



**ARTVİN KARAGÖL'DE BULANIKLIK VE KLOROFİL-A  
DÜZEYLERİNİN SAHA ÇALIŞMALARI VE UZAKTAN  
ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**Mustafa AKGÜN**

**Doktora Tezi**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Çevre Bilimleri Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN**

**Dr. Öğr. Ü. Necla BARLIK**

**2019**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**ARTVİN KARAGÖL'DE BULANIKLIK VE KLOROFİL-A  
DÜZEYLERİNİN SAHA ÇALIŞMALARI VE UZAKTAN  
ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**Mustafa AKGÜN**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Çevre Bilimleri Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2019**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ARTVİN KARAGÖL'DE BULANIKLIK VE KLOROFİL-A DÜZEYLERİNİN SAHA  
ÇALIŞMALARI VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE  
BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN danışmanlığında, Dr. Öğr. Ü. Necla Barlık yardımcı danışmanlığında Mustafa AKGÜN tarafından hazırlanan bu çalışma, 25/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı – Çevre Bilimleri Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği (7/7)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Alper NUHOĞLU

İmza:

Üye: Prof Dr. Yalçın Kemal BAYHAN

İmza:

Üye: Prof. Dr. Reşat ACAR

İmza:

Üye: Prof. Dr. Birol SOYSAL

İmza:

Üye: Doç Dr. Fatih TOSUNOĞLU

İmza:

Üye: Doç.Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Ü Necla BARLIK

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 26/12/2019 tarih ve 50/47 nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet KARAKAN**  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Doktora Tezi

### ARTVİN KARAGÖL'DE BULANIKLIK VE KLOROFİL-A DÜZEYLERİNİN SAHA ÇALIŞMALARI VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE BELİRLENMESİ

Mustafa AKGÜN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN  
Yardımcı Danışman: Dr. Öğr. Ü. Necla BARLIK

Çalışmada, Artvin ili sınırları içinde bulunan Karagöl'den önceden belirlenen noktalardan örnekler alınarak gölün bulanıklık ve klorofil-a düzeyleri belirlenmiş, GÖKTÜRK-2 uydusu verileri ile amprik birer model türetilmiş ve bulanıklık, klorofil-a haritaları yapılmıştır. Bulanıklık için geliştirilen model, uydu görüntülerinin mavi, yeşil ve kırmızı bantlarının spektral yansıma değerlerinin kombinasyonlarının ve bulanıklık değerlerinin çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilmiştir ( $R^2=0.80$ ). Klorofil-a için geliştirilen model ise, uydu görüntülerinin kızılötesi, kırmızı ve mavi bantlarının spektral yansıma değerlerinin kombinasyonlarının ve klorofil-a değerlerinin çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilmiştir ( $R^2=0.89$ ). Daha sonra bulanık mantık tekniği ile bulanıklık ve klorofil-a modellemeleri kullanılarak bulanıklık ve klorofil-a konsantrasyonunun tahmin edilme yoluna gidilmiştir (sırayla  $R^2=0.81$  ve  $R^2=0.91$ ). Sonuç olarak bulgular, uzaktan algılama tekniklerinin göldeki bulanıklık ve klorofil-a düzeylerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini ve bulanık mantık tekniği ile geliştirilen modellemelerin ise çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilen modellemelere göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

**2019, 89 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan algılama, GÖKTÜRK-2, Bulanıklık, Klorofil-a, Bulanık mantık

## ABSTRACT

Ph D. Thesis

### DETERMINATION OF TURBIDITY AND CHLOROPHYLL-A LEVELS IN ARTVIN KARAGOL WITH FIELD STUDIES AND REMOTE SENSING TECHNOLOGIES

Mustafa AKGÜN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering  
Department of Environmental Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN  
Co Supervisor: Dr. Öğr. Ü. Necla BARLIK

In this study, turbidity and chlorophyll-a levels of the lake were determined by taking samples from predetermined points in Karagöl within Artvin province, an empirical model was derived from GÖKTÜRK-2 satellite data, and turbidity and chlorophyll-a maps were made. The model developed for turbidity was developed by multiple linear regression analysis of the combinations of spectral reflection values of the blue, green and red bands of the satellite images ( $R^2 = 0.80$ ). The model developed for chlorophyll-a was developed by multiple linear regression analysis of combinations of spectral reflection values of infrared, red and blue bands of satellite images and chlorophyll-a values ( $R^2 = 0.89$ ). Then, turbidity and chlorophyll- $\alpha$  models were used to estimate turbidity and chlorophyll- $\alpha$  concentrations by using fuzzy logic technique ( $R^2 = 0.81$  and  $R^2 = 0.91$ , respectively). As a result, the results showed that remote sensing techniques could be used to determine turbidity and chlorophyll-a levels in the lake, and that the models developed with the fuzzy logic technique were more successful than the models developed with multiple linear regression analysis.

**2019, 89 pages**

**Keywords:** Remote sensing, GÖKTÜRK-2, Turbidity, Chlorophyll-a, Fuzzy logic

## TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu alışma Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi ve evre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında ve Ardahan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında yürütölmüştür.

Araştırmanın planlanmasından yürütölmesine ve sonuçlarının değerlendirilmesine kadar her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım Atatürk niversitesi evre Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Yalçın Kemal BAYHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen yardımcı danışmanım Ardahan niversitesi evre Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Dr. Öğr. Ü. Necla BARLIK'a teşekkür ederim.

Çalışmada gerekli uydu görüntülerinin sağlanması konusunda teknik desteklerini esirgemeyen Türk Hava Kuvvetlerine teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi-manevi destekleriyle daima yanımda olup tez çalışmalarım boyunca da gösterdikleri sabır ve destekle üzerimde sayısız emekleri bulunan kıymetli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

**Mustafa AKGÜN**

**Aralık, 2019**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>5</b>
2.1. Uzaktan Algılama Sistemi.....	6
2.1.1. Verinin elde edilmesi.....	6
2.1.2. Verinin işlenmesi.....	7
2.2. Elektromanyetik Enerji.....	8
2.3. Elektromanyetik Spektrum.....	9
2.4. Çözünürlük.....	14
2.4.1. Mekânsal çözünürlük.....	14
2.4.2. Spektral çözünürlük.....	15
2.4.3. Zamansal çözünürlük.....	16
2.4.4. Radyometrik çözünürlük.....	17
2.5. Görüntü İşleme.....	18
2.5.1. Ön işlemler.....	19
2.5.1.a. atmosferik düzeltme.....	20
2.5.1.b. geometrik düzeltme.....	24
2.5.2. Görüntü zenginleştirme.....	26
2.5.2.a. spektral dönüşümler.....	27
2.5.2.b. mekânsal dönüşüm.....	36
2.5.3. Sınıflandırma.....	37
2.5.3.a. kontrolsüz sınıflandırma.....	40
2.5.3.b. kontrollü sınıflandırma.....	41
2.6. Bulanık Mantık.....	42

2.6.1. Bulandırıcı .....	43
2.6.2. Bulanık kural tabanı .....	43
2.6.2.a. mamdani tipi bulanık kurallar.....	44
2.6.2.b. tekli (singleton) tip bulanık kurallar .....	45
2.6.2.c. takagi-sugeno tip bulanık kurallar .....	45
2.6.2.d. tsukamoto tipi bulanık kurallar .....	45
2.6.3. Durulayıcı .....	45
2.7. Göl Ötrofikasyonu ve Trofik Seviyelerine Göre Göllerin Sınıflandırılması.....	46
2.8. Regresyon Modelleri .....	51
2.8.1. Basit doğrusal regresyon modeli .....	51
2.8.2. Çoklu doğrusal regresyon modeli.....	52
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>54</b>
3.1. Materyal.....	54
3.1.1. Çalışma alanı .....	54
3.1.2. Veri toplama .....	54
3.1.2.a. Uydu görüntüsü verilerinin toplanması .....	54
3.1.2.b. Arazi verilerinin toplanması.....	55
3.2. Yöntem .....	56
3.2.1. Bulanıklık .....	56
3.2.2. Klorofil-a .....	57
3.2.3. Görüntü işleme .....	58
3.2.4. İstatistiksel analiz .....	58
3.2.5. Bulanık mantık .....	59
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>60</b>
4.1. Klorofil-a Değerlerine Yönelik Bulgular .....	60
4.2. Bulanıklık Değerlerine Yönelik Bulgular .....	61
4.3. Alan Verilerinin İstatistiksel Analizi.....	62
4.4. Klorofil–a ve Bant Kombinasyon Değerlerinin İstatistiksel Analizi .....	63
4.5. Bulanıklık ve Bant Kombinasyon Değerlerinin İstatistiksel Analizi .....	64
4.6. Klorofil–a Modellemesi .....	65
4.6.1. Regresyon analizi ile klorofil–a modellemesi .....	65
4.6.2. Bulanık mantık tekniği ile klorofil-a modellemesi.....	68

4.6.3. Klorofil-a verisinin haritalanması .....	70
4.6.4. Tartışma.....	71
4.7. Bulanıklık Modellemesi .....	72
4.7.1. Regresyon analizi ile bulanıklık modellemesi.....	73
4.7.2. Bulanık mantık tekniği ile bulanıklık modellemesi .....	75
4.7.3. Bulanıklık verisinin haritalanması.....	77
4.7.4. Tartışma.....	78
4.8. Karagöl İçin Geliştirilen Modellerden Yararlanılarak Çil Gölü'nde ki Klorofil-a ve Bulanıklık Düzeylerinin Tahmin Edilmesi.....	79
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>82</b>
KAYNAKLAR .....	84
ÖZGEÇMİŞ .....	90

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Derece (Sıcaklık)
µg	Mikrogram
µm	Mikrometre
A	Genlik
AKM	Askıda Katı Madde
AOI	Area of Interest
C	Karbon
EMR	Elektro Manyetik Rezonans
f	Frekans
λ	Dalga Boyu
L	Litre
MgCO <sub>3</sub>	Magnezyum Karbonat
N	Azot
n	Örnekleme
NIR	Near Infra Red
nm	Nanometre
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
P	Fosfor
SWIR	Short Wave Infra Red
UTM	Universal Transver Merkatör

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Uzaktan algılamanın temel bileşenleri .....	7
Şekil 2.2. Elektromanyetik enerjinin dalga karakteri.....	8
Şekil 2.3. Bazı maddelerin spektral yansımaları .....	9
Şekil 2.4. Elektromanyetik spektrum.....	11
Şekil 2.5. Mekânsal çözünürlüğe örnek .....	15
Şekil 2.6. Spektral çözünürlüğe örnek .....	16
Şekil 2.7. Zamansal çözünürlüğe örnek.....	17
Şekil 2.8. Radyometrik çözünürlüğe örnek .....	18
Şekil 2.9. Görüntü işlemenin aşamaları .....	19
Şekil 2.10. Radyasyonun atmosferle etkileşimi.....	21
Şekil 2.11. (a) Ham Landsat-7 ETM+ yapay renk kompozit görüntüsü (rgb girişleri olarak sırasıyla 4, 3 ve 2. bantlar kullanarak) (b) rgb kanallarında kullanılan 256 renk seviyesinin frekans histogramları.....	29
Şekil 2.12. (a) Şekil 2.11’de gösterilen görüntünün her kanaldaki minimum ve maksimum histogram değerlerinin sırasıyla 0 ve 255 olarak ayarlandığı lineer kontrast zenginleştirilmesinden sonraki hali (b) zenginleştirilmiş görüntünün histogramları .....	31
Şekil 2.13. (a) Şekil 2.11’de gösterilen görüntüye uygulanan histogram eşitlemesi. (b) Şekil 2. 13 (a)’da gösterilen görüntünün histogramı.....	33
Şekil 2.14. (a) Şekil 2.11’de gösterilen görüntüye uygulanan gauss yayma işlemi (b) Şekil 2. 14 (a)’da gösterilen görüntünün histogramı.....	35
Şekil 2.15. Bulanık mantık denetleyicisi .....	42
Şekil 3.1. Karagöl’ün konumu .....	54
Şekil 4.1. Denklem 1 – 5’e göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen klorofil–a değerleri.....	68
Şekil 4.2. Bulanık mantığa göre ölçülene karşılık tahmin edilen klorofil–a değeri .....	69
Şekil 4.3. Karagöl’ün 18 ağustos 2017 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası....	70
Şekil 4.4. Karagöl’ün 11 Temmuz 2018 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası..	71

<b>Şekil 4.5.</b> Denklem 6 – 10’a göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen bulanıklık değerleri .....	75
<b>Şekil 4.6.</b> Bulanık mantığa göre ölçülene karşılık tahmin edilen bulanıklık değeri .....	76
<b>Şekil 4.7.</b> Karagöl’ün 18 Ağustos 2017 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası..	77
<b>Şekil 4.8.</b> Karagöl’ün 11 Temmuz 2018 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası .....	78
<b>Şekil 4.9.</b> Çil gölü ve Karagöl’ün konumu .....	79
<b>Şekil 4.10.</b> Çil gölünün 11 Temmuz 2018 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası .....	80
<b>Şekil 4.11.</b> Çil Gölünün 11 Temmuz 2018 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası .....	81

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uzaktan algılamada kullanılan elektromanyetik spektrum bölgeleri .....	12
Çizelge 2.2. Göllerdeki klorofil-a düzeylerinin uydu görüntüleri tahmin edilmesi ile ilgili bazı çalışmalar .....	14
Çizelge 2.3. Trofik seviyelerine göre göllerin sınıflandırılması .....	47
Çizelge 2.4. Trofik Durum ile İlişkili Bazı İndikatörler .....	50
Çizelge 3.1. Karagöl'den alınan su numunelerinin koordinatları .....	55
Çizelge 4.1. 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde Karagöl'den alınan su numunelerinin klorofil-a değerleri.....	60
Çizelge 4.2. 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde Karagöl'den alınan su numunelerinin bulanıklık değerleri.....	61
Çizelge 4.3. Alan değişkenlerinin istatistiksel değerleri.....	62
Çizelge 4.4. Alan değişkenlerinin birbiriyle gösterdikleri korelasyon katsayıları.....	63
Çizelge 4.5. Klorofil-a değeri ile kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bantların çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu .....	64
Çizelge 4.6. Bulanıklık değeri ile kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bantların çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu .....	64
Çizelge 4.7. Klorofil-a değeri ile çeşitli bant kombinasyonlarının çoklu doğrusal regresyon katsayıları .....	66
Çizelge 4.8. Bulanıklık değeri ile çeşitli bant kombinasyonlarının çoklu doğrusal regresyon katsayıları .....	73

## 1. GİRİŞ

Su kalitesinin uzaktan algılama yöntemi ile izlenmesine yönelik çalışmalar (Braga *et al.* 1993; Toming *et al.* 2016) mevcut olup, uydu görüntülerine geçmiş yıllara oranla nispeten kolay ulaşılabilmesi, uzaktan algılama çalışmalarına hız kazandırmıştır. Su kalitesinin uzaktan algılanması yoluyla belirlenmesinin birçok pratik yönü bulunmaktadır (Watanabe *et al.* 2015; Dlamini *et al.* 2016). Ancak kullanımı birçok hassas sorunun üstesinden gelmeyi gerektirir. Yüzeysel suyu kalitesindeki hem mekânsal hem de zamansal değişkenliğin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için yüzeysel suyu kalitesi parametrelerindeki değişiklikleri izlemek için bir teknik gereklidir. Geniş kapsama alanı ile uzaktan algılama sistemleri, geniş bir coğrafi alandaki su kalitesi hakkında nispeten düşük maliyetli, eşzamanlı bilgi elde etmek için alternatif bir yol sağlar. Saha ölçümlerine kıyasla çok ekonomik maliyetlerle çok değerli bilgiler elde edilebilir (Li 1994).

Uzaktan algılama; objelere fiziksel temasta bulunmadan herhangi bir uzaklıktan yapılan ölçme, nesnelere hakkında bilgi edinme bilim ve sanatı şeklinde tanımlanmaktadır (Sönmez ve Sarı 2002). Su kalitesinin uzaktan algılama yöntemiyle belirlenmesine yönelik çalışmalar Landsat uydusunun fırlatılmasıyla başlamış ve günümüze kadar ulaşmıştır (Lillesand *et al.* 1983; Lathrop and Lillesand 1986; Gholizadeh *et al.* 2016). Bu çalışmalarda; yeşil, kırmızı ve kızılötesi bantlar tekil olarak ve bu bantların kombinasyonları olarak kullanılmıştır (Hasmedi and Norsaliza 2010; Somvanshi *et al.* 2012). Uzaktan algılama yöntemi ile mevcut durum belirlenebilmekte ve geçmiş veriler işlenerek sürecin işleyişi hakkında bilgi sahibi olabilmek de mümkündür.

Son yıllarda gittikçe daha çok hissedilen yağış değişkenliği, su kaynaklarının daha etkin kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Hızlı nüfus artışı ve gelişen teknoloji temiz su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırmış ve sonucunda, dünyanın birçok bölgesinde temiz suya ulaşılması zorlaşmış ve su kıtlığı gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sebeple su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı küresel düzeyde önem taşımaktadır.

Kirleticiler karışıkları su kaynağının kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirmektedirler. Su kalitesinin bozulmasında kirleticilerden başka sıcaklık, yağış, su kaynağının hidrolik özellikleri de etki etmektedir (Barut vd 2015). Uzaktan algılama yöntemiyle su kaynaklarının izlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Zhou and Zhao 2011; Mouw *et al.* 2015; Palmer *et al.* 2015).

Çevresel problemleri tanımak ve çalışmak amacıyla bir takım araştırmalar yapılmaktadır. Ancak her ne kadar güncel teknoloji araştırmaların hızını ve bilgi toplamayı hızlandırmış olsa da dinamik bir yapıya sahip olan çevreyi yönetmek, ileriye dönük planlar yapmak ve mevcut durum hakkında güncel bilgilere ulaşmak karmaşık bir işlemdir.

Bununla birlikte, su kalitesi veya değişiminin kaynağı hakkında anlamlı bilgi edinmek için, uzaktan algılama verilerinin coğrafi ve tarihsel bilgiler bağlamında işlenmesi ve yorumlanması gerekir. Uzaktan algılanan veriler; uydunun sensörlerinde ışık ve optik ölçümlere bağlı çalışmaktadır. Bu nedenle, su kirliliği izleme çalışmalarında kullanımı için uygun teknik ve yöntemler geliştirmek amacıyla araştırmalar yapılması gerekmektedir.

Okyanus sularının uzaktan algılanmasına ilişkin çalışmaların yaklaşık elli yıl öncesine dayandığı bilinmektedir (Gordon *et al.* 1975). Bir itici güç, ise 1978'de Kıyı Bölgesi Renkli Tarayıcı'yı (CZCS) taşıyan Nimbus 7 uydusunun piyasaya sürülmesine yol açan uydu teknolojisinin gelişmesiydi. Bu özellikle okyanusların uzaktan algılanması için tasarlanan ilk optik uydu aletiydi ve ana odağı klorofilin (okyanus rengi) mekânsal dağılımıydı (Strömbeck 2001).

Göllerin uzaktan algılanması, okyanuslarinkine paralel olarak gelişmiştir, ancak özel olarak tasarlanmış hiçbir uydu algılayıcısı bulunmadığından biraz daha zor bir başlangıç yapmıştır (Dekker 1993). Buna rağmen, öncelikle karasal uygulamalar için tasarlanmasına rağmen, Landsat uydularındaki MSS (Multispectral Scanner) ve TM (Tematik Mapper) sensörleri kullanılarak ilk çalışmalar yapılmıştır (Strömbeck 2001).

Su kalitesinin parametrelerinden klorofil ve bulanıklık değerlerini konu alan çalışmalar incelendiğinde (Kutser *et al.* 2005; Hellweger *et al.* 2007; Usali and Ismail 2010; Brezonik *et al.* 2015; Dogliotti *et al.* 2015), bu parametreler uzaktan algılama yöntemi ile belirlenebilmektedir. Uydudan alınan görüntüler üzerinde matematiksel modeller geliştirilerek klorofil değeri tahmin edilebilmekte (Strömbeck and Pierson 2001; Hartnett and Nash 2015; Abdelmalik 2016) ve arazi çalışmasına ihtiyaç duyulmadan su kalitesine ilişkin somut bulgular elde edilebilmektedir.

Son yıllarda nüfus, sanayileşme ve kentleşmenin hızla artması ile birlikte atıksuların arıtılmadan su kaynaklarına verilmesi, tarımda kullanılan gübre ve tarım ilaçlarının su kaynaklarına karışması ve su tüketiminin artması sonucunda su kaynaklarının kalitesindeki değişimin incelenmesi oldukça önem kazanmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda Göktürk-2 uydusu kullanılarak yapılan arazi çalışmaları bulunsa da (Marangoz ve Alkış 2012; Yılmaz vd 2015) göllerde su kalitesinin belirlenmesine yönelik bir çalışma bulunamamıştır. Bu durum, çalışmanın en özgün yanını oluşturmaktadır.

Ender bir topoğrafik karakter gösteren Karagöl ve çevresi yer yer vadilerle yarılmıştır. Bu yarılmalar yörede heyelan ve kütle hareketlerinin aktif olmasına neden olmuştur. Karagöl; rasyonel olarak kayan kütlelerin gerisindeki anakta biriken suların meydana getirdiği bir heyelan gölüdür. Göl çevresi yoğun ormanlarla kaplı olup, ormanı meydana getiren ağaç türleri genelde ladin ve çamlardan ibarettir. Karagöl, 31.08.1994 tarih ve 22037 sayılı Resmi gazete 94/5841 sayılı Bakanlar Kurulu kararına göre 5.7.1994 tarihinde milli park ilan edilen Karagöl-Sahara Milli Parkı'nın Karagöl bölümünde bulunmaktadır. Bu bağlamda Karagöl koruma altına alınmıştır. Bunun için gölün su kalitesinin izlenmesi önemlidir.

Bu alışma kapsamında, Karagöl'ün bulanıklık ve klorofil-a düzeyleri için yapılacak izleme çalışmalarında kolaylık sağlanması açısından Türkiye'de yeni yeni ele alınmaya başlanılan uzaktan algılama yöntemi ile koruma altına alınmış olan Karagöl'de su kalitesi

kriterlerinden bulanıklık ve klorofil-a düzeylerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Karagöl gölünden harita üzerinden belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinde; bulanıklık ve klorofil-a analizleri yapılmıştır ve eş zamanlı alınan uydu görüntüleri ile ölçülen bu değerler arasındaki korelasyondan yola çıkılarak birer ampirik model geliştirilmiştir. Daha sonra elde edilen bu modellerin tahmin gücünü arttırmak için bulanık mantık tekniği ile analiz edilmiş ve ayrıca gölün bulanıklık ve klorofil-a düzeylerini gösteren tematik haritalar hazırlanmıştır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

Uzaktan algılama objelere fiziksel temasta bulunmadan herhangi bir uzaklıktan yapılan ölçme, nesnelere hakkında bilgi edinme bilim ve sanatı şeklinde tanımlanmaktadır (Sönmez ve Sarı 2002).

Uzaktan algılamada temel eleman, yeryüzünün görüntüsünü kaydetme yeteneği olduğundan bu bilimin başlangıç noktası fotoğrafın icat edildiği tarih olarak kabul edilmektedir. 1800'lerin başında fotoğrafik kimyasal maddeler ile çok sayıda deneyler yapılmış ve yeryüzünün havadan kaydedildiği (balonlardan) fotoğrafların kullanımı ilk 1850'li dönemlerde başlamıştır. Bu ilk dönemlerde platform olarak güvercinler bile kullanılmıştır. I. Dünya Savaşı'nda hava fotoğrafları önemli bir keşif aracı haline gelmiş ve II. Dünya Savaşı sırasında da kullanımı yaygınlaşmıştır. İlk uzaydan algılama faaliyetleri Alman V-2 roketlerine yerleştirilen otomatik foto-kamera sistemiyle başlamıştır. 4 Ekim 1957'de fırlatılan SPUTNIK uydusu ile uzayda belirli bir yörüngedeki uzay aracına film kameralarının takılması mümkün olmuş ve 1960'larda meteoroloji uydularından (TIROS-1) televizyona benzer siyah-beyaz görüntüler elde edilmiştir. Operasyonel bir sistem olarak yeryüzü hakkındaki bilgilerin periyodik toplanması, 1970'lerde SKYLAB ve LANDSAT sistemleriyle başlamış, yeryüzündeki doğal ve kültürel kaynakların belirlenmesi (haritalanması) amaçlanmıştır. 1978'de aynı amaçlarla bir RADAR sistemi olan SeaSAT devreye girmiştir. İlk askeri olmayan RADAR sistemi ise, 1982'de SIR-A uydusunun fırlatılmasıyla başlamıştır. 1980'lerde uçak bazlı sistemlere yerleştirilen ve elektromanyetik ışınımı simultane olarak çok sayıdaki spektral bantlar şeklinde kayıt eden hiperspektral algılayıcıların uydu sistemlerinde kullanımı bu yüzyılın sonlarına doğru başlamıştır. Günümüzde farklı yörüngelerde bulunan ve farklı özelliklere sahip (pasif/aktif algılayıcı sistemler ve/veya optik/ısı/mikrodalga algılayıcılar) birçok uydu sistemi bulunmaktadır.

Algılayıcıya çok uzak olan yeryüzü cisimlerinin görüntüsünü gösteren uydu görüntüsünü doğru yorumlayabilmek için;

- Ne tür bir ışınım formunun kullanıldığı?
- Bu ışınımın nasıl toplandığı ve/veya kaydedildiği?
- Görüntünün ölçeği?
- Kaydedilen özelliklerin büyüklüklerine ve yansıtım değerlerine göre görüntüdeki detay içeriği?

vb. gibi soruların cevaplanması diğer bir ifade ile uzaktan algılama sistemini oluşturan temel kavramların bilinmesi gerekmektedir (Sunar vd 2011)

## 2.1. Uzaktan Algılama Sistemi

Uzaktan Algılama uygulamaları iki temel aşamadan oluşur. Bunlar "Veri Elde Etme" ve "Veri İşleme" aşamalarıdır (Şekil 2.1)

### 2.1.1. Verinin elde edilmesi

**Enerji Kaynağı (A):** Hedefe bir kaynak tarafından enerji gönderilmesi gerekmektedir. Bu kaynak hedefi aydınlatır veya hedefe elektromanyetik enerji gönderir. Optik uydular için enerji kaynağı güneştir, ancak radar uyduları kendi enerji kaynaklarını üzerlerinde taşır ve elektromanyetik enerji üreterek hedefe yollarlar.

**Işınım ve Atmosfer (B):** Enerji, kaynağından çıkarak hedefe yol alırken atmosfer ortamından geçer ve bu yol boyunca bazı etkileşimlere maruz kalır.

**Hedef ile Etkileşim (C):** Atmosfer ortamından geçen elektromanyetik dalga, hedefe ulaştığında hem ışınım hem de hedef özelliklerine bağlı olarak farklı etkileşimler oluşur.

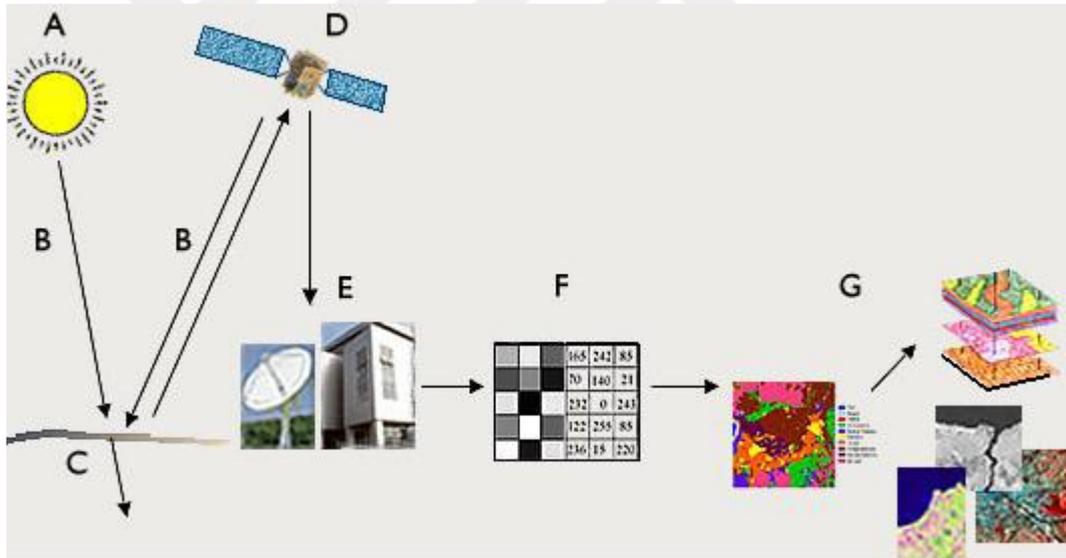
**Enerjinin Algılayıcı Tarafından Kayıt Edilmesi (D):** Algılayıcı hedef tarafından yayılan ve saçılan enerjiyi algılar ve buna ilişkin veri kayıt edilir.

**Verinin İletimi, Alınması ve İşlenmesi (E):** Hedeften toplanan enerji miktarına ait veri algılayıcı tarafından kayıt edildikten sonra, görüntüye dönüştürülmek ve işlenmek üzere bir uydu yer istasyonuna gönderilir.

### 2.1.2. Verinin işlenmesi

**Yorumlama ve Analiz (F):** Görüntü görsel, dijital ve elektronik işleme teknikleri ile zenginleştirilir, analiz edilir ve nicel sonuçlar elde edilecek veriye sahip olunur.

**Uygulama (G):** İşlenmiş veriden bilgi çıkarılır, bazı sonuçlara ulaşılır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, başka veri kaynakları ile birleştirilerek kullanılabilir (Canada Centre for Remote Sensing 2002).



**Şekil 2.1.** Uzaktan algılamanın temel bileşenleri (Canada Centre For Remote Sensing 2002)

Uzaktan algılamada iki farklı algılama sistemi vardır:

**1. Pasif Algılayıcı Sistemler:** Hedef cisimden yayılan ve/veya yansıtılan ışınım enerjisini ölçerler. Diğer bir deyişle bu tip algılama yapan algılayıcılar, Güneş'in gönderdiği ışınlar

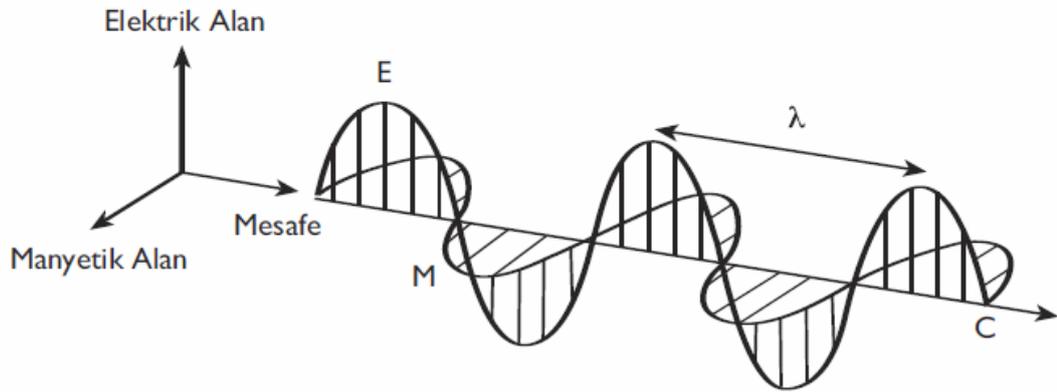
aracılığıyla (veya Güneş Dünya'yı aydınlattığı sürece) cisimden yansıtılan ışınları ölçerler.

**2. Aktif Algılayıcı Sistemler:** Kendi enerjisini/sinyalini ileterek hedef cisimden geri yansıtılan enerjiyi ölçerler. Diğer bir deyişle, bu tip algılayıcılar Güneş enerjisine ihtiyaç duymazlar. Mevsim veya günün zamanına bakılmaksızın kendi ışınlarını kendileri gönderir ve yansıtılan enerjiyi geri almak suretiyle görüntü elde ederler (Sunar vd 2011).

## 2.2. Elektromanyetik Enerji

Elektromanyetik enerji, uzaktan algılama sisteminin bileşenleri arasındaki bağlantıyı oluşturur. Enerji, iş yapabilme kabiliyeti olup bir noktadan diğer bir noktaya konveksiyon, kondüksiyon ve ışımayla taşınır. Uzaktan algılamada, enerjinin ışımayla taşınması (elektromanyetik radiation - EMR) önemlidir.

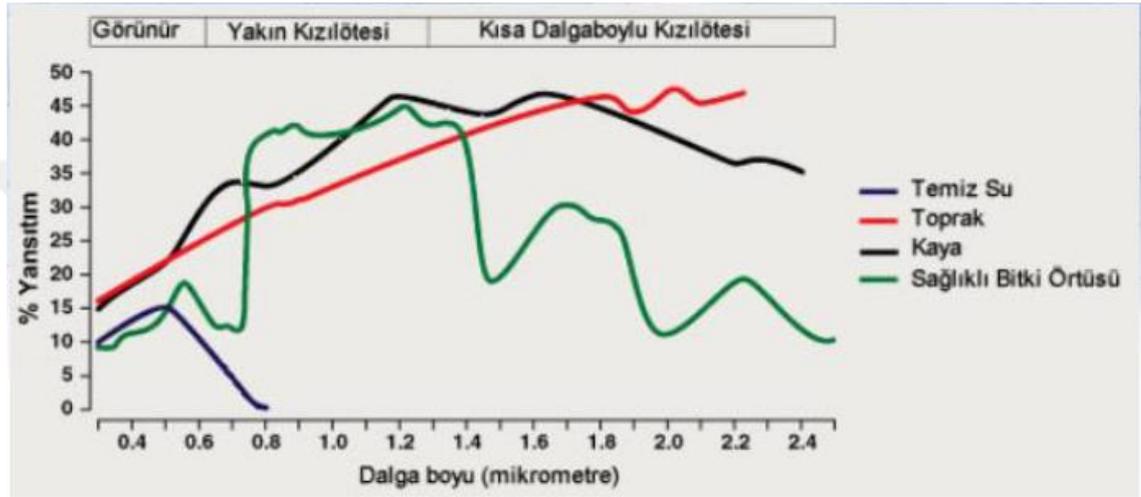
Elektromanyetik dalgalar, elektromanyetik alanın uzayda yayılması sonucu oluşur. Elektromanyetik bir dalga hem birbirlerine hem de yayılma doğrultusuna dik olan elektrik (E) ve manyetik (M) alanlardan oluşmaktadır (Şekil 2.2). Dalga boyu ( $\lambda$ ), frekans (f) ve genlik (A) enerjinin dalga karakterini ifade etmek için kullanılan parametrelerdir.



**Şekil 2.2.** Elektromanyetik enerjinin dalga karakteri (Sunar vd 2011)

Bir malzeme için yansıyan, yutulan veya iletilen ışınım miktarları dalgaboyuna bağlı olarak değişir. Bu önemli özellik sayesinde farklı nesnelere ya da sınıfları ayırt etmek

olanaklıdır. Şekil 2.3’de yeryüzündeki bazı maddelerin spektral yansımaları gösterilmektedir. Çalışmanın amacına göre, bir görüntüde ayırt edilmek istenen maddeler değişecektir. Analistler, daha iyi bir analiz yapmak için, spektral imzalardan yararlanarak kullanılması gereken spektral bantları belirlemektedirler (Canada Centre for Remote Sensing 2002).



Şekil 2.3. Bazı maddelerin spektral yansımaları (Smith 2006)

### 2.3. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik enerji spektrumu  $10^{-10}$  µm dalga boylarından (kozmetik ışınlar)  $10^{10}$  µm dalga boylarına kadar (radyo dalgaları) olan sürekli bir enerji ortamıdır (Şekil 2.4). Uzaktan algılamada, özellikle 0,3-15 µm arasındaki optik dalga boyları ile 1-1000 mm arasındaki mikrodalga bölgeleriyle ilgilenilmektedir.

**Kızıl Ötesi:** Kızıl ötesi ışınların dalga boyları 0,7µm ila 300µm arasındadır. Bu aralığı beş adet bölüme ayırabiliriz:

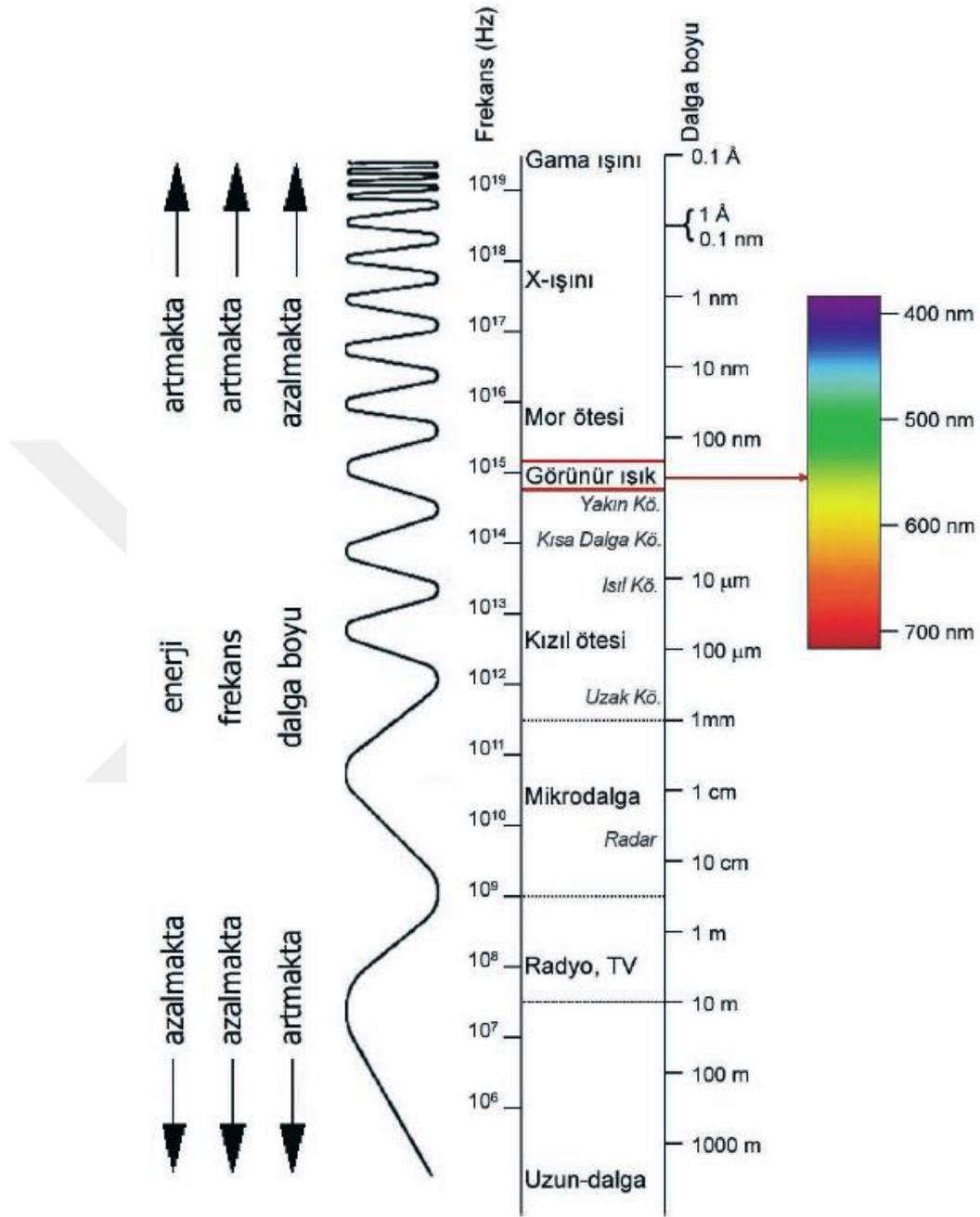
- Yakın kızılötesi (Yansıtılan kızılötesi)
- Kısa dalga boylu kızılötesi
- Orta dalgaboylu kızılötesi (Termal kızılötesi)

- Uzun dalga boylu kızılötesi
- Uzak kızılötesi

**Görünür Işık:** Bu dar bandın aralığı 400 nm ila 700 nm ile sınırlıdır. Bu bant içindeki renklerin dalgaboyu değerleri aşağıdaki gibidir:

- Kırmızı: 610 nm-700 nm
- Turuncu: 590 nm-610 nm
- Sarı: 570 nm-590 nm
- Yeşil: 500 nm-570 nm
- Mavi: 450 nm-500 nm
- Çivit: 430nm-450nm
- Mor: 400 nm-430 nm (Sunar vd 2011).

Optik bölgenin 0.38 – 3.,  $\mu\text{m}$  arasındaki bölge yansıtıcı bölgedir. Bu dalga boylarında algılanan enerji öncelikle Güneş'ten kaynaklanan ve yeryüzündeki cisimlerden yansıyan ışınımdır. Yansıtıcı bölge, görünür (0.38 – 0.72  $\mu\text{m}$ ) ve yansıtıcı kızıl ötesi (0.72 – 3.0  $\mu\text{m}$ ) bölgelere ayrılır. Görünür bölge insan gözü tarafından algılanabilen bölgedir (0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$ ). Yansıtıcı kızıl ötesi bölge, yakın kızıl ötesi (NIR; 0.72 – 1.1  $\mu\text{m}$ ) ve kısa dalga kızıl ötesi (SWIR; 1.1 – 3.0  $\mu\text{m}$ ) bölgelerden oluşmaktadır. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde oluşan EMR farklı objelerle değişik şekilde etkileşimde bulunmaktadır. Yüzeylerin ısıl özellikleri en iyi elektromanyetik spektrumun ısıl kızıl ötesi bölgesinde, dielektriksel özellikleri ve pürüzlülüğü ise mikrodalga bölgesinde analiz edilebilmektedir. Bunun sonucu olarak farklı algılama sistemleri spektrumun farklı bölgelerinde yeryüzü cisimlerinin yaydığı ve yansıttığı enerjiyi kullanarak, farklı kimyasal ve fiziksel yapıdaki cisimlerin özelliklerini belirlemek ve birbirlerinden ayırt etmek için tasarlanmaktadır. Her ne kadar bölgeler arasında kesin bir çizgi var olmasa da uzaktan algılama amaçlı kullanılan önemli spektral bölgeler Çizelge 2.1'de verilmektedir. Bu özel spektral bölgeler rölatif olarak geçirimli atmosfer pencerelerini içermektedir.



Şekil 2.4. Elektromanyetik spektrum (Sunar vd 2011)

**Çizelge 2.1.** Uzaktan algılamada kullanılan elektromanyetik spektrum bölgeleri (Sunar vd 2011)

Spektral bölge	Dalga boyu	Açıklama
Gama Işını	< 0.03 nanometre	Yeryüzü atmosferinde tümüyle yutulduğundan uzaktan algılama için mevcut değildir.
X-Işını	0.03 - 30 nanometre	Yeryüzü atmosferinde tümüyle yutulduğundan uzaktan algılama için mevcut değildir.
Ultraviyole (Morötesi)	0.03 - 0.4 mikrometre	0.03 - 0.3 mikrometre arasındaki dalga boyları yeryüzü atmosferindeki Ozon tarafından yutulur.
Fotoğrafik ultraviyole	0.3 - 0.4 mikrometre	Uzaktan algılama için kullanılabilir. Fotoğrafik film ile görüntülenebilir.
Görünür	0.4 - 0.7 mikrometre	Uzaktan algılama için kullanılabilir. Fotoğrafik film ile görüntülenebilir.
Kızıl ötesi	0.7 - 1000 mikrometre	Uzaktan algılama için kullanılabilir. 0.7 - 0.9 mikrometre arası fotoğrafik film ile görüntülenebilir.
Yansıtıcı Kızıl ötesi	0.7 - 3.0 mikrometre	Uzaktan algılama için kullanılabilir. Yakın kızıl ötesi (0.7 - 1.1 mikrometre) ve kısa dalga kızıl ötesi (1.1 - 3.0 mikrometre) bölgelerini içerir.
Isıl Kızıl ötesi	3.0 - 14 mikrometre	Uzaktan algılama için kullanılabilir. Orta dalga kızıl ötesi (3 - 8 mikrometre) ve uzun dalga kızıl ötesi (8 - 14 mikrometre) bölgelerini içerir. Mekanik ve elektronik algılayıcılar kullanılır.
Uzak Kızıl ötesi	15 -1000 mikrometre	Büyük bir bölümü atmosferdeki su buharı tarafından yutulur. Astronomik uygulamalar için kullanılmaktadır.
Mikrodalga Radar	0.1 - 100 cm	Bu uzun dalga boyları bulut, sis ve yağmur etkisinden bağımsız olup aktif olarak enerji yayan algılayıcı sistemler ile görüntülenebilir. Anten sistemleri kullanılır.
Radyo dalgaları	> 100 cm	Genelde uzaktan algılama amaçlı kullanılmaz.

Şekil 2.3'te de görüldüğü üzere su ile ilgili çalışmalar en fazla 0,8 µm dalga boyu civarında yani görünür ve yakın kızılötesinin bir bölümüne kadar yapılabilmektedir. Su ile ilgili çalışmalarda en çok kullanılan bantlar; bant 1-yeşil (0,50-0,59 µm), bant 2-kırmızı (0,61-0,68 µm) ve bant 3-yakın kızılötesidir (0,78-0,89 µm) (Hasmedi and Norsaliza 2010; Somvanshi *et al.* 2012).

Uzaktan algılama göl izlemede geleneksel yaklaşımları tamamlayacak potansiyele sahip olarak kabul edilmiştir. Aslında uzaktan algılama yönteminin iç sularda kullanılması

okyanuslardaki renk araştırmaları kadar eski bir zamandan beri araştırılmaktadır. Uydu verilerinin kullanımı, okyanus renk ölçümlerinde kullanılmasına rağmen, iç sularda daha az gelişme göstermiştir (Palmer *et al.* 2015).

Denizlerde, yakın kıyı sularında, göllerde ve diğer iç sularda (Zhang *et al.* 2002) yaygın bir şekilde kullanılan bu teknikle yıllık, mevsimli ve anlık kalite değişimleri takip edilebilmektedir.

Denizel uzaktan algılamada araştırma ve geliştirmenin çoğunu destekleyen okyanus renk sensörleri, nehir göl ve su kaynaklarının çoğu için uzaktan algılama uygulamalarını elverişsizleştiren kaba uzaysal çözünürlüklere sahipti. Önceleri uzaktan algılama sensörleri okyanus renk ölçümü için kullanılıyordu. Ancak şimdilerde radyometrik hassasiyetleri, kapsama alanı ve yeterli uzaysal çözünürlükleri birçok uygulama için optimal olmasa da birçok göl için uygundur. Uzaktan algılama sensörlerinin biraz sınırlı yeteneklerine rağmen, bu uydu sensörleri şimdilerde göllerde uzaktan algılama için yaygın olarak kullanılmaktadır (Palmer *et al.* 2015).

İç sular, çeşitli insan kullanımları için su kaynağı sağlamanın yanı sıra, biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu, önemli ve farklı yaşam alanları ve ekosistem hizmetleri sunmaktadırlar ve küresel karbon ve besin döngülerinin önemli bileşenleridirler. Ancak, birçok diğer ekosistem gibi, göller ve nehirler özellikle besin zenginleşmesi ve diğer organik ve inorganik kirlilik, iklim değişikliği, asitlenme, yapılaşma, istilacı türlerin yayılması ve derivasyon gibi eş zamanlı meydana gelen çoklu çevre baskılarının sinerjik etkileri tarafından tehdit edilmektedirler (Palmer *et al.* 2015).

ABD’de Aşağı Charles Nehri’nde bulanıklığın haritalanması için zeminden alınan veriler ve IKONOS gibi yüksek çözünürlüklü bir uydunun bantlarından (R,G,B) faydalanılmıştır (Hellweger vd 2007). Yine Alaska’da Bering Buzulunda ki, Alaska buz marjinal gölünde Landsat 7 uydusu görüntülerinin bantlarıyla seki disk derinliği arasında korelasyon kurularak yapılmış bir bulanıklık çalışması literatürde mevcuttur (Liversedge 2007).

Birçok araştırmacı süspanse katı maddelerin belirlenebilmesi için TM4 (Landsat görüntüsü) ile AKM arasında iyi bir korelasyonun olduğunu göstermişlerdir (Dekker *et al.* 2002).

**Çizelge 2.2.** Göllerdeki klorofil-a düzeylerinin uydu görüntüleri tahmin edilmesi ile ilgili bazı çalışmalar

Çalışma	R <sup>2</sup>
(Shi <i>et al.</i> 2015)	0.70
(Dlamini <i>et al.</i> 2016)	0.89
(Mishra and Mishra 2012)	0.90
(Kutser <i>et al.</i> 2016)	0.77
(Olmanson <i>et al.</i> 2013)	0.73-0.94
(Tebbs <i>et al.</i> 2013)	0.81-0.85

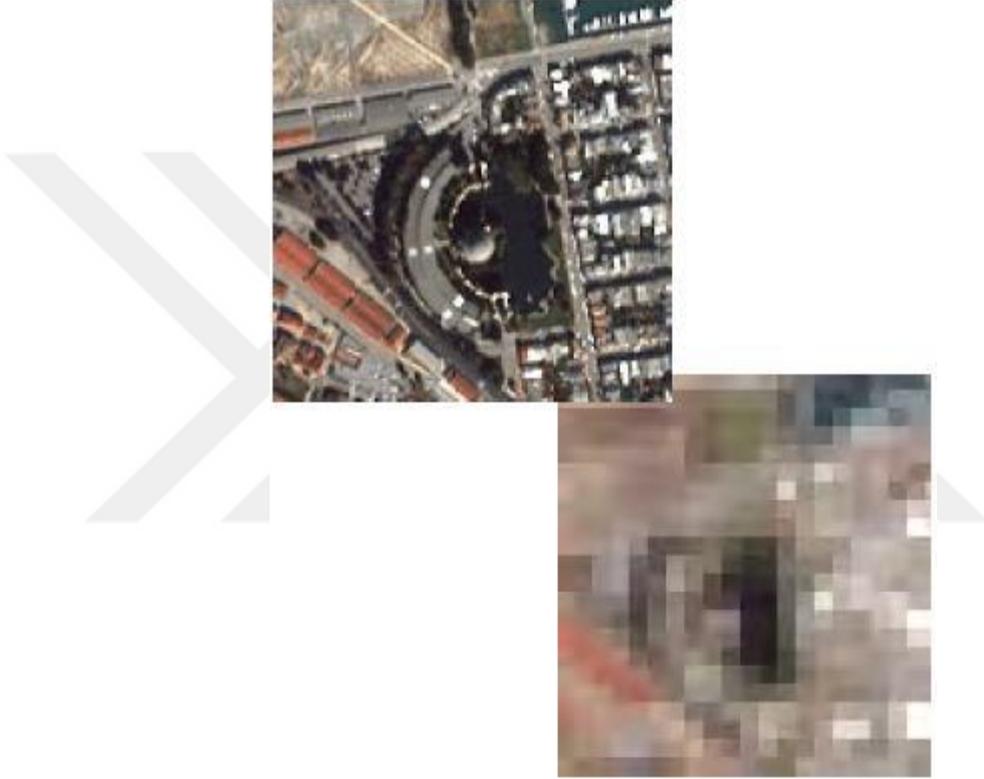
## 2.4. Çözünürlük

Uzaktan algılama için mekânsal, spektral, zamansal ve radyometrik olmak üzere dört çeşit çözünürlükten bahsedebiliriz.

### 2.4.1. Mekânsal çözünürlük

Mekânsal çözünürlük görüntüde ayırt edilebilir detay seviyesini gösteren bir özelliktir. Diğer bir ifade ile bir uydu görüntüsünde görünen detaylar algılayıcının mekânsal çözünürlüğüne bağlı olup, bu değer görüntünün en küçük elemanı olan bir pikselin yeryüzündeki kapladığı alana karşılık gelmektedir (Sunar vd 2011). Bu özellik sensörün tasarımının ve yüzey üzerindeki çalışma yüksekliğinin bir fonksiyonudur. Pikseller ne kadar küçükse, görüntüden yorumlayabileceğimiz mekânsal bilgiler daha detaylı olacaktır. Şekil, bir görüntüdeki nesnelere tanımak ve tanımlamak için kullanabileceğimiz bir görsel faktördür. Şeklin boyutları piksel boyutlarından birkaç kat daha büyükse,

genellikle fark edilir. Diğer taraftan, piksel boyutundan daha küçük nesnelere de bir görüntüde algılanabilir. Eğer böyle bir nesne, çevresinden yeterince parlak veya koyu ise, içine düştüğü pikselin ortalama parlaklığına hakim olur ve piksel bitişik piksellerle kontrast farkı oluşturacaktır ve ancak, özellikle “arka plan” alanı nispeten üniform ise, çevresinden farklı bir şeyin mevcut olduğunu görebiliriz (Smith 2006).

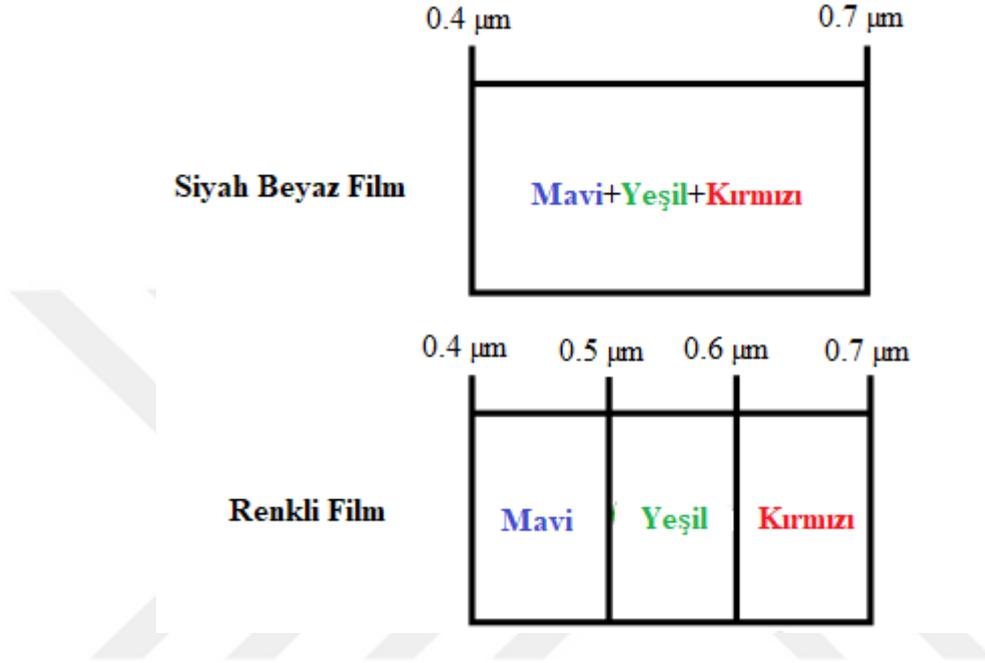


**Şekil 2.5.** Mekânsal çözünürlüğe örnek (Smith 2006)

#### **2.4.2. Spektral çözünürlük**

Bir uzaktan algılama sisteminin spektral çözünürlüğü, ölçülen dalga boyu aralığının farklı bölümlerini ayırt etme yeteneği olarak tarif edilebilir. Özüde, bu ölçülen dalga boyu aralıklarının (“bantlar”) sayısına ve her bir aralığın ne kadar dar olduğuna bağlıdır. Bir sensör sistemi tarafından üretilen bir görüntü, çok geniş dalga boyundan oluşan bir banttan, birkaç geniş banttan veya çok dar dalga boyuna sahip birçok banttan oluşabilir.

Bu üç görüntü kategorisinde genellikle kullanılan isimler sırasıyla pankromatik, multispektral ve hiperspektraldir (Smith 2006).



Şekil 2.6. Spektral çözünürlüğe örnek (Canada Centre For Remote Sensing 2002)

### 2.4.3. Zamansal çözünürlük

Zamansal çözünürlük bir uydu algılayıcısının aynı bölgenin görüntüsünü hangi sıklıkta algıladığını belirtir. Bu olay uydudan uyduya farklılık göstermektedir, diğer bir ifade ile bazı uydu sistemleri birkaç saatte, bazıları ise birkaç gün sonra aynı bölgeden algılama yapabilmektedir (Sunar vd 2011). Doğal süreçler veya insan aktivitesi nedeniyle yüzey özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri izlemek için bir zaman serisi görüntüleri de kullanılabilir. Böyle bir serideki ardışık görüntüleri ayıran zaman aralığı, görüntü serisinin zamansal çözünürlüğünü tanımlamak için kullanılabilir (Smith 2006).



Şekil 2.7. Zamansal çözünürlüğe örnek (Smith 2006)

#### 2.4.4. Radyometrik çözünürlük

Bir görüntü veren algılayıcı sistemin radyometrik çözünürlüğü gelen ışınım enerjisindeki en küçük farklılıkları ayırt edebilme yeteneği olarak tanımlanır. Daha yüksek (hassas) radyometrik çözünürlük yansıtılan veya yayılan enerjideki küçük farklılıkları saptamaya daha duyarlıdır. Dijital uydu görüntüsünde piksel değerleri (gri renk tonu), parlaklığın belirli sınırlar arasında kaydedilmiş ölçüsü olup 0 ile  $2^{n-1}$  değeri arasında tanımlanır. Örneğin, 8 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip bir uydu görüntüsündeki her bir piksel, 0-255 arasında değişen veri değerine sahiptir (Sunar vd 2011).



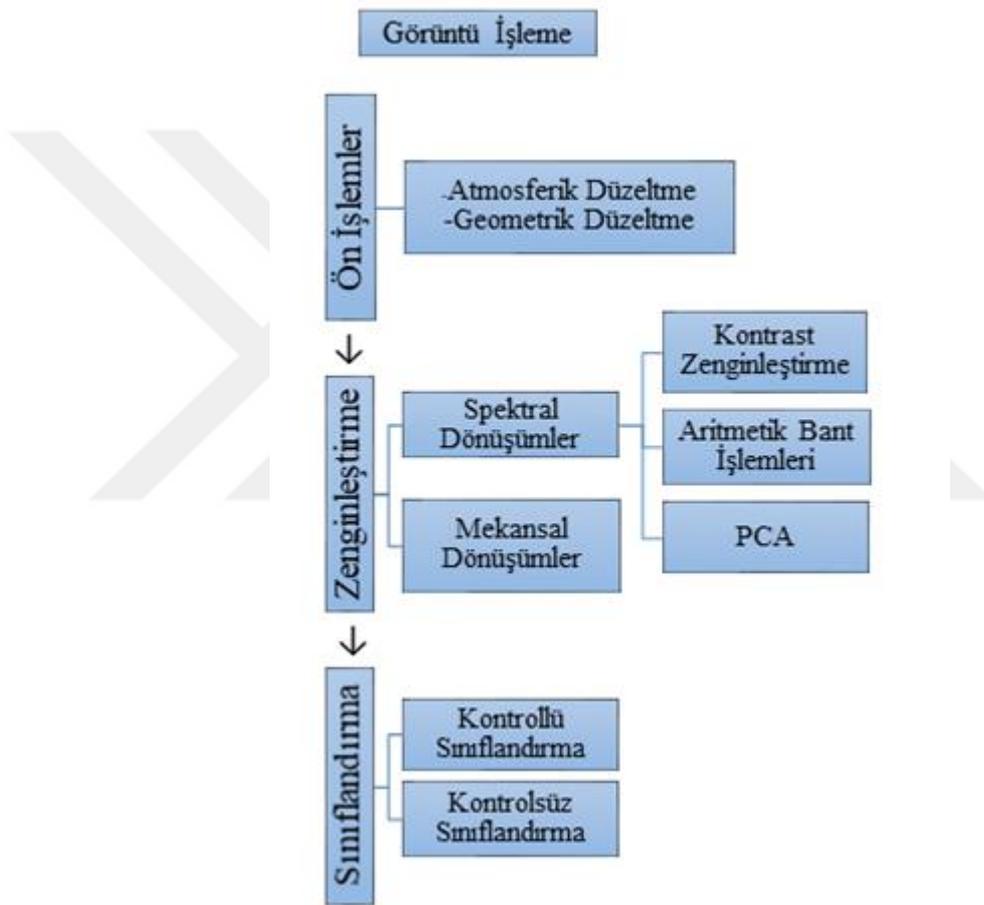
**Şekil 2.8.** Radyometrik çözünürlüğe örnek (Canada Centre For Remote Sensing 2002)

## 2.5. Görüntü İşleme

Uydulardaki algılayıcılar tarafından kaydedilen ve işlenmemiş haldeki verilerde genellikle sistematik birtakım hatalar veya eksiklikler bulunmaktadır. Bu hataların düzeltilmesi veya eksikliklerin giderilmesi uzaktan algılamada ön işlemler olarak tanımlanmaktadır. Ön işlemlerdeki temel amaç algılayıcıdan ve platformdan kaynaklanan radyometrik ve geometrik bozulmaların düzeltilmesidir. Bu işlemler verilerin belirli bir amaç için kullanılmasından önce gerçekleştirilmelidir. Radyometrik düzeltmeler, algılayıcı kaynaklı düzensizliklerin, istenmeyen algıların, atmosfer kaynaklı düzensizliklerin düzeltilmesi için gerekli dönüşümleri içerir. Bu düzeltmelerin bazıları

yer istasyonlarında yapılmasına rağmen, kullanıcı tarafından da düzeltme yapılmasına sıkça ihtiyaç duyulmaktadır (Çölkesen 2015).

Görüntü işleme temel olarak, ön işlemler, görüntü zenginleştirme ve sınıflandırma olarak üç başlıkta toplanabilir.



**Şekil 2.9.** Görüntü işlemenin aşamaları

### 2.5.1. Ön işlemler

Elde edilen bir görüntüdeki hatalar uydu platformu ve yeryüzü kaynaklı ise bu tür hatalar geometrik hatalar olarak, atmosfer, dalga boyu veya algılayıcı kaynaklı ise bu tür hatalar da radyometrik hatalar olarak adlandırılır. Görüntünün işlenmesi sırasında gerçeğe en

yakın sonucun elde edilebilmesi için bu hataların olabildiğince giderilmesi gerekmektedir. Bu hatalar atmosferik düzeltme ve geometrik düzeltme olarak iki aşamada gerçekleştirilir (Sunar vd 2011).

### **2.5.1.a. atmosferik düzeltme**

Uydu görüntüleri ile arazi çalışmalarını ilişkilendirilebilmesi için ön işlem olarak atmosferik düzeltmenin yapılması gereklidir. Bir atmosferin ve karmaşık bir faktörün olmadığı varsayıldığında, sabit bir hedef tarafından yansıtılan veya yayılan ve uzak bir sensör tarafından kaydedilen ışığın büyüklüğü aydınlatma açısına ve sensörün görüş açısına göre değişecektir. Bir atmosfer mevcut olduğundaysa, ilave bir karışıklık ortaya çıkar, çünkü atmosferdeki yol uzunluğu arttıkça hedefteki ışınım azalır. Yol uzunluğu (gelen enerjinin atmosfere kat ettiği mesafe), güneşin yükselme açısı azaldıkça artacaktır ve böylece atmosferik girişim derecesi artacaktır. Spektral etkilenmenin büyük ölçüde güneşin yükselmesine ve azimut açılara ve sensörün görüş açısına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Etki, spektrumun görünür kırmızı bölgesinde, kızılötesiyle karşılaştırıldığında daha büyüktür.

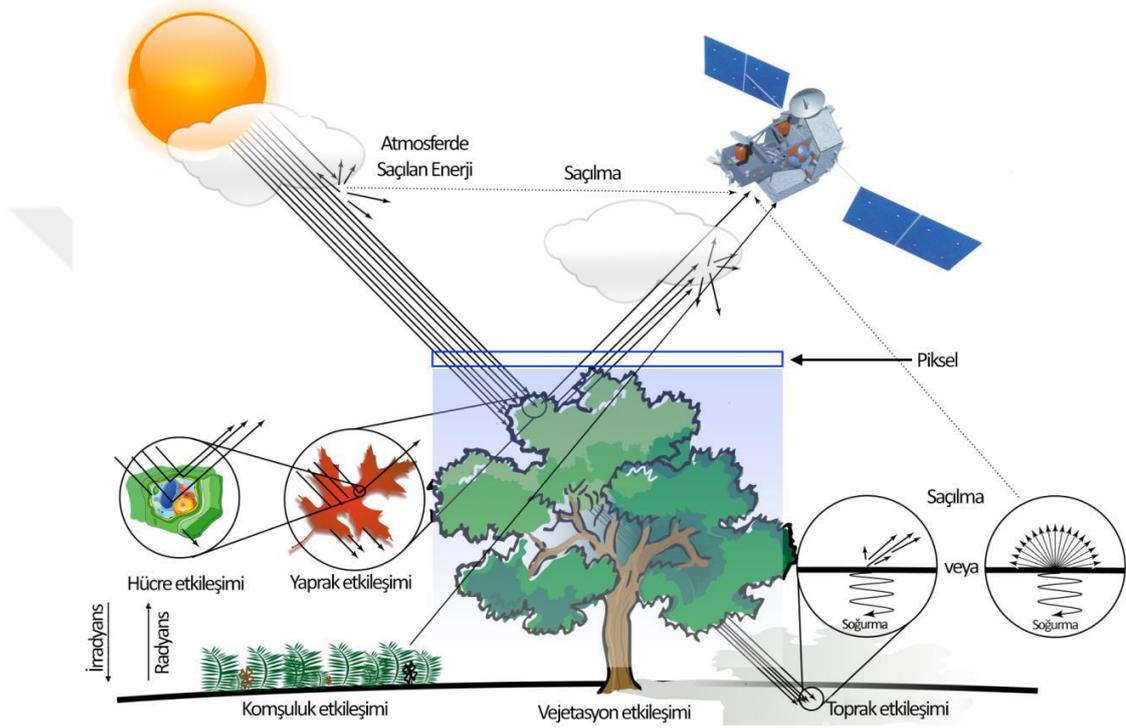
Bir uydu sensöründe alınan sinyalin büyüklüğü;

- Hedefin yansıması
- Atmosferik etkileşimlerin doğası ve büyüklüğü
- Güneş azimutuna göre yer hedef alanının eğimi ve yönü
- Sensörün görüş açısı
- Güneş enerjisi açısı

gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle radyometrik düzeltme yapılmalıdır (Mather and Koch 2011).

Dünya'nın görüntülenen yüzey alanı, güneş ve sensör arasındaki mesafe ve geometrik ilişkiyi modelleyerek düzeltilebilir. Bu durum, farklı sensörler tarafından toplanan

görüntüleri farklı tarih ve zamanlarda daha kolay karşılaştırabilmek veya görüntüden görüntüye üniform aydınlatma koşullarını koruyarak tek bir sensörden birden fazla görüntüyü mozaiklemek için genellikle gereklidir (Canada Centre for Remote Sensing 2002).



**Şekil 2.10.** Radyasyonun atmosferle etkileşimi (Çölkesen 2015)

Uydular, sahip oldukları sensörler ile görüntülenen alandaki elektromanyetik radyasyonun yoğunluğunu her bir spektral bant için ayrı bir parlaklık değeri olarak kaydederler. Bu parlaklık değerleri, sensörlerin radyometrik çözünürlüğüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Yeryüzündeki nesnelere yansıyan enerji, sensörler tarafından parlaklık değerleri şeklinde kaydedildiği için ilgili nesnelere spektral imzaları olarak sayılmazlar. Bu parlaklık değerleri sensörlere has olup, görüntünün çekildiği andaki uydunun bakış geometrisine, görüntü alınan zamanındaki güneşin konumuna ve çekim anındaki hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle spektral imza değerlerinin kullanılması sensörler tarafından kaydedilen parlaklık değerlerinin kullanılmasından daha doğru

olacaktır. Parlaklık değerleri yerine spektral yansıma değerlerinin kullanılmasının iki önemli üstünlüğü vardır (Mather and Koch 2011).

1. İki görüntünün karşılaştırıldığı durumlarda spektral imza değerlerin kullanılması daha anlamlıdır. Bu durum özellikle çalışma alanının birden fazla görüntü ile ifade edilebildiği durumlarda veya aynı bölgedeki zamansal değişimlerin incelenmesinde ortaya çıkabilmektedir.

2. Spektrometre ölçümleri ile nesnelerin spektral imza değerleri direkt olarak kaydedilmektedir. Elde edilen bu değerler, nesnelerin spektral imzalarının karşılaştırılabilmesi ve spektral kütüphane oluşturulması için kullanılabilir.

Atmosferin üstündeki bir algılayıcıda algılanan ışımaya ile zeminden yansıyan ışımaya arasındaki ilişki denklem 2.1 ile ifade edilebilir.

$$L_s = H_{tot}\rho T + L_p \quad (2.1)$$

Eşitlikte,

$H_{tot}$  = belirli bir spektral bant aralığında gönderilen toplam radyansı,

$\rho$  = hedefin reflektans değerini (yansıyan ve gelen radyans değerlerinin oranı),

T = atmosferin geçirgenliğini,

$L_p$  = atmosferik radyans yolu olarak göstermektedir.

Toplam ışınım, atmosferden hedefe geçerken atmosfer tarafından azaltılır. Sinyal, hedeften sensöre atmosfer yoluyla geri döndüğünde ise daha fazla zayıflama meydana gelir. Hedefe gelen parlaklığın bir kısmı zemin yüzeyi malzemesi tarafından emilir ve  $\rho$  oranı hedef tarafından yansıtılır. Daha sonra, hedef alanın dışından zemin yüzeyi tarafından yansıtılan enerji, atmosfer tarafından sensörün görüş alanına dağılır. Son olarak, sensöre ulaşan sinyal, atmosfer içine saçılmış enerjiden oluşan bir katkı içerir. Bu denklemde atmosferik radyans yolu olarak gösterilen terimdir ( $L_p$ ). Gerçekte, durum, Şekil 2.10'da gösterdiği gibi, daha karmaşıktır.  $L_p$ , dalga boyu azaldıkça saçılma artışları

için dalga boyu ile ters orantılı olarak değişir. Bu nedenle,  $L_p$ , tekli dalga bantlarındaki ölçümlere farklı miktarlarda katkıda bulunacaktır.  $L_p$ , dalga boyu ile ters orantılı olup dalga boyu azaldıkça saçılma artmaktadır. Sonuç olarak  $L_p$  her bir banda farklı miktarda etki etmektedir. Landsat TM veya ETM+ görüntüsü açısından, mavi-yeşil bant (bant 1) genellikle yeşil banttan (bant 2) daha yüksek bir  $L_p$  bileşenine sahip olacaktır (Mather and Koch 2011).

Atmosferik etkilerin giderilmesinde kullanılan radyometrik düzeltme üç farklı şekilde yapılmaktadır:

1. Uydu algılayıcısı, atmosfer ve hedef arasındaki ilişkiyi ve etkileşimleri modelleyen fiziksel metotlar kullanılır. Atmosferik düzeltmelerin fiziksel olarak modellendiği bu yaklaşım en sağlam ve tutarlı ancak en zor yaklaşımdır. En yaygın kullanılan modeller 5S, 6S, LOWTRAN, MODTRAN, FLAASH, ATCOR2 ve ATCOR3 modelleridir. Bu simülasyonlar meteorolojik, mevsimsel ve coğrafik değişkenleri girdi olarak alırlar. Pratikte bu değişkenler için yeterli zamansal ve mekânsal çözünürlükte değerler elde edilemez ve özellikle atmosferik aerosollerin dağılımının tahmini zordur. Bu yaklaşımlarda Güneş birim ışınırılığı, Güneş ile Dünya arasındaki uzaklığın değişimine bağlı olarak normalize edilir.
2. İkinci yaklaşımda, atmosferik düzeltmeler, yansıtımı bilinen doğal veya yapay yeryüzü hedeflerine dayalı olarak yapılır. Yansıtım özellikleri çok iyi bilinen, yeterli çözünürlüğe sahip ve görüntü alanına iyi dağılmış hedef objeleri atmosferik koşulların konumdan konuma olan değişimlerinin belirlenmesinde etkin olarak kullanılabilir.
3. En kolay ve en yaygın kullanılan atmosferik düzeltme yöntemi “koyu piksel çıkartımı” yöntemidir. Bu yöntemde herhangi bir spektral bant için bir minimum parlaklık değeri (DN) belirlenir ve bu değere göre görüntü histogramı ötelenir. Yani belirlenen değer görüntüdeki bütün piksellerin yansıtım değerlerinden çıkartılır. Bu yöntemde ilgili spektral bant için bazı piksellerin sıfır yansıtım değerine sahip olması gerekliliği kabul edilir. Böylece bu pikseller için ölçülen ışınırılığın ( $L_p$ ) atmosferik saçılma sonucu oluştuğu ve konumdan konuma değişmediği kabulü yapılır. Genellikle optik veriler için

gölge alanlar ve kızıl ötesi bantlar için temiz derin su kütleleri hedef olarak seçilir (Sunar vd 2011).

### **2.5.1.b. geometrik düzeltme**

Bir harita projeksiyonu, düz bir kâğıda (harita sayfası) eğri bir yüzeyin (Dünya'nınki) gösterimi için bir cihazdır. Birçok farklı harita projeksiyonu ortak kullanımdadır. Her projeksiyon, alanların, açıların veya uzunlukların düzgün gösterilmesi gibi haritalanan alanın bazı özelliklerini koruma çabasını temsil eder. Birkaç projeksiyon iki veya daha fazla harita özelliğindeki bozulmayı en aza indirerek uyuşmaya çalışsa da, bu özelliklerden sadece biri doğru olarak gösterilebilir. Bu nedenle İngiltere Ulusal Haritalandırma Ajansı, çapraz merkatör projeksiyonu kullanmaktadır. Başlangıç noktasını İngiliz adalarının güney-batısındaki enlem ve boylam çizgileri kabul eden ve birimi metre olan bu projeksiyonda, enlem ve boylam çizgileri bileşik eğriler olarak çizildiğinden harita sayfasında düzenli bir ızgara vardır (Mather and Koch 2011).

Uzaktan algılanan bir görüntünün belirli bir harita projeksiyonunun ölçek ve projeksiyon özelliklerine sahip olması için dönüştürülmesine “geometrik düzeltme” denir (Mather and Koch 2011). Dijital görüntüler, değişik sebeplerden kaynaklanan geometrik distorsiyonlardan dolayı doğrudan harita gibi kullanılamazlar. Diğer bir ifade ile görüntüyü oluşturan piksellerin temsil ettikleri coğrafi alanların arasındaki uzaklıklar, görüntüde uniform olmayan bir şekilde hatalı olarak gösterilir. Bunun sonucu cisimlerin şekil, büyüklük ve konum gibi özellikleri görüntü düzleminde bozulur. Uydu görüntü verilerinin bu distorsiyonlar için düzeltilerek bir harita projeksiyon sistemiyle tutarlı hale getirilmesi işlemine “rektifikasyon” adı verilir (Sunar vd 2011). Diğer bir ifadeyle rektifikasyon, bir görüntü koordinat sisteminin diğerine eşitlenmesi anlamına gelir (Mather and Koch 2011). Jeoreferanslama genellikle görüntünün dört köşesinin coğrafi koordinatlara sahip olduğunu ancak tek tek piksellerin enlem / boylam çiftine sahip olmadıkları anlamına gelir. Bu, geometrik düzeltmenin en basit şeklidir. ortorektifikasyon, arazi yüksekliğinin düzeltme işlemine dâhil edildiği anlamına gelir; bu, tüm piksellerin yukarıdan görüldüğü anlamına gelir. Bu, geometrik düzeltmenin en doğru

şeklidir ve  $(x, y, z)$  dünya merkezli koordinatlar artık küresel konumlandırma sisteminden (GPS) ve hem hava hem de uydu için diğer konumsal aygıtlardan ve daha yüksek çözünürlükte elde edilebilir durumdadır. Sayısal yükseklik modeli (DEM) daha kolay erişilebilir hale geldiğinden, uzaktan algılanan görüntülerde (özellikle CBS’de kullanılan ürünler ve türevler) ortorektifiye edilmiş olanları norm haline gelecektir (Mather and Koch 2011) .

Geometrik distorsiyonların görüntünün bütününde aynı anda giderilmesinde kullanılan genel olarak iki yaklaşım söz konusudur:

1. Birinci yaklaşım sistematik bir yaklaşım olup, distorsiyon düzeltmeleri distorsiyonun türü ve büyüklüğünün modellenmesiyle hesaplanır. Bu yaklaşım distorsiyonun tipi (örn. uydu konumu, durumu, tarama açısı, Dünya’nın dönüşü, bakış oranı, panoramik etki, vb.) iyi karakterize edilebildiğinde çok etkili olmaktadır. Topoğrafik rölyefe bağlı geometrik distorsiyonların düzeltilmesi için yeryüzünün “Dijital Yükseklik Modeli” gereklidir.
2. İkinci yaklaşımda distorsiyonlu görüntüdeki piksellerin koordinatları ile bunların karşılık geldiği arazideki koordinatları arasında (harita yardımıyla) matematiksel bağlantı kurulur. Bu şekilde distorsiyonun tipi ve kaynağı hakkında herhangi bir bilgiye gerek olmaksızın görüntü geometrisi düzeltilir. Bu yaklaşım platformdan bağımsız ve ilk etapta en çok tercih edilen bir yaklaşımdır. Bu matematiksel ilişkilendirme yaklaşımı distorsiyonların fiziksel modellendiği birinci yaklaşımla birlikte hibrit (melez) olarak da kullanılabilir. Birinci yaklaşımla algılayıcı, uydu platformu ve yeryüzü kaynaklı distorsiyonlar düzeltildikten sonra geriye kalan artık distorsiyonlar ikinci yaklaşımla düzeltilebilir (Sunar vd 2011).

Uzaktan algılanan görüntülerin geometrik düzeltilmesi, uzaktan algılanan görüntü veya bitki örtüsü indeksi görüntüsü veya sınıflandırılmış bir görüntü gibi uzaktan algılanan görüntüden türetilen bir ürün aşağıdaki koşullardan birinde kullanıldığında gereklidir.

1. Bir görüntüyü bir harita projeksiyonuna uyacak şekilde dönüştürmek için
2. Harita ve resim üzerinde ilgilenilen noktaları bulmak için

3. Bitişik görüntüleri kayıt altına almak için
4. Aynı alanın farklı zamanda alınmış görüntüleri için ya da aynı alanın farklı sensörler tarafından elde edilen görüntüleri için
5. Görüntüleri ve haritaları CBS içerisine yerleştirmek için (Kardoulas *et al.* 1996)

### 2.5.2. Görüntü zenginleştirme

Görüntü zenginleştirmede amaç görsel analiz için görüntülerin algılanabilirliğini veya yorumlanabilirliğini arttırmak veya diğer otomatik görüntü işleme tekniklerine daha “iyi” girdi görüntüsü sağlamaktır. Bu amaca yönelik olarak spektral veya mekânsal dönüşümler kullanılmaktadır (Sunar vd 2011).

Uzaktan algılanan bir görüntü, çeşitli spektral bantların her birinde, piksel olarak adlandırılan alanın her birini terk eden ışığın sayısal bir kaydı olarak tanımlanmaktadır. Her piksel pozisyonundaki parlaklık değerleri aralığı, kullanılan tarayıcının tipine ve yer istasyonunda gerçekleştirilen herhangi bir işlemin niteliğine bağlı olarak normalde 8 veya daha fazla olan ve bit olarak adlandırılan bir ölçek cinsinden ifade edilir. Bu nedenle dijital görüntü, iki mekânsal boyutu temsil eden x ve y eksenleri ve spektral parlaklığı gösteren z ekseni olmak üzere üç boyutlu dikdörtgen dizi veya sayı matrisi olarak düşünülebilir. Uydu verileri rutin ve düzenli olarak toplandığından dördüncü bir boyut olarak zaman eklenebilir. Bu matrisin elemanları,  $0-2^n - 1$  aralığında sayılardır; burada n, görüntüdeki herhangi bir piksel için kaydedilen parlaklığı temsil etmek için kullanılan bit sayısıdır.

Bu başlıkta, dijital görüntüleri zenginleştirme yöntemleri ele alınmıştır. Geliştirme terimi, söz konusu görüntüde yer alan bilgilerin, belirli bir ihtiyaç açısından görsel olarak daha kolay yorumlanacağı şekilde değiştirilmesi anlamına gelir. Geliştirme tekniğinin seçimi probleme bağlı olduğundan, her bir kullanıcının ihtiyaçları farklılık göstereceğinden tek bir standart geliştirme yönteminin "en iyisi" olduğu söylenemez. Ayrıca, her görüntünün 0-255 görüntüleme aralığındaki piksel değerlerinin dağılımı görüntüden görüntüye değişecektir; bu nedenle, bir görüntüye (örneğin bir orman alanını kaplayan) uygun

geliştirme teknikleri, başka tür bir alan görüntüsüne (örneğin Antarktika buz örtüsü) uygulanan tekniklerden farklı olacaktır. Birkaç genel geliştirme tekniği kategorisi vardır ve bunlar aşağıda açıklanmıştır (Mather and Koch 2011).

### 2.5.2.a. spektral dönüşümler

Spektral dönüşümler, görüntünün spektral bilgi içeriğini değiştirirler. Ancak değişimin anlamı görüntüye yeni bir bilgi eklenmesi değil sadece mevcut bilginin daha yararlı olacak şekilde farklı bir yapıda sunulmasıdır. Bu bağlamda her bir spektral dönüşüm farklı bir özellik uzayı oluşturur. Özellik uzayı, sınıflandırma gibi üst seviye dijital görüntü analizlerinin etkin bir şekilde yapılabilmesi için kullanılan görüntüye ait her türlü bilgidir. Buna göre, orijinal piksel parlaklık değerleri de, dönüşümle elde edilen farklı nicelikler de hepsi birer özelliktir. Spektral dönüşümler basit olarak aşağıdaki ana kategorilerde incelenebilir:

- Kontrast zenginleştirme
- Aritmetik bant işlemleri
- Ana bileşen dönüşümü

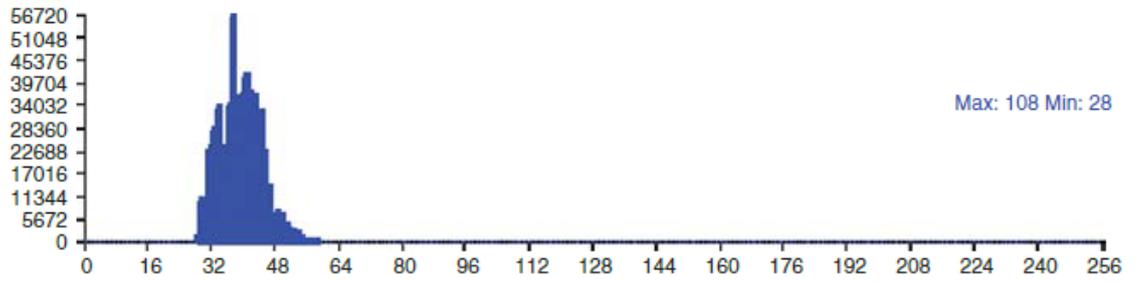
#### **Kontrast zenginleştirme**

İnsan beyni objelerin mekânsal özelliklerini yorumlamada ve detayları tespit etmede mükemmel performans gösterir. Mekânsal birçok detay spektral karakteristiklerin niceliksel karşılığı olan radyometrik özelliklerine göre fark edilir. Radyometrik verideki çok küçük farklar bile anlamlı detaylara karşılık gelebilir. Ancak, insan gözü radyometrik anlamda 16-32 farklı gri tonu ve yaklaşık 100 farklı rengi birbirinden ayırt edebilir. Kontrast zenginleştirme yöntemleri, görüntüdeki değişik özellikler arasındaki parlaklık değerlerine dayalı ayırt edilebilirliği arttırmak için kullanılır. Kontrast zenginleştirme, temelde görüntü histogramının değiştirilmesi işlemidir. Bu yaklaşımla görüntünün mevcut yansıtım değer aralığı olası bütün dinamik aralığa yayılır. Görüntünün kontrastını

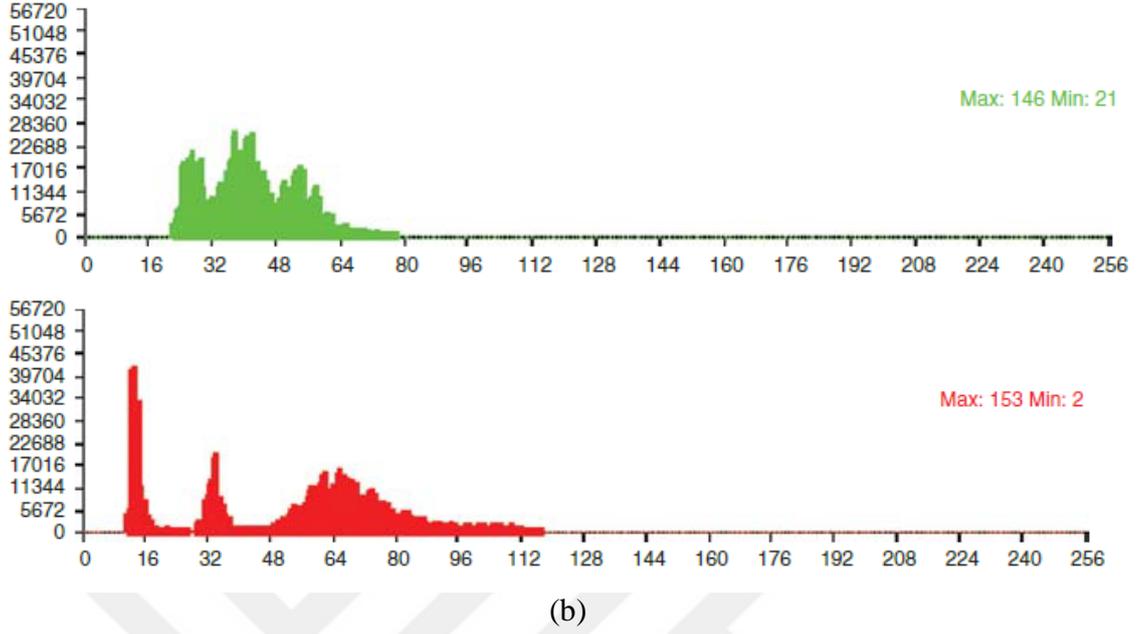
geliştirmek için kullanılan en yaygın teknikler lineer kontrast germe, histogram eşitleme, ve normal (Gauss) yayma metodudur.



(a)



**Şekil 2.11.** (a) Ham Landsat-7 ETM+ yapay renk kompozit görüntüsü (rgb girişleri olarak sırasıyla 4, 3 ve 2. bantlar kullanarak) (b) rgb kanallarında kullanılan 256 renk seviyesinin frekans histogramları (NASA / USGS'den aktaran Mather and Koch 2011) (devam)



**Şekil 2.11.** (a) Ham Landsat-7 ETM+ yapay renk kompozit görüntüsü (rgb girişleri olarak sırasıyla 4, 3 ve 2. bantlar kullanarak) (b) rgb kanallarında kullanılan 256 renk seviyesinin frekans histogramları (NASA / USGS'den aktaran Mather and Koch 2011)

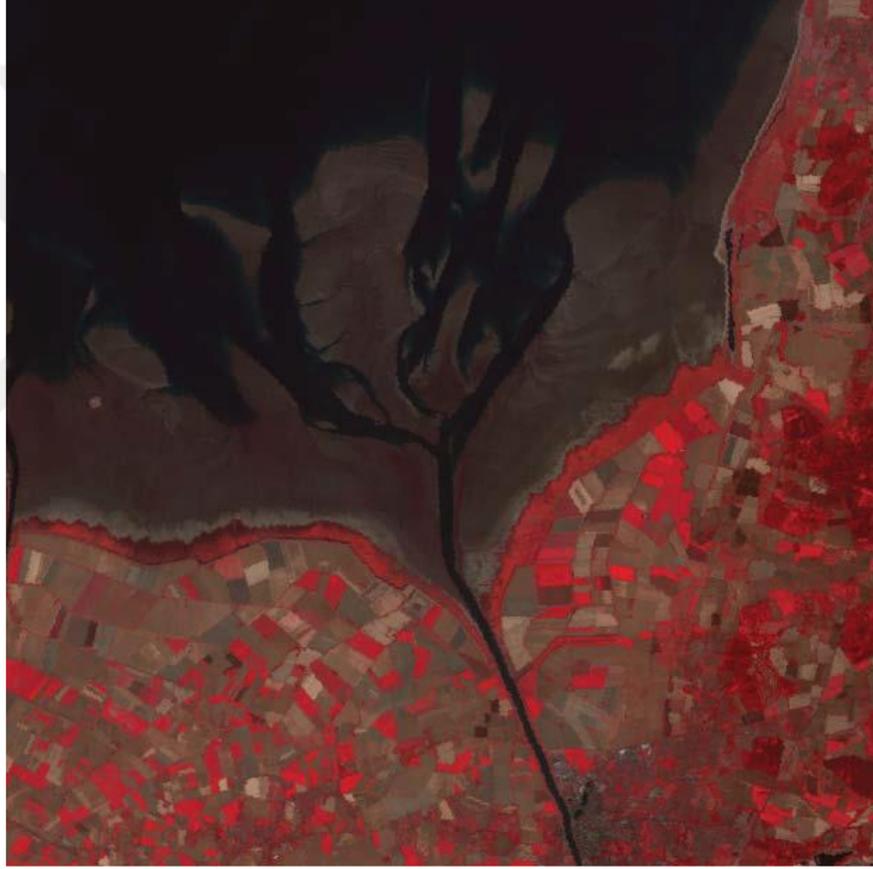
### Lineer kontrast zenginleştirme

En basit kontrast zenginleştirme yöntemidir (Sunar vd 2011). Temel formunda, lineer kontrast germe tekniği, görüntü piksel değerlerinin gözlenen  $V_{\min}$ 'den  $V_{\max}$ 'a kadar görüntü aygıtının tam aralığına (genellikle 8-bitlik bir ekran belleği varsayan 0-255;) çevrilmesini içerir.  $V$ , incelenen görüntüde gözlenen bir piksel değeridir,  $V_{\min}$ , görüntüdeki en düşük piksel değerini ve  $V_{\max}$  en piksel değerini temsil etmektedir.  $PV$ 'ler,  $V_{\min}$  0 değerine eşlenir ve  $V_{\max}$  255 değerine eşlenir. Ara değerler göreceli konumlarını korur, böylece gözlemlenen piksel değeri,  $V_{\min}$ 'den  $V_{\max}$ 'a kadar olan haritanın ortasında 127'ye çıkar. Gözlemlenen  $PV$ 'lerin aralığının ortasını 127,5'e (tam olarak 0 ile 255 arasında yarı yarıya) olan ile eşleyemeyiz, çünkü görüntüleme sistemi sadece 0, 1, 2 gibi ayrı seviyeleri depolayabilir. . . , 255 (Mather and Koch 2011).

Histogramdan orijinal görüntünün minimum ve maksimum değerleri belirlenir ve bu aralık dinamik aralığın tamamına yayılacak şekilde dönüştürülür (Şekil 2.12). Bu dönüşüm eşitliği:

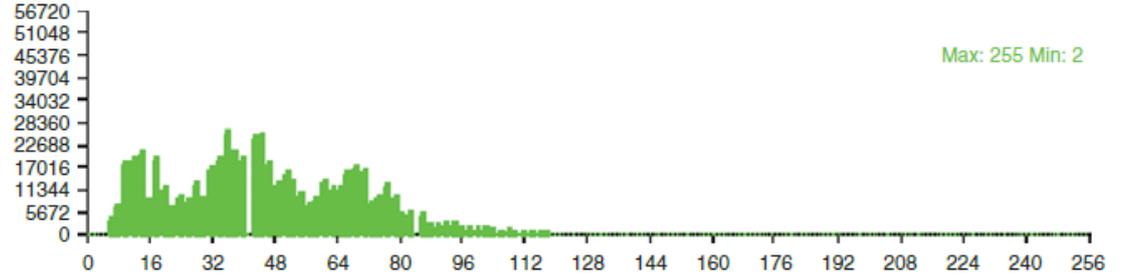
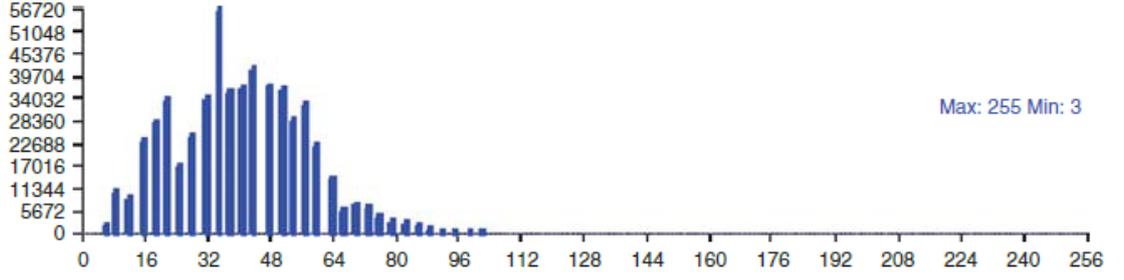
$$\overline{DN} = \frac{DN - DN_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} (\overline{DN}_{max} - \overline{DN}_{min}) + \overline{DN}_{min} \quad (2.2)$$

DN,  $DN_{min}$  ve  $DN_{max}$  sırasıyla orijinal görüntüdeki dönüştürülecek piksel yansıtım değeri, en küçük yansıtım değeri ve en büyük yansıtım değeridir. Aynı şekilde  $\overline{DN}$ ,  $\overline{DN}_{min}$  ve  $\overline{DN}_{max}$  sırasıyla dönüşümden sonra elde edilecek piksel yansıtım değeri, en küçük yansıtım değeri ve en büyük yansıtım değeridir (Sunar vd 2011).

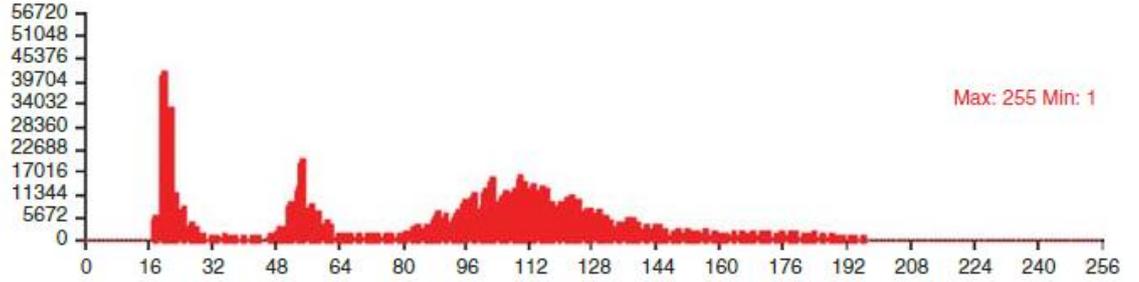


(a)

**Şekil 2.12.** (a) Şekil 2.11’de gösterilen görüntünün her kanaldaki minimum ve maksimum histogram değerlerinin sırasıyla 0 ve 255 olarak ayarlandığı lineer kontrast zenginleştirilmesinden sonraki hali (b) zenginleştirilmiş görüntünün histogramları (NASA / USGS’den aktaran Mather and Koch 2011) (devam)



computer



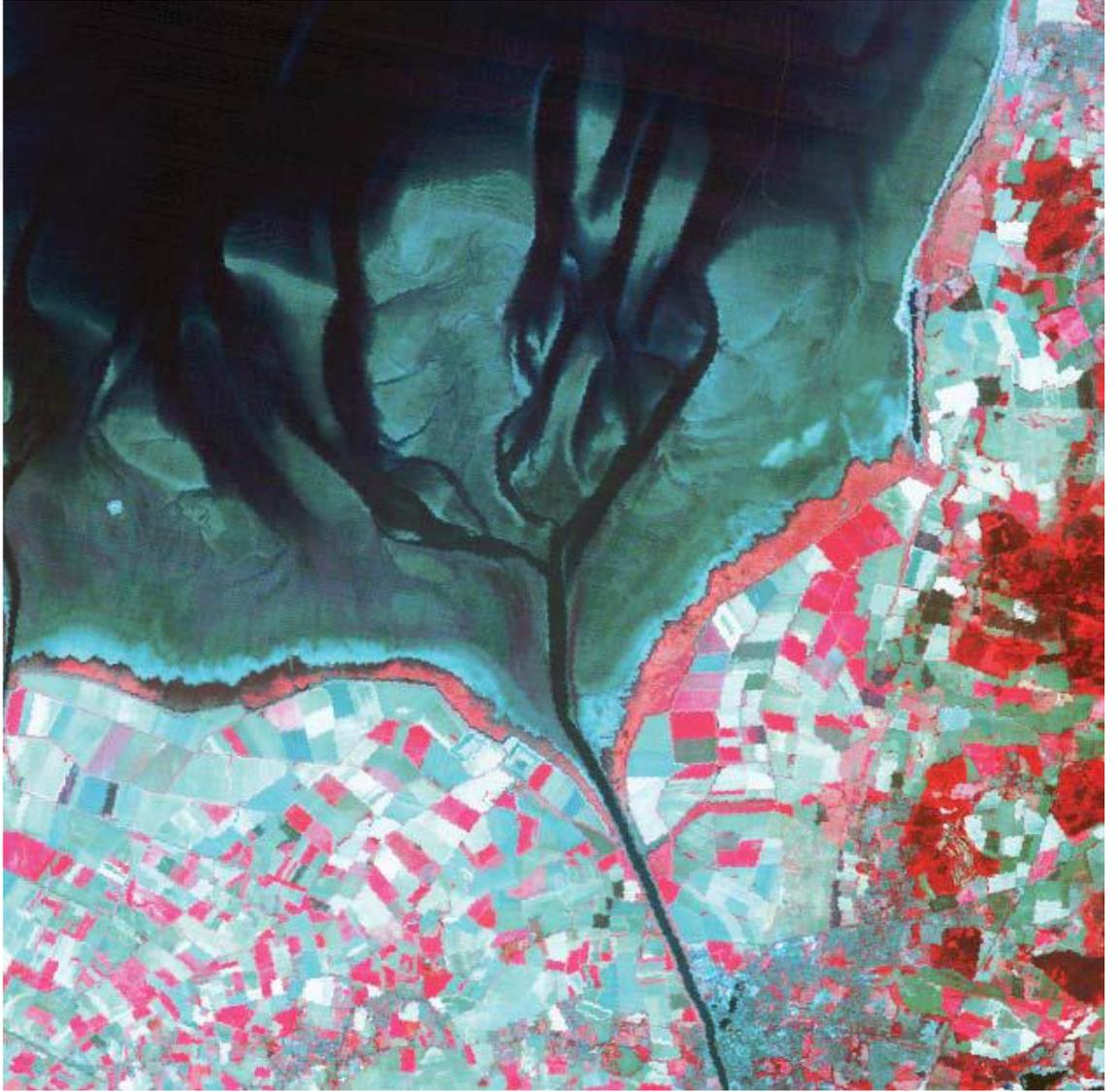
(b)

**Şekil 2.12.** (a) Şekil 2.11’de gösterilen görüntünün her kanaldaki minimum ve maksimum histogram değerlerinin sırasıyla 0 ve 255 olarak ayarlandığı lineer kontrast zenginleştirilmesinden sonraki hali (b) zenginleştirilmiş görüntünün histogramları (NASA / USGS’den aktaran Mather and Koch 2011)

### Histogram eşitleme

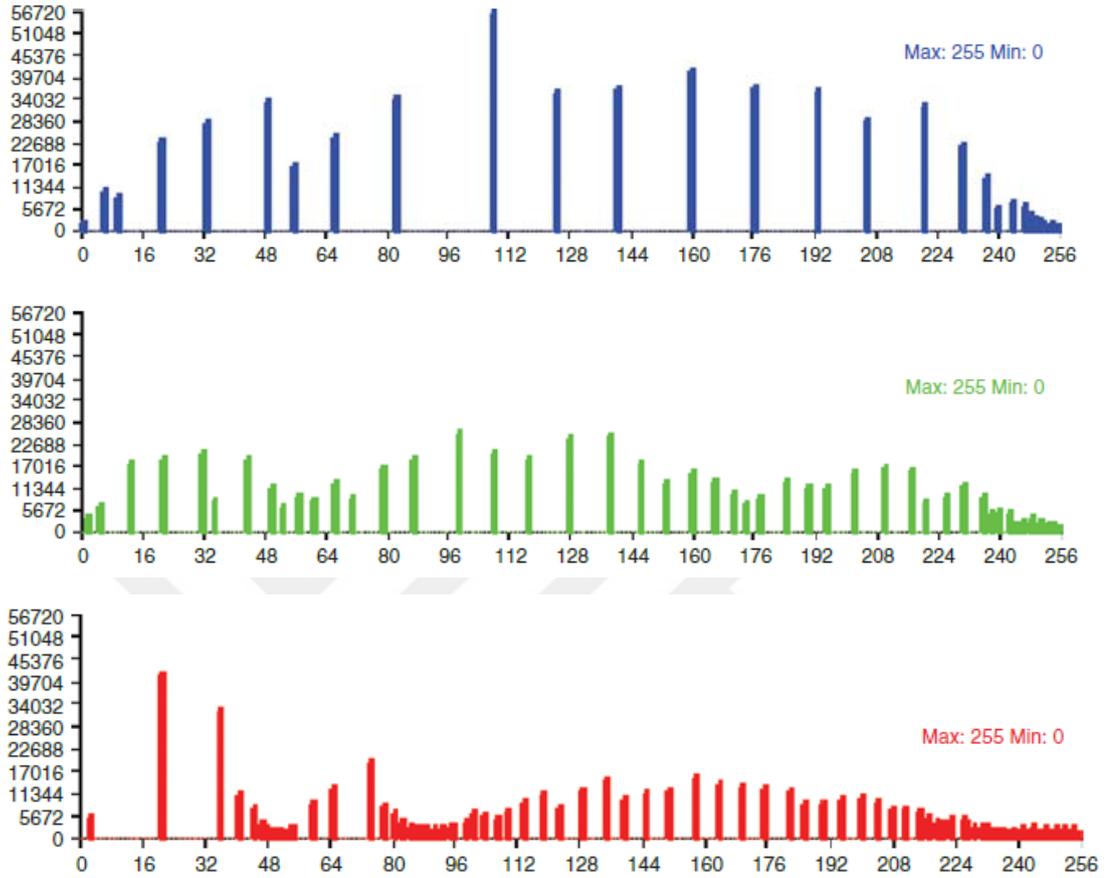
İyi dengelenmiş bir görüntüde histogramın, her bir parlaklık seviyesinin yaklaşık olarak eşit sayıda piksel değeri içermesi gerektiği varsayılmıştır, böylece bu görüntülenen değerlerin histogramı neredeyse aynı olur. Histogram eşitleme adı verilen bu işlem gerçekleştirilirse, görüntünün bilgi içeriğinin bir ölçüsü olan görüntünün entropisi artırılır. Pikselleri yalnızca 0, 1, 2, ..., 255 gibi ayrık değerleri alabilen, uzaktan algılanan dijital görüntülerin doğası nedeniyle, eşitlemeden sonra bile, bir sınıfta “çok fazla” piksel

değeri olabilir. Bununla birlikte, kümelenmenin yoğunlaştığı sınıftan bazı değerlerin alınması ve bunları başka bir sınıfa yeniden dağıtılması mümkün değildir. Dolayısıyla, bir görüntünün piksel değerlerinin histogramının, histogram eşitleme prosedürü uygulandıktan sonra tam olarak düzgün bir şekilde dağılması nadirdir (Mather and Koch 2011).



(a)

**Şekil 2.13.** (a) Şekil 2.11'de gösterilen görüntüye uygulanan histogram eşitlemesi. (b) Şekil 2. 13 (a)'da gösterilen görüntünün histogramı (NASA / USGS'den aktaran Mather and Moch 2011) (devam)



(b)

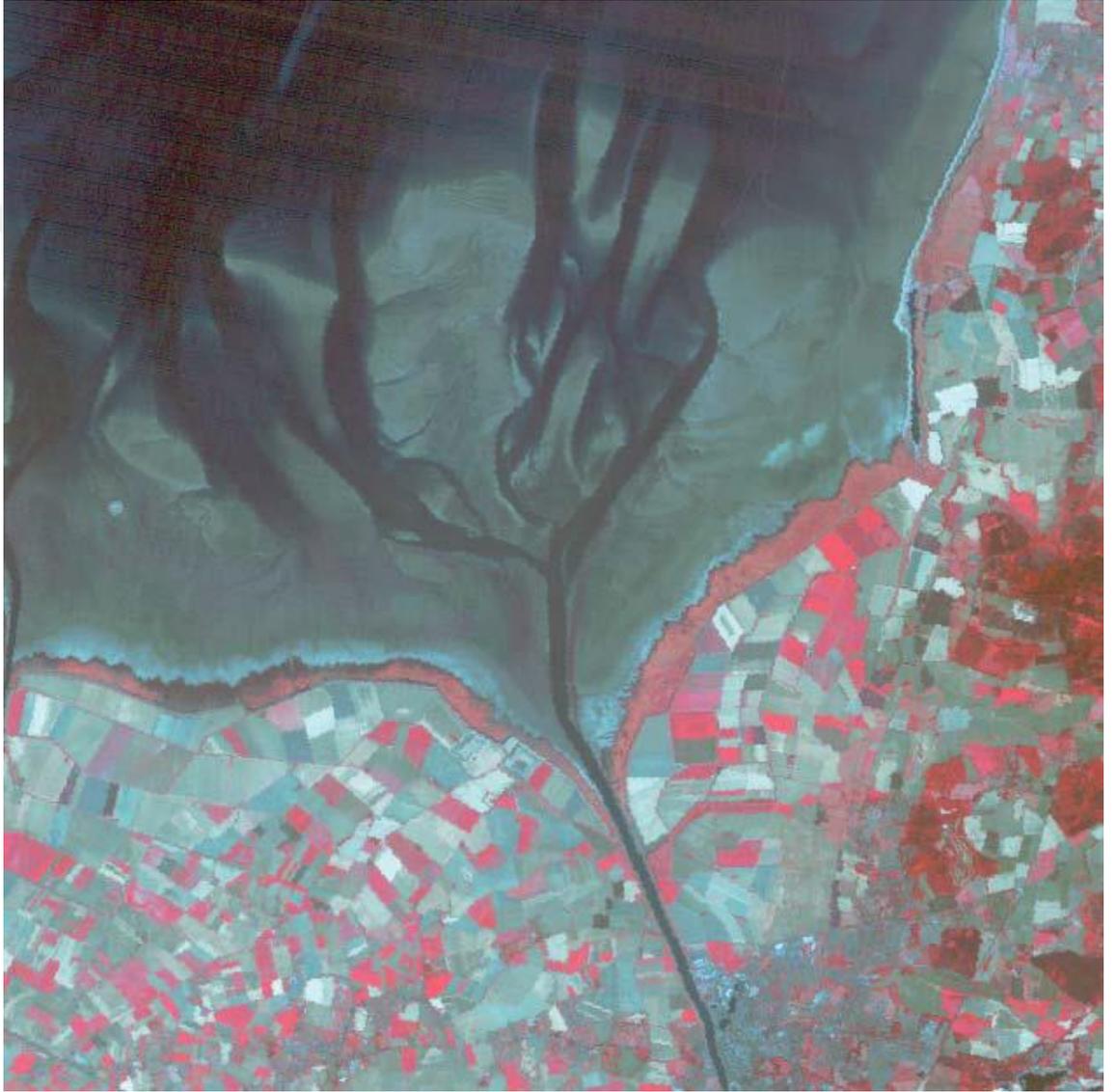
**Şekil 2.13.** (a) Şekil 2.11'de gösterilen görüntüye uygulanan histogram eşitlemesi. (b) Şekil 2. 13 (a)'da gösterilen görüntünün histogramı (NASA / USGS'den aktaran Mather and Moch 2011)

### Normal (gauss) yayma

Görüntü piksel değerlerinin histogramına dayanan ikinci bir kontrast artırma yöntemine, Gauss gergisi adı verilir, çünkü gözlenen histogramın bir Normal veya Gauss histogramına yerleştirilmesini içerir. Normal dağılım,  $x$  değerinin,  $x$  ortalaması ile tanımlandığı takdirde gözlenmesi olasılığını verir (Mather and Koch 2011).

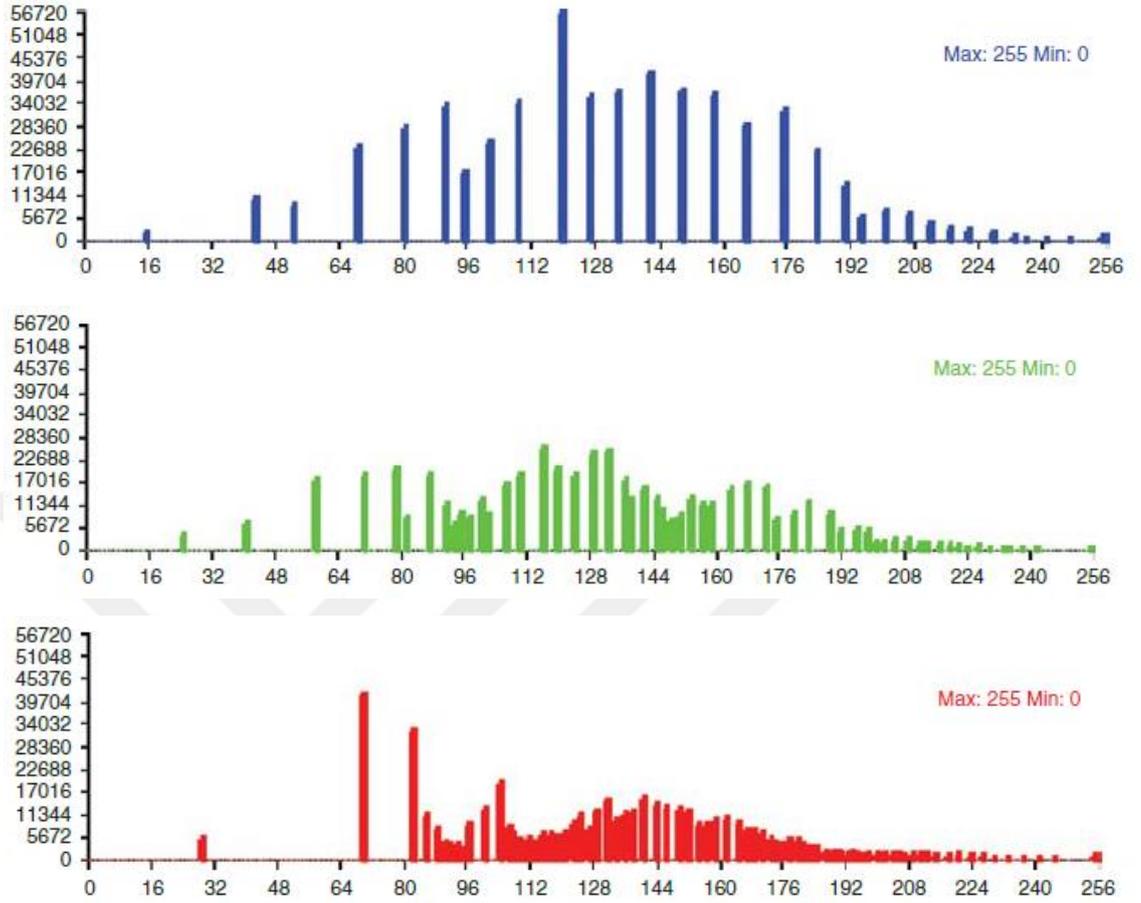
Bu yöntemin histogram eşitleme yönteminde uygulanan işlemlerden tek farkı hedef histogramının uniform olması yerine Normal (Gauss) dağılım eğrisine benzer şekilde

oluşturulmasıdır (Şekil 2.14). Dolayısıyla her bir parlaklık değeri için hedef frekans değerleri Gauss (Normal) Olasılık Yoğunluk fonksiyonuna göre hesaplanacak yüzde değerleri kullanılarak elde edilir. Olasılıklar, 0 ortalamalı ve 1 standart sapmalı Standart Normal dağılıma göre hesaplanır (Sunar vd 2011).



(a)

**Şekil 2.14.** (a) Şekil 2.11'de gösterilen görüntüye uygulanan gauss yayma işlemi (b) Şekil 2. 14 (a)'da gösterilen görüntünün histogramı (NASA / USGS'den aktaran Mather and Koch 2011) (devam)



(b)

**Şekil 2.14.** (a) Şekil 2.11'de gösterilen görüntüye uygulanan gauss yayma işlemi (b) Şekil 2. 14 (a)'da gösterilen görüntünün histogramı (NASA / USGS'den aktaran Mather and Koch 2011)

### Aritmetik bant işlemleri

Tek veya farklı kaynaklardan gelen görüntü bantlarının, uygun matematiksel yöntemlerle yeni bir özellik uzayına dönüştürülmesi işlemidir. En temel dönüşüm yöntemleri basit aritmetik işlemlerdir. Örneğin 2 farklı görüntüdeki piksellerin birbirinden çıkartma işlemi değişim özelliklerinin vurgulanması için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Diğer bir basit yaklaşım bant oranlamasıdır. Bu yaklaşımla spektral yansıtım eğrisinin eğimlerindeki değişkenlik vurgulanır. Normalde bu değişimler bantlar bağımsız ele

alındığında görülemezler. Oranlama yaklaşımı ayrıca topoğrafik etkenlere bağılı olarak oluşan aydınlanma farklılıklarını da azaltır.

### **Ana bileşen dönüşümü**

Ana bileşen dönüşümünde amaç, bilgi tekrarı olmayan korelasyonsuz (birbirine ortogonal) bileşenler elde etmektir. Elde edilen bileşenlerin bağımsız olmaları, orijinal verinin çok boyutlu Normal (Gauss) dağılımına uygun olmasına bağılıdır. Dönüşüm sonucu, orijinal bantların lineer bir kombinasyonudur (Sunar vd 2011).

Çok spektrumlu görüntüleme ölçülen toplam spektral bilgi, bantlar arasında paylaştırılmıştır. Genellikle toplam spektral bilginin bir kısmı değişik oranlarda bantlar arasında tekrarlanır. Matematiksel ifadeyle, bantlar birbirleriyle korelasyonludur ve bundan dolayı benzer bilgiler içerirler (Sunar vd 2011).

#### **2.5.2.b. mekânsal dönüşüm**

Mekânsal dönüşümler, uzaktan algılama görüntülerindeki bilgiyi çıkartmak veya değiştirmek için uygulanırlar. En yaygın dönüşüm uygulaması mekânsal filtrelemedir. Mekânsal filtreleme yöntemleri görüntü içindeki bazı özellikleri bu özelliklerin mekânsal frekanslarına dayanarak vurgulamak veya yok etmek için kullanılır. Mekânsal frekans, görüntünün belirli bir alanına ait yansıtım değerlerindeki değişim oranına karşılık gelen doku bilgisiyle belirlenir. Değişim oranı fazla olan bir bölge “kaba” dokulu özellik göstermekte olup yüksek mekânsal frekansa sahiptir.

En yaygın kullanılan mekânsal filtreleme yöntemi, belirli bir genişliğe sahip (örneğin 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, ..., vb.) hareketli pencere (kernel) kullanımınıdır. Her bir piksel için gezdirilen bu pencerenin ağırlık değerleriyle eşleştirildiği lokal görüntü parlaklık değerleri karşılıklı çarpılır ve bu çarpımlar toplanır. Elde edilen sonuç pencere merkezindeki piksele yeni değer olarak atanır. Daha sonra bu pencere satır veya sütün

yönünde 1 piksel ötelenir. Bu öteleme ve aritmetik işlemlerin bütününe “konvolüsyon” denir.

Pencerenin ağırlık değerleri değiştirilerek görüntüdeki mekânsal özellikleri vurgulayan veya azaltan filtreler oluşturulur. Yansıtım değeri değişiminin az olduğu düşük mekânsal frekansların vurgulanıp yüksek frekanslı detayların zayıflatılmak istendiği uygulamalarda “Alçak Geçirgenli” filtrelerin kullanımı uygundur. Tam tersi durumda ise “Yüksek Geçirgenli” filtre kullanılır. Alçak geçirgenli filtreler görüntüyü yumuşatırken (ortalama bilgi muhafaza edilir), yüksek geçirgenli filtreler görüntünün ortalama bilgisini zayıflatan bir etkiye sahiptir. Yaygın kullanımda alçak geçirgenli filtrenin ağırlıklarının toplamı 1, yüksek geçirgenli filtrenin ağırlıklarının toplamı ise 0 olacak şekilde ağırlıklandırma yapılır. Ancak yüksek geçirgenli filtrelemede bu genellemenin dışında kalan farklı kernel çeşitleri de kullanılmaktadır (Sunar vd 2011).

### 2.5.3. Sınıflandırma

Sınıflandırma işlemi ile görüntüdeki farklı özelliklerin veya objelerin belirlenmesi ve tanımlanmasını sağlayacak kantitatif karar fonksiyonları oluşturulur. Kantitatif karar fonksiyonlarının oluşturulmasında görüntüye ait spektral ve mekânsal bilgilerle bölgeye ait diğer yardımcı veriler kullanılır. Sınıflandırmaya girdi olacak bu bilgilere özellik ve özelliklerin oluşturduğu uzaya özellik uzayı denir. Temel problem, bir kategoriyi diğerinden ayıran fiziksel sınıf karakteristiklerine karşılık gelen sınıf veri özelliklerinin nasıl belirleneceğidir. Özellik uzayındaki her bir nokta bir örüntüdür. Diğer bir deyişle, örüntü, sınıflandırma işleminin temel girdisi olan görüntü özelliklerine ait ölçüm vektörüdür. Spektral tabanlı sınıflandırma problemlerinde örüntüler, görüntü verisinin her bir spektral banttaki ışınrlığın ölçüm değerleridir. Mekânsal tabanlı sınıflandırma problemlerinde ise örüntü, görüntüdeki elemanların (piksel) komşuluk, geometrik yakınlık, doku, vb. mekânsal ölçütleridir.

Kullanılacak örüntü, en iyi sınıflandırma doğruluğunu verecek uygun özelliklerin bir birleşimi olmalıdır. Bu amaçla özellikler, uygun alt bant gruplarının seçimi gibi basit

yaklaşımlarla veya spektral ve mekânsal dönüşümler gibi daha karmaşık yaklaşımlarla (örn. bantlar arası bağımlılığı ortadan kaldıracak Ana Bileşen dönüşümü veya belirli bantların farklarının alınması ve/veya oranlanması, vb.) elde edilebilirler. Ancak bazı uygulamalarda, örneğin arazi kullanımı haritalarının hazırlanmasında olduğu gibi, konuma bağlı olarak pikselden piksele gözlenen spektral değişimler nedeniyle bu tip bir analizin istenen doğrulukla gerçekleştirilmesi mümkün olmayabilir. Bunun için daha karmaşık fiziksel ölçmelere ihtiyaç duyulabilir. Yardımcı veri olarak adlandırılan bu veriler arazi eğimleri, yüzey yükseklikleri veya doku bilgisi gibi ek bilgilerdir. Birçok uygulamada spektral ve mekânsal dönüşümlerle elde edilen özellikler ve yardımcı veriler, orijinal parlaklık değerleriyle birlikte örüntüyü oluştururlar (Sunar vd 2011).

Sınıflandırma süreci iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, gerçek dünyadaki nesnelerin kategorilerinin tanınmasıdır. Arazi yüzeyinin uzaktan algılanması bağlamında, bu kategoriler çalışmanın coğrafi ölçeğine ve doğasına bağlı olarak örneğin ormanlık alanlar, su kütleleri, otlaklar ve diğer arazi örtüsü türlerini içerebilir. Sınıflandırma işleminde ikinci aşama, sınıflandırılacak varlıkların (normalde piksellerin) etiketlenmesidir. Dijital görüntü sınıflamasında bu etiketler sayısaldir, bu nedenle "su" sınıfına ait olarak kabul edilen bir piksele "1", "ormanlık alan" sınıfına ait olarak kabul edilen bir piksele "2" etiketli verilebilir. Görüntü sınıflandırma işlemi, kullanıcının aşağıdaki adımları gerçekleştirmesini gerektirir:

1. Arazi kapsamının tanımlanacağı kategorilerin sayısını ve türünü önceden tanımlayın.
2. Genellikle sınıflandırma kuralı veya karar kuralı olarak adlandırılan bir karar verme prosedürü kullanarak özelliklerine göre piksellere etiket atayın.

Bazen bu adımlara sırasıyla sınıflandırma ve tanımlama (veya etiketleme) denir. Sınıflandırma aşaması normal olarak, seçilen mekânsal ölçekte zeminde gözlemlenebilecek önceden belirlenmiş sayıda sınıfa dayanır. Bunlar hedef veya bilgi sınıflarıdır. Daha sonra açıklanan kümeleme, az çok spektral olarak farklı olan sınıflar üretir ve bunlara spektral sınıflar denir. Mekânsal ölçeklerin birbiriyle eşleşmesini sağlayarak, bilgi sınıflarına karşılık gelebilir.

Sınıflandırma prosedürünün aksine, kümeleme süreci, arazi yüzeyinin tanımlanacağı bir dizi kategori tanımını gerektirmez. Kümeleme, görüntünün kapsadığı alanda ayrılabilir arazi örtüsü kategorilerinin sayısını belirlemek ve bu kategorilere piksellerin atandığı bir tür keşif veri analizi veya veri madenciliği prosedürüdür. Kümelerin veya kategorilerin, arazi örtüsü tiplerinin niteliği bakımından tanımlanması, kümeleme prosedürünü izleyen ayrı bir aşamadır.

Piksel etiketlemeye bu iki yaklaşım, uzaktan algılama literatüründe sırasıyla kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma prosedürleri olarak bilinir. Bir görüntüyü benzer özelliklere sahip bölgelere ayırmak için kullanılabilirler. Arazi örtüsü sınıflandırmasına rağmen yukarıda örnek olarak kullanıldığı zaman, benzer prosedürler bulutlarda, su kütlelerinde ve görüntüde bulunan diğer nesnelere uygulanabilir. Bununla birlikte, her durumda, sınıflandırılacak olan pikselin özellikleri bu pikseli etiketlemek için kullanılır. En basit durumda, bir piksel, elemanları her bir spektral bantta gri seviyesi olan bir vektör ile karakterize edilir. Bu vektör, o pikselin spektral özelliklerini temsil eder (Mather and Koch 2011).

Sınıflandırma işleminde genel olarak kontrollü (denetimli) ve kontrolsüz (denetimsiz) sınıflandırma olarak adlandırılan iki yaklaşım kullanılmaktadır. Kontrollü sınıflandırma da farklı spektral grupları temsil eden örnekleme alanları kullanılarak spektral ayırt edilebilirlik incelemekte, buna karşılık kontrolsüz sınıflandırmada ise spektral olarak ayrılabilir sınıflar belirlenmekte ve bunlardan bilgi elde etme yoluna gidilmektedir (Çölkesen 2015). Daha farklı bir ifade ile Kontrollü sınıflandırma yaklaşımında istenen sınıfları temsil eden öncül tematik bilgi vardır ve bunlara eğitim verisi denir. Diğer bir ifade ile her bir örüntü için karar fonksiyonlarına göre atanacağı olası sınıflar önceden belirlidir. Buna göre eğitim verileriyle belirlenen karar fonksiyonlarıyla özellik uzayını oluşturan her bir örüntü bilinen bir sınıfa atanır (etiketlenir). Kontrolsüz sınıflandırma yaklaşımında ise öncül herhangi bir tematik bilgi yoktur. Diğer bir ifade ile sınıfların ne olduğu ve örüntülerin hangi sınıfa atanacağı bilgisi bulunmamaktadır. Örüntüler belirli bir metriğe göre doğal olarak kümelirler. Doğal spektral grupların oluşturduğu bu kümeler, daha sonra arazi incelemeleriyle veya topoğrafik haritalar ve hava fotoğrafları

kullanılarak etiketlenir. Her iki yaklaşımda da sonuç ürün, her bir piksel için tek bir kategori içermektedir (Sunar vd 2011).

### **2.5.3.a. kontrolsüz sınıflandırma**

Bazen, uzaktan algılanan bir görüntünün kapsadığı coğrafi alan için arazi örtüsü türlerinin doğasına dair yetersiz gözlemsel veya belgesel kanıtların mevcut olması söz konusudur. Bu gibi durumlarda, sınıfların ortalama merkezlerini tahmin etmek mümkün değildir. Bu sınıfların sayısı bile bilinmiyor olabilir (Mather and Koch 2011). Herhangi bir öncül tematik bilginin kullanılmadığı kontrolsüz sınıflandırma yaklaşımında temel amaç, özellik uzayında belirli bir kriteri sağlayan doğal grupları (kümeleri) ortaya çıkarmaktır. Benzer özellik vektörüne sahip olan örüntüler kendi aralarında bulutsu görünümde noktalar grubu oluşturur. Her bir grup, farklı bir obje kategorisine ait örüntüler için çok boyutlu gösterim belirler. Sonuçta oluşan kümelerin, hangi kategorilere ait olduğu bilinmemekte ancak arazi ölçümleri, harita ve hava fotoğraflarıyla kümelerin sınıf karşılıkları belirlenebilmektedir. Daha sonra bu kümeler birleştirilip melez sınıflandırma işleminde de kullanılabilir (Sunar vd 2011).

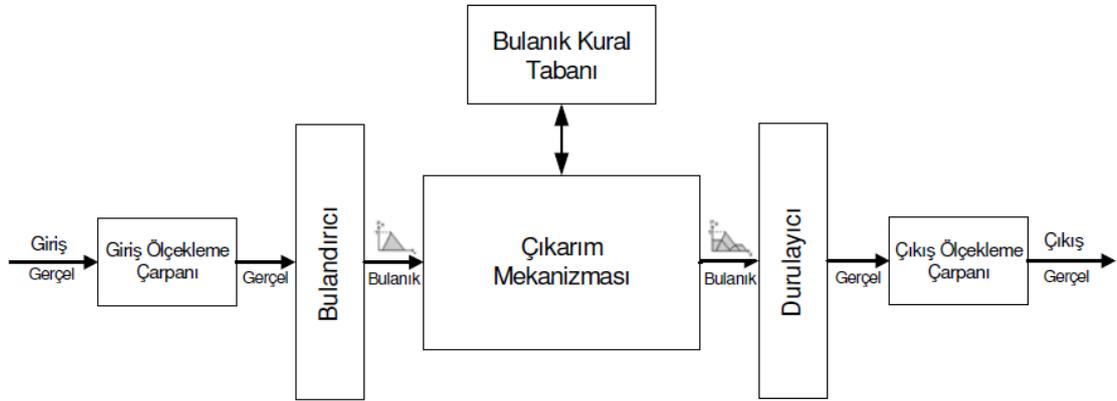
En temel kontrolsüz sınıflandırma yöntemi K-ortalamalar algoritmasıdır. Bu yöntemde örüntüler, seçilen küme merkezlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak en yakın oldukları kümeye atanırlar. Öncül tematik bilgi olmadığı için küme merkezleri başlangıçta ya rastlantısal ya da sistematik olarak belirlenir. Daha sonra her bir kümeleme işleminden sonra küme merkezleri güncellenir. Böylece algoritma en uygun merkez değerlerini, diğer bir ifade ile örüntüler için en uygun küme etiketlerini adım adım (iteratif) güncelleyerek elde eder. En yaygın kullanılan uzaklık ölçütü Öklit normudur. Küme merkezlerinin sistematik belirlenmesinde özellik uzayı amaçlanan küme sayısına göre bölümlenir. Yeterli iterasyon kullanıldığı sürece başlangıç küme merkezlerinin nereye yerleştirildiği önemli değildir. Dolayısıyla bu algoritmada iterasyon sayısı önemli bir parametredir (Sunar vd 2011).

### 2.5.3.b. kontrollü sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma yöntemleri, kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerinin aksine, seçilen algoritma uygulanmadan önce kullanıcıdan girdi gerektirir. Bu girdi alan çalışması, hava fotoğrafı analizi, raporlardan veya ilgilenilen alanın uygun haritalarının çalışmasından elde edilebilir. Kontrollü sınıflandırma, istatistiksel veya istatistiksel olmayan algoritmalar kullanarak uygulanır. İstatistiksel algoritmalar, özelliklerdeki minimum ve maksimum değerler veya bireysel kümelerin ortalama değerleri veya sınıfların her biri için ortalama ve varyans-kovaryans matrisleri gibi eğitim sınıfları şeklinde türetilmiş parametreleri kullanır. YSA'lar gibi istatistiksel olmayan yöntemler, örnek verilerden elde edilen istatistiksel bilgilere dayanmaz, ancak doğrudan örnek veriler üzerinde eğitilir ve görüntü bantlarının frekans dağılımları hakkındaki varsayımlara dayanmaz. Buna karşılık, maksimum olabilirlik (ML) prosedürü gibi istatistiksel yöntemler, her bir sınıf için frekans dağılımının, çok değişkenli normal formda olduğu varsayımına dayanmaktadır. Yapay sinir ağları gibi istatistiksel olmayan yöntemler, örnek verilerden elde edilen istatistiksel bilgilere dayanmaz, ancak doğrudan örnek veriler üzerinde eğitilir ve görüntü bantlarının frekans dağılımları hakkındaki varsayımlara dayanmaz. Buna karşılık, maksimum olabilirlik prosedürü gibi istatistiksel yöntemler, her bir sınıf için frekans dağılımının, çok değişkenli normal formda olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu nedenle, istatistiksel yöntemlerin parametrik olduğu söylenir (çünkü eğitim verilerinden elde edilen istatistiksel parametrelerin tahminlerini kullanırlar), sinirsel yöntemler parametrik değildir. Bu ifadenin önemi, eğitim açısı veya toprak tipi gibi uzaktan algılanamayan ek verilerin, parametrik olmayan bir yöntem kullanılarak bir sınıflandırmaya daha kolay dâhil edilebileceği gerçeğinden kaynaklanmaktadır, çünkü bu verilerin çok değişkenli normal bir frekans dağılımını takip etmesi muhtemel değildir (Mather and Koch 2011). Üretilen tematik haritaların doğruluğu ve güvenilirliği açısından ele alındığında kontrollü sınıflandırma yaklaşımı uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında en çok tercih edilen yaklaşımdır (Çölkesen 2015). Kontrollü sınıflandırma teknikleri piksel-tabanlı (pixel-based), alt-piksel (sub-pixel) ve obje tabanlı (object-based) teknikler olarak üç temel grup altında incelenmektedir (Li *et al.* 2014).

## 2.6. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, ilk defa 1965’de bulanık kümelerin Prof. Zadeh tarafından sunulmasıyla ortaya çıkmış matematiksel bir düşüncedir. Aristo mantığında kümeler kesin sınırlara sahiptir ve evrensel kümenin her bir elemanına o kümeye ait olduğunu belirtmek için 1 ait olmadığını belirtmek için ise 0 değerini atayarak tanımlama yapar. Bulanık kümelerde ise bir eleman birden fazla kümenin elemanı olabilmektedir. Üyelik (aitlik) derecesi ise 0 ile 1 aralığında değişmektedir (Chang and Zadeh 1972; Bose 1994). Gerçekte üyelik derecesi adına üyelik fonksiyonu denilen bir fonksiyon ile tanımlanır. Bulanık küme tarafından tanımlanan üyelik fonksiyonu, ilgili kümeye üyelik derecesi büyük olan elemanlar için 1’e doğru büyüyen, üyelik derecesi küçük olan elemanlarda 0’a doğru küçülen üyelik dereceleri vermektedir (Zadeh 1977). Şekil 2.15’de bulanık denetleyici kullanılarak oluşturulan bir kontrol sistemi ve bulanık denetleyicinin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.15. Bulanık mantık denetleyicisi (Bulut 2009)

Kesin olmayan veya iyi tanımlanmamış sistemler için diferansiyel denklemler gibi geleneksel matematiksel araçlar kullanılarak sistemlerin modellenmesi uygun değildir. Ancak “EGER-ÖYLE İSE” bulanık kurallarından oluşan bulanık çıkarım sistemi insan tecrübesinin bakış açılarını ve muhakemesini tam niceliksel analiz kullanmadan modelleyebilir. Bulanık modelleme ve bulanık tanımlama ilk önce Takagi ve Sugeno

tarafından incelenmiş (Takagi and Sugeno 1985) kontrol, tahmin (kestirim) ve çıkarım (anlam çıkarma) gibi alanlarda pek çok uygulaması gerçekleştirilmiştir (Jang 1993).

Bulanık denetleyicinin gerçekleşmesinde, sistemin bir matematiksel modelinden ziyade o sistemi çalışan operatörün sistem davranışı konusunda sahip olduğu bilgiler önemlidir. Yukarıdaki kontrol sisteminde referans giriş sinyali  $r(t)$  ile çıkış sinyali  $y(t)$  karşılaştırılır ve bu iki sinyal arasındaki  $e(t)$  fark (veya hata) sinyaline bağlı olarak bulanık denetleyici tarafından prosesin girişine uygulanacak olan kontrol sinyali  $u(t)$  üretilir.

Şekil 2.15 ten de görüldüğü gibi bulanık denetleyicilerin üç ana bileşeni vardır (Altaş 1992; Altaş 1997)

- 1) Bulandırıcı (veya bulanıklaştırıcı) ara yüzü (fuzzification interface)
- 2) Bulanık kural tabanı (rule base)
- 3) Durulayıcı (veya durulaştırma) ara yüzü (defuzzification interface)

### 2.6.1. Bulandırıcı

Bulanık işlemcinin ilk elemanı olarak devreye girer. Çünkü bulanık işlemci girişlerinin uygulandığı birimdir. Bulanıklaştırıcı (fuzzifier) kendisine uygulanan kesin girişleri bulanıklaştırarak işe başlar. Bu girişlerden bazıları denetlenen sistemden gelen geri besleme işaretleri olabileceği gibi, doğrudan dışarıdan verilen komutlar da olabilir.

### 2.6.2. Bulanık kural tabanı

Bulanıklaştırıcıdan gelen üyelik fonksiyonları burada depolanmış halde bulunan bilgi tabanına dayalı bilgi kümeleri ile birlikte kullanılarak bulanık bir sonuç elde edilir. Kullanılan Bilgi tabanı (knowledge-base) denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir. Burada sistemle ilgili bilgiler sistem giriş ve çıkışını if .... then .... else biçimine sahip koşul cümleleriyle birbirine bağlar. Bu koşul

cümlelerinin her biri bir kural olarak isimlendirilir. Bu nedenle de bilgi tabanı yerine kural tabanı (rule-base) terimi de kullanılır.

Bulanık önermedeki sonuç ifadesinin yapısına göre bulanık kural tabanı dört farklı yapı oluştururlar:

- i. Mamdani tipi bulanık kurallar
- ii. Tekli (Singleton) tip bulanık kurallar
- iii. Takagi-Sugeno tipi bulanık kurallar
- iv. Tsukamoto tipi bulanık kurallar

#### 2.6.2.a. mamdani tipi bulanık kurallar

Bu tip “Eğer-O Halde” bulanık kurallar bilgiyi yarı-niteliksel olarak içerirler. Bu kurallar aşağıdaki şekildedir;

**Ki: EĞER  $\tilde{x}$   $A_i$  ise O HALDE  $\tilde{y}$   $B_i$ 'dir**

Burada,  $\tilde{x}$  giriş (öncül) dilsel değişken ve  $A_i$ 'ler ise öncül dilsel terimlerdir. Benzer şekilde  $\tilde{y}$  çıkış (sonuç) dilsel değişken ve  $B_i$ 'ler ise sonuç dilsel terimlerdir. Kurallarda yer alan  $\tilde{x}$  ve  $\tilde{y}$  dilsel değişkenlerinin değerleri ve  $A_i$  ( $B_i$ ) dilsel terimleri kendi tanım bölgelerinde tanımlı bulanık kümelerdir:  $x \in X \subset R_p$  ve  $y \in Y \subset R_q$

Öncül (/sonuç) bulanık kümelerine ilişkin üyelik fonksiyonları

$$\mu(x):X \rightarrow [0, 1], \mu(y):Y \rightarrow [0, 1] \text{ şeklinde dönüşümlerdir.} \quad (2.3)$$

$A_i$  bulanık kümeleri, ilişkili sonuç önermelerinin geçerli olduğu öncül uzaydaki bulanık bölgelerdir.  $A_i$  ve  $B_i$  dilsel değişkenleri genellikle daha önceden tanımlanmış KÜÇÜK, ORTA, BÜYÜK, NEGATİF, POZİTİF gibi terimlerden seçilir. Bu kümeler, A ve B ile gösterilirse  $A_i$  ve  $B_i$ 'ler,  $A_i$  A ve  $B_i$  B şeklinde ifade edilebilir.

### 2.6.2.b. tekli (singleton) tip bulanık kurallar

Mamdani tipi bulanık kuralların özel bir halidir. Kuralların sonuç önermesinde yer alan Bi bulanık kümelerinin tekli (singleton) bulanık küme seçilmesiyle oluşturulur.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & , x = \bar{x} \\ 0 & , \text{aksi halde} \end{cases} \quad \text{şeklinde tanımlanır.} \quad (2.4)$$

Ai bulanık kümeleri, bir gerçel sayılar ile aşağıdaki gibi basit şekilde ifade edildiğinde kurallar aşağıdaki şekildedir;

$$\mathbf{Ki : EĞER } x, A_i \text{ ise } \mathbf{O HALDE } y = b_i , i= 1, 2, 3 \dots r$$

### 2.6.2.c. takagi-sugeno tip bulanık kurallar

Takagi-Sugeno tipi bulanık kural yapılarında öncül kısım giriş uzayının bulanık bölgelerini ifade ederken sonuç kısmında kesin (belirgin) fonksiyon mevcuttur. Bu kurallar aşağıdaki şekildedir;

$$\mathbf{Ki : EĞER } x, A_i \text{ ise } \mathbf{O HALDE } y_i = b_i , i= 1, 2, 3 \dots r$$

### 2.6.2.d. tsukamoto tipi bulanık kurallar

Tsukamoto monoton tip yani sürekli azalan ya da artan tip üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı bulanık çıkarım sistemidir.

### 2.6.3. Durulayıcı

Bulanık işlemcinin son elemanı olarak devreye girer. Bulanık kural işleme ünitesinde elde edilen kural sonuçları durulaştırıcıda (defuzzification) değerlendirilip, kesin bir sonuca

dönüştürülür. Kurallar else terimi ile birbirlerine bağlanmaktadır. Dolayısıyla kuralların toplam etkisi, hepsinin birleşimi olan ve aşağıda ifade edilen bağıntı ile belirlenebilir.

$$KT = K1 + K2 + K3 + K4 = \sum_{i=0}^4 K_i \quad (2.5)$$

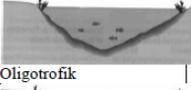
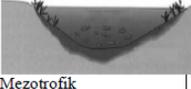
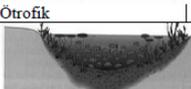
Bu bağıntıdaki “+” işareti aritmetik bir işlem olmayıp, “else” terimine karşılık gelmektedir. Buradaki etkisi ise “birleşim” yani “maksimum alma” işlemidir.

## 2.7. Göl Ötrofikasyonu ve Trofik Seviyelerine Göre Göllerin Sınıflandırılması

Dünyada çok ciddi su kalite problemlerinin başında sınırlayıcı nutrient kavramına (birincil ajan olarak azot veya fosfor) dayanan göl ötrofikasyonu gelmektedir. Cüce'nin belirttiğine göre (2012) 1907'de Weber, turba bataklıklarının başlamasıyla bitki topluluklarının trofik durumunu tanımlamak için ilk olarak ötrof, mezotrof ve oligof ifadelerini kullanmıştır. 1919'da Naumann, göllerin trofik durumları için, düşük verimlilikteki oligotrofik göller ve yüksek verimlilikteki ötrofik göller olarak adlandırılan iki göl tipini tanımlamıştır. Yine Cüce'nin belirttiğine göre (2012) daha sonra, 1942'de Lindeman, göllerde ötrofikasyonunun; organik maddenin sürekli olarak gölde biriktiğini ve sonunda gölün tükeninceye kadar gitgide sığlaşmasına yol açan doğal bir değişim süreci olduğunu belirtmiştir. Bunun ardından 1969'da, Vollenweider, göl sınıflaması için statik bir parametre olarak nutrient konsantrasyonunun rol oynayabildiğini düşünmüştür. Buna bağlı olarak, OECD 1981'de, N, P ve klorofil-a konsantrasyonlarına ve Secchi disk derinliğine dayanarak gölleri, oligotrofik, mezotrofik, ötrofik ve hiperötrofik olmak üzere kantitatif olarak 4 tipte sınıflandırmıştır (Çizelge 2.3). Günümüzde, pek çok araştırmacı, göl ötrofikasyonunun nutrient artışı sebebiyle trofik durumun düşük seviyelerden yüksek seviyelere doğru giden bir proses olarak bilmektedir. Bu proses, biyolojik çeşitliliğin azalması, makrofit büyümesinin kısıtlanması, mavi-yeşil alg patlaması hatta, sualtı makrofitlerin hızla ortadan kaybolması ve aniden fitoplanktonca baskın bulanık durumun ortaya çıkması ile sonuçlanabilir. Sonuç olarak, göl ötrofikasyonu üzerine uluslararası çalışma, göl durumunun tanımlanmasından başlar, göl trofik tiplerinin sistematik

indekslerinin ifade edilmesiyle ve ekosistemin değişimi konusu ile devam eder (Cheng and Lei 2001; Kietpawpan *et al.* 2003).

**Çizelge 2.3.** Trofik seviyelerine göre göllerin sınıflandırılması (Cüce 2012)

TROFİK DURUM	Toplam Klorofil-a (µg/L)	Toplam Fosfor (µg/L)	Toplam Azot (µg/L)	Secchi Derinliği (m)	GENEL ÖZELLİKLERİ
 Oligotrofik	<3	<15	<400	>3,9624	Minimum biyolojik aktivite, göl dibi boyunca az miktarda organik madde ve sediman, dipte çözünmüş oksijen yüksek, besin ve üretkenlik düşük, yüksek geçirgenlik, klorofil-a ve fosfor değerleri düşük, fitoplankton miktarca az, su temiz.
 Mezotrofik	3-7	15-25	400-600	2,4384-3,9624	Daha çok besin ve bu nedenle daha çok biyolojik aktivite.
 Ötrofik	7-60	25-100	600-1500	0,9144-2,4384	Sular besince zengin, yüksek biyolojik üretkenliğe sahip, göl dibindeki suda çözünmüş oksijen düşük ve organik madde birikimine sahip, sedimanda yüksek organik madde mevcut, sular yoğun fitoplankton büyümelerinden dolayı bulanık.
 Hiperötrofik	>60	>100	>1500	<0,9144	Çok düşük seviyede su berraklığı, potansiyel balık ve vahşi yaşam kaybı, suncul bitki türleri yok denecek kadar az.

Bir göldeki nutrient zenginleşme olgusu birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametre tarafından kontrol edilmektedir. Cüce'nin belirttiğine göre (2012), Nauman 1931 yılında yaptığı çalışmasında bu parametrelerden en önemlisini, su kaynaklarının çoğunda üretimi kontrol eden faktör olarak belirlenen ve azot ile birlikte ötrofikasyon açısından önemli nutrient olarak ileri sürdüğü fosfor olarak belirtmiştir. Bunun yanı sıra bazı araştırmacılara göre ötrofikasyonun en önemli sonucu olarak görülen klorofil de önemli bir parametredir ve alg biyokütlesi ile yakından ilişkilidir. Brezonik (1969), nutrient düzeyi indikatör parametrelerini daha genel anlamda ifade ederek ötrofikasyon üzerindeki etkilerini de belirtmiştir. Secchi disk derinliği ölçümleri de nutrient düzeyinin belirlenmesinde kullanılan fiziksel bir parametredir. Bu ölçümler diğerlerine oranla daha kolay ve ucuz olup birçok su kaynağında toplam fosfor konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir (Dillon and Rigler 1974; Carlson 1977).

Sularda ötrofikasyonun en önemli göstergesi, fitoplankton veya makrofitlerin biyokütlesinde görülen artıştır. Ötrofikasyona maruz kalan yüzey sularında nutrient konsantrasyonu yüksektir ve bu besi maddeleri epifitik ve planktonik bitkilerce kullanılır. Fitoplankton artışı derin ve kıyısı dik olan göllerde gözlenirken, makrofitler sığ ve berrak

göllerde gelişir. Artan besi maddesine bağlı olarak, biyokütle ve verimlilikte bir artış görülür.

Su sistemlerinde besi maddelerinin incelenmesi son derece karmaşıktır. Alg ve alg üzerine bağlı diğer mikroorganizmalar su dibine çöktüklerinde hücrelerindeki azot ve fosforu da beraberlerinde taşırlar. Hücre yapısının parçalanması süresince, nutrientler serbest kalır ve su bitkilerinin büyümeleri için kullanılırlar. Serbest kalan bu nutrientler, su sistemine giren ilavelerle birlikte ötrofikasyonda artışa neden olur. Göl suyunun bulanıklığı sudaki nutrientlerin miktarı ile ilgilidir. Nutrient, bitki ve hayvan miktarı ne kadar kadar çok olursa su o derece bulanık olur. Sudaki ötrofikasyon süreci birçok nutrient tarafından hızlandırılır (Vollenweider 1970). Nutrientlerin, göllerin çevresel durumu için kesin bir rol oynamasının gerçek nedeni, besi maddesi mevcudiyeti dolayısıyla göllerin birincil üretiminin kuvvetlice sınırlanmasıdır. Besi maddesi girdisindeki artış, mevcut trofik seviyeler ve bunlar arasındaki etkileşimler üzerinde kademeli olarak göl üretkenliğinin artmasına yol açar. Böylelikle pek çok gölde, 20. yüzyıl süresince kentsel topluluklardan ve tarımdan kaynaklı azot ve fosfor girdisi, batık makrofitlerin hâkim olduğu temiz su durumundan, fitoplanktonların baskın olduğu bulanık duruma doğru bir değişimi tetiklemiştir. Özellikle fosfor, besi maddesi sınırlayıcı fonksiyonu ve fitoplankton bolluğunu belirlemesi ve besin zincirinde diğer bileşenler için temel oluşturması sebebiyle bitkiler açısından karbon katkısından ayrı olarak pek çok nutrient arasında önemli olandır (Sondergaard 2007).

Yüksek klorofil-a seviyeleri, aşırı yosunlaşma, anoksik ve hipoksik koşulların oluşması ve toksik alg patlamaları gibi belirtiler pek çok sulak alan, sığ göl ve haliç benzeri kıyı bölgelerde oluşabilmektedir. Birçok araştırmacı (Carpenter 1983; Moss *et al.* 1996; Sondergaard *et al.* 2001) ötrofik bir göldeki makrofit ve alg oranları ve kirleticiler arasındaki etkileşimi ve döngüyü araştırmıştır. Kıyı alanlarında meydana gelen nutrient zenginliği; balık ölümleri, sucul bitki ve hayvan topluluklarının kaybı ve bentik organizmaların zarar görmesi gibi olası sonuçlara neden olabilmektedir. Çizelge 2.4'te ötrofik koşulların karakterizasyonu ve yüksek değişkenliğe sahip sistemler arasında

karşılaştırma yapabilmek için seçilen su kalitesi ile ilişkili nutrient ve indikatörler gösterilmektedir (Bricker *et al.* 2003).

Tatlı sulardaki fosforun rolü algal büyüme için birincil sınırlayıcı faktör olarak uzun yıllardır tanımlanmaktadır. Demir hidroksitleri üzerine yapılan laboratuvar deneyleri göstermektedir ki; pH arttıkça, OH iyonları ile rekabeti sebebiyle demir kompleksleri üzerine adsorbe olmuş fosfor serbest kalmaktadır. Dolayısıyla, sadece fosforun varlığı bile göllerin tümüyle çevresel durumunu yansıtan en önemli faktör olarak sıklıkla düşünülmektedir (Sondergaard 2007; Zhou *et al.* 2005).

Diğer önemli besi maddesi ise azottur. Tipik olarak fosfordan daha fazla konsantrasyonlarda olur ve birincil üreticiler tarafından azot ihtiyacı fosfordan daha yüksek olmasına rağmen sıklıkla azot fazlalığı olabilmektedir. Örneğin, Danimarka Gölleri'ne toplam azot konsantrasyonu iç akışı, toplam fosfora göre ortalama (ağırlık olarak) 40 kat daha yüksek bulunmuştur (Sondergaard 2007).

**Çizelge 2.4.** Trofik Durum ile İlişkili Bazı İndikatörler (Bricker *et al.* 2003)

İndikatör Parametre	Mevcut Koşullar; eşik ve sınır değer aralıkları	Açıklama
Klorofil-a	Yüzey konsantrasyonları: Hiper-ötrofik (>60 µg/L) Yüksek (>20, ≤60 µg/L) Orta (>5, ≤20 µg/L) Düşük (>0, ≤5 µg/L) Algsel biyokütle için sınırlayıcı faktörler; N, P, Si, ışık vd.	Algsel patlamalar; birincil üretken fitoplanktonun bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek konsantrasyonlar, sualtı bitki örtüsünün yok olmasına ve dip suda oksijen seviyesinin düşmesine neden olmaktadır.
Bulanıklık	Secchi Disk Derinliği: Yüksek (<1m) Orta (≥1, ≤3m) Düşük (>3m)	Su kütlelerinde sucul bitkilerin yok olması bir ötrofikasyon koşulu olarak kabul edilse de, nutrient ve klorofil-a konsantrasyonlarındaki artışla birlikte bu bitkilerin gelişmesi yüksek bulanıklığa neden olmaktadır.
Çözünmüş Katılar	Yüksek Konsantrasyon	Biyolojik kaynaklar üzerinde önemli etki
Azot	Maksimum Çözünmüş Yüzey Suyu Konsantrasyonu; Yüksek (≥1 mg/L) Orta (≥0,1 ve <1 mg/L) Düşük (≥0 ve <0,1 mg/L)	Nutrient girdilerindeki artış, nutrient oranlarının değişimine neden olacağından fitoplankton büyüme hızında artışla birlikte su kütlelerinde alg patlaması ve benzeri bozunmalar görülebilir.
Fosfor	Maksimum Çözünmüş Yüzey Suyu Konsantrasyonu; Yüksek (≥0,1 mg/L) Orta (≥0,01 ve <0,1 mg/L) Düşük (≥0 ve <0,01 mg/L)	
Çözünmüş Oksijen	Düşük Konsantrasyon; Anoksik (0 mg/L) Hipoksik (>0, ≤2 mg/L) Biyolojik Stres (>2, ≤5 mg/L su kolunu derinliğine göre)	Dip sudaki ÇO konsantrasyonu, bentik organizmanın yaşaması için önemli olduğundan su kütlelerinin genel durumunu değerlendirmede standart bir yöntem haline gelmiştir. 2 mg/L altındaki ÇO konsantrasyonlarının bentik makro(epi)fauna da önemli derecede azalmaya yol açtığı görülmüştür.
Birincil Üretim	Baskın birincil üreticiler	Pelajik ve Bentik bölgede
Planktonik Topluluk	Baskın taksonomik grup (hücre sayısı)	Diatom, mavi-yeşil algler gibi
Bentik Topluluk	Baskın taksonomik grup (organizma sayısı)	Yumuşakça ve midyeler gibi
Sualtı Bitki Örtüsü	Yüzey Su Alanı; Yüksek (≥%50 ve ≤%100) Orta (≥%25, <%50) Düşük (≥%10, <%25) Çok Düşük (≥0, <%10)	Bitkilerin çeşitliliği ve yoğunluğunun tespiti genel bir veri olarak değerlendirilmektedir. Sucul damarlı bitkiler, 1-2 m civarındaki yakın sucul çevre için hayati bir rol oynar. Bu bitkiler, sediman ve nutrient girdilerini zayıflatırlar.

Su ve bünyesindeki materyaller, insan yapımı yeni peyzaj şartlarında (baraj gölleri ve rezervuarlar gibi) daha kısa zamanda transfer olmak yerine, uzun periyotlar boyunca alıkonurlar. Üstelik üst katman ekosistemlerinden daha fazla sediman salınır ve trofik yapıda dramatik değişikliklere yol açan diğer materyaller, bu küçük tatlı su kütlelerine

doğru deşarj edilir. Yerli olmayan organik madde ve inorganik besi maddesi girdileri, geri d6n6ř6m ve yeni 6retimden birikim yoluyla 6trofikasyonu hızlandırır (Pensa and Chambers 2004). Bir g6l6n korunması ve restorasyonu i7in yapılacak ilk iş, aşırı nutrient, organik veya silt y6k6n6 sınırlamak, başka y6ne y6nlendirmek ya da arıtmaktır. Bu yaklaşım, g6ller a7ısından 7evresel durumu geliştirmek i7in en uygun yoldur. Derin g6llerde, ortalama nutrient konsantrasyonu genel olarak dış kaynaklı nutrient y6klemesinin kesilmesini takiben azalmaktadır. K676k g6llerde olduğu gibi, b6y6k sığ g6llerde de n6trient y6klemesinin azaltılmasının ardından kuvvetlice ve hızla tepki alınabilmektedir. K676k g6ller i7in nutrient y6klemenin azaltılmasına olan diren7, fiziko-kimyasal ve biyolojik y6ntemler ile d6zenlenebilir (Xu *et al.* 2003; Jeppesen *et al.* 2007).

## 2.8. Regresyon Modelleri

Genellikle iki seriden biri belli ise diğerinin değerini tahmin edilmek, yani birbirine bağlı X ve Y serilerinden X; değerini belli iken Y değerini tahmin edilmek istenir. En k676k y6nteminden faydalanılarak elde edilen doğruya veya eğriye X ve Y'nin regresyon doğrusu veya regresyon eğrisi denir. Y değerleri bu regresyon eğrisi veya doğrusu ile tahmin edilir (Dilek vd 2010). Genel olarak regresyon modelleri lineer ve lineer olmayan modeller olarak ikiye ayrılmaktadır. Aşağıda regresyon modelleri ile ilgili matematiksel ifadelere yer verilmektedir.

### 2.8.1. Basit doğrusal regresyon modeli

Doğrusal regresyon modelleri de kendi i7inde basit doğrusal regresyon modeli ve 7oklu doğrusal regresyon modeli olarak ikiye ayrılmaktadır.

Basit lineer regresyon modeli kısaca;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon_1 \quad (2.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada  $y$  bağımlı değişken,  $x$  ise bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır.  $\varepsilon$  ise tesadüfi olarak belirlenen hata terimidir. Bu kapsamda hata terimi gerçek anlamda hata olarak değil tesadüfi dalgalanmaları, hatalı ölçümleri veya kontrolümüz dışındaki faktörlerin etkilerini temsil etmektedir.  $\beta_0$  koordinat düzleminde regresyon doğrusunun  $y$  eksenini kestiği nokta,  $\beta_1$  ise regresyon doğrusunun eğimini göstermektedir.  $n$  gözlem sayısıyla basit lineer regresyon denklemi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir (Rencher and Schaalje 2008):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (2.7)$$

### 2.8.2. Çoklu doğrusal regresyon modeli

Regresyon çözümlemesinde birden fazla bağımsız değişkenin olduğu modellere çoklu regresyon çözümlemesi denilmektedir.  $k$  sayıda bağımsız değişkenin olduğu doğrusal regresyon modeli;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.8)$$

biçimde ifade edilebilir. Bu modeldeki  $Y, X_1, X_2, \dots, X_k$  gözlenebilen değerler,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  bilinmeyen parametrelerdir (Ünver and Gamgam 1999).

Çoklu doğrusal regresyonda, bağımlı değişkeni etkileyen birden çok bağımsız değişken söz konusudur. Çoklu doğrusal regresyonda araştırmacıların

1. Bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen değişkenler yardımıyla bağımlı değişken değerini kestirmek,
2. Bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmak ve aralarındaki karmaşık yapıyı tanımlamak

gibi iki genel amacı vardır. Burada amaç, bu iki amaçtan herhangi birine ya da her ikisine ulaşmak olabilir (Alpar 2003).

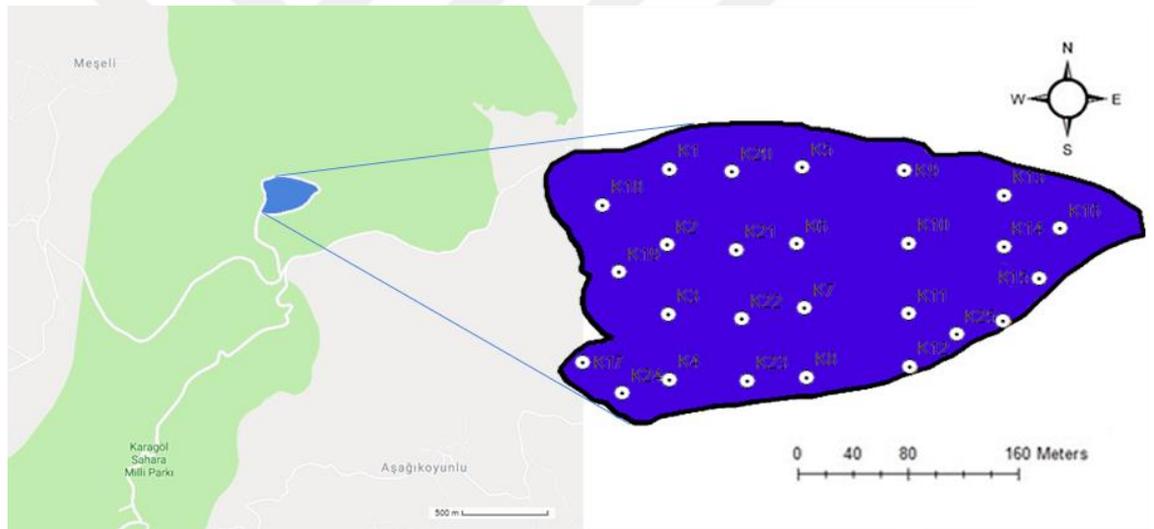


### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Çalışma alanı

Bu araştırmanın çalışma alanı olarak belirlenen Karagöl gölü, Artvin ili Şavşat ilçesi sınırları içinde bulunan ( $41^{\circ} 18' 0''$  N,  $42^{\circ} 29' 0''$  E) Sahara milli parkı içerisinde. Karagöl'ün alanı yaklaşık olarak 5 hektar olup çalışma alanı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karagöl'ün konumu

##### 3.1.2. Veri toplama

###### 3.1.2.a. Uydu görüntüsü verilerinin toplanması

Göktürk-2 uydusu 18 Aralık 2012 tarihinde fırlatılmıştır. 409 kg ağırlığındaki uydu 2.5 m siyah beyaz, 5 m renkli çözünürlüğe sahiptir. Tekrar ziyaret zamanı ortalama 2.5 gündür. Göktürk-2 uydusunun 5 spektral bandı vardır. Bunlar mavi ( $0.422-0.512 \mu\text{m}$ ),

yeşil (0.5-0.584  $\mu\text{m}$ ), kırmızı (0.596-0.750  $\mu\text{m}$ ), yakın kızılötesi (0.762-0.894  $\mu\text{m}$ ) ve orta kızılötesi (0.8-1.7  $\mu\text{m}$ ) bantlardır (Atak vd 2015).

18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerindeki uydu görüntüleri, Göktürk-2 uydusunun işletmesini yapan Türk Hava Kuvvetleri Keşif ve Uydu Komutanlığı tarafından sağlandı. Görüntülere atmosferik ve radyometrik düzeltme işlemleri de yine aynı birim tarafından yapıldı.

### 3.1.2.b. Arazi verilerinin toplanması

Bu araştırmanın çalışma alanı olarak belirlenen Karagöl'den iki farklı tarihte numune alınması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde; 18 Ağustos 2017 tarihinde ve 11 Temmuz 2018 tarihinde 26 farklı noktadan numune alınmıştır. Böylece çalışmada kullanılacak veriler toplam 52 noktadan elde edilmiştir. Bulanıklık analizi için numuneler portatif turbidimetre ile arazide ölçülmüş, klorofil-a analizi için ise numuneler aynı gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Çizelge 3.1'de Karagöl'den alınan su numunelerinin koordinatları gösterilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Karagöl'den alınan su numunelerinin koordinatları

İstasyon	Koordinatlar	
	Enlem	Boylam
1	41 18 31.1623 N	42 28 58.6835 E
2	41 18 28.6527 N	42 28 59.7407 E
3	41 18 28.0851 N	42 28 59.7276 E
4	41 18 26.8015 N	42 28 59.3876 E
5	41 18 31.2460 N	42 29 2.1934 E
6	41 18 29.6001 N	42 29 2.5153 E
7	41 18 28.1087 N	42 29 1.0362 E
8	41 18 26.8652 N	42 29 1.9501 E
9	41 18 31.5507 N	42 29 3.6074 E
10	41 18 29.5607 N	42 29 5.2201 E
11	41 18 28.1656 N	42 29 4.4874 E
12	41 18 27.1905 N	42 29 4.0327 E
13	41 18 30.2678 N	42 29 6.3503 E
14	41 18 29.0866 N	42 29 6.0179 E

**Çizelge 3.1.** (devam)

15	41 18 27.8035 N	42 29 5.6733 E
16	41 18 29.9038 N	42 29 7.3993 E
17	41 18 27.2605 N	42 28 57.8358 E
18	41 18 30.4878 N	42 28 58.1986 E
19	41 18 28.5340 N	42 28 58.9280 E
20	41 18 30.7174 N	42 29 0.2669 E
21	41 18 28.3750 N	42 29 0.8895 E
22	41 18 27.6898 N	42 29 0.0094 E
23	41 18 26.9226 N	42 29 0.2836 E
24	41 18 26.4870 N	42 28 58.4886 E
25	41 18 27.3214 N	42 29 5.3031 E
26	41 18 28.0311 N	42 29 6.4416 E

### 3.2. Yöntem

Araştırmada Karagöl'den iki farklı tarihte numune alınması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde; ilki 18 Ağustos 2017 ve ikincisi 11 Temmuz 2018 tarihlerinde 26 farklı noktadan, toplamda 52 adet numune alınmış ve aynı tarihlerde çalışma alanının GÖKTÜRK-2 uydusu tarafından çekilen uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada gölden alınan su numunelerine bulanıklık analizi ve klorofil-a analizi yapılmıştır. Uydu görüntüleri ve laboratuvar sonuçları arasında da ilişki kurabilmek için regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen uydu görüntülerine de görüntü işleme yöntemleri uygulanmıştır.

#### 3.2.1. Bulanıklık

Bulanıklık ölçümü ile ilgili son standart metot, bulanıklığı, nefelometri tekniğine göre ölçen cihazların kullanıldığı metottur. Cihazda bir ışık kaynağı numuneyi aydınlatır ve bir veya daha fazla fotoelektrik dedektörleri yardımıyla, dik açılarla yansıtılan ışığın yoğunluğu ölçülerek bulanıklık tayini yapılır. Alışıl gelmiş standart çözelti partiküler formazin polimer çözeltisidir ve bu stok çözelti aylık olarak hazırlanmalıdır. Ticari olarak piyasada satılan stiren divinil benzen de bu amaçla kullanılabilir. Formazin standardı kullanıldığında 40 NTU yaklaşık 40 Jackson kandil bulanıklık birimine (JTU) eşdeğerdir.

Kalibrasyon için kullanılan standardın bulanıklığının oldukça düşük olması sağlanırsa 0.02 NTU değerine kadar bulanıklık değerleri bu yöntemle tespit edilebilir. Bulanıklık değeri 40 NTU'dan büyük numuneler destile su ile seyreltilerek, bulanıklık değeri 30-40 NTU aralığına düşürülür. Bunun sonucunda bulanıklık, ölçülen değerın seyrelti faktörü ile çarpılması ile belirlenir. Böylece tek bir alet çok geniş bir bulanıklık aralığını tespit etmekte kullanılabilir. Ayrıca, proses kontrolü için bulanıklık ölçerler, sürekli ölçüm yapabilecek şekilde otomatik olarak ayarlanabilir (Sawyer *et al.* 2013).

### 3.2.2. Klorofil-a

1 litre (veya istenilen hacimde) örnek su alınır. Su örneği Whatman GF/C cam elyaf filtre kâğıdından Nuçe erleni ve su trompu ile kurulan vakum sistemi ile süzülür. Plankton içeren filtre kâğıtları petri kutularına konarak karanlıkta oda sıcaklığında 3-4 saat kurutulur. Kuruyan filtre kâğıtları makasla çok küçük parçalar halinde kesilerek, içinde %90'lık aseton bulunan kaplara konur. Plankton yapısındaki klorofilin bozulmaması için ortama 0.3 gr susuz MgCO<sub>3</sub> ilave edilir. Erlenler 24 saat 3-4°C'de karanlıkta bekletilir. Ekstraksiyon süresi sonunda ekstrat Whatman GF/C filtre kâğıdından süzülerek katı kısım ortamdaki uzaklaştırılır. Süzülen örnek spektrofotometrede 750, 664, 647 ve 630 nm dalga boylarında optik yoğunlukları (absorbsiyonları) okunur. 664, 647 ve 630 nm'de okunan optik yoğunluklar (OD) sırası ile klorofil-a, b ve c- yi belirlemek için kullanılır. 750 nm'de okunan optik yoğunluk bulanıklık için doğrulanmalıdır. Bu okuma her bir pigmentin diğer dalga boylarındaki optik yoğunluk değerlerinden çıkartılır. Buradan elde edilen değerler, aşağıdaki eşitliklerde kullanılır (Lenore *et al.* 1999).

- ❖  $C_a = 11,85(OD_{664}) - 1,54(OD_{647}) - 0,08(OD_{630})$
- ❖  $C_b = 21,03(OD_{647}) - 5,43(OD_{664}) - 2,66(OD_{630})$
- ❖  $C_c = 24,52(OD_{630}) - 7,60(OD_{647}) - 1,67(OD_{664})$

$$\text{Klorofil-a (mg/m}^3\text{)} = \frac{C_a \times \text{ekstraksiyon hacmi,L}}{\text{örnek hacmi,m}^3}$$

### 3.2.3. Görüntü işleme

Görüntüler ERDAS Imagine 2016 ile UTM koordinat sistemine göre referanslandırıldılar (WGS84, zone 38). Geometrik düzeltme işlemi 15 adet yer kontrol noktasına göre yapıldı ve RMS hataları 1 pikselden daha az olarak elde edildi.

Su ampirik model yaklaşımı olarak bilinen, reflektans değerlerine dayanan model ile konsantrasyon belirlenebilmektedir (Hasmedi and Norsaliza 2010). Piksel değerlerine dayanan istatistiksel model; bulanıklık değeri ve bant oranı kombinasyonları arasında çoklu doğrusal regresyon kullanılarak geliştirilmiştir. Uydu görüntülerindeki ilgilenilen alanın (AOI) çıkarılması için ERDAS Imagine yazılımı, 2016 sürümü kullanıldı. AOI'ler, yer verilerinden ölçülen verilerle ilişki geliştirmek için Göktürk-2'den elde edilen ham görüntüdeki piksel değerlerinin bulunduğu yerlerdir.

Işınım değerine sahip olan geometrik olarak düzeltilmiş görüntülerde, farklı oranlardaki ışınım değerlerinin etkisini azaltmak için bant oranlaması kullanılmıştır. Oranlama, aynı biyofiziksel olguya ait iki farklı yansıma değerleri arasında bir ilişki olduğunda yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek için etkilidir (Somvanshi *et al.* 2012). Su kütlelerinin incelenmesi için en yararlı bantlar kırmızı, yeşil ve yakın kızılötesidir (Somvanshi *et al.* 2012). Bu oranlar Erdas Imagine yazılımı 2016 sürümünün modülü kullanılarak yapılmıştır.

### 3.2.4. İstatistiksel analiz

İstatistiksel analizler bulanıklık ve klorofil-a değerleri için IBM SPSS Statistics 20 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bulanıklık değeri (bağımlı değişkenler) ve Göktürk-2 uydu görüntüsünün kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bantların oranlarından elde edilen değerler (bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi araştırmak için çoklu doğrusal regresyon kullanılmıştır. Klorofil-a değeri (bağımlı değişkenler) ve Göktürk-2 uydu görüntüsünün kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bantların oranlarından elde edilen değerler (bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi araştırmak için çoklu doğrusal

regresyon kullanılmıştır. Ayrıca analizler sırasında yüzde 95 güven seviyesi dikkate alınmıştır.

### **3.2.5. Bulanık mantık**

Çalışmanın bu aşamasında, bulanıklık ve klorofil-a değerinin tahmin edilmesi için piksel değerlerinin bulanık mantık tekniği ile modellenmesine yönelik bulgulara yer verilmiştir. Bulanık mantık tekniği ile tahminleme için MATLAB R2013b yazılımının bulanık mantık toolbox'ı kullanılmıştır.

Modelleme yapılırken üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde sugeno yöntemi kullanılmıştır. İlk yılki veriler düşük ikinci yılki veriler ise daha yüksek değerdediler. Bu yöntemle göre ilk yılki veriler ve ikinci yılki veriler kendi içlerinde gruplandırıldı. Böylece düşük ve yüksek konsantrasyonlar için iki farklı doğru ve denklemi elde edildi. Bu sebeple düşük ve yüksek konsantrasyonların belirlenmesine yönelik tahmin gücü yüksek bir modelleme yapılabildi. Modellemede kural tablosu oluşturulurken bulanıklık verisi için yazılıma girdi olarak istatistiksel yöntemde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan değerler olan kırmızı-mavi ve kırmızı-yeşil bant değerleri, klorofil-a verisi için ise yazılıma girdi olarak istatistiksel yöntemde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan değerler kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranları kullanılmıştır. Böylece bu iki değer üzerinden bulanık mantık tekniği ile modelleme yapılmış ve bulanıklık ve klorofil-a değerlerinin tahmin edilme yoluna gidilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

##### 4.1. Klorofil-a Değerlerine Yönelik Bulgular

Çizelge 4.1’de Karagöl’den 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde alınan su numunelerinin klorofil-a değerleri verilmektedir. 18 Ağustos 2017 tarihinde alınan su numunelerin klorofil-a değerlerinin 0,75 µg/L ile 1,98 µg/L arasında olduğu, 11 Temmuz 2018 tarihinde alınan su numunelerinin klorofil-a değerlerinin 4,71 µg/L ile 15,30 µg/L arasında olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.1.** 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde Karagöl’den alınan su numunelerinin klorofil-a değerleri

İstasyon	18 Ağustos 2017	11 Temmuz 2018
	µg/L	µg/L
1	1,26	11,60
2	0,84	15,15
3	1,20	9,39
4	0,98	14,54
5	1,04	7,47
6	0,40	8,48
7	1,48	15,04
8	1,24	9,69
9	1,98	14,68
10	1,47	10,19
11	1,47	-*
12	1,63	12,16
13	1,75	-*
14	1,47	-*
15	0,80	8,78
16	0,69	11,45
17	0,96	10,29
18	0,67	5,73
19	1,22	8,37
20	-*	4,71
21	-*	8,40

**Çizelge 4.1.** (devam)

22	-*	15,30
23	-*	5,88
24	-*	14,68
25	-*	7,77

\* Klorofil-a değeri okunamadığından hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

#### 4.2. Bulanıklık Değerlerine Yönelik Bulgular

Çizelge 4.2’de Karagöl’den 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde alınan su numunelerinin bulanıklık değerleri verilmektedir. 18 Ağustos 2017 tarihinde alınan su numunelerinin bulanıklık değerlerinin 0.78 NTU ile 1 NTU arasında olduğu, 11 Temmuz 2018 tarihinde alınan su numunelerinin bulanıklık değerlerinin 1.05 NTU ile 1.41 NTU arasında olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.2.** 18 Ağustos 2017 ve 11 Temmuz 2018 tarihlerinde Karagöl’den alınan su numunelerinin bulanıklık değerleri

İstasyon	18 Ağustos 2017	11 Temmuz 2018
	NTU	NTU
1	0.87	1.17
2	0.78	1.32
3	0.97	1.25
4	0.93	1.18
5	0.89	1.29
6	0.97	1.27
7	0.88	-*
8	0.97	1.15
9	0.85	1.10
10	0.82	1.09
11	0.99	-*
12	0.95	1.09
13	0.84	1.05
14	0.92	-*
15	0.94	1.12
16	0.93	1.22
17	0.89	1.23

**Çizelge 4.2.** (devam)

18	1.00	1.41
19	0.88	1.16
20	0.83	_*
21	0.82	_*
22	0.95	_*
23	0.96	_*
24	0.85	_*
25	0.87	_*
26	0.8	_*

\*Bulanıklık değeri okunamadığından hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

### 4.3. Alan Verilerinin İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada alan verilerinin istatistiksel analizi IBM SPSS Stasistics 20 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel analizde, verilerin minimum, maksimum, ortalama, standart sapma değerleri ve korelasyon (r) katsayısı belirlenmiştir. Çizelge 4.3'te alan çalışmasına ait verilerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Alan değişkenlerinin istatistiksel değerleri

Veriler	n	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Sıcaklık (°C)	45	23	29.5	25.9	1.78
Bulanıklık (NTU)	42	0.78	1.41	1.01	0.16
pH	45	7.2	8.6	8.3	1.78
Klorofil-a (µg/L)	37	0.4	15.3	6.69	5.27
Kızılötesi Bant	45	307	797	591.89	214.97
Kırmızı Bant	45	276	591	388	119.50
Yeşil Bant	45	148	265	187.98	37.81
Mavi Bant	45	124	201	146.24	21.86

Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için pearson korelasyon testi uygulanmıştır. Çizelge 4.4'te değişkenlerin pearson korelasyon (r) katsayısı değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Alan değişkenlerinin birbiriyle gösterdikleri korelasyon katsayıları

Veriler	Sıcaklık (°C)	Bulanıklık (NTU)	Klorofil-a (µg/L)	pH	Kızılötesi Bant	Kırmızı Bant	Yeşil Bant	Mavi Bant
Sıcaklık (°C)	1	-0.609	0.346	0.105	0.459	-0.457	-0.438	-0.410
Bulanıklık (NTU)	-0.609	1	-0.606	-0.25	-0.645	0.620	0.584	0.524
Klorofil-a (µg/L)	0.346	-0.606	1	0.218	0.874	-0.868	-0.852	-0.764
pH	0.105	-0.025	0.218	1	0.203*	-0.265*	-0.294*	-0.349
Kızılötesi Bant	0.459	0.645	0.874	0.203*	1	-0.984	-0.967	0.898
Kırmızı Bant	-0.457	0.620	-0.868	0.265*	-0.984	1	0.995	0.957
Yeşil Bant	0.438	0.584	-0.852	0.294*	0.967	0.995	1	0.975
Mavi Bant	-0.410	0.524	-0.764	-0.349	-0.898	0.957	0.975	1

\*p&gt;0.05

Çizelge 4.4'e göre, klorofil-a değeri ile kızılötesi, kırmızı, yeşil ve mavi bantlar arasında pozitif yönde çok kuvvetli düzeyde bir ilişki bulunmaktadır. Bulanıklık değeri ile kızılötesi bant arasında negatif yönde kuvvetli düzeyde bir ilişki, kırmızı, yeşil ve mavi bantlar arasında ise pozitif yönde kuvvetli düzeyde bir ilişki saptanmıştır (p<0.05). Ek olarak sıcaklık ile kızılötesi, kırmızı, yeşil ve mavi bantlar arasında pozitif yönde kuvvetli düzeyde bir ilişki bulunmaktadır. Ancak pH ile kızılötesi, kırmızı, yeşil bantlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamış (p>0.05), mavi bant ile negatif yönlü zayıf düzeyde bir ilişki saptanmıştır.

#### 4.4. Klorofil-a ve Bant Kombinasyon Değerlerinin İstatistiksel Analizi

Çalışmanın amacı doğrultusunda klorofil-a ve bant kombinasyon değerleri arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve bu analizin sonucunda klorofil-a verisi ile kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant değerlerinin çoklu doğrusal regresyonunun en yüksek orana sahip olduğu anlaşılmış ve sonucu Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** Klorofil-a değeri ile kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bantların çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu

	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>
(Sabit)	10.495	2.298		4.566	0.000		
Kızılötesi/Kırmızı	32.106	4.926	6.140	6.518	0.000	0.881	0.873
Kızılötesi/Mavi	-14.737	2.633	-5.273	-5.597	0.000		

Çizelge 4.5'te klorofil-a değeri ile kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bantların düzeltilmiş çoklu doğrusal regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) 0.88'dir. Yani kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bantların kombinasyonunun klorofil-a'nın uzaktan algılama yöntemiyle tespitinde kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Klorofil-a'nın tespit edilmesinde bu bant kombinasyonu %88 açıklayıcıdır.

#### 4.5. Bulanıklık ve Bant Kombinasyon Değerlerinin İstatistiksel Analizi

Çalışmanın bu bölümünde bulanıklık ve bant kombinasyon değerleri arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve bu analizin sonucunda bulanıklık değeri ile kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant değerlerinin çoklu doğrusal regresyonunun en yüksek orana sahip olduğu anlaşılmış ve sonucu Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.6.** Bulanıklık değeri ile kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bantların çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu

	B	Std. Hata	Beta	t	Sig.	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>
(Sabit)	0.657	0.030		21.562	0.000		
Kırmızı-Mavi	-0.002	0.002	-1.257	-0.844	0.404	0.804	0.793
Kırmızı-Yeşil	0.004	0.003	2.150	1.443	0.157		

Çizelge 4.6'da bulanıklık değeri ile kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bantların düzeltilmiş çoklu doğrusal regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) 0.79'dir. Yani kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bantların kombinasyonunun bulanıklığın uzaktan algılama yöntemiyle tespitinde

kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bulanıklığın tespit edilmesinde bu bant kombinasyonu %79 açıklayıcıdır.

#### **4.6. Klorofil–a Modellemesi**

Klorofil-a değerinin modellenmesinde çoklu doğrusal regresyon analizi ve bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucu geliştirilen model, bulanık mantık tekniği ile geliştirilen modele göre daha geleneksel bir yaklaşımdır. Ancak regresyon analizi sonucunda geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlar, bulanık mantık tekniğiyle oluşturulan modellerin sonuçlarının kıyaslanması için bir temel oluşturmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizi IBM SPSS Statistic 20 kullanılarak incelenmiştir.

Işınım değerine sahip olan geometrik olarak düzeltilmiş görüntülerde, farklı oranlardaki ışınım değerlerinin etkisini azaltmak için bant oranlaması kullanılmıştır. Oranlama, aynı biyofiziksel olguya ait iki farklı yansıma değerleri arasında bir ilişki olduğunda yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek için etkilidir (Somvanshi *et al.* 2012). Su kütlelerinin incelenmesi için en yararlı bantlar kırmızı, yeşil ve yakın kızılötesidir (Somvanshi *et al.* 2012)

##### **4.6.1. Regresyon analizi ile klorofil–a modellemesi**

Çalışmanın bu aşamasında uzaktan algılanan veriler ile klorofil-a'nın tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla çeşitli bant kombinasyonlarının klorofil-a ile çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki denklemler elde edilmiş ve elde edilen bu denklemlerden klorofil-a tahmin edilmiştir. Sonrasında bu tahmini değerler ile laboratuvarında elde edilen klorofil-a değerleri arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve ölçülen klorofil-a miktarına karşılık tahmin edilen klorofil-a'nın grafikleri çizilmiştir. Klorofil-a modellemesi geliştirilirken; mavi, yeşil, kırmızı ve kızılötesi olmak üzere dört adet bant kullanılmıştır. Bu dört bandın, literatür doğrultusundaki kombinasyonlarından farklı denklemlere ulaşılmıştır. Bu denklemlere ulaşmada

kullanılan bant kombinasyonları; kızılötesi/kırmızı, kızılötesi/mavi, kızılötesi/yeşil, kırmızı/yeşil ve yeşil/mavi bant oranları ve kızılötesi–kırmızı ve kızılötesi–mavi bant değerleridir. Analiz sonucunda elde edilen denklemlerden en yüksek regresyon katsayısına ( $R^2$ ) sahip olan beş tanesi aşağıda yer alan Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.7.** Klorofil-a değeri ile çeşitli bant kombinasyonlarının çoklu doğrusal regresyon katsayıları

	Düzeltilmiş $R^2$
1 Kızılötesi/Kırmızı ve Kızılötesi/Mavi	0.88
2 Kızılötesi-Kırmızı ve Kızılötesi-Mavi	0.77
3 Yeşil/Mavi ve Kırmızı/Yeşil	0.80
4 Kızılötesi/Yeşil ve Kızılötesi/Mavi	0.84
5 Kızılötesi/Yeşil ve Kızılötesi/Kırmızı	0.76

Yukarıda sunulan Çizelge 4.7 incelendiğinde, en yüksek regresyonun kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant kombinasyonundan elde edildiği görülmektedir.

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = 10.616 + (34.104 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Kırmızı}})) - (15.668 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Mavi}})) \quad \text{Denklem 1}$$

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = 31.496 + (0.076 * (\text{Kızılötesi-Kırmızı})) - (0.091 * (\text{Kızılötesi-Mavi})) \quad \text{Denklem 2}$$

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = 65.370 - (34.073 * (\frac{\text{Yeşil}}{\text{Mavi}})) - (7.813 * (\frac{\text{Kırmızı}}{\text{Yeşil}})) \quad \text{Denklem 3}$$

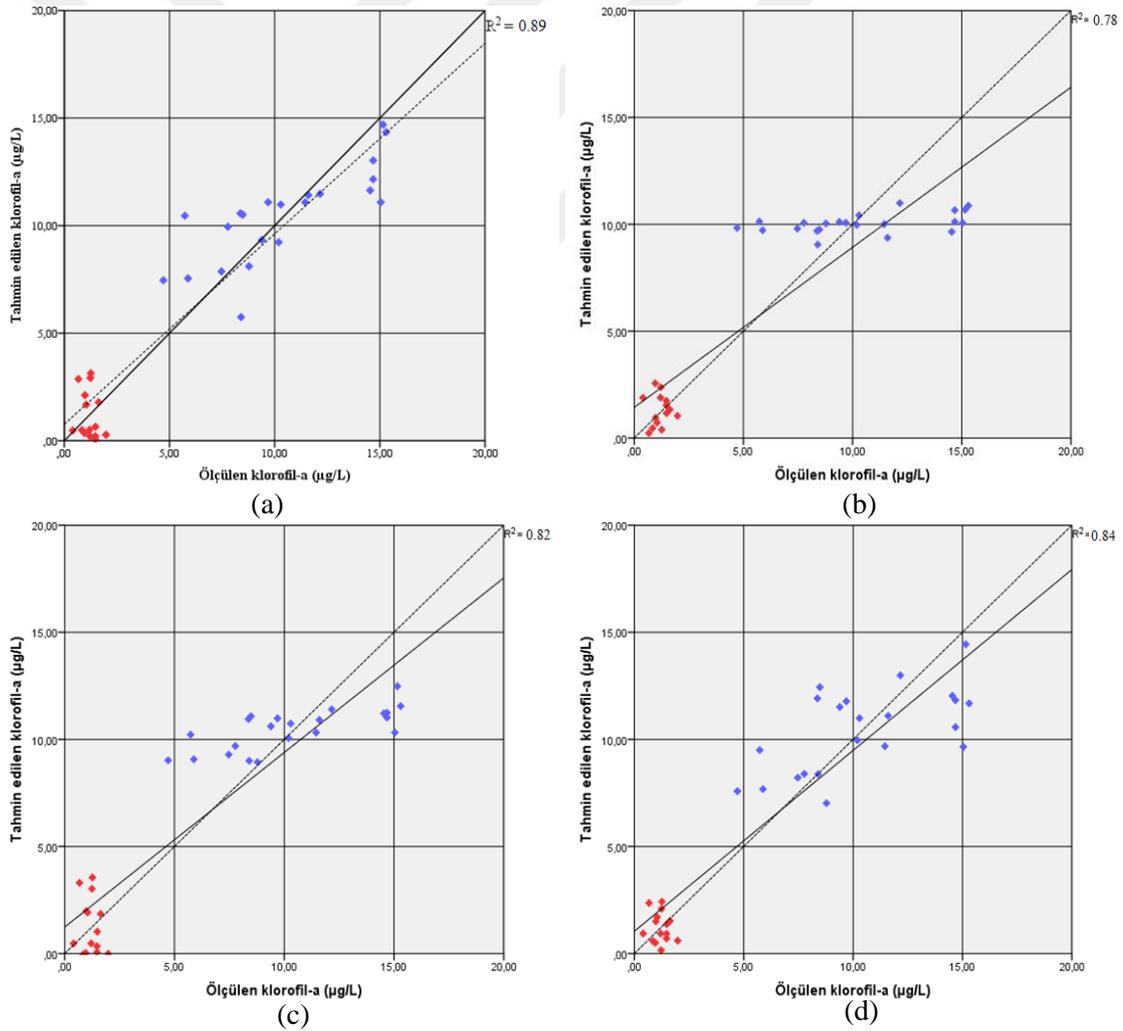
$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = 1.974 + (17.213 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Yeşil}})) - (12.995 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Mavi}})) \quad \text{Denklem 4}$$

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = 0.864 - (7 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Yeşil}})) + (16.389 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Kırmızı}})) \quad \text{Denklem 5}$$

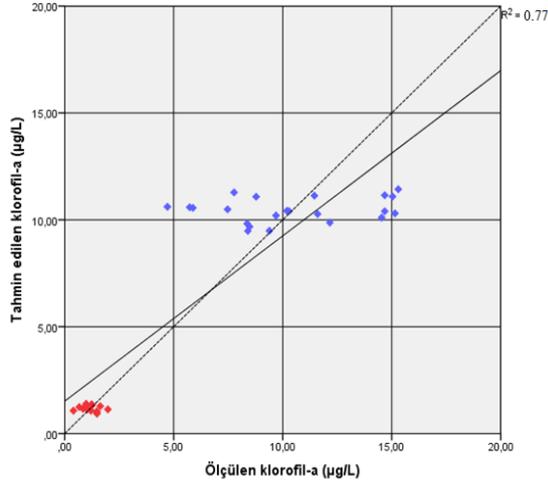
Şekil 4.1’de, klorofil-a değeri için çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilen modellerden (Denklem 1 – 5) türetilen grafikler sırasıyla verilmiştir. Buna göre; Şekil

4.1 (a)'da Denklem 1, (b)'de Denklem 2, (c)'de Denklem 3, (d) Denklem 4 ve (e)'de Denklem 5 ile verilen modellerin sonuçları yer almaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen bu modeller; klorofil-a miktarını tahmin etmede sırasıyla %89, %78, %82, %84 ve %77 oranında açıklayıcı olabilmışlerdir.

Sonuçlardan görüleceği üzere; en yüksek tahmin değeri %89 ile kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant kombinasyonundan elde edilmiştir. Kızılötesi/yeşil ve kızılötesi/kırmızı bant kombinasyonu %77 ile en düşük tahmin performansını göstermiştir.



**Şekil 4.1.** Denklem 1 – 5'e göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen klorofil-a değerleri (kırmızı noktalar 2017, mavi noktalar 2018 yılına ait veriler) (devam)



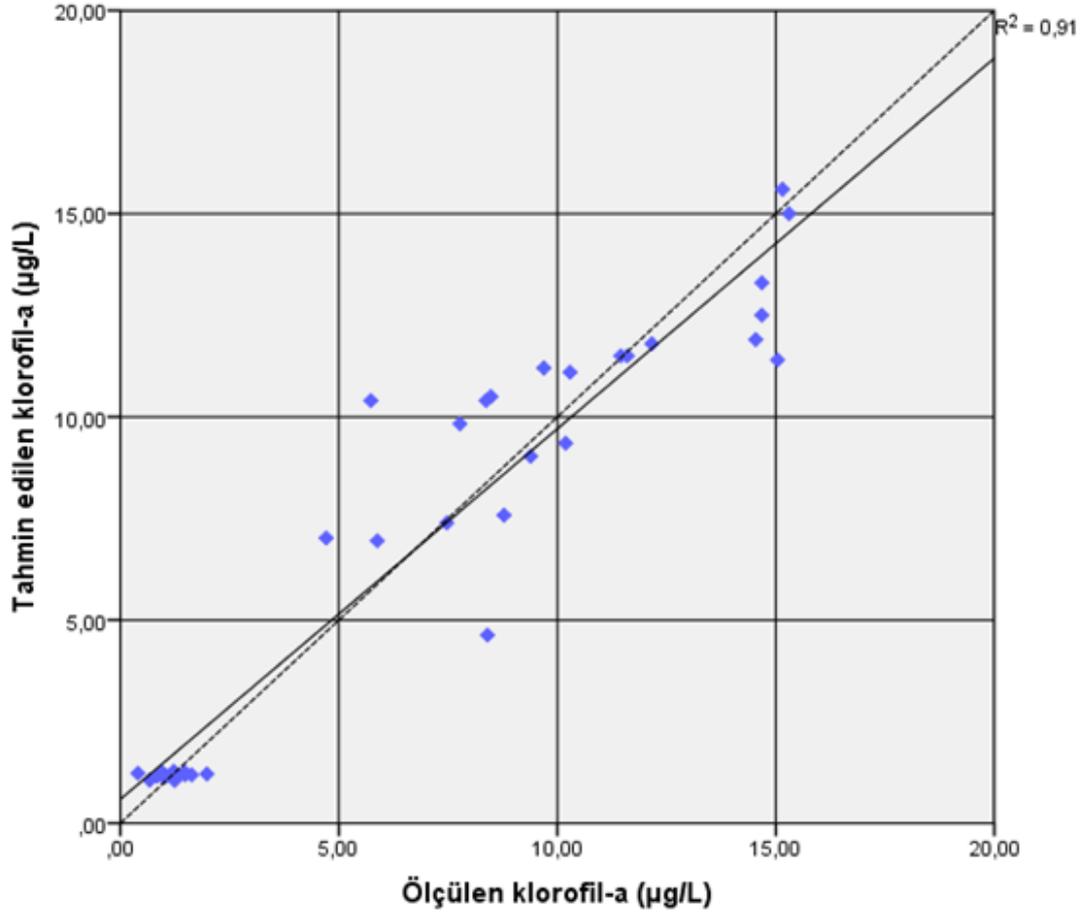
(e)

**Şekil 4.1.** Denklem 1 – 5'e göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen klorofil-a değerleri (kırmızı noktalar 2017, mavi noktalar 2018 yılına ait veriler)

#### 4.6.2. Bulanık mantık tekniği ile klorofil-a modellemesi

Çalışmanın bu aşamasında, klorofil-a değerinin tahmin edilmesi için piksel değerlerinin bulanık mantık tekniği ile modellenmesine yönelik bulgulara yer verilmiştir. Öncelikle bulanık mantık tekniği ile oluşturulacak modellemede, regresyon ile klorofil-a modellemesinde yapıldığı gibi çeşitli bant kombinasyonları test edilmiş ve tahminlemenin, gerçeğe en yakın sonuçlarının kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranlarıyla elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle bulanık mantık tekniği ile modelleme yapılırken yazılımda girdi olarak kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranları kullanılmıştır. Modelleme yapılırken üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde sugeno yöntemi kullanılmıştır. Modellemede kural tablosu oluşturulurken kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranlarından dikkate alınarak oluşturulmuştur. Böylece bu iki değer üzerinden bulanık mantık tekniği ile modelleme yapılmış ve klorofil-a konsantrasyonunun tahmin edilme yoluna gidilmiştir.

Ölçülen klorofil-a değerleri ile bu değerlerin bulanık mantığa göre tahmin edilmiş değerleri arasında regresyon analizi yapılmış ve bu analizin grafiği aşağıda yer alan Şekil 4.2'de sunulmuştur.

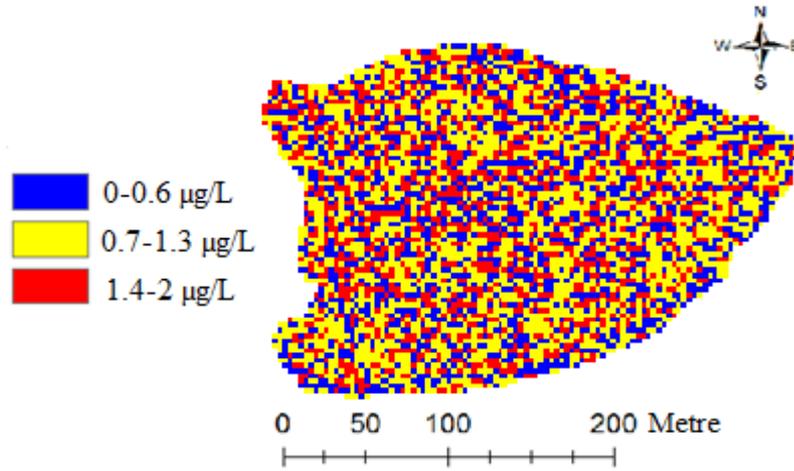


**Şekil 4.2.** Bulanık mantığa göre ölçülene karşılık tahmin edilen klorofil–a değeri

Şekil 4.2 incelendiğinde, bulanık mantık tekniği ile geliştirilen model klorofil–a miktarını tahmin etmede %91 açıklayıcıdır. Bu oran çok kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle bulanık mantık tekniği ile klorofil–a konsantrasyonunun tahmin edilme oranının çok başarılı olduğu söylenebilir.

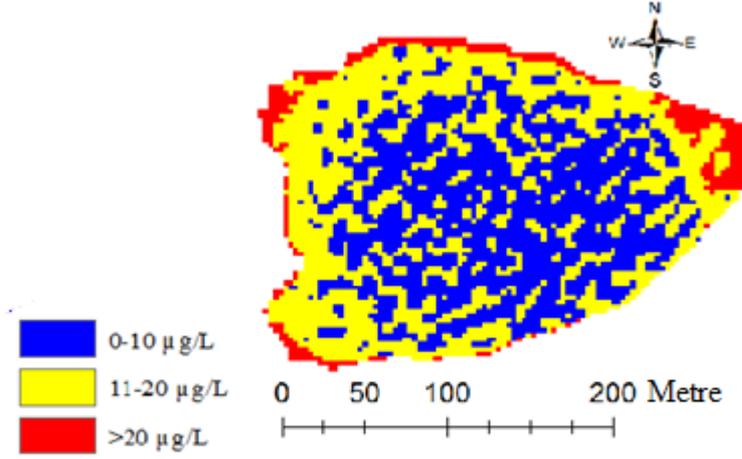
#### 4.6.3. Klorofil-a verisinin haritalanması

Genel olarak, klorofil-a değeri sudaki C, N ve P değerleri ve hava sıcaklığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Watanabe *et al.* 2015). Şekil 4.3, Karagöl'ün 18 Ağustos 2017 tarihli ve Şekil 4.4, Karagöl'ün 11 Temmuz 2018 tarihli tematik bir klorofil-a derecesi haritasını göstermektedir. Bu haritaların hazırlanmasında kızılötesi, kırmızı ve mavi bantların piksel değerlerinin oranları kullanılmıştır. Klorofil-a haritaları oluşturulurken bant oranları kullanılmasının nedeni; topoğrafik düzensizlikten kaynaklanan ve değişik aydınlanmaya neden olan gölge faktörünün etkisinin azaltılabilmesi ve aynı biyofiziksel olguya ait iki farklı yansıma değerleri arasında bir ilişki olduğunda yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek içindir. Bu oranlar doğrultusunda gölün 2017 yılına ait klorofil-a değerleri için hazırlanan haritasında; gölün klorofil-a seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. Bu haritada klorofil-a seviyesinin birinci sınıfı (0-0.6  $\mu\text{g/L}$ ) mavi renkli, ikinci sınıfı (0.7-1.3  $\mu\text{g/L}$ ) sarı renkli ve üçüncü sınıfı (1.4-2  $\mu\text{g/L}$ ) kırmızı renkli olarak gösterilmiştir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3.** Karagöl'ün 18 ağustos 2017 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası

Şekil 4.4 de ise gölün 2018 yılına ait klorofil-a değerleri için hazırlanan haritasında; gölün klorofil-a seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. (>20  $\mu\text{g/L}$ ) kırmızı olarak, ikinci sınıf (11 - 20  $\mu\text{g/L}$ ) sarı olarak ve üçüncü sınıf (0 - 10  $\mu\text{g/L}$ ) mavi olarak gösterilmiştir.



**Şekil 4.4.** Karagöl'ün 11 Temmuz 2018 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası

#### 4.6.4. Tartışma

Çalışmada, klorofil-a konsantrasyonunun belirlenmesi için çoklu doğrusal regresyon analizi ile model geliştirilmesi aşamasında; GÖKTÜRK-2 uydusundan alınan görüntülerin bantlarıyla Karagöl gölünden alınan su numunelerindeki klorofil-a konsantrasyonu arasında ilişki olduğu saptanmıştır. Aradaki ilişkiyi belirlemek için, alınan uydu görüntülerindeki bantların kombinasyonu ile klorofil-a konsantrasyonu arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Literatürde klorofil-a konsantrasyonunun uydu görüntüsü ile tahminlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda kırmızı, yeşil ve kızılötesi bantlar (Somvanshi *et al.* 2012) ve buna ek olarak kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/yeşil bant kombinasyonları kullanılmıştır (Hasmedi and Norsaliza 2010; Somvanshi *et al.* 2012). Uydu görüntüsü bantları ve klorofil-a konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemek için istatistiksel analizler yapılmıştır (Coskun vd 2008; Coşkun ve Alganci 2010). Bu aşamada çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen modeller içerisinde kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant kombinasyonlarını içeren modelin %89 ile klorofil-a düzeyini tahmin edebildiği saptanmıştır.

Bulanık mantık tekniği ile klorofil-a konsantrasyonunun belirlenmesi aşamasında ise, bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellen regresyon analizi sonucunda oluşturulan modelden daha yüksek bir oranda tahminleme yaptığı saptanmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda gerçeğe en yakın sonuçların kıızıltesi/kırmızı ve kıızıltesi/mavi bant oranları kullanılarak elde edilen model olduğu belirlendiği için bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellemede yazılımda girdi olarak kıızıltesi/kırmızı ve kıızıltesi/mavi bant oranları kullanılmıştır. Bulanık mantık tekniği ile geliştirilen model klorofil–a miktarını tahmin etmede %91 açıklayıcıdır. Bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modelde klorofil–a konsantrasyonunun tahmin edilme oranının başarılı olduğu düşünülebilir.

#### **4.7. Bulanıklık Modellemesi**

Bulanıklık değerinin modellenmesinde çoklu doğrusal regresyon analizi ve bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen model, bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modele göre daha geleneksel bir yaklaşımdır. Ancak regresyon analizi sonucunda geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlar, bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellerin sonuçlarının kıyaslanması için bir temel oluşturmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizleri IBM SPSS Statistic 20 kullanılarak incelenmiştir.

Işınım değerine sahip olan geometrik olarak dzeldilmiş görüntülerde, farklı oranlardaki işınım değerlerinin etkisini azaltmak için bant oranlaması kullanılmıştır. Oranlama, aynı biyofiziksel olguya ait iki farklı yansıma değerleri arasında bir ilişki olduğunda yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek için etkilidir (Somvanshi *et al.* 2012). Su kütlelerinin incelenmesi için en yararlı bantlar kırmızı, yeşil ve yakın kıızıltesidir (Somvanshi *et al.* 2012)

#### 4.7.1. Regresyon analizi ile bulanıklık modellemesi

Çalışmanın bu aşamasında uzaktan algılanan veriler ile bulanıklığın tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla çeşitli bant kombinasyonlarının bulanıklık ile çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve aşağıdaki denklemler elde edilmiş ve elde edilen bu denklemlerden bulanıklık tahmin edilmiştir. Sonrasında bu tahmini değerler ile arazide elde edilen bulanıklık değerleri arasında basit doğrusal regresyon analizi yapılmış ve ölçülen bulanıklık miktarına karşılık tahmin edilen bulanıklığın grafikleri çizilmiştir. Bulanıklık modellemesi geliştirilirken; mavi, yeşil, kırmızı ve kızılötesi olmak üzere dört adet bant kullanılmıştır. Bu dört bandın, literatür doğrultusundaki kombinasyonlarından farklı denklemlere ulaşılmıştır. Bu denklemlere ulaşmada kullanılan bant kombinasyonları; kırmızı/mavi, kırmızı/yeşil, kızılötesi/mavi, kızılötesi/yeşil, kızılötesi/kırmızı bant oranları ve kırmızı-yeşil, kırmızı-mavi, kızılötesi-kırmızı ve kızılötesi-mavi bant değerleridir. Analiz sonucunda elde edilen denklemlerden en yüksek regresyon katsayısına ( $R^2$ ) sahip olan beş tanesi aşağıda yer alan Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.8.** Bulanıklık değeri ile çeşitli bant kombinasyonlarının çoklu doğrusal regresyon katsayıları

		Düzeltilmiş $R^2$
1	Kırmızı/Mavi ve Kırmızı/Yeşil	0.76
2	Kırmızı-Yeşil ve Kırmızı-Mavi	0.80
3	Kızılötesi-Kırmızı ve Kızılötesi-Mavi	0.37
4	Kızılötesi/Yeşil ve Kızılötesi/Mavi	0.37
5	Kızılötesi/Mavi ve Kızılötesi/Kırmızı	0.40

Yukarıda sunulan Çizelge 4.8 incelendiğinde, en yüksek regresyonun kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant değerlerinden elde edildiği görülmektedir.

$$\text{Bulanıklık (NTU)} = -0.708 + (1.198 * (\frac{\text{Kırmızı}}{\text{Yeşil}})) - (0.266 * (\frac{\text{Kırmızı}}{\text{Mavi}}))$$

Denklem 6

$$\text{Bulanıklık (NTU)} = 0.657 - (0.002 * (\text{Kırmızı} - \text{Mavi})) + (0.004 * (\text{Kırmızı} - \text{Yeşil})) \quad \text{Denklem 7}$$

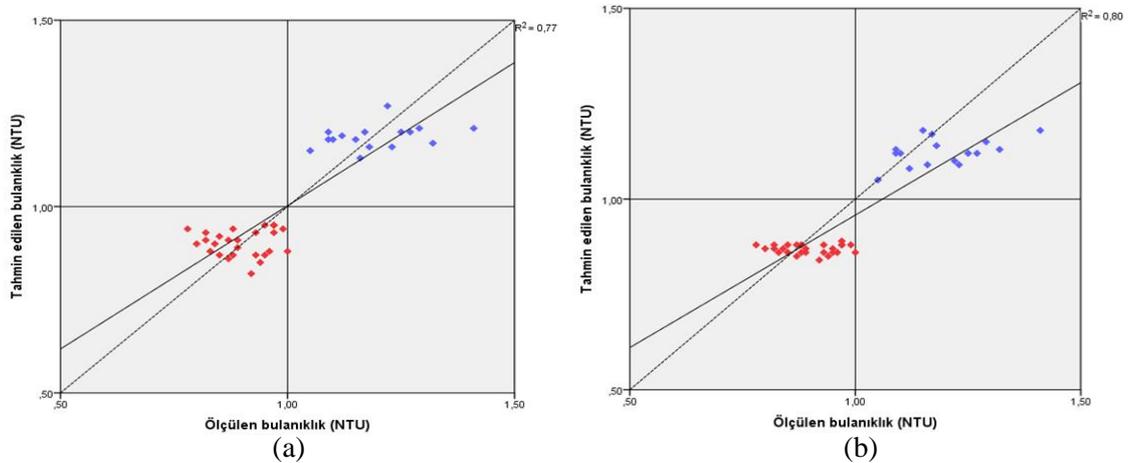
$$\text{Bulanıklık (NTU)} = 1.277 + (0 * (\text{Kızılötesi} - \text{Kırmızı})) - (0.001 * (\text{Kızılötesi} - \text{Mavi})) \quad \text{Denklem 8}$$

$$\text{Bulanıklık (NTU)} = 1.158 + (0.07 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Mavi}})) - (0.136 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Yeşil}})) \quad \text{Denklem 9}$$

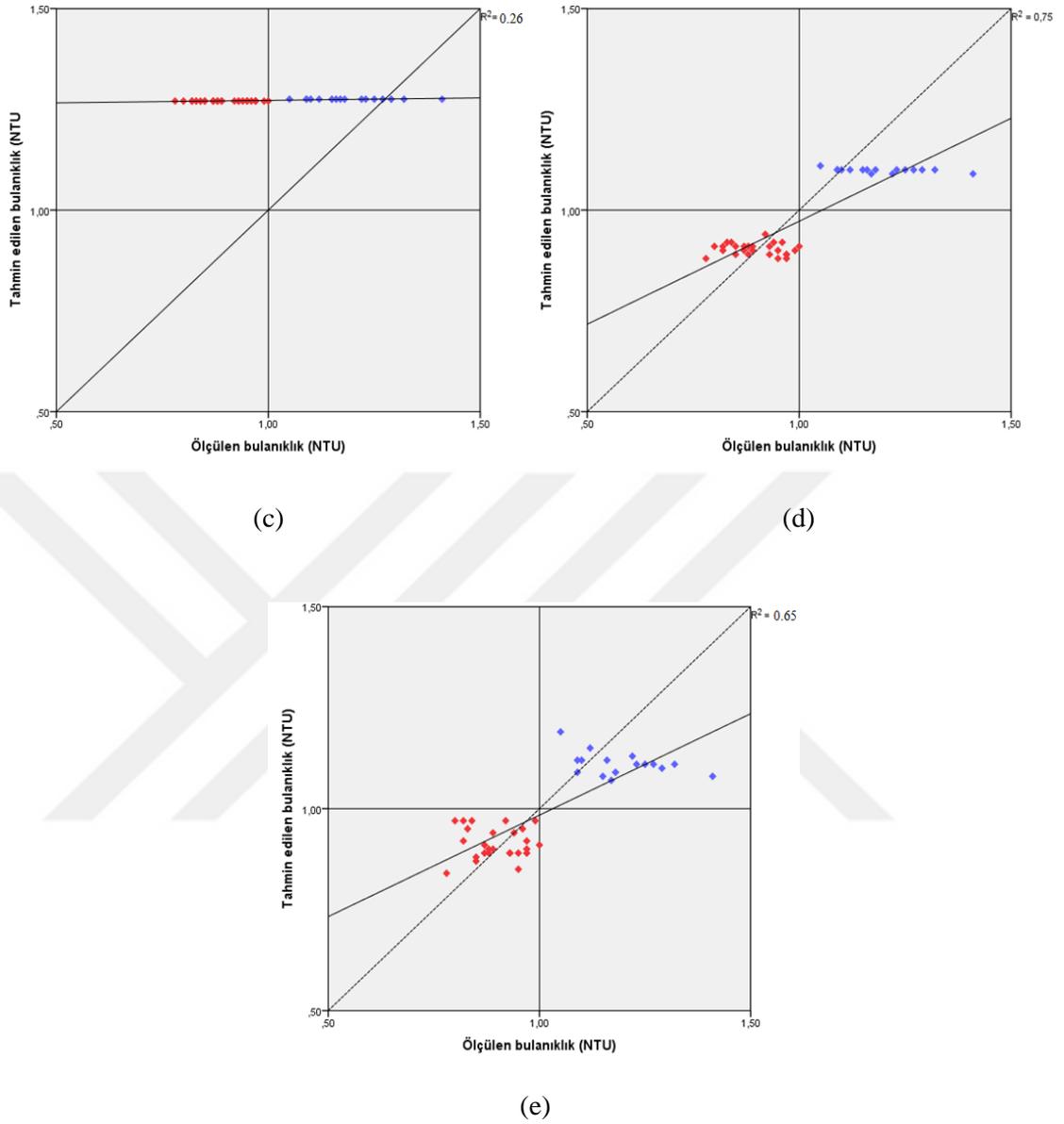
$$\text{Bulanıklık (NTU)} = 0.987 + (0.227 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Mavi}})) - (0.526 * (\frac{\text{Kızılötesi}}{\text{Kırmızı}})) \quad \text{Denklem 10}$$

Şekil 4.5'te, bulanıklık değeri için çoklu doğrusal regresyon analizi ile geliştirilen modellerden (Denklem 6 – 10) türetilen grafikler sırasıyla verilmiştir. Buna göre; Şekil 4.5 (a)'da Denklem 6, (b)'de Denklem 7, (c)'de Denklem 8, (d) Denklem 9 ve (e)'de Denklem 10 ile verilen modellerin sonuçları yer almaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen bu modeller; bulanıklık miktarını tahmin etmede sırasıyla %77, %80, %26, %75 ve %65 oranında açıklayıcı olabilmişlerdir.

Sonuçlardan görüleceği üzere; en yüksek tahmin değeri %80 ile kırmızı-mavi ve kırmızı-yeşil bant kombinasyonundan elde edilmiştir. Klorofil-a değerlerinde olduğu gibi yine kızılötesi/yeşil ve kızılötesi/kırmızı bant kombinasyonu %26 ile en düşük tahmin performansını göstermiştir.



**Şekil 4.5.** Denklem 6 – 10'a göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen bulanıklık değerleri (kırmızı noktalar 2017, mavi noktalar 2018 yılına ait veriler) (devam)



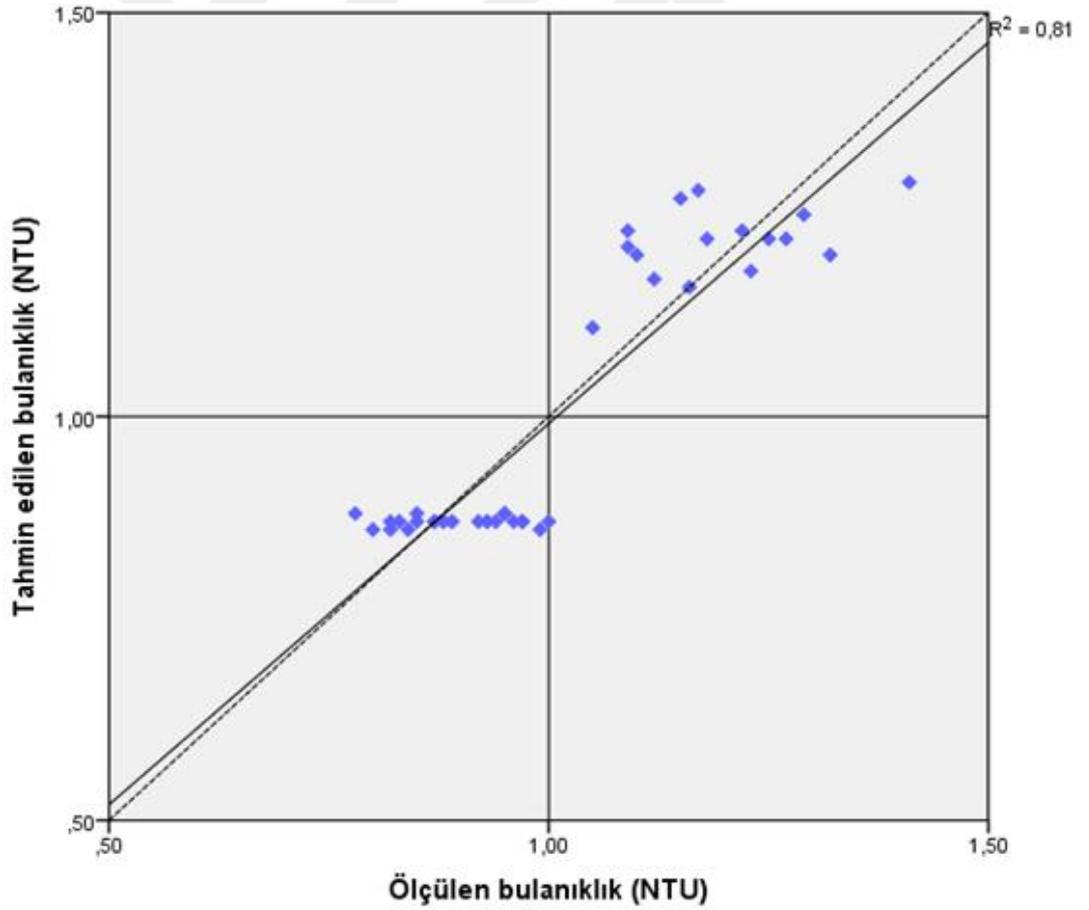
**Şekil 4.5.** Denklem 6 – 10'a göre ölçülen değerlere karşılık tahmin edilen bulanıklık değerleri (kırmızı noktalar 2017, mavi noktalar 2018 yılına ait veriler)

#### 4.7.2. Bulanık mantık tekniği ile bulanıklık modellemesi

Çalışmanın bu aşamasında, bulanıklık değerinin tahmin edilmesi için piksel değerlerinin bulanık mantık tekniği ile modellenmesine yönelik bulgulara yer verilmiştir. Öncelikle bulanık mantık tekniği ile oluşturulacak modellemede, regresyon ile bulanıklık modellemesinde yapıldığı gibi çeşitli bant kombinasyonları test edilmiş ve tahminlemenin, gerçeğe en yakın sonuçlarının kırmızı-mavi ve kırmızı-yeşil bant

değerlerinden elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle bulanık mantık tekniği ile modelleme yapılırken yazılımda girdi olarak kırmızı-mavi ve kırmızı-yeşil bant değerleri kullanılmıştır. Modelleme yapılırken üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde sugeno yöntemi kullanılmıştır. Modellemede kural tablosu oluşturulurken kırmızı-mavi ve kırmızı-yeşil bant değerleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Böylece bu iki değer üzerinden bulanık mantık tekniği ile modelleme yapılmış ve bulanıklık değerinin tahmin edilme yoluna gidilmiştir.

Ölçülen bulanıklık değerleri ile bu değerlerin bulanık mantığa göre tahmin edilmiş değerleri arasında regresyon analizi yapılmış ve bu analizin grafiği aşağıda yer alan Şekil 4.6'da sunulmuştur.

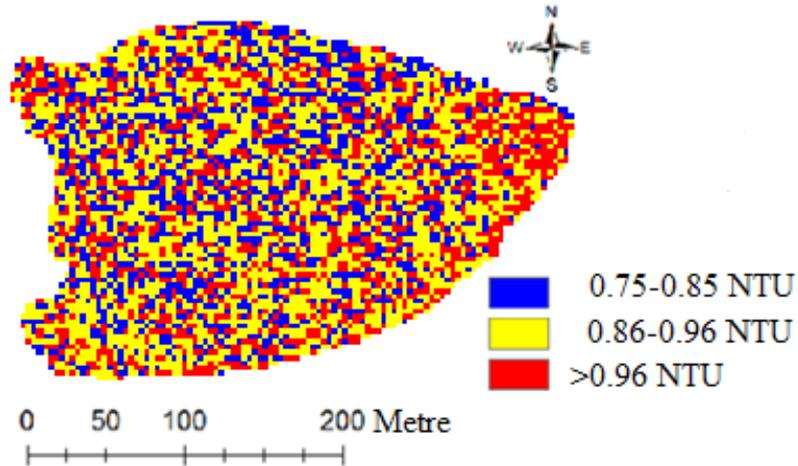


Şekil 4.6. Bulanık mantığa göre ölçülene karşılık tahmin edilen bulanıklık değeri

Şekil 4.6 incelendiğinde, bulanık mantık tekniği ile geliştirilen model bulanıklık değerini tahmin etmede %81 açıklayıcıdır. Bu oran kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle bulanık mantık tekniği ile bulanıklık değerinin tahmin edilme oranının çok başarılı olduğu söylenebilir.

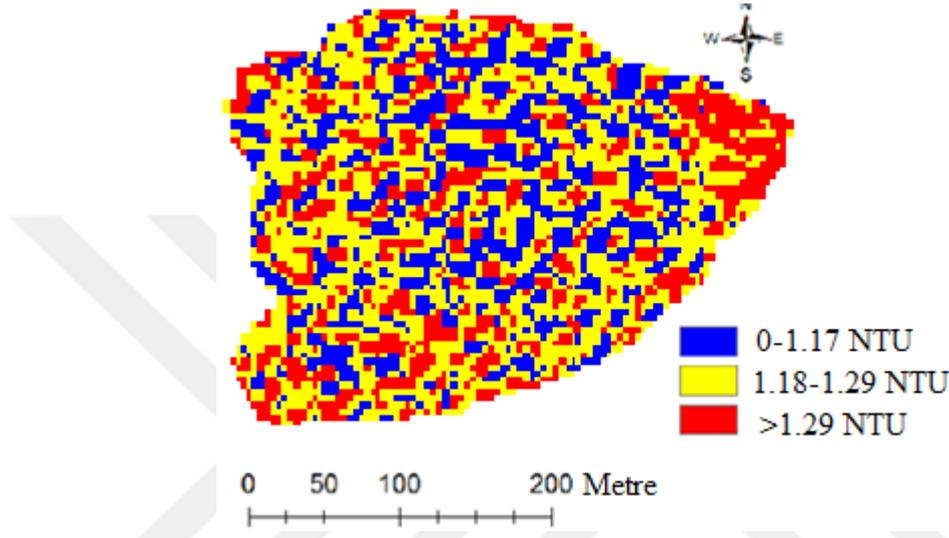
#### 4.7.3. Bulanıklık verisinin haritalanması

Genel olarak, bulanıklık sudaki askıdaki katı maddelerden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.7, Karagöl'ün 18 Ağustos 2017 tarihli ve Şekil 4.8, Karagöl'ün 11 Temmuz 2018 tarihli tematik bir bulanıklık derecesi haritasını göstermektedir. Bu haritaların hazırlanmasında kırmızı, yeşil ve mavi bantların piksel değerlerinin oranları kullanılmıştır. Bulanıklık haritaları oluşturulurken bant oranları kullanılmasının nedeni; topoğrafik düzensizlikten kaynaklanan ve değişik aydınlanmaya neden olan gölge faktörünün etkisinin azaltılabilmesi ve aynı biyofiziksel olguya ait iki farklı yansıma değerleri arasında bir ilişki olduğunda yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek içindir. Bu oranlar doğrultusunda gölün 2017 yılı bulanıklık değerleri için hazırlanan haritasında gölün; bulanıklık seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. Bu haritada bulanıklık seviyesinin birinci sınıfı (0.75-0.85 NTU) mavi, ikinci sınıfı (0.86–10.96 NTU) sarı ve üçüncü sınıfı (>0.96 NTU) kırmızı olarak gösterilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Karagöl'ün 18 Ağustos 2017 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası

Şekil 4.8’de ise gölün 2018 yılına ait bulanıklık değerleri için hazırlanan haritasında; gölün bulanıklık seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. Bu haritada bulanıklık seviyesinin birinci sınıfı (0-1.17 NTU) mavi, ikinci sınıfı (1.18–1.29 NTU) sarı ve üçüncü sınıfı (>1.29 NTU) kırmızı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Karagöl’ün 11 Temmuz 2018 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası

#### 4.7.4. Tartışma

Çalışmada, bulanıklık değerinin belirlenmesi için çoklu doğrusal regresyon analizi ile model geliştirilmesi aşamasında; GÖKTÜRK-2 uydusundan alınan görüntülerin bantlarıyla Karagöl gölünden alınan su numunelerindeki bulanıklık değeri arasında ilişki olduğu saptanmıştır. Aradaki ilişkiyi belirlemek için, alınan uydu görüntülerindeki bantların kombinasyonu ile bulanıklık değeri arasında çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Literatürde bulanıklık değerinin uydu görüntüsü ile tahminlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda kırmızı (Hellweger *et al.* 2007), yeşil ve mavi bantlar (Hellweger *et al.* 2007; Coskun vd 2008) ve buna ek olarak kırmızı/mavi ve yeşil/mavi bant kombinasyonları kullanılmıştır (Hellweger *et al.* 2007). Uydu görüntüsü bantları ve bulanıklık değeri arasındaki ilişkiyi belirlemek için istatistiksel analizler yapılmıştır (Coskun vd 2008; Alparslan vd 2010). Bu aşamada çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen modeller içerisinde kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant

kombinasyonlarını içeren modelin %80 ile bulanıklık değerini tahmin edebildiği saptanmıştır.

Bulanık mantık tekniği ile bulanıklık değerinin belirlenmesi aşamasında ise, bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellen regresyon analizi sonucunda oluşturulan modelden daha yüksek bir oranda tahminleme yaptığı saptanmıştır. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda gerçeğe en yakın sonuçların kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant oranları kullanılarak elde edilen model olduğu belirlendiği için bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellemede yazılımda girdi olarak kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant oranları kullanılmıştır. Bulanık mantık tekniği ile geliştirilen model bulanıklık değerini tahmin etmede %81 açıklayıcıdır. Bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modelde bulanıklık değerinin tahmin edilme oranının başarılı olduğu söylenebilir.

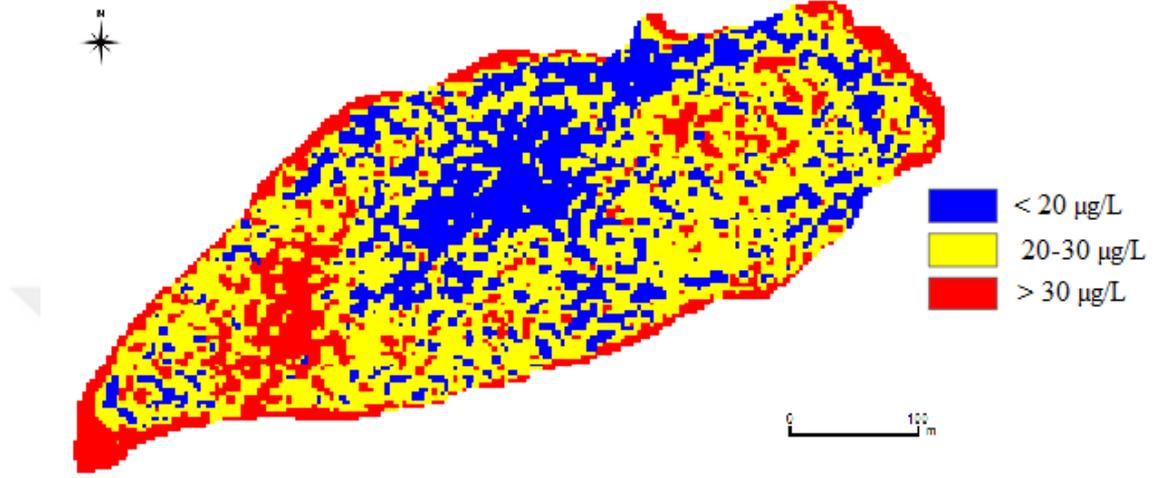
#### 4.8. Karagöl İçin Geliştirilen Modellerden Yararlanılarak Çil Gölü'nde ki Klorofil-a ve Bulanıklık Düzeylerinin Tahmin Edilmesi

Çil gölü; Karagöl gibi Karagöl-Sahara milli parkı içerisinde bulunmaktadır. Karagöl ile ilgili çalışmaların yürütülmesinde kullanılan uydu görüntüleri kullanılarak klorofil-a ve bulanıklık parametreleri için Çil Gölü'nde ki kirlilik düzeyleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.9. Çil gölü ve Karagöl'ün konumu

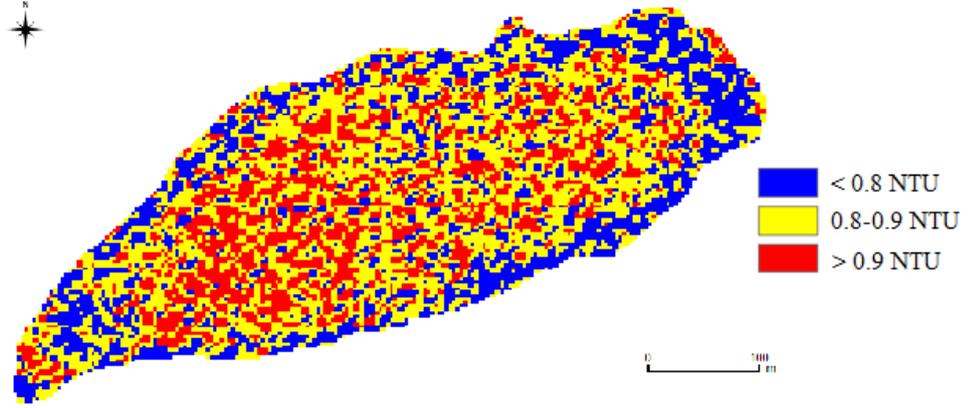
Çalışmanın bu aşamasında; klorofil-a için geliştirilen regresyon modeli Çil Gölü'ne uygulanmış ve Çil Gölü'nün klorofil-a haritası Şekil 4.10'da verilmiştir.



**Şekil 4.10.** Çil gölünün 11 Temmuz 2018 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası

Şekil 4.10 incelendiğinde Çil Gölü'nün 2018 yılına ait klorofil-a değerleri için hazırlanan haritasında; gölün klorofil-a seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. ( $> 30 \mu\text{g/L}$ ) kırmızı olarak, ikinci sınıf ( $20-30 \mu\text{g/L}$ ) sarı olarak ve üçüncü sınıf ( $< 20 \mu\text{g/L}$ ) mavi olarak gösterilmiştir.

Benzer şekilde bulanıklık için geliştirilen regresyon modeli Çil gölüne uygulanmış ve Çil Gölünün bulanıklık haritası Şekil 4.11'de verilmiştir.



**Şekil 4.11.** Çil Gölünün 11 Temmuz 2018 tarihli bulanıklık derecesini gösteren haritası

Şekil 4.11 incelendiğinde Çil gölünün 2018 yılına ait bulanıklık değerleri için hazırlanan haritasında; gölün bulanıklık seviyesi üç sınıfa ayrılmıştır. ( $> 0.9$  NTU) kırmızı olarak, ikinci sınıf ( $0.8-0.9$  NTU) sarı olarak ve üçüncü sınıf ( $< 0.8$  NTU) mavi olarak gösterilmiştir.

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada Karagöl gölünün klorofil-a konsantrasyonunun ve bulanıklık değerinin uzaktan algılama tekniği ile tespit edilmesine yönelik modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin tahmin gücü bulanık mantık tekniği ile arttırılmıştır. Buna göre, çalışmada elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. GÖKTÜRK-2 uydusu görüntüleri Karagöl gölünün klorofil-a konsantrasyonunun ve bulanıklık değerinin belirlenmesinde kullanılabilir.
2. Karagöl gölünün klorofil-a konsantrasyonu ile GÖKTÜRK-2 uydusu görüntülerinin kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranları çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen modelin gölün klorofil-a konsantrasyonunu ( $R^2$  %89) gerçeğe en yakın tahmin eden matematiksel model olduğu saptanmıştır.
3. Karagöl gölünün klorofil-a konsantrasyonu belirlemek için bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellemede yazılımda girdi olarak kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranları kullanılmıştır. Çünkü çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda gerçeğe en yakın sonuçların kızılötesi/kırmızı ve kızılötesi/mavi bant oranları kullanılarak elde edilen model olduğu saptanmıştır. Bulanık mantık tekniği ile geliştirilen bu model klorofil-a miktarını tahmin etmede ( $R^2$  %91) oldukça başarılıdır. Bulanık mantık tekniği ile oluşturulan bu model, gölün klorofil-a konsantrasyonunun çoklu doğrusal regresyon analizi ile tahmin edilme oranına göre %2 daha yüksektir.
4. Karagöl gölünün bulanıklık değeri ile GÖKTÜRK-2 uydusu görüntülerinin kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant kombinasyonlarının çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda geliştirilen modelin gölün bulanıklık değerini ( $R^2$  %80) gerçeğe en yakın tahmin eden matematiksel model olduğu saptanmıştır.
5. Karagöl gölünün bulanıklık değerini belirlemek için bulanık mantık tekniği ile oluşturulan modellemede yazılımda girdi olarak kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant oranları kullanılmıştır. Çünkü çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda gerçeğe en yakın sonuçların kırmızı-yeşil ve kırmızı-mavi bant oranları kullanılarak elde edilen model olduğu saptanmıştır. Bulanık mantık tekniği ile geliştirilen bu model bulanıklık değerini tahmin etmede ( $R^2$  %81) oldukça başarılıdır. Bulanık mantık tekniği ile

oluşturulan bu model, gölün bulanıklık değerinin çoklu doğrusal regresyon analizi ile tahmin edilme oranına göre %1 daha yüksektir.



**KAYNAKLAR**

- Abdelmalik, K. W. (2016). Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.002>
- Alpar, R., (2003). Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Alparlan, E., Coşkun, H. G., & Alganci, U. (2010). An investigation on water quality of darlik dam drinking water using satellite images. *TheScientificWorldJournal*, 10, 1293–1306. <https://doi.org/10.1100/tsw.2010.125>
- Altaş, İ. H., and Sharaf, A. M., (1992). A Fuzzy Logic Power Tracking Controller For A Photovoltaic Energy Conversion Scheme", *Electric Power Systems Research Journal*, Vol.25, No.3, pp.227-238.
- Altaş, İ. H., (1997). A Fuzzy Logic Controlled Tracking System For Moving Targets. *12th IEEE International Symposium on Intelligent Control, ISIC'97*, July 16-18. Istanbul, Turkey, pp. 43-48.
- Atak, V. O., Erdoğan, M., & Yılmaz, A. (2015). Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri. *Harita Dergisi*, 18–33.
- Barut, I., Keskin-Citiroglu, H., Oruc, M., & Marangoz, A. M. (2015). Determination by Landsat Satellite Imagery to Local Scales in Land and Pollution Monitoring: a Case of Buyuk Melen Watershed (Turkey). *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 3(4), 389–404. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2015.03.0029>
- Bose, B. K., (1994). Expert systems, fuzzy logic and neural network application in power electronics and motion control. *Proceedings of IEEE*, 8 (8): 1303-1323.
- Brezonik, P. L., Olmanson, L. G., Finlay, J. C., & Bauer, M. E. (2015). Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 157, 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.033>
- Brezonik, P.L., Morgan, W.H., Shannon, E.E., Putnam, H.D. (1969). Eutrophication factors in North central Florida lakes. *Engineering Progress at the University of Florida*. Bull. Series No. 134, Water Resources Res. Cntr. Pub. No.5, 101p.
- Bricker, S. B., Ferreira, J. G., Simas, T. (2003). An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling* 169, 39-60.
- Bulut, C. (2009). *Melez Kontrolör Tasarımı ve Uygulamaları*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Canada Centre for Remote Sensing. (2002). *Fundamentals of remote sensing tutorial*. *Choice Reviews Online* (Vol. 39). <https://doi.org/10.5860/choice.39sup-0315>
- Carlson, R.E. (1977). A Trophic Index for Lakes. *Limnol. Research Center*. Vol.22.
- Carpenter, E.J., Capone, D.G. (1983). Nitrogen in the marine environment. New York: *Academic Press*, 186-202.
- Cheng, K., Lei, T. (2001). *Reservoir Trophic State Evaluation Using Landsat TM Images*. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5): 1321-1334.
- Chang, S., L., Zadeh, L. A. (1972). On fuzzy mapping and control. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC- 2 (1): 30-34.

- Coskun, H. G., Tanik, A., Alganci, U., & Cigizoglu, H. K. (2008). Determination of environmental quality of a drinking water reservoir by remote sensing, GIS and regression analysis. *Water, Air, and Soil Pollution*, 194(1–4), 275–285. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9716-x>
- Çölkesen, İ. (2015). *Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelere Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Cüce, H. (2012). *Göllerin Trofik Seviyelerinin Değişiminde Sediman Tabakasının Rolü Ve Su Kalitesinin İzlenmesi Ve Değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Uygulanması*
- Dekker, a. G. (1993). *Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing*. Free University.
- Dekker, a. G., Vos, R. J., & Peters, S. W. M. (2002). Analytical algorithms for lake water TSM estimation for retrospective analyses of TM and SPOT sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 23(1), 15–35. <https://doi.org/10.1080/01431160010006917>
- Dilek, M., İşçi, Ö., & Göktaş, A. (2010). Uygulamalı İstatistik. *Muğla Üniversitesi Yayınları* ; 107. Fen Edebiyat Fakültesi yayınları ; 14.
- Dillon, P. J., Rigler, F. H. (1974). The phosphorus-chlorophyll relationship in Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 19, NewYork, pp.767-773
- Dlamini, S., Nhapi, I., Gumindoga, W., Nhwatiwa, T., & Dube, T. (2016). Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 93, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.004>
- Dogliotti, A. I., Ruddick, K. G., Nechad, B., Doxaran, D., & Knaeps, E. (2015). A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, 156, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.020>
- Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Gordon, H. R., Brown, O. B., & Jacobs, M. M. (1975). Computed Relationships Between the Inherent and Apparent Optical Properties of a Flat Homogeneous Ocean. *Applied Optics*, 14(2), 417–427. <https://doi.org/10.1364/ao.14.000417>
- Hartnett, M., & Nash, S. (2015). An integrated measurement and modeling methodology for estuarine water quality management. *Water Science and Engineering*, 8(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2014.10.001>
- Hasmedi, I. M., & Norsaliza, U. (2010). Analysis of SPOT- 5 Data for Mapping Turbidity Level of River Klang. *Water*, 1(2), 14–18.
- Hellweger, F. L., Miller, W., & Oshodi, K. S. (2007). Mapping turbidity in the Charles River, Boston using a high-resolution satellite. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1–3), 311–320. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9535-8>
- Jang, J., R., (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (3): 665-685.
- Jeppesen, E., Meerhoff, M., Jacobsen, B.A. (2007). Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation—the successful strategy varies with lake size and climate. *Hydrobiologia* 581:269–285.

- Kardoulas, N. G., Bird, A. C., & Lawan, A. I. (1996). Geometric correction of SPOT and Landsat imagery: A comparison of map- and GPS-derived control points. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(10), 1173–1177.
- Kietpawpan, M., Visuthismajarn, P., Ratanachai, C. (2003). *Statistical assessment of trophic conditions: squared Euclidean distance approach*. Songklanakarin J. Sci. Technol., 25(3) : 359-365.
- Kutser, T., Paavel, B., Verpoorter, C., Ligi, M., Soomets, T., Toming, K., & Casal, G. (2016). Remote sensing of black lakes and using 810 nm reflectance peak for retrieving water quality parameters of optically complex waters. *Remote Sensing*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/rs8060497>
- Kutser, T., Pierson, D. C., Kallio, K. Y., Reinart, A., & Sobek, S. (2005). Mapping lake CDOM by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 94(4), 535–540. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.009>
- Lathrop, R. G., & Lillesand, T. M. (1986). Use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(5), 671–680.
- Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition. 10221, 10222.
- Li, L. (1994). *Remote Sensing for Water Quality Monitoring with Particular Reference to NOAA AVHRR Application in the Hawkesbury River Catchment Area*. The University of New South Wales.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., & Wu, C. (2014). A review of remote sensing image classification techniques: The role of Spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 389–411. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144723>
- Lillesand, T. M., Johnson, W. L., & Deuell, R. L. (1983). Use of landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(2), 219–229. Retrieved from [http://eserv.asprs.org/PERS/1983journal/feb/1983\\_feb\\_219-229.pdf](http://eserv.asprs.org/PERS/1983journal/feb/1983_feb_219-229.pdf)
- Liversedge, L. K. (2007). Turbidity mapping and prediction in ice marginal lakes at the Bering Glacier system, Alaska. *Deepblue.Lib.Umich.Edu*, (March). Retrieved from <http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/57454>
- Marangoz, Aycan Murat, & Alkış Zübeyde. (2012). Nesne-Tabanlı Görüntü Sınıflandırma Yöntemlerini Kullanarak Uydu Görüntülerinden Kentsel Detayların Belirlenmesi, Haritaların Güncellenmesi Ve Cbs'ye Entegrasyonu. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Ekim 2012, Zonguldak, Türkiye, 16-19
- Mather, P. M., & Koch, M. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images An Introduction* (Fourth Edi). Wiley-Blackwell.
- Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>

- Montanher, O. C., Novo, E. M. L. M., Barbosa, C. C. F., Renn??, C. D., & Silva, T. S. F. (2014). Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 29(1), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.01.001>
- Moss, B., Madgwick F. J., Phillips, G. L. (1996). A Guide to the Restoration of Nutrient-enriched Shallow Lakes. *Broads Authority*, Norwich, U.K., 180p
- Mouw, C. B., Greb, S., Aurin, D., DiGiacomo, P. M., Lee, Z., Twardowski, M., ... Craig, S. E. (2015). Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions. *Remote Sensing of Environment*, 160, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.02.001>
- Montanher, O. C., Novo, E. M. L. M., Barbosa, C. C. F., Renn??, C. D., & Silva, T. S. F. (2014). Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 29(1), 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.01.001>
- Palmer, S. C. J., Kutser, T., & Hunter, P. D. (2015). Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 157, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.021>
- Pensa, M.A., Chambers, R. M. (2004). Trophic Transition in a Lake on the Virginia Coastal Plain. *Journal of Environ. Quality*; 33, 2, ProQuest Agriculture Journals.
- Rencher, A. C., & Schaalje, B. G. (2008). *Linear Models In Statistics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sawyer, C.N., Mccarty, P.L., Parkin, G.F., 2013. Çevre Mühendisliği ve Bilimi için Kimya. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.Ankara, 518, 599.
- Shi, K., Zhang, Y., Zhu, G., Liu, X., Zhou, Y., Xu, H., ... Li, Y. (2015). Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data. *Remote Sensing of Environment*, 164, 43–56. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2015.02.029>
- Smith, R. (2006). *Remote Sensing of Environment (RSE). Image (Rochester, N.Y.)*.
- Somvanshi.S, Kunwar.P, Singh.N.B, Shukla.S.P, & Pathak.V. (2012). Integrated remote sensing and GIS approach for water quality analysis of Gomti river , Uttar Pradesh. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 62–75. <https://doi.org/10.6088/ijes.2012030131008>
- Sondergaard, M. (2007). Nutrient dynamics in lakes—with emphasis on phosphorus, sediment and lake restoration, Doctor’s dissertation (DSc). *National Environmental Research Institute*, University of Aarhus, Denmark.
- Sondergaard, M., Jensen, J.P., Jeppesen, E. (2001). Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. *The Scientific World* 1:427:442.
- Sönmez, N. K., & Sarı, M. (2002). Uzaktan algılama temel prensipleri ve uygulama alanları. *Derim*, 19(2), 16–30.
- Strömbeck, N. (2001). *Water Quality and Optical Properties of Swedish Lakes and Coastal Waters in Relation to Remote Sensing*. Uppsala University.

- Strömbeck, N., & Pierson, D. C. (2001). The effects of variability in the inherent optical properties on estimations of chlorophyll a by remote sensing in Swedish freshwaters. *Science of the Total Environment*, 268(1–3), 123–137. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00681-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00681-1)
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B. (2011). *Uzaktan Algılama. Açık Öğretim Fakültesi*. <https://doi.org/10.1023/B:RESB.0000040459.43858.16>
- Takagi, T., Sugeno, M., (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transaction on Syst. Man. and Cybern.*, 15: 116-132.
- Tebbs, E. J., Remedios, J. J., & Harper, D. M. (2013). Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of cyanobacterial biomass in Lake Bogoria, a hypertrophic, saline-alkaline, flamingo lake, using Landsat ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 135, 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.024>
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T. (2016). First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/rs8080640>
- Usali, N., & Ismail, M. H. (2010). Use of remote sensing and GIS in monitoring water quality. *Journal of Sustainable Development*, 3(3), 228–238. <https://doi.org/10.5539/jsd.v3n3p228>
- Ünver, Ö. ve Gamgam, H., (1999). Uygulamalı İstatistik Yöntemler, *Siyasal Kitabevi*, Ankara.
- Vollenweider, R. A. (1970). Scientific Fundamentals of the eutrophication of lakes flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrofication. *OECD*, Paris, 181pp.
- Watanabe, F. S. Y., Alcântara, E., Rodrigues, T. W. P., Imai, N. N., Barbosa, C. C. F., & Rotta, L. H. da S. (2015). Estimation of chlorophyll-a concentration and the trophic state of the barra bonita hydroelectric reservoir using OLI/landsat-8 images. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 10391–10417. <https://doi.org/10.3390/ijerph120910391>
- Wu, J. L., Ho, C. R., Huang, C. C., Srivastav, A. L., Tzeng, J. H., & Lin, Y. T. (2014). Hyperspectral sensing for turbid water quality monitoring in freshwater rivers: Empirical relationship between reflectance and turbidity and total solids. *Sensors (Switzerland)*, 14(12), 22670–22688. <https://doi.org/10.3390/s141222670>
- Xu, F., Tao, S., Dawson, R.W., Xu, Z. R. (2003). The distributions and effects of nutrients in the sediments of a shallow eutrophic Chinese lake, *Hydrobiologia* 429:85-93 H.L. Golterman (ed.) *Sediment-Water Interaction* 13.
- Yılmaz, S., Marangoz, A. M., Şekertekin, A. İ., Oruç, M., & Kutoğlu, Ş. (2015). Uzaktan Algılama Teknikleri İle Zonguldak İli Kentsel Gelişiminin İzlenmesi Ve Alternatif Yerleşim Alanlarının Belirlenmesi. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu* 21-23 Mayıs 2015 / Konya Türkiye, 398-405
- Zadeh, L. A. (1977). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *To Appear in Fuzzy Sets and Systems*. Electronics Research Laboratory Memorandum M77/12, Berkeley University.
- Zhang, Y., Pulliainen, J., Koponen, S., & Hallikainen, M. (2002). Application of an empirical neural network to surface water quality estimation in the Gulf of Finland using combined optical data and microwave data. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 327–336. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00009-3)

- Zhou, A., Tang, H., Wang, D. (2005). Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition. *Water Research* 39;1245–1254.
- Zhou, Z., & Zhao, Y. (2011). Research on the water quality monitoring system for inland lakes based on remote sensing. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART B), 1707–1711. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.268>
- Zuccari Fernandes Braga, C., Setzer, A. W., & Drude de Lacerda, L. (1993). Water quality assessment with simultaneous Landsat-5 TM data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 45(1), 95–106. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90085-C](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90085-C)



## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Adıyaman'da doğdu. İlk, orta, lise ve lisans öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 1999 yılında girdiği Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2006 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı.

