müdürü hocam Sn. Doç. Dr. Can AYDAY ve Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü elemanlarına,

Çalışmanın her aşamasında yanımda olan ve ilgi ve desteklerini her zaman hatırlayacak olduğum Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Çevre Mühendisliği Bölüm elemanlarına,

DSİ 3. Bölge Müdürlüğü Teknik Araştırma Kalite Kontrol Şube Müdürü Sn. Sedat OKTAŞ ve Eskişehir Toprak Tahlil Laboratuvarı Müdürü Sn. Turhan GÜNAY’a,

Bugüne değin tüm yaşantımda maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen, bundan sonra da yanımda olacaklarına inandığım aileme ve Mak. Müh. Atahan MESUTGİL’e

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Fatma Bilge
Ağustos 1997

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PORSUK BARAJ GÖLÜ SU KALİTESİ İZLEME ÇALIŞMALARINDA UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI

FATMA BİLGE

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU

1997, Sayfa 158

Bu çalışmada Eskişehir'in içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılandığı Porsuk Baraj Gölü su kalite parametreleri ile Landsat-4 Tematik Haritalayıcı (TM) arasındaki ilişkinin saptanması ve gölün kirlilik haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, askıda katı madde, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, klorofil-A ve ışık geçirgenliği ölçüm verileri DSİ tarafından temin edilmiş olup, TM band değerlerinin okunmasında ERDAS ve MGE Base Image Programları kullanılmıştır. Su kalite parametreleri ile Uzaktan Algılama verileri arasındaki ilişkinin saptanması ve TM değerleri ile ölçüm verileri arasında en iyi ilişkiyi veren bir model geliştirilmesi amacıyla, parametreler lineer ve çoklu regresyon analizlerine tabi tutulmuştur. Organik kirliliğe neden olan maddeler arasında en iyi ilişkiyi $\text{NO}_3\text{-N}$ parametresi vermiştir. $\text{PO}_4\text{-P}$ değerleri ile Uzaktan Algılama verileri arasında yakın bir ilişki gözlenememiştir. Çoklu regresyon analizi sonucunda oluşan eşitliklerin geçerliliğini kontrol etmek amacıyla Chi^2 testi uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda, her bir kirlileti parametre için oluşturulan regresyon eşitliklerinden yararlanılarak Porsuk Baraj Gölü kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su Kirliliği, Uzaktan Algılama, Su Kirliliği Haritaları, Monitorlama, Landsat Uyduları

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EVALUATION OF THE DIGITAL SPECTRAL DATA AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR ESTIMATING WATER QUALITY PARAMETERS IN THE PORSUK DAM LAKE

FATMA BİLGE

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU
1997, Page 158**

The aim of this study is to use Landsat TM data for estimating and mapping water quality parameters in the Porsuk Dam Lake which is close to Eskişehir. Suspended sediments (SS), $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, chlorophyll-A and light intensity were the parameters for water quality determination used in this study. These parameters were obtained from the General Directorate of State Hydraulic Works and the samples were collected near simultaneously with the satellite overpass by using ERDAS and MGE Base Image programs. The relation between the brightness values of the first four bands of the TM data and the water quality parameters were found out. It is understood that, except $\text{PO}_4\text{-P}$, there is a good correlation between brightness values and the water quality parameters. Linear and multiple regression equations of water quality parameters were obtained by using the TM data. The validity of the equations were checked using Chi^2 statistical test. At the end, these regression models were used for mapping water quality parameters of the Porsuk Dam Lake. It is done by applying the regression equations to each pixel in the studied area and obtained new bands for each water quality parameter. Then, each water quality parameter bands were contoured by using digital image processing techniques for mapping.

Keywords: Water Pollutants, Remote Sensing, Water Pollution Maps, Monitoring, Landsat Satellite

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	
ÖZET.....	<u>Sayfa</u> i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. SU KİRLİLİĞİ VE SU KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	3
2.1. Su Kirliliğine Etki Eden Kirleticiler.....	5
2.1.1. Askıda katı maddelerin su kirliliğine etkisi.....	15
2.1.2. Nutrientlerin su kirliliğine etkisi.....	7
2.1.2.1. Azotlu maddelerin su kirliliğine etkileri.....	7
2.1.2.2. Fosforlu maddelerin su kirliliğine etkileri.....	7
2.1.3. Klorofilin su kirliliğine etkisi.....	9
2.1.4. Alglerin su kirliliğine etkisi.....	10
2.2. Akarsu Kirlenmesi.....	11
2.2.1. Akarsu ortamında kirleticilerin etkileri.....	11
2.2.2. Akarsularda biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen eksikliğini etkileyen faktörler.....	14
2.3. Göl Kirlenmesi.....	14
2.3.1. Baraj rezervuarlarında su kalitesi değişimi.....	17
2.3.2. Göllerin baraj rezervuarlarının üretkenlik düzeyleri.....	18
2.4. Su Kirliliği Kontrolünde İdari ve Yasal Yaklaşımlar.....	25
2.4.1. Kriterler ve standartlar.....	26
2.4.1.1. Alıcı ortam standartları.....	27
2.4.1.2. Deşarj standartları.....	28
2.4.2. Göl sularına ait alıcı ortam standartları.....	29
3. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ.....	31
3.1. Uzaktan Algılama Sistemleri	32
3.1.1. Enerji kaynağı (Elektromagnetik Spektrum).....	33
3.1.2. Atmosferik etkiler	34
3.1.2.1. Saçılım	35
3.1.2.2. Soğrulma (Yutulma).....	36
3.1.3. Yeryüzü objelerinin özellikleri.....	38
3.1.3.1. Bitki örtüsü.....	40
3.1.3.2. Kaya-toprak.....	40
3.1.3.3. Su yüzeyleri.....	40
3.1.3.4. Algılayıcılar ve platformlar.....	41

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Özellikleri.....	42
3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde aranan özellikler	43
3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin üstünlükleri.....	43
3.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin parçaları.....	44
3.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin elemanları.....	44
3.2.5. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan format çeşitleri.....	45
3.3. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Kullanım Alanları.....	48
3.3.1. Arazi kullanım haritasının oluşturulması.....	49
3.3.2. Jeolojik uygulamalar.....	49
3.3.3. Hidrolojik uygulamalar.....	49
3.3.4. Ormancılık uygulamaları.....	49
3.3.5. Tarım çalışmalarındaki uygulamalar.....	49
3.4. Çevre Kalitesinin İzlenmesinde Uzaktan Algılama Sistemlerinin Kullanılması.....	50
3.4.1. Katı atık ve tehlikeli atık depolama sahalarının Uzaktan Algılama metodu ile izlenmesi.....	51
3.4.2. Hava kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması.....	51
3.4.3. Toprak kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması.....	51
3.4.4. Su kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması.....	54
3.5. Çevre Kalitesinin İzlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması.....	57
4. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	59
4.1. Eskişehir İlinin Özellikleri	59
4.1.1. İklim ve meteorolojik koşullar.....	59
4.1.2. Topoğrafik koşullar.....	59
4.1.3. Su potansiyeli; yüzey ve yeraltı su kaynakları.....	60
4.1.3.1. Yüzey suları.....	60
4.1.3.2. Yeraltı su kaynakları.....	60
4.2. Porsuk Havzası.....	61
4.2.1. Porsuk Çayı.....	61
4.2.2. Porsuk Havzası'nda akarsu kullanımları.....	64
4.2.3. Porsuk Havzası'nda yapılmış olan çevre kalitesi izleme çalışmaları.....	65
4.3. Porsuk Havzası'nda Su Kalitenin Değerlendirmesi.....	66
4.3.1. Porsuk kaynaklarından Porsuk Baraj Rezervuarı girişine kadar olan bölümde kirletici kaynaklar.....	66

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

4.3.1.1.	Porsuk Çayı'nı besleyen yan dereler.....	66
4.3.1.2.	Tarımsal alanlardan gelen yükler	67
4.3.1.3.	Evsel atıklar (Kütahya Belediyesi kanalizasyon atıkları).....	67
4.3.1.4.	Sanayi kuruluşları atıkları	67
4.3.1.5.	Kütahya Bölümü su kalitesi değerlendirmeleri.....	69
4.3.2.	Porsuk Baraj çıkışından Sakarya Nehri'ne kadar olan kirletici kaynaklar.....	72
4.3.2.1.	Evsel atıklar.....	72
4.3.2.2.	Porsuk Çayı'nı besleyen yan dereler.....	72
4.3.2.3.	Sanayi kuruluşları ve atıklar.....	73
4.4.	Porsuk Baraj Gölü ve Su Kalitesi İzleme Çalışmaları.....	75
5.	PORSUK BARAJ GÖLÜ SU KALİTESİNİN İZLENMESİNDE UZAKTAN ALGILAMA METODUNUN KULLANILMASI.....	79
5.1.	Veri Toplama ve Değerlendirme.....	79
5.2.	Geçirilen Işık Şiddeti Derinliğinin (G.I.Ş.D.) Hesaplanması.....	85
5.3.	TM Değerleri Kullanılarak Bulanıklık Sınıflandırmasının Oluşturulması	88
5.4.	İstatistiksel Çalışmalar	
5.5.	Çoklu Regresyon Analizinin Uygulanması.....	89
5.6.	AKM, NO ₃ -N, Klorofil-A ve G.I.Ş.D. İçin Kirlilik Dağılım Haritalarının Oluşturulması.....	96
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	105
7.	KAYNAKLAR.....	107
EKLER.....		109
EK 1.	UYDU SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	115
EK 2.	SU ORTAMLARININ KALİTE SINIFLANDIRMASI	131
EK 3.	D.S.İ. TARAFINDAN ÖLÇÜLEN SU KALİTESİ PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM DEĞERLERİ.....	133
EK 4.	SU KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİNDE UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİNİN KULLANILMASI KONULU ÇALIŞMALAR LİSTESİ.....	136
EK 5.	ÖLÇÜM VE HESAPLAMA YOLUYLA BULUNAN SU KALİTE PARAMETRELERİ İÇİN CHI ² SINAMA SONUÇLARI.....	140
EK 6.	SÖZLÜK.....	141

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları	4
Şekil 2.2.	Arazi kullanımı ve su kalitesi arasındaki ilişkiler	4
Şekil 2.3.	Noktasal bir kirlilik yükünün akarsuya etkisi	13
Şekil 2.4.	Toksik maddeler içeren bir noktasal atıksu deşarjının akarsudaki canlı türler üzerine etkisi	13
Şekil 2.5.	Göl suyunun kimyasal bileşimini etkileyen süreçler	15
Şekil 2.6.	Dengeli bir göl sisteminde organik madde ile oksijen üretimi yönünden karşılıklı ilişkiler	16
Şekil 2.7.	Göl ortamında fosfat, nitrat ve oksijen arasındaki ilişkiler	17
Şekil 2.8.	Baraj gölünde oluşabilecek karışma süreçleri	18
Şekil 2.9.	Göl ortamında aşırı beslenmenin etkisi	21
Şekil 2.10.	Fosfat için trofik sınıflamada olasılık dağılımı	22
Şekil 2.11.	Ortalama Klorofil-A için trofik sınıflamada olasılık dağılımı	23
Şekil 2.12.	Göllerin yaşlanması	24
Şekil 2.13.	Alıcı ortam standartları	28
Şekil 2.14.	Deşarj standartları	29
Şekil 3.1.	Uzaktan Algılama sistemleri	32
Şekil 3.2.	Uzaktan Algılamada kullanılan başlıca elektromagnetik ışın dalga boyları	34
Şekil 3.3.	Rayleigh Saçılması	35
Şekil 3.4.	Secici olmayan ışık dağılımı	36
Şekil 3.5.	Atmosferik pencereler	37
Şekil 3.6.	2000 metre uzunluğunda bir atmosferik yoldan geçen ışınım yüzdesi	38
Şekil 3.7.	Cisim üzerine düşen enerjinin soğurulma, yansıma ve geçirilme durumu	39
Şekil 3.8.	Yeryüzündeki temel örtü tiplerinin spektral yansıması	40
Şekil 3.9.	Uzaktan Algılama platformları	41
Şekil 3.10.	Coğrafi Bilgi Sistemlerinin işleyiş mekanizması	42
Şekil 3.11.	Coğrafi Bilgi Sistemlerinin parçaları	44
Şekil 3.12.	CBS sistemlerinin elemanları	45
Şekil 3.13.	Kartezyen koordinatlarının kullanılması durumunda nokta, çizgi ve poligon şeklindeki özelliklerin bilgisayarda gösterimi	45
Şekil 3.14.	Topolojik formatın kullanılmasıyla oluşan poligon ve nokta ilişkileri	46
Şekil 3.15.	CBS dosyasında raster formatın temel yapısına bir örnek	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 3.16. CBS yöntemi ile arazi kullanım haritasının hazırlanmasına yönelik olarak aynı bölgeye ait farklı haritaların üst üste atılmasının şematik gösterimi	48
Şekil 3.17. Optik Uzaktan Algılama ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi	51
Şekil 3.18. Tanecik büyüklüğü farklı üç toprak tipi için spektral yansıtım eğrileri	52
Şekil 3.19. Üç farklı nem içeriğindeki, Chelsea kumunun spektral yansıtım eğrileri	52
Şekil 3.20. Topraktaki organik madde içeriği ile yansıtım arasındaki bağıntı	
Şekil 3.21. Topraktaki demir oksit yüzdeleri ile toprağın yansıtım özelliği arasındaki bağıntı (0.50-0.64 μm dalga boyu aralığında)	53
Şekil 3.22. Yeşil bitki örtüsü, toprak ve berrak suyun spektral yansıtım karakteristikleri	54
Şekil 3.23. Bulanık ve berrak suyun 0.5'ten 1.0 μm 'ye kadar olan dalga boyu aralığında spektral yansıtım karakteristikleri	55
Şekil 3.24. Farklı klorofil konsantrasyonlarına sahip okyanus suyunun spektral yansıtımı	56
Şekil 3.25. Taş toprak grubu tesislerinde ÇED Raporunun oluşturulması için hazırlanmış CBS dosyaları ve ağırlık puanları	58
Şekil 4.1. Sakarya Havzası	62
Şekil 4.2. Porsuk Çayı Drenaj Alanı	63
Şekil 4.3. Porsuk Çayı'nda 1994 yılı itibariyle BOI_5 , toplam azot ve ortalama $\text{PO}_4\text{-P}$ yükü	71
Şekil 4.4. Porsuk Barajı genel görüntüsü	75
Şekil 4.5. Porsuk Baraj Gölü'nde klorofil-A ölçüm değerlerine göre ötrofikasyon sınıflamaları dağılımı	78
Şekil 4.6. Porsuk Baraj Gölü'nde toplam fosfor ölçüm değerlerine göre ötrofikasyon sınıflamaları dağılımı	78
Şekil 5.1. Porsuk Baraj Gölü'nde DSİ tarafından ölçüm alınan noktalar	79
Şekil 5.2. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat-4 TM1 bandı görüntüsü	81
Şekil 5.3. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat-4 TM2 bandı görüntüsü	82
Şekil 5.4. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat-4 TM3 bandı görüntüsü	83
Şekil 5.5. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat-4 TM4 bandı görüntüsü	84
Şekil 5.6. Çalışma alanında TM 4, 3, 2 (RGB) kullanılarak oluşturulan çoklu bant kombinasyonu	85
Şekil 5.7. Porsuk Baraj Gölü'nün, TM3 bant değerlerinin kullanılması sonucu oluşan kirlilik sınıflandırmasının görüntüsü	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 5.8.	Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı NO ₃ -N/dip, (b) TM2 değerlerine karşı NO ₃ -N/orta, (c) TM3 değerlerine karşı NO ₃ -N/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı NO ₃ -N/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi	91
Şekil 5.9.	Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı PO ₄ -P/dip, (b) TM2 değerlerine karşı PO ₄ -P/orta, (c) TM3 değerlerine karşı PO ₄ -P/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı PO ₄ -P/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi	92
Şekil 5.10.	Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı AKM/dip, (b) TM2 değerlerine karşı AKM/orta, (c) TM3 değerlerine karşı AKM/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı AKM/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi	93
Şekil 5.11.	Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3 ve (d) TM4 değerlerine karşı Klorofil-A değerlerinin grafiksel gösterimi	94
Şekil 5.12.	Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3 ve (d) TM4 değerlerine karşı G.I.Ş.D. değerlerinin grafiksel gösterimi	95
Şekil 5.13.	Ölçülen ve hesaplanan AKM/yüzey değerlerinin karşılaştırılması	97
Şekil 5.14.	Ölçülen ve hesaplanan AKM/orta değerlerinin karşılaştırılması	98
Şekil 5.15.	Ölçülen ve hesaplanan AKM/dip değerlerinin karşılaştırılması	99
Şekil 5.16.	Ölçülen ve hesaplanan NO ₃ -N/Yüzey değerlerinin karşılaştırılması	100
Şekil 5.17.	Ölçülen ve hesaplanan NO ₃ -N/Orta değerlerinin karşılaştırılması	101
Şekil 5.18.	Ölçülen ve hesaplanan NO ₃ -N/Dip değerlerinin karşılaştırılması	102
Şekil 5.19.	Ölçülen ve hesaplanan Klorofil değerlerinin karşılaştırılması	103
Şekil 5.20.	Işık şiddeti ölçüm verilerinden türetilen G.I.Ş.D. değerleri ile Landsat uydu verileriyle hesaplanan G.I.Ş.D. değerlerinin karşılaştırılması	104
Şekil 5.21.	Porsuk Baraj Gölü askıda katı madde derişim dağılımı haritası	105
Şekil 5.22.	Porsuk Baraj Gölü NO ₃ -N derişim dağılımı haritası	105
Şekil 5.23.	Porsuk Baraj Gölü klorofil -A derişim dağılımı haritası	106
Şekil 5.24.	Porsuk Baraj Gölü G.I.Ş.D. dağılımı haritası	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeşitli Su Ortamlarındaki Fosfor Derişim Aralıkları	8
Çizelge 2.2. Göl Sularında Tolere Edilebilecek Azot ve Fosfor Yükleri	9
Çizelge 2.3. OECD Ötrofikasyon Programında Besin Seviyesi	
Sınıflandırılmasında Klorofilin Yeri	9
Çizelge 2.4. Akarsu Sınıfları ve Özellikleri	12
Çizelge 2.5. Fotosentez Sonucu Oluşan Organik Maddelerin Redoks Olayları	16
Çizelge 2.6. Göle Giren Besleyici Kaynaklar	18
Çizelge 2.7. Su Toplama Havzalarında Fosfor Kaynakları	19
Çizelge 2.8. Çeşitli Kaynaklardan Çıkan Azot ve Fosfor Miktarları	20
Çizelge 2.9. Göl ve Rezervuarlar İçin Genel Trofik Sınıflandırması	22
Çizelge 2.10. Göller, Göletler, Bataklık ve Baraj Haznelerinin	
Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri	30
Çizelge 3.1. Uzaktan Algılama Yönteminde Kullanılan Ayırtlama Teknikleri	33
Çizelge 3.2. Elektromagnetik Işın Türleri ve Dalga Boyları	34
Çizelge 3.3. Atmosferik Pencereleler	38
Çizelge 3.4. Cisim Üzerine Düşen Enerjinin Soğurulma, Yansıma,	
Geçirilme ve Isıl Yayılması İle İlgili Tanımlar	39
Çizelge 3.5. CBS'nin Başlıca Özellikleri	43
Çizelge 3.6. Dalga Boyu Aralığına Bağlı Olarak TM ve MSS	
Bantlarında Berrak Su İçin Işığın Penetrasyon Derinliği	56
Çizelge 4.1. Kütahya Bölümü Porsuk Çayı Yan Derelerinde	
1985-1989 Yılları Ortalama Değerlerine Göre Hidrobiyolojik	
Verilerle Su Sınıflandırması	67
Çizelge 4.2. 1994 Yılı Ortalama Değerlerine Göre Porsuk Çayı Su Kalitesi	70
Çizelge 4.3. 1985-1989 Yılları Ortalama Değerlerine Göre Eskişehir	
Bölümü Porsuk Çayı Yan Derelerinde Hidrobiyolojik	
Verilerle Su Sınıflandırması	72
Çizelge 4.4. Porsuk Baraj Gölü'nün Başlıca Karakteristik Özellikleri	75
Çizelge 4.5. Ortalama Klorofil-A ve Fosfat Değerlerinin	
Trofik Sınıflama Olasılık Dağılım Tablosuna Göre	
Değerlendirilmesi	76
Çizelge 5.1. Her Bir Ölçüm Noktası İçin Piksel ve Radyans Değerleri	80
Çizelge 5.2. Porsuk Baraj Gölü'nde Yüzeyde ve Derinliklere Bağlı Olarak	
Ölçülen Işık Şiddeti Değerleri	86
Çizelge 5.3. Porsuk Baraj Gölü'nde Derinliğe Bağlı Olarak Geçen Işık (%)'si	88

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAM)

Çizelge 5.4.	G. I. Ş. D. Değerlerinin Hesaplanması İçin Oluşturulan Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları	88
Çizelge 5.5.	Su kalite parametreleri ile TM Bant değerleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları (R)	90
Çizelge 5.6.	Ölçüm değerleri ile Uzaktan Algılama verilerinin çoklu regresyon eşitlikleri ve korelasyon katsayıları	96
Çizelge 5.7.	AKM/Yüzey Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	97
Çizelge 5.8.	AKM/Orta Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	98
Çizelge 5.9.	AKM/dip Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	99
Çizelge 5.10.	NO ₃ -N/Yüzey Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	100
Çizelge 5.11.	NO ₃ -N/Orta Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	101
Çizelge 5.12.	NO ₃ -N/Dip Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	102
Çizelge 5.13.	Klorofil Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	103
Çizelge 5.14.	Işık Ölçüm Cihazı Verileriyle Hesaplanan G.I.Ş.D. Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları	104

KISALTMALAR DİZİNİ

AKM: Askıda Katı Madde
BV.: Brightness Value
CCD: Charge Coupled Device
CCT: Computer Compatible Tape (Bilgisayar Uyumlu Bant)
CIA: Central Intelligence Agency
CNES: Fransız Ulusal Merkez Etüdü
CPS: Global Position System
DN: Digital Number
EROS: Earth Resources Observing Service (Yeryüzündeki Doğal Kaynakları Gözlem Sistemi)
ERT: Earth Resources Satellite
ERTS: Earth Resources Technology Satellite
ESA: European Space Agency
GIS: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)
G.I.Ş.D.: Geçirilen Işık Şiddeti Derinliği
HRV: High Resolution Visible (Görünür Yüksek Ayırım Gücü)
IR: InfraRed (Kızılötesi)
MSS: MultiSpectral Scanner or Multispectral Scanning System (Çok Spektrumlu Tarayıcı)
NASA: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
OECD: The Organization for Economic Cooperation and Development
PAR: Photosynthetically Active Radiation
POPSAT: Precise Orbit Positioning Satellite
RADAR: Radio Detection and Ranging
RBV: Return Beam Vidicon Camera (Geri Dönen Demetli Vidikon)
RS: Remote Sensing (Uzaktan Algılama)
SDD: Sechi Disk Depth
S.K.K.Y.: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
SPOT: Satellite Probatoire de l'Observation de la Terre
TM: Thematic Mapper
UV: UltraViolet
USGS: United States Geological Survey
USDA: United States Department of Agriculture
WWW: World Weather Watch

Anneme

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Düzensiz kentleşme, hızlı nüfus artışı, kimyasal gübre ve zirai mücadele ilaçlarının kullanımı su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kentsel atıksular, su kaynakları için bir tehlike oluştururken, özellikle su havzalarında altyapısız ve çıplak yerleşimler, hem yeraltı suyunu hem de su toplama havzası kanallarıyla özellikle içme suyu kaynaklarını tehdit etmektedir. Ayrıca, endüstriyel tesislerden kaynaklanan tehlikeli ve toksik nitelikli atıkların havayı, suyu ve toprağı kirlettiğı ve bitki örtüsünü tahrip ettiğı bilinmektedir.

Su kaynakları, ülkelerin milli servetleri arasında önemli bir yere sahip olan ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından dikkatle yönetilmesi gereken doğal kaynaklardır. Hızla kalkınmakta olan ülkemizde deniz, akarsu ve göller ile diğer su kaynaklarında görülen kirlenmenin önemi, özellikle nüfusun 2000'li yıllarda yaklaşık 65-70 milyona ulaşacağı düşünüldüğünde, bir kat daha artmaktadır. Özellikle, kısıtlı olan tatlı su kaynaklarının korunması, gelecekte içme ve kullanma suyu temininde karşılaşılan sıkıntıları azaltacaktır.

Yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının monitorlanmasında genellikle yerinde örnek alma ve analiz esasına dayalı fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknikler kullanılmakta olup, izleme çalışmalarının daha hızlı, ekonomik ve sağlıklı bir veri akışını sağlayabilecek hale getirilmesi hususundaki araştırmalar günümüzde halen devam etmektedir. Uydu verilerinin Uzaktan Algılama tekniğıyle değerlendirilmesi çalışmaları, Uzaktan Algılama verilerinin yersel verilerle korelasyonu sağlandıktan ve kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra su kalitesi izleme çalışmalarında son derece hızlı ve sağlıklı sonuçlar vermektedir. Su kaynaklarından alınan ölçüm verileri yardımıyla su havzasının tamamı için kirlilik haritasının oluşturulması, Uzaktan Algılama tekniğinin su kalitesi izleme ve modelleme çalışmalarındaki önemini daha da arttırmaktadır. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla hızlı bir şekilde üretilen ve doğruluğı yüksek olan veriler geleneksel ölçme yöntemlerine kıyasla daha az maliyetli, detaylı ve/veya genel kapsamlı bir araştırma olanağı sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Eskişehir'in içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılandığı Porsuk Baraj Gölü'nde, su kalite parametrelerinin uzaktan algılama tekniğıyle belirlenebilirliği ve izlenebilirliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak 1987 yılı Eylül ayına ait sayısallaştırılmış Landsat-4 uydu görüntüsü ve Eskişehir DSİ 3. Bölge Müdürlüğü'nün aynı tarihlerde yerinde örnekleme ve ölçüm yoluyla belirlemiş olduğu su kalite parametreleri (askıda katı madde, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, klorofil-A ve ışık geçirgenliği) birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışmada, öncelikle su kirliliği ve su kalitesine etki eden kirletici bileşenler, göllerin üretkenlik düzeyleri ve trofik sınıflandırmanın tanımı yapılmış, su kirliliği kontrolünde idari ve yasal yaklaşımlar ve su kalitesine ait kriterler ve standartlar (alıcı ortam ve deşarj standartları) verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin genel özellikleri, kullanım alanları sıralanmış ve çevre kalitesinin (katı atık ve tehlikeli atık depolama sahalarının, hava, su ve toprak kalitesinin) izlenmesinde Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur.

Çalışma alanı olarak seçilen Porsuk Baraj Gölü ve gölün bulunduğu Porsuk Havzası ile Eskişehir İlinin genel özellikleri hakkında bilgi verildikten sonra çalışma ile ilgili detayları içeren bölüm sunulmuştur

Uygulama bölümü olan beşinci bölümde, Uzaktan Algılama verilerine göre göl boyunca kirlilik dağılımlarının ve kirlilik bölgelerinin tespit edilmesi için çalışma alanı, ışığın parlaklık değerlerine (B.V.) göre sınıflandırılmıştır. DSI'nin ölçüm aldığı noktalardaki Landsat Uydu verilerinin her bir TM bandındaki değerlerinin tespit edilmesi işleminden sonra TM değerleri ile su kalite parametreleri korelasyona tabi tutularak, korelasyon katsayıları belirlenmiş ve uydu verileri ile en iyi ilişkiyi veren su kalite parametrelerinin tespiti yapılmıştır. Son olarak, Landsat uydusu TM değerleri ve ölçüm parametrelerinin çoklu regrasyonları yapılarak, ölçüm değerleri ve Uzaktan Algılama verilerine göre her bir kirletici bileşen için model geliştirilmiş ve geliştirilen modellerin ERDAS ve MGE Base Image programlarında değerlendirilmesi yapılarak Porsuk Baraj Gölü'nde kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmada Porsuk Baraj Gölü su kalitesinin izlenmesinde CBS uygulaması kullanılmamış olmakla birlikte, Uzaktan Algılama çalışmalarının ayrılmaz bir parçası ve tanımlayıcısı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden de, çalışmada CBS'nin özellikleri ve uygulamalarıyla ilgili genel bilgilere de yer verilmiştir.

Bu çalışmanın, ülkemizde henüz sayıları çok az olan Uzaktan Algılama Metodu ile çevre kalitesinin izlenmesi konusundaki araştırma çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. SU KİRLİLİĞİ VE SU KALİTESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

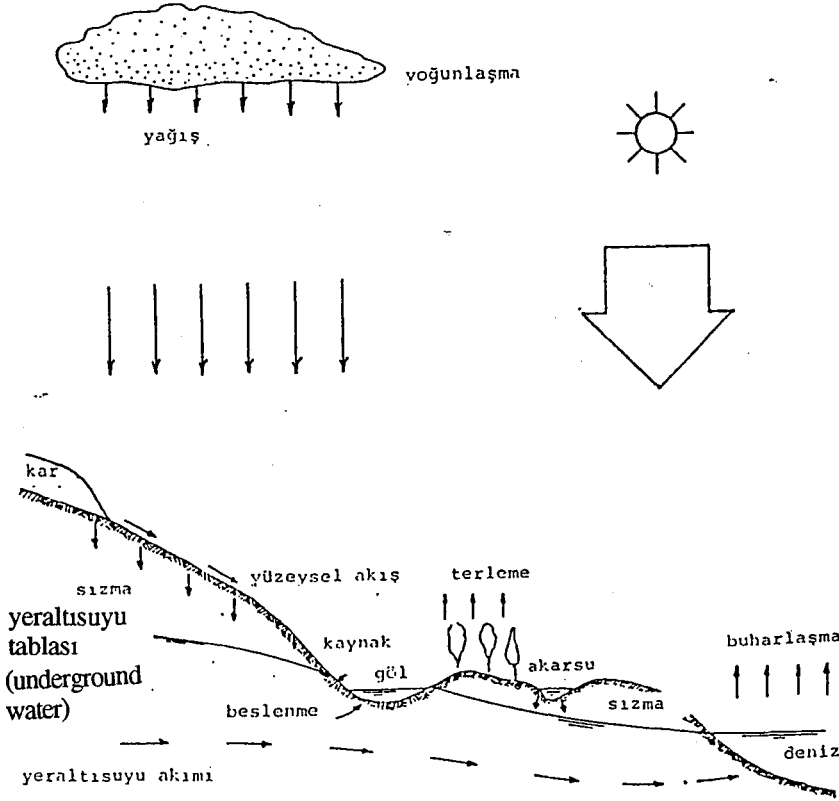
Günümüzde, su kaynakları, elde edilmesi güç, pahalı ve kıt bir doğal kaynak haline gelmiştir. Bu durumun ortaya çıkış nedeni, su kaynaklarındaki herhangi bir azalma değil, mevcut su kaynaklarının bir kısmında görülen su kirlenmesi sorunları ile nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmeye paralel olarak su tüketiminin de hızla artmasıdır. Özellikle, su kirlenmesi konusu tüm dünyada üzerinde en çok konuşulan, araştırma yapılan ve büyük miktarlarda yatırım harcamaları ile önlenmeye ve giderilmeye çalışılan bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Çünkü, dünyada içilebilir su kaynakları, toplam su kaynaklarının yalnızca %2.6'sını oluşturmaktadır.

İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimlerini karşılamak için suyu hidrolojik çevrimden (Bkz. Şekil 2.1) alırlar ve kullandıktan sonra tekrar aynı döngüye iade ederler. Bu süreç sırasında suya karışan maddeler suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek “su kirliliği” olarak adlandırılan olgunun ortaya çıkmasına neden olurlar. Hızlı nüfus artışı, endüstriyel gelişmeye bağlı olarak artan su kullanımı, su kirliliğini hızlandıran bir etkidir.

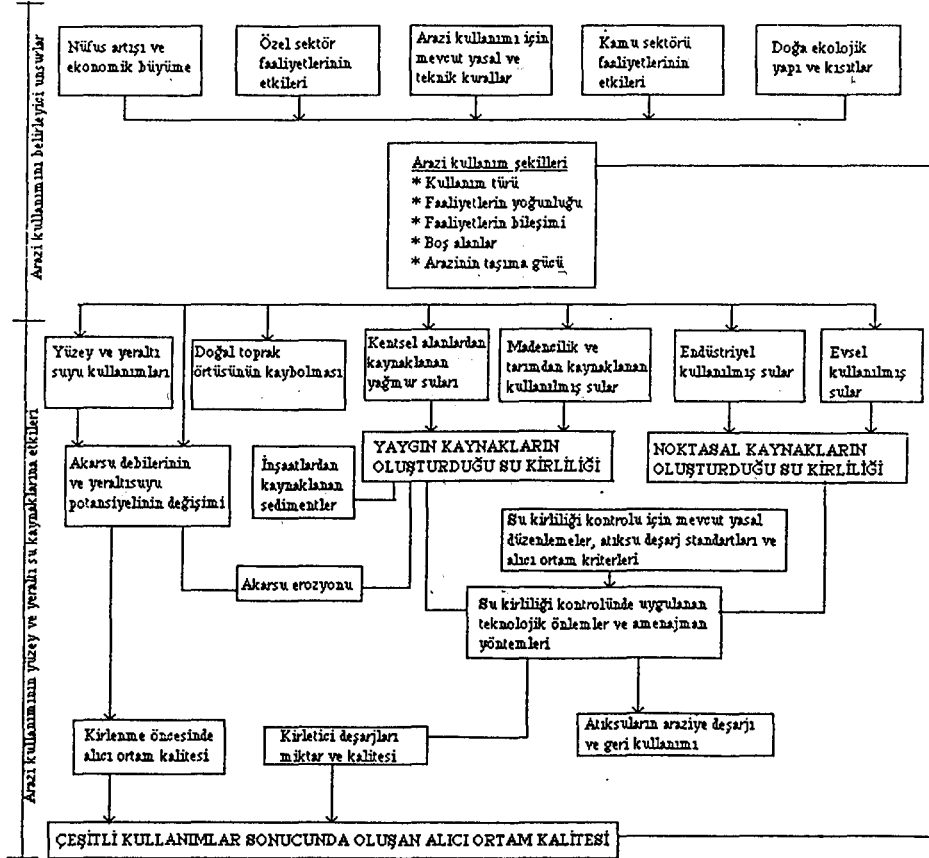
Suları kirleten kaynaklar, oluşumlarına göre, noktasal ve yaygın kaynaklar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Örneğin, bir kanalizasyon çıkış ağzı noktasal bir kaynak olarak nitelendirilirken, bir tarım arazisinde kullanılan gübrelerin nütrient bileşimleri veya pestisitlerin yüzey akışıyla alıcı ortamları etkilemesi yaygın kaynaklara örnek olarak verilebilir. Genellikle, noktasal kaynaklar doğrudan alınacak teknolojik önlemlerle (örneğin atıksu arıtma tesislerinin kurulmasıyla) kontrol altına alınabilirler. Yaygın atıksu kaynaklarının alansal özelliği nedeniyle, kontrolü daha güçtür. Bu yüzden de, doğrudan teknolojik önlemlerle kontrol altına alınması yerine, planlayıcı ve yönlendirici önlemler tercih edilir.

Yüzeysel ve yeraltı sularının kalitesi, o yöredeki nüfus yoğunluğu, ekonomik etkinlikler, arazi kullanım şekli, ekolojik ve hidrolojik yapı ile su kalitesinin korunması ile ilgili teknolojik ve yasal uygulamaların bir bileşkesidir. Su kalitesinin çeşitli unsurlarla arasındaki ilişkiler ve karşılıklı etkileşimleri Şekil 2.2’de özetlenmiştir [2].

Yüzeysel sular, dış ortamdaki değişimlere doğrudan maruz kaldıklarından, yeraltı sularına oranla daha hızlı kalite değişimine uğramaktadırlar. Yeraltı suları, suyun yeraltına süzülmesi sırasında, ortamın pH, sıcaklık, basınç, temas yüzeyi, temas süresi ve yükseltgenme potansiyeli gibi özelliklerine bağlı olarak, geçtiği kayaların minerallerini çözerek mineral tuzlarınca zenginleşmekte, ayrıca süzülme sırasında suda bulunan askıda katı maddeler de nispeten azalmaktadır.



Şekil 2.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları [3]



Şekil 2.2. Arazi kullanımı ve su kalitesi arasındaki ilişkiler [2]

Evsel ve endüstriyel atıksulardan gelen organik ve inorganik maddelerin sularda sebep olduğu kirlilik günümüzde oldukça yaygındır. Bu tür atıksular içinde en çok karşılaşılan kirleticiler, protein, yağ ve karbonhidratlardan oluşan organik maddelerdir. Mezbahalardan gelen atıksularda protein, kağıt ve tekstil fabrikalarının atık sularında ise karbonhidrat derişimleri oldukça yüksektir. Sentetik deterjanların su içerisinde küçük derişimlerde bulunmaları bile, sularda köpük oluşumuna neden olmaları dolayısıyla suyun havalanmasını önlemekte ve arıtma sistemlerinin verimini düşürmektedir. Atık maddeler deşarj edildikleri alıcı su ortamlarında, akıntının çok yavaş olduğu kısımlarda toplanma eğilimi göstermekte ve bu kısımlarda birikerek yüksek oranda bulanıklığa neden olmaktadır [3].

2.1. Su Kalitesini Etkileyen Kirletici Bileşenler

Suda bulunabilecek her türlü madde belirli bir derişimin üzerinde sağlık için zararlıdır [3]. Su kalitesini etkileyen kirletici bileşenlerin başında, katı maddeler, patojenler, nütrientler, tuzlar, termal kirleticiler, ağır metaller, pestisitler ve uçucu organik maddeler gelmektedir [4]. Bu bölümde, su ortamında bulunduklarında ışık geçirgenliğini etkileyen ve bu tezin 3-5. Bölümlerinde adı geçen Uzaktan Algılama verileriyle ilişkilendirilebilen kirletici bileşenlerden askıda katı madde ve nütrientler ($PO_4\text{-P}$, $NO_3\text{-N}$, klorofil-A) ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

2.1.1. Askıda katı maddelerin su kirliliğine etkisi

Suda çözünmüş halde bulunan katı maddelerin partikül boyutları kendilerini çevreleyen su moleküllerinden çok daha büyük ve yoğunlukları ise suyunkinden farklıdır. Akarsular hareketleri sırasında, yoğunluğu sudan daha büyük olan büyük boyutlu tanecikleri tabanda sürükleyerek harekete geçirirler. Bu hareket, düşük hızlarda tanelerin taban üzerinden kayma ve yuvarlanması şeklinde olur. Suda sürüklenme hareketiyle ilerleyen bir tanenin ortalama hızı, akımın taban yakınlarındaki hızından çok daha düşük olduğu halde, suda askıda ilerleyen bir tanenin hızı, akımın o noktadaki hızına hemen hemen eşittir. Yoğunluğu suyunkinden küçük olan tanecikler suyun yüzeyine yükselerek yüzeysel sulardaki yüzücü maddeleri oluştururlar [4].

Akarsu tabanında sürüklenerek hareket eden tanecikler genellikle mineral kökenli olup, kayaların erozyonu sonucu ortaya çıkar. Yüksek akım hızı ve sürüklenme gücü olan akarsularda çok büyük tanecikler ve hatta kaya parçaları bu şekilde harekete geçirilebilir.

Yüzeysel sularda askı bulunan tanecikler mineral veya organik kökenli olabilir. Mineral kökenli askıda katı maddeler, büyük bir oranda zemin erozyonundan kaynaklanır ve suda kum ve kil tanecikleri şeklinde görülür. Askıda katı madde derişimi bir akarsudan

diğerine değişim gösterebileceği gibi, aynı bir akarsu içindeki debi değişimlerinden de etkilenmektedir. Sudaki askıda katı madde derişiminin yüksek olması, bulanıklığın artması ve ışık geçirgenliğinin azalmasına ve dolayısıyla fotosentezle oksijen üretiminin yavaşlamasına neden olur. Bu haznelerde akım hızının azalması ve uzun bekleme süreleri nedeniyle çökelme olayları artar. Bu durumda, suyu biriktirme amacıyla kurulmuş olan haznelerin faydalı hacmi yıldan yıla azalır. Baraj hazneleri için bu azalma hızı, yılda ortalama olarak, toplam hacmin yüzde biri dolaylarındadır. Bu nedenle, baraj haznelerinin planlanması sırasında gerekli olan hazne hacmine ek olarak “ölü hacim” denilen bir ek kapasite ayrılır. Ölü hacmin boyutlandırılmasında, barajın ekonomik ömrü süresince akarsuyun hazneye getireceği toplam sürüntü maddesi miktarı esas alınır. Akarsudaki askıda katı madde miktarını azaltmak amacıyla derelerin ıslahı, ağaçlandırma, arazinin kontur çizgilerine paralel olarak sürüklenmesi ve teraslama gibi önlemler alınabilir [5].

Askı katı halinde organik maddelerin ancak küçük bir kısmı zemin erozyonundan kaynaklanır. Askıda organik maddelerin önemli bir bölümü bitki artıkları, humus ve doğal gübreler ile evsel ve endüstriyel atıklardan oluşur. Nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde akarsuda bulunan organik maddenin büyük bir kısmı atıksu kökenlidir [2].

Yüzeysel sulardaki organik madde tanecikleri akış boyunca askıda kalmayabilir. Bunlardan bir kısmı dibe çökerek dip çamurunu oluştururken, diğer bir kısmı fiziksel parçalanma ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda kolloidal ve moleküler düzeyde çözünmüş organik maddeye dönüşür. Özellikle kanalizasyon çıkış ağızlarında oluşan çamur birikintilerinin giderilmesi oldukça pahalı işlemler gerektirir. Çözünmüş hale dönüşen organik maddeler su kalitesini olumsuz yönde etkiler. Organik maddelerin bozunması sonucu açığa çıkan koku ve tat, sudan içme ve kullanma amacıyla yararlanılmasını büyük ölçüde sınırlar. Dip çamuru oluşumu, su ortamlarının tabanlarında gelişen canlıların (bentik) yaşamını tehdit eder.

Alıcı su ortamına evsel ve endüstriyel atıksuların getirdiği askıda katı maddelerin yanı sıra, ormanların ve meraların tahribi, yamaç alanlarında tarım yapmak için orman ve mera alanlarının açılması, yanlış hayvan otlatması, sanayi ve yerleşim için yanlış yer seçimi gibi etkiler doğal toprak örtüsünün yok olması ve büyük boyutlara varan erozyona yol açmaktadır. Bunun sonucunda verimli olan toprak üst katmanları su ortamlarına taşınmakta ve sularda askıda katı madde yükü olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu şekilde oluşan ve su ortamlarına taşınan erozyon ürünleri baraj ve göllerin dolmasına ve yapay ve doğal su kaynaklarının zamanla yok olmasına neden olmaktadır [5].

2.1.2. Nütrientlerin su kirliliğine etkisi

2.1.2.1. Azotlu maddelerin su kirliliğine etkileri

Azot, canlılarda aminoasitler ile bunlardan oluşan protein ve peptidler şeklinde bulunan temel elementlerden biridir. Canlı bünyesinin yanı sıra, besin maddelerinde ve ölü organizmalarda da bulunan azot, doğada azot çevrimi dediğimiz bir döngü içinde sürekli bir dolanım halindedir. Bu biyojeokimyasal döngü sırasında moleküler azotun bağlanması, amonyak oluşumu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon gibi çok çeşitli olaylar gelişir [2].

Azot bileşikleri, su ortamlarında ötrofikasyona neden olmakta ve sudaki oksijen derişiminin bozulmasına yol açmaktadır. Sulara verilen organik azot, amonyak ve nitrit, biyolojik süreçler aracılığıyla nitrat şekline dönüşebilmekte; ancak bu reaksiyonlar sırasında oldukça fazla miktarlarda oksijen ($4.57 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4^+-\text{N}$) tüketilmektedir.

Çamur yükü fazla olan arıtma tesislerinin çıkış suyu, yüksek derişimlerde amonyak içerir. Bu durumda, alıcı ortamdaki oksijen tüketimi, çıkış suyunun amonyak derişimi ile belirlenir ve akarsudaki nitrifikasyon süreçleri, organik maddelerin heterotrof parçalanmasından çok daha fazla oksijen tüketimine neden olur. Ayrıca, yoğun bir bakteri faaliyetini içeren organik maddelerin parçalanması oldukça kısa sürede tamamlanırken, nitrifikasyon olayları çok daha yavaş gerçekleşir. Akarsuların amonyak ile yüklenmesi sadece kentsel arıtma tesislerinin çıkış suları ile ilgili bir problem değildir. Pek çok endüstriyel tesisin de (azotlu gübre fabrikaları v.b.) akarsulara önemli ölçüde amonyak deşarj ettiği bilinmektedir [6].

2.1.2.2. Fosforlu maddelerin su kirliliğine etkileri

Fosfor, sucul ekosistemlerde mevcut olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal ve biyokimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Sulara, fosfor çeşitli fosfat türevleri şeklinde bulunur ve gerek doğal su ortamlarında, gerekse atıksu ortamlarında gerçekleşen pek çok reaksiyona girer. Canlı protoplazmanın kuru ağırlık olarak yaklaşık %2'sini fosfor oluşturur. Bu nedenle fosfor, özellikle fotosentezle üretim yapan ototrof canlıların ve dolayısıyla bunlarla beslenen heterotrof canlıların büyümesini sınırlayıcı bir etkiye sahiptir. Ototrof canlılar için gerekli olan fosforun suda yeterli miktarlarda bulunmaması, bu canlıların büyümesini sınırlayabilir [4]. Doğal su ve atıksularda bulunan fosforun derişim aralıkları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

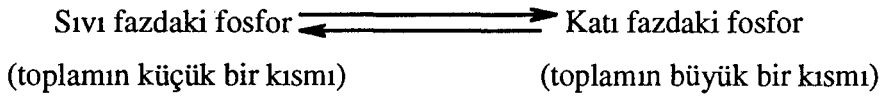
Çizelge 2.1. Çeşitli Su Ortamlarındaki Fosfor Derişim Aralıkları [4]

	Toplam fosfor (g/m ³)	Çözünmüş orto fosfat yüzdesi (%)
Evsel atıksu	5.0-20.0	15-35
İkincil arıtma çıkış suyu	3.0-10.0	50-90
Tarımsal drenaj suyu	0.05-1.0	15-50
Kirlenmiş göl suyu	0.01-0.04	10.0-30.0
Ötrofik göl suyu	0.03-1.5	5.0-20.0
Okyanus suyu ortalama değeri	0.07	-

Sudaki fitoplankton büyümesi, birbirleriyle bağlantılı pekçok biyolojik, jeolojik ve fiziksel süreçleri içermektedir. Bazı gözlemler, N(Azot) / P(Fosfor) oranındaki değişime göre alg türlerinde değişim olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük N/P oranlarında N tutan mavi-yeşil alglerin çoğaldığı, fosfor kontrolü yapılması durumunda gözlenen yüksek N/P oranlarında ise, hızla büyüyen mavi-yeşil alglerden daha az olumsuz etki yapan türlere doğru kayma olduğu belirlenmiştir.

Fosfatın tarımda, endüstride ve evlerdeki kullanımında, son birkaç yılda eksponansiyel bir artış gözlenmiştir. Fosforun karadan denize doğru akışındaki artış, nehir ve göllerdeki fosfor derişiminin artmasıyla sonuçlanmıştır.

Fosforun sediment ile sudaki dağılımı, göldeki üretkenlik düzeyi ile yakından ilgilidir. Yüzey suyundaki fosforun dinamik dengesi,



şeklinde ifade edilebilir. Özellikle ötrofik göl ve körfezlerin tortularında önemli miktarda fosfat bulunur [2].

Besin maddesi olarak fosforun sınırlayıcı olmaması durumunda 1 mg P yaklaşık 100 mg alg biyokütlesinin (kuru ağırlık) sentezine neden olmaktadır. Bu biyokütlenin derin katmanlarda çökmesinden sonra mineralizasyonu için yaklaşık 14 mg biyokimyasal oksijen ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [2].

Göl suyundaki fosfor giderimi göldeki koşulların anaerobik olup olmamasıyla yakından ilgilidir. Göl anaerobik duruma dönüştüğünde su-sediment arayüzeyinde indirgen koşullar oluşur ve sedimentten suya fosfor bırakılır.

Azot/fosfor yükü ve ötrofikasyon

Ötrofikasyon, su ortamında (özellikle göllerde) besin zenginleşmesi ve sonuçta, aşırı miktarda organik madde oluşumuna neden olan sürecin açıklanmasında kullanılan bir terimdir. Ötrofikasyon, doğal olarak cereyan eden bir olay olmakla birlikte, antropojen etkilerle hızının arttığı bilinmektedir. Yağmur suyu, kullanılmayan arazilerden gelen yüzeysel sular, kayaların aşınması ve bitki polenleri “doğal ötrofikasyon” a neden

olabilmekte; arazi kullanımı, kanalizasyon ve endüstriyel atıksuların su ortamına ulaşması gibi nedenlere bağlı olarak da hızlanmaktadır.

Liebig minimum yasasına göre bir ortamdaki büyüme hızı, bu ortamda bulunan nütrientler içinde en kısıtlı olan nütrient tarafından belirlenir. Yüzeysel su ortamında birincil üretimin sınırlayabileceği faktörler azot ve fosfor olmaktadır. Bu nütrientler kullanılmış sularda oldukça fazla miktarlarda bulunabildikleri için birincil üretimi hızlandırmakta, böylece ötrofikasyona neden olmaktadır. Göl sularında tolere edilebilecek azot ve fosfor yükleri Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Göl Sularında Tolere Edilebilecek Azot ve Fosfor Yükleri [2]

Göller	N ve P yükleri	g N/m^2 -yıl	g P/m^2 -yıl
Sığ göller (5 m derinliğe kadar)			
Rekreasyon amaçlı kullanımlar		1	0.07
Rekreasyon +balıkçılık		2	0.13
Yoğun balıkçılık		4.5	0.3
Tabakalaşmış göller			
10 m derinliğe kadar		1.5	0.1
50 m derinliğe kadar		4	0.25
100 m derinliğe kadar		6	0.4

2.1.3. Klorofilin su kirliliğine etkisi

Klorofil-A, göllerde ve diğer iç sularda besin maddesi yüküne karşı su yatağının tepkisini gösteren ve kısa süreli zaman dilimlerinde oldukça fazla değişkenlik arzeden bir parametredir [7].

OECD, su yataklarının faydalı kullanımını sınırlayan sorunları araştırmak üzere dünya çapında bir ötrofikasyon programı planlamıştır. Dört grup olarak yürütülen programın tümünü kapsayan verilere dayanarak, besin seviyesi sınıflandırılmasında kullanılan klorofil değerleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. OECD Ötrofikasyon Programında Besin Seviyesi Sınıflandırılmasında Klorofilin Yeri [7]

Parametre		Oligotrofik	Mezotrofik	Ötrofik
Klorofil-A (mg/m^3)	Yıllık ort.	1.7	4.7	14.3
	min-maks.	0.3-4.5	3.0-11	2.7-78
	n	22	16	70
Klorofil-A tepe değeri (mg/m^3)	Yıllık ort.	4.2	16.1	42.6
	min-maks.	1.3-10.6	4.9-49.5	9.5-275
	n	16	12	46

Kuru ağırlığının %70'i protein olan ve fotosentez aktiviteleri yüksek olan genç hücrelerde klorofil miktarı daha yüksektir. Yaşlı hücrelerde ise azot eksikliğinden dolayı klorofil, diğer pigmentler tarafından maskelendiği için daha düşük görünmektedir.

Kırmızı ışığı absorblayarak aktif hale gelen klorofil, CO₂ ve suyun birleşmesini sağlar. Karbon asimilasyonu, mevcut CO₂ miktarına, radyasyon enerjisine, sıcaklığa ve ışığın dalga boyuna bağlı olup, ışık şiddeti en önemli sınırlayıcı faktördür. Belirli bir ışık şiddetinin üstünde asimilasyon olayı yavaşlar. Su yüzeyinden itibaren derinlere doğru inildikçe azalan ışık şiddeti asimilasyonun da azalmasına sebep olmaktadır. Çok yüksek ışık şiddetinin klorofilin aktivitesinde azalmaya neden olduğu ve bu yüzden de maksimum fotosentezin su yüzeyinde gerçekleşmediği, ışık geçirgenliğine bağlı olarak maksimum fotosentez derinliğinin değiştiği bilinmektedir [7].

2.1.4. Alglerin su kirliliğine etkisi

Alıcı su ortamına, mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli olandan fazla besin maddesi girmesi ile, sudaki biyolojik hayat için gübreleme etkisi oluşmakta ve biyolojik üreme hızı artmaktadır. Bu durumda, özellikle algler iyi gelişmekte ve ötrofikasyonu desteklemektedir. Sularda alg büyümesi arzu edilmediği için bu tür sular kirlenmiş su olarak kabul edilmektedir.

Algler tarafından üretilen besin maddeleri ve oksijen üretim miktarları büyük ölçüde değişiklik gösterebilmekte ve buna bağlı olarak da suyun kokusu, rengi ve tadı da mevcut algler tarafından değiştirilebilmektedir [8].

Evsel atıksular, pekçok organik materyalin yanı sıra, bu maddelerin parçalanması sonucu ortaya çıkan bazı kimyasal maddeleri de içermektedir. Ayrıca, evsel atıksularla gelen sentetik detarjanlar içerdikleri fosfat nedeniyle yeşil alglerin (Chlorella) büyümesini teşvik etmektedir.

Alg populasyonlarının farklı noktalarda gösterdikleri tür ve miktar değişiklikleri, bir nehir içindeki kirlenmenin kalitatif ve kantitatif bir göstergesi olarak kullanılabilir. Özellikle, kimyasal analizlerin yetersiz olduğu zamanlarda çeşitli sulara adapte olmuş algler kirlilik indikatörü olarak kullanılırken, su kirliliği giderme çalışmalarında giderilme derecesinin ölçümünde de kullanılmaktadırlar. Pek çok alg cinsine (genusuna) ait türler, sulardaki organik zenginleşmeye tolerans gösterirken, diğerleri bu toleransı göstermemektedirler. Özellikle mavi-yeşil algler ve bazı flagellatlar nehirlerin organik atıklar ihtiva eden kısımlarında oldukça yaygındırlar [2].

2.2. Akarsu Kirlenmesi

2.2.1. Akarsu ortamında kirleticilerin etkileri

Akarsuya atıksu girdisi olması durumunda, akarsuyun özelliklerini kirlenmeden önceki kalitesine doğru götüren doğal bir arıtım süreci başlar. Bu süreç, akarsuyun özellikleri ve yöredeki iklim koşulları ile yakından ilişkilidir. Yavaş akan ve havuzlanma özelliği gösteren akarsuların havalanma hızı da yavaş olduğundan, doğal arıtım olayı uzun sürmektedir. Sığ ve hızlı akışlı akarsu yataklarında ise iyi bir havalanma görülür.

Akarsuya karışan atıklar, akarsu akış hızına bağlı olarak gelişen doğal bir arıtmayla temizlenebilmektedirler. Evsel atıksuda bol miktarda bulunan bakteriler, akarsu ortamında koşulların elverişli olmaması (besin maddelerinin azlığı, sıcaklık ve başka canlılar tarafından yenilme gibi olaylar) nedeniyle hızla yok olur.

Atıksu, alıcı ortama deşarj edildiği bölgede bir karışıma uğramaktadır. Bu bölge balık ve diğer su canlılarının göçü için bir bariyer oluşturduğundan karışma sürecinin mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir. Karışma bölgesinin alt kısmında kimyasal açıdan kararlı bir kirleticinin derişimi;

$$C=(C_oQ+C_aQ_a)/(Q+Q_a) \quad (2.1)$$

bağıntısından bulunabilir.

Burada:

C: bileşik akımın derişimi (mg/m^3),

Q: akarsu debisi (m^3/sn),

C_o : maddenin Q içindeki derişimi (mg/m^3),

Q_a : deşarj edilen atıksu debisi (m^3/sn),

C_a : maddenin Q_a (atıksu deşarjı) içindeki derişimini (mg/m^3) göstermektedir.

Evlerden ve endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıklar organik madde içerdiklerinden, su ortamında oksijen tüketimine neden olmaktadır. Akarsuda oksijen, havalanma yoluyla kazanıldığından, akarsu debisi, zaman ve su sıcaklığı gibi parametreler akarsuyun kendi kendini temizleme kapasitesini etkilemektedir.

Organik kirliliğin akarsuya verildiği noktanın mansabında (suyun döküldüğü yer) çeşitli kirlilik bölgeleri ve buna bağlı olarak tipik bakteri populasyonları oluşur. Akarsu koşullarının biyolojik özelliklerine bağlı olarak aşağıda verilen 7 farklı taksonomik grup tanımlanmaktadır.

1. Mavi-yeşil algler, bazı rotiferler
2. Oligochateler, sülükler ve yılanlar

3. Protozoalar
4. Diatomlar, kırmızı algler, yeşil algler
5. İstiridye içindikiler haricinde tüm rotiferler, solucanlar ve bazı yılanlar
6. Tüm haşerele ve kabuklu hayvanlar
7. Tüm balıklar

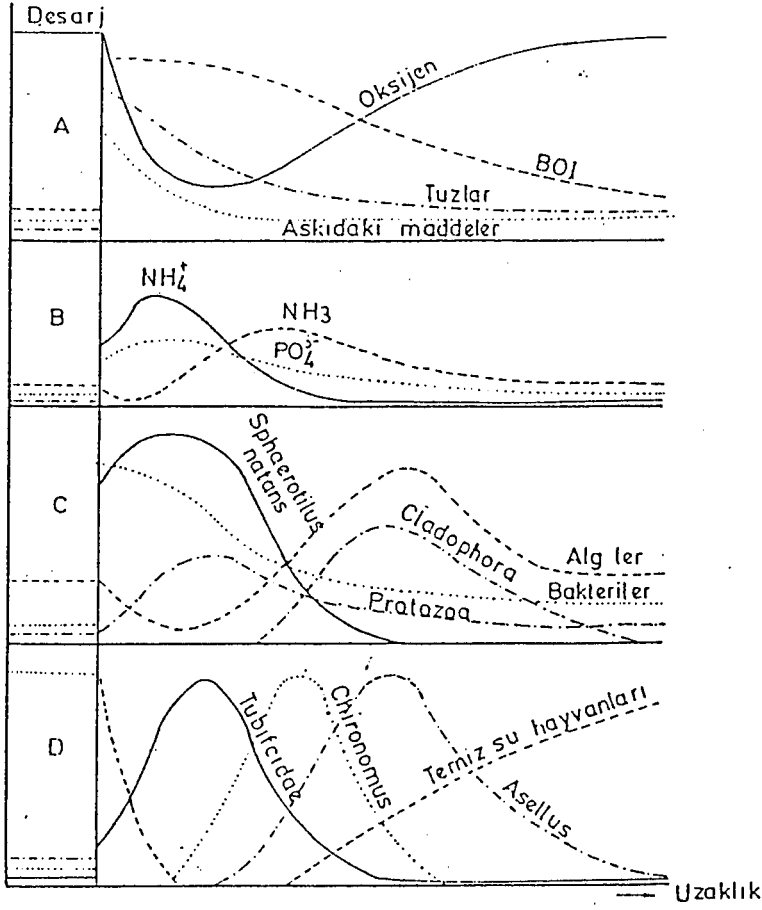
Yukarıda adı geçen taksonomik grupların akarsu içinde bulunma durumuna bağlı olarak akarsular, sağlıklı, yarı sağlıklı, kirlenmiş ve çok kirlenmiş akarsu olmak üzere dört kategoride değerlendirilmektedir (Bkz. Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Akarsu Sınıfları ve Özellikleri

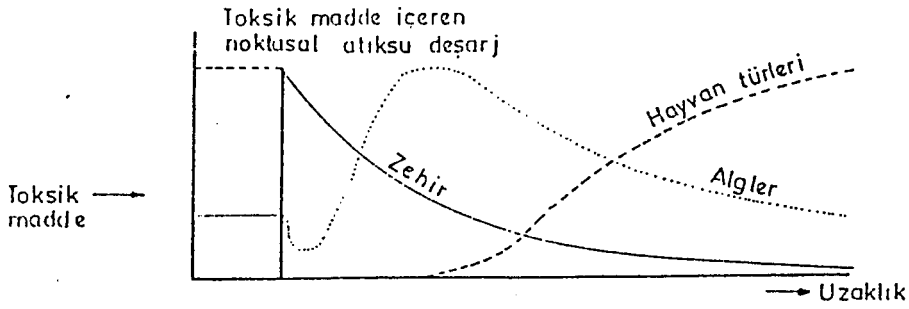
Akarsu Sınıfları	Özellikleri
a. Sağlıklı akarsu	Algler esas olarak diatomlar ve yeşil alglerdir. Haşere ve balık türleri oldukça çeşitlidir. Yukarıda verilen 4., 6. ve 7. gruplar akarsuyun menbasındaki doğal şartlarda %50'nin üzerindedir.
b. Yarı sağlıklı akarsu	Denge bozulmuştur. Yukarıda verilen 6. ve 7. gruplar %50'nin altındadır.
c. Kirlenmiş akarsular	Sağlıklı akarsu koşullarındaki denge tamamıyla bozulmuş durumdadır. Yine de 1 ve 2 nolu gruplardaki organizmaların bazıları için ortam uygundur. 6 ve 7 nolu grupların ya her ikisi ya da birinin türleri yok olur.
d. Çok kirlenmiş akarsular	Bitki ve hayvan yaşamına toksik etki yapan koşullardaki akarsulardır. Birçok grup mevcut değildir.

Sonuç olarak, kirlenmenin etkileri, tür sayısındaki azalma ile kendisini göstermektedir. Akarsuya verilen noktasal bir organik kirliliğin sonucunda oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar ve çeşitli kirlilik parametrelerinin etkisiyle yaşam türlerinin değişimleri Şekil 2.3'te şematik olarak özetlenmiştir [2].

Şekil 2.4'te toksik madde içeren bir atıksuyun akarsuya deşarj edilmesi durumunda, atıksuyun akarsu boyunca fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerde neden olduğu değişimler görülmektedir. Toksik madde içeren atıksuyun deşarj noktasının hemen mansabında bu maddelere karşı duyarlı türler yok olmakta, sadece dayanıklı türler yaşamını sürdürebilmektedir. Benzer bir etki, başlangıçta algler için de söz konusu olmaktadır. Toksik etki altındaki bir akarsuda, deşarj noktasının mansabında alg sayısı ve türlerinde bir artış da izlenebilmektedir. Bunun nedeni, alglerle beslenen bir çok canlı türünün azalması veya yok olması (örneğin balıkların ölmesi) ve akarsuda azalan türler nedeniyle alglerin yararlanabileceği nütrient derişimlerindeki artıştır. Uzun bir akış süresi sonunda toksik etkilerin azaldığı ve akarsuda yeni bir dengenin oluştuğu gözlenmektedir [2].



Şekil 2.3. Noktasal bir kirlilik yükünün akarsuya etkisi (A ve B’de fiziksel ve kimyasal parametrelerdeki değişimler, C’de mikroorganizma tür ve sayılarındaki değişimler, D’de ise hayvan türlerindeki değişimler izlenmektedir [2])



Şekil 2.4. Toksik maddeler içeren bir noktasal atıksu deşarjının akarsudaki canlı türler üzerine etkisi [9]

2.2.2.Akarsularda biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen eksikliğini etkileyen faktörler

Bir akarsuda kirlilik nedeniyle artan biyolojik oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen eksikliği aşağıda adı geçen bir çok faktöre bağlıdır.

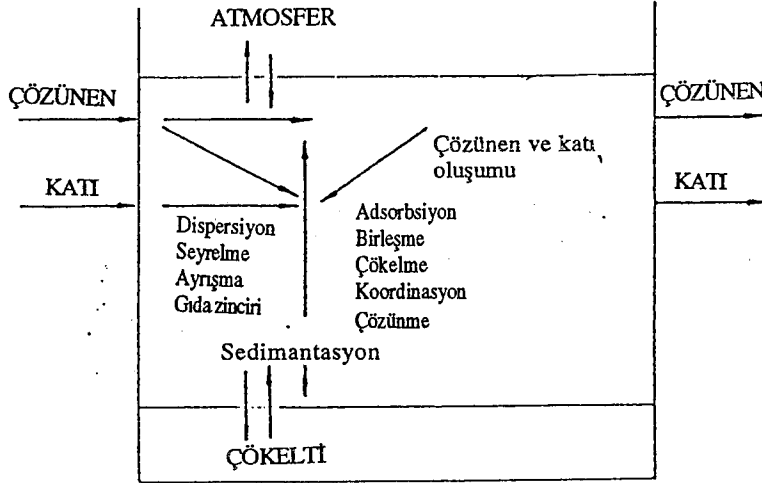
- a. Biyokimyasal oksijen ihtiyacını etkileyen faktörler;
 1. Evsel ve endüstriyel atıksuların noktasal deşarjı,
 2. Akarsuda yaşayan hayvansal ve bitkisel organizmaların metabolik ve yaşam kalıntıları,
 3. Akarsu besleme havzasından gelen alansal kirlilik,
 4. Yeraltı suyu beslenmesiyle akarsuya karışan ve biyolojik olarak ayrışabilen organik maddeler,
 5. Çökelme,
- b. Çözünmüş oksijen derişimini etkileyen faktörler
 1. Su yüzeyindeki havalanma,
 2. Phytoplanktonların asimilasyonu,
 3. Sudaki biyokimyasal ayrışma için oksijen tüketimi,
 4. Taban çamurundaki biyokimyasal ayrışma için oksijen tüketimi ,
 5. Hayvansal ve bitkisel organizmaların solunumu

Mikroorganizmaların metabolik süreçlerinde yer alan çözünmüş, kolloidal veya askıda organik maddeler ve azot bileşiklerinin biyokimyasal ayrışımı, akarsuyun oksijen bilançosunda en önemli tüketim unsurunu oluşturur. Bu ayrışım, aynı zamanda doğal arıtma açısından da akarsu kalitesini belirleyici temel etkindir. Biyolojik olarak ayrışabilecek nitelikteki organik maddelerin veya azot ve fosfor bileşiklerinin akarsuya karışması bu hassas dengeyi önemli ölçüde değiştirebilir [10].

2.3. Göl Kirlenmesi

Göl kirlenmesinde temel taşınım yolları akarsular ve atmosferdir. Akarsuların partikül yükü, çözünmüş yükün yaklaşık 3-5 katıdır. Akarsularla taşınan çözünmüş ve askıdaki maddelerin miktarının büyük bir bölümü erozyon ve kimyasal çözünme sonucu oluşur. Kirleticilerin büyük bir kısmı göle, akarsular, yeterince arıtılmış endüstriyel atıksu deşarjları ve drenaj yolu ile taşınmaktadır. Fosil yakıtların yanması (kükürt ve azot oksitleri, hidrokarbonlar) ve endüstriyel proseslerden kaynaklanan gaz ve buhar şeklindeki kirleticilerin atmosferik etkilere bağlı olarak taşınımının da ihmal edilmemesi gerekir.

Gölün drenaj alanındaki kaya tipi, göl suyunun anorganik bileşimini belirleyen en önemli etkindir, Şekil 2.5’de göl suyunun kimyasal bileşimini etkileyen çeşitli süreçler görülmektedir. Bazı reaksiyonların dengeye ulaşma hızı çok yavaştır. Göl sisteminde denge durumu dikkate alındığında değişik reaksiyonların birbirinden oldukça farklı

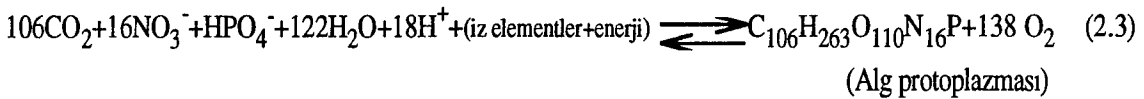


Şekil 2.5. Göl suyunun kimyasal bileşimini etkileyen süreçler [2]

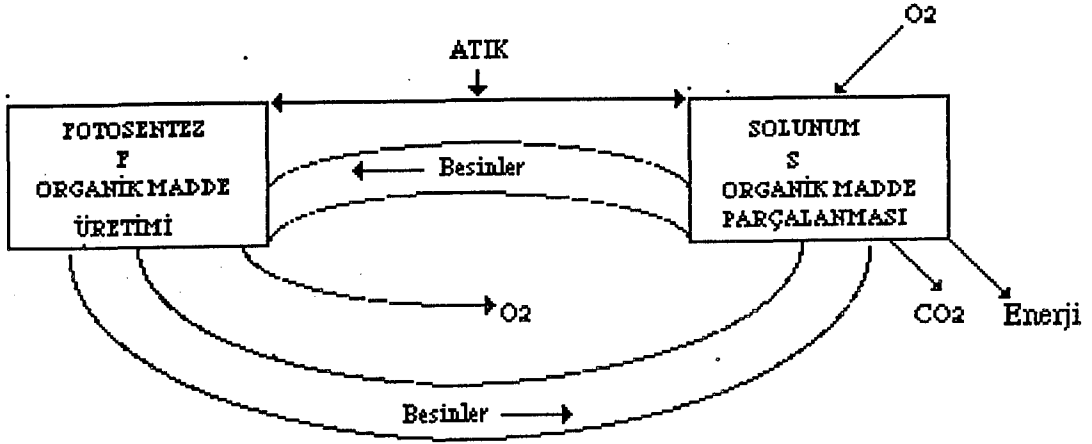
Organizmalar, abiyotik çevre ile sürekli bir ilişki içindedir. Biyosfer, kimyasal değişimlere karşı oldukça hassastır. Göl ortamında yaşam, güneş enerjisi ile sürdürülmektedir. Güneş enerjisinin küçük bir kısmı alg fotosentezinde kullanılır ve organik madde halinde depo edilir. Bu organik maddelerin büyük bir kısmı oksitlenir ve heterotrof ayrıştırıcılar (bakteriler ve mantarlar) ve tüketici organizmalar (hayvanlar) için enerji sağlanır. Bu organizmalar fotosentezin kararsız ürünlerini, enerji veren redoks reaksiyonları yoluyla ayrıştırır. Dengeli bir göl sisteminde, fotosentetik faaliyetler ve heterotrof organizmalar arasında, organik maddenin üretim ve tüketimi ile oksijen üretim ve tüketimi yönünden karşılıklı bir ilişki sürdürülür (Bkz. Şekil 2.6).



Fotosentez olayına diğer besin maddeleri de katkıda bulundukları için fotosentez olayının daha kapsamlı bir reaksiyon denklemi ile verilmesi gerekir.



Sistemdeki enerji akışı, besin ve diğer elementlerin çevrimini beraberinde getirir. Her ekosistemde olduğu gibi, göl ve çevresi biyolojik bir toplumu (birincil üreticiler, ayrıştırıcılar ve tüketicilerin değişik trofik düzeyleri) içerir. Karmaşık bir ekolojik toplumda, tüm üyeler besin çevriminde rol alır [2].



Şekil 2.6. Dengeli bir göl sisteminde organik madde ile oksijen üretimi yönünden karşılıklı ilişkiler [2]

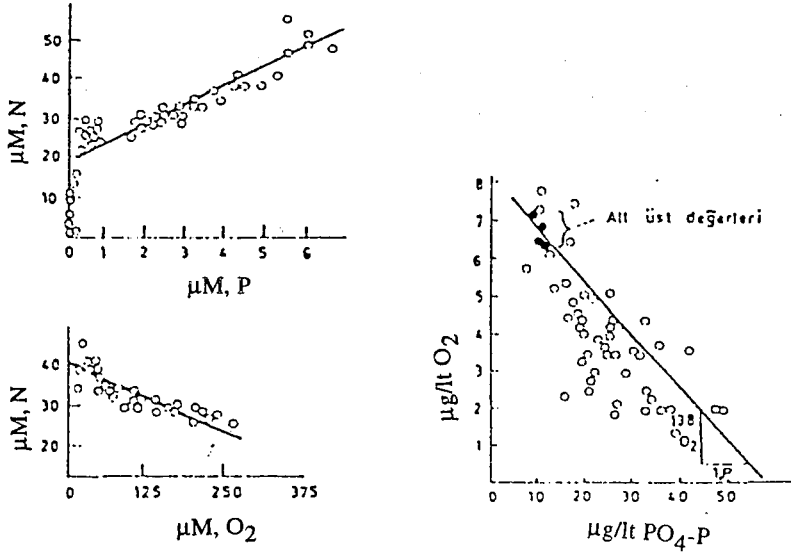
Fotosentez ve solunum arasındaki denge, göl sularının redoks durumunu düzenler. Su ortamında C, N, O, S, H, Fe, Mn gibi bazı elementler redoks proseslerinde yer alırlar. Fotosentetik olmayan organizmalar, fotosentezin kararlı olmayan ürünlerini ayrıştırarak dengenin korunması yönünde davranırken, metabolik ihtiyaçları için de enerji sağlarlar.

Doğal suda, redoks reaksiyonları termodinamik koşullara göre gerçekleşir. Bir gölde fotosentezin organik ürünleri, dibе çökerek indirgen (elektron verici) olarak davranır. Su ortamında fotosentez sonucu oluşan organik maddelerin redoks reaksiyonları Çizelge 2.5'te listelenmiştir.

Çizelge 2.5. Fotosentez Sonucu Oluşan Organik Maddelerin Redoks Olayları

Redoks olayları	Redoks olayları	Denklem no
Oksijen solunumu	$CH_2O + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$	2.4
Denitrifikasyon	$5CH_2O + 4NO_3^- + 4H^+ \longrightarrow 5CO_2 + 2N_2 + 7H_2O$	2.5
Nitrat indirgenmesi	$2CH_2O + NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow 2CO_2 + NH_4^+ + H_2O$	2.6
Mn (II) oluşumu	$CH_2O + 2Mn^{2+} + 4H^+ \longrightarrow CO_2 + 2Mn^{+2} + 3H_2O$	2.7
Fermantasyon	$3CH_2O + H_2O \longrightarrow CO_2 + 2CH_3OH$	2.8
Fe (III) oluşumu	$CH_2O + 4FeOOH + 8H^+ \longrightarrow CO_2 + 7H_2O + 4Fe^{+2}$	2.9
Sülfat indirgenmesi	$2CH_2O + SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow HS^- + 2CO_2 + 2H_2O$	2.10
Metan oluşumu	$2CH_2O \longrightarrow CH_4 + CO_2$	2.11

2.3 no'lu stokiyometri eşitliğinde de görüldüğü gibi, fotosentez sırasında nitrat ve fosfat belli bir oranda sudan alınmaktadır. Alg solunumu süresince, derin sularda ve sedimentlerdeki alg mineralizasyonunun bir sonucu olarak fosfor ve nitrat aynı oranda serbest bırakılmaktadır. Suda çözünmüş olan fosfat ve nitratın oksijenle olan ilişkisi (Bkz. Şekil 2.7), fotosentetik süreçler ve solunumun göl suyu üzerindeki etkisinin yorumlanmasında kullanılmaktadır [10].



Şekil 2.7. Göl ortamında fosfat, nitrat ve oksijen arasındaki ilişkiler [10]

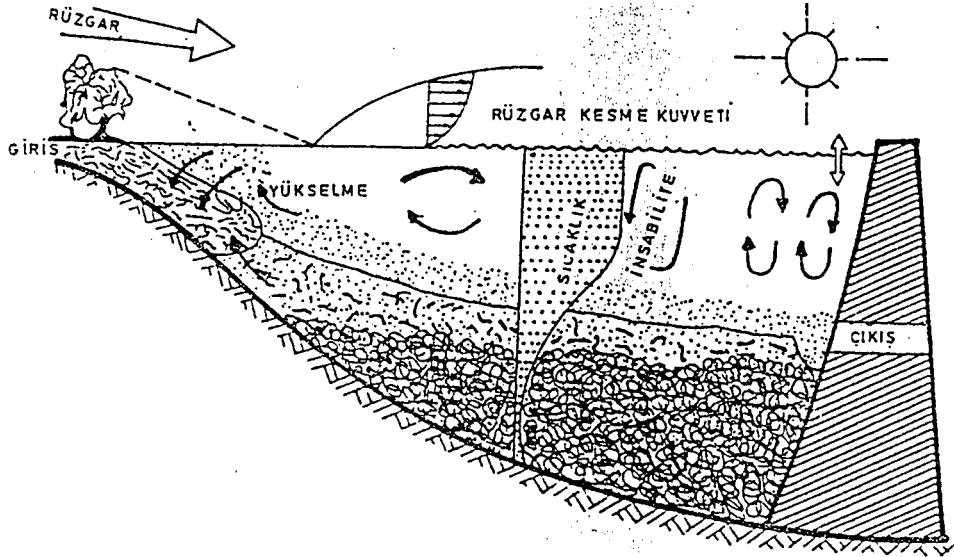
2.3.1. Baraj rezervuarlarında su kalitesi değişimi

Yapay göllerde ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, gölün yeni devreye alındığı dönemlerde göllerdeki oksijen derişiminin, kritik değerlere düşmesidir. Bu düşüş, göllerdeki su kalitesini bozabileceği gibi, ortamın ekolojisi üzerinde de olumsuz etkilere neden olmaktadır. Rezervuarın doldurulması ve birinci yıldaki işletimi esnasında toprakta bulunan vejetasyonun ve diğer organik maddelerin parçalanması neticesinde yüksek miktarda oksijen ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Söz konusu parçalanma aynı zamanda besin maddesi (nütrient) açığa çıkartarak baraj göllerinde aşırı alg büyümesi veya su sümbülleri gibi makrofit türü canlıların artmasına ve dolayısıyla barajın faydalı ömrünün azalmasına neden olarak ekonomik kayba yol açmaktadır [5].

Derin baraj rezervuarlarında (>15 m) su yüzeyinden alınan güneş enerjisi, bir başka deyimle ısı girdisi nedeniyle su kalitesi açısından istenmeyen bir tabakalaşmanın meydana gelebilmesi söz konusu olabileceğinden bu tür rezervuarlarda su kalitesinin monitorlanması özel önem taşımaktadır. Tabakalaşmış bir su ortamında üst bölgelerde iyi nitelikli bir su bulunsa dahi dip kısımda kısa sürede anaerobik bir ortam oluşabilmektedir.

Su haznelerindeki tabakalaşma gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları ve rüzgarın etkisiyle bozulabilmekte ve buna bağlı olarak da, göldeki su sirkülasyonu sırasında su kalitesinde ani değişimler gözlenmektedir. Ayrıca, atmosferik değişimler, organik maddelerin parçalanması, bentik respirasyon, alglerin respirasyonu, alglerin fotosentezi, azotun oksitlenmesi gibi süreçler de baraj rezervuarındaki oksijen seviyesi üzerinde etkili olmaktadır. Oksijen derişimindeki azalma ise, gölde derinlik profili

boyunca, su alma yapısının konumunun belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [10]. Tipik bir baraj rezervuarında meydana gelebilecek karışma süreçleri Şekil 2.8'deki gibi verilebilir.



Şekil 2.8. Baraj gölünde oluşabilecek karışma süreçleri [10]

2.3.2. Göllerin ve baraj rezervuarlarının üretkenlik düzeyleri

Göllerdeki üretkenlik düzeyinin ve aşırı beslenmenin (eutrophication) derecesi büyük oranda göl suyundaki besleyicilerin derişimine bağlıdır. Besleyiciler genellikle azot, fosfor, karbon ve silika bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu besleyicilerden birinin az miktarda olması, göldeki ekolojik dengeyi etkilemekte ve biyolojik üretkenliğin azalmasına neden olmaktadır. Diğer yandan, gölde fazla miktarda besleyici olması, üretkenliği artırmakta ve bunun sonucunda arzu edilmeyen alg patlamalarına rastlanmaktadır. Göle gelen besleyicileri Çizelge 2.6'daki gibi sınıflandırmak mümkündür.

Çizelge 2.6. Göle Giren Besleyici Kaynaklar [11]

Besleyici kaynaklar	
Drenaj havzasından gelen	Göle doğrudan karışan
1. Atmosferik yük	1. Atmosferik yük
2. Yüzeysel drenaj yükü	2. Göl dibindeki çökeltiler
3. Dereler	

Aşırı beslenmeye (ötrofikasyon) neden olan besi elementleri, azot ve fosfor olmakla birlikte, en önemli kısıtlayıcı faktör, göle gelen fosfat yüküdür. Göllerin drenaj havzasındaki fosfor kaynakları Çizelge 2.7'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.7. Su Toplama Havzalarında Fosfor Kaynakları [10]

Noktasal kaynaklar	Yaygın kaynaklar	
<i>a. Yerleşim bölgelerinden gelen atıklar</i> -Evsel atıklar -Endüstriyel atıklar -Çöp ve diğer katı atık -Sokak drenajı	<i>a. Yerleşim bölgelerinden gelen atıklar</i> -Septik çukurlar -Evsel atıklar -Toprak erozyonu	<i>c. Eklilmemiş alanlardan gelen atıklar</i> -Toprak erozyonu -Organik bitki atıkları -Yabani hayvan atıkları
<i>b. Su arıtma tesislerinden gelen atıklar</i>	<i>b. Tarımsal alanlardan gelen atıklar</i> -Toprak erozyonu -Gübre fazları -Hayvansal atıklar -Organik atıklar	<i>d. Su kaynaklarındaki rezervler</i> -Çökeltüler -Fauna ve flora -Yeraltı suları
		<i>e. Atmosfer</i>
		<i>f. Kaynak ve memba suları</i>

Göllerde aşırı beslenmeden dolayı bataklıklaşmanın doğurduğu sorunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Sık sık alg patlaması,
2. Göl dibinde organik maddelerin birikmesi,
3. Göl içinde canlı türlerinin azalması,
4. Göl çevresinde bitkilerin artması,
5. Göl çevresinin su sporları ve turizm yönünden değer kaybetmesi,
6. Göl, içme suyu kaynağı olarak kullanıldığında tat ve koku problemlerinin oluşması,
7. Alglerin içme suyu tesislerindeki filtreleri tıkaması,
8. Sudaki yoğun organik maddeden dolayı, arıtma tesislerinde flokülasyon uygulamasının veriminin düşmesi,
9. Bazı alglerin zehirli salgılar çıkartması,
10. Mn, Fe ve NH₃ derişimlerinin artmasıyla renk sorunlarının ortaya çıkması,
11. İçinde organik maddeler bulunan suların klorlanmasıyla organoklorlu bileşiklerin oluşması ve kanser riskinin artması [12].

Alglerin çoğalmasında önemli rol oynayan azot ve fosfor kaynakları Çizelge 2.8’de verilmiştir. Ilıman iklim koşullarının yer aldığı göllerde fosfor ve inorganik azotun üretkenliği sınırlayıcı besin maddesi olduğu saptanmıştır [12], [10].

Çizelge 2.8. Çeşitli Kaynaklardan Çıkan Azot ve Fosfor Miktarları [12]

Kaynak	Azot		Fosfor	
	derişim	yük	derişim	yük
Yağmur	1.0 mg/lt	-	0.1 mg/lt	-
Kırsal yağmur suyu	0.8-5.6 mg/lt	950 kg/km ² -yıl	0.1-2.76 mg/lt	90 kg/km ² -yıl
Evsel pissu	15-35 mg/lt	6-12 g/kişi - gün	6-12 mg/lt	1-4 g/kişi-gün
Orman akımı	-	145-3636 kg/km ² -yıl	-	3.36-6.72 kg/km ² -yıl
Tarım alanı akımı	-	2.75-27 kg/m ² -yıl	-	100-435 kg/km ² -yıl

Göller üretkenlik düzeylerine göre dört grup altında sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, bir ölçüde göllerin ekolojik koşullarını ve kirlilik derecelerini de tanımlamaktadır [12].

a. Az beslenmiş göller (Oligotrophic)

Bu göller kirlilik açısından temiz göllerdir. Göl içinde algler ve organik maddeler azdır. Her türden canlı olmakla beraber, canlı sayısı azdır. Genellikle derin olan bu göllerde balık avcılığı yapılabilir, göllerdeki derin kesim büyük ve soğuktur. Oksijen, yılın her döneminde ve her derinlikte vardır. Bu tür göller jeolojik olarak gençtir, ancak, sayıları gün geçtikçe azalmaktadır [12], [10].

b. Orta derecede beslenmiş göller (Mezotrophic)

Bu tür göllerde alg ve organik madde miktarı, az beslenmiş göllere oranla daha fazladır, ancak, alg patlamaları görülmemektedir. Bitki ve canlı türü sayısı oldukça fazladır, ancak bu tür göllerdeki su kalitesi bozulmaya başlamıştır [12], [10].

c. Aşırı beslenmiş göller (Eutrophic)

Genellikle sığ olan bu göllerde, aşırı miktarda organik madde vardır. Sık sık alg patlaması görülür, üretkenlik düzeyi oldukça yüksektir. Göllerin derin kısmı (hypolimnion) çok azdır veya yoktur. Bu kesimde hemen hemen hiç oksijen bulunmadığı için havasız (anaerobik) parçalanma söz konusudur. Bu tür göllerde canlı sayısının çokluğuna karşın canlı türü azdır. Suda bulunan canlılar ve algler öldükçe dibе çökelir ve zamanla gölün derinliğini azaltır. Göl çevresinde bitki ağı oluşur ve gölün su kitlesi giderek azalır. Bir süre sonra göl bataklaşır ve yok olur. Evsel nitelikli atıklar bu süreci kısaltır. Bu tür göller genellikle eski göllerdir ve kirlenmiş olarak nitelendirilir.

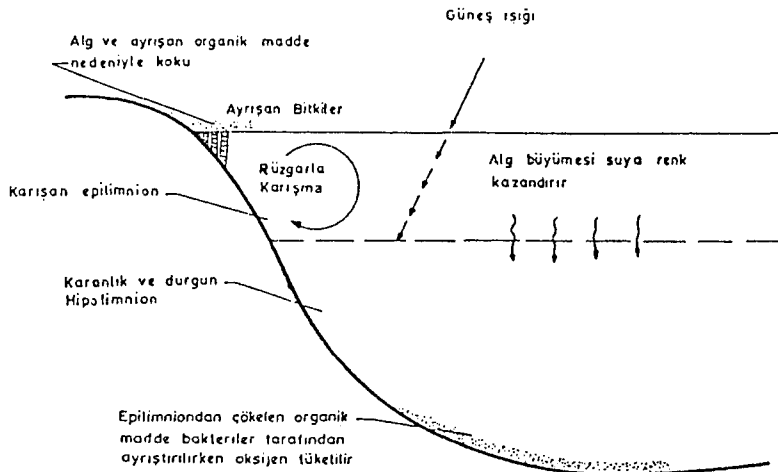
Bir su kütesinin ötrofikasyonu aşağıdaki olaylarla gözlenir;

1. Su organizmaları ve bitki kütesindeki artış (bu olay çoğunlukla tür sayısında azalmayı beraberinde getirir),

2. Organizma tipinde değişim, örneğin yeşil algelere ilaveten mavi-yeşil alg üretmesi ve salmon balığı (alabalık ve beyaz balık gibi kirliliğe karşı hassas balık) yerine daha kaba balık türlerinin çoğalması,
3. Su renginin koyulaşması ve buna bağlı olarak suyun ışık geçirgenliğinin azalması,
4. Göl derinliği boyunca oksijen gradyanı oluşumu ve günlük oksijen seviyesi ölçümlerinde maksimum ve minimum değişimler gözlenmesi,
5. Tabakalaşmanın olduğu dönemlerde derin bölgelerde oksijen seviyesinin azalması,
6. Çözünmüş azot ve fosfor derişiminde artış.

Besin girdisi devam ettikçe yukarıda sıralanan değişikliklerin yoğunluğu artar ve sonuçta alg patlaması ile birlikte su, estetik ve kullanım açısından uygun olmayan bir hale dönüşür. Bu olaylar sırasında, kimyasal değişiklikler gerçekleşir, derinlerde çözünmüş oksijen azlığı nedeniyle, demir ve mangan bileşikleri çözünebilir forma dönüşerek suya salıverilir. Dibe çöken organik madde (ölü alg v.d.) ayrışarak H_2S gibi kötü kokulu gazların oluşmasına neden olur. Ayrıca, bozunma süreci sırasında metan ve karbondioksit gibi gazların da çıkması su kalitesinin bozulmasına neden olur. Şekil 2.9'da aşırı beslenmenin bir gölü ne şekilde etkilediği görölmektedir.

Ötrofik göllerde, alabalık ve beyaz balık gibi derin ve soğuk sularda yaşıyan ve kirliliğe karşı duyarlı olan canlılar yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalırlar. Bu tür ortamlarda, sığ sularda tutunmuş bitkiler büyümeye başlar ve suda yüzen bitkiler gelişebilir. Göl kıyısında bulunan bitkiler silt ve bitki artıklarının çökmesine neden olarak sineklerin beslenmesi ve yumurtalarının bırakılması için uygun ortam yaratır [10].



Şekil 2.9. Göl ortamında aşırı beslenmenin etkisi [10]

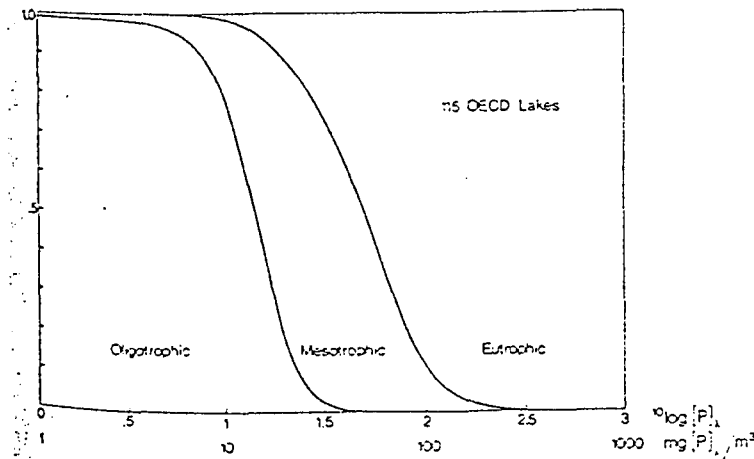
d. Distrofik göller

Distrofik göllerde üretim ve tüketim dengesi tamamen bozulmuştur. Asidik bir yapı ve koyu kahverengi bir renge sahip olan bu göllerde ancak, bazı canlı türleri yaşamlarını sürdürebilmektedir. Gölde biriken maddeler ve gölün bataklaşması, gölün zamanla yok olmasına neden olur. Çizelge 2.9'da trofik sınıflandırma için önerilen sınır değerler verilmiştir.

Çizelge 2.9. Göl ve Rezervuarlar İçin Genel Trofik Sınıflandırması [10], [9]

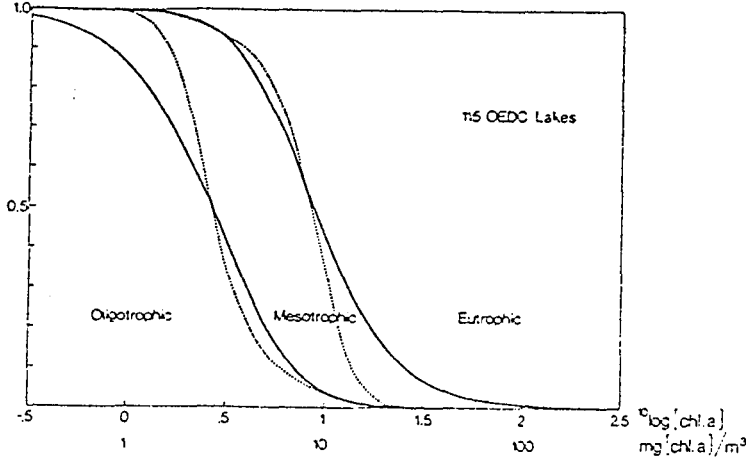
Kalite Parametreleri	Trofik Sınıflar				Tuzlu
	Oligotrofik	Mezotrofik	Ötrofik	Distrofik	
Net birincil üretim(g/m^2 /yıl)	15-50	50-150	150-500	10-100	500-2500
Fitoplankton biyokütlesi (mg/m^3)	20-200	200-600	600-10000	20-400	1000-20000
Toplam organik yük (ppm)	1-5	2-10	10-100	20-100	20-200
Klorofil-A (ppm)	0.3-3	2-15	10-500	0.01-2.0	50-1000
Işık geçirgenliği (m)	20-120	5-40	3-20	1-5	2-10
Toplam fosfor (ppb)	<1-5	5-10	10-30	1-10	30-100
İnorganik azot (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- (ppb)	<1-200	200-400	300-650	1-200	400-5000
Askıda katı madde (ppm)	2-20	10-200	100-500	5-100	1000-100000
ppm=mg/lt, ppb=mg/m ³ veya μ g/lt					

Aşırı beslenme konusunda Vollenweider tarafından geliştirilen yöntemde göle ulaşan fosfor yükünün gölde aşırı beslenme olgusunu başlatabileceği bildirilmiştir [9]. Ayrıca, OECD tarafından 60'tan fazla gölde yapılan araştırmalar sonucu gölün üretkenlik düzeyi ile fosfor yükü arasındaki ilişkiler grafiklendirilmiştir (Bkz Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Fosfat için trofik sınıflamada olasılık dağılımı [13]

Trofik sınıflama, ortalama fosfat değerleri ve ışık geğirgenliği değerleri yanısıra göldeki üretkenlik düzeyini gösteren klorofil-A değerleri kullanılarak da belirlenebilir. Şekil 2.11’de ortalama klorofil-A değerlerine göre trofik sınıflama olasılıkları verilmektedir.



Şekil 2.11. Ortalama Klorofil-A için trofik sınıflamada olasılık dağılımı [13]

Göllerde nütrient sirkülasyonunu ve besin seviyesindeki değişimleri etkileyen bir çok neden vardır. Bunların en önemlileri şunlardır [9].

a. Drenaj havzasının verimliliği; Yumuşak ve organik maddelerce zengin drenaj alanında bulunan göller, sert kayaların (kuvarts, granit) oluşturduğu drenaj alanlarının bulunduğu göllerden daha fazla besin maddesi girdisine sahiptir.

b. Göl derinliği ve yamaçların eğimi; Kıyıya dik bir açıyla inen, derin ve kayalıklı yamaçlı göllerde besin maddesi seviyesi, sığ ve kıyıya eğimli açılarla inen toprak (çamur) yamaçlı göllerdeki besin maddesi seviyesine göre daha azdır.

c. Şerit uzunluğu; Derinlik, yaş, drenaj alanları ve diğer özellikleri birbirlerinin aynı olan göllerden şerit uzunluğu daha uzun olanında besin maddesi seviyesi daha fazladır.

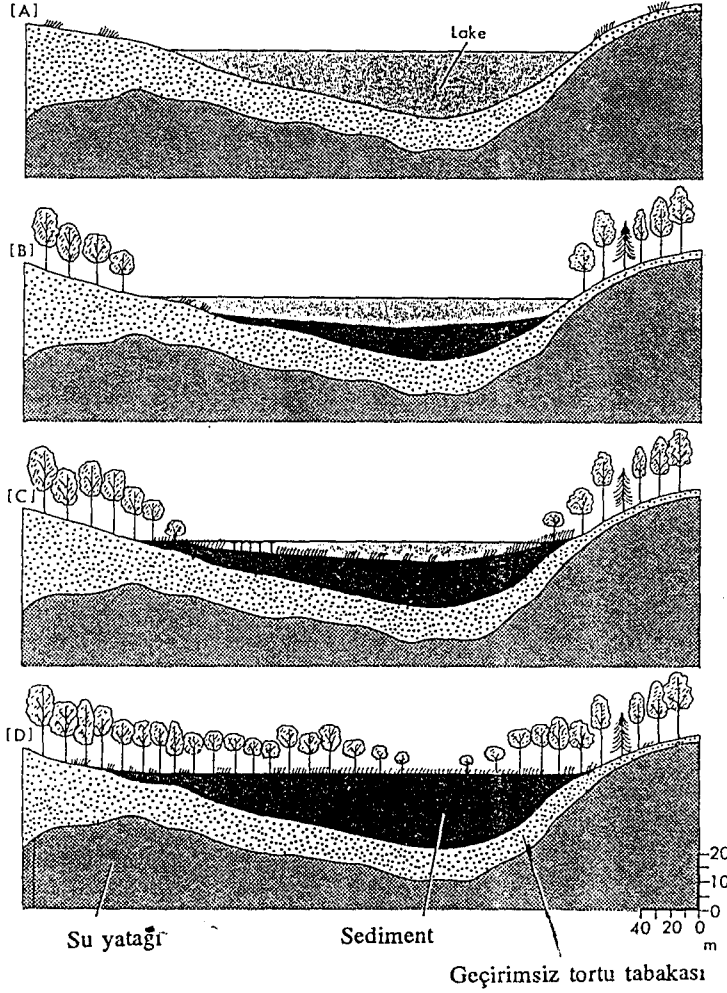
d. Sıcaklık; Aynı özelliklere sahip iki ayrı göl için, sıcak iklim kuşağında bulunan gölde biyolojik aktivite süresi daha fazla olduğundan yıl boyunca daha yüksek nütrient sirkülasyonu ve besin maddesi üretimi söz konusu olacaktır.

e. Su girdisi; İklim nemi ve suya giren ve çıkan akıntılar, üretimi indirekt olarak etkiler. Suya giren ve çıkan akıntılar çok güçlü ise, su ortamında yaşayan planktonlar çok fazla direnç gösteremeyeceklerdir. Ayrıca, suya giren ve çıkan akıntılar çok büyük ise suya giren besin maddesi ve katı madde miktarında bir azalma söz konusu olacaktır.

f. Göllerin yaşlanması; Göller sürekli olarak nütrient aldıkları için, üretkenlikleri artar ve böylece su kalitesi bozulur. Sedimentasyon arttuğında ötrofikasyon da ilerler; göl gittikçe sığlaşır ve sonuçta yok olur. Bu şekilde ötrofikasyonun hızlanması olayına “göllerin yaşlanması” denir.

Bir göldeki gelişme, nütrient girdisi sıfır olduğu zaman oligotrofi yönünde olacaktır. Kirlenme sonucunda, oligotrofik durumdan ötrofik duruma geçişte, kirlenme ve yağmur

ile topraktan sürüklenme sonucu ortama gelen nütrientler, ortamda ilkel yapılı canlının gelişmesine ve tür çeşitliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 2.12’de 12000 yıl önce oligotrofik bir yapıya sahip olan gölün zamanla sediment ve organik madde girdisiyle ötrofik ve kara durumuna geldiğ  görülmektedir.



Şekil 2.12. G llerin yaşılanması [9]

- 12000 yıl önce, geçirimsiz veya yarıgeçirgen bir tabaka g l yatağının sarmaktadır. G l yüksek oligotrofik durumdadır. Vejetasyon g l zeminini y ylmıştır.
- G l sediment girdisiyle  luşan çamurla yarı dolu durumdadır. Fakat gölde hala oligotrofik durum söz konusudur.
- Aşırı sediment girdisiyle g l sığlaşmaya başlamakta ve ötrofik veya hipertrofik durum hüküm sürmektedir.
- Son durumda kirlilik seviyesinin aşırı yükselmesi ve buna bağlı olarak sediment girdisindeki artış, g l haznesini doldurmuş ve yüksek yapılı bataklık bitkileri g l yüzeyini kaplayarak gölü kullanılamaz hale getirmiştir.

2.4. Su Kirliliği Kontrolünde İdari ve Yasal Yaklaşımlar

Daha önce de belirtildiği üzere, su kirliliği kontrolü genellikle noktasal kaynaklar için arıtma, yaygın kaynaklar için ise planlama, yönlendirme ve yasaklama gibi önlemler alınmasını zorunlu kılmaktadır. Tüm bu önlemler, bireyler tarafından belirli harcamaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Örneğin, bir atıksu arıtma tesisi kuracak olan bir endüstri, bu tesisin ilk yatırım ve işletme maliyetlerini üstlenme durumundadır. Hiç bir birey, çevreyi ne kadar severse sevsin, kendiliğinden bu tür harcamalar yapmak istemez. Bu nedenle, çevre kirliliğini önleme konusunda, yasal ve zorlayıcı düzenlemelere gitmek zorunluluğu ortaya çıkar.

Su kirliliğinin kontrolü ve önlenmesi amacıyla tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Ülkemizde çevrenin korunmasına yönelik temel ilke, *Anayasanın 56. maddesiyle* getirilmiştir. “Herkes sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların ödevidir.” ifadesiyle devlete, fertlere, kurum, kuruluş ve işletmelere bazı ödevler yüklenmiştir.

11 Ağustos 1983'te yürürlüğe giren 2872 sayılı *Çevre Kanunu* ise, çevre sorunlarının önlenmesi ve çözümüne ilişkin çerçeveyi çizmektedir.

Su kirliliğinin kontrolü ile ilgili ilk düzenleme, 22 Mart 1971'de 13799 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 1380 sayılı “*Su Ürünleri Kanunu*” dur. Kanunda su ürünleri üretimi ve üretim yerlerinin sınıflandırılmasına ait hükümler belirtilmiştir. Su Ürünleri Kanunu'na bağlı olarak her yıl sirkülerler yayımlanmaktadır. En son 09.03.1997 tarih ve 22928 sayılı Resmi Gazete'de Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nca yayımlanan “*Su Ürünleri Avcılığını düzenleyen 1997-1998 Av Dönemine ait 31/1 ve 31/2 Numaralı Sirküler*”in beşinci bölümünde su kirlenmesiyle ilgili hükümler yer almaktadır.

13 Mart 1984'te 18340 sayılı Resmi Gazete'de İstanbul Su Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünce “*Atık Suların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği*” yayımlanmıştır. Bu yönetmelik, atıksuların kanalizasyon şebekesine bağlanmalarına, vidanjör ve benzeri bir araç ile taşınarak kanalizasyon şebekesi bulunmayan yerlerde çevre kirlenmesine yol açmayacak bir düzeyde arıtılarak uzaklaştırılma ve korunmasına ilişkin esas, yöntem ve kısıtlamaları belirler.

10 Mart 1995'te 22223 sayılı Resmi Gazete'de Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nca “*Su Ürünleri Yönetmeliği*” yayımlanmıştır. Bu yönetmelik, su ürünleri stoklarını korumak ve su ürünleri kaynaklarından ekonomik olarak yararlanmak üzere; su ürünleri ruhsat teskereleri, sportif amaçlarla yapılacak avcılık, istihsal yerlerinin değiştirilmesi, avcılıkta patlayıcı ve zararlı maddelerin kullanılması, su ürünleri istihsal yerlerine dökülmesi yasak olan zararlı ve kirlletici maddeleri, istihsal vasıtalarının vasıf, şartları ve bunların kullanılması, su ürünleri avcılığının düzenlenmesi, trol avcılığı, arızı olarak istihsal edilen su ürünleri, su ürünleri sağlığı, su ürünlerinden yapılacak mamül ve yarı mamül maddelerin üretimi, su ürünlerinin pazarlanması ile ilgili usul, esas, yasak, sınırlama, yükümlülük, tedbir, kontrol ve denetimine ait hususları kapsar.

Ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin her türlü kullanım amacıyla korunmasını, en iyi şekilde kullanımının sağlanmasını ve su kirlenmesinin önlenmesini ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere, su kirliliğinin kontrolü esaslarının belirlenmesi için gerekli olan hukuki ve teknik esasları ortaya koymak amacıyla, 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun su kirliliği ile ilgili maddeleri uyarınca 4 Eylül 1988 tarih ve 19919 sayılı Resmi Gazete'de "*Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*" (S.K.K.Y.) yayımlanmıştır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, ülkemizde su kalitesi kontrolüne yönelik yasal ve teknik esasları içermekte, ana yönetmelik metni ve bu yönetmeliğe bağlı beş yönergeden oluşmaktadır. Bu yönetmeliğin başlıca üç ana ağırlık noktası; (i) su ortamına yönelik düzenlemeler, (ii) noktasal kaynaklardan alıcı ortamlara doğru atıksu deşarjları ve (iii) kent içi atıksu sistemleridir [2].

12 Mart 1989 tarihli 20106 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "*İdari Usuller Tebliği*"nin amacı; S.K.K.Y. 'nin ön gördüğü sorumluluk, izin alma esaslarıyla ilgili idari usul ve uygulamaları düzenlemektir. Yine aynı tarih ve sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "*Suda Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği*"nin amacı ise S.K.K.Y.'nin yüzeysel ve yeraltı sularının korunması açısından suda tehlikeli ve zararlı olarak kabul edilen maddelerle ilgili düzenlemelerin yapılmasıdır.

7 Ocak 1991 tarihli 20748 sayılı Resmi Gazete'de S.K.K.Y.'nin Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği" yayımlanmıştır. S.K.K.Y. uyarınca su ortamında kalitenin belirlenmesi, evsel ve endüstriyel atıksuların altyapı tesislerine boşaltımında ya da alıcı ortama deşarjda atıksulardan ve/veya su ortamlarında sürekli ya da aralıklı olarak su numunesinin alınması ve yönetmelikte denetimi istenen kalite parametrelerinin ölçülmesi istenmektedir. Bu tebliğin amacı bu numunelerde yapılacak analizler için sürekli ya da aralıklı numune alma esaslarını ve kullanılabilecek analiz metodlarını tanıtmaktır. Yine aynı tarih ve sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "*Teknik Usuller Tebliği*" atıksu arıtımı için uygulanabilir olduğu genelde kabul edilmiş yöntemleri; derin deniz deşarjındaki seyrelmelerin tespiti için gerekli bilgileri, arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında aranan sulama kriterlerini, sahil kum bandı üzerinde ya da yakınında inşa edilen fosseptiklerden kıyı sularının kirlenmesinin önlenmesi için gerekli teknik sınırlamaları ve düzenlemeleri kapsamaktadır.

S.K.K.Y.'de adı geçen "*Atıksu Altyapı Tesisleri Tebliği*" ve "*Atıksu Deşarjında İnilabilecek En Düşük Kirlilik Konsantrasyonları Tebliği*" ise henüz yayımlanmamıştır [14].

2.4.1. Kriterler ve Standartlar

Su kirliliğini önlemek için devlet tarafından yapılacak müdahalelerde ilk girişim, kirlilik standartlarının belirlenmesidir. Standartları belirlemede amaç, su ortamlarında (akarsu, göl, deniz, yeraltıları) çeşitli kirletici unsurların derişimleri için üst limitlerin saptanmasıdır.

Standartların belirlenmesinde değişik yaklaşımlar bulunmakla birlikte genellikle istatistik bazlı ortalama şeklinde veya değişim faktörlü standartların kullanılması tercih edilmektedir.

İstatistik bazlı standartlar

Bu standartlar tek bir değer ile amaçlanan ortalama kaliteyi ve bu ortalama kalite etrafındaki müsaade edilebilen dağılımı (değişkenliği) ifade eder. En sık kullanılan şekli yüzdeye dayanan standartlardır.

Ortalama şeklindeki standartlar

Bu tür standartlar, yüzde standartlara göre daha az sayıdaki örnek ile kontrol edilebilir. Ancak, bu standartlar ile değişim kontrol edilemez. Bu tip standartlar dağılım bilgilerinin önemli olmadığı hallerde yararlıdır.

Değişim faktörlü standartlar

Yüzdeye dayalı standartlarla aynı yapıdadır. Ancak bu tür standartların daha gerçekçi ve kolay uygulanabilir olmaları söz konusudur. Değişim faktörü değerleri aşağıdaki formülasyon yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\ln DF = 2.326 \sigma - 0.5 \sigma^2 \quad (\%99 \text{ Olasılık durumu için}) \quad (2.12)$$

Burada:

DF: Değişim faktörü

σ : Standart sapma'yı göstermektedir.

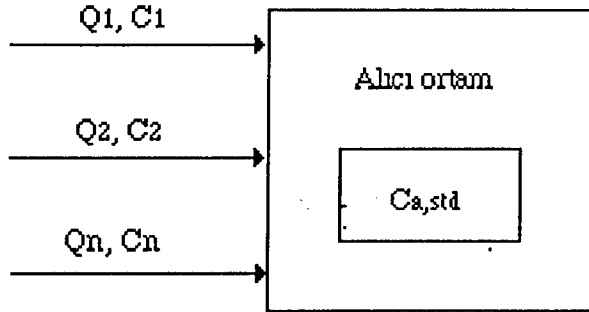
Su kirliliği kontrolünün etkin bir şekilde yürütülebilmesi için, öncelikle tüm suların kullanım amaçlarına göre sınıflandırılması ve bu sınıflandırmaya uygun düşebilecek şekilde kirlilik sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir.

Uygulamada genellikle, alıcı ortam standartları ve deşarj standartları olmak üzere iki tür standartla karşılaşılmaktadır.

2.4.1.1. Alıcı ortam standartları

Alıcı ortam standartları, kirletici deşarjları sonucunda doğal su ortamında oluşabilecek tolere edilebilir en yüksek kirletici madde derişimlerini belirler (Bkz. Şekil 2.13). Alıcı ortam standartlarının belirlenmesinde iki ana unsur önem taşır. Bunlardan birincisi, ekolojik açıdan alıcı su ortamlarının kirliliğe tahammül kapasitesidir. Bilindiği

gibi, alıcı su ortamlarının niteliklerine göre zaman zaman doğal arıtma ve seyreltme kapasiteleri vardır. Öte yandan alıcı ortam standartlarını belirleyici bir diğer unsur, bu ortamların yararlı kullanım potansiyelidir. Örneğin, belirli bir yöredeki tek içme suyu kaynağını oluşturan bir su ortamı, çok özel önlemlerle korunmalıdır. Bu tür bir su kaynağı için çok sıkı alıcı ortam standartları konulabilir. Görüldüğü gibi alıcı ortam standardının belirlenmesinde ekolojik unsurların yanı sıra ekonomik ölçütler de etkili olmaktadır. Ancak, su kirliliği kontrolü uygulamalarında alıcı ortam standartları yetersiz kalmaktadır. Bunun nedeni, alıcı ortam standartlarının, çeşitli koruma önlemlerinin alınması açısından bireylere yasal yaptırım getirme boyutuna sahip olmamalarıdır. Çok sayıda kirleticinin farklı nicelik ve nitelikteki sıvı ve katı atıklarını deşarj ettikleri alıcı ortamlarda, bu tür standartları sağlayabilmek için çeşitli kirleticilere uygulanacak yaptırımın ve gerçekleştirilmesi istenen arıtma düzeylerinin bulunması çok güçtür [2].

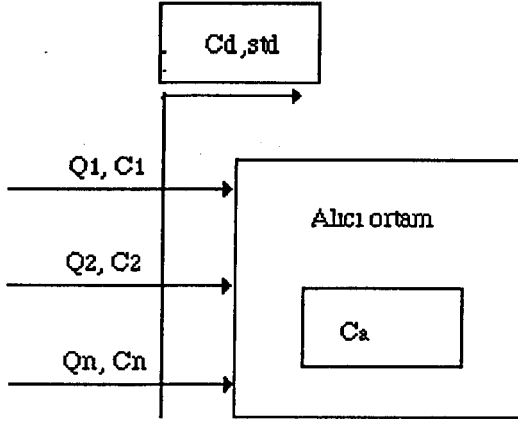


Q_1 , Q_2 ve Q_n sırasıyla 1, 2 ve n no'lu kaynağın debileri ve C_1 , C_2 ve C_n sırasıyla 1, 2 ve n no'lu kaynağın kirlilik derişimleridir. C_a, std ise alıcı ortam standardını göstermektedir [2].

Şekil 2.13. Alıcı ortam standartları

2.4.1.2. Deşarj standartları

Deşarj standartları, her türlü atıksu deşarjında bulunabilecek maksimum kirletici derişimlerini belirler (Bkz. Şekil 2.14). Böylece ilk bakışta alıcı ortam standartlarının uygulanmasında karşılaşılan güçlüklerin ortadan kalktığı görülür. Ancak, bu standartlarda alıcı su ortamının ekolojik açıdan tahammül kapasiteleri ile doğal arıtma ve seyreltme potansiyellerinin dikkate alınmaması nedeniyle, tekdüze bir yaptırım getirildiğinden, ekonomik verimlilik ölçütlerinin zaman zaman sağlanmaması durumuyla karşılaşılabilmektedir. Deşarj standartları genellikle, derişim bazında belirlenmektedir. Belirli bir alıcı ortamı etkileyen kirlilik potansiyeli ise kirlilik yüküdür.



Şekil 2.14. Deşarj standartları (C_d, std ; deşarj standardını göstermektedir) [2]

Alıcı ortam ve deşarj standartları için yukarıda yapılan kıyaslamaya göre, birbirlerini tamamlayan düzenlemeler olduğu anlaşılmaktadır. Alıcı ortam standartları, kaynak kullanımı ve planlama açısından önem taşımaktadır. Deşarj standartları ise, yasal açıdan uygulanabilirliği kolay ve yaptırım gücüne sahip su kirliliği kontrol araçlarıdır. Bu konuda ideal yaklaşım, deşarj standartlarının, alıcı ortam kirlilik asimilasyonunun kapasitelerine göre belirlendiği esnek çözümlerdir. Ancak, bu tür çözümler ise hukuk devletlerinde geçerli olan eşitlik ilkesine yasal açıdan ters düşebilmektedir. Böyle bir uygulamada farklı asimilasyon kapasitesine sahip iki ayrı alıcı ortama atıksu deşarj eden benzer kapasitede ve aynı tür üretim yapan aynı kapasitede iki ayrı sanayi kuruluşu için, farklı deşarj standartları geçerli olacaktır. Farklı deşarj standartları, farklı atıksu harcamaları anlamına gelmektedir. Bu durumda, kısıtlı deşarj standartlarına uyması istenen kuruluş, serbest rekabet ortamında ekonomik avantajının ve rekabet şansının azaldığı ve eşitlik ilkesinin zedelendiğini öne sürebilmektedir [2].

İki standart arasındaki ilişkiler her bölge için su veya hava kalitesi yönetimi prensipleri çerçevesinde incelenerek değerlendirilir. İki standart arasındaki bağıntının, standartların ifadesi açısından değerlendirilmesi önem taşır.

2.4.2. Göl sularına ait alıcı ortam standartları

Azot ve fosfor girdisi yüksek olan göller için Çevre Bakanlığı'nca yörenin ilgili kurum ve kuruluşlarını içine alacak şekilde koordine edilerek hazırlanan bir koruma programı geliştirilir. Su ürünleri üretiminin söz konusu olduğu kıta içi yüzeysel sularda, ayrıca, 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu ve buna bağlı yönetmelik hükümleri geçerlidir [15]. Göl, gölet ve baraj rezervuarlarının en önemli tehdit unsuru olan ötrofikasyon olaylarının kontrolü için getirilen sınır değerler Çizelge 2.10'da verilmiştir

Çizelge 2.10. Göller, Göletler, Bataklık ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri [15]

İstenen özellikler	Kullanım alanı	
	Doğal koruma alanı ve rekreasyon	Çeşitli kullanımlar için (doğal olarak tuzlu, acı ve sodalı göller dahil)
pH	6.5-8.5	6-10.5
KOI (mg/l)	3	8
ÇO (mg/l)	7.5	5
AKM (mg/l)	5	15
Toplam koliform sayısı (EMS)/100 ml	1000	1000
Toplam azot (mg/l)	0.1	1
Toplam fosfor (mg/l)	0.005	0.1

3. UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

Ülkelerin ekonomik gelişmesinin temeli, doğal kaynakların etkin bir şekilde değerlendirilmesine bağlıdır. Gelişmiş ülkeler kaynaklarını verimli bir şekilde kullanırken gelişmekte olan ülkeler genellikle doğal kaynaklarının nitelik ve niceliklerine ilişkin yeterli bilgilerden henüz yoksundurlar. Özellikle, az gelişmiş ülkelerde doğal kaynakların yeterli bir şekilde haritalanmamış olması nedeniyle, toprak ve su kaynaklarının konumları, işlenen toprakların dağılımı, orman ve maden rezerv miktarları hakkında tam ve kesin bilgilere ulaşılamamaktadır. Ülkelerin gelişme düzeyi arttıkça kendi öz kaynakları hakkında detaylı bilgileri kapsayan yeni teknolojik girdilere gereksinim duyulmaktadır. “Uzaktan Algılama” adı verilen yöntemle havadan ve uzaydan elde edilen görüntülerin yorumlanması sonucu hızlı bilgi üretimi sağlanabilmektedir. Bu yöntem, ülke doğal kaynaklarının kolay, çabuk ve ekonomik olarak tespit edilmesine imkan tanıyarak ülke kalkınmasını hızlandırmakta ve böylece sosyal refahın artmasına da katkıda bulunmaktadır [16].

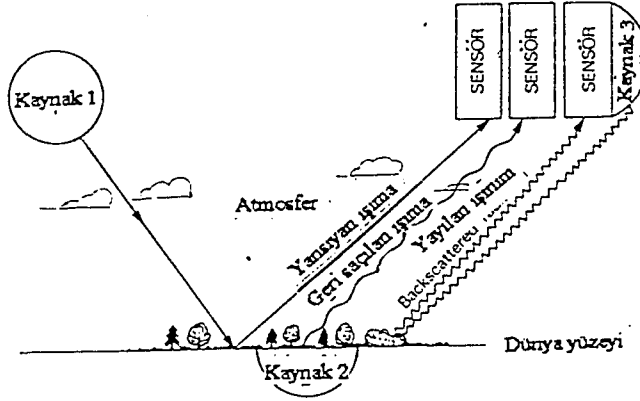
Bir cisme direkt temas etmeksizin, o cismin spektral yansıtım özelliklerinden yararlanarak fiziksel özellikleri hakkında bilgi elde etme bilimi şeklinde tanımlanan Uzaktan Algılama, başta doğal kaynakların etüd ve envanteri olmak üzere, hemen hemen uygulamalı tüm bilim dallarında ve çeşitli mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Uydular aracılığıyla hızlı bir şekilde sağlanan ve doğruluğu yüksek olan veriler geleneksel ölçme yöntemlerine kıyasla daha az maliyetli, detaylı ve/veya genel kapsamlı bir araştırma olanağı sunmaktadır.

Özellikle arazi kullanım haritasının oluşturulması, jeoloji, hidroloji, ormancılık uygulamaları, tarım çalışmaları ve haritacılıktaki uygulamalar ve çevre kalitesinin izlenmesi (hava, su ve toprak kalitesinin ve katı atık ve tehlikeli atık depolama sahalarının izlenmesi) en önemli kullanım alanlarını oluşturmaktadır.

Aslında, Uzaktan Algılamanın sanıldığı kadar yeni bir yöntem olmadığı söylenebilir. Zira, tarih kitapları, 2000 yıl kadar önce, demir madenlerinin yerlerini bulmak amacıyla kış aylarının son günlerinde yüksek tepelere çıkarak karların ilk önce eridiği yerlerin gözlemlendiğini yazmaktadır. İnsanlar tarafından geliştirilen algılayıcılar ise, 20. yüzyılın başlarında kullanılmaya başlayan fotoğraf kameralarıdır. Son zamanlarda hava fotoğraflarının sınırlı olanakları ile yetinilmeyip daha geniş alanları çok çabuk ve ayrıntılı biçimde algılayan algılama gereç ve teknolojisi geliştirilmiştir. Yeni spektrometreler ve uydulara yerleştirilen çok bantlı algılayıcılar, elektromanyetik spektrumda insan gözünün göremediği dalga boylarındaki ışınlarla çeşitli objelerin özelliklerinin incelenmesine olanak sağlamıştır [17].

3.1. Uzaktan Algılama Sistemleri

Uzaktan Algılama sistemleri; enerji kaynağı, atmosferik etkiler, yeryüzü objeleri, algılayıcılar ve platformlar olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Uzaktan Algılama sistemleri [17]

Güneşten gelen enerjinin hedefe kadar ve hedeften çıkan enerjinin algılayıcıya kadar olan uzaklığı kat edilen yol olarak tanımlanır.

Elektromagnetik enerjinin *atmosfer* dışında değişikliğe uğramadığı bilinmektedir. Enerji, *atmosfere* girdiğinde su buharı ve küçük taneciklerin etkisiyle soğrulmakta ve dağılmaya uğramaktadır.

Elektromagnetik enerjinin hedefe (*yeryüzü objesine*) ulaştığı ve hedeften ayrıldığı zaman aralığında oluşan fiziksel özellikler o cismin ayırt edilebilmesindeki en önemli özellikleri oluşturur. Gelen enerji, cismin renk, pürüzlülük, parlaklık ve atom yapısı gibi özelliklerine bağlı olarak yansır, soğrulur veya cismin içerisinde iletilir. Sonuçta, cismin o dalga boyundaki spektral özelliği oluşur.

Uzaktan Algılama sistemi üzerinde bulunan *algılayıcının* birbirine çok yakın spektral özelliğe sahip verileri ayırt edebilme özelliğine “ayırılma gücü” adı verilir. Uzaktan Algılama yönteminde dört çeşit ayırılma tekniği kullanılmaktadır (Bkz. Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Uzaktan Algılama Yönteminde Kullanılan Ayırtlama Teknikleri [17]

Ayırtlama tekniği	Tanım
1. Spektral ayırtlama	Algılayıcının elektromagnetik spektrum içindeki duyarlı olduğu dalga aralığının genişliği olarak bilinir.
2. Görsel ayırtlama	Belirli bir uzaklıktan cismi en küçük özelliğine kadar görebilme ve tanıyabilme olarak tanımlanır.
3. Değişimsel ayırtlama	Aynı yer verisinin birbiri ardına ne kadar sık aralıklı elde edilebildiğinin ölçümüdür.
4. Radiometrik ayırtlama	Algılayıcının özelliğine bağlı olarak algılanan verinin sayısal tanımlanmasıdır.

3.1.1. Enerji kaynağı (elektromagnetik spektrum)

Dünyamız için en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi elektromagnetik dalgalar halinde sabit hız ile yeryüzüne ulaşmaktadır. Uzaktan Algılama elektromagnetik enerjinin cisimlerle etkileşmesi esasına dayandığı için, elektromagnetik spektrumun temel özelliklerinin bilinmesi gerekir.

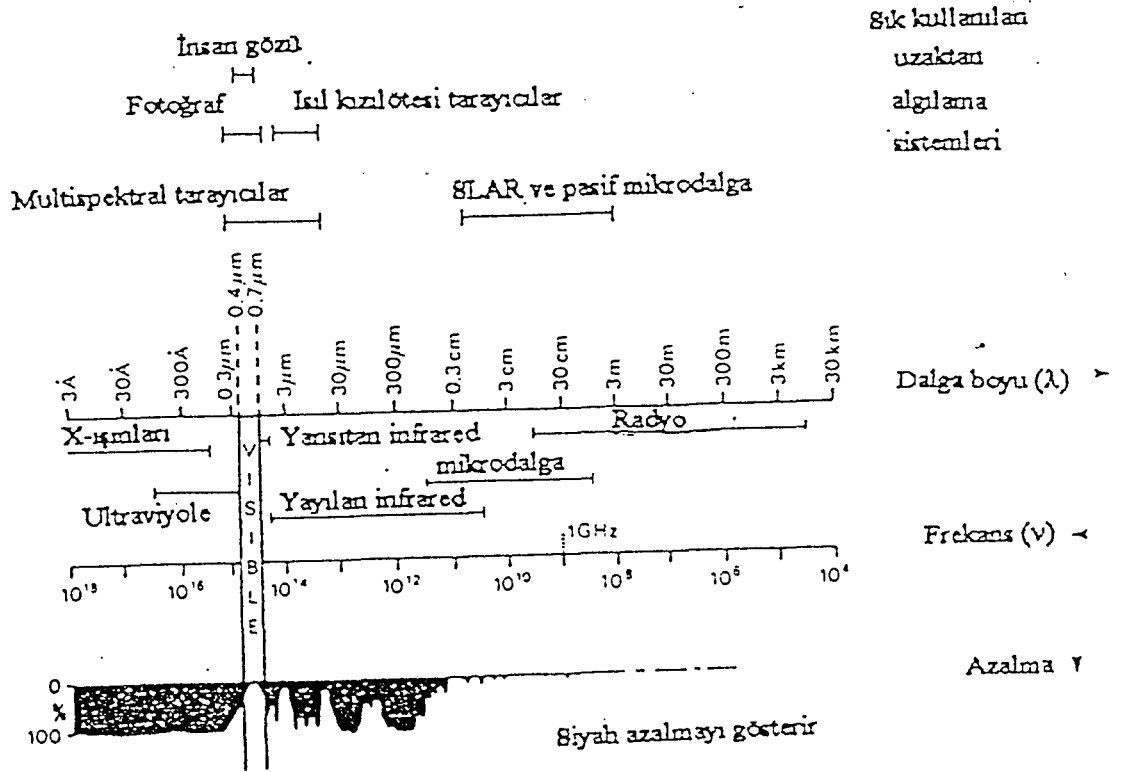
Elektromagnetik ışınlar, atmosfer, su ve diğer ortamlardan değişik ortamlara geçebildikleri gibi uzay boşluğundan da geçebilen tek enerji türüdür. Bu nedenle, Uzaktan Algılama tekniği, esas olarak elektromagnetik dalgalarla uygulanabilmektedir. Çizelge 3.2’de elektromagnetik ışın türleri ve dalga boyları, Şekil 3.2’de ise Uzaktan Algılamanın en çok ilgilendiği elektromagnetik ışın dalga boyları verilmiştir.

Bütün elektromagnetik dalgalar, elektromagnetik spektrumun hangi bölgesinde olursa olsun daima ışık hızı ile hareket eder. Milimetre dalga boylu elektromagnetik ışıma, mikrodalga ve kızılötesi tekniğiyle üretilebilmektedir [18].

Günlük yaşantımızda, elektromagnetik spektrumun değişik bölgelerinden kaynaklanan ışınlarla karşılaşırız. Yukarıda belirtildiği gibi, güneş ışınları elektromagnetik ışımaların temel kaynağıdır. Benzer şekilde, radyo ve televizyon dalgaları da elektromagnetik ışıma verilebilen enerji kaynaklarıdır. Radar sistemlerinde oluşturulan mikrodalgalar, telefon ile kulağımıza kadar ulaşır. Elektromagnetik ışımalar, ışık veren lambalardan, otomobillerin ısınmış motorlarından, X ışını düzeneklerinden ve toprak altındaki radyoaktif elementlerden kaynaklanır. Ayrıca, içinde yaşadığımız galaksinin yıldızlarından ve diğer cisimlerden bize elektromagnetik ışımalar ulaşır [19].

Çizelge 3.2. Elektromagnetik Işın Türleri ve Dalga Boyları

Işın Türü	Dalga Boyu (μ m)
Görünür	0.38-0.72
Yakın kızılötesi	0.72-1.30
Orta kızılötesi	1.30-3.00
Uzak kızılötesi	7.00-15.00



Şekil 3.2. Uzaktan Algılamada kullanılan başlıca elektromagnetik ışın dalga boyları [18]

3.1.2. Atmosferik Etkiler

Verilerin, uçak veya uzay aracı gibi algılayıcı platformlardan elde edilmesini gerektiren Uzaktan Algılama uygulamalarında, algılayıcı ve hedef arasındaki atmosfer ve ışınım kaynağı, verilerin özelliklerini ve kalitesini etkilemektedir. Atmosferin, enerjiyi saçılıma uğratarak ve soğurarak, Uzaktan Algılama verilerini etkilediği bilinmektedir [20].

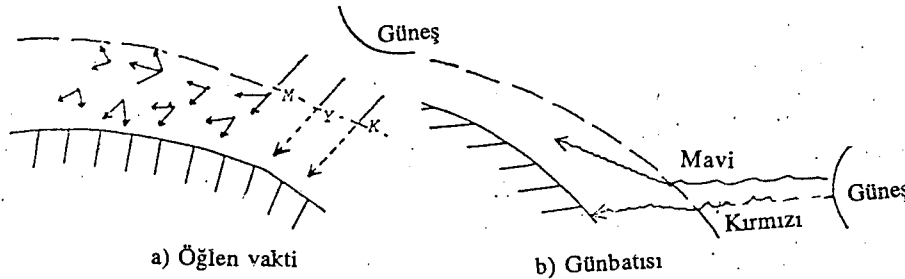
3.1.2.1. Saçılım

Atmosferi oluşturan gaz molekülleri, toz tanecikleri ve su damlacıkları, gelen ışığı yansıtarak veya kırarak saçılıma uğramasına neden olur. İster güneşten gelsin (aşağıya akan), ister yer yüzeyinden yansısın (yukarıya akan), saçılan ışınımın zayıflamayıp yeniden yöneldiği bilinmektedir. Işığın yeniden yönelmesi, genellikle dalga boyuna bağlı olarak gelişmektedir. Saçılmayan ışınım ise, genellikle dalga boylarına da bağımlı olarak, atmosfer tarafından soğrulur ve atmosfer, soğrulan bu ışınım tarafından ısıtılır.

Soğurmanın olmadığı durumlarda ise yalnızca saçılma olur. Burada enerji kaybı yoktur, sadece enerjinin yeniden yönelmesi söz konusudur. Uzaktan Algılama açısından saçılım, enerjinin bir bölümünün, algılayıcının görüş alanı dışına yönelmesidir. Görüş alanı çok geniş ise, saçılan ışınımın bir kısmı algılayıcıya ulaşarak, algılayıcıda değerlendirilecek, ancak görüş alanı dar ise, saçılan ışın algılayıcıya ulaşamayacaktır [20].

Saçılım teorik olarak, saçılan ışınımın dalga boyu ile saçılmaya neden olan taneciklerin büyüklüğü arasındaki bağıntıya bağlı olarak Rayleigh saçılımı, Mie saçılımı ve Seçici olmayan (nonselective) saçılım olmak üzere, üç farklı kategoriye ayrılabilir.

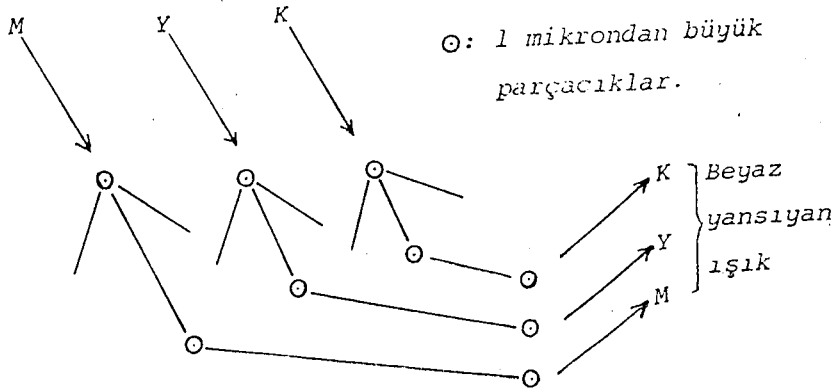
Rayleigh saçılımı, ışının dalga boyunun, ışığı saçılıma uğratan taneciklerden çok daha büyük olması halinde oluşur. Rayleigh saçılımı, gerçekte siyah olan gökyüzünün mavi görünmesine neden olur. Daha kısa olan mavi dalga boylarındaki ışınım, yere doğru kırmızı dalga boylarındaki ışınımdan çok daha güçlü olarak saçılır. Güneşin batışındaki kırmızılığın nedeni de Rayleigh saçılımıdır. Güneş, ufka yaklaştığında ve ışınları atmosferde daha uzun yol katettiğinde, daha kısa dalga boylu ışınım saçılır ve kırmızı ve turuncu gibi daha uzun dalga boyundaki ışınım bize kadar ulaşır. Bu durum, Şekil 3.3'de şematik olarak gösterilmiştir. Spektrumun mavi bölgesindeki verilerin yararlılığı, Rayleigh saçılımı nedeni ile oldukça kısıtlıdır [16]. Hava fotoğrafları söz konusu olduğunda, atmosferde mevcut pus nedeni ile saçılan mavi ışınımı filtrelemek için özel filtreler kullanılır.



Şekil 3.3. Rayleigh Saçılımı [16]

İkinci tür saçılım mekanizması ise atmosferin alt tabakalarında (0-4500 m) oluşan Mie saçılımıdır. Bu saçılım, ışınım dalga boyunun, tanecik boyutları ile (su buharı, aerosol, toz ve duman) karşılaştırılabilir büyüklükte olması halinde oluşur. Uzaktan Algılamada Mie saçılımı, genellikle çok puslu atmosferik koşullardaki optik spektrum boyunca, çok spektrumlu görüntülerde genel bir kalite düşüklüğü şeklinde kendini gösterir.

Üçüncü saçılım mekanizması ise, seçici olmayan saçılımdır. Bu saçılım taneciğin, ışınım dalga boyundan çok daha büyük olması halinde gerçekleşir. Görünen ışığın dalga boylarından çok daha büyük boyutlu atmosfer parçacıklarının, her dalga boyundaki enerjiyi seçmeden dağıtması olayına “Seçici olmayan saçılma”denir. Bu özellik, bulutların ve bulanık suların beyaz görünmesinin nedenini de açıklamaktadır. Atmosferin toz yükünün fazla olması sonucu oluşan Seçici olmayan saçılım, spektral görüntülerin önemli ölçüde zayıflamasına neden olur [16] (Bkz Sekil 3.4).

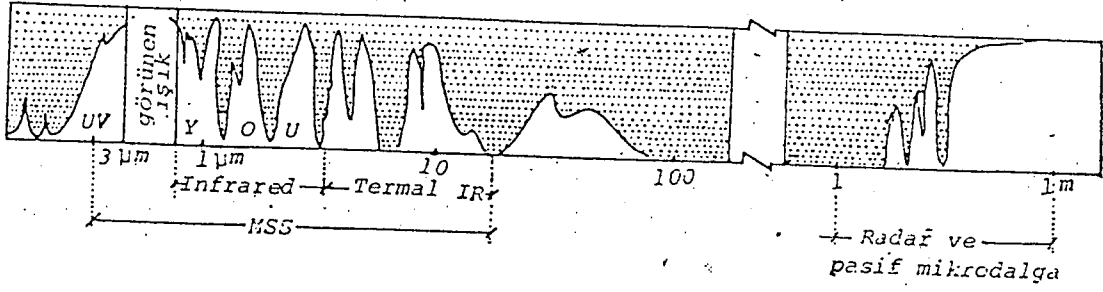


Şekil 3.4. Seçici olmayan ışık dağılması [16]

3.1.2.2. Soğrulma (Yutulma)

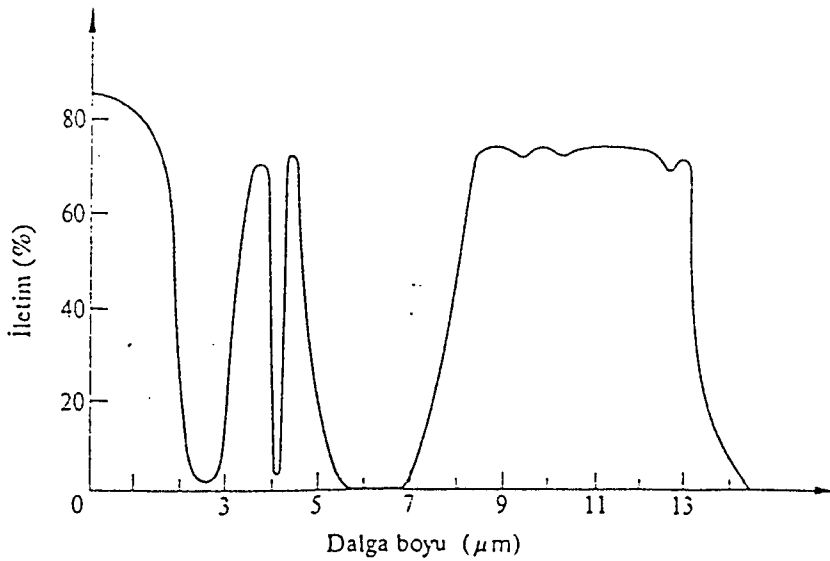
Soğrulma, çok atomlu moleküllerin ve moleküle bağlı elektronların titreşim ve dönme hareketlerine bağlı olarak değişik enerji seviyelerine geçmesiyle oluşmaktadır.

Özellikle ultraviyole ve infrared ötesinde gerçekleşen soğrulma olayı, görünür ışık bölgesinde zayıflamaktadır. Elektromagnetik spektrum içerisinde soğrulmanın hiç olmadığı veya çok az meydana geldiği kısımlar “Atmosferik Pencere” olarak adlandırılır. Belli başlı atmosferik pencereler, görünür ışık, yakın, orta, uzak infrared, termal infrared, mikrodalga ve radar bölgeleridir (Bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Atmosferik pencereler [16]

Şekil 3.5’de görülen tepe noktaları, ışınının atmosferden az etkilenecek geçtiği spektrum bölgelerini göstermektedir. Atmosferdeki su buharı nedeni ile, yaklaşık 1.4 μm ve 1.9 μm dalga boylarında dar fakat güçlü soğurma bantları vardır. Doğal materyallerdeki su, bu dalga boyu bantlarında, benzer şekilde düşük yansıtımların (yani soğurmalar) oluşmasına neden olur. Atmosferik molekül (Rayleigh) saçılım ve ozon tabakası soğurması, 0.3 μm ’nin altındaki dalga boylarında ışınımı önemli ölçüde zayıflatır. Bu da 0.3-1.3, 1.5-1.8 ve 2.0-2.6 μm spektral bölgelerinde atmosferik pencereler tanımına götürür. Bu bilgiler, Şekil 3.6’da verilenlerle birleştirildiğinde, Çizelge 3.3’de görülen pencereler listesi hazırlanabilir.



Şekil 3.6. 2000 metre uzunluğunda bir atmosferik yoldan geçen ışınım yüzdesi [18]

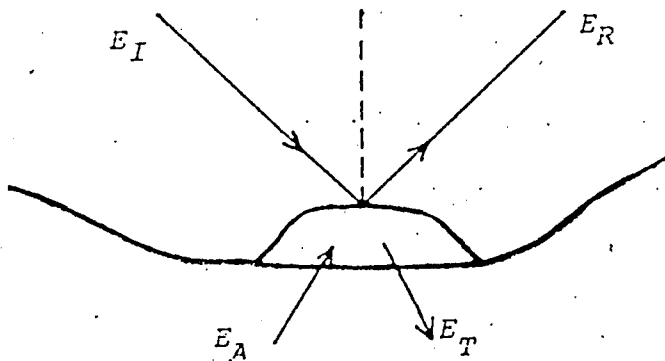
Çizelge 3.3. Atmosferik Pencere [18]

Atmosferik pencere	Spektral Bölge (μ m)
1	0.3-1.3
2	1.5-1.8
2	2.0-2.6
4	3.0-3.6
5	4.2-5.0
6	7.0-15.0

Yansıtıcı ve yayıcı etkiler, 1, 2, 3 ve 6 pencerelerindeki spektral bölgelerde daha belirgin bir şekilde ayrılabilirdi için, Uzaktan Algılama veri elde etme sistemlerinin spektral bantları, genellikle, 1, 2, 3 ve 6 pencerelerinden seçilir.

3.1.3. Yeryüzü objelerinin özellikleri

Atmosferden geçen güneş enerjisi yeryüzü hedeflerine kadar ulaşmakta ve bunların fiziksel özelliklerine bağlı olarak, soğrulmakta, saçılma uğramakta ve kendi yapısı içinde iletilerek ısı olarak yayılmaktadır (radiation). Bu mekanizma, Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiş, soğrulma, yansıma, iletim ve ısı yayılma tanımları ise Çizelge 3.4’de toplu halde verilmiştir. Yeryüzü materyalleri güneş enerjisinin bir kısmını geri yansıtmakta ve bu yansımanın miktarı gelen enerji dalga boyu ile materyallerin özelliklerine bağlı olmaktadır.



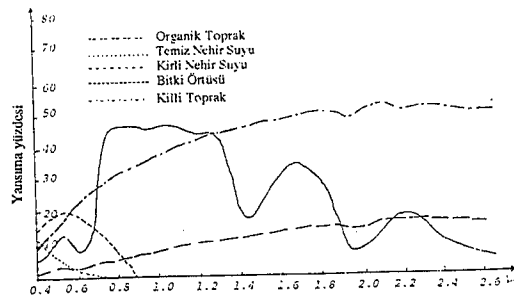
Şekil 3.7. Cisim üzerine düşen enerjinin soğrulma, yansıma ve geçirilme durumu [18]

Çizelge 3.4. Cisim Üzerine Düşen Enerjinin Soğurulma, Yansıma, Geçirilme ve Isıl Yayılması İle İlgili Tanımlar [16]

Soğurulma	$\alpha = \frac{\text{Soğurulan enerji miktarı (EA)}}{\text{gelen enerji miktarı (EI)}}$
Yansıma	$P = \frac{\text{Yansıyan enerji miktarı (ER)}}{\text{gelen enerji miktarı (EI)}}$
İletilme	$T = \frac{\text{İletilen enerji miktarı (ET)}}{\text{gelen enerji miktarı (EI)}}$
Isıl yayılma	$\varepsilon = \frac{\text{Yayınan enerji miktarı}}{\text{yayılan kara cisim enerji miktarı}}$
Burada gelen enerji 1 birim kabul edilirse, $\alpha + P + T = 1$ olur (Kirchoff yasası).	

Yansıma, yüzeyin parlaklık (veya pürüzlülük) derecesine göre değişmektedir. Yeryüzündeki cisimler genellikle yarı parlak yüzeyler olarak kabul edilmektedir. Kısa dalga boylu ışınım, çok pürüzlü bir yüzeyden yansındıkları için yüzeyin koyu renkte görünmesine neden olurken, kayalık bir yüzey, uzun dalga boylarına sahip radyo dalgaları ile tarandığında, parlak bir yüzey gibi algılanmaktadır.

Yeryüzü, spektral yansımalarındaki farklılıklar itibariyle, genel olarak, bitki örtüsü, kaya-toprak ve su yüzeyleri olmak üzere üç grupta değerlendirilmektedir. Bu örtü tiplerine ait spektral yansıtım özellikleri Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Yeryüzündeki temel örtü tiplerinin spektral yansıtım [18]

Şekilden de anlaşıldığı gibi örnek olarak verilen objelerin spektrumun görünür ışık bölgesinde (0.4-0.6 µm), ışığı yansıtma karakteristikleri birbirine çok yakındır. Bitki örtüsü, yakın infrared bölgesinde (0.7-1.4 µm) gelen enerjiyi geri yansıttığı için, su yüzeyleri ile toprak örtüsünden kolaylıkla ayırt edilmektedir. Bu özellik, objelerin tanınım

ayırt edilebilmeleri için görünür ışık bölgesi yanında infrared bölgesinin de göz önünde tutulması gerekliliğinin ve aynı zamanda neden çok kanallı algılayıcılara gerek duyulduğunun açık bir kanıtıdır [18].

3.1.3.1. Bitki örtüsü

Şekil 3.7'den de görüleceği üzere bitki örtüsündeki yansıma $0.4\ \mu\text{m}$ 'de düşük, $0.5\ \mu\text{m}$ 'de maksimum, $0.6\ \mu\text{m}$ 'da ise minimum olmaktadır. Yapraklardaki klorofilin sarı ve mavi ışığı soğurduğu, yeşil rengi ise yansıttığı bilinmektedir. Bu yüzden, bitkiler genellikle yeşil, Sonbaharda ise yapraklarda görülen klorofil kaybı nedeniyle sarı, turuncu vb. renklerde görünürler.

Yansıtma miktarı, bitkinin klorofil miktarına, su içeriğine yaprak kalınlığına ve hücre dokusuna bağlı olarak değişim gösterdiğinden, bitkinin bu özelliklere bağlı olarak ayırte edilmesi mümkün olmaktadır. Bir çok bitki hastalığı hücre dokusunu değiştirdiğinden, yansıma özelliğinde de farklılıklar görülmekte ve bu yolla sağlıklı ve hastalıklı bitkiler kolaylıkla ayırte edilebilmektedir [16].

3.1.3.2. Kaya-Toprak

Toprak rengi, toprağın dokusuna (pürüzlü veya düz oluşuna), içerdiği su miktarına, demir oksit (pas rengi) ve organik madde (gübre gibi) varlığına bağlı olarak değişim göstermektedir [16].

Kaba ve kuru zeminlerde, su miktarı az olduğundan yansıtma fazla olmakta, bu yüzden de obje, açık renkte görünmektedir. Bu konuyla ilgili daha ayrıntılı bilgi Bölüm 3.4.3'te verilmiştir.

3.1.3.3. Su yüzeyleri

Yeryüzünün 2/3'ünden fazlasını göl, deniz ve akarsular kaplamaktadır. Su yüzeylerinden olan yansıma karakteristikleri ile sadece su yüzeyleri değil, suyun belirli derinliklerdeki özellikleri hakkında da bilgi sağlanabilmektedir. Suyun klorofil içeriği, askıdaki organik ve inorganik parçacıkların miktarı ile suyun derinliği güneş ışınlarının yansımaları etkilemektedir.

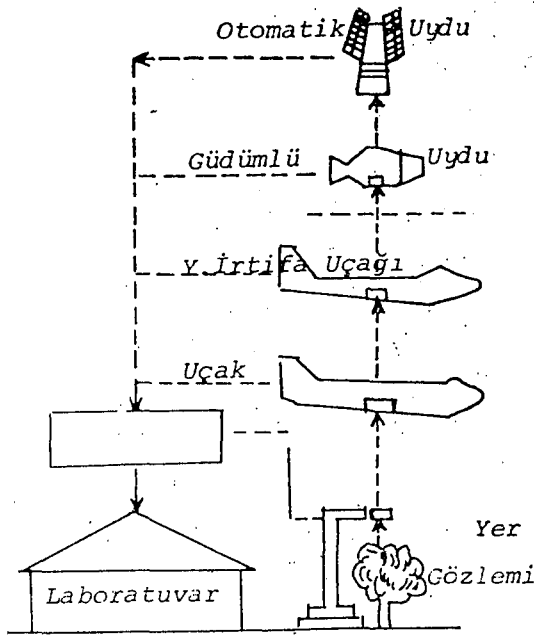
Su yüzeyine gelen güneş ışınlarının bir kısmı geri yansır, ancak, radyasyonun önemli bir kısmı ise su içerisinde iletilir. Suyun derinliklerine kadar nüfuzeden, bu radyasyon, sudaki parçacıklar tarafından soğrulur (yutulur) veya dağıtılır. Işığın tabana kadar ulaşmadığı derin sularda, ışık geçirgenliği sadece askıda madde gibi suya bulanıklık veren maddelerden etkilenir.

Temiz su, 0.6 μm dalga boylu enerjiyi soğurur, kirli su ise yansır. Özellikle kaçak kanalizasyonların varlığı, denizlerdeki petrol kirlenmesi vb. hususlar Uzaktan Algılama yöntemi ile bu şekilde saptanabilir [21], [22].

Kuru kar örtüsünün, görünür ışık bölgesinde enerjinin %90 kadarını yansıttığı, sulu karda ise yansımanın %25'e kadar düştüğü ifade edilmektedir [18].

3.1.4. Algılayıcılar ve Platformlar

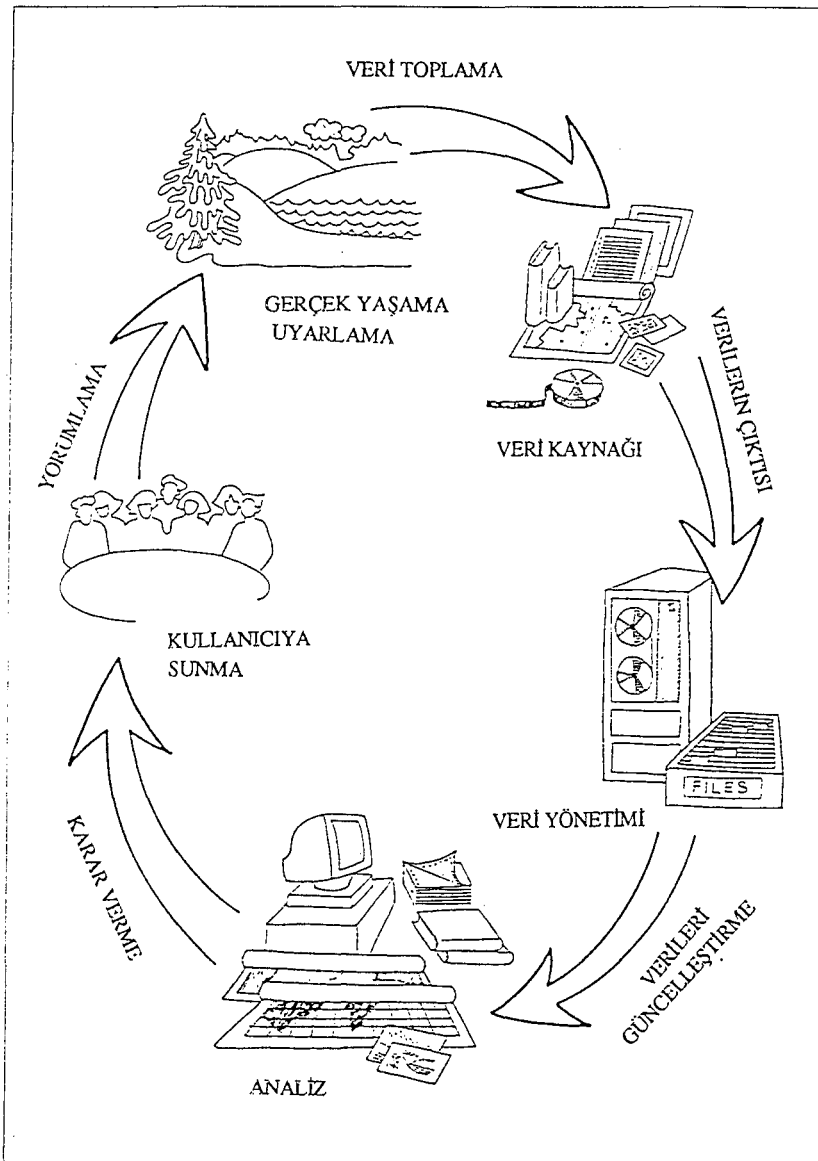
Uzaktan Algılama teknikleri çeşitli tipteki gözlem platformlarından uygulanabilmekte, içerisinde algılayıcı taşıyan platformlar, sabit veya hareketli, yer yüzeyinde veya havada ve uzayda da olabilmektedir (Bkz. Şekil 3.9) [16].



Şekil 3.9. Uzaktan Algılama platformları [16], [18]

3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Özellikleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) coğrafi verilerin belirli bir amaç için toplanması, depolanması, güncelleştirilmesi, analiz edilmesi ve görüntü şeklindeki bilgilere dönüştürülmesi işlemlerinin bilgisayar yardımı ile gerçekleştirilmesini sağlayan sistemlerdir (Bkz Şekil 3.10). Ayrıca, CBS sistemleri, bölgesel analiz ve görsel verilerin sentezini yapmaya yarayan teleskop, mikroskop, bilgisayar, Xerox makinasından oluşan bir sistem olarak da tanımlanmaktadır [23]. CBS'nin en belirgin ve bilinen özellikleri Çizelge 3.5'te özetlenmiştir.



Şekil 3.10. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin işleyiş mekanizması

Çizelge 3.5. CBS'nin Başlıca Özellikleri [24]

No	Özellikler
1	Veriler üzerinde her türlü sorgulama yapılmasına olanak sağlayan CBS'nin kullanılması ile, elde edilen verilerin coğrafi yerlerine oturtulması sağlanmakta ve çalışmanın hızı ve doğruluk derecesi arttırılmaktadır.
2	CBS, belli bir konum ve biçimi olan nesnelere ait grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analiz ve gösterime yönelik donanım, yazılım ve işlem bileşenlerini bütünlük olarak içeren bilgi sistemleridir. Bu özelliklerinden dolayı CBS , tüm dünyada çok geniş kullanım alanlarına sahiptir.
3	CBS teknolojisi; geniş kapsamlı coğrafi veri tabanlarının birbiriyle entegrasyonunu, coğrafi verinin kullanıcılar arasında paylaşılmasını sağlar. Bilimsel ve diğer uygulamaların gelişmesi için ortam hazırlayarak coğrafi bilgilerin güncelleştirilmesini kolaylaştırır ve veride mümkün olduğunca standartlaşmaya gidilmesini sağlar.
4	CBS sistemleri “neredeyim ?”, “neyin yanımdayım ?”, “belli özelliğe sahip yerler nerelerdedir ?”, “bir yerde yapılan işlemin sonucu ve etkisi ne olur ?” ve “belli bir amaç için en iyi yer neresi olur ?” gibi sorulara cevap verme özelliğine sahiptir.

CBS teknolojilerinin en yaygın kullanım alanları çevre, şehir ve bölge planlama, ölçme-haritalama ve veri dönüşümü, yenilenebilir kaynak yönetimi, alt yapı yönetimi, emlak bilgi yönetimi, kamu sağlığı, mühendislik, maden tarama-çıkartma, petrol arama, ekonomik kalkınma, eğitim yönetimi, tesis yönetimi, basın ve medyadır [24].

3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde aranan özellikler

İdeal bir Coğrafi Bilgi Sistemin kullanımı kolay olmalı, çok değişik mekansal veri (mali, topoğrafik, hidrografik) türleri ile büyük hacimli verileri kullanabilmeli, verinin değişik yönlerini ayırt edebilmeli, diğer benzer sistemler ile konuşabilmeli, analitik kullanım araçlarını içermeli ve hızlı analiz yapabilmelidir [20].

3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin üstünlükleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri, görsel işlem ve sorgulama amacıyla kullanılabildiği gibi, birebir, hiyerarşik ve karışık eşleme için de kullanılabilmektedir [24].

a. Görsel işlem ve sorgulama

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin sahip olduğu görsel işlem ve görsel sorgulama sistemleri coğrafi noktalara bağlı sorgulama yapabilmekte ve böylece, her bir noktanın koordinatları belli olduğu için aralarındaki mesafe sayısal olarak verilebilmektedir .

b. Birebir eşleme

Aynı bir coğrafi bölgenin farklı özelliklerini gösteren verilerinin bulunması durumunda CBS'nin birebir eşleme özelliğinden yararlanılarak veriler biraraya getirilip tablolar oluşturulabilmektedir.

c. Hiyerarşik eşleme

Bir coğrafi bölgenin birden fazla parçalara ayrılarak çalışılması durumunda, CBS tekniklerinin kullanılması ile bu bölgelerin ortak bir tabloda toplanması mümkün olmaktadır.

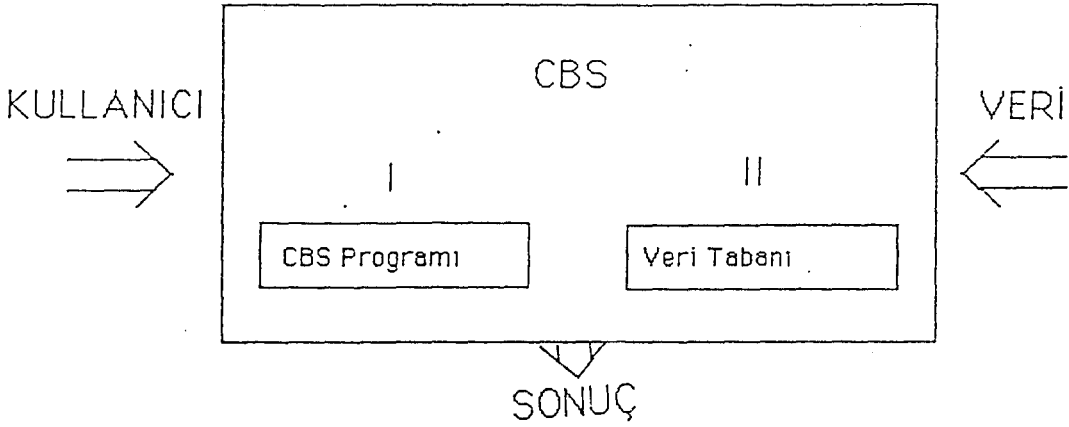
d. Karışık Eşleme

Aynı bir bölgeye ait farklı amaçlar dahilinde kullanılan haritaların bulunması durumunda, CBS sayesinde bu haritalar biraraya getirilerek o bölge için birden fazla soruya yanıt veren haritalar oluşturulabilmektedir.

3.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin parçaları

Coğrafi Bilgi Sistemleri, çizimlerin yapıldığı CBS programlarını ve öznitelik bilgilerinin bulunduğu veri tabanı programını içermektedir (Bkz. Şekil 3.11). CBS programlarında çizilen şekiller CBS'nin grafiksel kısmını, veri tabanı programı ise bu şekillerin öznitelik bilgilerini içeren grafik olmayan kısmını oluşturmaktadır.

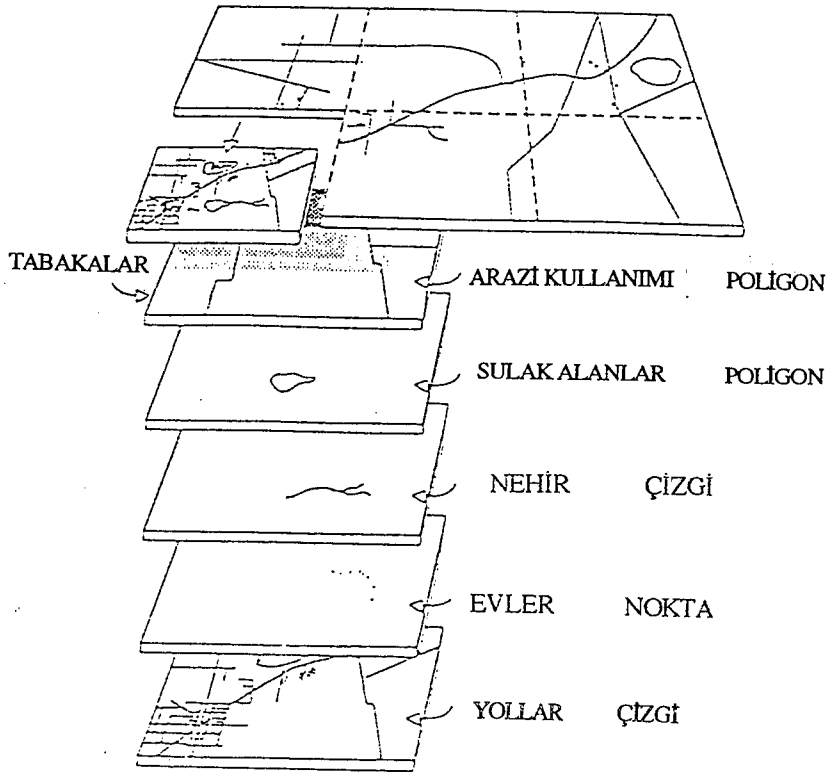
Coğrafi verilerin işlenmesi, konuma dayalı ve konuma dayalı olmayan işlemler olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir [20].



Şekil 3.11. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin parçaları [20]

3.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin elemanları

Her bir konum (x,y) ve ölçüm verileri (z) CBS sistemlerinde CBS'nin elemanları olan (i) nokta, (ii) çizgi, (iii) poligon ve (iv) yüzey olarak belirlenmektedir. CBS sistemlerinde Şekil 3.12'de görüldüğü gibi yerleşim alanları ve sulak alanlar poligon, yollar ve nehirler çizgi, binalar ise nokta şeklinde gösterilmektedir.

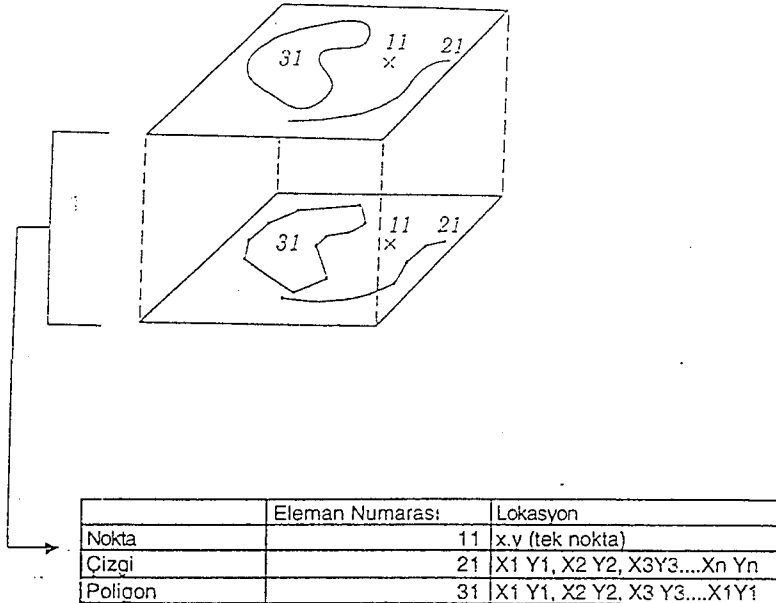


Şekil 3.12. CBS sistemlerinin elemanları [20]

3.2.5. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan format çeşitleri

a. Kartezyen Koordinatlı Formatlar

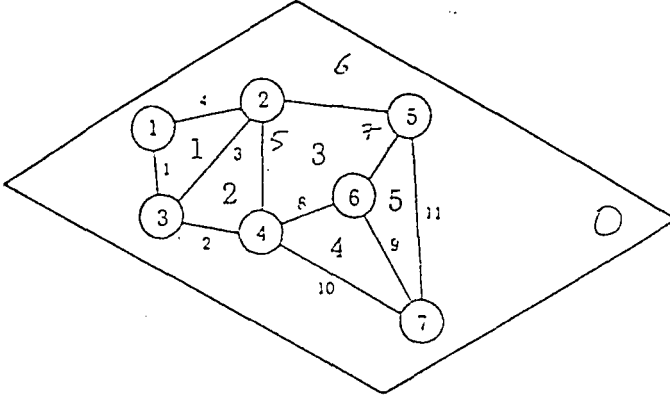
Bilgisayarlara yüklenen orjinal harita üzerindeki şekiller numaralandırıldıktan sonra, herbir şekli oluşturan noktalar (node) (x,y) koordinatları belli olmak koşuluyla bilgisayarda kartezyen koordinatlarında depolanabilmektedir (Bkz. Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kartezyen koordinatlarının kullanılması durumunda nokta, çizgi ve poligon şeklindeki özelliklerin bilgisayarda gösterimi [20]

b. Topolojik format

Son yıllarda CBS çalışmalarında en çok kullanılan format şekli olup, en önemli üstünlüğü, elemanlar arasında ilişkiyi sağlamasıdır. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi topolojik formatta hangi poligonun hangi çizgi ile bağlandığını ve hangi poligonla komşu olduğunu görmek mümkündür [20].



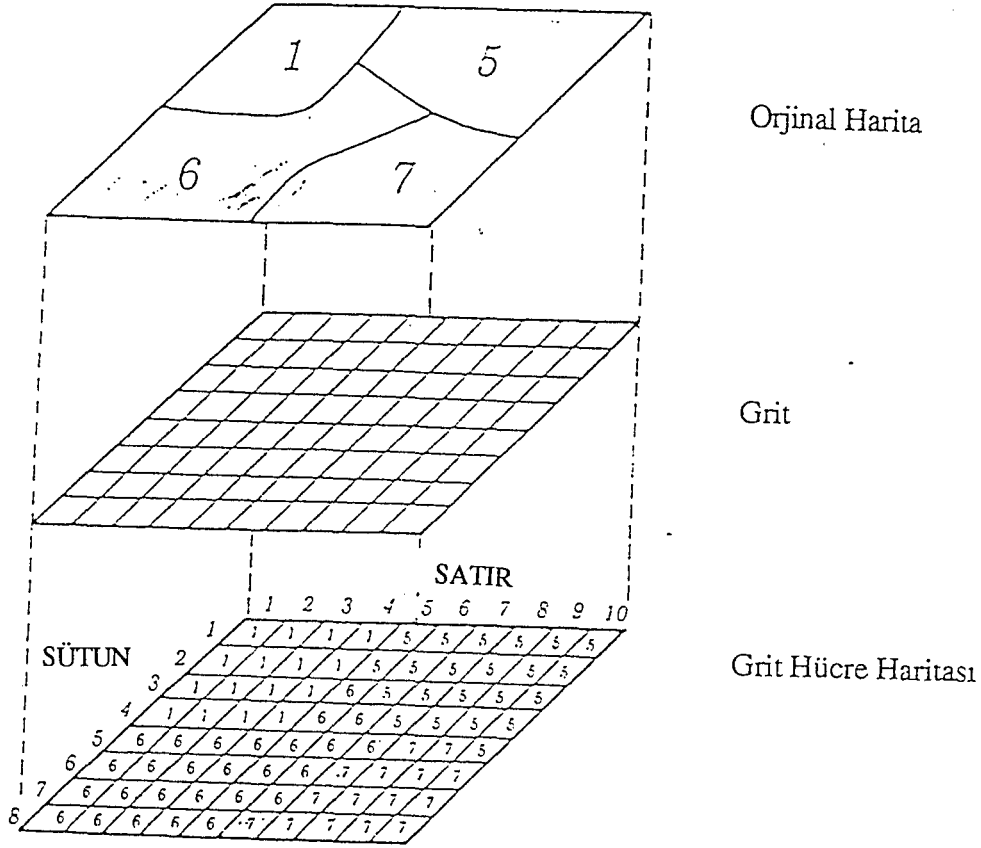
Hat	Sağ poligon	Sol poligon	Node 1	Node 2
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5
7	3	3	5	6
8	4	3	6	4
9	5	4	7	6
10	4	0	7	4
11	5	0	5	7

Node	X koordinat	Y koordinat
1	23	8
2	17	17
3	29	15
4	26	21
5	8	26
6	22	30
7	24	38

Şekil 3.14. Topolojik formatın kullanılmasıyla oluşan poligon ve nokta ilişkileri [20]

c. Raster format

Bilgisayarda fazla yer tutan ancak daha fazla çizimin yapılabilirdiği formattır. Şekil 3.15'te bir CBS dosyasında raster formatın temel yapısı gösterilmektedir [20].



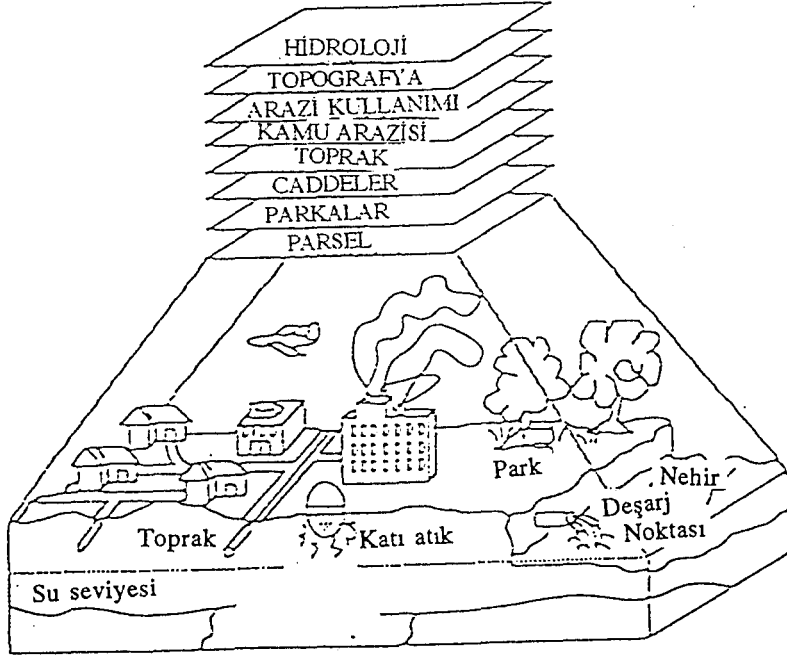
Satır	Sütun	Diğer
1	1	1
1	2	1
1	3	1
1	4	1
1	5	5
1	6	5

Şekil 3.15. CBS dosyasında raster formatın temel yapısına bir örnek [20]

3.3. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Genel Kullanım Alanları

3.3.1. Arazi kullanım haritasının oluşturulması

Arazi kullanım haritaları, insanoğlunun herhangi bir araziye en uygun şekilde kullanabilmesi için yapacağı planlama ve idari işleme yardımcı olacak haritalar olarak tanımlanmaktadır. Uzaktan Algılama yöntemlerini kullanarak yerleşim yeri ve arazi kullanım haritalarını hazırlamak için yerleşim yerini oluşturan beton, kum, toprak, bitki, ağaç, asfalt, su v.b. maddelerin spektral yansıtım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. CBS yöntemi ile arazi kullanım haritasının hazırlanmasına yönelik olarak aynı bölgeye ait farklı haritaların üst üste atılmasının şematik gösterimi Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. CBS yöntemi ile arazi kullanım haritasının hazırlanmasına yönelik olarak aynı bölgeye ait farklı haritaların üst üste atılmasının şematik gösterimi [23]

3.3.2. Jeolojik uygulamalar

Uçaktan çekilen fotoğraf veya uydu görüntüleriyle, yeryüzünün çizgisellik ve fay haritaları ile jeolojik haritalar hazırlanabilmekte, petrol ve doğal gaz yataklarının yerleri tespit edilmekte ve buzul hareketleri ve volkanik olaylar incelenebilmektedir.

Ülkemizde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar arasında, Tuz Gölü'nde kirliliğinin ve tuz oluşumunun araştırılması, Landsat görüntüleri kullanarak Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde petrol bölgelerinin belirlenmesi çalışmaları sayılabilir [16].

3.3.3. Hidrolojik uygulamalar

Uzaktan Algılama ve CBS teknikleri yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının bulunması, baraj göllerinde su seviyelerinin kontrolü, kar ve buzul haritalarının oluşturulması çalışmalarında kullanılmaktadır.

Ülkemizde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar arasında, Urfa Ceylanpınar Devlet Üretme Çiftliği'nde arazideki yeraltı su verimliliğinin araştırılması, iyi kalitede yeraltı suyu bulunduran derelerin saptanması, sahillerde veya kapalı bölgelerde tatlı-tuzlu su giriş sınırları ile sel bölgelerinin saptanması konusundaki çalışmaları söylemek mümkündür [16], [5].

3.3.4. Ormancılık uygulamaları

Uzaktan Algılama ve CBS verileri orman envanterlerinin çıkartılmasında, orman hacim hesaplamalarında, ormanların sınıflandırılmasında, orman yangınlarının kontrolü ve zararın tespitiyle hastalıklı bitkilerin yerlerinin belirlenmesi çalışmaların da başarıyla kullanılmaktadır [16], [5].

Ülkemizde, 1978 Marmaris orman yangınının, yangında hasar gören ormanlık alanların miktarlarının ve yangından bir yıl sonra oluşan yeni vejetasyonun izlenmesinde Landsat-1 uydu verilerinden yararlanılarak oldukça sağlıklı yorum yapılabildiğini söylemek mümkündür [5].

3.3.5. Tarım çalışmalarındaki uygulamalar

Toprakların sınıflandırılmasında, toprağın içerdiği organik ve inorganik maddelerin belirlenmesinde, bitkilerin sınıflandırılmasında, ürün rekoltesi tahminlerinde, bitkilerde hastalık ve böceklerden ileri gelen tahribatın belirlenmesinde Uzaktan Algılama ve CBS yöntemlerinden yararlanılmaktadır [5].

Ülkemizde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar arasında, Landsat Uydu verileriyle Çukurova Bölgesi'nde Pamuk ekim alanlarının saptanması ve ürün rekoltesinin belirlenmesi çalışmaları yer almaktadır [25].

3.4. Çevre Kalitesinin İzlenmesinde Uzaktan Algılama Sistemlerinin Kullanılması

3.4.1. Katı atık ve tehlikeli atık depolama sahalarının Uzaktan Algılama metodu ile izlenmesi

Katı atık ve tehlikeli atık depolama sahalarının incelenmesi, çevresel jeolojinin uygulama alanları arasında yer almaktadır. Atık sahalarında, mevcut jeolojik durum ve atıkların etkisiyle değişime uğrayan jeolojik yapının zamana bağlı değişimi incelenmektedir.

Killi, siltli, karbonatlı ve sülfatlı yapılar demir oksit ve hidroksitler (hematite, timonite ve geothite) multi spektral veriler ile rahatlıkla saptanabilmektedirler. Örneğin, toprağa siyanür ve krom gibi kirleticilerin karışması durumunda, çoğu kez renk değişimi ile de gözlenebilen etkileşim ve değişimler görülmektedir. Bu değişimler, Uzaktan Algılama verileriyle kolaylıkla gözlenebilmekte ve zamana bağlı olarak da izlenebilmektedir.

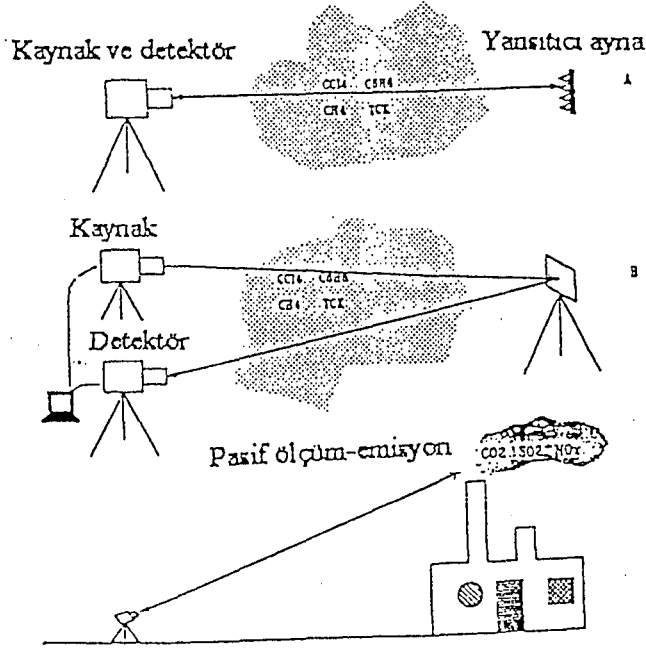
Özellikle katı atık deponi sahalarında yoğun miktarda CH₄ ve CO₂, az miktarda da olsa yüzden fazla türde metan dışı organik bileşikler (etan, toluen, benzen vb.) açığa çıkmakta ve atmosfere dağılmaktadır. Bu gazların kimyasal bileşimleri arasındaki farklardan yararlanarak kirleticilerin izlenmesi söz konusu olmaktadır (örneğin metan, termal infrared bant bölgesinde 3-5 µm dalga boyunda belirgin bir spektrum vermektedir). Uzaktan Algılama verileri, ayrıca atık depolama sahalarının civarındaki bitkilerde görülen hasarın izlenmesinde ve haritalanmasında da kullanılmaktadır [20], [26], [27].

3.4.2. Hava kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması

Hava kirliliğinin izlenmesinde çevre faktörleriyle ilişkileri çok iyi bilinen canlı materyallerin kullanılması oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir. Doğrudan gözlem yöntemlerinde canlıların morfolojik yapılarında hava kirliliğine bağlı olarak gelişen değişimler, kaydedilerek değerlendirilmektedir. Örneğin flor kirliliğinin görüldüğü bölgelerdeki tek çenekli bitkilerin yapraklarının önce uç kısmı kırmızımsı kahverengine dönüşerek nekrotik bir görünüm almaktadır [28].

Haritalama, hava kirliliğinin belirlenip izlenmesinde kullanılan bir yöntemdir ve Likenler kullanıldığında oldukça güvenilir bir sonuç vermektedir. Likenler hava kirliliğinden diğer canlılara göre daha erken etkilendiği için yerleşim alanlarında hava kirliliğinin yoğunlaştığı bölgelerde duyarlı türlerin yayılış alanı daralmaya başlamakta veya tamamen ortadan kalkmaktadır. Uzaktan Algılama yönteminde kullanılan spektral algılayıcılar sayesinde türlerin azaldığı bölgeler tespit edilmek suretiyle kirlilik haritaları oluşturulmaktadır [28].

Hava kirletici bileşenlerin algılanmasında, genellikle ultraviyole ve orta infrared bölgeler arasında ışık enerjisi kullanan optik Uzaktan Algılama sistemleri (Bkz. Şekil 3.17) kullanılmaktadır. Uzaktan ölçüm tekniklerinin uygulanışı sırasında, örnekle herhangi bir şekilde yakın temas söz konusu olmadığından, örnek alımı sırasında meydana gelebilecek hataların en aza indirgenmesinin mümkün olduğu da bilinmektedir.



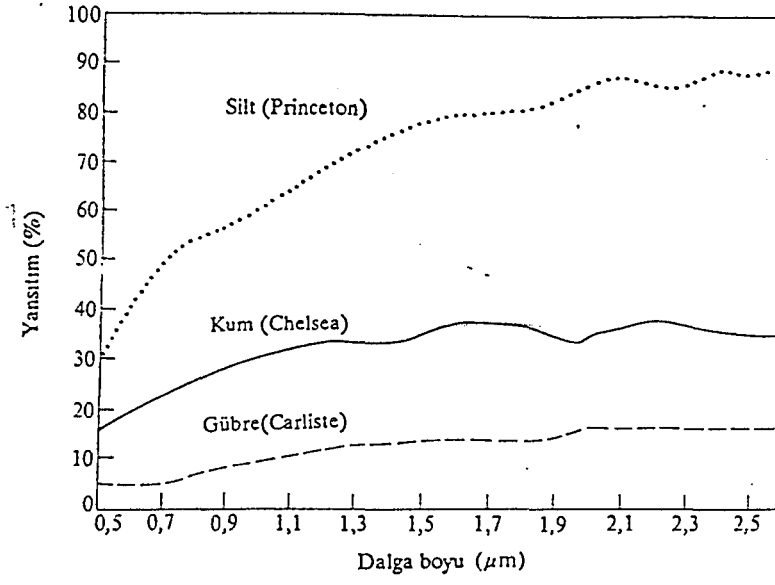
Şekil 3.17. Optik Uzaktan Algılama ölçüm sistemlerinin şematik gösterimi Simonds et. al. [28].

3.4.3. Toprak kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması

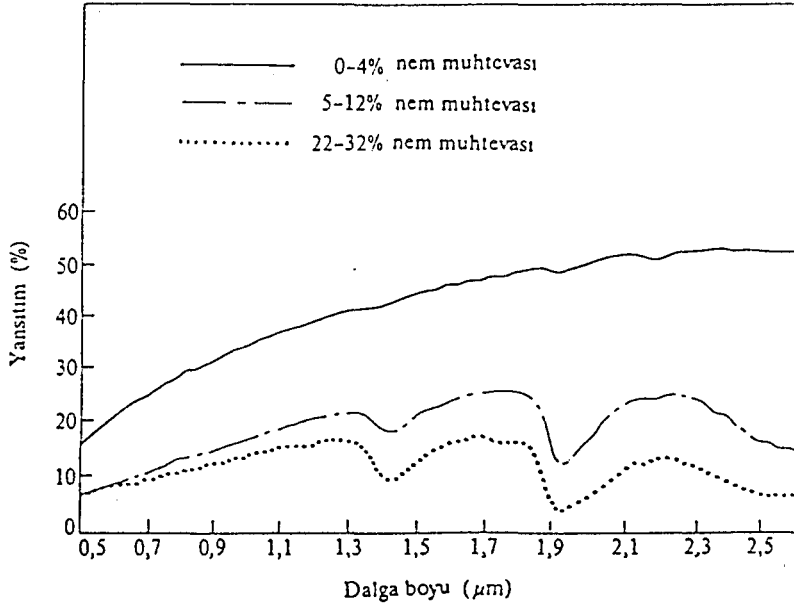
Toprağın nem, organik madde, demir oksit, bağıl kil, silt ve kum yüzdesi ve toprak yüzeyinin pürüzlülük karakteristikleri toprağın spektral yansıtımına önemli ölçüde etki eder (Şekil 3.18-21) [18], [26], [27], [5].

Toprağın içerdiği gübre ve tarım ilaçları, kimyasal madde ve pestisit miktarları, söz konusu bu maddelerin sahip olduğu spektral yansıtım değerlerinin farklı olmasından dolayı kolaylıkla belirlenebilmekte ve laboratuvarda yapılan analizlerle de doğrulanabilmektedir.

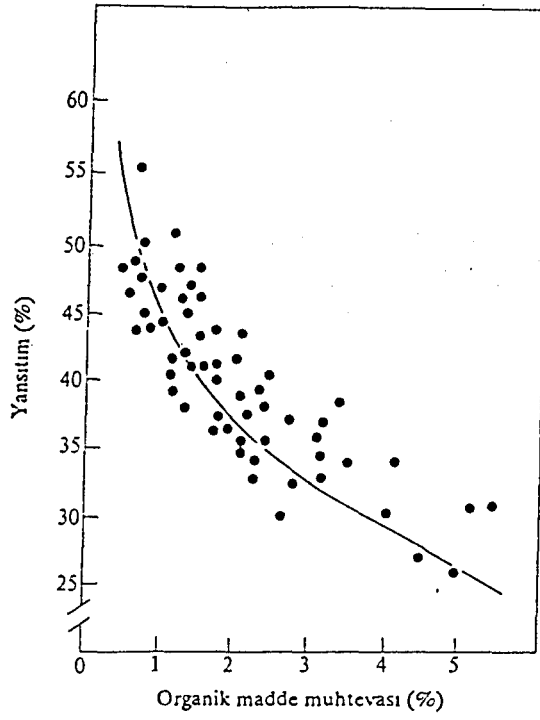
Kirlenmemiş toprağın spektral yansıtım özelliği bilindiği için, kirletici bileşenlere maruz kalan toprağın hangi tür kirleticiye maruz kaldığı ve maruziyet derecesinin saptanması mümkün olmaktadır [26], [27].



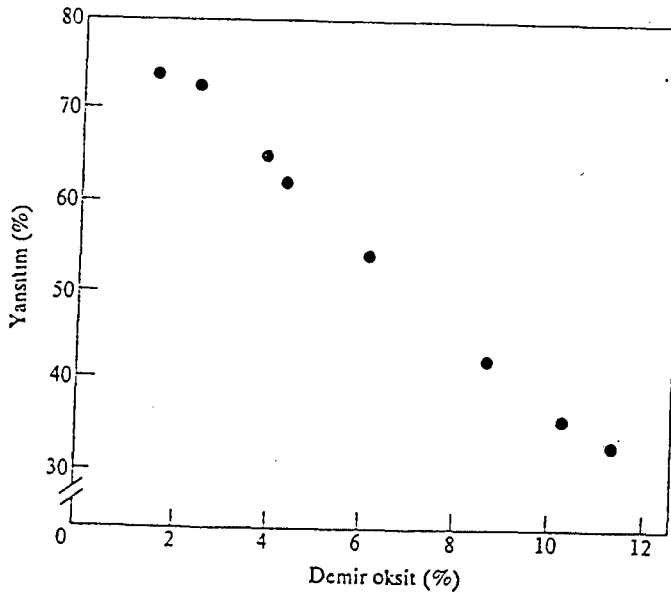
Şekil 3.18. Tanecik büyüklüğü farklı üç toprak tipi için spektral yansıtım eğrileri [18], [5]



Şekil 3.19. Üç farklı nem içeriğindeki, Chelsea kumunun spektral yansıtım eğrileri [18], [5]



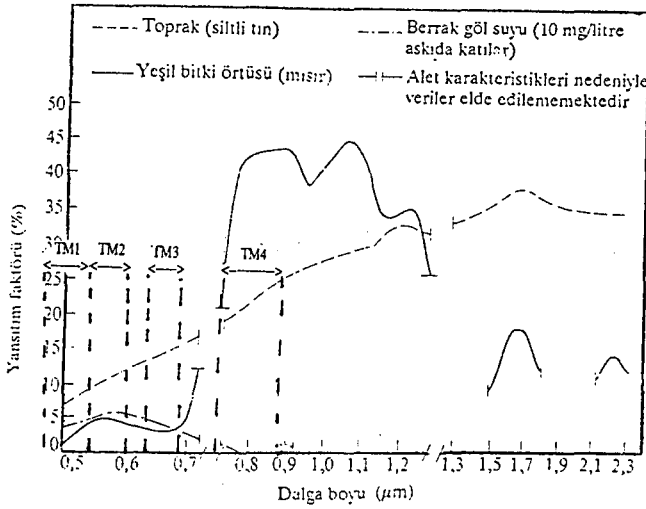
Şekil 3.20. Topraktaki organik madde içeriği ile yansıtım arasındaki bağıntı [18], [5]



Şekil 3.21. Topraktaki demir oksit yüzdeleri ile toprağın yansıtım özelliği arasındaki bağıntı (0.50-0.64 μm dalga boyu aralığında) [18], [5]

3.4.4. Su kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanılması

Yeryüzeyi özelliklerinin (bitki örtüsünün, suyun, toprağın, v.d.) spektral karakteristiklerinin bilinmesi Uzaktan Algılama verilerinin analizi ve yorumlanmasında çok önemli bir temel oluşturmaktadır. Bilindiği gibi doğal bir su ortamında, su çok sıkı bile olsa, su kitleleri yakın ve orta kızılötesi dalga boylarında gelen enerjinin hemen hemen tümünü soğurmaktadır. Şekil 3.22'den de görüleceği üzere, su kitleleri, spektrumun yansıtıcı kızılötesi bölgesi boyunca, bitki örtüsü ve topraktan daha düşük bir yansıtım özelliği göstermekte, kızılötesi yansıtımdaki bu tür belirgin farklar, su kalitesinin kolayca tanımlanmasını ve haritalanmasını sağlamaktadır.



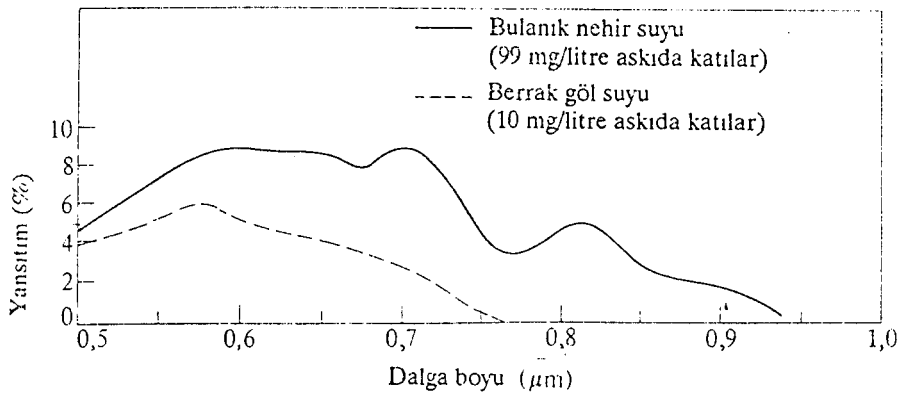
Şekil 3.22. Yeşil bitki örtüsü, toprak ve berrak suyun spektral yansıtım karakteristikleri [18]

Uzaktan Algılama yöntemi, su kalitesine ait kantitatif bilgi üretilmesinde ve sucul ekosistemlerin trofik durumunu karakterize etmek üzere sayısal veri oluşturulmasında başarıyla kullanılmaktadır [29], [30], [31]. Kirlilik parametrelerinin neden olduğu bulanıklık, sucul ekosistemlerin spektral duyarlılığını etkileyen ana faktörler olup, bu parametre ile hava (veya uydu) fotoğraflarından sağlanan spektral veriler arasında iyi bir korelasyon bulunduğu bilinmektedir [21], [32], [33].

Suda çözünmemiş halde bulunan katı maddelerin partikül boyutları kendilerini çevreleyen su moleküllerinden çok daha büyük ve yoğunluğu suyunkinden farklıdır. Askıda katı maddelerin artışı suyun ışık geçirgenliğini azaltmakta ve bunun sonucunda bu maddelere çarpıp yansıyan ışığın şiddetini arttırmaktadır [34], [35], [36], [37].

Diğer taraftan, Liebig Minimum yasasına göre yüzeysel sularda birincil üretimi sınırlayan ve kullanılmış sularda oldukça fazla miktarda bulunabilen azot ve fosfor birincil üretimi hızlandırmakta ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Bilindiği gibi su kütlesinin ötrofikasyonu suda renklenmeye neden olmakta ve suyun ışık geçirgenliğinin azalmasına yol açmaktadır.

Maksimum yansıtımı, berrak suyunkine oranla daha uzun bir dalga boyuna sahip olan bulanık su, berrak suya kıyasla daha yüksek yansıtım değerine sahiptir (Bkz. Şekil 3.23). Askıda katı madde derişimi 100 mg/lt olan su kütlelerinde su derinliğinin en az 30cm olduğu yerlerde, su yüzeyinde ölçülen yansıtımın suyun bizzat kendisi ile ilgili olduğu ve dip karakteristiklerinin bir fonksiyonu olmadığı bilinmektedir [36], [38].



Şekil 3.23. Bulanık ve berrak suyun 0.5-1.0 µm dalga boyu aralığında spektral yansıtım karakteristikleri [36]

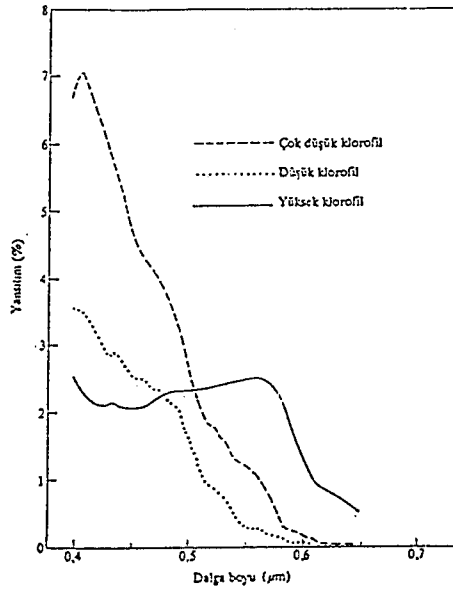
Berrak bir suda ışığın penetrasyon derinliği Landsat TM ve MSS bantlarındaki dalga boyu aralıklarına bağlı olarak Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6.Dalga Boyu Aralığına Bağlı Olarak TM ve MSS Bantlarında Berrak Su İçin Işığın Penetrasyon Derinliği [20], [18]

TM		MSS		Penetrasyon derinliği (m)
TM Bant değeri	Dalga boyu aralığı (μm)	TM'e karşı gelen MSS bant değeri	Dalga boyu aralığı (μm)	
1	0.45-0.52			20
2	0.52-0.60	1	0.5-0.6	10
3	0.63-0.69	2	0.6-0.7	3
4	0.76-0.90	3	0.7-0.8	1
5	1.55-1.75	4	0.8-1.1	0.1
6	2.08-2.65			
7	10.4-12.5			

Not: Eğer Landsat verileri daha küçük dalga boylarında elde edilebilseydi, daha derin sularla ilgili derinlik bilgileri elde edilebilirdi.

Suyun klorofil konsantrasyonu da spektral duyarlılığı etkileyen ana faktörlerdendir Maktav and Kaptaşlı [39], [40], [41], [42], [43], [44]. Su ortamında birincil üretimi sınırlayan besi maddesi olan azot ve fosforun, klorofil miktarını arttırdığı ve ötrofikasyona neden olduğu bilinmektedir. Sudaki klorofil miktarı arttıkça, mavi dalga boylarında yansıyan bağıl enerji miktarında önemli bir azalma, yeşil dalga boylarında ise bir artış olmaktadır (Bkz. Şekil 3.24). Klorofil konsantrasyonu ve spektral duyarlılık arasındaki bu bağıntı, klorofil düzeyi ve buna bağlı olarak, su kitlelerindeki birincil üretkenlik ve oksijen azlığının bir göstergesidir.



Şekil 3.24. Farklı klorofil konsantrasyonlarına sahip okyanus suyunun spektral yansıtımı [18]

Uzaktan Algılama ile su kitlelerinin tespit edilmesi ve sınırlanması çalışmalarında yakın kızılötesi dalga boylarında Landsat Uyduunda TM4 bandı kullanılmaktadır [45], [46], [47],.. [48], [49]. Diğer taraftan suyun kalitesini karakterize eden parametreler (klorofil içeriği, bulanıklık, askıda katı madde içeriği) ise görünür dalga boylarında TM1, TM2 ve TM3 bantları kullanılarak saptanmaktadır. Su kalite parametrelerinin değerlendirilmesinde penetrasyon derinliği düşük olan TM5 ve TM7 kullanılmamaktadır [50], [51], [52], [53]. Fakat Kurar and Natarajan [29] tarafından yapılan su kalite parametrelerinin tespit edilmesinde TM5 ve TM7' den de yararlanıldığı bilinmektedir .

İçme ve kullanma suyu temini, taşkınların önlenmesi ve enerji üretimi gibi çok çeşitli amaçlara yönelik olarak kurulan baraj göllerinde su kalitesinin sürekli monitorlanması ve zamana bağlı değişiminin izlenmesi, stratejik bir önem taşımaktadır. Zira baraj gölleri, su havzasında görülmesi muhtemel erozyon ve endüstriyel tesislerin atık sularını barajı besleyen nehirlerle deşarj etmeleri nedeniyle, çok çeşitli kirletici bileşen ve sediment yüküne maruz kalabilmekte ve sonuçta ekonomik ömürleri ve hizmet verme süreleri kısalmaktadır.

Bu konu ile ilgili olarak ülkemizde, uydu verileri kullanılarak İstanbul'un içme ve kullanma suyu gereksiniminin büyük bir bölümünü karşılayan Ömerli Barajı'nda su kalitesi belirleme çalışmaları ve Kıta İçi Su Kaynakları Kriterleri'ne göre Baraj Rezervuarında kirlilik sınıflandırılması yapılmıştır [29]. Ayrıca, Keban Barajı etüd ve projelendirme çalışmalarında, bölgenin ağaçlandırılması, jeolojik yapısı, arazi şekli, halihazır arazi kullanımı ve erozyon cins ve şiddetinin belirlenmesi amacıyla Landsat-4 MSS verileri kullanılarak benzer türde çalışmalar yapılmıştır [5].

3.5. Çevre Kalitesinin İzlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması

CBS, belirli bir bölgenin değişik ölçek ve projeksiyonlarında haritalanmasını sağlayan, harita şekillerinin birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlayabilme gücüne sahip bir analiz aracıdır. CBS sadece haritaları depolayan bir sistem olmayıp depolanan verilerin istenen amaçla tekrar oluşturulması ve amaca göre tekrar düzenlenip yeniden haritalanmasını sağlayabilmektedir [23].

CBS sistemlerinin elemanları (nokta, çizgi, poligon) kullanılarak değişik amaçlar için oluşturulan haritaların üst üste aktarılması ile o bölgenin haritalanması sağlanabilir. Oluşturulan katmanlardan birisine Uzaktan Algılama verilerinin yüklenmesi durumunda çalışmaya daha geniş bir bakış açısı kazandırılması mümkün olabilmektedir [54].

Endüstri bölgeleri için yer seçimi ve ÇED çalışmalarında Uzaktan Algılama ve CBS tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmalar sırasında, arazi kullanım haritası, yerleşim yerlerini ve nüfus yoğunluğunu gösteren haritalar, meteorolojik verilerinin yer aldığı haritalar (partikül yoğun tesislerde rüzgar yönü ve hızı son derece önemlidir), hammadde yataklarının konumunu gösteren haritalar ile yüzey ve yeraltı suların konumlarını gösteren haritalar (tesis atıksularının, yüzey suyu ve yeraltı suyu kalitesine yapacağı etkilerin belirlenmesi amacıyla) ağırlıklı olarak puanlandırılmakta ve Şekil 3.25'te görüldüğü gibi, oluşturulan katmanlar sayesinde kurulması planlanan tesisin o bölge için uygun olup olmadığına karar verilmesi ve söz konusu bölge için de en uygun konumun seçilmesi mümkün olmaktadır.

	Ağırlık Puanı
Nüfus Yoğunluğu	*3
Arazi Kullanımı	*3
Meteoroloji	*2
Ham Madde	*2
Yüzey, Yeraltı Suyu	*2
Topoğrafya	*2
Jeoloji	*1
Ulaşım	*1
Hava Kirliliği, Gürültü	*2
Su Kaynakları	*2
Toprak Kirliliği	*1
Tarihi, Kültürel, Doğal Değer	*1

Şekil 3.25. Taş toprak grubu tesislerinde ÇED Raporunun oluşturulması için hazırlanmış CBS dosyaları ve ağırlık puanları

4. ÇALIŞMA ALANI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

4.1. Eskişehir İlinin Özellikleri

İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında, 29°, 58' ve 32°, 0.4' doğu boylamları, 39°, 0.6' ve 40°, 0.9' kuzey enlemleri arasında yer alan Eskişehir İli, kuzey'den Karadeniz, kuzeybatıdan Marmara, batı ve güneybatıdan ise Ege bölgesiyle komşu olup, doğusunda Ankara (Polatlı, Nallıhan, Beypazarı) batısında Bilecik (Söğüt, Bozüyük) ve Kütahya (Merkez İlçe) Kuzeybatısında Bolu (Göynük) ve Ankara, güneydoğusunda Konya, Yunak ve güneyinde Afyonkarahisar (Emirdağ, İhsaniye) illeri ile çevrilidir.

4.1.1. İklim ve meteorolojik koşullar

Eskişehir iklimi, ilk bakışta Batı Anadolu ve İç Anadolu iklimlerine bir geçiş iklimi niteliği gösteriyorsa da ilde genellikle sert ve karasal iklim hakim olup, kışlar çok soğuk ve kar yağışlı, yazlar sıcak ve yağışsız geçer. Yılın 90-100 gününde görülen yağışlar kısa süreli olup, ilin yıllık yağış ortalaması, 373.6-450 mm/m²'dir. Yağışın en az olduğu aylar Temmuz, Ağustos, Eylül; en yağışlı aylar ise Aralık, Ocak, Mart ve Mayıs'dır. İl sınırları içinde en çok yağışı Mihallıççık İlçesi ile Sakarya Vadisi dolaylarındaki yöreler almaktadır. İlin dört mevsimini kapsayan yıllık sıcaklık ortalaması düşük (10 °C) olup, il merkezindeki sıcaklık ortalaması 10.9 °C'dir. Mevsimlik ortalama sıcaklık ilkbaharda 9 °C, sonbaharda 10 °C, kışın ise 1 °C'dir. Yılın en sıcak ayı Temmuz (en sıcak günlerde 30 °C'nin üzerine çıkabilmektedir), en soğuk ayları ise Aralık ve Ocak'tır (en soğuk günlerde sıcaklık -20 °C'nin altına inebilmektedir). Yaz aylarında geceler çok serin geçmekte, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı 20 °C'yi aşmaktadır. Kış aylarında özellikle sabah saatlerinde ve sürekli olmamakla beraber bazı gecelerde yoğun sis görülmektedir.

Eskişehir'de genel olarak bağıl (relative) nemliliğin aylara göre dağılımı, ortalama yağış miktarının yıllara göre dağılımına kıyasla, daha az değişme göstermektedir. En düşük bağıl nemlilik Temmuz ve Ağustos aylarında (%54) en yüksek bağıl nemlilik ise Aralık (%81) ayında görülmekte, yıl boyunca görülen nemlilik ortalaması ise %67 civarında seyretmektedir.

İlde genel olarak karasal iklim yapısı hüküm sürmekle birlikte, Sakarya Vadisinde ve özellikle Sarıcakaya yöresinde Akdeniz iklimi özelliklerini gösteren "mikro klima" bir bölge bulunmaktadır [14].

4.1.2. Topoğrafik koşullar

Eskişehir ilinin topoğrafik yapısını Sakarya ve Porsuk Havza'larındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlar oluşturur. Havza düzlüklerini kuzeyden Bozdağ ve Sündiken dağları, batı ve güneyden ise İç Batı Anadolu eşiğinin doğu kenarlarında yer alan Türkmen Dağı, Yazılıkaya yaylası ve Emirdağ kuşatır. Topraklarının %21.8'i dağlarla, yüzde 25.8'i ovalarda ve %52.4'ü platolarla kaplıdır. İlde yaylalık (plato) alanlar

Türkmen Dağları'nın doğu uzantıları ile Bozdağ ve Sündüken Dağları üzerindedir. Ayrıca, Porsuk ve Sakarya Havzaları'nı birbirinden ayıran Sivrihisar Dağları üzerinde de yaylalık alanlar bulunmaktadır. Yaylalar il topraklarının binde altı gibi çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Doğal göl bulunmayan ilde Gökçekaya ve Porsuk Baraj Gölleri ve göletlerin (Musaözü, Dodurga) dışında, sel baskınlarını ve toprak kayıplarını önlemek ve tarlaları sulamak amacıyla yapılmış pek çok küçük gölet ve sel kapanları da bulunmaktadır [14].

4.1.3. Su potansiyeli; yüzeysel ve yeraltı su kaynakları

4.1.3.1. Yüzey suları

İlde birisi Sakarya Nehri'nin, diğeri ise Porsuk Çayı'nın kolu olan Sarısu ve Seydi suyu isimli iki akarsu vardır. Mahmudiye İlçesi'nden çıkan Sarısu, Çifteler yakınlarında Sakarya ile birleşmektedir. Seyitgazi İlçesi'nde çeşitli yörelerden geçen derelerin birleşmesinden oluşan Seydi Suyu, Seyitgazi ve Mahmudiye İlçesi'ni geçtikten sonra Çifteler İlçesi'nin doğusunda Sakarya Nehri'ne karışmaktadır. Seydi Suyu, zengin bor tuzu yataklarının yer aldığı ve bor işletmeciliği yapan Etibank Kırka Boraks işletmelerinin yakınından geçen akarsularla beslenmektedir.

Sakarya Havzası içerisinde Sakarya Nehri'ne karışan diğer bir kol da Karasu'dur. Karasu, Bilecik'in Bozüyük İlçesi'nin evsel ve endüstriyel atıklarıyla iyice kirlenmiş olan Kocadere kolu ile Söğüt İlçe'sinin evsel ve endüstriyel atıklarıyla kirlenen Söğüt Deresi'nin atıklarını alarak oldukça kirlenmektedir.

4.1.3.2. Yeraltı su kaynakları

Eskişehir, özellikle, il merkezi olarak yeraltı suları bakımından oldukça zengindir. Sarıcakaya'da Sakarılıca, Mihallıççık'ta Yarakçı, Sivrihisarda Hamamkarahisar, Merkez köylerinde Kızılınlar ve Hasırca ile İnönü İlçesi'nde kaplıca ve ılıcalar mevcuttur. İl merkezinde bol miktarda bulunan sıcak su (35-40 °C) (Hamamyolu Caddesi ve civarı), kaynaklarının radyoaktivite ve madensel mineral içeriği açısından da zengin olduğu bilinmektedir [56].

Eskişehir'deki yeraltı suyunun kalitesi [56] tarafından yapılan bir çalışma sırasında detaylı şekilde ele alınmış ve fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından da değerlendirilmiştir.

Yeraltı suyunun kimyasal analizleri sonucunda elde edilen 1985-1990 yılları arasına ait ortalama değerler, TSE (1984) tarafından yayınlanmış olan "İçme Suyu Standartları" ile karşılaştırılmış ve standartlarda tavsiye edilen ve müsaade edilen sınırları aşan parametreler saptanmıştır [56]. TS'nin içme suyu standartlarında, kuyulardan alınan ortalama değerlere göre, sınırları aşan parametreler; bulanıklık, TKM. (733.06 mg/l), Ca (68.7 mg/l), Deterjan (0.502 mg/l), NH₃ (0.275 mg/l), NO₂⁻ (0.053 mg/l), Fe (3.15 mg/l), Cr⁺⁶ (0.107 mg/l), Pb (0.5 mg/l) ve Mn (0.42 mg/l) olarak sıralanırken izin

verilebilecek maksimum miktarları aşan parametreler ise genel olarak deterjan, NH_3 , NO_2 ve bazı kuyularda Fe ve Mn olarak belirlenmiştir. Şehrin merkezi kesiminde bulunan kirliliğin fazla olduğu bölgelerdeki kuyularda tavsiye edilen ve izin verilebilecek maksimum değerleri aşan parametre sayısının daha fazla olduğu ifade edilmiştir [56].

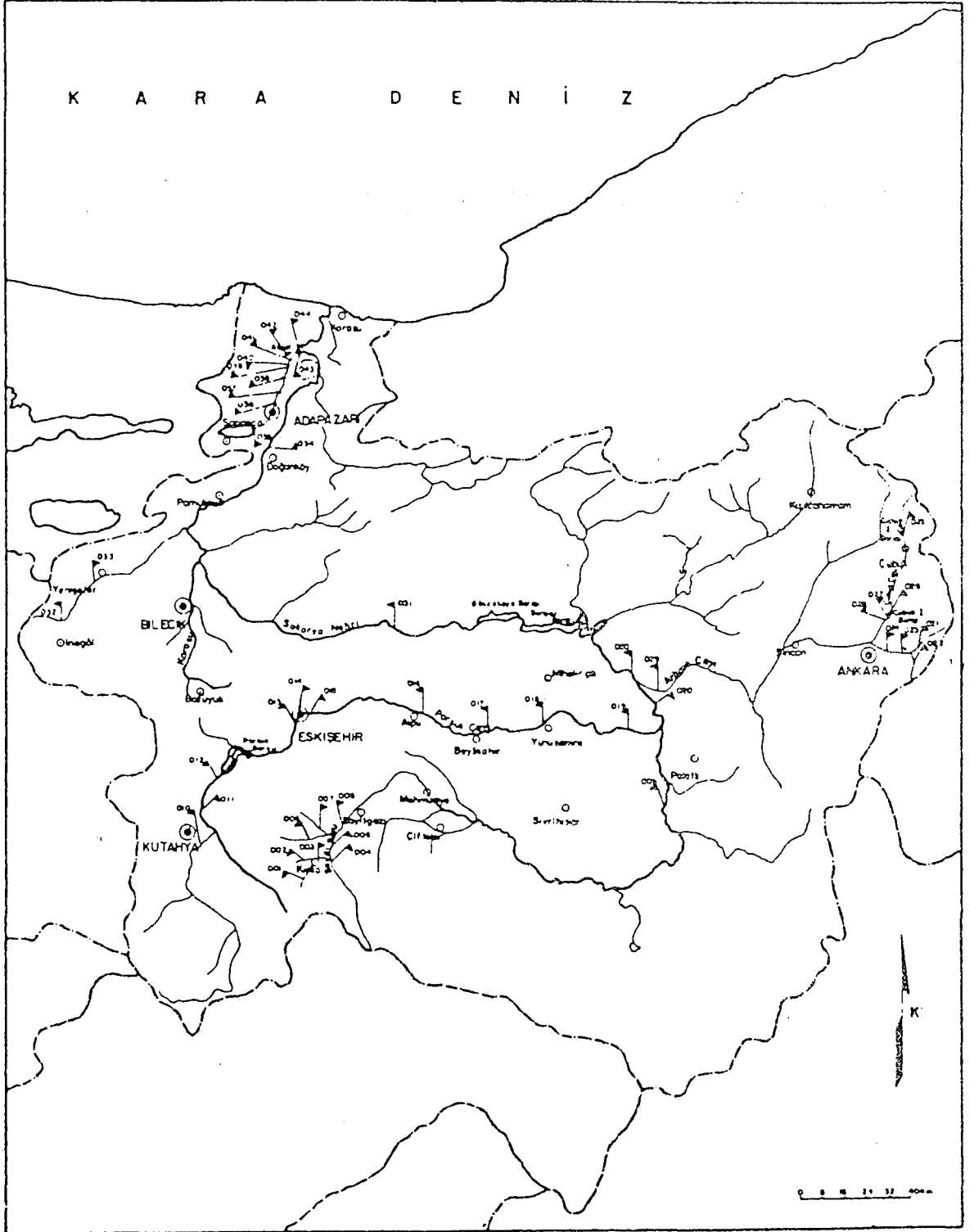
4.2. Porsuk Havzası

Sakarya Havzası (Bkz. Şekil 4.1) içinde yer alan önemli ve büyük bir havza olan Porsuk Havzası'nı kuzeyde Sündiken, güneyde Türkmen, güney-güney batıda Murat Dağları ile havzayı sınırlayan önemli yükseltiler oluşturmaktadır.

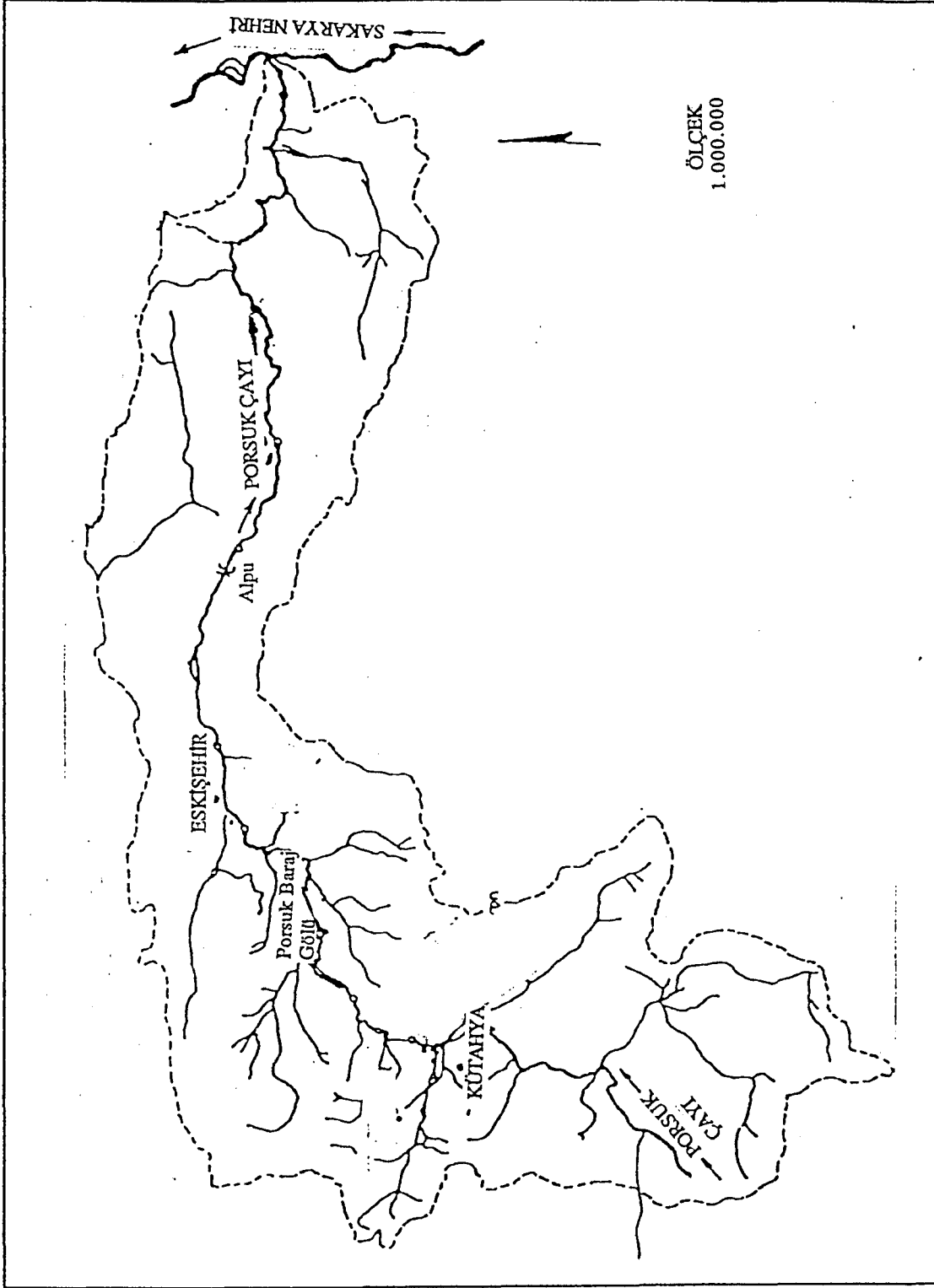
4.2.1. Porsuk Çayı

Drenaj alanı Şekil 4.2'de verilen *Porsuk Çayı*, Batı Anadolu Platosu'nda deniz seviyesinden yaklaşık 1200 m yükseklikteki Tokul Köyü civarında doğup, 436 km'lik bir akış uzunluğundan sonra deniz seviyesinden yaklaşık 600 m yükseklikte *Sakarya Nehri* ile birleşmektedir. Kütahya sınırından Eskişehir'e giren *Porsuk Çayı*, Sakarya Nehri'ne karışmadan önce başta *Kunduz Deresi* olmak üzere, *Mollaoğlu Deresi*, *Sarısu*, *Keskin Suyu*, *Kargın Deresi* ve *Pürtek Çayı*'ni almaktadır.

Porsuk Çayı başlıca iki koldan meydana gelmiştir. Bunlardan ilki, *Porsuk Suyu*'dur. Bu kolu meydana getiren sular Murat Dağı'ndan, Altıntaş Ovası'ndaki sazlığa inmekte ve burada toplanarak Gölsuyu'nu oluşturmaktadır. Bunun kuzeye devamı ise *Porsuk Suyu* ismini almaktadır. Kütahya Ovası'na girmeden önce Porsuk Çiftliği yakınlarında Kocadağ dibindeki pınar sularını da aldıktan sonra debisi daha da artmaktadır. Diğer kol da, yine Kütahya İli'nin batısından gelen, Yoncalı Ilıcaları'nın da fazla sularını alan ve *Porsuk Çayı* adıyla anılan koldur. Bu iki kol, Kütahya merkezinin 3 km kuzeydoğusunda (Çukurova'da) birleşmekte ve buradan itibaren de yine *Porsuk Çayı* adı altında akmaktadır. *Porsuk Çayı*, İncesu Köyü'nün kuzeybatısında yer alan Kalburcu Çiftlikleri mevkiinde Eskişehir İl sınırlarına dahil olmaktadır. Çıkışından itibaren genellikle dar ve eğimli bir vadi içinden akan *Porsuk Çayı*, il içinde önce soldan *Kunduzlar Çayı*'ni sonradan *Kargın Deresi*'ni ve sağdan *Ilıcasuyu*'nu sonra da *Mollaoğlu Deresi*'ni almaktadır. Eskişehir'in 8 km kuzeybatısında yer alan Orman Fidanlığı'ndan sonra eğimi hayli azalmakta ve bu durum *Sakarya Nehri*'ne karışmaya kadar devam etmektedir. *Porsuk Çayı*, Eskişehir İl merkezine güneybatıdan germekte ve batı yönünden terketmektedir. İl merkezine girmeden önce şehrin batısından Ertuğrulgazi Mahallesi yakınında soldan *Sarısuyu* alarak batı-doğu yönünde şehrin ortasından akmaya devam etmektedir. Şehri geçtikten sonra soldan Şeker Fabrikası Çiftliği'ne Keskin ve Muttalıp Derelerini almaktadır. Sakarya'ya karışmadan önce İlören Köyü'nün kuzeyinden Sivrihisar Dağları içinden gelen *Pürtek Çayı*'ni de alarak 16 km doğuda il sınırlarını terk etmekte ve sınırın 6 km doğusundaki "Kıran Harman Köyü"nün 2 km kuzeydoğusunda Sakarya'ya karışmaktadır.



Şekil 4.1. Sakarya Havzası [55]



Şekil 4.2. Porsuk Çayı Drenaj Alanı [14]

4.2.2. Porsuk Havzası'nda akarsu kullanımları

Porsuk Havzası içinde bulunan Porsuk Çayı ve önemli yan kollarından, sulama ve içme/kullanma suyu ile endüstriyel su teminine yönelik olarak yararlanılmasının yanısıra, evsel ve endüstriyel atıklar için de alıcı ortam haline gelmiştir [12].

1. Mevcut sulamalar

- a. **Kütahya Sulaması;** Porsuk Çayı üzerinde Ağaçköy regülatöründen cazibe ile Kütahya Ova'sında yaklaşık 1700 ha alanda sulama yapılmaktadır.
- b. **Eskişehir Sulaması;** Porsuk Barajı'ndan alınan su, Porsuk Çayı Eskişehir girişinde yer alan Karacaşehir regülatörü vasıtası ile Eskişehir ve Alpu Ovası'nda yaklaşık 17500 ha alanın sulamasında kullanılmaktadır [12].

2. İnşaat halinde olan sulama projeleri

- a. **Kütahya Altıntaş Sulaması;** Porsuk Çayı membasından biri durumunda olan Kokar (Beşkarış) Çayı üzerinde kurulması planlanan Akçaköy Barajı vasıtası ile Altıntaş Ovası'nda yaklaşık 9000 ha alanda ilave bir sulama yapılabilecektir.
- b. **Beylikova Sulaması;** Eskişehir Beylikova'da kurulması planlanan depolama tesisinde kış mevsimi boyunca suların toplanması, sulama mevsiminde ise bu tesis vasıtası ile toplam 11000 ha arazi sulaması planlanmaktadır [12].

3. İçme ve kullanma suyu amaçlı kullanımlar

- a. **Kütahya İli içme ve kullanma suyu temini;** Kütahya Şehri'nin yaklaşık 20 km güney-doğusunda yer alan Porsuk kaynakları, 1987 yılında İller Bankası tarafından koruma programına alınmıştır. 1990'lı yıllarda 450-500 lt/sn debiyle alınan su, Kütahya İli'ne doğrudan içme ve kullanma suyu olarak verilmekte, 2000'li yıllarda Kütahya İli'nin su ihtiyacının 750 lt/sn olacağı tahmin edilmektedir. Porsuk kaynaklarından elde edilebilecek maksimum su miktarının 550 lt/sn olması nedeniyle bunun üzerindeki ihtiyaçların Porsuk Çayı'nın kendisinden temin edilmesi planlanmaktadır [12].
- b. **Eskişehir İli içme ve kullanma suyu temini;** Porsuk Çayı'nın, Eskişehir İl merkezinde yer alan Karacaşehir regülatörü öncesinde Eskişehir'in içme ve kullanma suyunu temin etmek amacıyla su alma, klasik arıtma ve dağıtım tesisleri inşaatı İller Bankası tarafından 1989 yılında tamamlanmıştır. Porsuk Çayı'ndan alınan su, fizikokimyasal arıtmaya tabi tutulduktan sonra şehre içme/kullanma suyu olarak verilmektedir. 3700 lt/sn su verebilme kapasitesine sahip arıtma tesislerinde, 1990'lı yıllarda ortalama 700-800 lt/sn debiyle su alınmış olup 2005, yılından sonra kapasitenin 5500 lt/sn'ye çıkartılması planlanmaktadır. ESKİ yetkililerinden alınan bilgilere göre Eskişehir İli'nin günlük su tüketiminin 1997 yılı itibarıyla yaz aylarında; 86400 m³, kış aylarında ise; 78000 m³ olduğu anlaşılmıştır [12].

4. Endüstriyel su temini amaçlı kullanımları

- a. **Seyitömer Termik Santrali su temini (Enne Barajı);** Porsuk Çayı'nın önemli kollarından biri olan Felent deresinde DSİ tarafından inşa edilmiş olan Enne

Barajı, Seyitömer Termik Santrali'nin soğutma ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadır.

b. Eskişehir Şeker Fabrikası su temini; ESKİ Yetkilileri Eskişehir Şeker Fabrikası'nın, şeker pancarı yıkama sularının büyük kısmını doğrudan Porsuk Çayı'ndan karşıladığını ifade etmişlerdir.

4.2.3. Porsuk Havzası'nda yapılmış olan çevre kalitesi izleme çalışmaları

Porsuk Havzası'nda su kalitesi gözlem çalışmaları, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı'na Sakarya Havzası'ndaki akarsuların kirliliği ile ilgili verilerin toplanması amacıyla ilk kez 1969 yılında başlatılmıştır.

1970'li yıllarda Etibank Kırka Boraks İşletmeleri Müdürlüğü'nün Eskişehir DSİ Bölge Müdürlüğü'ne başvurarak atık depolama tesisi istekleri olmuştur. Bu konu ile ilgili çalışmalar değerlendirilerek 1983 yılında "Kırka Yöresi Bor Kirliliği Araştırması" isimli rapor yayınlanmıştır.

Mart 1974-Ocak 1975 tarihleri arasında Sakarya Nehri'nin kolları olan Porsuk ve Çarksuyu tarafından ne derece etkilendiğini görmek amacıyla bir çalışma başlatılmış, çalışmanın sonuçları 1977 yılında DSİ Genel Müdürlüğü Etüt ve Planlama Dairesi Başkanlığı'na değerlendirilerek rapor haline getirilmiştir. Bu çalışma sonunda Porsuk ve Çarksuyu'nun evsel ve endüstriyel atıksularla kirlenmiş olduğu ortaya çıkartılırken, Sakarya Nehri'nin oldukça temiz olduğu belirlenmiştir [12].

1978 yılında DSİ Genel Müdürlüğü, Eskişehir Bölge Müdürlüğü, Birleşmiş Milletler Geliştirme Programı çerçevesinde ve Dünya Sağlık Teşkilatı'nın katkılarıyla Porsuk Çayı'nın Pilot Proje kapsamında incelenmesine karar verilmiştir. Porsuk Çayı kaynağından Sakarya Nehri'ne döküldüğü yere kadar seçilen 10 örnekleme noktasından ve Kütahya İli endüstri kuruluşlarının atıklarından örnekler alınarak 2 yıl süreyle sistematik olarak incelenmiştir. 1980 yılında tamamlanan çalışmalar rapor haline getirilmiştir. Bu çalışmayla; (a) Mevcut su kalitesinin saptanması, (b) Kirleticiler kaynakların tanımlanması, (c) Çayın atık özütleme kapasitesinin belirlenmesi ve (d) Su kalitesi ile ilgili olarak gerekli veri sisteminin oluşturulması hedeflenmiştir.

Akarsu istasyon yerlerinin seçiminde; bugünkü ve gelecekteki su kullanım durumu, evsel ve endüstriyel atık boşaltım yerleri, alınan su numunesinin o noktadaki suyun kalitesini gösterir olması, debilerin ölçülebilir olması ve ulaşımındaki kolaylıklar gözönünde bulundurulmuş, ayrıca, yan kolların ana akarsuyla birleşim yerleri öncesi ve sonrası olan yerlerin seçilmesine özen gösterilmiştir [12].

Eskişehir DSİ Bölge Müdürlüğü'nün İTÜ ile birlikte yürüttüğü NATO tarafından finanse edilen "Sakarya Havzası Amenajmanı" isimli 5 yıllık bir proje 1983 yılında başlatılmıştır. Bu projenin amacı Sakarya Akarsu Havzası'nda planlanan su kullanımları için, su kalitesinin uygunluğunu belirlemek ve su kaynaklarının yönetimi ana projesi için bilgi ve veri sağlamak şeklinde belirlenmiştir. Bu amaç çerçevesinde; (a) Havzadaki

suların nitelik ve niceliklerinin belirlenmesi için deney ve ölçüm programının araştırılması, (b) Havzadaki su kaynaklarının ve atıksu deşarlarının yaratabileceği etkilerin saptanması, (c) Su kaynaklarında kirlenmenin önlenmesi için izlenecek stratejilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ve (d) Su kalitesini sürekli izlemek için metodoloji geliştirilmesi konuları ele alınmış, sonuçta Sakarya Akarsu Havzası için kullanılabilecek bir su kalitesi modeli geliştirilmiş ve bilgisayar programları hazırlanmıştır.

1984 yılında İngiliz Hükümeti'nin katkılarıyla başlatılan "Doğal ve Yapay Göl ve Havzalarında Su Kalitesi Araştırmaları" projesinde Porsuk Baraj Gölü ve Havzasında fiziksel ve kimyasal incelemelere ilaveten biyolojik ve mikrobiyolojik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

Eskişehir DSİ Bölge Müdürlüğü'nün sürekli gözlem istasyonlarından örnek alımları ve analizleri halen sistemli bir şekilde devam etmektedir. Bölge Müdürlüğü, sınırları içinde yapmış olduğu havza boyutunda su kalitesi planlama çalışmalarıyla, akarsuların kirlenmeye karşı korunması konularına büyük ölçüde ılık tutan hemen hemen tek ve en önemli kaynak olarak görünmektedir.

4.3. Porsuk Havzası'nda Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

4.3.1. Porsuk kaynaklarından Porsuk Baraj Rezervuarı girişine kadar olan bölümde kirletici kaynaklar

Porsuk Çayı, başta Kütahya Şehri kanalizasyon suları olmak üzere yol boyunca kurulu şeker, azotlu gübre, porselen seramik ve magnezit üretim tesislerinin atıksularını alarak Porsuk Barajı'na oldukça kirlı bir şekilde girmektedir. Yöredeki endüstriyel tesislerin gün geçtikçe artması ve çeşitlenmesine bağılı olarak artış gösteren atıksu deşarjları Porsuk Barajı'nda ölçümü yapılan kirlilik parametreleri derişim değerlerinin yıllara bağılı olarak artış göstermesine neden olmaktadır. Porsuk Çayı'nı besleyen yan dereler de Çayın su kalitesini etkileyen bir diğersundur.

4.3.1.1. Porsuk Çayı'nı besleyen yan dereler

Porsuk Çayı, Kokar Deresi (Beşkarış), Avşar Deresi (Genişler), Kocaçay (Murat Çayı) Dere'si karıştıktan sonra oluşmaktadır. Daha sonra sırayla Yağcılar, Kureysler ve Söğütözü yan derelerini alarak ve Gelinkaya ve Porsuk kaynaklarıyla beslenerek Ağaçköy regülatörüne gelmektedir. Ağaçköy regülatöründen Porsuk Baraj Rezervuarı girişine kadar olan kesimde, Porsuk Çayı'na Candıraz Deresi, Felent Çayı, Güvez Dere ile Ilıca Deresi karışmaktadır. Kütahya Bölümü Porsuk yan derelerinde 1985-1989 yılları arasında hidrobiyolojik verilere dayalı olarak yapılmış olan sınıflamalar Çizelge 4.1'de özet olarak verilmiştir [12].

Çizelge 4.1. Kütahya Bölümü Porsuk Çayı Yan Derelerinde 1985-1989 Yılları Ortalama Değerlerine Göre Hidrobiyolojik Verilerle Su Sınıflandırması [57], [58]

Su sınıfı	BMWP (s)	TBI	NWC	Açıklama
Yan dereler				
Kokarçay Deresi	52.00	8	1B	Temiz su
Avşar Deresi	32.00	6	2	Orta temiz su
Kocaçay Deresi	23.00	7	2	Orta temiz su
Kureysler Deresi	18.00	5	2.-3.	Orta temiz-kirli su
Söğütözü Deresi	61.00	8	1B	Temiz su
Çaldıraz Deresi	42.00	7	1B-2	Temiz-orta temiz su
Felent Çayı	16.00	4	3	Kirli su
Gücez Deresi	17.00	5	2.-3.	Orta temiz-kirli su
Ilıca Dere	45.00	7	1B.-2.	Temiz su
BMWP(s); Biological Monitoring Working Party (score)				
TBI; Trent Biotic Index				
NWC; National Water Classification				

4.3.1.2. Tarımsal alanlardan gelen yükler

Porsuk Çayı Kütahya Ağaçköy ana gözlem istasyonu baz alınarak burada uzun yıllardır yapılan ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, bu yöredeki tarımsal faaliyetlerin önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiş ve 1994 yılında yapılan gözlem sonuçlarında da bu durumun geçerliliğini koruduğu anlaşılmıştır [12].

4.3.1.3. Evsel atıklar (Kütahya Belediyesi kanalizasyon atıkları)

Kütahya evsel atıkları 1992 yılına kadar doğrudan Porsuk Çayı'na verilmekteydi. 1992 yılında Arıtma tesisinin tamamlanmasıyla bu durumun çözümleneceği planlanmıştı. Ancak kanalizasyonun ortalama debisi 1800 m³/h olduğu halde, tesisin 600 m³/h debi ile çalıştırılması, problemin tamamen ortadan kaldırılmamış olduğunu kanıtlamaktadır. 1994 yılında Porsuk Çayı üzerinden Kütahya arıtma tesisi öncesi ve sonrası alınan örneklerin analiz sonuçları tesisin düzenli çalışmadığını göstermiştir. Tesis biyolojik arıtmayla BOİ yükünü %95-98, AKM miktarını %90-95 giderecek şekilde planlamıştır. Arıtma tesislerinden çıkan çamur, çöktürme havuzlarına verilmekte, kurutma yataklarında kurutularak Belediyenin gösterdiği alana atılmaktadır [59].

4.3.1.4. Sanayi kuruluşları atıkları

a. Kütahya Belediye mezbahası atıkları

Kütahya atıksu arıtma tesisi tamamlanıncaya kadar atıklarını direkt olarak Porsuk Çayı'na veren Belediye mezbahası, arıtma tesisi tamamlandıktan sonra atıksularını bu tesise vermeye başlamıştır. Ayrıca, 1988 yılı içinde kan dahil katı atıklarını değerlendirmeye başladığı da bilinmektedir [12].

b. Kütahya Şeker Fabrikası atıkları

Organik kirlilik yükü fazla olan Kütahya Şeker Fabrikası, 1981 yılında devreye soktuğu çöktürme, dinlendirme ve havalandırma ünitelerinden oluşan biyolojik arıtmayla önlemini almıştır. Ancak, 1992 yılında son çöktürme havuzunun büyük bir kısmı Tavşanlı Karayolu yapımı sırasında ortadan kaldırıldığı için 1994 yılı içinde tesis atıklarını herhangi bir arıtma tabi tutmaksızın direkt olarak atıksu arıtma tesisine vermiştir. Arıtım tesislerinin şok yükleme nedeniyle çalışamaz duruma gelmesi nedeniyle 1995 yılında fabrika yeni arıtma tesislerini kurarak kapalı devre çalışma yoluna gitmiştir [12].

c. Kütahya TÜGSAŞ Gübre Fabrikası atıkları

Tesiste 1989 yılında DSİ tarafından yapılan atık depolama göleti ile curuflu atıklar depolanmakta, ancak azot içeren atıklar herhangi bir arıtım görmeden Porsuk Çayı'na verilmektedir. Eskişehir içme ve kullanma suyunun sağlandığı Porsuk Baraj Gölü'nün %80'den fazlası bu işletmeden kaynaklanan yoğun azot kirliliğinin baskısı altında bulunmaktadır.

Avrupa Birliği Su Standartları'nın (EU 80/778/EEC) ön gördüğü maksimum kabul edilebilir değerler NO_3^- için 50 mg/lit, NO_2^- için 0.10 mg/lit ve amonyak (NH_4^+ olarak) için ise 0.50 mg/lit'dir. 1991-1994 yılları boyunca düzenli aralıklarla alınan su örnekleri üzerinde Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi Laboratuvar'ında yapılmış olan NO_3^- , NO_2^- ve NH_4^+ bileşik analiz sonuçlarının Avrupa Birliği Standartlarında verilen kabul edilebilir maksimum konsantrasyonları aştığı ifade edilmiştir [12].

d. Kümaş Magnezit Fabrikası atıkları

Porsuk Çayı'nı ve Porsuk Baraj Gölü'nü askıda katı madde yönünden oldukça fazla etkileyen Kümaş Magnezit Fabrikası, 1987 yılında yaptığı kademeli çöktürme havuzları ile manyezit cevher yıkama atıklarını tutmaya ve suyu geri kazanarak tekrar kullanmaya başladığı için Porsuk Çayı'na 1987 tarihinden beri atık vermektedir [12].

e. Kütahya Seyitömer Termik Santrali atıkları

Seyitömer Termik Santrali'nde 1991 yılında bir arıtma tesisi yapılmış olup, arıtma tesisinden çıkan su, Güvez Deresi'ne verilmekte, Güvez Deresi ise Beşdeğirmen örnek alım öncesi Porsuk Çayı'na karışmaktadır.

f. Seramik Porselen Sanayii atıkları

Arıtma sistemi bulunmayan Güral Porselen, atıklarını Felent Çayı sonrası Porsuk Çayı'na vermektedir.

Duvar/yer karosu ve porselen üretimi yapan Kütahya Porselen, askıda katı madde yükü son derece fazla olan atıksularındaki katı maddeleri çöktürmek üzere, çökeltme havuzları inşa etmiş olduğu halde, mevcut çökeltmenin yeterli olmadığı ifade edilmektedir [12].

4.3.1.5. Kütahya bölümü su kalitesi değerlendirmeleri

1994 yılında DSİ tarafından Porsuk Çayı Kütahya bölümündeki 9 istasyondan su örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Ağaçköy İstasyonundan her ay, diğer istasyonlardan iki ayda bir örnekler alınarak incelenmiştir. Baz alınan parametrelerin 1994 yılı ortalama ölçüm değerleri S.K.K.Y. Tablo1’de verilen kıta içi su kaynaklarının kalite kriterlerine (Bkz. EK 2) göre değerlendirilmiştir. Baz alınan parametreler açısından Porsuk Çayı su kalitesi ile ilgili değerlendirmeler Çizelge 4.2’de verilmiştir [12]. Bu veriler ışığında, Ağaçköy’den Kütahya atıksu arıtma tesisleri öncesine kadar 2. sınıf (az kirlenmiş su) durumunda bulunan Çay, Kütahya atıksu arıtma tesisleri sonrası Sabuncu Köprüsü İstasyonu’na kadar 4. sınıf su (çok kirlenmiş su) özelliğini sürdürmektedir. Porsuk Barajı’na giren suyun, barajdaki yaklaşık 359 günlük hidrolik bekleme süresinden dolayı doğal yolla arıtıma uğradığı, baraj çıkışında, amonyak azotu açısından 4. sınıf (çok kirli su) fosfat-fosforu açısından 3. sınıf (kirli su) olmakla birlikte diğer parametrelerde iyileşme gözlemlendiği anlaşılmaktadır.

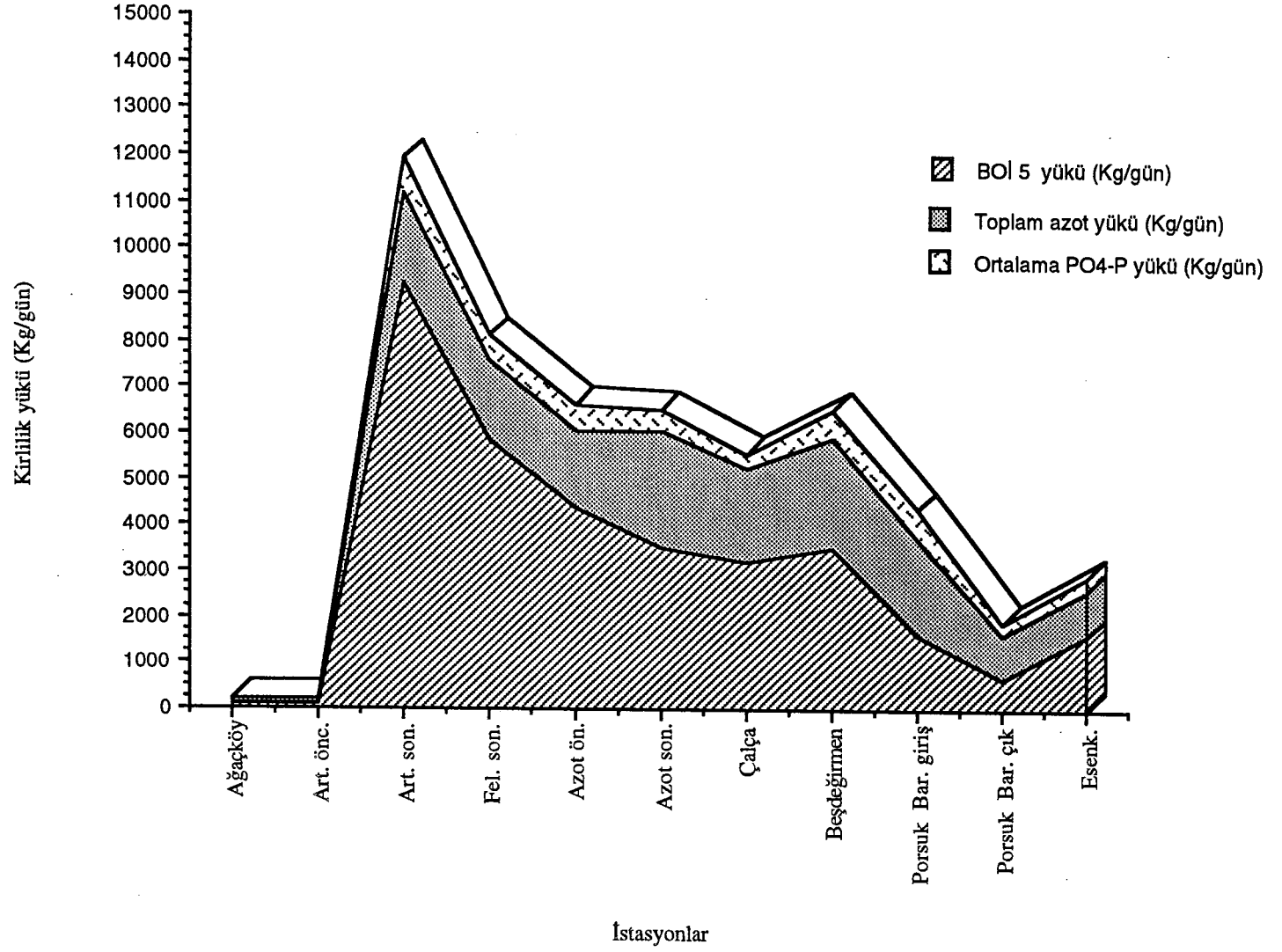
Şekil 4.3’de Ağaçköy İstasyonu’ndan Porsuk Barajı çıkışına kadar PO4-P, toplam azot ve BOİ5 yükü değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde arıtma tesisi sonrası kirlenici bileşenlerin tümünde büyük bir artış görüldüğü, ancak baraj girişine kadar azalma olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.3’ten de görüleceği üzere, 9170 kg/gün’lük BOD5 yükü, arıtma tesislerinden gelmektedir. Evsel atıklar için, BOD5 45 g/kapasite gün olarak kabul edilirse ($9170 \times 1000 \text{ g/gün} / 45 \text{ g/gün} = 203777$) 203777 nüfuslu bir ilin evsel atıklarının Porsuk Çayı’na verildiği hesaplanabilir. Bu durum, arıtma tesisinin tam kapasite ile çalıştırılmadığını kanıtlamaktadır. Kütahya İli nüfusu 1994 yılı itibarıyla 140000 olarak kabul edilirse ve dünyada kişi başına düşen evsel atıksu miktarı göz önünde bulundurulursa Kütahya’da oluşan kirliliğin bu standartların iki misline yaklaştığı açıktır. Bunun sebebi arıtma tesisi yetkililerinden alınan bilgiye göre 1994 yılında Kütahya Şeker Fabrikası atıklarını doğrudan arıtma tesisine vermesidir. Şeker Fabrikası tarafından yapılan bu şok yükleme, tesisleri çalışamaz duruma getirmiştir. Bundan dolayı arıtma tesisleri sonrası kirlilik yükü sadece Kütahya İli Evsel atıklarından değil, aynı zamanda Kütahya Şeker Fabrikası atıklarından ileri gelmektedir [12].

Kütahya Azot Fabrikası öncesi azot yükü 1714 kg/gün iken, Kütahya Azot Fabrikası sonrası azot yükü 2547 kg/gün değerine ulaşmaktadır. Bu veriler ışığında Kütahya Azot Fabrikası’ndan gelen yük $2547 - 1714 = 833 \text{ kg/gün}$ olarak hesaplanmıştır. Kütahya Azot Fabrikası’ndan gelen yük, 1993 yılında 4.3 ton/gün olarak bulunmuş; 1994 yılında 5 ay boyunca Azot Fabrikası deşarj kanalından kompozit örnek alınarak incelenmiş, ortalama azot yükünün ($\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) 4.08 ton/gün olduğu tespit edilmiştir [12]. 1993 yılında bu değer 4.3 ton/gün bulunmuştur. DSİ yetkililerinden alınan bilgilere göre 1994 yılında ünitelerdeki kaçaklar önlenmeye çalışılmış, ayrıca amonyak arıtımı için yeni bir ünite devreye girmiştir.

Çizelge 4.2. 1994 Yılı Ortalama Değerlerine Göre Porsuk Çayı Kütahya Bölümü Su Kalitesi [12]

Baz istasyonlar Parametreler	Ağaçköy	Kütahya Arıtma Tesisleri öncesi	Kütahya Arıtma Tesisleri sonrası	Felent Çayı sonrası	Kütahya Azot Fabrikası öncesi	Kütahya Azot Fabrikası sonrası	Çalça	Beşdeğirmen	Sabuncu köprüsü
pH	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Toplam çözünmüş katılar	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Çözünmüş oksijen	1	1	2	3	3	3	3	3	2
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	1	1	4	4	3	3	3	3	2
Kimyasal oksijen ihtiyacı	1	1	4	4	3	3	2	2	2
Amonyak Azotu	1	1	4	4	4	4	4	4	4
Nitrat Azotu	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Orta Fosfat	2	2	4	4	4	3	3	4	
1994 yılı ortama ölçüm değerleri 4 Eylül 1988-19919 sayılı Resmi Gazete'de Tablo 1'de verilen Kıtaiçi su kaynaklarının kalite kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Sınıf 1. Yüksek kaliteli su, Sınıf 2. Az kirlenmiş su, Sınıf 3. Kirli su, Sınıf 4. çok kirlenmiş su									



Şekil 4.3. Porsuk Çayı'nda 1994 yılı itibariyle BOİ5, toplam azot ve ortalama PO4-P yükü [12]

4.3.2. Porsuk Baraj Gölü çıkışından Sakarya Nehri'ne kadar olan kirlletici kaynaklar

4.3.2.1. Evsel atıklar

a. Çukurçarşı ve kaplıcalardan gelen atıklar

Kaplıcalardan gelen atıklar kanalizasyona verilirken, Çukurçarşı atıkları, kot farkından dolayı henüz kanalizasyona verilmemektedir.

b. Eskişehir Belediyesi Kanalizasyon atıkları

Eskişehir Belediyesi şehir kanalizasyon ağının bir kısmını (%85) tamamlamış olup, kanalizasyon ağına deşarj edilen atık sular şehir çıkışında tahliye kanallarına verilmektedir. Fosseptik atıkları vidanjörlerle yine aynı yere boşaltılmaktadır. Kanalizasyon arıtım tesisleri inşaatı Temmuz 1993 tarihinde başlatılmış olup, 30 ay sürede tamamlanması planlanmasına rağmen halen inşaatı devam etmektedir.

4.3.2.2. Porsuk Çayı'nı besleyen yan dereler

Eskişehir bölümünde Porsuk Çayı'nı besleyen Kunduzlu Dere; Porsuk Baraj Rezervuarı'na kuzeyden karışmaktadır. Porsuk Barajı ile Eskişehir arasında ki mesafeda Porsuk Çayı'nı besleyen dereler *Kargın Deresi*, *Uluçayır Dere* ve *Musaözü Deresi*'dir. Eskişehir İl sınırını geçtikten sonra ise *Sarısungur Deresi* ve *Pürtek Çayı*, *Porsuk Çayı*'na karışmaktadır

Eskişehir bölümünde yer alan tüm bu derelere ait hidrobiyolojik verilerle yapılan su sınıflandırmaları Çizelge 4.3'te verilmiştir

Çizelge 4.3. 1985-1989 Yılları Ortalama Değerlerine Göre Eskişehir Bölümü Porsuk Çayı Yan Derelerinde Hidrobiyolojik Verilerle Su Sınıflandırması [12]

Su sınıfı	BMWP (s)	TBI	NWC	Açıklama
Yan dereler				
Kunduzlu Dere	30.00	6	1	Temiz su
Sabuncupınar Dere	52.00	8	1B.	Orta temiz su
Uluçayır Dere	50.00	7	1B.-2.	Temiz su
Musaözü Dere	45.00	7	1B.-2.	Temiz su
Sarısu Dere	26.00	6	2.-3.	Orta temiz su
Sarısungur Dere	19.00	5	2.-3.	Orta temiz su-kirli su
Pürtek Çayı	43.00	7	1B.-2.	Temiz su
BMWP(s); Biological Monitoring Working Party (score) TBI; Trent Biotic Index NWC; National Water Classification				

4.3.2.3. Sanayi kuruluşları ve atıklar

a. SARAR Tekstil A.Ş. fabrikası atıkları

Sümerbank Basma Fabrikası olarak 1960 yılında kurulmuş olan ve 1995 yılına kadar faaliyetini sürdüren tesis, 1995 yılında özelleştirilerek SARAR Tekstil Sanayi adını almıştır. Üretimi yılda 40000 m/gün basma + terbiye ameliyesi şeklinde olan bu tesiste, 24 saat, 3 vardiya halinde çalışılmaktadır. 5000 ton/gün'lük proses, içme ve kullanma suyu ihtiyacını derin kuyulardan sağlamaktadır. Tesis, sıvı atıkları ön işleme (ön çöktürme ve pH ayarlaması) tabi tutarak şehir kanalizasyonuna deşarj etmektedir.

b. TÜLOMSAŞ Eskişehir Lokomotif Fabrikası atıkları

Eskişehir Lokomotif Fabrikasında, siyanürlü bileşiklerin hipokloritle giderilmesi, Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} şeklinde indirgenerek çöktürülmesi işlemi uygulanmakta; pH'ın düşürülmesi için sülfürik asit (H_2SO_4), yükseltilmesi için ise kireç sütü ($CaOH$)₂ kullanılmaktadır. Ayrıca yağ tutucu kapalı havuzlar yer almaktadır.

c. Eskişehir Şeker Fabrikası atıkları

Eskişehir Şeker Fabrikası'nda, şeker pancarından beyaz şeker, melas ve ispiroto üretilmektedir. Şeker üretiminin gerçekleştirildiği "Kampanya Dönemi" Ağustos ayında başlamakta ve 6 ay devam etmektedir. İspirto fabrikası ise bütün bir yıl boyunca çalışmaktadır.

Porsuk Çayı'na verilen atıklar, pancar yıkama ünitesinden ve ispiroto fabrikasından gelmektedir. 1993 yılına kadar sadece pancar yıkama ünitesinden gelen atıklar belirli bir işleme tabi tutularak (atıksu havuzlara alınıp, parçalama ve oksidasyon işleminden geçirilmektedir). İspirto fabrikasından gelen atıklar ise genelde hiçbir arıtmaya tabi tutulmadan Porsuk Çayı'na verilmekteydi. 1993 yılında ispiroto fabrikası atıklarının (şlempe atıkları) değerlendirilmesi için bir arıtma sistemi devreye sokulmuştur. Bu arıtma, şlempedeki organik yükü büyük oranda arıtmakta ve arıtılan su, kampanya döneminde, kapalı devrede sisteme geri gönderilmekte, dönem sonunda ise havuzlarda biriken su, buharlaşmakta ya da süzülerek yeraltı suyuna karışmaktadır. Arıtım tesislerinde günde yaklaşık 150 ton buhar kullanılarak %7-8 kuru maddeli 600 ton seyreltik şlempe işlenmektedir. Manipilasyon kademelerinden her birine 150 kg sülfürik asit verilerek potasyum sülfat üretilmekte; elde edilen potasyum sülfat ise gübre olarak kullanılmaktadır. Konsantre şlempe, hayvan yemi ve gübre olarak kullanılmaktadır. İşletme masrafları arıtmadan çıkan ürünlerin satılmasıyla sağlanmaktadır [12].

d. Eskişehir Belediye Mezbahası atıkları

Eskişehir Belediye Mezbahası sıvı atıklarını kanalizasyona vermektedir. ESKİ Yetkililerinden alınan bilgilere göre Temmuz 1997'de, kum tutucu, yağ tutucu ve önçöktürme üniteleri devreye alınmış olup, 1998 yılında ise biyogaz üretim tesisinin devreye alınması planlanmaktadır.

e. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi atıkları

Eskişehir İli çıkışında (Eskişehir-Ankara Yolu) bulunan Organize Sanayi Bölgesinde (O.S.B.) çok çeşitli amaçlarla kurulmuş 300 fabrika bulunmaktadır. Bunlardan yalnızca *Arçelik Buzdolabı Fabrikası*'nın kimyasal arıtım yapan bir arıtma tesisi, *mermer ve duvar/yer karosu fabrikalarının ise* önçöktürme havuzları bulunmaktadır.

Arçelik Buzdolabı Fabrikası'nın atıksu arıtma tesisine 4 ayrı nitelikte atıksu ayrı ayrı ve kompleks süreçlerden geçerek gelmektedir. Otomatik bilgisayar kontrolünde olan bu arıtma sistemiyle sürekli arıtım yapılmakta, arıtım sonrası çıkan çamur kurutularak belediyenin çöplüğüne atılmaktadır.

Pınar Süt Tesisleri, yoğurt üretimi yıkama suları O.S.B. kanalizasyonuna gönderilmekte, oradan da DSİ sulama kanalına verilmektedir.

Organize sanayi atıkları, üç ayrı kanaldan 500 m³/gün debiyle (günlük çalışma süresi 12 saat) Şekerçiftliği mevkinden Porsuk Çayı'na verilmektedir.

f. DERSAN Deri İşleme Sanayii atıkları

Eskişehir'in Beylikova İlçesi'nde 1980 yılında faaliyetine başlamış olan DERSAN Deri İşleme Sanayii'nde günde 500-700 adet kuzu derisi işlenmektedir. Suyunu yüzeysel bir kuyudan (6 m derinlik) temin eden tesisin atıksularını arıtmak üzere kurmuş olduğu arıtma üniteleri de bulunmaktadır. Arıtmadan çıkan katı atıklar kurutularak yakılmakta, sıvı atıklar ise 100 ton/gün debiyle Porsuk Çayı'na verilmektedir [12].

g. TUSAŞ Uçak Motor Sanayii A.Ş. atıkları

Eskişehir Muttalıp Mevkii'nde kurulu TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. esas olarak uçak motoru montajı yapmaktadır. Ayrıca uçak parçalarının bir kısmı (400 adet/yıl NPT REAR SHAFT (krom kaplama), 50 adet/yıl Anti Deflection Ring (nikel kaplama) ve 40 adet/yıl Anti Adapter (nikel kaplama)) metal hazırlama ve krom ve nikel kaplama işlemlerine tabi tutularak üretilmektedir.

Tesiste üretimi yapılan krom-nikel alaşımlı malzemelerin üretim kapasitesi 0-1 ton/gün arasında değişebilmektedir. Üretimde 35 m³/gün hızla tüketilen su, tesisin bünyesinde bulunan 2 adet derin kuyudan temin edilmektedir. Kuyu suları yumuşatma prosesinden geçirildikten ve UV ışığı ile steril hale getirildikten sonra kullanıma verilmektedir. Üretim prosesinden günde yaklaşık 0.1 ton katı atık, 20 m³ sıvı atık oluşmaktadır.

Tesis atıksularının Eskişehir Kanalizasyon sistemine deşarj edilmesi nedeniyle S.K.K.Y. Tablo 25'in esas alındığı bilindiği halde, Eskişehir kanalizasyon şebekesi henüz bir arıtım tesisi ile sonlanmadığından, tesisten kaynaklanan atıksu dolaylı da olsa Porsuk Çayı'na deşarj edilmektedir.

4.4. Porsuk Baraj Gölü ve Su Kalitesi İzleme Çalışmaları

Kütahya-Eskişehir arasında, Eskişehir'e 40 km uzaklıkta Porsuk Çayı üzerinde kurulu Porsuk Barajı, 1937 yılında sulama suyu temini ve sel baskınlarını önlemek amacıyla tesis edilmiş olup, 1972 yılında Eskişehir İli'nin kullanma suyunu sağlamak, çevre araziye sulamak ve elektrik üretmek üzere kapasitesi artırılmıştır. Genel görüntüsü Şekil 4.4'te, özellikleri ise Çizelge 4.4'te verilen barajın suları ile 17940 ha tarım alanı sulanmakta, 8680 ha ise sel ve taşkınlara karşı koruma altında tutulabilmektedir. Ayrıca, Eskişehir Kenti'ne günde 85000 m³ içme ve kullanma suyu sağlanmaktadır [12].



Şekil 4.4. Porsuk Barajı genel görüntüsü (Foto: Sedat Oktaş)

Çizelge 4.4. Porsuk Baraj Gölü'nün Başlıca Karakteristik Özellikleri [12]

Tipi	Beton ağırlık	Gövde hacmi	224000 m ³
Kret kotu	886.70 m	Kret uzunluğu	258 m
Temelden yüksekliği	64.70 m	Talvegden yüksekliği	49.70 m
Maksimum su kotu	885.20 m	Normal su kotu	882.60 m
Maks. depolama hacmi	525x10 ⁶ m ³	Maks. depolama alanı	27.7 km ²
Aktif göl hacmi	446x10 ⁶ m ³	Ölü göl hacmi	19x10 ⁶ m ³
Göl drenaj alanı	5018 km ²	Ortalama derinlik	4.5-20 m

DSİ tarafından Porsuk Baraj Rezervuarı'nda yapılmış olan “Su Kalite Gözlem Çalışmaları”

Porsuk Baraj Gölü üzerinde 1984 yılında İngiliz Hükümeti'nin de katkılarıyla DSİ tarafından başlatılan “Doğal ve Yapay Göl ve Havzalarında Su Kalitesi Araştırmaları” kapsamında Baraj Gölü ve Havzasında fiziksel ve kimyasal incelemelere ilaveten, biyolojik ve mikrobiyolojik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. 1986-1988 yılında yine bir proje kapsamında DSİ tarafından Klorofil-A ve Fosfor parametreleri değerlendirilerek Baraj Gölü'nün “trofik sınıflandırma” sı yapılmıştır. Porsuk Baraj Gölü üzerinde DSİ Bölge Müdürlüğü'nün sürekli gözlem istasyonlarından örnek alımları ve analizleri halen sistematik bir şekilde devam etmektedir.

Baraj rezervuarında 1986-1988 ve 1992-1994 yılları arasında yapılan çalışmalarda bulunan ortalama klorofil-A ve ortalama fosfat değerleri, OECD tarafından hazırlanan trofik sınıflamada olasılık dağılım tablolarına göre değerlendirilerek (Bkz. Şekil 4.5 ve 4.6) Çizelge 4.5 hazırlanmıştır.

Çizelge 4.5. Ortalama Klorofil-A ve Fosfat Değerlerinin Trofik Sınıflama Olasılık Dağılım Tablosuna Göre Değerlendirilmesi [12]

Tarih		1986-1988	1992-1994
Parametre			
Ortalama Klorofil-A (mg/m^3)		8.93	43.7
Ortalama Fosfor (mg/m^3)		64	230
Trofik Sınıflama	Klorofil-A	% 50 ötrofik	-
		% 41 mezotrofik	-
		% 5 hipertrofik	% 72 hipertrofik
		% 4 oligotrofik	% 22 oligotrofik
	Fosfor	% 60 ötrofik	-
		% 32 mezotrofik	-
		% 7 hipertrofik	% 75 hipertrofik
		% 1 oligotrofik	% 25 oligotrofik

Yapılan çalışmalar, 1988 yılından sonra mevsimsel örnekler alınarak devam ettirilmiş olup, bu çalışmalar baraj gölünde ötrafikasyonun gittikçe hızlanmakta olduğunu göstermiştir.

1992-1994 yılları arasında DSİ tarafından Porsuk Baraj Gölü'nde 7 noktadan her mevsim kompozit, yüzey, orta ve dip örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Kompozit örneklerle ilave olarak klorofil-A derişimleri de belirlenmiştir. Yine aynı tarihler arasında göldeki 7 gözlem istasyonunda göl yüzeyinden göl dibine kadar belirli derinliklerde sıcaklık ve çözünmüş oksijen doygunluk yüzdeleri de ölçülmüştür.

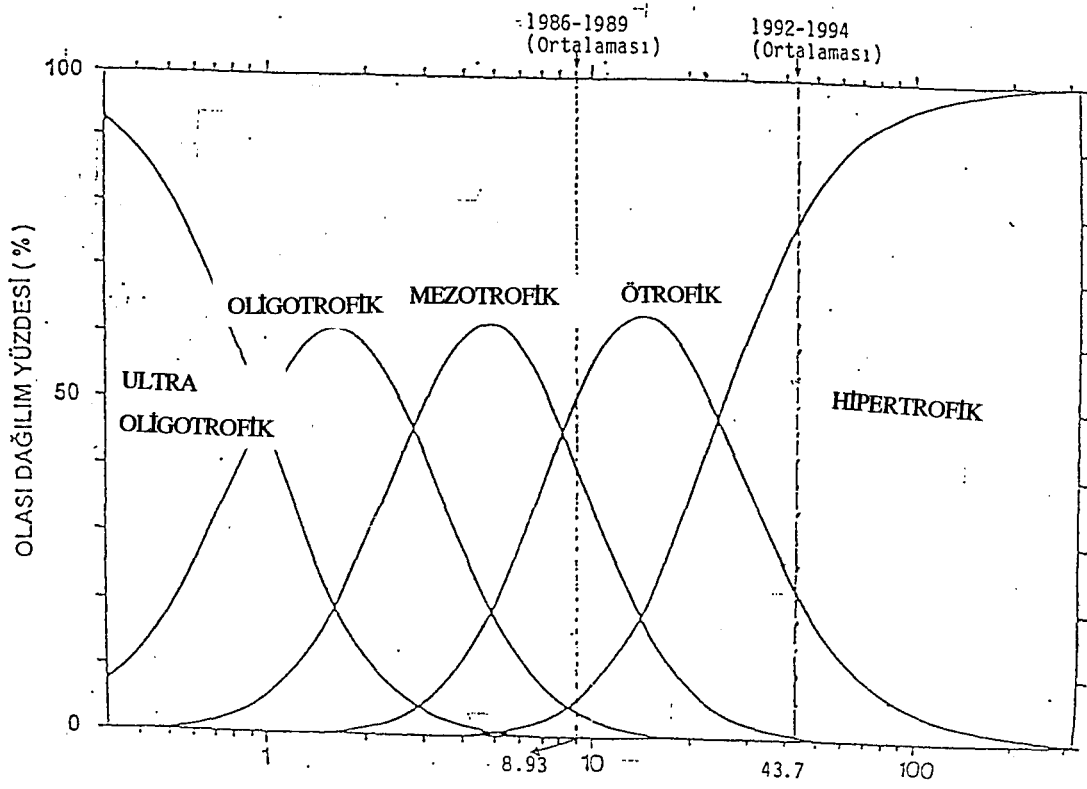
Hipertrofik göllerde, besi maddeleri ve oksijen açısından gölün dengesinin bozulduğu, parçalanmış maddelerin göl tabanı ve kıyı bölgelerde birikmesi nedeniyle

bataklaşmanın başladığı bilinmektedir. Porsuk Baraj Gölü, Eskişehir İli içme ve kullanma suyu kaynağı olduğundan bu durumun ortadan kaldırılması için acilen gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu durumda, baraja giren fosfor ve azot yüklerinin mutlaka denetlenmesinin gerekliliği kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

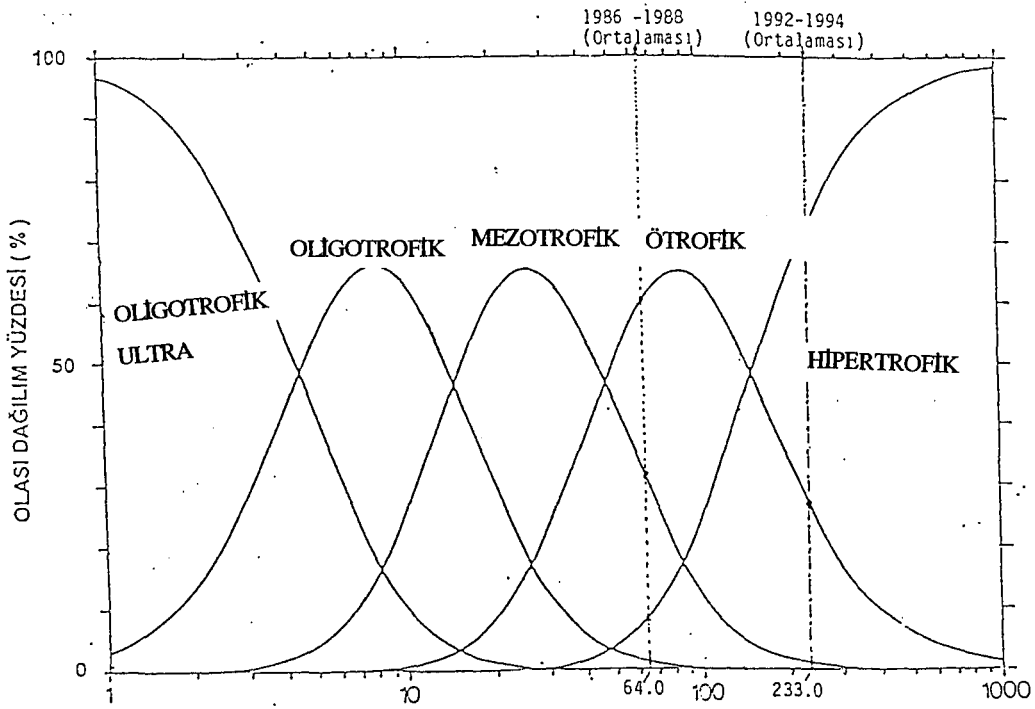
Yapılan çalışmalarda, bu yükün en büyük bölümünün Kütahya Atıksu arıtma tesislerinden geldiği görülmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin acilen tam kapasite ile çalıştırılmaya başlaması, baraja gelen fosfor yükünün denetlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Fosfor yükünde Beşdeğirmen İstasyonu'nda da bir artış gözlenmiştir. Bu sebeple Beşdeğirmen İstasyonu'ndan önce Porsuk Çayı'na karışan Güvez Deresi'nin gerek Seyitömer Termik Santrali'nden gelen atıklar, gerekse evsel atıklar açısından sürekli kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Aynı şekilde azot miktarındaki artış, ötrofikasyonu etkileyen temel parametrelerdendir. Kütahya Tügsaş Gübre fabrikalarından gelen azot yükü, 1994 yılında geçmiş yıllara göre oldukça azalmış olmakla beraber, fabrikanın bazı ünitelerinin tekrar devreye sokulmasıyla Porsuk Çayı'na verilen atıklardaki azot yüklerinin tekrar artma tehlikesi her zaman mevcuttur. Bu tesiste, daha kalıcı tedbirlerin alınmasının gerekliliği açıktır.

Porsuk Çayı'ndan arıtmaya giren su, Porsuk Barajı'nın kapalı olduğu kış aylarında temiz olmasına karşın, Barajın açık olduğu yaz aylarında (sulama mevsiminde) amonyak azotu seviyesinde artış görülmektedir. Kütahya bölümünde kalıcı ve uzun vadeli tedbirlerin alınması ile hem Porsuk Baraj Gölü'nün ömrünün uzatılması, hem de Eskişehir içme suyu arıtma tesislerine daha kaliteli bir ham su girişi sağlanması mümkün olacaktır.



Şekil 4.5. Porsuk Baraj Gölü'nde klorofil-A ölçüm değerlerine göre ötrofikasyon sınıflamaları dağılımı



Şekil 4.6. Porsuk Baraj Gölü'nde toplam fosfor ölçüm değerlerine göre ötrofikasyon sınıflamaları dağılımı

5. PORSUK BARAJ GÖLÜ SU KALİTESİNİN İZLENMESİNDE UZAKTAN ALGILAMA METODUNUN KULLANILMASI

Çalışmanın bu bölümünde su kalite parametreleri ile Uzaktan Algılama verileri birlikte değerlendirilerek aralarındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmış ve geliştirilen çoklu regresyon modelleri kullanılarak kirlilik haritaları oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan veri gruplarını,

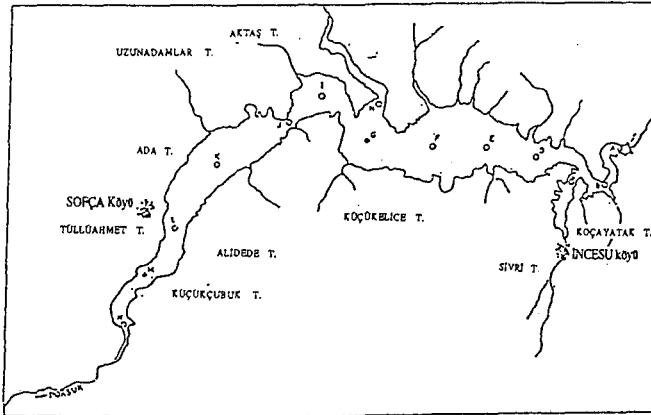
- a. Eskişehir-Kütahya arasında Eskişehir'e 40 km uzaklıkta Porsuk Çayı üzerinde kurulu Porsuk Baraj Gölü'nde (Bkz. Bölüm 4) DSI tarafından ölçülmüş olan Eylül 1987 yılı su kalite parametreleri (AKM, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, Klorofil -A, Işık geçirgenliği) (Bkz. EK 3) ve
- b. Eylül 1987 yılına ait sayısallaştırılmış Landsat-4 uydu verileri (TM1, TM2, TM3, TM4 bant verileri)

oluşturmaktadır.

Bu verilerin değerlendirilmesi için Excel, Cricket Graph ve Minitab istatistik paket programlarından, Uydu verilerinin (TM1, TM2, TM3, TM4) okunması, çalışma alanının sınıflandırılması ve haritalandırılması çalışmalarında ise ERDAS, MGI Base Image, MGI Advance Image Uzaktan Algılama ve CBS programlarından yararlanılmıştır.

5.1. Veri Toplama ve Değerlendirme

Porsuk Baraj Rezervuarı ile baraj gövdesi arasında yaklaşık 17 km'lik bölümde DSI tarafından seçilen 14 örnekleme istasyonunda her mevsim birkaç kez olmak üzere, yılda dört defa su kalitesi gözlem çalışmaları yapılmaktadır. DSI tarafından ölçüm yapılan örnekleme istasyonlarının konumları, Şekil 5.1'de verilmiştir. Her bir gözlem istasyonunda yüzey, orta ve dipten alınan su örneklerinde fiziksel (askıda katı madde, ışık geçirgenliği ve derinlik) ve kimyasal ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, klorofil-A) parametreler tayin edilmekte ve değerlendirilmektedir [58].



Şekil 5.1. Porsuk Baraj Gölü'nde DSI tarafından ölçüm alınan noktalar

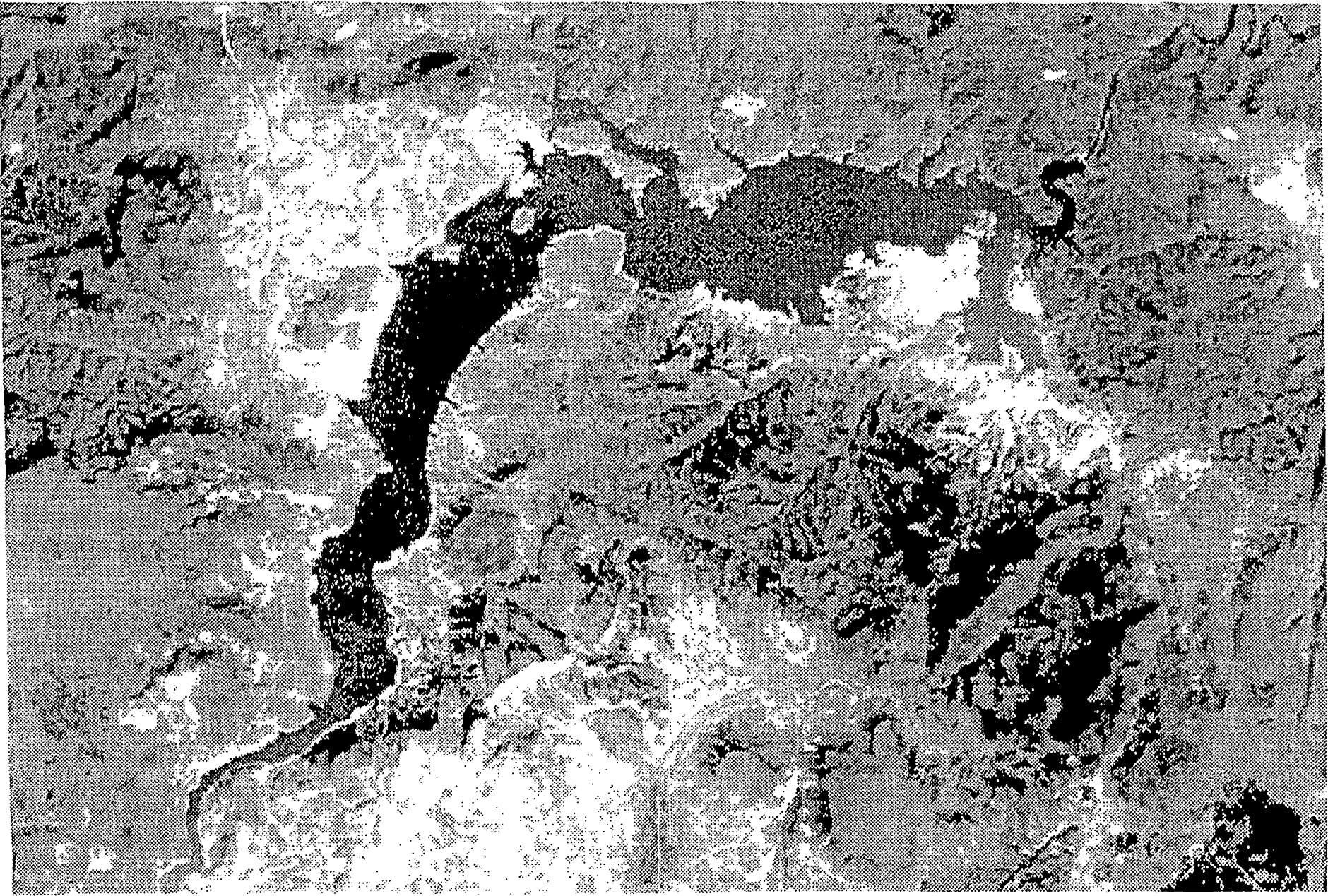
Çalışmada kirlilik parametreleri ile uydu verilerini karşılaştırmak ve aralarındaki korelasyonu tespit etmek amacıyla sayısallaştırılmış Landsat-4 Eylül 1987 yılı uydu

görüntüsü kullanılmıştır. Porsuk Baraj Gölü ve civarına ait TM1, TM2, TM3 ve TM4 görüntüleri üzerinde Contrast düzeltme (Lineer Percentage ve Gama) işlemleri yapılmış ve elde edilen iyileştirilmiş görüntüler Şekil 5.2-5.5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde (Bkz. Şekil 5.2-5.4) göl suyunun içinde ton farklılıklarının olduğu görülmektedir. Şekiller üzerindeki koyu renkler B.V. değerlerinin düşük (su ortamı için bulanıklığın az), açık renkler ise yüksek olduğu yerlere (su ortamı için bulanıklığın fazla) karşı gelmektedir. Oluşan ton farklılığından baraj gölünde su kalitesinin konuma bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, TM4 bandının (Şekil 5.5) kullanılmasıyla sulak yerlerin ayrımının çok net yapılabildiği görülmektedir.

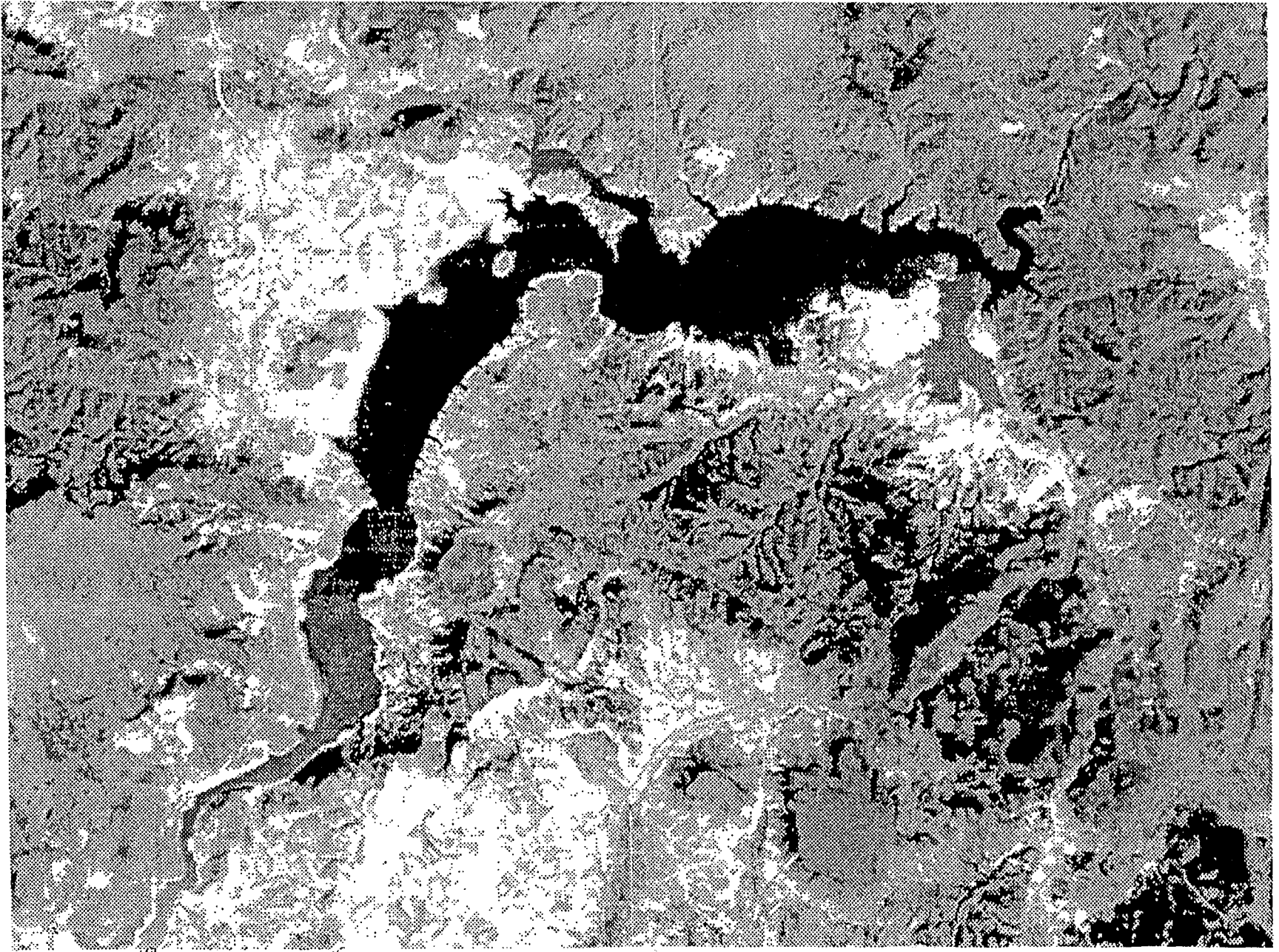
Yalnızca Porsuk Baraj Gölü'nün yer aldığı filtrelenmiş görüntü üzerinde DSI tarafından ölçüm alınan noktalar tespit edilerek, ışığın parlaklık değerinin (brightness value) okunmasında ERDAS ve MGE Base Image Programlarından yararlanılmıştır. [60], [61], [62], [63] tarafından yapılan çalışmaların da ışığı altında okunan piksel değerlerinin, fiziksel büyüklük şeklinde ifade edildiği radyans değerlerine ($mVcm^{-2}sr^2$) dönüştürülmesi işlemi yapılmış, elde edilen veriler Çizelge 5.1'de toplu halde gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Her Bir Ölçüm Noktası İçin Piksel ve Radyans Değerleri

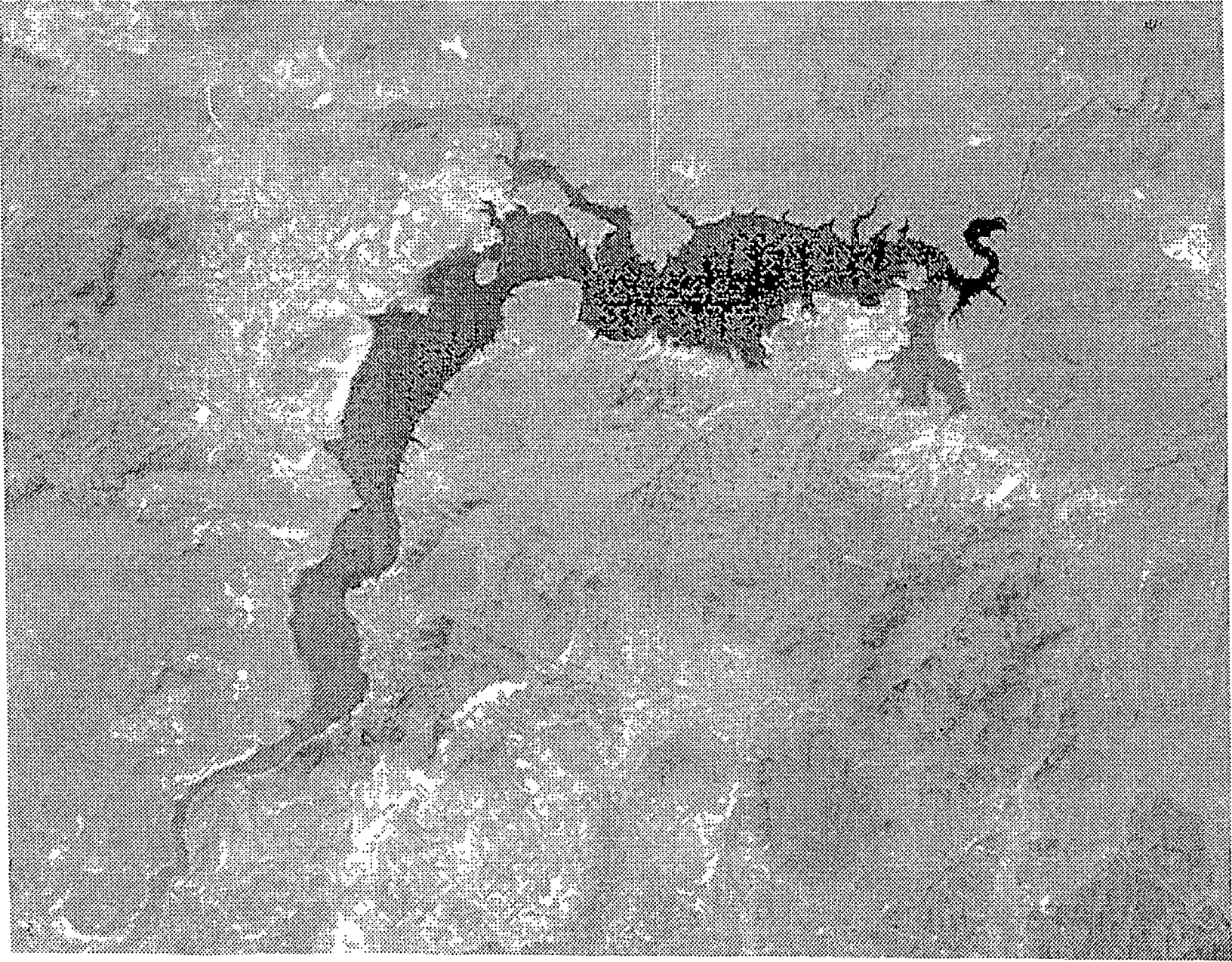
Noktalar	Brightness Value (B.V.)				Radyans değerleri ($mV.cm^{-2} sr^2$)			
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM1	TM2	TM3	TM4
A	73	26	20	10	0.486	0.453	0.226	0.300
B	74	26	18	10	0.489	0.453	0.216	0.300
C	82	32	24	11	0.512	0.502	0.245	0.311
D	79	28	22	10	0.503	0.469	0.235	0.300
E	76	28	19	11	0.495	0.469	0.221	0.311
F	78	29	22	11	0.500	0.478	0.235	0.311
G	78	26	22	11	0.500	0.453	0.235	0.311
H	79	29	22	11	0.503	0.478	0.235	0.311
İ	79	29	22	11	0.503	0.478	0.235	0.311
J	74	28	23	11	0.489	0.469	0.240	0.311
K	75	27	21	10	0.492	0.461	0.230	0.300
L	75	29	24	11	0.492	0.478	0.245	0.311
M	76	29	24	12	0.495	0.478	0.245	0.322
N	73	32	26	12	0.486	0.502	0.254	0.322
Not: Landsat-4 TM bantlarına ait B.V. değerlerini Radyans değerlerine dönüştürmek için $L=(L_{max}-L_{min})/255 \times DN + L_{min}$ eşitliğinden yararlanılmıştır. Burada, L her bir banda ait radyans DN ise B.V. değerlerini göstermektedir. L_{max} , dedektörde okunabilecek maksimum radyans ve L_{min} ise detektöre ulaşan minimum radyans değerleridir. B.V. değerlerinin radyans, değerlerine dönüştürülmesi sırasında her bir TM bandı için verilmiş olan L_{max} ve L_{min} değerlerinden yararlanılmıştır.								
Bant	L_{max}	L_{min}	Bant	L_{max}	L_{min}	Bant	L_{max}	L_{min}
1	1	0.28	3	1.35	0.13	5	0.6	0.08
2	2.33	0.24	4	3	0.19	7	0.43	0.046



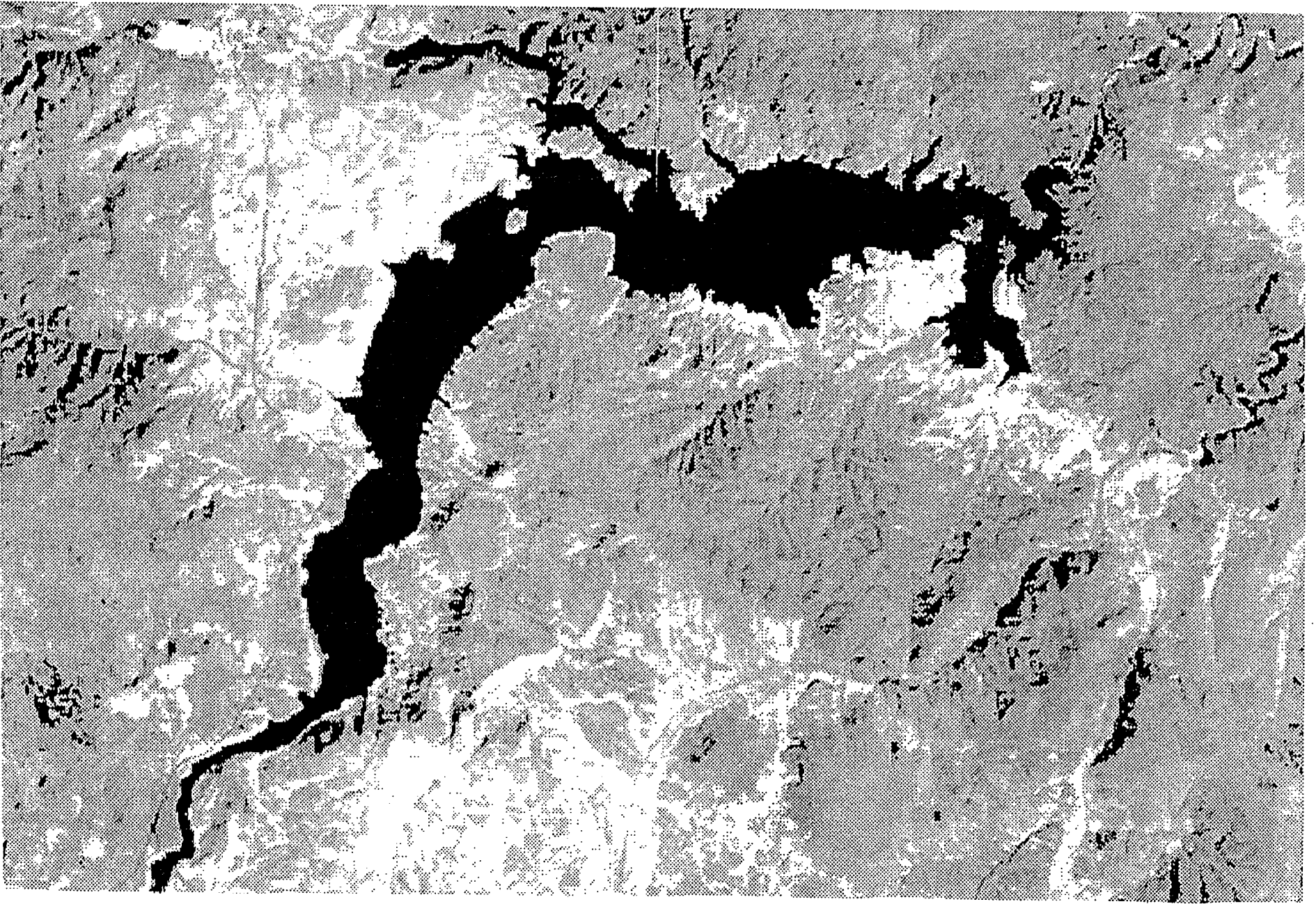
Şekil 5.2. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat 4 TM1 bandı görüntüsü (Su ortamı için B.V. değerleri; 71-91) (Eylül-1987)



Şekil 5.3. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat 4 TM2 bandı görüntüsü (Su ortamı için B.V. değerleri; 25-40) (Eylül-1987)

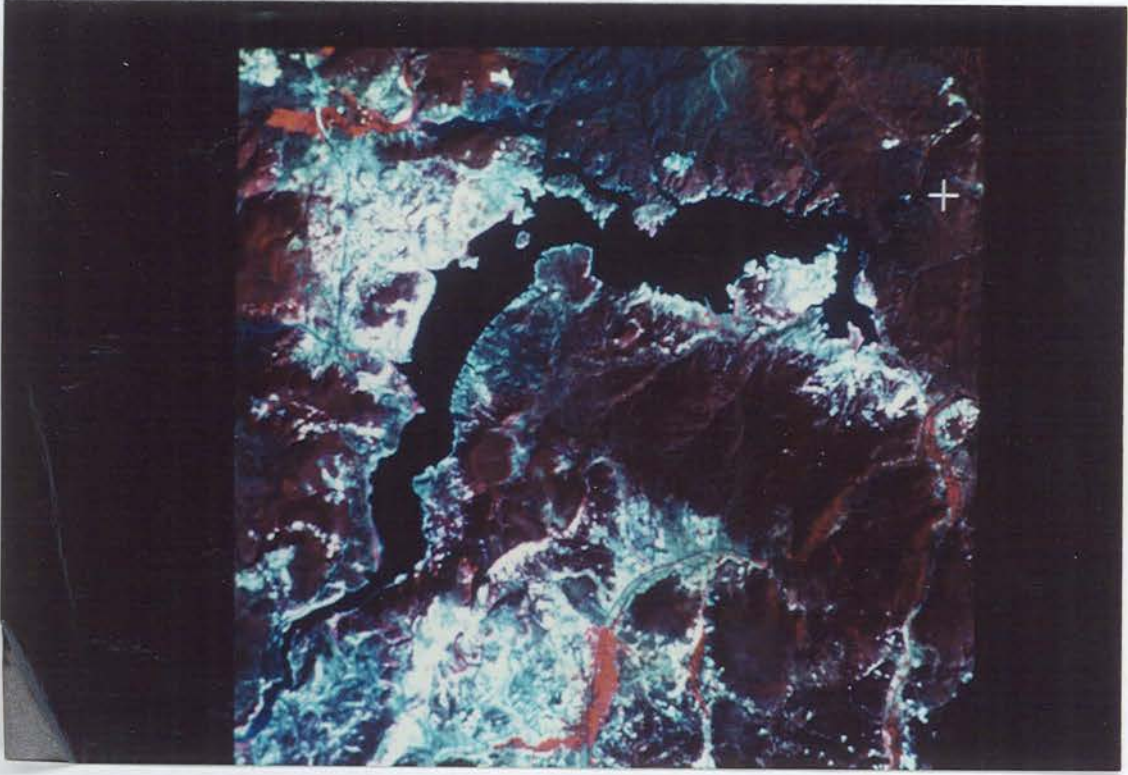


Şekil 5.4. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat 4 TM3 bandı görüntüsü (Su ortamı için B.V. değerleri; 20-40) (Eylül-1987)



Şekil 5.5. Porsuk Baraj Gölü ve civarında Landsat 4 TM4 bandı görüntüsü (Su ortamı için B.V. değerleri; 9-19) (Eylül-1987)

Şekil 5.6’da ise çalışma alanında TM 4, 3, 2 (RGB) kullanılarak oluşturulan çoklu bant kombinasyonu görülmektedir. Farklı bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan bu görüntüden Porsuk Baraj Gölü’nün ve baraj gölü civarındaki objelerin görsel olarak ayrımının yapılabildiği görülmektedir.



Şekil 5.6. Çalışma alanında TM 4, 3, 2 (RGB) kullanılarak oluşturulan çoklu bant kombinasyonu

5.2. Geçirilen Işık Şiddeti Derinliğinin (G.I.Ş.D.) Hesaplanması

Işık şiddeti değerlerinin Edo (yüzeydeki ışık şiddeti), Ed (su altındaki ışık şiddeti) okunmasında DSİ tarafından “LI-190SZ Quantum Sensor” adı verilen 400-700 μm dalga boyu aralığında fotosentetik aktif radians (PAR) cinsinden $\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ ve birimi ile ölçüm yapan ışık şiddeti ölçüm cihazı kullanılmaktadır [12].

Işık şiddeti değerleri, aynı anda hem su yüzeyinden (su yüzeyi quantum sensörü), hem de ölçüm alınan derinlikten (su altı quantum sensörü) ayrı ayrı okunmaktadır (Bkz. Çizelge 5.2). Çizelge 5.2 kullanılarak her noktada derinliğe bağlı olarak % geçen ışık şiddeti hesaplanmış $((\text{Edo}/\text{Ed}) \cdot 100)$ ve [64] kaynağında verilen esaslardan yararlanılarak ilgili sonuçlar Çizelge 5. 3’de derlenmiştir.

Çizelge 5.2. Porsuk Baraj Gölü'nde Yüzeyde ve Derinliklere Bağlı Olarak Ölçülen Işık Şiddeti Değerleri

A Noktası			B Noktası			C Noktası			D Noktası		
Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)
0.51	1750.22	1446.51	0.54	1593.64	1426.43	0.5	1730.89	1454.2	0.51	1487	1261.49
2	1731.49	194.33	2	1594.37	162.77	2	1657.43	158.7	2	1443.35	192
4	1730.65	163.63	4	1590.87	140.36	4	1792.14	150.64	4	1488.78	147.23
6	1820.05	104.9	6	1623.37	82.28	6	1827.66	71.78	6	1511.73	90.99
8	1801.8	56.67	8	1609.11	39.79	8	1794.18	28.85	8	1582.77	44.71
10	1790.2	27.5	10	1605.36	18.08	10	1717	12.4	10	1612.37	19.76
15	1588.88	4.76	15	1604.4	2.92	15	1609.59	1.19	15	1715.42	2.38
20	1769.3	1.03	20.19	1623.61	0.65	20	1590.14	0.32	20	1749.86	0.6
25	1814.73	0.32	25	1643	0.27	21	1558.85	0.22	23.96	1787.43	0.22
30	1845.42	0.22	28.66	1699.69	0.22						
E Noktası			F Noktası			G Noktası			H Noktası		
Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)
0.53	1440.76	1290.94	0.48	1638.74	1135.91	0.42	1216.22	1317.68	0.33	1605.61	1454.9
2	1634.48	596.02	2	1661.3	575.18	2	1144.1	684.47	2	1601.38	584.22
4	1621.43	268.8	4	1665.53	235.4	4	1671.93	238.12	4	1602.9	263.54
6	1628.8	106.15	6	1672.17	94.35	6	1664.08	100.14	6	1602.34	112.64
8	1600.53	48.34	8	1683.41	40.87	8	1666.98	43.84	8	1592.07	46.77
10	1606.48	21.49	10	1683.29	18.19	10	1659.73	19.27	10	159.73	19.43
15	1600.05	3.19	15	1680.39	2.49	11	1681.23	12.07	12	1617.9	4.28
20	1584.7	0.87	20	1679.3	0.6	12	1601.6	7.47	13	1656.47	1.79
25	1504.73	0.32	25	1683.53	0.22	13	1686.79	4.28	14	1677.05	0.54
26	1484.43	0.27				14	1667.58	2.33	15	1662.27	0.27
						15	1660.84	1.46	17	1657.8	0.16
						21.37	1660.39	0.27			
Y.I.Ş.; Yüzeydeki Işık Şiddeti											
B.D.I.Ş.; Belirli Derinlikteki Işık Şiddeti											
(*) Yüzeyde ve su içinde belirli derinliklerde ölçülen ışık şiddetinin birimi ; $\mu \text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ 'dir.											

Çizelge 5.2.'nin devamı

I Noktası			J Noktası			K Noktası			L Noktası		
Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)
0.39	1582.65	1693.56	0.31	1701.53	1450.19	0.28	1641.85	1454.2	0.34	1369.21	1490.98
2	1681.36	480.4	2	1702.74	312.39	1.9	1638.1	161.96	2	103.28	1517.4
4	1660	24.01	4	1687.88	143.66	4.01	1618.4	56.89	4	12.94	1597
6	1657.3	89.26	6.12	1680.03	40.43	6.12	1608.38	17.7	5	5.3	1599.9
8	1643.94	35.02	8	1643.78	17.87	8	1601.01	6.22	6	3.41	1590.6
10	1646.8	12.07	10	1650.55	7.47	10	1606.45	2.27	7	2.11	1589.9
12	1646.32	4.98	12	1655.98	3.14	12	1610.92	0.92	8	1.3	1575.28
13	1642.09	3.3	13	1657.56	1.95	13	1613.94	0.65	10	0.6	1532
14	1630.25	2.03	14	1632.06	1.14	15	1615.75	0.38	12	0.32	1514.75
15	1639.31	1.35	15	1645.72	0.76	16.42	1611.28	0.27	13	0.27	1510.04
17	1648.25	0.54	18	1648.76	0.32	17	1611.4	0.22	14	0.22	1507
			18.67	1694.96	0.27				14.17	0.16	1502
M Noktası			N Noktası								
Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)	Derinlik (m)	Y. I. Ş. (*)	B.D.I.Ş. (*)						
0.29	1468.7	1294.46	0.29	1371.59	1105.17						
2	1459.8	30.1	2	1370.5	24.74						
4	1448.67	42.8	4	1338	2.92						
5	1449.15	1.57	5	1356.7	0.92						
6	1433.54	0.65	6	1341.75	0.38						
7	1425.47	0.43	7	1287.14	0.27						
8	1432.6	0.32	8	1304.42	0.22						
9	1422.9	0.27	9	1294.27	0.16						
10	1435.86	0.22	10	1279.5	0.16						
			11	1285.3	0.16						
Y.I.Ş.; Yüzeydeki Işık Şiddeti											
B.D.I.Ş.; Belirli Derinlikteki Işık Şiddeti											
(*) Yüzeyde ve su içinde belirli derinliklerde ölçülen ışık şiddetinin birimi ; $\mu \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 'dir.											

Çizelge 5.3'deki veriler kullanılarak ışık şiddetinin sıfır olduğu noktalar hesaplanmış ve Geçirilen Işık Şiddeti Derinliği (G. I. Ş. D.) olarak kabul edilmiştir. Işık şiddetinin sıfır olduğu noktaların tespit edilmesinde kullanılan eşitlikler, % korelasyon katsayıları ve bu eşitliklerden yararlanılarak hesaplanan G. I. Ş. D. değerleri Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Porsuk Baraj Gölü'nde Derinliğe Bağlı Olarak Geçen Işık (%)'si

Geçen Işık (%) Derinlik (m)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0.51	82.65	89.51	84.01	84.83	78.68	69.32	92.30	90.61	107.01	85.23	88.57	91.83	88.14	80.58
2.00	11.22	10.21	9.58	13.30	36.47	34.62	59.83	36.48	28.57	18.35	9.89	6.81	2.06	1.81
4.00	9.45	8.82	8.41	9.89	16.58	14.13	14.24	16.44	1.45	8.51	3.52	0.81	2.95	0.22
6.00	5.76	5.07	3.93	6.02	6.52	5.64	6.02	7.03	5.39	2.41	1.10	0.21	0.05	0.03
8.00	3.15	2.47	1.61	2.82	3.02	2.43	2.63	2.94	2.13	1.09	0.39	0.08	0.02	0.02
10.00	1.54	1.13	0.72	1.23	1.34	1.08	1.16	1.22	0.73	0.45	0.14	0.04	0.02	0.01
15.00	0.30	0.18	0.07	0.14	0.20	0.15	0.09	0.02	1.35	0.76	0.02	0.00	0.00	0.00
20.00	0.06	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.01	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
25.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 5.4. G. I. Ş. D. Değerlerinin Hesaplanması İçin Oluşturulan Eşitlikler ve Korelasyon Katsayıları

Ölçüm noktaları	Oluşturulan eşitlikler	Korelasyon Katsayısı (%)	G.I.Ş.D. (m)
A	$y=0.144-0.00459*X$	92	31.37
B	$y=0.088-0.0025*X$	90	34.23
C	$y=0.1296-0.00459*X$	91	28.42
D	$y=0.101-0.0034*X$	99.5	29.70
E	$y=0.123-0.00369*X$	90	33.46
F	$y=0.0486-0.0016*X$	99	29.50
G	$y=0.21067-0.0088*X$	94	23.90
H	$y=0.040667-0.0016*X$	99	25.41
I	$y=3.2167-0.135*X$	93	23.82
J	$y=1.84-0.076*X$	90	23.77
K	$y=0.2665-0.0141*X$	93	18.90
L	$y=0.16251-0.011077*X$	96	15.00
M	$y=0.064868-0.0045475*X$	94	11.64
N	$y=0.0431551-0.00294*X$	94	13.15

5.3. TM Değerleri Kullanılarak Bulanıklık Sınıflandırmasının Oluşturulması

TM3 bant verisi kullanılarak, ışığın penetrasyon derinliğine bağlı olarak yüzeydeki türbidite sınıflandırması yapılmıştır (Şekil 5.7). Şekil incelendiğinde, barajı, oluşan renklenme durumuna bağlı olarak 5 ana bölgeye ayırmak mümkündür.

Buna göre, TM3 bandının (Şekil 5.7) kullanılması, yani ışığın yüzeyden yansımaları durumunda oluşan bölgedeki kirlilik sınıflandırması aşağıda verildiği şekilde yorumlanabilir.

1. Bölge, kirlilik bakımından oldukça yoğun olup, okunan B.V. değerleri yüksektir. 2. Bölgede girişte sürüklenen askıda katı madde çökelmesi için kirlilik nispeten azalmaktadır. Suyun baraj gövdesine yaklaştığı 3. Bölge’de ise askıda katı maddeler tamamen çöküp, ışık geçirgenliği su içindeki fitoplanktonlardan etkilenmektedir. 4. Bölge’de organik madde miktarı azalacağı için fitoplankton üremesi yavaşlayacaktır. Dolayısıyla su girişine nazaran temizlendiği için ışığın daha derinlere nüfus etmesi mümkün olacaktır. 5. Bölge’de ise baraj suyu, diğer bölgelere oranla daha fazla temizlenmiş olarak baraj gölünü terk etmektedir.

Bu çalışmanın sonunda, yapılan sınıflandırmalara göre barajın bir önçökeltme havuzu niteliği taşıdığı, baraja giren suyun baraj içinde partikül madde açısından nispeten temizlenmiş olarak barajı terk ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7. Porsuk Baraj Gölü’nün, TM3 bant değerlerinin kullanılması sonucu oluşan kirlilik sınıflandırmasının görüntüsü

5.4. İstatistiksel Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde, Porsuk Baraj Rezervuarında su kalite parametrelerinin (AKM, NO₃-N, PO₄-P, Klorofil-A, ışık geçirgenliği) Uzaktan Algılama yöntemi ile izlenebilirliğinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak Uzaktan Algılama verileri ile her bir kirlilik bileşene ait ölçüm verileri derinlikleriyle orantılı bir şekilde korelasyona tabi tutularak, korelasyon katsayısı belirlenmiş ve uydu verileri ile en iyi korelasyonu veren ölçüm parametreleri tespit edilmiştir.

Su kalitesinin izlenmesinde Uzaktan Algılama metodunun kullanımı konusunda ilgili çalışmalarda AKM, S.D.D. ve Klorofil-A başta olmak üzere diğer bazı su kalite

parametrelerinin başarıyla kullanıldığı anlaşılmıştır [65], [66]. Literatürde, NO₃-N, PO₄-P gibi organik maddelerin en önemli mikroorganizma besin maddesi olduğu ve mikroorganizmaların yumaklaşma özellikleri nedeniyle ışık geçirgenliklerini etkilediği ve Klorofil-A değerini arttırdığına yönelik çalışmalar da yer almaktadır [67], [68], [69]. Dolayısıyla NO₃-N, PO₄-P gibi organik maddelerin dolaylı olarak Uzaktan Algılama yöntemleriyle izlenebilirliği tespit edilmiştir.

Literatür verilerinin ışığında Porsuk Baraj Rezervuarı üzerinde yapılan bu çalışmada, özellikle Baraj Rezervuarında PO₄-P değerlerine kıyasla yoğun miktarda bulunan NO₃-N değerlerinin Uzaktan Algılama yöntemiyle izlenebilirliğinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

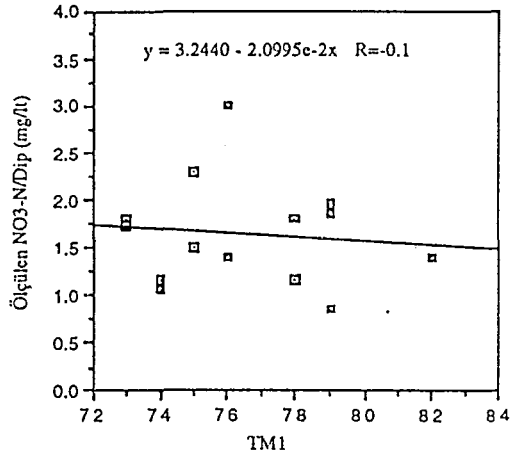
Şekil 5.8-5.12'deki grafiklerde Brightness Value ile su kalite ölçüm verileri arasında bağıntı gösterilmiştir. Şekillerde, yüzey-NO₃-N değeri ile TM4 ve TM3 bant değerleri (Bkz. Şekil 5.8 (c), (d)), yüzey AKM değerleri ile TM4 ve TM3 bant değerleri (Bkz. Şekil 10 (c), (d)), klorofil-A değerleri ile TM4 ve TM3 bant değerleri (Bkz. Şekil 11 (c), (d)), G.I.Ş.D. değeri ile TM4 ve TM3 bant değerleri (Bkz. Şekil 5.12 (c), (d)) arasında doğrusal bir bağıntının bulunduğu ortaya konulmuştur.

Porsuk Baraj Gölü ötrofik bir yapıya sahip olduğu için, baraj gölünde kirlilik, suyun yüzeyinde toplanmış olduğundan, ışık, suyun dip kesimlerine ulaşamamaktadır. Bu nedenle, çalışmada TM1 bandı için yapılan korelasyon analizi sonucunda uydu verileri ile ölçüm verileri arasında iyi bir korelasyon bulunmamaktadır. Çizelge 5.5.'den de anlaşılacağı üzere, Porsuk Baraj Gölü'nde PO₄-P hariç diğer su kalite parametreleri (AKM, NO₃-N, G.I.Ş.D. ve klorofil-A) ile Landsat TM bant verileri arasındaki lineer korelasyon katsayıları oldukça yüksektir.

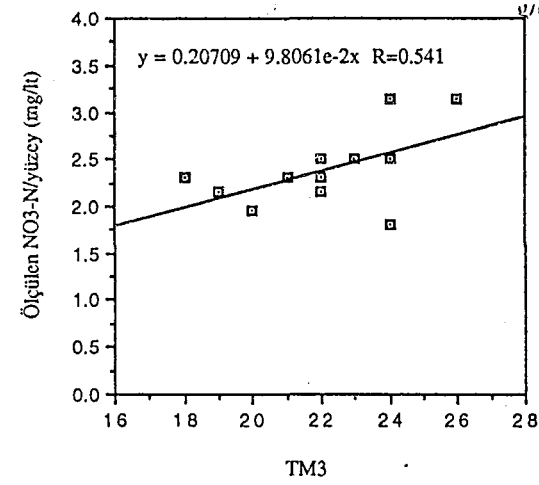
Bölüm 2'de de ayrıntılı bir şekilde verildiği üzere, su ortamlarında bulunan fosforun büyük bir bölümü su tabanlarındaki sedimentlere tutunmuş olarak katı fazda bulunmaktadır. Bu nedenle, yüzey sularından alınan örneklerde yapılan fosfor analizleri toplam fosfor miktarını yansıtmamaktadır. Yalnızca suda çözünmüş fosfor miktarları yerine katı fazda bulunan fosfor miktarlarının da dikkate alındığı korelasyon çalışmalarının daha iyi sonuç vereceği muhakkaktır. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde Uzaktan Algılama verileriyle iyi bir korelasyon vermeyen fosfor parametresi kullanılmamıştır.

Çizelge 5.5. Su kalite parametreleri ile TM Bant değerleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları (R)

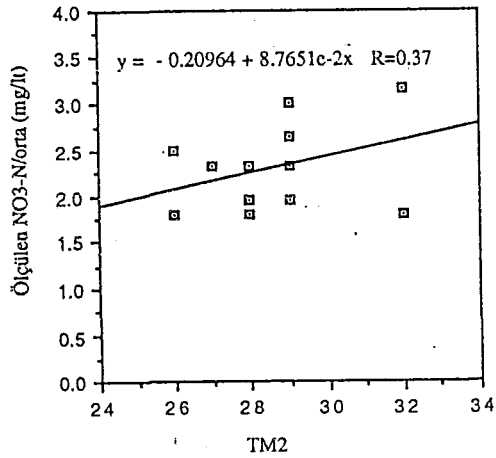
R Değeri	TM 1 (B.V.)	TM 2 (B.V.)	TM 3 (B.V.)	TM 4 (B.V.)
Parametreler				
AKM	0.044	0.27	0.576	0.576
NO 3-N	-0.1	0.37	0.541	0.704
PO 4-P	0.22	0.325	0.104	-0.17
Klorofil -A	0.518	0.23	0.551	0.609
G.I.Ş.D.	0.22	0.4	0.77	0.65



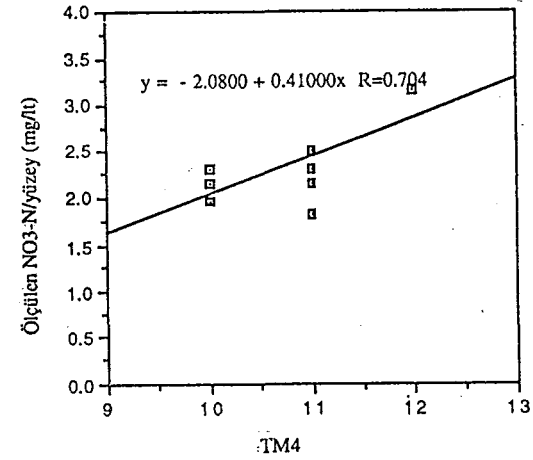
(a)



(c)

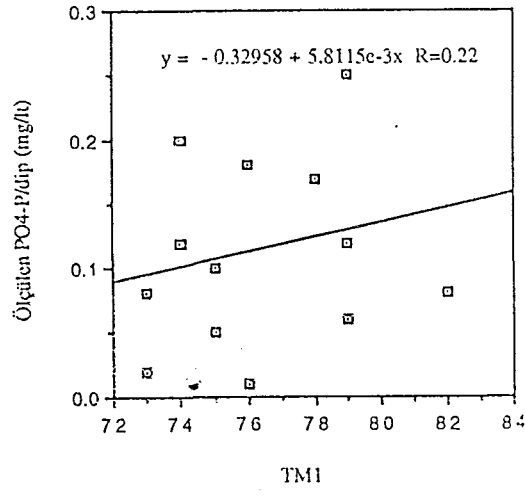


(b)

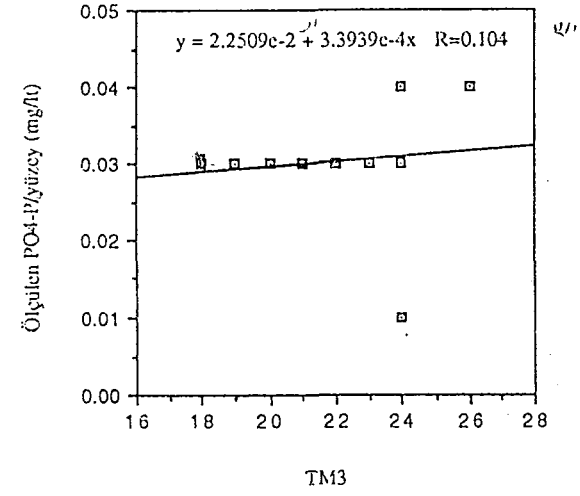


(d)

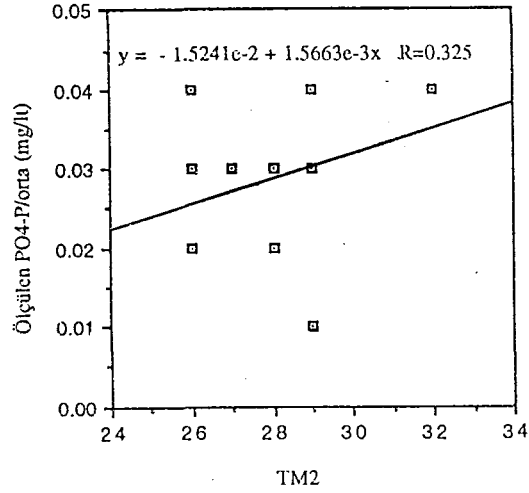
Şekil 5.8. Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı NO₃-N/dip, (b) TM2 değerlerine karşı NO₃-N/orta, (c) TM3 değerlerine karşı NO₃-N/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı NO₃-N/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi



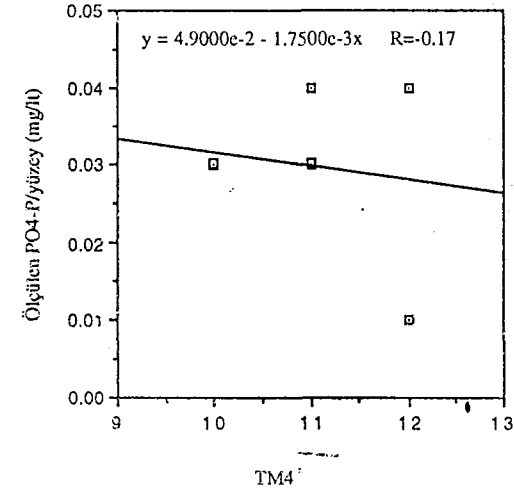
(a)



(c)

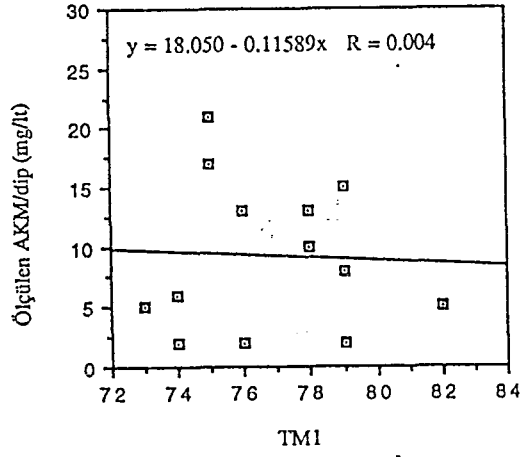


(b)

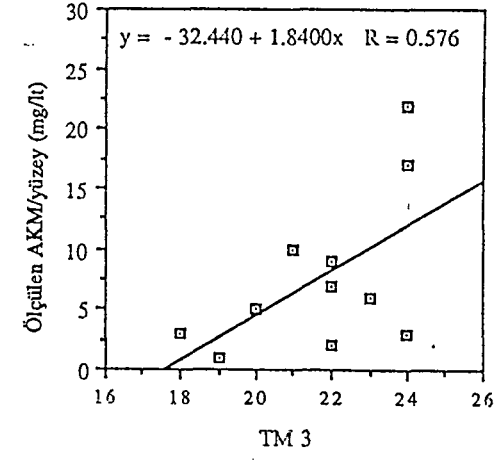


(d)

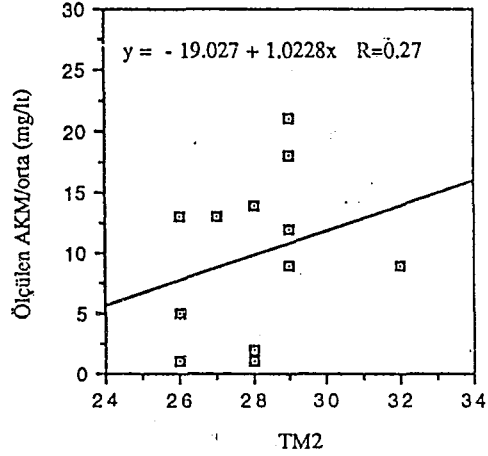
Şekil 5.9. Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı PO4-P/dip, (b) TM2 değerlerine karşı PO4-P/orta, (c) TM3 değerlerine karşı PO4-P/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı PO4-P/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi



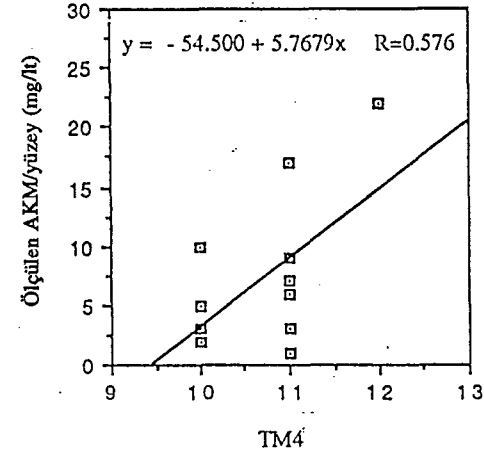
(a)



(c)

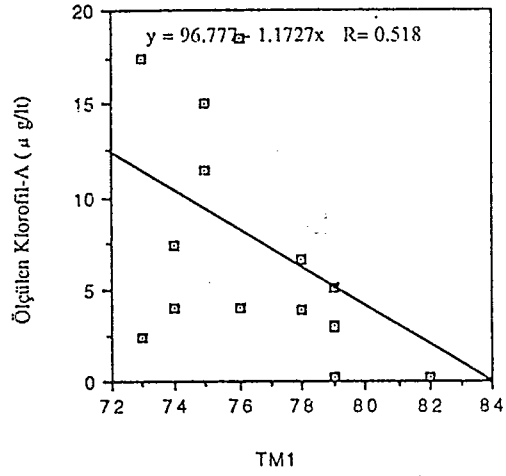


(b)

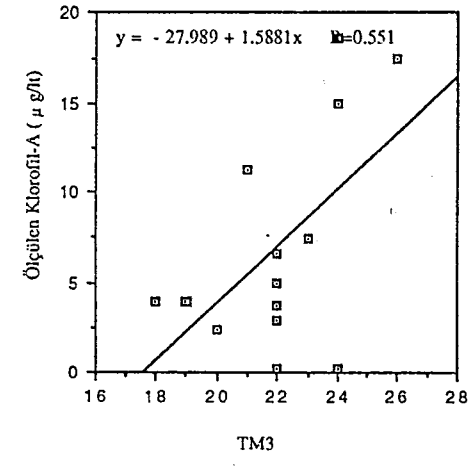


(d)

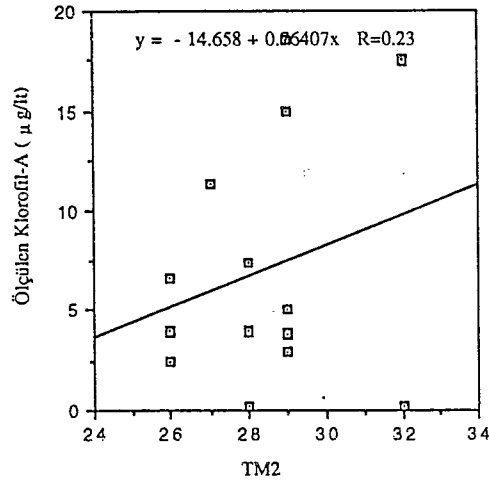
Şekil 5.10. Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1 değerlerine karşı AKM/dip, (b) TM2 değerlerine karşı AKM/orta, (c) TM3 değerlerine karşı AKM/yüzey ve (d) TM4 değerlerine karşı AKM/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi



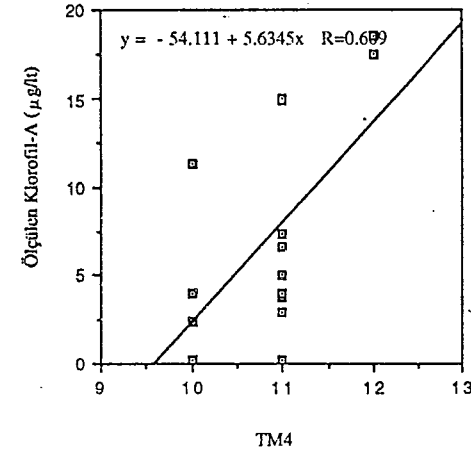
(a)



(c)

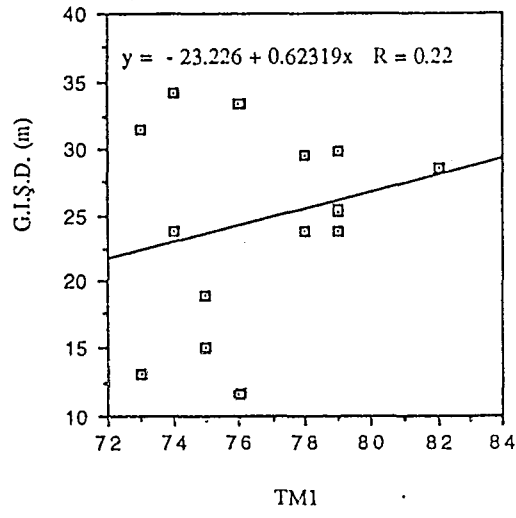


(b)

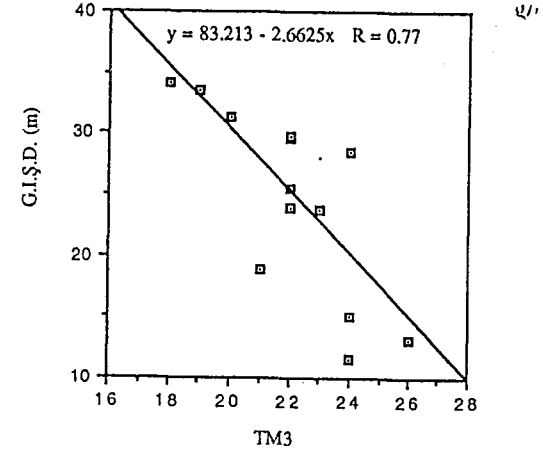


(d)

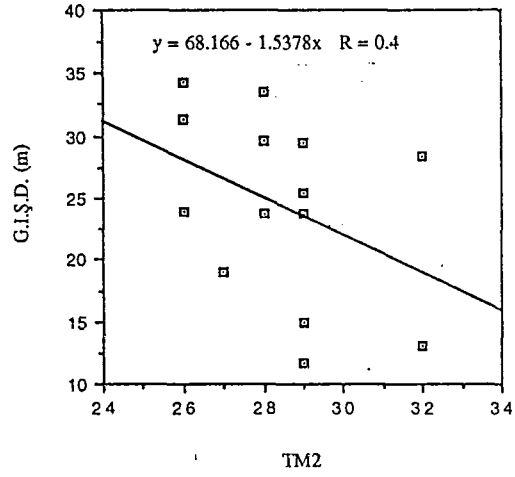
Şekil 5.11. Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3 ve (d) TM4 değerlerine karşı Klorofil-A değerlerinin grafiksel gösterimi



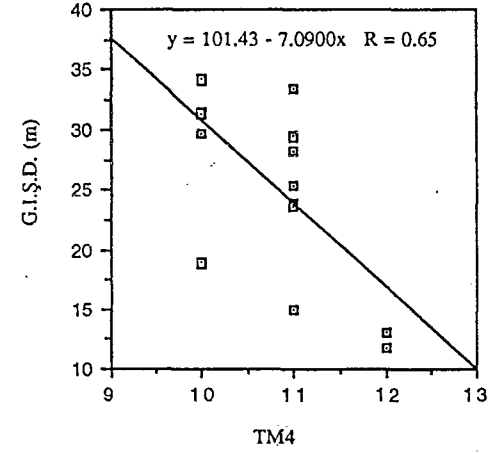
(a)



(c)



(b)



(d)

Şekil 5.12. Porsuk Baraj Gölü'nde (a) TM1, (b) TM2, (c) TM3 ve (d) TM4 değerlerine karşı G.I.Ş.D. değerlerinin grafiksel gösterimi

5.5. Çoklu Regresyon Analizinin Uygulanması

Su kalite parametreleri ölçüm verileri ile bant değerleri arasında en iyi ilişkiyi bulmak üzere çoklu regresyon analizi uygulanmıştır.

$$\text{Su kalite parametresi (mg/l)} = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 + e \cdot x_4 \quad (5.1)$$

Burada, x_1, x_2, x_3, x_4 değerleri, sırasıyla Bant 1, 2, 3 ve 4 için ışığın parlaklık değerlerini göstermektedir. Su kalite parametreleri (AKM, NO₃-N, klorofil-A ve G.I.Ş.D.) için çoklu regresyon analizi sonucunda bulunan eşitlikler ve R değerleri Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Ölçüm değerleri ile Uzaktan Algılama Verilerinin Çoklu Regresyon Eşitlikleri ve Korelasyon Katsayıları

Su kalite Parametreleri		Oluşturulan Fonksiyon	R (%)	Eşitlik No
AKM (mg/l)	Yüzey	$17.8 - 1.05 \times TM1 - 0.64 \times TM2 + 2.06 \times TM3 + 1.05 \times TM4$	81.5	5.2
	Orta	$6.5 - 0.726 \times TM1 - 1.16 \times TM2 + 3.0 \times TM3 + 3.65 \times TM4$	92	5.3
	Dip	$8.8 - 0.348 \times TM1 - 1.35 \times TM2 + 2.49 \times TM3 + 1.02 \times TM4$	62	5.4
NO ₃ -N (mg/l)	Yüzey	$2.84 - 0.585 \times TM1 - 0.0502 \times TM2 + 0.0576 \times TM3 + 0.383 \times TM4$	86	5.5
	Orta	$0.86 - 0.0148 \times TM1 - 0.108 \times TM2 + 0.123 \times TM3 + 0.426 \times TM4$	82	5.6
	dip	$0.79 - 0.0203 \times TM1 - 0.067 \times TM2 + 0.126 \times TM3 + 0.139 \times TM4$	46	5.7
Klorofil-A (mg/m ³)		$44.2 - 1.17 \times TM1 - 0.880 \times TM2 + 1.49 \times TM3 + 4.08 \times TM4$	87	5.8
G.I.Ş.D. (m)		$32.5 + 0.638 \times TM1 + 1.53 \times TM2 - 3.23 \times TM3 - 2.67 \times TM4$	88	5.9

5.2 eşitliğine göre hesaplanan AKM/yüzey değerleri ve % hataları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan AKM/yüzey değerine karşı ölçülen AKM/yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 5.13'de yer almaktadır.

Kirletici bileşenler için oluşturulan modellerin doğruluğunu test etmek üzere Chi² testi kullanılmıştır. Chi² değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Chi}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - E_i)^2}{E_i} \quad (5.10)$$

Burada:

P_i: Ölçülen değerler

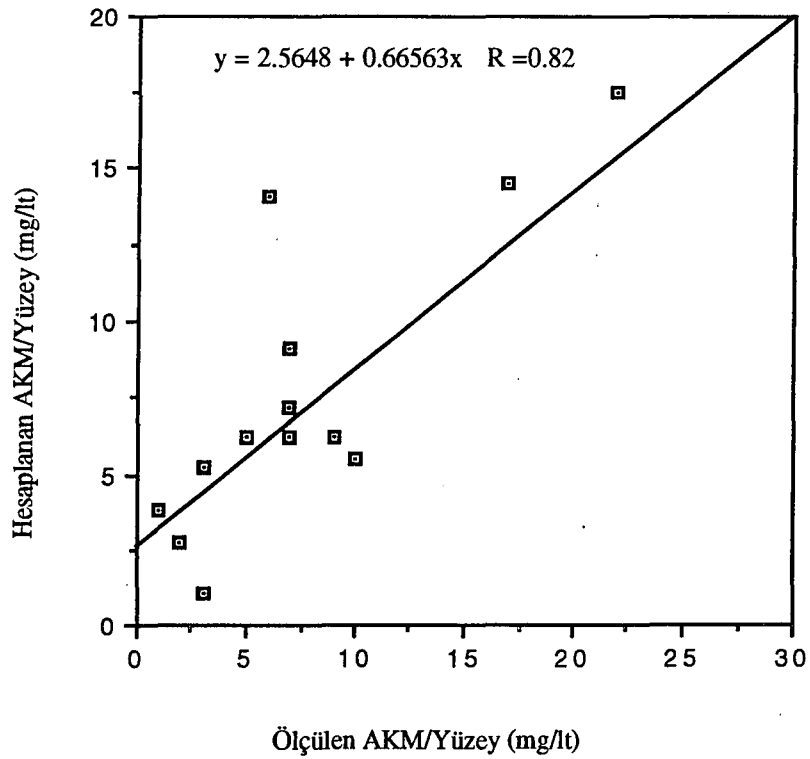
E_i: Türetilen değerlerini göstermektedir.

Her bir ölçüm parametresi için hesaplanan Chi² değerleri standart tablo değerleri ile kıyaslandığında % 95 güven aralığında verilen değerleri aşmadığı görülmüştür.

5.3, 5.5, 5.8 ve 5.9 eşitlikleri kullanılarak AKM, NO₃-N, klorofil-A ve G.I.Ş.D. için oluşturulan modeller, bu parametrelerin kirlilik haritalarının oluşturulması amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 5.7. AKM/Yüzey Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan AKM/yüzey (mg/l)	Ölçülen AKM/yüzey (mg/l)	Fark	% Hata
A	6.21	5	-1.21	-24.2
B	1.04	3	1.96	65.33
C	5.21	3	-2.21	-73.67
D	2.75	2	-0.75	-37.50
E	3.77	1	-2.77	-277.00
F	7.21	7	-0.21	-3.00
G	9.13	7	-2.13	-30.43
H	6.16	7	0.84	12.00
I	6.16	9	2.84	31.56
J	14.11	6	-8.11	-135.17
K	5.53	10	4.47	44.70
L	14.48	17	2.52	14.82
M	17.48	22	4.52	20.55

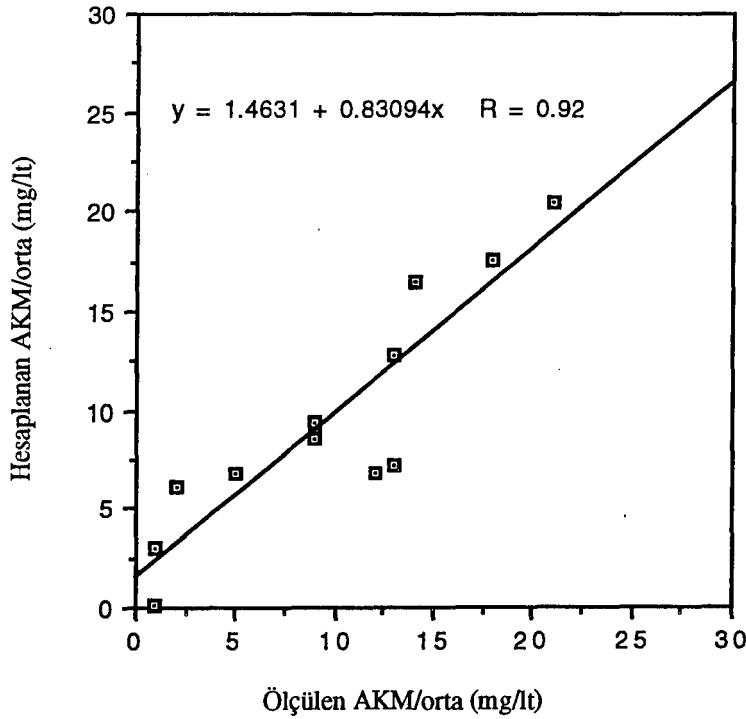


Şekil 5.13. Ölçülen ve hesaplanan AKM/yüzey değerlerinin karşılaştırılması

5.3 no'lu eşitliğe göre hesaplanan AKM/orta değerleri ve % hataları Çizelge 5.8'de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan AKM/orta değerine karşı ölçülen AKM/orta değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.14'te yer almaktadır.

Çizelge 5.8. AKM/Orta Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan AKM/orta (mg/lt)	Ölçülen AKM/orta (mg/lt)	Fark	% Hata
A	6.85	5.00	-1.85	-37.00
B	0.11	1.00	0.89	89.00
C	8.99	9.00	0.01	0.11
D	6.16	2.00	-4.16	-208.00
E	2.99	1.00	-1.99	-199.00
F	9.38	9.00	-0.38	-4.22
G	12.86	13.00	0.14	1.08
H	6.85	12.00	5.15	42.92
İ	8.65	9.00	0.35	3.89
J	16.44	14.00	-2.44	-17.43
K	7.23	13.00	5.77	44.38
L	17.56	18.00	0.44	2.44
M	20.48	21.00	0.52	2.48

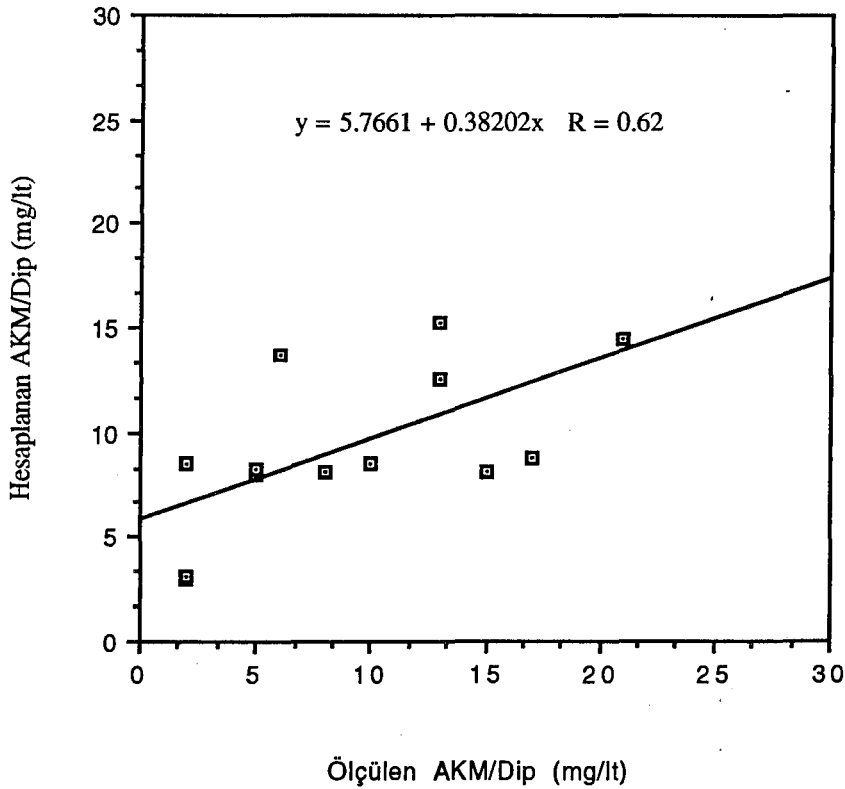


Şekil 5.14. Ölçülen ve hesaplanan AKM/orta değerlerinin karşılaştırılması

5.4 no'lu eşitliğe göre hesaplanan AKM/dip değerleri ve % hataları Çizelge 5.9'da verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan AKM/dip değerine karşı ölçülen AKM/dip değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.15'te yer almaktadır.

Çizelge 5.9. AKM/dip Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan AKM/dip (mg/lt)	Ölçülen AKM/dip (mg/lt)	Fark	% Hata
A	8.29	5.00	-3.29	-65.80
B	2.96	2.00	-0.96	-48.00
C	8.04	5.00	-3.04	-60.88
D	8.48	2.00	-6.48	-324.00
E	3.08	2.00	-1.08	-54.10
F	8.50	10.00	1.50	15.00
G	12.55	13.00	0.45	3.46
H	8.16	15.00	6.84	45.61
I	8.16	8.00	-0.16	-1.97
J	13.73	6.00	-7.73	-128.83
K	8.74	17.00	8.26	48.59
L	14.53	21.00	6.47	30.81
M	15.20	13.00	-2.20	-16.92

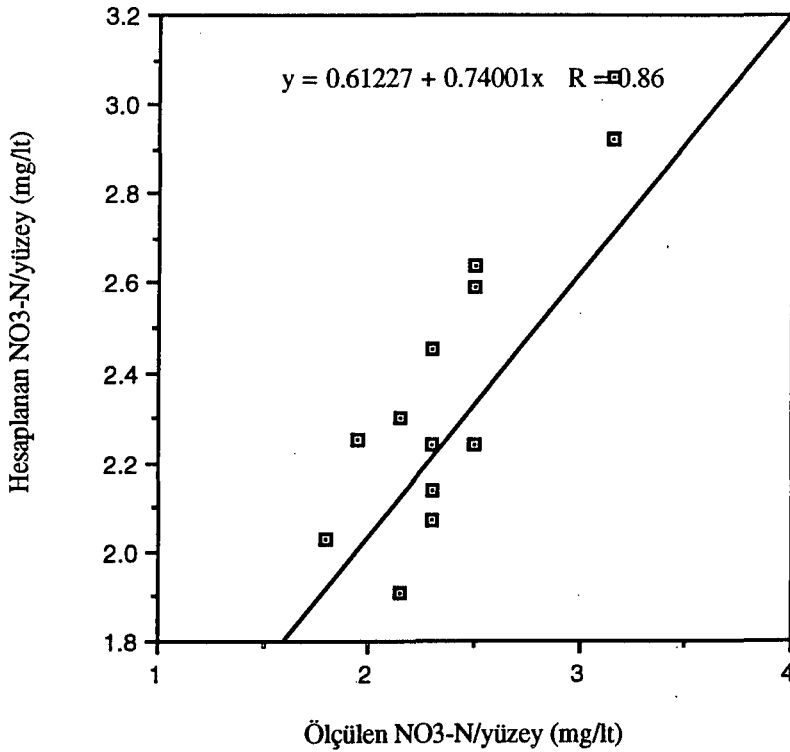


Şekil 5.15. Ölçülen ve hesaplanan AKM/dip değerlerinin karşılaştırılması

5.5 no'lu eşitliğe göre hesaplanan NO₃-N/Yüzey değerleri ve % hataları Çizelge 5.10'da verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan NO₃-N/Yüzey değerine karşı ölçülen NO₃-N/Yüzey değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.16'da yer almaktadır.

Çizelge 5.10. NO₃-N/Yüzey Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan NO ₃ -N/yüzey (mg/l)	Ölçülen NO ₃ -N/yüzey (mg/l)	Fark	%Hata
A	2.25	1.95	0.30	15.19
B	2.07	2.30	-0.23	-9.89
C	2.03	1.80	0.23	12.89
D	1.91	2.15	-0.24	-11.16
E	2.30	2.15	0.15	6.78
F	2.30	2.15	0.15	7.04
G	2.45	2.30	0.15	6.61
H	2.24	2.50	-0.26	-10.28
İ	2.24	2.30	-0.06	-2.48
J	2.64	2.50	0.14	5.73
K	2.14	2.30	-0.16	-7.10
L	2.59	2.50	0.09	3.68
M	2.92	3.15	-0.23	-7.41
N	3.06	3.15	-0.09	-2.96

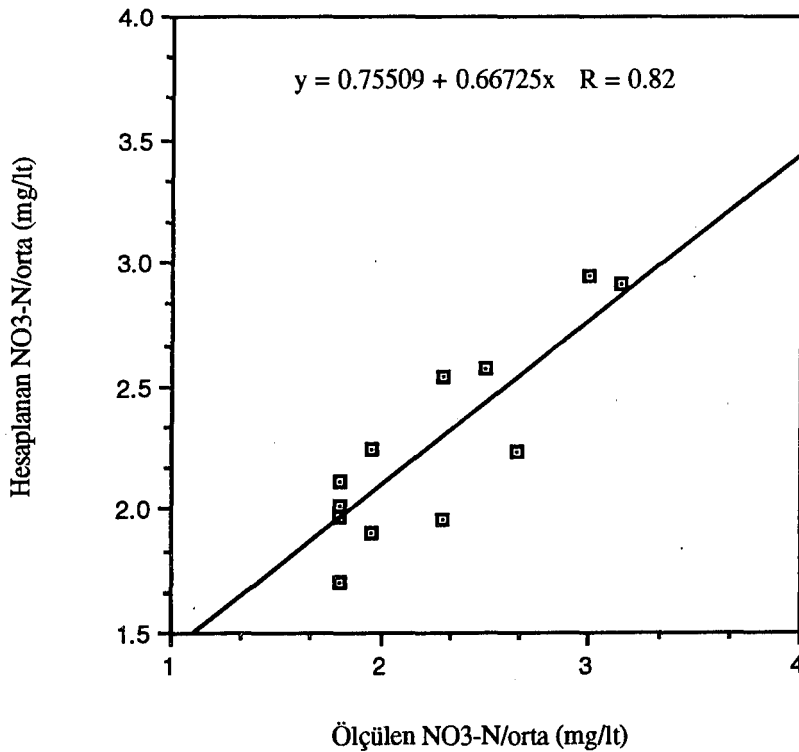


Şekil 5.16. Ölçülen ve hesaplanan NO₃-N/Yüzey değerlerinin karşılaştırılması

5.6 no'lu eşitliğe göre hesaplanan NO₃-N/Orta değerleri ve % hataları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan NO₃-N/Orta değerine karşı ölçülen NO₃-N/Orta değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.17'de yer almaktadır.

Çizelge 5.11. NO₃-N/Orta Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan NO ₃ -N/orta (mg/lt)	Ölçülen NO ₃ -N/orta (mg/lt)	Fark	%Hata
A	1.97	1.8	0.17	9.53
B	1.71	1.8	-0.09	-4.96
C	2.11	1.8	0.31	17.13
D	1.91	1.95	-0.04	-1.91
E	2.01	1.8	0.21	11.90
F	2.25	1.95	0.30	15.16
G	2.57	2.5	0.07	2.78
H	2.23	2.65	-0.42	-15.82
İ	2.23	2.65	-0.42	-15.82
J	2.54	2.3	0.24	10.25
K	1.96	2.3	-0.34	-14.91
L	2.54	2.3	0.24	10.26
M	2.95	3	-0.05	-1.76
N	2.91	3.15	-0.24	-7.50

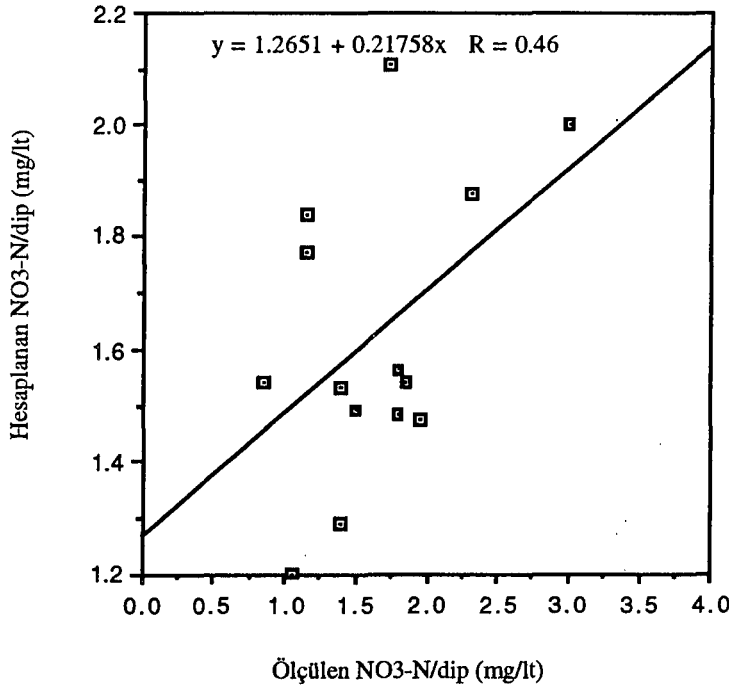


Şekil 5.17. Ölçülen ve hesaplanan NO₃-N/Orta değerlerinin karşılaştırılması

5.7 no'lu eşitliğe göre hesaplanan NO₃-N/Dip değerleri ve % hataları Çizelge 5.12'de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan NO₃-N/Dip değerine karşı ölçülen NO₃-N/Dip değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.18'de yer almaktadır.

Çizelge 5.12. NO₃-N/Dip Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan NO ₃ -N/dip (mg/lt)	Ölçülen NO ₃ -N/dip (mg/lt)	Fark	%Hata
A	1.48	1.8	-0.32	-17.99
B	1.20	1.05	0.15	14.29
C	1.53	1.4	0.13	9.60
D	1.47	1.95	-0.48	-24.50
E	1.29	1.4	-0.11	-7.56
F	1.56	1.8	-0.24	-13.08
G	1.77	1.15	0.62	53.53
H	1.54	1.85	-0.31	-16.52
İ	1.54	0.85	0.69	81.68
J	1.84	1.15	0.69	59.90
K	1.49	1.5	-0.01	-0.37
L	1.88	2.3	-0.42	-18.37
M	2.00	3	-1.00	-33.46
N	2.11	1.73	0.38	21.86

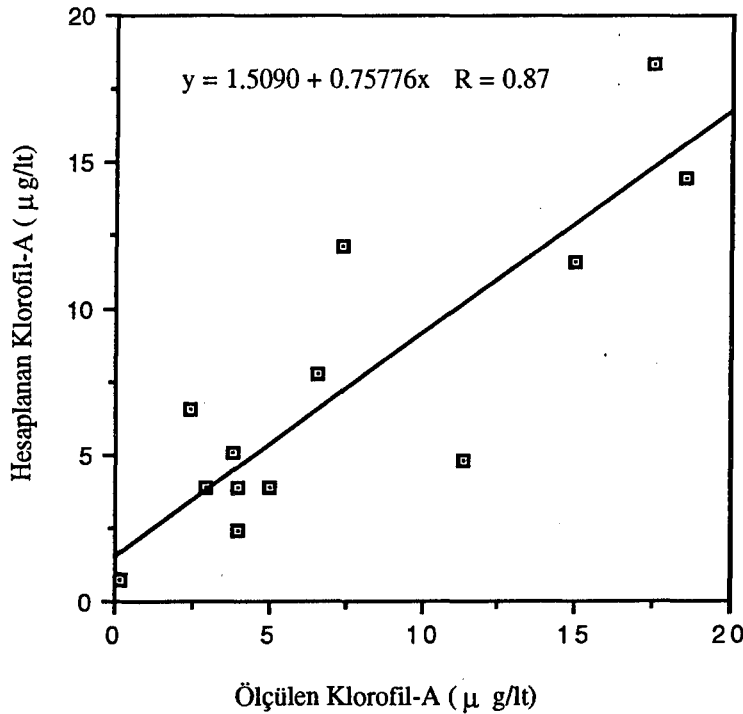


Şekil 5.18. Ölçülen ve hesaplanan NO₃-N/Dip değerlerinin karşılaştırılması

5.8 no'lu eşitliğe göre hesaplanan Klorofil değerleri ve % hataları Çizelge 5.13' de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için hesaplanan Klorofil değerine karşı ölçülen Klorofil değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.19'da yer almaktadır.

Çizelge 5.13. Klorofil Ölçüm Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Klorofil-A μ g/l	Ölçülen Klorofil-A μ g/l	Fark	% Hata
A	6.51	2.43	-4.08	-167.90
B	2.36	3.98	1.62	40.70
C	0.74	0.17	-0.57	-335.29
D	0.71	0.18	-0.53	-294.44
E	3.83	3.99	0.16	4.01
F	5.08	3.82	-1.26	-32.98
G	7.72	6.60	-1.12	-16.97
H	3.91	2.95	-0.96	-32.54
I	3.91	5.03	1.12	22.27
J	12.13	7.40	-4.73	-63.92
K	4.78	11.34	6.56	57.85
L	11.57	15.00	3.43	22.87
M	14.48	18.50	4.02	21.73
N	18.33	17.50	-0.83	-4.74

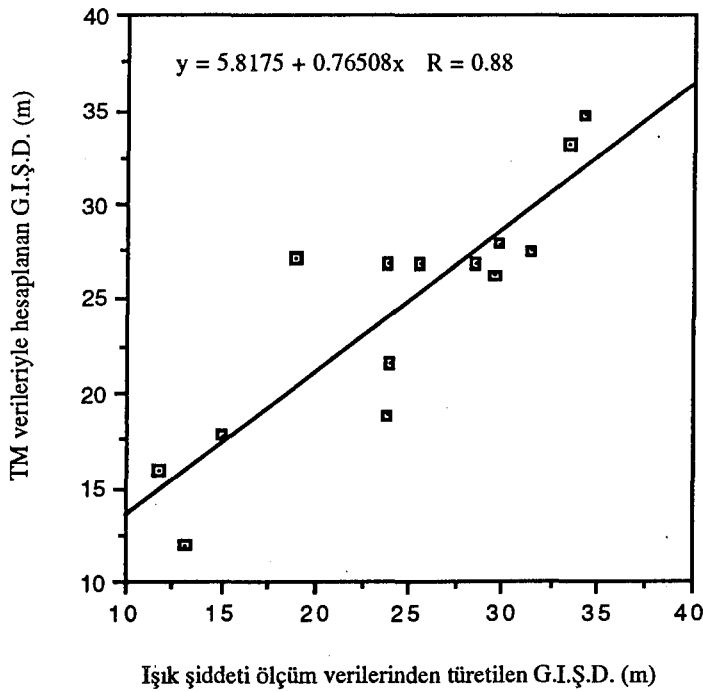


Şekil 5.19. Ölçülen ve hesaplanan Klorofil değerlerinin karşılaştırılması

5.9 no'lu eşitliğe göre ışık şiddeti ölçüm verilerinden türetilen G.I.Ş.D. değerleri ve % hataları Çizelge 5.14' te verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için, TM verileriyle hesaplanan G.I.Ş.D değerine karşı türetilen G.I.Ş.D değerlerinin grafiksel gösterimi ise Şekil 5.20'de yer almaktadır.

Çizelge 5.14. Işık Şiddeti Ölçüm Verilerinden Türetilen G.I.Ş.D. Değerleri İle Landsat Uydu Verileri Arasında Çoklu Regresyon Analiz Sonuçları

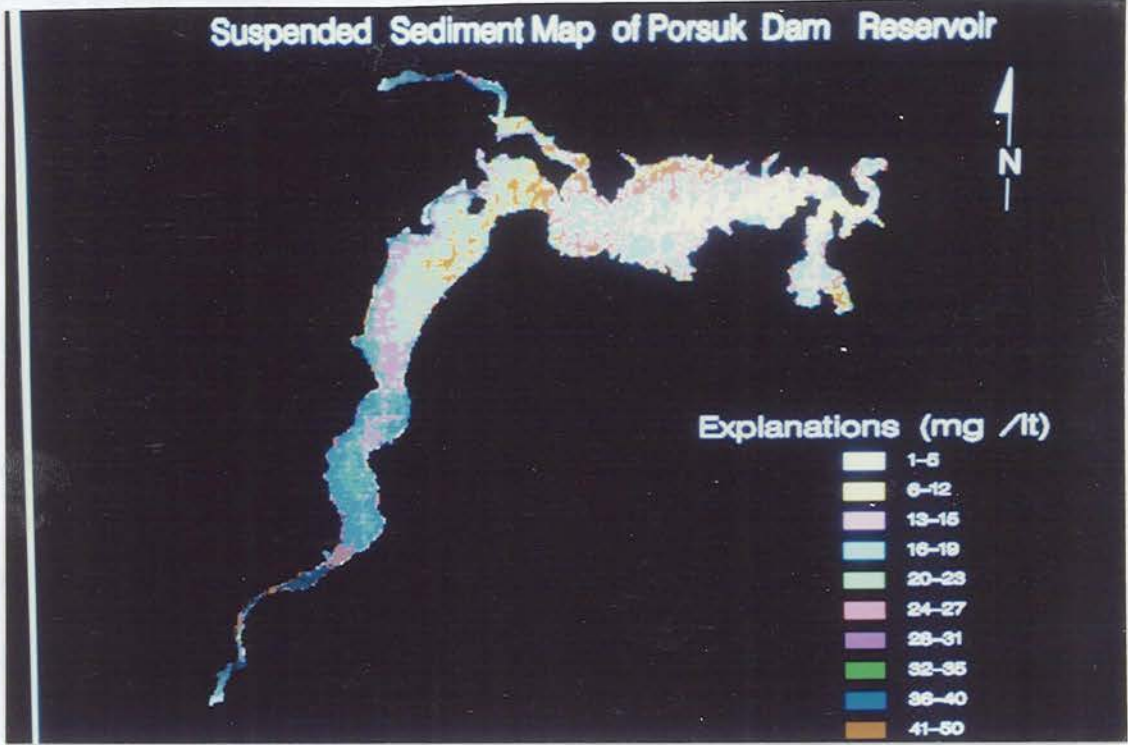
Noktalar	TM değerleri sonucu hesaplanan G.I.Ş.D.	Işık şiddeti ölçüm verilerinden türetilen G.I.Ş.D. (m)	Fark	% Hata
A	27.55	31.37	3.82	12.16
B	34.65	34.23	-0.42	-1.23
C	26.89	28.42	1.53	5.40
D	27.98	29.7	1.72	5.78
E	33.09	33.46	0.37	1.11
F	26.20	29.5	3.30	11.17
G	21.61	23.9	2.29	9.56
H	26.84	25.41	-1.43	-5.64
İ	26.84	23.82	-3.02	-12.69
J	18.89	23.77	4.88	20.52
K	27.13	18.9	-8.23	-43.54
L	17.83	15	-2.83	-18.87
M	15.80	11.64	-4.16	-35.72
N	12.01	13.15	1.14	8.64



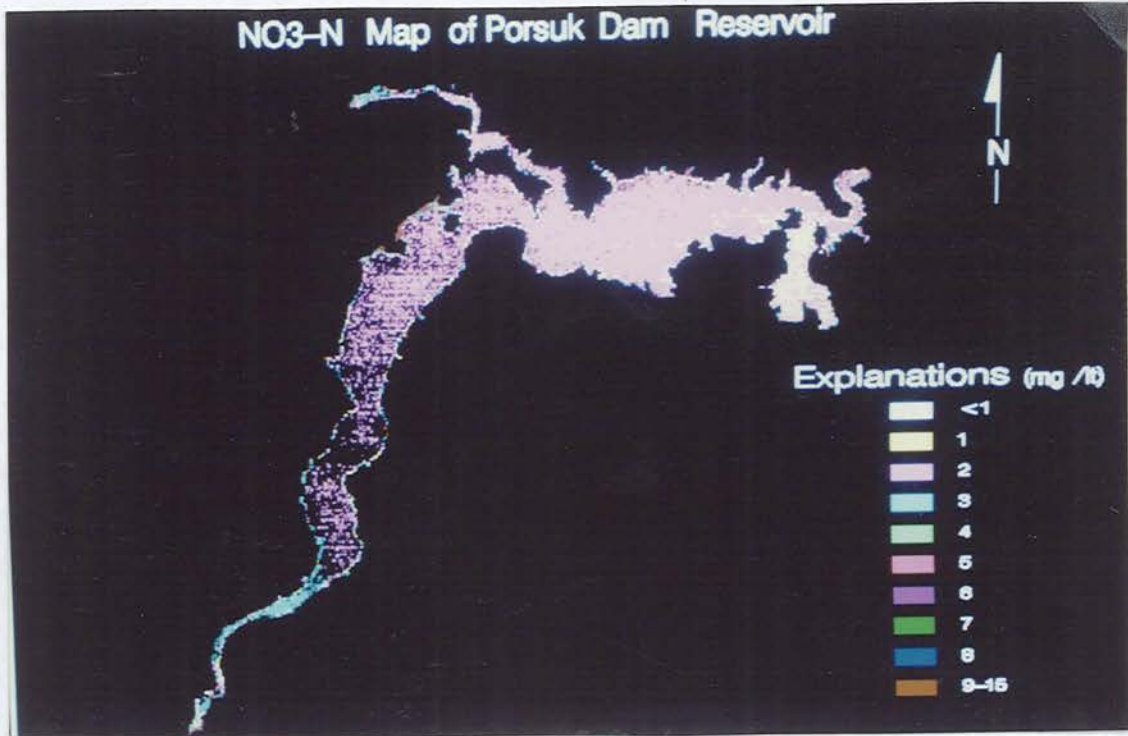
Şekil 5.20. Işık şiddeti ölçüm verilerinden türetilen G.I.Ş.D. değerleri ile Landsat uydu verileriyle hesaplanan G.I.Ş.D. değerlerinin karşılaştırılması

5.6. AKM, NO₃-N, Klorofil-A ve G.I.Ş.D. İçin Kirlilik Dağılım Haritalarının Oluşturulması

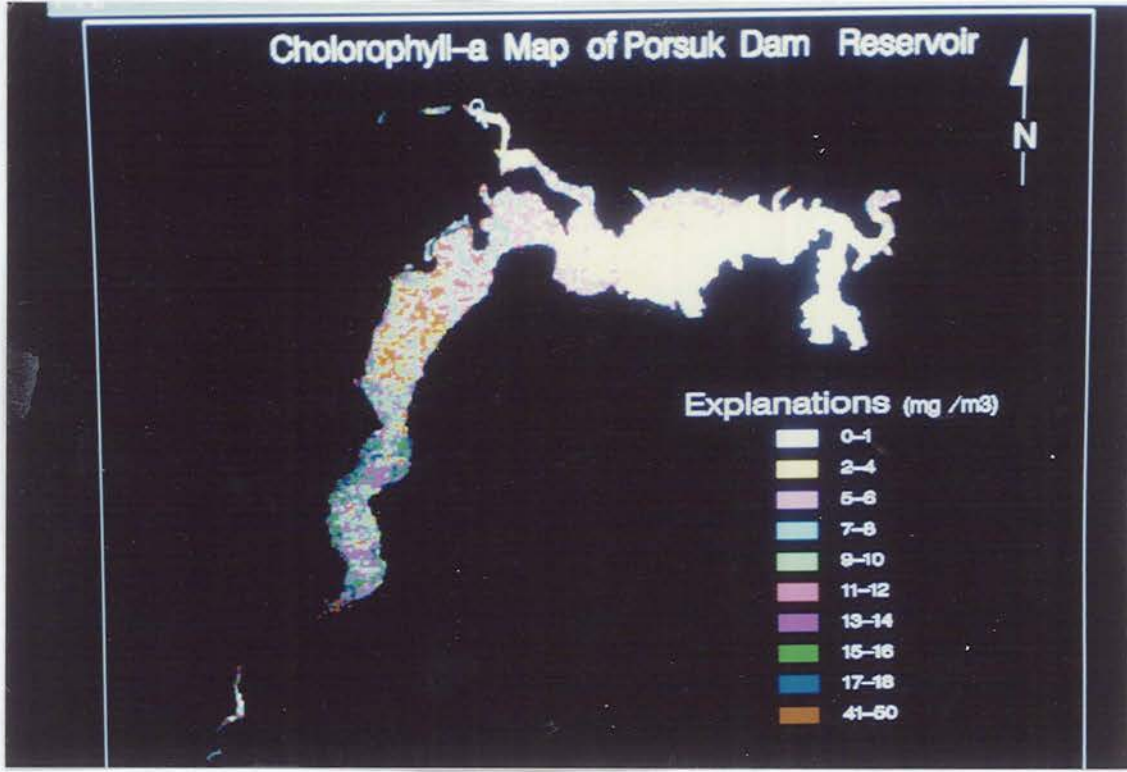
Geliştirilen modellerin her bir pixel değerine uygulanması ile baraj, kirletici bileşenler açısından sınıflandırılmış ve AKM, NO₃-N, klorofil-A ve G.I.Ş.D için kirlilik haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.21-24).



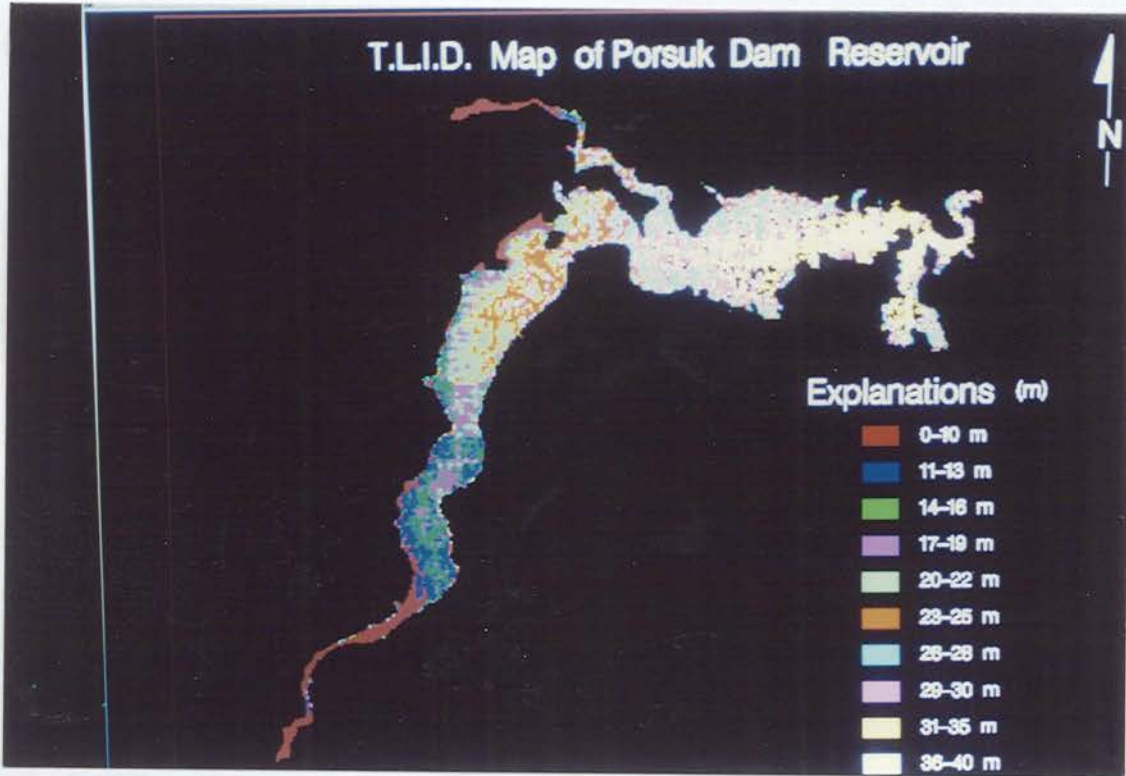
Şekil 5.21. Porsuk Baraj Gölü askıda katı madde derişim dağılımı haritası



Şekil 5.22. Porsuk Baraj Gölü NO₃-N derişim dağılımı haritası



Şekil 5.23. Porsuk Baraj Gölü klorofil -A derişim dağılımı haritası



Şekil 5.24. Porsuk Baraj Gölü G.I.Ş.D. dağılımı haritası

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde gelişen teknoloji ile paralel olarak, dünya nüfusundaki hızlı artış ve buna bağlı olarak doğal kaynakların hızla tükenmesi ve hava, su ve toprak kalitesinin bozulması, bu kaynakların daha etkin bir şekilde korunmasını ve daha hızlı, ekonomik ve modern tekniklerle izlenmesini gerektirmektedir. Dinamik bir özellik arzeden doğal çevre ile ilgili hızlı ve sürekli bilgi akışını sağlayabilecek yöntem arayışları, modern havacılık ve uzay teknolojilerinden yararlanma ve “Uzaktan Algılama” yöntemi ile havadan ve uzaydan gelen görüntülerin yorumlanması yoluyla yeryüzündeki objeler hakkında bilgi üretimi konusunu gündeme getirmiştir.

Dünyada (özellikle İngiltere, İtalya, Amerika, ve Rusya) ve Türkiye’de su kalitesinin izlenmesi çalışmalarında Uzaktan Algılama ve CBS Yöntemlerinin kullanılması, geleneksel yöntemlere kıyasla daha ekonomik, pratik ve detaylı çalışma imkanları sağlamaları nedeniyle gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. EK 4’de verilen Su Kirliliğinin İzlenmesinde Uzaktan Algılama Yöntemlerinin Kullanılması Konulu Çalışmalar Listesinden de görüleceği üzere, Uzaktan Algılama Yöntemleriyle su kalitesinin izlenmesi çalışmalarında, çevre, istatistik, fizik, kimya ve biyoloji bilim dallarından yararlanılmaktadır.

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu eserin ilk 4 bölümünde verilen bilgi ve 5. bölümünde sunulan uygulamaların ışığı altında aşağıdaki sonuçlar verilebilir.

1. DSI tarafından aynı anda hem su yüzeyinde, hem de belirli derinliklerde ölçülen ışık şiddeti değerlerinden, Han ve Rundquist [64] tarafından verilen esaslardan yararlanılmak suretiyle G.I.Ş.D. değeri olarak adlandırılan yeni bir su kalite parametresi türetilmiştir. Su içinde ışık şiddetinin sıfır olduğu derinliği gösteren ve baraj haznesi içerisinde ışığın hangi derinliğe kadar süzülebildiğini ve barajın bulanıklık durumunu yansıtan bu parametre, Uzaktan Algılama verileri eşliğinde de değerlendirilmiştir.
2. Landsat-4 uydusundan alınan spektral TM verilerinin (TM1, TM2, TM3 ve TM4) Porsuk Baraj Gölünde su kalite parametrelerinin (AKM, NO₃-N, klorofil-A ve G.I.Ş.D.) monitorlanmasında kullanılabileceği kanıtlanmıştır.
3. Uzaktan Algılama verileriyle suda çözünmüş halde bulunan PO₄-P değerleri arasında iyi bir ilişki gözlenememiş; bunun nedeni ise sudaki fosforun büyük bir bölümünün katı fazda (sedimentlerde) bulunmasına bağlanmıştır.

4. Porsuk Baraj Gölü, ötrofik bir yapıya sahip olduğu ve kirlilik yüzeyde toplandığı için, ışık, dip kesimlere ulaşamadığından, tez kapsamında TM1 bandı kullanılarak yapılan çalışmalarda TM1 bant verileri ve su kalite parametreleri arasında iyi bir ilişkinin bulunmadığı anlaşılmıştır.
5. Literatür verilerinde de belirtildiği üzere, su kalite parametreleriyle en iyi ilişkiyi TM3 bandının verdiği tespit edilmiştir.
6. Su kaynaklarından alınan sınırlı sayıdaki örneklerde yapılan analizlerin sonuçlarını kullanmak suretiyle çoklu regresyon eşitlikleri ile genelleştirme yapılarak su kalite parametrelerine (AKM, NO₃-N, Klorofil-A, G.I.Ş.D.) ait kirlilik haritaları hazırlanmıştır. Bu sayede yalnızca örnekleme istasyonlarında değil, baraj gölünün tümünde kirlilik dağılımının belirlenmesi ve görsel olarak haritalanması mümkün olmuştur.

Bu çalışmanın devamı olmak üzere, aşağıdaki hususlarda yapılacak çalışmaların araştırmanın bütünlüğünün sağlanması açısından yararlı olacağı düşünülmektedir:

1. Farklı tarihlerde alınacak uydu görüntüleri ve ölçüm verileriyle Baraj Gölü'nün zamana bağlı kirlilik dağılımları belirlenerek, konunun gidişatı günler, aylar ve yıllar bazında tespit edilebilecektir. Bu sayede, havza bazında önemli kararlar ve önlemlerin alınmasındaki gecikmeler de önlenmiş olacaktır.
2. Bölgesel bazda işlenmiş uydu görüntüleri ve Porsuk Havzasına ait bilgilerin (yerleşim yerlerinin ve endüstriyel tesislerin konumları, yeraltı suyu seviyesi, atık deponi sahalarının uzaklıkları, baraj gölüne giren yan derelerin su kalite verileri) bilgisayar ortamında Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında birlikte eşleştirilmesi havzadaki çevre koruma politikalarının daha geniş bir bakış açısıyla oluşturulmasını sağlaması açısından yararlı olacaktır.
3. Aynı çalışmanın farklı bir baraj gölüne uyarlanmasıyla, TM verileri ile o baraj gölüne ait su kalite parametreleri arasındaki ilişkilerin Porsuk Baraj Gölünde yapılan çalışmalara benzerlik gösterip gösteremediği test edilebilecek, ayrıca, Porsuk Baraj gölünde Uzaktan Algılama verileriyle iyi bir korelasyon göstermeyen PO₄-P'nin, diğer su ortamlarında nasıl bir durum sergilediği ortaya konulmuş olacaktır.

KAYNAKLAR

1. KÜRÜM, F., KÜRÜM, Z.E., *İstanbul Büyükçekmece Baraj Gölü'nde Üretkenlik Düzeyinin Belirlenmesi*. Çevre'88; Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, İzmir, 1988.
2. USLU, O., TÜRKMAN, A., *Su Kirliliği ve Kontrolü*. T.C. Bakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi-1. Ankara, 1987.
3. KARPUZCU, M., *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
4. MASTERS, G., M., *Introduction to Environmental Engineering and Science*. Department of Civil Engineering Stanford University, New Jersey 1991.
5. GÜNAY T., *Keban Baraj Havzasına Uzaydan Bir Bakışın Düşündürdükleri*, Orman Mühendisliği, 15-20, 1987.
6. ÇUNGURLU, E., GÜLDEDE, N., *An Investigation on Eutrophication in Lake Terkos*. Proceedings of the International Symposium on Environmental Management, İstanbul, 1987.
7. GÜLDEDE, N., *Besin Seviyesi Karakteristiği; Klorofil*. Çevre'88, Dördüncü Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi, İzmir, 5-9 Haziran 1988.
8. GÜLDEDE, N., ÇURGUNLU, E., *Terkos Gölü Besin Maddesi ve Göl Tepkisinin Araştırılması*, Doğa Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 14 50-60, 1990.
9. WHITTAKER, R.H., *Communities and Ecosystems*. Macmillan Publishing Co. Inc. 866 Third Avenue, New York, 1970.
10. WETZEL, R.G., *Limnology*. Saunders College Publishing, 1983.
11. DSİ., *İstanbul Terkoz Gölü ve Alibey Barajı Kirlilik Araştırma Raporu*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Bursa, 1990.
12. DSİ., *Porsuk Havzasında 1994 Yılı Su Kalite Değerlendirmeleri*. Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1996.
13. O.E.C.D., *Eutrophication of Waters, Monitoring, Monitoring Assessment and Control*, France, PARIS, 1982.
14. KARA, S., YILDIRIM, E.M., KAYTAKOĞLU, S., DÖĞEROĞLU, T., VAR, F., *Eskişehir Yapısı, Zenginlikleri, Faaliyetleri ile Bütünleşen Çevre Kalitesi*. A.Ü. Müh. Mim. Fak. Kimya Müh. Böl., Eskişehir, 1991.
15. *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Resmi Gazete Sayı, 19919, 273s., 4 Eylül 1988.*
16. ÖRÜKLÜ, E., *Uzaktan Algılama*. Yıldız Üniversitesi Yayınları No: 198, İstanbul, 1991.

KAYNAKLAR (devam)

17. CURRAN, J.P., *Principles of Remote Sensing*. Longman Scientific and Technical. England, 1985.
18. MAKTAV, D., SUNAR F.(Çevirenler), SWAIN, P.H., DAVIS S.M. (Ed.) *Uzaktan Algılama-Kantitatif Yaklaşım*. Hürriyet Ofset A.Ş., İstanbul, 1991.
19. HALLİDAY, D., RESNICK, R. *Fundamental of Physics*. USA, 1975.
20. JENSEN, R., *Remote Sensing and Applications*. USA, 1986.
21. GARCIA, M.J.L. CASELLES, V., *A Multi-Temporal Study of Chlophyll-A Concentration in the Albufera Lagoon of Valencia, Spain, Using Thematic Mapper Data*, Int. J. Remote Sens, Vol.11, No. 2, 301-311, 1990.
22. LATHROP, R.G., LILLESAND, T.M., *Use of Thematic Mapper Data to Assess Water Quality in Green Bay and Central Lake Michigan*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 52, No. 5, 671-680, 1986.
23. AYDAY, C., UYGUÇGİL, H., *Arazi Kullanım Haritalarının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Hazırlanması ve Bir Uygulamalı Örnek*, ACIME, Academic Computing in Machintosh Environment (Machintosh Üzerine Akademik Uygulamalar). Bildiriler Kitabı, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 1995.
24. ÖZEK, E., ŞENTÜRK, G., *Coğrafi Bilgi Sistemi Nedir ?*, Çevre ve İnsan, Çevre Bakanlığı Yayın Organı Sayı: 33, 46-47, Mayıs 1997.
25. YEĞENGİL, İ., ÖĞELMAN, H., URAL, D., PEŞTAMALCI, V., *Landsat Uydu Verileriyle Çukurova Bölgesinde Pamuk Ekim Alanlarının Saptanması*, Turkish Journal of Agri and Forest, 14, 45-56, 1990.
26. VINCENT, R.K., *Remote Sensing for Solid Waste Landfills and Hazardous Waste Sites*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 60, No. 8, 979-982, 1994.
27. WILCOX, C.H., FRAZIER, B.E., *Relationship Between Soil Organic Carbon and Landsat TM Data in Eastern Washington*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 60, No. 6, 777-781, 1994.
28. SIMONDS. M., XIAO, H., LEVINE, S.P., *Optical Remote Sensing For Air Pollutants-Review*, Am. Ind. Hyg. Assoc, J. 55, October 1994.
29. KURAR, H. AND NATARAJAN K., *Evaluation of Suspended Sediment Concentration in Ömerli Lake Using Landsat Spectral Data*. 15. Yıl Sempozyumu Bildiriler Kitabı Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Adana, 4-7 Nisan 1994.
30. BİLGE, F., DÖĞEROĞLU, T., AYDAY, C., *Uzaktan Algılama (RS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yöntemleri ile Çevre Kalitesinin İzlenmesi*. Çevre Yönetimi ve Teknoloji Kullanımı, Çevre Koruma Vakfı Bozuyük Şubesi, Bozuyük Merkez Sağlık Ocağı Tabipliği, Bozuyük, 8 Aralık 1995.

KAYNAKLAR (devam)

31. BİLGE, F., YAVUZ, Y., DÖĞEROĞLU, T., AYDAY, C., *Çevre Uygulamalarında Uzaktan Algılama Teknikleri ve CIS Kullanımı*. Hizmet İçi Eğitim Seminerleri Dizisi III., Çevre Yönetim Stratejileri, Araştırma ve Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Eskişehir, 02 Kasım 1995-25 Ocak 1996.
32. BİLGE, F., DÖĞEROĞLU, T., AYDAY, C., *Evaluation of the Digital Spectral Data by Landsat Satellite for Estimating and Mapping Water Quality Parameters in the Porsuk Dam Lake, Eskişehir-Turkey*. Space of Service to Humanity Preserving Earth and Improving Life International Space University International Symposium, Poster Presentation Documan, Final Book of Abstract, Strasbourg France, 5-7 February 1996.
33. BİLGE, F., DÖĞEROĞLU, T., AYDAY, C., *Porsuk Baraj Gölü Su Kalitesi İzleme ve Modelleme Çalışmalarında Uzaktan Algılama Yönteminin Kullanılması*. İSKİ-İTÜ-SU VAKFI İçme Suyu Sempozyumu, İstanbul, 7-10 Ekim 1996.
34. SCHIEBE, F.R., HARRINGTON, J. A. JR. and RITCHIE, J. C. *Remote Sensing of Suspended Sediments in the Lake Chicot, Arkansas*, Int. J. Remote Sensing, Vol. 13, No. 8, 1487-1509, 1985.
35. RITCHIE, P.C., COOPER, C.M., and YONGQUING, J., *Using Landsat Multi Spectral Scanner Data to Estimate Suspended Sediments in Moon Lake, Mississippi*, Remote Sens. Environ. v. 23, 65-81, 1987.
36. TASSAN, S., RIBERA, M.A., *Water Quality Monitoring by Thematic Mapper in Coastal Environments, A Performance Analysis of Local Biooptic Algorithms and Atmospheric Correction Procedures*, Remote Sens. Environ. v. 45, 177-191, 1993.
37. REDDY, M. A., *Remote Sensing for Mapping of Suspended Sediments in Krishna Bay Estuary, Andhra Pradesh*, Int. J. Remote Sens, Vol. 14 2215-2221, 1993.
38. RITCHIE, P.C., COOPER, C.M., *Comperison of Landsat MSS Pixel Array Sizer for Estimating Water Quality*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 53, No. 11, 1549-1553, 1987.
39. MAKTAV, D., KAPTAŞLI, S., *Monitoring Coastal Processes at İztuzu with the help of Remote Sensing Methods*. Presented at Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environmental, New Orleans, Lousiana, 1985.
40. RIMMER, J.A., COLLINS, M.B., and PATTIARICHI, C.B., *Mapping of Water Quality in Coastal Water Using Airborne Thematic Data*, Int. J. Remote Sens, Vol. 8, No. 1, 85-102, 1987.

KAYNAKLAR (devam)

41. RITCHARD G., LATHROP, JR., LILLESAND, T.M., *Use of Thematic Mapper Data to Assess Water Quality in Green Bay and Central Lake Michigan*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 52, No. 5, 671-680, 1987.
42. SUDHAKAR, S., POL, D.K., *Water Quality Assessment of the Lake Chilka*, Int. J. Remote Sensing, Vol. 14, No. 14, 2575-2579, 1988.
43. BAGHER, S. and DIOS, R.A., *Chlorophyll-A Estimation In New Jersey's Coastal Water Using Thematic Mapper Data*, Int. J. Remote Sens, Vol. 11, 289-299, 1990.
44. TASSAN, S. *The effects of Dissolved Yellow Substance on the Quantitative Retrieval of Chlorophyll and Total Suspended Sediment Concentration from Remote Measurements of Water Color*, Int. J. Remote Sensing, Vol. 9, No. 4, 787-797 1988.
45. KIM, M., MERRY, C.J., LAYMAN, R.W., *Water Quality Monitoring, Using an Airborn Spectroradiometer*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 50, No. 3, 353-360, 1984.
46. LILLESAND, T.M., JOHNSON, W.L., DEUELL, R.L., LINDSTROM, O.M., MEISNER, D.E., *Use of Landsat Data to Predict the Trophic State of Minnesota Lakes* Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 49, No. 2, 219-229, 1986.
47. LINDELL, T., KARLSSON, B., ROSENGREN, M., ALFORD, T., *A Furter Development of the Chromotaticity Technique for Sattelite Mapping of Suspended Sediment Load*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 62, No. 9, 1521-1529, 1986.
48. LAVERY P., PATTIARATCHI C., WYLLIE A. and HICK P. *Water Quality Monitoring in Estuarine Waters Using the Landsat Thematic Mapper* Remote Sens. Environ. v. 46, 268-280, 1993.
49. BRAGA, C.Z.F., SETZER A., LACERDA, L.D., *Water Quality Assessment with Simultaneous Landsat-5 TM Data at Guanabara Bay, Riode Jenerio, Brazil* Remote Sensing Environ., v 45, 95-106, 1993.
50. JOHNSON, R.W., HARRISS, R.C., *Remote Sensing for Water Quality and Biological Measurements in Coastal Waters*, Photogramm. Eng. Remote Sensing Vol. 46, No. 1, 77-85, 1985.
51. FORSTER, B., XINGWAI S. and BAIDE, X., *Remote Sensing of Sea Water Quality Parameters Using Landsat-TM Data* Int. J. Remote Sens, Vol. 14, No:15, 2759-2771, 1993.

KAYNAKLAR (devam)

52. FORSTER, B., BAIDE, X., and XINGWAI S., *Modelling Suspended Particle Distribution in Near Coastal Waters Using Sattelite Remotely Sensed Data*, Int. J. Remote Sens, Vol. 15, No:6, 1207-1219, 1994.
53. PATTIARITCHI, C., LAVERY, P., WYLLIE, A., HICK, P., *Estimates of Water Quality in Coastal Water Multi-Data Landsat Thematic Mapper*, Int. J. Remote Sens, Vol. 15, 2210-2215, 1994.
54. KIM, M., VENTURA, S., *Large Scale Modelling of Urban Nonpoint Source Pollution Using a Geographic Information System*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 59, No. 10, 1539-1544, 1986.
55. T.C. ÇEVRE BAKANLIĞI, *2000'li Yıllara Doğru Çevre*. Ankara, 1991.
56. Eskişehir Ovası Yeraltı Suyu Kirliliğinin İncelenmesi KAÇAROĞLU, F., Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Anabilimdalı Ankara, 1991, 280.
57. DSİ., *İstanbul Büyükçekmece Baraj Gölü Kirlilik Araştırma Raporu*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1987.
58. DSİ., *Porsuk Havzasında Hidrobiyolojik Metodların Uygulanması*. Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 1989.
59. UYGAN, N., LÜLE, M., YILDIRIM, M.E., *Kütahyadan Kaynaklanan Su Kirliliği Sorunu ve Çözüm Önerileri*. KARA, S., YILDIRIM, M.E., KAYTAKOĞLU, DÖĞEROĞLU, T., VAR, F., BANAR, M., UYGAN, N., LÜLE, M., *Kütahya'da Çevre Kirliliği, Emisyonlar, Deşarjlar, Deşarjlar ve Atıklar, Darboğazlar ve Fırsatlar*. Kütahya, 1993.
60. ROYER A., CHARBONNEAU, C., BROCHU, R., MURPHY, J.M. and TEILLET, P.M., *Radiometric Comparison of the Landsat TM and MSS Sensor*, Int. J. Remote Sensing, Vol. 18, No. 4, 579-591, 1985.
61. INGEBRITSEN, S.E., LYONG, R.J.P., *Principal Components Analysis of Multitemporal Image Pairs*, Int. J. Remote Sens, Vol.6, No. 5, 678-696, 1985.
62. MARKHAM, B.L., and BARKER, J.L., *Spectral Characterization of the Landsat Thematic Mapper Sensors*, Int. J. Remote Sens, Vol. 6, No. 5, 679-716, 1985.
63. NELSON, R., *Reducing Landsat MSS Scener Variability*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 51, No. 5, 584-593, 1985.
64. HAN, L., RUNDQUIST, D.C., *The Response of Both Surface Reflectance and The Underwater Light Field to Various Levels of Suspended Sediment: Preliminary Results*, Photogramm. Eng. Remote Sensing Vol 60, No. 12, 1463-1471. 1994.

KAYNAKLAR (devam)

65. CHOCON, T.A., ROSS, L.G., BEVERIDGE, M.C.M., WATSON, A.I., *Application of SPOT Multispectral Imagers for the Assessment of Water Quality in Lake Patzcuaro, Mexco*, Int. J. Remote Sens, Vol. 13, 87-603, 1992.
66. VERDIN, J.P., *Monitoring Water Quality Conditions in a Large Vestern Reservoirs with Landsat Imagers*, Photogramm. Eng. Remote Sensing v. 51, 343-346, 1984.
67. TUĞRUL, S., MORKOÇ, E., *Determination of Limnological Characteristics of the Sapanca*, Doğa Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences 15 265-282, 1991
68. FERNANDES, S., VIDAL, O., SIMON, E., *Radiometric Characteristics of Triticum Aestivum C.V. Astral Under Water and Nitrogen Stress*, Int. J. Remote Sens, Vol. 13, No:9, 1867-1884, 1994.
69. MÜFTÜOĞLU, O., *Uzay Teknolojileri Kullanılarak Çevre Koruma Yöntemlerinin Geliştirilmesi*. Orta Asya Çevre Konferansı, 25-27 Eylül, 1997.
70. İstanbul Çalça Bölgesinde Uzaktan Algılama Yöntemi ile Metropoliten Analizi. ALKAN. F. Z., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilimdalı , 1993, 120.
71. TOPLİSS, B.J., ALMOB, C.L., HİLL, P.R., *Algorithms for Remote Sensing of Hight Concentration, Inorganic Suspended Sediment*, Int. J. Remote Sens, Vol. 11, No. 6, 947-966, 1990.
72. EKSTRAND, E., *Landsat TM Based Quantification of Chlorophyll-a During Algae Blooms in Coastal Water* ,Int. J. Remote Sens, Vol. 13, No. 10, 1913-1926, 1992.
73. NİCHOL, J.E., *Remote Sensing of Water Quality in the Singapore Johor Riau Growth Triangle*, Remote SensingEnvironment, Vol. 43, 139-148 1993.
74. LİEDTTKE J., ROBERTY, A., LUTERNAUER J., *Radiometric Characteristics of Water Quality*, Int. J. Remote Sens, Vol. 14, No. 6, 985-998, 1995.
75. DOR, I., BEN-YOSEF, N., *Monitoring EfluentqQuality in Hypertrophic Wastewater Reservoir Using Remote Sensing*, Water Science and Technology Vol. 33, No. 8, 23-29,1996.
76. MATTİKALLİ, N.M., DEVEREUX, B.J., RİCHARDS, K.S.,*Prediction of River Discharge and Surface Water Quality Using an Integrated Geographical Information System Approach*, Int. J. Remote Sens, Vol. 17, No. 4, 683-701, 1996.
77. PICCIOTTİ, A., CASACCAIA, R., SALVATORI, R., *Multitemporal Principal Component Analysis of Spectral and Spatial Features of the Venice Lagoon*, Int. J. Remote Sens, Vol. 18, No. 1, 183-196, 1997.

EKLER

EK 1. UYDU SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Uydular, geniş alanların çok daha kısa zamanda incelenmesine olanak sağlayan uzay platformları olup, kullanım şekillerine göre ikiye ayrılır;

- a. İnsanlı uydular (Skylab, Gemini, Apollo; Uzay Mekiği...)
- b. İnsansız uydular (Landsat, Meteosat, Seasat, GOES, Tiro, ...)

Uydular, uzayda belirli bir yörünge takip ederler, bu yörüngelerin bir kısmı, yaklaşık kutupsal (Landsat), bir kısmı ekvatorial (Meteosat), diğer kısmı da eğik yörüngelidir (Skybal).

Kutupsal yörüngeli uyduların hareketleri güneşle eş zamanlı olup, böylece dünyanın herhangi bir noktası üzerinden daima aynı yerel saatte geçerler.

Ekvatorial yörüngeli olanlar batıdan doğuya doğru dünya ile aynı açısal hızla döndükleri zaman dünyaya göre aynı yerde duruyormuş gibi görünürler. Bu tip uydulara Jeostationer (sabit uydular) denir.

Eğik yörüngeli uyduların yörüngeleri kutuplar ve ekvator düzleminden geçmezler.

1. LANDSAT UYDU SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Landsat uydu sistemi, dünyanın daha çok karasal bölümlerinde araştırma yapmak üzere, jeoloji, ziraat, ormancılık, arazi kullanımı, çevre bilimi, şehircilik ve bölge planlama, tematik haritalama ve harita güncelleştirilmesi gibi konularda geniş alanların çok spektrumlu görüntülerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Landsat uyduları, Amerikan Jeolojik Araştırma Grubu (USGS) ve Amerikan Zirai Araştırma Grubu (USDA) destekleri ile NASA tarafından projelendirilmiş olup, Landsat serisinin kronolojik gelişimi Çizelge EK.1.1.'de gösterilmiştir.

Dünya kaynakları hakkında veri toplama kabiliyetinin test edildiği ve yer yüzeyini multispektral olarak algılayan sivil amaçlı ilk insansız uydu olan *ERST 1 uydusu uzaya 23 Temmuz 1972'de fırlatılmıştır. Bu uydu ile yapılan 300 farklı deney sonucunda yaklaşık 300000 yer görüntüsü elde edilmiştir.

22 Ocak 1975'de ERST2 fırlatılmadan önce, SEASAT oşinografik uydusu ile karışmasını önlemek için NASA, ERST programını Landsat olarak değiştirmiştir. Bu durumda ERST1, LANDSAT1 olarak ve ERST2 ise LANDSAT2 olarak değiştirilmiştir.

*LANDSAT2, 1 Ocak 1975 yılında LANDSAT 1 ile aynı yörüngeye oturtulmuş, 27 Temmuz 1983'te yörüngeden çıkarılmıştır.

*LANDSAT3, 5 Mart 1978'de yörüngeye oturtulmuş ve 7 Eylül 1983'te işlevini yitirmiştir.

*LANDSAT4, 16 Temmuz 1978 tarihinde farklı bir yörüngeye oturtulmuş, Şubat 1993'te arıza nedeni ile faaliyetine son verilmiştir.

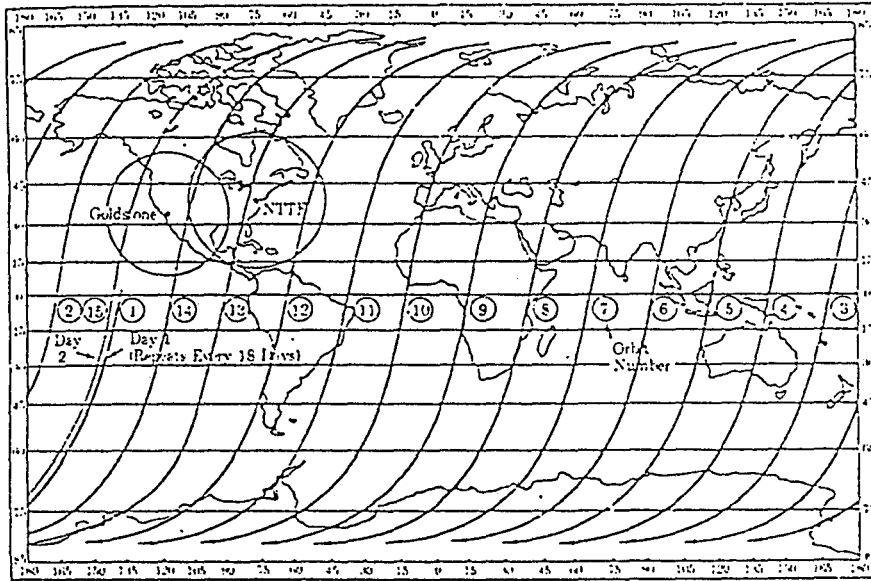
* LANDSAT5, Mart 1984’de fırlatılmış olup, halen görevine devam etmektedir.

Çizelge EK.1.1. Şubat 1984 Yılı Verilerine Göre Landsat Uydu Serilerinin Zamana Bağlı Gelişimi [17]

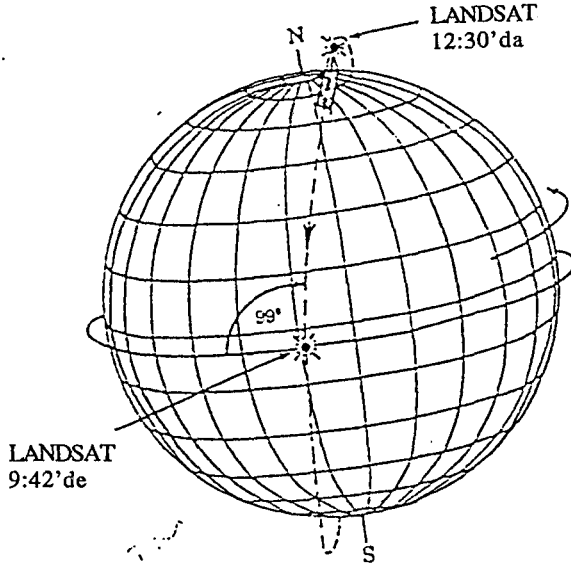
Uydunun İsmi	Fırlatılma Tarihi	Geçici Olarak Görevden Alınma	Tekrar Fırlatılma	Görevden Alınma
Landsat 1	Tem-72	-	-	Oca-78
Landsat 2	Oca-75	Kasım 1979 Şubat 1982	Haz-80	Tem-83
Landsat 3	Mar-78	Aralık 1980 Mar-83	Nis-81	Eyl-83
Landsat 4	Tem-82	Şubat 1983 (sadece TM)	Aralık 1981(sadece TM)	
Landsat 5	Mar-84			

Halen araştırmalarını sürdüren LANDSAT 5 uydusu üzerinde MSS ve TM algılayıcıları vardır.

Landsat uyduları özellikleri açısından birinci ve ikinci varyasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincisi Landsat 1,2 ve 3, uyduları birinci varyasyon,Landsat 4 ve 5 uyduları ise ikinci varyasyon uydularıdır. Şekil EK.1.1 ve EK.1.2’de Landsat uyduları’nın dönme açıları ve yörünge izleri görülmektedir.

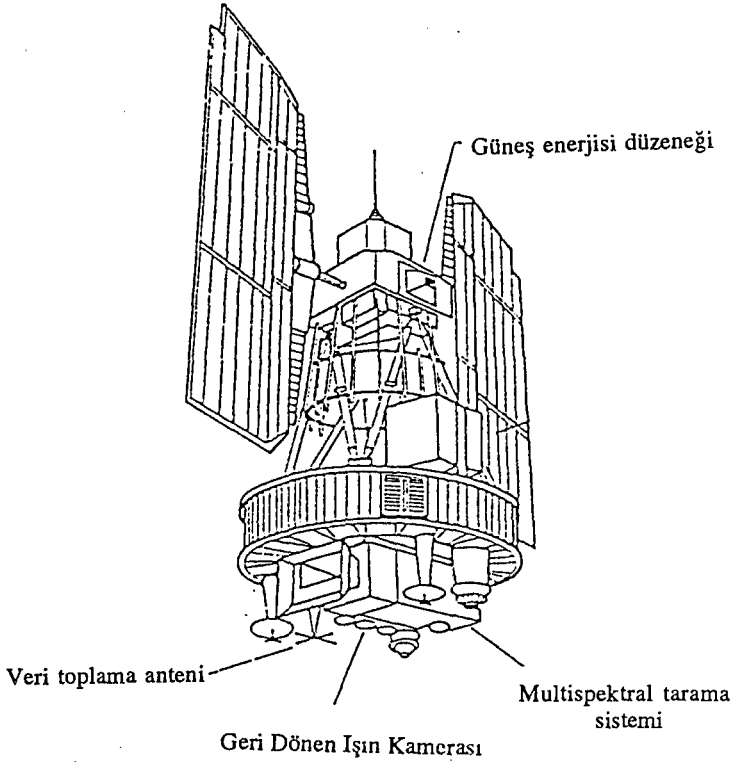


Şekil EK.1.1. Landsat 1, 2 ve 3’ün bir gün boyunca yörüngede izlediği yollar [20]



Şekil EK.1.2. Landsat uydularının izlediği yörüngenin eğimi [20]

Landsat 1,2 ve 3 (Şekil EK.1.3) yaklaşık 950 kg ağırlığında, 4 m genişliğinde ve yer yüzünden uçuş yüksekliği 919 km olan MSS algılayıcılarına sahiptir.



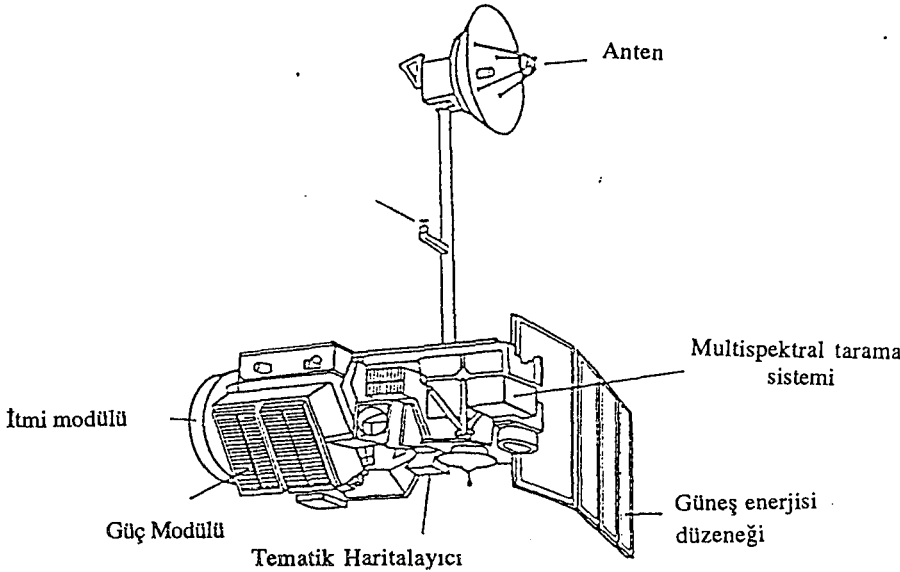
Şekil EK.1.3. Landsat 1,2,3, uydularının teknik özellikleri [20], [70]

Landsat 1 ve 2, üç adet televizyon kamerasından oluşan RBV sistemi ile (yeryüzü çözünürlüğü 80 m) 4 kanallı MSS'e (yeryüzü çözünürlüğü 79 m), Landsat -3 ise (yeryüzü çözünürlüğü 30 m) iki RBV ve 5 kanallı MSS'e (yeryüzü çözünürlüğü 79 m) sahiptir.

Yeryüzüne gelen ışının bir kısmının yansıdığı, diğer bir kısmının ise absorplandığı bilinmektedir. Uydunun, yeryüzü objelerini algılaması ve dünya ile haberleşmesi için gerekli olan güç kadmiyum bataryasına bağlanmış güneş panelinden sağlanmaktadır. Algılanan sinyal işlenip yeryüzü istasyonlarına gönderilmektedir.

Yeryüzünün tamamen taranması Landsat 1,2 ve 3 ile 18 gün, Landsat 4,5 ile 16 gün almaktadır. Bunun için gerekli yörünge sayısı ise 233'tür. Yörüngeler hergün 1.54° ötelenmektedir. 16. günün 1.yörüngesi ile 2.yörüngesi üst üste çakışarak yeryüzünün tamamının taranmasını sağlamaktadır. Öteleme, bir önceki güne göre batıya doğru 171.5km'dir. Her 16 gün sonunda dünya küresinin 82° kuzey ve güney enlemleri arasında kalan kısmı tam olarak algılanabilmektedir.

Landsat 4 ve 5 varyasyonu, (Bkz.Şekil EK.1. 4) 705 km uçuş yüksekliği, 1994 kg ağırlığında olup, MSS ve TM algılayıcılarını taşımaktadır. TM algılama sistemi geometrik doğruluk, spektral çözünürlük, radyometrik incelik açısından MSS tarayıcı sistemine kıyasla üstünlük gösterdiği belirtilmektedir.



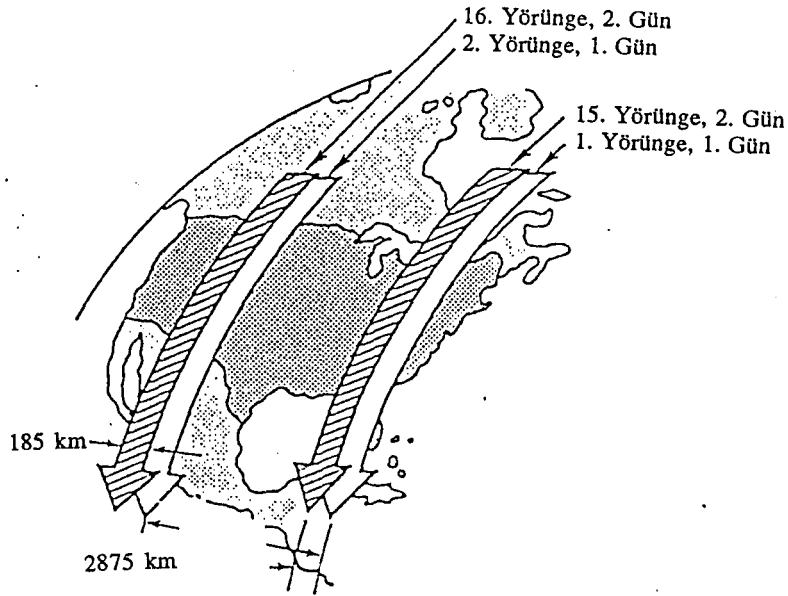
Şekil EK.1.4. Landsat 4 ve 5'in teknik özellikleri [20]

TM sistemi batıdan- doğuya, doğudan-batıya tarama yaparak veri elde etmekte, MSS ise yalnızca batıdan-doğuya doğru tek yönde tarama yapmaktadır. TM sisteminde 6. bandın yeryüzü çözünürlüğü 120 m'dir.

Landsat görüntüleri mühendislik araştırmalarında Uzaktan Algılama verilerinin en uygun kaynağı olmuştur. Her bir bant görüntüsü, yaklaşık 33000 km² gibi büyük bir alanı kapsamaktadır. Aynı bölgenin farklı mevsim ve yıllarda algılanması ile zamana bağlı değişiklikler belirlenebilmektedir. Landsat verilerinin uygun bilgisayarlarla sayısal olarak çözünürlüğünün 30 m'ye ulaşması, 1:100000 ölçeğindeki haritanın incelenmesine karşı gelmektedir. Harita güncelleştirme çalışmalarında ise 1:50000 ölçeğine kadar çıkabilmektedir.

Bütün Landsat uyduları kutup yörüngesinde kuzey-güney doğrultusunda dönmektedir. Landsat 1, 2 ve 3'ün her bir yörüngeyi taraması için gereken süre 103 dakikadır, bu süre Landsat 4 ve 5 için 99 dakikaya düşmektedir. Landsat uyduları dünyayı yaklaşık 99°'lik bir açı altında taramakta, bu özellikleri onların kutba daha yakın hale gelmelerini sağlamaktadır. Böylelikle, uydular dünyanın aydınlık bölgesinden yaklaşık olarak hep aynı bölgesel zaman diliminde geçmektedir.

Şekil EK.1.5'de coğrafik bir alan oluşumunun tekrarlanması işlemi görülmektedir. İki yörünge arasındaki uzaklık 2875 km'dir. Landsat uyduları ertesi gün, yani 14 yörünge sonra bir önceki konumun 159 km (99 mil) batısından geçmektedir.



Şekil EK.1.5. Bir yörüngeden diğer bir yörüngeye geçişte uyduların konumu ve taradığı alan [20]

Landsat Uydusu'nun taşıdığı algılayıcılar ile alınan sinyaller yeryüzü istasyonlarına iletilmekte, bu sinyaller, yeryüzü istasyonlarında işlenerek sayısal bilgisayar bantlarına (CCT) dönüştürülerek radyometrik ve geometrik düzeltmeleri de yapılmaktadır. Türkiye'yi içine alan görüntü bantları İtalya'da Roma yakınların Facino (TELESPOZIO) yer istasyonlarından veya Amerika'daki EROS yer merkezlerinden elde edilmektedir [70].

Landsat Uydularında alıcı sistemler olarak çoklu spektral tarayıcı (MSS), geri dönen ışınli vidikon kamera (RBV) ve Tematik Haritalayıcı (TM) bulunmaktadır. Bunlar arasında dünya kaynaklarının araştırılmasında en anlamlı Uzaktan Algılama verisi MSS ve TM'den alınmaktadır.

1.1. LANDSAT Çok Spektrumlu Veri Algılayıcıları

Landsat çok spektrumlu tarayıcı sistemi, her beş uyduya da (Landsat1-Landsat5) yerleştirilmiş durumdadır. MSS aygılayıcıları ile dünya kaynakları hakkında oldukça kullanışlı Uzaktan Algılama verileri elde edilmektedir. MSS ile her bir yörüngede 185 km'lik (115 mil) bir alan taranmaktadır. Bu algılayıcılarda 6 adet dedektör mevcut olup, bunlar, Elektromagnetik spektrumda dört spektral bant için hassastırlar.

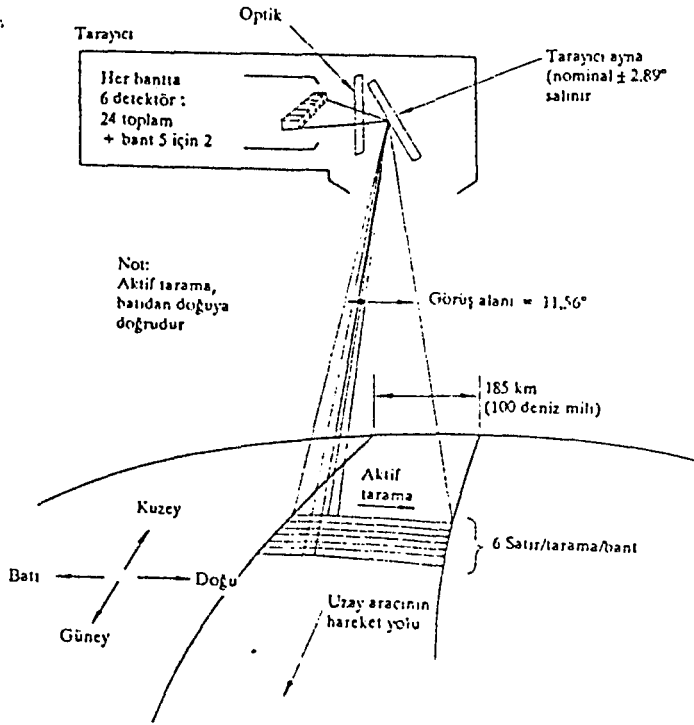
Landsat 1, 2 ve 3'de RBV sistemi üç bant ihtiva ettiği için, MSS algılama sisteminin sahip olduğu dört bant Çizelge EK.1.2'de dördüncü. beşinci, altıncı ve yedinci, bantlar olarak gösterilmiştir.

Çizelge EK.1. 2. Landsat Uydu Sistemlerinde MSS'in Bulunuş Şekli [17]

Landsat 1, 2 ve 3	Landsat 4 ve 5	Band aralığı (μ)	Band ismi
4	1	0.5-0.6	Yeşil
5	2	0.6-0.7	Kırmızı
6	3	0.7-0.8	Yakın infrared
7	4	0.8-1.0	Yakın infrared

Landsat 3 uydusunun planlama safhasında 10.4-12.6 μ m dalga boyu aralığında ısısal ışınımı ölçülerek bir termal kanal daha konulmuş, fakat teknik aksaklıklardan dolayı, sekizinci bant diye adlandırılan bu kısım, ancak, Landsat 4 ve 5'te altıncı bant adıyla çalıştırılabilmekmiştir (Yeğengil v.d., 1990).

MSS'de her bir bandın çözünürlüğü 79x79 m (67143 ft²) olup, tarama süresince, her bir dedektör tarafından üretilen voltaj ile 9.95 μ s'de bir örnek alınabilmektedir. Her bir dedektör için 185 km'lik yol bolunca yaklaşık olarak 3300 adet örnek alınmakta, böylece alınan anlık görüntü, 79x79 m iken, dedektörden alınan örnekler için yeryüzünde 56 m'lik görüntü alınması mümkün olmaktadır (Şekil EK.1.6).



Şekil EK.1.6. MSS’de anlık görüntü ve dedektörlerde sayısallaştırılmış görüntü arasındaki ilişkinin görünümü [17]

Bu şekilde oluşan 56x79 m’lik alan ,Landsat MSS görüntü elemanları olarak adlandırılmaktadır. Böylece, ölçüm için taranan alan 6241m² olup, her bir piksel 4424 m²’lik bir alan için yeniden formatlanmaktadır ve uydudan çıkan tipik bir yer verisi kuzey-güney istikametinde 2340 tarama çizgisi (scan-line) ile batı-doğu istikametinde 3240 hücreden (pikselden) veya bir kanalda 7581600 pikselden oluşmaktadır.

Tarayıcının 4 spektral bandı (Landsat 3’te 5) ve aynanın her salınımında, 6 tarama satırı oluşturulmaktadır (tarayıcı ayna dönel olmayıp, düzlemsel titreşen tiptedir).

Landsat 1, 2 ve 3 spektral bantları için, dedektör olarak çoğaltmaları çoklu fotomultipler (photomultipler) ve bant 4 için de, silisyum fotodiyotlar kullanılmaktadır (her spektral bant için altı dedektör kullanılır). Her dedektörden alınan analog video sinyaller örneklenir ve sabit hızda analogdan dijitale dönüştürme sistemlerinde dijitalleştirilmektedir. Aynanın tarama hızı, sabit olmadığından her tarama satırında oluşan örneklem sayısı az da olsa değişime uğramaktadır.

1.2. Tematik Haritalayıcı Tarayıcılar (TM)

TM, Elektromagnetik spektrumda görünür, yakın infrared, orta infrared ve termal infraredde yansıyan enerjiyi kayıt eden optik-mekanik algılayıcı sistem tarayıcısıdır.

TM algılayıcısı, Landsat MSS algılayıcısından daha yüksek uzaysal, spektral ve radyometrik rezolusyonlu çoklu spektral görüntü toplama kapasitesine sahiptir.

TM, 705 km'lik bir yükseklikte, güneyde kutba yakın senkronik bir yörüngeye yerleştirilmiştir. Tarama aynası, yerden 185 km'lik bir yersel alanı tarayabilecek nitelikte olup, tarama iki doğrultulu olarak gerçekleşmekte, bir başka deyişle, veriler aynanın hem geri, hem de ileri taramaları ile toplanmaktadır.

TM algılayıcıları 7 termal banda sahiptir. Bu bantların genel özellikleri Çizelge EK.1.3'te verilmiş olup, Çizelge EK.1.4'de ise MSS ve TM arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge EK.1.3. TM Kanallarının Genel Özellikleri [17], [20], [70]

Kanal No	Temel uygulama alanları
TM 1	Kirliliğin yüzeyde toplandığı çok kirli sular için kirlilik parametresinin belirlenmesi çalışmalarında yanıtıcı değerler verir. Temiz sular yüksek penetrasyon derinliği sağladığı için kirlilik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır. Toprak, katı ve bitki (iğne, yayvan yapraklı ağaç ayrımı) karakteristiklerinin belirlenmesi çalışmalarında sağlıklı sonuç verir.
TM 2	Yeşil ışığın yansıtım değerleri yüksek olduğundan sağlıklı ve hastalıklı bitkilerin belirlenmesi ve az kirli sularda kirlilik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır.
TM 3	Sağlıklı yeşil bitkilerde klorofilin absorblandığı bant olup, Jeomorfolojik haritalama, bitki örtüsü haritası ve kirli suların belirlenmesi çalışmalarında kullanılır.
TM 4	Toprak ve su alanlarının ayrımının yapıldığı en önemli bant olup, sulak alanların yerlerinin tespit edilmesi ve su yapısı yorumlanmasında kullanılır.
TM 5	Bulut, kar ve buz ayrımının yapıldığı hidrolik araştırmalarda, sularla ilgili ısı haritaları ve bitkilerin içerdiği su miktarlarını belirleyen haritalarda kullanılır.
TM 6	Jeolojik kayalar hakkında bilgi edinilmesinde kullanılmakta olup, özellikle kayalarda hidrotermal değişikliğin gözlemlendiği bölgelerin teşhis edilmesinde etkilidir. Bitkisel ısı dağılım çalışmaları ve ısı haritaları yapımında kullanılır.
TM 7	Jeolojik aktivitelerin gerçekleştiği bölgelerin saptanması, Jeolojik araştırmalarda termal atalet haritalarının çıkartılması, bitki sınıflandırması, kaya ve toprak ayrımı ve toprak içindeki suyun tespit edilmesi amacıyla kullanılır.

Çizelge EK.1.4. MSS ve TM Algılayıcılarının Özelliklerinin Karşılaştırılması [20]

MSS			TM		
Bant numarası	Dalga boyu aralığı	Radyometrik duyarlılık	Bant numarası	Dalga boyu aralığı	Radyometrik duyarlılık
4	0.5-0.6	0.57	1	0.45-0.52	0.8
5	0.6-0.7	0.57	2	0.52-0.60	0.5
6	0.7-0.8	0.65	3	0.63-0.69	0.5
7	0.8-1.1	0.7	4	0.76-0.90	0.5
8	10.4-12.6	1.4	5	1.55-1.75	1
			6	2.08-2.35	2.4
			7	10.4-12.50	0.5
MSS			TM		
Rezolüsyonu (IFOV)	Bant 4-7 için 79x79 Bant8 için 240x240m		Bant 1-5,7 için 30x30 Bant 6 için 120x120 m		
Veri oranı	15MB/s		85 MB/s		
Sayısallaştırma seviyesi	6 bit, 64 aralık		8 bit 256 aralık		
Dönme süresi	Landsat 1,2,3 için 18 Landsat 4,5 için 16 gün		16 gün		
Yükseklik	919 km		705 km		

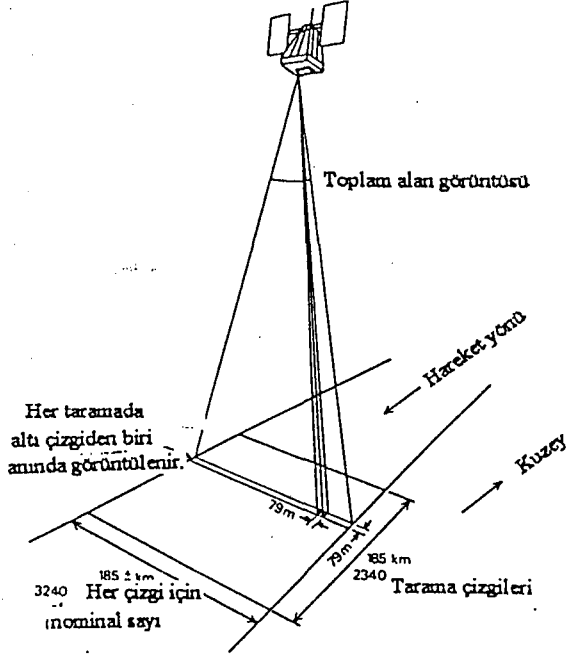
1.3. RBV Sistemleri ve Özellikleri

Geri dönen ışınli vidikon televizyon kameraları Landsat 1, 2 ve 3'te bulunmaktadır. Kamera 1 yeşile (0.48-0.58 μm), kamera 2 kırmızıya (0.60-0.69 μm), kamera 3 yakın infrarede (0.69-0.83 μm) filtrelenmiştir. Diğer algılayıcılardan en önemli farklılığı; kameranın kaydetme yöntemine yüklenebilen görüntülere kullanıcının daha hassas olmasıdır [20],.

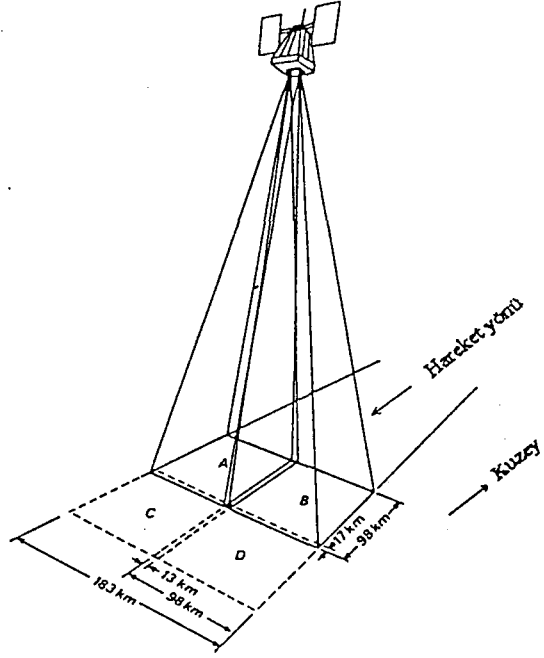
Landsat 1 üzerindeki RBV, Ağustos 1972'de bir güç problemi nedeni ile görevden alınmadan önce yalnızca 1690 görüntü ile geri dönmüştür.

Landsat 3, 2 adet RBV algılayıcısı taşımaktadır. Bunlar yakın infraredle yeşil ışığın dalga aralığını kapsayan (0.51-0.75 μm) geniş bir dalga boyu aralığında filtrelenmiştir. Landsat 3, plan itibariyle Landsat 1 ve 2'deki özelliklere sahip olup, yer çözünürlükleri 40 m civarında ve görüntüleri 98x98km'lik alanı kapsamaktadır (Bkz. Şekil EK.1.7). RBV görüntüleri daha ziyade jeomorfolojide, zemin örtüsü ve şehir formlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

MSS Sensor



RBV Sensor



Şekil EK.1.7. Landsat 1, 2 ve 3'te bulunan MSS ve RBV algılama sisteminin görünüşü

Landsat serisindeki uyduların sahip olduğu algılayıcılar Çizelge EK.1.5'de verilmiştir. Landsat serisindeki uyduların tamamı MSS taşımaktadır. Serideki ilk uydular RBV kameralarını, son uydular ise TM tarayıcılarını taşımaktadır.

Çizelge EK.1.5. Landsat Uyduları ve Taşıdıkları Algılayıcılar [17]

	Çok Spektrumlu Tarayıcı Sistem		Televizyon Kamera Sistemi	
	MSS	TM	2 RBV kamerası	3 RBV kamerası
	4 Bant	7 Bant	3 Bant	1 Bant
	Çözünürlük	Çözünürlük	Çözünürlük	Çözünürlük
Uydu	80 m	30 m ve 120 m	80 m	40
Landsat 1	•	◊	*	◊
Landsat 2	•	◊	*	◊
Landsat 3	•	◊	◊	•
Landsat 4	•	•	◊	◊
Landsat 5	•	•	◊	◊
• Taşır ◊ Taşmaz * Taşır fakat az kullanılır				

2. SPOT UYDU SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Fransız Hükümeti'nin uzaya göndermiş olduğu Spot Uydusu, Dünya Araştırma Test Sistemi anlamında olan Systeme Probatoire de'Observation de la Terre kelimelerinin kısaltılmasından oluşmuştur. Dünya kaynaklarının araştırılmasını amaçlayan bu uydu Avrupa ülkeleri tarafından gönderilmiş olan ilk uydudur. Fransız Ulusal Merkez Etüdü (CNES) tarafından Belçika ve İsviçre ortaklığı ile gönderilmiştir [17].

Spot uydu sistemleri iki bölümden oluşmaktadır. Birincisi çok amaçlı kullanıcı olan uydu gövdesi, ikincisi ise taşıdığı algılama sistemidir. Spot uydusu, aynı özellikte iki görünür yüksek ayırım gücüne sahip (HRV) algılayıcı sistem ile iki magnetik bant veri kaydedici ve bir telemetre nakledici içermektedir;

1. Pankromatik (Renksiz, Siyah-Beyaz) veri sistemi; Geniş bir bant aralığı üzerinde araştırma yapmaya uygun olup tipik bir siyah-beyaz fotoğraf filmini andırır.
2. Kromatik (Çok Spektrumlu) veri sistemi; Dalga boyu aralığı dar olan 3 bant içermektedir.

HRV algılayıcı sistemi Çizelge EK.1.6'da verilen özellikleri gereği Tematik Haritalama sistemlerinden farklıdır.

Çizelge EK.1.6.HRV Algılayıcı Sistemlerinin Karakteristik Özellikleri [20]

HRV algılayıcı karakteristikleri	Multispektral veri	Pankromatik veri
Spektral bant aralığı	0.50-0.59 μm / Yeşil	0.51-0.73 μm /Görünür
	0.61-0.68 μm /Kırmızı	
	0.79-0.89 μm / Yakın İnfraret	
Çözünürlük	20x20m	10x10m
Her sıradaki piksel sayısı	3000	6000
Taradığı alan	60km	60km
Piksel sayısallaştırma	8 bits	6 bits
Bit değerlerine göre görüntü verilerinin oranları	25 Mb/s	25Mb/s

Pankomatik algılama sisteminin çözünürlüğü 10x10 m olup, kromatik algılama sisteminde bu değer 20x20 m'dir.

Spot Uydusu, yaklaşık 832 km yükseklikte güneşle aynı yörüngeyi izlemektedir. Uydu algılama sisteminin aynı bir noktayı yeniden değerlendirme sıklığı 26 gündür.

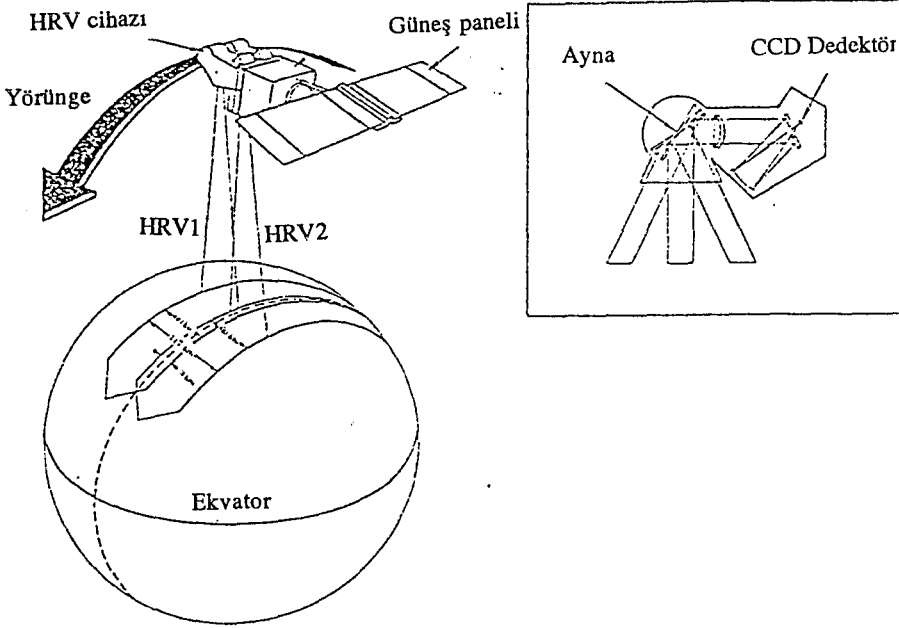
Spot Uydu sisteminde veri algılama işleminde kullanılan ayna, Landsat uydu sisteminde olduğu gibi hareketli olmayıp sabittir. Yeryüzü verileri uydunun sahip olduğu çapraz işleme ve tarama sistemine göre hazırlanıp alınmaktadır. Bu şekildeki tarama sistemine "Push Broom Scanner" ismi verilmektedir.

Belli bir bölgeden yansıyan enerji, HRV'lerde yüklenerek her biri düzenli olarak tek sıra halinde dizilmiş 6000 adet dedektör içeren iki adet yüklü bileşik dedektör sistemine

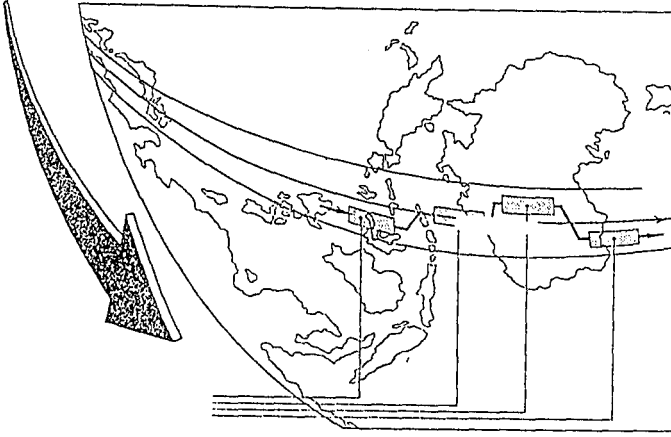
(CCD) gönderilmektedir (Bkz. Şekil EK.1.8).Buradan elde edilen bu değerler ise “Push Broom” tarama sistemine gönderilmektedir.

Yeryüzü Spot algılama sistemi ile incelendiğinde her bir HRV 60 km’lik alanı taramakta, bu şekildeki tarama sonucunda 3 km’lik kısım kesiştirilmekte ve böylece her iki HRV tarayıcısı sonuçta, 117 km’lik bir alanı taramış olmaktadır.

HRV algılayıcılarının sahip olduğu uç noktaları gözleyebilme (off nadir viewing) özelliğinden dolayı aynı bir yer verisi, 26 günden daha kısa bir zaman dilimi içerisinde yeniden elde edilebilmektedir. Bu durum, Şekil EK.1.9’da görüldüğü gibi Spot uydusunun yer verisini kaydederken mutlaka bulunduğu yörüngeyi izlemesinin zorunlu olmadığını göstermektedir. Uydunun yer yüzünde ulaşabileceği en uç noktaya aynanın yerleştirilmesi durumunda 950 km’lik alan, uydu izleme sistemiyle izlenmiş olmaktadır.

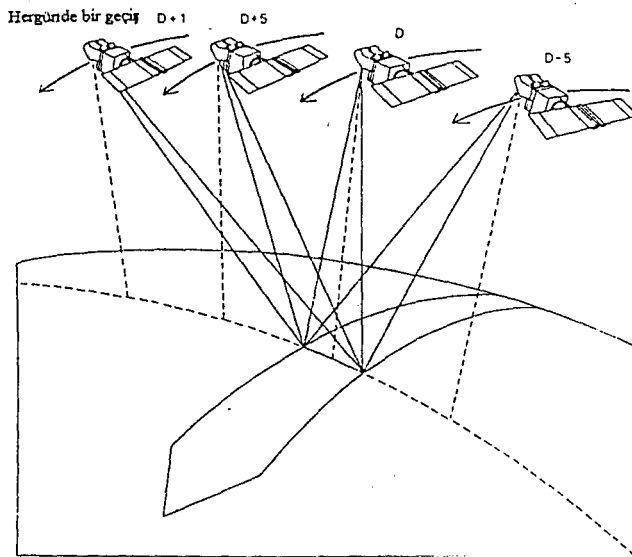


Şekil EK.1.8. Yüksek ayırım gücüne sahip HRV algılayıcıları ve uç noktaları görüntüleme özelliği [20]



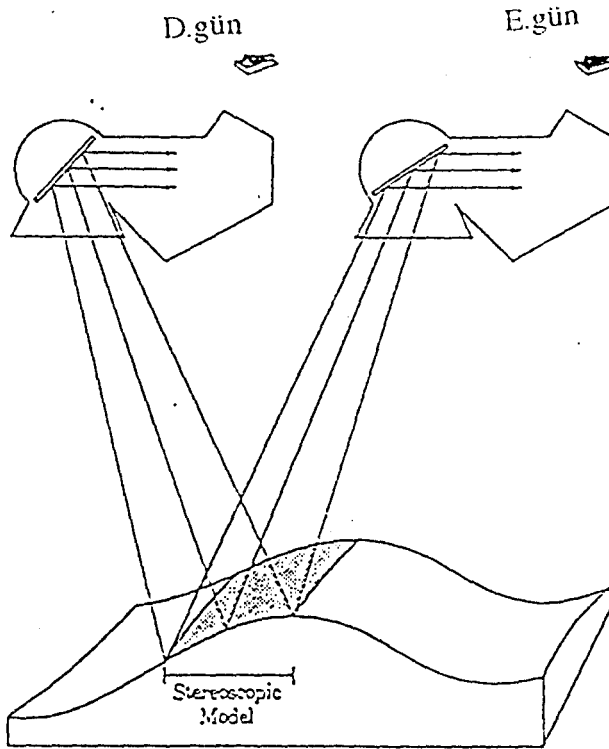
Şekil EK.1.9. Spot uydusunun en uç noktaları görüntülemesi ve izlediği yörüngenin görünüşü [20]

26 günlük bir zaman süresi içerisinde birbirini izleyen Spot uyduları ile herhangi bir bölge, 45°'lik açıyla genişlik ve ekvator üzerinde bulunma koşulu ile 7 değişik konumda gözlenebilir. Böylelikle, Spot uydusunun aynı bir bölgeyi izleme sıklığı 5 güne inmektedir (Şekil EK.1.10).



Şekil EK.1.10. Bir Spot uydusunun aynı bir bölgeyi izleyebilme sıklığı [20]

Spot uydusundan alınan ardışık görüntü çifti, Şekil EK.1.11’de görüldüğü gibidir. Bu iki görüntü yatayla aynı açıyı oluşturan iki farklı günde alınmıştır. Uyduların iki farklı konumu arasındaki mesafenin uydu yüksekliğine oranı ekvatorda 0.75, ekvatora 45°’lik açıda ise 0.50’dir. Bu oranlama işlemi Fotogrametrik uygulama alanlarında özellikle 1/100000 ölçekli haritaların 1/50000’e dönüştürülmesi amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil EK.1.11. Spot uydusunun farklı günlerde aynı bir yatay açıyla taradığı alanın görünümü [20]

MSS’lere karşı Spot Push Broom tarayıcılarının avantaj ve dezavantajları, Çizelge EK.1.7’de verilmiştir.

Çizelge EK.1.7. Spot Push Broom Tarayıcılarının MSS Algılayıcılarına Göre Avantajları ve Dezavantajları [17]

Avantajları	Dezavantajları
1. Ağırlık olarak daha hafiftirler	1. Ayarlama sistemi için çok daha fazla dedektöre ihtiyaç duyar 2. Yakın infrared bölgesinde daha uzun dalga boyuna sahip ışığa karşı hassas değildir.
2. Daha tüçük boyutlara sahiptirler	
3. Hareketli parçaları yoktur	
4. Maliyeti daha düşüktür	
5. Çözünürlükleri daha yüksektir	
6. Yüksek geometrik ve radyometrik hassasiyete sahiptir.	
7. Görüntü değerlerine karşı daha yüksek sinyal gönderir	
8. Ortalama ömrü daha uzundur	
9. Daha az güç ihtiyacı duyarlar	

3. METEOROLOJİ UYDULARI

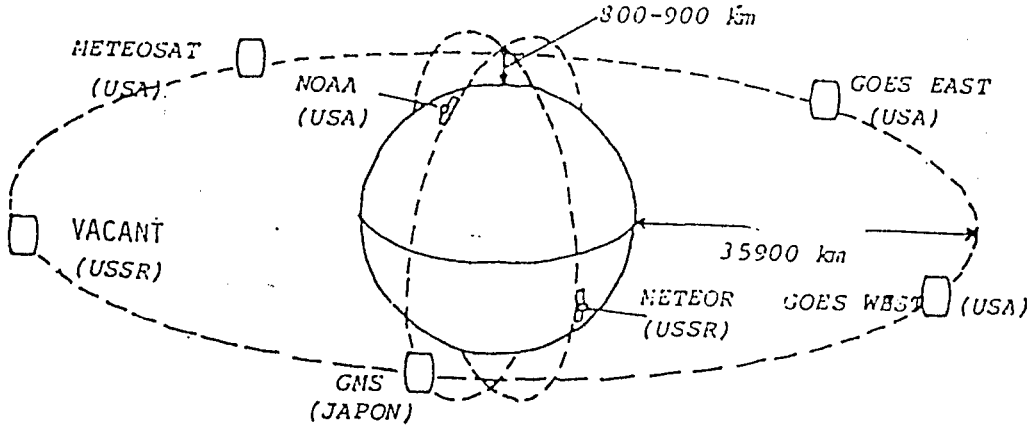
Dünya Meteoroloji Organizasyonu, Meteoroloji uydularından başlıca şu görevlerin yerine getirilmesini beklemektedir;

1. Meteorolojik olayların incelenmesi, bulut yerleri, yön ve hızlarıyla cinslerinin belirlenmesi, halen analog yöntemle elde edilen bu bilgilerin bilgisayar kullanılarak sayısallaştırılmasının yaygınlaştırılması,
2. Düzenli bir şekilde dünya hava gözleme sistemlerinin kurulması ve
3. Dünya-atmosferik araştırmalar programının gerçekleştirilmesidir.

Türkiye’de hava durumunu belirlemek için genellikle NOAA Uydusu’ndan yararlanılmaktadır. Bu uydunun yörüngesi kutupsaldır. Bazen Meteosat ve diğer uydulardan da görüntü alınmaktadır [16].

Meteosat Uydusu, meteorolojik çalışmalar için hazırlanmış uydulardan yalnızca bir tanesidir. Yörüngesi ekvatorial olup, hızı, dünyanın dönüş hızına eşit olduğundan uydu yeryüzüne göre hep aynı noktada duruyormuş gibi görünmektedir. Halen, beş tanesi ekvatorial, iki tanesi ise kutupsal yörüngeli olmak üzere, yedi adet meteoroloji uydusu görevini sürdürmektedir. Bunlar, ait oldukları ülke adlarıyla Şekil EK.1.12’de verilmiştir.

Meteosat uydusunun dünyadan uzaklığı 35800 km olup algılayıcıları ışık ışınları ve termal IR dalgaboylarıyla görüntü alımı yapmaktadır. Piksel boyutu, 2.5x2.5 km olup, görüntü alımı 30 dakikada bir tekrarlanmaktadır.



Şekil EK.1.12. Meteoroloji uyduları ve yörüngeleri [16]

4. POPSAT UYDUSU

550 kg ağırlığında olup, 6 m uzunluğunda antene sahip olan ve yörünge yüksekliği 7000km olan Popsat Uydusu, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından hazırlanmıştır. Bu uydudan beklenenler şunlardır [16].;

1. Tektonik tabakaların hareketinin incelenmesi,
2. Kutupsal hareket dahil yerküresi dönüşlerinin incelenmesi ve
3. Yeryüzünde bir noktanın koordinatlarının birkaç cm hassasiyetle belirlenmesi

5. SEASAT UYDUSU

Denizcilik konularında bilgi toplamak için hazırlanmış olan bu uydu 1978 Temmuz'unda yörüngesine oturtulmuşsa da, 178 gün çalıştıktan sonra görevine son verilmiştir. Bu uydunun dünyadan uzaklığı 800 km olup, yer ayırma gücü 25 m'dir. Denizlerdeki buzul ve dalga hareketleriyle fırtınalar, akıntılar ve balıkçılıkla ilgili toplamak amacıyla yapılmıştır. Görüntü boyutu 100x100 km olup algılayıcı olarak daha çok radar kullanılmaktaydı [16].

EK 2. SU ORTAMLARININ KALİTE SINIFLANDIRMASI

S.K.K.Y. 3. Bölüm Madde 7 uyarınca, akarsu göl ve baraj rezervuarlarında biriktirilen kıta içi yüzeysel sular kalitelerine göre sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

Sınıf I. Yüksek kaliteli su

Sınıf II. Az kirlenmiş su

Sınıf II. Kirli su

Sınıf IV. Çok kirlenmiş su

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

S.K.K.Y. Tablo 1’de sınıflandırmaya esas olan su kalite parametreleri ve bunlara ait sınır değerleri Sınıf I, II, III, IV için ayrı ayrı verilmiştir (Bkz. Çizelge EK 2.1). Bir su kaynağının bu sınıflardan herhangi birine dahil edilebilmesi için bütün parametre değerleri, o sınıf için verilen parametre değerleriyle uyum halinde bulunmalıdır.

Yukarıda belirtilen kalite sınıflarına karşı gelen suların, aşağıdaki su ihtiyaçları için uygun olduğu kabul edilir.

A-Sınıf I. Yüksek kaliteli su

- a. Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini
- b. Rekreatiyonel amaçlar (yüzme gibi vücut teması gerektirenler dahil)
- c. Alabalık üretimi
- d. Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı
- e. Diğer amaçlar

B-Sınıf II. Az kirlenmiş su

- a. İleri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temini
- b. Rekreatiyonel amaçlar
- c. Alabalık dışında balık üretimi
- d. Sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak kullanımı

C-Sınıf II. Kirli su

Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir.

D-Sınıf IV. Çok kirlenmiş su

Yukarıda I, II ve III sınırları için verilen kalite parametreleri bakımından daha düşük kalitedeki yüzeysel suları ifade eder.

Çizelge EK. 2.1. Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri

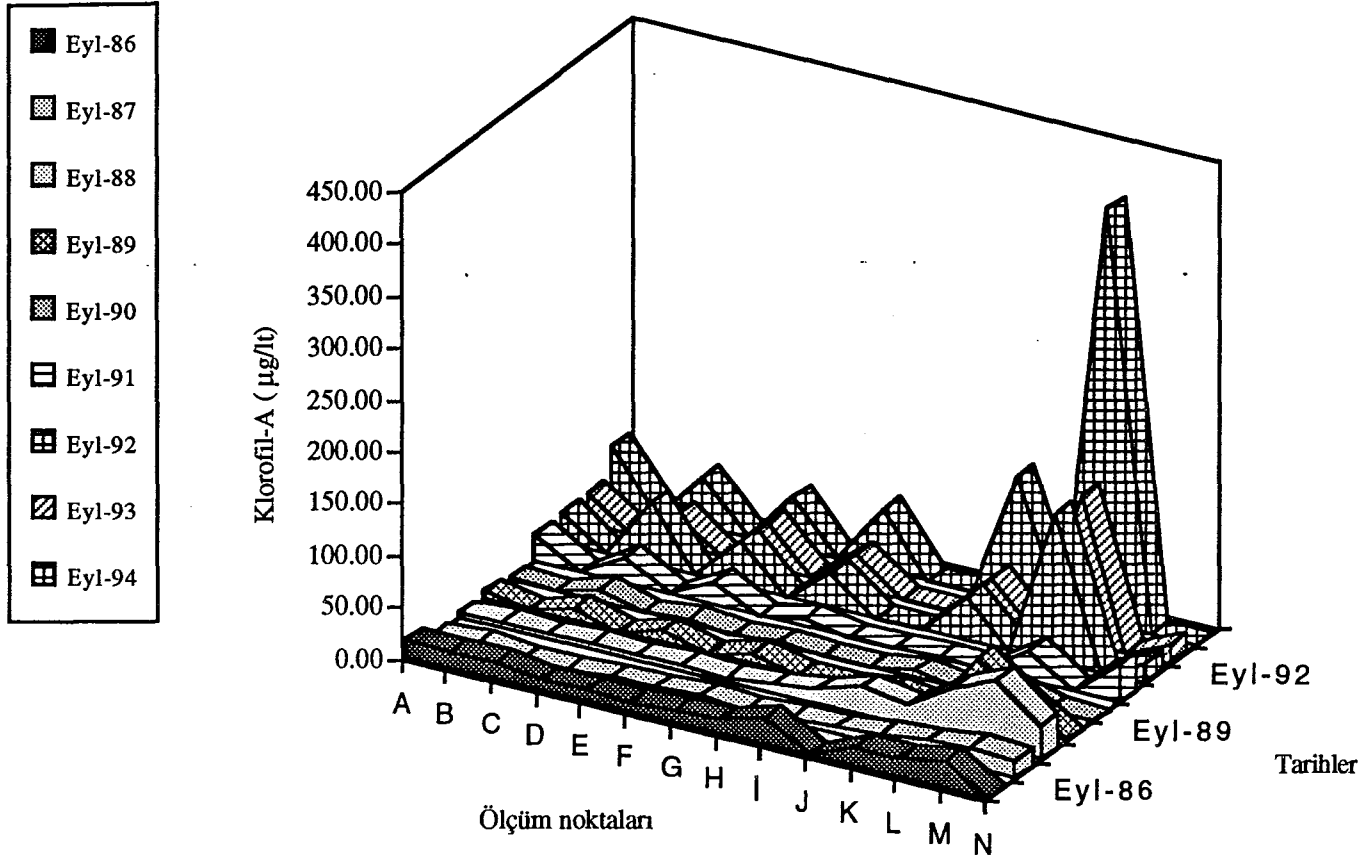
SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFI			
	I	II	II	IV
A. Fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler				
1. Sıcaklık (°C)	25	25	30	>30
2. pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	60-9.0'ın dışında
3. Çözünmüş oksijen (mg O2/lit)	8	6	3	<3
4. Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	<40
5. Klorür iyonu (mg Cl/lit)	25	200	400	>400
6. Sülfat iyonu (mg SO4/lit)	200	200	400	>400
7. Amonyum Azotu (mg NH4-N/lit)	0.2	1	2	>2
8. Nitrit Azotu (mg NO2-N/lit)	0.002	0.01	0.05	>0.05
9. Nitrat azotu (mg NO3-N/lit)	5	10	2	>20
10. Toplam Fosfor (mg PO4-P/lit)	0.02	0.16	0.65	>0.65
11. Toplam Çözünmüş Madde (mg/lit)	500	1500	5000	>5000
12. Renk (Pt-Co birisi)	5	50	300	>300
13. Sodyum (mg Na /lit)	125	125	250	>250
B. Organik Parametreler				
1. KOİ (mg/lit)	25	50	70	>70
2. BOİ (mg/lit)	4	8	20	>20
3. Organik Karbon (mg/lit)	5	8	12	>12
4. Toplam Kjeldahl-azotu (mg/lit)	0.5	1.5	5	>5
5. Emülsifiye yağ ve gres (mg/lit)	0.02	0.3	0.5	>0.5
6. Metilen mavisi aktif maddeleri (mg/lit)	0.05	0.2	1	>1.5
7. Fenolik maddeler (mg/lit)	0.002	0.01	0.1	>0.1
8. Mineral yağlar ve türevleri (mg/lit)	0.02	0.1	0.5	>0.5
9. Toplam pestisid (mg/lit)	0.001	0.01	0.1	>0.1
C. İnorganik Kirlenme Parametreleri				
1. Civa (µg Hg/lit)	0.1	0.5	2	>2
2. Kadmiyum (µg Cd/lit)	3	5	10	>10
3. Kurşun (µg Pb/lit)	10	20	50	>50
4. Arsenik (µg As/lit)	20	50	100	>100
5. Bakır (µg Cu/lit)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) (µg Cr/lit)	20	50	200	>200
7. Krom +6 ((µg Cr/lit)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	>50
8. Kobalt (µg Co/lit)	10	20	200	>200
9. Nikel (µg Ni/lit)	20	50	200	>200
10. Çinko (µg Zn/lit)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) (µg CN/lit)	10	50	100	>100
12. Florür (µg Fl/lit)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor (µg Cl/lit)	10	10	50	>50
14. Sülfür (µg S/lit)	2	2	10	>10
15. Demir (µg Fe/lit)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan (µg Mn/lit)	100	500	3000	>3000
17. Bor (µg B/lit)	1000	1000	1000	1000
18. Selenyum (µg Se/lit)	10	10	20	20
19. Baryum (µg Ba/lit)	1000	2000	2000	>2000
20. Alüminyum (µg Al/lit)	0.3	0.3	1	>1
21. Radyoaktivite (pCi/lit)				
alfa altivitesi	1	10	10	>10
beta altivitesi	10	100	100	>100
D. Bakteriyolojik Parametreler				
1. Fekal koliform (EMS/100 ml)	10	200	2000	>2000
2. Toplam koliform (EMS/100 ml)	100	20000	100000	>100000

EK 3.

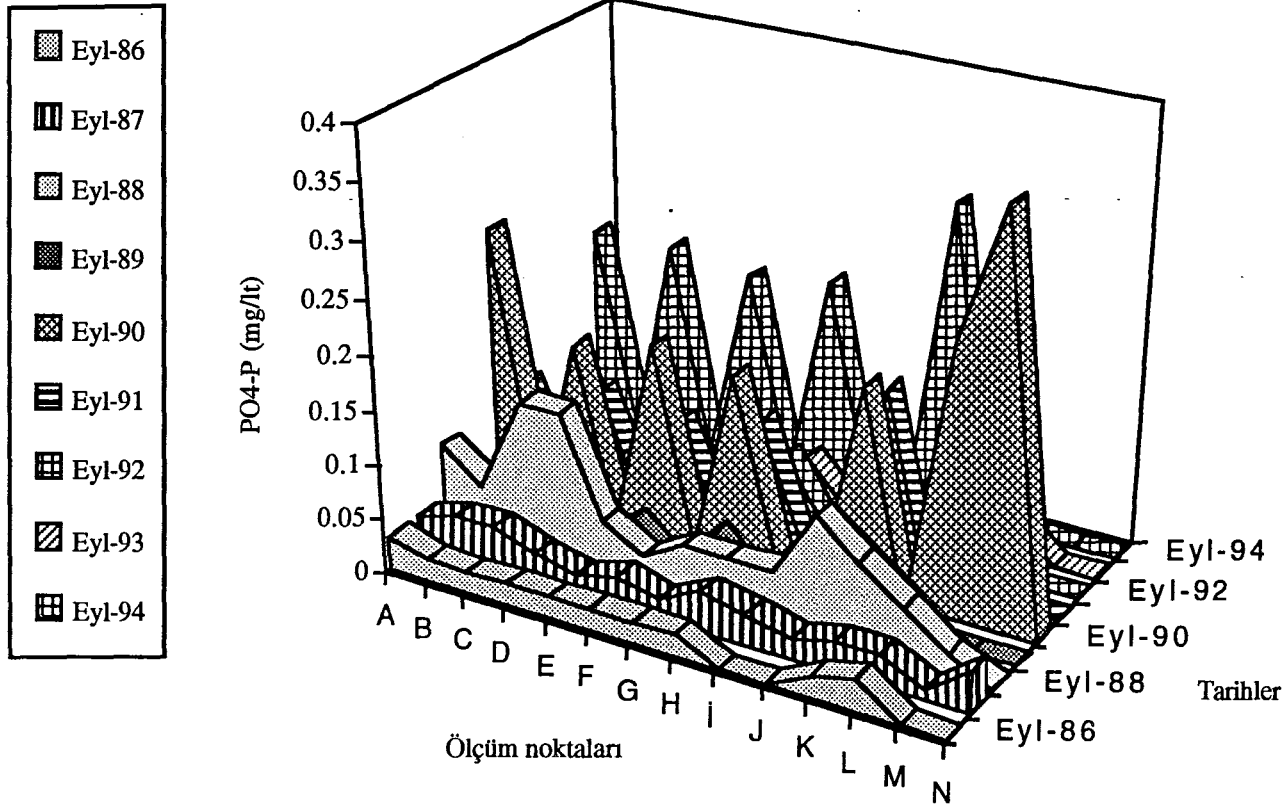
D.S.İ. TARAFINDAN PORSUK BARAJ GÖLÜ'NDE ÖLÇÜLEN SU KALİTESİ PARAMETRELERİ DEĞERLERİ (EYLÜL 1987)

Noktalar	derinlik	AKM (mg/lit)			NO3-N (mg/lit)			PO4-P (mg/lit)			Klorofil-A (µ g/lit)
	(m)	Yüzey	Orta	Dip	Yüzey	Orta	Dip	Yüzey	Orta	Dip	(kompozit)
A	30.1	5	5	5	1.95	1.8	1.8	0.03	0.03	0.02	2.43
B	28.6	3	1	2	2.3	1.8	1.05	0.03	0.04	0.2	3.98
C	21.2	3	9	5	1.8	1.8	1.4	0.03	0.04	0.08	0.17
D	25.96	2	2	2	2.15	1.95	1.95	0.03	0.03	0.12	0.18
E	26.04	1	1	2	2.15	1.8	1.4	0.03	0.02	0.18	3.99
F	25.06	7	9	10	2.15	1.95	1.8	0.03	0.03	0.17	3.82
G	21.37	7	13	13	2.3	2.5	1.15	0.03	0.02	0.17	6.6
H	17.68	7	12	15	2.5	2.65	1.85	0.03	0.04	0.06	2.95
I	17.82	9	9	8	2.3	2.65	0.85	0.03	0.03	0.25	5.03
J	18.67	6	14	6	2.5	2.3	1.15	0.03	0.02	0.12	7.4
K	17.11	10	13	17	2.3	2.3	1.5	0.03	0.03	0.1	11.34
L	14.13	17	18	21	2.5	2.3	2.3	0.04	0.03	0.05	15
M	10.03	22	21	13	3.15	3	3	0.01	0.01	0.01	18.5
N	-	-	-	-	3.15	3.15	1.73	0.04	0.04	0.08	17.5

Ölçüm alınan noktaların Porsuk Baraj Gölü içindeki konumları Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil EK.3. 1. Porsuk Baraj Gölü'nde 1986-1994 tarihleri arasında ölçülen Klorofil-A değerlerinin değişimi [12]



Şekil EK.3. 2. Porsuk Baraj Gölü'nde 1986-1994 tarihleri arasında ölçülen PO₄-P değerlerinin değişimi [12]

EK 4.

**SU KİRLİLİĞİNİN İZLENMESİNDE
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİNİN KULLANILMASI
KONULU ÇALIŞMALAR LİSTESİ**

EK. 4. Su Kirliliğinin İzlenmesinde Uzaktan Algılama Yönteminin Kullanılması Konulu Çalışmalar Listesi

Çalışmanın amacı	Referanslar
Mineso sınırları içinde bulunan 60 gölden alınan ölçüm parametreleriyle (S.D.D., klorofil-A, toplam fosfor, bulanıklık, renk ve toplam azot) Landsat MSS verileri korelasyon analizine tabi tutularak çalışma alanı için T.S.I. (Carlson Trophic State Index) verilerinin oluşturulması	Thomas M. Lillesand, Wilan L. Johnson, Richar L. Devell, Orville M. Lindstrom, Douglas E. Meisner, 1983 [46]
Flaming Garge Rezervuar'ında (Bureau) Landsat-4 1975, 1981, 1982 MSS verileriyle klorofil-A, S.D.D. ve askıda katı madde ölçüm verileriyle korelasyon analizinin uygulanması ve türetilen verilerle çalışma alanının trofik sınıflandırma haritasının oluşturulması	James P. Verdin, 1984 [66]
Landsat MSS ve Nimbus-7 uydu verileri kullanılarak kıyı erozyonunun izlenmesi, 1975'te New York Bright'te denize kirleticisi girişinin modellenmesi ve plankton dinamiğinin belirlenmesi	Robert W. Johnson, Robert C. Harriss, 1985 [50]
13.09.1981 yılına ait Landsat 2 uydu görüntüsü kullanılarak Malaren Gölü'nde katı madde dağılımının belirlenmesi	Tommy Lindell, Bert Karlson Mats Rosengren, Tom Alford, 1986 [47]
Green Körfezi ve Michigan Gölü'nden (Brunswick) alınan su kalite parametrelerinden askıda katı madde ve S.D.D. verileri ile Landsat TM bant verilerine lineer ve nonlineer regresyon analiz tekniklerinin uygulanmasıyla en iyi ilişkiyi veren regresyon modelinin oluşturulması ve kirleticisi bileşenlerin monitorlanması	Richard G., Lathrop, Jr., 1986 [41]
Airborn Tematik Haritalama (Landsat-5 Thematic Mapper) verileri ve su kalite parametrelerine çoklu regresyon analizi uygulanarak türetilen uydu verilerinden yararlanılarak Swansea Körfezi ve Bristol Kanalı'nın (Wales) askıda katı madde ve klorofil-A kirlilik haritalarının oluşturulması	J.C. Rimmer, M.B. Collins and C.B. Pattiaratchi, 1987 [40]

Çalışmanın amacı	Referanslar
Sucul ortamların yerlerinin yerlerinin tespit edilmesinde ve askıda katı madde konsantrasyonlarının monitorlanmasında Landsat MSS Spektral verilerinin başarıyla kullanıldığının "Mississippi Moon Gölü" üzerinde yapılan bir çalışmayla gösterilmesi	Jerry C. Ritchie, Charles M. Cooper, Jiang Yonging, 1987 [35]
16.03.1995, 22.07.1985, 20.10.1985, 17.12.1985 tarihli Landsat-5 TM1 verileriyle klorofil-A ölçüm verilerini kullanmak suretiyle hipertrofik yapılı Albufera (Valencia, Spain) Lagün'ünde zamana bağlı klorofil değişiminin izlenmesi	M.J.Lopes Garcia, V., Caselles, 1990 [21]
Ötrofik su niteliğinde olan New Jersey kıyı sularında üretkenlik düzeyinin ve ötrofikasyon derecesinin belirlenmesi amacıyla Landsat-5, 1985 MSS verileriyle klorofil -A ölçüm verilerinin birlikte incelenmesi ve çalışma alanının Uzaktan Algılama verilerinden türetilen klorofil-A verileriyle haritalanması.	Sima Bagher, Rase A. Dios, 1990 [43]
Landsat 4-MSS kullanılarak Fundy Körfezi ve Beaufort Denizi'nde (Kanada) yüksek konsantrasyonlarda bulunan askıda katı kaddelerin monitorlanması	B.J. Topliss, C.L. Almos and P.R. Hill, 1990 [71]
17.02.1987 yılına ait SPOT XS, HRV (XS1, XS2, XS3) ve Patzcuaro Gölü'nde (Meksika) su kalite parametreleri ölçüm verilerinden yararlanılarak, Uzaktan Algılama verilerine bağlı olarak klorofil-A ve Askıda katı madde verilerinin türetilmesi ve bu verilerin kullanılmasıyla, çalışma alanının kirlilik haritalarının oluşturulması	A. Chocon-Torres, L.G. Ross, M.C.M. Beveridge and A.I. Watson, 1990 [66]
Himmerfjarden (Baltık Denizi'nde, Kuzey Stokholm yakınlarında) Bölgesi'nde 10.03.1988 ve 07.03.1990 tarihlerinde ölçülen Klorofil-A değerleri ile aynı tarihlerde alınan Landsat TM Bant verileri arasında en iyi regresyon modelinin oluşturulması (TM1/(log TM3+1) ve modelin geliştirilmesi	S. Ekstrand, 1992 [72]
Chilcot Gölü'nde (Arkansas) Landsat 1976 ve 1987 MSS verileri kullanılarak gölde askıda katı madde konsantrasyonlarının monitorlanması	Schiebe F.R., J. A. Harrington, J.C. Ritchie 1992 [34]

Çalışmanın amacı	Referanslar
Johor-Riau Üçgeni'nde (Singapur) değişik Landsat TM bant kombinasyonları oluşturarak çalışma alanında türbidite sınıflandırmasının yapılması ve çalışma alanında klorofil-A kirlilik haritasının oluşturulması	Janet E. Nichol, 1993 [73]
Krishna Körfezi'nde (Andhra Prahesh, India) ölçülen askıda katı madde ve Landsat MSS Spektral verilerine çoklu regresyon analizinin uygulanması sonucu oluşan eşitlikten türetilen verilerin kullanılmasıyla çalışma alanının askıda katı madde haritasının oluşturulması	M. A. Reddy, 1993 [34]
Guanabara Körfezi'nde (Janeiro, Brazil) eşanlı olarak 09.09.1986 ve 11.08.1987 tarihlerinde alınan su kalite parametrelerinden S.D.D. ve klorofil-A ile Landsat -5 TM verileri arasındaki ilişkinin saptanması ve farklı bant kombinasyonları denenerek Uzaktan Algılama verileriyle ölçüm parametreleri arasında en iyi korelasyonun tespit edilmesi	Claudia Z. F. Braga, Alberto W. Setzer, Luiz Drude Locerdo, 1993 [46]
Peel-Harvey Koyunda (batı Avusturalya) GPS kullanılarak saptanan 25 örnekleme noktasında ölçülen askıda katı madde ve pigment konsantrasyonları değerleriyle Landsat 1983 ve 1990 TM 1-4 bant verilerine basit ve çoklu regresyon analizinin uygulanması ve çalışma alanının monitorlanması	Paul Lavery, Charitha Pattiaratchi, Alex Wyllre and Peter Hick, 1993 [48]
Chilka Gölü'nde (Kharagpur), 13.10.1988 tarihli sayısallaştırılmış IRS-1A uydu görüntüsünden yararlanarak türbidite sınıflandırmasının yapılması	S. Sudhakar and O.K. Pal, 1993 [42]
Naples (İtalya) Bölgesi'nde Temmuz 1988 tarihli Landsat-4 TM bant verilerinin klorofil-A konsantrasyonları ile karşılaştırılması ve çalışma alanında klorofil-A konsantrasyonunun monitorlanması	S.Tassan, M. Ribra d'Alcala, 1993 [44]

Çalışmanın amacı	Referanslar
Ömerli Gölü'nde, kirlilik karakterize eden parametrelerden Askıda katı madde parametresinin, yer bilgileri desteğinde 1984 yılı Landsat 1, 4, 5, 7 verilerinin kullanılması	Hikmet Kurar, K. Natarajan, 1994 [29]
Airborne Multispectral Video (MSV) ve 4 dört fotoğraf makinasından elde edilen Uzaktan Algılama verileri kullanılarak sulcul ortamlarda askıda katı madde derişimlerinin saptanması	Jefrey Liedtke, Arthur Roberty and John Luternauer, 1995 [74]
Nagpur, India'da bulunan 90 farklı hipertrofik yapıda olan göl rezervuarlarda su kalite parametrelerinin (askıda katı madde, organik madde, klorofil-A) Spot uydu verileriyle korelasyona tabi tutularak, su kalite parametreleriyle uydu verileri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve farklı yapıdaki rezervuar su kalitelerinin belirlenmesi	Dor, I., Ben-Yosef, N., 1996 [75]
Coğrafi Bilgi Sistemleri ve 1931-1989 tarihleri arası çeşitli yıllarda alınan Uzaktan Algılama verilerinden yararlanarak Nehirlere yapılan nitrat deşarj miktarının saptanması	Mattikalli, N.M., Devereux B.J., Richard, K.S., 1996 [76]
Uzaktan Algılama verileri yardımıyla (Landsat TM1-TM4) Venice Lagünü'nün (Roma İtalya) morfolojik yapısının belirlenmesi ve TM4 bant verisi kullanarak çalışma alanının sınıflandırılması. Ayrıca istatistik paket programlarıyla çalışmanın doğruluğunun test edilmesi.	Picchiotti, A., Casaccnia, Salvatori, R., 1997 [77]

EK 5.
ÖLÇÜM VE HESAPLAMA YOLUYLA BULUNAN
SU KALİTE PARAMETRELERİ İÇİN
CHI² SINAMA SONUÇLARI

	Örnek sayısı	Chi2	Olasılık
Klorofil-A	13	18.56	0.1374
AKM/Orta	12	18.98	0.9
AKM/Yüzey	12	18.916	0.9
AKM/Dip	12	28.391	0.0048
NO3-N/Orta	13	0.226	1
NO3-N/Yüzey	13	0.413	1
NO3-N/Dip	13	1.812	0.99
G.I.S.D.	13	7.63	0.86

Standart Chi 2 Tablosu

ν	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.25}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	.455	.102	.0158	.0039	.0010	.0002	.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	.575	.211	.103	.0506	.0201	.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	.584	.352	.216	.115	.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	.711	.484	.297	.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.08	4.35	2.67	1.61	1.15	.831	.554	.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	.872	.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.6	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.58	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	56.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

EK 6. SÖZLÜK

Algılayıcı; Fiziksel niceliklerin (ışık şiddeti veya sıcaklık gibi) düzeylerine veya değişimlerine duyarlı olan ve bu olayları bir bilgi toplama sistemine girdi olmaya uygun bir formata dönüştüren herhangi bir aygıt. Aktif bir algılayıcı sistem (radar gibi), bu olayları saptamak için gerekli enerjiyi üretir. Pasif bir algılayıcı sistem ise (çok spektrumlu tarayıcı, hava fotoğrafı kamerası), daha önceden mevcut olan enerji kaynaklarına bağımlıdır.

Atmosferik Pencere; Elektromagnetik spektrum içerisinde soğurulmanın hiç olmadığı veya çok az meydana geldiği kısımlar “atmosfer pencere” olarak adlandırılır.

Atmosferik Zayıflama; Enerjinin atmosfer tarafından soğurulması ve/veya saçılması nedeniyle ışıının şiddetinin azalması. Genellikle dalga boylarına bağımlıdır. Hem yer yertzüne gelen güneş ışıını, hem de yeryüzeyinden algılayıcıya gelen yansıyan/yayılan ışıını etkileyebilir.

Çok Spektrumlu Tarayıcı; Genellikle birçok spektral bölgede olmak üzere birçok dalga boyu bandında mevcut enerjiyi anında ölçmek için bir dizi dedektör, dalga boyu seçici bir ayırıcı düzenek ve salınan veya dönen bir ayna kullanan satır tarayan bir algılamayı. Platformun hareketi, genellikle tarayıcının iz boyunca ilerlemesini sağlar.

Çözme; Bir optik sistemin, uzaysal yakın veya spektral benzer sinyaller arasında ayırım yapabilme tekniğinin bir ölçüsüdür. *Uzaysal Çözme*, Daha küçük çözme parametrelili, büyük bir çözme gücü demektir. İki cisim arasında en küçük açısal veya doğrusal ayırım ölçüsüdür. *Spektral çözme*, ise hem bant genişliklerinin kesikliliğinin, hem de algılayıcının, gri tonları arasında ayırım yapma duyarlılığının bir ölçüsüdür. Örn. Landsat 1 ve 2’de, algılayıcılardan üç tanesi, 0.1µm’nin üstündeki dalga boyu bölgelerine duyarlı idi ve 128 spektral yoğunluk düzeyi arasında ayırım yapabiliyordu. Dördüncü algılayıcı ise, 0.3µm bölgesine duyarlı idi ve 64 yoğunluk düzeyi arasında ayırım yapabiliyordu (yayılan enerjiyi ölçen algılayıcıların duyarlılığını tanımlamada *ısı çözme* terimi de kullanılabilir). Bir uzaktan algılama sisteminin uzaysal çözmesi, görüntüdeki cisimlerle bunların arka planları arasındaki spektral kontrastın, cisimlerin şeklinin ve sistemin sinyal-gürültü oranının bir fonksiyonudur.

Distrofik göller; Üretim ve tüketim dengesi tamamen bozulmuş göllerdir. Asidik bir yapı ve koyu kahverengi bir yapıya sahip olan bu göllerde ancak bazı canlı türleri yaşamlarını sürdürebilmektedir.

Elektromagnetik Spektrum; Dalga boyu veya frekans ile karakterize edilen ışık hızıyla hareket eden elektromagnetik ışıının dizisinin tümü.

Filtre; Optik sinyalleri ve dijital sinyalleri belirli kriterlere göre değiştiren herhangi bir düzenek. Optik filtre enerjinin sadece istenen dalga boylarını geçirir.

Görünür Dalga Boyları; İnsan gözünün duyarlı olduğu ışınım bölgesi.

Gürültü; Verilerin bilgi taşıma niteliğini azaltan rastgele veya düzenli girişim etkileri.

Hedef; Uzaktan Algılama sistemi tarafından ölçülen ışını yansıtma veya yayma yoluyla oluşturan yery zeyi bölümü.

Kızıl  tesi; Elektro manyetik spektrumun 0.7'den 100  m'ye kadar olan dalga boyu bölgesindeki enerjiye aittir.

Liebig Minumum Yasası; Bir ortamdaki büyüme hızının, bu ortamda bulunan nütrientler içinde en kısıtlı olan nütrient tarafından belirlenmesi kuralıdır. Yüzey sularında birincil üretimin sınırlayabileceği faktörler azot ve fosfor olmaktadır.

Mezotrofik Göller; Alg ve organik madde miktarı, az beslenmiş g llere oranla daha fazla ancak, alg patlamaları görülmeyen göllerdir.

Mie Saçılımı; Elektromanyetik enerjinin büyüklükleri, saçılan enerjinin dalga boyu ile karşılaştırılabilir olan, atmosferik taneciklerden saçılması.

Oligotrofik Göller; Kirlilik açısından temiz göllerdir. G l içinde algler ve organik maddeler az olup, her türden canlı olmakla beraber, canlı sayısı azdır.

Ötrofikasyon; Su ortamında ( zellikle göllerde) besin zenginleşmesi ve sonuçta aşırı miktarda organik madde üretim süreci için kullanılan bir terimdir. Ötrofikasyon doğal olarak cereyan eden bir olay olmakla beraber, antropojen etkilerle hızı artar.

Piksel; Hem uzaysal hem de spektral özellikleri olan veri elemanı.

Radyometrik Dönüşümler;  şenmemiş, çok spektrumlu verileri radyometrik tutarlı  l me dizisine dönüştürmek için verilerden yapılan dengelemeler.

Rayleigh Saçılımı;  şenmemiş, çok spektrumlu verileri radyometrik tutarlı  l me dizisine dönüştürmek için verilerden yapılan dengelemeler.

Referans Verileri; Birincil uzaktan algılama veri kaynağı dışındaki kaynaklardan elde edilen ve uzaktan algılama veri analizine destek sağlaması için kullanılan, yer yüzünün fiziksel durumu ile ilgili veriler. Tipik olarak, haritaları, hava fotoğraflarını, topoğrafik bilgileri, sıcaklık ölçmelerini ve diğer yer ölçmelerini ve atmosferik koşullarla ilgili verileri içerebilir. Bu referans verileri, çoğu durumlarda, birincil veri toplama misyonu ile uyumlu toplandıklarında, daha yararlı olurlar. Bunlara, *yersel ölçülen değerler*, *yersel veriler*, *yere dayalı ölçmeler* de denir.

Renkli Kızılötesi Film; Görünür ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki enerjiye duyarlı olan fotoğrafik film, genellikle 0.4'ten 0.9 m'ye kadar. Genellikle 0.5'ten 0.9 m'ye kadar etkin film duyarlılığına neden olan bir mavi (sarı) filtre ile kullanılır. Renkli kızılötesi film, özellikle, ekseriya spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde algılanan bitki örtüsünün kondisyonundaki değişimleri saptamada yararlı olur. Renkli kızılötesi filmin, ısırl kızılötesi bölgede duyarlı *olmadığına* ve bu nedenle, ısıya duyarlı bir detektör olarak kullanılmayacağına dikkat ediniz.

Saçılım; Elektromanyetik enerjinin atmosferdeki taneciklerden yansması ve kırılması.

Seçici Olmayan Saçılım; Elektromanyetik enerjinin, tüm dalga boylarının eşit saçılmasına neden olacak biçimde, enerjinin dalga boylarından çok daha geniş olan, atmosferdeki taneciklerden saçılması.

Sinyal; Bir iletişim yolu veya sistemi ile taşınan etki.

Siyah Cisim; Eğer var olsa idi, gelen tüm ışınımı soğuracak, hiç yansıtmayacak ve tüm dalga boylarında ışınım yayacak mükemmel bir ışınlayıcı olabilecek ideal bir cisim. Uzaktan Algılamada, çeşitli sıcaklıklardaki siyah cisimlerin çıkış eğrileri, güneş ışınımı ve yersel yayım gibi doğal olayları modellemek için kullanılabilir.

Soğurma; Işıyan enerjinin, atmosferden veya başka ortamlardan geçerken, soğurulduğu ve başka enerji biçimlerine dönüştürüldüğü bir zayıflama süreci.

Soğurma Bandı; Işıyan enerjinin, yeryüzeyinde veya atmosferde mevcut olması olası belirli bir madde tarafından soğurulduğu bir dalga boyu bölgesi. Örneğin “su soğurma bandı”, 2.6 μm civarında yer alır. Bu dalga boyu yakınlarındaki güneş enerjisi, hem atmosferde hem de çarptığı yer yüzü maddelerinde mevcut su tarafından soğurulur.

Spektral Bant; Elektromanyetik spektrumda açık bir şekilde tamamlanmış sürekli bir dalga boyu bölgesi.; örn., 0.5’ten 0.6 μm ’ye kadar olan spektral bant “Dalga boyu bandı da denir”.

Spektral Bilgiler; Doğal görüntüdeki bireysel çözölen hücrelerin spektral duyarlılığının taşıdığı bilgiler.

Spektral Bölgeler; Elektromanyetik spektrumunu alt bölümlere ayıran, uygun biçimde belirlenmiş dalga boyları bölümleri; örn., görünür bölge, X-ışını bölgesi, kızılötesi bölge, orta kızıl ötesi bölge.

Spektral Duyarlık; Bir maddenin özellikle, kendisinden yansıyan ve yayılan ölçülebilir enerji cinsinden olmak üzere, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak, gelen elektromanyetik enerjiye olan duyarlılığı.

Yansıtıcı Dalga Boyları; Uzaktan Algılama için mevcut enerjinin, öncelikle, güneş ışınımının yansımından oluştuğu, elektromanyetik spektrumun optik bölgesindeki dalga boyları. Dalga boyları bölgesi, 0.3’ten 3.0 μm ’ye kadardır.

Yansıtım; Bir yüzeyin, enerji yansıma yeteneğinin bir ölçüsü ve yansıyan enerjinin gelen enerjiye olan oranı. Yansıtım sadece yüzeyin kendi doğal yapısından değil, aynı zamanda geliş açısından da etkilenir.