

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARADENİZ KIYISAL SULARINDA AKM PARAMETRESİNİN UZAKTAN
ALGILANMIŞ GÖRÜNTÜLERLE TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisi Mustafa DİHKAN

**OCAK 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARADENİZ KIYISAL SULARINDA AKM PARAMETRESİNİN UZAKTAN
ALGILANMIŞ GÖRÜNTÜLERLE TESPİTİ**

Harita Mühendisi Mustafa DİHKAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Harita Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.12.2009
Tezin Savunma Tarihi : 21.01.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fevzi KARSLI
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Abdulaziz GÜNEROĞLU**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Karadeniz kıyusal sularında Askıda Katı Madde tahminin uzaktan algılanmış veriler ile belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada araştırmalarım süresince her türlü desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fevzi KARSLI'ya ve özellikle çalışmalarımın oşinografik açıdan değerlendirilmesinde tez danışmanım gibi değerli emeklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Abdulaziz GÜNEROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrencilik ve akademik hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden asla esirgemeyen, çok şey borçlu olduğum annem, babam ve kardeşim olmak üzere tüm aile fertlerime, özellikle yılgınlık hissettiğim dönemlerde söylevleri ile beni cesaretlendiren ve desteklerini esirgemeyen Fatih AYZAZ'a ve arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Mustafa DİHKAN

Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Uzaktan Algılamanın Temelleri	3
1.2.1. Elektromanyetik Radyasyon ve Elektromanyetik Spektrum	3
1.2.2. Uzaktan Algılamada Sistem Bileşenleri	4
1.2.3. Uzaktan Algılamada Çözünürlük Kavramı	5
1.2.3.1. Konumsal Çözünürlük	5
1.2.3.2. Radyometrik Çözünürlük	6
1.2.3.3. Spektral Çözünürlük	6
1.2.3.4. Zamansal Çözünürlük	7
1.3. Oşinografide Uzaktan Algılama Tekniği	7
1.3.1. Radyans (L)	9
1.3.2. İrradyans (E)	9
1.3.3. Reflektans	10
1.3.3.1. İrradyans Reflektans (R)	10
1.3.3.2. Uzaktan Algılama (Remote Sensing) Reflektans (R_r)	10
1.3.3.3. TOA Reflektans (R_{rTOA})	11
1.3.4. Oşinografide Uzaktan Algılama Ölçümlerini Etkileyen Faktörler	12
1.3.4.1. Atmosferik Etki Ve Düzeltme	12
1.3.4.2. Deniz-Atmosfer Yüzeyi	13
1.3.4.3. Dip Etkisi	13
1.3.4.4. Denizel Ortamı Çevreleyen Karasal Bölgenin Etkisi	14

1.4.	Su Kalitesi Gözlemleri.....	14
1.4.1.	Su Kalitesi Gözlemeleme Nedenleri.....	14
1.4.2.	Suyun Optik Yapısı ve Sınıflandırılması.....	15
1.4.2.1.	Optik Olarak Su Kalitesine Etkiyen Maddeler.....	15
1.4.2.1.1.	Saf Su.....	16
1.4.2.1.2.	Fitoplankton.....	16
1.4.2.1.3.	Askıdaki Katı Maddeler (AKM).....	17
1.4.2.1.4.	Çözünmüş Organik Maddeler (CDOM).....	17
1.4.2.2.	Tip I ve Tip II Sular.....	18
1.4.3.	Su Kalitesi Gözlemeleme Metotları.....	19
1.4.3.1.	Geleneksel Metot.....	19
1.4.3.2.	Uzaktan Algılama Metodu.....	19
1.4.4.	Tip II Sularda Uzaktan Algılama Yardımıyla AKM Haritalarının Üretilmesi.....	20
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	22
2.1.	Çalışma Alanı.....	22
2.2.	Veri.....	23
2.2.1.	Landsat TM Görüntüleri.....	23
2.2.2.	<i>In-Situ</i> Verisi ile AKM Ölçümü.....	26
2.3.	Uydu Görüntülerinin İşlenmesi.....	28
2.3.1.	Kalibrasyon.....	28
2.3.2.	Radyans Görüntülerine Dönüşüm.....	28
2.3.3.	Rr_{TOA} Görüntülerine Dönüşüm.....	30
2.3.4.	Rr_{sw} Görüntülerine Dönüşüm.....	31
2.4.	<i>In-Situ</i> Verisi ile Yüzey Reflektanslarının Konumsal ve Zamansal Olarak Eşleştirilmesi.....	32
2.5.	Regresyon Analizi ve Denklemin Kurulması.....	33
2.6.	AKM Haritalarının Üretilmesi.....	35
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	36
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	52
5.	KAYNAKLAR.....	54

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Karadeniz uzun yıllar boyunca yüksek oranlarda antropojenik kökenli kirleticilerin etkisinde kalmış Türk ekonomisi açısından önemli bir havzadır. Karadeniz kıyıları boyunca irili ufaklı birçok akarsu ve dere söz konusu kıyısal suların kalitesini taşıdıkları yükler ile etkilemektedir. Bu yüklerden biri de su kalitesi üzerinde etkili olan Askıda Katı Madde (AKM)'dir. AKM birçok yönü ile suyun fiziksel, biyolojik ve kimyasal yapısını etkilemektedir. AKM parametresinin izlenmesi kıyı sularının kalitesinin ortaya konulması açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada, AKM konsantrasyonlarının uzaktan algılama teknikleri yardımıyla hesaplanması, dağılımının ortaya konulması ve bunu sağlayacak algoritmaların araştırılması hedeflenmiştir.

AKM suyun optik karakterinin belirlenmesinde en önemli maddelerden birisidir. Bu sebeple su içindeki konsantrasyonu ve dağılımının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu işlem su içinden geleneksel in-situ verileri alınarak veya günümüzde uzaktan algılama teknolojilerinde kullanılmakta olan spektral, radyometrik, konumsal ve zamansal çözünürlüğü yüksek sensörler yardımı ile uzaktan algılama teknikleri kullanılarak da yapılabilmektedir. Literatürde farklı sular ve farklı sensörler için farklı metotlar kullanılarak geliştirilmiş birçok AKM tahmin algoritmasına rastlanmaktadır. Fakat Karadeniz' in Türkiye kıyıları için bu manada geliştirilmiş bir algoritma bulunmamaktadır.

Bu manada çalışmada, kıyı bölgesini içeren Landsat TM uydu görüntülerinin işlenmesi sonucu elde edilen görüntüler ve eşzamanlı in-situ verileri arasında yapılan regresyon analizleri sonucunda R^2 değeri 0.67 olan, Karadeniz bölgesi kıyısal sularına yönelik istatistiksel bir AKM tahmin algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma yardımıyla üretilen AKM konsantrasyon ve dağılım görüntüleri üretilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu algoritma çalışma alanında uzaktan algılama teknikleri vasıtasıyla AKM konsantrasyonu ve dağılımının belirlenmesine yönelik geliştirilmiş yegane algoritma olma özelliğini taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: AKM, Landsat TM, Karadeniz

SUMMARY

Detection of TSM Parameter in Coastal Waters of Blacksea with Remotely Sensed Images

Black Sea is an important basin in terms of the Turkish Economy which has been exposed to the effect of the anthropogenic origin pollutants for long years. Many large and small rivers and streams along the Black Sea coast affect the quality of the coastal waters with the carried loads by them. One of these loads effecting on the water quality is the total suspended matter (TSM). TSM with many aspects affects water's physical, chemical and biological structure. Monitoring of the TSM parameter is extremely important in terms of putting forward of the quality of the coastal waters. This study intended that calculate the TSM concentration with the remote sensing techniques, propound its distribution and investigate algorithms that will allow this.

TSM is one of the most important matters in determining the optical characteristics of water. Hence, determination of concentration and distribution in water is of great importance. This process can be applied by traditionally taken in-situ data in water or today; by also using remote sensing techniques via the sensors which have high spatial, spectral, radiometric and temporal resolutions used in remote sensing technologies. In the literature many TSM estimation algorithm developed by using different methods for different waters and different sensors is available. However, an algorithm developed in this sense for the Black Sea coasts of Turkey is not available.

In this sense in study, regression analysis was implemented between the processed Landsat TM images containing the coast zone and synchronous in-situ data in the same area. As a result of this process, an empirical TSM estimation algorithm which has 0.67 R^2 value was developed for the coastal waters of the Black Sea region. TSM concentration and distribution images obtained by using the developed algorithm were generated and explained. It can be concluded that this is a unique algorithm developed for determining TSM concentration and distribution via the remote sensing techniques in the study region.

Key words: TSM, Landsat TM, Black Sea

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Elektromanyetik radyasyon.....3
Şekil 2.	Elektromanyetik spektrum.....4
Şekil 3.	Uzaktan algılama sistemi bileşenleri.....5
Şekil 4.	2 bit (sol) ve 8 bitlik (sağ) görüntüler.....6
Şekil 5.	Katı açısı.....8
Şekil 6.	Sensör tarafından algılanan radyans bileşenleri.....8
Şekil 7.	Uzaktan algılama ölçüm geometrisi.....11
Şekil 8.	Çalışma alanı.....23
Şekil 9.	Akış diyagramı.....26
Şekil 10.	172r31nolu görüntüye ait 1. bant radyans görüntüsü.....29
Şekil 11.	172r31 görüntüsü 3. bant için oluşturulan Rr_{sw} görüntüsü.....32
Şekil 12.	Örnekler ve kullanılan B21 kombinasyonu arasındaki ilişki.....34
Şekil 13.	172r31 için Rr_{sw} görüntüsü 1, 2, 3 ve 4 bantları.....36
Şekil 14.	TM1 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....38
Şekil 15.	TM2 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....38
Şekil 16.	TM3 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....39
Şekil 17.	TM4 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....39
Şekil 18.	B7 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....40
Şekil 19.	B9 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....40
Şekil 20.	B11 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....41
Şekil 21.	B13 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....41
Şekil 22.	B16 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....42
Şekil 23.	B17 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....42
Şekil 24.	B23 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....43
Şekil 25.	B19 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....43
Şekil 26.	B21 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....44
Şekil 27.	B22 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki.....44
Şekil 28.	172r31 AKM görüntüsü.....46
Şekil 29.	173r31 AKM görüntüsü.....47

Şekil 30.	174r31 AKM görüntüsü.....	47
Şekil 31.	175r31 AKM görüntüsü.....	48
Şekil 32.	176r31 AKM görüntüsü.....	49
Şekil 33.	177r31 AKM görüntüsü.....	49
Şekil 34.	178r31 AKM görüntüsü.....	50
Şekil 35.	179r31 AKM görüntüsü.....	51
Şekil 36.	180r31 AKM görüntüsü.....	51

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Landsat uydusu genel özellikleri.....	24
Tablo 2. Uygulamada kullanılan görüntüler (* in-situ verisi bulunan bölgeler).....	25
Tablo 3. Çalışmada kullanılan In-situ verileri.....	27
Tablo 4. Landsat 4 ve 5 TM için Spektral bant aralıkları, kalibrasyon parametreleri ve dönüşüm sabitleri.....	30
Tablo 5. Çalışmada kullanılan bant kombinasyonları.....	33

SEMBOLLER DİZİNİ

E	Elektriksel Alan
M	Manyetik Alan
λ	Dalgaboyu [nm]
Φ	Radyant Akı
I	Radyant Yoğunluğu
$d\omega$	Oylum Açısı
L	Radyans Argümanı
L_λ	Sensör Radyans [$W/m^2sr^1\mu m^1$]
L_w	Su İçinden Yukarı Yönlü Yayılan Radyans Bileşeni
L_s	Su-Hava Yüzeyinden Geriye Yansıyan Radyans Bileşeni
L_b	Su Dibinden Geriye Yansıyan Radyans Bileşeni
L_a	Karadan Saçılan Radyans Bileşeni
L_l	Atmosferden Saçılan Radyans Bileşeni
T_{atm}	Atmosferik Geçirgenlik Katsayısını
θ_i	Gelen Radyans İçin Zenit Açısı
θ_r	Yansıyan Radyans İçin Zenit Açısı
φ	Gelen ve yansıyan radyans değerleri arasındaki azimut açısı
E	İrradyans Argümanı
E_d	Aşağı Yönlü İrradyans
E_u	Yukarı Yönlü İrradyans
R	İrradyans Reflektans
Rr_s	Reflektans Argümanı
Rr_{TOA}	Reflektans Argümanı
Rr_{sw}	Yüzey Reflektans Argümanı
d	Dünya – Güneş Arası Mesafe

$ESUN_{\lambda}$	Ortalama Ekzoatmosferik Solar İrradyans Değeri
θ_s	Solar Zenit Açısını
b	Saçılma Katsayısı
b_b	Geriye Saçılma Katsayısı
a	Absorbe Katsayısı
Q_{cal}	Kalibre Edilmiş DN Değerleri
Q_{calmax}	Maksimum Kalibre Edilmiş Piksel Değeri [DN]
Q_{calmin}	Minimum Kalibre Edilmiş Piksel Değeri [DN]
$Chl-a$	Klorofil-a değeri [mgm^{-3}]
$LMAX_{\lambda}$	Maksimum Kalibre DN değerine Karşılık Gelen Sensör Radyans
$LMIN_{\lambda}$	Maksimum Kalibre DN değerine Karşılık Gelen Sensör Radyans
$G_{rescale}$	Bant için özel gain faktörü [$W/m^2sr^1\mu m^1/DN$]
$B_{rescale}$	Band için özel bias faktörü [$W/m^2sr^1\mu m^1$]
6S	Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
AKM	Askıda Katı Madde
AOP	Suyun Görünen Optik Parametreleri
AVHRR	Advanced Very High Resulation Radiometer
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter
CZCS	Coastal Zone Scanner
DOS	Atmosferik Düzeltme Metodu
DN	Dijital Numara
ETM+	Enhanced Thematic Mapper+
IFOV	Instantaneous Field of View
IOP	Suyun İç Optik Parametreleri
MERIS	Avrupa Uzay Ajansı Uydusu
MODIS	Amerikan Uzay Ajansı Uydusu

MODTRAN Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmittance Algorithm
and Computer Model

MSS	Multispectral Scanner System
NASA	Amerikan Uzay Ajansı
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SeaWiFS	Amerikan Uzay Ajansı Uydusu
SPOT	Satellite Probatoire Pour L'Observation de la Tere
TM	Thematic Mapper
TOA	Atmosferin en üst tabakası

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su, bütün yaşayan canlılar için hayati öneme sahiptir. Kirli sularda yaşayabilen bazı basit yaşam formlarının dışında çoğunlukla canlılar oksijen miktarı yeterli ve görsel olarak temiz suya ihtiyaç duymaktadır. Çeşitli askıda katı ve çözülmemiş maddeler, türbid bölgeleri oluşturarak yüzey sularının kalitesini etkilemektedirler. Bu maddelerin miktarındaki artış genelde zayıf su kalitesini işaret etmektedir. Bazı maddeler doğal, bazıları ise insan kaynaklı etkiler sonucu oluşmaktadır. Toprak kaymalarından, kıyısal erozyonlardan, atmosferik girdilerden, dalgalar ve gelgit olayları vasıtası ile dip çamurlarının yüzeye çıkması gibi olaylar doğal etkilere örnek oluşturur. Kıyı alanlarındaki tarımsal faaliyetler, balık yetiştiriciliği, endüstriyel faaliyetler ve bazı antropojenik faaliyetler de insan kaynaklı etkilerdir. Askıda Katı Madde (AKM) miktarı su kalitesi gözlemlerinde oldukça önemli bir faktördür. Kıyısal sulardaki AKM değişimleri; kıyı erozyonları, sahil şeridi değişimi, liman havzalarındaki değişimler ve deniz ekosisteminin bozulması gibi problemlerin göstergesi olabilmektedir. AKM yoğunluğu; akuatik bitki örtüsü için mevcut ışık miktarını azaltır, organik ve inorganik maddelerin taşınımını sağlar ve biyokimyasal süreç için önem arz eder (Rivera, 2009). Sedimentler ve askıdaki maddeler çözülmemiş ağır metallerin ve mikro kirleticilerin yüzeyde tutunmalarında önemli rol oynamaktadırlar (Onderka vd., 2008). Dolayısıyla, AKM konsantrasyonu ile su kalitesi arasında güçlü bir ilişki vardır.

Geleneksel olarak AKM ölçümü *in-situ* (*yersel*) örneklerin alınmasını gerektirir. Bu işlem zaman alıcı ve maliyetli bir laboratuvar işlemidir ayrıca bu yöntemle daha geniş alanların aynı anda örneklenmesi de olanaksızdır. Bu kısıtlayıcı sebepler nedeniyle örnek miktarı çoğunlukla tüm su yüzeyini kaplamayacak şekilde seçilir. Bu durum gerçekçi ve başarılı su kalitesi gözlemleri ve tahminleri yapılmasına engel olur (Ulanbek vd., 2003).

Uzaktan algılama, herhangi bir obje ile fiziksel temas kurulmadan çeşitli sensörler (alıcı, görüntü kayıt ünitesi) yardımıyla objeye ait özellikleri ölçebilen ve değerlendirebilen bir bilim dalı olarak kabul edilmektedir. Günümüzde uzaktan algılama, *in-situ* ölçümlerine alternatif bir teknik olarak kıyısal, nehir veya göl sularının kalitesini gözlemlemek için kullanılmaktadır. Uzaktan algılama tekniklerinin en önemli avantajı, çok büyük bölgelerde

suyun jeofiziksel özelliklerinin hemen hemen eş zamanlı olarak gözlemlenebilmesini sağlamasıdır.

Su kalitesini belirleyen üç aktif optik faktör vardır. Bu faktörlerin konsantrasyonunun ve dağılımının tahmini için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Uzaktan algılama yönünden incelendiğinde, AKM'nin önemli optik özellikler taşımakta olduğu belirlenmiştir. Küçük partiküller önemli oranda ışığı saçıcı yapıdadır ve bu özellikleriyle deniz yüzeyi parlaklığını veya reflektansını (yansıma) uydu görüntülerinde artırmaktadırlar. Bu sebeple özellikle AKM konsantrasyonunun tespitinde ve dağılım haritalarının oluşturulmasında uzaktan algılama teknikleri ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu araştırmalardan bazıları için kullanılan uzaktan algılama görüntüleri; Coastal Zone Scanner (CZCS) (Clark vd., 1980; Tassan ve Sturm, 1986), Advanced Very High Resulation Radiometer (AVHRR) (Froidefond vd., 1993), Landsat Thematic Mapper (Dekker vd., 2002), Sea-viewing Wide Field of Sensor (SeaWiFS) (Binding vd., 2003; Warrick vd., 2004), Moderate Resulation Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Miller ve McKee, 2004), Landsat Enhanced Thematic Mapper (Wang vd., 2007) ve Medium Resulation Imaging Spectrometer (MERIS) (Kratzer vd., 2008) örnek olarak verilebilir (Rivera, 2009).

Karadeniz bölgesi yıllık yağış miktarları incelendiğinde Türkiye'nin en yoğun yağış alan bölgesidir. Bölgede yoğun olarak erozyonlar ve heyelanlar meydana gelmektedir. Birçok nehir deltasını içinde barındıran Karadeniz kıyılarına, yağışların da etkisi ile önemli miktarlarda AKM nehirler tarafından taşınmaktadır. Ayrıca, Karadeniz kıyıları, yüksek dağlar tarafından iç bölümlerden ayrıldığı için kıyı bölgelerde yoğun kentsel yerleşim alanları ve bu sahalarda yüksek nüfus oranları göze çarpmaktadır. Karadeniz bölgesinde, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler yoğun olarak, nehir veya deniz kıyılarına yakın, topoğrafyası fazla engebeli olmayan bölgelerde yapılmakta olduğundan nehirler vasıtası ile veya doğrudan kıyılara yoğun miktarlarda AKM taşınmaktadır. Bu durum kıyısal suların türbiditesini artırmakta ve su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

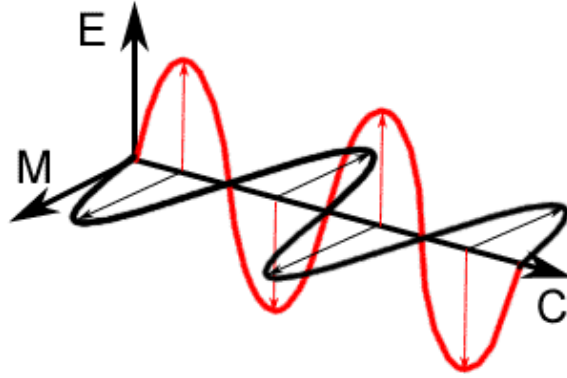
Bu çalışmanın amacı, Karadeniz kıyıları için su kalitesi belirlemede büyük önem taşıyan AKM konsantrasyonunun ve dağılımının Landsat TM/ETM uydu görüntüleri üzerinden uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilmesidir. Buna bağlı olarak uzaktan algılama reflektans değerleri ve AKM konsantrasyonu arasında Karadeniz'e özgü bir algoritma geliştirilmiştir.

1.2. Uzaktan Algılamanın Temelleri

Uzaktan Algılama, hedef cisme herhangi bir fiziksel temas olmaksızın cismin ölçülmesi ve cisme ait çeşitli özelliklerinin gözlenmesine ilişkin bilgi sağlayan bir bilim dalıdır.

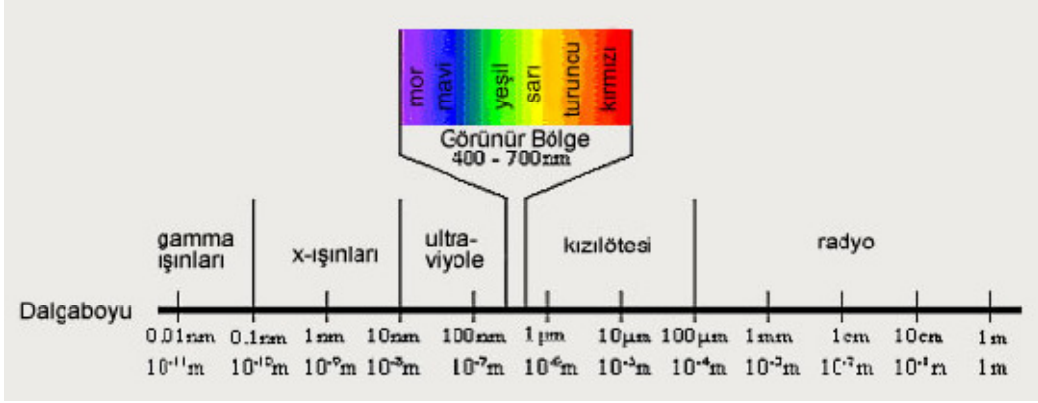
1.2.1. Elektromanyetik Radyasyon ve Elektromanyetik Spektrum

Atomlardan çeşitli biçimlerde ortaya çıkan enerjini türlerine ve bunların dalga teorisi prensiplerine göre sinüzoidal dalgalar halinde yayılma biçimlerine elektromanyetik radyasyon denir. Bütün maddeler tarafından elektromanyetik radyasyon yayılır. Elektromanyetik radyasyonun özellikleri ve yayılım ilkeleri Planck kuantum teorisine göre açıklanmaktadır (Planck, 1959). Elektromanyetik radyasyon yayılım istikametine dik yönde bir elektriksel alan (E) ve bununla dik açı yapan bir manyetik alanı (M) ihtiva eder (Şekil 1). Elektromanyetik radyasyon dalga boyu (λ) ve frekans olmak üzere iki önemli karakteristik özellik tarafından açıklanır.



Şekil 1. Elektromanyetik radyasyon

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik radyasyonun kategorize edilerek bölgelere ayrılması sonucu oluşur. Bu bölgeler elektromanyetik radyasyonun 10^{-10} μm dalga boyu ile 10^{10} μm dalga boyu aralığına karşılık gelmektedir. Uzaktan algılama bilimi, elektromanyetik spektrumun 0.3-15 μm arasındaki optik dalga boyları ve 1–1000 mm arasındaki mikrodalga bölgeleriyle ilgilenmektedir.



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum

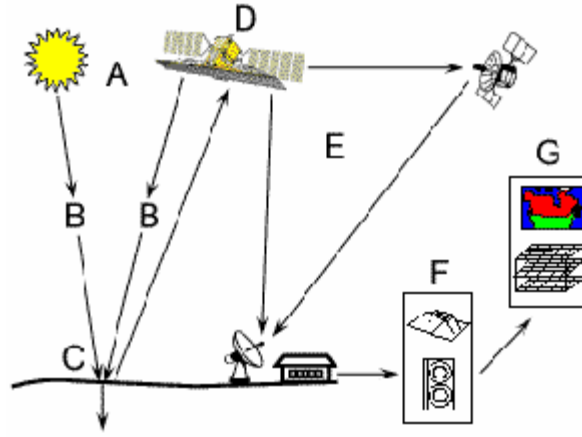
Elektromanyetik spektrumun; 0.38-3 μm dalga boyu aralığında bulunan bölge yansıtıcı bölgedir ve bu bölgede algılanan enerji güneş tarafından üretilen ve yeryüzündeki objelerden yansıyan enerjidir. Bu bölge görünür (0.38-0.72 μm) ve kızılötesi (0.72-3 μm) bölgeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca yansıtıcı kızılötesi bölgede kendi içinde yakın kızılötesi (0.72-1.3 μm) ve orta kızılötesi (1.3-3 μm) bölgelerinden oluşmaktadır (Şekil 2).

1.2.2. Uzaktan Algılamada Sistem Bileşenleri

Şekil 3'de gösterilen uzaktan algıma bileşenleri aşağıda maddeler halinde ayrı ayrı açıklanmaktadır. Bunlar;

- Enerji Kaynağı (A): Uzaktan algılama sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. İlgilenilen hedef bölge üzerine elektromanyetik enerjiyi üretir ve gönderir.
- Radyasyon ve Atmosfer (B): Elektromanyetik enerji kaynaktan hedefe doğru ilerlerken atmosfer içersinden geçer, bu durum atmosfer ile çeşitli etkileşimler meydana gelmesine sebep olur. Aynı olay hedeften sensöre geri dönüş esnasında tekrar meydana gelmektedir.
- Hedef Yüzey İle Etkileşim (C): Hedef yüzeyden yansıyan veya yayılan radyasyonun özellikleri, yüzeyin ve radyasyonun özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.
- Enerjinin Sensör Tarafından Kaydedilmesi (D): Yüzey ile etkileştikten sonra tekrar yayılan elektromanyetik enerji sensör tarafından algılanır ve kaydedilir.

- Gönderme, Alma ve İşleme (E): Sensör tarafından algılanan enerji genellikle elektronik formda yeryüzündeki istasyonlara gönderilir. Burada alıcılar tarafından kaydedilen veriler işlenilerek görüntü halini alır.
- Yorum ve Analiz (F): İşlenmiş görüntü bu aşamada görsel, dijital veya elektronik olarak yorumlanır ve hedef obje ile ilgili bilgiler sinyal üzerinden çıkartılır.
- Uygulama (G): Uzaktan algılama işlemlerini son aşamasıdır. Bu aşamada çeşitli metotlar uygulanılarak, spesifik objelere ait bilgilerin görüntüler üzerinden elde edilmesi ve değerlendirilmesi işlemleri gerçekleştirilir.



Şekil 3. Uzaktan algılama sistemi bileşenleri

1.2.3. Uzaktan Algılamada Çözünürlük Kavramı

Uzaktan algılanmış görüntülerin yorumlanmasında çözünürlük kavramı önemlidir. Bir uzaktan algılama sisteminde dört adet çözünürlük bileşeninden bahsedilebilir. Bunlar konumsal çözünürlük, radyometrik çözünürlük, spektral çözünürlük ve zamansal çözünürlük olarak ifade edilebilir.

1.2.3.1. Konumsal Çözünürlük

Görüntü üzerinde ayırt edilebilen ve üzerinden ölçü alınabilen en küçük obje büyüklüğüdür. Uzaktan algılama sistemlerinde açısız olarak, anlık görüş alanı (IFOV, Instantaneous Field of View) kavramıyla ifade edilir. Kullanımda olan uzaktan algılama

sensörleri 40 cm'den başlayıp kilometrelere varıncaya kadar değişik konumsal çözünürlük miktarlarına sahiptir.

1.2.3.2. Radyometrik Çözünürlük

Radyometrik çözünürlük, uzaktan algılama sensörünün algıladığı elektromanyetik enerji düzeyindeki farklılıkları ayırt edebilme ve kaydedebilme hassasiyetidir. Uzaktan algılama sisteminde görüntüler dijital numaralar (DN, digital number) ile ifade edilmektedir. Örneğin 8 bit/piksel çözünürlüğündeki bir sistem için 2^8 (256) farklı düzeyde bilgi kaydedilebilir (Şekil 4).



Şekil 4. 2 bit (sol) ve 8 bitlik (sağ) görüntüler

1.2.3.3. Spektral Çözünürlük

Spektral çözünürlük, sensörün elektromanyetik spektrum üzerinde kaydedebileceği spektral aralık sayısını ve genişliğini ifade etmektedir. Örneğin Landsat TM sensörünün birinci bandı spektrumun görünen ışık bölgesinde ve 0.45 - 0.52 μm dalga boyları arasındaki enerjiyi kaydetmektedir. Belirgin bir kanal veya bantta kaydedilen enerjinin dalga boyları arası geniş ise spektral çözünürlük düşük, dar ise spektral çözünürlük yüksektir.

1.2.3.4. Zamansal Çözünürlük

Zamansal çözünürlük sensör tarafından aynı objenin algılanması sıklığı olarak ifade edilebilir. Özellikle görüntüler üzerinden yapılan değişim analizlerinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Zamansal çözünürlük sensörün kapasitesine, tarama genişliğine ve irtifasına bağlı olarak değişmektedir. Her uydunun aynı hedef üzerinde bulunacağı zaman periyodu farklıdır. Örneğin bu süre; Landsat uydusu için 16 gün, Spot uydusu için 26 gün ve NOAA AVHRR uydusu için ise 12 saattir.

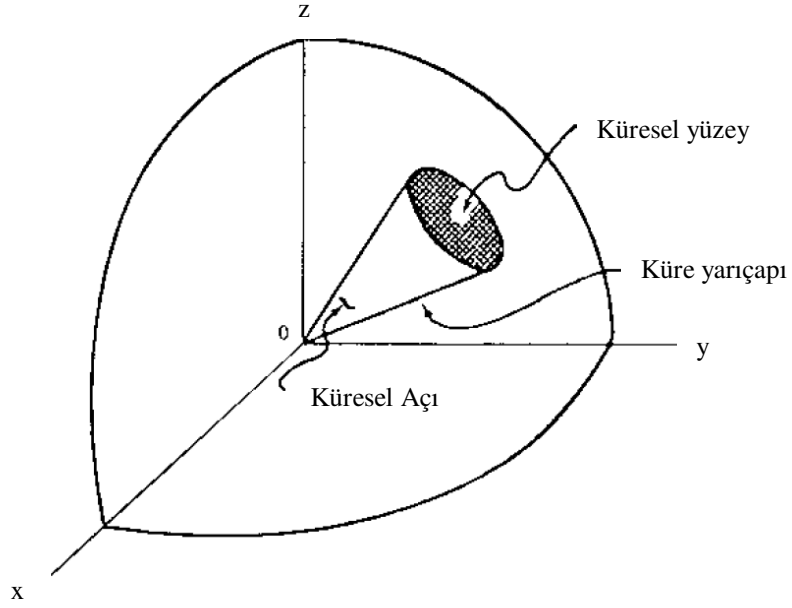
1.3. Oşinografide Uzaktan Algılama Tekniği

Pasif sensörler tarafından algılanan toplam yoğunluk değeri, beş radyasyon bileşeninden meydana gelmektedir (Şekil 6). İlk bileşen güneşten çıkıp, atmosferden ve hava-su yüzeyinden geçtikten sonra suyun içine doğru ilerler. Su ortamında radyasyon, su molekülleri ve su içinde askıda veya çözünmüş durumda bulunmakta olan maddeler tarafından saçılır veya absorbe edilir. Bu esnada radyasyonun bir bölümü yüzeyden saçılır. Bu yukarı yöndeki (upwelling) radyasyon hava-su yüzeyinden ve atmosferin küçük bir bölümünden (bu sensörün yüksekliğine bağlıdır) geçerek sensöre ulaşır. Tüm bu adımların radyasyonun spektral şekli ve yoğunluğu üzerinde etkisi vardır. Dolayısıyla, su kalitesi tahminlerini de doğrudan etkilemektedirler. Şekil 6'da görülmekte olan diğer dört radyasyon bileşeni su kalitesi tahmini hakkında bilgi içermemesine karşın, ölçümler üzerinde gürültüye sebebiyet vererek su kalitesi tahminini olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. Radyatif transfer teoremi için önem taşıyan bazı temel kavramları açıklanacak olunursa:

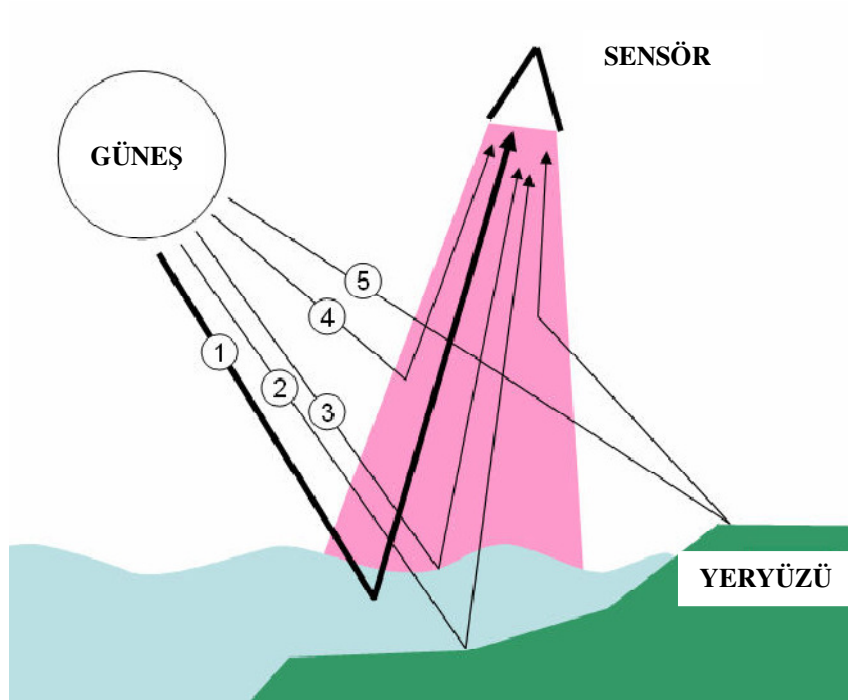
Radyant Akı (Φ): Birim zamandaki elektromanyetik enerji akımının zamana oranıdır.

Radyant Yoğunluğu (Radiance Intensity) (I): Belli bir doğrultuda belli bir katı açı (Şekil 5) içerisinde geçen radyant akı miktarıdır. Bir kaynak ya da bir kaynak parçacığına, eksenini belirli doğrultuda, sonsuz küçük bir koni içine yayımlanan radyant akısının, bu koninin oylum açısına ($d\omega$) oranı ile ifade edilmektedir.

$$I = d\Phi/d \quad (1)$$



Şekil 5. Katı Açık



Şekil 6. Sensör tarafından algılanan radyans bileşenleri (1) Su içinden yukarı yönlü yayılan radyans bileşeni, L_w (2) Su dibinden geriye yansıyan radyans bileşeni, L_b (3) Su-hava yüzeyinden geriye yansıyan radyans bileşeni, L_s (4) Su ile sensör arasında bulunan atmosferden saçılan radyans bileşeni, L_a (5) Sensörün bakış açısına yakın bir karasal objeden yansdıktan sonra atmosferde saçılıp sensör tarafından algılanan radyans bileşeni, L_l (Koponen, 2006).

1.3.1. Radyans (L)

Radyant yoğunluğu sadece birim katı açı için değil aynı zamanda akım yönündeki birim düzlem alanı için düşünülürse radyans kavramına ulaşılabilir. Radyans, birim zamanda belli bir doğrultuda birim katı açı içersinden geçen birim kaynak alanından yayılan radyant yoğunluğu ifade eder (Kirk, 1994).

Spektral Radyans: Birim dalga boyundaki radyans miktarını ifade eder.

Su Yüzeyinden Yayılan Yukarı Yönlü Radyans: Hava-su yüzey geçişinin hemen üzerinden yayılan radyans değerini ifade etmektedir. Bu değer yüzeyin durumuna ve suyun optik yapısına etkiyen parametrelerin (Bölüm 4.2.1 de detaylı olarak açıklanmıştır) konsantrasyonuna bağlıdır (Rivera, 2009).

Sensör Radyans: Dünya yüzeyinden yansıyan ışık enerjisinin sensör tarafından DN veya radyans biriminde kaydedilen miktarına sensör radyansı denir (Borengasser vd., 2008). Deniz yüzeyinden yayılan ve sensör tarafından kaydedilen radyans:

$$L_d = T_{atm}(L_w + L_s + L_b) + L_a + L_l \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. L_w su içinden yukarı yönlü yayılan radyans bileşenini, L_b su dibinden geriye yansıyan radyans bileşenini, L_s su-hava yüzeyinden geriye yansıyan radyans bileşenini, L_l sensörün bakış açısına yakın bir karasal objeden yansdıktan sonra atmosferde saçılıp sensör tarafından algılanan radyans bileşeni, T_{atm} ise atmosferik geçirgenlik katsayısını ve L_a atmosferden geriye saçılan radyans bileşenini ifade eder.

1.3.2. İrradyans (E)

Yarım küre içerisine tüm yönlerden yayılan radyant akımın birim yüzey alanındaki miktarıdır.

Aşağı Yönlü İrradyans (E_d): Aşağı yönde yayılan irradyans miktarıdır.

Yukarı Yönlü İrradyans (E_u): Yukarı yönde yayılan irradyans miktarıdır.

Solar İrradyans: Güneş tarafından üretilen ve yayılan enerji miktarıdır. Solar irradyans döngüsünde yayılan solar enerji miktarını etkileyebilecek değişimler meydana gelebilmektedir. Bu değişimlerin etkisi dalga boyuna ve zamana bağlı olarak ifade edilmektedir (Borengasser vd., 2008).

1.3.3. Reflektans

Bu bölümde İrradyans Reflektans, Uzaktan Algılama Reflektans ve TOA Reflektans olmak üzere üç farklı reflektans türü açıklanmıştır.

1.3.3.1. İrradyans Reflektans (R)

Yukarı yönlü irradyans değerinin aşağı yönlü irradyans değerine oranı irradyans reflektansı ifade etmektedir.

$$R(\lambda) = E_u/E_d \quad (3)$$

Literatürde irradyans reflektans ile suyun optik yapısına etkileyen parametrelerin konsantrasyonları arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla kurulan biyo-optik modellerde irradyans reflektans üzerinde yoğunlaşmıştır (Bukata vd., 1981b, 1991a; Carder vd., 1991; Jaquet vd., 1994). Bunun sebebi uyduların yeryüzüne doğru aşağı yönlü nadir açısı yönündeki bakışları esnasında, nadir açısı yönündeki bir konik alandan gelen yukarı yöndeki radyans değerlerini kaydetmeleridir. Kaydedilen bu değerler üzerindeki çeşitli hataları gidermek amacıyla, yukarı yöndeki radyans değerleri yerine irradyans reflektans değerleri kullanılmış ve bu sayede yüksek oranda istatistiksel ilişkiler elde edilmiştir (Bukata, 2005).

1.3.3.2. Uzaktan Algılama (Remote Sensing) Reflektans (R_r)

R_r , Nadir yönündeki yukarı yönlü (yüzeyden gelen) radyans değerinin aşağı yönlü irradyans değerine oranı ile ifade edilmektedir. Bu değerlerin her ikisi de uzaktan algılama platformları tarafından ölçülebilmektedir. Literatürde yapılmış çalışmalarda R yerine R_r kullanılmasının istatistiksel olarak suyun optik yapısına etkileyen madde konsantrasyonlarının tahmininde tip II sularda (Bölüm 4.2.3 de detaylı olarak açıklanmıştır) daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Güneş parlaması etkisi ve su içindeki yukarı yönlü irradyans değerinin su yüzeyinin altından yansımaları etkisi ihmal

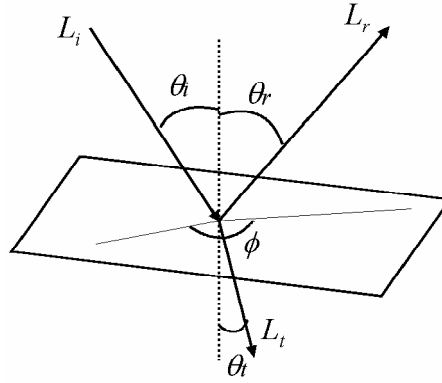
edildiğinde su yüzeyi üzerindeki reflektans değeri ile yüzeyin altındaki reflektans değeri arasında ilişki kurulabilmektedir (Bukata, 2005).

1.3.3.3. TOA Reflektans (Rr_{TOA})

Sensör radyansından ilk olarak TOA reflektans dönüşümü yapılması ile farklı sensörler tarafından algılanan radyans değerleri arasında farklı zenit açılarından kaynaklanan kosinüs etkisi, farklı spektral bant aralıklarından dolayı ortaya çıkan farklı ekzoatmosferik solar irradyans değerlerinin etkisi ve farklı sensörlerin sensör radyans kaydı esnasındaki farklı dünya-güneş uzaklığından meydana gelen hatanın etkisi giderilmiş olur. Sensör için TOA reflektans değeri:

$$Rr_{TOA} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (4)$$

Eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Eşitlikte Rr_{TOA} TOA reflektansı, L_{λ} sensör radyansı, d astronomik birimde dünya-güneş arası mesafeyi, $ESUN_{\lambda}$ ortalama ekzoatmosferik solar irradyans değerini, θ_s solar zenit açısını (Şekil 7) ifade etmektedir (Chander vd., 2009).



Şekil 7. Uzaktan algılama ölçüm geometrisi: L_i , L_r ve L_t gelen, yansıyan ve geçen radyans değerleri, θ_i ve θ_r gelen ve yansıyan radyasyon için zenit açıları, ϕ gelen ve yansıyan radyans değerleri arasındaki azimut açısı (Koponen, 2006).

1.3.4. Oşinografide Uzaktan Algılama Ölçümlerini Etkileyen Faktörler

Bu bölümde uzaktan algılamada sensör radyans bileşeni üzerindeki atmosferik etkiler, deniz-atmosfer yüzeyi etkisi, dip etkisi ve denizel ortamı çevreleyen karasal bölgenin etkileri açıklanmaktadır.

1.3.4.1. Atmosferik Etki ve Düzeltme

Uydular veya çok yüksekteki bir hava aracı (~20 km) üzerindeki sensörler tarafından kaydedilen sensör radyans miktarı yukarı yönlü radyans miktarının en az %80'ine tekabül eder. Gaz molekülleri (O_2 , CO_2 , O_3) ve aerosoller (sıvı veya katı haldeki partiküller) solar ışını absorbe eder veya saçılmasına sebep olur. Dolayısıyla, atmosfer diğer sensör radyans bileşenlerini de etkiler (Koponen, 2006). Solar ışının bir bölümünün daha deniz-atmosfer yüzeyine ulaşmadan, atmosfer içerisinde bulunan hava molekülleri ve çeşitli aerosol (hava) partikülleri (toz, su zerrecikleri, tuz, vb.) tarafından saçılır (Bukata, 2005). Bu durum sonucu meydana gelen sensör radyans bileşenine atmosferik saçılma bileşeni (path radiance), (L) adı verilir. Sensör radyans içerisindeki bu bileşenin etkisi giderilmek zorundadır (Kirk, 1994).

Bu sebeplerden dolayı su kalitesi gözlemlerindeki uzaktan algılama uygulamalarında atmosferik etkilerin giderilmesi gereklidir. Bu amaçla yapılan düzeltmelere atmosferik düzeltme adı verilmektedir. Su yüzeyinden yayılan sinyali etkileyen atmosferik etkileri gidermek amacıyla, oşinografide uzaktan algılama uygulamalarında üç metot kullanılmaktadır:

- a. Atmosferin Radyatif Geçirgenliğinin Modellenmesi: Hava aracının geçişi esnasında, atmosferden alınan *in-situ* verileri kullanılarak atmosferik etkinin modellenmesidir. Örnek olarak; 6S (Flink vd., 2001) ve MODTRAN (Dekker vd., 2001; Schott vd., 2001) modelleri verilebilir. Bu metot, genellikle iyi sonuçlar vermesine rağmen *in-situ* verisinin her durumda alınamaması (özellikle önceki tarihler için) ve oldukça maliyetli olması sebebiyle çoğu zaman kullanılmamaktadır (Wang vd., 2007).
- b. Lineer Regresyon Modeli Geliştirilmesi: Görüntü üzerinde seçilen kontrol bölgelerindeki, DN veya Rr_s değerleri ile bu bölgelere ait yersel yansıtma değerleri

arasında regresyon modeli geliştirilmesi yardımıyla atmosferik düzeltme yapan bir metottur.

- c. **Koyu Piksel Çıkartma (DOS):** Bu metotta görüntü üzerinde bulunan bazı piksellerin, bulutların veya topoğrafyanın meydana getirdiği gölge etkisi sebebiyle tamamen karanlık olarak gözüktüğü kabul edilmektedir. Sensör için bu etkinin en fazla görüldüğü dalga boyu aralığını ifade eden bantlardaki en koyu piksel değerinin görüntülerden çıkartılması ile atmosferik düzeltme yapılmış olur. Literatürde DOS metodundan türetilmiş birçok metot bulunmaktadır (Örn. COST, TZB5, vb.) (Lanthrop vd., 1991; Keiner ve Yan 1998; Song vd., 2001; Wang vd., 2007).

1.3.4.2. Deniz-Atmosfer Yüzeyi

Atmosferik ortam ile akuatik ortam arasında kalan bölgeye deniz-atmosfer yüzeyi denir. Sensör radyansın L_s bileşeni, solar radyasyonun bir kısmının deniz-atmosfer yüzeyinden yansması sonucu meydana gelir. Bu bileşenin etkisi θ_i ve θ_r açılarının (Şekil 7) geometrik konumuna göre değişmektedir. L_s değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$L_s = ESUN \cdot Rr_{sw} \quad (5)$$

Eşitlikteki Rr_{sw} deniz yüzeyindeki reflektans değerini ifade etmektedir.

Bunun dışında L_w bileşeni üzerinde solar radyasyonun deniz-atmosfer yüzeyinden geçişi esnasında Snell kanununa göre yön değiştirmesi sonucu refraksiyon etkisi meydana gelir. Bu etki analitik modelde dikkate alınmalıdır (Koponen, 2006).

1.3.4.3. Dip Etkisi

Sensör radyansın bir bölümü deniz-atmosfer yüzeyinden geçtikten sonra deniz dibine kadar ulaşır ve buradan yansıyor diğer ortamlardan tekrar geçerek sensöre geri döner. Özellikle sığ sularda ve su dibinin yüksek yansıtıcı özellik taşıması sebebiyle meydana gelen, sensör radyansının içindeki bu bileşene L_b dip etkisi bileşeni adı verilir. Bu sensör

radıansından bu bileşen çıkartılarak L_d üzerinde meydana getirmiş olduğu etki giderilmiş olur (Bukata, 2005).

1.3.4.4. Denizel Ortamı Çevreleyen Karasal Bölgenin Etkisi

Özellikle kıyısal bölgelerde, göllerde veya nehirlerde yapılan ölçümlerde, yüksek yansıtıcı özellikler taşıyan bölgeler mevcuttur. Bu bölgelerden yansıyan ışınların saçılarak uzaktan algılama sensörleri tarafından algılanması sonucunda da sensör radyansın bir diğere bileşeni olan " L_l " bileşeni oluşmakta ve sensör radyanı değerini arttırmaktadır. Bu etkinin giderilebilmesi için kıyısal bölgelere çok yakın veri alınmamalı ve belli bir tampon bölge oluşturulmalıdır.

1.4. Su Kalitesi Gözlemleri

Bu bölümde su kalitesi gözlem nedenlerinden, suyun optik yapısından ve kalitesini etkileyen maddelerden bahsedilmektedir.

1.4.1. Su Kalitesi Gözleme Nedenleri

Göllerde, kıyısal sularda ve nehirlerde su kalitesi gözlemlerinin gerekliliği Avrupa Birlięi kanunları (Environmental Protection Law 86/2000) ve direktifleri (Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Directive, Council Directive 96/61/EC September 24 1996; EU Water Framework Directive 2000/60/EC) tarafından açıkça ortaya koyulmaktadır. Bu düzenlemelerin amacı, çevre kirliliğini önlemek ve kontrol altına almaktır. Çevresel gözlemler ve su kalitesi gözlemleri de bu amacın gerçekleştirilebilmesi için kullanılan en önemli metotlardır. Bu bağlamda su yönetimi ve planlama yetkililerini su kaynaklarının mevcut durumu ve insan kaynaklı aktivitelerin üzerlerindeki etkileri ile ilgili güncel veriye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu veriler sayesinde kirlilik kaynaklarını tespit edebilir ve gerekli önlemleri alabilirler. Göller insanların günlük ve endüstriyel kullanım ihtiyaçlarını karşıladıkları önemli temiz su kaynaklarıdır. Bu kaynaklar kirlendiğinde tekrar temizlenip kullanılabilir hale getirilmeleri oldukça maliyetli bir işlemdir. Dolayısıyla bu kaynakların kirlenmesinin engellenmesi amacı ile gözlemlenmesi ekonomik açıdan büyük

önem taşımaktadır. Benzer yönden değerlendirildiğinde kıyısal sular da balıkçılık ve turizm bakımından insanların yoğun olarak kullandığı önemli alanlardır ve bu alanlardaki deniz suyunun kalitesi büyük önem taşımaktadır (Koponen, 2006).

1.4.2. Suyun Optik Yapısı ve Sınıflandırılması

Oşinografi toplulukları tarafından suyun rengi ve su rengini etkileyen parametreler hakkında yaygın olarak kabul gören bir teori gelişmiştir. Su molekülleri optik yapısı açısından bakıldığında ışığı belirli oranlarda absorbe edebilir veya saçılmasını sağlayabilir (Miller vd., 2005). Diğer yandan deniz suyu içerisinde çeşitli organik ve inorganik maddeler de bulunabilmektedir. Bu maddelerin her birinin kendisine has, dalga boyu ile ilişkili optik saçılma ve absorbe parametreleri vardır. Bu maddelerin miktarı sudan yansıyan radyasyonun şeklini ve yoğunluğunu önemli oranda etkilemektedir. Dolayısıyla, suyun optik modeli kurulurken sudan yansıyan ışık üzerinde etkisi olan tüm bu maddelerin saçılma ve absorbe etkileri modele dahil edilmelidir. Model suyun iç optik parametreleri (IOP) veya görünen optik parametreleri (AOP) kullanılarak kurulabilir. IOP:

- $b(\lambda)$: Saçılma katsayısı
- $b_b(\lambda)$: Geriye saçılma katsayısı
- $a(\lambda)$: Absorbe katsayısı

şeklinde ifade edilmektedir. IOP, suyun içeriğinde bulunan ve optik yapısına etkileyen maddelerin özel absorbe ve saçılma katsayıları gibi özelliklerini ifade eden parametrelerdir. AOP ise su yüzeyine ulaşan ışının dağılımını ve geometrisini ifade eden (örnek olarak radyans ve reflektans dağılımlar verilebilir) parametrelerdir (Miller vd., 2005).

1.4.2.1. Optik Olarak Su Kalitesine Etkiyen Maddeler

Suyun optik yapısı üzerinde etkisi olan başlıca maddeler saf su molekülleri, fitoplanktonlar, AKM ve su içinde çözülmüş olarak bulunan organik maddelerdir (CDOM). Bu maddeler aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

1.4.2.1.1. Saf Su

Saf su moleküllerinin ışık üzerindeki optik etkisi iyi bilinmektedir. Elektromanyetik spektrumun görünür bantlarında saf su için saçılma ve absorbe katsayıları literatürde evvelce yapılmış çalışmalarda ortaya koyulmuştur (örn. Pope ve Fry (1997)). Saf su normalde renksiz olarak gözükmese rağmen nehir akımı olmayan kıyısal ve okyanus sularında mavi renkli olarak gözükmektedir. Saf su elektromanyetik spektrumun düşük dalga boylarında (yoğunlukla ultraviyole bölgesinde (280 – 300nm)) çok düşük absorbe etkisine sahiptir. Saf deniz suyunda (35 – 38 ‰ tuzluluk oranları içeren) saf suya nazaran ‰ 30 daha yoğun saçılma görülmektedir. Saf suyun saçılma fonksiyonu ışığın kırılma teorisi ile açıklanabilmektedir. Teoriye göre 90⁰ düzeyinde minimum değerdedir ve 90⁰ den düşük ve yüksek açısız değerlerde simetrik olarak artmaktadır (Kirk, 1994).

1.4.2.1.2. Fitoplankton

Fitoplanktonlar suyun produktivitesini etkileyen ve su ortamındaki akuatik besin zincirinin temelini oluşturan tek hücreli canlı organizmalardır (Koponen, 2006). Fitoplanktonlar fotosentez işlemi için, yapılarında bulunan klorofil a pigmentlerinden en önemli ışık toplayıcı pigment olarak faydalanırlar. Fotosentez için diğer önemli bileşenleri ise klorofil *b* ve *c* pigmentleridir (Fargion vd., 2000). Literatürde oşinografik çalışmalarda klorofil a (Chl-*a*) pigmentinin konsantrasyonunun fitoplankton biokütlesini yüksek oranda temsil ettiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla, Chl-*a* pigmentinin radyasyonu absorbe etme özelliği sebebi ile su içindeki konsantrasyonu ve dağılımı su kalitesi gözlemleri için kurulan analitik modellerde dikkate alınmak zorundadır. CHL pigmentlerinin konsantrasyon ölçümüne yönelik spektrofotometrik metot (Jeffrey ve Humphrey, 1975; Parsons vd., 1984), trichromatic metot (Strickland ve Parsons, 1972), HPLC metodu (Jeffrey ve Welschmeyer, 1997) gibi metotlar geliştirilmiştir (Kratzer vd., 2009). Ayrıca Chl-*a* konsantrasyonunun tahminine yönelik çok sayıda model geliştirilmiştir.

1.4.2.1.3. Askıdaki Katı Maddeler (AKM)

Askıdaki katı maddeler özellikle nehirlerde ve kıyısal sularda yoğun olarak bulunmakta olan inorganik maddelerdir (örneğin; Tuz, kil, toz zerrecikleri ve nehirler tarafından taşınan toprak) ve buldukları sular yüksek türbidite değerlerine sahiptir. AKM konsantrasyonunu rüzgâr ve dalga gibi doğal sebepler veya insan etkisi ile dip sedimentlerinin yüzeye çıkması artırmaktadır. AKM'nin radyasyon üzerindeki saçılma ve absorbe etkisi büyük oranda, içinde bulunduğu suyun doğrudan veya dolaylı olarak etkileşim içersinde olduğu karasal bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. AKM su kalitesi belirleme üzerinde doğrudan büyük oranda etkiye sahiptir (Bukata, 2005; Miller vd., 2005). Dolayısıyla konsantrasyonunun ve dağılımının belirlenmesi su kalitesi gözlemleri için gereklidir. AKM konsantrasyonu su örnekleri üzerinde basit filtreleme teknikleri kullanılarak gravimetrik olarak belirlenebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen filtreleme tekniği *in-situ* örnekleri üzerinden uygulanan ve basit bir metot olmasına rağmen zaman alıcı olması, sadece örnek alınan bölgenin akuatik yapısını temsil etmesi, geniş alanlarda uygulanamaması, AKM konsantrasyonunun ve dağılımının dinamik değişimini yeterince iyi temsil edememesi ve maliyetli bir yöntem olması söylenebilir. Ayrıca *in-situ* verisinin tün su kütlesini temsil edememesi, suyun optik yapısına önemli oranda etkileyen AKM parametresinin tespitinde hata yapılabilmesine sebep olur. Günümüz uzaktan algılama sensörlerinin yüksek spektral, radyometrik, konumsal ve zamansal çözünürlük değerleri, AKM konsantrasyonun dağılımının teorik, istatistiksel ve yarı istatistiksel metotlarla yüksek doğrulukta tespitine olanak sağlamaktadır. Buna yönelik literatürde birçok algoritma geliştirilmiştir (Örn. Dekker vd., 2002; Doxaran vd., 2002; Dekker vd., 2002; Binding vd., 2003; Ronghua vd., 2004; Zhang vd., 2009). AKM konsantrasyonunun uzaktan algılama teknikleriyle gözlenmesi tezin genel bilgiler bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

1.4.2.1.4. Çözünmüş Organik Maddeler (CDOM)

Çözünmüş organik maddeler, nehirlerce taşınan organik maddelerin büyük bir bölümünü oluştururlar ve uzaktan algılama teknikleri ile klorofil konsantrasyonlarının doğru biçimde belirlenmesini engeller (Miller vd., 2005). Ayrıca fitoplanktonların ölümü ve suda çözülmesi sonucu da oluşabilirler (Kirk, 1983). Literatürde gilvin (Kirk,

1994), sarı madde ve gelbstoff (Miller vd., 2005) isimleri ile de tanımlanmaktadır. Kıyısal ve iç sularda CDOM su rengi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. 440 nm gibi düşük dalga boylarında yüksek absorpsiyon etkisi gösterebilmekte ve bu etki CHL *a* tespitini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu dalga boyları uzaktan algılama çalışmaları için önem taşımakta olduğundan CDOM parametresi dikkate alınmalı ve su kalitesi modeline ilave edilmelidir (Bricaud vd., 1981).

1.4.2.2. Tip I ve Tip II Sular

Morel ve Prieur (1977) optik su tiplerini “Tip I” ve “Tip II” olmak üzere iki ana kategoriye ayırmıştır (Morel and Prieur, 1977; Gordon and Morel, 1983; Morel, 1988). Bu sınıflandırmaya göre, Tip I yapıdaki suların optik karakterini, ihtiva etikleri yüksek oranda moleküler su ve fitoplankton konsantrasyonu belirler. CDOM’ un klorofil değişkene bağlı olduğu kabul edilmektedir. Okyanus veya açık deniz suları genellikle bu sınıfa dahil edilebilir. Geçmişteki uzaktan algılama çalışmaları genellikle Tip I sular üzerinde yoğunlaşmış, küresel olarak uygulanabilen ve kabul gören algoritmalar geliştirilmiştir.

Tip II karakterindeki sular Tip I sularına nazaran optik olarak karmaşık yapıdadır. İçeriklerinde karasal kökenli askıda katı madde, CDOM ve fitoplankton bulunur. Tip II suların optik karakterini büyük oranda su molekülleri, klorofil, askıdaki partiküller ve CDOM belirler (Bukata, 2005). Tip II sularda bu bileşenlerin her biri diğerinden bağımsızdır ve klorofil değişkeni ile paralel olarak değişmemektedirler. Dolayısıyla bu bileşenlerin her biri ve dip etkisi suyun rengine farklı oranlarda etkimektedir. Bu durum; zamana, suyun coğrafik konumuna, rüzgar veya nehir akıntıları gibi farklı etkenlere göre değişiklik gösterebilmektedir (Miller vd., 2005). Bu sınıflandırma metoduna göre kıyısal sular, nehir suları ve göller Tip II sınıfına dahil edilmektedir. Optik açıdan değerlendirildiğinde Tip II suların bu karmaşık yapısıyla etkileşen radyasyon sinyalinin yoğunluğunu ve şeklini etkileyebilecek tüm maddeler modele dahil edilmektedir. Bu durum da Tip II sularda su kalitesi modellerini karmaşık ve çok parametrelili bir hale getirmektedir. Bu karmaşık model yapısı algoritmaların küresel olarak uygulanmasını engellemektedir. Bu sebeple farklı kıyılara veya denizlere has algoritmalar geliştirmelidir.

Uzaktan algılama çalışmalarında suyun bu sınıflardan hangisine dahil edileceğine karar verilmesi aşaması önemlidir. Bu sınıflandırma elde edilen su kalitesi belirleme algoritmalarının performansını doğrudan etkilemektedir. Bunun sebebi yukarıda anlatılan

maddelerin sensöre geri dönen sinyale yapmış olduğu etkinin doğru şekilde modellenemesidir.

1.4.3. Su Kalitesi Gözleme Metotları

Su kalitesi gözlemlerinde geleneksel metot ve uzaktan algılama metodu olmak üzere iki metot kullanılmaktadır.

1.4.3.1. Geleneksel Metot

Bu metotta su üzerinde bulunan gözlem istasyonları yardımıyla su örnekleri (*in-situ*) alınır ve bu numuneler laboratuvar ortamlarında analiz edilir. Sonuçlar doğrudan elde edilmesine rağmen oldukça zahmetli ve pahalı bir metottur. Ayrıca, oldukça dinamik yapıdaki Tip II su alanlarında düşük zamansal çözünürlüğü sebebiyle değişimin gözlemlenmesinde yeterli değildir. Bu durum su kalitesinin gözlenmesinde araştırmacıların uzakta algılama metotları üzerinde çalışmalarının yoğunlaşmasına sebep olmuştur.

1.4.3.2. Uzaktan Algılama Metodu

Tip I ve Tip II sulara ait biyo-optik parametrelerin doğru bir biçimde tahmininde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması önemli yer tutmaktadır. Günümüz uzaktan algılama sensörleri elektromanyetik spektrumun optik bölümünü kullanarak bu maddelerin değişimlerini ve konsantrasyonlarını belirleyebilmektedir. Ayrıca buna ilaveten uzaktan algılama metotları sayesinde bu veriler yüksek konumsal ve zamansal doğrulukta ifade edebilmektedir. Bununla birlikte geleneksel metoda nazaran daha az maliyetli ve daha hızlıdır.

Uzaktan algılama yöntemleri kullanarak su kalitesi belirleme çalışmaları istatistiksel ve analitik olmak üzere iki ana kategoride ifade edilebilir. İstatistiksel metotlar, uzaktan algılama sinyalleri ile eş zamanlı olarak, örnek bölgelerden alınmış olan *in-situ* verileri arasında çeşitli istatistiksel metotları kullanarak minimum hata ile parametre tahminine olanak sağlar. Bu yöntemin kullanılmasında en önemli dezavantaj eski tarihli kaydedilmiş görüntüler üzerinden yapılacak çalışmalarda kullanılabilen eş zamanlı alınmış *in-situ*

verisi bulunmasının çok zor oluşudur. Ayrıca bu metot yardımıyla kurulan algoritma sadece *in-situ* örneklerinin alındığı su ortamıyla aynı veya benzer özellikler gösteren ortamlarda kullanılabilir (Ronghua vd., 2004; Doxaran vd., 2002).

Analitik metotlarda ise, su ve suyun içinde bulunan optik olarak önemli parametreler (Bölüm 1.4.2) ile elektromanyetik radyasyonun etkileşimini içeren karmaşık biyo-optik modeller kullanılmaktadır. Farklı bölgelerde ve farklı sularda çalışabilmektedir. Fakat, bu yöntemin kullanılabilmesi için uygulanılacak su ortamıyla ilgili birçok parametrenin modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin elde edilebilmesi oldukça zor ve maliyetli bir iştir. Ayrıca, kurulan modelde bölgeyle ilgili doğru parametre değerleri kullanılmadığında su kalite parametrelerinin tahmininde büyük hatalar meydana gelmektedir (Dekker vd., 1999; Dekker vd., 2002; Doxaran vd., 2006; Ulanbek vd., 2003).

1.4.4. Tip II Sularda Uzaktan Algılama Yardımıyla AKM Haritalarının Üretilmesi

Tip II yapıdaki sularda bulunan AKM değerleri su kalitesine doğrudan etki etmektedir. AKM konsantrasyonları ve dağılımları ile elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerindeki R_r değerleri arasında yüksek bir ilişki vardır. Birçok araştırmacı tarafından bu ilişkiden faydalanarak farklı uzaktan algılama sensörlerine yönelik örnek *in-situ* verileri kullanarak birçok istatistiksel algoritma geliştirmiştir. Ayrıca bu amaçla geliştirilmiş *in-situ* verisi kullanmadan analitik metoda dayalı AKM tahminleri ve haritaları da üretilmiştir. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ronghua vd. (2004) çalışmasında Landsat ETM verilerinden faydalanarak AKM konsantrasyonları için en uygun regresyon modelini kurmaya çalışmıştır. R^2 değerini, eşzamanlı 11 örnek *in-situ* verisi için ETM4/ETM1 bant kombinasyonunu kullanarak 0.92 elde etmiştir.

Binding vd. (2003) çalışmasında SeaWiFS verilerini kullanarak 124 *in-situ* verisi üzerinden AKM bileşeni için b ve a katsayılarını tahmin için istatistiksel algoritmalar geliştirmiştir. Kırmızı/yeşil bant oranı ile a katsayısı için geliştirilen algoritmada R^2 değeri 0.87, b katsayısı ile kırmızı bant arasında geliştirdiği algoritma için ise R^2 değerini 0.91 olarak elde etmiştir.

Dekker vd. (2002) çalışmasında Landsat TM ve SPOT verilerini kullanarak AKM konsantrasyonunu tahmin etmek için bir analitik model kurulmuştur. Bu çalışma Landsat

TM ve Spot gibi sensörlerle ile bu yönde yapılmış ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır. Ayrıca analitik model kullanılmasından dolayı örnek *in-situ* verisi kullanılmamıştır. Çalışmada AKM için kurulan modelde Landsat için TM2 ve TM3 numaralı, SPOT için ise 1 ve 2 numaralı bantların ortalaması kullanılarak $R^2 = 0.99$ değeri elde edilmiştir.

Dekker vd. (2001) çalışmasında Landsat ETM sensörüne yönelik Yangtze nehri için DOS metodundan türetilmiş yeni bir atmosferik düzeltme yöntemi kullanmıştır. Landsat ETM4 bandına bu yöntem ile düzeltme getirildikten sonra kurduğu istatistiksel AKM tahmin algoritmasında R^2 değeri 0.92 olarak elde edilmiştir.

Onderka ve Pekárová (2008) çalışmasında Landsat ETM verileri ile Tuna nehri için AKM tahmin algoritması geliştirilmiştir. ETM4 numaralı bant için L_d ile AKM konsantrasyonları arasında 10 örnek *in-situ* verisi kullanmış ve R^2 değerini 0.93 olarak elde etmiştir ve TSM haritasını oluşturmuştur.

Doxaran vd. (2006) çalışmasında Fransa'nın Gironde nehrinde yüksek türbidite değerlerine sahip sular için Landsat ETM ve SPOT verilerine atmosferik düzeltme uyguladıktan sonra ETM4/ETM2 oranı ve Rr_s değerleri arasında kurduğu AKM konsantrasyonu tahmin algoritmasında, SPOT için $R^2 = 0.89$ Landsat için $R^2 = 0.88$ değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçların, aynı bölge için bilinen parametreler kullanılarak kurulmuş olan biyo-optik modelden elde edilen sonuçlar ile örtüştüğünü de göstermiştir.

Sözü edilen çalışmalardan da açıkça görüldüğü üzere AKM konsantrasyonu tahmininde ve haritalanmasında uzaktan algılama tekniği bölgesel bazda oldukça başarılı sonuçlar verebilmektedir. Bu durum su kalitesi gözlemlerinin daha dinamik bir yapıya kavuşmasına yardımcı olduğunun bir göstergesidir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

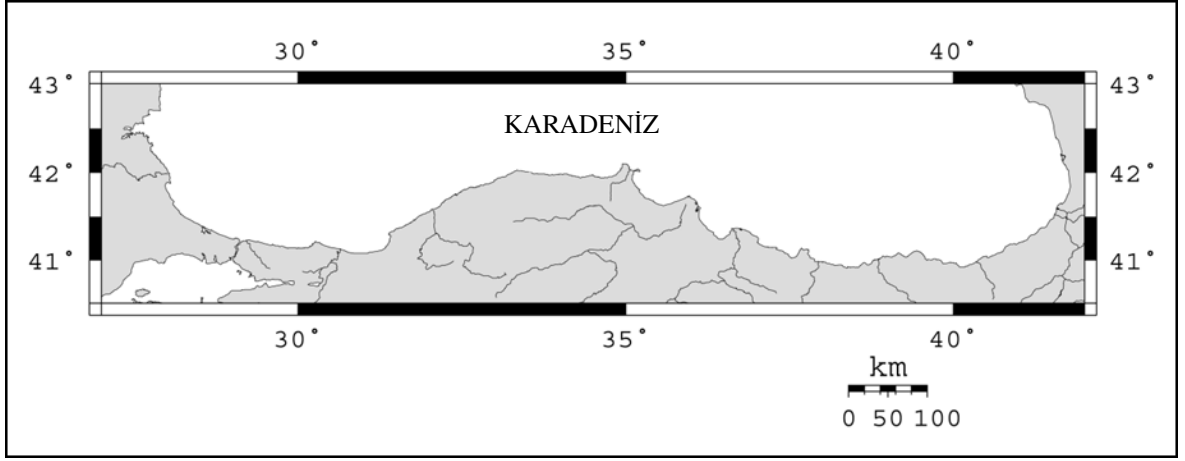
2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Karadeniz'in tüm güney kıyı şeridini içine alan ve Türkiye sınırları içinde kalan tüm bölge ile Gürcistan'ın bir bölümü çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 8). Karadeniz kıyı şeridi yaklaşık 1700 km uzunluğundadır. Karadeniz bölgesinin topoğrafyası incelendiğinde dağların kıyıya paralel durumda olduğu ve sahilden yaklaşık 30 km iç kısımlardan itibaren keskin bir biçimde yükseldiği bir yapıyla karşılaşılmaktadır. Bu durum nüfusun çoğunlukla kıyı şeridi boyuca yığılmasına ve kıyı kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır.

Karadeniz kıyı şeridinden denize boşalan Çoruh, Kızılırmak (1355 km), Yeşilirmak (519 km), Sakarya (228 km), Filyos (228 km), Melet (165 km), Melen (149 km), Bartın (107 km) ve bunların dışında daha birçok küçük nehir AKM konsantrasyonunu büyük oranda etkileyen ve artıran nehirlerdir. Özellikle Çoruh, Kızılırmak, Yeşilirmak ve Sakarya nehirleri hem debileri hem de güzergahlarının oldukça uzun olması sebebiyle, kıyılara yoğun miktarda AKM taşımaktadır (Tuncer vd., 1998).

Karadeniz bölgesi büyük oranda kuzey Atlantik kaynaklı sinoptik siklonların (bölgede sürekli gözlemlenen saat yönünün aksi yönündeki hava kütlesi hareketleri) etkisi altındadır. Bunlar batı yönden esen rüzgârlar tarafından taşınmaktadır. Yüksek kıyı dağları orta ölçekteki atmosferik sirkülasyonu ve siklon dinamiğini etkilemektedir. Karadeniz bölgesi ılıman ve yağışlı iklimsel özellikler taşımaktadır. Karadeniz iklim yapısı özellikle kıyıya paralel dağların eteklerinden Karadeniz üzerine dek uzanan bir alanda etkisini göstermektedir. Bu iklim karakteristik olarak havadaki yüksek nem miktarının yoğunlaşması sonucu, yazları ve kışları yüksek oranlarda yağışlı ve nemli bir özellik göstermektedir. Bölgenin özellikle doğu Karadeniz bölümü bu özelliğiyle ortalama olarak Türkiye'nin en yoğun yağış alan bölgesidir. Bu bölümde birkaç gün gibi kısa zaman aralıklarında yüksek yağış düşüşleri, bazen aylık olarak düşen miktarlara eşit olmakta buda çok sık sel ve toprak kaymalarına yol açmaktadır. Sel olayları ve diğer şartlar bölgenin topoğrafik yapısına önemli zarar verebilmektedir (Gürgen, 2004). Karadeniz üzerinde baskın olarak siklonik yapıda ve tamamen zamana bağlı oluşmuş havza sirkülasyonları meydana gelmektedir ve bu durum hemen hemen tüm kıtasal bölgede aynı biçimdedir.

Akıntı rejimi, siklonik rüzgâr şeklinin etkisi ile meydana gelmektedir ve bu durum kenar akıntısı olarak adlandırılmaktadır. Yazları, kenar akıntısı girdap ve döngülerinin Türkiye kıyıları boyunca yoğunlaşmakta olduğu gözlemlenmektedir (Poulain vd., 2005). Tüm akıntı rejimi düşünüldüğünde kıyısal suların derin iç sular ile olan etkileşiminde kenar akıntılarının etkisi önemlidir. Karadeniz gibi nispeten küçük sayılabilecek bir havza içinde farklı kıyıların birbirlerine olan etkileşimleri büyük önem taşımaktadır. Bu durum önemli miktarda temiz su, besin ve diğer materyallerin büyük nehirler vasıtasıyla denize akmasına ve akıntılar ile kıyı boyunca hareket ettikten sonra türbülans hareketleri ile havzanın içine doğru enjekte olmasına sebep olur.



Şekil 8. Çalışma alanı

2.2. Veri

2.2.1. Landsat TM Görüntüleri

Landsat programı, 1972 tarihinden itibaren yaklaşık 36 yıldır dünya yüzeyi ile ilgili kalibre edilmiş yüksek konumsal çözünürlüklü uzaktan algılama verisi sağlamaktadır. NASA tarafından program dahilinde 23 Temmuz 1972 tarihinde uzaya gönderilen Landsat 1 uydusu uzaktan algılama amaçlı üretilen ilk uydu olma özelliğini taşımaktadır ve üzerinde 80 m konumsal çözünürlükte tarama yapabilen MSS (Multispectral Scanner) sensör taşımaktadır. Ardından benzer şekilde tasarlanmış Landsat 2 ve 3 uyduları sırasıyla 1975 ve 1978 tarihlerinde uzaya gönderilmiştir.

1982 yılında üzerinde TM (Thematic Mapper) olarak bilinen yeni bir donanım ve MSS taşıyan Landsat 4 TM uzaya gönderilmiştir. Ayrıca konumsal çözünürlüğü 30 m'ye yükseltilmiş ve üç yeni spektral bant ilave edilmiştir. Ardından 1984 yılında Landsat 5 TM uydusu uzaya gönderilmiştir. Landsat 4 ve 5 aynı donanımsal özelliktedirler. Üzerinde, pankromatik (siyah beyaz) tarama yapabilen bir sistem taşıyan LANDSAT 6 uydusu, 1993 yılında fırlatılma esnasında oluşan patlama sonucu kaybedilmiştir. Programın son uydusu olarak uzaya gönderilen Landsat 7, üzerinde ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) sensör taşımaktadır. Landsat 4 ve 5' de bulunan 7 banda ek olarak üzerinde 15 m çözünürlüğe sahip pankromatik bant (0.50–0.90 μm) bulunmaktadır. Ayrıca termal bandının konumsal çözünürlüğü de 60 m'ye çıkartılmıştır (Tablo 1). Landsat görüntüleri günümüzde konumsal olarak çok yüksek çözünürlük değerlerine ulaşamamasına rağmen zamansal çözünürlükleri açısından değerlendirildiğinde eşsiz bir uzaktan algılama veri kaynağıdır. Çok uzun periyotta kesintisiz görüntü alınmış olması sebebiyle bu görüntüler yardımıyla çevresel değişimler kolaylıkla ve periyodik olarak takip edilebilmektedir.

Tablo 1. Landsat uydusu genel özellikleri (Chander vd., 2009).

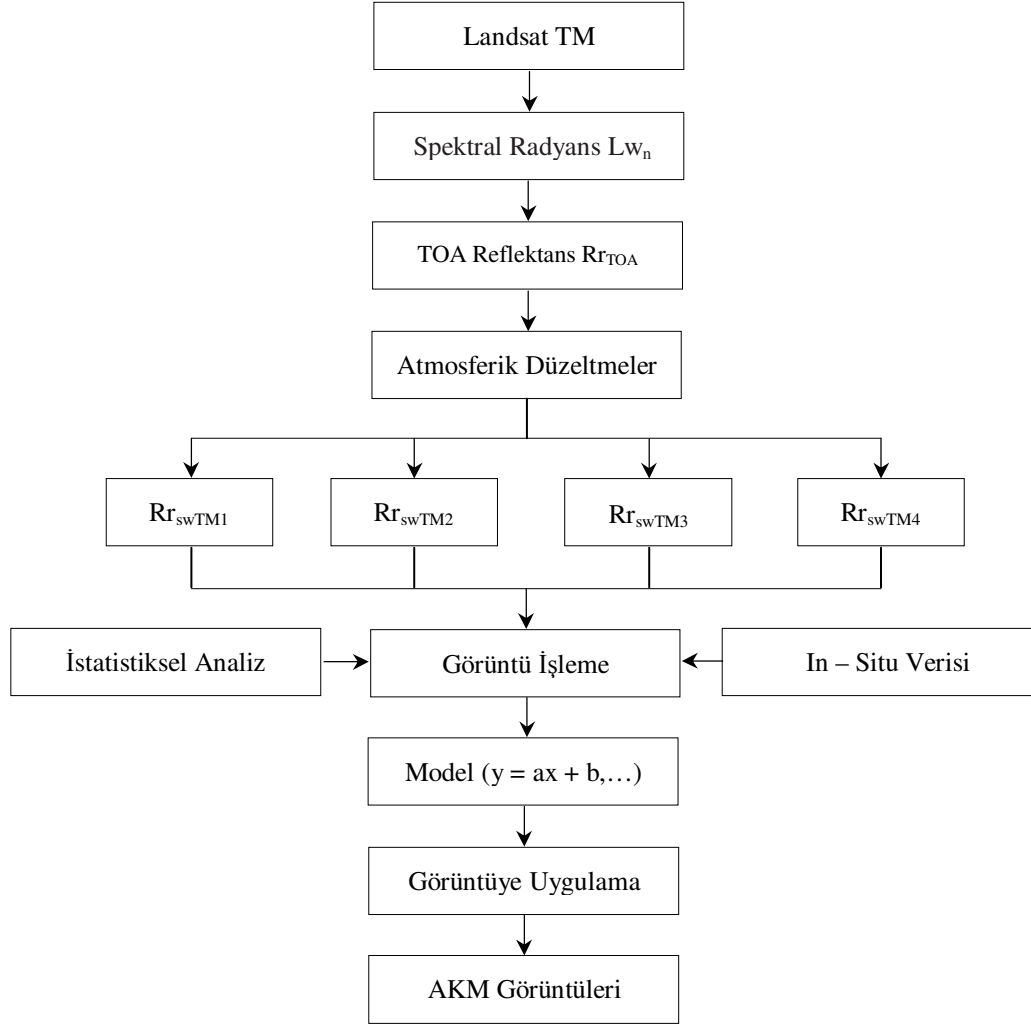
Uydu	Sensörler	Fırlatılma Tarihi	İrtifa (km)	Yatıklık (derece)	Periyot (gün)	Düşüş Saati
Landsat 1	MSS ve RBV	Temmuz 23, 1972	920	99.2	18	9:30
Landsat 2	MSS ve RBV	Ocak 22, 1975	920	99.2	18	9:30
Landsat 3	MSS ve RBV	Mart 5, 1978	920	99.2	18	9:30
Landsat 4	MSS ve TM	Temmuz 16, 1982	705	98.2	16	9:45
Landsat 5	MSS ve TM	Mart 1, 1984	705	98.2	16	9:45
Landsat 6	ETM	Eylül 5, 1993	-	-	-	-
Landsat 7	ETM+	Nisan 15, 1999	705	98.2	16	10:00

Çalışmada, çalışma alanını kapsayan Landsat 5 TM 1, 2, 3, 4 ve 5 bantlarına ait 30 m konumsal çözünürlükte dokuz adet görüntü kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Uygulamada kullanılan görüntüler (* *in-situ* verisi bulunan bölgeler)

No	Görüntü Adı	Alınma Tarihi	Sensör
1	172r31	1987/08/16	TM
2	173r31	1987/09/24	TM
3*	174r31	1988/08/24	TM
4	175r31	1987/10/08	TM
5	176r31	1987/07/27	TM
6	177r31	1987/07/02	TM
7*	178r31	1987/07/25	TM
8*	179r31	1987/09/18	TM
9*	180r31	1987/09/25	TM

Şekil 9’da bulunan akış diyagramına göre girdi verileri (uydu görüntüleri ve *in-situ* verileri) işlenerek AKM konsantrasyonunu ve dağılımını ifade eden görüntülere ulaşılmıştır. Akış diyagramı incelendiğinde, öncelikle kalibre edilmiş DN formatındaki Landsat TM görüntüleri spektral radyans görüntülerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu görüntüler uygun parametreler kullanılarak TOA reflektans görüntülerine dönüştürülmüştür. Ardından çeşitli atmosferik düzeltmeler yapıldıktan sonra Rr_{sw} görüntüleri elde edilmiştir. Örneklere ilişkin Rr_{sw} değerleri ile AKM konsantrasyonları arasında yapılan lineer regresyon analizlerinden sonra en uygun regresyon modeli kurulmuş ve Rr_{sw} görüntülerine uygulanarak AKM konsantrasyonlarını ve dağılımını gösteren görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 9. Akış diyagramı

2.2.2. In-Situ Verisi ile AKM Ölçümü

Bu işlem için öncelikle filtre süzme setine yerleştirilir. Daha sonra bir yandan vakum uygulanarak filtre üç kez 20 ml distile (saflaştırılmış) su ile yıkanır. Filtrede hiç su kalmayınca kadar vakum uygulanılır ve yıkama suyu dökülür. Bu işlemin ardından filtre etüvde 103-105 °C'de bir saat kurutulur. Kurutma esnasında, havadaki nemden etkilenmemesi için desikatörde tutulur. Ardından filtre dikkatli bir şekilde desikatörden alınarak tartılır. Bu esnada bazı örnekler filtrenin kısa süre içinde tıkanmasına yol açabilir. Bu durum süzülme işlemini engelleyebilmektedir. Bu durumu önleyebilmek için daha az numune kullanılarak kurutma yapılmalıdır.

Filtre üzerinde çok fazla numune kalması durumunda kurutma işlemi uzayacağı için tahminen AKM miktarı 200 mg'ı geçmeyecek şekilde numune hacmi belirlenmelidir. Tahmini AKM değerine göre iyice karıştırılmış örnekten, mezür yardımıyla en az 100 ml örnek alınır ve vakum yardımıyla filtreden süzülmesi sağlanır. Bu aşamada mezürün kenarlarında bulaşmış kalıntı kalmamasına dikkat edilir. Mezür kenarlarına bulaşan kalıntılar, distile su ile yıkanılır ve ardından filtrelenir.

Filtre dikkatli bir şekilde, pens yardımıyla aparattan alınarak bir alüminyum kabın içine koyulur. En az bir saat süreyle etüvde 103-105 °C kurutma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemin ardından desikatörde soğutularak tartılır. Kurutma, soğutma ve tartma işlemleri ardışık iki tartım değeri arasındaki fark 0.5 mg oluncaya dek tekrarlanır. Son olarak elde edilen değer AKM ağırlığıdır.

Çalışmada dört farklı görüntü üzerinde bulunan 27 adet örnekten elde edilmiş AKM ölçüleri kullanılmıştır. Kullanılan yerinde ölçüm AKM verileri NATO-TU Karadeniz projesine ait veriler olup proje kapsamında hazırlanan veritabanından alınmıştır (Vladimirov vd.,1998; Vladimirov vd., 1999). Bu değerler tablo 3'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan *In-situ* verileri

No	Alınma Tarihi	Boylam	Enlem	UTM Zone	AKM(gr/m ³)
1	07.09.1988	37.25	41.5	37	0.58
2	08.09.1988	37.5	41.25	37	0.64
3	09.09.1988	38	41.08333	37	2.6
4	10.09.1988	38.39667	41.16667	37	0.6
5	11.09.1988	39	41.33333	37	1.05
6	12.09.1988	38.39167	41.75	37	0.78
7	26.08.1987	31.33333	41.83333	36	1.12
8	28.08.1987	29.33333	41.25	35	0.86
9	26.08.1987	31.33333	41.83333	36	1.12
10	27.08.1987	30.5	41.5	36	0.18
11	27.08.1987	30.66667	41.33333	36	0.6
12	27.08.1987	30.66667	41.5	36	0.8
13	27.08.1987	30.83333	41.25	36	0.5
14	28.08.1987	30.33333	41.25	36	0.72
15	28.08.1987	30.5	41.33333	36	0.36
16	25.08.1987	28.5	41.5	35	0.66
17	25.08.1987	29	41.5	35	0.68
18	25.08.1987	29	41.33333	35	0.64
19	26.08.1987	28.16667	41.83333	35	0.7
20	26.08.1987	28.5	41.83333	35	0.66

Tablo 3'ün devamı

21	26.08.1987	28.66667	41.83333	35	0.33
22	26.08.1987	29	41.83333	35	0.91
23	26.08.1987	29.33333	41.83333	35	0.68
24	28.08.1987	29.33333	41.5	35	0.9
25	28.08.1987	29.33333	41.25	35	0.86
26	28.08.1987	29.66667	41.25	35	0.7
27	28.08.1987	30	41.25	36	0.74

2.3. Uydu Görüntülerinin İşlenmesi

Bu bölümde Spektral radyans görüntülerinden Rr_{sw} görüntülerine dönüşüm sürecinde yapılan işlemler anlatılmıştır.

2.3.1. Kalibrasyon

Uygulamada kalibre edilmiş (Q_{cal}) DN birimindeki uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bunun nedeni, küresel bazda meydana gelen çevresel etkilerin ancak kalibre edilmiş sensör verileri (hataları ve hassasiyetleri bilinen) üzerinden elde edilebilmesidir. Bu da uzun periyotlarda uzaktan algılama çalışmaları sonucu elde edilmiş verileri doğru yorumlayabilme ve bu verilerdeki gerçek değişimler ile hatalardan kaynaklanan değişimleri birbirinden ayırabilme imkanını sağlamaktadır (Chander vd., 2009).

2.3.2. Radyans Görüntülerine Dönüşüm

Öncelikli olarak her bir görüntü için DN değerleri sensör radyans ($W/m^2sr^1\mu m^1$) değerlerine dönüştürülmüştür. Bu işlemin yapılmasındaki amaç görüntü verisinin farklı platformlarda ve özellikle akuatik çalışmalarda kullanılan literatürle uyumlu, genel manada bir fiziksel ölçüm birimi olan radyans değerlerinin kullanılmak istenilmesidir. Bu işlem sırasında Landsat TM sensörü için kalibrasyon katsayılarının zaman içerisinde değişime uğrayabilmesinden dolayı en güncel kalibrasyon parametrelerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple TM sensörü için Chander vd. (2009) tarafından geliştirilen en güncel kalibrasyon parametreleri ve dönüşüm eşitlikleri kullanılmıştır (Tablo 4). DN değerlerinde sensör radyans değerlerine dönüşüm için (8) eşitliğinden faydalanılmıştır. Bu

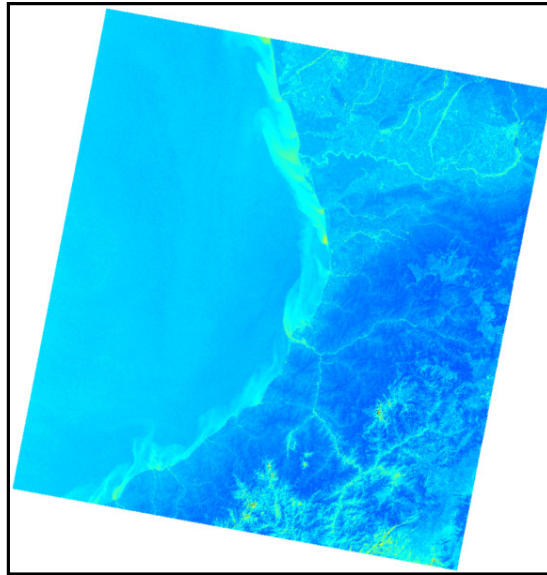
eşitlik kullanılarak Matlab 2009a yazılımında bir program kodlanarak görüntülere uygulanmıştır. 172r31 görüntüsü 1. bandı için elde edilen radyans görüntüsü şekil 10'de görülmektedir.

$$G_{rescale} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \quad (6)$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} + LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} + Q_{calmin}} \right) Q_{calmin} \quad (7)$$

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \cdot Q_{cal} + B_{rescale} \quad (8)$$

(6), (7) ve (8) eşitliklerinde; Q_{cal} kalibre edilmiş piksel değerini (DN) ifade etmektedir. Denklemde, Q_{calmin} minimum kalibre edilmiş piksel değeri (DN) olup 1 alınır. Q_{calmax} maksimum kalibre edilmiş piksel değeri (DN) olup 255 alınır. $LMIN_{\lambda}$ Q_{calmin} değerine karşılık gelen sensör radyans ($W/m^2sr^1\mu m^1$), $LMAX_{\lambda}$ Q_{calmax} değerine karşılık gelen sensör radyans ($W/m^2sr^1\mu m^1$), $G_{rescale}$ bant için özel gain faktörü ($W/m^2sr^1\mu m^1 / DN$) ve $B_{rescale}$ ise bant için özel bias faktörüdür ($W/m^2sr^1\mu m^1$).



Şekil 10. 172r31nolu görüntüye ait 1. bant radyans görüntüsü

2.3.3. Rr_{TOA} Görüntülerine Dönüşüm

Bu işlemin ardından Matlab programında, radyans görüntüleri (9) eşitliği yardımıyla Rr_{TOA} değerlerine dönüştürülmüştür. Bu esnada kullanılan $ESUN_{\lambda}$, d ve θ_s parametreleri (genel bilgiler bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır) her görüntü ve her bant için tanım dosyasından alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Landsat 4 ve 5 TM için Spektral bant aralıkları, kalibrasyon parametreleri ve dönüşüm sabitleri (Chander vd., 2009).

TM SENSORS ($Q_{calmin} = 1$ and $Q_{calmax} = 255$)							
Band	Spectral range	Center wavelenght	LMIN $_{\lambda}$	LMAX $_{\lambda}$	G $_{rescale}$	B $_{rescale}$	ESUN
Units	μm		W/(m ² sr m)		(W/m ² sr m)/DN	W/(m ² sr m)	W/(m ² m)
L4 TM (NLAPS)							
1	0.452-0.518	0.485	-1.52	152.10	0.602431	-1.52	1983
2	0.529-0.609	0.569	-2.84	296.81	1.135098	-2.84	1795
3	0.624-0.693	0.659	-1.17	204.30	0.805765	-1.17	1539
4	0.776-0.905	0.841	-1.51	206.20	0.814549	-1.51	1028
5	1.568-1.784	1.676	-0.37	27.19	0.108078	-0.37	219.8
6	10.42-11.66	11.040	1.2378	15.3032	0.055158	1.2378	N/A
7	2.097-2.347	2.222	-0.15	14.38	0.056980	-0.15	83.49
L4 TM (LPGS)							
1	0.452-0.518	0.485	-1.52	163	0.647717	-2.17	1983
			-1.52	171	0.679213	-2.20	
2	0.529-0.609	0.569	-2.84	336	1.334016	-4.17	1795
3	0.624-0.693	0.659	-1.17	254	1.004606	-2.17	1539
4	0.776-0.905	0.841	-1.51	221	0.876024	-2.39	1028
5	1.568-1.784	1.676	-0.37	31.4	0.125079	-0.50	219.8
6	10.42-11.66	11.040	1.2378	15.3032	0.055376	1.2378	N/A
7	2.097-2.347	2.222	-0.15	16.6	0.065945	-0.22	83.49
L5 TM (LPGS)							
1	0.452-0.518	0.485	-1.52	169	0.671339	-2.19	1983
			-1.52	193	0.765827	-2.29	
2	0.528-0.609	0.569	-2.84	333	1.322205	-4.16	1796
			-2.84	365	1.448189	-4.29	
3	0.626-0.693	0.660	-1.17	264	1.043976	-2.21	1536
4	0.776-0.904	0.840	-1.51	221	0.876024	-2.39	1031
5	1.567-1.784	1.676	-0.37	30.2	0.120354	-0.49	220.0
6	10.45-12.42	11.435	1.2378	15.3032	0.055376	1.18	N/A
7	2.097-2.349	2.223	-0.15	16.5	0.065551	-0.22	83.44

2.3.4. Rr_{sw} Görüntülerine Dönüşüm

Bu aşamadan sonra elde edilen Rr_{TOA} görüntüleri için yüzey reflektanslarının hesaplanması gerekmektedir. Fakat bu görüntüler üzerinde atmosferik saçılmalardan ve diğer etkenlerden kaynaklanan bazı etkiler mevcuttur (Bölüm 3.4.1’de detaylı açıklanmıştır). Yüzey reflektansına geçiş için bu etkilerin görüntü üzerinden giderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Wang vd. (2007) tarafından DOS atmosferik düzeltme metodundan türetilmiş olan TZB5 metodu kullanılarak atmosferik düzeltme yapılmasına karar verilmiştir. TZB5 metoduna göre Rr_{sw} için eşitlik:

$$Rr_{sw} = \frac{\pi \cdot (L_d - L_{haze}) \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s \cdot TAU_z} \quad (9)$$

şeklinde yazılır. Burada,

$L_d = L_{\lambda}$ ve $TAU_z = T_{atm}$ (atmosferik geçirgenlik katsayısı) değerlerini ifade etmektedir.

Metotta TAU_z katsayısının tahmin etmek için atmosferik *in-situ* örneklerinden istatistiksel olarak geliştirilmiş olan (bkz. 10, 11, 12, 13 ve 14) denklemleri kullanılarak TAU_z değerleri tüm görüntülerde ilk beş bant için hesaplanmıştır. TAU_z değerleri denklemde yerine yazılarak T_{atm} etkisi görüntüler üzerinden giderilmiştir.

$$TAU_{z_{Band1}} = \cos(\theta_s) \times 100 + 0.9275 \times \theta_s - 43.203 \quad (10)$$

$$TAU_{z_{Band2}} = \cos(\theta_s) \times 100 + 0.8960 \times \theta_s - 34.204 \quad (11)$$

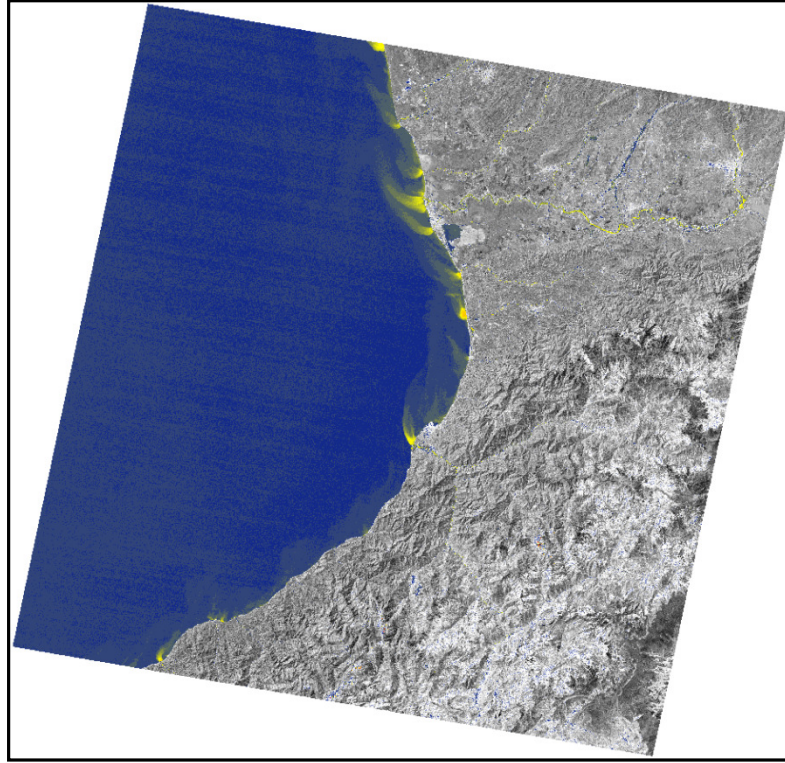
$$TAU_{z_{Band3}} = \cos(\theta_s) \times 100 + 1.0241 \times \theta_s - 32.134 \quad (12)$$

$$TAU_{z_{Band4}} = \cos(\theta_s) \times 100 + 1.1114 \times \theta_s - 28.870 \quad (13)$$

$$TAU_{z_{Band5}} = \cos(\theta_s) \times 100 + 1.1114 \times \theta_s - 28.870 \quad (14)$$

Gelinen aşamada T_{atm} etkisi giderilmiş olmasına rağmen L_{haze} etkisi ortadan kalkmadığı için halen yüzey reflektans değerlerine ulaşılamamıştır. Metotta suyun absorbe

etkisinin dalga boyu ile doğru orantılı olarak arttığından yola çıkılarak 5. bandın atmosferik saçılma etkilerini temsil ettiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla metoda göre L_{haze} etkisinin giderilebilmesi için 1, 2, 3 ve 4 numaralı bantlardan 5. bant için bir önceki aşamada hesaplanan değerler çıkartılarak yüzey reflektanslarına erişilmiştir. Bu şekilde tüm görüntülerin ilk dört bandı için yüzey reflektansları hesaplanmıştır. 172r31 görüntüsünün 3. bandı için oluşturulan Rr_{sw} görüntüsü şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. 172r31 görüntüsü 3. bant için oluşturulan Rr_{sw} görüntüsü

2.4. In-Situ Verisi ile Yüzey Reflektanslarının Konumsal ve Zamansal Olarak Eşleştirilmesi

Tablo 3’de verilmiş olan *in-situ* örnekleri alınma tarihleri itibariyle görüntülerle karşılaştırılmış ve 174r31, 178r31, 179r31, 180r31 (bkz. tablo 3 de * işaretli) görüntüleriyle yakın zamanlı oldukları anlaşılmıştır. En yakın *in-situ* verisi ile görüntü eşleşmesi 20 gün, en uzak eşleşme ise 46 gün olmuştur. Literatür bu eşleşmelerin çok daha yakın tarihler olmasını gerektirmesine rağmen geçmiş tarihli Landsat görüntüleri üzerinde

çalışma yapıldığı için uygun veri bulmak oldukça zordur. Bu sebeple en yakın eşleşmeler kullanılmıştır.

Matlab programında coğrafi koordinatlarla alınmış olan *in-situ* verileri UTM koordinatlarına dönüştürülmüştür. Coğrafi koordinat kullanılmamasının nedeni görüntülerin geometrik olarak UTM sisteminde referanslı olmasıdır. Matlab ortamında geliştirilen program yardımıyla ilgili *in-situ* verileri ilgili görüntüler ile eşleştirilerek her örneğe karşılık gelen 1., 2., 3., 4. ve 5. bant Rr_{sw} değerleri seçtirilmiş ve Excel ortamında kaydedilmiştir.

2.5. Regresyon Analizi ve Denklemin Kurulması

Regresyon işlemine geçmeden önce tüm bant kombinasyonlarında sonuçları görebilmek için *in-situ* örneklerine karşılık gelen 1., 2., 3. ve 4. bantların Rr_{sw} değerlerinin 23 farklı kombinasyonu oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar tablo 5’de ifade verilmektedir.

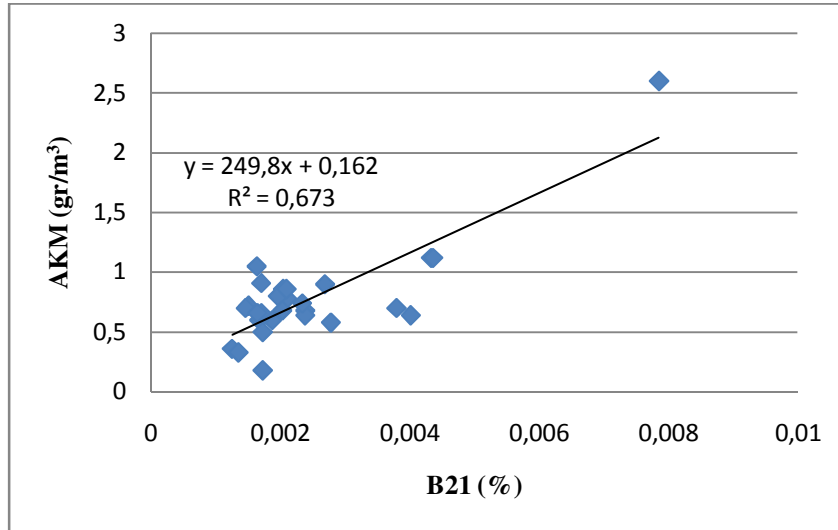
Tablo 5. Çalışmada kullanılan bant kombinasyonları

Kombinasyon No	Formül
B1	TM2/TM1
B2	TM2/TM3
B3	TM3/TM1
B4	TM4/TM1
B5	TM4/TM2
B6	TM4/TM3
B7	$(TM1+TM2+TM3+TM4)/4$
B8	$(TM1+TM2+TM3)/3$
B9	$(TM1+TM3)/2$
B10	$(TM2+TM3)/2$
B11	$(TM3+TM4)/2$
B12	$(TM2+TM4)/2$
B13	$(TM1+TM4)/2$
B14	$(TM2-TM4)/(TM2+TM4)$

Tablo 5'in devamı

B15	$(TM3-TM4)/(TM3+TM4)$
B16	$(TM1*TM3)^{1/2}$
B17	$(TM3*TM4)^{1/2}$
B18	$(TM2*TM4)^{1/2}$
B19	$TM1^2$
B20	$TM2^2$
B21	$TM3^2$
B22	$TM4^2$
B23	$(TM1*TM4)^{1/2}$

Bu işlemden sonra 23 bant kombinasyonu ve dört banda ait Rr_{sw} ile örneklere ait AKM değerleri arasında yapılan lineer regresyon analizlerinde en yüksek R^2 değeri B21 ile elde edilmiştir. Eşleşmeye ait regresyon grafiği şekil 12'de görülmektedir. Bu grafikte x eksenini görüntü üzerinde her bir örneğe karşılık gelen pikselin Rr_{sw} değerlerini, y eksenini ise AKM konsantrasyonlarını ifade etmektedir. Bu iki değer arasında Karadeniz için AKM tahmin algoritması kurulmuştur.



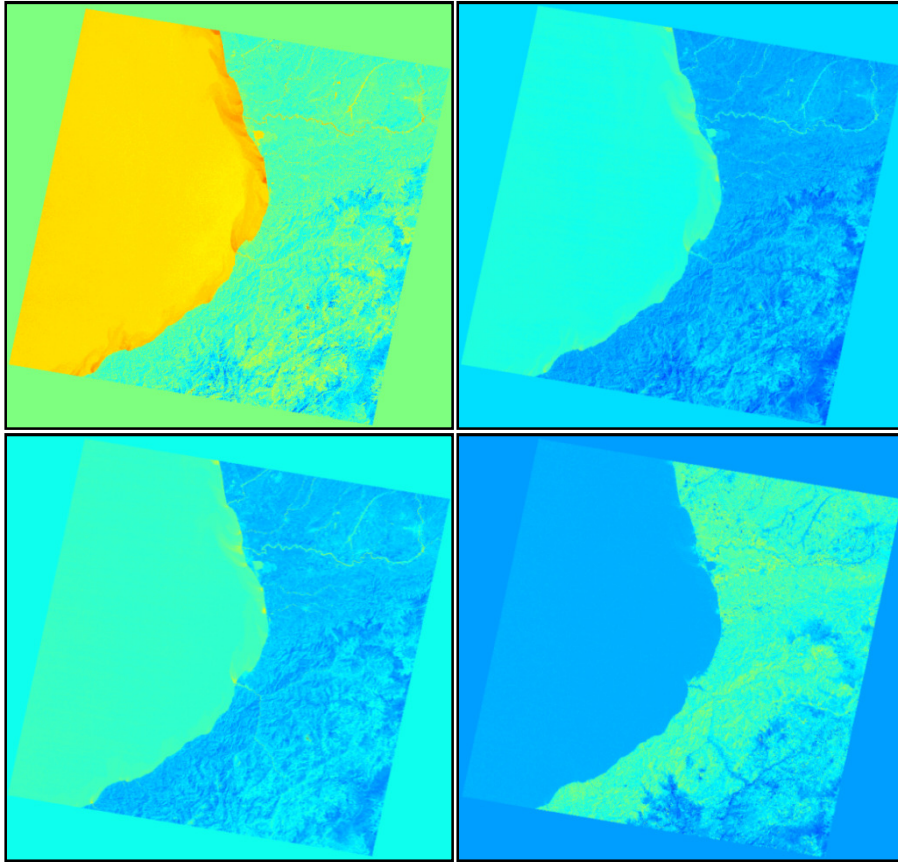
Şekil 12. Örnekler ve kullanılan B21 kombinasyonu arasındaki ilişki

2.6. AKM Haritalarının Üretilmesi

Matlab ortamında 9 görüntüye ilişkin Rr_{sw} değerlerine AKM tahmin algoritması uygulanılarak AKM görüntüleri üretilmiştir. Bu görüntüler üzerinden karasal bölgeler çeşitli görüntü işleme teknikleri (eşikleme ve bant aritmetiği) yardımıyla maskelenerek AKM konsantrasyonları ve dağılımı ortaya koyulmuştur. Görüntü işleme aşaması açıklanacak olursa öncelikle tüm görüntülere ait TM 5 bantları eşiklenerek binary (ikili) formatına geçilmiştir. Bu formatta karasal bölgeleri temsil eden piksel değerlerinin 0, suyu temsil edenlerin ise 1 sayısal değerini alması sağlanmıştır. Bu görüntüler maske görüntüsü olarak kullanılmış ve daha önce elde edilmiş AKM görüntüleri ile çarpılmaları sonucu karasal bölgeler görüntülerden maskelenmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Uygulama esnasında hesaplanmış olan yüzey reflektans görüntüleri (Bölüm 2.2.4) incelendiğinde, genel olarak Karadeniz kıyı bölgelerinde özellikle nehir ağızlarında oluşan AKM konsantrasyonu yüksek sular sebebi ile türbid bölgeler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 13). Nehir ağızlarında oluşan bu bölgelerin canlı yaşamı ve denizel ortam yönünden önemli etkileri olabilmektedir. Örneğin; 172r31 görüntüsüne ait 1, 2, 3 ve 4 bantları için hesaplanmış Rr_{sw} görüntüleri incelenirse, nehir ağızlarında oluşan ve akıntı etkisi ile hareket eden türbid bölgeler kolaylıkla fark edilebilir. Bu görüntü Batum'un güneyinden Artvin kıyılarına kadar uzanan kıyısız bölgeyi temsil etmektedir. Bölgede Çoruh nehrinin yüksek AKM konsantrasyonunun kıyıya olan etkisi dikkat çekici bir şekilde görülmektedir. Burada türbid plume alanlarının kenar akıntısı etkisiyle sağa doğru yöneldiği görülmektedir.



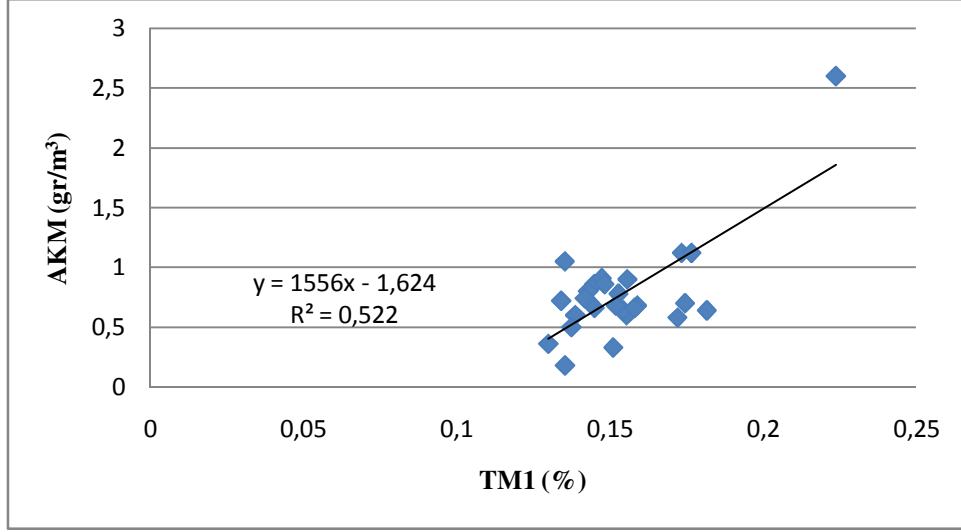
Şekil 13. 172r31 için Rr_{sw} görüntüsü 1, 2, 3 ve 4 bantları

Aynı şekilde bu gözlemler tüm Karadeniz sahilinde yapılmış ve türbid sahalarının Rr_{sw} görünümü tüm görüntülere ait 1, 2, 3 ve 4 bantları üzerinde ortaya koyulmuştur. Türbid bölgelerin özellikle doğu ve orta Karadeniz bölgesi sahillerinde yoğunlaştığı görüntüler üzerinden anlaşılabilir. Bu durumun sebepleri Bölüm 2.1.'de çalışma alanı bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır. Özellikle Çoruh ve Kızılırmak gibi büyük nehirlerin bölgede kıyılara yoğun miktarda AKM taşınması sonucu kıyısal suların optik yapısında meydana gelen değişimler Rr_{sw} görüntüleri üzerinde fark edilebilmektedir.

Tamamen Tip II sulara ait optik özellikleri taşıyan bu nehirler ve kıyısal bölgeler için AKM konsantrasyonlarının ve dağılımının tespiti büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla bölgede uzun zaman aralıklarında yapılmış *in-situ* gözlemleri üzerinden AKM ölçümleri yapılmıştır. Ancak bu ölçümler tüm bölgeyi temsil edememekle beraber türbid bölgeler gibi oldukça dinamik yapıdaki alanların gerçek zamanlı gözlemlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla bölgede eşzamanlı AKM hareketlerinin takip edilebilmesi ve konsantrasyonlarının belirlenebilmesi amacıyla uzaktan algılama teknolojisinden faydalanılmalıdır. Bu amaçla 1987 ve 1988 yılları içinde yapılmış olan *in-situ* gözlemleri ile aynı tarihli olarak eşleşen dört Landsat TM görüntüsü istatistiksel model kurulmuştur. Modelde kullanılan görüntülerden 174r31 görüntüsü Ordu ve Samsun kıyıları ve çevresini, 178r31 görüntüsü Zonguldak kıyıları ve çevresini, 179r31 görüntüsü Sakarya kıyılarını ve çevresini, 180r31 görüntüsü İstanbul kıyıları ve çevresini temsil etmektedir. Eşzamanlı veri eksikliği sebebiyle istatistiksel modelde tüm görüntüler kullanılamamıştır. Buna rağmen eldeki *in-situ* verilerinin Doğu, Orta ve Batı Karadeniz kıyıları üzerinde algılanmış görüntüler üzerinde mevcut olması, modelde kullanılan görüntülerin bölgenin bütün kıyısal özelliğini temsil edebilmesine olanak sağlamaktadır.

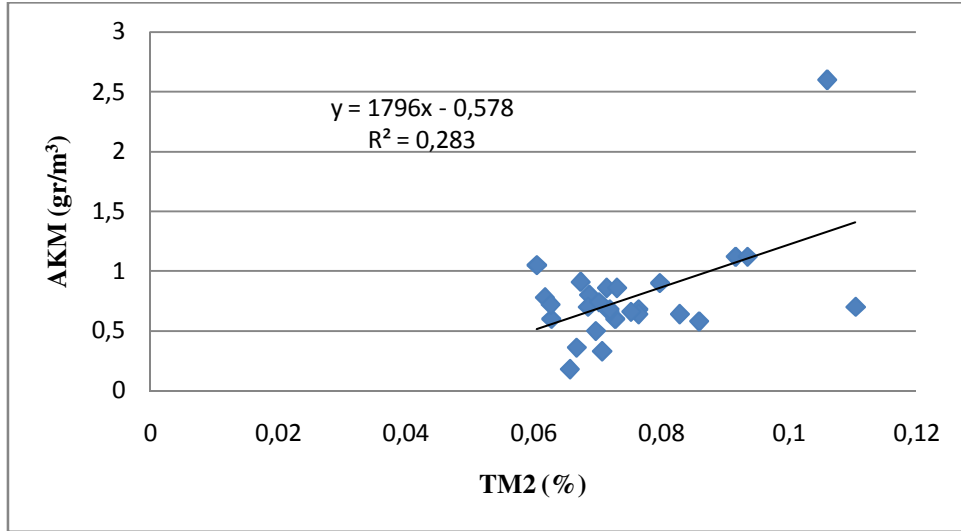
İstatistiksel analiz aşamasında her bir *in-situ* verisinin üzerinde bulunduğu görüntünün 1, 2, 3 ve 4 numaralı spektral bantlarına ve bu bantların çeşitli kombinasyonlarına (kombinasyonlar Bölüm 2.5. de açıklanmıştır) ait Rr_{sw} değerleri ile AKM değerleri arasında kurulan istatistiksel modelleri inceleyecek olursak:

Şekil 14'de TM1 bandı ile AKM konsantrasyonları arasında yapılan lineer regresyonda kullanılan 27 örnek üzerinde R^2 değeri 0.52 olarak tespit edilmiştir. Regresyon katsayısının burada beklenildiği kadar yüksek çıkmamasının nedeni, Landsat TM 1 bandının bulunduğu spektral aralığın (0.452-0.518 μm) AKM'nin yüksek saçılma değerleri göstermediği bir bölge olması durumundan yola çıkılarak belli oranda açıklanabilir.



Şekil 14. TM1 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

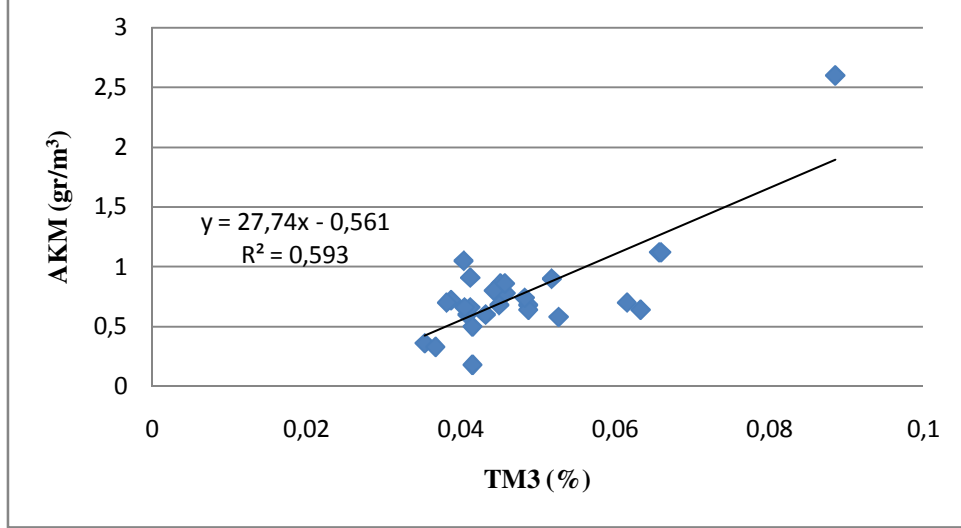
Yine benzer biçimde şekil 15’de bulunan regresyon grafiği incelendiğinde, örnek veriler için TM 2 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasında kurulan regresyon modelinde oldukça düşük R^2 değeri elde edilmesi sebebiyle bu parametreler arasında ilişki olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 15. TM2 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

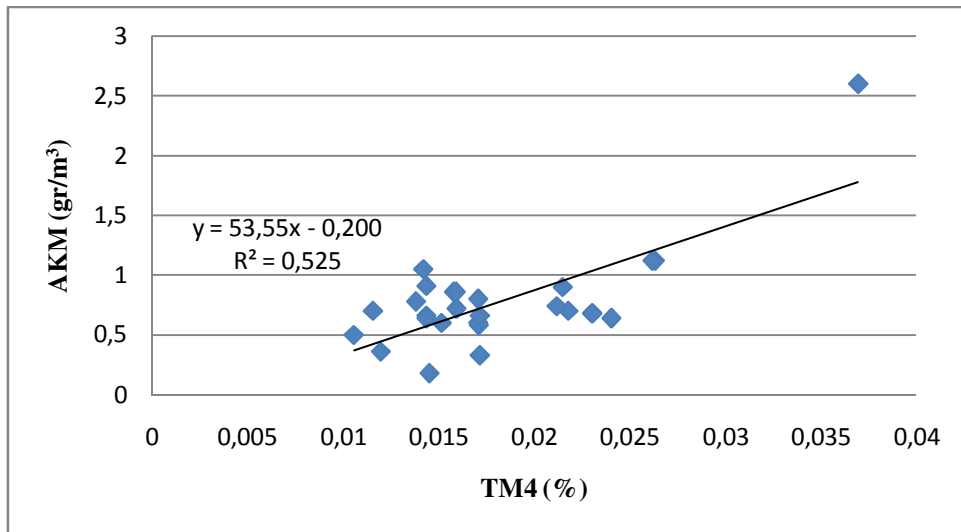
Şekil 16’de TM 3 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM konsantrasyonları arasındaki regresyon grafiği incelendiğinde nispeten yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir. Buradan

Karadeniz bölgesinde AKM ihtiva eden kıyusal sularda TM 3 bandında (0.626 - 0.693 μ m) AKM'lerin oldukça yüksek reflektans değerlerine sahip olduğu söylenilebilir.



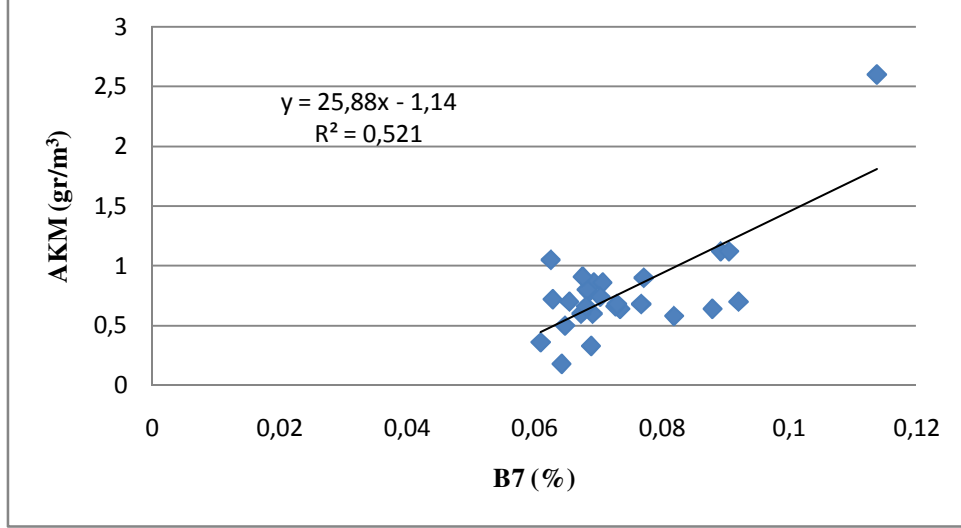
Şekil 16. TM3 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

Şekil 17 incelendiğinde TM 4 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM konsantrasyonları arasında kurulan modelde R^2 değeri 0.52 olarak hesaplanmıştır. Yakın kızılötesi bölgeyi temsil eden TM 4 bandı genellikle Tip II sularda yapılan istatistiksel çalışmalarda AKM konsantrasyonu ile yüksek istatistiksel ilişki gösteren bantlardan birisidir. Buna rağmen yapılan çalışmada beklenen düzeyde ilişki elde edilememiştir.



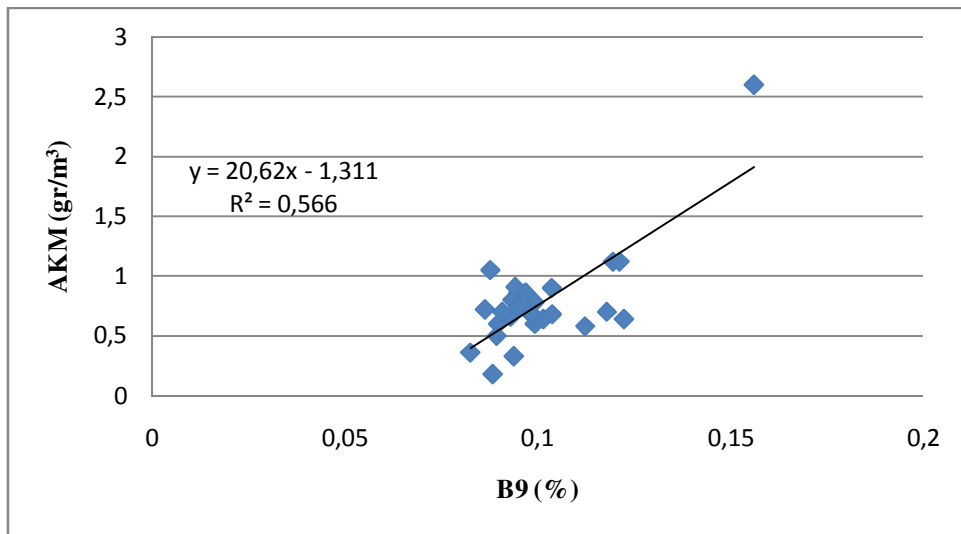
Şekil 17. TM4 bandı Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

Şekil 18’de 4 TM bandının aritmetik ortalamasının alınması ile oluşturulan B7 bant kombinasyonu için kurulan lineer regresyon modelinde R^2 değeri 0.52 olarak hesaplanılmış ve beklenen seviyeye (0.65) ulaşamadığı görülmüştür.



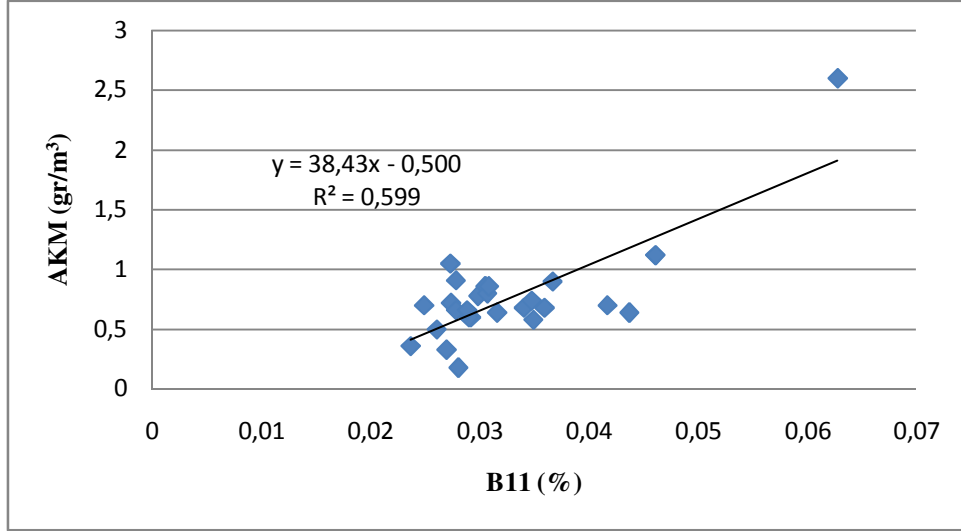
Şekil 18. B7 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

Şekil 19’de TM 1 ve 3 numaralı bantların Rr_{sw} değerlerinin ortalamasının alınması sonucu elde edilen B9 kombinasyonu ile AKM konsantrasyonları arasında kurulan lineer regresyon modelinde R^2 değeri 0.57 hesaplanmış ve istenilen düzeye ulaşamamıştır.

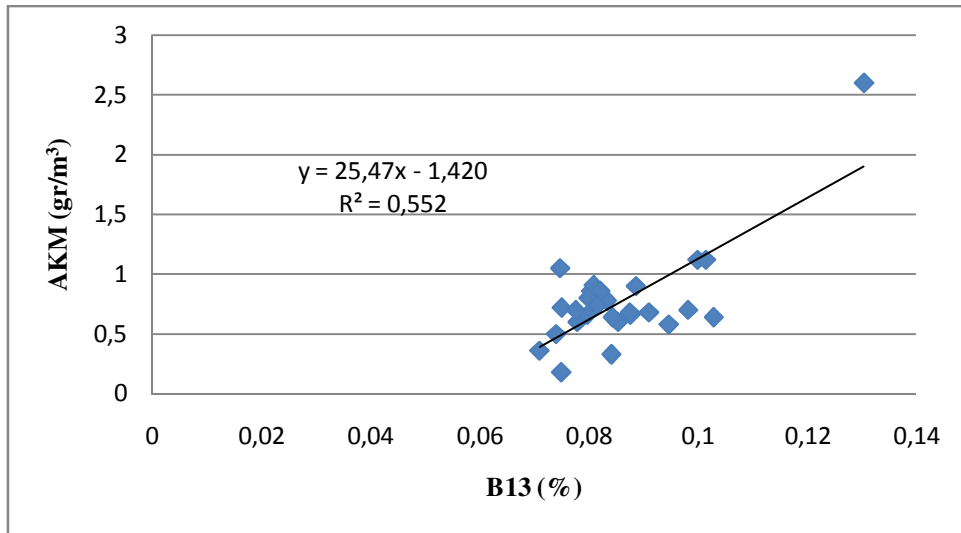


Şekil 19. B9 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

Şekil 20'deki grafik incelendiğinde B11 kombinasyonunda AKM tahmini açısından literatürde baskın iki bandın ortalaması alınmış ve Rr_{sw} değerleri ile AKM konsantrasyonları arasında kurulan regresyon modelinde nispeten daha iyi bir ilişki tespit edilebilmiştir. Aynı şekilde şekil 21'de de benzer şekilde kurulan B13 kombinasyonunda ise daha düşük R^2 değerine ulaşılmıştır.



Şekil 20. B11 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

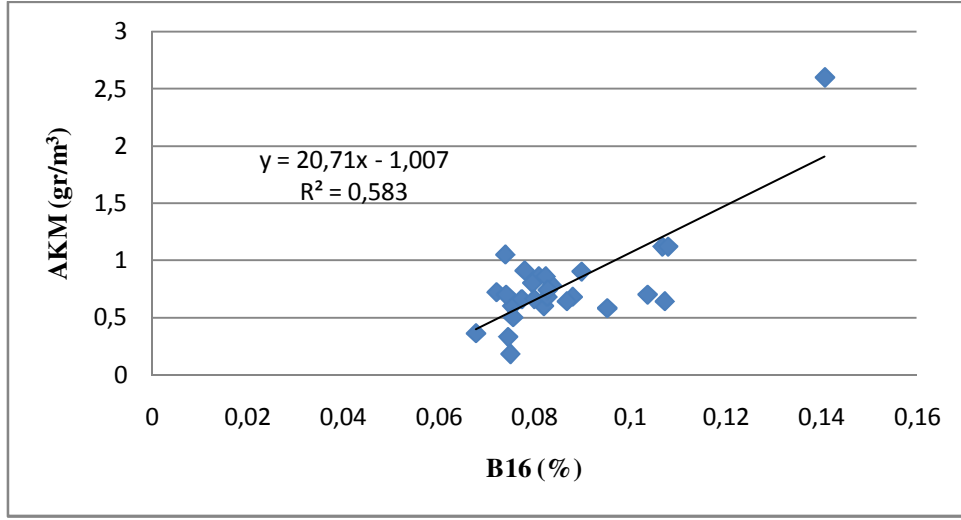


Şekil 21. B13 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

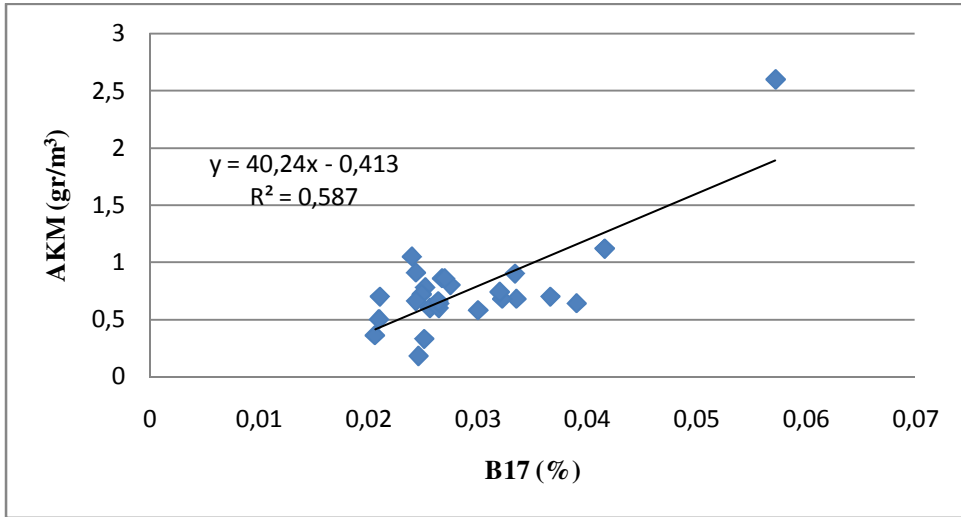
Şekil 22, 23 ve 24'de bulunan grafikler incelendiğinde B16, B17 ve B23 bant kombinasyonlarında bantların ikişerli biçimde çarpımlarının karekökünün alınması sonucu

elde edilen değerler ile AKM konsantrasyonları arasında yapılan regresyon analizleri sonucunda yakın düzeylerde ilişki tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu kombinasyonlarda da istenilen seviyede lineer ilişki elde edilememiştir.

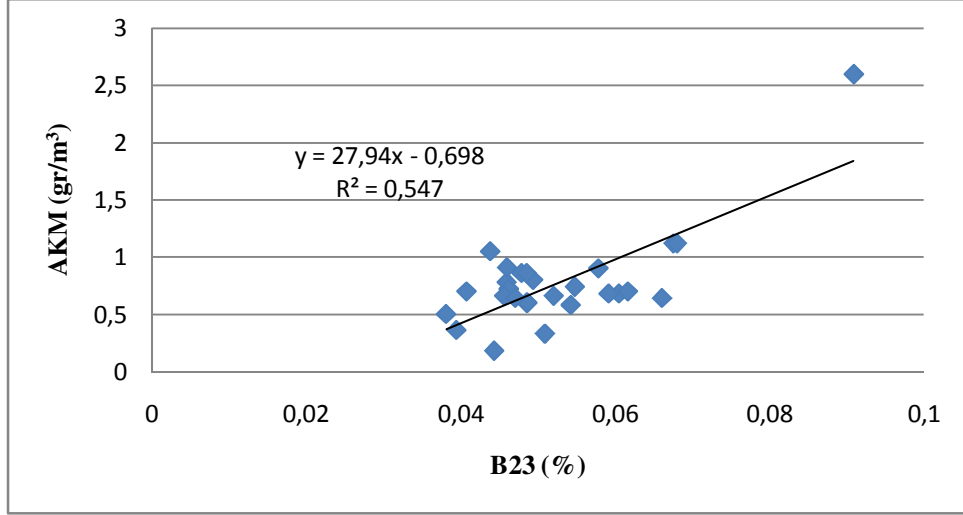
Benzer şekilde B1, B2, B3, B4, B5, B6, B8, B10, B12, B14, B15, B18 ve B20 bant kombinasyonlarına ilişkin yapılan lineer regresyon analizlerinde R^2 değerleri oldukça düşük olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu kombinasyonlar değerlendirmeye katılmamıştır.



Şekil 22. B16 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

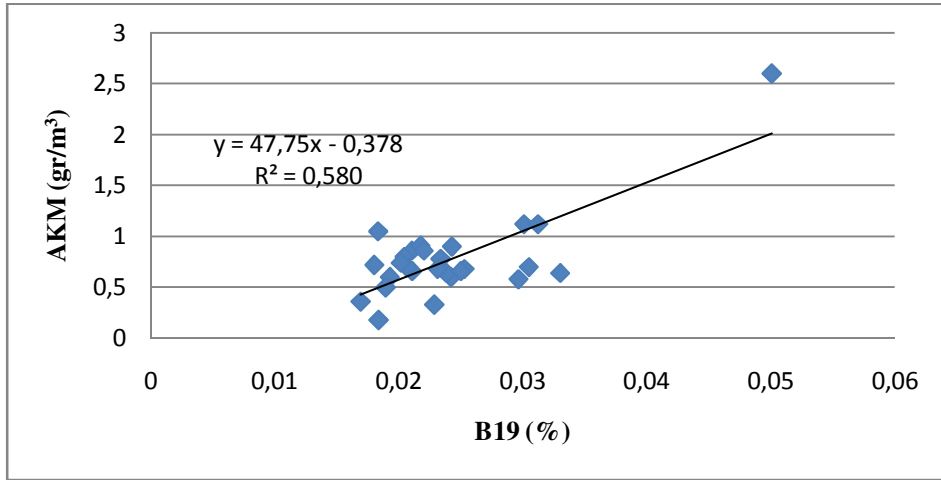


Şekil 23. B17 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

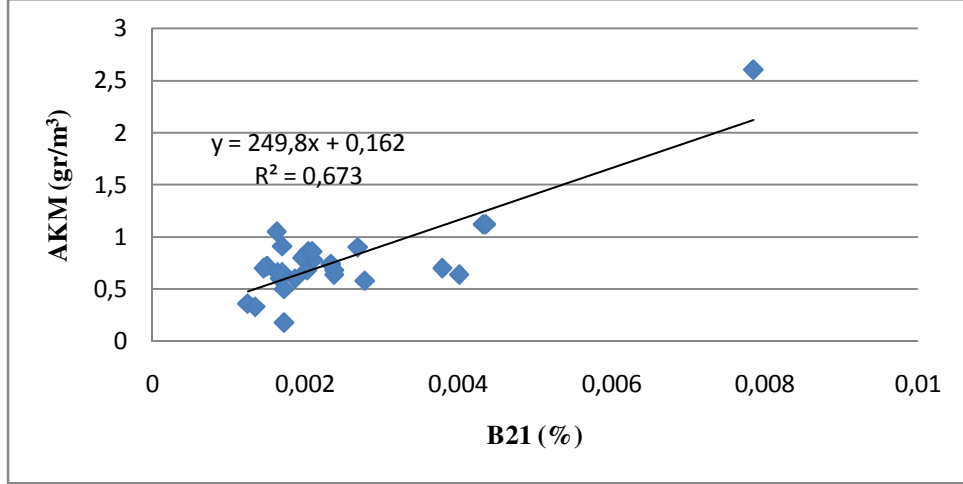


Şekil 24. B23 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

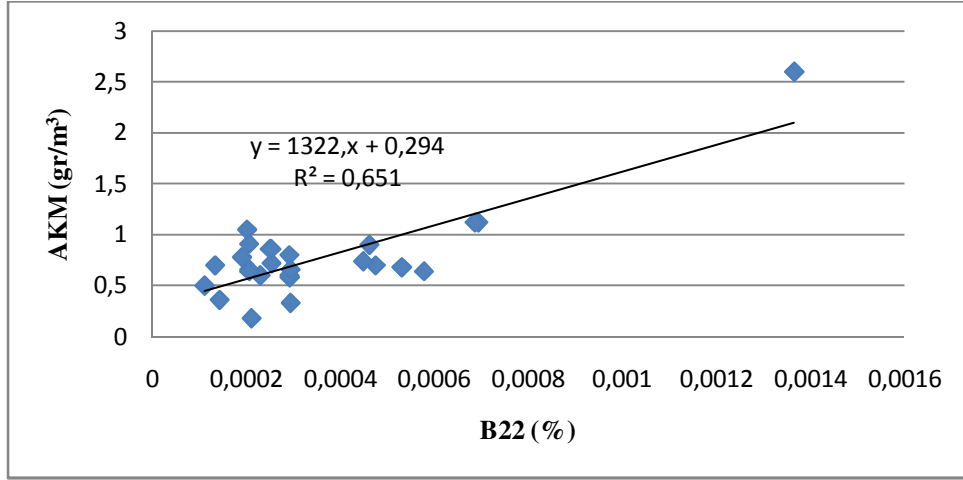
Şekil 25, 26 ve 27’de bulunan grafiklerde bantların karelerinin alınması sonucu elde edilen B19, B21 ve B22 kombinasyonları ile AKM konsantrasyonu arasında yapılan lineer regresyon analizleri sonucunda oldukça yüksek R^2 değerleri elde edilmiş, B21 ve B22 kombinasyonlarında beklenen seviyede ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 25. B19 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki



Şekil 26. B21 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki



Şekil 27. B22 bant kombinasyonu Rr_{sw} değerleri ile AKM arasındaki ilişki

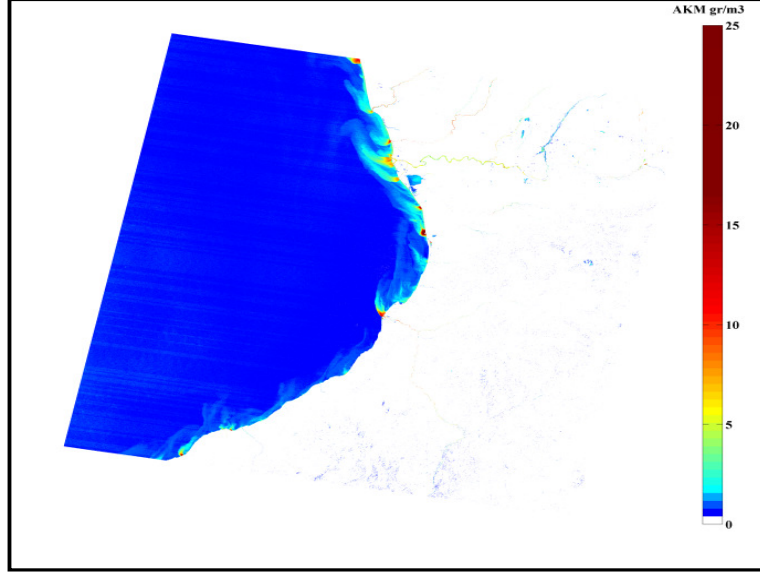
Şekil 26 incelendiğinde, B21 kombinasyonunun 0,67 R^2 değeri ile en yüksek korelasyon içeren algoritma olduğu görülmüştür. Landsat TM 3. bandı literatürde istatistiksel AKM tahmin algoritmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun sebebi yakın kızılötesi ve kırmızı bölgede AKM partiküllerinin en yüksek saçılma ve en düşük absorbe değerlerine sahip olmasıdır. Bu da Landsat için 3 (0.626-0.693 μm) ve 4 (0.776-0.904 μm) numaralı spektral bantlara tekabül etmektedir. Dolayısıyla elde edilen algoritma literatürle de tutarlılık göstermektedir. Landsat TM sensöründe 3. bandın bitimi ile 4. bandın başlangıç spektral değeri arasında bulunan aralık AKM' nin bölgeye has jeolojik yapısı ile de ilişkili olarak bazı durumlarda konsantrasyon tahminlerini güçleştirebilmektedir.

27 örnek veri üzerinde yapılan regresyon analizleri sonucunda Landsat TM görüntüleri Rr_{sw} değerleri ile AKM konsantrasyonları arasında en güçlü ilişki B21 bant kombinasyonu ile elde edilmiştir. Elde edilen regresyon denklemi:

$$y = 249.8B21 + 0.162 \quad (15)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

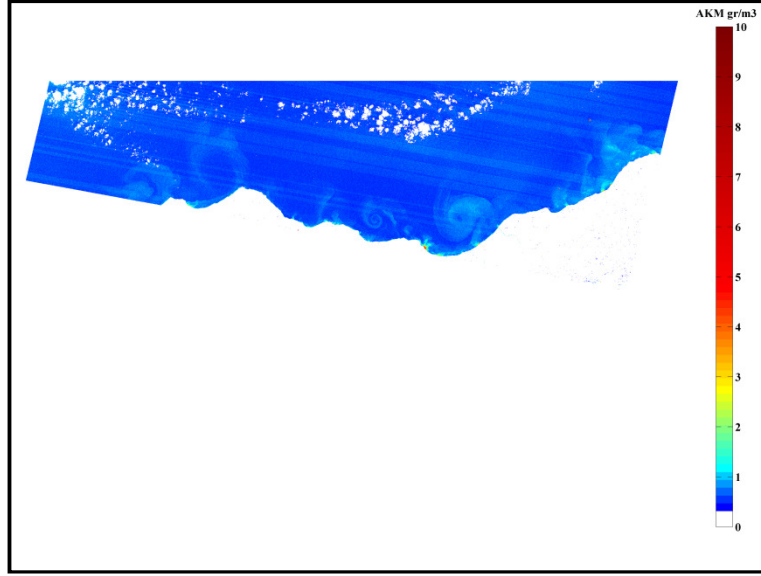
Çalışma alanı içerisindeki tüm görüntüler için AKM konsantrasyonları (15) algoritmasının görüntüler üzerine uygulanması sonucu nehirler de kıyısal bölgelerde nehir ağzlarında oluşan AKM dağılımı ve konsantrasyonu tespit edilmiştir. Görüntülerin Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait olması bölgedeki türbid bölgeler üzerindeki günlük yağış etkisinin belirlenmesini de sağlamıştır. Ayrıca AKM dağılımı incelendiğinde bölgenin ve bölgedeki akarsu havzalarının jeolojik yapısından da yoğun olarak etkilendiği anlaşılmaktadır. Elde edilmiş olan AKM görüntüleri incelendiğinde kıyısal bölgelerde meydana gelen türbid bölgelerin yoğun olarak nehir veya dere ağzlarında olduğu görülmektedir. Özellikle Karadeniz havzasında yılın dört mevsimi yoğun yağış alan doğu kıyılarında Çoruh ve Kızılırmak gibi büyük nehirler ve bunların civarındaki daha küçük akarsuların kıyılara yoğun AKM taşıdığı görülmektedir. Doğu Karadeniz bölgesini kıyılarını içeren 172r31, 173r31 ve 174r31 görüntüleri (Şekil 28, 29 ve 30) üzerinde en yüksek AKM konsantrasyonları elde edilmiştir. Bu durum özellikle bölgede yüksek yağış oranları sebebi ile meydana gelen heyelanlar, toprak kaymaları, sel ve taşkınlar gibi doğa olaylarının akarsular üzerinde AKM konsantrasyonu yönünden etkisini açıklaması bakımından önemlidir.



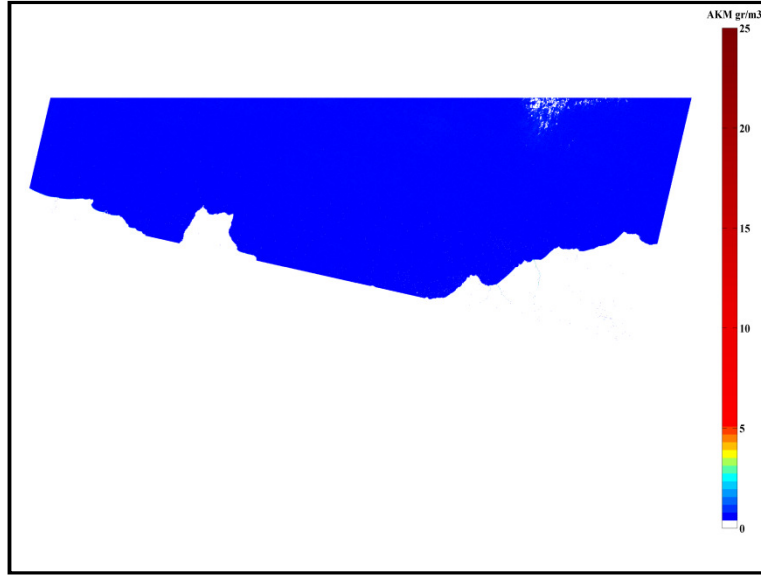
Şekil 28. 172r31 AKM görüntüsü

Örneğin; Rr_{sw} görüntüleri üzerinde de görülmekte olan Çoruh nehri tarafından kıyıya taşınan yoğun AKM, kıyısız suların oldukça türbid bir hal almasına sebep olmaktadır. Çoruh nehri ve civarındaki daha küçük nehirler üzerinde yer yer $20 - 25 \text{ gr/m}^3$ gibi oldukça yüksek AKM konsantrasyon değerlerine ulaşılmış bu da bölgede meydana gelen erozyon olaylarının etkisini de ortaya koymuştur (Şekil 28).

Şekil 29' de görülen 173r31 AKM görüntüsü incelendiğinde nehir ve dere ağzlarında oluşmuş siklonik ve antisiklonik şekillerde türbid bölgeler görülmektedir. Rize kıyılarında ve Trabzon doğu kıyı bölgelerinde AKM yoğunluğuna büyük oranda etkiyen Güneysu deresinde $2 - 5 \text{ gr/m}^3$, İkizdere'de $1 - 3 \text{ gr/m}^3$, Senoz deresinde $2 - 9 \text{ gr/m}^3$, İyidere'de $1 - 5 \text{ gr/m}^3$, Araklı Karadere'de $5 - 15 \text{ gr/m}^3$ ve Solaklı deresinde $2 - 8 \text{ gr/m}^3$ seviyelerinde AKM konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu sonuç Rize ve Trabzon kıyı ve nehir sularının da yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı oldukça yüksek miktarda AKM içerdiğini ortaya koymaktadır.

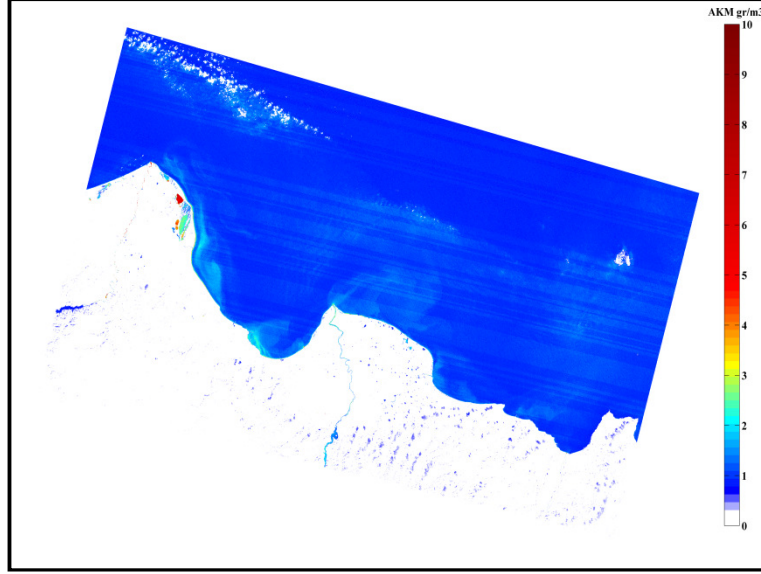


Şekil 29. 173r31 AKM görüntüsü



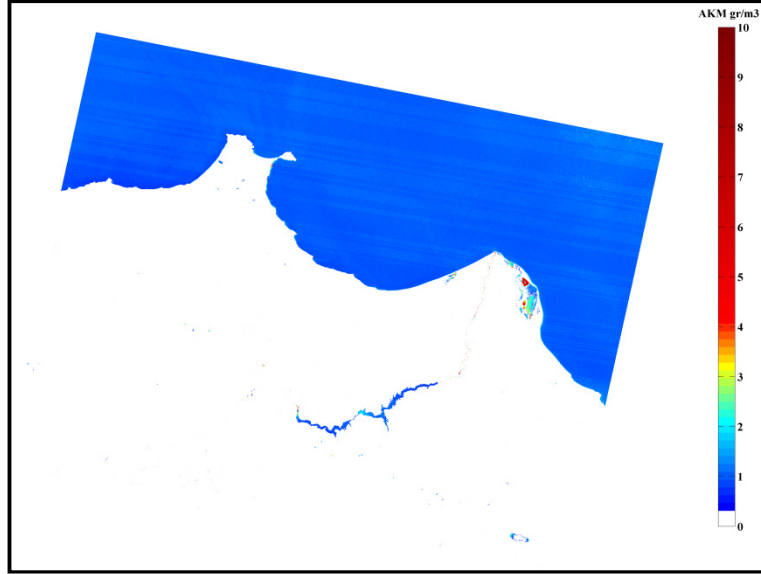
Şekil 30. 174r31AKM görüntüsü

Orta Karadeniz bölgesini kapsayan 175r31, 176r31 ve 177r31 için oluşturulan AKM görüntüleri incelendiğinde doğu Karadeniz bölgesine nazaran daha az türbid bölge meydana geldiği tespit edilmiştir.



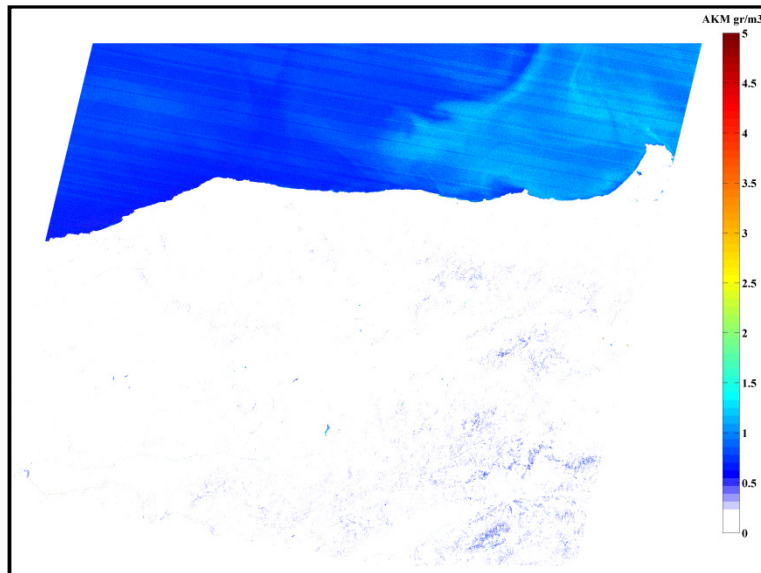
Şekil 31. 175r31 AKM görüntüsü

Orta Karadeniz kıyılarındaki türbidite önemli oranda Kızılırmak tarafından etkilemektedir (Şekil 31 ve 32). Kızılırmak üzerinde ve denize boşaldığı kıyı bölümlerinde AKM konsantrasyonları incelendiğinde yer yer 3 – 8 gr/m³ konsantrasyon değerleri gözlemlenmektedir. Güneroğlu (2007) tarafından Kızılırmak nehri üzerinde yersel yöntemler kullanılarak yapılmış olan AKM ölçümlerinde 2 – 13.5 gr/m³ aralığında konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen AKM konsantrasyonlarının bu düzeye yakın seyretmesi algoritmanın büyük oranda tutarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşilirmak havzasında ise Kızılırmak'a nazaran görüntünün alındığı tarihte daha az AKM konsantrasyonu bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 30).



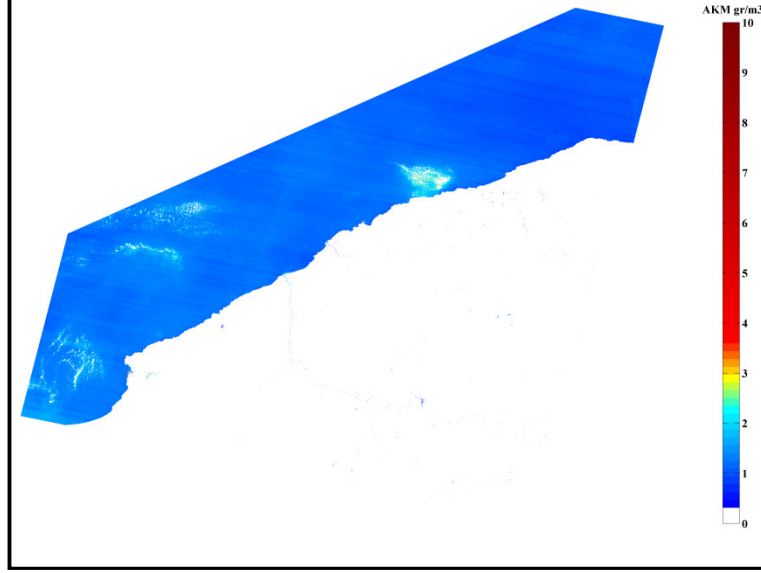
Şekil 32. 176r31 AKM görüntüsü

Şekil 33'de Sinop, Bartın ve Kastamonu kıyılarını kapsayan 177r31AKM görüntüsü incelendiğinde yüksek düzeylerde AKM konsantrasyonlarına rastlanmamıştır. Bölgede kıyısız sularda ve Kumluca deresi üzerinde 2 – 5 gr/m³ düzeylerinde AKM konsantrasyonları elde edilmiştir.



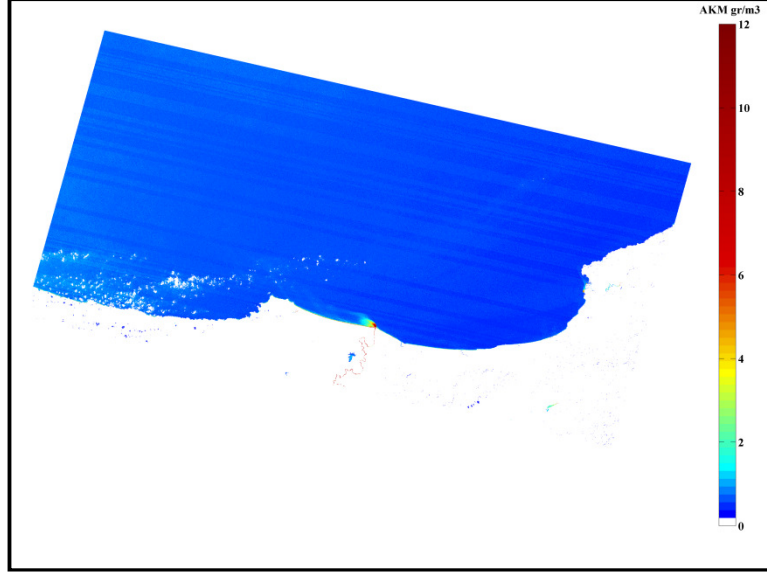
Şekil 33. 177r31 AKM görüntüsü

Şekil 34' de Zonguldak kıyı bölgesini içeren 178r31 AKM görüntüsü incelendiğinde görüntünün alındığı tarihte türbidite olmadığı görülmektedir. Sadece Ereğli kıyılarında küçük bir bölgede 3 – 6 gr/m³ düzeylerinde AKM tespit edilmiştir.

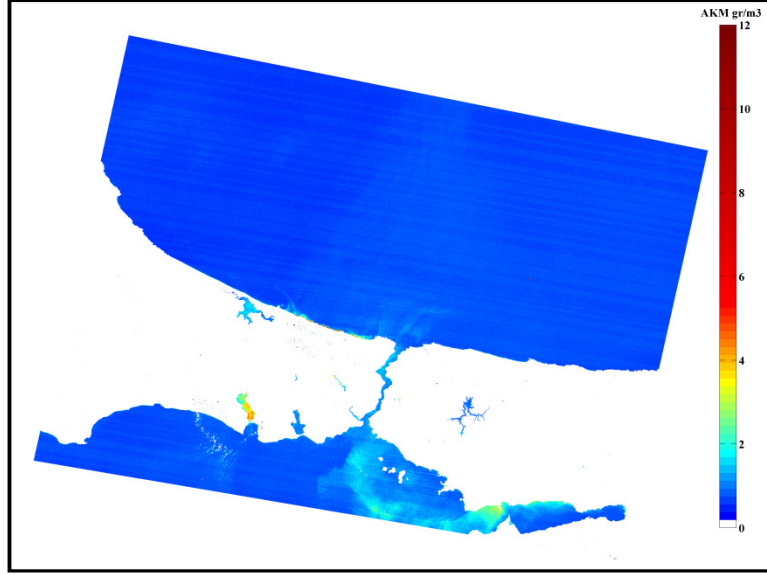


Şekil 34. 178r31 AKM görüntüsü

Batı Karadeniz bölümünde ise Sakarya, Bartın nehirleri ile Ayancık ve Türkeli Yılanlı çaylarının kıyılarda AKM yoğunluğu üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Sakarya kıyı bölgesi boyunca ve Sakarya nehri üzerinde 7 – 10 gr/m³ düzeylerinde AKM konsantrasyonları tespit edilmiştir (Şekil 35). İstanbul – Sakarya arasındaki kıyı bölgelerde kıyıdan 1 km mesafe açığa kadar bu etki devam etmekte ve 1 – 10 gr/m³ düzeylerinde değişen AKM konsantrasyonlarına rastlanmaktadır (Şekil 36).



Şekil 35. 179r31 AKM görüntüsü



Şekil 36. 180r31 AKM görüntüsü

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karadeniz kıyı bölgeleri kirlilik açısından değerlendirildiğinde birçok faktörden etkilenen bir yapıda olduğu bilinmektedir. Bölgenin iklimsel, coğrafi ve jeolojik yapısı sebebiyle AKM bu faktörler arasında kıyısal sulara önemli oranda etkiyen bir parametredir. Dolayısıyla Karadeniz kıyılarında ve bu kıyılara etkiyen nehirlerde bu parametrenin güncel ve doğru bir biçimde gözlemlenmesi gerekmektedir. Tezin genel bilgiler bölümünde de bahsedildiği gibi bu gözlemler için çeşitli metotlar literatürde mevcuttur. Bu çalışmada istatistiksel yaklaşıma dayalı bir model kullanılmıştır.

Bant kombinasyonları da kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde en yüksek R^2 değeri 0.67 olarak elde edilmiştir. Bu değer istatistiksel algoritma kurulması için yeterlidir. Literatürde AKM tespitine yönelik yapılmış olan bazı çalışmalarda nispeten daha yüksek R^2 değerleri edilmiş olduğu görülebilmektedir. Bu durum görüntülerin algılanma tarihleri ile örneklerin algılanma tarihinin mümkün olan en yüksek seviyede eşzamanlı olması ile çok yakından ilişkilidir. Çalışmada kullanılan *in-situ* verileri 1987/88 tarihlerinde elde edilmiş olması sebebiyle o tarihte mevcut sensörler tarafından algılanmış görüntüler kullanılmalıdır. Dolayısıyla görüntü verisi ile örnekler arası yüksek düzeyde eşleşme (örn. Aynı gün içinde elde edilmiş) elde edilememiştir. Bu durum çalışmanın veri yetersizliğinden kaynaklanan bir handikapı olarak değerlendirilebilir. Bu handikap R^2 değerleri üzerinde etkili olmuştur.

Günümüzde MODIS gibi zamansal çözünürlüğü daha yüksek (1 gün) sensörler kullanılarak eşzamanlılık durumu daha yüksek düzeye getirilebilmektedir. Ancak MODIS sensörünün konumsal çözünürlüğü oldukça düşük seviyededir (1 km). Özellikle nehirlerde ve dar kıyısal bölgelerde yapılacak AKM gözlemlerinde bu durum oldukça büyük bir handikap meydana getirmekte ve sonuçların tam anlamıyla AKM konsantrasyonunun temsil etmesine engel olmaktadır. Bu sebeple çalışmada 30 m konumsal çözünürlüklü Landsat görüntülerinin kullanılması ile bu etki önemli düzeyde elemine edilmiştir.

Sonuç olarak algoritma yardımıyla elde edilen AKM görüntüleri üzerinden Karadeniz sahili değerlendirilecek olursa, özellikle doğu ve batı bölümlerinde önemli miktarda AKM' nin büyük ve küçük nehirler vasıtasıyla kıyılara taşındığı tespit edilmiş ve çalışma alanındaki tüm kıyılarda AKM konsantrasyonları kurulan istatistiksel algoritma yardımıyla belirlenmiştir. Türkiye'nin en uzun ve debisi en yüksek nehirlerinden

Kızılırmak, Yeşilirmak ve Sakarya nehirlerinin, görüntülerin alındığı yaz döneminde Karadeniz kıyılarına sürekli olarak iç bölgelerden AKM taşınması sonucu kıyı bölgelerde önemli oranlarda AKM birikimi meydana geldiği saptanmıştır. AKM konsantrasyonları elde edilen AKM görüntüleri üzerinden ölçülmüş ve dağılımları belirlenmiştir. Ayrıca bu görüntüler yardımıyla türbid bölgelerin siklonik veya antisiklonik yönelimleri ortaya koyulmuştur.

Karadeniz kıyılarına özgü olarak elde edilen bu algoritma özellikle geçmiş yıllara yönelik AKM konsantrasyonu tespitinde ve değişim analizlerinde kullanılabilir. Gelecekte günümüz sensörlerinin konumsal, zamansal ve spektral çözünürlüklerinden faydalanılarak çok daha yüksek doğrulukta algoritmalar geliştirilebilir. Sonuç olarak su kalitesi belirlemede özellikle Karadeniz ve doğu Karadeniz gibi yüksek yağış oranlarına sahip bölgelerde AKM konsantrasyonlarının sürekli takibi gerekmektedir. Bu manada uzaktan algılama teknolojisinin kullanılması kaçınılmaz ve uygun maliyetli bir çözüm düşünülmelidir.

İleride yapılacak çalışmalarda AKM'nin uzaktan algılanması ile ilgili olarak *in-situ* spektrometrik verilerinde ölçüldüğü bir analitik algoritma daha gerçekçi olacaktır. Ancak bunun yapılamadığı durumlarda AKM konsantrasyonları ile uydu verilerinin mümkün olduğunca eş zamanlı olması daha iyi sonuçlar verecektir.

5. KAYNAKLAR

- Binding, C. E., Bowers, D. G. ve Mitchelson-Jacob, E. G., 2003. An Algorithm for the Retrieval of Suspended Sediment Concentrations in The Irish Sea from SeaWiFS Ocean Colour Satellite Imagery, International Journal of Remote Sensing, 24, 19, 3791 - 3806.
- Bricaud, A., Morel, A. ve Prieur, L., 1981. Absorption by Dissolved Organic Matter in The Sea (Yellow Substance) in the UV and Visible Domain, Limnology and Oceanography, 26, 43–53.
- Borengasser, A., Hungate, W.S. ve Watkins R., 2008. Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications, CRC Press, 119 s, USA.
- Bukata, R.P., Jerome, J.H., Bruton, J.E., Jain, S.C. ve Zwick, H.H., 1981b. Optical water quality model of Lake Ontario. 2. Determination of chlorophyll *a* and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low-altitude optical sensors, Appl. Opt., 20, 1704–1714.
- Bukata, R.P., Jerome, J.H., Kondratyev, K.Ya. ve Pozdnyakov, D.V., 1991a. Estimation of organic and inorganic matter in inland waters: optical cross sections of Lakes Ontario and Ladoga, J. Great Lakes Res., 17, 461–469.
- Bukata, R.P., 2005. Satellite monitoring of inland and coastal water quality : retrospection, intropection, future direction, CRC Press, 246 s, USA.
- Carder, K.L., Hawes, S.K., Baker, K.A., Smith, R.C., Steward, R.G. ve Mitchell, B.G., 1991. Reflectance model for quantifying chlorophyll *a* in the presence of productivity degradation products, J. Geophys. Res., 96, 599–611.
- Chander, G., Markham, B.L. ve Helder, D.L., 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors, Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.
- Clark, D.K., Baker, E.T. ve Strong, A.E., 1980. Upwelled Spectral Radiances Distribution in Relation to Particulate Matter in Sea Water, Boundary-Layer Meteorology, 18, 3, 287 – 298.
- Dekker, A. G., Moen, J. P., Kootwijk, E. J., van Rossum, G., Hoogenboom, H. J., Belfroid, A. C. ve Claassen, T. H. L., 1999. The Quality of Several Frisian Inland Waters as Measured with Airborne Remote Sensing (August 1997) (in Dutch), Netherlands Remote Sensing Board Report NRSP-2 99-22, Rijkswaterstaat Survey Department, Delft, The Netherlands.

- Dekker, A. G., Vos, R. J. ve Peters, S. W. M., 2001. Comparison of Remote Sensing Data, Model Results and in situ Data for the Southern Frisian Lakes, *The Science of the Total Environment*, 268, 197 - 214.
- Dekker, A.G., Vos R.C. ve PETERS S.W.M., 2002. Analytical Algorithms for Lake Water TSM Estimation for Retrospective Analyses of TM and SPOT Sensor Data, *Internationa l Journal of Remote Sensing*, 23,1,15 – 35.
- Doxaran, D., Froidefond, J.M., Lavender, S. ve Castaing, P., 2002. Spectral Signature of Highly Turbid Waters Application with SPOT Data to Quantify Suspended Particulate Matter Concentrations, *Remote Sensing of Environment*, 1, 149–161.
- Doxaran, D., Castaing, P. ve Lavender, S. J., 2006. Monitoring The Maximum Turbidity Zone And Detecting Fine-Scale Turbidity Features İn The Gironde Estuary Using High Spatial Resolution Satellite Sensor (SPOT HRV, Landsat ETM+) data, *International Journal of Remote Sensing*, 27, 11, 2303 – 2321.
- Fargion G.S. ve Mueller J.L., 2000. Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 2, National Aeronautical and Space Administration, 184 s, Maryland.
- Flink, P., Lindell, T. ve Öslund, C., 2001. Statistical Analysis of Hyperspectral Data From Two Swedish Lakes, *The Science of the Total Environment*, 268, 155 -169.
- Froidefond, J.M., Castaing, P., Jouanneau, J.M., Prud’Homme, R. ve Dinet, A., 1993. Method for the Quantification of Suspended Sediments from AVHRR NOAA-11 Satalitte Data, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 5, 885 – 894.
- Gordon, H. ve A. Morel,1983. Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery: A Review, *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, Springer Verlag,4,114 s, New York.
- Guneroglu, A, 2007. Karadeniz Oşinografisinin Yerinde Ölçüm ve Uzaktan Algılama Teknikleri İle Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gürgen, G., 2004. Doğu Karadeniz Bölümü’nde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 2, 79 – 92.
- Jaquet, J.-M., Schanz, F., Bossard, P., Hanselmann, K. ve Beck, C., 1994. Measurements and significance of bio-optical parameters in two subalpine lakes of different trophic state in perspective of remote sensing, *Aquatic Sci.*, 56, 263–305.
- Jeffrey, S.W. ve G.F. Humphrey, 1975. New Spectrophotometric Equations for Determining Chlorophylls *a*, *b*, *c*1 and *c*2 in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167, 191-194.

- Jeffrey, S. W. ve N. A. Welschmeyer, 1997. Appendix F: Spectrophotometric and Fluorometric Equations in Common Use in Oceanography. In Jeffrey, S. W., R. F. C. Mantoura & S. W. Wright (eds), *Phytoplankton Pigments in Oceanography*, Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO Publishing, Berlin, 597 - 615.
- Kalle, K., 1966. The Problem of Gelbstoff in Sea, *Oceanography Marine Biology Annals Review*, 4, 91 – 104.
- Keiner, L.E. ve Yan, X., 1998. A Neural Network Model for Estimating Sea Surface Chlorophyll and Sediments from Thematic Mapper Imagery, *Remote Sensing of Environment*, 66, 153–165.
- Kirk, J.T.O., 1983. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*, Cambridge University Press, 401 s., Melbourne, Australia.
- Kirk, J.T.O., 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*, Cambridge University Press, 529 s, U.K.
- Kratzer, S. Brockman, C. ve Moore, G., 2008. Using MERIS Full resolution data to Monitor Coastal Waters A Case Study from Himmerfjorden, a Fjord-like Bay in the Northwestern Baltic Sea, *Remote Sensing of Environment*, 112, 5, 2284 – 2300.
- Kratzer, S. ve Tett P., 2009. Using bio-optics to Investigate the Extent of Coastal Waters: A Swedish Case Study, *Hydrobiologia*, 629, 169 – 186.
- Koponen S., 2006. *Remote Sensing of Water Quality For Finnish Lakes and Coastal Areas*, Doktora Tezi, Helsinki University of Technology, Finland.
- Lathrop, R.G., Lillesand, T.M. ve Yandell, B.S., 1991. Testing the Utility of Simple Multi-Date Thematic Mapper Calibration Algorithms for Monitoring Turbid Inland Waters. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 2045–2063.
- Miller, R.L., Del Castillo, E. ve McKee, B.A., 2005. *Remote Sensing of Coastal Aquatic Environment*, Springer, 345 s, Netherlands.
- Morel, A. ve Prieur, L., 1977. Analysis of Variations in Ocean Color, *Limnology and Oceanography*, 22, 709-722.
- Morel, A., 1988. Optical Modeling of the Upper Ocean in Relation to its Biogeneous Matter Content (Case I Waters), *Journal Geophysical Research.*, 93, C9, 10749 – 10768.
- Onderka, M. ve Pekárová, P., 2008. Retrieval of suspended particulate matter Concentrations in the Danube River from Landsat ETM data, *Science of the Total Environment*, 397, 1-3, 238-243.

- Pope, R.M. ve Fry, E.S., 1997. Absorption Spectrum (380 - 700 nm) of Pure Water: II. Integrating Cavity Measurements, Applied Optics, 36, 8710 - 8723.
- Poulain, P.M., Barbanti, R., Motyzhev, S. ve Zatsepin, A., 2005. Statistical Description of the Black Sea Near-Surface Circulation Using Drifters in 1999 – 2003, Deep-Sea Research, 52, 2250 – 2274.
- Rivera P.L., 2009. Mapping Suspended Sediment Concentrations Using The Diffuse Attenuation Coefficient (K_d) and Multispectral and Spatiotemporal Images in Caribbean Coastal Waters of Colombia, Yüksek Lisans Tezi, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, Netherlands.
- Ronghua, M. ve Jinfang, D., 2004. Investigation of Chlorophyll-a and Total Suspended Matter Concentrations Using Landsat ETM and Field Spectral Measurement in Taihu Lake, China, International Journal of Remote Sensing, 26,13, 2779 – 2795.
- Schott, J.R., Barsi, J.A., Nordgren, B.L., Raquen O, N.G. ve Alwis, D., 2001. Calibration of Landsat Thermal Data and Application to Water Resource Studies, Remote Sensing of Environment, 78, 108–117.
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto K.C., Lenney, M.P. ve Macomber, S.A., 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, Remote Sensing of Environment, 75, 230 – 244.
- Strickland, J.D.H. ve T.R. Parsons, 1972. A Practical Handbook of Sea Water Analysis, Fisheries Research Board of Canada, 167, 310 s.
- Tassan, S. ve Sturm, R., 1986. An Algorithm for the Retrieval of Sediment Content in Turbid Coastal Waters from CZCS Data, International Journal of Remote Sensing, 7, 5, 643 – 655.
- Tuncer, G., Karakas, T., Balkas, T.I., Gökçay, C.F., Aygnn, S., Yurteri, C. ve Tuncel, G., 1998. Land-based Sources of Pollution Along the Black Sea Coast of Turkey: Concentrations and Annual Loads to the Black Sea, Marine Pollution Bulletin, 36, 6, 409 – 423.
- Ulanbek, T. ve Vekerdy, Z., 2003. Determination of water quality parameters using imaging spectrometry - case study for the Sajó floodplain, Hungary, EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching.
- Vladimirov, V.L., Besiktepe, S.T. ve Aubrey, D.G., 1998. Database and database management system of the TU-Black Sea Project, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht,1, 1-10.

- Vladimirov, V.L., Besiktepe, S.T. ve Aubrey, D.G., 1999. Database and database management system of the TU-Black Sea Project, In: Environmental degradation of the Black Sea:Challenges and remedies, (Besiktepe, S.T., Unluata, U. ve Bologa, A.S., Eds.), Kluwer Academic Publishers, 291-301.
- Wang, J. ve Zhou Y., 2007. Retrieval of Suspended Sediment Concentrations in the Turbid Water of the Upper Yangtze River Using Landsat ETM+, Chinese Science Bulletin, 52,2,273 – 280.
- Warrick, J.A., Mertes, L.A.K., Siegel, D.A. ve Mackenzie, C., 2004. Estimating Suspended Sediment Concentrations in Turbid Waters of the Santa Barbara Channel with SeaWiFS, International Journal of Remote Sensing, 25, 10, 1995 – 2002.
- Zhang, M., Tang J., Dong Q., Song Q. ve Ding J., 2009. Retrieval of Total suspended Matter Concentration in the Yellow and East China Seas from MODIS Imagery, Remote Sensing of Environment, 114, 2, 392 – 403.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimi aynı ilde tamamladı. 2003 – 2007 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen, bu görevini sürdürmektedir. Yazar iyi düzeyde İngilizce bilmektedir.