

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KIZILIRMAK DELTASI SULAK ALANLARININ UZUN
DÖNEMLİ ZAMANSAL ANALİZİ: SENTİNEL-2 UYDU
VERİLERİ VE METEOROLOJİK DEĞİŞKENLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İREM SALMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
YER BİLİMLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. MEHMET KORHAN ERTURAÇ

TEMMUZ 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KIZILIRMAK DELTASI SULAK ALANLARININ UZUN
DÖNEMLİ ZAMANSAL ANALİZİ: SENTİNEL-2 UYDU
VERİLERİ VE METEOROLOJİK DEĞİŞKENLERLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

İREM SALMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
YER BİLİMLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. MEHMET KORHAN ERTURAÇ

TEMMUZ 2025

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**LONG TERM TEMPORAL ANALYSIS OF WETLANDS
IN THE KIZILIRMAK DELTA: ASSESSMENT USING
SENTINEL-2 SATELLITE DATA AND
METEOROLOGICAL VARIABLES**

IREM SALMAN

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF EARTH AND MARINE SCIENCES
EARTH SCIENCES PROGRAM**

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. MEHMET KORHAN ERTURAÇ

JULY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30/06/2025 tarih ve 2025/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/07/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İrem Salman'ın tez çalışması Yer ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı Yer Bilimleri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Mehmet Korhan ERTURAÇ

ÜYE

: Dr. Öğr. ÜYESİ Meltem ÇELEN

ÜYE

: Prof. Dr. Denizhan VARDAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



Aileme

ÖZET

Bu tezde, Türkiye'nin en kritik sulak alanlarından biri olan Kızılırmak Deltası'nda 2015–2025 yılları arasında meydana gelen su yüzey alanı değişimleri, uzaktan algılama verileri ve meteorolojik gözlemler aracılığıyla nicel olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sağlanan Sentinel-2 uydu platformuna ait 92 adet yüksek mekânsal çözünürlüklü (10–20 m) optik görüntü kullanılmıştır. Bu görüntülerden öncelikle Normalize Edilmiş Su İndeksi (NDWI) türetilmiş ve tüm delta genelinde su yüzey alanlarının zamansal değişimleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. NDWI, sulak alan su kütlelerinin spektral olarak ayrıştırılmasında temel araç olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, belirli göller için destekleyici analizler kapsamında Normalize Edilmiş Vejetasyon İndeks (NDVI) ve Normalize Edilmiş Klorofil İndeks (NDCI) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Bafra istasyonundan temin edilen günlük meteorolojik veriler doğrultusunda potansiyel evapotranspirasyon Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanmış ve hidroklimatik değişkenlerle yüzey suyu arasındaki nedensel ilişkiler ortaya konmuştur.

Zamansal analizler, delta sistemindeki göllerin mevsimsel genişleme/daralma döngülerinin özellikle yağış ve evapotranspirasyon değişkenleriyle yüksek korelasyon sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Karaboğaz Gölü gibi bazı büyük ve açık sistemlerin, dönemsel olarak yüksek alansal değişkenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, Tatlı Göl gibi daha küçük ve izole sulak alan sistemlerinin ise iklimsel stres faktörlerine karşı çok daha duyarlı ve kırılgan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Trend analizleri bazı göllerde uzun dönemli gerileme veya genişleme eğilimlerine işaret etmektedir. Bu bulgular, özellikle iklim değişikliği bağlamında sulak alanların dinamik yapısının anlaşılmasına ve bu alanların koruma-yönetim stratejilerinin bilimsel temellere dayandırılmasına olanak sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma hem Sentinel-2 temelli çok zamanlı uydu görüntülerinin sulak alan izleme süreçlerindeki yüksek doğruluk ve uygulama potansiyelini göstermekte hem de uzaktan algılama çıktılarının meteorolojik verilerle entegre edilerek sulak alan ekosistemlerinin iklimsel değişkenlere karşı tepkilerinin izlenmesinde etkili bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Kızılırmak Deltası, Sulak Alan Dinamikleri, Su Yüzey Alanı Değişimi, NDWI

ABSTRACT

In this thesis, quantitative analyses of surface water area changes in the Kızılırmak Delta—one of the most critical wetlands in Turkey—between 2015 and 2025 were conducted using remote sensing data and meteorological observations. A total of 92 high spatial resolution (10–20 m) optical images acquired from the Sentinel-2 satellite platform, provided by the European Space Agency (ESA), were utilized. From these images, the Normalized Difference Water Index (NDWI) was derived and employed as the primary tool to monitor temporal changes in surface water extent across the delta. NDWI served as a fundamental index for spectrally distinguishing wetland water bodies. In addition, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI) values were calculated for selected lakes to support the assessment of vegetation cover dynamics and chlorophyll-a concentration variation. Furthermore, daily meteorological data obtained from the Bafra station of the Turkish State Meteorological Service were used to compute potential evapotranspiration via the Penman-Monteith method, facilitating the examination of causal relationships between hydroclimatic variables and surface water dynamics.

Temporal analyses revealed that the seasonal expansion and contraction cycles of lakes within the delta system exhibit a high degree of correlation with precipitation and evapotranspiration variables. In this context, large and open systems such as Karaboğaz Lake were found to exhibit considerable spatial variability over time. In contrast, smaller and more isolated wetland systems such as Tatlı Lake were identified as highly sensitive and vulnerable to climatic stress factors. Trend analyses indicated long-term tendencies of decline or expansion in the surface area of certain lakes. These findings provide a scientific basis for understanding the dynamic nature of wetlands in the context of climate change and contribute to the formulation of evidence-based conservation and management strategies.

In conclusion, this study demonstrates the high accuracy and practical applicability of time-series Sentinel-2 satellite imagery in wetland monitoring and emphasizes the effectiveness of integrating remote sensing outputs with meteorological data for tracking the responses of wetland ecosystems to climatic variables.

Keywords: Remote Sensing, Kızılırmak Delta, Wetland Dynamics, Surface Water Area Change, NDWI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlık aşamasından nihai haline kadar her adımda tecrübesi ve sabrıyla bana yol gösteren, akademik gelişimime büyük katkılar sunan danışmanım Doç. Dr. Mehmet Korhan Erturaç'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca gelecekteki akademik çalışmalarım da desteğini ve yol göstericiliğini sürdüreceğine olan inancım ile kendisine minnettarım.

Tez jürimde yer alarak değerli vakitlerini ayıran, yapıcı eleştirileri ve katkılarıyla çalışmamı daha nitelikli hale getiren Dr. Öğr. Üyesi Meltem Çelen ve Prof. Dr. Denizhan Vardar'a şükranlarımı sunarım. Aynı zamanda süreç boyunca bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, her daim desteğini hissettiren Arş. Gör. Hilal Okur Erturaç'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak süreç boyunca yaşadığım zorluklarda yanımda olan, sabırları ve sevgileri ile beni her zaman destekleyen canım aileme minnettarım. Bilimin ışığıyla yola devam etmek ümidiyle...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	1
2. ÇALIŞMA ALANI	3
2.1. Kızılırmak Nehri ve Deltası Genel Özellikleri	3
2.2. Kızılırmak Deltası'nın Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri	6
2.2.1. Delta Oluşumu ve Stratigrafik Gelişim	6
2.2.2. Stratigrafik Birimler ve Litoloji	7
2.2.3. Jeomorfolojik Yapı ve Kıyı Dinamikleri	11
2.3. İklimsel Özellikler ve Meteorolojik Gözlemler	14
2.4. Göller ve Sulak Alan Sistemleri	14
2.4.1. Sulama ve Drenaj Kanalları	14
2.4.2. Baraj Sistemleri ve Delta Etkileri	15
2.4.3. Göller ve Bataklık Sistemleri	16
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri	18
3.1.1. Uydu Görüntü Verileri	19
3.1.2. Görüntü İşleme ve CBS Analizleri	21
3.1.3. Çalışmada Kullanılan İndeksler	23
3.1.4. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Aşamaları	24
3.2. Meteorolojik Veriler	27
3.3. Veri Analizi	28
3.4. Arazi Gözlemleri	30
4. SONUÇLAR	31
4.1. Su İndekslerinde Verinin Düzeltilmesi: Cernek Gölü	31

4.2. Deltadaki Göllerin Uzun Dönem Alan Trendleri	34
4.3. Deltadaki Göl Alanlarının Uzun Dönem Mevsimsel Değişimleri	37
4.4. Toplam Göl Yüzey Alanlarının Uzun Dönem Analizi	39
4.5. Göl Alanlarının ADT ile Meteorolojik Verilerin Korelasyonu	41
5. TARTIŞMA/DEĞERLENDİRME	46
5.1. Sıcaklık-Yağış ve Buharlaşma Dengesi	46
5.2. Delta Alanındaki Antropojenik Faktörlerin Etkisi: Cernek Gölü Örneği	46
5.3. Göl Alanlarının Hacimsel Dalgalanmaları Üzerine Değerlendirme	47
5.4. Sulak Alanlardaki İklim Değişikliğinin Kanıtları	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	56
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADT	: Alan Değişim Trendi
BOA	: Bottom of Atmosphere (Atmosfer Altı/Yer Yüzeyi)
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
NDCI	: Normalized Difference Chlorophyll Index (Normalize Fark Klorofil İndeksi)
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Fark Bitki İndeksi)
NDWI	: Normalized Difference Water Index (Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi)
TOA	: Top of Atmosphere (Atmosfer Üstü)



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Kızılırmak Deltası'nın Karadeniz kıyısındaki konumu.	3
Şekil 2.2: Kızılırmak Nehri'nin akaçlama ağı.	4
Şekil 2.3: İnceleme alanı ve yakın çevresinde kuvaterner jeoloji ve jeomorfoloji haritası.	6
Şekil 2.4: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Uğuz ve Sevin, 2007).	9
Şekil 2.5: Kıyı süreçlerini ve sırt-oluk sistemini gösteren diyagram (A. D. Short ve Woodroffe, 2009'dan alınmış, Türkçeye çevrilmiştir).	12
Şekil 2.6: Deltanın kuzeydoğusunda yer alan kuzey-güney uzanımlı setlenen sırt-oluk sistemleri.	12
Şekil 2.7: Delta düzlüğündeki drenaj kanalları.	15
Şekil 2.8: Kızılırmak Nehri üzerinde inceleme alanına yakın kesimde inşa edilen barajlar.	16
Şekil 3.1: Çalışma akış şeması.	18
Şekil 3.2: Sen2Cor v2.12.03 ile komut satırında yürütülen atmosferik düzeltme işlemi.	22
Şekil 3.3: 15/09/2022 tarihli uydu görüntüsü, su indeks analizi sonucu elde edilen ve 19 bölgeye ayrılmış zonlama haritası ile aynı tarihe ait göl alanlarının (ha cinsinden) hesaplanmış değerleri.	25
Şekil 3.4: Göl alanlarının farklı zonlara bölümlendirildiği uydu görüntüsü.	26
Şekil 3.5: Kızılırmak Deltası sulak alan hacimlerinin kurak ve sulak mevsimlerdeki sınırları.	27
Şekil 3.6: 24 Ekim 2024 tarihli, a) Delta'nın kuzeyinden, kuzeye ve güneye doğru bakan drone görüntüleri, b) Çernek gölünün Karadeniz kıyısından kuzeye ve güneye bakan drone görüntüleri, c) Sulak alan güney sınırından kuzeye doğru uzanan göl kompleksinin drone göl kompleksinin drone görüntüsü.	30
Şekil 4.1: Cernek Gölü problemlili tarihlerin ham uydu görüntüsü, NDWI, NDVI ve NDCI analiz görüntüleri.	32
Şekil 4.2: Cernek Gölü Alan Değişim Trendi (ADT) / NDVI ve Cernek Gölü ADT / NDCI karşılaştırmalı grafikleri.	33
Şekil 4.3: Balık, Uzun, Cernek, Uzun, Liman, Gıncı, Tatlı gölleri uzun dönem ADT grafikleri.	36
Şekil 4.4: Delta toplam sulak alan kompleksinin aylık ortalama dağılımı (2015-2025).	37

Şekil 4.5: Mevsimsel dağılımlar: (a) Yağış miktarı (mm), (b) göl alanı (km ²), (c) sıcaklık (°C) ve (d) göl alanı değişiminin (km ²) mevsimlere göre dağılımı.	38
Şekil 4.6: Deltadaki göl yüzey alanlarının aylık ortalama değişim grafiği (2015–2025).	39
Şekil 4.7: Delta göl yüzey alanlarının uzun dönem trend analizi.	40
Şekil 4.8: Delta toplam göl yüzey alanlarının zaman serisi dalgalanmaları.	41
Şekil 4.9: Göl alanı-yağış ve göl alanı-sıcaklık-evapotranspirasyon grafikleri.	44
Şekil 4.10: Göl alanlarının hacimsel dalgalanmaları / meteorolojik veriler ile korelasyon grafikleri.	45



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Kızılırmak Deltasında yer alan sürekli göllerin temel limnolojik özelliklerinin karşılaştırmalı tablosu (Ustaoglu, 2012; Demirkalp, 2010; Gündüz, 2013 vd. düzenlenerek.)	17
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan uydu görüntü verilerinin özellikleri.	19
Tablo 3.2: NDWI/NDCI/NDVI bant ve indeks formülleri	24
Tablo 4.1: Göl alanlarının uzun dönem minimum-maksimum ve ortalama hektar alan cinsinden verileri.	34

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Delta sistemleri, akarsuların yoğun sediman taşıdığı alanlarda, karasal ve denizel süreçlerin etkileşimiyle oluşan geçiş zonlarıdır [Posamentier and Morris, 2000]. Bu sistemlerde, akış hızının azalmasıyla birlikte sedimanlar taşınamaz hale gelir ve çökeller dereceli bir şekilde; akarsuya yakın bölgelerde kum, daha denize yakın alanlarda ise silt ve kil şeklinde bir dağılım gösterir. Zamanla bu birikim, nehir yatağını çevreleyen doğal setlerin ilerlemesine neden olur. Söz konusu doğal setler, alüvyonlu vadilerde ve delta sistemlerinde, nehir kanallarının sınırlarını belirleyerek genellikle bataklık ya da suyla kaplı çöküntülerle desteklenir. Ayrıca, denizel süreçlerin etkisiyle oluşan kıyı şekilleri -örneğin plajlar, setler ve çukurlar- lagünleri ve bataklıkları çevreler, delta gelişimiyle birlikte bu yapılar da deltaya entegre olabilir [Bird and Russell, 1967]. Kızılırmak Deltası'nda gözlenen bu doğal set oluşumları, bölgedeki sulak alanların şekillenmesinde kritik rol oynamaktadır.

Kızılırmak Deltası, yaklaşık 11.000 hektarlık sulak alanı barındırarak Türkiye'nin en biyolojik çeşitliliğe sahip bölgeleri arasında yer almaktadır (Kızılırmak Deltası Araştırma Projesi, 2021). Türkiye'de tespit edilen tüm kuş türlerinin yaklaşık %75'ine karşılık gelen 310'dan fazla kuş türü, bu deltayı göç, üreme ve kışlama alanı olarak kullanmaktadır [Özesmi, 2003]. Delta, yalnızca nadir veya nesli tehlike altında olan türleri değil, aynı zamanda göç dönemlerinde sayıca yoğunlaşan bazı kuş türlerini de desteklemektedir [Erciyas Yavuz, 2011].

Bu zengin ekosistem, uluslararası koruma statüsüne sahiptir. Sulak alanların korunmasına yönelik Ramsar Sözleşmesi ve Avrupa'nın yaban hayatını koruma amacıyla hazırlanan Bern Sözleşmesi çerçevesinde çeşitli stratejiler uygulanmaktadır. Bu stratejiler arasında biyolojik çeşitliliğin korunması, doğal habitatların restorasyonu ve yerel halkın sürdürülebilir kullanım konusunda teşvik edilmesi gibi başlıklar yer almaktadır. Ayrıca delta, UNESCO Dünya Mirası Geçici Listesi'ne dahil edilmiş ve "Sulak Alan ve Kuş Cenneti" olarak tanımlanmıştır [T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019].

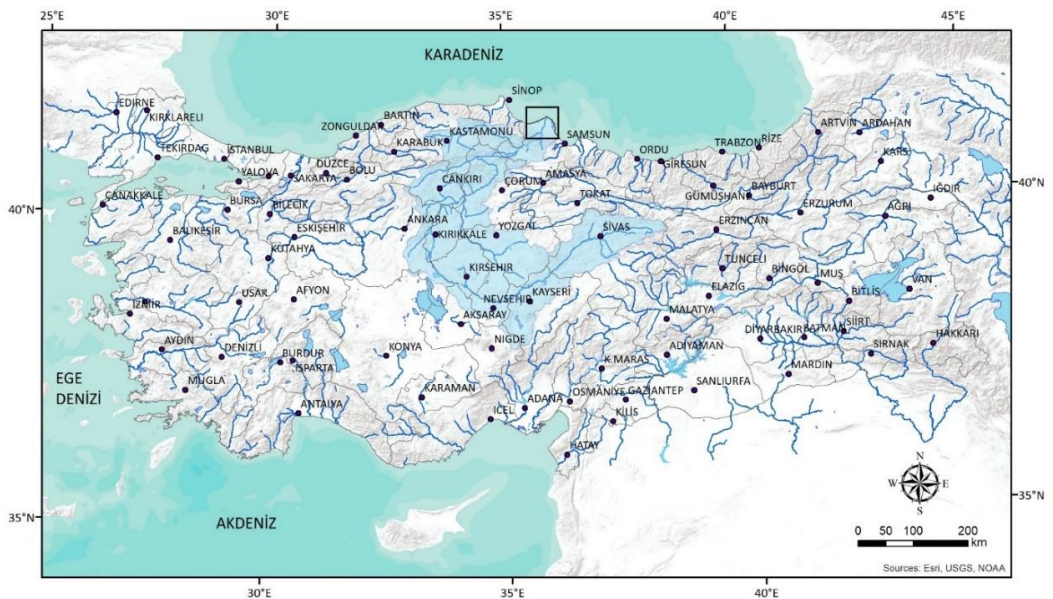
Bu tez çalışmasının temel amacı, Kızılırmak Deltası'nda yer alan göl ve sulak alan sistemlerinin 2015–2025 yılları arasındaki mevsimsel ve yıllık düzeydeki alansal değişimlerini, uzaktan algılama teknikleri ve meteorolojik verilerle bütünleştirerek analiz etmektir. Çalışmada Sentinel-2 uydu verilerinden elde edilen Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) başta olmak üzere çeşitli spektral indeksler (NDVI, NDCI) kullanılarak göl yüzey alanları zamansal olarak izlenmiş, göl alanlarındaki değişimlerin yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon gibi iklimsel faktörlerle olan ilişkileri istatistiksel ve grafiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Özellikle yıllık döngüsel varyasyonlar ve aşırı meteorolojik olaylar ile göl alanı arasındaki tepkisel ilişkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışması, sadece delta içi göl sistemlerinin alansal rejimini tanımlamakla kalmayıp, aynı zamanda sulak alanların iklimsel değişkenlere karşı verdiği tepkileri ortaya koyarak bölgedeki hidrolojik kırılganlığı anlamaya katkı sağlamaktadır.

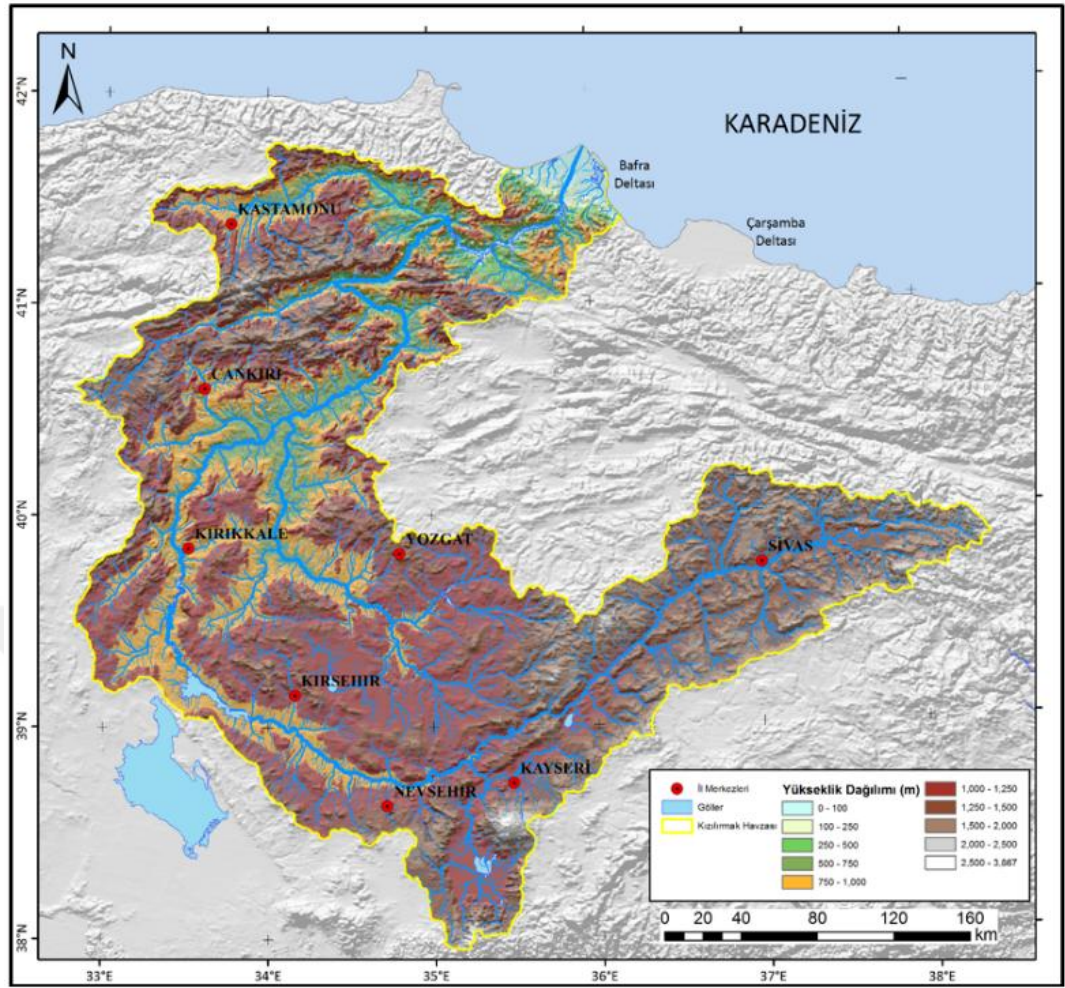
2. ÇALIŞMA ALANI

2.1. Kızılırmak Nehri ve Deltası Genel Özellikleri

Kızılırmak nehri ülkemizin en uzun nehridir, toplam uzunluğu ~1355 km, drenaj alanı ise ~78.646 km²'lik geniş bir drenaj alanına sahiptir **Şekil 2.1**. Nehrin 1962–2006 dönemi ortalama debisi 188,08 m³/s (yıllık toplam akım hacmi: 5,9 km³) olarak kaydedilmiştir [DSİ, 2023]. Nehir İç Anadolu'nun doğu kesiminde Sivas İli, İmranlı İlçesinin doğusunda yer alan Kızıldağ'dan (3025 m.) doğarak, batıya doğru büyük bir büküm yaparak kuzeye yönelir. Devrez ve Delice ırmakları ile birleştiği kesimde Kuzey Anadolu Fay hattı ile Orta Karadeniz sıradağlarını keser. Gökırmak nehri ile buluştuktan sonra Bafra Ovası ve Kızılırmak Deltasını oluşturarak Karadeniz'e dökülür **Şekil 2.2**. Deltayı çevreleyen Bafra Ovası ve yakın çevresi, 1.810,84 km²'lik hidrolojik yayılım alanına sahiptir ve sekiz alt havzaya bölünmüş durumdadır [Turoğlu, 2010]. Nehrin alt havzasında yer alan Derbent Barajı ile delta arasında kalan yaklaşık 275 metrelik kanalize kesim ve yukarı havzadaki Altınkaya–Derbent baraj sistemi, Kızılırmak'ın doğal akım rejimini büyük ölçüde değiştirmiştir. Bu yapılar sonucunda, deltaya ulaşan güncel doğal debi ölçülememekte, sediman taşınımı belirgin şekilde azalmış ve akarsu-delta etkileşimi hidroteknik olarak kontrol altına alınmıştır [EİE, 2005].



Şekil 2.1: Kızılırmak Deltası'nın Karadeniz kıyısındaki konumu.



Şekil 2.2: Kızılırmak Nehri'nin akaçlama ağı.

Kızılırmak Deltası, yaklaşık 11.000 hektarlık sulak alan sistemini barındırmasıyla Türkiye'nin en zengin biyolojik çeşitliliğe sahip bölgeleri arasında yer almaktadır [Kızılırmak Deltası Araştırma Projesi, 2021]. Bu alan, sadece bölgesel değil, aynı zamanda küresel ölçekte önemli bir kuş göç yolu üzerinde konumlanmış olup, Türkiye'de gözlenen tüm kuş türlerinin yaklaşık %75'ine karşılık gelen 310'dan fazla kuş türüne ev sahipliği yapmaktadır [Özesmi, 2003]. Delta, kuşların göç, üreme ve kışlama dönemleri açısından yaşamsal bir durak noktası işlevi görmekte; bu sayede nesli tehlike altında olan türler kadar, mevsimsel olarak sayıca yoğunlaşan popülasyonlar da desteklenmektedir. Özellikle sulak alanlardaki habitat çeşitliliği (lagünler, sazlıklar, tatlı su gölleri, tuzcul bataklıklar) kuşlar başta olmak üzere birçok canlı grubu için farklı mikro habitat olanakları sunmaktadır [Erciyas Yavuz, 2011].

Bu zengin biyolojik ve ekolojik yapı, ulusal ve uluslararası koruma politikalarının odağında yer almakta; RAMSAR Sözleşmesi ve BERN Sözleşmesi gibi uluslararası

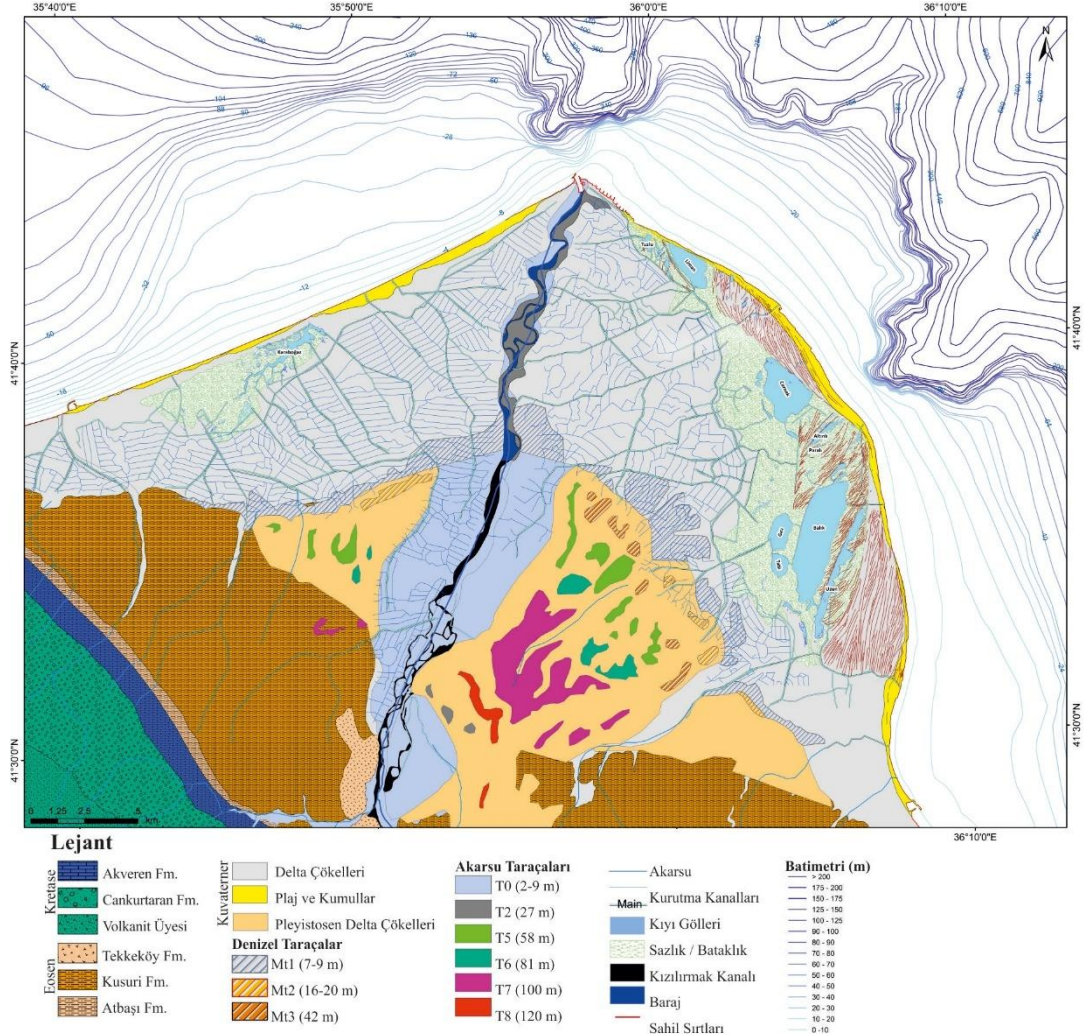
belgeler çerçevesinde yasal güvence altına alınmıştır. RAMSAR Sözleşmesi kapsamında, sulak alanların biyolojik çeşitliliği koruma işlevinin yanı sıra, karbon yutak alanı, taşkın tamponu ve yerel iklim düzenleyicisi gibi ekosistem hizmetleri de dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda deltada; doğal habitatların restorasyonu, yerel halkın sürdürülebilir kullanım konusunda bilinçlendirilmesi, kontrolsüz yapılaşmanın önlenmesi ve izleme-gözlem altyapılarının geliştirilmesi gibi çok boyutlu koruma stratejileri yürütülmektedir. Ayrıca Kızılırmak Deltası, UNESCO Dünya Mirası Geçici Listesi'ne dahil edilmiş ve Türkiye'deki "Sulak Alan ve Kuş Cenneti" olarak tanımlanarak koruma altındaki alanlar arasında sembolik bir yere sahip olmuştur [T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019].

Ancak delta sistemleri doğaları gereği, iklimsel değişkenlikler, deniz seviyesi yükselmesi, sediman rejimi değişiklikleri ve insan kaynaklı müdahaleler gibi faktörlere karşı oldukça hassas yapılardır [Morris and Posamentier, 2000]. Kızılırmak Deltası da bu duruma açık bir örnek teşkil etmektedir. Özellikle 1950'li yıllardan itibaren bölgedeki antropojenik baskıların artması, delta dinamiklerinde belirgin yapısal ve işlevsel bozulmalara yol açmıştır. Akarsu üzerinde kurulan baraj sistemleri (örneğin Altınkaya ve Derbent barajları), nehrin doğal akım rejimini ve sediman taşınım kapasitesini önemli ölçüde değiştirmiştir. Akışın rejime bağlanması ve sediment yükünün tutulması, kıyı erozyonu ve iç delta alanlarında çökme eğilimlerini hızlandırmış, aynı zamanda bataklık ve göl sistemlerinin beslenme kaynaklarını sınırlandırmıştır [Demirkalp et al., 2004, 2010; DSİ, 1986; Williams and Hamilton, 1994]. Drenaj kanalları ve yapay set sistemleri aracılığıyla suyun hızlı bir şekilde uzaklaştırılması, deltadaki doğal taşkın-dolma döngüsünü kesintiye uğratmış, bu da sulak alanlarda habitat parçalanması ve tür çeşitliliğinde azalma gibi ekolojik sonuçlar doğurmuştur.

2.2. Kızılırmak Deltası'nın Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri

2.2.1. Delta Oluşumu ve Stratigrafik Gelişim

Kızılırmak Deltası'nın oluşumu, Erken–Orta Pleyistosen dönemine (~1 milyon yıl önce) kadar uzanmakta olup, günümüzdeki deltaya benzer morfoloji Holosen başlarında (~9.000 BP) Karadeniz'in deniz seviyesinin yükselmesiyle şekillenmiştir [Kazancı vd., 2020]. Güncel delta düzlüğü, esas olarak ince taneli çökellerden (kum, silt ve kil) oluşan alüvyal fasiyeslerle temsil edilir. Delta, güneyde yaklaşık %10 eğime sahip Pleyistosen platosuyla sınırlanmakta olup, kuzeye doğru %1–2 eğimle Karadeniz kıyısına alçalarak lagün, bataklık ve plaj sistemlerine geçiş yapmaktadır [Uğuz ve Sevin, 2007].



Şekil 2.3: İnceleme alanı ve yakın çevresinde kuvaterner jeoloji ve jeomorfoloji haritası.

Bafra Ovası ve çevresi, bu alüvyal düzlüğün bir parçasıdır ve deltayı oluşturan Kızılırmak nehrinin Karadeniz’e yönelmesiyle birlikte Erken-Orta Pleyistosen’de şekillenmeye başlamıştır. Bu sürecin çökel kayıtları, günümüzde delta güneyinde geniş yüzeyler sunan Sarıkum Formasyonu ile temsil edilir. Bölgenin Pleyistosen birimleri, alçalan Karadeniz seviyesi ve tektonik yükselmelerin kontrolünde taraça basamakları şeklinde gelişmiş, delta düzlüğünün kuzey ve güney sınırları bu şekilde oluşmuştur **Şekil 2.3.**

2.2.2. Stratigrafik Birimler ve Litoloji

2.2.2.1. Temel Birimler

İnceleme alanında Geç Kretase’den Holosen’e kadar uzanan çeşitli stratigrafik birimler gözlemlenmektedir **Şekil 2.4.** Bu birimler aşağıda özetlenmiştir:

Cankurtaran formasyonu (Kc) (Kretase)

Kireçtaşı blokları ve volkanik ara düzeyler içeren kumtaşı, silttaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı ve çakıltası aralanmasından oluşmaktadır. Birimin alt düzeylerinde yaygınca görünen volkanitler “volkanit üyesi” olarak ayrılmıştır. Cankurtaran formasyonu çalışma sahasının en güney kesiminde kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı yüksek topoğrafik bir rölyef sunar.

Birim başlıca ince, ince-orta tabakalı, düzgün tabakalanmalı, sarımsı-boz, yeşilimsi kül renkli, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı aralanmasından oluşur. Toplam kalınlığı 1800 metre olarak ölçülmüştür. Birimin alt kesimlerinde gözlenen volkanit üyesi, 180 m kalınlığa sahiptir, bazaltik, andezitik lav, tuf ve aglomeralardan oluşur, yer yer irili ufaklı kireçtaşı blokları da içerir. Cankurtaran formasyonunun yaşı, içerdiği fosil faunaya dayanarak Geç Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen olarak belirlenmiştir.

Akveren Formasyonu (Kta) (Kretase-Paleosen)

Karadeniz sıradağlarında bulunan en yaygın örtü kayalarından olan Akveren formasyonu, 930 m kalınlığa ulaşabilen kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve silttaşı-kumtaşı litolojilerinden oluşan denizel şelf ve yamaç ortamında çökelmiş bir birimdir. İnceleme alanında Kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı dar bir şerit olarak yüzlek verir.

Birimin yaşı içerdđi fosil faunaya dayanarak Maastrichtiyen-Paleosen olarak tanımlanmıştır.

Atbaşı formasyonu (Paleosen-Eosen)

Başlıca kireçtaşı ara tabakaları içeren, mor renkli marn ve şeyllerden oluşmaktadır. Birim bej renkli, ince-orta tabakalı killi-kumlu kireçtaşı, bordo renkli, ince tabakalı marn ardalanması ile başlar, kalın çok kalın tabakalı, kırmızımsı kahverenkli marnlarla sürer. Üst düzeyleri boz renkli, ince tabakalı kumtaşı ile orta, orta-kalın tabakalı, boz renkli marn ardalanması biçimindedir. Bu fasiyesler, düşük akış rejimli, türbidit akıntılarla kontrol edilen, açık shelf-yamaç depolanma ortamını işaret eder.



S E N O Z O Y I K										ÜST SİSTEM
M E S O Z O Y I K					T E R S İ Y E R					SİSTEM
K R E T A S E					P A L E O J E N					KUVATERNER
ÜST					P A L E O S E N					NEOJEN
KAMPAİYEN					ALT					PLYOSEN
CANKURTARAN					ATBAŞI					HOLOSEN
VOLKANİT					AKVEREN					PLEYİTOSEN
800-1500					1800					ALT
930					538					ÜST
1460-1925					300					KIZILIRMAK
50					50					SARIKUM
50					50					FORMASYON
KALINLIK (m)					KAYA TÜRÜ					ÜYE
										AÇIKLAMALAR
										Alüvyon Bataklık çökelleri Plaj çökelleri (kum,kumul)
										DİSKORDANS Delta çökelleri
										Eski alüvyon
										DİSKORDANS
										Kumtaşı, silttaşı, çakıtaşı, kireçtaşı,yer yer tutturulmamış kuvars kumu
										DİSKORDANS
										Aglomera, lav, tuf, kumtaşı, silttaşı
										Kumtaşı, silttaşı, kilitaşı
										Kumtaşı, mam
										Kireçtaşı, kili kireçtaşı, mam
										Kumtaşı, kilitaşı, çakıtaşı, volkanik ara düzeyler ve olistolitler
										Andezitik-bazaltik tuf, aglomera

Şekil 2.4: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti [Uğuz ve Sevin, 2007].

Atbaşı formasyonun güneyinden Alaçam fayı ile sınırlanan, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı dar bir yüzeylenmesi bulunmaktadır. Birimin yaşı içerdiği fosil faunaya dayanarak Paleosen-Eosen olarak tanımlanmıştır.

Kusuri formasyonu (Eosen)

Boz renkli marn, kumtaşı, krem renkli kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birim, Alaçam-Bafra arasında kuzeybatı-güneydoğu yönle uzanır. Egemen litolojisi marn-şeyl olan Kusuri formasyonunun alt yüzeylerindeki kumtaşı tabakaları yanal olarak marn ve şeyllerle geçişlidir. Birimin ince tane boyu ve fosil içeriği, çökeltmenin düşük enerjili bir denizde, olasılıkla şelf ortamında ve dalga tabanının altında depolandığına işaret eder. İçerdiği fosil kayıda göre yaşı Eosen'dir.

Tekkeköy formasyonu (Eosen)

Başlıca volkano-sedimenter özellikli kayalardan oluşan birim Bafra güneyinde Elmacık Tepe ve Doğanuşağı köyü yakınlarında yüzeylemektedir. Formasyonun alt düzeyleri çökel kaya ağırlıklı iken, üste doğru önce volkanoklastik sonra volkanik kaya egemen duruma geçer. Tabanda ince tabakalı, yeşilimsi-koyu kül renkli kıltaşı, silttaşı ve kumtaşı ile yeşil, krem beyaz renkli kalın tabakalı tüfit ardalanmasından oluşan birim, üste doğru aglomera-tüf ardalanmasına ve en üstte de bazik lav akıntıları ile aglomera ardalanmasına dönüşür. Birim altta Kusuri formasyonu ile uyumludur. İnceleme alanı içinde 300 m kalınlığa sahiptir. Birimin kırıntılı fasiyeslerinden elde edilen fosil faunaya dayanarak Geç Lütesiyen yaşındadır.

2.2.2.2. Kuvaterner Birimleri

İnceleme alanında kendini gösteren Kuvaterner birimleri, Kızılırmak Nehri'nin Karadeniz tarafından kapılmasını takiben deniz seviyesi değişimleri ve nehrin / deltasının bu değişimlere verdiği cevap ve bölgesel tektonik yükselme kontrolünde gelişmiştir. Özellikle Orta-Geç Pleyistosen içerisinde Karadeniz seviyesindeki önemli değişiklikler günümüz morfolojisinin gelişimi ile sonuçlanmıştır. Literatürde Sarıkum formasyonu olarak tanımlanan yaygın Pleyistosen çökelleri deltanın yükselmiş eski pleyistosen çökelleridir. Bu birim Geç Pleyistosen süresince Karadeniz'in belirgin seviye çalkalanmalarına cevaben aşınmış ve günümüz görünümünü kazanmıştır. Karadeniz seviyesinde Holosen başında gerçekleşen son transgresyon ile günümüz

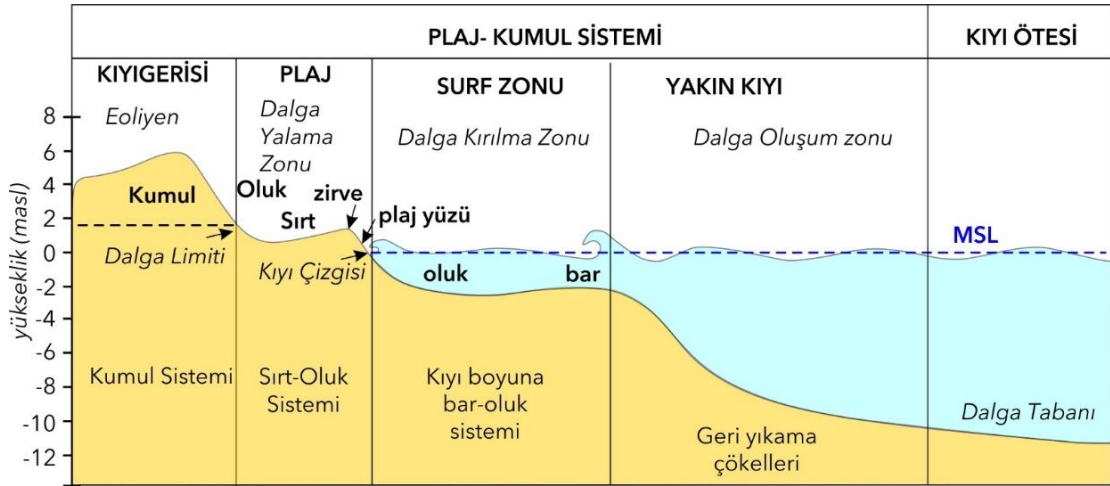
seviyesine ulaşması ile delta hızlı şekilde ilerleyerek günümüz delta düzlüğünün ve aktif jeomorfolojik öğelerin gelişimi ile sonuçlanmıştır.

Kızılırmak Deltası'nın Karadeniz'e açılan kıyı kesiminde, sahil şeridi boyunca güncel dalga birikimli kumsal çökelleri gelişmiştir. Bu çökellerin gerisinde ise, eski plaj oluşumlarıyla birlikte deltaik çökeller, güncel bataklık ve lagün ortamlarına ait birikintiler ile çeşitli çökeltme alanları yer almaktadır. Genellikle Geç Kuvaterner ve çoğunlukla Holosen dönemine tarihlenen bu birimler, yer yer yapay set ve kanallarla birbirine bağlanmış veya kesintiye uğratılmıştır. Bu mühendislik müdahaleleri sayesinde delta hem taşkın olaylarına karşı hem de Karadeniz kaynaklı dalga etkilerine karşı kontrol altına alınmıştır. Subasar ormanlarının çevresinde ise, zayıf tutunmuş ve kötü derecede sınıflanmış Kuvaterner–Holosen yaşlı kumtaşı, silttaşı, silt, kum ve kil birimleri görülmekte olup, bu alanda aynı zamanda güncel delta çökelleri, eski kıyı taraçaları ve taşkın ovası birikintileri izlenmektedir.

2.2.3. Jeomorfolojik Yapı ve Kıyı Dinamikleri

Kızılırmak Deltası, deniz ve kara sistemlerinin etkileşim zonunda, yüksek sediman girdisiyle şekillenen tipik bir delta yapısı sunar. Deltanın jeomorfolojik gelişimi, hem akarsu taşınımı ve taşkın dinamikleri, hem de denizel süreçlerin yönlendirici etkisiyle biçimlenmiştir. Bu sistemler, deltanın plajları, kıyı kumulları, lagünleri, gölleri ve bataklıkları gibi birçok farklı yer şeklinin oluşumunu kontrol etmektedir.

Delta düzlüğü, Karadeniz'e doğru oldukça düşük eğimli (%1–2), genişleyen bir morfolojik yapıya sahiptir [Uğuz ve Sevin, 2007]. Bu yapı üzerinde plaj sırtları, eski ve güncel kıyı kumulları gibi kıyı şekilleri sıklıkla gözlenmekte, özellikle deltada kıyıya paralel gelişmiş kuzey–güney doğrultulu sırt sistemleri karakteristik bir yapı sunmaktadır **Şekil 2.6**. Bu sırt-oluk yapıları, geçmiş kıyı çizgilerini yansıtan, ardışık olarak setlenmiş sediman birikimleridir.



Şekil 2.5: Kıyı süreçlerini ve sırt-oluk sistemini gösteren diyagram [Short and Woodroffe, 2009], Türkçeye çevrilmiştir.

Bu sırt sistemleri, Karadeniz yönünden gelen dalga ve akıntı enerjisi ile şekillenmiştir. Delta ağzından taşınan sediman yükü ve Karadeniz'den gelen dalga enerjisi, deltada kıyı boyu akıntı oluşumuna zemin hazırlar. Delta ağzından başlayan bu kıyı boyu akıntı, deltanın güney ucuna kadar ulaşarak, kuzey-güney yönlü sırt sistemleri oluşumunu destekler **Şekil 2.5**. Aynı zamanda, kıyıya paralel uzanan bu sırtlar, delta içerisindeki göl havzalarını tanımlayan morfolojik sınırları da oluşturmaktadır. Gıcı, Cernek, Tatlı ve Balık gölleri gibi birçok sulak alan, bu plaj sırtlarının gerisinde kalan alçak kotlu çöküntülerde birikmiş tatlı su havzaları şeklinde yer almakta; sırtların yükseltileri Karadeniz ile göl arasındaki fiziksel olarak bir bariyer işlevini görmektedir.



Şekil 2.6: Deltanın kuzeydoğusunda yer alan kuzey-güney uzanımlı setlenen sırt-oluk sistemleri.

Kıyı dinamikleri açısından bakıldığında, Karadeniz kıyılarında rüzgâr, dalga ve yüzey akıntıları deltanın şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Deniz yüzeyinde genellikle doğuya yönelen siklonik ve anti-siklonik yüzey akıntıları hâkimdir. Bu akıntılar, Sinop Burnu ile Yeşilirmak Deltası arasında saat yönünde dönen spiral yapılar oluşturur [Karimova, 2011]. Aynı zamanda Kuzeybatı yönlü egemen dalga akıntısı [Alpar, 2009] nedeniyle, deltanın batı kesimi içbükey ve erozyona açık, doğu kesimi ise birikimsel ve dışbükey bir morfoloji sergilemektedir [Özesmi, 1999]. Ancak son yıllarda Kızılırmak üzerinde inşa edilen barajlar (Altınkaya, Derbent, Boyabat), deltaya ulaşan sediman yükünü ciddi ölçüde azaltmış, doğal plaj sırtı oluşumu ve kıyı ilerlemesi süreçlerini kesintiye uğratmıştır. Bu durum, özellikle delta batısında kıyı gerilemesini ve göl alanlarının küçülmesini hızlandırmakta, sistemin doğal denge mekanizmalarını zayıflatmaktadır.

Kızılırmak Deltası'nın jeomorfolojik karakteri, çok ölçekli doğal süreçlerin ve antropojenik etkilerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Özellikle kıyı boyunca gelişen kumul sırtları ve sırt sistemleri, hem delta göllerinin fiziksel sınırlarını çizen hem de delta–deniz etkileşimini düzenleyen önemli morfodinamik unsurlar arasında yer almaktadır.

Bu yapılar yalnızca morfolojik olarak sınır görevi görmekle kalmayıp, aynı zamanda göl sistemlerinin tuzluluk kontrolü ve su sirkülasyonu açısından da önem arz etmektedir. Kızılırmak Deltası'nda yer alan başlıca göller (Balık Gölü, Cernek Gölü, Gıcıcı Gölü, Uzun Göl, Liman Gölü) bu plaj sırtları ve kumul setleri ile şekillenmiş kapalı veya yarı açık sistemlerdir. Karadeniz'e yakın göller örneğin Liman Gölü ve Karaboğaz Gölü, Karadeniz ile bağlantılı, yarı tuzlu lagün sistemleri niteliğindedir.

Buna karşın, iç deltada daha geride konumlanan göller örneğin Gıcıcı Gölü, Uzun Gölü ve Tatlı Göl sırtlar tarafından deniz etkisinden yalıtılmış, hidrolojik olarak daha kapalı sistemlerdir. Bu göller, büyük ölçüde yerel yağış, tarımsal drenaj ile beslenmektedir. Bu özellikleri nedeniyle daha düşük tuzluluk seviyelerine sahiptirler ve büyük oranda tatlı su sulak alanları olarak işlev görmektedirler. Cernek ve Balık Gölleri gibi geniş yüzey alanına sahip karma sistemlerdir. Özellikle Cernek Gölü'nün çevresi, mevsimsel su seviyelerindeki değişime bağlı olarak zaman zaman bataklığa dönüşmekte, bu da kıyı şeridindeki kuş göçü rotaları ve üreme habitatları için kritik bir alan oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, Kızılırmak Deltası'ndaki sırt-göl ilişkisi, sadece morfolojik olarak değil; aynı zamanda limnolojik denge, habitat sürekliliği ve tuzluluk rejiminin korunması açısından da anahtar bir role sahiptir. Delta üzerindeki bu mikro-jeomorfolojik yapılar, doğal rejimdeki sürekliliği, göl sistemlerinin mevsimsel dinamiklerinin anlaşılmasında ve korunmasında kritik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

2.3. İklimsel Özellikler ve Meteorolojik Gözlemler

Çalışma alanı, Samsun ili sınırları ve Kızılırmak Havzası içerisinde yer almakta olup genel olarak ılıman ve denizel iklim özellikleri göstermektedir. Ancak iç kesimlerde Akdağ ve Canik Dağları'nın yükselti etkisi belirginleşmekte, yağışlar doğuya doğru arttıkça Karadeniz'in dağ iklimi özellikleri hâkim olmaktadır. Sahil şeridinde yer alan Merkez ilçe, Terme, Çarşamba, Bafra, Alaçam, Ondokuz Mayıs, Tekkeköy ve Yakakent gibi yerleşim alanlarında ise daha tipik bir Karadeniz iklimi gözlenmektedir. Genel olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir.

Kızılırmak Deltası, Karadeniz etkisi altında denizel C1-C2 tipi bir iklime sahiptir [Köse vd., 2014; Şensoy vd., 2008]. Bölgenin yıllık bağıl nem oranı genellikle %70'in üzerindedir [Arslan vd., 2007]. Ancak, delta alanı, Sinop ve Samsun kıyılarına kıyasla daha az nemli ve yaz aylarında daha kurak ve sıcak bir mikroklima etkisi göstermektedir [Şensoy vd., 2018].

2.4. Göller ve Sulak Alan Sistemleri

2.4.1. Sulama ve Drenaj Kanalları

Geçmişte Kızılırmak Deltası sulak alanları, nehrin doğal rejimi ve Karadeniz kaynaklı gel-git/sürüklenme akıntılarıyla dinamik bir beslenme dengesine sahipti. Ancak özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren, Derbent Barajı'nın inşası ve akarsuyun delta ovası boyunca taşkın yapmasını önlemeye yönelik olarak uygulanan setleme ve kanalizasyon sistemleri, bu doğal beslenme süreçlerini önemli ölçüde kesintiye uğratmıştır. Delta düzlüğünde sulak alanların çevrelerinde inşa edilen drenaj kanalları (~1400 km²), bu sığ göllerin aşırı yağış ve yüzey akışı ile taşmasını engellemek ve çevredeki tarım arazilerini korumak amacıyla yapılır **Şekil 2.7**. Ancak bu tür

müdahaleler, doğal su rejimini değiştirdiğinden sulak alanların ekosistem dengesini olumsuz etkileyebilir.



Şekil 2.7: Delta düzlüğündeki drenaj kanalları.

Deltadaki başlıca drenaj kanalları şunlardır;

- 13'ü doğu yakasında (örneğin: Badut, Bakırpınar, Boytar, Çorak, Hızır İlyas, Peskeller vb.),
- 17'si batı yakasında (örneğin: Başat, Göçkün A–B, Karadere, Göltepe, Paşaboğazı, Selemağrı vb.)

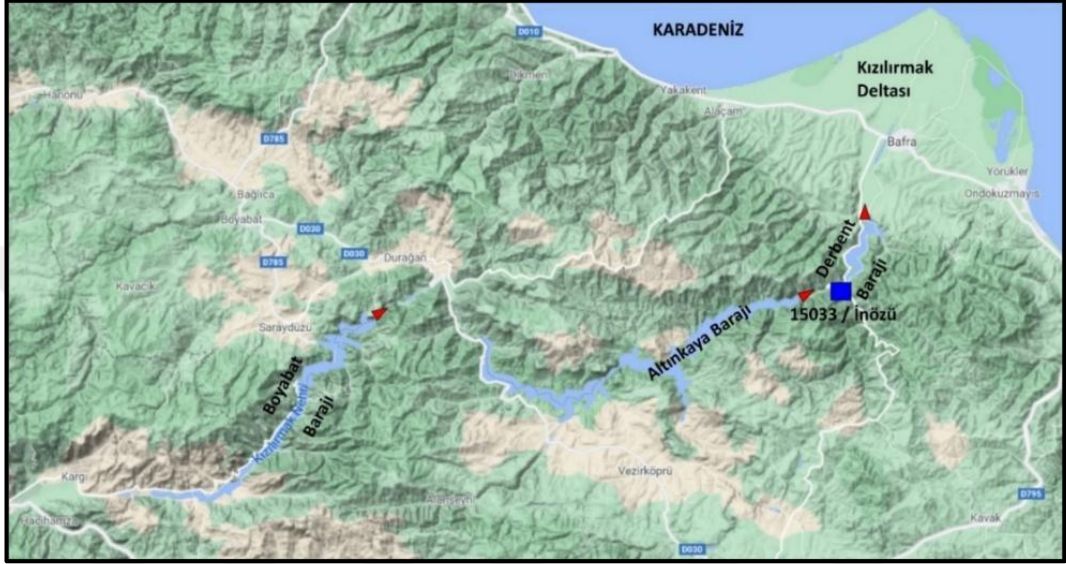
Özellikle kurak mevsimlerde ve düşük akım koşullarında, bu yapıların etkisi daha belirgin hâle gelmekte ve birçok göl sisteminde mevsimsel veya kalıcı kuruma riskini ortaya çıkarmaktadır. Böylece, bu durum sulak alanların sadece fiziksel varlıklarını değil, aynı zamanda ekolojik işlevlerini de tehdit etmekte; su kuşlarının üreme alanları, bataklık habitatları ve sazlık ekosistemlerinin sürekliliği açısından ciddi baskılar oluşturmaktadır.

2.4.2. Baraj Sistemleri ve Delta Etkileri

Kızılırmak Nehri üzerinde, Bafra'nın güneyinden Çorum/Kargı'ya kadar uzanan kesimde üç büyük baraj bulunmaktadır **Şekil 2.8.:**

- Derbent Barajı (1990, delta ağzına 30 km),
- Altinkaya Barajı (1988, delta ağzına 50 km),
- Boyabat Barajı (2010, delta ağzına 130 km).

Başlıca sulama ve hidroelektrik enerji üretimi amacıyla işletilen bu yapılar, nehrin akım rejimini ve sediment taşınımını büyük ölçüde kontrol altına alarak delta kıyı şekillenmesini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, Derbent Barajı ile Karadeniz arasındaki nehir kesiminde taşkınları önlemek amacıyla yapay setler ve kanal düzenlemeleri inşa edilmiştir.



Şekil 2.8: Kızılırmak Nehri üzerinde inceleme alanına yakın kesimde inşa edilen barajlar.

2.4.3. Göller ve Bataklık Sistemleri

Kızılırmak Deltası'nda yer alan göller, alüvyal set gölleri karakterinde olup, deltanın Holosen dönemindeki morfolojik evrimine paralel olarak gelişmişlerdir. Bu göller, Kızılırmak Nehri ve onun yan kollarından gelen tatlı su girdisi ile oluşmuş ve bölgesel yağış rejimi tarafından desteklenmiştir. Karadeniz'e yakın konumlanan göllerde tuzluluk oranı iç kesimlere göre daha yüksektir. Deltanın doğu yakasında yer alan başlıca göller, kuzeyden güneye Tuzlu Göl, Sülüklü Gölü, Liman Gölü, Altınlı Göl, Paralı Gölü, Cernek Gölü, Balık Gölü, Uzun Göl, Gıcı Göl ve Tatlı Gölüdür. Deltanın batı yakasında ise yalnızca Karaboğaz Gölü yer almaktadır. Liman Gölü lagün göl özellikleri gösterirken diğer göller, plaj sırtlarının ilerlemesiyle setlenerek oluşmuştur.

Bu göller genellikle 1–2 metre derinliğe sahip, sığ ve geniş yüzeyli su kütleleridir. Göllerin alan sınırları, büyüklüklerine göre değişiklik göstermektedir (Tablo 4). Özellikle Cernek Gölü (679 ha), Balık Gölü (658 ha) ve Karaboğaz Gölü (115 ha) gibi

sistemler, alan büyüklüğü açısından ön planda yer alırken; Sülüklü Gölü (2 ha), Tuzlu Göl (4 ha) gibi sistemler sınırlı yüzey alanlarıyla mikro göl karakteri göstermektedir. Tuzluluk açısından da önemli bir çeşitlilik söz konusudur. Karadeniz’e yakın göller (örneğin Tuzlu Göl, Liman Gölü) yarı tuzlu/lagün özellik sergilerken, iç delta gölleri (örneğin Gıcı Gölü, Tatlı Göl) tatlı su karakteri taşımaktadır **Tablo 2.1**.

Cernek, Balık ve Uzun Göl çevresi, sazlık ve bataklık alanlarla çevrili, su kuşları için beslenme, barınma ve üreme alanı sağlayan sistemlerdir. Mevsimsel olarak birçok göl yaz aylarında kısmen kuruyarak mevsimsel göl–bataklık dönüşümü sergilemekte ve bu durum NDWI analizlerinde alansal daralmalarla gözlemlenmektedir. Özellikle tatlı su sistemleri, çevresel faktörlere daha duyarlı olup, yağış rejimindeki değişim, buharlaşma oranlarındaki artış ve tarımsal su kullanımı gibi nedenlerle su seviyesi dalgalanmalarına maruz kalmaktadır.

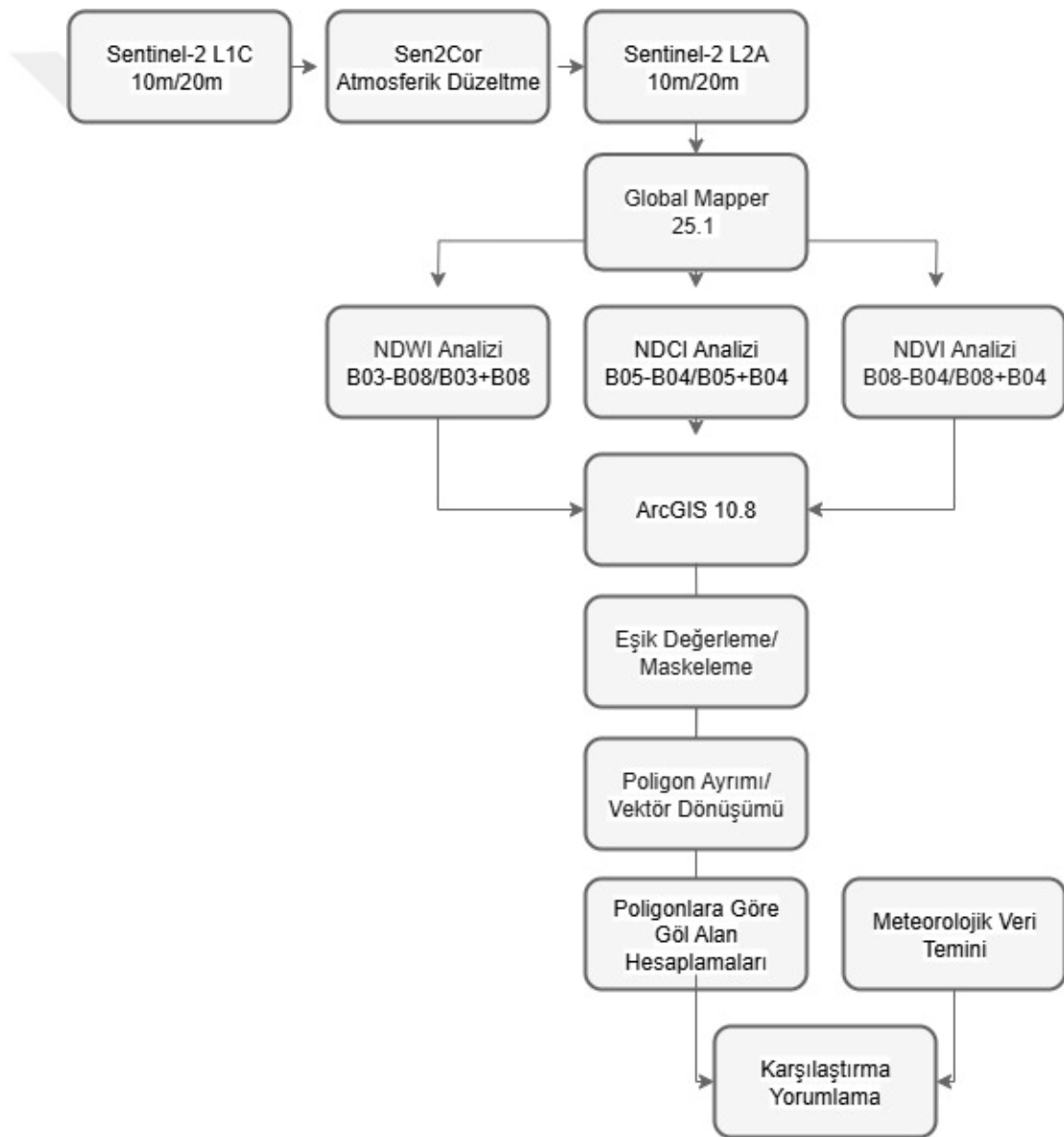
Tablo 2.1: Kızılırmak Deltasında yer alan sürekli göllerin temel limnolojik özelliklerinin karşılaştırmalı tablosu [Demirkalp, 2010; Gündüz, 2013 vd.; Ustaoglu, 2012 düzenlenerek].

	Alan (ha)	Derinlik (m)	Tuzluluk (‰)	Sıcaklık (°C)	Chl (µg/L)	pH
Liman Gölü	192.4	1.5-3.75	1.9-4	5.7-24.1	3.88-49.77	7.89-8.80
Çernek Gölü	411.1	0.8-1.4	0-10	15.7-30.3	-	8.38-9.56
Balık Gölü	830.3	0.9-1.5	0-6	12.9-26.9	-	8.28-9.15
Uzun Gölü	212.4	0.6-1.5	0-2	12.5-26.8	-	8.22-9.20
Gıcı Gölü	138.0	1.0-1.3	4	12.8-26.8	-	8.11-9.96
Tatlı Gölü	68.9	0.8-1.0	0-4	13.4-27.9	-	8.20-9.60
Karaboğaz Gölü	147.1	0.8-1.8	0.3-4.9	5-27.2	2-30	6-9

3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri

Bu bölümde, çalışmada kullanılan sulak alan veri setinin oluşturulma sürecinde uygulanan analiz adımları detaylandırılmış, ek olarak elde edilen meteorolojik verilerin işlenmesi ve bu veriler ile gerçekleştirilen korelasyonlara ilişkin bilgiler sunulmuştur **Şekil 3.1**.



Şekil 3.1: Çalışma akış şeması.

3.1.1. Uydu Görüntü Verileri

Çalışmada, Kızılırmak Deltası sulak alanlardaki uzun dönemli zamansal ve mekânsal değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Sentinel-2A ve 2B uyduları ile veri sağlamaktadır ve kara yüzeylerinin izlenmesine yönelik geliştirilmiş olup, 13 farklı spektral bantta veri sağlayabilmektedir. Bu bantlar, 10-20 ve 60 metre olmak üzere üç farklı mekânsal çözünürlükte sunulmaktadır. Çalışmada NDWI ve NDVI indekslerin hesaplanmasında 10 metre, NDCI indeks hesaplanmasında ise 20 metre çözünürlükteki bantlar kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan Sentinel-2 Level 1C ürünleri, 10/20 metre mekânsal çözünürlükte olup, atmosferik düzeltme öncesi görüntü verileri içermektedir. Uydu görüntüleri, Copernicus Open Access Hub üzerinden temin edilmiş ve 2015 yılından 2025-Haziran ayına kadar olan dönemi kapsayacak şekilde seçilmiştir. Mevsimsel ve yıllık dalgalanmaların sağlıklı değerlendirilebilmesi amacıyla, bulutluluk oranı ‘<%10’ dan düşük olan görüntüler öncelikli tercih edilmiştir. Bu kapsamda toplam 92 adet uydu görüntüsü analiz edilmiştir **Tablo 3.1**. Analiz edilen görüntüler, deltadaki sulak alan dinamiklerinin, mevsimsel ve yıllık ölçekte alan değişimlerini ortaya koyup, bölgenin mekânsal ve zamansal ölçekte değerlendirilmesine yönelik veri setinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan uydu görüntü verilerinin özellikleri.

No	Uydu Tipi	Tarih	Kod
1	Sentinel-2/L1C 10m	13/08/2015	N0204_R021_T37TBG_20150813T083009
2		02/09/2015	N0204_R021_T37TBG_20150902T083049
3		21/11/2015	N0204_R021_T37TBG_20151121T083826
4		09/02/2016	N0201_R021_T36TYM_20160209T083522
5		10/03/2016	N0201_R021_T37TBG_20160310T083000
6		19/04/2016	N0500_R021_T37TBG_20231011T210636
7		09/05/2016	N0500_R021_T37TBG_20231001T204111
8		28/06/2016	N0204_R021_T37TBG_20160628T083813
9		07/08/2016	N0500_R021_T36TYM_20231004T033601
10		06/09/2016	N0204_R021_T37TBG_20160906T083437
11		15/12/2016	N0204_R021_T36TYM_20161215T083340
12		05/03/2017	N0204_R021_T36TYM_20170305T083038
13		04/04/2017	N0205_R021_T36TYM_20170404T082559
14		23/06/2017	N0205_R021_T37TBG_20170623T082601
15		13/07/2017	N0205_R021_T36TYM_20170713T083829
16		02/08/2017	N0205_R021_T36TYM_20170802T083801

Tablo 3.1 (Devamı): Çalışmada kullanılan uydu görüntü verilerinin özellikleri.

No	Uydu Tipi	Tarih	Kod
17		11/09/2017	N0205_R021_T36TYM_20170911T083628
18		21/10/2017	N0205_R021_T36TYM_20171021T083129
19		30/11/2017	N0206_R021_T36TYM_20171130T111526
20		10/12/2017	N0206_R021_T36TYM_20171210T110250
21		10/03/2018	N0206_R021_T37TBG_20180310T122012
22		19/04/2018	N0206_R021_T36TYM_20180419T095816
23		14/05/2018	N0206_R021_T36TYM_20180514T103922
24		08/06/2018	N0206_R021_T37TBG_20180608T104719
25		08/07/2018	N0206_R021_T36TYM_20180708T103305
26		17/08/2018	N0206_R021_T36TYM_20180817T111948
27		01/09/2018	N0206_R021_T36TYM_20180901T122129
28		25/11/2018	N0207_R021_T37TBG_20181125T095854
29		29/01/2019	N0207_R021_T37TBG_20190129T104832
30		03/02/2019	N0207_R021_T36TYM_20190203T100010
31		10/03/2019	N0207_R021_T36TYM_20190310T124202
32		09/04/2019	N0207_R021_T36TYM_20190409T121841
33		04/05/2019	N0207_R021_T36TYM_20190504T103339
34		03/06/2019	N0207_R021_T37TBG_20190603T095847
35		03/07/2019	N0207_R021_T37TBG_20190703T104744
36		01/10/2019	N0500_R021_T37TBG_20230714T070224
37		10/11/2019	N0208_R021_T37TBG_20191110T100447
38		10/12/2019	N0208_R021_T36TYM_20191210T085812
39		29/01/2020	N0208_R021_T37TBG_20200129T085750
40		18/02/2020	N0209_R021_T36TYM_20200218T094408
41		09/03/2020	N0209_R021_T36TYM_20200309T103133
42		08/04/2020	N0209_R021_T36TYM_20200408T122457
43	Sentinel-2/L1C 10m	13/05/2020	N0209_R021_T37TBG_20200513T111107
44		07/07/2020	N0209_R021_T36TYM_20200707T104458
45		10/09/2020	N0209_R021_T36TYM_20200910T104238
46		15/10/2020	N0209_R021_T37TBG_20201015T094931
47		14/11/2020	N0209_R021_T37TBG_20201114T095505
48		04/12/2020	N0209_R021_T36TYM_20201204T095944
49		27/02/2021	N0209_R021_T36TYM_20210227T104027
50		14/03/2021	N0209_R021_T37TBG_20210314T094804
51		18/05/2021	N0300_R021_T37TBG_20210518T094047
52		07/06/2021	N0300_R021_T36TYM_20210607T110323
53		17/07/2021	N0500_R021_T36TYM_20230201T234606
54		16/08/2021	N0301_R021_T36TYM_20210816T092504
55		30/10/2021	N0500_R021_T36TYM_20230127T133129
56		04/11/2021	N0301_R021_T37TBG_20211104T092832
57		29/12/2021	N0301_R021_T37TBG_20211229T094740
58		12/02/2022	N0400_R021_T37TBG_20220212T092511
59		29/03/2022	N0400_R021_T36TYM_20220329T095732
60		18/05/2022	N0400_R021_T36TYM_20220518T101605
61		02/06/2022	N0400_R021_T37TBG_20220602T121719
62		27/07/2022	N0400_R021_T37TBG_20220727T101406
63		21/08/2022	N0400_R021_T37TBG_20220821T092045
64		15/09/2022	N0400_R021_T37TBG_20220915T102850
65		25/10/2022	N0400_R021_T36TYM_20221027T060911
66		24/12/2022	N0509_R021_T37TBG_20221224T092251
67		03/01/2023	N0509_R021_T36TYM_20230103T092252
68		17/02/2023	N0509_R021_T37TBG_20230217T102905
69		09/03/2023	N0509_R021_T36TYM_20230309T105012
70		13/04/2023	N0509_R021_T36TYM_20230413T102940

Tablo 3.1 (Devamı): Çalışmada kullanılan uydu görüntü verilerinin özellikleri.

No	Uydu Tipi	Tarih	Kod
71	Sentinel-2/L1C 10m	03/05/2023	N0509_R021_T37TBG_20230503T105955
72		17/06/2023	N0509_R021_T37TBG_20230617T090912
73		22/07/2023	N0509_R021_T36TYM_20230722T103258
74		16/08/2023	N0509_R021_T36TYM_20230816T121100
75		20/10/2023	N0509_R021_T36TYM_20231020T091933
76		24/11/2023	N0509_R021_T37TBG_20231124T091934
77		29/12/2023	N0510_R021_T37TBG_20231229T091605
78		18/03/2024	N0510_R021_T36TYM_20240318T091415
79		02/04/2024	N0510_R021_T36TYM_20240402T091511
80		22/05/2024	N0510_R021_T37TBG_20240522T101236
81		11/06/2024	N0510_R021_T37TBG_20240611T103040
82		11/07/2024	N0510_R021_T36TYM_20240711T103038
83		20/08/2024	N0511_R021_T36TYM_20240820T121250
84		14/09/2024	N0511_R021_T36TYM_20240914T104238
85		04/10/2024	N0511_R021_T36TYM_20241004T092004
86		08/11/2024	N0511_R021_T37TBG_20241108T091347
87		03/12/2024	N0511_R021_T37TBG_20241203T092414
88		07/01/2025	N0511_R021_T36TYM_20250107T102400
89		01/02/2025	N0511_R021_T36TYM_20250201T102938
90		08/03/2025	N0511_R021_T36TYM_20250308T091042
91		22/05/2025	N0511_R021_T36TYM_20250522T102852
92		03/06/2025	N0511_R021_T37TBG_20250603T091315

3.1.2. Görüntü İşleme ve CBS Analizleri

Bu tez kapsamında kullanılan Sentinel-2 Level-1C ürünleri, ‘Top of Atmosphere (TOA)’ yansımaya değerlerini içermekte olup, atmosferde bulunan su buharı, aerosoller ve gazların etkileri nedeniyle gerçek yüzey yansıtıcılığını (Bottom of Atmosphere-BOA) yansıtmaz. Bu etkiler, uydu görüntülerinin spektral doğruluğunu azaltmakta ve yer yüzeyine ait yansımaya değerlerinin gerçeği tam olarak yansıtmamasına neden olmaktadır. Bu durum; indeks hesaplamaları, arazi örtüsü sınıflamaları ve zamansal analizlerde hatalara yol açabilmektedir.

Sen2Cor yazılımı, komut satırı olarak veya ESA’nın SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımına eklenti olarak çalıştırılabilmektedir. Uygulama, Copernicus DEM 30m kullanımı ile desteklenmekte olup, yeryüzü şekillerine bağlı olarak yansımaya değerlerinde meydana gelen farklılıklar bu sayede daha gerçekçi biçimde düzeltilmektedir. Böylece, eğimli ve dağlık arazilerde atmosferik düzeltmenin hassasiyeti artırılmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada Sentinel-2 L1C görüntüleri, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen atmosferik düzeltme yazılımı olan Sen2Cor (Sentinel-2

Atmospheric Correction) (v2.12.03) kullanılarak işlenmiştir. İşlem, Windows işletim sistemi üzerinde komut satırı üzerinden yapılmış ve çıktı olarak L2A formatındaki düzeltmeli görüntüler elde edilmiştir **Şekil 3.2**. Böylece Sen2Cor, TOA yansıma değerlerini BOA yansıtıcılık değerlerine çevirerek atmosfer etkilerini önemli ölçüde azaltır. Bu sayede analizlerde kullanılan veriler, daha doğru, güvenilir ve karşılaştırılabilir yersel yansıtıcılık değerleri sunacak şekilde hazırlanmıştır. Böylelikle hem mekânsal hem de zamansal analizlerin doğruluğu artırılmıştır.

```

C:\WINDOWS\system32\CMD
Microsoft Windows [Version 10.0.26100.4351]
(c) Microsoft Corporation. Tüm hakları saklıdır.

C:\Users\Salman> cd C:\Sen2Cor-02.12.03-win64

C:\Sen2Cor-02.12.03-win64> L2A_Process.bat --resolution 10 "C:\Users\Salman\Desktop\Spatial Analysis\Level1Cto2A_new\S2A_MSI11C_20241203T083331_N0511_R021_T37TBG_20241203T092414.SAFE"

total: 0:19:12.279000
Progress[%]: 28.75 : PID-15016, L2A_AtmCorr: end of AOT retrieval at 550nm, elapsed time[s]: 3.028, total: 0:19:15.307000
Progress[%]: 28.75 : PID-15016, L2A_AtmCorr: preparation of surface reflectance retrieval, elapsed time[s]: 0.013, total: 0:19:15.320000
Progress[%]: 28.80 : PID-15016, L2A_AtmCorr: end of surface reflectance retrieval preparation, elapsed time[s]: 1.879, total: 0:19:17.199000
Progress[%]: 28.80 : PID-15016, L2A_AtmCorr: start of surface reflectance retrieval, elapsed time[s]: 0.014, total: 0:19:17.213000
Progress[%]: 32.69 : PID-15016, L2A_AtmCorr: end of surface reflectance retrieval, elapsed time[s]: 150.544, total: 0:21:47.757000
Progress[%]: 32.69 : PID-15016, L2A_AtmCorr: start of rho retrieval step 2, elapsed time[s]: 0.052, total: 0:21:47.809000
Progress[%]: 36.58 : PID-15016, L2A_AtmCorr: end of rho retrieval step 2, elapsed time[s]: 150.695, total: 0:24:18.504000
Progress[%]: 36.58 : PID-15016, L2A_ProcessTile: start of post processing, elapsed time[s]: 0.081, total: 0:24:18.585000
Progress[%]: 36.58 : PID-15016, L2A_Tables: start export for 10 m resolution, elapsed time[s]: 0.016, total: 0:24:18.601000
Progress[%]: 37.52 : PID-15016, L2A_Tables: band B02 exported, elapsed time[s]: 36.558, total: 0:24:55.159000
Progress[%]: 38.59 : PID-15016, L2A_Tables: band B03 exported, elapsed time[s]: 41.437, total: 0:25:36.596000
Progress[%]: 39.63 : PID-15016, L2A_Tables: band B04 exported, elapsed time[s]: 39.888, total: 0:26:16.484000
Progress[%]: 41.21 : PID-15016, L2A_Tables: band B08 exported, elapsed time[s]: 61.255, total: 0:27:17.739000
Progress[%]: 41.32 : PID-15016, L2A_Tables: band AOT exported, elapsed time[s]: 4.421, total: 0:27:22.160000
Progress[%]: 41.53 : PID-15016, L2A_Tables: band WVP exported, elapsed time[s]: 8.039, total: 0:27:30.199000
Progress[%]: 43.08 : PID-15016, L2A_Tables: band TCI exported, elapsed time[s]: 60.266, total: 0:28:30.465000
Progress[%]: 43.09 : PID-15016, L2A_Tables: stop export, elapsed time[s]: 0.190, total: 0:28:30.655000
Progress[%]: 100.00 : Application terminated successfully.

C:\Sen2Cor-02.12.03-win64>

```

Şekil 3.2: Sen2Cor v2.12.03 ile komut satırında yürütülen atmosferik düzeltme işlemi.

Ek olarak, ESA tarafından sonradan sağlanan Level-2A ürünleri yalnızca belirli tarih aralıkları için sunulmakta ve farklı zamanlarda farklı Sen2Cor sürümleri ile işlenmiş olabilmektedir. Bu durum, çok yıllık zamansal analizlerde metodolojik olarak

tutarsızlıklara neden olabileceği için, bu çalışmada 2015 yılından itibaren günümüze kadar olan tüm Sentinel-2 L1C verileri ham olarak indirilmiş ve tamamı tek bir Sen2Cor sürümü (v2.12.03) ile işlenmiştir. Böylece tüm veri seti üzerinde aynı düzeltme algoritması ve parametreler kullanılmış, bu da özellikle uzun dönemli karşılaştırmalarda sonuçların tutarlılığını sağlamıştır. Bu yaklaşım, çalışmanın metodolojik bütünlüğünü ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmak amacıyla tercih edilmiştir.

3.1.3. Çalışmada Kullanılan İndeksler

Bu çalışmada, sulak alanların sınıflandırılması amacıyla, ön işleminden geçen uydu görüntüleri, Global Mapper 25.1 programı kullanılarak, ilgili bant kombinasyonları oluşturulmuştur. Kullanılan başlıca indeksler; Normalize Edilmiş Su İndeksi (NDWI), Normalize Edilmiş Vegetasyon İndeksi (NDVI) ve Normalize Edilmiş Klorofil İndeksleridir (NDCI) **Tablo 3.2**. Bu indeksler, farklı yüzey özelliklerini yansıtan bant kombinasyonları sayesinde, sırasıyla, su kütleleri, bitki örtüsü ve su içi biyolojik içeriklerin belirlenmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (NDWI), sulak alanların, açık su yüzeylerinin ve göletlerin tespiti için temel bir göstergedir. Bu indeks, Sentinel-2 uydusu için, yeşil (bant 3) ve yakın kızılötesi (bant 8) bantlar kullanılarak hesaplanır ve su yüzeylerinin güçlü bir şekilde negatif NIR yansıması göstermesi sayesinde, su kütlelerini diğer yüzeylerden ayırmada yüksek doğruluk sunar. Çalışmada kullanılan ana veri seti Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi ile üretilmiştir. Özellikle açık su alanlarının haritalanmasında kullanılan bu indeks, su alanlarının değişim analizlerinde sıklıkla kullanılan bir indekstir. Ancak bazı dönem ve alanlarda, yalnızca NDWI kullanımı su yüzeylerinin doğru şekilde ayrıştırılmasında yetersiz kalabilmektedir. Bu durum özellikle, su yüzeylerinin üzerinde yoğun sucul bitki örtüsü bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlarda, NDVI ve NDCI gibi bitki ve klorofil odaklı spektral indeksler, su yüzeyini kaplayan biyotik unsurların tespitinde kritik rol oynar. NDVI, özellikle yoğun vejetasyonu tanımlamada etkiliyken; NDCI, fitoplankton ve algal gelişimi gibi su kolonisi içindeki biyokütle yoğunluklarını değerlendirmede etkin bir göstergedir [Mishra and Mishra, 2012; Gitelson et al., 2008].

Tablo 3.2: NDWI/NDCI/NDVI bant ve indeks formülleri.

Spektral İndeks	Formül	Sentinel-2 Bant
Normalize Edilmiş Su İndeksi	$NDWI = \frac{\text{Yeşil} - \text{Yakın Kızılötesi}}{\text{Yeşil} + \text{Yakın Kızılötesi}}$	$NDWI = \frac{(\text{Bant 3} - \text{Bant 8})}{(\text{Bant 3} + \text{Bant 8})}$
Normalize Edilmiş Vejetasyon İndeksi	$NDVI = \frac{\text{Yakın Kızılötesi} - \text{Kırmızı}}{\text{Yakın Kızılötesi} + \text{Kırmızı}}$	$NDVI = \frac{(\text{Bant 8} - \text{Bant 4})}{(\text{Bant 8} + \text{Bant 4})}$
Normalize Edilmiş Klorofil İndeksi	$NDCI = \frac{\text{Kırmızı Kenar 1} - \text{Kırmızı}}{\text{Kırmızı Kenar 1} + \text{Kırmızı}}$	$NDCI = \frac{(\text{Bant 5} - \text{Bant 4})}{(\text{Bant 5} + \text{Bant 4})}$

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), bitki örtüsü varlığı ve yoğunluğunun tespit edilmesinde kullanılan en yaygın spektral indekslerden biridir. Bu indeks, Sentinel-2 uydusu için, yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar kullanılarak hesaplanır. Kuraklık izleme, tarımsal verimlilik tahmini, yangın arazilerinin izlenmesi gibi alanlarda kullanılan NDVI analizi, bu tez çalışmasında göl yüzeyinde gözlemlenen yoğun vejetasyon varlığını analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Normalize Fark Klorofil İndeksi verileri ile desteklenerek, Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır.

Kullanılan bir diğer indeks olan Normalize Fark Klorofil İndeksi (NDCI), kırmızı kenar ve kırmızı spektral bantları kullanılarak hesaplanır. Özellikle klorofil-a içeriği yüksek olan sulak alanlarda ve fitoplankton ve alg yoğunluğunu tespit etmede sıklıkla kullanılan bu indeks özellikle bulanık veya yoğun biyokütleyle sahip göl bölgelerinde kullanımı yaygındır.

3.1.4. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Aşamaları

İndeksleme süreci sonucunda elde edilen raster verileri, ArcGIS 10.8 yazılım ortamına aktarılmış ve mekânsal analizler bu program üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada öncelikle çalışma alanı sınırlarıyla raster verilerin çakıştırılması ve maskeleme işlemleri yapılmış, ardından zaman serileri üzerinden zamansal karşılaştırmalar yürütülmüştür. NDWI indeksinde 0 eşik değeri esas alınarak su yüzeyleri diğer yüzeylerden ayrıştırılmıştır. NDVI analizinde düşük (0.1–0.3) ve yüksek (>0.3) bitki örtüsü sınıfları tanımlanmıştır [Jensen, 2007]. NDCI analizinde ise **Mishra and**

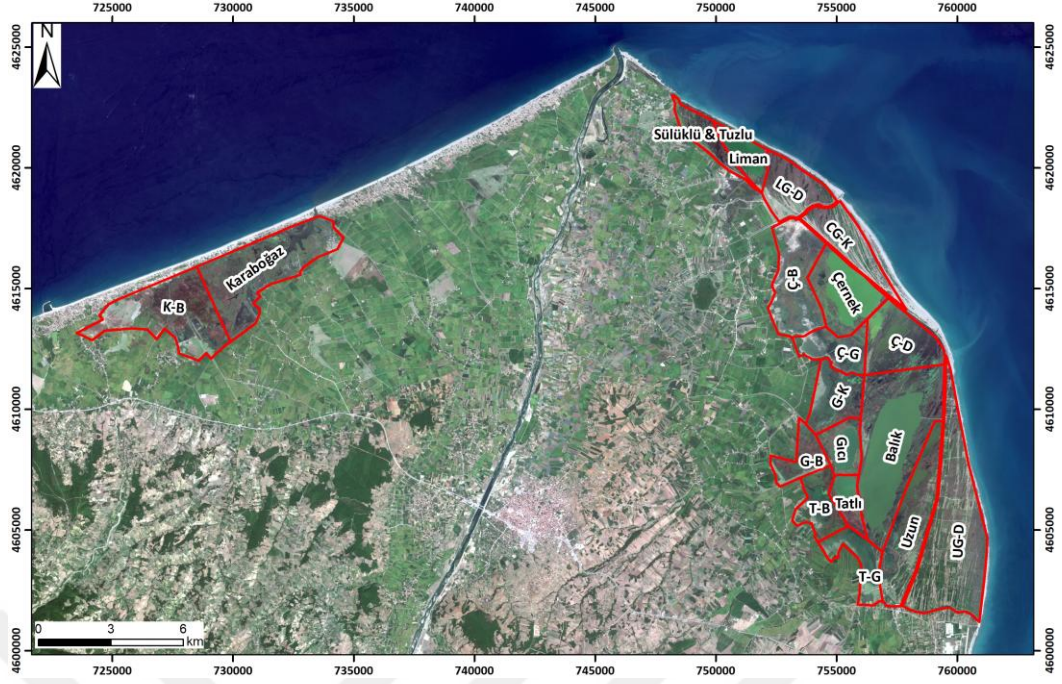
Mishra [2012] tarafından önerilen sınıflamaya uygun şekilde, NDCI <0 değerleri düşük klorofil, 0–0.2 orta, >0.2 ise yüksek klorofil yoğunluğu (alg patlaması riski) olarak değerlendirilmiştir.



	Sulak Alan	Alan (ha)
Liman Gölü D	LG-D	56.8
Çernek K	CG-K	10.0
Uzun Göl D	UG-D	21.1
Karaboğaz Gölü	Karaboğaz	290.6
Tatlı B	T-B	88.2
Liman Gölü	Liman	194.0
Sülük & Tuzlu Göl	Sülüklü & Tuzlu	45.9
Çernek Gölü	Çernek	529.7
Çernek B	Ç-B	238.9
Çernek G	Ç-G	276.4
Çernek D	Ç-D	472.2
Balık Gölü	Balık	1015.5
Uzun Göl	Uzun	240.6
Gıcı K	G-K	367.5
Gıcı B	G-B	57.7
Gıcı Gölü	Gıcı	151.9
Tatlı Gölü	Tatlı	70.2
Tatlı G	T-G	163.0
Karaboğaz B	K-B	86.6

Şekil 3.3: 15/09/2022 tarihli uydu görüntüsü, su indeks analizi sonucu elde edilen ve 19 bölgeye ayrılmış zonlama haritası ile aynı tarihe ait göl alanlarının (ha cinsinden) hesaplanmış değerleri.

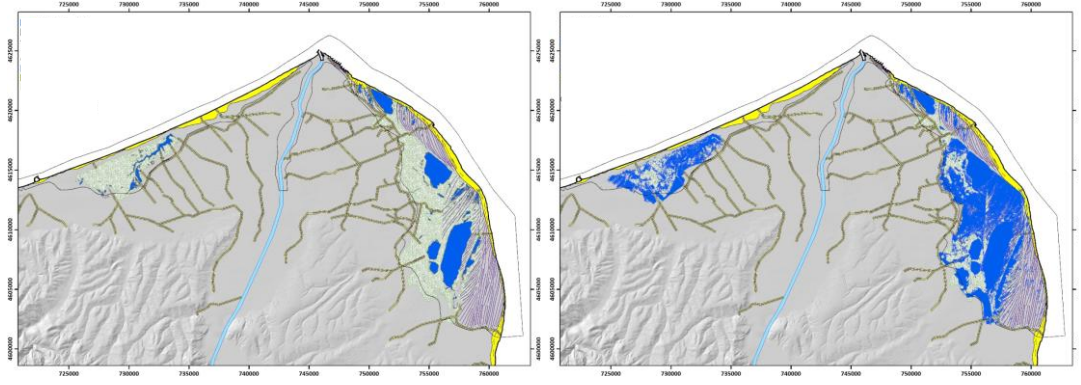
Deltadaki sulak alan sistemi, maksimum dönemlerde iç içe karışan bir yapıya sahip olduğundan dolayı, göl alanları ve çevre bölgeleri, sürekli ve mevsimlik göl alanlarına dikkat edilerek, 19 farklı göl alan kompleksine ayrılmıştır **Şekil 3.3**, **Şekil 3.4**. Alanların bölümlenmesi, ana göller ve çevrelerindeki sulak alanlar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu zonlama sayesinde göl alanının genel değişimi yanında, lokal ölçekteki farklılıklar da ayrı ayrı değerlendirilebilmiştir. Böylece her göl alanı ve çevresi için uzun dönem alan verileri oluşturulmuştur. Her bir alana ait veriler ayrı katmanlar olarak oluşturulmuş, mekânsal analizler bu yapılar üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4: Göl alanlarının farklı zonlara bölümlendirildiği uydu görüntüsü.

Eşiklenen ve kırılan raster verileri vektör dönüşümü ile poligon formatına dönüştürülmüştür. Her bir tarih için elde edilen poligonlar kullanılarak, göl yüzey alanı hesaplanmış ve alan değişimleri analiz edilmiştir **Şekil 3.5**. Her bir indeks, Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen zaman serileri üzerinden hesaplanmış, sonuçlar aylık ve yıllık düzeyde grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen NDWI, NDVI ve NDCI indeks sonuçları ayrıca meteorolojik verilerle (yağış, sıcaklık, buharlaşma) ilişkilendirilerek değerlendirilmiş, bu sayede göl alanı değişimlerinin sadece uzamsal değil aynı zamanda iklimsel boyutta da açıklanması sağlanmıştır.

Ayrıca, bu analizler sayesinde yağış ve buharlaşma arasındaki dengenin alan değişimleri üzerindeki etkileri sayısal olarak ortaya konmuştur. Uzun dönemli eğilim analizleri ile su bütçesi bileşenlerinin mevsimsel ve yıllık değişimleri incelenmiş ve sulak alan ekosistemlerinin sürdürülebilirliği açısından önemli göstergeler sunulmuştur.



Şekil 3.5: Kızılırmak Deltası sulak alan hacimlerinin kurak ve sulak mevsimlerdeki sınırları.

3.2. Meteorolojik Veriler

Çalışma alanına ilişkin meteorolojik veriler, sulak alan veri setindeki dalgalanmaların, iklimsel faktörlerle ilişkisini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu kapsamda yağış, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik parametreler kullanılmıştır. Elde edilen veriler, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), BAFRA (İst.No.17622) istasyonundan sağlanmış ve aylık zaman çözünürlüğünde analiz edilmiştir.

Yağış verileri, sulak alan dinamiklerini doğrudan etkileyen birincil hidrolojik girdilerden biri olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda toplam aylık yağış değerleri kullanılarak alansal su dengesine katkısı değerlendirilmiş; ayrıca mevsimsel dağılımlar analiz edilerek su seviyelerindeki dönemsel değişiklikler ile olası ilişkiler tartışılmıştır. Sıcaklık verileri ise hem sulak alanlardaki buharlaşma süreçlerini etkileyen bir iklimsel kontrol değişkeni olarak hem de potansiyel evapotranspirasyon (ET_o) hesaplamalarında temel girdi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada, istasyondan temin edilen doğrudan buharlaşma verileri sınırlı olduğundan dolayı, potansiyel buharlaşma (ET_o) değerleri Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmıştır. Penman-Monteith yöntemi hem iklimsel enerji dengesini hem de atmosferik buhar taşıma kapasitesini dikkate alan fiziksel temelli bir modeldir. Bu yöntemde güneşlenme süresi, sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi

değişkenler bir araya getirilerek potansiyel evapotranspirasyon tahmin edilir. Çalışma alanı için hesaplanan bu yöntem için gerekli temel meteorolojik veriler şunlardır;

- Aylık ortalama sıcaklık (°C)
- Güneşlenme Süresi (saat)
- Ortalama rüzgâr hızı (m/s)
- Bağıl nem (%)

Yöntemin teorik olarak temeli, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayımlanan **FAO-56 Sulama ve Drenaj Yayını [1998]**'na dayanmaktadır. Yayında Penman-Monteith eşitliğinin günlük bazda nasıl uygulanacağı ve ihtiyaç duyulan veri setleri detaylı şekilde açıklanmıştır. Bu çalışma için, veriler Excel tabanlı hesaplama aracı üzerinden hesaplanmıştır.

Temin edilen meteorolojik veriler, Sentinel-2 verilerinden elde edilen Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi ve Normalize Fark Klorofil İndeksleri ile karşılaştırılmış; bu sayede göl alanı değişimlerinin mevsimsel ve yıllık bazda iklimsel etmenlerle ilişkisi analiz edilmiştir. Bu bütüncül analiz yaklaşımı sayesinde, göl alanlarındaki daralma ve genişleme eğilimleri sadece uzaktan algılama temelli verilerle değil, aynı zamanda iklimsel dinamiklerle birlikte açıklanabilirliği artırılmıştır.

3.3. Veri Analizi

Bu çalışmada uzun dönem, sulak alan dinamiklerinin anlaşılmasına yönelik olarak, uzaktan algılama tabanlı NDWI (Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi), NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) ve NDCI (Normalize Fark Klorofil İndeksi) gibi spektral indeksler ile meteorolojik değişkenler (yağış, sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem ve güneşlenme süresi) birlikte ele alınmıştır. Tüm bu veriler, zaman serisi analizi yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Amaç, kısa vadeli mevsimsel dalgalanmaların yanı sıra uzun dönemli değişim trendlerini de ortaya koyarak, sulak alan üzerindeki iklimsel baskıları ayrıntılı biçimde analiz etmektir.

Veriler aylık zaman çözünürlüğünde organize edilmiş ve analizler üç farklı ölçek üzerinden yürütülmüştür:

Aylık Ölçekli Analiz

Her bir ay için yıllara göre ortalama değerler hesaplanarak, mevsimsel döngüler ve tekrarlayan desenler belirlenmiştir. Bu yöntem, özellikle sulak alanlarda ilkbahar ve yaz aylarında gözlenen su seviyesi değişimlerinin, buharlaşma ve yağış dinamikleriyle olan ilişkisini değerlendirmek açısından önem arz etmektedir. İlgili aylık ortalama değerlerin hesaplanmasında Python (pandas kütüphanesi) yardımıyla sistematik bir veri yapısı oluşturulmuştur. Excel ortamında ise PivotTable ve LineChart araçları ile grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Mevsimlik Analiz

Veriler, meteorolojik mevsimlere göre (İlkbahar: Mart-Mayıs, Yaz: Haziran-Ağustos, Sonbahar: Eylül-Kasım, Kış: Aralık-Şubat) ayrılarak mevsimsel toplam ve ortalamalar hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, mevsimsel evapotranspirasyon ve yağış farklarının göl alanı değişimleri üzerindeki etkisini ortaya koymak açısından kritik önemdedir.

Yıllık Ölçekli Analiz

Her yıl için hesaplanan ortalama veya toplam indeks ve meteorolojik değerler üzerinden, uzun dönemli trendlerin tespiti amaçlanmıştır. Tüm veriler zaman serisi formatında organize edilerek analizler Excel ortamında gerçekleştirilmiştir. Grafiksel sunumların zenginleştirilmesi amacıyla, aylık, mevsimsel ve yıllık ölçeklerdeki değişimleri görselleştiren çizgi ve sütun grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler, Python programlama dili yardımıyla sadece görselleştirme amacıyla hazırlanmış olup, analizlerin tamamı Excel ortamında yürütülmüştür. Python'da matplotlib kütüphanesi aracılığıyla, farklı veri kümeleri arasındaki zamansal senkronizasyonun grafiksel olarak gösterilmesi sağlanmıştır.

3.4. Arazi Gözlemleri

Tez çalışması kapsamında, 26 Ekim 2024 tarihli arazi çalışması yapılmıştır. Deltanın kuzey doğusundan başlayarak, güneye doğru devam edip, sulak alan odaklı arazi gözlem yapılmış ve arazi fotoğrafları çekilmiştir **Şekil 3.6**.

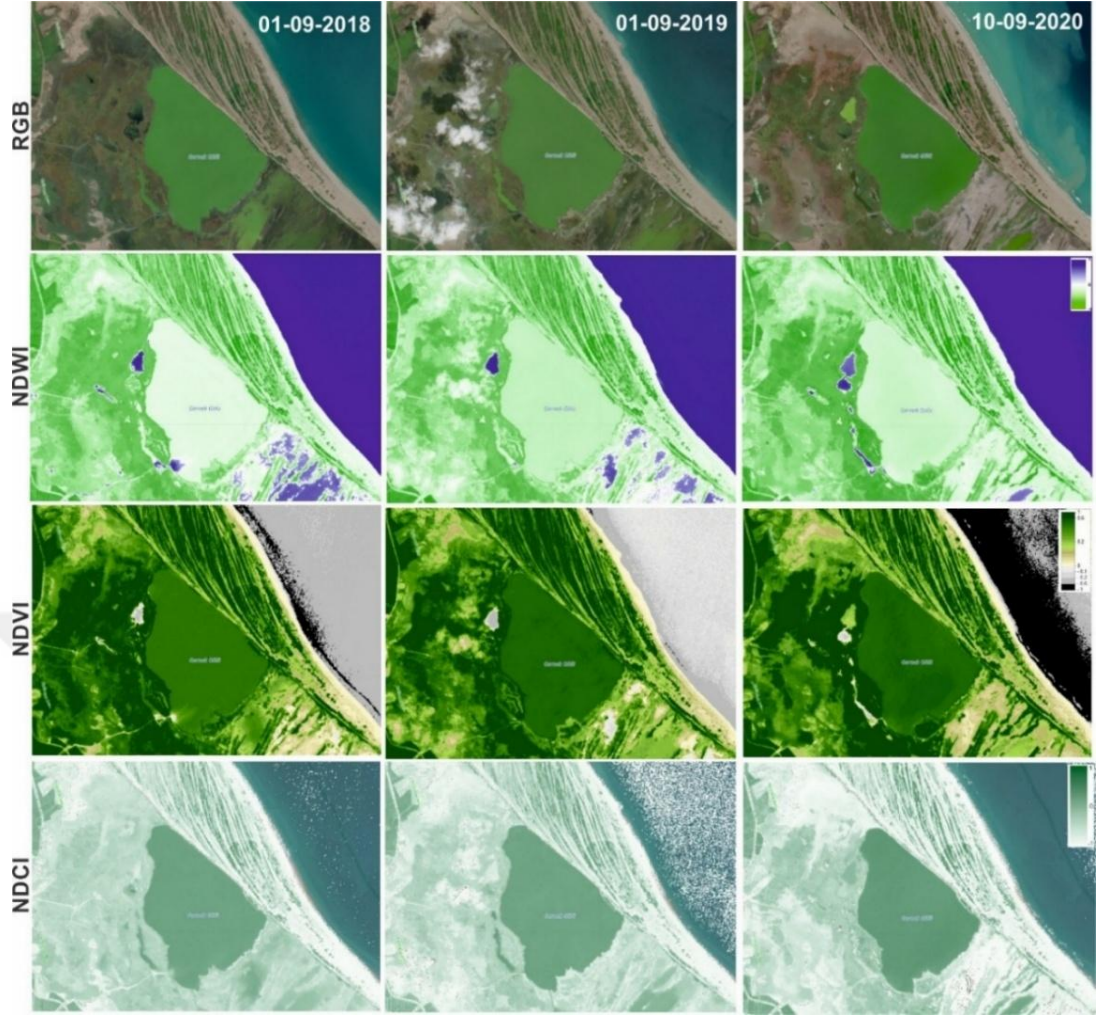


Şekil 3.6: 24 Ekim 2024 tarihli, a) Delta'nın kuzeyinden, kuzeye ve güneye doğru bakan drone görüntüleri, b) Çernek gölünün Karadeniz kıyısından kuzeye ve güneye bakan drone görüntüleri, c) Sulak alan güney sınırından kuzeye doğru uzanan göl kompleksinin drone görüntüsü.

4. SONUÇLAR

4.1. Su İndekslerinde Verinin Düzeltilmesi: Cernek Gölü

Çalışma kapsamında yapılan zaman serisi analizlerinde, Cernek Gölü'nün bazı tarihlerde, Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi kullanılarak hesaplanan su yüzey alanlarının gerçeği yansıtmadığı tespit edilmiştir. Örneğin, 10.09.2020 tarihli uydu görüntüsünde göl yüzeyinin fiziksel olarak mevcut olduğu gözlemlenirken, NDWI analizinde göl alanı yalnızca 20 ha olarak belirlenmiştir. Bu durum, su indeksinin, yoğun sucul bitki örtüsü ya da alg yoğunluğu nedeniyle suyu doğru sınıflandıramamasıyla açıklanmaktadır **Şekil 4.1**. Nitekim aynı döneme ait NDVI ve NDCI analizleri incelendiğinde, göl yüzeyinin orta yoğunlukta vejetasyon [**Jensen, 2007**] ve yüksek klorofil yoğunluğuna [**Mishra and Mishra, 2012**] sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1: Cernek Gölü problemlili tarihlerin ham uydu görüntüsü, NDWI, NDVI ve NDCI analiz görüntüleri.

Bu durum, zaman serisi boyunca incelendiğinde, Cernek gölünde sadece belirli tarihlerde su indeksinin görüldüğü gözlemlenmiştir. Ancak NDVI ve NDCI verilerine bakıldığında aslında bu durumun süregelen bir sürecin doruk noktası olduğu görülür. 2017 yılından başlayarak belirli aralıklarla devam eden bu sürecin, yıldan yıla değişiklik göstermesi ile birlikte, genellikle temmuz aylarında başlayıp, ekim ayında son bulduğu gözükmemektedir. Bu tür durumlar NDWI zaman serisi analizinde sorunlara yol açabilir ve veri doğruluğunu etkileyebilir. Özellikle alan verilerindeki bu sapmalar, genel alan eğilimlerini bozmakta, mevsimsel döngülerin doğruluğunu düşürmektedir.



Şekil 4.2: Cernek Gölü Alan Değişim Trendi (ADT) / NDVI ve Cernek Gölü ADT / NDCI karşılaştırmalı grafikleri.

Bu nedenle, NDWI kaynaklı sistematik hataların etkisini minimize etmek amacıyla, ilgili tarihlerdeki veriler için düzeltme işlemi uygulanmıştır. Problemi olan ve NDWI indekslerinde su olarak tanımlanmayan tarihler **Şekil 4.2**, gölün uzun dönem alan değişim trendi (ADT) kullanılarak minimum alan ile değiştirilmiş, önceki ve sonraki tarihler ile arasındaki alan değişimi kontrol edilmiş ve zamansal süreklilik doğru şekilde devam ettirilmiştir. Bu müdahale, literatürde önerilen "veri harmonizasyonu" [Donchyts et al., 2016; Feng et al., 2015] yaklaşımına uygun olarak, uydu kaynaklı verilerin fiziksel gerçeklikle uyumlu hâle getirilmesi amacıyla yapılmıştır. Sonuç olarak, bu düzeltme sayesinde hem göl alanı trendi bozulmamış hem de NDWI indeksinin sınırlılığı NDVI ve NDCI gibi tamamlayıcı indekslerle kontrol edilerek bilimsel temellere dayandırılmıştır.

4.2. Deltadaki Göllerin Uzun Dönem Alan Trendleri

Kızılırmak deltası, yıl boyunca iklimsel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösteren, dinamik ve karmaşık bir su kompleksine sahiptir. 2015–2024 dönemine ait uydu görüntülerinden türetilen alan hesaplamaları doğrultusunda, deltadaki göllerin uzun dönemli minimum, maksimum ve ortalama yüzey alanları **Tablo 4.1**'de sunulmuştur. Özellikle kurak yaz aylarında 1.825 hektara kadar daralan yüzey suyu alanları, yağışlı kış ve ilkbahar aylarında yaklaşık 7.500 hektara kadar genişleyebilmektedir; bu geniş varyans bölgedeki hidrolojik rejimin yüksek derecede dinamik olduğunu ortaya koymaktadır.

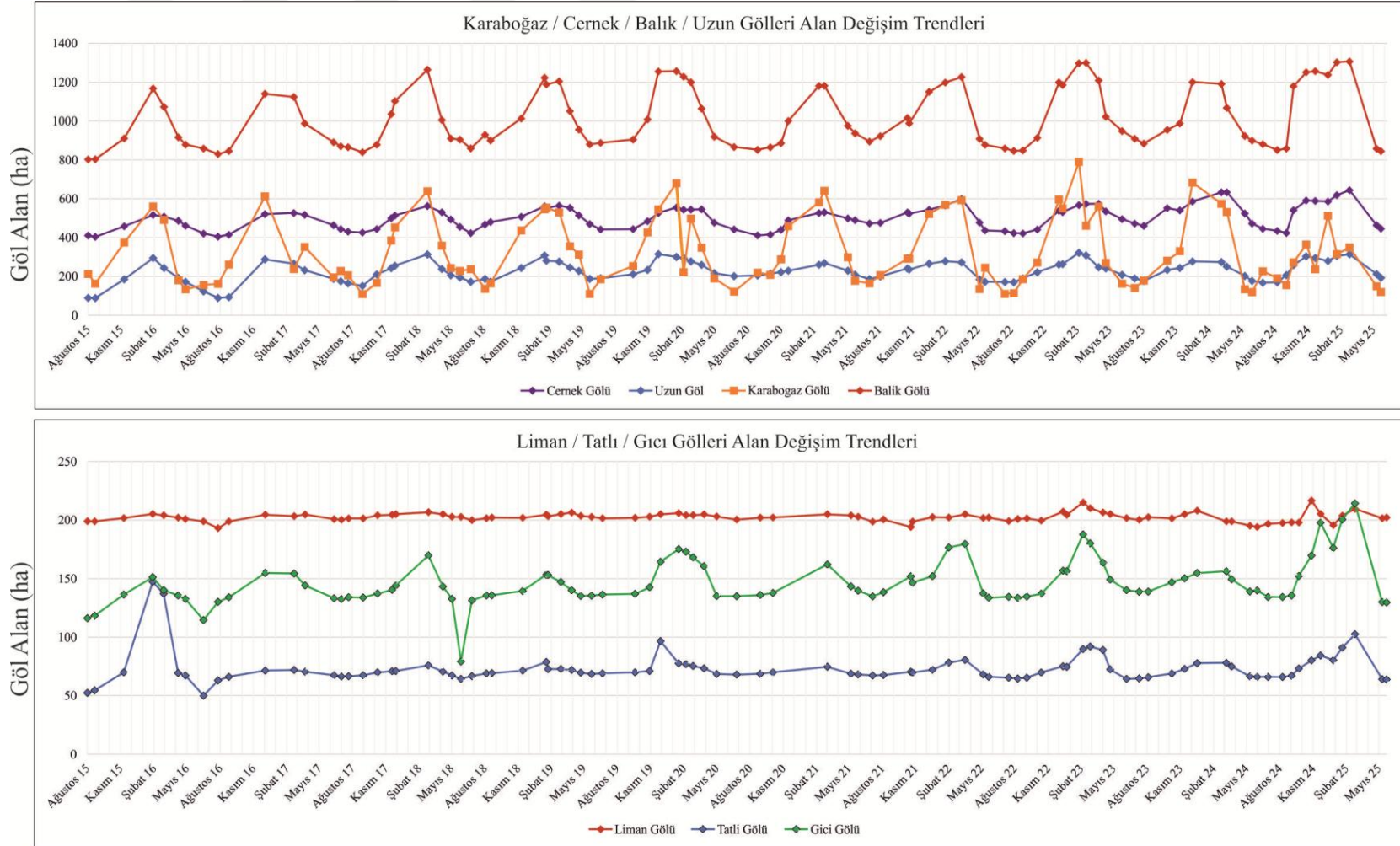
Tablo 4.1: Göl alanlarının uzun dönem minimum-maksimum ve ortalama hektar alan cinsinden verileri.

	MIN (ha)	MAX (ha)	2015-2024 Ortalama Alan (ha)
Liman Gölü Doğu (L-D)	12.73	141.81	56.17
Çernek Kuzey (Ç-K)	1.51	54.37	10.08
Uzun Göl Doğu (UG-D)	0.06	115.64	20.93
Karaboğaz Gölü	109.33	789.40	323.59
Tatlı Gölü Batı (T-B)	0.04	235.27	67.22
Liman Gölü	192.95	216.71	202.40
Sütlüklü-Tuzlu	27.32	112.35	54.90
Cernek Gölü	403.36	643.94	499.98
Çernek Gölü Batı (Ç-B)	0.32	612.84	194.97
Çernek Gölü Güney (Ç-G)	4.90	366.83	184.18
Çernek Gölü Doğu (Ç-D)	45.19	576.25	400.66
Balık Gölü	802.73	1306.27	1013.09
Uzun Göl	88.67	321.14	224.82
Gıcı Gölü Kuzey (G-K)	3.79	432.44	185.74
Gıcı Gölü Batı (G-B)	0.01	263.23	55.23
Gıcı Gölü	79.05	214.17	146.11
Tatlı Gölü	49.90	147.18	72.81
Tatlı Gölü Güney (T-G)	0.13	254.24	101.68
Karaboğaz Gölü Batı (K-B)	3.36	695.79	139.06
Tüm Sulak Alan	1825.35	7499.89	3953.64

2015 yılından 2025 yılına kadar geçen 10 yıllık periyodu kapsayan uzun dönemli göl alanı değişim grafikleri, uzaktan algılama verilerine dayalı olarak değerlendirilip, trend grafikleri incelenmiştir. Analizler, deltanın su kütleleri açısından kritik öneme sahip ana gölleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

Şekil 4.3'e bakıldığında, deltadaki en geniş yüzey alanına sahip olan göller incelendiğinde, Cernek, Balık ve Karaboğaz gölleri hem yüzey alanı büyüklüğü hem de mevsimsel dalgalanma kapasiteleri açısından başlıca öne çıkan göllerdir. Cernek Gölü, uzun vadede ılımlı bir değişim sergilemiştir. Minimum 400- maksimum 640 ha kadar genişleyen göl alanında, 2020 sonrası dönemlerde göl alanında dikkat çeken bir artış eğilimi gözlemlenmiş; ancak 2023 itibarıyla bu artış yerini düşüşe bırakmıştır. Bu durumun mevsimsel beslenme koşullarının bozulmasından kaynaklı değişim olması mümkündür. Balık Gölü trendleri incelendiğinde, yıllık döngülerin düzenli şekilde devam ettiği, yazın azalan-kışın genişleyen stabil bir su kütlesi göze çarpmaktadır. Deltanın batısında yer alan Karaboğaz gölü ise en değişken göl sistemlerinden biridir. 150 hektardan 850 hektara kadar genişleyen göl yüzey alanı oldukça geniş bir aralıkta dalgalanmaktadır. Bu süreç göl alanının hem meteorolojik süreçlerden hem de olası antropojenik etkilerden önemli ölçüde etkilendiği gösterir.

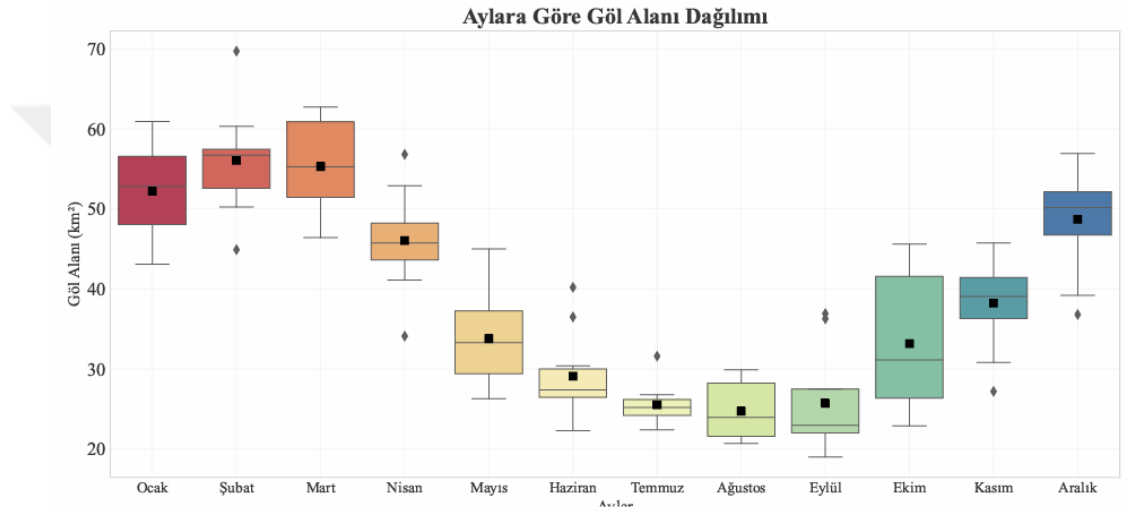
Deltadaki bu büyük göller haricinde, görece daha küçük hacimli su kütleleri de analiz edilmiştir. Uzun göl alan trendine odaklanıldığında daha stabil ve tekdüze bir zaman grafiği gözlemlenebilir. 2017 yılı itibarıyla 150 ha altına düşmeyen bir su yüzey alanı mevcuttur. Liman lagün gölü ise Karadeniz bağlantısından ötürü değişkenlik gösterir. Aşırı düşen veya yükselen yüzey alanı, gölün lagün özelliğinden gelmektedir. Gıcı gölünün uzun dönemli alansal eğilimlerine bakıldığında, 2020 sonrası alan verilerinde göl yüzey alanının genişlediği görülmektedir. Buna karşın, hemen güneyinde yer alan Tatlı gölü trendlerine bakıldığında kısa süreli ve düzensiz artışlar haricinde sığ bir göl sistemi gözükür. Bu tür göller iklim streslerine karşı son derece hassaslardır. Bu durum, özellikle küçük sulak alanların, iklim değişikliğine bağlı ekstrem olaylara karşı en kırılgan sistemler arasında yer aldığını literatür de desteklemektedir **[Craft et al., 2009; Erwin, 2009]**.



Şekil 4.3: Balık, Uzun, Cernek, Uzun, Liman, Gıcı, Tatlı gölleri uzun dönem ADT grafikleri.

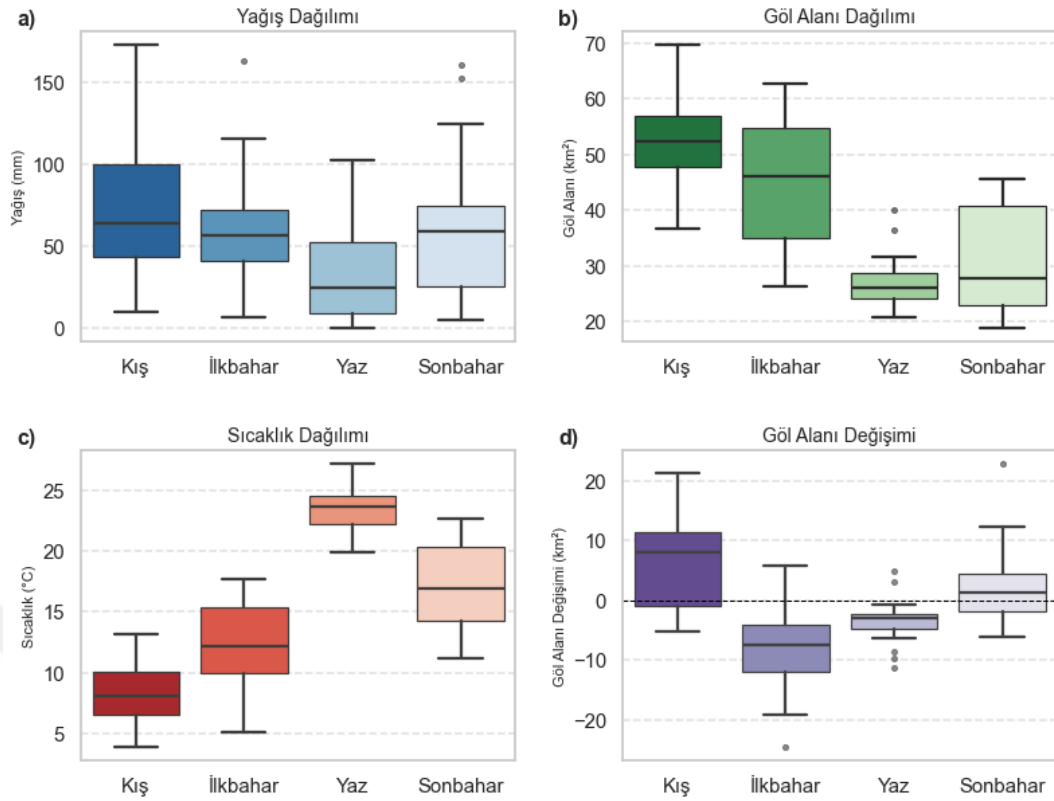
4.3. Deltadaki Göl Alanlarının Uzun Dönem Mevsimsel Değişimleri

Aylık bazda göl alanlarının dağılımını gösteren kutu grafiği (Şekil 4.4), göl sistemlerinin yıl içindeki hacimsel dalgalanmasını açıkça ortaya koymaktadır. 10 yıllık aylık periyodu değerlendirdiğimizde, en yüksek göl alanları Ocak–Mart döneminde gözlenirken, alanlar yaz aylarına doğru keskin şekilde azalmaktadır.



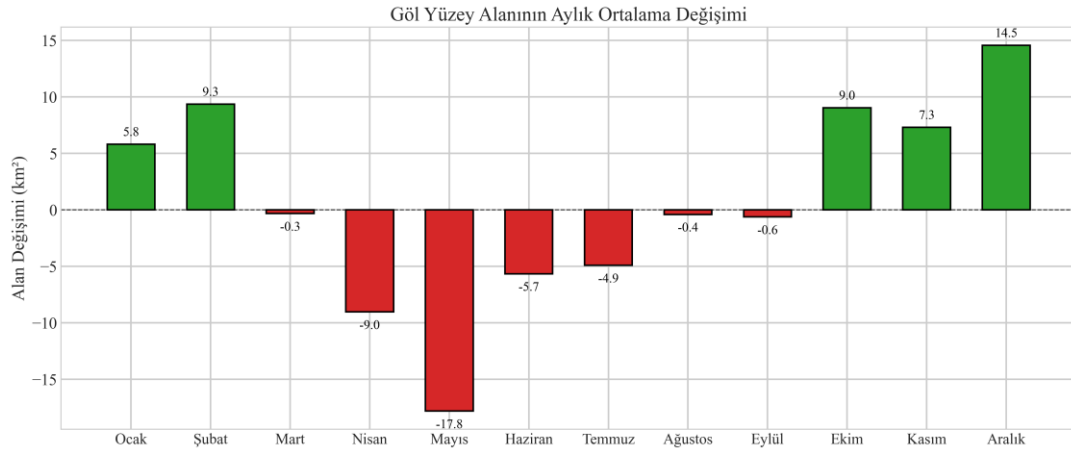
Şekil 4.4: Delta toplam sulak alan kompleksinin aylık ortalama dağılımı (2015-2025).

Ocak, Şubat ve Mart aylarında ortalama alanlar yaklaşık 55–60 km² düzeyinde seyretmektedir. Bu dönem, yağış birikimi ve düşük buharlaşma nedeniyle göl alanlarının genişlediği bir fazı temsil etmektedir. Nisan–Mayıs arası göl alanlarında belirgin bir düşüş başlamaktadır. Bu düşüşe paralel olarak artan sıcaklıklar ve azalan yüzey akışları etkili olmaktadır. Haziran–Ağustos aylarında ise göl alanları minimum düzeylerine inmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama değerler yaklaşık 25 km² seviyesine kadar gerilemektedir. Bu keskin daralma, bölgedeki buharlaşma artışı ve yağış azalmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eylül ayı bu düşük seviyeyi sürdürmekle birlikte, Ekim–Aralık arasında ise göl alanlarında yeniden artış gözlenmektedir. Bu durum, sonbahar yağışlarının ve sıcaklık düşüşünün etkisini göstermektedir. Yağış ve sıcaklık kutu grafikleri bu eğilimleri desteklemektedir Şekil 4.5.



Şekil 4.5: Mevsimsel dağılımlar: (a) Yağış miktarı (mm), (b) göl alanı (km²), (c) sıcaklık (°C) ve (d) göl alanı değişiminin (km²) mevsimlere göre dağılımı.

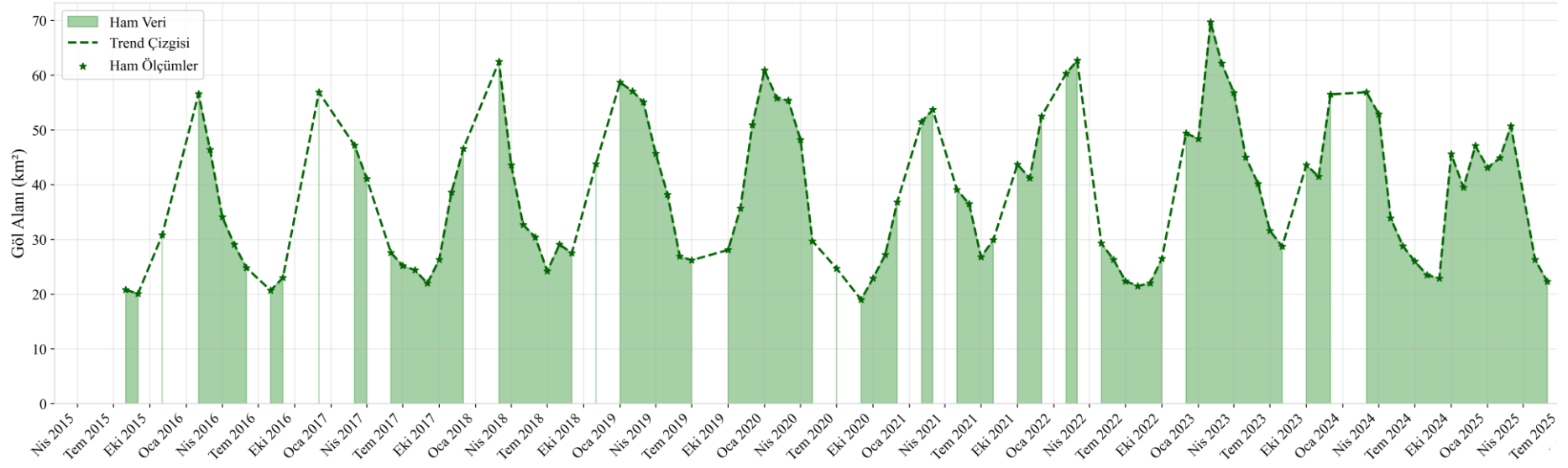
Alan değişimi grafiği ise, kış mevsiminde pozitif, yaz mevsiminde ise belirgin biçimde negatif değişimlerin yaşandığını ortaya koymaktadır **Şekil 4.6**. İlkbaharda başlayan alan kaybı yaz aylarında zirveye ulaşmakta ve sonbaharda yeniden artış eğilimi göstermektedir. Bu bulgular, deltadaki sulak alanların iklimsel koşullara son derece duyarlı olduğunu ve özellikle yaz aylarında hidrolojik stresin en yüksek düzeye ulaştığını göstermektedir. Alan değişimlerinin bu denli keskin olması, sistemin geçici veya mevsimsel göl karakterine sahip olduğunu ve yönetimsel müdahalelere açık bir sistem olduğunu gösterir.



Şekil 4.6: Deltadaki göl yüzey alanlarının aylık ortalama değişim grafiği (2015–2025).

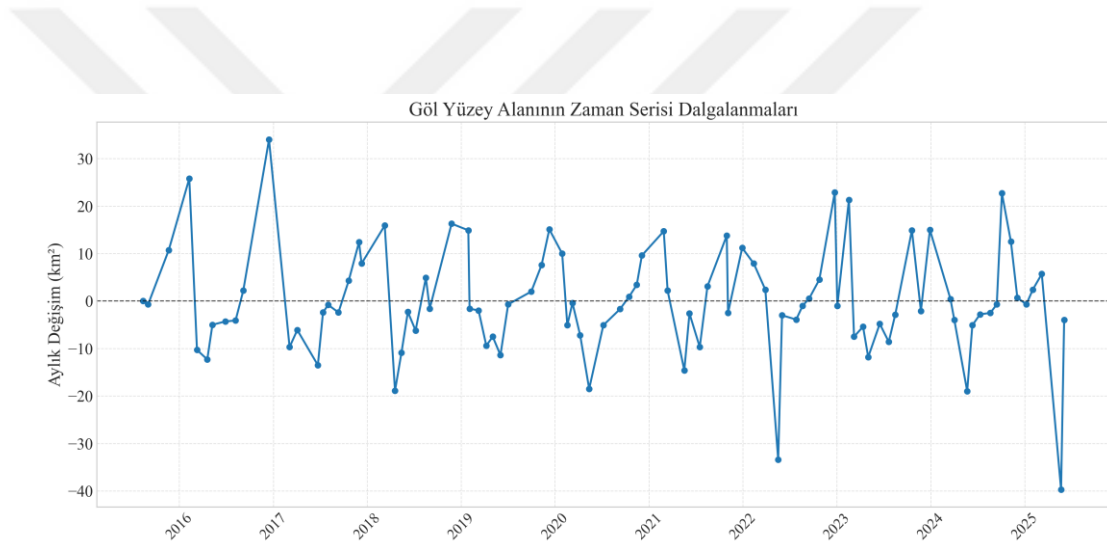
4.4. Toplam Göl Yüzey Alanlarının Uzun Dönem Analizi

Bu bölümde, göl yüzey alanının 2015-2025 yılları arasındaki uzun dönemli değişimleri ve bu değişimlerin aylık düzeydeki dalgalanmaları analiz edilmiştir. Analizler iki temel veri görselleştirmesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. **Şekil 4.7'**de, göl yüzey alanının zaman içinde gösterdiği genel eğilim görselleştirilmiştir. Bu görselde hem ölçüm değerleri hem de trend çizgisi sunulmuştur. Ayrıca yeşil tonla doldurulmuş alan, elde edilen görüntülerin zaman grafiğindeki analiz edilmiş noktaları göstermektedir. Grafiğe odaklandığımızda, göl yüzey alanlarının özellikle sonbahar ve kışın artarak devam ettiğini yazın ise en düşük seviyelere ulaştığını görebiliyoruz. Bu durum, göl yüzey alanının iklimsel döngülere güçlü biçimde yanıt verdiğini gösterir. Bu veri seti, meteorolojik korelasyonlar için ana veri seti görevinde olup, sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon verileri ile birlikte analiz edilip, trend çizgisindeki her anomali yorumlanmıştır.



Şekil 4.7: Delta göl yüzey alanlarının uzun dönem trend analizi.

Şekil 4.8'de ise, toplam göl yüzey alanlarının aylık bazda gösterdiği değişim miktarları görselleştirilmiştir. Bu zaman serisi, her bir ayın bir önceki aya göre yüzey alanında ne kadar artış ya da azalış yaşandığını göstermektedir. Bu analiz, göl sistemindeki ani genişleme ve daralmaların saptanmasında oldukça değerlidir. Oldukça dalgalı bir yapı sergileyen bu veri seti, göl alanının istikrarlı bir artış ya da azalış göstermediğini, aksine çevresel koşullara göre aylık bazda çok hızlı değişebildiğini gösterir. Özellikle bazı aylarda çok keskin düşüşler gözlemlenirken, bazı aylarda da güçlü artışlar gözlemlenir. Bu veri seti meteorolojik veriler ile değerlendirilirken aynı zamanda eksik verilerin kontrolü ile de yorumlanması gerekmektedir. Ek olarak her yıl nisan-mayıs aylarında görülen düzenli dalgalanmalar, gölün hidrolojik rejiminin, mevsimsel döngüsünü göstermektedir.



Şekil 4.8: Delta toplam göl yüzey alanlarının zaman serisi dalgalanmaları.

4.5. Göl Alanlarının ADT ile Meteorolojik Verilerin Korelasyonu

Şekil 4.9'da 2015–2024 yılları arasında göl alanındaki değişimlerin yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon (ET_0) verileriyle ilişkisi analiz edilmiştir. Analizler, göl alanının özellikle yağış miktarındaki direkt pozitif tepki verdiğini ortaya koymuştur. Örneğin, Aralık 2016'da gerçekleşen +140 mm yağış, aynı dönemde göl alanında 34.0 hektarlık bir artışla sonuçlanmış ve alan 57.0 hektara yükselmiştir. Benzer şekilde, Ocak 2022'de 115 mm olarak kaydedilen yağışın ardından, göl alanı 8.9 hektar artarak 60.4

hektara ulaşmıştır. Bu örnekler, yağışın zamanlaması kadar göl alanı üzerindeki etkisinin hacimsel olarak da anlamlı olduğunu göstermektedir.

Sıcaklık artışlarının göl alanında gecikmeli şekilde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Özellikle yaz aylarında 24°C üzeri sıcaklıklarda göl alanı hızla düşmektedir. Örneğin, Temmuz 2021’de ortalama sıcaklık 24.9°C iken, takip eden Ağustos ayında göl alanı -9.7 ha azalmıştır. Benzer şekilde, Temmuz 2023’te sıcaklık 23.84°C’ye ulaşmış ve Ağustos 2023’te göl alanı -2.9 ha düşerek 28.7 ha olmuştur. Bu durum, göl alanının yüksek sıcaklıklara karşı kırılganlığını göstermektedir.

Evapotranspirasyon (ET₀) ve sıcaklıkla birlikte değerlendirildiğinde, yaz aylarında yüksek sıcaklık ve düşük yağış kombinasyonunun göl alanında belirgin daralmalara neden olduğu görülmektedir. Örneğin, Mayıs 2022’de göl alanı -33.4 ha gibi keskin bir düşüşle 62.8 ha’dan 29.4 ha’ya gerilemiştir. Bu dönemde sıcaklık 15.07°C, toplam yağış ise sadece 44.8 mm olarak ölçülmüştür. Benzer bir durum, Mayıs 2024’te de gözlemlenmiştir; sıcaklık 16.63°C olmasına rağmen yağışın 49.8 mm olması ve önceki ayda yağışsız bir dönem yaşanması, göl alanının -19.0 ha azalarak 33.9 ha seviyesine düşmesine neden olmuştur.

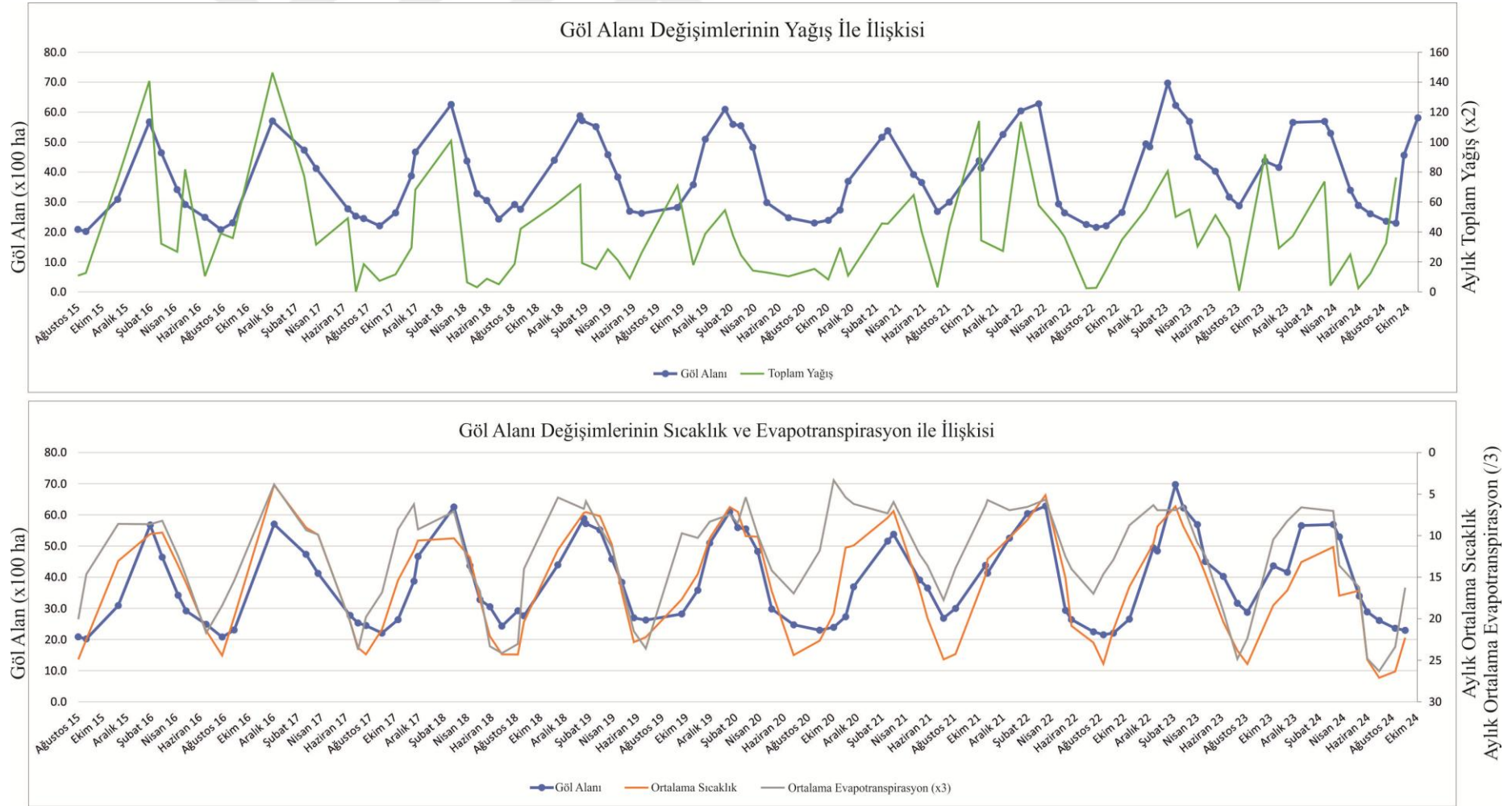
Mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, göl alanının en yüksek değerlere genellikle kış sonu ve ilkbahar başında ulaştığı tespit edilmiştir. Örneğin, Şubat 2023’te göl alanı 69.7 ha ile en yüksek seviyeyi göstermiştir. En düşük alanlar ise genellikle yaz sonunda ölçülmektedir. Eylül 2024’te, toplam 152.8 mm yağışa rağmen göl alanı sadece 22.9 ha olarak kalmıştır. Bu örnek, yalnızca yağış miktarının değil, yağışın zamanlamasının ve önceki dönem birikim koşullarının da göl alanı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, 2022 sonrası dönemde göl alanı değişimlerinin daha keskin olduğu tespit edilmiştir. İlkbahar ve yaz başı dönemlerinde, kısa sürede yüksek hacimli kayıplar yaşanmıştır. Örneğin, Mart 2022–Mayıs 2022 arasında göl alanı -29.0 ha azalmıştır. Bu durum, son yıllarda göl alanının iklimsel faktörlere karşı daha duyarlı ve dengesiz bir davranış sergilediğini göstermektedir.

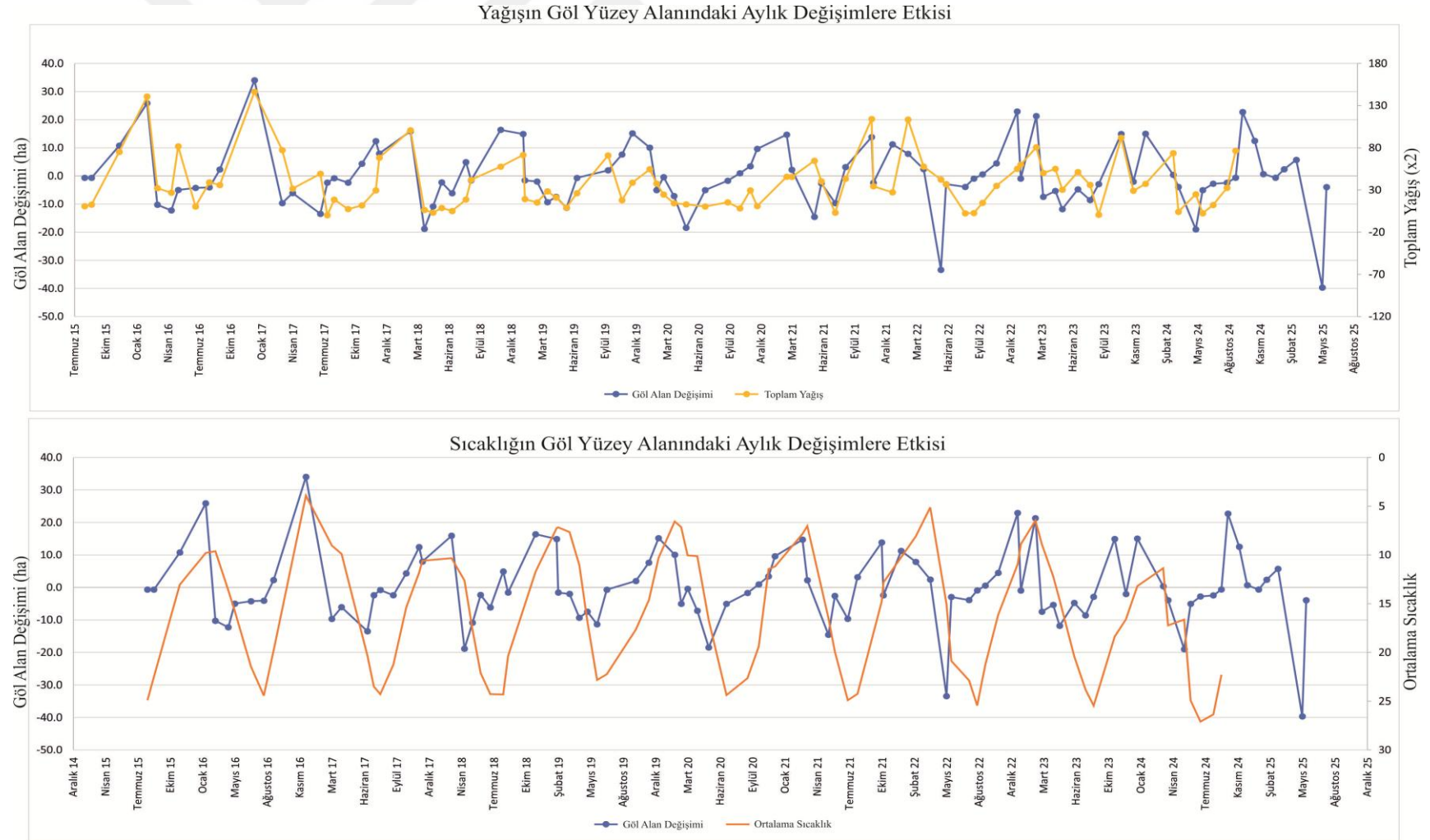
Şekil 4.10’da göl yüzey alanındaki aylık dalgalanmaların sıcaklık ve toplam yağış verileriyle birlikte incelendiği karşılaştırmalı zaman serisi görselleştirilmiştir. Her iki grafik de göl sisteminin meteorolojik değişkenlere karşı yüksek duyarlılığını ve mevsimsel senkronizasyonunu açıkça ortaya koymaktadır.

Üstteki grafikte yer alan sıcaklık verisi ile göl alan değişimi arasındaki ilişki genel olarak negatif korelasyon göstermektedir. Özellikle yaz aylarında sıcaklıkların 20°C'nin üzerine çıktığı dönemlerde, göl alanı değişiminin sıklıkla negatif değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum, sıcaklığın artışına paralel olarak artan evapotranspirasyonun göl yüzey alanı üzerinde azaltıcı etkisinin olduğunu destekler niteliktedir. Örneğin, Temmuz 2021 ve Temmuz 2023'te sıcaklık artışlarıyla birlikte göl alanında belirgin küçülmeler yaşanmıştır. Buna karşılık, kış aylarında sıcaklıkların 10°C altına düştüğü dönemlerde, göl alanı değişimleri çoğunlukla pozitif yönlüdür. Bu da düşük sıcaklık ve buharlaşma koşullarının su kütlesinin korunmasına olanak sağladığını göstermektedir.

Alttaki grafikte ise göl alanı değişimi ile yağış arasındaki ilişki daha çok eş zamanlı pozitif korelasyon şeklinde ortaya çıkmaktadır. Yağışlı aylarda göl alanında büyüme, kurak aylarda ise daralma eğilimi bariz biçimde izlenebilmektedir. Ancak dikkat çeken bir diğer unsur, bu ilişkinin her zaman birebir doğrusal olmaması, bazı aylarda yüksek yağışa rağmen göl alanındaki artışın sınırlı kalmasıdır. Bu durum, yağışın zamanlaması, şiddeti ve önceki nem koşullarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle 2022–2024 yılları arasında, yağış dalgalanmaları göl alan değişimi üzerinde daha ani ve düzensiz etkiler yaratmış, bu da sistemin artan iklimsel kırılganlığına işaret etmektedir.



Şekil 4.9: Göl alanı-yağış ve göl alanı-sıcaklık-evapotranspirasyon grafikleri.



Şekil 4.10: Göl alanlarının hacimsel dalgalanmaları / meteorolojik veriler ile korelasyon grafikleri.

5. TARTIŞMA/DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, Kızılırmak Deltası sulak alanlarının 2015–2025 dönemindeki dinamiklerini uzaktan algılama ve su bütçesi analizleriyle değerlendirerek önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular aşağıdaki başlıklar altında tartışılmaktadır.

5.1. Sıcaklık-Yağış ve Buharlaşma Dengesi

Kızılırmak Deltası'nda yer alan sığ göller, meteorolojik değişkenlere bağlı, iklim değişiklikleri etkisine açıktırlar. Tez kapsamında yapılan analizler, özellikle yağış parametresinin göl yüzey alanı üzerinde kısa vadeli ve doğrudan bir etki yarattığını göstermektedir. Yağışlı dönemlerde, özellikle kış ve erken ilkbahar aylarında (Ocak–Mart), göl yüzey alanlarında ani ve belirgin artışlar gözlenmektedir. Bu durum, delta göllerinin hidrografik beslenmesinde yağış rejiminin baskın kontrol faktörü olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgedeki göllerin çoğu düşük derinlikli (genellikle <2 m) ve geniş alanlı olduğu için, yağışa hızlı yanıt vermekte; bu da yüzey alanlarının haftalar içinde önemli ölçüde değişmesine neden olmaktadır.

Sıcaklık ise yağışın aksine göl alanı üzerinde gecikmeli bir etki yaratmaktadır. Analizlerde, sıcaklık artışının hemen ardından değil, yaklaşık bir ay sonra göl alanında daralmalar gözlenmiştir. Bu gecikmeli tepki, evapotranspirasyon süreçlerinin zamanla birikerek göl yüzeyinde belirgin su kaybına neden olmasıyla açıklanabilir. Özellikle Temmuz–Ağustos döneminde sıcaklığın 24 °C ve üzerine çıkmasıyla birlikte, bir sonraki ay göl alanlarında ortalama 10 ha varan daralmalar kaydedilmiştir **Şekil 4.9–4.10**. Bu bağlamda sıcaklık artışı, doğrudan değil; buharlaşma yoluyla dolaylı ve kümülatif bir etki yapmaktadır.

5.2. Delta Alanındaki Antropojenik Faktörlerin Etkisi: Cernek Gölü Örneği

Kızılırmak Deltası, yalnızca doğal iklimsel değişkenliklere değil, aynı zamanda insan faaliyetlerinden kaynaklanan yoğun antropojenik baskılara da maruz kalmaktadır. Bu

baskıların başında, tarımsal alan kullanımı, drenaj sistemleri, su rejimini ve sediment akışını değiştiren baraj yapıları ve kimyasal girdiler yer almaktadır. Bu etkiler, özellikle sığ ve durağan sistemler olan göllerde morfolojik ve biyolojik olarak etkilemekte ve uzaktan algılama analizlerinde gözlenen anomalilerin arka planını oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, Cernek Gölü, delta içerisindeki en dikkat çekici örneklerden biridir. 2018 sonrası döneme ait NDWI analizlerinde, göl yüzeyinin bazı aylarda su olarak tanımlanmadığı gözlemlenmiştir. Ancak aynı tarihlere ait NDVI ve NDCI analizleri incelendiğinde, söz konusu yüzeyde yüksek düzeyde vejetatif aktivite ve klorofil-a içeriği tespit edilmiştir **bkz. Şekil 4.1–4.2**. Yani, göl fiziksel olarak mevcut olmakla birlikte NDWI spektral cevabı, bitki örtüsü baskınlığı nedeniyle su sınıfı olarak algılanmamaktadır. Bu tür durumlar, ötrofikasyon ya da agresif vejetasyon büyümesi olarak tanımlanabilir ve genellikle aşırı besin girdisi ile ilişkilidir [**Carpenter et al., 1998; Smith et al., 1999**]. Söz konusu bitki örtüsü artışı büyük olasılıkla tarımsal gübre yüklemesinden kaynaklı ötrofikasyona bağlıdır. Göl alanına yakın konumlanan tarım arazilerinden gelen bu girdiler, drenaj sistemleri ve kanallar aracılığıyla göle ulaşmaktadır.

Deltadaki yoğun drenaj ağı ve tarım faaliyetleri göz önüne alındığında, bu durumun yalnızca Cernek Gölü'ne özgü olmayıp, benzer şekilde diğer göllerde de verilerde görülme bile NDWI indeksinde sınıflama hatalarına ve ekosistem üzerinde baskılara yol açma olasılığı yüksektir. Sonuç olarak, Cernek Gölü özelinde ortaya çıkan bu durum, Kızılırmak Deltası'ndaki antropojenik etkinin göl sistemlerinin spektral, kimyasal ve biyolojik yapısını nasıl dönüştürdüğünü somut bir örneklerle göstermektedir.

5.3. Göl Alanlarının Hacimsel Dalgalanmaları Üzerine Değerlendirme

Kızılırmak Deltası'nda yer alan göl sistemleri, düşük derinlikli yapıları ve geniş yüzey alanlarıyla iklimsel girdilere karşı yüksek duyarlılık göstermektedir. Yapılan zaman serisi analizleri ve spektral indekslere dayalı değerlendirmeler, göl alanlarının hacimsel dalgalanma eğilimlerinin yalnızca mevsimsel bir döngü değil, aynı zamanda uzun dönemli bir değişkenlik örüntüsü sergilediğini ortaya koymaktadır.

Tez kapsamında elde edilen bulgulara göre, göl yüzey alanı yıl içerisinde yaklaşık 1.800–7.500 ha arasında değişkenlik göstermektedir. Bu varyans, göl hacminde %300’ün üzerinde bir salınımına işaret etmektedir. Bu derece yüksek hacimsel oynaklık, özellikle geçiş aylarında göl sistemlerinin ani hacim kayıplarıyla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Mayıs–Haziran dönemlerinde, birkaç hafta içinde 30–40 ha’lık kayıpların gözlenmesi, göl sisteminin “hidrolojik gerginlik” dönemine girdiğini göstermektedir.

Bu hacimsel oynaklık özellikle sığ ve kapalı sistemler üzerinde daha belirgin etki göstermektedir. Örneğin, Tatlı Gölü gibi daha küçük ve hidrolojik olarak dışarıya akışı olmayan göllerde, birkaç aylık sürelerde tamamen kuruma gözlenebilmekte; bu da göl alanlarının zamansal sürekliliğini tehdit eden en önemli dinamiklerden biridir. Buna karşın, Balık ve Cernek Gölleri gibi geniş ve kısmen bağlantılı sistemlerde, yüzey alanı daralsa da göl yapısı tamamen ortadan kalkmamakta, bu sistemler mevsimsel geri dönüş potansiyeline sahip olmaktadır.

Deltadaki alan dalgalanmalarının doğrudan meteorolojik verilerle ilişkilendirildiği durumlarda, en yüksek pozitif korelasyon yağış ile gözlenmiş; en yüksek negatif eğilimler ise sıcaklık ve evapotranspirasyon ile uyumlu bulunmuştur. Ancak dikkat çeken bir bulgu, hacimsel artış ve azalışın mevsimsel döngüde, her zaman doğrusal olmamasıdır. Özellikle 2023–2025 döneminde, göl alanları bazı aylarda yüksek yağışa rağmen sınırlı artış göstermiştir. Bu durum, göl alanlarını sınırlayan drenaj ve sulama kanallarının, göl havzasındaki suyun yayılma kapasitesini sınırlandırdığını ve muhtemelen suyun bu sistemler ile beraber alandan uzaklaştırıldığını düşündürmektedir.

5.4. Sulak Alanlardaki İklim Değişikliğinin Kanıtları

Sentinel-2 uydu verileri ile meteorolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi, Kızılırmak Deltası göllerinde son yıllarda belirgin bir iklimsel kırılganlık geliştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2022 sonrası dönemde, göl yüzey alanı değişimlerinin hem şiddeti hem de frekansı artış göstermiştir. Göl alanındaki aylık değişimlerin genliği 2015–2020 arasında ± 15 ha bandında dalgalanırken, 2022 sonrası sıklıkla ± 30 ha seviyelerine ulaşmıştır. Bu artış, sistemin hidrolojik dengede kalmakta zorlandığını ve düşük hacimli yeni bir denge düzlemine geçtiğini göstermektedir.

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, yaz aylarında sıcaklık 25 °C'yi aştığında göl alanı neredeyse istisnasız olarak negatif yönde değişmektedir. Bu durum, yüzey sıcaklığı artışlarının evapotranspirasyonu artırarak göl alanını doğrudan azalttığını göstermektedir. Örneğin, Temmuz–Ağustos 2023 ve Mayıs–Haziran 2025 dönemlerinde sıcaklık artışları ile eş zamanlı olarak göl yüzeyi -30 ha 'ya kadar daralmıştır. Yağış değerlerinin bazı dönemlerde yüksek olmasına karşın göl alanının genişlememesi, yağış etkisinin buharlaşma karşısında yetersiz kaldığını göstermektedir.

Veri setinden elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, yağış rejiminin artık göl sistemini beslemede tek başına yeterli olmadığını ve buharlaşmanın (ET_o) dominant bir faktöre dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle ilkbahar sonu ve yaz başında yükselen sıcaklıklar, toprağın nemini hızla tüketmekte; bu da yağışın besleyici etkisini büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bu koşullar altında, sıklığı artan -30 ha'lık alan kayıpları artık birer istisna değil, yeni ve kırılgan hidrolojik rejimin karakteristiği hâline gelmiştir.

KAYNAKLAR

Akkan E., (1970), “Bafra Burnu–Dicle Kavşağı Arasında Kızılırmak Vadisinin Jeomorfolojisi”, A.Ü. Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları, 191, Ankara.

Alpar B., (2009), “Vulnerability of Turkish coasts to accelerated sea-level rise”, *Geomorphology*, 107 (1–2), 58–63.

Amani M., Ghorbanian A., Ahmadi S. A., Kakooei M., Moghimi A., Mirmazloumi S. M., ... Brisco B., (2020), “Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350.

American Society of Civil Engineers (ASCE), (2001), “The ASCE standardized reference evapotranspiration equation, Appendices A–F”, Environmental and Water Resources Institute, Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, Technical Report, December 21, 2001.

Amindin A., Siamian N., Dereimi Z. N., Clague J. J., Blaschke T., Pourghasemi H. R., (2024), “Long term analysis of international wetlands in Iran: Monitoring surface water area and water balance”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 126, Article 103637.

Berndt C., Frenzel P., Çiner A., Ertunç G., Yıldırım C., (2019), “Holocene marginal marine ostracod successions from the Kızılırmak River delta; Implications for depositional environments and sea-level changes at the Southern Black Sea coast”, *Sedimentary Geology*, 382, 103–121.

Bird E. C. F., (2010), “Coastal Geomorphology: An Introduction”, Wiley-Blackwell, ISBN 978-0-470-51729-1.

Britton R. H., Crivelli A. J., (1993), “Wetlands of southern Europe and North Africa: Mediterranean wetlands”.

Carpenter S., Caraco N. F., Correll D. L., Howarth R., Sharpley A. N., Smith V., (1998), “Non-Point Pollution of Surface Waters With Phosphorus and Nitrogen”, *Ecological Applications*, 8.

Chakri A., Laftouhi N.-E., Zouhri L., Ibouh H., Ibnoussina M., (2025), “Assessment of Satellite and Reanalysis Precipitation Data Using Statistical and Wavelet Analysis in Semi-Arid, Morocco”, *Water*, 17 (11), 1714.

Demirkalp F. Y., Caglar S., Saygi Y., Gunduz E., Kaynas S., Kilinc S., (2004), “Preliminary limnological assessment on the shallow lagoon Lake Cernek (Samsun, Turkey): Plankton composition in relation to physical and chemical variables”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 13 (6), 508–518.

Demirkalp F. Y., Saygi Y., Caglar S. S., Gündüz E., Kılınç S., (2010), “Limnological assessment on the brackish shallow Liman Lake from Kızılırmak Delta (Turkey)”, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9 (16), 2132–2139.

Donchyts G., Baart F., Winsemius H., et al., (2016), “Earth's surface water change over the past 30 years”, *Nature Climate Change*, 6, 810–813.

Dudgeon D., (2000), “Large-Scale Hydrological Changes in Tropical Asia: Prospects for Riverine Biodiversity”, *BioScience*, 50 (9), 793–806.

Erciyas Yavuz K., (2011), “Önemli bir doğa alanı: Kızılırmak Deltası”, *Samsun Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 677–683, Samsun Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.

Erwin K. L., (2009), “Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world”, *Wetlands Ecology and Management*, 17, 71–84.

Gillanders B., Kingsford M., (2002), “Impact of changes in flow of freshwater on estuarine and open coastal habitats and the associated organisms”, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 40, 233–309.

Gitelson A. A., Gurlin D., Moses W. J., Barrow T., (2009), “A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case-2 waters”, *Environmental Research Letters*, 4 (4), 045003.

Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R., (2017), “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone”, *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.

Gündüz E., Saygı Y., Demirkalp F. Y., Çağlar S. S., Atasağun S., Kılınç S., (2013), “Seasonal composition and population density of zooplankton in Lake Karaboğaz from the Kızılırmak Delta (Samsun, Turkey)”, Turkish Journal of Zoology, 37 (5), 544–553.

Güner E., (1996), ‘‘Bafra Ovası ve Yakın Çevresinin Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Analizi’’, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Hay B. J., (1994), “Sediment and water discharge rates of Turkish Black Sea rivers before and after hydropower dam construction”, Geo, 23, 276–283.

Healy R. W., Winter T. C., LaBaugh J. W., Franke O. L., (2007), “Water budgets: Foundations for effective water-resources and environmental management”, U.S. Geological Survey Circular 1308, 90 p.

Hustings F., van Dijk K., (1994), “Bird census in the Kızılırmak delta, Turkey, in spring 1992”, WIWO-report 45, Foundation WIWO, 1–168.

Jensen J. R., (2009), “Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective”, 2nd Edition, Pearson Education, ISBN 9788131716809.

Kale M. Murat, Ataol M., (2018), “Yeşilırmak Deltası’nda 2000–2016 Yılları Arasında Gözlenen Kıyı Erozyonu”.

Ketin İ., (1948), “Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den großen anadoluischen Erdbeben des letzten Dezenniums”, Geologische Rundschau, 36, 77–83.

Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C., (2003), “Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data”, Journal of Geophysical Research: Oceans, 108.

Köse B., Ateş S., Çelik H., (2014), “Determination of late spring frost affections on some grape varieties grown in Samsun”, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 1, 162–169.

Mishra S., Mishra D. R., (2012), “Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters”, Remote Sensing of Environment, 117, 394–406.

Mitsch W., Gosselink J., (2015), “Wetlands”, 5th Edition, John Wiley & Sons, ISBN 978-1-118-67682-0.

Otvos E. G., (2000), “Beach Ridge—Definitions and Significance”, Gulf Coast Research Laboratory Technical Report, Department of Coastal Sciences, University of Southern Mississippi.

Özesmi U., (2003), “The Ecological Economics of Harvesting Sharp-Pointed Rush (*Juncus acutus*) in the Kızılırmak Delta, Turkey”, *Human Ecology*, 31, 645–655.

Özsoy E., Ünlüata Ü., (1997), “Oceanography of the Black Sea: A review of some recent results”, *Earth-Science Reviews*, 42, 231–272.

Öztürk D., Uzun S., (2023), “Kızılırmak Deltası Kıyı Çizgisinin EPR ve LRR Yöntemleriyle 1984–2022 Periyodunda Değişim Analizi ve 2030 Yılı Tahmini”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21 (2), 306–339.

Posamentier H. W., Morris W. R., (2000), “Aspects of the stratal architecture of forced regressive deposits”, in Hunt D., Gawthorpe R. L. (Eds.), *Sedimentary responses to forced regressions*, Geological Society of London, 172, 19–46.

Ramsar Convention Secretariat, (2016), “The Ramsar Convention Manual: A guide to the convention on wetlands”, 6th Edition, Ramsar Convention Secretariat.

Russell R. J., (1967), “River Plains and Sea Coasts”, University of California Press.

Scholl M. A., McCabe G. J., Olson C. G., Powlen K. A., (2025), “Climate change and future water availability in the United States”, U.S. Geological Survey Professional Paper 1894–E, 60 p.

Short A. D., Woodroffe C. D., (2009), “Beach Systems and Coastal Zones”, *Nature Education Knowledge*, 2 (2), 14.

Short A., (2012), “Coastal processes and beaches”, *Nature Education Knowledge*, 3.

Smith V. H., Tilman G. D., Nekola J. C., (1999), “Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on aquatic ecosystems”, *Environmental Science and Technology*, 33 (7), 308A–313A.

Şengör A. M. C., (1979), “The North Anatolian Transform Fault: Its age, offset and tectonic significance”, *Journal of the Geological Society*, 136, 269–282.

Şengör A. M. C., Tüysüz O., İmren C., Sakıncı M., Eyidoğan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C., (2005), “The North Anatolian Fault: A new look”, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37–112.

Şensoy S., Demircan M., Ulupınar U., Balta İ., (2008), “The climate of Turkey”, *Turkish State Meteorological Services*.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018), “Kızılırmak Deltası su ayak izinin belirlenmesi raporu”, Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019), “Samsun Kızılırmak Deltası sulak alan ve kuş cenneti doğal sit alanları yönetim planı (2019–2023)”, Ankara.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2016), “Kızılırmak Deltası sulak alan yönetim planı 2017–2021”, *Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü*, Ankara.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, (2022), “2021 yılı faaliyet raporu”, Ankara.

Turoğlu H., (2010), “Kızılırmak Deltası ve yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri ve insan yaşamındaki etkileri”, *Anadolu Araştırmaları*, 19 (1), 99–111.

Uğuz M., Sevin F., (2007), “Türkiye jeolojik harita serisi: 1/100.000 ölçekli Kastamonu-E32 dörtgeni”, MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü).

Usher M. B., (1991), “Important Bird Areas in Europe (Technical Publication No 9)”, *International Council for Bird Preservation*, Cambridge, UK, 888 p.

Ustaoğlu M. R., Özdemir Mis D., Aygen C., (2012), “Observations on zooplankton in some lagoons in Turkey”, *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 18 (2), 208–222.

Williams H. F. L., Hamilton T. S., (1994), “Sedimentary dynamics of an eroding tidal marsh derived from stratigraphic records of ¹³⁷Cs fallout, Fraser Delta, British Columbia, Canada”, *Journal of Coastal Research*, 10 (2), 478–490.

Yeniyurt C., Çağırankaya S., Lise Y., Ceran Y., (2008), “Kızılırmak Deltası sulak alan yönetim planı 2008–2012”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Yılmaz C., (2005), “Kızılırmak Deltası’nda meydana gelen erozyonun coğrafi analizi”, *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V)*, O. Tüysüz (Ed.), İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 227–234.

Zaitsev Y., Mamaev V., (1997), “Marine biological diversity in the Black Sea: A study of change and decline”, United Nations Publications.

Zeybek H. İ., Uzun A., Yılmaz C., Özdemir S., (2011), “Kızılırmak Deltası’nda Kıyı Çizgisi Değişikliklerinin Sonuçları”, *Samsun Sempozyumu*, 13–16, Samsun Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.

Zhou W., Li X., Wang Z., (2022), “Research on comfort evaluation model of urban residents’ public space lighting integrating public perception and nighttime light remote sensing data”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (19), 12640.

ÖZGEÇMİŞ

İrem SALMAN, 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü'nde lisans eğitimine başlamış ve 2022 yılında mezun olmuştur. 2023 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yer Bilimleri Programı'nda yüksek lisans eğitimine başlamış olup, 2025 yılında mezun olmuştur.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Salman İ., Erturaç M.K. (2025). “Monitoring the natural and anthropogenic environmental changes in the Kızılırmak Delta using remote sensing methods over the last 10 years”, *EGU General Assembly 2025*, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-1070.

Salman İ., Erturaç M.K., Okur H. (2025). “Kızılırmak Deltası’nın Güncel Hidrolojik Özellikleri ve Geç Holosen-Günümüz Morfodinamik Gelişimi”, *77. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.

Salman İ., Erturaç M.K. (2024). “Kızılırmak Deltasında Son 10 Yıllık Doğal ve Antropojenik Çevresel Değişimlerin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi”, *VI. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı*, Rize.