T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖLLERDEKİ UZUN VADELİ HACİMSEL DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ VE TREND ANALİZİNDE İHA FOTOGRAMETRİSİ VE OPTİK UYDU VERİLERİNİN ENTEGRASYONU: BURDUR GÖLÜ ÖRNEĞİ

Yunus KAYA

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman

Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Eş Danışman

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN

Ocak, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖLLERDEKİ UZUN VADELİ HACİMSEL DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ VE TREND ANALİZİNDE İHA FOTOGRAMETRİSİ VE OPTİK UYDU VERİLERİNİN ENTEGRASYONU: BURDUR GÖLÜ ÖRNEĞİ

Yunus KAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 18.01.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN
Hacettepe Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Elif SERTEL, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Uğur ACAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Anime Melis UZAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT, Üye
Harran Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Göllerdeki Uzun Vadeli Hacimsel Değişimin Belirlenmesi ve Trend Analizinde İHA Fotogrametrisi ve Optik Uydu Verilerinin Entegrasyonu: Burdur Gölü Örneği" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yunus KAYA

İmza

Bu çalışmanın yazarı, “TÜBİTAK 2211-A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı” ile desteklenmiştir.

Sevgili eşime

ve

aileme

TEŞEKKÜR

Araştırma konusunun belirlenmesi, metodolojinin geliştirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi, tezden üretilen yayınların ve tezin yazımı aşamalarında yapmış oldukları katkılardan dolayı çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI ve eş danışmanım Sayın Saygın ABDİKAN'a teşekkürlerimi arz ederim.

Doktora tez çalışmamın izlenmesi sırasında bilimsel desteklerini esirgemeyen ve yapıcı eleştirileriyle bilgi birikimime katkı sağlayan Sayın hocalarım Prof. Dr. Elif SERTEL'e ve Dr. Öğretim Üyesi Uğur ACAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında her zaman desteklerini hissettiğim, öneri ve yardımlarını esirgemeyen başta Dr. Öğretim Üyesi Nizar POLAT ve Arş. Gör. Abdurahman Yasin YİĞİT olmak üzere tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

2211-A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında araştırmalarıma ve çalışmalarıma destek sağlayan TÜBİTAK'a, veri temininde desteklerini esirgemeyen Harita Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emek ve fedakârlık gösteren, desteklerini hep yanımda hissettiğim sevgili anneme, babama, kardeşlerime ve eşimin değerli ailesine en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında çok büyük emeği olan, hayattaki en büyük destekçim, yol arkadaşım, sevgili eşim Duygu CEYLAN KAYA'ya göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Yunus KAYA

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **V**
SİMGE LİSTESİ ..... **VIII**
KISALTMA LİSTESİ ..... **IX**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **XII**
TABLO LİSTESİ ..... **XV**
ÖZET ..... **XVII**
ABSTRACT ..... **XIX**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Taraması 1
1.2 Tezin Amacı 13
1.3 Hipotez 13
2 ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER **14**
2.1 Çalışma Alanı 14
2.2 Veriler 18
2.2.1 Landsat-5/8 ve Sentinel-2 Optik Uydu Verileri 18
2.2.2 İHA Tabanlı SYM 24
2.2.3 Türkiye Jeoit Modeli (TG20) 25
2.2.4 Referans Verileri 26
3 METODOLOJİ **28**
3.1 Su Alanlarının Çıkarılması 29
3.1.1 Uydu Veri Seçimi ve Verilerin İndirilmesi 29
3.1.2 Sınıflandırma 30
3.2 Sayısal Yükseklik Modelinin Üretilmesi 38
3.2.1 İHA Fotogrametrisi 38
3.2.2 Hareket Tabanlı Yapısal Algılama 39
3.2.3 İHA Uçuşu ve SYM Üretimi 40
3.3 Kıyı Çizgileri ve Sayısal Yükseklik Modellerinin Entegrasyonu 46
3.3.1 Optik Uydu Verilerine Yükseklik Bilgisinin Eklenmesi 46
3.3.2 Hatalı Verilerin Ayıklanması 47
3.3.3 Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliklere Dönüştürülmesi 48
3.3.4 Su Yüzeyi Yüksekliğinin Doğruluk Analizi 49
3.3.5 Kıyı Çizgisi ve Alansal Değişimin Hesaplanması ve Doğruluk Analizi 49
3.3.6 Hacimsel Değişimin Hesaplanması ve Doğruluk Analizi 50

3.4 Gelecek Yıllara Ait Su Seviyelerinin Tahmin Edilmesi 51
3.4.1 Zaman Serileri ve Bileşenleri 51
3.4.2 Durağanlık 51
3.4.3 Eğitim, Doğrulama ve Test Setlerinin Belirlenmesi 52
3.4.4 Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF) 54
3.4.5 Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama Model (ARIMA) 56
4 BULGULAR 59
4.1 Su Alanlarının Çıkarılması 59
4.1.1 Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Su Alanlarının Belirlenmesi 59
4.1.2 Sınıflandırma Doğruluk Analizi 64
4.2 İHA Tabanlı SYM ve Ortomozaik Üretimi 67
4.3 Kıyı Çizgileriyle SYM'lerin Entegresyonu ve Aykırı Değerlerin Elimine Edilmesi 71
4.4 Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliklere Dönüştürülmesi 73
4.5 Yıllara Göre Su Yüzeyi Yüksekliği Değişimleri 73
4.6 Yıllara Göre Göl Alanı Değişimleri 80
4.7 Yıllara Göre Hacimsel Değişimler 83
4.8 ARIMA Modeli ile Gelecek Yıllardaki Su Yüzeyi Yüksekliği ve Alan Tahmini 90
5 TARTIŞMA 101
6 SONUÇ VE ÖNERİLER 105
KAYNAKÇA 108
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 120

SİMGE LİSTESİ

Gt	Gigaton
°C	Santigrat derece
ΔH	Yükseklik farkı

KISALTMA LİSTESİ

ACF	Autocorrelation Function
ADF	Augumented Dickey-Fuller
ALOS	Advanced Land Observation Satellite
AR	Autoregressive
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average
ARMA	Autoregressive Moving Average
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
GDEM	Global Digital Elevation Map
ATLAS	Advanced Topographic Laser Altimeter System
AWEI	Automated Water Extraction Index
BM	Birleşmiş Milletler
CASSIE	Coastal Analyst System from Space Imagery Engine
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DAHITI	Database for Hydrological Time Series of Inland Waters
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
DSİ	Devlet Su İşleri
EGM2008	Earth Gravitational Model-2008
ENVISAT	Environmental Satellite
ERS	European Remote Sensing
ESA	European Space Agency
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation
GEE	Google Earth Engine
GEP	Gene Expression Programming
GLSM	Generalized Linear Stochastic Model
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOCO06S	Gravity Observation Combination
GPS	Global Positioning System
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
I	Integrated
ICESat-2	Ice, Cloud and land Elevation Satellite-2
IQR	Interquartile Range
İHA	İnsansız Hava Aracı

LiDAR	Light Detection and Ranging
MA	Moving Average
MERIT	Multi-Error-Removed Improved-Terrain
MLR	Multiple Linear Regression
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MVS	Multi View Stereo
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near-infrared
NTS	Nesne Tabanlı Sınıflandırma
OSM	OpenStreetMap
PACF	Partial Autocorrelation Function
PTS	Piksel Tabanlı Sınıflandırma
RMSE	Root Mean Squared Error
RTK	Real-Time Kinematik
SAM12	Sayısal Arazi Modeli-12
SAR	Synthetic Aperture Radar
SfM	Structure from Motion
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform
SKA	Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları
SNAP	Sentinel Application Platform
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWIR	Short-wave Infrared
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SYM12	Sayısal Yüzey Modeli-12
SYY	Su Yüzeyi Yüksekliği
TG20	Turkey Geoid 2020
TOA	Top of Atmosphere
TTA	Train and Test Area
USGS	United States Geological Survey
WGS84	World Geodetic System-1984
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örneklem Aralığı

YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çalışma alanı **14**
Şekil 2.2 1984-2022 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklıklar **15**
Şekil 2.3 1984-2022 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklıklar **16**
Şekil 2.4 1984-2022 yılları arasındaki aylık toplam yağış miktarı **16**
Şekil 2.5 1984-2022 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı **17**
Şekil 2.6 1984-2022 yılları arasındaki aylık ortalama nispi nem **17**
Şekil 2.7 1984-2022 yılları arasındaki yıllık ortalama nispi nem **18**
Şekil 2.8 DJI Mavic 2 Pro **24**
Şekil 2.9 Burdur Gölü ve çevresine ait jeoit yükseklikleri **26**
Şekil 3.1 Tez çalışmasında uygulanan iş akış şeması **28**
Şekil 3.2 Tez çalışmasında kullanılmaya uygun Landsat veri tarihleri (koyu sarı renkli hücreler uygun veri olduğunu, açık sarı renkli hücreler uygun verinin olmadığını temsil etmektedir) **29**
Şekil 3.3 Tez çalışmasında kullanılmaya uygun Sentinel-2 veri tarihleri (koyu sarı renkli hücreler uygun veri olduğunu, açık sarı renkli hücreler uygun verinin olmadığını temsil etmektedir) **29**
Şekil 3.4 (a) Piksel tabanlı sınıflandırma ve (b) nesne tabanlı sınıflandırma örneği (20.08.1985 tarihli Landsat-5 verisi) **32**
Şekil 3.5 Burdur Gölü alanının zamansal değişimi **41**
Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan İHA uçuş planları **41**
Şekil 3.7 Çalışmada kullanılan YKN örnekleri ve ölçümü **42**
Şekil 3.8 YKN'lerin ve kontrol noktalarının konumları (genel görünüm) **44**
Şekil 3.9 YKN'lerin ve kontrol noktalarının konumları **45**
Şekil 3.10 Landsat görüntülerinden elde edilen kıyı çizgilerine yükseklik bilgisi kazandırılması **47**
Şekil 3.11 (a) Filtrelenmemiş ve (b) filtrelenmiş veri örneği (20.08.2014 SYM-1 verisi) **48**
Şekil 4.1 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (02.09.1984 tarihli Landsat-5 görüntüsü) **60**
Şekil 4.2 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (24.08.2004 tarihli Landsat-5 görüntüsü) **61**
Şekil 4.3 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (11.09.2022 tarihli Landsat-8 görüntüsü) **61**

Şekil 4.4 Landsat 5 ve 8 verilerinden elde edilen yıllara göre kıyı uzunluğu ve göl alanı değişimi (yaz başı) **62**

Şekil 4.5 Landsat 5 ve 8 verilerinden elde edilen yıllara göre kıyı uzunluğu ve göl alanı değişimi (yaz sonu) **63**

Şekil 4.6 2016-2022 yıllarındaki Sentinel-2, Landsat-8 verilerinden elde edilen alanlar ve referans alan verileri (yb: yaz başı, ys: yaz sonu) **63**

Şekil 4.7 1 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **69**

Şekil 4.8 2 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **69**

Şekil 4.9 3 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **70**

Şekil 4.10 4 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **70**

Şekil 4.11 5 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **70**

Şekil 4.12 6 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM **71**

Şekil 4.13 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş nokta sayıları (yaz başı) **72**

Şekil 4.14 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş nokta sayıları (yaz sonu) **72**

Şekil 4.15 Hesaplanan yükseklikler ve referans yükseklikler (yaz başı) **74**

Şekil 4.16 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş verilerin referans verisiyle arasındaki yükseklik farkları (yaz başı) **74**

Şekil 4.17 Hesaplanan yükseklikler ve referans yükseklikler (yaz sonu) **77**

Şekil 4.18 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş verilerin referans verisiyle arasındaki yükseklik farkları (yaz sonu) **77**

Şekil 4.19 Yıllara göre göl alanının değişimi (yaz başı) **80**

Şekil 4.20 Yıllara göre göl alanının değişimi (yaz sonu) **83**

Şekil 4.21 Yıllara göre hacim kaybı (yaz başı) **84**

Şekil 4.22 Yıllara göre hacim kaybı (yaz sonu) **84**

Şekil 4.23 1984-2022 yılları arasındaki kümülatif hacim kaybı (yaz başı) **85**

Şekil 4.24 1984-2022 yılları arasındaki kümülatif hacim kaybı (yaz sonu) **85**

Şekil 4.25 SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı) **91**

Şekil 4.26 1 kez farkı alınmış SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı) **91**

Şekil 4.27 Göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı) **92**

Şekil 4.28 1 kez farkı alınmış göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı) **92**

Şekil 4.29 ARIMA (1, 1, 1) modeline göre SYY ve göl alanı tahmini (yaz başı) **93**

Şekil 4.30 SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu) **94**

Şekil 4.31 1 kez farkı alınmış SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu) **94**

Şekil 4.32 Göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu) **95**

Şekil 4.33 1 kez farkı alınmış göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu) **95**

Şekil 4.34 ARIMA (1, 1, 1) modeline göre SYY ve göl alanı tahmini (yaz sonu) **96**

Şekil 4.35 ARIMA(1, 1, 1) modelinin eğitimi ve gelecek yıllardaki SYY ve göl alanı (yaz başı) **97**

Şekil 4.36 ARIMA(1, 1, 1) modelinin eğitimi ve gelecek yıllardaki SYY ve göl alanı (yaz sonu) **98**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Landsat-5 uydu özellikleri **19**
Tablo 2.2 Landsat-8 uydu özellikleri **20**
Tablo 2.3 Sentinel-2 uydu özellikleri **21**
Tablo 2.4 Çalışmada kullanılan Landsat-5 uydu verileri ve özellikleri **22**
Tablo 2.5 Çalışmada kullanılan Landsat-8 uydu verileri ve özellikleri **23**
Tablo 2.6 Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu verileri ve özellikleri **23**
Tablo 2.7 DJI Mavic 2 Pro özellikleri **24**
Tablo 2.8 DJI Mavic 2 Pro cihazına entegre çalışan kamera özellikleri **25**
Tablo 2.9 Devlet Su İşleri'nden temin edilen Burdur Gölü SYY, alan ve hacim değerleri **27**
Tablo 3.1 Araziye tesis edilen YKN koordinatları **43**
Tablo 3.2 Farklı nokta sıklıklarıyla üretilen yükseklik verilerinin ortalamadan olan sapmaları **46**
Tablo 3.3 SYM bölgelerindeki jeoit yükseklikleri **49**
Tablo 4.1 Sentinel 2 ve Landsat 8 verilerinden elde edilen alanların referans alan verisiyle karşılaştırılması **64**
Tablo 4.2 Landsat-5 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi **65**
Tablo 4.3 Landsat-8 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi **66**
Tablo 4.4 Sentinel-2 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi **66**
Tablo 4.5 Yapılan uçuşlara ait parametreler ve sonuç ürün özellikleri **68**
Tablo 4.6 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz başı) **75**
Tablo 4.7 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz sonu) **78**
Tablo 4.8 Yıllara göre göl alanı değişimi ve doğruluk analizi (yaz başı) **81**
Tablo 4.9 Yıllara göre göl alanı değişimi ve doğruluk analizi (yaz sonu) **82**
Tablo 4.10 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz başı) **86**
Tablo 4.11 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz sonu) **87**
Tablo 4.12 ARIMA (1, 1, 1) modeliyle tahmin edilen SYY ve göl alanı değerleri (yaz başı) **93**
Tablo 4.13 ARIMA (1, 1, 1) modeliyle tahmin edilen SYY ve göl alanı değerleri (yaz sonu) **96**

Tablo 4.14 ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 2023-2050 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimleri (yaz başı) **99**

Tablo 4.15 ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 2023-2050 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimleri (yaz sonu) **100**

ÖZET

Göllerdeki Uzun Vadeli Hacimsel Değişimin Belirlenmesi ve Trend Analizinde İHA Fotogrametrisi ve Optik Uydu Verilerinin Entegrasyonu: Burdur Gölü Örneği

Yunus KAYA

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Eş-Danışman: Doç. Dr. Saygın ABDİKAN

Göller, dünya yüzeyindeki tatlı su kütlelerinin en büyük unsurunu oluşturmakta ve içme suyunun karşılanmasında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Burdur Gölü gibi bazı tuzlu suya sahip göller içme suyu olarak kullanılmasa da nesli tükenmekte olan bazı hayvan ve bitki türlerine ev sahipliği yapmaktadır. İç su kütlelerinin doğru ve düzenli bir şekilde izlenmesi ve gelecekteki su seviyelerinin tahmini su kaynaklarının yönetimi bakımından önemlidir. Su yüzeyi yüksekliği (SYY) ölçüm istasyonları önemli bilgiler vermesine rağmen, bu istasyonlardan doğru bilginin elde edilmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle uzaktan algılama ve küresel açık kaynaklı veriler kullanılmaktadır. Ancak küresel Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) düşük hassasiyete sahip oldukları için küçük su kütlelerinde kullanılamazlar. Uydu radar altimetre verileri de benzer şekilde büyük ayak izlerine ve örneklem aralıklarına sahip oldukları için yalnızca büyük su kütlelerinin izlenmesinde kullanılabilir. Uydu lazer altimetre sistemleri daha küçük ayak izleri

ve daha sık örneklem aralıkları sayesinde küçük su kütleleri için uygundur. Ancak yeni uydu sistemlerinin veri arşivleri sınırlıdır. Optik uydu verileri ise sadece su yüzeylerine ait değişimi sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında Türkiye'nin en büyük boyutlu Ramsar alanı olan Burdur Gölü'nün geçmişe yönelik SYY'lerinin İnsansız Hava Aracı (İHA)-Landsat entegrasyonu ile belirlenmesi amaçlanmıştır. İHA-Landsat entegrasyonuyla belirlenen kıyı çizgisi yüksekliklerinden jeoit yükseklikleri çıkarılarak ortalama SYY elde edilmiştir. SYY ve göl alanları ile 1984-2022 arası hacimsel değişim incelenmiştir. 38 yıllık SYY ve alansal değişimler kullanılarak Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli ile gelecek yıllara ilişkin tahmin yapılmıştır. Çalışma sonucunda SYY r=0,999 ve 21 cm ortalama yükseklik hatası ile tahmin edilmiştir. Kümülatif hacim kaybı ise %97,5 başarı oranıyla hesaplanmıştır. 1984-2022 yılları arasında Burdur Gölü'nün alanı 206 km^2'den 120 km^2'ye düşmüştür. Gölün hacmi 38 yıl içerisinde 2,70 km^3 azalmıştır. ARIMA modeline göre 2023-2050 yılları arasında SYY ~826 m'ye, göl alanı ise ~58 km^2'ye gerilemektedir. Dolayısıyla 2050 yılında yaklaşık 1,06 km^3'lük hacmin azalması öngörülmektedir. Bu tez çalışması İHA-uzaktan algılama entegrasyonunun potansiyelini ve sınırlamalarını göstermektedir. Önerilen yöntem uzun vadeli su seviyelerinin ve hacimsel değişimlerinin yüksek mekansal çözünürlükle belirlenmesinde faydalı sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu çalışmada ARIMA modelinin SYY değişimindeki başarısı da araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İHA-Landsat entegrasyonu, ARIMA, su yüzeyi yüksekliği, hacimsel değişim, Ramsar alanı

ABSTRACT

Integration of UAV Photogrammetry and Optical Satellite Data in The Determination of Long-Term Volumetric Change and Trend Analysis of Lakes: The Case of Burdur Lake

Yunus KAYA

Department of Geomatics Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Saygın ABDİKAN

Lakes are the largest element of freshwater bodies on the earth's surface and play an indispensable role in providing drinking water. Some salt lakes, such as Lake Burdur, are not used for drinking water but are home to endangered species of animals and plants. Accurate and regular monitoring of inland water bodies and prediction of future water surface levels (WSLs) are important for water resource management. Although WSL measurement stations provide important information, it is not always possible to obtain accurate information from these stations. For this reason, remote sensing and global open-source data are used. However, global Digital Elevation Models (DEMs) have low accuracy and cannot be used in small water bodies. Similarly, satellite radar altimeter data can only be used for monitoring large water bodies due to their large footprints. Satellite laser altimetry systems are suitable for small water bodies due to their smaller footprints and more frequent sampling intervals. However, new satellite systems have limited data

archives. Optical satellite data only provide changes on water surfaces. In this thesis, it is aimed to determine the historical DEMs of Burdur Lake, Turkey's largest Ramsar site, with Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Landsat integration. Local geoid elevations were subtracted from the shoreline elevations determined by UAV-Landsat integration to obtain the mean WSL. The volumetric change between 1984 and 2022 was analyzed with the DEM and lake areas. Using 38 years of DEM and areal changes, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model was used to predict the future years. As a result of the study, the DEM was estimated with r=0.999 and a mean height error of 21 cm. Cumulative volume loss was calculated with a success rate of 97.5%. Between 1984 and 2022, the area of Lake Burdur decreased from 206 km^2 to 120 km^2. The volume of the lake decreased by 2.70 km^3 in 38 years. According to the ARIMA model, the WSL decreases to ~826 m and the lake area to ~58 km^2 between 2023 and 2050. Therefore, a volume decreases of approximately 1.06 km^3 is predicted in 2050. This thesis presents the potential and limitations of UAV-remote sensing integration. The proposed method provides useful results in determining long-term WSL and volume changes with high spatial resolution. In addition, the success of the ARIMA model in water level change is also investigated in this study.

Keywords: UAV-Landsat integration, ARIMA, water surface level, volumetric change, Ramsar site

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Taraması

Göller gibi kara içi su kütleleri sosyo-ekonomik kalkınmada, sağlıklı ekosistemlerin kurulmasında, enerji ve gıda üretiminde kritik bir rol oynamaktadır [1]. Dünya nüfusunun %40'ından fazlası su kıtlığından etkilenmekte ve bu durumun devam etmesiyle 2030 yılına kadar 6,3 milyar insanın değişen derecelerde su stresinden etkilenmesi beklenmektedir [2]. Birleşmiş Milletler'in (BM) 2020 yılındaki raporuna göre [2] son 300 yılda dünyadaki sulak alanların %85'i kurumuştur ve geriye kalanların da kalitesi önemli ölçüde bozulmuştur. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması hem gıda hem de temiz su ihtiyacını artırmaktadır [3]. Göller ve barajlar gibi iç su kaynakları, sulak alanlara bağımlı olan insanlar, hayvanlar ve bitkiler için hayati öneme sahiptir. Göller, su kaynaklarının sağlanmasında ve bulunduğu bölgede ekolojik dengenin korunmasında su ekosistemlerinin önemli bileşenlerindendir [4], [5]. Yalnızca tatlı su gölleri değil Burdur Gölü gibi tuzlu suya sahip olmasına rağmen bazı bitki ve hayvanlara ev sahipliği yapan göller de canlı ekosisteminin korunmasında ve sürdürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte göller en hassas ve kırılgan su ekosistemleri arasındadır. Doğal etkenler ve antropojenik faaliyetler nedeniyle göllerde kısa süreli hızlı değişimler meydana gelebilmektedir [6], [7]. Göl çevresindeki yanlış tarım veya sulama politikaları, gölün besin kaynaklarının yok olması gibi yerel ve küçük ölçekli etkiler ile iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi büyük ölçekli etkiler de göllerdeki hızlı değişimlere neden olmaktadır. Göl ekosistemlerindeki zamana bağlı alansal ve hacimsel değişimler, çevresel faktörler ve iklim değişikliği olgusu hakkında önemli bilgiler sunmaktadır [8], [9].

Uluslararası öneme sahip sulak alanlar hakkında sözleşme -ya da bilinen adıyla Ramsar sözleşmesi- dünya genelindeki sulak alanların akıllıca kullanımı ve korunması için İran'ın Ramsar kentinde 3 Şubat 1971 yılında 18 ülke temsilcisi arasında imzalanmıştır [10], [11]. Ramsar Sözleşmesi, doğal kaynakların küresel ölçekte korunmasını amaçlayan ilk modern anlaşma olarak kabul edilmektedir [12]. Sözleşme en çok tehdit altındaki habitat grubu olan sulak alanlarla ilgilidir.

Başlangıçta sözleşmenin temel amacı dünya genelindeki sulak alanların bozulmasını ve kaybını engellemek olsa da yıllar geçtikçe sözleşmenin kapsamı, biyolojik çeşitlilik ve insan toplumlarının refahı için sulak alanların korunmasını tüm yönleriyle kapsayacak şekilde genişlemiştir [6].

BM, 1977 yılında Arjantin'de düzenlenen Mar del Plata konferansında, tüm insanların su ihtiyacına eşit miktarda ve kalitede erişim hakkına sahip olduğunu ilan eden "Topluluk Su Temini" başlıklı bir eylem planı oluşturmuştur [13]. Suyun önemi, 1981-2000 yılları arasında çeşitli konferanslarda vurgulanmış ve 2000 yılında "Milenyum Kalkınma Deklerasyonu", güvenli içme suyuna erişimi olmayan insanların yanı sıra temel sanitasyon hizmetlerine erişimi olmayan insanların oranının da 2015 yılına kadar yarı yarıya indirilmesi gerektiği çağrısında bulunmuştur [14]. 2005-2015 yılları "Yaşam için Su" on yılı olarak belirlenmiştir [15]. 2015 yılında tüm BM üye devletleri tarafından kabul edilen 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi, şu an yaşayan ve gelecekte yaşayacak insanların, gezegenin barışı ve refahı için ortak bir plan sunmuştur [16]. Gündemde, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkelerin küresel ölçekte ortak bir şekilde hareket etmesi için 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA) duyurulmuştur [2], [17]. 17 SKA içerisinde sağlık ve eğitimin iyileşmesinden yoksulluk ve açlığın sona ermesine, cinsiyet eşitliğinden ekonomik gelişime, su ve su altı canlıların korunumundan temiz enerjiye kadar geniş yelpazede iyileştirme amaçları sunulmuştur. SKA6 [18], 2030 yılına kadar herkes için erişilebilir su ve atık su hizmetlerini ve sürdürülebilir su yönetimini güvence altına almayı amaçlamaktadır [2], [19], [20]. Bu amaç doğrultusunda SKA6, 8 alt hedefe ayrılmıştır [21]. Bunlar;

"*6.1. 2030'a kadar herkesin güvenilir ve erişilebilir içme suyuna evrensel ve eşit biçimde erişiminin güvence altına alınması*

6.1.1. Güvenilir şekilde yönetilen içme suyu hizmetlerini kullanan nüfusun oranı

6.2. 2030'a kadar herkesin yeterli temizlik ve sıhhi koşullara eşit biçimde erişiminin sağlanması ve kadınların, kız çocuklarının ve kırılgan durumda olan kişilerin ihtiyaçlarına özel önem göstererek kamuya açık alanlarda dışkılamanın sona erdirilmesi

6.2.1. Sabun ve su ile el yıkama imkânı dahil olmak üzere güvenilir şekilde yönetilen atık su ve kanalizasyon hizmetlerini kullanan nüfusun oranı

6.3. 2030'a kadar kirliliği azaltarak, çöp boşaltmayı ortadan kaldırarak, zararlı kimyasalların ve maddelerin salınımını en aza indirgeyerek, arıtılmamış atık su oranını yarıya indirerek ve geri dönüşümü ve güvenli tekrar kullanımı küresel olarak ciddi ölçüde artırarak su kalitesinin yükseltilmesi

6.3.1. Güvenilir şekilde arıtılmış atık su oranı

6.3.2. İyi su kalitesi çevresine sahip su alanlarının oranı

6.4. 2030'a kadar bütün sektörlerde su kullanım etkinliğinin büyük ölçüde artırılması, su kıtlığı sorununu çözmek için sürdürülebilir tatlı su tedarikinin sağlanması ve su kıtlığından muzdarip insan sayısının önemli ölçüde azaltılması

6.4.1. Zaman içinde su kullanım verimliliğindeki değişim

6.4.2. Su stresinin düzeyi: kaynaklardan çekilen tatlı suyun mevcut tatlı su kaynaklarına oranı

6.5. 2030'a kadar uygun görüldüğünde sınır ötesi iş birliği yoluyla her düzeyde bütünleşik su kaynakları yönetimi uygulanması

6.5.1. Entegre su kaynakları yönetimi uygulamasının derecesi (0-100)

6.5.2. Su iş birliği için operasyonel bir düzenleme ile sınır ötesi havza alanının oranı

6.6. 2020'ye kadar dağları, ormanları, sulak alanları, nehirleri, akiferleri ve gölleri kapsayan su ekosistemlerinin korunması ve eski haline getirilmesi

6.6.1. Suyla ilişkili ekosistemlerin kapsamının zaman içindeki değişimi

6.a. 2030'a kadar uluslararası iş birliğinin ve gelişmekte olan ülkelere su hasadı, tuzdan arındırma, su verimliliği, atık su arıtımı, geri dönüşüm ve tekrar kullanım teknolojileri gibi suyla ve sıhhi koşullarla ilgili faaliyetlerinde ve programlarında verilen kapasite geliştirme desteğinin artırılması

6.a.1. Devlet koordinasyonundaki harcama planının bir parçası olan su ve atık su hizmetleri ile ilgili resmi kalkınma yardımının miktarı

6.b. Yerel halkların su ve sıhhi koşullar yönetiminin geliştirilmesine katılımlarının desteklenmesi ve güçlendirilmesi

6.b.1. Su ve atık su hizmetlerinin yönetilmesinde yerel toplulukların katılımı için kurulu ve operasyonel politika ve prosedürleri olan yerel yönetim birimlerinin oranı" [21].

Bu hedefler dünyadaki çoğu ülke tarafından benimsenmiş ve artan sayıda ülke, göllerin korunmasını kendi sürdürülebilir kalkınma hedeflerine dahil etmiştir [22]. Ancak birçok ülke, iç sularının ve tatlı su rezervlerinin boyutlarını, miktarını ve kısa ve uzun vadeli değişikliklerini etkili bir şekilde izlemek için yeterli veriye sahip değildir [1].

Çok zamanlı yer gözlem verilerini temin etmenin en uygun yolu uydu görüntüleme sistemlerinden yararlanmaktır. Uzaktan algılama verileri ilk uydunun fırlatılmasından bu yana önemli bir yer gözlem verisi haline gelmiştir. Uzaktan algılama verilerinin; geniş yüzeyleri kapsaması, bazı verilerin ücretsiz bir şekilde sivil kullanıma sunulması ve elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde algılama yapması sayesinde farklı disiplinler için kullanılabilir olması gibi çeşitli avantajları vardır. Toprak neminin ölçülmesinden hava kalitesinin belirlenmesine, bitki sağlığından şehir ısı haritalarının üretilmesine kadar birçok alanda kullanılan uzaktan algılama verileri yüzey sularının mekansal ve zamansal dinamiklerinin izlenmesinde de sıklıkla kullanılmaktadır [4], [5]. Uzaktan algılama yaklaşımlarında meydana gelen son 50 yıllık gelişmeler yeryüzü hakkında çok daha fazla bilgi sahibi olmamızı, zamansal ve mekansal değişimleri takip etmemizi, doğal engeller veya yasal kısıtlamalar nedeniyle ulaşılamaz olan bölgeler hakkında veri toplamamıza olanak sağlamıştır. Saha ölçümünün çeşitli nedenlerle zor olduğu göl araştırmalarında da uzaktan algılama araçları ve yöntemleri kullanılmaktadır [8], [23], [24], [25].

Landsat uydu verileri, özellikle 2008 yılında Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'nun (USGS) görüntülerin ücretsiz olarak erişilebilir olacağını duyurmasından bu yana en çok kullanılan verilerden olmuştur [26]. Tekrar ziyaret süresi 16 gün olan Landsat-5 (1984-2011), Landsat-7 (1999-2022), Landsat-8 (2013-günümüz) ve Landsat-9 (2021-günümüz) uyduları sayesinde aynı yere ait bir yıl içerisinde onlarca görüntü elde edilebilmektedir. Landsat uydu verileriyle aynı ücretsiz kullanılabilirlik kriterlerini takip eden Avrupa Uzay Ajansı (ESA) uydusu Sentinel-2A, Haziran 2015'ten bu yana Landsat 8'den daha yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip görüntüler kaydetmektedir. Sentinel-

2A'nın Mart 2017'de fırlatılan ikizi Sentinel-2B sayesinde Sentinel-2 uydusunun zamansal çözünürlüğü beş güne çıkarılmıştır. Bu sayede küresel ölçekte ~50 yıldır veri toplayan orta mekansal çözünürlüklü Landsat misyonu ve yakın geçmişte faaliyete başlamış Sentinel-2 misyonu sayesinde göl alanlarındaki uzun vadeli zamansal ve mekansal değişimler tespit edilebilmektedir [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32].

Kıyı şeridi hareketlerinin ve sulak alanlardaki alansal ve hacimsel değişimlerin izlenmesi küresel iklim değişikliğinin su kütleleri üzerindeki uzun vadeli etkilerini yansıtan önemli parametrelerdendir [33]. Kıyı şeridini belirlemek ve zamana bağlı değişimlerini izlemek için literatürde farklı yöntemler kullanılmıştır. Optik görüntüler [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41] ve Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) verileri [42], [43] uzun zamanlı kıyı değişimlerinin izlenmesinde önemli veri kaynaklarıdır. Bulut tabanlı veri işleme platformu olan Google Earth Engine (GEE) sayesinde büyük miktarlarda uydu verileri işlenebilmekte ve geniş alanların analizlerini yapmak için önemli avantajlar sağlanmaktadır [44]. Kıyı çizgilerinin değişimlerinde Normalize Fark Su İndeksi (NDWI), Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI) ve Otomatik Su Çıkarma İndeksi (AWEI) gibi su çıkarma indekslerinden yararlanılmaktadır [45], [46]. Ayrıca Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından geliştirilen Dijital Kıyı Çizgisi Analizi Sistemi (DSAS) de kıyı şeritlerindeki değişikliklerin izlenmesinde etkili bir araç olmuştur [47], [48].

Literatürdeki kıyı çizgisi değişimi çalışmaları incelendiğinde çeşitli yöntem ve verilerin birlikte kullanıldığı görülmektedir.

Chen vd. [49], Zhoushan (Çin) takımadalarındaki kıyı şeridinin 2000-2018 yılları arasındaki zamansal ve mekansal değişimini matematiksel morfolojiye dayalı çok zamanlı uzaktan algılama görüntülerini kullanarak belirlemişlerdir. Karmaşık bir yapıya sahip olan kıyı şeridi, önerilen yöntemle %93 üretici doğruluğu ve %96 kullanıcı doğruluğu ile belirlenmiştir.

Halder vd. [50], iklim değişikliğine bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesiyle değişen kıyı çizgisini Landsat verileriyle belirlemişlerdir. Çalışmada 10 yıllık aralıklarla (1990-2000) ve 5 yıllık aralıklarla (2000, 2005, 2010 ve 2020) Ghoramara Adasındaki değişimi uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak belirlemişlerdir.

Komolafe vd. [39], Nijerya'da bulunan farklı kıyı şeritlerinde meydana gelen değişiklikleri NDWI ile belirlemişlerdir. Kıyı değişimlerini istatistiksel olarak analiz etmek için ise DSAS aracını kullanmışlardır.

Santos vd. [41], Brezilya'nın João Pessoa şehrinin kıyı şeridinin 1985-2019 yılları arasındaki mekansal-zamansal değişikliklerini Landsat-5 ve Landsat-8 verileriyle hesaplamış, kıyı çizgisi değişimini ise DSAS ile analiz etmişlerdir.

Almeida vd. [51], uydu görüntülerini kullanarak otomatik kıyı şeridi haritalama ve analizi için açık kaynak kodlu bir araç geliştirmişlerdir. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE) isimli araç, GEE üzerinden ücretsiz temin edilebilen Landsat ve Sentinel-2 görüntüleri üzerinden Otsu görüntü segmentasyon algoritması ile NDWI kullanarak kıyı çizgilerinin otomatik tespit edilmesini sağlamaktadır. CASSIE tarafından üretilen kıyı çizgileri ve değişim oranları arasındaki karşılaştırmada piksel altı bir doğruluk (7,97 m Root Mean Squared Error-RMSE) elde edilmiştir.

Van Leeuwen vd. [52], çok geniş alanlardaki iç su taşkınlarını tespit etmek için ücretsiz verilere dayalı bir otomatik iş akışı geliştirmişlerdir. Sentinel-1 ve Sentinel-2 verileriyle oluşturulan algoritma yüksek çözünürlüklü uydu verileri ve hava fotoğrafları kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmada oluşturulan sınıflandırmanın genel doğruluğu %99'dur ve yöntem tüm hava koşullarında çalışabilmekte ve 1000 m^2'den büyük su baskınları için doğru sonuçlar vermektedir.

Zhu vd. [43], Sarı Nehir Deltasının uzun vadeli (1980-2020) kıyı değişimlerini incelemek için hem optik hem de SAR verilerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen kıyı çizgisini Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) verileriyle karşılaştırmışlar ve pikselin %71,4'lük kısmı kadar bir hata payıyla belirlemişlerdir.

Ariasakusuma vd. [53], Endonezya'nın Doğu Java Eyaletindeki 2000-2019 yılları arasındaki kıyı şeridi değişikliklerini izlemek için optik (Landsat-7 ve Landsat-8) ve radar verilerini (Advanced Land Observation Satellite (ALOS) Palsar ve Sentinel-1) birlikte kullanmışlardır.

Druce vd. [54], Çin anakarası üzerindeki yüzey suyu dinamiklerini Sentinel-1, Sentinel-2 ve Landsat-8 verilerini birleştirerek izlemişlerdir. 2017-2020 yılları arasında aylık yüzey suyu alanlarını tahmin etmek için çok değişkenli bir lojistik

regresyon modeli kullanmışlardır. Elde edilen veriler yüksek çözünürlüklü Gaofen uydu verileri ile karşılaştırılmış ve %94'lük bir genel doğruluk elde edilmiştir.

Firatli vd. [55], Türkiye'de bulunan ve 20 km^2 üzerinde alana sahip olan 27 farklı doğal gölün kısa vadeli ve uzun vadeli mekansal-zamansal değişimlerini göstermek için Landsat ve Sentinel verileri kullanılmıştır. Çalışmada uzun vadeli kıyı değişimi (1985-2020) beşer yıl arayla Landsat verileriyle yapılmış, kısa vadeli kıyı değişimi ise son 5 yılı kapsayan Sentinel-2 verileriyle yapılmıştır. Su alanları NDWI ile GEE platformunda belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Landsat ve Sentinel-2 uydu verilerinden elde edilen mekansal çözünürlüğün göl alanı değişimlerini izlemek için yeterli olduğu vurgulanmıştır.

Dervisoglu [56], 1985-2020 yılları arasında Türkiye'deki tüm iç sulak alanları Landsat verileriyle GEE platformu üzerinden NDWI kullanarak incelemiştir. Dervisoglu [57], Türkiye'de bulunan tüm Ramsar alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki değişimlerini incelemiştir. 1985-2020 yılları arasındaki uzun vadeli değişimlerde Landsat görüntüleri, 2016-2020 yılları arasındaki kısa vadeli değişimlerde ise Sentinel-1 ve 2 verileri kullanılmıştır. Optik görüntülerden su kaplı alanları NDWI kullanarak GEE platformunda belirlemişlerdir.

Sabuncu [58], Acıgöl ve Burdur Gölü'nün 44 yıllık (1975-2019) alansal değişimini Landsat-2, 5, 8 verileriyle belirlemiştir.

Optik görüntüler göllerdeki alansal değişimleri başarılı bir şekilde belirleyebilseler de SYY hakkında bilgi vermezler. Ayrıca gölleri çevreleyen topoğrafyadaki farklılıklar nedeniyle kıyı şeridi ve su alanındaki değişiklikler tek başına iklim değişikliğinin göller üzerindeki etkisini tam olarak yansıtmayabilir [59], [60]. Örneğin, aynı alan artışı veya azalmasına sahip iki farklı göl, kıyı şeridinin farklı yerlerindeki eğim farklılıklarından dolayı su depolama açısından büyük farklılıklar gösterebilir [61]. Su hacmindeki değişimlerin belirlenebilmesi için yatay ve düşey yöndeki değişimlerin birlikte izlenmesi gerekmektedir. Göllerdeki hacimsel değişimlerin izlenmesi, göllerdeki girdilerin (akarsu, yağış vb.) ve çıktıların (buharlaşma, tarımsal tüketim vb.) belirlenmesine olanak sağlar. Göllerdeki SYY değişimlerini takip etmenin en basit yöntemi, göl yüzeyine dikey olarak yerleştirilen ölçüm cetvellerinin kullanılmasıdır. Ancak Türkiye'de olduğu gibi dünya genelinde gözlem istasyonlarının sayısı önemli ölçüde azalmıştır [62], [63].

Ölçüm istasyonlarının yetersizliği farklı veri kaynaklarının önemini giderek artırmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalar su yüzeyi yüksekliğini (SYY) belirlemek için küresel sayısal yükseklik modellerinden (SYM) yararlanmışlardır [61], [64], [65], [66], [67]. Ancak küresel SYM'lerin doğrulukları genellikle birkaç metrenin üzerindedir [68]. Uuemaa vd. [69] tarafından yapılan bir çalışmada, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Map (GDEM) V3 [70], AW3D30 [71], Multi-Error-Removed Improved-Terrain (MERIT) [72], TanDEM-X [73], Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [68] ve NASADEM [74] olmak üzere altı farklı SYM veri seti dört farklı bölgede karşılaştırılmıştır. Çalışma hem düz alanlarda hem de karmaşık alanlarda AW3D30 verilerinin en doğru sonuçlar elde ettiğini vurgulamıştır. AW3D30 verilerinden düz ve karmaşık alanlarda sırasıyla 5 m ve 12 m gibi düşük doğruluklar elde edilmiştir. Bu veriler büyük topoğrafyalarda yaklaşık bir arazi yüzeyi oluşturmak için faydalı olsa da göl gibi küçük su kütlelerindeki zamansal değişiklikleri tespit etmek için yeterli çözünürlüğe sahip değillerdir. Türkiye'de Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından ulusal ölçekte Sayısal Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi Modeli üretilmiştir. TanDEM-X yüksek çözünürlüklü yükseklik verisi değişim projesi kapsamında üretilmiş Sayısal Yüzey Modeli (SYM12) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM12), 12 metre grid/yer örneklem aralığına, ± 5-10 m yatay konum doğruluğuna ve ± 4 m mutlak yükseklik doğruluğuna sahiptir [75]. 5 m grid aralıklı SYM5 ise 30 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğraflarından otomatik eşlemeyle üretilmiştir ve %90 güven aralığında ±3 m düşey doğruluğa sahiptir [76]. Küresel SYM'ler ve ülkemizdeki yükseklik modelleri incelendiğinde küçük göllerdeki SYY ve hacimsel değişimi tespit etmek için yeterli doğruluğa sahip olmadıkları görülmektedir. Su seviyelerini belirlemek için uydu altimetresi küresel SYM'lere uygun bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Altimetre yöntemleri 1990'lardan bu yana kullanılmaktadır ve başlıca radar altimetre verilerini Topex/Poseidon (1992–2005) [77], ERS-2 (1995–2011) [78], Jason-1/-2 (2008-) [79] ve Jason-3 [80] oluşturmaktadır. Literatürde çeşitli radar altimetre verilerini birleştiren çalışmalar da mevcuttur [81], [82].

Hwang vd. [77], erişilmesi zor olan ve dağınık bir alanda bulunan küçük buzulları incelemek için Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2 ve Jason-3 uydularından elde edilen altimetre verilerini kullanmışlardır.

Da Silva vd. [78], Amazon havzasındaki sulak alanların SYY'sini hesaplamak için European Remote Sensing (ERS)-2 ve Environmental Satellite (ENVISAT) radar altimetre misyonlarını kullanmışlardır.

Schwatke vd. [83], Envisat, ERS-2, Jason-1, Jason-2, TOPEX/Poseidon ve SARAL/AltiKa altimetri verilerini birleştirerek aralarında nehirler, göller ve rezervuarlar bulunan 5545 farklı sulak alanın SYY zaman serisini içeren Database for Hydrological Time Series of Inland Waters (DAHITI)'yi oluşturmuşlardır.

Radar altimetre sistemleri 1990'lardan günümüze kadar birçok bilimsel çalışmada kullanılmıştır. Ancak radar altimetrelerinin geniş ayak izleri ve büyük örneklem aralıkları nedeniyle yalnızca büyük göllerdeki, denizlerdeki ve okyanuslardaki su seviyelerini desimetre hassasiyetinde ölçebilmektedir ve küçük su kütlelerinin ölçülmesinde başarılı sonuçlar verememektedir [84].

2018 yılında fırlatılan altimetre uydusu Ice, Cloud and land Elevation Satellite (ICESat-2), göllerin izlenmesi için daha yoğun örneklem aralıkları ve küçük lazer ayak izleri (~17 m) ile radar altimetreleri ve 2003-3009 yıllarında veri toplayan ICESat uydusuna kıyasla hassasiyet, veri sıklığı ve çeşitliliği gibi çeşitli avantajlara sahiptir [3], [49], [85], [86], [87], [88], [89]. ICESat-2 uydusu daha önceki altimetre sistemlerine kıyasla üstün yükseklik ölçme hassasiyeti sunan Advanced Topographic Laser Altimeter System (ATLAS) ile donatılmıştır [90]. Dünyadaki farklı coğrafi özelliklere ilişkin verilerin sistematik olarak sınıflandırılmasını sağlamak için ICESat-2 veri seti çeşitli alt kategorilere ayrılmıştır. Bunlardan ATL13 veri seti, yol boyunca su kütlelerinin SYY'lerini ve tanımlayıcı istatistikleri içerir [91]. Literatürde lazer ve radar altimetrelerinin SYY ölçümünde kullanıldığı çok sayıda araştırma mevcuttur.

Feng vd. [92], yer gözlem ve Hydroweb verilerine sahip 48 farklı gölde ICESat, ICESat-2 ve CyroSat-2 uydu verilerinin ortak kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada CyroSat-2 ve ICESat-2 arasındaki ortalama sapma -0,78 m ile 0,13 m arasında değişmiştir.

Coppo Frias vd. [93], akış genişliği 100 m altındaki nehirlerin SYY'sini modellemek için ICESat-2 verilerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ICESat-2 verileri yer gözlem verileriyle karşılaştırılmış ve 0,59 m RMSE elde edilmiştir.

Narin ve Abdikan [3], Göller yöresinde bulunan 5 göl ve 4 barajın SYY ölçümü için ICESat-2 verilerini kullanmışlardır. Çalışmada bu tez çalışmasına konu olan Burdur Gölü de incelenmiş ve 0,40 m ile 0,66 m arasında değişen RMSE'ler elde edilmiştir. Çalışmada yalnızca 2019 ve 2020 yıllarına ait su gözlemleri değerlendirilmiş ve 0,95'lik bir korelasyon elde edilmiştir.

Song vd. [24], Çin'in göllerindeki mevsimsel değişimleri izlemek için ICESat-2 verilerini kullanmışlardır. Çalışmada 3473 gölün 2019-2021 yılları arasındaki değişimi gradyan artırma ağacı algoritması ile incelenmiş ve göl seviyeleri ortalama 0,44±0,07 m'lik bir hata payı ile belirlenmiştir.

Wang vd. [94], Çin, Myanmar, Laos, Tayland, Kamboçya ve Vietnam'ı kapsayan bir sınıraşan nehir olan Lancang-Mekong Nehri üzerinde kurulan en büyük 9 rezervuarın hacimsel değişimini izlemek için Sentinel-1/2 görüntülerini, ICESat-2/Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) altimetre verilerini ve SRTM SYM'lerini birlikte kullanmışlardır. Uzaktan algılama ile türetilen veriler ve yerinde ölçüm verileri karşılaştırılmıştır ve ortalama %5'lik normalleştirilmiş RMSE hatasıyla SYY'ler belirlenmiştir.

Zhang vd. [95], Tibet Platosu'ndaki göllerin 2018-2021 yılları arasındaki su seviyelerini izlemek için ICESat-2 ve GEDI ürünlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda göl seviyelerini ortalama 0,264±0,357 m sapma ile tahmin edilmiştir.

Zhang vd. [96], Avustralya'nın Victoria eyaletindeki Ramsar alanı olarak ilan edilen göllerin 35 yıllık (1987-2021) değişimlerini Landsat, ICESat-2 ve havadan Light Detection and Ranging (LiDAR) verilerini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada SYY'ler, Landsat verilerinden elde edilen su alanları ile havadan LiDAR ve ICESat-2 verilerinden geliştirilen hipsometrik eğrilerden hesaplanmıştır.

Luo vd. [97], 10 km^2'den büyük olan küresel göllerin 2003-2020 yılları arasındaki SYY ve hacimsel değişimini belirlemek için ICESat ve ICESat-2 verilerini kullanmışlardır. Çalışmada küresel göl hacminin ~%94'ünü oluşturan 6567 göl incelenmiş ve 2003-2020 döneminde toplam 10,88 ±16,45 Gt/yıl su depolama artışı gözlemlenmiştir.

Liu vd. [98], Sarı Nehir Havzasındaki 11 göl ve 8 rezervuarın SYY ve hacimsel değişimini incelemek için ICESat-2, OpenStreetMap (OSM) ve Orta Çözünürlüklü

Görüntüleme Spektroradyometresi (MODIS) MYD13Q1 V6 verilerini GEE platformunda birlikte kullanmışlardır.

ICESat-2 verileri küçük göllerde de başarılı bir şekilde uygulanmasına rağmen zamansal çözünürlükleri uzun vadeli değişimleri izlemek için yeterli değildir. Literatürdeki çalışmalar da genellikle 4 yıllık değişimleri incelemişlerdir. Ek olarak, ICESat (2003-2009) ve ICESat-2 verilerinin entegrasyonu [62], [87], yaklaşık 20 yıllık değişikliklerin (2009-2018 hariç) tespit edilmesini sağlamıştır [25], [85], [88]. Ancak ICESat verilerinin düzenli aralıklarla toplanmaması ve düşük zamansal çözünürlükleri nedeniyle bazı bölgelerde iklim değişikliğini izlemek için gerekli veriye sahip değildir.

Kıyı çizgisinin belirlenmesinde İHA teknolojileri alternatif bir kaynak olarak kullanılmaya başlanmıştır. Son on yılda birçok alanda kullanılan İHA, yüksek çözünürlükleri sayesinde yeryüzüne ait bilgilerin uzaktan algılama verilerine göre daha hassas bir şekilde toplanmasını mümkün kılmaktadır. İHA verileri kıyı şeridinin belirlenmesi [99], [100], kıyı bölgelerinde insan yapımı tahribatın izlenmesi, su kalitesi ve alglerin belirlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır [101]. Medvedev vd. [99], Sevan Gölü'nün Ermenistan'daki kıyı şeridinin mevcut durumunu araştırmak için İHA verilerini kullanmışlar ve arşiv görüntüleriyle karşılaştırmışlardır. Ayrıca İHA verilerinden oluşturulan SYM'ler çeşitli çalışmalarda SYY'leri tahmin etmek için kullanılmıştır [102], [103], [104]. Ancak uydu sistemlerinin aksine İHA'ların zamansal çözünürlük kavramı operatörün kontrolüne bağlıdır. Uydu sistemleri belirli yörüngelerde veri topladıkları için aynı alanı eşit aralıklarla görüntülemektedir. Bu da belirli mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip veri arşivinin oluşmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı İHA'larda genellikle mevcut su seviyelerinin ve kıyı çizgilerinin belirlenmesine odaklanılmaktadır. Bu durum SYY'deki uzun vadeli değişimlerin değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Yapılan literatür taramasında göl kıyısında SYM'ler kullanılarak geçmişten günümüze SYY'deki değişimlerin tespitine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Su seviyelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi kadar geleceğe yönelik tahminlerin yapılması da su kaynaklarının yönetimi ve eylem planlaması açısından önemlidir [105]. Küresel ısınma, iklim değişikliği ve mevsimlerin düzensizleşmesi gibi doğal faktörler ile yanlış su tüketim politikaları, sulak alanlarda yapılan yanlış

uygulamalar gibi antropojenik faktörlerin etkilerinin su kütlelerini gelecekte ne kadar etkileyeceği su kütleleri üzerinde uygulanacak olan politikaları doğrudan ilgilendirmektedir [106]. Kıyı çizgilerinin ve su seviyelerinin gelecekte ne miktarda değişeceği bazı çalışmalara konu olmuştur.

Esmail vd. [107], gelecekteki kıyı çizgisi değişimini belirlemek için 1990-2015 yılları arasındaki Landsat verilerinden elde ettikleri kıyı çizgilerini incelemişlerdir. DSAS aracı kullanarak kıyılardaki eğimi hesaplamışlar ve 2020, 2025 ve 2035 yıllarındaki kıyı çizgilerinin konumlarını hesaplamışlardır.

Basheer Ahammed ve Pandey [34], benzer şekilde Hindistan'daki 1973-2015 yılları arasındaki kıyı değişimini DSAS ile incelemişlerdir. Elde edilen kıyı eğim bilgilerini kullanarak kısa vadeli (2025) ve uzun vadeli (2050) tahminleri gerçekleştirmişlerdir.

Zeynoddin vd. [108], İran'da bulunan dünyanın en büyük altıncı tuzlu su gölü olan Urmiye Gölü'nün SYY değişimini tahmin etmek için genelleştirilmiş doğrusal stokastik model (GLSM) önermişlerdir.

Irvine ve Eberhardt [109], Amerika'nın kuzeyinde bulunan Erie ve Ontario göllerinin 1900-1986 yıllarındaki aylık su seviyelerini kullanarak mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelle 1, 2, 3 ve 6 ay sonraki su seviyelerini tahmin etmişlerdir. Erie Gölü için ortalama mutlak tahmin hatası 1, 2, 3 ve 6 aylık tahminler için sırasıyla 0,049 m, 0,076 m, 0,091 m ve 0,128 m olmuştur. Ontario Gölü için ortalama mutlak tahmin hatası 1, 2, 3 ve 6 aylık tahminler için sırasıyla 0,058 m, 0,095 m, 0,120 m ve 0,136 m olmuştur.

Khatibi vd. [110], Türkiye ve Amerika'dan seçtikleri farklı boyut ve yüksekliklerde bulunan 6 farklı gölün SYY değişimlerini ARIMA, Mevsimsel Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (SARIMA), Yapay Sinir Ağları (YSA), Gen İfade Programlama (GEP) ve Çoklu Doğrusal Regresyondan (MLR) kullanarak tahmin etmişlerdir. Van Gölü ve Tuz Gölü için 5 modelin de yüksek doğruluk verdiği bildirilmiştir.

Bu tez çalışmasında 1994 yılında Ramsar alanı olarak ilan edilen ve Türkiye'deki en büyük boyutlu Ramsar alanı olan Burdur Gölü'nün 1984-2022 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimleri incelenmiştir. İHA verileri ve optik uydu verilerinin entegrasyonu ile geçmişe yönelik kıyı çizgilerinin yükseklikleri

belirlenmiş ve hacimsel değişimler hesaplanmıştır. Ayrıca ARIMA modeli kullanılarak gelecek yıllara ilişkin SYY, alan ve hacim değerleri tahmin edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Landsat 5 ve Landsat 8 görüntülerinden elde edilen kıyı çizgilerini yüksek çözünürlüklü İHA görüntülerinden üretilen SYM'ler ile birleştirerek uzun zamanlı SYY'leri, alansal değişimleri ve hacimsel değişimleri belirlemek ve zaman serisi analizi yöntemleriyle gelecek yıllara ilişkin değerleri tahmin etmektir. Bu kapsamda çalışma alanı olarak seçilen Burdur Gölü kıyısında 6 farklı bölgede gerçekleştirilen İHA uçuşlarından elde edilen görüntüler ve araziye tesis edilen YKN'ler fotogrametrik yöntemle değerlendirilerek göl kıyılarının SYM'leri üretilmiştir. Üretilen SYM'ler optik uydu verilerinin uzaktan algılama yöntemleriyle değerlendirilmesi sonucu oluşturulan kıyı çizgileri ile birleştirilerek 1984-2022 yılları arasındaki SYY'ler belirlenmiştir. SYY ve alan verileri kullanılarak gölün uzun zamanlı hacimsel kaybı belirlenmiştir. Geçmişe yönelik belirlenen SYY ve alan değerleri ARIMA modeli ile değerlendirilerek gelecek yıllara ilişkin SYY ve alan tahmini yapılmıştır.

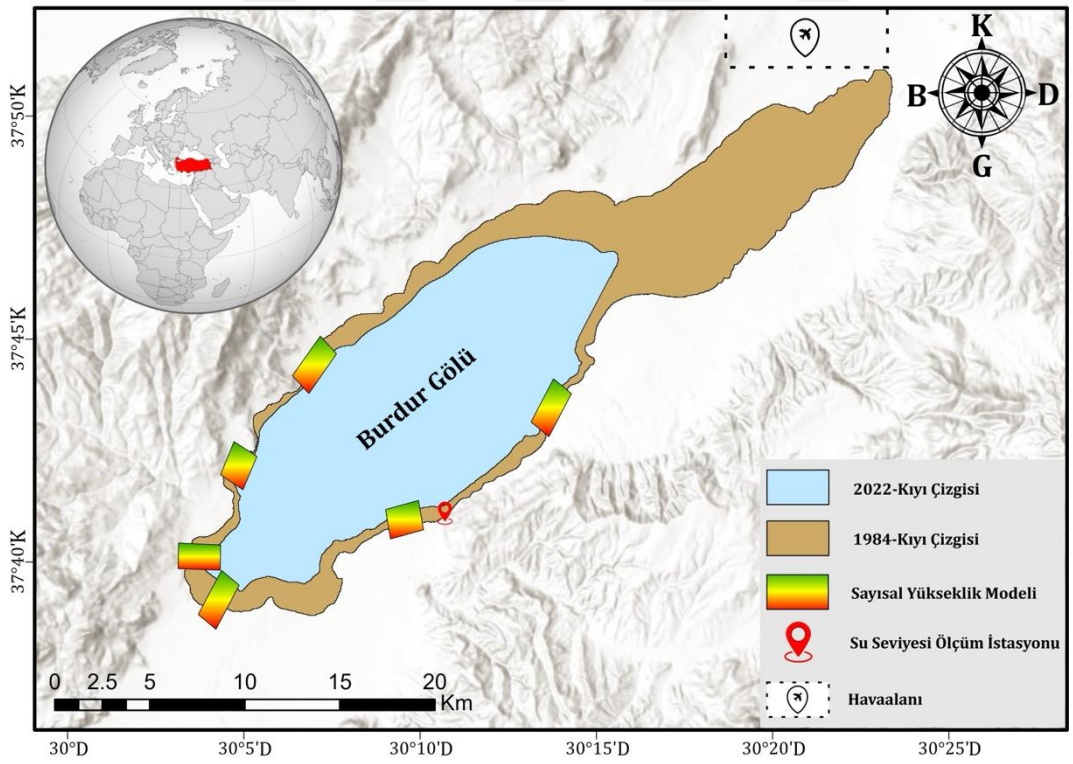
1.3 Hipotez

Su kaynaklarında meydana gelen uzun vadeli SYY ve hacimsel değişimler fotogrametri ve uzaktan algılama tekniklerinin entegrasyonu ile tespit edilebilir. Su kütlelerindeki hacimsel değişimi belirlemek için iki parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar hacimsel değişimin hesaplanacağı zamanlardaki yüzey alanları ve SYY'lerdir. Uzun yıllardır yeryüzü görüntülerini toplayan ve arşivleyen Landsat misyonu sayesinde su kütlelerinin alanları belirlenebilmektedir. İHA tabanlı yüksek mekansal çözünürlüklü SYM'ler ile uydu verileri birleştirilerek SYY'ler cm hassasiyetinde belirlenebilir. SYY ve alanlar kullanılarak hem kısa zamanlı hem de uzun zamanlı hacimsel değişimler belirlenebilir. Uzun yıllar SYY ve alan değişimlerini tahmin ettikten sonra ARIMA gibi zaman serisi analizi yöntemleri ile gelecek yıllara ilişkin SYY ve alanlar tahmin edilebilir.

2
ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

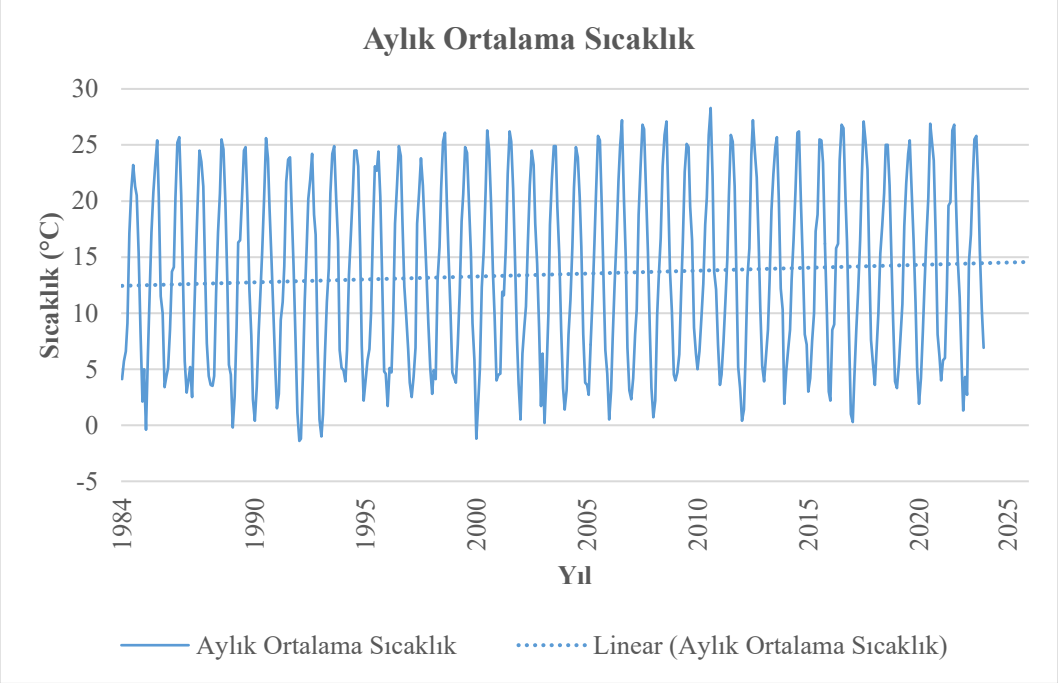
2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye'nin güneybatı kesiminde Burdur ve Isparta illeri arasındaki sınırda yer alan Burdur Gölü'dür. Burdur Gölü, Türkiye'deki 14 Ramsar alanından en geniş yüzölçümüne sahip olanıdır ve 1994 yılından bu yana hem Ramsar alanı hem de yaban hayatı koruma sahasıdır. Göl tektonik kökenli olup suyu aşırı tuzludur. Gölün ana besin kaynağı yağışlar ve akarsulardır [111]. Ancak mevsimsel sıcaklıkların artması ve akarsuların gölü besleyememesinden dolayı gölün alanı giderek azalmaktadır [112] (Şekil 2.1). Bu da gölün tuzluluk oranını giderek artırmaktadır. Burdur Gölü çok sayıda kışlayan kuş türünü barındıran büyük bir ornitolojik öneme sahiptir. Bu önemli su kütlesi, nesli tükenmekte olan Oxyura leucocephala türleri için bir yaşam alanı sağlamaktadır [3].

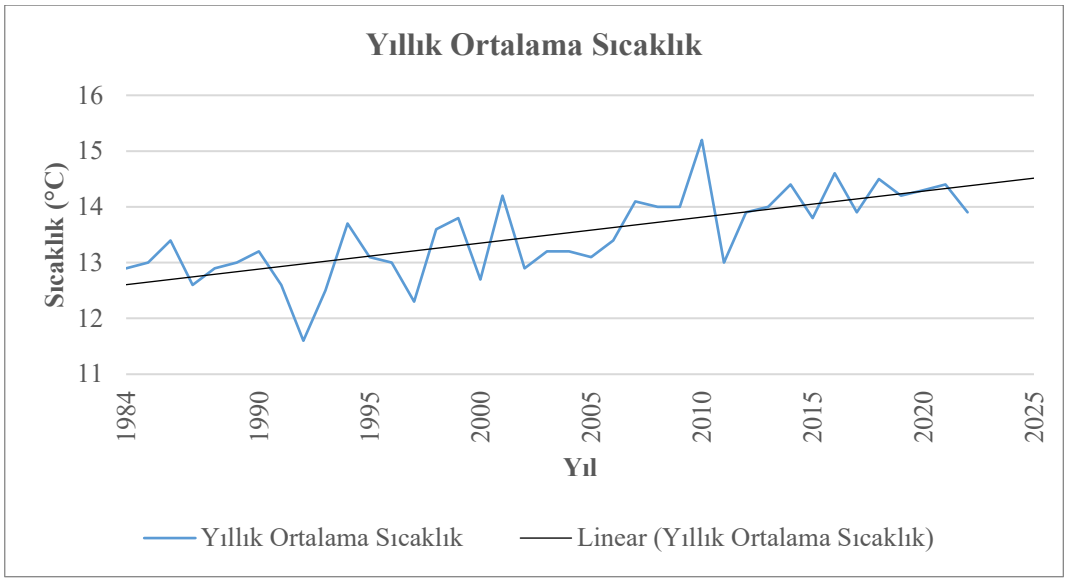


Şekil 2.1 Çalışma alanı

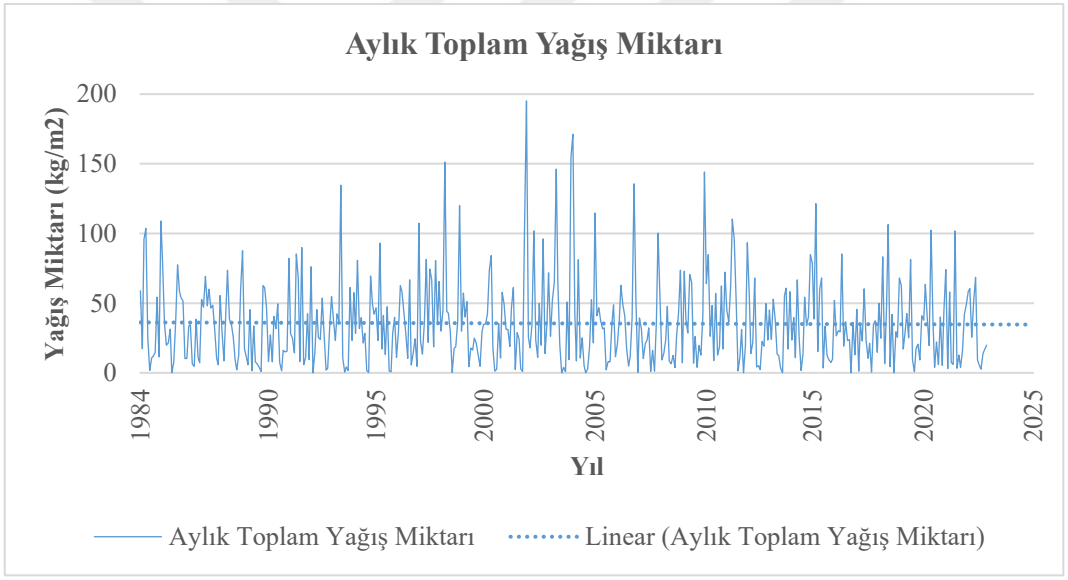
Burdur Gölü'nün bulunduğu bölgedeki yıl içerisindeki sıcaklıklar 0 °C ile 26 °C arasında değişmektedir. Yıllık ortalama sıcaklıklar ise 11,5 °C ile 15,2 °C arasında değişmektedir. Bölgenin 1984-2022 yılları arasındaki aylık sıcaklık değişimi Şekil 2.2'de, yıllık ortalama sıcaklık değişimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bölgedeki 1984-2022 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı 277 kg/m^2 ile 594 kg/m^2 arasında değişmekte ve ortalama 420 kg/m^2'dir. Bölge, aylık en çok yağışı 2001-2004 yılları arasında almıştır. Bölgenin 1980-2022 yılları arasındaki aylık yağış miktarı değişimi Şekil 2.4'te, yıllık toplam yağış miktarı değişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Bölgedeki nem miktarı yıl içerisinde %30 ile %80 arasından değişirken yıllık ortalama nem miktarı %57'dir. Bölgenin 1984-2022 yılları arasındaki aylık ortalama nem miktarı değişimi Şekil 2.6'da, yıllık ortalama nem miktarı değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



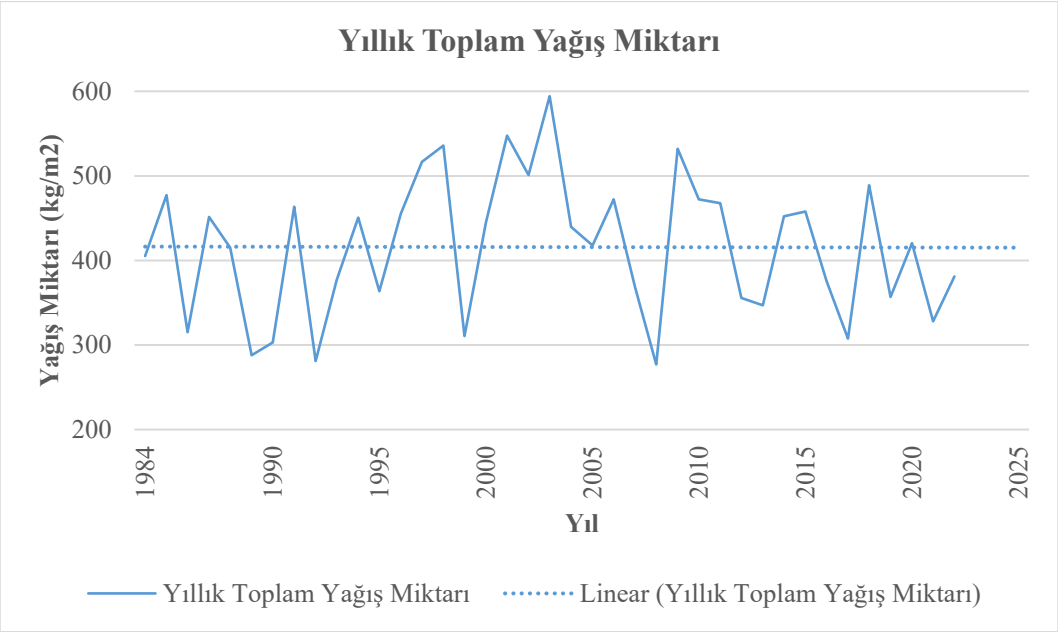
Şekil 2.2 1984-2022 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklıklar



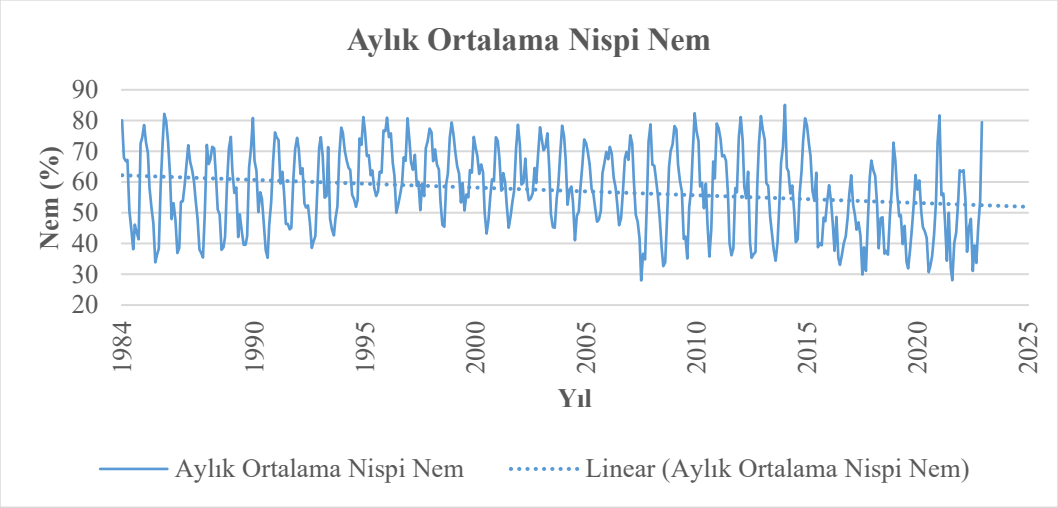
Şekil 2.3 1984-2022 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklıklar



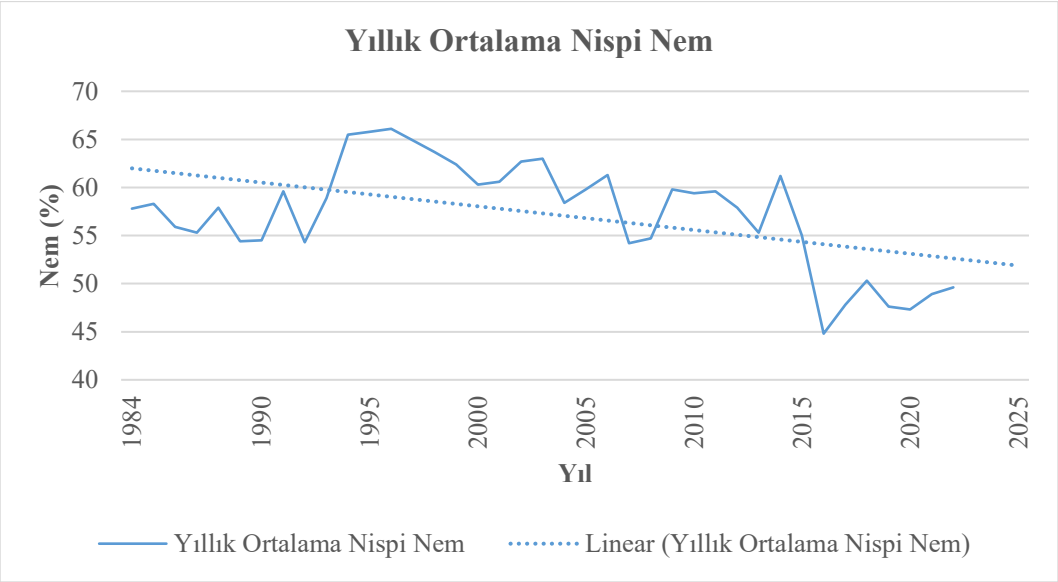
Şekil 2.4 1984-2022 yılları arasındaki aylık toplam yağış miktarı



Şekil 2.5 1984-2022 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı



Şekil 2.6 1984-2022 yılları arasındaki aylık ortalama nispi nem



Şekil 2.7 1984-2022 yılları arasındaki yıllık ortalama nispi nem

2.2 Veriler

2.2.1 Landsat-5/8 ve Sentinel-2 Optik Uydu Verileri

Uzaktan algılama, herhangi bir fiziksel temas olmaksızın, belli bir uzaklıktaki -veya uzaydaki- platformlara kurulan modern sensör ve cihazlar aracılığıyla hedef bölgelerden veya nesnelerden gelen elektromanyetik enerjinin kaydedilmesi ve analiz edilerek hedef bölge veya nesne hakkında bilgi edinme bilimi olarak tanımlanabilir.

Yer gözlem uyduları, elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi (NIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal bölgelerinde dünya yüzeyi hakkında uzaktan algılama bilgisi sağlar. İlki 1972 yılında fırlatılan, USGS/NASA tarafından geliştirilen Landsat uydu misyonu, dünya yüzeyi hakkında bilgi toplamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Landsat son 50 yıldır orta mekansal çözünürlüklü NIR, SWIR ve görünür dalga boylarında görüntüler sağlayarak çevresel analizleri kolaylaştırmaktadır. Landsat arşivi, sivil kullanıma ücretsiz bir şekilde açık olmasından dolayı literatürdeki yer gözlem çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır [113]. Landsat uydu arşivi verileri https://earthexplorer.usgs.gov adresinden ücretsiz bir şekilde paylaşılmaktadır. Landsat uydu verileriyle aynı ücretsiz kullanılabilirlik kriterlerini takip eden ESA uydusu Sentinel-2A, Haziran 2015'ten bu yana Landsat 8'den daha yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip görüntüler kaydetmektedir. Sentinel-2A'nın Mart 2017'de fırlatılan ikizi Sentinel-

2B sayesinde Sentinel-2 uydusunun zamansal çözünürlüğü beş güne çıkarılmıştır. Bu sayede küresel ölçekte ~50 yıldır veri toplayan orta mekansal çözünürlüklü Landsat misyonu ve yakın geçmişte faaliyete başlamış Sentinel-2 misyonu sayesinde göl alanlarındaki uzun vadeli zamansal ve mekansal değişimler tespit edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında 1984-2022 yılları arasında Burdur Gölü'nün alansal değişimini belirlemek için göl seviyesinin yıl içerisinde en yüksek (haziran) ve en düşük (eylül) olduğu aylardaki uydu verileri kullanılmıştır. Çalışmada Landsat-5/8 ve Sentinel-2A/2B görüntüleri kullanılmıştır. Landsat-5 verileri 1984-2012 yılları arasında, Landsat-8 verileri 2013-günümüz, Sentinel-2A verileri 2015-günümüz ve Sentinel-2B verileri 2017-günümüz arasında veri arşivine sahiptir. Çalışmada kullanılan Landsat-5, Landsat-8 ve Sentinel-2 uydusunun özellikleri sırasıyla Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3'te, su alanlarının çıkarılmasında kullanılan Landsat-5, Landsat-8 ve Sentinel-2 verileri ise sırasıyla Tablo 2.4, 2.5 ve 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.1 Landsat-5 uydu özellikleri

Fırlatma tarihi	1 Mart 1984				
Yörünge	Dairesel, güneşle eşzamanlı				
Yörünge yüksekliği	~ 705 km				
Tarama genişliği	185 km				
Görüntü boyutu	170 x 185 km				
Zamansal çözünürlük	16 gün				
Radyometrik çözünürlük	8 bit				
Mekansal çözünürlük	Görünür bölge, NIR, orta kızılötesi: 30 m				
	Termal: 120 m				
Spektral çözünürlük	**Sensör**	**Bant numarası**	**Bant ismi**	**Dalga Boyu (µm)**	**Mekansal Çözünürlük (m)**
	TM	Bant 1	Görünür Mavi	0,45 – 0,52	30
	TM	Bant 2	Görünür Yeşil	0,52 – 0,60	30
	TM	Bant 3	Görünür Kırmızı	0,63 – 0,69	30
	TM	Bant 4	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,76 – 0,90	30
	TM	Bant 5	Yakın Kızılötesi (NIR)	1,55 – 1,75	30
	TM	Bant 6	Termal	10,40 – 12,50	120
	TM	Bant 7	Orta Kızılötesi	2,08 – 2,35	30

Tablo 2.2 Landsat-8 uydu özellikleri

Fırlatma tarihi	11 Şubat 2013				
Yörünge	Dairesel, güneşle eşzamanlı				
Yörünge yüksekliği	~ 705 km				
Tarama genişliği	185 km				
Görüntü boyutu	170 x 185 km				
Zamansal çözünürlük	16 gün				
Radyometrik çözünürlük	OLI: 8 bit				
	TIRS: 16 bit				
Mekansal çözünürlük	Kıyı aerosolü, görünür bölge, NIR, SWIR, Cirrus: 30 m				
	Pankromatik: 15 m				
	TIRS: 100 m				
Spektral çözünürlük	**Sensör**	**Bant numarası**	**Bant ismi**	**Dalga Boyu (µm)**	**Mekansal Çözünürlük (m)**
	OLI	Bant 1	Kıyı Aerosolü	0,43- 0,45	30
	OLI	Bant 2	Mavi	0,45 – 0,51	30
	OLI	Bant 3	Yeşil	0,53 – 0,59	30
	OLI	Bant 4	Kırmızı	0,64 – 0,67	30
	OLI	Bant 5	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,85 – 0,88	30
	OLI	Bant 6	Short-wave infrared-1 (SWIR1)	1,57 – 1,65	30
	OLI	Bant 7	Short-wave infrared-2 (SWIR2)	2,11 – 2,29	30
	OLI	Bant 8	Pankromatik (PAN)	0,50 – 0,68	15
	OLI	Bant 9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
	TIRS	Bant 10	Termal kızılötesi 1 (TIRS1)	10,6 – 11,19	100
	TIRS	Bant 11	Termal kızılötesi 2 (TIRS2)	11,5 – 12,51	100

Tablo 2.3 Sentinel-2 uydu özellikleri

Fırlatma tarihi	23 Haziran 2015 (Sentinel 2A)				
	7 Mart 2017 (Sentinel 2B)				
Yörünge	Güneşle eşzamanlı				
Yörünge yüksekliği	~ 786 km				
Tarama genişliği	290 km				
Zamansal çözünürlük	5 gün (2A/2B birlikte kullanımı ile)				
Radyometrik çözünürlük	12 bit				
Mekansal çözünürlük	Görünür bölge, NIR: 10 m				
	Kırmızı kenar, SWIR: 20 m				
	Kıyı aerosolü: 60 m				
Spektral çözünürlük	**Sensör**	**Bant numarası**	**Bant ismi**	**Dalga Boyu (µm)**	**Mekansal Çözünürlük (m)**
	MSI	Bant 1	Kıyı aerosolü	0,443	60
	MSI	Bant 2	Görünür mavi	0,49	10
	MSI	Bant 3	Görünür yeşil	0,56	10
	MSI	Bant 4	Görünür kırmızı	0,665	10
	MSI	Bant 5	Kırmızı kenar	0,705	20
	MSI	Bant 6	Kırmızı kenar	0,74	20
	MSI	Bant 7	Kırmızı kenar	0,783	20
	MSI	Bant 8	Yakın kızılötesi (NIR)	0,842	10
	MSI	Bant 8A	Kırmızı kenar	0,865	20
	MSI	Bant 9	Su buharı	0,945	60
	MSI	Bant 10	SWIR-Cirrus	1,375	60
	MSI	Bant 11	SWIR	1,61	20
	MSI	Bant 12	SWIR	2,19	20

Tablo 2.4 Çalışmada kullanılan Landsat-5 uydu verileri ve özellikleri

Veri Tarihi	Landsat Misyonu	Path/Row	Mekansal Çözünürlük (m)	Kullanılan Bantlar
30.06.1984	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
2.09.1984	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
17.06.1985	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
20.08.1985	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
4.06.1986	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
23.08.1986	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
7.06.1987	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
26.08.1987	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
1.06.1988	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
28.08.1988	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
27.05.1989	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
15.08.1989	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
3.09.1990	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
2.06.1991	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
21.08.1991	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
4.06.1992	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
8.09.1992	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
5.06.1993	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
26.08.1993	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
25.05.1994	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
29.08.1994	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
28.05.1995	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
1.09.1995	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
15.06.1996	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
3.09.1996	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
2.06.1997	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
6.09.1997	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
5.06.1998	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
24.08.1998	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
24.06.1999	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
12.09.1999	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
26.06.2000	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
29.08.2000	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
1.09.2001	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
16.06.2002	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
3.09.2003	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
22.08.2003	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
20.05.2004	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
24.08.2004	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
8.06.2005	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
12.09.2005	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
30.08.2006	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
14.06.2007	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
2.09.2007	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
4.09.2008	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
19.06.2009	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
22.08.2009	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
22.06.2010	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
25.08.2010	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
24.05.2011	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7
28.08.2011	Landsat 5 TM	178/034	30	B2, B3, B4, B7

Tablo 2.5 Çalışmada kullanılan Landsat-8 uydu verileri ve özellikleri

Veri Tarihi	Landsat Misyonu	Path/Row	Mekansal Çözünürlük (m)	Kullanılan Bantlar
14.06.2013	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
2.09.2013	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
16.05.2014	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
20.08.2014	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
19.05.2015	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
22.06.2016	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
25.08.2016	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
24.05.2017	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
28.08.2017	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
27.05.2018	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
31.08.2018	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
15.06.2019	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
3.09.2019	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
16.05.2020	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
5.09.2020	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
19.05.2021	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
8.09.2021	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
22.05.2022	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6
11.09.2022	Landsat 8 OLI/TIRS	178/034	30	B3, B4, B5, B6

Tablo 2.6 Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu verileri ve özellikleri

Veri Tarihi	Landsat Misyonu	Yörünge Numarası	Mekansal Çözünürlük (m)	Kullanılan Bantlar
29.08.2015	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
24.06.2016	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
23.08.2016	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
10.05.2017	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
28.08.2017	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
4.06.2018	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
2.09.2018	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
9.06.2019	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
2.09.2019	Sentinel 2B	R107	10	B3, B4, B8, B12
14.05.2020	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
6.09.2020	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
19.05.2021	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12
11.09.2021	Sentinel 2B	R107	10	B3, B4, B8, B12
29.05.2022	Sentinel 2B	R107	10	B3, B4, B8, B12
11.09.2022	Sentinel 2A	R107	10	B3, B4, B8, B12

2.2.2 İHA Tabanlı SYM

Burdur Gölü, akarsu kaynaklarının yetersizliği ve küresel ısınma gibi nedenlerden dolayı 1984 yılından bu yana sürekli olarak kuruma eğilimindedir. Bu nedenle SYY'yi belirlemek için öncelikle kıyı çizgilerinin yükseklikleri belirlenmelidir. Bu amaçla göl çevresine homojen olarak dağılmış 6 farklı bölgeden İHA uçuşu gerçekleştirilmiştir. Gölün kuzeydoğusunda bulunan Süleyman Demirel Havaalanı ve güneyinde bulunan halk plajı nedeniyle bu bölgelerde uçuş yapılmasına izin verilmemiştir. Gölün kuruyan kesimlerinin SYM'sini ve ortomozağini üretmek için tüm uçuşlar Mavic 2 Pro cihazı ile yapılmıştır. Kullanılan İHA ve özellikleri sırasıyla Şekil 2.8 ve Tablo 2.7'de verilmiştir. İHA üzerinde bulunan kameraya ait özellikler Tablo 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8 DJI Mavic 2 Pro

Tablo 2.7 DJI Mavic 2 Pro özellikleri

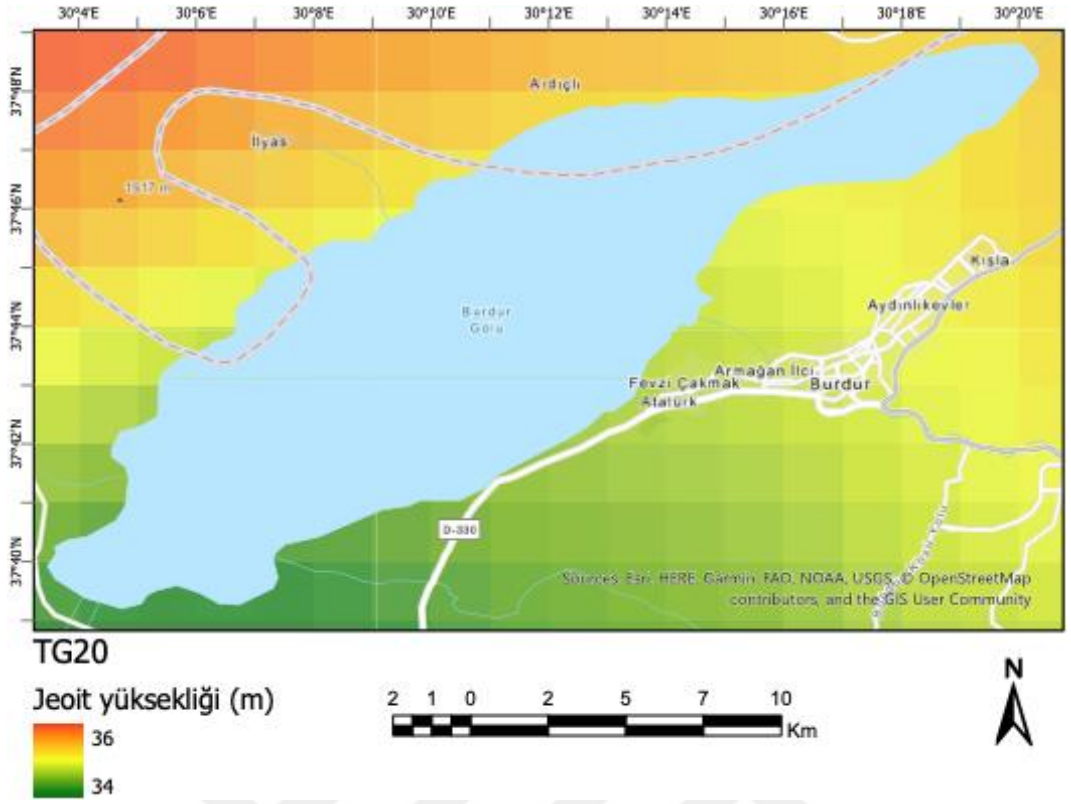
Özellik/Parametre	**Değer**
Kalkış Ağırlığı	907 g
Boyutları	Katlanmış: 214x91x84 mm
	Açılmış: 322x242x84 mm
Maksimum hız (deniz seviyesinde, rüzgârsız havada)	72 km/s
Maksimum kalkış yüksekliği	6000 m
Maksimum uçuş süresi (rüzgârsız havada)	31 dakika
Maksimum süzülme süresi (rüzgârsız havada)	29 dakika
Maksimum uçuş mesafesi (rüzgârsız havada)	18 km
Maksimum rüzgâr direnci	29-38 km/s
Maksimum açısal hız	200°/s
Çalışma sıcaklığı	-10°C – 40°C
GNSS	GPS+GLONASS
Doğruluk aralığı	Dikey:
	± 0.1m(görüş konumlandırma ile)
	± 0.5m(GPS konumlandırma ile)
	Yatay:
	± 0.3m(görüş konumlandırma ile)
	± 1.5m(GPS konumlandırma ile)
Dahili Depolama	8 GB

Tablo 2.8 DJI Mavic 2 Pro cihazına entegre çalışan kamera özellikleri

Özellik/Parametre	**Değer**
Sensör	1’’ CMOS
	Etkili Piksel: 20 milyon
Lens	Görüş alanı (FOV): ~77°
	35mm
	Diyafram Açıklığı: f/2.8-f/11
	Atış menzili: 1 m ila ∞
ISO Aralığı	Video:
	100-6400
	Fotoğraf:
	100-3200 (otomatik)
	100-12800 (manuel)
Deklanşör hızı	Elektronik deklanşör: 8-1/8000s
Görüntü boyutu	5472x3648
Video çözünürlüğü	4K: 3840x2160
	2.7K: 2688x1512
	FHD: 1920x1080
Renk modu	Dlog-M (10 bit)
Fotoğraf formatı	JPEG/DNG(RAW)
Video formatı	MP4/MOV

2.2.3 Türkiye Jeoit Modeli (TG20)

Türkiye jeoidi 2020 (TG20), HGM tarafından üretilen ve 35°K-43°K enlemleri ile 25°D-45°D boylamları arasında kalan bölgeyi kapsayan hâlihazırda Türkiye ve çevresi için geçerli resmî jeoit modelidir. TG20 modeli, Türkiye geneline dağılmış 265.000 noktadaki gravite verisi, Gravity Observation Combination (GOCO06S) küresel jeopotansiyel modeli ve 7,2 yay saniyesi çözünürlüklü SRTM V4.1 sayısal yükseklik modeli kullanılarak hazırlanan hibrit bir modeldir. TG20 modelinin mevcut yükseklik sistemine dönüştürülmesi için ülke geneline yayılmış olan 182 GPS/nivelman noktası kullanılarak 4 parametreli bir dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Modelin doğrulaması 278 GPS/nivelman noktasında yapılmış ve farkların standart sapması 2 cm’nin altındadır. Modelin 1 yay dakikası ve 5 yay dakikası çözünürlüklü olmak üzere iki versiyonu mevcuttur [114], [115]. Tez çalışmasında İHA uçuşlarından elde edilen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe hassas bir şekilde dönüştürülmesi için diğerine kıyasla daha yüksek hassasiyete sahip olan 1 yay dakikası çözünürlüklü model kullanılmıştır. Model verileri HGM tarafından raster formatında temin edilmiştir. Burdur Gölü bölgesine ait jeoit yükseklikleri Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Burdur Gölü ve çevresine ait jeoit yükseklikleri

2.2.4 Referans Verileri

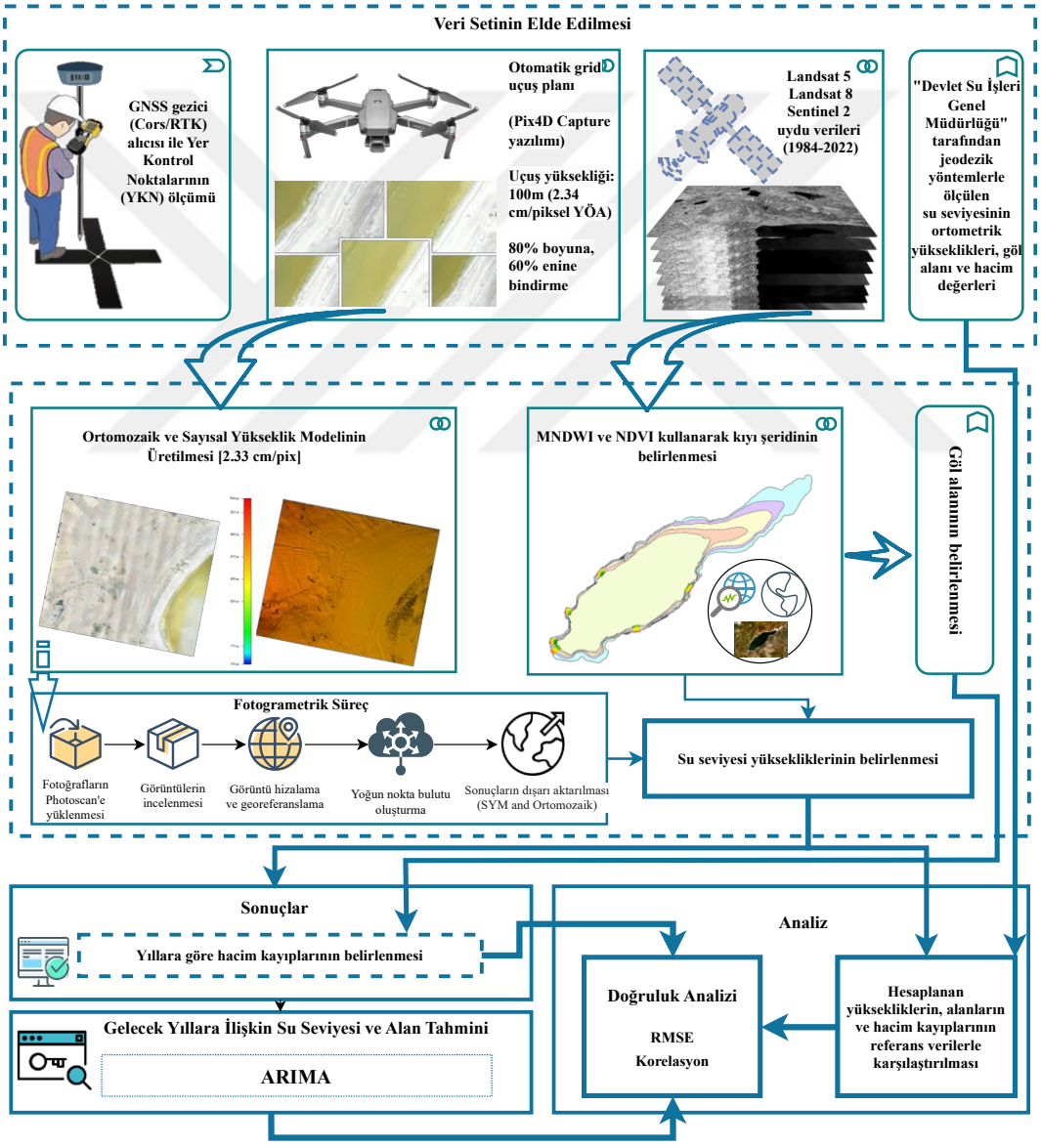
Burdur Gölü'ne ait hesaplanan SYY'lerin doğruluklarını test etmek için referans verisi olarak Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından göl yüzeyinden alınan ölçüm verileri kullanılmıştır. Bölgedeki yağışların bittiği ve yaz mevsiminin başladığı dönem (mayıs sonu veya haziran başı) yaz başı, sıcaklıkların azaldığı ve yağışların başladığı dönem (ağustos sonu veya eylül başı) ise yaz sonu olarak belirlenmiştir. Ölçüm istasyonu verileri, göl yüzeyine yerleştirilmiş jeodezik ölçüm sistemleri ile günlük olarak ölçülmektedir. Ancak DSİ veri paylaşımı politikası gereği göl verileri aylık olarak paylaşılmaktadır. DSİ'den alınan yaz başı verileri haziran aylarına, yaz sonu verileri ise eylül aylarına aittir. Üretilen veri ve referans veri arasındaki en yüksek zaman farkı 15 gün, ortalama fark ise 6 gündür. DSİ, göl alanını belirlerken öncelikle gölün farklı noktalarındaki istasyonlarda ölçülen SYY'lerin ortalamasını alarak ortalama SYY'yi belirlemektedir. Daha sonra ortalama SYY'nin bulunduğu eş yükselti eğrisini birleştirerek göl alanı oluşturulmaktadır. Göl alanı belirlerken yapılan işlem göl taban kotu için de yapılmaktadır. Bu iki veri birleştirilerek göl hacmi hesaplanmaktadır. Burdur Gölü'nün 1984-2022 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim verileri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 Devlet Su İşleri'nden temin edilen Burdur Gölü SYY, alan ve hacim değerleri

DSİ 182. Şube Müdürlüğü'nce Ölçülen Burdur Gölü SYY, Alan ve Hacim Değerleri						
Yıl	Yaz Başı (Haziran)			Yaz Sonu (Eylül)		
	SYY (m)	Alan (km^2)	Hacim (km^3)	SYY (m)	Alan (km^2)	Hacim (km^3)
1984	854,98	207,006	6,393	854,60	205,145	6,314
1985	854,83	206,268	6,361	854,41	204,219	6,276
1986	854,40	204,170	6,274	854,03	202,365	6,198
1987	853,96	202,024	6,184	853,58	200,138	6,108
1988	853,50	199,736	6,092	853,08	197,229	5,992
1989	852,72	195,810	5,937	852,29	193,593	5,854
1990	851,91	191,633	5,780	851,49	189,221	5,701
1991	851,16	187,273	5,639	850,81	185,160	5,571
1992	850,39	183,100	5,500	850,32	181,462	5,443
1993	850,14	179,922	5,390	849,69	177,230	5,311
1994	849,46	175,853	5,270	848,89	173,408	5,196
1995	848,67	172,655	5,172	848,19	170,613	5,107
1996	848,14	169,270	5,064	847,74	167,344	5,009
1997	847,49	165,940	4,971	847,01	163,864	4,915
1998	847,34	165,207	4,951	846,97	163,071	4,893
1999	846,97	163,071	4,893	846,69	160,948	4,834
2000	846,53	159,880	4,803	846,09	157,408	4,733
2001	845,84	156,004	4,694	845,40	153,535	4,626
2002	845,57	154,489	4,652	845,22	152,525	4,598
2003	845,85	156,061	4,695	845,50	154,096	4,642
2004	846,37	158,981	4,778	846,00	156,902	4,719
2005	846,02	157,015	4,722	845,64	154,882	4,663
2006	845,50	154,096	4,642	845,10	151,852	4,580
2007	844,96	151,066	4,558	844,49	148,436	4,488
2008	844,25	147,092	4,452	843,77	144,489	4,382
2009	843,79	144,593	4,385	843,37	142,395	4,325
2010	843,55	143,337	4,351	843,26	140,877	4,284
2011	843,42	142,657	4,333	843,00	140,459	4,273
2012	843,03	140,616	4,277	842,56	137,719	4,212
2013	842,53	137,533	4,208	842,13	135,042	4,153
2014	842,09	134,544	4,142	841,73	132,938	4,100
2015	842,16	135,291	4,159	842,05	134,544	4,142
2016	841,72	133,225	4,108	841,48	131,642	4,064
2017	841,19	130,347	4,029	840,84	128,841	3,983
2018	840,57	127,838	3,949	840,30	126,835	3,915
2019	840,15	126,277	3,895	839,88	125,325	3,861
2020	839,85	125,226	3,858	839,70	124,733	3,839
2021	838,83	121,951	3,732	838,57	121,218	3,700
2022	838,19	120,148	3,654	837,86	119,262	3,615

3
METODOLOJİ

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yöntemler açıklanacaktır. Çalışmada kullanılan yöntemler; veri setinin elde edilmesi, SYM üretimi, su alanlarının çıkarılması, su alanları ve SYM entegrasyonu ve gelecek yıllara ait SYY ve alanların tahmin edilmesi olmak üzere 5 temel başlık altında toplanmıştır. Tez çalışmasında izlenen yöntemin iş akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Tez çalışmasında uygulanan iş akış şeması

3.1 Su Alanlarının Çıkarılması

3.1.1 Uydu Veri Seçimi ve Verilerin İndirilmesi

Burdur Gölü'nün 1984-2022 yılları arasındaki mevsimsel ve yıl bazlı değişimlerini izlemek için hem yaz başında hem de yaz sonundaki Landsat ve Sentinel-2 görüntüleri incelenmiştir. Su alanlarını belirlemek için öncelikle verilerin göl kıyı çizgisini belirlemeye uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Uydu verileri seçilirken çalışma alanının bulutsuz olduğu veriler seçilmiştir. Çalışma alanına ait belirtilen kriterlere uygun 70 adet Landsat ve 15 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü seçilmiştir. Landsat ve Sentinel-2 için uygun görüntünün olduğu tarihler sırasıyla Şekil 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.

Yıl	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Yaz Başı	30 Haz.	17 Haz.	4 Haz.	7 Haz.	1 Haz.	27 May.		2 Haz.	4 Haz.	5 Haz.	25 May.	28 May.	15 Haz.
Yaz Sonu	2 Eyl.	20 Ağu.	23 Ağu.	26 Ağu.	28 Ağu.	15 Ağu.	3 Eyl.	21 Ağu.	8 Eyl.	26 Ağu.	29 Ağu.	1 Eyl.	3 Eyl.
Yıl	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Yaz Başı	2 Haz.	5 Haz.	24 Haz.	26 Haz.		16 Haz.		20 May.	8 Haz.		14 Haz.		19 Haz.
Yaz Sonu	6 Eyl.	24. Ağu.	12 Eyl.	29 Ağu.	1 Eyl.	3 Ağu.	22 Ağu.	24 Ağu.	12 Eyl.	30 Ağu.	2 Eyl.	4 Eyl.	22 Ağu.
Yıl	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Yaz Başı	22 Haz.	24 May.		14 Haz.	16 May.	19 May.	22 Haz.	24 May.	27 May.	15 Haz.	16 May.	19 May.	22 May.
Yaz Sonu	25 Ağu.	28 Ağu.		2 Eyl.	20 Ağu.		25 Ağu.	28 Ağu.	31 Ağu.	3 Eyl.	5 Eyl.	8 Eyl.	11 Eyl.

Şekil 3.2 Tez çalışmasında kullanılmaya uygun Landsat veri tarihleri (koyu sarı renkli hücreler uygun veri olduğunu, açık sarı renkli hücreler uygun verinin olmadığını temsil etmektedir)

Yıl	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Yaz Başı		24 Haz.	10 May.	4 Haz.	9 Haz.	14 May.	14 May.	29 May.
Yaz Sonu	29 Ağu.	23. Ağu.	28 Ağu.	2 Eyl.	2 Eyl.	6 Eyl.	11 Eyl.	11 Eyl.

Şekil 3.3 Tez çalışmasında kullanılmaya uygun Sentinel-2 veri tarihleri (koyu sarı renkli hücreler uygun veri olduğunu, açık sarı renkli hücreler uygun verinin olmadığını temsil etmektedir)

Seçilen Landsat verileri https://earthexplorer.usgs.gov sitesinden, Sentinel-2 verileri ise https://dataspace.copernicus.eu sitesinden indirilmiştir. Landsat-5 ve Landsat-8 verileri indirilirken daha önceden bir dizi işleme adımına sahip olan seviye-2 verileri tercih edilmiştir. Seviye-1 verileri Landsat-5 ve Landsat-8 sensörlerinden gelen ham verilerdir ve bu veriler atmosferik etkiler, sensör gürültüsü gibi bazı hatalardan etkilenmektedir. Seviye-2 verileri ise seviye-1 verilerine ek olarak bazı işleme adımlarını içermektedir. Seviye-2 verileri oluşturulurken, ham veriler üzerinde atmosferik düzeltme işlemi uygulanarak verilerin daha doğru ve tutarlı olması sağlanmıştır. Ayrıca seviye-1 veri setinde bulunan hatalı veya eksik veriler tespit edilerek seviye-2 veri setinden çıkarılmıştır.

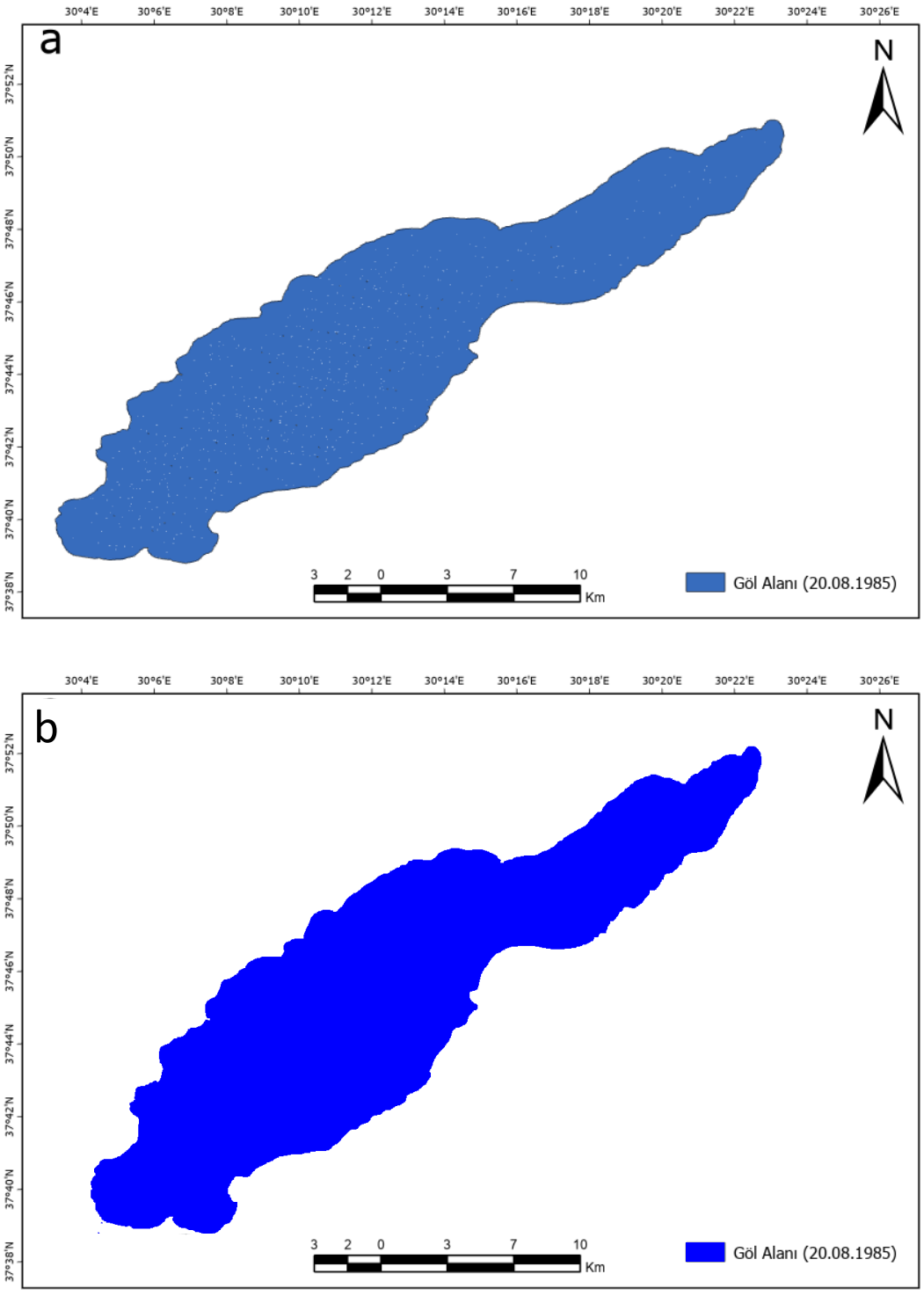
Seviye-2 verileri farklı projeksiyon sistemlerine ve koordinat referans sistemlerine kolaylıkla dönüştürülebilmektedir [116]. Seviye-2 verilerinin seviye-1 verilerine kıyasla tek dezavantajı dosya boyutlarının büyük olmasıdır. Çalışmada kullanılan tüm veriler seviye-2 verileri olduğu için verilere atmosferik düzeltme ve ortorektifikasyon yapılmamıştır. Sentinel-2 verileri indirilirken 2015 ve 2016 yıllarındaki (3 uydu görüntüsü) veriler seviye-1C, 2017 ve sonrasındaki veriler seviye-2A olarak indirilmiştir. Seviye-1C verileri ortorektifiye edilmiş atmosfer üstü (TOA) veriler sağlar. Seviye-2A verileri ise ortorektifiye edilmiş atmosferik olarak düzeltilmiş yüzey yansıması sağlar. Bu nedenle seviye-2 verilerine herhangi bir düzeltme işlemi yapılmamıştır. Seviye-1C verilerindeki atmosferik etkiler Sen2Cor [117] eklentisi yardımıyla ESA tarafından ücretsiz olarak sunulan Sentinel Application Platform (SNAP) yazılımı ile yapılmıştır.

3.1.2 Sınıflandırma

1970'li yıllarda çok bantlı verilerin çoğalmasıyla birlikte nesnelerin farklı dalga boylarındaki yansımaları piksel bazlı incelenerek piksel tabanlı sınıflandırma (PTS) yöntemi geliştirilmeye başlanmıştır [118]. PTS yönteminde bir piksele ait spektral yansıtım değerine göre bir sınıfa atama işlemi gerçekleştirilir. Aynı veya birbirine yakın yansıtım değerine sahip pikseller aynı sınıfa atanarak görüntü sınıflandırılmaktadır. PTS, kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere ikiye ayrılır. Kontrolsüz sınıflandırmada herhangi bir kullanıcı müdahalesi ve yönlendirmesi olmadan piksellerin en yakın mesafe yöntemine göre otomatik olarak sınıflandırılması söz konusudur. Kontrollü sınıflandırmada ise piksellerin hangi sınıfa atanacağı sınıflandırma öncesinde belirlenir. Minimum mesafe, maksimum benzerlik, karar ağaçları ve destek vektör makineleri yaygın kullanılan kontrollü sınıflandırma yöntemlerindendir [119], [120].

PTS yöntemi yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına rağmen görüntü içerisindeki nesneleri ayırt etmede nesne tabanlı sınıflandırma (NTS) yöntemi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir [121], [122]. NTS yönteminde görüntüdeki renk, doku, şekil vb. ayırt edici özellikler kullanılarak nesneler belirlenmeye çalışılır. Görüntüde bulunan bina, yol, ağaç gibi nesneleri ayırt edebilme imkânı sunduğu için NTS yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [123], [124], [125]. NTS yöntemi, segmentasyon ve sınıflandırma olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. NTS yönteminde bir nesne, benzer özelliklere sahip pikseller grubu

olarak tanımlanır. Nesneleri temsil edecek segmentler şekil, doku, komşuluk ilişkisi, geometrik ilişkiler gibi değerler kullanılarak analiz edilmektedir. Bu kriterlerin büyük bir kısmı NTS yöntemine aittir. Bu nedenle PTS'ye ek olarak NTS yöntemi de literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [125]. Özellikle yüksek çözünürlüklü verilerde veri yoğunluğunu azaltmak için NTS yöntemi işlem süresi bakımından avantaj sağlamaktadır. Örneğin; yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsü NTS yönteminde önce segmentlere ayrıldığı için piksel kümelerinin ortak değerleri dikkate alınarak sınıflandırma işlemi yapılır. PTS yönteminde ise tüm piksellerin özelliklerinin tek tek sorgulanması gerekmektedir. NTS yönteminin bir diğer avantajı ise nesnelerin gerçek şekillerini koruyabilmesidir. Örneğin; bu tez çalışmasına konu olan Burdur Gölü üzerinde yapılan PTS ve NTS örneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekil 3.4(a) incelendiğinde PTS yönteminde göl üzerinde çok sayıda göl olmayan sınıfa atanmış piksel bulunmaktadır. Ancak gölün gerçek dünyadaki şekli düşünüldüğünde orta kısımlarında çok sayıda piksel büyüklüğünde ada olması genellikle beklenmeyen bir durumdur. Dolayısıyla burada yanlış sınıflandırma söz konusudur. NTS yönteminde ise görüntüler öncelikle segmentlere ayrıldığı için sınıflandırma yapılırken segmentlerin yansıtım değerleri dikkate alınır. Bu sayede gölün ortasında yanlış sınıflandırma pikselleri bulunmamaktadır.



Şekil 3.4 (a) piksel tabanlı sınıflandırma ve (b) nesne tabanlı sınıflandırma örneği (20.08.1985 tarihli Landsat-5 verisi)

3.1.2.1 Segmentasyon

Bir önceki başlıkta belirtildiği gibi NTS yöntemi PTS yöntemine kıyasla daha doğru ve gerçek dünyaya uygun sonuçlar vermektedir. Bu tez çalışmasında Burdur Gölü'nün kıyı çizgileri NTS yöntemiyle belirlenmiştir. Segmentasyon aşamasında görüntü homojen ve birbiriyle örtüşmeyen segmentlere ayrılmıştır. Bu segmentler daha sonra nesnelerin oluşturulmasında kullanılacaktır. Segmentasyon sınıflandırma sonuçlarını doğrudan etkileyeceği için segmentasyon parametrelerini uygun belirlemek sonucun doğru olmasında önemli rol oynamaktadır. Görüntünün segmentlere optimum bir şekilde ayrılması için literatürde çok sayıda çözüm önerisi ve yöntem geliştirilmiştir [126]. Ancak görüntünün istenilen sayıda segmente ayrılmasının çok sayıda farklı sonuçları olmaktadır. Bu sonuçlardan yalnızca biri veya birkaçı çalışmanın ihtiyaçlarını karşılayacak kriterdedir. Bu nedenle görüntüleri istenilen kriterlerde segmentlere ayırırken serbestlik derecesinin mümkün olduğunca az tutulması gerekmektedir. Görüntü segmentasyonundan beklenen, oluşturulan segmentlerin görüntüdeki nesnelerin otomatik bir şekilde çıkarılmasını sağlamasıdır. Ancak sadece bu amaca odaklanmak bazı semantik özelliklerin yok sayılmasına sebep olabilmektedir. Bu karmaşık problemi çözmek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir [127], [128]. Bu yöntemlerden bazıları yarı otomatik bazıları ise tam otomatiktir [129].

Bu çalışmada sınıflandırmanın ilk adımı olan segmentasyon, eCognition Developer 64 yazılımı kullanılarak yapılmıştır ve çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanılmıştır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyonun kullanım amacı görüntü nesneleri içindeki değişkenliği en aza indirmektir. Algoritma, görüntü üzerindeki herhangi bir pikselden başlayarak ağırlıklı heterojenliğin en düşük olduğu bölgeyi birleştirir ve tüm görüntüyü bu şekilde segmentlere ayırır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyon işleminde görüntüdeki heterojenliği belirlemek için ölçek, renk/şekil ve kompaktlık parametreleri kullanılır. Parametreler genellikle ampirik yöntemlerle uygulanır. Ölçek belirlenirken dikkat edilecek en önemli kriter, ölçeğin boyutunun en az çıkarılacak obje kadar büyük olması ve nesneyi ortadan kaldırmayacak kadar küçük olmasıdır [130]. Trimble firması girdi görüntüye en uygun ölçek faktörünün belirlenmesi için "ölçek parametresi tahmini" eklentisi geliştirmiştir. Bu eklenti yardımıyla girdi görüntüye göre uygun olan ölçek faktörü otomatik olarak belirlenebilmektedir [131]. Heterojenlik kriteri (f) belirli bir eşik değerinin altında

olmalıdır. Bu eşik değeri renk ve şeklin ağırlık parametreleri (W_{color} ve W_{shape}) (3.1), (3.2) ve (3.3) eşitlikleri ile belirlenir.

$$f = W_{color}\, x\, \Delta h_{color} + W_{shape}\, x\, \Delta h_{shape} \tag{3.1}$$

$$W_{color} \in [0,1], W_{shape} + W_{color} \tag{3.2}$$

$$\Delta h_{color} = \Sigma_c w_c \left(n_{merge}\, x\, \sigma_{c,merge} - \left(n_{obj-1}\, x\, \sigma_{c,obj-1} + n_{obj-2}\, x\, \sigma_{c,obj-2}\right)\right) \tag{3.3}$$

Bu denklemlerde:

w_c: c bandındaki ağırlığı

n_{merge}: birleştirilmiş nesne içindeki toplam piksel sayısı

n_{obj-1}: birinci nesne içindeki toplam piksel sayısı

n_{obj-2}: ikinci nesne içindeki toplam piksel sayısı

σ_c: c banttaki standart sapma

obj-1, obj-2: birleşimden önceki nesneler olarak tanımlanır.

Şekil parametresindeki değişim yumuşaklık ve bütünlük parametreleri ile belirlenir [132]. Şekil, yumuşaklık ve bütünlük parametreleri sırasıyla (3.4), (3.5) ve (3.6) eşitlikleri ile hesaplanır.

$$\Delta h_{shape} = W_{compt}\, x\, \Delta h_{compt} + W_{smooth}\, x\, \Delta h_{smooth} \tag{3.4}$$

$$\Delta h_{smooth} = n_{merge}\, x\, \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj-1}\, x\, \frac{l_{obj-1}}{b_{obj-1}} + n_{obj-2}\, x\, \frac{l_{obj-2}}{b_{obj-2}}\right) \tag{3.5}$$

$$\Delta h_{compt} = n_{merge}\, x\, \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj-1}\, x\, \frac{l_{obj-1}}{\sqrt{n_{obj-1}}} + n_{obj-2}\, x\, \frac{l_{obj-2}}{\sqrt{n_{obj-2}}}\right) \tag{3.6}$$

Burada,

l: nesnenin çevre uzunluğu

b: nesne hattını çevreleyen uzunluk olarak tanımlanır.

Segmentasyon işleminde yukarıdaki denklemlerde verilen 5 parametreye (w_c, w_{color}, w_{shape}, w_{smooth}, w_{compt}) ihtiyaç vardır. Heterojenlik farkı iki komşu nesne birleştirilmeden önce hesaplanır. Artış miktarı ölçek parametresini geçtiğinde birleştirme işlemi durdurulur ve segmentasyon işlemi biter. Tez çalışmasında göl olan ve olmayan alanların sınıflandırması için yapılacak segmentasyon aşamasındaki ölçek faktörü "ölçek parametresi tahmini" eklentisi kullanılarak belirlenmiştir ve tüm görüntüler için 50 olarak uygulanmıştır. Şekil/renk parametresi 0,5 ve kompaktlık parametresi 0,5 olarak belirlenmiştir.

3.1.2.2 Su ve Bitki Örtüsü İndeksleriyle Kıyı Çizgisinin Çıkarılması

Segmentasyon işleminden sonra su kaplı alanları sınıflandırmak için su ve bitki çıkarma indekslerinden yararlanılmıştır. Kıyı şeridi, literatürde de yaygın olarak kullanılan indekslerin bir kombinasyonu kullanılarak çıkarılmıştır. NDWI, McFeeters [133] tarafından geliştirilmiştir ve elektromanyetik spektrumun yeşil ve NIR bantlarını kullanmaktadır. McFeeters [133], suyu arka plandan ayırmak için sıfır eşik değerini önermiştir ancak [134], sıfır eşik değeri kullanıldığında yerleşim yerlerinin su kütlelerinden ayırılamayacağını belirtmiştir. Bundan dolayı formüldeki NIR bandını SWIR bandıyla değiştirerek MNDWI'yı türetmiştir. Literatürde çeşitli sensörleri kullanarak çeşitli doğruluklara sahip birçok indeks bulunmaktadır [135], [136], [137], [138]. Benzer şekilde bitki indeksleri de bazı çalışmalarda su özelliklerini çıkarmak için kullanılmıştır [139]. Göl alanını belirlemek için MNDWI ve Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanarak su olan ve olmayan alanlar ayrılmıştır. MNDWI ve NDVI sırasıyla (3.7) ve (3.8) eşitliği ile hesaplanmaktadır. İndeks değerleri belirlendikten sonra (3.9) eşitliği ile göl alanları sınıflandırılmıştır.

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)} \tag{3.7}$$

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \tag{3.8}$$

$$\text{Göl} = \text{NDVI} < 0 \text{ ve MNDWI} > 0 \tag{3.9}$$

3.1.2.3 Doğruluk Analizi

Segmentasyon ve sınıflandırma aşamaları tamamlandıktan sonra oluşturulan sınıfların gerçek dünya ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizi, sınıflandırma işleminin ne kadar doğru ve güvenilir yapıldığını ölçmek için önemli bir işlem adımıdır. Bu çalışmada doğruluk analizi "eğitim ve test alanı (TTA) maskesine dayalı hata matrisi" yaklaşımıyla yapılmıştır. Göl alanı ve çevresinden seçilen referans değerler ile sınıflandırma sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Sınıflandırma sonuçlarının ne kadar doğru olduğunu anlamak için en yaygın kullanılan tahmin parametreleri üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve Kappa katsayısıdır [140]. Doğrulukları belirlemek için görüntü üzerinden dikkatli bir şekilde örneklem (imza) toplanması gerekmektedir. Doğruluk analizinin daha anlamlı ve güvenilir sonuçlar vermesi için seçilecek örneklemler mümkün olduğunca küçük segmentlerden seçilir. Çünkü segmentlerin boyutu ne kadar küçük olursa homojenlik de o kadar yüksek olacaktır. Büyük segmentler içerisinde bulunan farklı geometrik ve semantik özellikler sınıfların heterojenlik yapısını etkilemektedir. Bu da doğal olarak sınıflandırma doğruluğunu etkilemektedir. Örneklem seçiminde diğer bir önemli husus ise seçilen örneklemin, örneklem seçimi yapılan uzayı -yani görüntüyü- temsil etmesidir. Seçilen örneklem sayısı, uzayı yeteri kadar temsil edemiyorsa örnekleme hatası oluşur. Örneklem büyüklükleri (3.10) eşitliği ile belirlenmektedir.

$$n = \frac{Nt^2pq}{d^2(N-1) + t^2pq} \tag{3.10}$$

Burada;

N: Sınıftaki piksel sayısı

n: Seçilmesi gereken örneklem sayısı

p: Gerçekleşme olasılığı (0,5)

q: Gerçekleşmeme olasılığı (0,5)

t: Belirli bir anlamlılık düzeyinde, t tablosuna göre bulunan teorik değer (1,96)

d: Gerçekleşme olasılığına göre kabul edilen ± örnekleme hatası (±0,05)

Üretici doğruluğu, her bir sınıf için doğru sınıflandırılmış piksel sayısının, o sınıf için seçilen toplam örneklem sayısına oranıdır. Üretici doğruluğu (3.11) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$Producer\ Accuracy_i = \frac{N_{i,i}}{\sum_{j=1}^{n} N_{i,j}} \tag{3.11}$$

Burada;

Producer Accuracy$_i$: i. nesnenin üretici doğruluğunu,

n: sınıflandırma kategori sayısını,

N: sınıfı temsil etmektedir. Üretici doğruluğu, görüntü üzerindeki gerçek değerlerin ilgili sınıfa dahil edilme başarısını göstermektedir.

Kullanıcı doğruluğu, her sınıfta doğru olarak sınıflandırılan piksellerin sayısının, o sınıfta sınıflandırılan toplam piksel sayısına oranıdır. Kullanıcı doğruluğu (3.12) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$User\ Accuracy_j = \frac{N_{j,j}}{\sum_{j=1}^{n} N_{j,i}} \tag{3.12}$$

Burada;

User Accuracy$_j$: j. sınıfın kullanıcı doğruluğunu,

n: sınıflandırma kategori sayısını,

N: sınıfı temsil etmektedir.

Genel doğruluk, doğru olarak sınıflandırılan toplam piksel sayısının referans veri kümesindeki toplam piksel sayısına oranıdır. Genel doğruluk (3.13) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$Genel\ doğruluk = \frac{\sum_{k=1}^{n} N_{k,k}}{\sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{n} N_{i,j}\right)} \tag{3.13}$$

Üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve genel doğruluk sınıflandırma sonucunda elde edilen verilerin referans olarak kabul edilen veriler ile istatistiksel olarak karşılaştırılmasını sağlar. Yapılan bu istatistiksel analizler sonucunda elde edilen hata matrisi sınıflandırma sonucunun ne kadar tutarlı olduğunu belirler. Kappa

katsayısı 0 ile 1 arasında değişir ve hata matrisinin istatistiksel olarak anlamlılığını test eder. Kappa katsayısı (3.14) eşitliği ile hesaplanır.

$$k = \frac{P_0 - P_h}{1 - P_h} \tag{3.14}$$

Burada P_0 değeri hata matrisinin köşegenlerindeki elemanların toplamının, her satır veya sütunundaki elemanların toplamına oranıdır. P_h ise bu uyuşmanın şans eseri olup olmadığını denetler. P_h (3.15) eşitliği ile hesaplanır.

$$P_h = \sum P_a(i)P(i) \tag{3.15}$$

Burada P_a, ayrı ayrı her bir sütunun toplamlarının tüm sütunların toplamına oranıdır. P değeri ise, ayrı ayrı her bir satırın toplamlarının tüm satırların toplamına oranıdır.

3.1.2.4 Göl Sınırlarının Dışarı Aktarılması

Kıyı çizgisini oluşturmak için NTS sonucunda üretilen su ve su olmayan sınıflar *shapefile* (.shp) formatında dışarı aktarılmıştır. Dışarı aktarılan görüntüler üzerinde göl alanında bulutluluktan kaynaklı hatalı sınıflandırmalar mevcuttur. Burdur Gölü üzerinde bulutlardan veya yansıtım değerlerinden kaynaklı oluşan hatalı sınırlar ArcGIS Pro yazılımında manuel olarak düzeltilmiştir. Burada hatalı sınıfların düzeltilmesi gölün orta kısımlarında olmuştur. Dolayısıyla kıyı çizgilerinde herhangi bir değişim yapılmamıştır.

3.2 Sayısal Yükseklik Modelinin Üretilmesi

3.2.1 İHA Fotogrametrisi

Doğrudan bilginin gerekli olduğu uygulamalarda bilgiyi elde etme işlemi genellikle maliyetli ve zaman alıcıdır. Bilgiyi elde etme işlemini kolaylaştırmak yapılan işin maliyetini ve süresini doğrudan etkilemektedir. Fotogrametri, fiziksel nesneler ve çevre hakkında hızlı, yüksek doğruluklu ve güvenilir bilgi sağlayan önemli bir tekniktir. Fotogrametri tekniği bilgi elde edilmek istenen alanın veya objenin çeşitli açılardan ve bindirmeli bir şekilde fotoğraflarının kaydedilmesi, ölçülmesi ve analiz edilmesini içermektedir [141]. Fotogrametri tekniği resim çekim konumuna göre

hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Büyük alanların ölçülmesinde hava fotogrametrisi büyük avantajlar sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok alanda kullanılan İHA'lar sayesinde geniş alanlar hakkında yüksek mekansal çözünürlüklü bilgilerin elde edilmesi kolaylaşmıştır. İHA'ya yerleştirilen entegre kameralar sayesinde geniş alanların bindirmeli bir şekilde fotoğrafları çekilerek yüksek doğruluklu SYM'ler üretilmektedir. Fotogrametride bir alanın yüzeyindeki noktaların 3 boyutlu koordinatları, bindirmeli bir şekilde çekilen görüntülerin kamera konumları ve dış yöneltme parametreleriyle belirlenir. Bindirmeli görüntülerin en az üç kontrol noktasına sahip olması durumunda dış yöneltme parametreleri hesaplanabilirken, iç yöneltme parametrelerinin önceden bilinmesi gerekir.

3.2.2 Hareket Tabanlı Yapısal Algılama

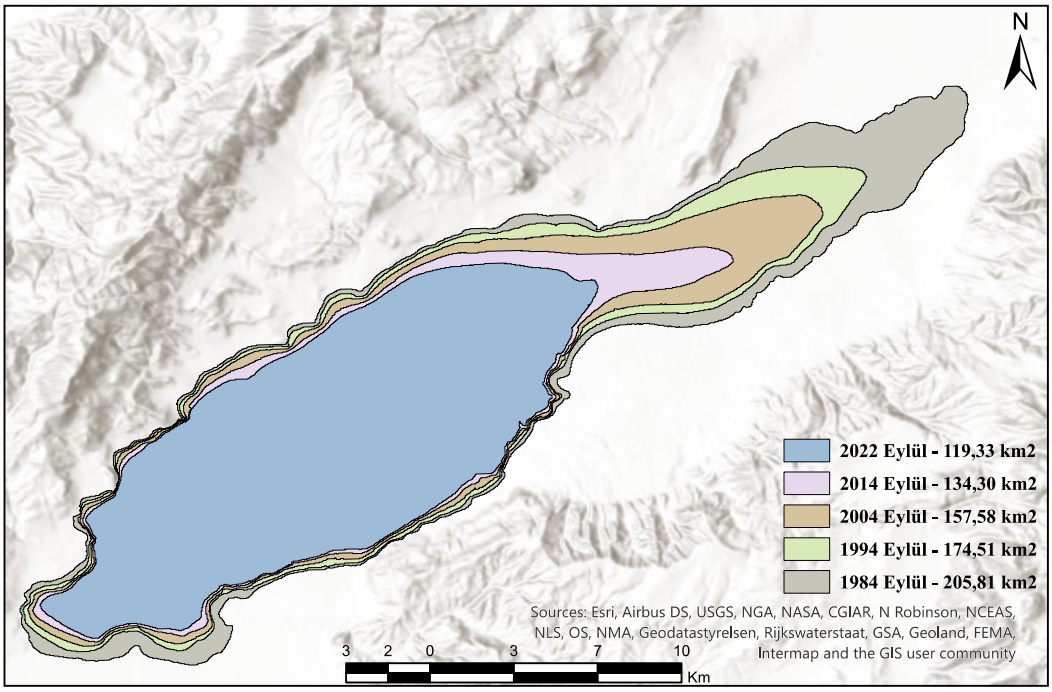
Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) gibi yeni nesil algoritmalar, kendi kendine kalibrasyon tekniğini kullanarak iç yöneltme parametrelerini bilme zorunluluğunu ortadan kaldırmıştır [142]. SfM, bilinen 3 boyutlu konumlara sahip bir hedef ağının önceden tanımlanmasını gerektirmeden sahnenin geometrisini, kamera konumlarını ve yönelimini otomatik olarak çözen bir fotogrametrik tekniktir [143], [144]. Analiz edilecek sahnenin 3 boyutlu geometrisi, görüntü kaydı sırasındaki bakış açısı farkından yararlanılarak en az iki görüntüdeki eşleşen detay noktalarıyla trigonometrik olarak çözülür. SfM, örtüşen görüntüler arasındaki ortak özellikleri eşleştirerek bir 3 boyutlu model ve seyrek bir nokta bulutu oluşturur. Algoritma, seyrek bir nokta bulutu oluşturmak için görüntüler arasındaki paylaşılan noktaları otomatik olarak konumlandıran algoritmalar kullanır. Bu işlem için en yaygın olarak kullanılan algoritma, radyometrik piksel değerleri üzerinde çalışan ölçekle değişmeyen özellik dönüşümü (SIFT) algoritmasıdır. Kendi kendine kalibrasyon, bilinen birkaç yer kontrol noktası (YKN) veya hedef işareti kullanılarak gerçekleştirilir. SfM'deki bir diğer önemli adım, çoklu görüntü stereo (MVS) algoritması kullanılarak gerçekleştirilen yoğun bir nokta bulutunun oluşturulmasıdır. Bu aşamada eşleşen piksellerden ve bunların tahmini 3 boyutlu konumlarından bir nokta bulutu oluşturulur. Son olarak modele fotogerçekçi bir doku kazandırmak için görüntüler kullanılır. YKN'lerin dahil edilmesiyle, optimizasyon süreci için yaygın olarak kullanılan paket ayarlama yöntemiyle doğruluğu artırmak için nokta bulutu coğrafi olarak referanslandırılır ve optimize

edilir. Sonuçta nokta bulutunun doğruluğu kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu ağ modeli, ortomozaik ve SYM üretmek için kullanılır. SfM algoritması sayesinde geleneksel kameralar kullanılarak çekilen fotoğraflardan yüzeylerin 3 boyutlu modelinin, ortomozaiğin ve SYM'sinin üretimi kolaylaşmıştır [145].

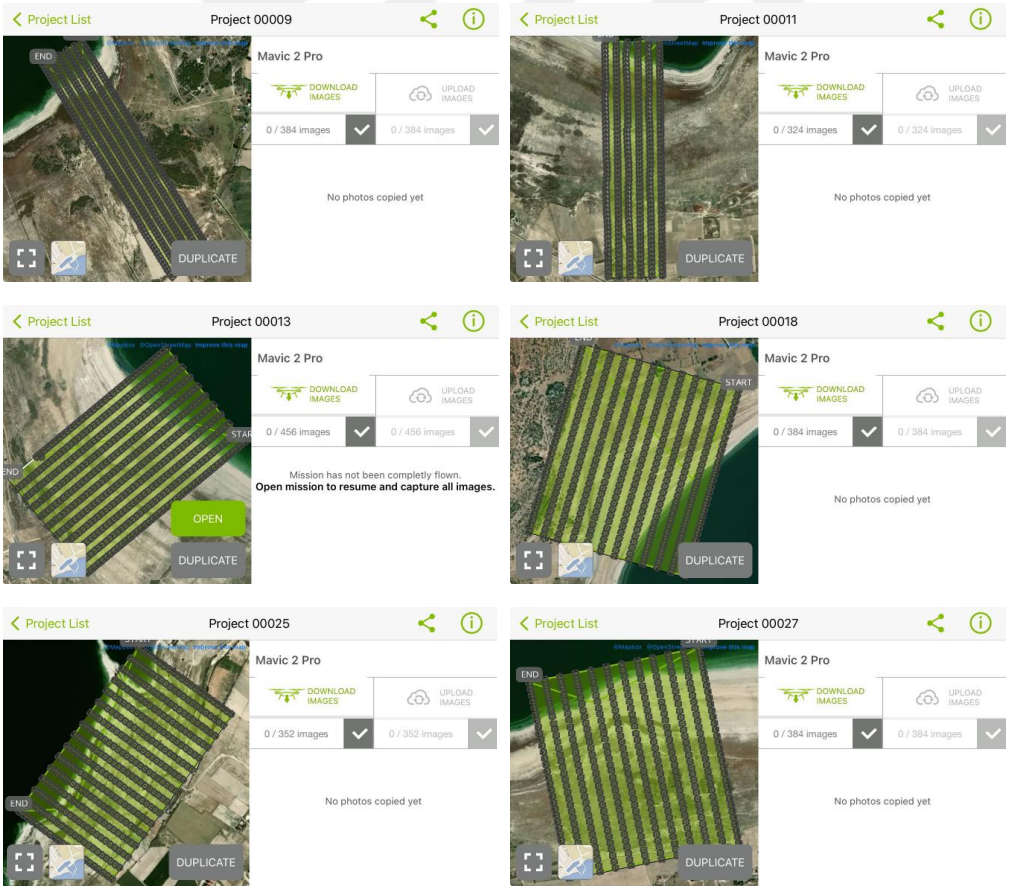
SfM algoritması, uygun fiyatı, hızı ve doğru 3 boyutlu ölçümler yapabilme yeteneği nedeniyle yer bilimleri araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İHA verileri SfM ile geniş alanların yüksek çözünürlüklü haritalanmasına ve çalışma alanını dijital olarak belgeleyen zengin bir veri kümesinin oluşturulmasına olanak sağlar [145]. Fotogrametri yöntemi ile yüksek doğrulukta 3 boyutlu veriler hızlı bir şekilde üretilip analiz edilebilmektedir. Yüksek çözünürlüklü SYM ile ortam detaylı olarak analiz edilebilmektedir [146].

3.2.3 İHA Uçuşu ve SYM Üretimi

Çalışma alanı olarak seçilen Burdur Gölü 1984 yılından bu yana sürekli bir kuruma eğilimindedir (Şekil 3.5). Son 38 yılda göl alanı ~206 km^2'den ~120 km^2'ye düşmüştür yani göl alanının %42'si kurumuştur. Ancak bu kuruma gölün tüm kıyılarında eşit bir şekilde yaşanmamıştır. Göl kıyısındaki eğime bağlı olarak gölün kuzeydoğusu yaklaşık 19 km çekilirken gölün diğer kısımlarındaki çekilme miktarı 600 m ile 2000 m arasında değişmektedir. İHA'ların uçuş kabiliyetleri ve havada kalma sürelerinin kısıtlı olmasından dolayı İHA uçuşlarını gerçekleştirirken gölün nispeten daha az kuruyan kıyıları seçilmiştir. Bu kıyılarda homojen bir uçuş yapmak için 6 farklı konum belirlenmiştir. Ayrıca gölün kuzeybatısında Süleyman Demirel Havalimanı (Şekil 2.1) bulunması nedeniyle uçuş yapmak yasaktır. Bu nedenle gölün kuzeybatı kısmında uçuş yapılmamıştır. Yapılan uçuşlar otomatik uçuş modunda ve ızgara modunda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan uçuş planlamaları ise Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5 Burdur Gölü alanının zamansal değişimi



Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan İHA uçuş planları

Elde edilen fotoğrafların daha hassas bir şekilde değerlendirilerek yüksek doğruluklu SYM ve ortomozaik üretmek için uçuş yapılan alana homojen olarak dağılacak şekilde YKN tesis edilmiştir. Araziye tesis edilecek YKN'lerin uçuş yüksekliğinden rahat bir şekilde görülebilmesi için 90 cm uzunluğunda ve 20 cm genişliğinde artı (+) şeklinde YKN'ler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan YKN örnekleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

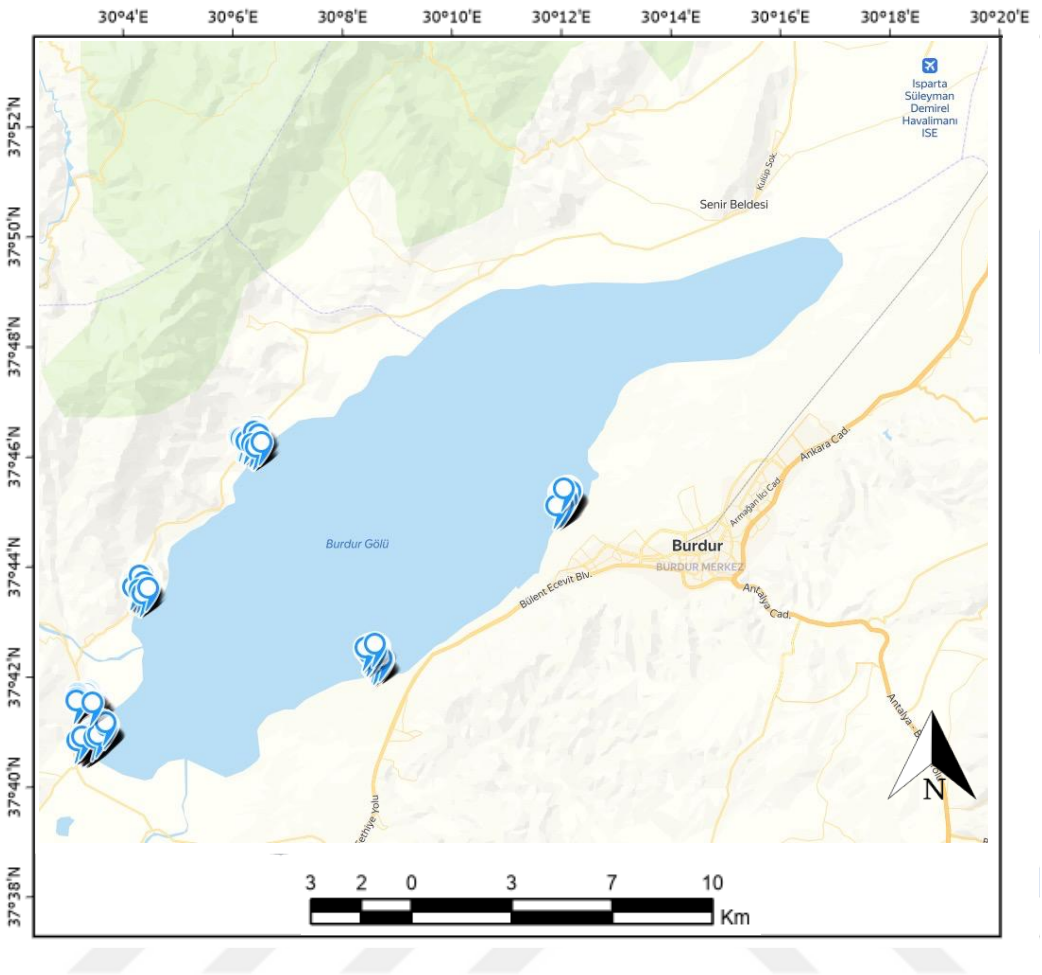


Şekil 3.7 Çalışmada kullanılan YKN örnekleri ve ölçümü

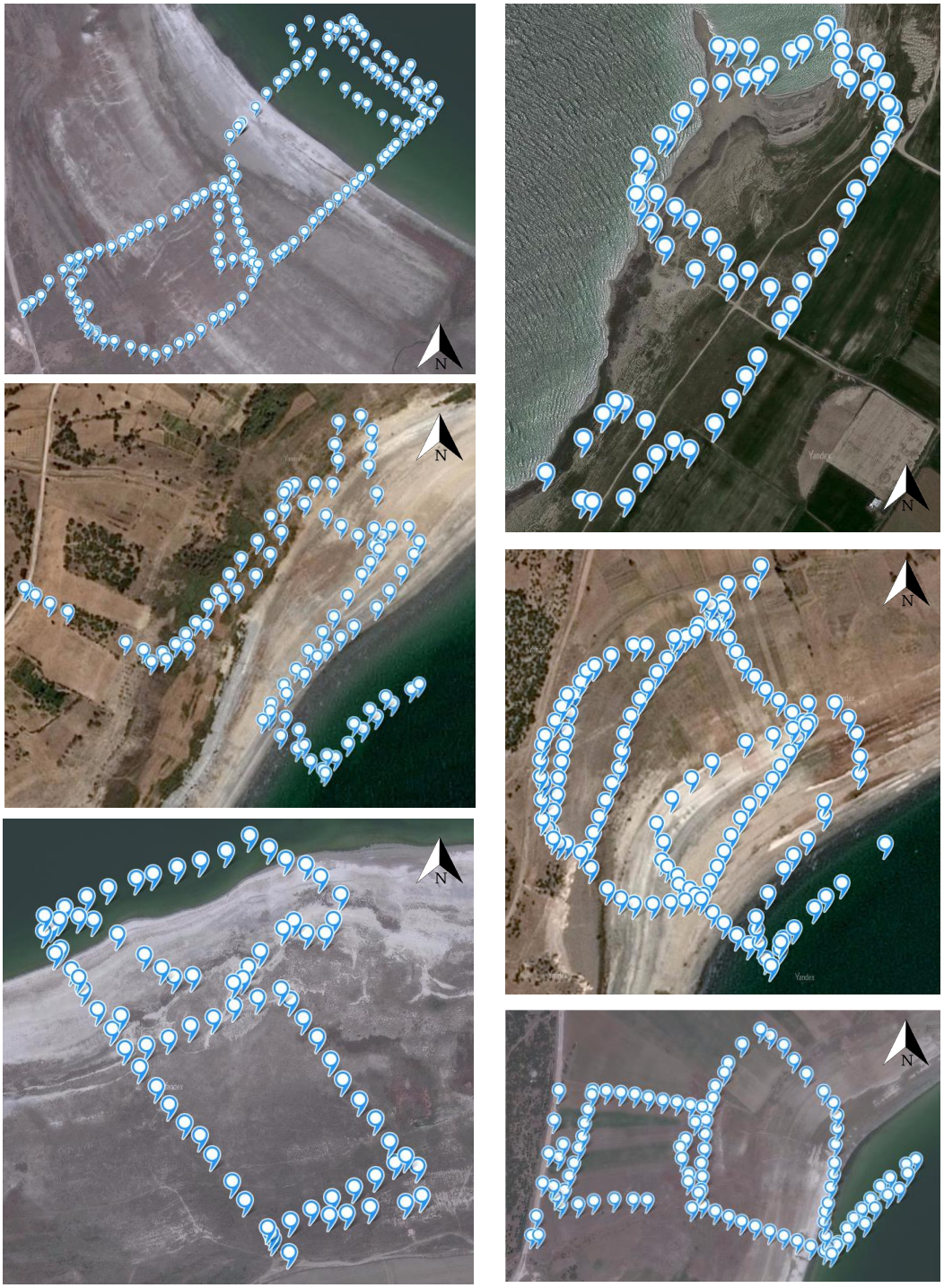
SYM ve ortomozaiğin doğruluğunu artırmak için YKN'lerin yanında kontrol amaçlı detay noktalarının da koordinatları Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) ile ölçülmüştür. Ölçülen koordinatlar GPS Format yazılımında düzenlenerek fotoğrafların işlenmesinde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan YKN'lerin koordinatları Tablo 3.1'de verilmiştir. YKN ve arazi yüzeyine rastgele dağılmış kontrol noktalarının arazideki görünümleri Şekil 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.1 Araziye tesis edilen YKN koordinatları

SYM	YKN	Enlem	Boylam	h (m)	SYM	YKN	Enlem	Boylam	h (m)
1	1	37,66963	30,05564	895,15	4	1	37,74437	30,11692	884,47
	2	37,67144	30,05627	889,32		2	37,74709	30,11961	881,91
	3	37,67117	30,05858	882,29		3	37,74618	30,12153	877,13
	4	37,66963	30,05846	883,85		4	37,74343	30,11918	876,30
	5	37,66885	30,06103	874,63		5	37,74259	30,12045	873,37
	6	37,67035	30,06271	873,70		6	37,74401	30,12234	873,47
2	1	37,65756	30,05754	890,39	5	1	37,72770	30,23329	883,89
	2	37,65910	30,05709	886,58		2	37,72605	30,23181	883,45
	3	37,66068	30,06087	880,07		3	37,72579	30,22973	878,26
	4	37,65896	30,06176	881,53		4	37,72914	30,23110	873,52
	5	37,65963	30,06297	879,19		5	37,73093	30,23380	873,10
	6	37,66381	30,06379	873,02		6	37,72960	30,23464	883,73
3	1	37,70214	30,07564	895,68	6	1	37,68079	30,16383	887,53
	2	37,70538	30,07815	887,54		2	37,68170	30,16605	884,44
	3	37,70366	30,07991	879,79		3	37,68383	30,16405	880,50
	4	37,70133	30,07813	876,41		4	37,68308	30,16155	880,06
	5	37,70043	30,07931	873,14		5	37,68477	30,16026	873,37
	6	37,70207	30,08123	873,17		6	37,68579	30,16354	874,30



Şekil 3.8 YKN'lerin ve kontrol noktalarının konumları (genel görünüm)



Şekil 3.9 YKN'lerin ve kontrol noktalarının konumları

Şekil 3.9 incelendiğinde bazı noktaların suyun içerisinde kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi şekilde kullanılan altlık haritanın eski tarihli olmasıdır.

Çalışma alanında 6 farklı bölgede yapılan İHA uçuşlarından elde edilen fotoğraflar ve YKN koordinatları kullanılarak Agisoft Metashape yazılımında değerlendirme yapılmıştır. Fotogrametri yönteminin en önemli adımlarından biri kamera

kalibrasyonlarının belirlenmesidir. Bu çalışmada fotoğraflar yazılımın içerisinde bulunan parametreleri kullanarak kendi kendine kalibrasyon yöntemiyle kalibre edilerek kullanılmıştır. Görüntülerin 1:1 ölçeğinde işlenmesi için fotoğraf sıralama adımı yüksek kalitede gerçekleştirilmiştir. Daha sonra araziden toplanan YKN'ler görünen noktalarla eşleştirilerek model koordinatlandırılmıştır. SYM kalitesini üretilen yoğun nokta bulutu etkilediği için yoğun nokta bulutu yüksek doğrulukta üretilmiştir. Daha sonra araziye ait ortomozaikler ve SYM'ler dışarı aktarılmıştır.

3.3 Kıyı Çizgileri ve Sayısal Yükseklik Modellerinin Entegrasyonu

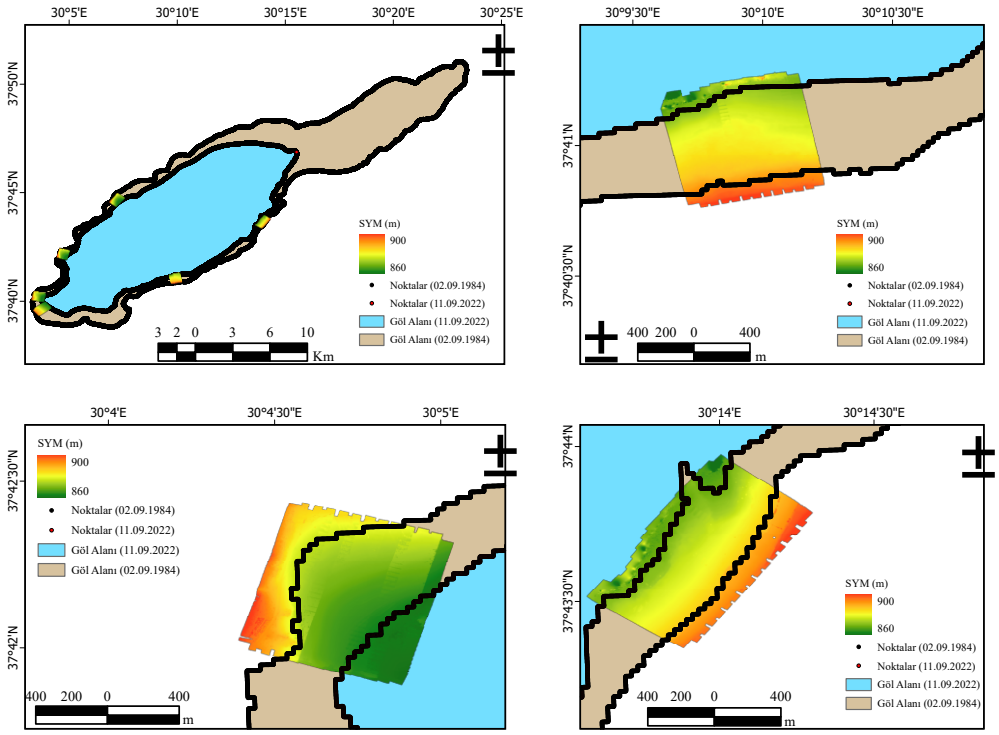
3.3.1 Optik Uydu Verilerine Yükseklik Bilgisinin Eklenmesi

NTS sonucu oluşturulan göl sınırlarında gereken manuel düzeltmeler yapıldıktan sonra nihai göl sınırları belirlenmiştir. Daha sonra göl sınırlarına yükseklik bilgisi kazandırmak için sınır çizgilerinde eşit aralıklarla noktalar oluşturulmuştur. Oluşturulan noktalara İHA ile üretilen SYM üzerinden yükseklik bilgisi eklenmiştir. Noktalar arası mesafe ise deneysel olarak belirlenmiştir. 3 farklı kıyı çizgisinde yapılan denemelerde kıyı çizgisi üzerinde 5 cm, 20 cm, 50 cm, 1 m, 2 m ve 5 m aralıklarla nokta üretilmiştir. SYM'ler üzerindeki noktalar ayrı ayrı hesaplanmış ve ortalama değere en yakın aralık tüm kıyı çizgilerinde uygulanmıştır. Farklı aralıklara ilişkin sayısal veriler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı nokta sıklıklarıyla üretilen yükseklik verilerinin ortalamadan olan sapmaları

SYM No	**Nokta Sıklığı**						
	5 cm	**20 cm**	**50 cm**	**1 m**	**2 m**	**5 m**	**Ortalama**
1	877,13	877,13	877,12	877,12	877,11	877,07	877,11
2	876,31	876,32	876,32	876,32	876,32	876,32	876,32
3	876,95	876,95	876,94	876,94	876,93	876,90	876,93
4	878,03	878,03	878,03	878,03	878,02	877,99	878,02
5	876,29	876,29	876,29	876,29	876,29	876,29	876,29
6	876,83	876,83	876,83	876,83	876,83	876,85	876,83
Ortalama	876,92	876,92	876,92	876,92	876,92	876,90	876,92
Ortalamadan olan fark (cm)							
Nokta Yoğunluğu	**5 cm**	**20 cm**	**50 cm**	**1 m**	**2 m**	**5 m**	
Fark	0,44	0,39	0,29	0,27	**0,02**	-1,4	

Tablo 3.2 incelendiğinde ortalamaya en yakın verilerin 2 m aralıklı noktalardan elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle hem veri yoğunluğunu azaltmak hem de verilerin ortalamasından sapmamak için nokta aralıkları 2 m olarak belirlenmiştir. Üretilen noktalar ve SYM'ler üst üste çakıştırılarak kıyı çizgisine en yakın SYM noktasından elipsoidal yükseklik bilgisi kazandırılmıştır. İki farklı tarihteki uydu verisi üzerinde üretilen noktalar ve kullanılan SYM'lerin bir örneği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Landsat görüntülerinden elde edilen kıyı çizgilerine yükseklik bilgisi kazandırılması

3.3.2 Hatalı Verilerin Ayıklanması

Her bir SYM üzerinden elde edilen yükseklik verilerinde hatalı verilerin ayıklanması için literatürde de benzer çalışmalarda kullanılan [89], [98] çeyrekler açıklığı (IQR) yöntemi kullanılmıştır. IQR yöntemi veri setinde orta değerlerin ne kadar yayıldığını göstermektedir. IQR yöntemi (3.16), (3.17) ve (3.18) eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. SYM ve Landsat verilerinden türetilmiş tüm yüksekliklerden aykırı değerler çıkarılmıştır (Şekil 3.11).

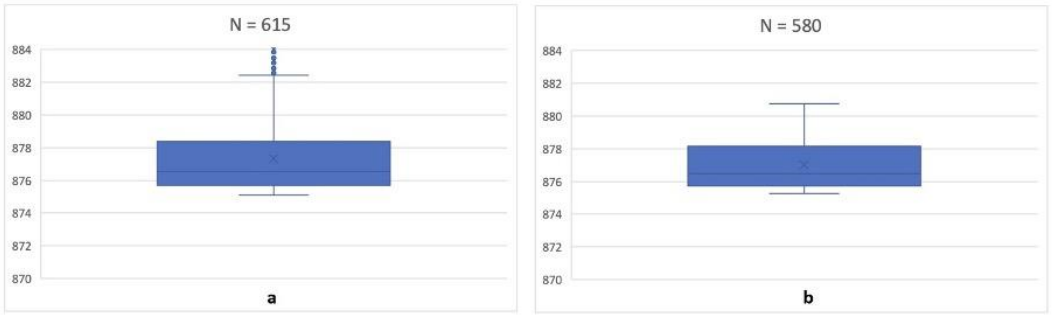
$$IQR = Q3 - Q1 \tag{3.16}$$

$$\text{Aykırı değer} < Q1 - 1{,}5 \times IQR \tag{3.17}$$

$$\text{Aykırı değer} > Q3 + 1{,}5 \times IQR \tag{3.18}$$

Burada;

Q1 ve Q3 sırasıyla birinci ve üçüncü çeyrekliklerdir.



Şekil 3.11 (a) Filtrelenmemiş ve (b) filtrelenmiş veri örneği (20.08.2014 SYM-1 verisi)

3.3.3 Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliklere Dönüştürülmesi

İçerisindeki aykırı değerleri ayıklanan elipsoidal yüksekliklerden bölgedeki jeoit yükseklikleri (Şekil 2.9) çıkarılarak ortometrik yükseklikler elde edilmiştir. Ortometrik yükseklikler (3.19) eşitliği ile hesaplanmıştır. Çalışma alanında üretilen SYM'lerin bulunduğu bölgelerdeki jeoit yükseklikleri farklı olduğu için (Şekil 2.9) SYM'ler ayrı ayrı ortometrik yüksekliğe dönüştürülmüştür. Daha sonra aynı tarihe ait kıyı çizgisi üzerinde üretilen tüm noktaların ortometrik yüksekliklerinin ortalaması alınarak ortalama SYY'ler elde edilmiştir. 6 farklı SYM'nin bulunduğu bölgede jeoit yüksekliği 34,204 m ve 34,736 m aralığında değişmektedir. SYM'ler için kullanılan jeoit yükseklikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

$$H = h - N \tag{3.19}$$

Burada;

H: ortometrik yüksekliği,

h: elipsoidal yüksekliği ve

N: jeoit yüksekliğini temsil etmektedir.

Tablo 3.3 SYM bölgelerindeki jeoit yükseklikleri

SYM No	1	2	3	4	5	6
Jeoit yüksekliği N (m)	34,526	34,315	34,204	34,308	34,372	34,736

3.3.4 Su Yüzeyi Yüksekliğinin Doğruluk Analizi

1984 – 2022 yılları arasındaki yaz başı ve yaz sonu dönemlerindeki SYY'ler belirlendikten sonra yıl bazlı değişimler incelenmiştir. SYY'lerin doğruluğunu test etmek için DSİ tarafından jeodezik yöntemlerle elde edilen referans SYY'ler ile karşılaştırılmıştır. SYY'ler arasındaki korelasyon (r) (3.20) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$r = \frac{n \text{ x } \sum h_i^{ref} \text{ x } h_i^{SYM} - \sum h_i^{ref} \text{ x } \sum h_i^{SYM}}{\sqrt{\left[n \text{ x } \sum h_i^{ref\,2} - \left(\sum h_i^{ref}\right)^2\right] \text{ x } \left[n \text{ x } \sum h_i^{SYM\,2} - \left(\sum h_i^{SYM}\right)^2\right]}} \quad (3.20)$$

Burada;

h_i^{SYM}: SYM-Landsat&Sentinel verilerinden türetilen ortalama SYY'yi,

h_i^{ref}: referans SYY'yi,

n: veri sayısını temsil etmektedir.

3.3.5 Kıyı Çizgisi ve Alansal Değişimin Hesaplanması ve Doğruluk Analizi

Landsat ve Sentinel-2 verilerinden NTS yöntemiyle elde edilen kıyı çizgilerinden kıyı kenar uzunluğu ve alan bilgileri elde edilmiştir. Alan bilgileri ayrıca DSİ tarafından da ortalama SYY'ye bağlı olarak ölçülmektedir. Uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen alanlar DSİ tarafından temin edilen referans alan verileriyle karşılaştırılmıştır. Uydu verilerinden hesaplanan alan değerleri ve DSİ tarafından temin edilen referans alan değerleri arasındaki korelasyon (3.21) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$r = \frac{n \text{ x } \sum A_i^{ref} \text{ x } A_i^{L\&S} - \sum A_i^{ref} \text{ x } \sum A_i^{L\&S}}{\sqrt{\left[n \text{ x } \sum A_i^{ref\,2} - \left(\sum A_i^{ref}\right)^2\right] \text{ x } \left[n \text{ x } \sum A_i^{L\&S\,2} - \left(\sum A_i^{L\&S}\right)^2\right]}} \quad (3.21)$$

Burada;

$A_i^{L\&S}$: Landsat ve Sentinel-2 verilerinden belirlenen alanı,

A_i^{ref}: referans alanı,

n: veri sayısını temsil etmektedir.

3.3.6 Hacimsel Değişimin Hesaplanması ve Doğruluk Analizi

Hacimsel değişimin belirlenmesinde iki temel bileşene ihtiyaç vardır. Bunlar, hacimsel değişimin hesaplanacağı verilerin alanları ve bu veriler arasındaki yükseklik farklarıdır. Tez çalışmasında alan bilgileri Landsat ve Sentinel verilerinden NTS yöntemiyle elde edilmiştir. Landsat verilerinden elde edilen kıyı çizgilerinin yükseklikleri ise kıyı çizgileri ile İHA verilerinden fotogrametrik yöntemlerle üretilen yüksek çözünürlüklü SYM'lerin çakıştırılmasıyla belirlenmiştir. 1984-2022 yılları arasındaki hacimsel değişimler yıllık ve mevsimsel olarak belirlenmiştir. Hacimsel değişimler (3.22) eşitliği ile hesaplanmıştır [98]. Uydu verileri ve SYM'lerin birlikte kullanımı ile hesaplanan hacim değerleri DSİ tarafından belirlenen hacim değerleriyle karşılaştırılmıştır. Uydu verileri ve SYM verilerinden hesaplanan hacim değerleri ve DSİ tarafından temin edilen referans hacim değerli arasındaki korelasyon (3.23) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{1}{3}h\left(A_i + A_j + \sqrt{A_i \text{ x } A_j}\right) \tag{3.22}$$

$$r = \frac{n \text{ x } \sum V_i^{ref} \text{ x } V_i^{L-SYM} - \sum V_i^{ref} \text{ x } \sum V_i^{L-SYM}}{\sqrt{\left[n \text{ x } \sum V_i^{ref\,2} - \left(\sum V_i^{ref}\right)^2\right]} \text{ x } \left[n \text{ x } \sum V_i^{L-SYM\,2} - (\sum V_i^{L-SYM})^2\right]} \tag{3.23}$$

Burada;

$V_i^{L\text{-}SYM}$: Landsat ve SYM verilerinden belirlenen hacim değerini,

V_i^{ref}: referans hacim değerini,

n: veri sayısını temsil etmektedir.

3.4 Gelecek Yıllara Ait Su Seviyelerinin Tahmin Edilmesi

3.4.1 Zaman Serileri ve Bileşenleri

Zaman serileri, belirli bir zaman aralığında toplanan ve kaydedilen verilerin oluşturduğu kronolojik olarak sıralanmış bir veri setini ifade etmektedir. Zaman serileri x(t) şeklinde matematiksel olarak ifade edilebilir. Burada t zamanı, x(t) ise t zamanındaki rastgele bir değişkeni temsil etmektedir. Zaman serisindeki veriler toplanan verinin türüne göre tek değişkenli ve çok değişkenli olabilir [147].

Zaman serileri; verilerin özelliklerini, birbirleriyle aralarındaki ilişkileri ve niteliklerini karakterize etmeyi sağlayan birkaç bileşenden oluşur. Bunlardan en çok bilineni trenddir. Zaman serilerinin trendleri, verilerin zaman içerisindeki artış, azalış veya durağanlığı kısa ve uzun vadeli izlemeye olanak tanır. Verinin istikrarlı olup olmadığı, artış eğiliminde veya azalış eğiliminde olduğu verinin trendine bakarak anlaşılabilir. Trendler; doğrusal, doğrusal olmayan veya periyodik şekillerde olabilir [148]. Zaman serilerinin bir diğer önemli bileşeni ise mevsimselliktir. Mevsimsellik bir zaman serisinde düzenli aralıklarla meydana gelen döngülerdir. Bu döngüler saatlik, günlük, haftalık, aylık, yıllık veya bunların ara katları şeklinde olabilir. Mevsimsellik, aynı zaman dilimi içerisinde tekrar eden ve doğal olaylar gibi faktörlerden etkilenen düzenli dalgalanmaları tespit etmekte başarılıdır [149]. Döngüsel varyasyon, bir zaman serisinde sabit bir frekansa sahip olmayan düzensiz dalgalanmaları temsil etmektedir. Döngüsel değişimler genellikle ekonomik sebeplerden etkilenen olayların analizinde kullanılır. Düzensiz bileşen ise, zaman serisindeki trend, mevsimsellik veya döngüsel bileşen tarafından açıklanamayan rastgele durumları ifade eder [150].

3.4.2 Durağanlık

Durağanlık, zaman serisindeki değişkenlerin zaman içerisinde istatistiksel olarak tutarlı kaldıklarını ifade etmektedir ve zaman serilerinin doğruluğu için büyük öneme sahiptir. Bir zaman serisinin durağan olması için üç temel kriteri sağlaması gerekir. Bunlar;

Sabit ortalama (μ): Serinin ortalaması zaman içerisinde sabit kalmalıdır (Eşitlik 3.24).

$$E[y_t] = \mu \tag{3.24}$$

Sabit varyans (σ^2): Serinin varyansı zaman içerisinde sabit kalmalıdır (Eşitlik 3.25).

$$ar[y_t] = \sigma^2 \tag{3.25}$$

Otokovaryans (γ) zaman içindeki belirli noktalara değil yalnızca zaman gecikmelerine bağlı olmalıdır (Eşitlik 3.26).

$$ov[y_t, y_t + h] = \gamma_{(h)} \tag{3.26}$$

Bir serinin durağan olup olmadığını belirlemek için literatürde farklı testler kullanılmıştır. KPSS, bir serinin durağanlığını analiz etmek için sıfır ve alternatif hipotez oluşturur. Phillips-Perron Testi [151], t istatistiğine parametrik olmayan bir düzeltme yapar. Bu şekilde otokorelasyon ve değişen varyans durumlarında daha doğru sonuçlar verir. Literatürde en yaygın kullanılan istatistiksel test Augumented Dickey-Fuller (ADF) testidir. ADF testi, modeldeki tahmin edilen katsayıların anlamlılığını analiz ederek zaman serisinin durağan olup olmadığını gösteren birim köklere sahip olup olmadığını veya durağan kalıp kalmadığını inceler [152]. ADF testi (3.27) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \Delta y_{t-1} + \beta_3 \Delta y_{t-2} + \beta_4 \Delta y_{t-3} + \cdots + \beta_p \Delta y_t - p + \varepsilon_t \tag{3.27}$$

Bu denklemde;

Δy_t: t zamanındaki serideki farklılığı,

β_0: kesişim terimini,

β: zaman trendi katsayısını,

y_{t-1}: zaman serisinin gecikmeli değerini,

Δy_{t-1}, Δy_{t-2}, …, Δy_{t-p}: zaman serisinin p gecikmesine kadar olan gecikmeli fark değerlerini,

$\beta_2, \beta_3, \ldots, \beta_p$: gecikmeli fark değerlerinin katsayılarını,

ε_t: t zamanındaki hatayı ve artık değeri temsil eder.

3.4.3 Eğitim, Doğrulama ve Test Setlerinin Belirlenmesi

Veri kümesinin performansını ve genellenebilirliğini değerlendirmek için veriler eğitim, test ve doğrulama seti olarak üç alt gruba ayrılır. Buna sabit bölümleme

denir. Geleceğe yönelik tahmin yaparken genellikle uygulanan ve bu çalışmada da uygulanan yöntem bilinen değerlerin bir kısmının eğitim veri seti olarak ayrılıp kalan kısmın doğrulama veri seti olarak kullanılmasıdır. Bu aşamada uygun modele karar verildikten sonra eğitim veri setini ve doğrulama veri setini birleştirerek kullanılacak model ile test veri seti yani gelecekteki veriler tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Eğitim veri seti üzerinde modelleme denemeleri yapılarak en uygun model seçilmeye çalışılır. Bu modelin doğruluğunu test etmek için veri kümesi içinden genellikle %60 ile %90 arasında veri eğitim veri seti olarak ayrılır. Eğitim veri setinin boyutu (3.28) eşitliği ile hesaplanır.

$$Size_{train} = n\ x\ ratio_{train} \tag{3.28}$$

Burada;

$Size_{train}$: eğitim veri setinin boyutunu,

n: Toplam veri sayısını,

$ratio_{train}$: Seçilecek eğitim veri setinin toplam veri setine oranını temsil etmektedir. $ratio_{train}$ 0 ile 1 arasında değer almalıdır. İdeal oran 0,6-0,9 aralığındadır [153].

Doğrulama veri seti eğitim veri seti içerisinden seçilir ve modelin iyileştirilmesinde kullanılır. Bunun için hiper parametrik uygulamalar denenerek optimum katsayılar veya ağırlıklar bulunmaya çalışılır. Doğrulama veri setinin boyutu (3.29) eşitliği ile hesaplanır.

$$Size_{validation} = n_{train}\ x\ ratio_{validation} \tag{3.29}$$

Burada;

$Size_{validation}$: Doğrulama veri setinin boyutunu,

n_{train}: Eğitim setindeki veri sayısını,

$ratio_{validation}$: Seçilecek doğrulama veri setinin toplam veri setine oranını temsil etmektedir. $ratio_{validation}$ 0 ile 1 arasında değer almalıdır. İdeal oran 0,2-0,3 aralığındadır [153].

İçerinde doğrulama veri setinin de bulunduğu eğitim veri setinden kalan bölüme test veri seti denir. Test veri setinde tahmin edilen değerler geleceğe yönelik değerlerdir. Test veri setinin boyutu (3.30) eşitliği ile hesaplanır.

$$Size_{test} = n\ x\ ratio_{test}\ (30) \tag{3.30}$$

Burada;

$Size_{test}$: Test veri setinin boyutunu,

n: Toplam veri sayısını,

$ratio_{test}$: Seçilecek test veri setinin toplam veri setine oranını temsil etmektedir.

$ratio_{test}$ 0 ile 1 arasında değer almalıdır. İdeal oran 0,1-0,2 aralığındadır [153]. Veri setinin birden fazla alt kümeye ayrılması modelin doğruluğunu ve performansını artırmaktadır. Ayrıca bu gruplandırma aşırı uyum (modelin eğitim verilerinde iyi performans gösterirken görülmeyen verilerde kötü performans göstermesi) ve yetersiz uyum (modelin verilerindeki önemli örüntülerin yakalanamaması) gibi sorunların çözülmesine yardımcı olur [147].

3.4.4 Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF) ve Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF)

Bir zaman serisi analizinde kullanılacak modeli doğru bir şekilde belirlemek için gecikme değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek gerekmektedir. ACF, bir zaman serisi ile gecikme değerleri arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılan istatistiksel bir modeldir. ACF, t anındaki zaman serisi ile önceki gecikme değerleri arasındaki korelasyon katsayısını hesaplamaktadır [154]. ACF (3.30) eşitliği ile hesaplanmaktadır [147].

$$ACF_k = (C_k - \mu)\ /\ (C_0 - \mu) \tag{3.31}$$

Burada;

ACF_k: k gecikmesindeki otokorelasyonu,

C_k: k gecikmesindeki otokovaryansı,

μ: zaman serisinin ortalamasını,

C_0: zaman serisinin varyansına eşit olan 0. gecikmedeki otokovaryansı temsil eder. k gecikmesindeki otokovaryans (C_k) (3.32) eşitliği ile hesaplanır.

$$C_k = Cov(y_t, y_{t-k}) \tag{3.32}$$

Burada;

y_t: t zamanındaki zaman serisini,

Cov(): kovaryans fonksiyonunu temsil eder.

k gecikmesindeki otokorelasyon (ACF_k), k gecikmesindeki otokovaryansın t_0 gecikmesindeki otokovaryansa bölünmesiyle zaman serisinin ortalaması hesaplanır. ACF gecikmenin bir fonksiyonudur ve zaman serisindeki bağımlılıklar hakkında bilgi vermektedir. Belirli bir gecikmedeki pozitif olan otokorelasyon, o gecikmedeki değerlerin birbiriyle ilişkili olduğunu ve benzer bir modele sahip olduğunu gösterir. Negatif otokorelasyon ise o gecikmedeki değerler arasında bir ters ilişki olduğunu gösterir. Sıfıra yakın ACF değerleri ise çok az korelasyon olduğunu gösterir. ACF değerinin sıfır olması korelasyonun olmadığını ifade etmektedir [147]. ACF, zaman serisi analizindeki verilerin korelasyonlarını anlamak, mevsimselliği veya periyodik kalıpları belirlemek ve ARIMA gibi modellerde otoregresif (AR) ve hareketli ortalama (MA) bileşenleri için uygun gecikme sıralarını belirlemek için temel bir araçtır [155].

PACF, ara gecikmeleri hesaplayarak bir zaman serisi ile gecikme değerleri arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. PACF, t zamanındaki zaman serisi ile daha önceki gecikmelerdeki değerler arasındaki korelasyon katsayısını hesaplarken, ara gecikmelerin etkisini göz ardı eder [147]. PACF (3.33) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$PACF_k = \frac{Cov(y_t, y_{t-k}|y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1})}{\sqrt{Var\ y_{(t)}|y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1}}} \tag{3.33}$$

Burada;

$PACF_k$: k gecikmesindeki kısmi otokorelasyonu,

Cov: kovaryans fonksiyonunu,

Var: varyansı,

y_t: t zamanındaki zaman serisi değerini temsil eder.

PACF, farklı gecikmelerdeki zaman serisi değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesine yardımcı olur. PACF, AR modeller için gecikme sıralarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.4.5 Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama Model (ARIMA)

ARIMA, zaman serilerinin dinamiklerini belirlemek için kullanılan ve AR, entegre (I) ve MA bileşenlerini içeren bir veri analizi modelidir [156].

AR modeli, bir zaman serisindeki bir değerin aynı zaman serisindeki geçmiş değerler ile regresyona tabi tutulmasıyla oluşturulur. AR, p mertebesindeki bir otomatik regresyon sürecini ifade eder. AR modeli (3.34) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$y_t = c + \varphi_1 * y_{t-1} + \varphi_2 * y_{t-2} + \varphi_3 * y_{t-3} + \cdots + \varphi_p * y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.34)$$

Burada;

y_t: zaman serisinin t anındaki değerini,

c: kesişim (sabit terim),

φ_i: otoregresif katsayıları (1 ile p arasında),

y_{t-i}: zaman serisinin gecikmeli değerlerini temsil eder ve i gecikmeyi gösterir. Gecikme 1 ile p arasında değişir.

ε_t: t anındaki hata terimi veya artık değerdir.

AR, çoklu regresyon modeli gibi davranır. Ancak dış faktörler yerine aynı serinin geçmiş değerlerini kullanmaktadır. AR süreci, mevcut değerin önceki değerlerden doğrudan etkilendiği zaman serilerinde yaygın olarak kullanılır [157].

MA modeli, bir zaman serisinin güncel değeri ile önceki hata bileşenleri veya artık değerleri arasındaki bağlantıyı araştıran bir zaman serisi analizidir. Bir serinin güncel değerinin geçmiş zaman noktalarındaki hata terimlerinin doğrusal bir kombinasyonu tarafından yönlendirildiğini kabul eden istatistiksel bir modeldir. q mertebesindeki MA denklemi (MA(q)) (3.35) eşitliği ile ifade edilir.

$$y_t = c + \varphi_1 * y_{t-1} + \varphi_2 * y_{t-2} + \varphi_3 * y_{t-3} + \cdots + \varphi_p * y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.35)$$

Burada;

y_t: zaman serisinin t anındaki değerini,

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \ldots, \theta_q$: geçmiş hata terimlerinin MA katsayılarını,

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-3}, \ldots, \varepsilon_{t-q}$: gecikmeli hata terimlerini,

ε_t: t anındaki hata terimlerini temsil etmektedir.

MA(q) eşitliğine göre, zaman serisinin mevcut değeri, hareketli ortalama katsayıları ile ağırlıklı mevcut ve önceki zaman noktalarındaki hata bileşenlerinin doğrusal kombinasyonudur [147]. Gecikmeli hata terimlerinin mevcut değer üzerindeki etkisi MA katsayıları ile belirlenir [158].

Otoregresif hareketli ortalama (ARMA) modeli AR ve MA modellerinin birleştirilmesiyle oluşturulur ve hem otoregresif hem de hareketli ortalama unsurlarını içermektedir. ARMA karmaşık zaman serisi modellerini AR modelinden daha az parametre kullanarak tanımlayabilmektedir [149]. ARMA modeli (3.36) eşitliği ile ifade edilir.

$$y_t = c + \varphi_1 * y_{t-1} + \varphi_2 * y_{t-2} + \varphi_3 * y_{t-3} + \cdots + \varphi_q * y_{t-q} + \theta_1 * y_{t-1} + \theta_2 * y_{t-2} + \theta_3 * y_{t-3} + \cdots + \theta_q * y_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3.36)$$

Burada;

y_t: zaman serisinin t anındaki değerini,

c: kesişim (sabit terim),

φ_i: otoregresif katsayıları (1 ile p arasında),

y_{t-i}: zaman serisinin gecikmeli değerlerini temsil eder ve i gecikmeyi gösterir. Gecikme 1 ile p arasında değişir.

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \ldots, \theta_q$: geçmiş hata terimlerinin MA katsayılarını,

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-3}, \ldots, \varepsilon_{t-q}$: gecikmeli hata terimlerini,

ε_t: t anındaki hata terimi veya artık değeri temsil etmektedir.

AR ve MA modellerinin uygulanacağı serinin durağan olması gerektiğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Burada durağanlığı sağlamak için I kullanılmaktadır. I, ardışık veriler arasındaki farkı ölçerek verilerdeki herhangi bir eğilimi veya

mevsimselliği ortadan kaldırır. Sabit terim, fark alma işleminin neden olduğu kaymayı vermektedir. Kayma miktarı (Δy_t) (3.37) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} = \mu + \varepsilon_{t'} \tag{3.37}$$

Burada;

Δy_t: t anındaki farkı alınmış seriyi,

y_t: t anındaki ilk zaman serisini

y_{t-1}: zaman serisinin gecikmeli değerini temsil eder.

ARIMA modeli p, d ve q olmak üzere üç temel parametre ile karakterize edilmektedir. p parametresi, modeldeki bağımlı değişkenin gecikmeli gözlem sayısını temsil eden AR modelinin sırasını gösterir. AR bileşeni, önceki değerleri değerlendirerek zaman serisinin mevcut ve geçmiş değerleri arasındaki bağlantıyı yakalamaktadır [159]. Durağanlık, trendlerin ve mevsimselliğin verilerden çıkarılmasıdır. d parametresi, öncelikle serinin durağanlığa ulaşmadan önce kaç kez farkının alınması gerektiğini göstermektedir. q parametresi ise MA modelinin mertebesidir. MA bileşeni, hata terimi ile gecikme hataları arasındaki bağlantıyı kaydederek gelecekteki değerlerin geçmiş hatalara dayalı olarak modellenmesine ve tahmin edilmesine olanak tanır. Bu üç parametre ARIMA modelini oluşturur ve otoregresif korelasyonları hesaba katarak, durağanlığı ayırt ederek ve hareketli ortalama etkisini dahil ederek zaman serisi verilerinin incelenmesini ve gelecekteki verilerin tahmin edilmesini sağlar [147].

4
BULGULAR

Tez çalışmasının uygulama kısmında Burdur Gölü'nün 1984-2022 yılları arasındaki SYY değişimleri, alansal ve hacimsel değişimler incelenmiştir. Bu amaçla Landsat-5/8 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri, İHA ile üretilmiş SYM'ler, HGM tarafından temin edilmiş yerel jeoit yükseklikleri kullanılmıştır. Uygulama kısmında yapılan tüm çalışmalar işlem sırasına göre aşağıda açıklanmıştır.

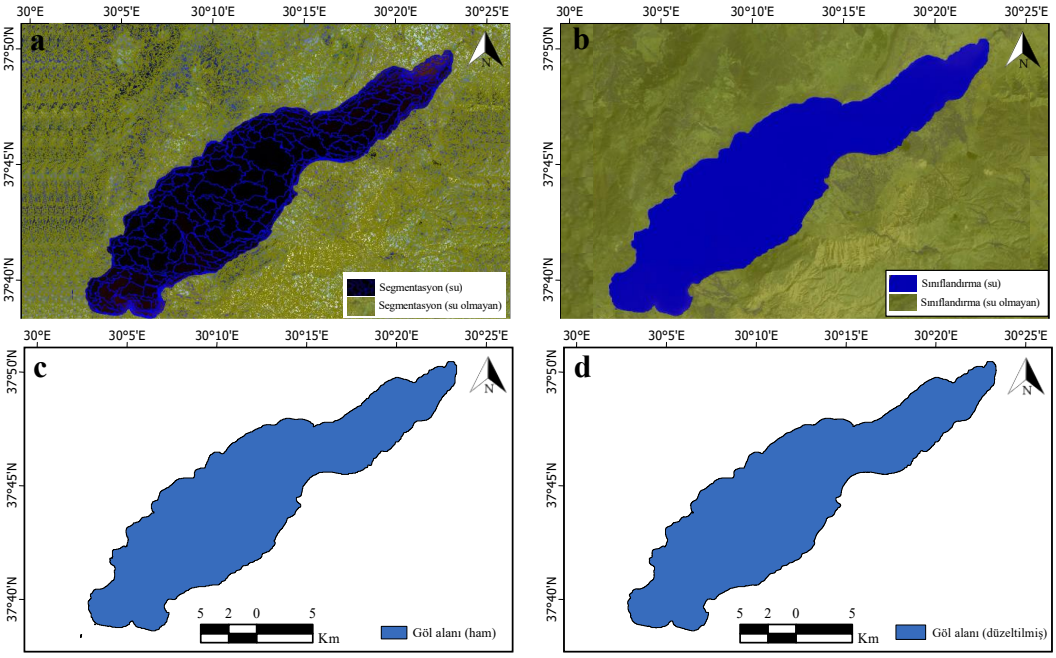
4.1 Su Alanlarının Çıkarılması

Göllerdeki zamana bağlı hacimsel değişimlerin izlenmesi için gerekli parametrelerden bir tanesi göl alanıdır. Bu tez çalışmasında Burdur Gölü'nün kıyı çizgileri Landsat-5/8 ve Sentinel-2 verileri ile NTS yöntemiyle belirlenmiştir. Sınıflandırma sonucunda elde edilen kıyı çizgilerindeki hatalar manuel olarak düzeltilmiş ve sınıflandırma doğruluk analizleri yapılmıştır. Su alanlarının çıkarılması ile ilgili işlem adımları ve elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

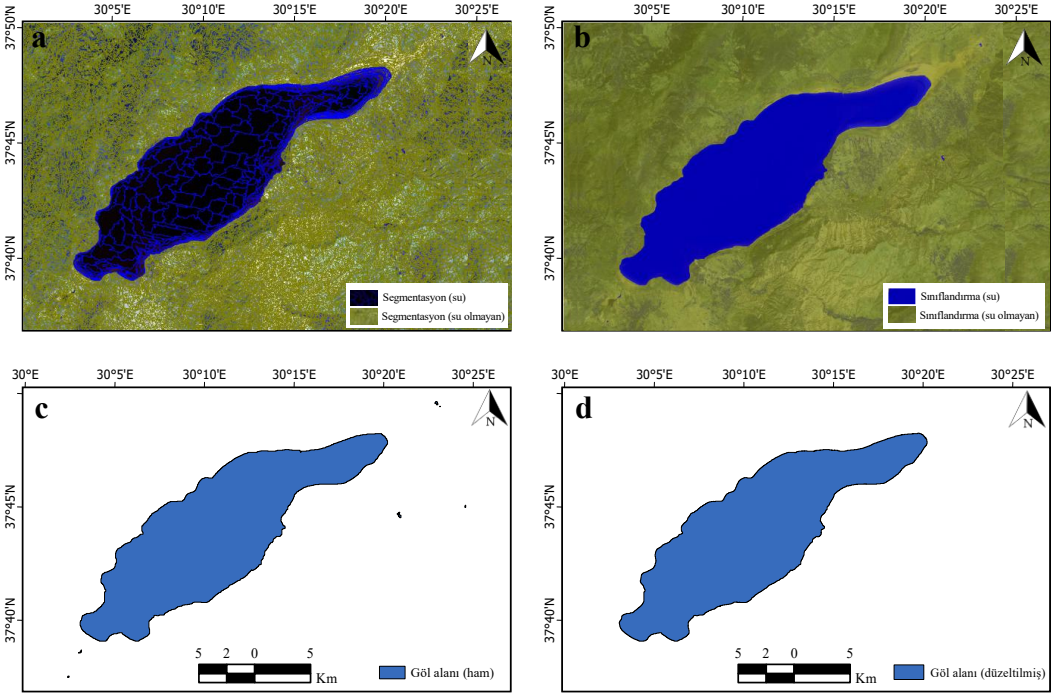
4.1.1 Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Su Alanlarının Belirlenmesi

NTS yöntemi görüntüyü sınıflandırmadan önce segmentlere ayırmaktadır. Görüntülerin segmentlere ayrılması hem veri yükünü hafifletmekte hem de gerçek dünyayı temsil etmede PTS'ye kıyasla daha başarılı olmaktadır. Bu tez çalışmasında Burdur Gölü'nün PTS ve NTS yöntemleriyle sınıflandırılmış bir örneği Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4 (a) incelendiğinde PTS yönteminde gölün orta kısımlarında hatalı sınıflandırmalar mevcuttur. Bunun nedeni PTS'de tüm pikseller spektral yansıtım değerlerine göre ayrı ayrı sınıflandırma işlemine tabi tutulmasıdır. Şekil 3.4 (b) incelendiğinde gölün orta kısımlarında böyle bir hatalı sınıflandırma bulunmamaktadır. Çünkü NTS yönteminde sınıflandırmadan önce görüntüdeki pikseller şekil, doku, komşuluk ilişkisi ve geometrik ilişkiler gibi çeşitli kriterlerle sınanarak segmentlere atanır. Bu segmentler içindeki tekil hatalı yansıtıma sahip pikseller diğer doğru yansıtıma sahip piksellerin baskın gelmesiyle elimine edilir ve sınıflandırma işleminin doğruluğu artar. Segmentasyon işlemi tamamlandıktan sonra segmentler belirli kurallara göre daha önce oluşturulan

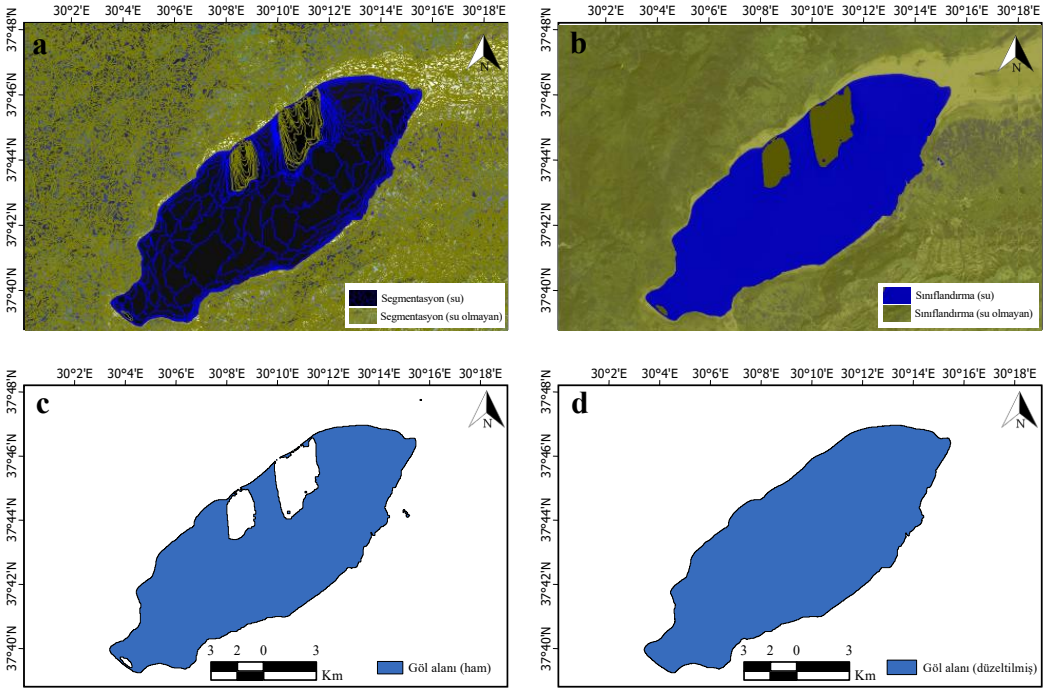
sınıflara atanmaktadır. Burada su alanlarını su olmayan alanlardan ayırmak için literatürde sıklıkla kullanılan MNDWI indeksi kullanılmıştır. Ayrıca gölün kenarında oluşan yeşillik alanları elimine etmek için NDVI indeksi kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminde 0'dan büyük MNDWI ve 0'dan küçük NDVI değerine sahip olan segmentler su sınıfına, diğer segmentler ise su olmayan sınıfına atanmıştır. Segmentlerin sınıflara atanmasından sonra aynı sınıfa ait komşu segmentler birleştirilerek göl alanı belirlenmiştir. Bulutluluk ve hatalı sınıflandırmadan dolayı yanlış sınıfa atanan segmentler nedeniyle göl ortasında oluşturulan hatalı alanlar ve göl dışında oluşan hatalı alanlar sonraki işlem adımlarında kolaylık sağlaması amacıyla manuel bir şekilde düzeltilmiştir. Göl alanlarının oluşturulması aşamalarının (segmentayon, sınıflandırma, ham kıyı çizgisi ve düzenlenmiş kıyı çizgisi) 1984, 2004 ve 2022 yıllarındaki örnekleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (02.09.1984 tarihli Landsat-5 görüntüsü)



Şekil 4.2 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (24.08.2004 tarihli Landsat-5 görüntüsü)

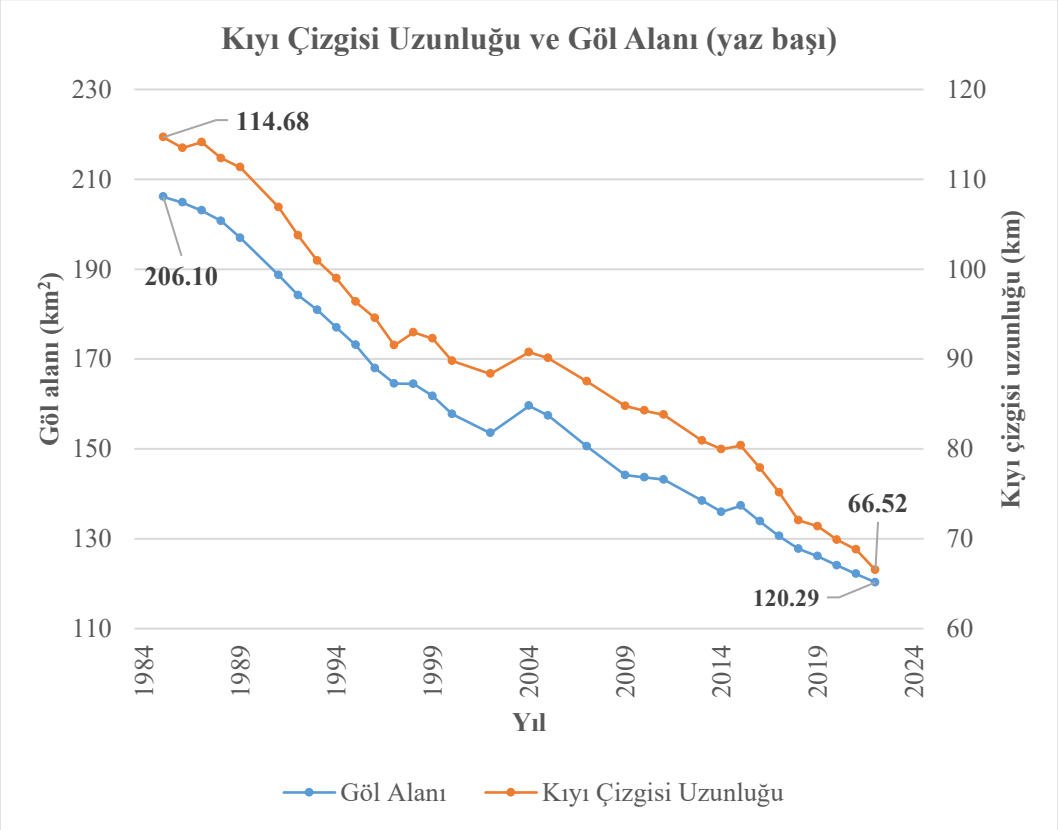


Şekil 4.3 a) segmentasyon, b) sınıflandırma, c) ham kıyı çizgisi ve göl alanı, d) düzenlenmiş kıyı çizgisi ve göl alanı (11.09.2022 tarihli Landsat-8 görüntüsü)

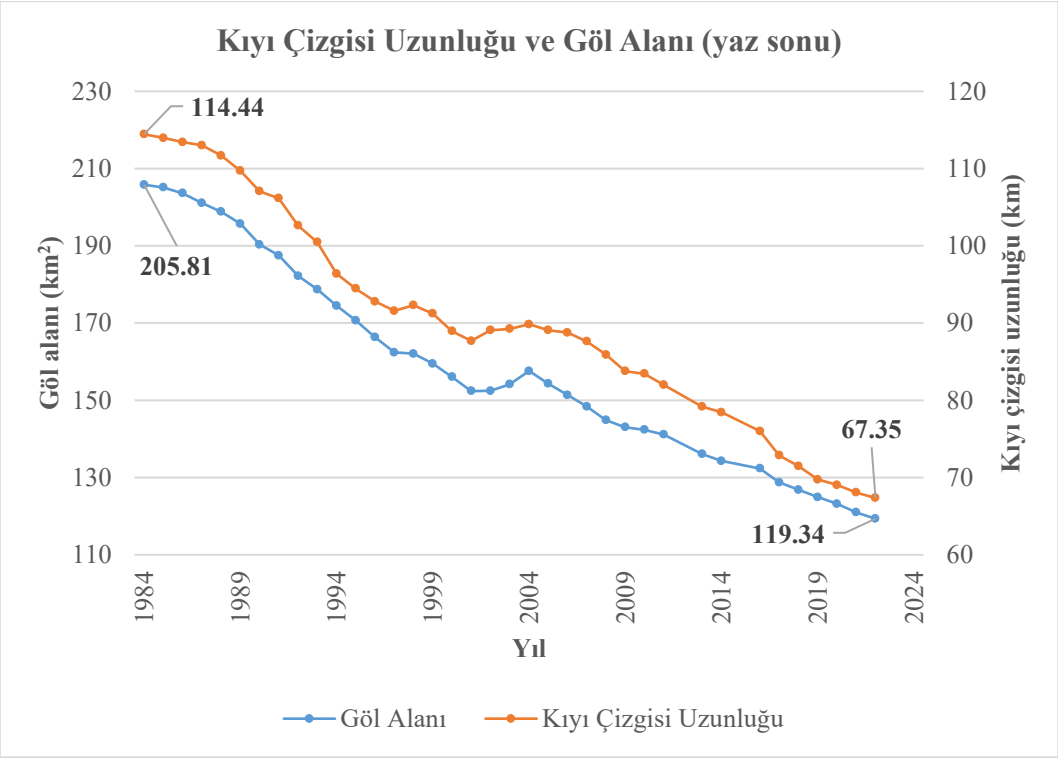
Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde hatalı sınıflandırmalar genellikle göl alanının dışındaki alanlarda bulut etkisiyle oluşan sınıflandırmalardır. Şekil 4.3 incelendiğinde göl alanı içerisindeki segmentlerdeki spektral yansıtım

değerlerinden kaynaklı hatalı sınıflandırmalar mevcuttur. Bu hatalı sınıflandırmaların da kaynağı genellikle bulut etkisindendir. Hem ilerleyen aşamalarda yapılacak hesap ve işlemlerin doğru ve tutarlı olması için hem de işlem kolaylığı olması için göl alanları manuel bir şekilde düzeltilerek göl alanı oluşturulmuştur (Şekil 4.1-4.3 (d)). Landsat verilerinden üretilen 1984-2022 yıllarına ait yaz başındaki kıyı çizgisi uzunlukları ve göl alanları Şekil 4.4'te, yaz sonundaki kıyı çizgisi uzunlukları ve göl alanları Şekil 4.5'te verilmiştir.

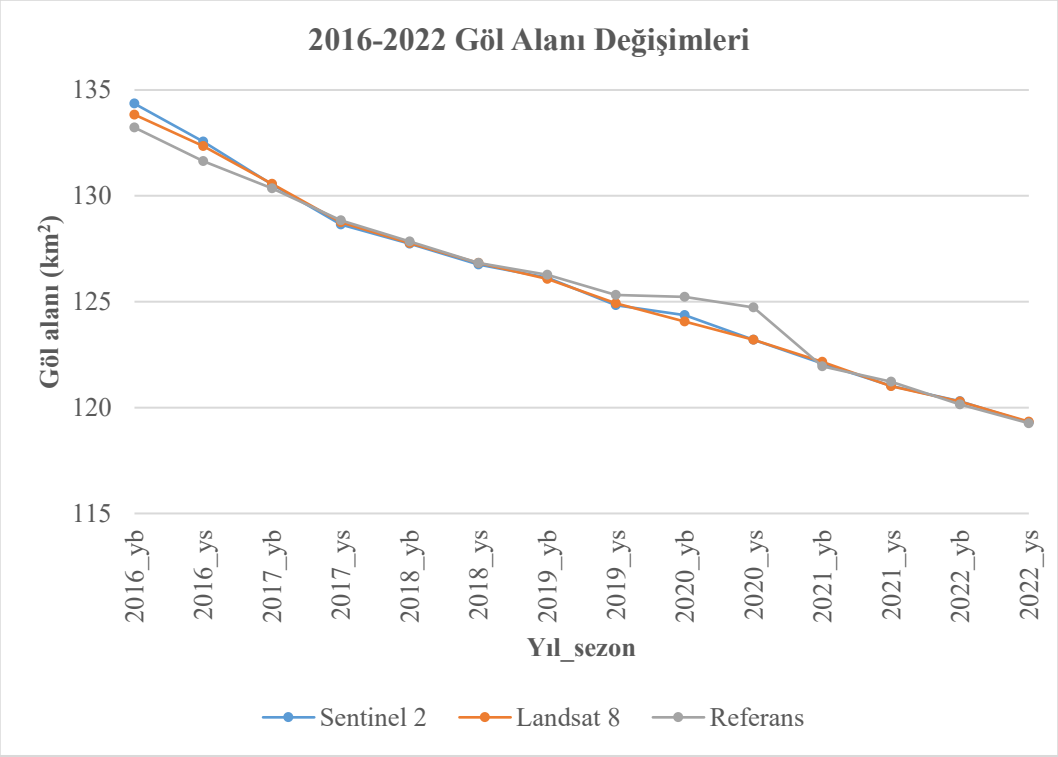
2015 yılında faaliyete başlayan Sentinel verileri Landsat verileri ile karşılaştırılmıştır. Sentinel ve Landsat uydu verileri ile referans alan verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.6 ve Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Landsat 5 ve 8 verilerinden elde edilen yıllara göre kıyı uzunluğu ve göl alanı değişimi (yaz başı)



Şekil 4.5 Landsat 5 ve 8 verilerinden elde edilen yıllara göre kıyı uzunluğu ve göl alanı değişimi (yaz sonu)



Şekil 4.6 2016-2022 yıllarındaki Sentinel-2, Landsat-8 verilerinden elde edilen alanlar ve referans alan verileri (yb: yaz başı, ys: yaz sonu)

Tablo 4.1 Sentinel-2 ve Landsat-8 verilerinden elde edilen alanların referans alan verisiyle karşılaştırılması

Yıl/ Sezon	Göl Alanı (km^2)			ΔA (km^2)		RMSE (km^2)		Korelasyon	
	Referans	Sentinel -2	Landsat -8	S2-ref	L8-ref	S2-ref	L8-ref	S2-ref	L8-ref
2016_yb	133,22	134,35	133,84	1,13	0,62	0,63	0,59	0,99	0,99
2016_ys	131,64	132,56	132,36	0,92	0,72				
2017_yb	130,35	130,54	130,56	0,19	0,21				
2017_ys	128,84	128,64	128,75	0,20	0,09				
2018_yb	127,84	127,73	127,77	0,11	0,07				
2018_ys	126,84	126,75	126,84	0,09	0,00				
2019_yb	126,28	126,14	126,08	0,14	0,20				
2019_ys	125,33	124,84	124,92	0,48	0,40				
2020_yb	125,23	124,37	124,07	0,86	1,16				
2020_ys	124,73	123,21	123,21	1,52	1,52				
2021_yb	121,95	122,08	122,15	0,13	0,20				
2021_ys	121,22	121,03	121,01	0,19	0,21				
2022_yb	120,15	120,30	120,29	0,15	0,14				
2022_ys	119,26	119,30	119,34	0,04	0,08				

Şekil 4.6 ve Tablo 4.1 incelendiğinde Landsat-8 ve Sentinel-2 verilerinden NTS yöntemiyle elde edilen alanlar arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bununla birlikte Sentinel-2 verilerine kıyasla daha düşük mekansal çözünürlüğe sahip olan Landsat-8 verileri referans verilerle daha uyumludur. Bu nedenle daha sonraki tüm süreçlerde yalnızca Landsat verileri kullanılmıştır. Bunun nedeni hem Landsat-8 verilerinin referans verileriyle daha uyumlu olması hem de aynı veri kaynağının kullanılmasının sonuçlar için daha tutarlı olmasıdır.

4.1.2 Sınıflandırma Doğruluk Analizi

NTS yöntemiyle göl alanı ve göl olmayan alanlar iki farklı sınıfa atandıktan sonra sınıfların gerçek dünya ile ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için TTA maskesine dayalı hata matrisi yaklaşımı ile doğruluk analizi yapılmıştır. Göl alanı ve çevresinden seçilen referans segmentler ile sınıflandırılmış segmentlerin başarısı karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu test etmek için yaygın kullanılan tahmin parametrelerinden üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve Kappa katsayısı kullanılmıştır. Landsat-5, Landsat-8 ve Sentinel-2 verileri için sınıflandırma doğrulukları sırasıyla Tablo 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.2 Landsat-5 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi

Veri Tarihi	Üretici Doğruluğu		Kullanıcı Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Uyum İndeksi (KIA)
	Su	Su olmayan	Su	Su olmayan		
30.06.1984	0,950	0,995	0,984	0,983	0,983	0,956
02.09.1984	0,961	0,996	0,987	0,987	0,987	0,966
17.06.1985	0,953	0,997	0,990	0,984	0,985	0,961
20.08.1985	0,970	0,995	0,985	0,991	0,989	0,970
04.06.1986	0,910	0,978	0,934	0,969	0,961	0,896
23.08.1986	0,969	0,997	0,990	0,989	0,990	0,972
07.06.1987	0,941	0,994	0,982	0,979	0,980	0,948
26.08.1987	0,932	0,996	0,989	0,976	0,979	0,946
01.06.1988	0,949	0,995	0,987	0,981	0,983	0,956
28.08.1988	0,887	0,998	0,992	0,964	0,971	0,918
27.05.1989	0,861	0,995	0,983	0,956	0,962	0,893
15.08.1989	0,914	0,993	0,975	0,974	0,974	0,927
03.09.1990	0,934	0,996	0,988	0,977	0,980	0,947
02.06.1991	0,945	0,999	0,997	0,975	0,982	0,957
21.08.1991	0,880	0,983	0,950	0,957	0,955	0,883
04.06.1992	0,810	0,995	0,986	0,927	0,941	0,850
08.09.1992	0,942	0,998	0,994	0,979	0,983	0,956
06.05.1993	0,943	0,969	0,923	0,978	0,962	0,907
26.08.1993	0,894	0,995	0,988	0,952	0,963	0,912
25.05.1994	0,860	0,998	0,995	0,951	0,961	0,897
29.08.1994	0,917	0,994	0,980	0,973	0,975	0,931
28.05.1995	0,902	0,998	0,992	0,966	0,972	0,926
01.09.1995	0,943	0,994	0,980	0,982	0,981	0,949
15.06.1996	0,905	0,997	0,989	0,970	0,974	0,928
03.09.1996	0,910	0,999	0,997	0,970	0,976	0,936
02.06.1997	0,883	0,998	0,993	0,960	0,968	0,913
06.09.1997	0,959	0,996	0,987	0,985	0,986	0,963
05.06.1998	0,920	0,993	0,980	0,972	0,974	0,931
24.08.1998	0,961	0,998	0,992	0,988	0,989	0,969
24.06.1999	0,944	0,995	0,983	0,983	0,983	0,952
12.09.1999	0,951	0,993	0,976	0,985	0,983	0,952
26.06.2000	0,924	0,990	0,968	0,976	0,974	0,929
29.08.2000	0,954	0,999	0,998	0,984	0,988	0,967
01.09.2001	0,919	0,980	0,938	0,973	0,965	0,905
16.06.2002	0,876	0,980	0,939	0,957	0,952	0,874
03.08.2002	0,911	0,996	0,987	0,971	0,974	0,931
22.08.2003	0,890	0,994	0,981	0,965	0,968	0,912
20.05.2004	0,885	0,997	0,991	0,961	0,968	0,914
24.08.2004	0,906	0,998	0,994	0,968	0,974	0,931
08.06.2005	0,936	0,995	0,986	0,978	0,980	0,947
12.09.2005	0,918	0,993	0,979	0,972	0,974	0,930
30.08.2006	0,950	0,993	0,980	0,983	0,982	0,953
14.06.2007	0,927	0,989	0,965	0,976	0,973	0,928
02.09.2007	0,936	0,997	0,990	0,978	0,981	0,950
04.09.2008	0,940	0,983	0,947	0,981	0,973	0,925
19.06.2009	0,955	0,995	0,985	0,983	0,984	0,959
22.08.2009	0,909	0,995	0,982	0,971	0,974	0,927
22.06.2010	0,959	0,993	0,979	0,987	0,985	0,959
25.08.2010	0,878	0,999	0,998	0,955	0,966	0,911
24.05.2011	0,823	0,994	0,981	0,938	0,948	0,861
28.08.2011	0,874	0,993	0,979	0,956	0,962	0,898

Tablo 4.3 Landsat-8 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi

Veri Tarihi	Üretici Doğruluğu		Kullanıcı Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Uyum İndeksi (KIA)
	Su	Su olmayan	Su	Su olmayan		
14.06.2013	0,918	0,953	0,864	0,973	0,944	0,853
02.09.2013	0,906	0,996	0,988	0,968	0,973	0,927
16.05.2014	0,929	0,994	0,981	0,976	0,977	0,939
20.08.2014	0,949	0,987	0,958	0,984	0,978	0,939
19.05.2015	0,958	0,996	0,986	0,986	0,986	0,963
22.06.2016	0,928	0,995	0,983	0,976	0,978	0,940
25.08.2016	0,943	0,994	0,981	0,980	0,980	0,948
24.05.2017	0,933	0,994	0,981	0,979	0,979	0,943
28.08.2017	0,933	0,994	0,981	0,977	0,978	0,942
27.05.2018	0,938	0,994	0,983	0,978	0,979	0,945
31.08.2018	0,935	0,993	0,978	0,978	0,978	0,941
15.06.2019	0,964	0,988	0,966	0,988	0,982	0,953
03.09.2019	0,971	0,994	0,981	0,990	0,988	0,968
16.05.2020	0,844	0,994	0,982	0,938	0,949	0,873
05.09.2020	0,931	0,995	0,984	0,978	0,979	0,943
19.05.2021	0,946	0,994	0,983	0,982	0,982	0,952
08.09.2021	0,938	0,996	0,986	0,980	0,982	0,949
22.05.2022	0,961	0,980	0,940	0,987	0,975	0,934
11.09.2022	0,912	0,994	0,981	0,972	0,974	0,928

Tablo 4.4 Sentinel-2 verileri için nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi

Veri Tarihi	Üretici Doğruluğu		Kullanıcı Doğruluğu		Genel Doğruluk	Kappa Uyum İndeksi (KIA)
	Su	Su olmayan	Su	Su olmayan		
24.06.2016	0,946	0,994	0,972	0,973	0,986	0,944
23.08.2016	0,906	0,995	0,991	0,969	0,977	0,936
10.05.2017	0,905	0,999	0,994	0,971	0,973	0,928
28.08.2017	0,934	0,993	0,989	0,977	0,983	0,920
04.06.2018	0,915	0,989	0,991	0,961	0,953	0,908
02.09.2018	0,949	0,981	0,984	0,983	0,991	0,912
09.06.2019	0,974	0,982	0,975	0,979	0,986	0,935
02.09.2019	0,814	0,989	0,976	0,932	0,969	0,989
14.05.2020	0,941	0,986	0,991	0,988	0,972	0,963
06.09.2020	0,897	0,988	0,982	0,978	0,981	0,941
19.05.2021	0,914	0,949	0,916	0,972	0,939	0,949
11.09.2021	0,951	0,967	0,912	0,943	0,945	0,958
29.05.2022	0,878	0,946	0,934	0,972	0,948	0,937
11.09.2022	0,832	0,939	0,959	0,974	0,974	0,961

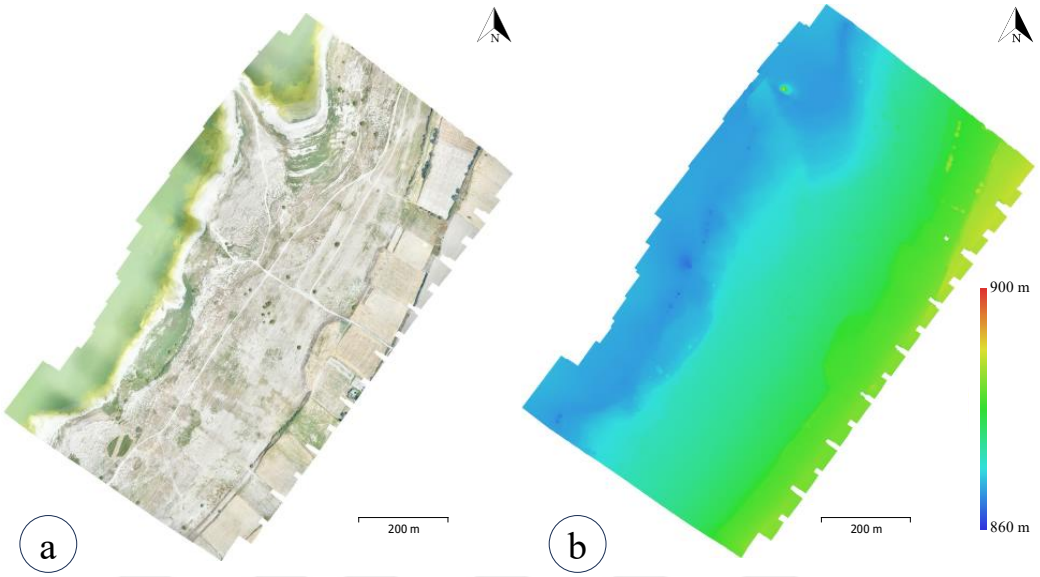
4.2 İHA Tabanlı SYM ve Ortomozaik Üretimi

Bu çalışma kapsamında SYY'lerin belirlenebilmesi için yüksek doğruluklu yükseklik verisi İHA tabanlı SYM'ler ile elde edilmiştir. Burdur Gölü kıyısında İHA uçuşu yapmak için uygun altı alan belirlenmiştir. Uçuş alanları gölün yakınlarında bulunan havaalanı ve halk plajı sınırlarından Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün belirlediği uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Gölün kuzeydoğu bölümünde Süleyman Demirel havaalanı olduğundan bu bölgede uçuş yapılmamıştır. Ayrıca İHA'ların uçuş süreleri kısıtlı olduğu için uçuş bölgeleri mümkün olduğunca çekilme mesafesinin az olduğu bölgelerden seçilmiştir. Uçuş bölgelerinin konumları Şekil 2.1'de verilmiştir. Tüm uçuşların aynı detay seviyelerini içermesi ve mümkün olduğunca aynı hassasiyete sahip olması için tüm bölgelerde uçuş yüksekliği 100 m olarak belirlenmiştir. Çalışmada DJI Mavic 2 Pro ile ızgara şeklinde uçuş yapılmıştır. Çalışmada her bölgede ortalama 390 fotoğraf olmak üzere toplamda 2340 fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların ortalama yer örneklem aralığı (YÖA) 2,3 cm'dir. Her uçuş öncesinde araziye uçuş bölgesine homojen dağılacak şekilde 6 YKN tesis edilmiş ve YKN koordinatları GPS ile ölçülmüştür (Şekil 3.7). Oluşturulacak modelin doğruluğunu artırmak ve test etmek için arazide farklı noktalarda kot okumaları da yapılmıştır (Şekil 3.9). Uçuşlar %80 boyuna ve %60 enine bindirme oranlarıyla yapılmıştır. Tüm fotoğraflar Agisoft Photoscan yazılımında SfM tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Üretilen seyrek nokta bulutu sayısı ortalama 412.000, yoğun nokta bulutu sayısı ise ortalama 431 milyondur. Üretilen SYM'nin çözünürlüğü ortalama 4,6 cm/pikseldir. Tüm uçuşlara ait parametreler ve sonuç ürünlerin özellikleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

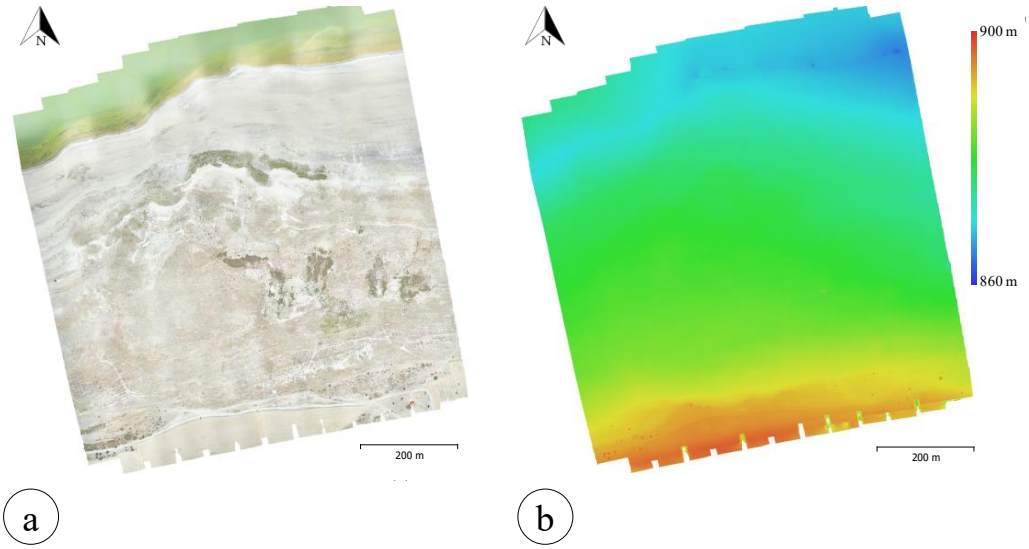
Tablo 4.5 Yapılan uçuşlara ait parametreler ve sonuç ürün özellikleri

SYM No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Uçuş Tarihi	26 Temmuz 2022	26 Temmuz 2022	27 Temmuz 2022	27 Temmuz 2022	28 Temmuz 2022	28 Temmuz 2022
Uçuş Saati	10:00	14:00	10:00	14:00	10:00	14:00
Uçuş Süresi	15 min 11 s	21 min 0 s	19 min 13 s	19 min 0 s	18 min 29 s	18 min 15 s
Planlanan Uçuş Boyutu	430m x 1191m	630m x 1054m	767m x 732m	669m x 798m	927m x 529m	679m x 782m
Uçuş Alanı (km^2)	0,688	0,809	0,646	0,645	0,6	0,661
Bindirme Oranları	80% - 60%	80% - 60%	80% - 60%	80% - 60%	80% - 60%	80% - 60%
Kamera Açısı	90°	90°	90°	90°	90°	90°
Planlanan Yükseklik (m)	100	100	100	100	100	100
Ortalama Yükseklik	83	80,8	80,3	82	84,4	82,8
Çekilen Fotoğraf Sayısı	384	454	385	363	370	384
Kullanılan Fotoğraf Sayısı	384	454	381	361	348	382
Eşleşen Fotoğraf Sayısı	384	454	381	361	338	377
Planlanan YÖA (cm/piksel)	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
Gerçekleşen YÖA (cm/piksel)	2,31	2,29	2,18	2,4	2,32	2,3
Kamera Lokasyon Hataları (XY/Z/Toplam Hata) (m)	3,99 / 5,14 / 6,50	5,44 / 2,50 / 5,99	4,15 / 9,42 / 10,30	4,31 / 3,65 / 5,65	3,59 / 5,54 / 6,60	3,53 / 2,27 / 4,20
YKN RMSE (XY/Z/Toplam Hata) (cm)	3,94 / 0,11 / 3,95	2,25 / 0,09 / 2,25	6,42 / 0,56 / 6,45	1,96 / 0,17 / 1,97	16,63 / 1,72 / 16,72	2,32 / 0,33 / 2,34
SYM Çözünürlüğü (cm/piksel)	4,61	4,58	4,36	4,8	4,65	4,6
Nokta Yoğunluğu (nokta/m^2)	470	476	526	434	463	472
Nokta Bulutu Sayısı	404 bin	498 bin	435 bin	385 bin	328 bin	423 bin
Yoğun Nokta Bulutu Sayısı	341 milyon	395 milyon	378 milyon	292 milyon	276 milyon	307 milyon

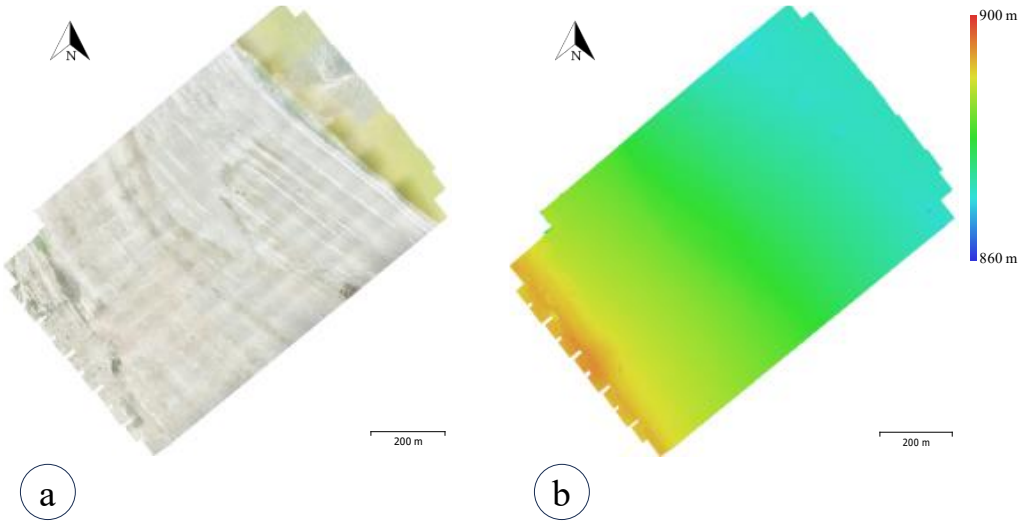
6 farklı İHA uçuşundan elde edilen fotoğrafların YKN'ler kullanılarak işlenmesi sonucunda üretilen ortomozaik ve SYM'ler Şekil 4.7 - 4.12'de verilmiştir.



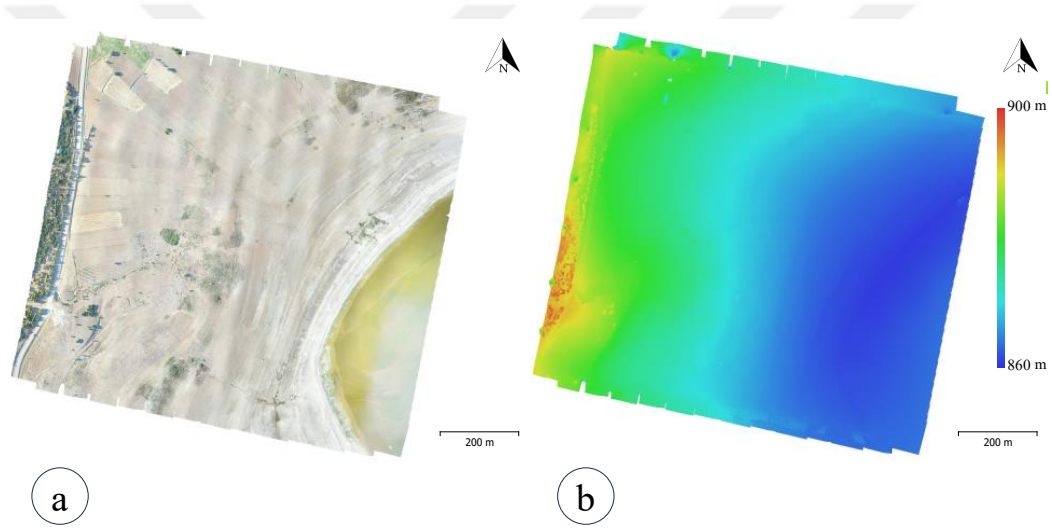
Şekil 4.7 1 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM



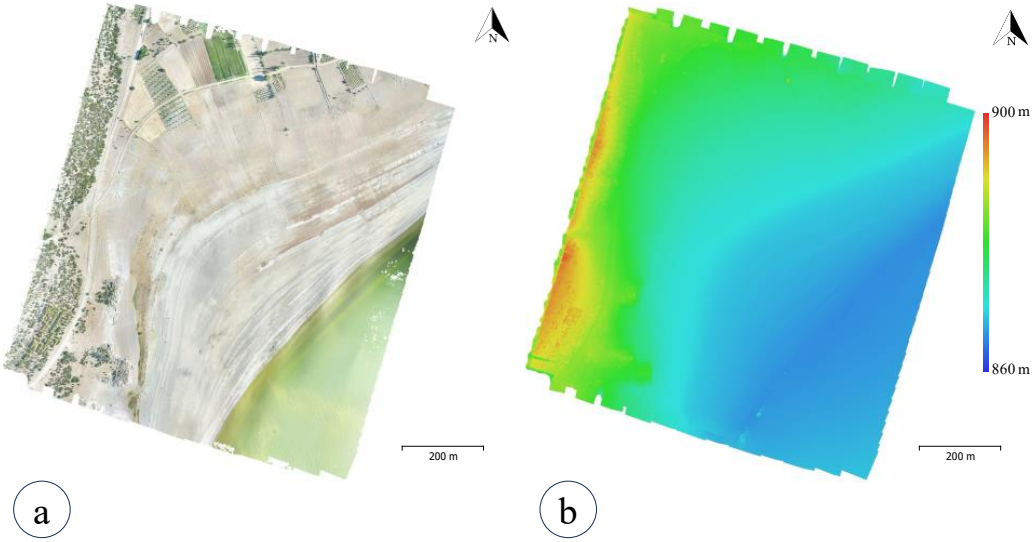
Şekil 4.8 2 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM



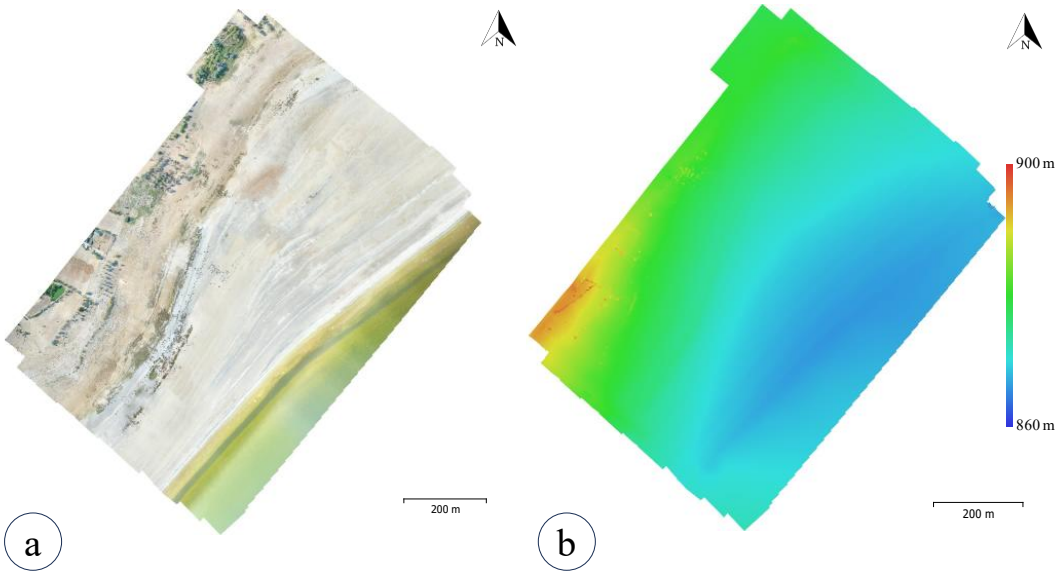
Şekil 4.9 3 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM



Şekil 4.10 4 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM



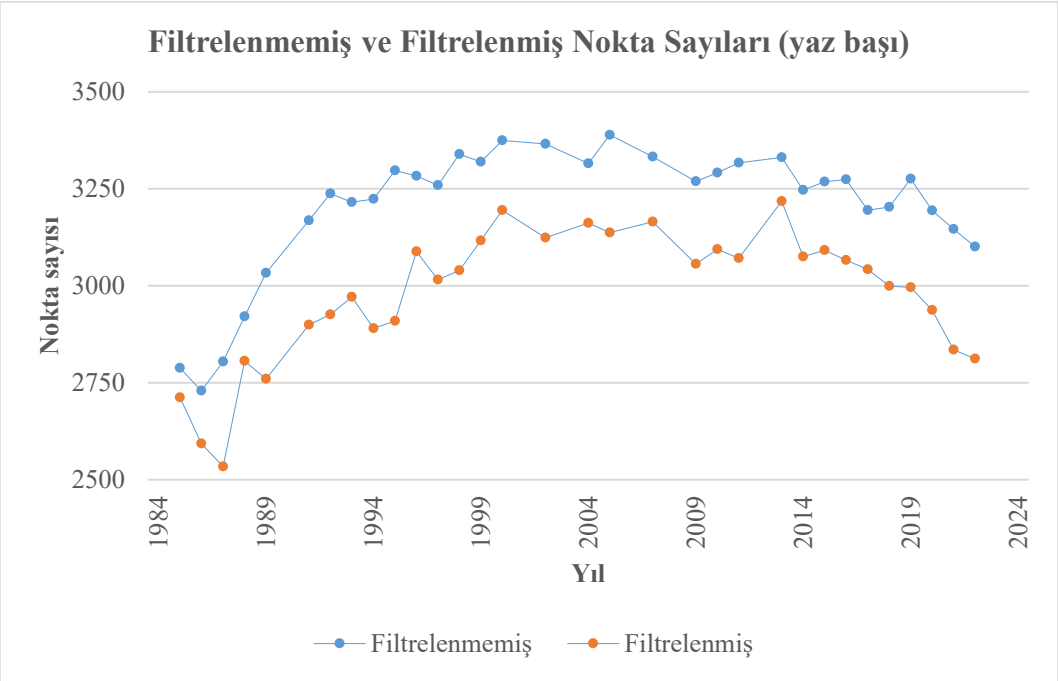
Şekil 4.11 5 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM



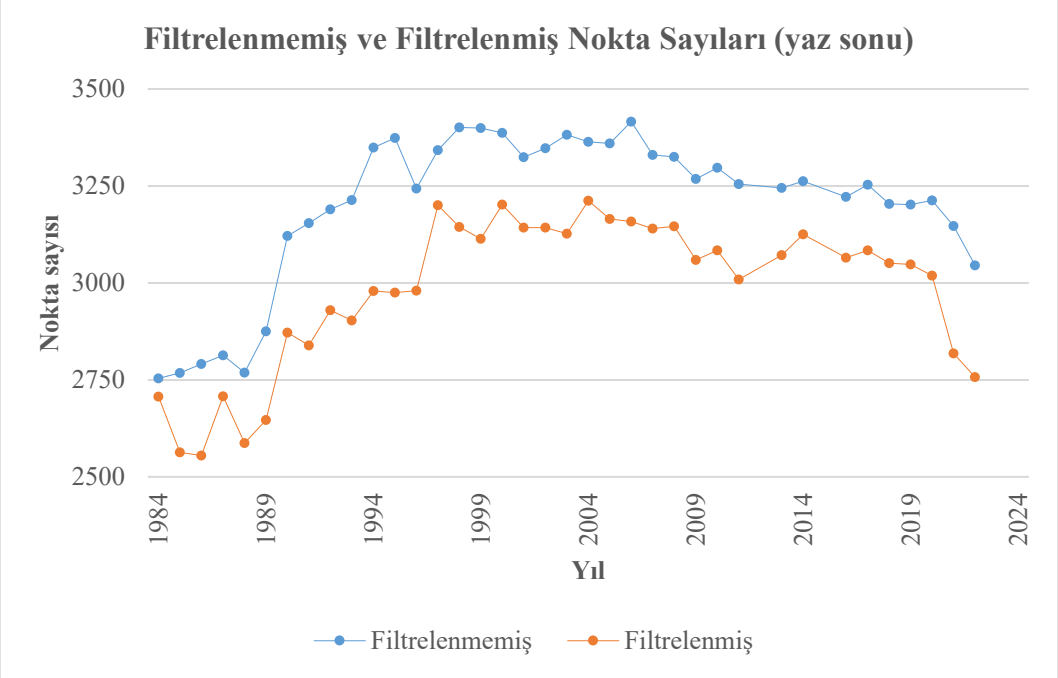
Şekil 4.12 6 numaralı İHA uçuşu verilerinden üretilen (a) ortomozaik ve (b) SYM

4.3 Kıyı Çizgileriyle SYM'lerin Entegresyonu ve Aykırı Değerlerin Elimine Edilmesi

Gölün kıyı şeritleri 1984 yılından 2022 yılına kadar yaz başı ve yaz sonu dönemlerdeki bulutsuz Landsat verilerinden NTS yöntemiyle belirlenmiştir. Üretilen tüm kıyı çizgileri üzerinde 2 metre aralıklarla noktalar üretilmiştir. Üretilen bu noktalara yüksek çözünürlüklü İHA tabanlı SYM üzerinden yükseklik bilgisi eklenmiştir. Kıyı çizgileri ve SYM'ler üst üste çakıştırılarak çizgi üzerindeki noktalara en yakın SYM verisi üzerindeki elipsoidal yükseklik o noktanın elipsoidal yüksekliği olarak belirlenmiştir (Şekil 3.10). Noktalardaki aykırı değerler IQR yöntemiyle elimine edilmiştir. Kıyı çizgileri üzerinde üretilen nokta sayıları ve IQR yöntemiyle filtrelenen nokta sayıları yaz başı ve yaz sonu verileri için sırasıyla Şekil 4.13 ve 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.13 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş nokta sayıları (yaz başı)



Şekil 4.14 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş nokta sayıları (yaz sonu)

Landsat ve SYM entegrasyonundan üretilen noktaların yaklaşık %7'lik kısmı IQR yöntemiyle elimine edilmiştir. Filtreleme işlemi yapılmadan önce her tarih için ortalama ~3200 nokta bulunmaktadır. Filtreleme işlemi yapıldıktan sonra her tarihteki veri kümesinde ortalama 2980 nokta kalmıştır.

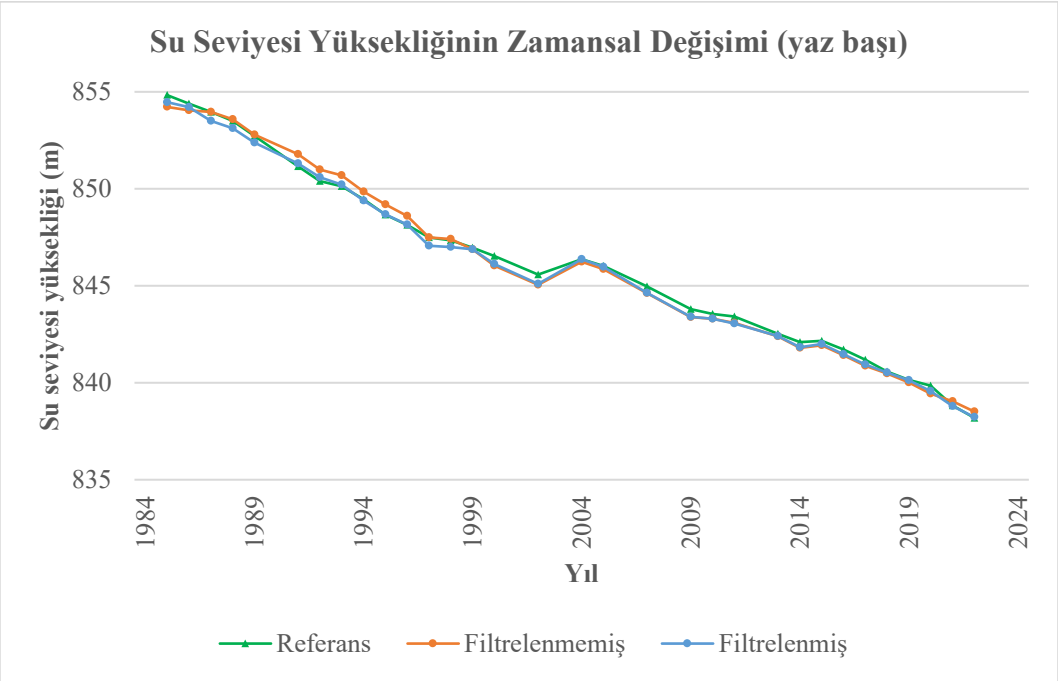
4.4 Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliklere Dönüştürülmesi

İHA üzerinde bulunan GNSS alıcı sistemleri sayesinde çekilen her fotoğraf çekim noktasının koordinat bilgisi kaydedilmektedir. Çekim merkezinin yükseklik koordinatları Dünya Jeodezik Sistemi-1984 (WGS84) referans elipsoidine göre kaydedilir. Dolayısıyla İHA görüntülerinden üretilecek tüm SYM'lerde de yükseklik değerleri WGS84 referans elipsoidindedir. Ancak dünyanın yerçekimi kuvvetinden dolayı suyun akış yönünü belirlemek için elipsoidal yükseklikler yerine ortometrik yüksekliklerin kullanılması gerekir. Ortometrik yüksekliği belirlemenin en kısa yolu GPS'ten elde edilen elipsoidal yüksekliklerden jeoit yüksekliklerini çıkarmaktır. Çalışmada İHA uçuşu yapılan bölgelerdeki yerel jeoit yükseklikleri (Şekil 2.9) HGM'den temin edilerek tüm elipsoidal yüksekliklerden çıkarılmıştır. Bundan sonraki tüm süreçlerde bahsedilecek yükseklikler ortometrik yüksekliklerdir.

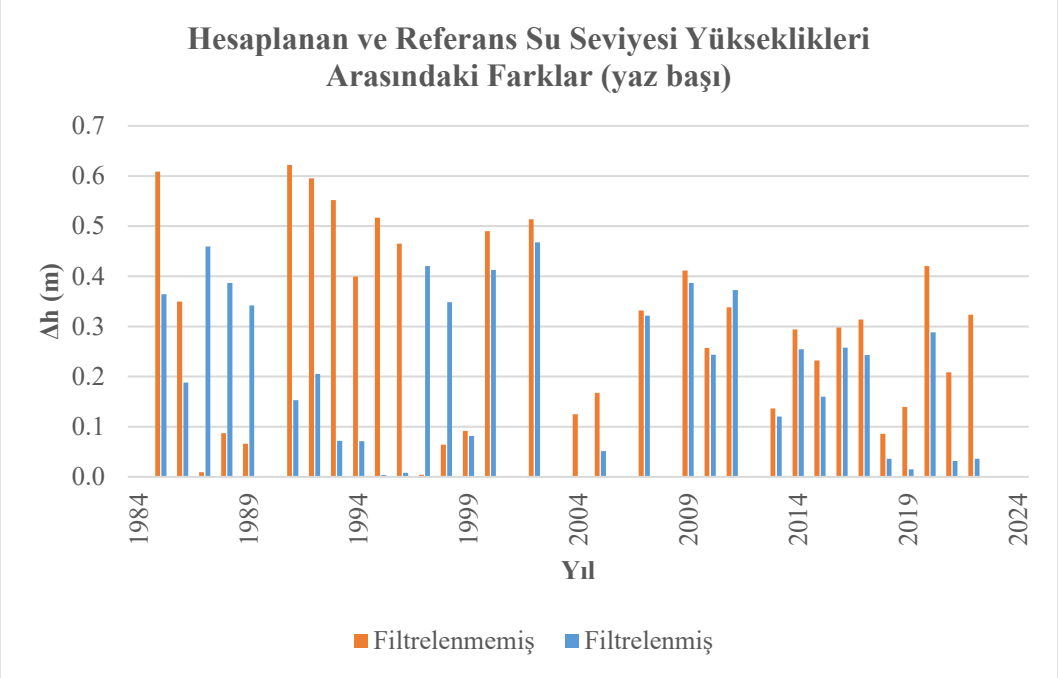
4.5 Yıllara Göre Su Yüzeyi Yüksekliği Değişimleri

Filtreleme işlemi yapıldıktan sonra geriye kalan tüm noktalar ortometrik yüksekliğe dönüştürülmüştür. Her tarih için üretilen noktaların ortalaması alınarak ortalama SYY'ler belirlenmiştir.

Gölün SYY'sindeki zamansal değişimleri incelemek için her yılın yaz başındaki ve yaz sonundaki SYY'ler belirlenmiştir. Belirlenen SYY'ler DSİ'den temin edilen referans yükseklikler ile karşılaştırılmıştır. Yaz başındaki hesaplanan SYY'ler ve referans yüksekliklerin karşılaştırılması Şekil 4.15 ve Tablo 4.6'da, filtrelenmiş ve filtrelenmemiş verilerin referans verileriyle karşılaştırılması Şekil 4.16'da verilmiştir. Yaz sonundaki hesaplanan SYY ve referans yüksekliklerin karşılaştırılması Şekil 4.17 ve Tablo 4.7'de, filtrelenmiş ve filtrelenmemiş verilerin referans verileriyle karşılaştırılması Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.15 Hesaplanan yükseklikler ve referans yükseklikler (yaz başı)



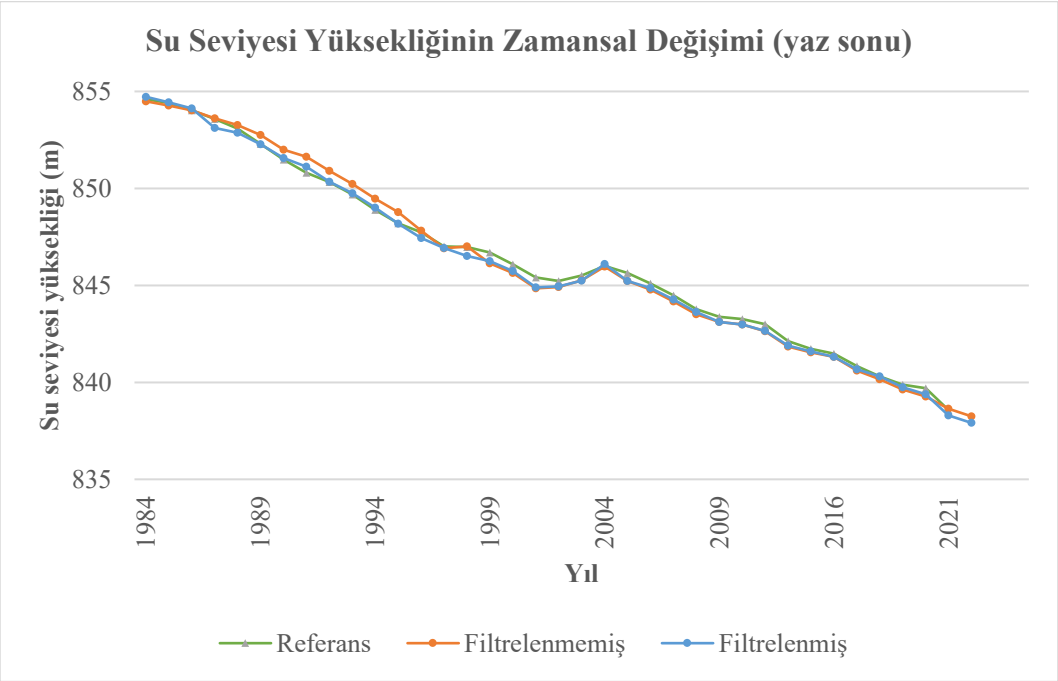
Şekil 4.16 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş verilerin referans verisiyle arasındaki yükseklik farkları (yaz başı)

Tablo 4.6 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz başı)

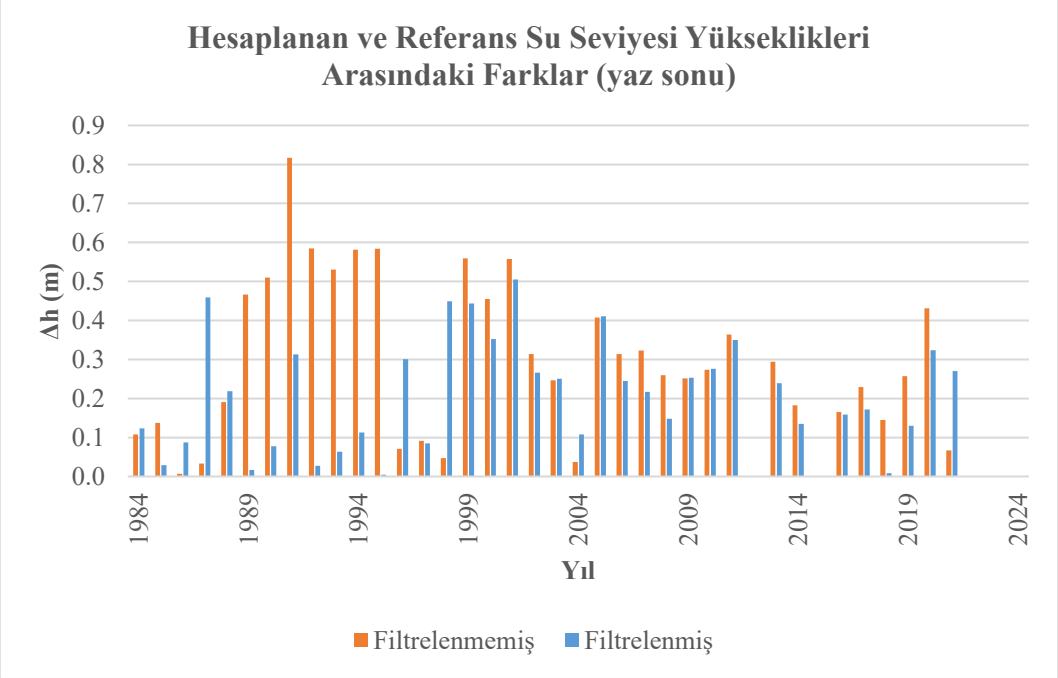
Referans Veri		Hesaplanan Veri			Δh (m)		Korelasyon	
Ölçüm Tarihi	H(m)	Veri Tarihi	Filtrelenmemiş H(m)	Filtrelenmiş H(m)	Filtrelenmemiş	Filtrelenmiş	Filtrelenmemiş	Filtrelenmiş
1.06.1985	854,83	17.06.1985	854,22	854,47	0,61	0,36	0,998	0,999
1.06.1986	854,40	4.06.1986	854,05	854,21	0,35	0,19		
1.06.1987	853,96	7.06.1987	853,97	853,50	0,01	0,46		
1.06.1988	853,50	1.06.1988	853,59	853,11	0,09	0,39		
1.06.1989	852,72	27.05.1989	852,79	852,38	0,07	0,34		
1.06.1991	851,16	2.06.1991	851,78	851,31	0,62	0,15		
1.06.1992	850,39	4.06.1992	850,99	850,60	0,60	0,21		
1.06.1993	850,14	6.05.1993	850,69	850,21	0,55	0,07		
1.06.1994	849,46	25.05.1994	849,86	849,39	0,40	0,07		
1.06.1995	848,67	28.05.1995	849,19	848,67	0,52	0,00		
1.06.1996	848,14	15.06.1996	848,60	848,15	0,46	0,01		
1.06.1997	847,49	2.06.1997	847,49	847,07	0,00	0,42		
1.06.1998	847,34	5.06.1998	847,40	846,99	0,06	0,35		
1.06.1999	846,97	24.06.1999	846,88	846,89	0,09	0,08		
1.06.2000	846,53	26.06.2000	846,04	846,12	0,49	0,41		
1.06.2002	845,57	16.06.2002	845,06	845,10	0,51	0,47		
1.06.2004	846,37	20.05.2004	846,25	846,37	0,12	0,00		
1.06.2005	846,02	8.06.2005	845,85	845,97	0,17	0,05		

Tablo 4.6 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz başı) (devamı)

Referans Veri		Hesaplanan Veri			Δh (m)		Korelasyon	
Ölçüm Tarihi	**H(m)**	**Veri Tarihi**	**Filtrelenmemiş H(m)**	**Filtrelenmiş H(m)**	**Filtrelenmemiş**	**Filtrelenmiş**	**Filtrelenmemiş**	**Filtrelenmiş**
1.06.2007	844,96	14.06.2007	844,63	844,64	0,33	0,32		
1.06.2009	843,79	19.06.2009	843,38	843,40	0,41	0,39		
1.06.2010	843,55	22.06.2010	843,29	843,31	0,26	0,24		
1.06.2011	843,42	24.05.2011	843,08	843,05	0,34	0,37		
1.06.2013	842,53	14.06.2013	842,39	842,41	0,14	0,12		
1.06.2014	842,09	16.05.2014	841,80	841,84	0,29	0,25		
1.06.2015	842,16	19.05.2015	841,93	842,00	0,23	0,16		
1.06.2016	841,72	22.06.2016	841,42	841,46	0,30	0,26		
1.06.2017	841,19	24.05.2017	840,88	840,95	0,31	0,24		
1.06.2018	840,57	27.05.2018	840,48	840,53	0,09	0,04		
1.06.2019	840,15	15.06.2019	840,01	840,13	0,14	0,02		
1.06.2020	839,85	16.05.2020	839,43	839,56	0,42	0,29		
1.06.2021	838,83	19.05.2021	839,04	838,80	0,21	0,03		
1.06.2022	838,19	22.05.2022	838,51	838,23	0,32	0,04		



Şekil 4.17 Hesaplanan yükseklikler ve referans yükseklikler (yaz sonu)



Şekil 4.18 Filtrelenmemiş ve filtrelenmiş verilerin referans verisiyle arasındaki yükseklik farkları (yaz sonu)

Tablo 4.7 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz sonu)

Referans Veri		Hesaplanan Veri			Δh (m)		Korelasyon	
Ölçüm Tarihi	**H(m)**	**Veri Tarihi**	**Filtrelenmemiş H(m)**	**Filtrelenmiş H(m)**	**Filtrelenmemiş**	**Filtrelenmiş**	**Filtrelenmemiş**	**Filtrelenmiş**
1.09.1984	854,60	2.09.1984	854,49	854,72	0,11	0,12	0,998	0,999
1.09.1985	854,41	20.08.1985	854,27	854,44	0,14	0,03		
1.09.1986	854,03	23.08.1986	854,02	854,12	0,01	0,09		
1.09.1987	853,58	26.08.1987	853,61	853,12	0,03	0,46		
1.09.1988	853,08	28.08.1988	853,27	852,86	0,19	0,22		
1.09.1989	852,29	15.08.1989	852,76	852,27	0,47	0,02		
1.09.1990	851,49	3.09.1990	852,00	851,57	0,51	0,08		
1.09.1991	850,81	21.08.1991	851,63	851,12	0,82	0,31		
1.09.1992	850,32	8.09.1992	850,90	850,35	0,58	0,03		
1.09.1993	849,69	26.08.1993	850,22	849,75	0,53	0,06		
1.09.1994	848,89	29.08.1994	849,47	849,00	0,58	0,11		
1.09.1995	848,19	1.09.1995	848,77	848,19	0,58	0,00		
1.09.1996	847,74	3.09.1996	847,81	847,44	0,07	0,30		
1.09.1997	847,01	6.09.1997	846,92	846,93	0,09	0,08		
1.09.1998	846,97	24.08.1998	847,02	846,52	0,05	0,45		
1.09.1999	846,69	12.09.1999	846,13	846,25	0,56	0,44		
1.09.2000	846,09	29.08.2000	845,64	845,74	0,45	0,35		
1.09.2001	845,40	1.09.2001	844,84	844,89	0,56	0,51		
1.09.2002	845,22	3.08.2002	844,91	844,95	0,31	0,27		
1.09.2003	845,50	22.08.2003	845,25	845,25	0,25	0,25		

Tablo 4.7 Yıllık SYY değişimleri ve doğruluk analizi (yaz sonu) (devamı)

Referans Veri		Hesaplanan Veri			Δh (m)		Korelasyon	
Ölçüm Tarihi	H(m)	Veri Tarihi	Filtrelenmemiş H(m)	Filtrelenmiş H(m)	Filtrelenmemiş	Filtrelenmiş	Filtrelenmemiş	Filtrelenmiş
1.09.2004	846,00	24.08.2004	845,96	846,11	0,04	0,11		
1.09.2005	845,64	12.09.2005	845,23	845,23	0,41	0,41		
1.09.2006	845,10	30.08.2006	844,79	844,86	0,31	0,24		
1.09.2007	844,49	2.09.2007	844,17	844,27	0,32	0,22		
1.09.2008	843,77	4.09.2008	843,51	843,62	0,26	0,15		
1.09.2009	843,37	22.08.2009	843,12	843,12	0,25	0,25		
1.09.2010	843,26	25.08.2010	842,99	842,98	0,27	0,28		
1.09.2011	843,00	28.08.2011	842,64	842,65	0,36	0,35		
1.09.2013	842,13	2.09.2013	841,84	841,89	0,29	0,24		
1.09.2014	841,73	20.08.2014	841,55	841,59	0,18	0,14		
1.09.2016	841,48	25.08.2016	841,31	841,32	0,17	0,16		
1.09.2017	840,84	28.08.2017	840,61	840,67	0,23	0,17		
1.09.2018	840,30	31.08.2018	840,15	840,31	0,15	0,01		
1.09.2019	839,88	3.09.2019	839,62	839,75	0,26	0,13		
1.09.2020	839,70	5.09.2020	839,27	839,38	0,43	0,32		
1.09.2021	838,57	8.09.2021	838,64	838,30	0,07	0,27		
1.09.2022	837,86	11.09.2022	838,25	837,91	0,39	0,05		

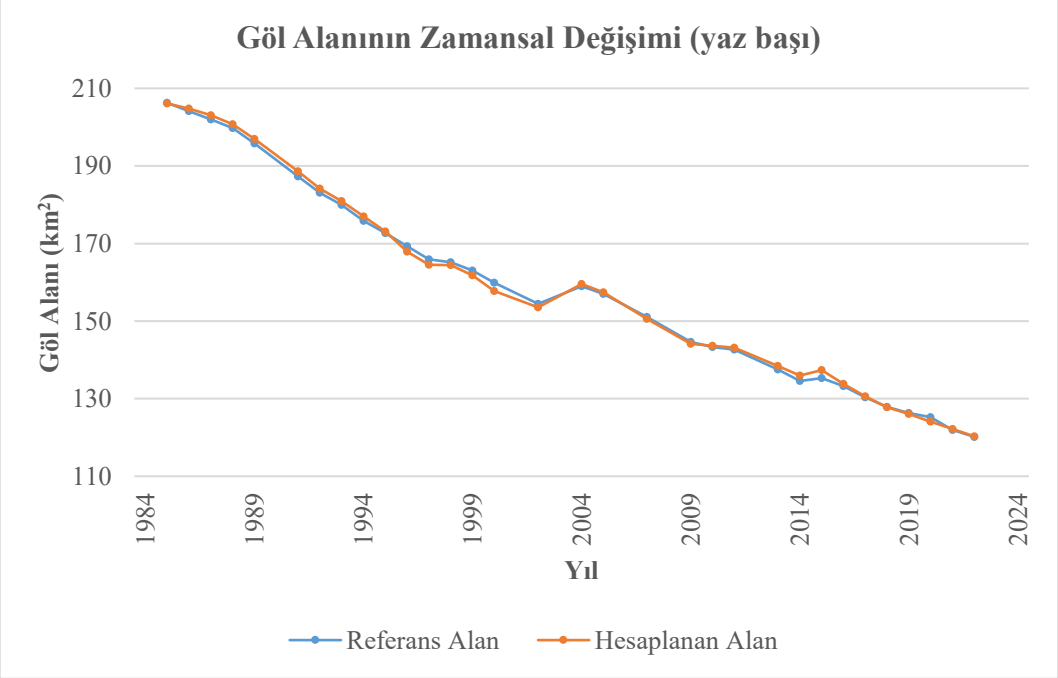
Şekil 4.15 ve 4.17 incelendiğinde 2002-2004 yılları arasında göl seviyesinde bir miktar artış görüşmüştür. Şekil 2.5 incelendiğinde 2002 ve 2004 yıllarındaki yıllık toplam yağış miktarının diğer yıllara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4.16 ve 4.18 incelendiğinde filtrelenmemiş verilerle referans veriler arasındaki farkın ortalama 30 cm ve filtrelenmiş verilerle referans veriler arasındaki farkın ortalama 21 cm olduğu görülmektedir. IQR yöntemiyle filtrelenen veriler ile SYY tahmini 9 cm iyileştirilmiştir.

Tablo 4.6 ve 4.7 incelendiğinde hem filtrelenmemiş verilerle referans veriler arasında hem de filtrelenmiş verilerle referans veriler arasında sırasıyla r=0,998 ve r=0,999 ile yüksek bir korelasyon elde edilmiştir.

4.6 Yıllara Göre Göl Alanı Değişimleri

Landsat-5 ve Landsat-8 verilerinden NTS yöntemiyle elde edilen alanlar DSİ tarafından SYY kotundan geçirilen eş yükselti eğrisi yardımıyla elde edilen alanlarla karşılaştırılmıştır. Yaz başı verilerinden, önerilen yöntemle elde edilen alanlar ile DSİ tarafından hesaplanan alanlar Şekil 4.19 ve Tablo 4.8'de verilmiştir. Yaz sonu verilerinden, önerilen yöntemle elde edilen alanlar ile DSİ tarafından hesaplanan alanlar ise Şekil 4.20 ve Tablo 4.9'da verilmiştir.



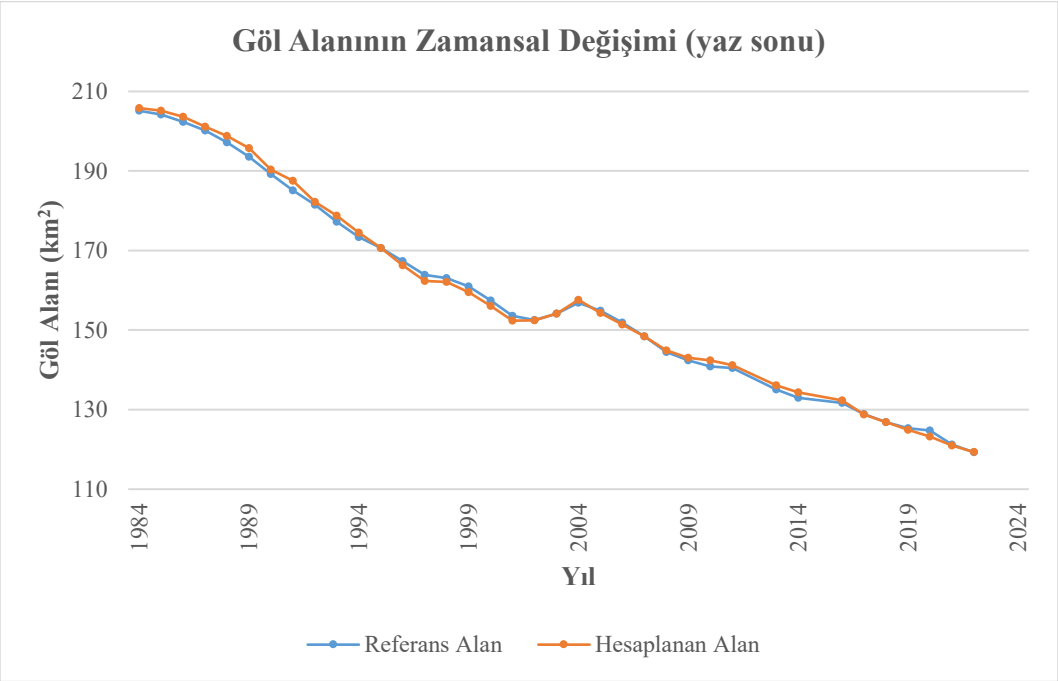
Şekil 4.19 Yıllara göre göl alanının değişimi (yaz başı)

Tablo 4.8 Yıllara göre göl alanı değişimi ve doğruluk analizi (yaz başı)

Veri Tarihi	Referans Alan (km^2)	Hesaplanan Alan (km^2)	ΔA (km^2)	Korelasyon
17.06.1985	206,268	206,103	0,165	0,999
4.06.1986	204,170	204,825	0,655	
7.06.1987	202,024	203,048	1,024	
1.06.1988	199,736	200,726	0,990	
27.05.1989	195,810	196,938	1,128	
2.06.1991	187,273	188,652	1,379	
4.06.1992	183,100	184,184	1,084	
6.05.1993	179,922	180,906	0,984	
25.05.1994	175,853	176,982	1,129	
28.05.1995	172,655	173,108	0,453	
15.06.1996	169,270	167,940	1,330	
2.06.1997	165,940	164,532	1,408	
5.06.1998	165,207	164,447	0,760	
24.06.1999	163,071	161,756	1,315	
26.06.2000	159,880	157,756	2,124	
16.06.2002	154,489	153,524	0,965	
20.05.2004	158,981	159,565	0,584	
8.06.2005	157,015	157,399	0,384	
14.06.2007	151,066	150,561	0,505	
19.06.2009	144,593	144,144	0,449	
22.06.2010	143,337	143,658	0,321	
24.05.2011	142,657	143,140	0,483	
14.06.2013	137,533	138,445	0,912	
16.05.2014	134,544	135,956	1,412	
19.05.2015	135,291	137,357	2,066	
22.06.2016	133,225	133,836	0,611	
24.05.2017	130,347	130,559	0,212	
27.05.2018	127,838	127,771	0,067	
15.06.2019	126,277	126,075	0,202	
16.05.2020	125,226	124,066	1,160	
19.05.2021	121.951	122.154	0.203	
22.05.2022	120.148	120.289	0.141	

Tablo 4.9 Yıllara göre göl alanı değişimi ve doğruluk analizi (yaz sonu)

Veri Tarihi	Referans Alan (km^2)	Hesaplanan Alan (km^2)	ΔA (km^2)	Korelasyon
2.09.1984	205,145	205,813	0,668	0.,999
20.08.1985	204,219	205,124	0,905	
23.08.1986	202,365	203,615	1,250	
26.08.1987	200,138	201,112	0,975	
28.08.1988	197,229	198,800	1,571	
15.08.1989	193,593	195,707	2,114	
3.09.1990	189,221	190,337	1,116	
21.08.1991	185,160	187,498	2,338	
8.09.1992	181,462	182,208	0,746	
26.08.1993	177,230	178,730	1,500	
29.08.1994	173,408	174,510	1,102	
1.09.1995	170,613	170,662	0,049	
3.09.1996	167,344	166,309	1,035	
6.09.1997	163,864	162,374	1,490	
24.08.1998	163,071	162,068	1,003	
12.09.1999	160,948	159,503	1,445	
29.08.2000	157,408	156,044	1,364	
1.09.2001	153,535	152,395	1,140	
3.08.2002	152,525	152,430	0,095	
22.08.2003	154,096	154,139	0,043	
24.08.2004	156,902	157,577	0,675	
12.09.2005	154,882	154,321	0,561	
30.08.2006	151,852	151,368	0,483	
2.09.2007	148,436	148,390	0,046	
4.09.2008	144,489	144,849	0,360	
22.08.2009	142,395	143,045	0,650	
25.08.2010	140,877	142,366	1,489	
28.08.2011	140,459	141,139	0,680	
2.09.2013	135,042	136,071	1,029	
20.08.2014	132,938	134,301	1,363	
25.08.2016	131,642	132,355	0,713	
28.08.2017	128,841	128,750	0,091	
31.08.2018	126,835	126,836	0,001	
3.09.2019	125,325	124,920	0,405	
5.09.2020	124,733	123,206	1,527	
8.09.2021	121,218	121,006	0,212	
11.09.2022	119,262	119,335	0,073	

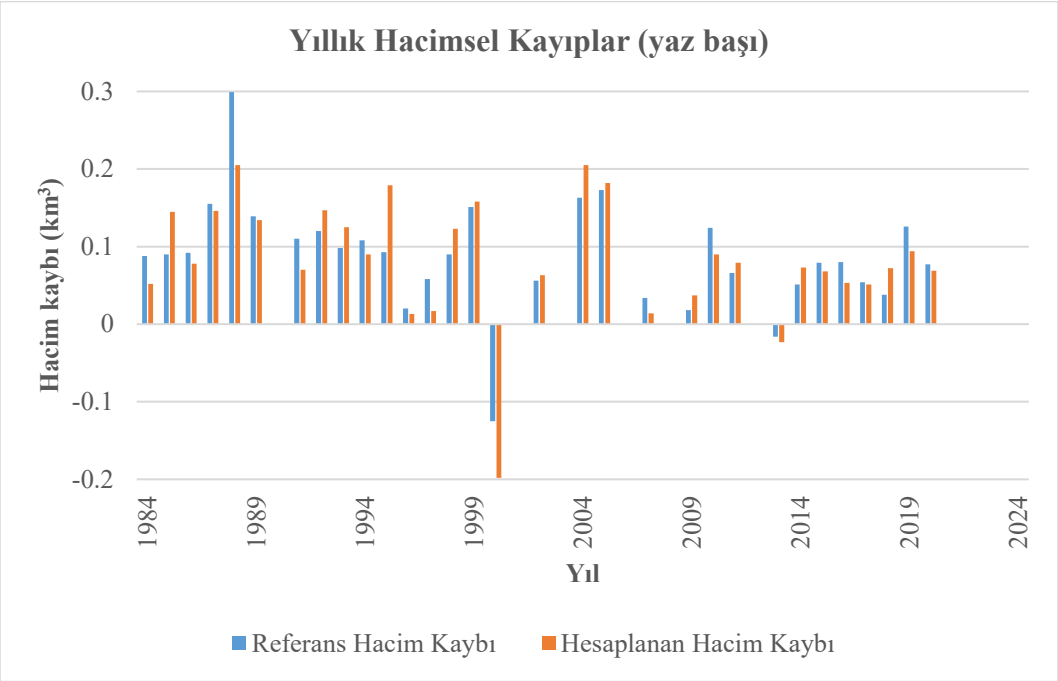


Şekil 4.20 Yıllara göre göl alanının değişimi (yaz sonu)

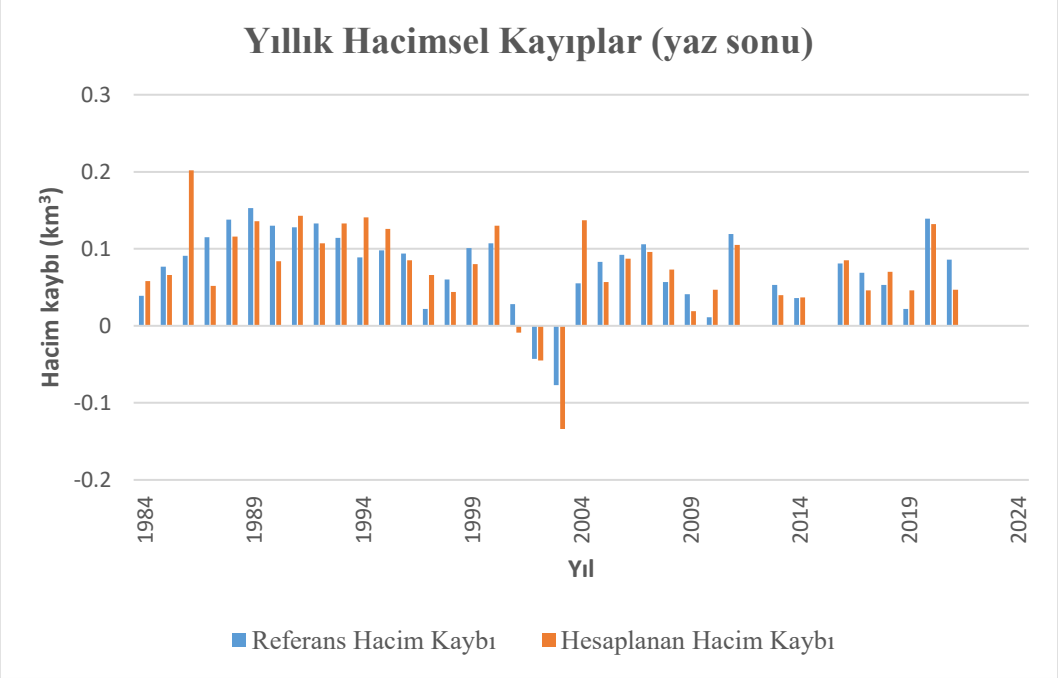
Şekil 4.19 ve 4.20 incelendiğinde 39 yıllık süreçte göl alanının 206 km^2'den 120 km^2'ye düştüğü görülmektedir. Referans alan verileriyle önerilen yöntemle hesaplanan alan verileri arasında her iki sezonda da çok yüksek korelasyon (r=0,999) bulunmaktadır.

4.7 Yıllara Göre Hacimsel Değişimler

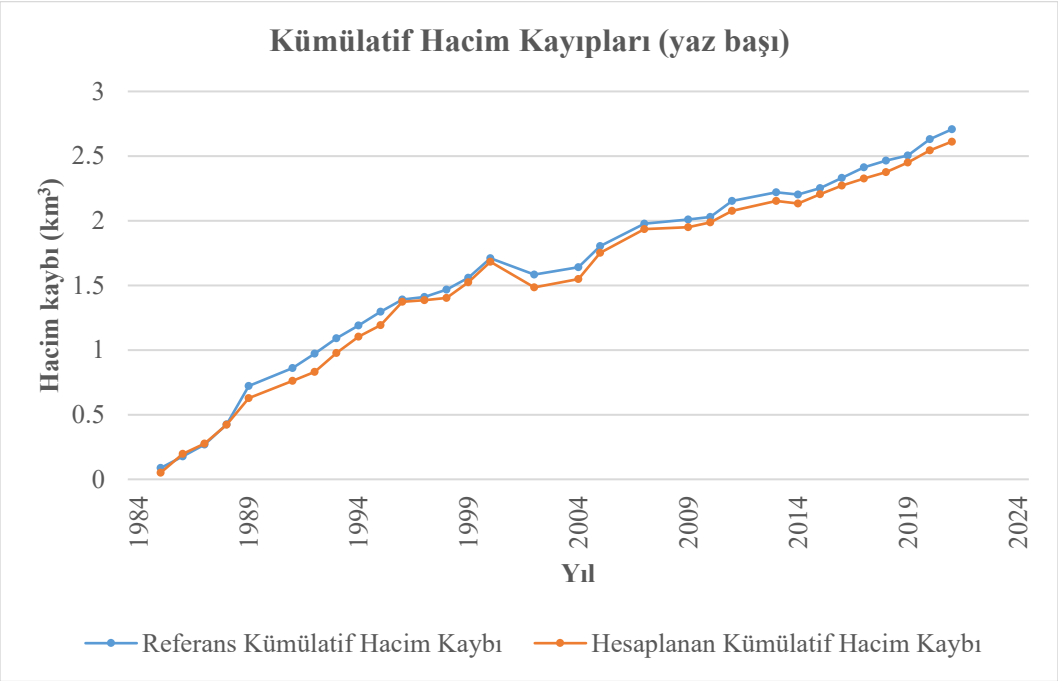
Göl hacmindeki zamansal değişiklikleri belirlemek için hem kısa vadeli hem de uzun vadeli hacimsel değişiklikler analiz edilmiştir. Landsat uydu verilerinden NTS yöntemiyle belirlenen göl alanları Landsat-SYM entegrasyonu ile belirlenen SYY'ler ile değerlendirilerek göl hacmindeki kayıplar belirlenmiştir. Yaz başı ve yaz sonu verileri kullanılarak bir önceki yıla göre gerçekleşen hacim kayıpları sırasıyla Şekil 4.21 ve 4.22'de verilmiştir. 1984-2022 yılları arasında meydana gelen kümülatif hacim kayıpları yaz başı ve yaz sonu verileri için sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24'te verilmiştir. 1984-2022 arasındaki yıllık hacim kayıpları, kümülatif hacim kayıpları, hacim kayıplarının referans verileriyle karşılaştırılması ve doğruluk analizi yaz başı ve yaz sonu verileri için sırasıyla Tablo 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.



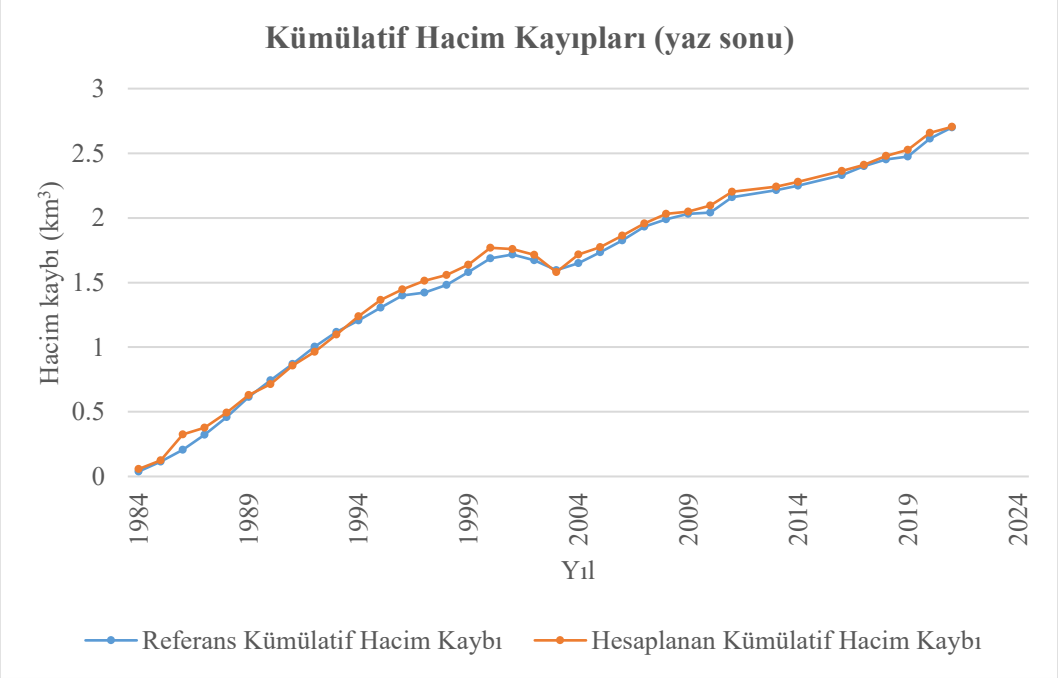
Şekil 4.21 Yıllara göre hacim kaybı (yaz başı)



Şekil 4.22 Yıllara göre hacim kaybı (yaz sonu)



Şekil 4.23 1984-2022 yılları arasındaki kümülatif hacim kaybı (yaz başı)



Şekil 4.24 1984-2022 yılları arasındaki kümülatif hacim kaybı (yaz sonu)

Tablo 4.10 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz başı)

Tarih	Referans Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Hacim Kaybı (km^3)	Referans Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	ΔV (km^3)	Korelasyon (Yıllık hacim kaybı)	Korelasyon (Kümülatif hacim kaybı)
17.06.1985	0,088	0,052	0,088	0,052	0,036	0,886	0,999
4.06.1986	0,090	0,145	0,177	0,197	0,055		
7.06.1987	0,092	0,078	0,270	0,275	0,014		
1.06.1988	0,155	0,146	0,424	0,422	0,009		
27.05.1989	0,299	0,205	0,723	0,627	0,094		
2.06.1991	0,139	0,134	0,861	0,761	0,005		
4.06.1992	0,110	0,070	0,971	0,831	0,040		
6.05.1993	0,120	0,147	1,091	0,978	0,027		
25.05.1994	0,098	0,125	1,189	1,103	0,027		
28.05.1995	0,108	0,090	1,297	1,193	0,018		
15.06.1996	0,093	0,179	1,390	1,372	0,086		
2.06.1997	0,020	0,013	1,410	1,385	0,007		
5.06.1998	0,058	0,017	1,468	1,402	0,041		
24.06.1999	0,090	0,123	1,558	1,525	0,033		
26.06.2000	0,151	0,158	1,709	1,683	0,007		
16.06.2002	-0,125	-0,198	1,584	1,485	0,073		
20.05.2004	0,056	0,063	1,640	1,548	0,007		

Tablo 4.10 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz başı) (devamı)

Tarih	Referans Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Hacim Kaybı (km^3)	Referans Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	ΔV (km^3)	Korelasyon (Yıllık hacim kaybı)	Korelasyon (Kümülatif hacim kaybı)
8.06.2005	0,163	0,205	1,803	1,753	0,042		
14.06.2007	0,173	0,182	1,976	1,935	0,009		
19.06.2009	0,034	0,014	2,010	1,949	0,020		
22.06.2010	0,018	0,037	2,029	1,986	0,019		
24.05.2011	0,124	0,090	2,153	2,076	0,034		
14.06.2013	0,066	0,079	2,219	2,154	0,013		
16.05.2014	-0,016	-0,023	2,202	2,132	0,007		
19.05.2015	0,051	0,073	2,253	2,205	0,022		
22.06.2016	0,079	0,068	2,332	2,273	0,011		
24.05.2017	0,080	0,053	2,412	2,326	0,027		
27.05.2018	0,054	0,051	2,466	2,377	0,003		
15.06.2019	0,038	0,072	2,504	2,449	0,034		
16.05.2020	0,126	0,094	2,630	2,543	0,032		
19.05.2021	0,077	0,069	2,707	2,612	0,008		
22.05.2022							

Tablo 4.11 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz sonu)

Tarih	Referans Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Hacim Kaybı (km^3)	Referans Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	ΔV (km^3)	Korelasyon (Yıllık hacim kaybı)	Korelasyon (Kümülatif hacim kaybı)
2.09.1984	0,039	0,058	0,039	0,058	0,019	0,802	0,999
20.08.1985	0,077	0,066	0,116	0,124	0,011		
23.08.1986	0,091	0,202	0,207	0,326	0,111		
26.08.1987	0,115	0,052	0,322	0,378	0,063		
28.08.1988	0,138	0,116	0,460	0,494	0,022		
15.08.1989	0,153	0,136	0,614	0,630	0,017		
3.09.1990	0,130	0,084	0,743	0,714	0,046		
21.08.1991	0,128	0,143	0,871	0,857	0,015		
8.09.1992	0,133	0,107	1,004	0,964	0,026		
26.08.1993	0,114	0,133	1,118	1,097	0,019		
29.08.1994	0,089	0,141	1,207	1,238	0,052		
1.09.1995	0,098	0,126	1,305	1,364	0,028		
3.09.1996	0,094	0,085	1,400	1,448	0,009		
6.09.1997	0,022	0,066	1,421	1,514	0,044		
24.08.1998	0,060	0,044	1,481	1,558	0,016		
12.09.1999	0,101	0,080	1,581	1,638	0,021		
29.08.2000	0,107	0,130	1,688	1,768	0,023		
1.09.2001	0,028	-0,009	1,716	1,759	0,037		

Tablo 4.11 Yıllara göre hacimsel değişim, kümülatif hacim değişimi ve doğruluk analizi (yaz sonu) (devamı)

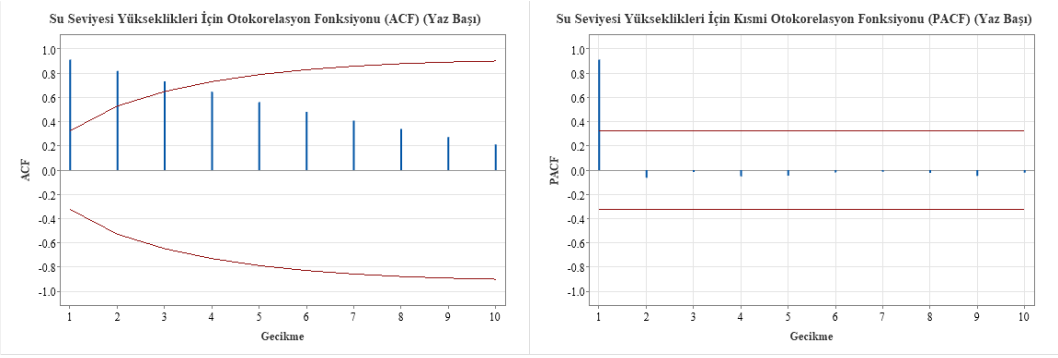
Tarih	Referans Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Hacim Kaybı (km^3)	Referans Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	Hesaplanan Kümülatif Hacim Kaybı (km^3)	ΔV (km^3)	Korelasyon (Yıllık hacim kaybı)	Korelasyon (Kümülatif hacim kaybı)
3.08.2002	-0,043	-0,045	1,673	1,714	0,002		
22.08.2003	-0,077	-0,134	1,596	1,580	0,057		
24.08.2004	0,055	0,137	1,651	1,717	0,082		
12.09.2005	0,083	0,057	1,735	1,774	0,026		
30.08.2006	0,092	0,087	1,826	1,862	0,005		
2.09.2007	0,106	0,096	1,932	1,957	0,010		
4.09.2008	0,057	0,073	1,989	2,030	0,016		
22.08.2009	0,041	0,019	2,030	2,049	0,022		
25.08.2010	0,011	0,047	2,042	2,096	0,036		
28.08.2011	0,119	0,105	2,161	2,201	0,014		
2.09.2013	0,053	0,040	2,214	2,241	0,013		
20.08.2014	0,036	0,037	2,250	2,278	0,001		
25.08.2016	0,081	0,085	2,331	2,363	0,004		
28.08.2017	0,069	0,046	2,400	2,409	0,023		
31.08.2018	0,053	0,070	2,453	2,479	0,017		
3.09.2019	0,022	0,046	2,475	2,526	0,024		
5.09.2020	0,139	0,132	2,614	2,657	0,007		
8.09.2021	0,086	0,047	2,700	2,704	0,039		
11.09.2022							

Şekil 4.21 ve 4.22 incelendiğinde 2002-2004 yılları arasında hacim artışı yaşanmıştır. Diğer yıllarda ise göl rezervinde sürekli bir hacim kaybı meydana gelmiştir. Şekil 4.23 ve 4.24 incelendiğinde 39 yıllık süreçte yaklaşık 2,7 km^3'lük hacim kaybı olduğu görülmektedir. Tablo 4.10 ve 4.11 incelendiğinde yıllık hacim kayıpları yaz başı ve yaz sonu verileri için sırasıyla r=0,886 ve r=0,802'lik bir korelasyonla belirlenirken kümülatif hacim kayıplarında her iki dönemde de r=0,999'luk yüksek bir korelasyon ile elde edilmiştir.

4.8 ARIMA Modeli ile Gelecek Yıllardaki Su Yüzeyi Yüksekliği ve Alan Tahmini

Burdur Gölü'nün SYY ve alanı 1984-2022 yıllarında alçalan bir trende sahiptir (Şekil 4.15, 4.17, 4.19, 4.20). ARIMA modelleri veri tarihlerinin döngüsel olmadığı durumlarda yani mevsimselliğe bağlı olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında 1984-2022 yılları arasında hesaplanan yaz başı ve yaz sonundaki SYY ve alanlar kendi içlerinde değerlendirilerek gelecek yıllara ilişkin tahminler yapılmıştır.

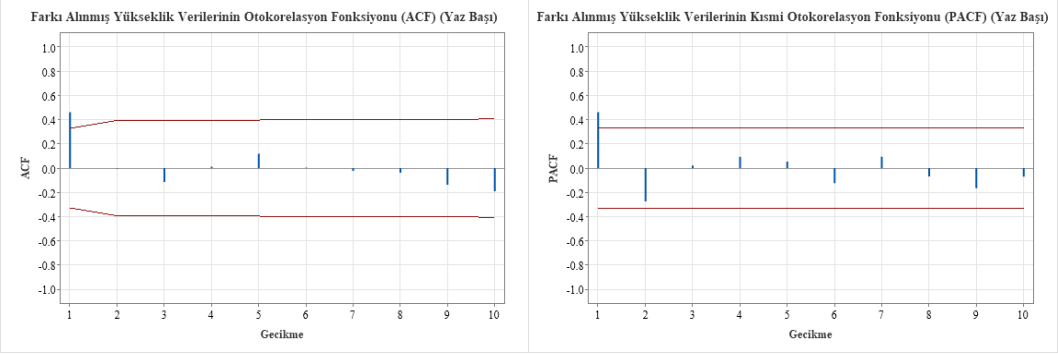
Zaman serisi analizi için öncelikle veri setinin belirli bir trende sahip olup olmadığı incelenmektedir. Önceki başlıklarda detaylı bir şekilde anlatıldığı üzere hem SYY'ler hem de alansal değişimler azalan trende sahiptir. Trende sahip olan veriler için yapılması gereken bir diğer analiz ise serinin durağan olup olmadığının test edilmesidir. Serinin durağan olmaması durumunda seride yapılacak bir gelecek tahmininde rastlantısal değerler fazla olacaktır veya seri geçmiş değerlerden etkilenmeyecektir. Gelecek tahmini yapılacak veri setinin durağan olması için veri setindeki değerlerin ortalama etrafında yoğunlaşması gerekir. Bu çalışmada serinin durağan olup olmadığını belirlemek için ACF ve PACF grafikleri incelenmiştir. Yaz başındaki SYY'lerin ACF ve PACF grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.25 SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı)

Şekil 4.25(a) incelendiğinde gecikmelerdeki azalmalar yavaş ve sabit bir şekilde olduğu için burada durağanlıktan söz edilemez. Bu durumda serinin bir kez farkının (d parametresi) alınması gerekir. Farkı alınan değerlerin ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.26'da verilmiştir.

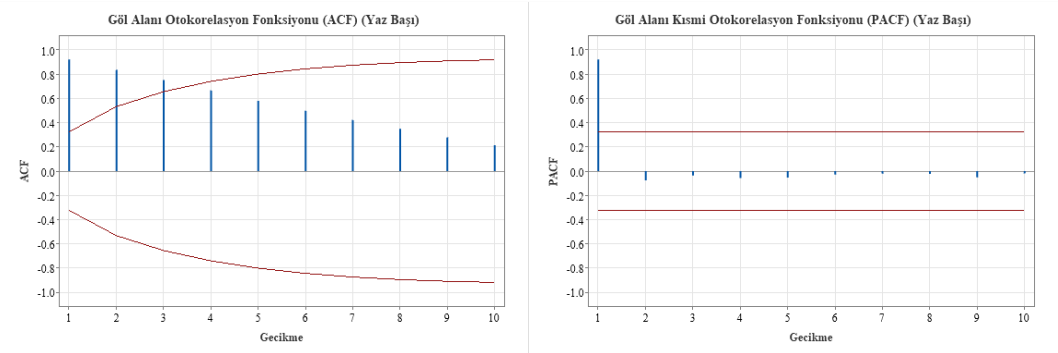


(a) (b)

Şekil 4.26 1 kez farkı alınmış SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı)

Şekil 4.26(a) incelendiğinde grafikteki değişimler keskin bir şekilde olmaktadır yani burada durağanlık sağlanmıştır. Durağanlık 1. gecikme ile sağlandığı için d=1 alınmıştır. AR modelinin p parametresi belirlenirken PACF grafiğindeki anlamlı ilişkilerin nerede bittiğine bakılması gerekir. Şekil 4.26(b) incelendiğinde ilk verinin anlamlı, ikinci verinin ise anlamsız ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla son anlamlı terim 1. terim olduğu için p parametresi de 1 alınmıştır. MA modelinin q parametresini belirlemek için ACF grafiğindeki anlamlı ilişkilerin nerede bittiğine bakılması gerekmektedir. Şekil 4.26(a) incelendiğinde ilk verinin anlamlı, ikinci verinin ise anlamsız ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla son anlamlı terim 1. terim olduğu için q parametresi de 1 alınmıştır.

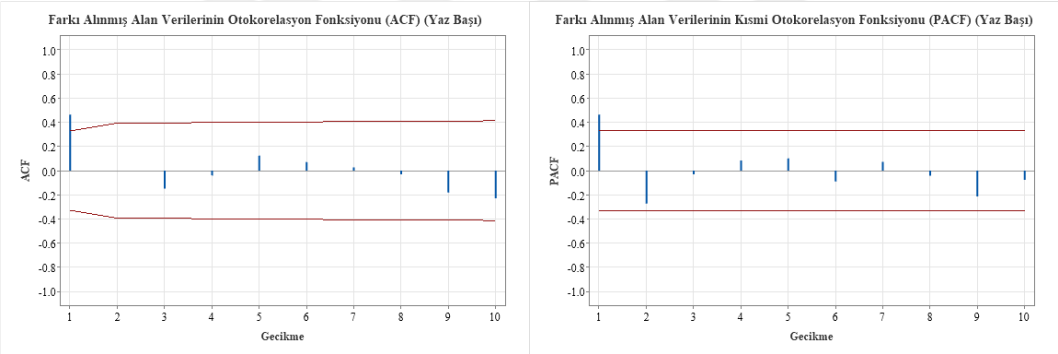
Yukarıdaki işlem adımları alan verileri için de uygulanmıştır. Yaz başındaki alan verilerinin ACF ve PACF grafikleri sırasıyla Şekil 4.27'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.27 Göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı)

Şekil 4.27(a) incelendiğinde gecikmelerdeki azalmalar yavaş ve sabit bir şekilde olduğu için burada durağanlıktan söz edilemez. Serinin bir kez farkı alınarak oluşturulan ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.28'de verilmiştir.



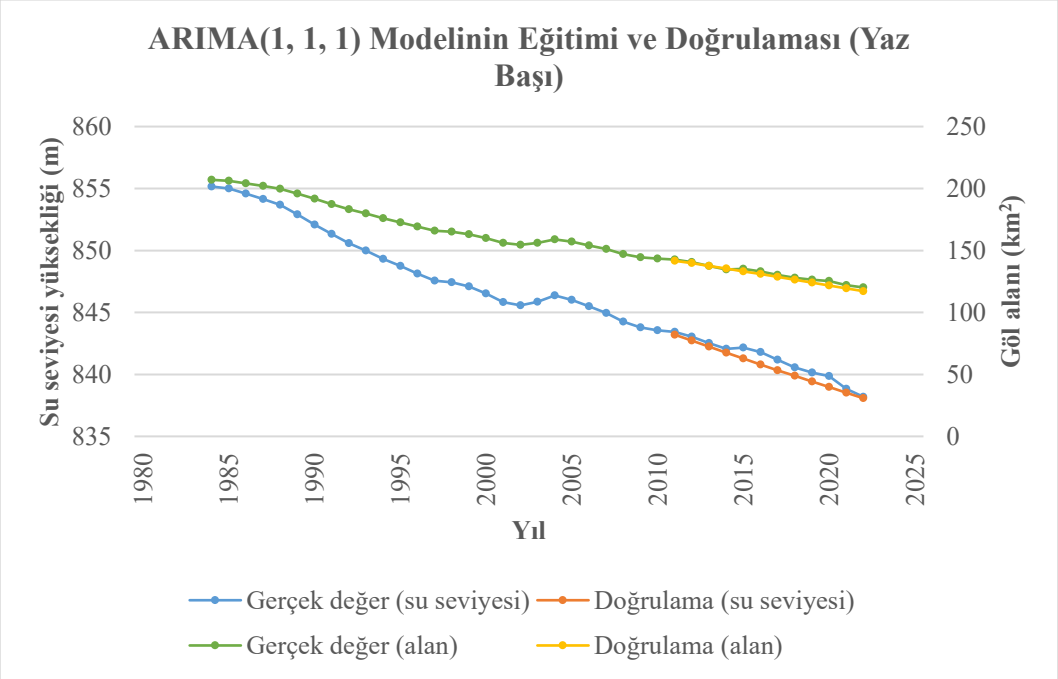
(a) (b)

Şekil 4.28 1 kez farkı alınmış göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz başı)

SYY'lerdeki parametreleri belirlerken kullanılan kriterler alan verileri için de uygulanmış ve sonuç olarak p, d ve q parametreleri sırasıyla 1, 1, 1 olarak seçilmiştir.

Yukarıda belirlenen parametreler (1, 1, 1) ile öncelikle 1984-2022 yılları arasındaki değerlerden eğitim ve doğrulama seti seçilmiştir. 1984-2010 arasındaki veriler eğitim seti, 2011-2022 arasındaki veriler doğrulama seti olarak belirlenmiştir. 1984-2010 yıllarındaki yaz başındaki SYY'ler ve göl alanları verileri ARIMA(1, 1, 1) ile eğitilmiş ve 2011-2022 yıllarındaki veriler tahmin edilmiştir. ARIMA(1, 1, 1)

modelinde eğitim ve doğrulama verilerinin grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir. 2011-2022 yıllarındaki eğitim ve doğrulama değerleri Tablo 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.29 ARIMA (1, 1, 1) modeline göre SYY ve göl alanı tahmini (yaz başı)

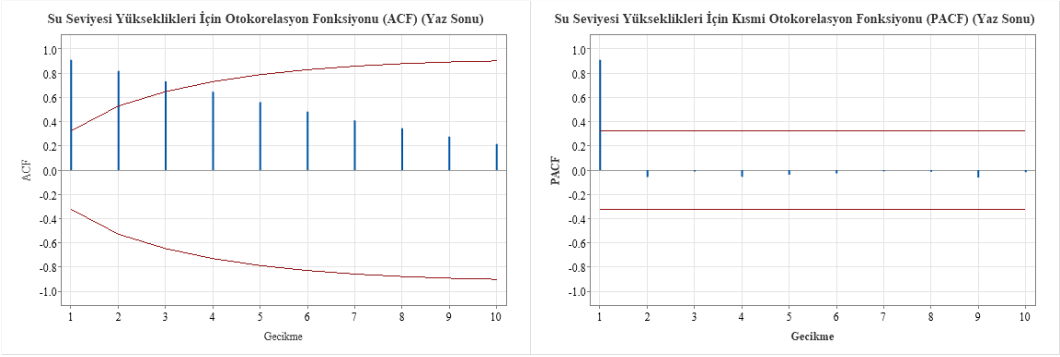
Tablo 4.12 ARIMA (1, 1, 1) modeliyle tahmin edilen SYY ve göl alanı değerleri (yaz başı)

Yıl	SSY (m)		Göl Alanı (km²)		RMSE		Korelasyon	
	Gerçek Değer	Tahmin Edilen Değer	Gerçek Değer	Tahmin Edilen Değer	SYY (m)	Göl Alanı (km²)	SYY	Göl Alanı
2011	843,42	843,20	142,66	141,65	0,63	2,017	0,982	0,993
2012	843,03	842,73	140,62	139,71				
2013	842,53	842,23	137,53	137,62				
2014	842,05	841,75	134,54	135,44				
2015	842,17	841,27	135,29	133,21				
2016	841,79	840,80	133,23	130,95				
2017	841,19	840,34	130,35	128,67				
2018	840,57	839,88	127,84	126,38				
2019	840,15	839,43	126,28	124,08				
2020	839,85	838,97	125,23	121,78				
2021	838,83	838,52	121,95	119,48				
2022	838,19	838,07	120,15	117,17				

Tablo 4.12 incelendiğinde SYY'ler 0,12 m (2022) ile 0,99 m (2016) arasında değişen hata miktarları ile tahmin edilmiştir. 2011-2022 yıllarına ait su seviyeleri yükseklikleri 0,63 m RMSE ve 0,982 korelasyon ile tahmin edilmiştir. Alan verileri de 0,08 km^2 (2013) ile 3,45 km^2 (2020) arasında değişen hata miktarları ile tahmin

edilmiştir. 2011-2022 yıllarına ait göl alanları 2,017 km^2 RMSE ve 0,993 korelasyon ile tahmin edilmiştir.

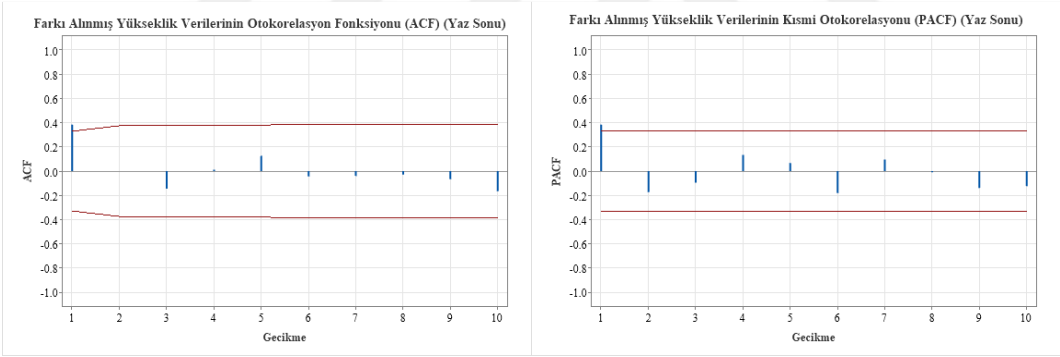
Yaz sonundaki SYY'lerin ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.30'da verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.30 SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu)

Şekil 4.30(a) incelendiğinde gecikmelerdeki azalmalar yavaş ve sabit bir şekilde olduğu için serinin bir kez farkının alınması gerekmektedir. Farkı alınan değerlerin ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.31'de verilmiştir.

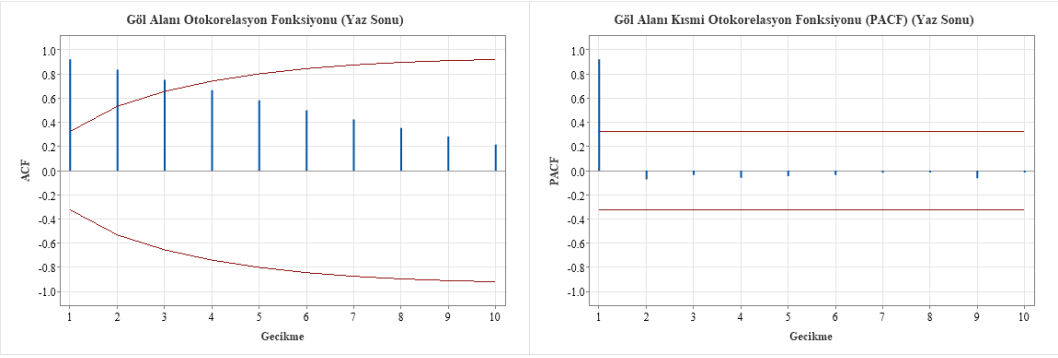


(a) (b)

Şekil 4.31 1 kez farkı alınmış SYY'lerin; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu)

Şekil 4.31(a) incelendiğinde grafikteki değişimler keskin bir şekilde olmaktadır. Durağanlık 1. gecikmede sağlandığı için d=1 alınmıştır. Ayrıca son anlamlı terim 1 olduğu için q parametresi de 1 alınmıştır. Şekil 4.31(b) incelendiğinde ikinci verinin anlamsız ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle p parametresi 1 olarak belirlenmiştir.

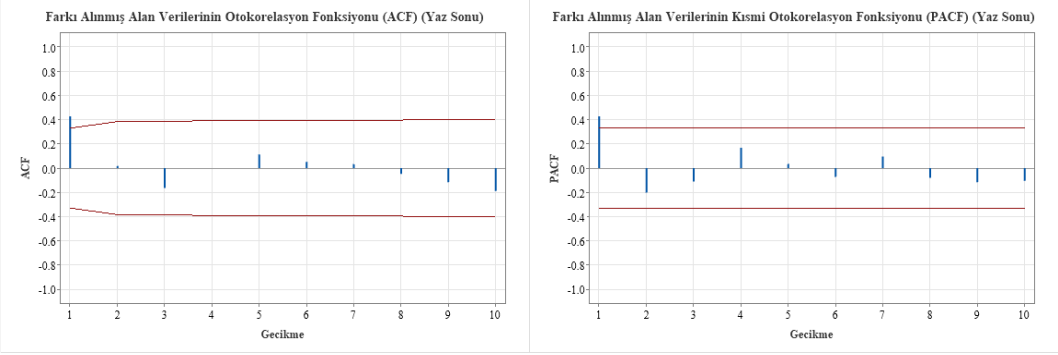
Yukarıdaki işlem adımları alan verileri için de uygulanmıştır. Yaz sonundaki alan verilerinin ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.32'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.32 Göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu)

Şekil 4.32(a) incelendiğinde gecikmelerdeki azalmalar yavaş ve sabit bir şekilde olduğu için burada durağanlıktan söz edilemez. Seriyi durağan hale getirmek için serinin bir kez farkı alınmıştır. Farkı alınan verilerin ACF ve PACF grafikleri Şekil 4.33'te verilmiştir.

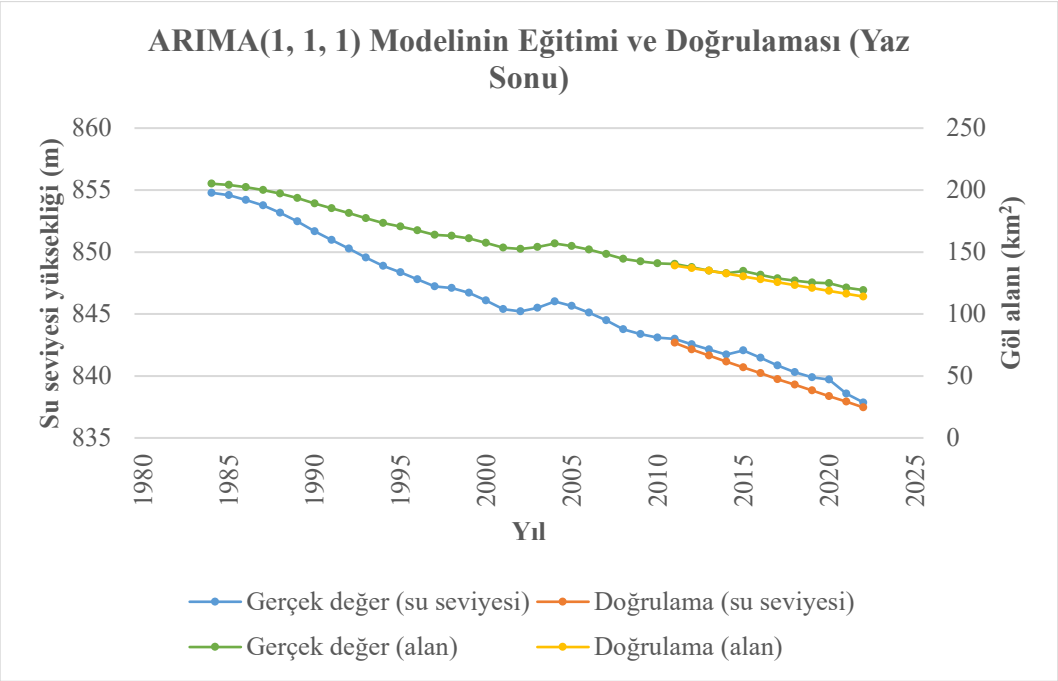


(a) (b)

Şekil 4.33 1 kez farkı alınmış göl alanlarının; (a) ACF, (b) PACF grafikleri (yaz sonu)

Şekil 4.33 incelendiğinde son anlamlı gecikme her iki grafikte de ilk terimdedir. Dolayısıyla p, d ve q değerleri sırasıyla 1, 1 ve 1 olarak belirlenmiştir.

ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 1984-2010 yılları arasındaki yaz sonu verileri eğitim seti olarak kullanılmıştır. 2011-2022 yıllarındaki veriler doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Eğitim ve doğrulama verilerinin grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir. 2011-2022 yıllarındaki gerçek değer ve tahmin edilen değerler Tablo 4.13'te verilmiştir.



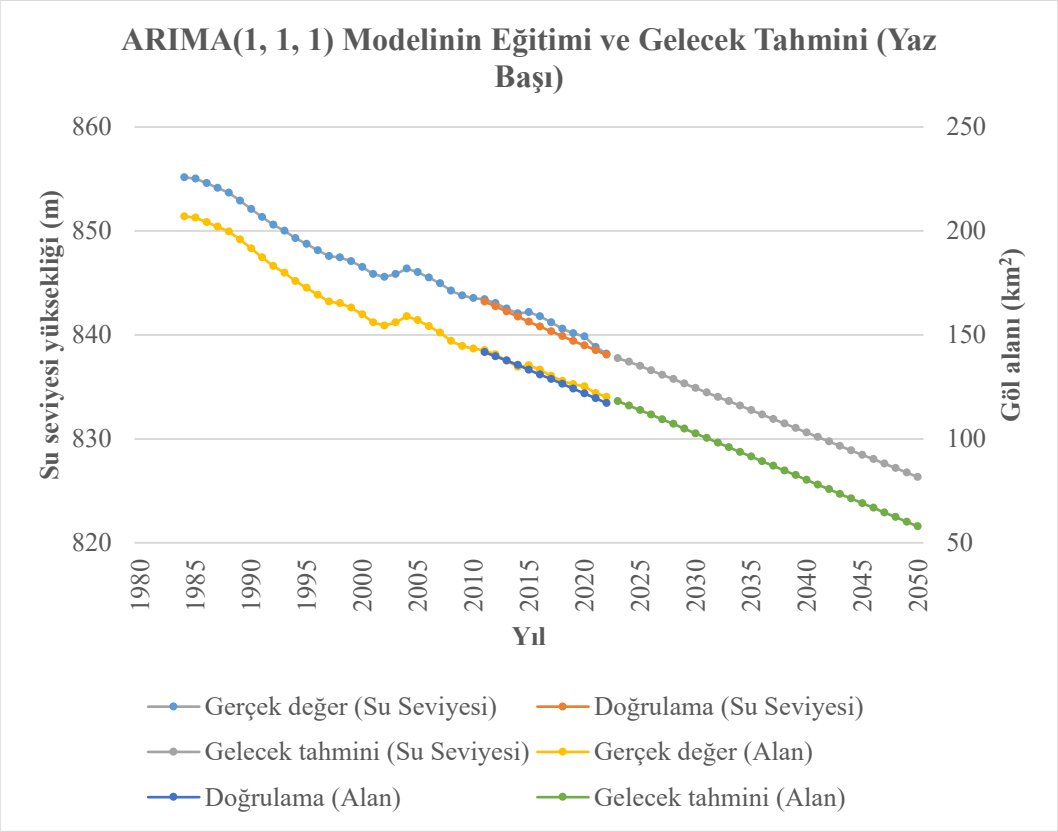
Şekil 4.34 ARIMA (1, 1, 1) modeline göre SYY ve göl alanı tahmini (yaz sonu)

Tablo 4.13 ARIMA (1, 1, 1) modeliyle tahmin edilen SYY ve göl alanı değerleri (yaz sonu)

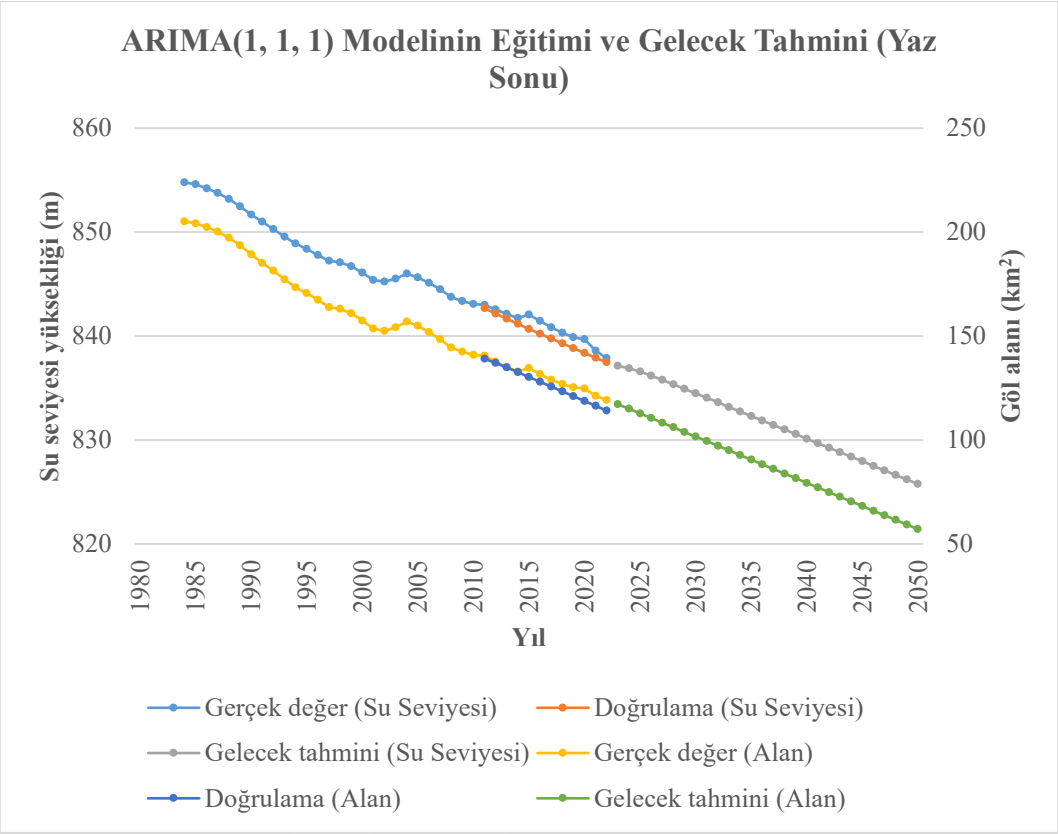
Yıl	SSY (m)		Göl Alanı (km²)		RMSE		Korelasyon	
	Gerçek Değer	Tahmin Edilen Değer	Gerçek Değer	Tahmin Edilen Değer	SYY (m)	Göl Alanı (km²)	SYY	Göl Alanı
2011	843,00	842,67	140,46	139,04	0,91	3,640	0,973	0,989
2012	842,56	842,15	137,72	137,00				
2013	842,13	841,65	135,04	134,84				
2014	841,73	841,16	132,94	132,61				
2015	842,05	840,69	134,54	130,34				
2016	841,46	840,21	131,64	128,04				
2017	840,84	839,75	128,84	125,73				
2018	840,3	839,28	126,83	123,40				
2019	839,88	838,83	125,33	121,07				
2020	839,7	838,37	124,73	118,74				
2021	838,57	837,91	121,22	116,40				
2022	837,86	837,46	119,26	114,06				

Tablo 4.13 incelendiğinde SYY'ler 0,33 m (2011) ile 1,36 m (2015) arasında değişen hata miktarları ile belirlenmiştir. 2011-2022 yıllarına ait SYY'ler 0,91 m RMSE ve 0,973 korelasyon ile tahmin edilmiştir. Alan verileri ise 0,20 km^2 (2013) ile 5,99 km^2 (2020) arasında değişen hata miktarları ile belirlenmiştir. 2011-2022 yıllarına ait göl alanları 3,64 km^2 RMSE ve 0,989 korelasyon ile tahmin edilmiştir.

Yaz başı ve yaz sonu verileri için ARIMA(1, 1, 1) modeli ile 2023-2050 yılları arasındaki SYY'ler belirlenmiştir. Yaz başına ilişkin SYY ve göl alanı tahminleri Şekil 4.35'te, yaz sonuna ilişkin SYY ve göl alanı tahminleri Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.35 ARIMA(1, 1, 1) modelinin eğitimi ve gelecek yıllardaki SYY ve göl alanı (yaz başı)



Şekil 4.36 ARIMA(1, 1, 1) modelinin eğitimi ve gelecek yıllardaki SYY ve göl alanı (yaz sonu)

Şekil 4.35 ve 4.36 incelendiğinde 1984'ten günümüze kadar kuruma eğiliminde olan Burdur Gölü'nün ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 2050 yılına kadar kuruma eğiliminde olacağı öngörülmektedir. 2023-2050 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimi yaz başı ve yaz sonu verileri için sırasıyla Tablo 4.14 ve 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.14 ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 2023-2050 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimleri (yaz başı)

Yıl	SYY (m)	Göl Alanı (km^2)	Yıllık Hacim Değişimi (km^3)	Kümülatif Hacim Değişimi (km^3)
2022	838,19	120,148		
2023	837,74	118,116	-0,053	-0,053
2024	837,42	115,976	-0,038	-0,092
2025	837,00	113,784	-0,048	-0,139
2026	836,58	111,567	-0,047	-0,187
2027	836,16	109,338	-0,047	-0,233
2028	835,74	107,104	-0,046	-0,279
2029	835,31	104,867	-0,045	-0,324
2030	834,89	102,629	-0,044	-0,368
2031	834,46	100,390	-0,043	-0,411
2032	834,03	98,151	-0,042	-0,454
2033	833,61	95,911	-0,041	-0,495
2034	833,18	93,672	-0,041	-0,536
2035	832,75	91,433	-0,040	-0,575
2036	832,32	89,193	-0,039	-0,614
2037	831,89	86,954	-0,038	-0,652
2038	831,47	84,715	-0,037	-0,688
2039	831,04	82,475	-0,036	-0,724
2040	830,61	80,236	-0,035	-0,759
2041	830,18	77,996	-0,034	-0,793
2042	829,75	75,757	-0,033	-0,826
2043	829,32	73,518	-0,032	-0,858
2044	828,89	71,278	-0,031	-0,889
2045	828,46	69,039	-0,030	-0,919
2046	828,03	66,800	-0,029	-0,948
2047	827,60	64,560	-0,028	-0,977
2048	827,18	62,321	-0,027	-1,004
2049	826,75	60,081	-0,026	-1,030
2050	826,32	57,842	-0,025	-1,055

Tablo 4.15 ARIMA(1, 1, 1) modeline göre 2023-2050 yılları arasındaki SYY, alan ve hacim değişimleri (yaz sonu)

Yıl	SYY (m)	Göl Alanı (km^2)	Yıllık Hacim Değişimi (km^3)	Kümülatif Hacim Değişimi (km^3)
2022	837,86	119,26		
2023	837,14	117,15	-0,085	-0,085
2024	836,89	114,98	-0,029	-0,114
2025	836,57	112,77	-0,036	-0,151
2026	836,19	110,55	-0,043	-0,193
2027	835,77	108,33	-0,045	-0,239
2028	835,35	106,10	-0,046	-0,284
2029	834,92	103,87	-0,045	-0,329
2030	834,48	101,65	-0,045	-0,374
2031	834,05	99,42	-0,044	-0,418
2032	833,61	97,19	-0,043	-0,461
2033	833,18	94,96	-0,042	-0,502
2034	832,74	92,73	-0,041	-0,543
2035	832,31	90,51	-0,040	-0,583
2036	831,87	88,28	-0,039	-0,622
2037	831,43	86,05	-0,038	-0,660
2038	831,00	83,82	-0,037	-0,697
2039	830,56	81,59	-0,036	-0,733
2040	830,13	79,37	-0,035	-0,768
2041	829,69	77,14	-0,034	-0,802
2042	829,25	74,91	-0,033	-0,836
2043	828,82	72,68	-0,032	-0,868
2044	828,38	70,45	-0,031	-0,899
2045	827,95	68,22	-0,030	-0,929
2046	827,51	66,00	-0,029	-0,958
2047	827,07	63,77	-0,028	-0,987
2048	826,64	61,54	-0,027	-1,014
2049	826,20	59,31	-0,026	-1,040
2050	825,77	57,08	-0,025	-1,066

Tablo 4.14 ve 4.15 incelendiğinde SYY'nin 2050 yılı itibariyle ~826 m seviyesine, göl alanının ~57 km^2'ye gerileyeceği tahmin edilmektedir. 2023-2050 yılları arasında kümülatif hacim kaybının ~1,06 km^3 olacağı öngörülmektedir.

5
TARTIŞMA

Su kaynaklarına olan talep arttıkça mevcut su kaynaklarının korunması daha da önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının yönetimi için geçmişten günümüze su kaynaklarındaki değişimin belirlenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması önemlidir. Su kütlelerinde meydana gelen yüzeysel değişimlerin incelenmesi uzun yıllardır birçok çalışmaya konu olmuştur [4], [5], [8], [125]. Ancak gölün her bölgesinde kıyı eğiminin aynı olmamasından dolayı yüzeysel değişimler su rezervi değişimlerini açıklayamamaktadır [59], [60]. Bundan dolayı su kütlelerindeki alansal değişimlere ek olarak yükseklik değişimlerinin de belirlenmesi gerekmektedir [61]. SYY'yi belirlemek için kullanılan en temel yöntem su yüzeyine dikey olarak yerleştirilmiş cetveller ile SYY'nin anlık veya belirli periyotlar şeklinde ölçülmesidir. Ancak bu istasyonların kurulması ve düzenli bakımlarının yapılması her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle hem Türkiye'de hem de dünya genelinde gözlem istasyonlarının sayısında azalmalar görülmektedir [62], [63]. Yer gözlem istasyonlarına alternatif olarak çeşitli uydu tabanlı veriler ve küresel SYM'ler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin de kısıtlı veri arşivine sahip olmak veya düşük doğruluklu olmak gibi kendilerine özgü dezavantajları vardır. Bu tez çalışmasında göl kıyısında yapılan İHA uçuşlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM'ler ile Landsat uydu misyonundan NTS yöntemiyle elde edilen kıyı çizgilerinin entegrasyonu ile cm hassasiyetinde SYY'lerin belirlenmesi için bir metodoloji sunulmuştur.

SYY'nin belirlenmesi için literatürde küresel SYM'yi kullanan çalışmalar mevcuttur. Ancak küresel SYM'lerin yükseklik doğrulukları genellikle birkaç metrenin üzerindedir. Uuemaa [69], ASTER, GDEM-V3, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM ve NASADEM verilerini dört farklı bölgede uygulamış ve referans verilerle aralarında 5 m ile 12 m arasında değişen doğruluklar elde etmiştir. Türkiye'de HGM tarafından ulusal ölçekte üretilmiş TanDEM-X verisine dayalı 12 m grid aralığa sahip SYM12 verisi [75] ve 30 cm çözünürlüklü stereo hava fotoğraflarından üretilen 5 m grid aralıklı SYM5 verisinin [76] düşey doğrulukları sırasıyla ± 4 m ve ± 3 m'dir. Bu veriler ülke bazlı veya küresel çalışmalarda

ortalama bir yüzey oluşturmak için önemli bir kaynak olsalar da spesifik olarak bir gölün değişimini izlemek için oldukça düşük doğruluğa sahiplerdir. Bu tez çalışmasında üretilen İHA tabanlı yüksek çözünürlüklü SYM'ler ile arazide GPS ile ölçülen kontrol noktaları (Şekil 3.9) karşılaştırılmıştır. Arazi noktaları ile SYM'deki karşılıkları arasında 2 ile 4 cm arasında fark bulunmaktadır. Bu doğruluk, kıyı çizgilerinin yüksekliklerini belirlemek için küresel SYM'lere oranla oldukça yüksektir. Yüksek çözünürlüklü SYM'ler sayesinde kıyı çizgisi yükseklikleri de ortalama 21 cm hata ile belirlenmiştir.

1990'lı yılların başından itibaren yer yüzeyinin yüksekliğini belirlemek için kullanılan radar altimetre verileri [77], [78], [79], [80] çeşitli çalışmalarda SYY ölçümü için kullanılmıştır [81], [82]. Schwatke vd. [83], Envisat, ERS-2, Jason-1, Jason-2, TOPEX/Poseidon ve SARAL/AltiKa altimetre verilerini büyük boyutlu sulak alanların SYY zaman serisini içeren DAHITI'yi oluşturmuşlardır. Ancak radar altimetre sistemlerinin büyük boyutlu ayak izleri ve geniş örneklem aralıkları nedeniyle yalnızca büyük boyutlu su kütleleri için uygundur. 2003-2009 yıllarında faaliyet gösteren ve kutup buzullarını izlemek için geliştirilen ICESat misyonu ile radar altimetrelerinden daha yüksek doğruluklar elde edilmektedir. Ancak ICESat misyonu iç su kütlelerinde mevsimsel değişimleri belirlemek için gerekli veri yoğunluğuna sahip değildir. 2018 yılında faaliyete başlayan ICESat-2 misyonu hem ICESat verilerinin hem de radar altimetrelerin aksine daha yoğun örneklem aralıkları ve küçük boyutlu lazer izleri sayesinde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Feng vd. [92], ICESat, ICESat-2 ve CyroSat-2 verilerini birlikte değerlendirmişler ve -0,78 m ile 0,13 m arasında değişen SYY farkları elde etmişlerdir. Literatürde farklı coğrafyalarda ve farklı büyüklükteki göller için ICESat-2 verileri kullanılmıştır. Bu çalışmalardan Coppo Frias [93] 0,59 m, Song vd. [24] 0,44 m, Zhang vd. [95] 0,26 m RMSE elde etmişlerdir. ICESat-2 verileri hem saha ölçümü zorluklarını ortadan kaldırıp hem de cm mertebesinde doğruluklar sağlamaktadır. Ayrıca 91 günlük periyotlar ve geçiş yörüngelerinin sıklığı sayesinde göllerdeki mevsimsel değişimleri belirlemek için önemli veri sağlamaktadır. Ancak ICESat-2 2018 yılında faaliyete başladığı için veri arşivi kısıtlıdır. Bu nedenle uzun yıllardaki SYY değişimlerini izlemek mümkün değildir. Tez çalışmasında önerilen yöntem ile optik uydu görüntülerinin mevcut olduğu tüm tarihlerde SYY'yi belirlemek mümkündür.

Literatürde Burdur Gölü'nü kapsayan çalışmalar da mevuttur. Firatli vd. [55], aralarında Burdur Gölü'nün de olduğu Türkiye'nin doğal göllerinin 1985-2020 yıllarındaki yüzeysel değişimini incelemişlerdir. Dervisoglu [56] Türkiye'deki Ramsar alanlarının yüzeysel değişimlerini Sentinel-1, Sentinel-2 ve Landsat verileriyle incelemiştir. Dervisoglu [57], Türkiye'nin Ramsar alanlarının uzun ve kısa vadeli değişimlerini GEE üzerinden belirlemiştir. Bu üç çalışma da yüzeysel değişime odaklandığı için SYY hakkında bilgi vermemektedir. Saka vd. [62], Burdur Gölü'nün 2003-2009 yılları arasındaki SYY'sini ICESat verilerine getirilen EGM2008 düzeltmesiyle 70 cm, yerel jeoit düzeltmesiyle ise 12 cm RMSE ile belirlemişlerdir. Narin ve Abdikan [3] ise Burdur Gölü'nün 2018-2020 arasındaki SYY değişimini EGM2008 tabanlı ICESat-2 verilerini kullanarak 40 cm RMSE ile belirlemişlerdir. Bu çalışmalar da yalnızca kısa zamanlı SYY değişimlerini incelemişlerdir. Bu tez çalışmasında önerilen yöntemle 1984-2022 yılları arasındaki yıllık SYY değişimleri 21 cm hata ile belirlenmiştir. Ayrıca önerilen yöntem uzun vadeli alansal ve hacimsel değişimleri birlikte değerlendirmede de başarılıdır.

Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalara göre en büyük kısıtı yalnızca daralan su kütlelerinde uygulanabilir olmasıdır. Su kütlesinin zaman içerisinde genişlemesi durumunda tarihi kıyı çizgileri suyun altında kalacağı için SYM üretimi zor olacaktır. Ancak iklim değişikliği ve küresel ısınmaya bağlı olarak göllerin birçoğu kuruma eğilimde olduğu için önerilen yöntem çoğu gölde uygulanabilecektir. Çalışmanın bir diğer kısıtlaması ise kuruyan göl kıyılarındaki erozyon, birikim, toprak taşınımı ve tektonik faaliyetler gibi doğal sebeplerin ve antropojenik faaliyetlerin kıyı çizgisi üzerindeki etkilerinin modellenmesinin güçlüğüdür. Ancak toprak taşınımı ve tektonik faaliyetlerin gölün kümülatif hacim kaybı üzerindeki etkisinin az olacağı varsayımıyla bu çalışmada söz konusu faktörler göz ardı edilmiştir.

ARIMA modelinin uygulanmasında eğitim ve test verilerinin oranları önemlidir. Eğitim verisinin test verisine oranı ne kadar fazlaysa uygulanacak modelin doğruluğunun o kadar fazla olması beklenmektedir. Bu çalışmada eğitim ve test verisinin oranları sırasıyla %65 ve %35 olarak belirlenmiştir. Ayrıca hareketli ortalama (MA) modelinde ortalaması alınacak veri boyutunun büyüklüğü önemlidir. Gerçekleştirilen çalışmada 39 yıllık veri seti kullanıldığından ortalaması

alınan veri sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Geleceğe yönelik tahmin için çok büyük boyutlu bir veri seti kullanılmadığından 3 verinin ortalaması alınarak değişimin daha gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebileceği öngörülmüştür.

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının amacı; Burdur Gölü'nün SYY ve alansal değişimlerinin belirlenmesinde uzaktan algılama ve fotogrametri yöntemlerinin kullanımını araştırmak, SYY ve alan verilerini kullanarak hacimsel değişimleri belirlemek, zaman serisi analizi yöntemleri ile gelecek yıllara ait SYY ve göl alanlarını tahmin etmektir. Bu amaçla Burdur Gölü'nün kuruyan bölgelerinde gerçekleştirilen İHA uçuşlarından elde edilen fotoğraflar ile araziye tesis edilen YKN koordinatları SfM algoritmasına dayalı olarak işlenmiş ve yüksek çözünürlüklü SYM'ler üretilmiştir. 1984-2022 yılları arasındaki yaz başı ve yaz sonu Landsat ve Sentinel-2 verilerinden NTS yöntemiyle gölün kıyı çizgileri ve alanları belirlenmiştir. İHA tabanlı SYM'ler ile optik uydu verilerinden çıkarılan kıyı çizgileri çakıştırılarak kıyı çizgisi yükseklikleri belirlenmiştir. Belirlenen kıyı çizgisi yükseklikleri elipsoidal sistemde oldukları için her İHA uçuşunun yapıldığı bölgedeki yerel jeoit yüksekliği farkı tüm noktalara uygulanmış ve bütün nokta yükseklikleri ortometrik yüksekliğe dönüştürülmüştür. Aynı tarihteki tüm nokta yüksekliklerinin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama SYY'leri belirlenmiştir. SYY'ler ile alan verileri birlikte kullanılarak hacimsel değişimler hesaplanmıştır. Geçmiş yıllara ait SYY'ler ve alan verileri kullanılarak ARIMA modeli oluşturulmuş ve 2023-2050 yılları arasındaki SYY ve alansal değişimler tahmin edilmiştir.

SYM ve uydu verilerinin entegrasyonu ile elde edilen SYY'lerin performansını değerlendirmek amacıyla DSİ tarafından jeodezik yöntemlerle ölçülen referans yükseklikler ile karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında önerilen yöntemle elde edilen sonuçlar ile yerinde ölçümler arasında güçlü bir korelasyon (r=0,999) bulunmuştur. Bu yüksek korelasyonun elde edilmesinde yüksek çözünürlüklü SYM ve yerel jeoit modelinin katkısı büyüktür. Burdur Gölü'nde daha önce yapılan bir araştırmada [62], küresel jeoit yükseklik modeli (EGM2008) ile yerel jeoit modeli arasında 33 cm ile 82 cm arasında yükseklik farkları bulmuşlardır. Tez çalışmasında önerilen yöntem ile yerinde ölçüm verileri arasında ortalama ΔH yükseklik farkı 21 cm'dir. Literatürdeki alansal değişimleri inceleyen çalışmalar [55], [56], [57] ve kısa zamanlı SYY değişimlerini inceleyen çalışmaların [3], [62] aksine bu çalışmada

1984-2022 yılları arasındaki hem alansal hem de hacimsel değişimler fotogrametri ve uzaktan algılama tekniklerinin entegrasyonu ile güçlü korelasyonla belirlenmiştir.

Burdur Gölü, Türkiye'deki 14 Ramsar alanından en büyük yüzey alanına sahip olanıdır [163]. Birçok kuş türüne ev sahipliği yapan Burdur Gölü 1984 yılından bugüne kadar kuruma eğilimindedir. 2002-2004 yılları arasında gölün alanı ve SYY'de küçük bir miktar artış olsa da diğer tüm yıllarda gölün SYY ve alanı bir önceki yıla göre azalmıştır. Şekil 2.2 ve 2.3 incelendiğinde aylık ve yıllık ortalama sıcaklıklarda artan bir trend meydana gelmiştir. Şekil 2.4 ve 2.5 incelendiğinde yağış trendinde önemli bir artış veya azalış görülmemektedir. Ancak 2001-2004 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarı diğer yıllara oranla daha yüksektir. Bu yağış artışı göl seviyesinde meydana gelen artışın sebebi olabilir. Şekil 2.6 ve 2.7 incelendiğinde hem aylık ortalama nispi nem hem de yıllık ortalama nispi nem azalma trendindedir. Gölün suyu acı ve arsenik içerdiğinden [111] evsel ve tarımsal sulamada kullanılmamaktadır [55], [56]. Göldeki dramatik su kaybının nedenleri arasında gölü besleyen derelerin düşük debilere sahip olması ve bir kısmının yaz aylarında kuruması yer almaktadır [164]. SYY'deki azalmanın bir diğer nedeni ise buharlaşmanın yüksek ve yağış miktarının düşük olmasıdır [3], [55], [56]. Aynı yılın yaz başındaki verilerle yaz sonundaki veriler arasında ortalama 36 cm fark bulunması yukarıdaki bulguları desteklemektedir.

Su kütlelerindeki hacim değişimlerini izlemenin önündeki en büyük etken SYY bilgisinin eksikliğidir. SYY ölçüm istasyonlarının bulunmadığı su kütlelerinde suyun yüzey kotunu belirlemek zorlaşmaktadır. Giriş kısmında detaylı bir şekilde radar ve lazer altimetrelerinin teknik sınırlamaları anlatılmıştır. Tez çalışmasında önerilen yöntem ile göllerdeki hacimsel değişim kısa zamanlı ve uzun zamanlı belirlenebilmektedir. Hesaplanan yıllık hacim kayıp verileri r=0,802'lik bir korelasyon ile belirlenmiştir. Kümülatif hacim kayıpları ise r=0,999'luk korelasyon ile belirlenmiştir. 39 yıllık süreçte ~2,7 km^3'lük hacim kaybı meydana gelmiştir.

Literatür incelendiğinde bu kapsamda bir çalışmaya rastlanılmadığı için önerilen yöntem iç suların yüksekliğinin ve hacimsel değişimin kısa zamanlı ve uzun zamanlı izlenmesi açısından önemlidir. SYY belirlemenin çeşitli yolları olsa da önerilen yöntem performansıyla öne çıkmaktadır. Önerilen yöntemin en önemli sınırlaması yalnızca küçülen göllerde uygulanabilir olmasıdır. Göl alanının

zamanla genişlediği göllerde geçmişteki kıyı çizgileri sular altında kalacağından yüksek doğruluklu ortomozaik ve SYM üretmek zorlaşmaktadır. Çalışmanın bir diğer kısıtlaması ise kuruyan göl kenarlarının erozyon, birikim, toprak taşınımı, tektonik faaliyetler gibi doğal nedenlerle veya çeşitli antropojenik etkilerle değişmesidir. Bu çalışmada gölün etrafında homojen bir şekilde dağıtılan uçuş planları bu kısıtlamanın bir miktar üzerinden gelse de sonuçların çok fazla ve modellenmesi zor faktörlerden etkilenebileceği unutulmamalıdır.

ARIMA gibi zaman serisi analizi modelleri kullanılarak geleceğe yönelik tahminlerin yapılması göl alanları üzerinde yürütülen faaliyetlerin planlanmasında, stratejilerin belirlenmesinde veya önlemlerin alınmasında önemlidir. Her ne kadar göllerdeki değişimler çok fazla çevresel faktöre bağlı olsa da geçmiş yıllardaki değişim trendinin devam etmesi olasıdır. 39 yıllık azalan trendin devam etmesi durumunda gelecek yıllardaki SYY ve alanların belirlenmesi su hacmi değişimi hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada ARIMA(1, 1, 1) modeli kullanarak 2023-2050 yılları arasındaki yaz başı ve yaz sonundaki veriler tahmin edilmiştir. SYY'deki ARIMA(1, 1, 1) modelindeki doğrulama verileri incelendiğinde yaz başı ve yaz sonu değerleri için 0,63 m ve 0,91 m RMSE elde edilmiştir. Alan verilerinde ARIMA(1, 1, 1) modelindeki yaz başı ve yaz sonu doğrulama verilerinde sırasıyla 2,02 km^2 ve 3,64 km^2 RMSE elde edilmiştir.

Bu çalışmanın geliştirilmesi adına gelecek çalışmalarda göl üzerindeki değişimleri incelerken kıyı eğimini de hesaba katmak gerekmektedir. 1984-2022 yılları arasında Burdur Gölü'nün kuzeydoğu kıyısında ~19 km'lik bir çekilme söz konusuyken diğer kıyılarda meydana gelen çekilmeler 600 m ile 2 km arasında değişmektedir. Kıyı eğimlerinin belirlenmesi kuruma bölgelerinin belirlenmesine katkı sağlamakta ve göl alanının değişimi konumsal olarak belirlenebilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] C. Tottrup *vd.*, "Surface water dynamics from space: a round robin intercomparison of using optical and sar high-resolution satellite observations for regional surface water detection", *Remote Sens (Basel)*, c. 14, sy 10, s. 2410, 2022.

[2] BM, "Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları. Amaç 6: Herkes için su ve sanitasyona erişimin sağlanması". Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/

[3] O. G. Narin ve S. Abdikan, "Multi-temporal analysis of inland water level change using ICESat-2 ATL-13 data in lakes and dams", *Environmental Science and Pollution Research*, c. 30, sy 6, ss. 15364-15376, 2023.

[4] H. Tang, S. Lu, M. H. Ali Baig, M. Li, C. Fang, ve Y. Wang, "Large-scale surface water mapping based on landsat and sentinel-1 images", *Water (Basel)*, c. 14, sy 9, s. 1454, 2022.

[5] K. Yang, L. C. Smith, L. C. Andrews, X. Fettweis, ve M. Li, "Supraglacial drainage efficiency of the Greenland Ice Sheet estimated from remote sensing and climate models", *J Geophys Res Earth Surf*, c. 127, sy 2, s. e2021JF006269, 2022.

[6] P. Bridgewater ve R. E. Kim, "50 Years on, w (h) ither the Ramsar convention? A case of institutional drift", *Biodivers Conserv*, c. 30, sy 13, ss. 3919-3937, 2021.

[7] R. I. Woolway, B. M. Kraemer, J. D. Lenters, C. J. Merchant, C. M. O'Reilly, ve S. Sharma, "Global lake responses to climate change", *Nat Rev Earth Environ*, c. 1, sy 8, ss. 388-403, 2020.

[8] T. Chen, C. Song, L. Ke, J. Wang, K. Liu, ve Q. Wu, "Estimating seasonal water budgets in global lakes by using multi-source remote sensing measurements", *J Hydrol (Amst)*, c. 593, s. 125781, 2021.

[9] C. Song, B. Huang, L. Ke, ve K. S. Richards, "Seasonal and abrupt changes in the water level of closed lakes on the Tibetan Plateau and implications for climate impacts", *J Hydrol (Amst)*, c. 514, ss. 131-144, 2014.

[10] R. T. Kingsford *vd.*, "Ramsar wetlands of international importance–improving conservation outcomes", *Front Environ Sci*, c. 9, s. 53, 2021.

[11] Ramsar, "Ramsar Sulak Alanlar Sözleşmesi". 1971. Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/final_act_ramsar_conference1971.pdf

[12] G. V. T. Matthews, "The Ramsar Convention on Wetlands: its history and development", Ramsar Convention Bureau Gland, 1993.

[13] E. Halimovski, "THE INTERNATIONAL LEGAL REGULATION OF THE RIGHT TO WATER", *JUSTICIA–International Journal of Legal Sciences*, c. 8, sy 13-14, ss. 63-70, 2020.

[14] T. Hickmann *vd.*, "Success factors of global goal-setting for sustainable development: Learning from the Millennium Development Goals", *Sustainable Development*, c. 31, sy 3, ss. 1214-1225, 2023.

[15] S. M. A. Salman, "United Nations General Assembly Resolution: International decade for action, water for life, 2005–2015: A water forum contribution", *Water Int*, c. 30, sy 3, ss. 415-418, 2005.

[16] D. Wallace, "2. The UN regime and sustainable development: Agenda 2030", *Implementing Sustainable Development Goals in Europe: The Role of Political Entrepreneurship*, s. 14, 2020.

[17] T. Hák, S. Janoušková, ve B. Moldan, "Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators", *Ecol Indic*, c. 60, ss. 565-573, 2016.

[18] L. Guppy, P. Mehta, ve M. Qadir, "Sustainable development goal 6: Two gaps in the race for indicators", *Sustain Sci*, c. 14, sy 2, ss. 501-513, 2019.

[19] J. Sheffield *vd.*, "Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions", *Water Resour Res*, c. 54, sy 12, ss. 9724-9758, 2018.

[20] K. Weise *vd.*, "Wetland extent tools for SDG 6.6. 1 reporting from the Satellite-based Wetland Observation Service (SWOS)", *Remote Sens Environ*, c. 247, s. 111892, 2020.

[21] BM Türkiye, "SKA6: Temiz su ve sanitasyon", 2023, Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.kureselamaclar.org/amaclar/temiz-su-ve-sanitasyon/

[22] Y. Feng *vd.*, "Decadal lake volume changes (2003–2020) and driving forces at a global scale", *Remote Sens (Basel)*, c. 14, sy 4, s. 1032, 2022.

[23] C. Schwatke, D. Dettmering, ve F. Seitz, "Volume variations of small inland water bodies from a combination of satellite altimetry and optical imagery", *Remote Sens (Basel)*, c. 12, sy 10, s. 1606, 2020.

[24] L. Song *vd.*, "Integrating ICESat-2 altimetry and machine learning to estimate the seasonal water level and storage variations of national-scale lakes in China", *Remote Sens Environ*, c. 294, s. 113657, 2023.

[25] G. Zhang *vd.*, "Regional differences of lake evolution across China during 1960s–2015 and its natural and anthropogenic causes", *Remote Sens Environ*, c. 221, ss. 386-404, 2019.

[26] J. E. Pardo-Pascual *vd.*, "Assessing the accuracy of automatically extracted shorelines on microtidal beaches from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2 imagery", *Remote Sens (Basel)*, c. 10, sy 2, s. 326, 2018.

[27] J.-F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick, ve A. S. Belward, "High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes", *Nature*, c. 540, sy 7633, ss. 418-422, 2016.

[28] A. H. Pickens *vd.*, "Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series", *Remote Sens Environ*, c. 243, s. 111792, 2020.

[29] X. Wang *vd.*, "Gainers and losers of surface and terrestrial water resources in China during 1989–2016", *Nat Commun*, c. 11, sy 1, s. 3471, 2020.

[30] D. Yamazaki, M. A. Trigg, ve D. Ikeshima, "Development of a global~ 90 m water body map using multi-temporal Landsat images", *Remote Sens Environ*, c. 171, ss. 337-351, 2015.

[31] C. Cabezas-Rabadán, J. E. Pardo-Pascual, J. Palomar-Vázquez, ve A. Fernández-Sarría, "Characterizing beach changes using high-frequency Sentinel-2 derived shorelines on the Valencian coast (Spanish Mediterranean)", *Science of the Total Environment*, c. 691, ss. 216-231, 2019.

[32] G. Mitri, M. Nader, M. Abou Dagher, ve K. Gebrael, "Investigating the performance of sentinel-2A and Landsat 8 imagery in mapping shoreline changes", *J Coast Conserv*, c. 24, ss. 1-9, 2020.

[33] K.-T. Liu *vd.*, "Assessment of the impact of reservoirs in the upper Mekong River using satellite radar altimetry and remote sensing imageries", *Remote Sens (Basel)*, c. 8, sy 5, s. 367, 2016.

[34] K. K. Basheer Ahammed ve A. C. Pandey, "Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite data and geostatistics: A case study on the eastern coast of India", *Journal of Water and Climate Change*, c. 13, sy 3, ss. 1477-1493, 2022.

[35] C. Dai, I. M. Howat, E. Larour, ve E. Husby, "Coastline extraction from repeat high resolution satellite imagery", *Remote Sens Environ*, c. 229, ss. 260-270, 2019.

[36] R. Gracy Margret Mary, V. Sundar, ve S. A. Sannasiraj, "Analysis of shoreline change between inlets along the coast of Chennai, India", *Marine Georesources & Geotechnology*, c. 40, sy 1, ss. 26-35, 2022.

[37] H. J. Jumaah, M. H. Ameen, G. H. Mohamed, ve Q. M. Ajaj, "Monitoring and evaluation Al-Razzaza lake changes in Iraq using GIS and remote sensing technology", *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, c. 25, sy 1, ss. 313-321, 2022.

[38] S. Kaiser, G. Grosse, J. Boike, ve M. Langer, "Monitoring the transformation of arctic landscapes: Automated shoreline change detection of lakes using very high resolution imagery", *Remote Sens (Basel)*, c. 13, sy 14, s. 2802, 2021.

[39] A. A. Komolafe, P. A. Apalara, M. O. Ibitoye, A. O. Adebola, I. E. Olorunfemi, ve I. Diallo, "Spatio-temporal analysis of shoreline positional change of Ondo State coastline using remote sensing and GIS: A case study of Ilaje coastline at Ondo State in Nigeria", *Earth Systems and Environment*, ss. 1-13, 2021.

[40] W. Li ve P. Gong, "Continuous monitoring of coastline dynamics in western Florida with a 30-year time series of Landsat imagery", *Remote Sens Environ*, c. 179, ss. 196-209, 2016.

[41] C. A. G. Santos, T. V. M. do Nascimento, M. Mishra, ve R. M. da Silva, "Analysis of long-and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil", *Science of the Total Environment*, c. 769, s. 144889, 2021.

[42] A. Al Fugura, L. Billa, ve B. Pradhan, "Semi-automated procedures for shoreline extraction using single RADARSAT-1 SAR image", *Estuar Coast Shelf Sci*, c. 95, sy 4, ss. 395-400, 2011.

[43] Q. Zhu *vd.*, "Spatiotemporal changes of coastline over the Yellow River Delta in the previous 40 years with Optical and SAR Remote Sensing", *Remote Sens (Basel)*, c. 13, sy 10, s. 1940, 2021.

[44] X. Yang, Y. Chen, ve J. Wang, "Combined use of Sentinel-2 and Landsat 8 to monitor water surface area dynamics using Google Earth Engine", *Remote Sensing Letters*, c. 11, sy 7, ss. 687-696, 2020.

[45] A. Sekertekin, "A survey on global thresholding methods for mapping open water body using Sentinel-2 satellite imagery and normalized difference water index", *Archives of Computational Methods in Engineering*, c. 28, ss. 1335-1347, 2021.

[46] Q. Wu *vd.*, "Quantitative analysis on coastline changes of Yangtze River Delta based on high spatial resolution remote sensing images", *Remote Sens (Basel)*, c. 14, sy 2, s. 310, 2022.

[47] R. Bera ve R. Maiti, "Quantitative analysis of erosion and accretion (1975–2017) using DSAS—A study on Indian Sundarbans", *Reg Stud Mar Sci*, c. 28, s. 100583, 2019.

[48] N. Matin ve G. M. J. Hasan, "A quantitative analysis of shoreline changes along the coast of Bangladesh using remote sensing and GIS techniques", *Catena (Amst)*, c. 201, s. 105185, 2021.

[49] C. Chen *vd.*, "Temporal and spatial variation of coastline using remote sensing images for Zhoushan archipelago, China", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, c. 107, s. 102711, 2022.

[50] B. Halder, A. M. S. Ameen, J. Bandyopadhyay, K. M. Khedher, ve Z. M. Yaseen, "The impact of climate change on land degradation along with shoreline migration in Ghoramara Island, India", *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, c. 126, s. 103135, 2022.

[51] L. P. Almeida, I. E. de Oliveira, R. Lyra, R. L. S. Dazzi, V. G. Martins, ve A. H. da Fontoura Klein, "Coastal analyst system from space imagery engine (CASSIE): shoreline management module", *Environmental Modelling & Software*, c. 140, s. 105033, 2021.

[52] B. Van Leeuwen, Z. Tobak, ve F. Kovács, "Sentinel-1 and-2 based near real time inland excess water mapping for optimized water management", *Sustainability*, c. 12, sy 7, s. 2854, 2020.

[53] S. Arjasakusuma, S. S. Kusuma, S. Saringatin, P. Wicaksono, B. W. Mutaqin, ve R. Rafif, "Shoreline dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 using multi-sensor remote sensing data", *Land (Basel)*, c. 10, sy 2, s. 100, 2021.

[54] D. Druce *vd.*, "An optical and SAR based fusion approach for mapping surface water dynamics over mainland China", *Remote Sens (Basel)*, c. 13, sy 9, s. 1663, 2021.

[55] E. Firatli, A. Dervisoglu, N. Yagmur, N. Musaoglu, ve A. Tanik, "Spatio-temporal assessment of natural lakes in Turkey", *Earth Sci Inform*, c. 15, sy 2, ss. 951-964, 2022.

[56] A. Dervisoglu, "Analysis of the temporal changes of inland Ramsar sites in Turkey using Google Earth Engine", *ISPRS Int J Geoinf*, c. 10, sy 8, s. 521, 2021.

[57] A. Dervisoglu, "Investigation of long and short-term water surface area changes in coastal Ramsar Sites in Turkey with Google Earth Engine", *ISPRS Int J Geoinf*, c. 11, sy 1, s. 46, 2022.

[58] A. Sabuncu, "Monitoring shoreline change of Acigol and Burdur lakes in Turkey over 44 years using remote sensing and GIS approaches", *Fresenius Environ Bull*, c. 29, sy 9, ss. 7877-7890, 2020.

[59] F. Yao, J. Wang, K. Yang, C. Wang, B. A. Walter, ve J.-F. Crétaux, "Lake storage variation on the endorheic Tibetan Plateau and its attribution to climate change since the new millennium", *Environmental Research Letters*, c. 13, sy 6, s. 064011, 2018.

[60] G. Zhang *vd.*, "Lake volume and groundwater storage variations in Tibetan Plateau's endorheic basin", *Geophys Res Lett*, c. 44, sy 11, ss. 5550-5560, 2017.

[61] B. Qiao, L. Zhu, ve R. Yang, "Temporal-spatial differences in lake water storage changes and their links to climate change throughout the Tibetan Plateau", *Remote Sens Environ*, c. 222, ss. 232-243, 2019.

[62] F. Saka, A. E. Tekeli, ve S. Dönmez, "Jeoid Değişimlerinin ICESat Altimetre Verisi ile Hesaplanan Su Seviyelerine Etkisi", *Teknik Dergi*, c. 32, sy 3, ss. 10807-10822, 2021.

[63] G. Zhang, H. Xie, S. Duan, M. Tian, ve D. Yi, "Water level variation of Lake Qinghai from satellite and in situ measurements under climate change", *J Appl Remote Sens*, c. 5, sy 1, s. 53532, 2011.

[64] G. Donchyts, J. Schellekens, H. Winsemius, E. Eisemann, ve N. Van de Giesen, "A 30 m resolution surface water mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, srtm and openstreetmap: a case study in the Murray-Darling Basin, Australia", *Remote Sens (Basel)*, c. 8, sy 5, s. 386, 2016.

[65] Y. Fang *vd.*, "Assessment of water storage change in China's lakes and reservoirs over the last three decades", *Remote Sens (Basel)*, c. 11, sy 12, s. 1467, 2019.

[66] M. L. Messager, B. Lehner, G. Grill, I. Nedeva, ve O. Schmitt, "Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach", *Nat Commun*, c. 7, sy 1, s. 13603, 2016.

[67] V. Vanthof ve R. Kelly, "Water storage estimation in ungauged small reservoirs with the TanDEM-X DEM and multi-source satellite observations", *Remote Sens Environ*, c. 235, s. 111437, 2019.

[68] E. Rodriguez, C. S. Morris, ve J. E. Belz, "A global assessment of the SRTM performance", *Photogramm Eng Remote Sensing*, c. 72, sy 3, ss. 249-260, 2006.

[69] E. Uuemaa, S. Ahi, B. Montibeller, M. Muru, ve A. Kmoch, "Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM)", *Remote Sens (Basel)*, c. 12, sy 21, s. 3482, 2020.

[70] T. Tachikawa *vd.*, "ASTER global digital elevation model version 2-summary of validation results", NASA, 2011.

[71] J. Takaku, T. Tadono, M. Doutsu, F. Ohgushi, ve H. Kai, "Updates of 'AW3D30'ALOS global digital surface model with other open access datasets", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, c. 43, ss. 183-189, 2020.

[72] D. Yamazaki *vd.*, "MERIT DEM: A new high-accuracy global digital elevation model and its merit to global hydrodynamic modeling", içinde *AGU fall meeting abstracts*, 2017, ss. H12C-04.

[73] B. Wessel, "TanDEM-X ground segment–DEM products specification document", 2018.

[74] R. Crippen *vd.*, "NASADEM global elevation model: Methods and progress", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, c. 41, ss. 125-128, 2016.

[75] HGM, "Harita Genel Müdürlüğü, Sayısal Yüzey Modeli (SYM12), Sayısal Arazi Modeli (SAM12)". Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.harita.gov.tr/urunler/yukseklik-verileri-grid/1

[76] HGM, "Harita Genel Müdürlüğü, Sayısal Yüzey Modeli (SYM5)". Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.harita.gov.tr/urunler/yukseklik-verileri-grid/1

[77] C. Hwang *vd.*, "Glacier and lake level change from TOPEX-series and Cryosat-2 altimeters in Tanggula: Comparison with satellite imagery", *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, c. 32, sy 1, ss. 1-20, 2021.

[78] J. S. Da Silva, S. Calmant, F. Seyler, O. C. Rotunno Filho, G. Cochonneau, ve W. J. Mansur, "Water levels in the Amazon basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions", *Remote Sens Environ*, c. 114, sy 10, ss. 2160-2181, 2010.

[79] K.-C. Cheng, C.-Y. Kuo, H.-Z. Tseng, Y. Yi, ve C. K. Shum, "Lake surface height calibration of Jason-1 and Jason-2 over the Great Lakes", *Marine Geodesy*, c. 33, sy S1, ss. 186-203, 2010.

[80] I. Rousta *vd.*, "Climatic variables impact on inland lakes water levels and area fluctuations in an arid/semi-arid region of Iran, Iraq, and Turkey based on the remote sensing data", *Earth Sci Inform*, c. 16, sy 2, ss. 1611-1635, 2023.

[81] M. Kleinherenbrink, R. C. Lindenbergh, ve P. G. Ditmar, "Monitoring of lake level changes on the Tibetan Plateau and Tian Shan by retracking Cryosat SARIn waveforms", *J Hydrol (Amst)*, c. 521, ss. 119-131, 2015.

[82] X. Li, D. Long, Q. Huang, P. Han, F. Zhao, ve Y. Wada, "High-temporal-resolution water level and storage change data sets for lakes on the Tibetan Plateau during 2000–2017 using multiple altimetric missions and Landsat-derived lake shoreline positions", *Earth Syst Sci Data*, c. 11, sy 4, ss. 1603-1627, 2019.

[83] C. Schwatke, D. Dettmering, W. Bosch, ve F. Seitz, "DAHITI–an innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry", *Hydrol Earth Syst Sci*, c. 19, sy 10, ss. 4345-4364, 2015.

[84] J.-F. Crétaux *vd.*, "SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data", *Advances in space research*, c. 47, sy 9, ss. 1497-1507, 2011.

[85] S. Luo *vd.*, "Refined estimation of lake water level and storage changes on the Tibetan Plateau from ICESat/ICESat-2", *Catena (Amst)*, c. 200, s. 105177, 2021.

[86] L. Duncanson *vd.*, "Biomass estimation from simulated GEDI, ICESat-2 and NISAR across environmental gradients in Sonoma County, California", *Remote Sens Environ*, c. 242, s. 111779, 2020.

[87] X. Wang *vd.*, "Water-level changes in China's large lakes determined from ICESat/GLAS data", *Remote Sens Environ*, c. 132, ss. 131-144, 2013.

[88] N. Xu, Y. Ma, W. Zhang, ve X. H. Wang, "Surface-water-level changes during 2003–2019 in Australia revealed by ICESat/ICESat-2 altimetry and Landsat imagery", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, c. 18, sy 7, ss. 1129-1133, 2020.

[89] C. Yuan, P. Gong, ve Y. Bai, "Performance assessment of ICESat-2 laser altimeter data for water-level measurement over lakes and reservoirs in China", *Remote Sens (Basel)*, c. 12, sy 5, s. 770, 2020.

[90] T. A. Neumann *vd.*, "The Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite–2 Mission: A global geolocated photon product derived from the advanced topographic laser altimeter system", *Remote Sens Environ*, c. 233, s. 111325, 2019.

[91] NSIDC, "National Snow and Ice Data Center, ATLAS/ICESat-2 L3A Inland Water Surface Height, Version 2". Erişim: 06 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://nsidc.org/data/atl13/versions/2

[92] Y. Feng *vd.*, "Synthesis of the ICESat/ICESat-2 and CryoSat-2 observations to reconstruct time series of lake level", *Int J Digit Earth*, c. 16, sy 1, ss. 183-209, 2023.

[93] M. Coppo Frias *vd.*, "River hydraulic modeling with ICESat-2 land and water surface elevation", *Hydrol Earth Syst Sci*, c. 27, sy 5, ss. 1011-1032, 2023.

[94] Y. Wang, D. Long, ve X. Li, "High-temporal-resolution monitoring of reservoir water storage of the Lancang-Mekong River", *Remote Sens Environ*, c. 292, s. 113575, 2023.

[95] Z. Zhang, Y. Bo, S. Jin, G. Chen, ve Z. Dong, "Dynamic water level changes in Qinghai Lake from integrating refined ICESat-2 and GEDI altimetry data (2018–2021)", *J Hydrol (Amst)*, c. 617, s. 129007, 2023.

[96] Z. Zhang, X. Liu, ve W. Wright, "Spatiotemporal water dynamic modelling of Ramsar-listed lakes on the Victorian Volcanic Plains using Landsat, ICESat-2 and airborne LiDAR data", *Ecol Inform*, c. 71, s. 101789, 2022.

[97] S. Luo *vd.*, "Satellite laser altimetry reveals a net water mass gain in global lakes with spatial heterogeneity in the early 21st century", *Geophys Res Lett*, c. 49, sy 3, s. e2021GL096676, 2022.

[98] C. Liu *vd.*, "Monitoring water level and volume changes of lakes and reservoirs in the Yellow River Basin using ICESat-2 laser altimetry and Google Earth Engine", *Journal of Hydro-environment Research*, c. 44, ss. 53-64, 2022.

[99] A. Medvedev *vd.*, "UAV-derived data application for environmental monitoring of the coastal area of Lake Sevan, Armenia with a changing water level", *Remote Sens (Basel)*, c. 12, sy 22, s. 3821, 2020.

[100] T. Templin, D. Popielarczyk, ve R. Kosecki, "Application of low-cost fixed-wing UAV for inland lakes shoreline investigation", *Pure Appl Geophys*, c. 175, ss. 3263-3283, 2018.

[101] L. De Keukelaere *vd.*, "Airborne Drones for Water Quality Mapping in Inland, Transitional and Coastal Waters—MapEO Water Data Processing and Validation", *Remote Sens (Basel)*, c. 15, sy 5, s. 1345, 2023.

[102] F. Bandini, M. Butts, T. V. Jacobsen, ve P. Bauer-Gottwein, "Water level observations from unmanned aerial vehicles for improving estimates of surface water–groundwater interaction", *Hydrol Process*, c. 31, sy 24, ss. 4371-4383, 2017.

[103] F. Bandini, J. Jakobsen, D. Olesen, J. A. Reyna-Gutierrez, ve P. Bauer-Gottwein, "Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles", *J Hydrol (Amst)*, c. 548, ss. 237-250, 2017.

[104] N. Giulietti, G. Allevi, P. Castellini, A. Garinei, ve M. Martarelli, "Rivers' Water Level Assessment Using UAV Photogrammetry and RANSAC Method and the Analysis of Sensitivity to Uncertainty Sources", *Sensors*, c. 22, sy 14, s. 5319, 2022.

[105] S. K. Jain ve V. P. Singh, *Water resources systems planning and management*. Elsevier, 2003.

[106] D. Hering *vd.*, "The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future", *Science of the total Environment*, c. 408, sy 19, ss. 4007-4019, 2010.

[107] M. Esmail, W. E. Mahmod, ve H. Fath, "Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt", *Applied Ocean Research*, c. 82, ss. 274-282, 2019.

[108] M. Zeynoddin, H. Bonakdari, I. Ebtehaj, A. Azari, ve B. Gharabaghi, "A generalized linear stochastic model for lake level prediction", *Science of The Total Environment*, c. 723, s. 138015, 2020.

[109] K. N. Irvine ve A. J. Eberhardt, "Multiplicative, seasonal arima models for lake erie and lake ontario water levels 1", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, c. 28, sy 2, ss. 385-396, 1992.

[110] R. Khatibi, M. A. Ghorbani, L. Naghipour, V. Jothiprakash, T. A. Fathima, ve M. H. Fazelifard, "Inter-comparison of time series models of lake levels predicted by several modeling strategies", *J Hydrol (Amst)*, c. 511, ss. 530-545, 2014.

[111] H. Yiğitbaşıoğlu ve A. Uğur, "Burdur Gölü havzasında arazi kullanım özelliklerinden kaynaklanan çevre sorunları", *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, c. 2, sy 2, ss. 129-143, 2010.

[112] L. G. Kaya, C. Yücedağ, ve Ö. Duruşkan, "Burdur Gölü havzasının çevresel açıdan irdelenmesi", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, sy 1, ss. 6-10, 2015.

[113] S. Toure, O. Diop, K. Kpalma, ve A. S. Maiga, "Shoreline detection using optical remote sensing: A review", *ISPRS Int J Geoinf*, c. 8, sy 2, s. 75, 2019.

[114] H. Yildiz *vd.*, "Determination and validation of the Turkish Geoid Model-2020 (TG-20)", *Bulletin of geophysics and oceanography*, c. 62, ss. 495-512, 2021.

[115] M. Simav *vd.*, "Türkiye Yükseklik Sisteminin Modernizasyonu ve Gravite Altyapısının İyileştirilmesi Projesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15", *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, ss. 25-28, 2015.

[116] USGS, "United States Geological Survey, Landsat Collection 2". 2023. Erişim: 07 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2

[117] A. Ariza, M. Robredo Irizar, ve S. Bayer, "Empirical line model for the atmospheric correction of sentinel-2A MSI images in the Caribbean Islands", *Eur J Remote Sens*, c. 51, sy 1, ss. 765-776, 2018.

[118] M. S. Nixon ve A. S. Aguado, "Feature Extraction and Image Processing Second edition ed". London: Elsevier Ltd, 2008.

[119] E. Carrizosa ve D. R. Morales, "Supervised classification and mathematical optimization", *Comput Oper Res*, c. 40, sy 1, ss. 150-165, 2013.

[120] Y. Wang, S. Chen, ve Z.-H. Zhou, "New semi-supervised classification method based on modified cluster assumption", *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, c. 23, sy 5, ss. 689-702, 2012.

[121] T. Blaschke, "Object based image analysis for remote sensing", *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, c. 65, sy 1, ss. 2-16, 2010.

[122] F. Rottensteiner, "Isprs test project on urban classification and 3d building reconstruction: Evaluation of building reconstruction results", *Technical report*, 2013.

[123] I. Dronova, "Object-based image analysis in wetland research: A review", *Remote Sens (Basel)*, c. 7, sy 5, ss. 6380-6413, 2015.

[124] M. D. Hossain ve D. Chen, "Segmentation for Object-Based Image Analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing

perspective", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, c. 150, ss. 115-134, 2019.

[125] A. Y. Yiğit, "İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler yardımıyla yol tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2020.

[126] F. Cánovas-García ve F. Alonso-Sarría, "A local approach to optimize the scale parameter in multiresolution segmentation for multispectral imagery", *Geocarto Int*, c. 30, sy 8, ss. 937-961, 2015.

[127] Y. J. Zhang, "Evaluation and comparison of different segmentation algorithms", *Pattern Recognit Lett*, c. 18, sy 10, ss. 963-974, 1997.

[128] W.-X. Kang, Q.-Q. Yang, ve R.-P. Liang, "The comparative research on image segmentation algorithms", içinde *2009 First international workshop on education technology and computer science*, IEEE, 2009, ss. 703-707.

[129] J. Issa ve R. Olszewski, "Dyszkiewicz-Konwi nska, M. The Effectiveness of Semi-Automated and Fully Automatic Segmentation for Inferior Alveolar Canal Localization on CBCT Scans: A Systematic Review", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, c. 19, s. 560, 2022.

[130] T. Blaschke *vd.*, "Geographic object-based image analysis–towards a new paradigm", *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, c. 87, ss. 180-191, 2014.

[131] L. Drăguţ, O. Csillik, C. Eisank, ve D. Tiede, "Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers", *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, c. 88, ss. 119-127, 2014.

[132] B. B. Bilgilioğlu, "Uzaktan algılanmış görüntülerden faydalanılarak obje-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile kent merkezlerindeki detayların çıkarımı", Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 2015.

[133] S. K. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features", *Int J Remote Sens*, c. 17, sy 7, ss. 1425-1432, 1996.

[134] H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery", *Int J Remote Sens*, c. 27, sy 14, ss. 3025-3033, 2006.

[135] O. E. Malahlela, "Inland waterbody mapping: Towards improving discrimination and extraction of inland surface water features", *Int J Remote Sens*, c. 37, sy 19, ss. 4574-4589, 2016.

[136] L. Shen ve C. Li, "Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm", içinde *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, IEEE, 2010, ss. 1-4.

[137] X. Xiao *vd.*, "Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from VEGETATION images for paddy rice fields", *Int J Remote Sens*, c. 23, sy 18, ss. 3595-3604, 2002.

[138] G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, ve S. R. Proud, "Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery", *Remote Sens Environ*, c. 140, ss. 23-35, 2014.

[139] K. Rokni, A. Ahmad, A. Selamat, ve S. Hazini, "Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery", *Remote Sens (Basel)*, c. 6, sy 5, ss. 4173-4189, 2014.

[140] D. Lu, M. Batistella, E. Moran, ve P. Mausel, "Application of spectral mixture analysis to Amazonian land-use and land-cover classification", *Int J Remote Sens*, c. 25, sy 23, ss. 5345-5358, 2004.

[141] F. Rinaudo, F. Chiabrando, A. Lingua, ve A. Spano, "Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer", *The International archives of the photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences*, c. 39, ss. 583-588, 2012.

[142] J. Fernández-Hernandez, D. González-Aguilera, P. Rodríguez-Gonzálvez, ve J. Mancera-Taboada, "Image-based modelling from unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry: an effective, low-cost tool for archaeological applications", *Archaeometry*, c. 57, sy 1, ss. 128-145, 2015.

[143] A. Uslu ve M. Uysal, "Kitle kaynaklı fotoğraflar kullanılarak kültürel mirasın üç boyutlu modellenmesi ve web tabanlı görselleştirilmesi: Afrodisias-Tetrapylon örneği", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 21, sy 3, ss. 632-639, 2021.

[144] E. C. Seyrek, Ö. G. Narin, T. Koçak, ve M. Uysal, "Yüzey araştırmalarında İHA fotogrametrisinin kullanımı: Kolankaya Siperleri örneği", *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, c. 3, sy 2, ss. 69-75, 2021.

[145] L. Javernick, J. Brasington, ve B. Caruso, "Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry", *Geomorphology*, c. 213, ss. 166-182, 2014.

[146] A. Loye, M. Jaboyedoff, ve A. Pedrazzini, "Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, c. 9, sy 5, ss. 1643-1653, 2009.

[147] A. Kh. Hassoo, "Estimating Time Series Data on Energy Production in Türkiye by Comparing Bayesian and Classical Models", PhD Thesis, Van Yüzüncü Yıl University Institute of Natural and Applied Sciences , Van, Türkiye, 2023.

[148] S. Makridakis ve M. Hibon, "ARMA models and the Box–Jenkins methodology", *J Forecast*, c. 16, sy 3, ss. 147-163, 1997.

[149] J. M. Montgomery ve B. Nyhan, "Bayesian model averaging: Theoretical developments and practical applications", *Political Analysis*, c. 18, sy 2, ss. 245-270, 2010.

[150] P. Newbold, "ARIMA model building and the time series analysis approach to forecasting", *J Forecast*, c. 2, sy 1, ss. 23-35, 1983.

[151] Y.-W. Cheung ve K. S. Lai, "Bandwidth selection, prewhitening, and the power of the Phillips-Perron test", *Econ Theory*, c. 13, sy 5, ss. 679-691, 1997.

[152] B. Western ve M. Kleykamp, "A Bayesian change point model for historical time series analysis", *Political Analysis*, c. 12, sy 4, ss. 354-374, 2004.

[153] R. P. Sheridan, "Time-split cross-validation as a method for estimating the goodness of prospective prediction.", *J Chem Inf Model*, c. 53, sy 4, ss. 783-790, 2013.

[154] P. Mondal, L. Shit, ve S. Goswami, "Study of effectiveness of time series modeling (ARIMA) in forecasting stock prices", *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, c. 4, sy 2, s. 13, 2014.

[155] R. P. Heilbronner, "The autocorrelation function: an image processing tool for fabric analysis", *Tectonophysics*, c. 212, sy 3-4, ss. 351-370, 1992.

[156] M. M. Hossain ve F. Abdulla, "Forecasting the sugarcane production in Bangladesh by ARIMA model", *J Stat Appl Probab*, c. 4, sy 2, ss. 297-303, 2015.

[157] W. Wang ve A. K. Wong, "Autoregressive model-based gear fault diagnosis", *J. Vib. Acoust.*, c. 124, sy 2, ss. 172-179, 2002.

[158] R. Biswas ve B. Bhattacharyya, "ARIMA modeling to forecast area and production of rice in West Bengal", *Journal of crop and weed*, c. 9, sy 2, ss. 26-31, 2013.

[159] S. S. Pappas *vd.*, "Electricity demand load forecasting of the Hellenic power system using an ARMA model", *Electric Power Systems Research*, c. 80, sy 3, ss. 256-264, 2010.

[160] S. Çağırankaya, B. T. Meriç, ve H. Erden, "Sulak Alanlarda Planlama", içinde *Sulak Alanlar*, B. T. Meriç ve S. Çağırankaya, Ed., Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, 2013, ss. 127-146.

[161] G. Gözükara, "Eski Göl Tabanlarındaki Zamansal ve Mekansal Değişimlerin Toprak Oluşumuna Etkileri; Burdur Göl Havzası Örneği", Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2019.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Kaya, Y., Şanlı, F. B., & Abdikan, S. (2023). Determination of long-term water surface level change in lakes by integration of UAV and satellite data and future estimation with ARIMA. Advanced Engineering Days, 8, 8-11.

Makaleler

1. Kaya, Y., Sanli, F. B., & Abdikan, S. (2023). Determination of long-term volume change in lakes by integration of UAV and satellite data: the case of Lake Burdur in Türkiye. Environmental Science and Pollution Research, 30, 117729–117747. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30369-z