



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BAFA GÖLÜ İÇİN UZAKTAN ALGILAMA
TEKNİKLERİ İLE SİYANOBAKTERİLERİN
TESPİTİ, İZLENMESİ, ZAMANSAL ANALİZİ
VE GÖLE ULAŞAN KİRLETİCİ
YÜKLERİYLE İLİŞKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elif KIRTILOĞLU

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif Kırtıloğlu tarafından hazırlanan ‘‘Bafa Gölü için Uzaktan Algılama Teknikleri ile Siyanobakterilerin Tespiti, İzlenmesi, Zamansal Analizi ve Göle Ulaşan Kirletici Yükleriyle İlişkisinin Değerlendirilmesi’’ adlı tez çalışması 20/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

.....

Üye

Prof. Dr. Bilgehan NAS

.....

Üye

Prof. Dr. Semih EKERCİN

.....

Üye

Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 18201069 no’lu proje ve TÜBİTAK 1059B141800210 no’lu 2214-A Yurt Dışı Araştırma Burs Programı ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Elif KIRTILOĞLU

20/12/2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BAFA GÖLÜ İÇİN UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE SİYANOBAKTERİLERİN TESPİTİ, İZLENMESİ, ZAMANSAL ANALİZİ VE GÖLE ULAŞAN KİRLETİCİ YÜKLERİYLE İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif KIRTILOĞLU

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

2023, 79 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Semih EKERCİN
Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Siyanobakteriyel zararlı alg oluşumları (CyanoHABs) insan ve çevre sağlığı üzerinde ciddi zarar verici etkilere sahiptir. İç sularda farklı türlerde alg patlamalarına neden olan faktörler yıllardır araştırılmaktadır. Artan kanıtlar, küresel iklim değişikliğinin, kontrolsüz kentleşmenin, artan besin yüklemesinin ve düzensiz akış rejimlerinin, CyanoHAB'ların artan sıklığına, şiddetine, kapsamına ve daha geniş coğrafi dağılımına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Su kütlelerindeki pigment konsantrasyonlarının izlenmesi ve tahmin edilmesi, erken müdahalede veya önleme yöntemlerinin araştırılmasında kritik bir role sahiptir. Geleneksel izleme teknikleri son derece doğru olmasına rağmen, mekânsal ve zamansal kapsam açısından büyük ölçüde yetersizdir. Geleneksel yöntemin aksine, uzaktan algılama tabanlı yöntemler, mükemmel zamansal ve mekânsal kapsama sahiptir. Gelişmekte olan ve veri temininde sıkıntı yaşanan bölgelerde idealdir.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na (UNEP) göre iklim değişikliğinin sıcak noktası olan Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Bafa Gölü, yıllardır CyanoHAB ve kirlilik sorunlarıyla mücadele etmektedir. Ege Bölgesi'nin en büyük gölü olan Bafa, Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biridir. Göl hidrolojik projelerle korunmaya çalışılmaktadır. Bafa Gölü, su yönetimi açısından önemli bir nehir havzası olan Büyük Menderes Nehri Havzası'nda (BMN) yer almaktadır.

BMN havzası çok sayıda baraj ve sulama yapıları ile hidrolojik olarak yoğun düzenlenmiş, aynı zamanda tarımsal ve endüstriyel kirlilik yükü baskısı altındaki bir havzadır. Bu tez çalışmasının odak noktası, BMN'nin oluşturduğu sığ bir alüvyon set gölü olan Bafa'daki CyanoHAB'ların izlenmesi ve sebeplerinin araştırılmasıdır. 2013, 2014, 2018 ve 2019 yıllarında yerinde ölçülmüş klorofil-a (Chl-a) değerleri ile Landsat-8 OLI R_{re} RED, Blue/Green, R_{re} SWIR ve Floating Algae Index (FAI) bant/endeksleri kullanılarak, bir rastgele orman algoritması Chl-a (Random Forest Chl-a, RF_{chl-a}) tahmin modeli oluşturulmuştur. Modelde sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama için Karesel Ortalama Hata (KOH) 18,10 ve 14,25 µg/L ve normalleştirilmiş KOH yüzdeleri olarak (%KOH) % 15,8 ve % 29,2 değerleri elde edilmiştir. CyanoHAB eğilim ve frekans değerlerinin belirlenmesi amacıyla Landsat-8 OLI sensörlerinden 2013-2019 yılları arasında bir RF_{chl-a} zaman serisi oluşturulmuştur. CyanoHAB'a sebep olabilecek hidroloji, sediment, nütrient yükleri gibi çevresel faktörler ve meteorolojik çıktılar, ayrıntılı bir havza ölçekli Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modelinden elde edilmiştir. Model 2010-2013 yılları için kalibre edilmiş ve

2014-2019 yılları için doğrulanmıştır. Kalibrasyonda akış verileri için R^2 (coefficient of determination) 0,64-0,92, NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) 0,63-0,82, sediment verileri için, R^2 0,55-0,82, NSE 0,33-0,67, nütrient verileri için R^2 0,59-0,79, NSE -1,55 – 0,50'dir. Doğrulama da ise bu değerler akış verileri için R^2 0,57-0,97, NSE 0,54-0,92, sediment verileri için, R^2 0,66-0,81, NSE 0,10-0,79, nütrient verileri için R^2 0,40-0,77, NSE -0,51-0,71 olmuştur.

SWAT modeli ve RF_{chl-a} zaman serilerinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar, RF_{chl-a} değerlerini etkileyen parametrelerin mevsimsel olduğunu göstermiştir. Kurak-sıcak dönemde RF_{chl-a} ile anlamlı korelasyon bulunan parametreler (Pearson korelasyon katsayısı) evapotranspirasyon (0,60), toprak su içeriği (0,59) ve göl hacmi (0,55) olurken; yağışlı-soğuk dönemde perkolasyon (0,70), yağış (0,70) ve yüzey akışı (0,66) olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, Landsat-8 OLI verilerine dayalı Chl-a tahmin modeli ile SWAT modelinin birlikte kullanımının, bir havza ölçeğinde iç su kütlelerinde meydana gelen CyanoHAB olaylarının faktörlerini analiz etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri Havzası, CyanoHABs, Klorofil-a, Landsat OLI, Siyanobakteri, SWAT, Uzaktan Algılama.

ABSTRACT

PhD THESIS

DETECTION, MONITORING AND TEMPORAL ANALYSIS OF CYANOBACTERIA BY REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR LAKE BAFA AND EVALUATION OF RELATIONSHIP WITH LOADS REACHING THE LAKE

Elif KIRTILOGLU

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Hakan KARABÖRK

2023, 79 Pages

Jury

**Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Prof. Dr. Bilgehan NAS
Prof. Dr. Semih EKERCİN
Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK**

Cyanobacterial harmful algal blooms (CyanoHABs) seriously damaging effects on human and environmental health. Factors that ultimately lead to the formation of different types of algal blooms in inland waters have been investigated for years. Mounting evidence indicates that global climate change, uncontrolled urbanization, increased nutrient loading and irregular flow regimes of freshwater systems are contributing to the increased frequency, severity, extent, and broader geographic distribution of CyanoHABs. Monitoring and estimating pigment concentrations in water bodies has a critical role in the search for early intervention or prevention methods. Traditional monitoring techniques, although highly accurate, are vastly insufficient in terms of spatial and temporal coverage. Unlike the traditional method, remote sensing-based methods have excellent temporal and spatial coverage and are ideal for developing and data-deficient regions. Located in the Mediterranean region, which is the hot spot of climate change according to the United Nations Environment Programme (UNEP), Lake Bafa has been struggling with CyanoHAB and pollution problems for years. The lake is one of the most important wetlands of Turkey and is trying to be protected with hydrological projects. Lake Bafa is located in the Büyük Menderes River Basin (BMN), an important river basin in terms of water management. The BMN basin is a hydrologically highly regulated basin with dense dams and irrigation structures and is also under pressure from agricultural and industrial pollution. This thesis focuses on monitoring and investigating the cause of CyanoHABs in Bafa, a shallow alluvial barrier lake formed by the BMN.

A Random Forest Chlorophyll-a (RF_{chl-a}) pigment quantification model was calibrated and validated with a root mean square error (RMSE) of 18.10 and 14.25 $\mu\text{g/L}$ and a normalized percent root mean square error (%NRMSE) of %15.8 and %29.2 respectively, from measured in-situ Chl-a values between 2013, 2014, 2018, and 2019 using R_{rc} RED, Blue/Green, R_{rc} SWIR and Floating Algae Index (FAI). A time series of remotely estimated RF_{chl-a} was developed from 2013 to 2019 Landsat-8 OLI sensor data. CyanoHABs drivers related to environmental factors such as nutrient, sediment, hydrological and meteorological outputs were obtained from a detailed non-point source Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. It was calibrated for 2010-2013 and validated for 2014-2019 years. The results for the flow data ranged from R^2 (coefficient determination) 0.64-0.92, NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) 0.63-82, and R^2 0.57-0.97, NSE 0.54-0.92; for the sediment data, R^2 0.55-0.82, NSE 0.33-0.67, and R^2 0.66-0.81, NSE

0.10-0.79; for the nutrient data, R^2 0.59-0.79, NSE -1.55 - 0.50, and R^2 0.40-0.77, NSE -0.51-0.71 obtained for the calibration and the validation period consequently. The evaluation of the SWAT model and RFchl-a time series showed that the parameters affecting RF_{chl-a} values are seasonal. A significant positive correlation (Pearson correlation coefficient) was observed between RF_{chl-a} and the most significant parameters of evapotranspiration (0.603), soil water content (0.592), and reservoir volume (0.550) for the dry season, percolation (0.701), precipitation (0.699), and surface runoff (0.659) for the wet season. Outputs of this study revealed that combining Landsat-8 OLI data and the SWAT model has the potential to analyze the drivers of CyanoHABs spatio-temporal variability of inland water bodies in a basin scale.

Keywords: Lake Bafa, Büyük Menderes River Basin, CyanoHABs, Chlorophyll-a, Landsat OLI, Cyanobacteria, SWAT, Remote Sensing.



ÖNSÖZ

Bu tezin tamamlanması sırasında destekleri ve rehberlikleri için çok sayıda kişiye teşekkür etmek istiyorum. Öncelikle danışmanım Prof. Dr. Hakan Karabörk'e yüreklendirici ve destekleyici rehberliği için teşekkür ederim. Prof. Dr. Bilgehan Nas'a bu çalışmaya başlamamdaki fikir ve ilhamından dolayı teşekkür ederim. Prof. Dr. Hakan Karabörk ve Prof. Dr. Bilgehan Nas her türlü bilgi, tecrübe ve imkanları benimle paylaşarak çalışmanın tamamlanmasında önemli rol oynamıştır. Tez komitesi üyesi Prof. Dr. Ferruh Yıldız'a babacan destekleri, değerli geri bildirimleri ve önerileri için teşekkür ederim. Doç. Dr. Osman Orhan ve Dr. Öğr. Üyesi Bilgehan Makineci arkadaşlıkları ve değerli yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tübitak 2214-A Yurt Dışı Araştırma Burs Programı kapsamında Amerika Birleşik Devletleri University of Georgia'da (UGA) yurt dışı danışmanım Prof. Dr. Deepak Mishra ile çalışma fırsatı bulduğum için çok şanslıyım. Bu yolda hep ışığım oldu ve destek ve rehberliklerinden dolayı minnettarım. Dr. Abhishek Kumar sorunları çözerken başvurduğum ilk insan oldu. Teze olan katkıları ve arkadaşlığı için teşekkür ederim. Bahsi geçen kurumlara sağladıkları imkânlardan dolayı teşekkür ederim.

İş arkadaşlarım Harita Mühendisi Cansu Karaca, Harita Mühendisi Eren Arıkan, Ziraat Yüksek Mühendisi Sevgi Çindemir, Ziraat Yüksek Mühendisi Müjgan Duman ve Ziraat Mühendisi Nergis Aker'e yardımları, bilgileri, sabır ve güler yüzleri için teşekkür ederim.

İzmir Devlet Su İşleri Bölge Müdürlüğü Harita Mühendisi Can Karaca ve Aydın Bölge Müdürlüğü İşletme ve Bakım Şube Müdürü Sn. İbrahim Üsküplü'ye, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şubesi Müdürü Sn. Göktürk Ceviz'e, Kimya Mühendisi Belgin Demirtaş'a, Ziraat Mühendisi Hale Kılıç Önal'a ve kurum personellerine veri toplama aşamasındaki nezaketleri ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca anlayışla bana destek olan anne ve babama sonsuz minnettarım. Ve son olarak beni yüreklendirmesi ve desteklemesinin yanında akademik olarak da her zaman danıştığım eşim Dr. Öğr. Üyesi Osman Sami Kırtıloğlu'na teşekkür ederim. Eşim ve ailemin desteği, sevgisi ve sabrı olmasa bunların hiçbiri mümkün olmazdı.

Elif KIRTILOĞLU
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Çalışma Alanı	13
3.2 SWAT – Soil and Water Assessment Tool Modeli	16
3.2.1. SWAT model girdileri	17
3.2.2 Tarım ürünleri yönetimi	24
3.2.3 Rezervuarların yönetimi	27
3.2.4 Noktasal yükler	30
3.2.5 SWAT modelinin kurulumu	31
3.2.6 Kalibrasyon ve doğrulama – SWAT-Calibration Uncertainty Procedures....	34
3.3 Uzaktan Algılama Modeli.....	38
3.3.1. Uydu verileri	38
3.3.2. Yerinde ölçüm Chl-a verileri	40
3.3.3. Uzaktan algılama Chl-a tahmin modeli	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	47
4.1. SWAT Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulanması	47
4.2. RF Regresyon Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulanması.....	57
4.3. RF _{Chl-a} Zaman Serisi.....	59
4.4. RF _{Chl-a} ve SWAT Çıktıları Korelasyon Analizleri.....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
5.1 Sonuçlar	68
5.2 Öneriler	69
6. KAYNAKLAR	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ALPHA_BF: Baz Akım Alfa Faktörü (Gün)

AMLE : Adjusted Maximum Likelihood Estimation

API : Application Programming Interface

BC1 : 20 °C'de NH₄'ün NO₂'ye biyolojik oksidasyonu için hız sabiti [gün-1]

BC3 : 20°C'de organik N'nin NH₄'e hidrolizi için hız sabiti [gün-1]

BMN : Büyük Menderes Nehri

CDN : Denitrifikasyon üstel oran katsayısı

CDOM : Colored Dissolved Organic Matter

CH_K2 : Ana kanal alüvyonunda etkin hidrolik iletkenlik

CH_N2 : Ana kanal için Manning'in "n" değeri

CH_S2 : Ana kanalın ortalama eğimi

Chl-a : Klorofil-a

CLC : CORINE Land Cover

CMN : Aktif organik azotun humus mineralizasyonu için oran faktörü

CN : Curve Number

CN2 : Toprak nemi II için SCS yüzeysel akış eğim değeri

CORINE : Coordination of Information on the Environment

CV : Coefficient of Variation (Korelasyon Katsayısı)

CyanoHAB : Cyanobacterial Harmful Algal Blooms

DEM : Digital Elevation Model

DSİ : Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

EEA : European Environment Agency

ERORGN : Organik N zenginleştirme oranı

ERORGP : Organik P zenginleştirme oranı

ESA : Avrupa Uzay Ajansı

ESCO : Toprak buharlaşması faktörü

ET : Evaporation and transpiration- evapotranspirasyon (mm)

EUMETSAT : European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

EVAP : Buharlaşma

EVRSV : Göl buharlaşma katsayısı (varsayılan 0.6)
FAI : Floating Algae Index
FAO : Food and Agriculture Organization
FEWS-RFE : Famine Early Warning System rainfall estimate
GRACE : Gravity Recovery and Climate Experiment
GW_DELAY : Yeraltı Suyu Gecikme süresi
GW_REVAP : Yeraltı suyu revap. Katsayısı
GWQMN : Sığ akiferden geri dönüş suyu için eşik su derinliği (mm)
HRU : Hydrologic Response Units
HRU_SLP : Ortalama eğim dikliği
IOPs : Inherent optical properties
JRC : Joint Research Centre
KS : Kurak-Sıcak dönem (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos)
KOH-RMSE: Karesel ortalama hata-, Root Mean Square Error
Landsat ETM+ : Lansat Enhanced Thematic Mapper Plus
Landsat TM : Landsat Thematic Mapper
MERIS : Medium Resolution Imaging Spectrometer
METI : Japon Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı
MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS : Moderate Resolution Imaging spectroradiometer
MR : Çoklu Regresyon
MSS : Multi-Spectral Scanner
N_ORG : Organic N yield- havzadan taşınan organik nitrojen (kg N/ha)
NASA : ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
NH₄ : Ay boyunca nehirde taşınan amonyum
NIR : Near Infrared
NO₃ : Ay boyunca nehirde taşınan nitrat
NPERCO : Azot süzülme katsayısı
NSE : Nash-Sutcliffe Efficiency
OLI : Operational Land Imager
ORGN : Nehirde taşınan organik azot
ORGP : Ay boyunca nehirde taşınan organik fosfor
P_ORG : Organik P yield- havzadan taşınan organik fosfor (kg P/ha)

PERC : Percolation- sızma (mm)
PET : Potansiyel evapotranspirasyon
POC : Particulate Organic Carbon
PREC: Precipitation- yağış (mm)
RBINS : Royal Belgian Institute of Natural Sciences
RCN : Yağışta nitrojen konsantrasyonu
RES_EVOL : Rezervuar acil dolu savak hacmi
RES_NH₃ : Amonyak konsantrasyonu
RES_ORGN : Nitrojen konsantrasyonu
RES_PVOL : Rezervuar işletme hacmi
REVAPMN : ‘revap’ değeri için sığ akiferde eşik su derinliği (mm)
RF : Random Forest
RFchl-a : Random Forest Klorofil-a
RS3 : 20 °C'de erişimde NH₄-N için bentik kaynak oranı [mg NH₄-N/[m²·gün]]
RS5 : 20 °C'de [gün-1] ulaşılabilecek organik fosfor çökeltme oranı
SAM : Sayısal Arazi Modeli
SED : Nehirde taşınan sediment miktarı
SLSOIL : Yanal yüzey altı akışı için eğim uzunluğu
SMFMN : Minimum kar erime hızı faktörü
SMFMX : Maksimum kar erime hızı faktörü
SMTMP : simülasyondan sonra kar erime sıcaklığı
SNAP : Sentinel Application Platform
SOL_AWC : Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi
SOL_BD : Toprak yoğunluğu (g/cm³)
SOL_K : Toprak iletkenliği (mm/sa)
SOL_ORGP : Yüzey toprak tabakasındaki ilk organik P konsantrasyonu [mg/kg]
SPCON : Sediment taşıma katsayısı
SPEXP : Sediment taşıma denkleminde üs (kuvvet)
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
SS : Askıda katı madde
SSD : Secchi disk derinliği
SUFI-2 : Sequential Uncertainty Fitting version 2
SURQ : Surface runoff- yüzey akışı (mm)
SW : Soil water- toprak nemi (mm)

SWAT : Soil and Water Assessment Tool
SWAT-CUP : SWAT Calibration and Uncertainty Procedure
SWIR : Short wave infrared
SYLD : Sediment yield- havzadan taşınan sediment (metrik ton/ha)
SYM : Sayısal yüzey modeli
TA : Tüm Aylar
TN : Toplam Azot
TOT_N : Hidrolojik modelde ay boyunca nehirde taşınan toplam nitrojen
TOT_P : Hidrolojik modelde ay boyunca nehirde taşınan toplam fosfor
TN : Toplam Fosfor
TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission
TSI : Trophic State Index
TSS : Total Suspended Matter -Toplam askıda katı madde
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP : Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNEPMAP : Birleşmiş Milletler Çevre Programı Akdeniz Aksiyon Planı
UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USDA : United States Department of Agriculture
USGS : United States Geological Survey
USLE_K : USLE denklemi toprak aşınabilirlik (K) faktörü
USLE_P : USLE destek uygulama faktörü
VCİ : Visual Cyanobacteria Index
WEAP : Water Evaluating and Planning System
WEAP-PGM : Water Evaluating and Planning System Plant Growth Model
WGS 1984 : World Geodetic System 1984
YS : Yağışlı-Soğuk dönem (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat)
%KOH -%RMSE: Normalleştirilmiş Karesel Ortalama Hata Yüzdesi-, Normalized

1. GİRİŞ

Su kütlelerinde yüksek sayılarda bulunabilen fitoplankton grupları, ekosistem değişimleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Falkowski ve ark., 2004; Mishra ve ark., 2013). Siyanobakteriler de bu gruba dahil olan bir bakteri çeşididir ve en çok görülen türüdür (Havens, 2008; Ruiz-Verdú ve ark., 2008). Göl ekosistemlerinde çoğalıp sayılarının artması istenmeyen bir durumdur (Weber ve ark., 2020). Siyanobakteriyel zararlı alg patlamaları (CyanoHABs), sucul ekosistemlerin içme ve sulama suyu, balıkçılık ve rekreasyon amaçlı kullanımına yönelik büyük bir tehdit oluşturabilir (Paerl ve ark., 2011). CyanoHAB'lar insan ve çevre sağlığı üzerinde ciddi zarar verici etkilere sahiptir (Paerl ve ark., 2011; Chapra ve ark., 2017). İnsanların, vahşi yaşamın ve su sistemlerinin uzun vadeli ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği için önemli bir tehdit olduğundan, dünya çapında su kaynakları yöneticileri, çevre kurumları ve halk sağlığı kuruluşları için önemli bir endişe haline gelmiştir (Mishra ve ark., 2020). CyanoHAB'lar tarafından salınan toksinlerin dermatit, gastrointestinal, solunum, nörolojik bozukluklar, karaciğer ve böbrek fonksiyonları üzerinde olumsuz etkileri vardır (Clark ve ark., 2017). Spesifik olarak, alg patlamaları su berraklığını azaltabilmekte ve bu nedenle su altındaki bitki örtüsünün büyümesini ve popülasyonlarını baskılayabilmektedir (Qin ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2017). Ayrıca, siyanobakteriler insanlar, balıklar ve kuşlar tarafından yutulduğunda karaciğer, sindirim ve nörolojik hastalıklara neden olan çeşitli toksinler üretebilmektedir (Carmichael, 2012; Merel ve ark., 2013; Sun ve ark., 2015).

İç sularda farklı türlerde CyanoHAB olaylarına neden olan faktörler yıllardır araştırılmaktadır. Artan kanıtlar küresel iklim değişikliğinin, kontrolsüz kentleşmenin, artan besin girdilerinin ve tatlı su sistemlerinin düzensiz akış rejimlerinin CyanoHAB'ların artan sıklığına, şiddetine, kapsamına ve daha geniş coğrafi dağılımına katkıda bulunduğunu göstermektedir (Paerl ve Paul, 2012; Backer ve ark., 2013; Paerl ve ark., 2016).

Dünya çapında rapor edilen CyanoHAB sıklığında son zamanlarda önemli bir artış olmuştur (Blondeau-Patissier ve ark., 2014). Harke ve ark. (2016), yaptıkları küresel analizde, 108 ülkede *Microcystis* patlamalarına ilişkin belgeler bulmuştur ve 79 ülkede *hepatatoxin microcystin* rapor edilmiştir. CyanoHAB olaylarını raporlamak için farkındalık ve toplum katılımını artırmaya yönelik bir yurttaş bilimi projesi olan

CyanoTRACKER¹, yalnızca 2016'da 100'ün üzerinde yerel ve uluslararası büyük CyanoHAB olayı bildirmiştir (Mishra ve ark., 2020). Bununla birlikte, küresel ısınma nedeniyle gelecekte CyanoHAB olaylarında artış beklendiğini ortaya koyan çalışmalara ulaşmak da mümkündür (Kosten ve ark., 2012; Paerl ve Paul, 2012).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı Akdeniz Aksiyon Planı'na (UNEPMAP, 2022) göre, Akdeniz bölgesi küresel ortalamadan %20 daha hızlı ısınmaktadır. Türkiye, Akdeniz bölgesinde yer alan bir iklim değişikliği sıcak noktasıdır ve yıllardır CyanoHAB olaylarıyla mücadele etmektedir. Son 10 yılda, Türkiye'nin iç göllerinde birçok CyanoHAB olayı meydana gelmiştir (Koker ve ark., 2017). Bafa Gölü de bunlardan biridir ve büyük çaplı CyanoHAB olayları ile gündeme gelmektedir (Kızılkaya ve ark., 2016). CyanoHAB yoğunlukları ve dağılımları hakkında bilgi toplamak risk değerlendirmesi ve su yönetimi faaliyetlerine yardımcı olmakla beraber (Hunter ve ark., 2009), su kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile de oldukça ilişkilidir (Shi, Zhang, Li, ve ark., 2015)

Geleneksel siyanobakteri izlenmesi süreci, sahadan örnek alımı ve laboratuvar analizlerine dayanmaktadır. Noktasal veri sağlayan bu yöntem yüksek doğruluk sağlamakla birlikte, mekânsal kapsam bakımından kısıtlıdır. Yoğun emek gerektiren, zaman alıcı ve pahalı olan bu yöntemler, bölgesel ve ulusal ölçekte veri sağlamakta yetersizdir. Sadece bir istasyonda veya sınırlı sayıdaki istasyonlarda numune almak, özellikle büyük göllerde öbekler halinde dağılmış siyanobakteri patlamalarının bulunduğu yerlerde, siyanobakterilerin yoğunluğunun tahmin edilmesi için yeterli değildir (Hunter ve ark., 2010). Siyanobakteriler uygun koşullar altında hızlıca çoğalabilmektedir ve patlamaların kısa süre aralıklarında artabilme ya da azalabilme potansiyellerinden dolayı tespit edilmeleri, yüksek zamansal çözünürlüğe ihtiyaç duymaktadır. Tespit sürecinde geleneksel yöntemleri destekleyici ve genişleten teknikler geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Hunter ve ark., 2009, 2010; Matthews ve Odermatt, 2014). Uydu platformlu uzaktan algılama teknolojisindeki son gelişmeler ve açık kaynaklı arşiv görüntüleri ve yakın tarihli güncel uydu verilerinin varlığı, su kalitesi izleme olanaklarını desteklemek ve genişletmekte önemli bir yere sahiptir (Liu ve ark., 2021; Warren ve ark., 2021). Geleneksel yöntemin aksine, uzaktan algılama-tabanlı yöntemler, mükemmel zamansal ve mekânsal kapsama sahiptir. Gelişmekte olan ülkeler

¹ <http://dips.cs.uga.edu/cynoproject.html>

ve veri eksikliği olan bölgeler için idealdir (Wynne ve ark., 2010; Hill ve ark., 2020; Peterson ve ark., 2020).

Siyanobakterilerde bulunan Klorofil-a (Chl-a) pigmenti uydu tabanlı platformlar tarafından tespit edilebilir ve CyanoHAB olaylarını tespit etmek ve gözlemlemek için yıllardır kullanılmaktadır (Gower ve ark., 1999; Gitelson ve ark., 2009; Blondeau-Patissier ve ark., 2014; Li ve ark., 2018; Zolfaghari ve ark., 2022). Son çalışmalar, Chl-a tahmini için Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Hu et al., 2010), Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) (Matthews, 2011), Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (Gitelson ve ark., 2009), Landsat Operational Land Imager (OLI) (Bresciani ve ark., 2018) ve Sentinel-2A (Page ve ark., 2018) gibi multispektral uyduların etkinliğini göstermiştir. Landsat OLI, Chl-a yansıtma değeri tepe noktasının doğrudan ölçümü için gerekli olan red edge bandına (705 nm) sahip olmamasına rağmen (Page ve ark., 2018), CyanoHAB olaylarının fenolojisini anlamak için gerekli olan 16 günlük tekrar döngüsü sıklığı ile Chl-a'nın sinoptik dağılımının zaman serisini oluşturmaya imkan sunmaktadır (Sun ve ark., 2015). CyanoHAB olaylarının sebeplerini araştıran önceki çalışmalar genellikle meteorolojik veriler ve hidrolojik verilerle sınırlıdır (Zhu ve ark., 2014; Clark ve ark., 2017; Maniyar ve ark., 2022). CyanoHAB olaylarının potansiyel faktörleri olan hidrolojik süreçler ve çevresel faktörlerin (sediment ve nütrient yükleri vb.) havza-bazlı modellenmesi, CyanoHAB'ların fenolojisinin detaylı olarak anlaşılmasına imkân sağlayacaktır.

Soil and Water Assessment Tool (SWAT), hidrolojik ve çevresel değişkenleri değerlendirmek için etkili bir modeldir. Su kaynakları modellenmesi, iklim ve arazi kullanımı değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesi, noktasal ve yayılı yük hesaplamaları ile su kalitesi odaklı araştırmalarda yaygın olarak kullanılır (Arnold ve ark., 2012). USDA (Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı) tarafından geliştirilmiş, fiziksel-tabanlı, sürekli (uzun bir ıslak ve kurak dönem boyunca sonuç veren) ve yarı dağıtılmış (mekânsal olarak alt havzalar ve daha küçük işleme birimleri) bir havza modelidir (J.G. Arnold ve ark., 1998; Arnold ve ark., 2011, 2012). SWAT modelinin başarılı uygulamaları, farklı iklim kuşaklarında, farklı coğrafi koşullara sahip alanlarda, alan ölçeğinden havza ölçeğine değişen farklı disiplinler tarafından gösterilmiştir.

Bu çalışma, uzaktan algılama yöntemlerini SWAT modeli ile birleştirerek büyük boyutlu, çok sayıda baraj ve sulama yapıları ile hidrolojik olarak yoğun düzenlenmiş ve nispeten veri eksikliği içeren bir nehir havzasında, tipik olmayan (regülatörler tarafından

organize edilen su giriş-çıkışı) bir gölün CyanoHAB sebeplerini kapsamlı bir şekilde araştırmak için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

Çalışmanın amaçları;

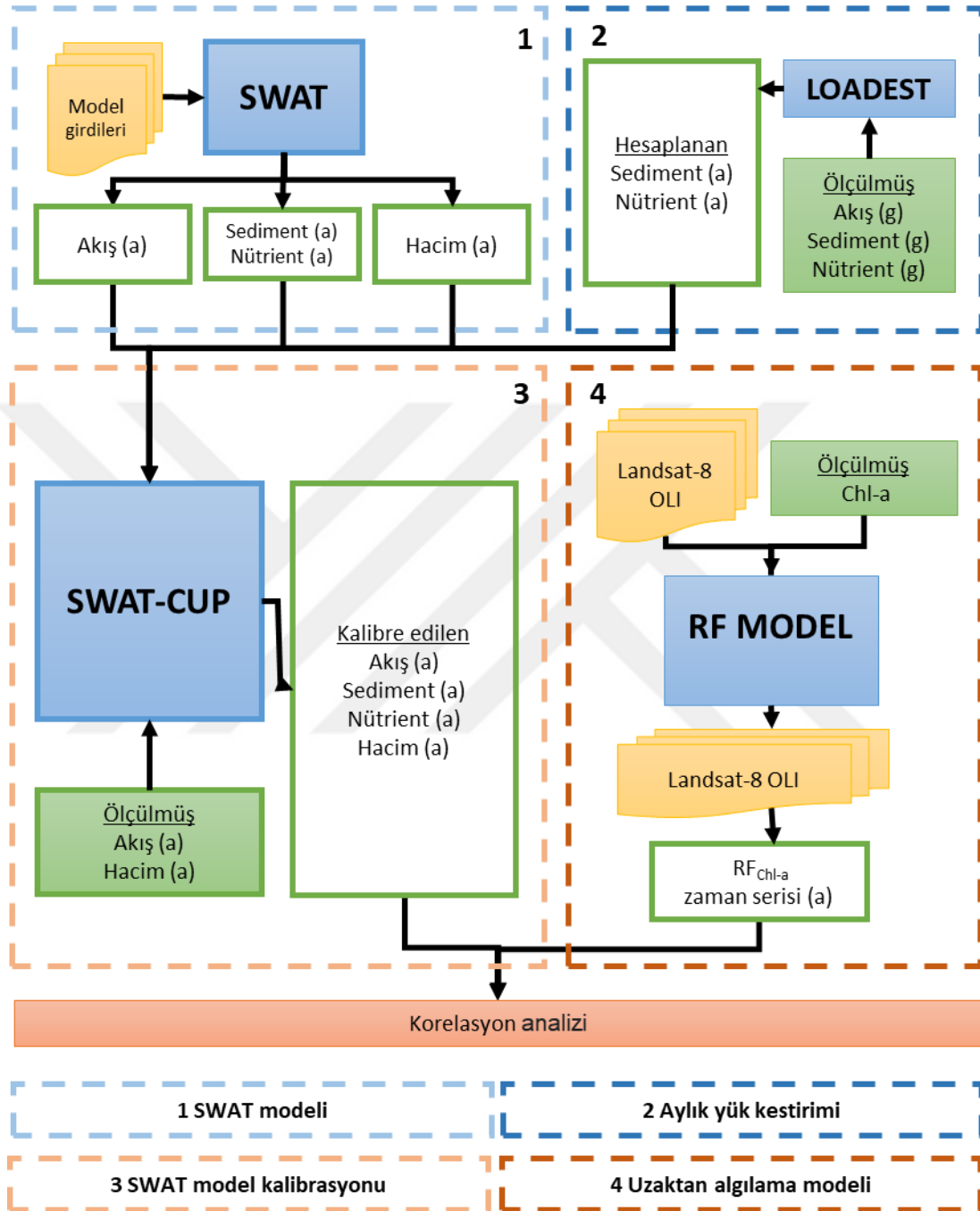
- Bafa Gölü'nde meydana gelen CyanoHAB olaylarının belirli bir zaman aralığında analizi ve sebeplerinin havza ölçeğinde belirlenebilmesi için BMN havzasında bir mekânsal veri tabanı oluşturmak.
- BMN Havzası'nın SWAT ile 9 yıllık (2010-2019) kalibre edilmiş ve doğrulanmış detaylı bir hidrolojik modelini oluşturmak,
- Bafa Gölü'nde Chl-a değerlerinin elde edilmesi için Landsat-8 OLI görüntülerine dayalı bir ampirik uzaktan algılama modeli oluşturmak,
- Bu uzaktan algılama modelini kullanarak CyanoHAB olaylarının eğilim, frekans ve mekânsal dağılımını karakterize etmek amacıyla 2013-2019 yılları zaman aralığı için bir Chl-a zaman serisi elde etmek,
- Chl-a zaman serisi ve SWAT model çıktılarının arasındaki ilişkileri analiz ederek CyanoHAB olaylarını tetikleyen faktörleri araştırmaktır,

şeklinde sıralanabilmektedir. Çalışmaya ait işlem adımları dört ana süreç şeklinde gruplandırılmış ve Şekil 1.1'de verilmiştir.

Bu amaçlara ulaşabilmek için tezin kaynak araştırması bölümünde literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiş ve tezin motivasyonu açıklanarak benzer çalışmalarla karşılaştırılması yapılmıştır. Bafa Gölü'nün fiziksel özellikleri, sosyo-ekonomik önemi ve BMN havzasındaki konumu materyal ve yöntem bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca BMN havzası hidrolojik önemi ve havza genelinde veri ulaşılabilirliği hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Havzanın SWAT modeli ve Bafa Gölü'nün uzaktan algılama modeli, daha anlaşılır bir kurgu oluşturmak için iki alt başlık halinde ele alınmıştır. Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde uzaktan algılama modelinin yerinde ölçümlerle kalibrasyonu ve doğrulaması süreçleri ele alınmıştır. Aynı şekilde havza modelinin simülasyonundan elde edilen çıktı parametrelerinin kalibrasyonu ve doğrulanması süreci de bu bölümde tartışılmıştır. Elde edilen model parametrelerinin zamansal ve mekânsal değişen ölçekte ilişkilerinin ortaya konması bu bölümde gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar ve öneriler bölümünde, oluşturulan modellerden elde edilen çıktılar ve bu çıktıların birbirleri ile ilişkileri tartışılmıştır. Öneriler bölümünde model

performansları tartışılarak gelecekteki çalışmalarda bu performansları arttıracak yaklaşımlar açıklanmıştır.



(a) aylık, (g) günlük verileri temsil etmektedir.

Şekil 1.1 Tez Çalışması temel süreçleri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Uzaktan algılama, iç sularda su bileşenlerinin ve CyanoHAB olaylarının izlenmesi için bir araç olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılama, toplam askıda madde (Total Suspended Matter, TSS) (Nechad ve ark., 2010; Shi, Zhang, Zhu, ve ark., 2015), renkli çözünmüş organik madde (Colored Dissolved Organic Matter, CDOM), (Kutser ve ark., 2005), partikül organik karbon (Particulate Organic Carbon, POC) (Duan ve ark., 2014), nütrientleri (Song ve ark., 2011; Sun ve ark., 2014), trofik durum indeksini (Trophic State Index, TSI) (Wang ve ark., 2018; Wen ve ark., 2019), su altı bitki örtüsünü (Zhang ve ark., 2017; Han ve ark., 2018), alglerle ilişkili pigmentler ve indeksler (Kutser, 2004; Hu ve ark., 2010; Matthews ve ark., 2012; Mishra ve ark., 2013; Shi, Zhang, Li, ve ark., 2015; Shi ve ark., 2017) de dahil olmak üzere iç suların bileşenlerini araştırmak için kullanılmıştır.

1970'li yıllarda başlayan hava ve uydu platformlu uzaktan algılama ile su kalitesi parametrelerinin araştırılması konusu artan bir sayı ile araştırmalara konu olmuştur (Blondeau-Patissier ve ark., 2014; Topp ve ark., 2020). Wrigley ve Horne (1974), California'da bulunan Clear Gölü'nün bir kısmına ait kızılötesi görüntüsünden, siyanobakteri patlaması desenlerini tespit etmişlerdir. Bir siyanobakteri türü olan *Nodularia* patlamasının ilk bilimsel uydu gözlemi Öström (1975) tarafından Landsat Multi-Spectral Scanner (MSS) görüntüleri ile yapılmıştır. Neville ve ark. (1977), uçağa monte edilmiş bir spektrometre ile Kanada, British Columbia'nın kıyı deniz suyu için optik yansıma spektrumunun, Chl-a'nın flüoresansından kaynaklandığı şeklinde yorumlanan, 685 nm merkezli geniş bir çizgi içerdiği sonucuna varmıştır.

Morel ve Prieur (1977), su kütlelerini Durum-1 ve Durum-2 sular olarak iki farklı gruba ayırmıştır. Durum-1 suları olarak isimlendirilen ilk grup içsel optik özelliklerine (inherent optical properties, IOPs) fitoplanktonun (örneğin, çoğu açık okyanus suları) hâkim olduğu suları ve Durum-2 olarak isimlendirilen ikinci grup ise diğer tüm suları (bazı kıyı ve iç sular) temsil etmektedir. Literatürde bu sınıflandırma su kalitesi çalışmalarında kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Scarpace ve ark. (1979), Landsat MSS verilerini kullanarak Wisconsin'in büyük göllerinin trofik durumunu eyalet çapında değerlendirmiştir. Benzer bir çalışma Minnesota'da Lillesand ve ark. (1983) tarafından yürütülmüştür. Gower (1980), çalışmalarında gözlenen flüoresans çizgi yüksekliğinin, Chl-a konsantrasyonu ile daha ayrıntılı bir karşılaştırmasının sonuçlarını ortaya koymuş ve çizgi yüksekliğinin Chl-a

konsantrasyonuna orantılı olduğunu doğrulamıştır. 685 nm'ye yakın maksimum flüoresans değeri, Chl-a'yı tahmin etmek için sıklıkla kullanılmıştır. Gitelson ve Merzlyak (1994), benzer şekilde 685 nm'ye yakın maksimum flüoresans değerini, Chl-a'yı tahmin etmek için kullanmıştır.

1980'li yılların sonlarında uzaktan algılama ile okyanus rengini Chl-a konsantrasyonu ile ilişkilendiren yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Chl-a konsantrasyonunu tahmin etmek için ampirik, yarı ampirik ve semi analitik algoritmalar geliştirilmiştir. Gordon ve ark. (1988), Durum-1 suları için fitoplankton pigment konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak, deniz yüzeyinde spektral parlaklığı tahmin eden yarı ampirik bir parlaklık modeli geliştirmiştir.

Ayrıca Durum-1 okyanus sularının optik davranışlarının yorumlandığı (Morel, 1988; Sathyendranath ve ark., 1989), kıyı bölgesi renkli tarayıcı gözlemlerinden türetilen ve modellenen pigment dağılımının incelendiği (Morel ve Andre, 1991), bulanık iç su kalitesinin Landsat Thematic Mapper (TM) ile izlendiği (Lathrop, 1992), yüzey Chl-a konsantrasyonunun ve Secchi disk derinliğinin rutin olarak izlenmesi için Landsat TM verilerinin değerlendirildiği (Pattiaratchi ve ark., 1993), canlı fitoplanktonun Chl-a'ya özgü absorpsiyon katsayılarındaki değişkenliğin analiz edildiği (Bricaud ve ark., 1995) ve 11 rezervuardaki su kalitesini değerlendirmek için uydu tabanlı uzaktan algılama tekniklerinin potansiyelinin değerlendirildiği çalışmalar, 1980'lerin sonlarından başlayarak 90'lı yıllara öne çıkanları temsil etmektedir.

2000'li yılların başından itibaren su kalitesi parametrelerinin analizi için uzaktan algılama modellerini uygulayan yayınlarda artış yaşanmıştır. Chl-a konsantrasyonu tahmini için Landsat uydu görüntülerinden lineer regresyon, tek bant, ya da bant oranı kullanan çalışmalara örnek olarak Harma (2001), Hellweger ve ark. (2004), Kallio ve ark. (2008) ve Wu ve ark. (2008) verilebilmektedir.

Bu tarihlerde çalışmaların sayısını artıran faktörler sensörlerdeki artış ve veri erişimine kolaylık olarak sıralanabilir. SeaWiFS (1997), MODIS Terra (1999), Aqua (2002), Hyperion (2000) ve MERIS (2002) gibi okyanus renk sensörlerinden elde edilebilen verilerin çoğalmasıyla, bu alanda yapılan çalışmalar ve geliştirilen modellerde artış yaşanmıştır. Bununla birlikte 2008 yılında Landsat verilerine açık erişime geçiş de bu artışa destek olmuştur (Topp ve ark., 2020).

2010'lu yıllarda ulusal makamlar (Örneğin İngiltere GloboLakes, Avusturalya Water for a healthy country flagship, Kuzey Amerika Great Lakes Restoration Initiative ve ABD Harmful Algal Bloom early warning system projeleri), uzay ajansları (Diversity

II, A Wealth of Water projeleri) ve Avrupa Komisyonu (GLaSS, INFORM) tarafından finanse edilen projelerin de etkisiyle çalışmaların sayısında belirgin bir artış gözlenmiştir (Dörnhöfer ve Oppelt, 2016).

Uzaktan algılama ile su bileşiklerinin izlenmesinde kullanılan sensörleri, algoritmaları ve parametreleri teknik olarak inceleyen ve karşılaştıran çalışmalar da incelenmiştir. Bazı çalışmalar parametrelere odaklanırken (Dörnhöfer ve Oppelt, 2016) bazı çalışmalar da algoritmalara ve sensörlere odaklanmaktadır (Matthews, 2011; Shi ve ark., 2019). Ayrıca Dörnhöfer ve Oppelt (2016), iç sularda yapılmış çalışmalara odaklanırken Topp ve ark. (2020) ise tüm su kütleleri için sürecin bibliyometrik analizini gerçekleştirmiştir.

Çalışma alanının da içinde bulunduğu Türkiye’de yapılan uzaktan algılama ile su kalitesi çalışmalarına örnek olarak; Alparslan ve ark. (2009) tarafından Küçükçekmece Gölü’nde 2006 tarihli Landsat-5 TM'nin tüm bantları kullanılarak Chl-a konsantrasyonunun tahmin edildiği, Ekercin (2007) tarafından İstanbul’daki Secchi disk derinliği (SSD), toplam askıda katı madde (TSS) ve Chl-a konsantrasyonunun tahmini için, IKONOS verilerinin Band 1 (445–530 nm), Band 2 (520–610 nm) Band 3 (640–720 nm), ve Band 4 (770–880 nm) verisinin kullanıldığı ve Nas ve ark. (2010) tarafından Beyşehir Gölü’nde alınan 40 numune ile Landsat-5TM MSS kullanılarak askıda katı madde, bulanıklık, SDD ve Chl-a tahmini için iki değişkenli ve çoklu regresyon (MR) kullanan modelin geliştirildiği uygulamalar verilebilmektedir.

Chl-a tahmini ve izlenmesi için geliştirilen modellerin yanında, su kalitesi parametrelerini etkileyen faktörleri analiz eden çalışmalar da bulunmaktadır. Faktörleri saptamak için zaman serilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Zaman serilerinin kullanıldığı, iklimsel faktörlerin ya da antropojenik etmenlerin çeşitli su kalitesi parametreleri üzerindeki etkilerini analiz eden çalışmalar da incelenmiştir.

Sass ve ark. (2008), tarafından yapılan, sığ göllerde iklim ve uzaktan algılanmış Chl-a ile belirlenen trofik durumu arasındaki ilişkilerin analiz edildiği çalışma örnek olarak verilebilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre etkili yağışın, Chl-a yoğunluğu ile negatif olarak ilişkili olduğu, yağışın Chl-a seviyesinin seyrelmesine yol açtığı belirtilmektedir. Ng ve ark. (2011), üç boyutlu bir hidrodinamik sayısal model ve bir analitik model ile su kütlelerinde kirletici etkiye sahip bir bakteri türü olan *dinoflagellate Peridinium gatunense* patlamasını analiz etmiştir. Sonuçlar Kelvin dalgalarının ve rüzgârın göllerdeki *dinoflagellat* patlamalarının yatay dağılımını artırdığını göstermiştir. Wang ve ark. (2012), 2002-2010 yılları arasında MODIS verileri ile Florida’da bulunan

bazı haliçlerdeki su kalitesinin rüzgâr dalgaları, kasırgalar, gelgitler ve akıntıların etkisiyle değiştiğini ortaya koymaktadır. Tebbs ve ark. (2013), 17 adet Landsat ETM+ görüntüsüne bant oranı modeli uygulayarak, hipertrofik, tuzlu-alkali bir flamingo gölü için Chl-a zaman serileri ve dağılım haritaları oluşturmuştur. Landsat ETM+ verisinin göllerdeki siyanobakteriyel biyokütlenin sinoptik bir görüntüsünü sağlamadaki avantajlarını değerlendirmiştir. Göl boyunca Chl-a değerlerinin mekânsal dağılımın, CyanoHAB olayından hemen önce çiçeklenme sırasında arttığını, düşük Chl-a değerlerinde ise mekânsal dağılımın nispeten homojen olduğunu göstermiştir. Olmanson ve ark. (2014), ABD Minnesota'daki 8 ha'dan büyük 10.000'den fazla göl için Landsat görüntüleri yardımıyla su berraklığının 20 yıllık kaydını analiz etmiştir. Arazi kullanımı farklılıkların Secchi disk derinliğinde önemli bir etken olduğu sonucuna varmıştır.

Tropikal tayfunların siyanobakteri patlamalarına etkisinin incelendiği çalışmada Zhu ve ark. (2014), tayfunların geçişiyle besin artışının arttığını ve tayfunun ardından azalan rüzgâr hızlarına ve artan hava ve su sıcaklıklarına bağlı olarak CyanoHAB olaylarının gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bonansea ve ark. (2015), Arjantin'de bulunan Rio Tercero rezervuarında Landsat TM ve ETM+ sensörlerinin 1-4 bantlarını kullanan ampirik bir algoritma geliştirmiştir. 2003 ve 2010 yılları arasında elde ettikleri zaman serisi, maksimum Chl-a değerinin, yüksek su yüzeyi sıcaklığı ve yağış nedeniyle 2009 baharında ortaya çıktığını analiz etmiştir. Çalışmanın sonuçları, yüksek Chl-a değerlerinin, nehir akışlarından gelen besin mevcudiyeti ve rezervuara boşaltılan nükleer reaktörün soğutma suyunun termal etkilerinden kaynaklanan, su sıcaklığındaki artışla ilişkisi olduğu gösterilmektedir. Curtarelli ve ark. (2015), Brezilya'daki tropikal bir hidroelektrik rezervuarında fitoplankton dağılımını etkileyen faktörleri araştırmak için ampirik uzaktan algılama modeli ve üç boyutlu hidrodinamik modellemeyi birlikte kullanmıştır. Sonuçlar termal tabakalaşma ve karışımın alg patlaması büyümesi ve dağılmasının temel itici güçleri olduğunu göstermektedir. Qin ve ark. (2015), toksik alg patlamalarının varlığını tahmin edebilen dinamik bir tahmin modeli geliştirmiştir. Oyama ve ark. (2015), Japonya'da bulunan Nishiura ve Kitaura Gölleri'ndeki Siyanobakteriyel çoğalmaları sınıflandırmak için Landsat ETM+ görüntüsünde floating algae index (FAI) modeli kullanmıştır. Elde edilen FAI değerlerini visual cyanobacteria index (VCI) seviyelerine göre sınıflandırmak için eşik değerleri belirlemede kullanmış ve altı VCI seviyesinde sınıflandırmıştır. Lymburner ve ark. (2016), Landsat TM/ETM+/OLI sensörleri ile Avustralya göllerinde TSS'nin 30 yıllık bir analizini yaparak ve El Niño Güney Salınımları ile TSS seviyelerindeki dalgalanmalar arasındaki belirgin ilişkileri

göstermiştir. Hou ve ark. (2017), göllerdeki askıda katı madde değişiminin nedenlerini MODIS verileri ile analiz etmiştir. Meteorolojik verilerin, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) artışının ve yeni baraj göllerinin su tutması sürecini, TSS değişimiyle ilişkilendirmiştir.

Landsat 8 OLI görüntüleri ile CyanoHAB olaylarının tespiti çalışmaları son yıllarda artarak devam etmektedir. Güncel çalışmalar arasında, Kuzey İtalya'nın en büyük beş Alp Gölü'nde, 2015-2017 yılları arasında zamansal ve mekânsal Chl-a dağılımlarını haritalamak için Landsat 8 OLI görüntülerine biyo-optik model uygulayan Bresciani ve ark. (2018), Çin'in Kuzey bölümündeki göllerde 1982-2016 yılları arasında 2186 Landsat görüntüsünden toplam 271 CyanoHAB olayının tespit edildiği Fang ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışma, Landsat 8 OLI görüntüleri için geliştirilen bir ampirik algoritma ile 2013- 2015 yılları arasında uzaktan algılanmış bir Chl-a zaman serisi elde edilen ve Chl-a değerlerinin mevsimsel olarak sınıflandırıldığı (Li ve ark., 2018) ve Yangtze nehir havzasında bulunan göllerde, 2013-2017 yılları arasında Landsat OLI sensör verileri yardımıyla Secchi disk derinliğini etkileyen faktörleri inceleyen ve toplam askıda katı madde ile Secchi disk derinliği arasında anlamlı negatif korelasyon ortaya koyan araştırmalar yer almaktadır.

Buraya kadar uzaktan algılama teknikleri ile su kalitesi bileşenleri tahminlerinin 40 yılı aşkın tarihçesi özetlenmeye çalışılmıştır. Su kaynakları önemi hakkında farkındalığın son yıllarda artması, uzaktan algılama ve yazılım teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak konuya ilgiyi her geçen gün artırmaktadır. Siyanobakteri gibi fitoplankton gruplarının saptanmasında kullanılan Chl-a, daha önce de belirtildiği gibi su kalitesi parametrelerinin en önemlilerindedir. Çalışmaların odak noktası Chl-a tahmininde mevcut uzaktan algılama verileri için optimum algoritma geliştirme üzerine yoğunlaşırken, bazı araştırmalar da uzaktan algılanmış Chl-a değerleri ile CyanoHAB faktörlerinin ilişkisini ele almaktadır. İkinci kısımda belirtilen çalışmalar ilişkileri yağış, sıcaklık vb. meteorolojik parametreler, tayfun benzeri anomaliler, arazi kullanımı ve nütrient yükleri gibi insan kaynaklı faktörlerin bir ya da birkaçının birlikte ele alınmasını içermektedir.

Potansiyel faktörlerin havza bazlı bir hidrolojik modelden elde edilmesi, CyanoHAB fenolojisinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Hidrolojik modeller, havzayı genelleştirerek, hidrolojik döngüyü ve buna bağlı fiziksel süreçleri doğru analiz edebilmek için kullanılan önemli araçlardır (Peker ve Cüceloğlu, 2022). Küçük bir havzadan büyük nehir havzalarına kadar çeşitli ölçeklerde kullanılan SWAT, yüzey ve

yeraltı suyunun kalitesini ve miktarını simüle etmek, arazi kullanımının, arazi yönetimi uygulamalarının ve iklim değişikliğinin çevresel etkisini tahmin etmek için kullanılan bir modeldir (SWAT, 2022). Akış kalibrasyonu ve ilgili hidrolojik analizler (Cuceloglu ve ark., 2017; Narasimhan ve ark., 2017), iklim değişikliğinin hidroloji üzerindeki etkileri (Githui ve ark., 2009; Saade ve ark., 2021), kirletici yük değerlendirmeleri (Saleh ve ark., 2000; Sahoo ve ark., 2019), diğer modellerle karşılaştırmalar (Zhang ve ark., 2016), hassasiyet analizleri (Kannan ve ark., 2007) ve kalibrasyon teknikleri (Schuol ve Abbaspour, 2006; Abbaspour, 2007) gibi birçok çalışmada SWAT modelinin dünya çapında çeşitli ölçekler ve farklı özellikteki havzalarda, başarılı bir şekilde uygulanabilir olduğunu göstermektedir (J. G. Arnold ve ark., 1998; Arnold ve Fohrer, 2005). Gassman ve ark. (2007), tarafından 250’yi aşkın çalışmanın ölçek, zaman, parametre ve doğruluk gibi SWAT bileşenleri bazında analiz edildiği kapsamlı bir araştırma, SWAT’ın modellemedeki güçlü ve zayıf yönlerini anlamak açısından incelenebilir.

Literatürde SWAT modeli ve uzaktan algılama tekniklerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar ayrıca incelenmiştir. Immerzeel ve ark. (2008), Güney Hindistan'daki Yukarı Bhima havzasında su kullanımı ve ekin suyu verimliliği araştırmak amacıyla oluşturduğu SWAT modelini kalibre etmek için uzaktan algılama modeli ile elde ettiği buharlaşma zaman serisi kullanmıştır. Silvestro ve ark. (2015), Piemonte bölgesindeki Orba havzasını SWAT ile modelledikleri çalışmada, yersel ölçümlerdeki eksikliğin uzaktan algılama ile giderebileceğini ortaya koymuştur. Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model (SRTM DEM) ve EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) yüzey sıcaklık ve toprak nemi değerlerini kalibrasyon ve doğrulamada kullanmışlardır. Kittel ve ark. (2018), Afrika’da bulunan Ogooue nehir havzasının SWAT ile hidrolojik bir modelini oluşturup kalibre etmek ve doğrulamak için SRTM DEM, (Famine Early Warning System rainfall estimate) FEWS-RFE, Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), ECMWF ERA-Interim, Envisat, Jason-2, GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), CryoSat-2, Sentinel-1 olmak üzere on farklı uydu verisinden yararlanmışlardır.

Uydu sensörlerinden elde edilen sayısal arazi modeli, yağış, buharlaşma, toprak nemi, kar, arazi kullanımı-arazi örtüsü gibi verilerin, SWAT modeli oluşturulmasında, kalibre edilmesinde ve doğrulanmasında sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Veri sıkıntısı yaşanan bölgelerde uzaktan algılama verisi gittikçe artan güçlü bir araç haline gelmektedir. Yapılan detaylı incelemeler ve literatür taraması sonucunda, CyanoHAB faktörlerinin araştırılması, çevresel ve antropojenik nedenlerle ilişkilendirilmesi amacıyla

uzaktan algılanmış Chl-a tahminlerinin SWAT hidrolojik modeli çıktıları ile bütünleşik kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez çalışması, uzaktan algılanmış Chl-a değerlerini ve SWAT hidrolojik model çıktılarının birlikte kullanımının potansiyelini ortaya koyduğu için yenilikçidir ve literatüre katkı yapacağı düşünülmektedir.

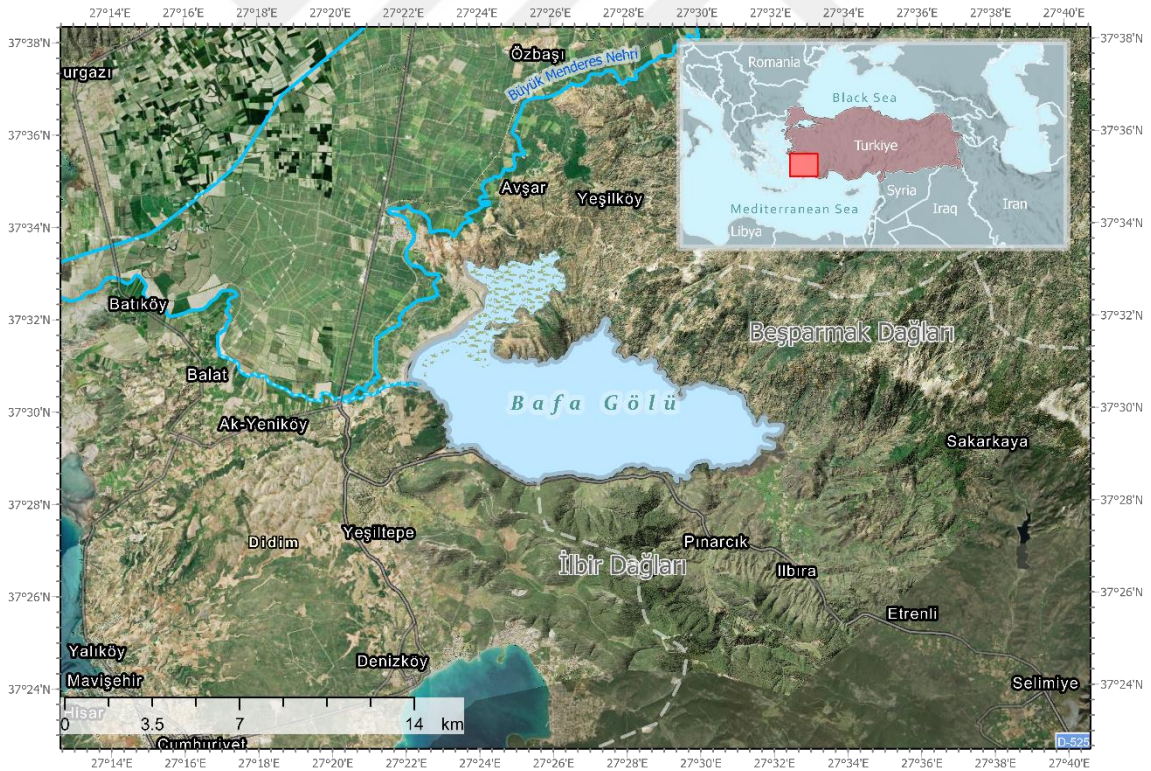


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; çalışma alanının özellikleri (konumu, fiziksel ve sosyo-ekonomik önemi), hidrolojik havza ve uzaktan algılama modelleri detaylı olarak açıklanacaktır.

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Ege bölgesinin en büyük gölü olan Bafa Gölü ve ona ev sahipliği yapan BMN Havzası'dır. Göl, 37°20' - 37°34' Kuzey enlemleri ve 27°22' - 27°33' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kuzeyinde ve doğusunda Beşparmak Dağları, güneyinde İlbir Dağları ve batısında Büyük Menderes Deltası'nın verimli alüvyal ovaları ile çevrilidir (Şekil 3.1). Bafa Gölü'nün uzun eksenini 16 km, azami genişliği 6 km'dir ve derinliği 0,5 ila 25 metre arasında değişmektedir. Gölün denizden yüksekliği yıl içinde değişmekte olup ortalama 2,29 metredir. 2,29 m kotunda gölün alanı yaklaşık 73,21 km², hacmi 692 hm³ tür.



Şekil 3.1 Bafa Gölü ve çevresi

Antik çağda Ege Denizi'nin bir parçası olan Gulf Latmos (Latmian Körfezi), BMN'nin taşıdığı alüvyonlarla 17 km içeride kalarak Bafa Gölü'nü oluşturmuştur. Günümüzde Herakleia (Herakleia Latmos) antik kenti göl kıyısında yer almaktadır

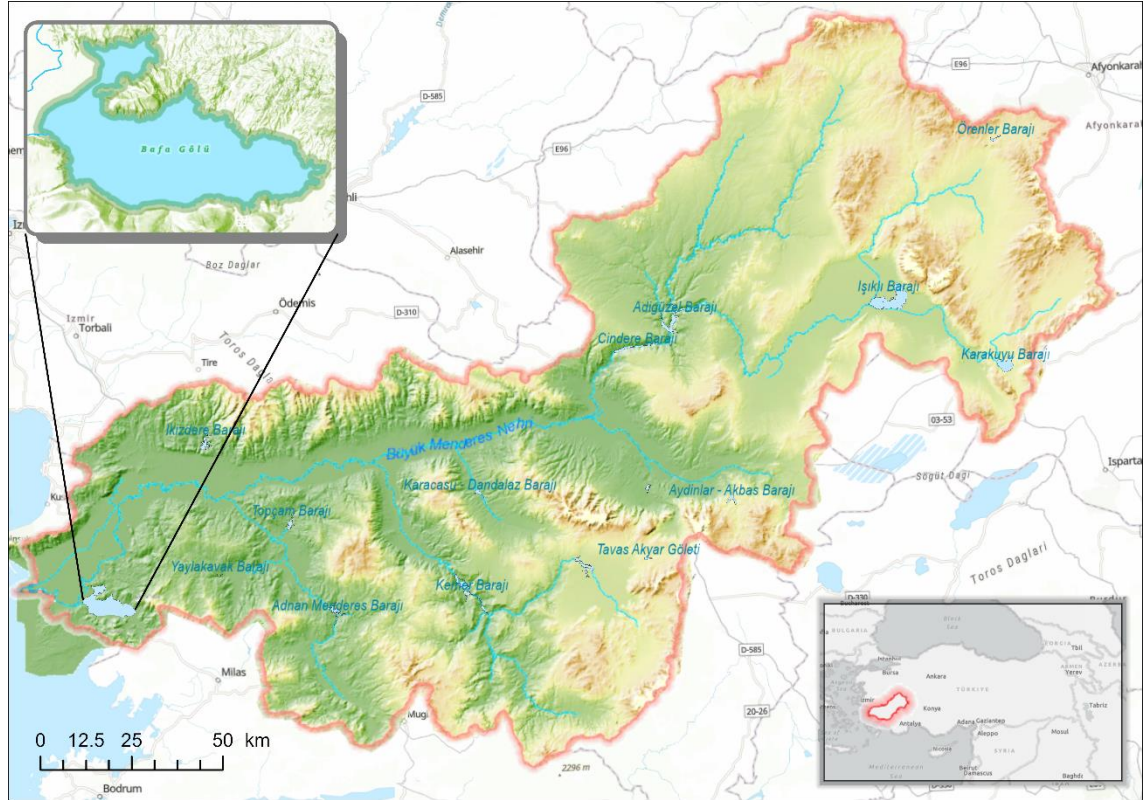
(Müllenhoff ve ark., 2004). Göl, 1989 yılında arkeolojik sit statüsüne kavuşmuştur. Zengin doğal ve kültürel kaynaklarının korunması amacıyla 08.07.1994 tarihinde Bakanlar Kurulu Kararı ile Türkiye'deki 30 tabiat parkından biri olma statüsüne kavuşan Bafa Gölü, ayrıca Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biridir. Göl, çok çeşitli canlı türlerine ev sahipliği yapmaktadır ve bu canlıların bir kısmı endemiktir. Göl ve çevresi birçok amfibi, sürüngen ve kuş türü tarafından beslenme ve barınma yeri olarak kullanılmakta ve bu nedenle Bern Sözleşmesi ile korunmaktadır. Göl, korunan statüsüne rağmen artan tuzluluk, tarım ve kentleşme gibi hem doğal hem de antropojenik baskıların altındadır (Kazancı ve ark., 2008; Erdoğan, 2011; Koçak ve ark., 2017).

Bafa Gölü yıllardır kirlilik sorunları ve CyanoHAB olayları ile mücadele etmektedir. Gölde, CyanoHAB olayları esnasında su ürünleri yetiştiriciliği olumsuz etkilenmiş ve balık ölümleri meydana gelmiştir. Aynı zamanda turizm bölgesi olan gölde ve çevresinde rekreasyonel faaliyetler durmuş, bölge ekonomisi olumsuz etkilenmiştir. Birçok kuş türüne barınma yeri olan Bafa Gölü'nden toksinlerin salınması, bu kuşlar aracılığıyla insanlara ve diğer hayvanlara zarar verebilecek endişe kaynağıdır.

Yağmurlar, yer altı suları ve küçük dereler ile beslenen gölde CyanoHAB olaylarını önlemek için DSİ tarafından 2003 yılında geliştirilen projede, BMN'den Bafa Gölü'ne su takviyesi sağlayan hidrolojik yapılar oluşturulmuştur. Projenin toplam maliyeti 222 bin 678 USD'dir (Koç, 2008). Projede göl su giriş ve çıkışları Serçin besleme kanalı ve Dalyan (tahliye kanalı) regülatörü tarafından kontrol edilmektedir. BMN'de seviyesi yapay olarak yükseltilecek su, Serçin Besleme Kanalı'na yönlendirilmektedir (Koç, 2008). Bafa Gölü'ndeki su seviyesi +2 metre ve üzerinde tutulmaya çalışılmaktadır. Kot 2 metrenin altına indiğinde göl, Serçin (sığ olan Kuzey Batı bölümü) ve Bafa gölleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yağışlı mevsimlerde göl seviyesi yükseldiğinde veya su tahliyesi gerektiğinde, gölden Dalyan kanalıyla BMN'ye su tahliyesi yapılmaktadır. Göl seviyesinin aşırı yükselmesi ve çevredeki tarım arazilerine zarar vermesi durumunda Serçin çıkışından da su deşarjı yapılmaktadır. Tüm bu yapıların mühendisliği, gölde saat dönüşü şeklinde bir su döngüsü sağlayarak kirliliğin oluşmasını ve birikmesini engellemeyi amaçlamaktadır. BMN, sulama amaçlı kullanıldığından sulama döneminde nehrin tuz konsantrasyonundaki artışın önüne geçmek için Dalyan regülatörü kapatılmaktadır. Gölde yapılan balıkçılık faaliyetleri de su giriş ve çıkışlarının belirlenmesinde doğrudan etkili olmaktadır.

BMN Havzası, Türkiye'nin güneybatısında, 37°10' – 38°49' kuzey enlemleri ile 27° 11' – 30° 53' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 3.2). Havza, adını Ege

Bölgesi'nin en uzun nehri olan (584 km) BMN'den alır. BMN Havzası, Türkiye'de tarımsal, endüstriyel ve turistik öneme sahip, sınırları belirlenmiş bir nehir havzası yönetim alanıdır. Yoğun tarım yapılan dağlık alanlara ve geniş verimli ovalara sahiptir. Yaklaşık 26.000 km² toplam drenaj alanına sahiptir. Kirlilik, endüstriyel, tarımsal, evsel atık deşarjları ve iklim değişikliği baskısı nedeniyle baştan sona ciddi tehdit altındadır (Boyacıoğlu ve ark., 2005; Durdu, 2010).



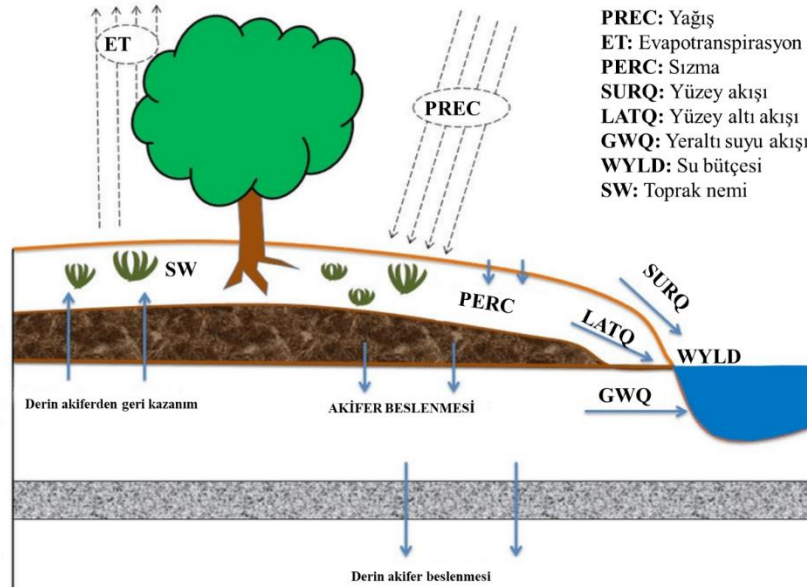
Şekil 3.2 BMN Havzası, rezervuarları ve Bafa Gölü

Yükseklik, deniz seviyesinden 0 m ila 2535 m arasında değişir ve eğim 0° - 88° arasındadır. BMN Havzasının kıyı Ege kesimlerinde tipik Akdeniz iklimi, iç kısımlarda ise karasal iklim hakimdir. Havzanın kıyı kesiminden iç kesimlerine doğru yıllık toplam yağış ortalaması 999 mm'den 350 mm'ye düştüğü ve yıllık ortalama yağışın 635 mm olduğu anlaşılmaktadır. Havzada aylık ortalama en yüksek yağış Aralık-Ocak aylarında, en düşük ortalama yağış ise Temmuz-Ağustos aylarında ölçülmüştür. Akdeniz ikliminin etkisi altındaki Aydın ilinde kaydedilen aylık ortalama sıcaklık verilerine (1941-2021) göre, aylık en düşük sıcaklık 4,3°C ile Ocak ayında, en yüksek aylık sıcaklık ise 36,2°C ile Temmuz ayındadır. Karasal iklimi temsil eden Afyon ilinde bulunan istasyonda aylık sıcaklık (1941-2021) Ocak ayında -3,5°C ve Ağustos ayında 29,6°C olarak

ölçülmektedir². Başlıca tarım ürünleri pamuk, mısır, buğday, zeytin, incir, üzüm ve fiğ, yonca gibi yem bitkileridir. Arazi kullanımı: Sıra Bitkileri ve Kalıcı Ürünler (%46,6), orman türleri ve maki (%44), çıplak kaya (%6,3), kentsel alan (%2,2) ve sulak alan (%1) şeklindedir.

3.2 SWAT – Soil and Water Assessment Tool Modeli

İlk bölümde de açıklandığı üzere, USDA Tarımsal Araştırmalar Servisi tarafından geliştirilen SWAT, dünya çapında yaygın kullanılan hidrolojik bir modeldir (J. G. Arnold ve ark., 1998; Douglas-Mankin ve ark., 2010). Zamansal sürekliliği olan, süreç tabanlı bir nehir havzası modelidir. Büyük nehir havzalarında yönetimsel kararların, su kaynakları ve yayılı kirlilik üzerindeki etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir (Arnold ve ark., 2012). SWAT, bir havzayı birden fazla alt havzaya ve daha sonra da hidrolojik yanıt birimlerine (hydrologic response units-HRU) böler. HRU homojen arazi kullanımı, yönetimi, topografik ve toprak özelliklerinin aynı olduğu modelin en küçük birimidir (Arnold ve ark., 2012). SWAT ile modellenen hidrolojik süreçler Şekil 3.3'te örneklendirilmiştir.



Şekil 3.3 SWAT'ın modellediği hidrolojik süreçlerin özeti

² <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>

SWAT, simülasyon işlemlerini iki faz olarak gerçekleştirir. İlk kısım olan kara süreçleri fazında, araziden gelen akışları, sediment, nütrient, pestisit ve bakteri yüklerini her bir HRU için hesaplamaktadır. İkinci kısım olan öteleme fazında ise her bir alt havza bazında hesaplanmış olan yükleri nehir ağı boyunca havza çıkışına doğru ötelemektedir (Tuppad ve ark., 2011). Model denklemleri ve SWAT hakkında daha fazla ayrıntı, teknik belgelerde bulunabilir³.

3.2.1. SWAT model girdileri

Bir SWAT modeli oluşturmak için topografya, arazi kullanımı, toprak haritaları ve iklim verileri temel girdilerdir. Bu temel girdilere ek olarak çalışmada tarımsal ürün ve rezervuar yönetim verileri de kullanılmıştır. Ayrıca, yerel ve küresel veri setleri birlikte kullanılmıştır. Kullanılan veri setleri alt başlıklar halinde sonraki bölümlerde detaylandırılacaktır.

İklim verileri

İklim verileri modelin önemli ve temel girdilerindendir. SWAT veri tabanlarında Amerika Birleşik Devletleri'ne (ABD) ait iklim veri setleri mevcuttur. Bununla birlikte kullanıcılara yerel ve küresel veri seti kullanım imkânı da sunulmaktadır. SWAT veri tabanında yeni bir istasyon oluşturmak için yağış, sıcaklık, nem, rüzgâr ve güneş radyasyonu parametrelerinin günlük ya da saatlik değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Veriler standart formatlarda, bazı istatistiksel veriler hesaplanarak programa entegre edilebilmektedir ve bunun için yardımcı programlar mevcuttur⁴.

Doğru iklim verisi kullanımının kritik öneme sahip olmasının yanında, iklim istasyonlarının havza içindeki dağılımları da önemlidir. Düzlukte bulunan bir istasyonun yakın bile olsa yüksek eğimdeki yerleri temsil etmesi beklenemez. BMN havzası iklim karakteristiği çalışma alanı tanıtımı bölümünde verilmiştir.

Modellemede kullanılan iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınmıştır. Veri 2005-2019 yılları arasında havza içinde bulunan 65 istasyonu kapsamaktadır. Bu istasyonların tamamı yağış, buharlaşma ve sıcaklığı ölçerken 54 tanesi

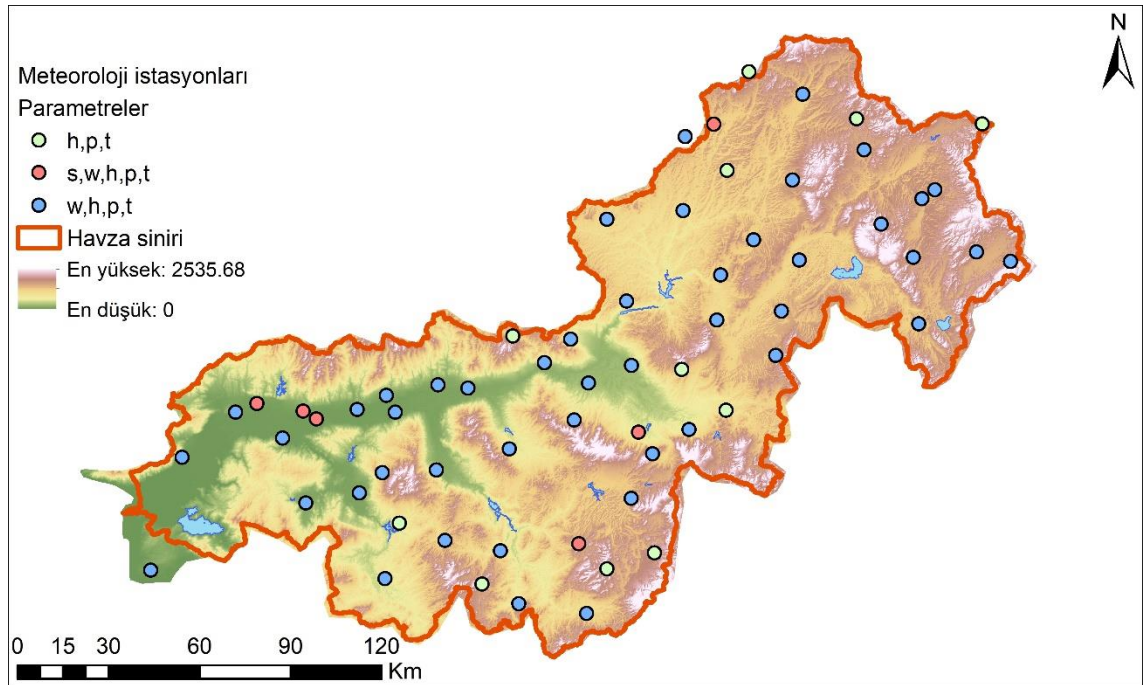
³ <https://swat.tamu.edu/docs/>

⁴ <https://swat.tamu.edu/>

rüzgâr ve 7 tanesi güneş radyasyonu ölçebilmektedir (Şekil 3.4). MGM'den temin edilen parametreler⁵:

- Günlük ortalama rüzgâr hızı (m ÷ sec) ve yönü (°),
- Günlük ortalama maksimum ve minimum sıcaklık,
- Günlük ortalama yağış (mm = kg ÷ m²)
- Günlük Ortalama Bağıl Nem (%)
- Günlük Toplam Küresel Güneş Radyasyonu (kWh ÷ m²) ve
- Günlük Toplam Evapotranspirasyon (mm)

şeklindedir.



Şekil 3.4 İklim verileri kullanılan Meteoroloji istasyonlarının BMN havzasındaki dağılımı. **h,p,t**: bağıl nem, yağış, sıcaklık ölçen istasyonlar, **s,w,h,p,t**: güneş radyasyonu, rüzgar, bağıl nem, yağış, sıcaklık ölçen istasyonlar, **w,h,p,t**: rüzgar, bağıl nem, yağış, sıcaklık ölçen istasyonlar

Topografya

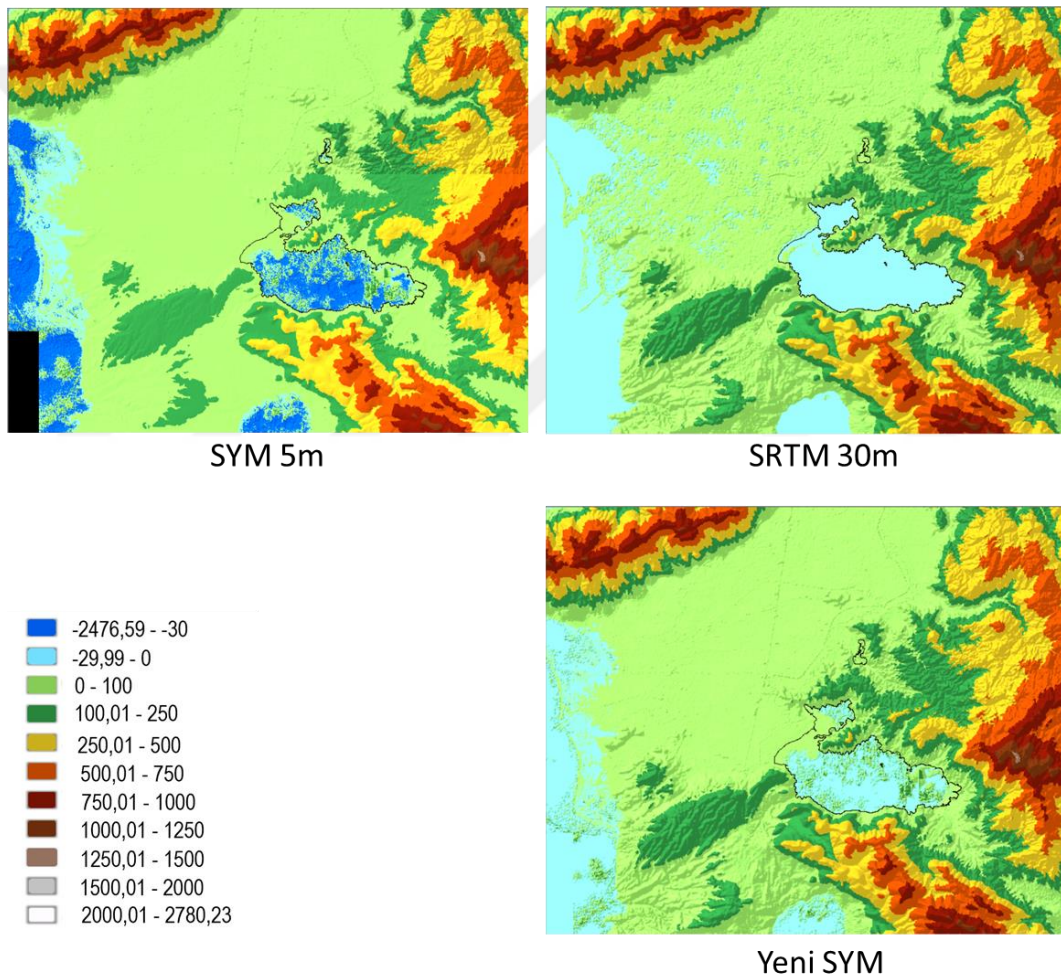
Topografik veri kalitesi, modelin kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Sayısal yükseklik modeli (SYM) yardımı ile SWAT modelinde nehir ağı, eğim haritası, kanal eğimi, kanal uzunluğu ve kanal genişliği gibi önemli parametreler hesaplanmaktadır.

Topografya veri seti iki farklı kaynaktan yararlanılarak hazırlanmıştır: Birincisi ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Japon Ekonomi, Ticaret ve Sanayi

⁵ <http://www.mgm.gov.tr>

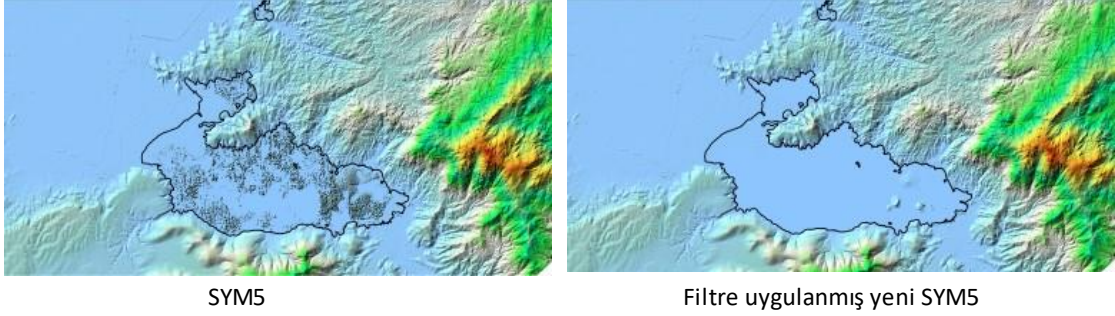
Bakanlığı (METI) tarafından hazırlanan 30 metre çözünürlüklü ASTER Sayısal Arazi Modeli (SAM) (ASTER GDEM V2)⁶ diğeri Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 5m çözünürlüklü sayısal yüzey modelidir (Seviye-0 SYM5).

SYM5 (Seviye-0) veri içermeyen (no data), negatif değerli pikseller ve su yüzeylerinde gürültü (noise) içermektedir. SWAT modelinde yanlış nehir ağı hesaplanmasına neden olan bu etkileri gidermek için ArcGIS Pro 3.0.2 yazılımı kullanılarak boş ve negatif piksel değerleri ASTER SYM pikselleri ile değiştirilmiştir (Şekil 3.5). Su yüzeyi gürültüleri, arazi filtresi (terrain filter) aracı ile giderilmiştir (Şekil 3.6). Arazi filtresi havza içerisindeki tüm su kütlelerine uygulanmıştır.



Şekil 3.5 Negatif piksel değerleri ve boş piksel içeren SYM5 sol üstte 30 metre çözünürlüklü SRTM sağ üstte verilmiştir. Bütün görüntülerde aynı yükseklik aralıkları aynı renkler ile temsil edilmiş olup lejant sağ altta verilmiştir. SYM5'te sorun oluşturan bu pikseller ile aynı piksellerin SRTM karşılıkları birleştirmiştir (merge). Sağ altta elde edilen boş ve negatif piksel değeri içermeyen SYM5 verilmiştir.

⁶ <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>



Şekil 3.6 Su yüzeyi içerisinde gürültü (noise) içeren SYM5 verisi (sol). ArcGIS Pro ‘Terrain filter’ aracı ile büyük ölçüde giderilmiş gürültü verisi (sağ).

Arazi kullanımı

Arazi kullanımları – arazi örtüsü, yüzey akışlarını, besin yüklerini ve sediment oranlarını hesaplamakta etkin rol oynamaktadır (Busteed ve ark., 2009). Arazi kullanım verisi Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency-EEA) ve Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Centre-JRC) tarafından hazırlanan The CORINE Land Cover (CLC) veri tabanından en güncel tarih olan 2012 yılı için temin edilmiştir⁷. CLC veri tabanı sınıfları ve SWAT arazi kullanım sınıfları düzey ve içerik bakımından farklı tasarlanmış sınıflardır. Bu nedenle her iki veri tabanının birbirine uyarlanmış ve yeniden sınıflandırılmış şekilleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 CORINE veri tabanı 1. 2. ve 3. seviye sınıflar ve SWAT arazi kullanım sınıfındaki karşılıkları

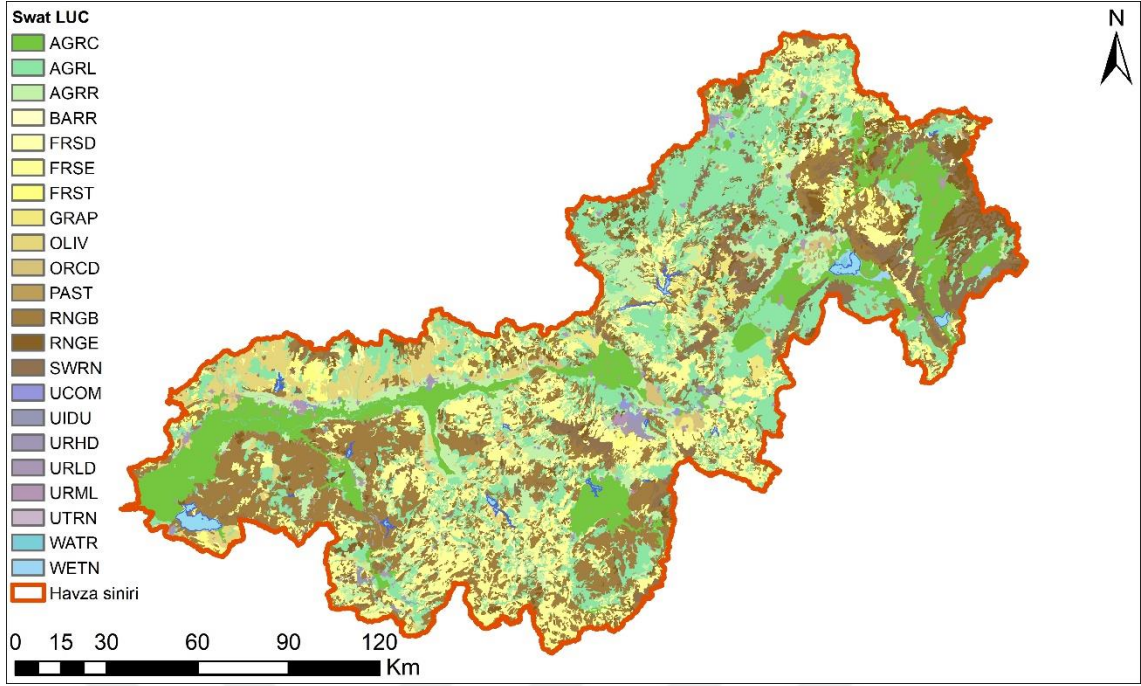
	CORINE kodu (Seviye 2)	CORINE kodu (Seviye 3)	SWAT arazi kullanım
1. Yapay yüzeyler	1.1 Kent dokusu	1.1.1 Sürekli kentsel doku	URHD
		1.1.2 Süreksiz kentsel doku	URML
	1.2 Endüstriyel, ticari ve ulaşım birimleri	1.2.1 Endüstriyel veya ticari birimler	UCOM
		1.2.2 Karayolu ve demiryolu ağları ve ilgili alanlar	UTRN
		1.2.3 Limanlar	UTRN
		1.2.4 Havaalanları	UTRN
	1.3 Maden ocağı, çöp boşaltım ve inşaat sahaları	1.3.1 Maden çıkarma sahaları	UIDU
		1.3.2 Boşaltım sahaları	UIDU
		1.3.3 İnşaat sahaları	URLD
	1.4 Yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar	1.4.1 Kentsel yeşil alanlar	URLD
1.4.2 Spor ve eğlence tesisleri		UCOM	
2. Tarım alanları	2.1 Ekilebilir arazi	2.1.1 Sulanmayan ekilebilir arazi	AGRL
		2.1.2 Sürekli sulanan arazi	AGRC
		2.1.3 Pirinç tarlaları	RICE
	2.2 Kalıcı ürünler	2.2.1 Bağlar	GRAP

⁷ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>

Tablo 3.1 devamı

		2.2.2 Meyve bahçeleri	ORCD
		2.2.3 Zeytinlikler	OLIV
	2.3 Meralar	2.3.1 Meralar	PAST
	2.4 Karışık tarım alanları	2.4.1 Kalıcı ürünlerle birlikte bulunan senelik ürünler	AGRL
		2.4.2 Karışık tarım alanları	AGRR
		2.4.3 Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	AGRL
		2.4.4 Ormanla karışık tarım alanları	AGRL
3. Orman ve yarı doğal alanlar	3.1 Orman	3.1.1 Geniş yapraklı orman	FRSD
		3.1.2 İğne yapraklı orman	FRSE
		3.1.3 Karışık orman	FRST
	3.2 Maki, Çalı ve/veya otsu bitki toplulukları	3.2.1 Doğal çayırlar	RNGE
		3.2.2 Fundalıklar	RNGB
		3.2.3 Sklerofil bitki örtüsü	RNGB
		3.2.4 Bitki değişim alanları	RNGB
	3.3 Bitki örtüsünün az olduğu veya hiç olmadığı açık alanlar	3.3.1 Sahiller, kum tepeleri, kumsallar	BARR
		3.3.2 Çıplak kayalıklar	SWRN
		3.3.3 Seyrek bitki örtüsü olan alanlar	SWRN
		3.3.4 Yanmış alanlar	BARR
		3.3.5 Buzullar ve sürekli kar	BARR
	4. Sulak alanlar	4.1 Karasal sulak alanlar	4.1.1 Karasal bataklıklar
4.1.2 Turbalar			WETF
4.2 Kıyı sulak alanları		4.2.1 Tuz bataklıkları	WETN
		4.2.2 Tuzlalar	WETN
		4.2.3 Gelgit düzlükleri	WETN
5. Su kütleleri	5.1 Karasal/İç sular	5.1.1 Su yolları	WATR
		5.1.2 Su kütleleri	WATR
	5.2 Deniz suları	5.2.1 Kıyı lagünleri	WATR
		5.2.2 Nehir ağızları, delalar, haliçler	WETN
		5.2.3 Deniz ve okyanus	WATR

CLC 2012 arazi kullanım – arazi örtüsü verisinin SWAT arazi sınıflandırılmasına uyarlanması sonucu elde edilen arazi kullanım – arazi örtüsü haritası Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 BMN havzası arazi kullanım haritası (CORINE 2012 verisine dayanmaktadır)

Uyarılama sonucunda toplam 22 adet sınıf oluşturulmuştur. Havzanın temel arazi kullanımı tarım, orman ve meradır. Tablo 3.2’de SWAT sınıflandırılmasına göre her sınıfın toplam alanları ve havza toplam alanına göre oranları verilmiştir.

Tablo 3.1 BMN havzası SWAT sınıflarına göre arazi dağılımı ve BMN havzası toplam alanına göre oranları

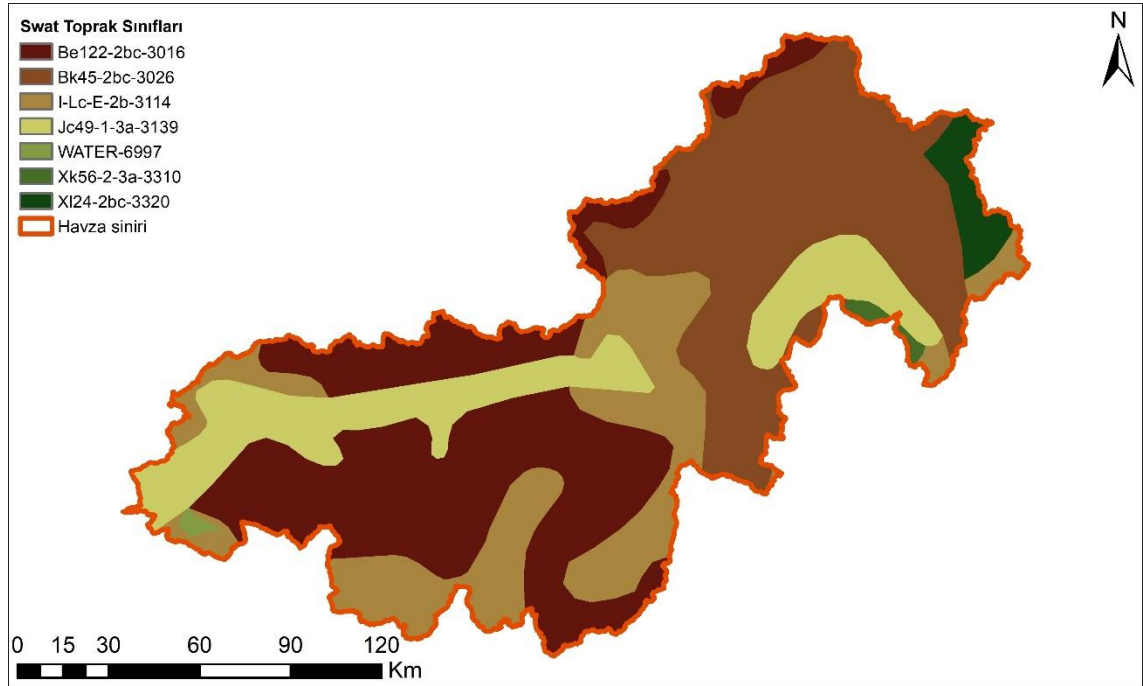
Sınıf	Alan (ha)	%Havza	Sınıf	Alan (ha)	%Havza
URHD	5224.24	0.2	PAST	12280.31	0.48
URML	35312.3	1.38	AGRR	220143.6	8.58
UCOM	6477.14	0.25	FRSD	21752.5	0.85
UTRN	1271.43	0.05	FRSE	420096.13	16.38
UIDU	7287.93	0.28	FRST	41708.38	1.63
URLD	1229.97	0.05	RNGE	102829.93	4.01
AGRL	538166.25	20.98	RNGB	540701.23	21.08
AGRC	287843.39	11.22	BARR	2639.69	0.1
GRAP	27396.71	1.07	SWRN	158121.69	6.16
ORCD	18144.51	0.71	WETN	6077.9	0.24
OLIV	91717.58	3.58	WATR	18441.77	0.72
Toplam			2564864.6		100

Toprak Sınıfları

SWAT veri tabanı içerisinde ABD’ye ait detaylı toprak sınıfları mevcuttur. ABD dışındaki çalışma alanları için toprak sınıflarının yanı sıra, toprak bünyesi, içeriği, iletkenliği, yoğunluğu ve derinliği ile ilgili parametre değerleri veri tabanına girilerek

toprak haritası oluşturulması mümkündür. Bununla birlikte veri temin sıkıntısı yaşayan ülkelerde ve büyük ölçekli çalışmalarda küresel toprak haritaları kullanımı yaygındır.

Bu çalışmada, Gıda ve Tarım Örgütü- Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (Food and Agriculture Organization- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization FAO-UNESCO) tarafından hazırlanan küresel toprak haritası⁸ kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 FAO-UNESCO küresel toprak haritasında BMN havzasındaki sınıflar

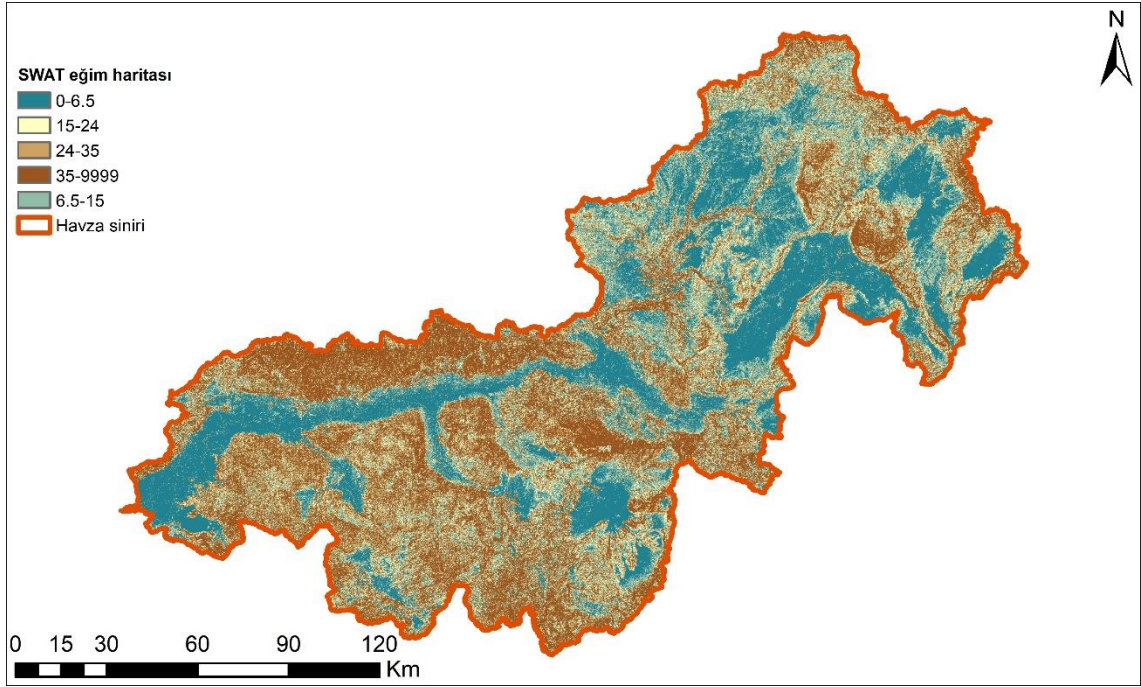
Eğim verisi

Eğim verisi, daha önce açıklanan topografya girdileri kullanılarak ArcSWAT arayüzü ile eğim haritalarına dönüştürülmüştür. Eğim sınıfları seçiminde bölge karakteristiği göz önünde bulunarak %0-6,5, %6,5-15, %15-24, %24-35, %35> olarak belirlenmiştir (Şekil 3.9) ve eğim sınıflarına düşen alan miktarları Tablo 3.3'te verilmiştir.

⁸ <http://www.fao.org/nr/land/soils/digital-soil-map-of-the-world/en/>

Tablo 3.3 BMN eğimin sınıflarına düşen alanları ve yüzde değerleri

Sınıf	Alan (ha)	%Havza
0-6.5	657983.4	25.65
6.5-15	444617.2	17.33
15-24	363488.8	14.17
24-35	377411	14.71
35-9999	721364.2	28.14
Toplam	2564865	100



Şekil 3.9 BMN havzası eğim haritası

3.2.2 Tarım ürünleri yönetimi

Ürün döngüsü; toprak işleme, gübre uygulamaları ve sulama gibi ürün yönetimi uygulamaları, akış miktarını ve kalitesini etkilemede önemli bir rol oynar. SWAT tarım ürünleri yönetimi seçeneği ile toprağı sürme, ekim, hasat, sulama, gübre ve pestisit süreçlerinin veri tabanına girilmesine imkân sunmaktadır. Ürün deseninin sürekli değiştiğı BMN Havzası gibi büyük bir havzada, tüm ekin türleri için yönetim bilgisi toplamak zordur. Yoğun tarım yapılan bu havzada yılda iki üç kez ürün veren ovalar bulunmaktadır. Ürün yönetimi, BMN Havzası 5 alt bölüme ayrılarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.4). Bu beş bölümün seçimi, tarımsal ürün istatistikleri, iklim ve rakım temel alınarak yapılmıştır. BMN Havzasında (Türkiye İstatistik Kurumu, <https://www.tuik.gov.tr/>) yaklaşık 100 farklı ürün yetiştirilmektedir. Bu karmaşık

tarımsal yapıyı modellemek için pamuk, mısır, buğday, yonca ve zeytin ana ürün olarak seçilmiştir. Toprak işleme, gübre uygulaması, ekim, sulama ve hasat operasyonlarının tarihleri her ürün için belirlenerek bir ürün döngüsü oluşturulmuştur (Tablo 3.5). Ürün döngüleri oluşturulurken İzmir İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Arazi Toplulaştırma ve Tarımsal Altyapı Şubesi'nden, Aydın Ovası Sulama Birliği'nden uzmanlarla ve bölgede tarım yapan çiftçilerle yapılan sözlü mülakatlar ile elde edilmiştir.

Tablo 3.4'te oluşturulan alt bölümlere karşılık gelen model alt havza numaraları, alt havzalardaki arazi kullanımı ve modele girilen ürün döngüleri verilmiştir. Zeytin döngüsü, modeldeki tüm alt havzalarda bulunan OLIVE arazi kullanım sınıfına, pamuk, mısır, buğday ve yonca döngüleri de Tablo 3.4'de verilen alt havzalardaki AGRC-AGRL arazi kullanım sınıflarına girdi olarak tanımlanmıştır. Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'da sırasıyla pamuk-buğday, mısır-buğday, buğday, yonca ve zeytin ürün döngüleri açıklamalarıyla birlikte özetlenmiştir.

Tablo 3.4 Alt havzalarda uygulanan tarım ürünü yönetim işlemleri

Alt havza	Arazi Kullanımı	Ürün döngüsü
21,23,24,30,31,32,33	AGRC,AGRL	Pamuk & Buğday
20,26,27,28,29,34	AGRC,AGRL	Yonca
2,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,22, 25,35,36,37,38,39,40,41,42	AGRC,AGRL	Mısır Slaj & Buğday
1,3,4,5,6,7,11	AGRC,AGRL	Buğday
TUM	OLIVE	Zeytin

Tablo 3.5 Pamuk-buğday ürün döngüsü

Yıl	Tarih	Operasyon	Açıklama	Mahsul
1	20 Mayıs	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Pamuk
1	22 Mayıs	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 350kg/ha	Pamuk
1	25 Mayıs	Ekilen bitki: pamuk		Pamuk
1	15 Haziran	Gübre uygulaması	NPK 33-00-00 250 kg/ha N	Pamuk
1	5 Temmuz	Otomatik sulama	Plant Water Demand, AUTO_WSTRS:0.75, IRR_MX:25.4 mm, IRR_SCA:1, IRR_NOA:subbasin ID	Pamuk
1	15 Temmuz	Gübre uygulaması	Üre 46-00-00 250 kg/ha	Pamuk
1	20 Ekim	Hasat		Pamuk
1	23 Ekim	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Buğday
1	24 Ekim	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 200 kg/ha	Buğday
1	25 Ekim	Ekilen bitki: buğday		Buğday
1	20 Aralık	Gübre uygulaması	Üre 46-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	20 Şubat	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	15 Mayıs	Hasat		Buğday

Tablo 3.6 Mısır-buğday ürün döngüsü

Yıl	Tarih	Operasyon	Açıklama	Mahsul
1	20 Mayıs	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Slaj Mısır
1	22 Mayıs	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 500 kg/ha	Slaj Mısır
1	25 Mayıs	Ekilen bitki: Slaj Mısır		Slaj Mısır
1	15 Haziran	Gübre uygulaması	NPK 33-00-00 250 kg/ha N	Slaj Mısır
1	20 Haziran	Otomatik sulama	Plant Water Demand, AUTO_WSTRS:0.75, IRR_MX:25.4 mm, IRR_SCA:1, IRR_NOA:subbasin ID	Slaj Mısır
1	15 Temmuz	Gübre uygulaması	Üre 46-00-00 250 kg/ha	Slaj Mısır
1	20 Ekim	Hasat		Slaj Mısır
1	23 Ekim	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Buğday
1	24 Ekim	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 200 kg/ha	Buğday
1	25 Ekim	Ekilen bitki: buğday		Buğday
1	20 Aralık	Gübre uygulaması	Üre 46-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	20 Şubat	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	15 Mayıs	Hasat		Buğday

Tablo 3.7 Buğday ürün döngüsü

Yıl	Tarih	Operasyon	Açıklama	Mahsul
1	23 Kasım	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Buğday
1	24 Kasım	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 200 kg/ha	Buğday
1	25 Kasım	Ekilen bitki: buğday		Buğday
1	20 Ocak	Gübre uygulaması	Üre 46-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	20 Mart	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 250 kg/ha	Buğday
1	15 Haziran	Hasat		Buğday

Tablo 3.8 Yonca ürün döngüsü

Yıl	Tarih	Operasyon	Açıklama	Mahsul
1	23 Kasım	Toprak işleme	Diskli pulluk/Diskovator/Tırmık	Yonca
1	24 Kasım	Gübre uygulaması	NPK 18-46-0 60kg/da	Yonca
1	25 Kasım	Ekilen bitki: Yonca		Yonca
1	15 Nisan	Otomatik sulama	Plant Water Demand, AUTO_WSTRS:0.75, IRR_MX:25.4 mm, IRR_SCA:1, IRR_NOA:subbasin ID	Yonca
1	5 Mayıs	Hasat		Yonca
1	6 Mayıs	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 10kg/da	Yonca
1	5 Haziran	Hasat		Yonca
1	6 Haziran	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 10kg/da	Yonca
1	5 Temmuz	Hasat		Yonca
1	6 Temmuz	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 10kg/da	Yonca
1	5 Ağustos	Hasat		Yonca
1	6 Ağustos	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 10kg/da	Yonca
1	5 Eylül	Hasat		Yonca
1	6 Eylül	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 10kg/da	Yonca

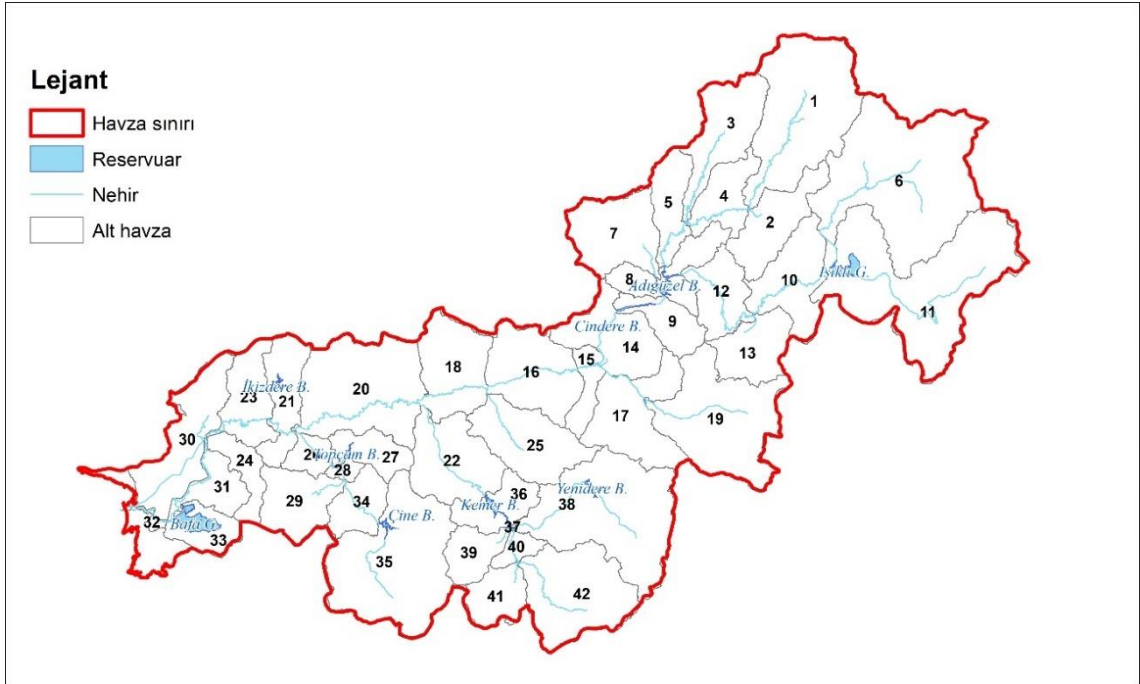
Tablo 3.9 Zeytin ürün döngüsü

Yıl	Tarih	Operasyon	Açıklama	Mahsul
1	10 Şubat	Ekilen bitki: Zeytin		Zeytin
1	15 Şubat	Gübre uygulaması	NPK 15-15-15 600 kg/ha	Zeytin
1	15 Mart	Gübre uygulaması	Amonyum Sülfat 21-00-00 750 kg/ha	Zeytin
1	15 Nisan	Gübre uygulaması	NPK 33-00-00 750 kg/ha N	Zeytin
1	15 Haziran	Hasat		Zeytin

3.2.3 Rezervuarların yönetimi

Doğal ve yapay su kütleleri havza modellemesinde rezervuar yönetimi başlığı altında incelenebilmektedir. Doğal olmayan rezervuarların inşası ve işletilmesi, havzadaki doğal hidrolojik döngüyü değiştirmekte ve hidrolojik tahminleri zorlaştırmaktadır. BMN Havzasındaki barajlar hidroelektrik üretimi, taşkın kontrolü ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. BMN Havzası Yönetim Planı'na (2018) göre havzada 37'si su çekimi olan toplam 48 adet baraj ve gölet bulunmaktadır. Su çekimi, debisi, elektrik üretimi, su kapasitesi, Bafa alt havzasına yakınlık gibi özellikleri göz önüne alınarak, bu çalışmada SWAT modeli için 9 rezervuar (baraj ve göl) verisi kullanılmıştır. Bu rezervuarlar Adıgüzel, Cindere, İkizdere, Topçam, Adnan Menderes ve Kemer Barajları ile Işıklı ve Bafa gölleridir (Şekil 3.10).

Modelde kullanılan işletme yılı (IYRES), rezervuar acil dolu savak yüzey alanı ve hacmi (RES_ESA ve RES_EVOL), rezervuar yüzey alanı ve hacmi (RES_PSA ve RES_PVOL) verileri Bafa Gölü haricindeki rezervuarlar için DSI'den alınmıştır (Tablo 3.10). Burada parantez içinde verilen kodlamalar SWAT modelinde kullanılan veri tabanı alanlarının kısaltmalarını temsil etmektedir.



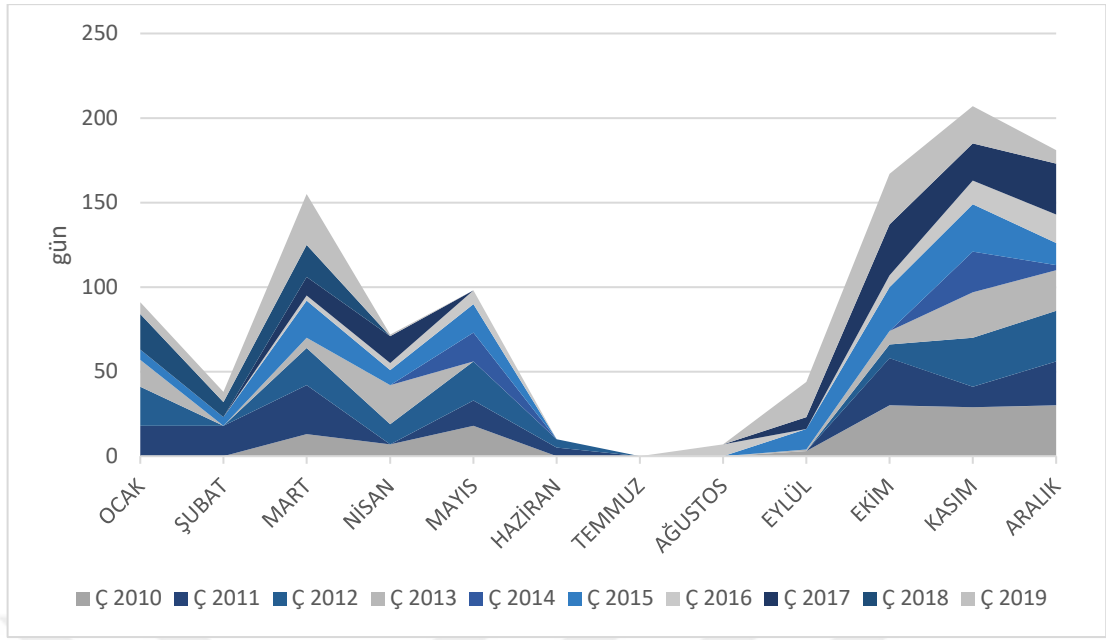
Şekil 3.10 BMN havzasında bulunan ve SWAT modeline dahil edilen önemli barajlar ve doğal göller

Model, rezervuar çıkış debisini simüle etmek için dört yöntem sunmaktadır: Kontrolsüz (doğal) rezervuarlar için ortalama yıllık çıkış debisi oranı hesabı (debi simülasyon kodu IRESCO-0), ölçülen aylık çıkış debisi (IRESCO-1), simüle edilen kontrollü çıkış debisi-hedef salınımı (IRESCO-2) ve ölçülen günlük çıkış debisi (IRESCO-3). Modellemede, Işıklı gölü için rezervuar verisine ulaşılamaması nedeniyle IRESCO 0, diğer rezervuarlar için IRESCO 1 değerleri seçilmiştir.

Tablo 3.10 BMN Havzası rezervuar yüzey alanları ve hacimleri

IYRES	Alt Havza	RES_ESA	RES_EVOL	RES_PSA	RES_PVOL	IRESKO	Rez. Adı
1990	8	2780	119026	2597,3	107598	1	Adıgüzel B.
2008	9	282,3	8426,7	278,4	8240,4	1	Cindere B.
1953	11	6453,3	26351,1	6397	23779,7	0	Işıklı G.
2010	21	606,9	21322	564,5	19495,8	1	İkizdere B.
1985	27	490,2	10332	464	9497	1	Topçam B.
0	33	6695	70612	7871	68316	1	Bafa G.
2012	35	946	36000	933,7	34955	1	A.Menderes B.
1958	36	1220,6	43146,7	1213,7	41920,1	1	Kemer B.
2011	38	650	6500	650	6500	1	Yenidere B.

Işıklı Göl doğal bir göl olmasına rağmen IRESKO değerinin 0 olarak seçilme nedeni, DSİ tarafından taşkın koruma amacıyla çevresine set çekilerek baraj gölü haline getirilmesi (Magnin ve Yarar, 1997) ve çıkış debisi verilerinin tutulmamasıdır. Barajlar için aylık çıkış debisi verisi DSİ'den alınmıştır. Bafa Gölü için aylık çıkış debisi verisi bulunmamaktadır. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi DSİ, su giriş-çıkış işlemlerini kontrol etmektedir ve sadece su giriş-çıkışının gün ve saatlerini kaydetmektedir. Çıkış debisi verisi olmadığı için aylık rezervuar çıkış dosyası olan SWAT modelindeki RESMONO tablosu, her ay için çıkış olmaması durumlarında "0", çıkış olması durumlarında "-99" varsayımı ile oluşturulmuştur. SWAT modelinde tüm veri giriş işlemlerinde veri olmaması durumu "-99" değeri ile tanımlanmaktadır. RESMONO tablosunu oluşturmak için kullanılan aylık su çıkış gün sayıları, Şekil 3.11'de yığın-alan grafiğinde gösterilmiştir. 2010-2019 yılları arasında Temmuz ayında gölden hiç su çıkışı olmamıştır. 2018 yılı dışında her yıl Kasım ayında su çıkışı olmuştur ve en çok su çıkışı olan ay bu olup toplam 207 gündür.



Şekil 3.11 DSİ arşiv belgelerinden elde edilen Bafa Gölü su çıkış/deşarj gün sayıları yığın-alan grafiği.

3.2.4 Noktasal yükler

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Büyük Menderes Havzası Koruma Eylem Planı (BMH-KEP 2010)⁹ ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Büyük Menderes Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı (2016)¹⁰ incelendiğinde başlıca noktasal kaynaklı yükler; evsel ve endüstriyel atıksular, sızıntı suları, zeytin karasuyu ve jeotermal sular olarak gruplandırılmıştır. Yine aynı rapora göre başlıca endüstriyel nitelikli noktasal kirlilik kaynakları tekstil, deri ve zeytinyağı üretimi yapan işletmelerdir.

BMH-KEP 2010'da verilen bilgilere göre BMN Havzası'nda toplam azotun (TN) %87,66'sı yayılı kaynaklardan ve %12,34'ü noktasal kaynaklardan gelmektedir. Toplam fosfor (TP) için ise %84,45 yayılı ve %15,55 noktasal kaynaklıdır (Tablo 3.11).

Tablo 3.11 BMH-KEP 2010'a göre kirlilik yük kaynakları

Kirlilik Kaynağı		TN ton/yıl (%)	TP ton/yıl (%)
Noktasal Kaynaklı KY	Evsel Nitelikli KY	3566 (%10.10)	649 (%12.87)
	Endüstriyel Nitelikli KY	791 (%2.24)	135 (%2.68)
Yayılı Kaynaklı KY		30938 (%87.66)	4258 (%84.45)
Toplam		35295 (%100)	5042 (%100)

KY: Kirlilik yükleri

⁹ <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/>

¹⁰ <https://cygm.csb.gov.tr/dokumanlar/>

Bafa alt havzasında noktasal kaynaklardan gelen kirlilik yüklerinin hesaplanması için evsel ve endüstriyel atık su deşarjları incelenmiştir. Bafa alt havza sınırları içerisinde yerleşim yeri bulunmadığından evsel nitelikli noktasal kirlilik yükü oluşmamaktadır. Sanayiden kaynaklı kirlilik yüklerinin hesaplanması için havza sınırları içerisinde yer alan sanayi tesislerinin mevcudiyeti, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü verileri yanında literatürden de araştırılmıştır. Tablo 3.12’de verilen sanayi tesisleri Bafa alt havzasında faaliyet göstermektedir.

Tablo 3.12 Bafa alt havzasında bulunan işletmeler ve deşarj yerleri

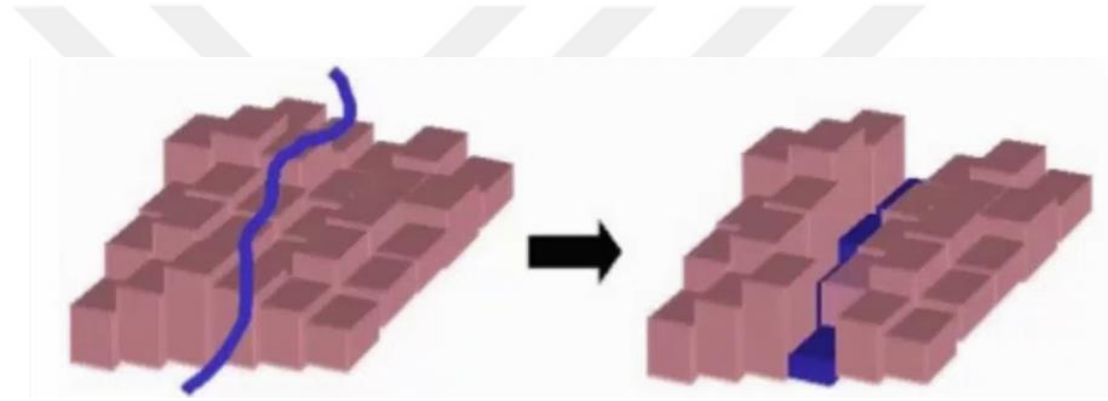
İşletme	İşletme Türü	Dersarj yeri
Egemar (Orka) Su Ürünleri	Balık çiftliği	Dalyan kanalı
Kılıç Holding Bafa Yavru Balık Üretim Tesisi	Balık çiftliği	Dalyan kanalı
Serçin Yavru Balık Üretim Çiftliği	Balık çiftliği	Dalyan kanalı
Tirsay Pirina	Zeytinyağı Fabrikası	Bafa/Milas
Bafa Tarım Ürünleri San.	Zeytinyağı Fabrikası	Bafa/Milas
Altındamla Zeytinyağı Fabrikası	Zeytinyağı Fabrikası	Pınarcık/ Milas
Barbaros Zeytinyağı Fabrikası	Zeytinyağı Fabrikası	Pınarcık/ Milas
Kemalçakır Zeytinyağı Fabrikası	Zeytinyağı Fabrikası	Pınarcık/ Milas
Çolakoğlu Zeytinyağı Fabrikası	Zeytinyağı Fabrikası	Akyenikoy/ Didim

Havzada balık çiftlikleri ve zeytinyağı fabrikaları olmak üzere iki sektör bulunmaktadır. Tesislerin atık su deşarj noktaları da Dalyan Kanalı, Bafa Gölü, Pınarcık ve Akyeniköy'dür. Tesisler, ilgili Bakanlığın atık su bilgi sisteminde yer almadığından kirlilik yükü hesabında kullanılacak atık su debileri ve kirlilik konsantrasyon verilerine ulaşılammıştır. Gerek BMN Havzası gerekse alt havzada noktasal kirlilik yük hesaplamalarına ilişkin veri temininde yaşanan sıkıntılar nedeniyle noktasal kirlilik yükleri modele dâhil edilmemiştir. Model yayılı kaynaklı yük hesaplamalarını kapsamakta olup noktasal kirlilik yüklerinin sonuçlara potansiyel etkileri araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde tartışılmıştır.

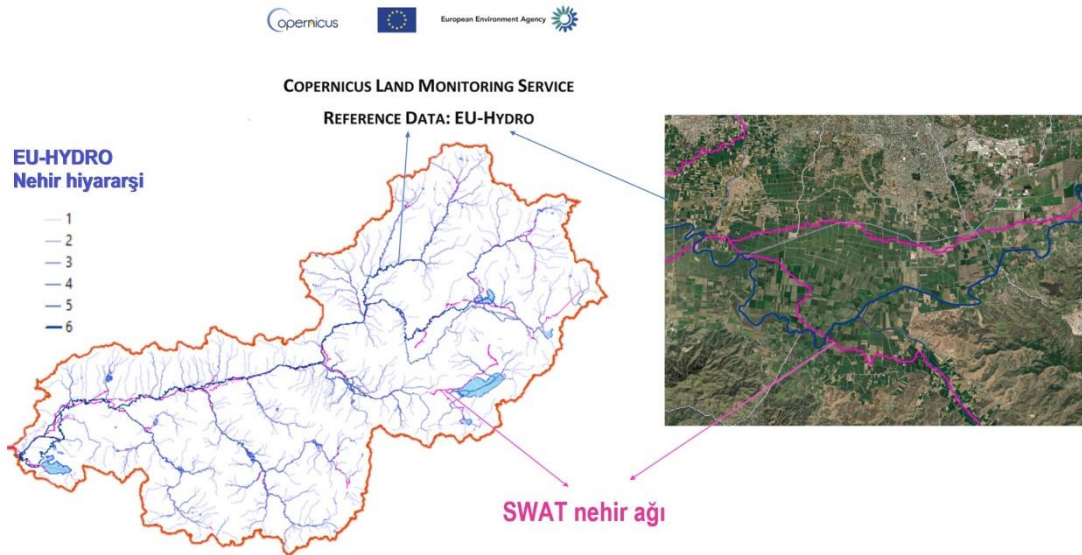
3.2.5 SWAT modelinin kurulumu

Model oluştururken ArcGIS Desktop 10.4 yazılımı ArcSWAT 2012 arayüzü kullanılmıştır. Yükseklik modellerinden nehir ağları oluşturulurken arazi topografyasının yüksek alanlarında (dağlık alanlarda) nehir ağları gerçeğe çok yakın oluşurken, topografyanın değişim göstermediği nispeten düz bölgelerde sapmalar meydana gelebilmektedir. BMN tarihte değişken yataklı bir menderes iken arazi düzenlemeleri ile

son halini almıştır. Nehirde çok sayıda sulama ve drenaj kanalları bulunmaktadır. Gerek arazinin doğası gerekse insan kaynaklı yapılardan oluşan nehir ağı kayıklıklarını elimine etmek için “burn-in” fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 3.12). Bu fonksiyon, SYM üzerinde sanal girintiler oluşturmaktadır. Manipüle edilen bu hatlar çoklu doğru olarak sisteme tanıtılmıştır. Nehir ağları, Google Earth uydu görüntüleri, EU-Hydro-River Network Database¹¹ ve BMN Havzası Yönetim Planı’ndan (2018) yararlanılarak el ile çizilmiştir (Şekil 3.13). Modelin oluşturduğu çıkış (outlet) noktalarına ek olarak barajları temsil etmek için 9 çıkış noktası eklenmiştir. Üst havzadaki bazı çıkış noktaları çok uzun işlem süresinden kaçınmak için genelleştirilerek silinmiştir. Daha küçük HRU'lardan kaçınmak için HRU tanımında arazi kullanımı için %0 ve toprak ve eğim için %10 eşik değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.12 ArcGIS Desktop yazılımı ArcSWAT arayüzü burn-in aracı ile SYM üzerinde sanal girintiler oluşturulması ve model nehir ağı oluşturulurken bu girintilerin kullanımı.



Şekil 3.13 EU-HYDRO tarafından oluşturulan nehir ağı koyu mavi, ArcSWAT ile otomatik oluşturulan nehir hattı pembe çizgi ile gösterilmiştir.

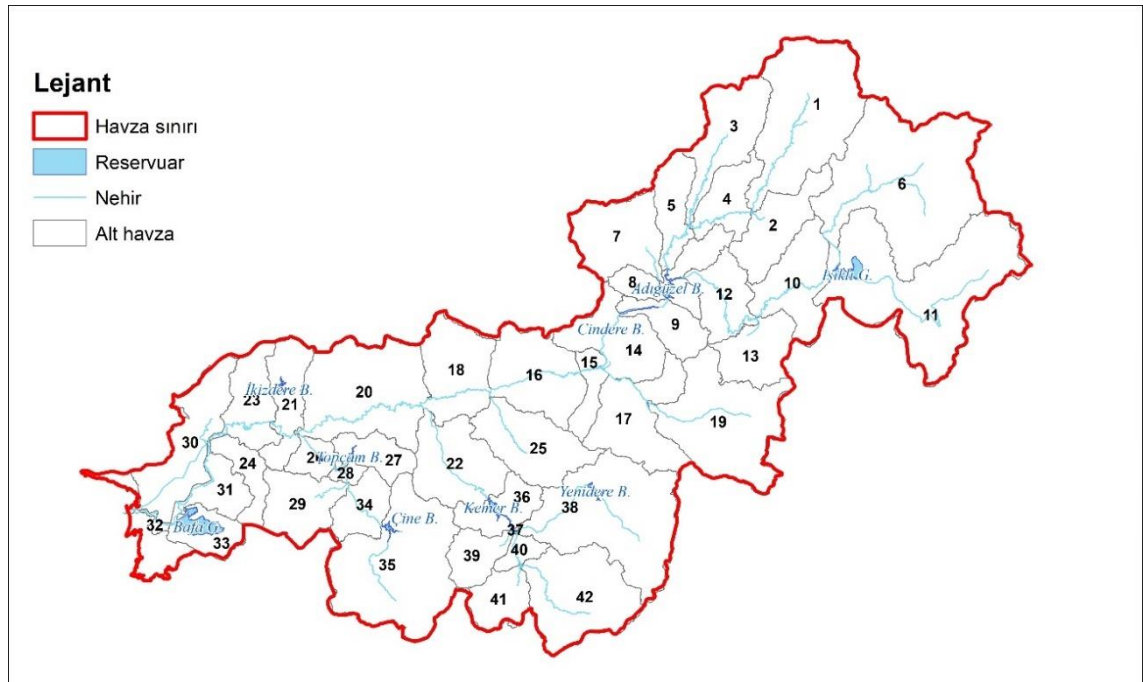
¹¹ <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-hydro/eu-hydro-river-network-database>

Tablo 3.13’de özet şeklinde sıralanan veriler yardımıyla, model ilk 5 yılı ısınma zamanı (warm-up periyodu) olmak üzere 2005-2019 arasında 14 yıl süre için simüle edilmiştir. Isınma zamanı SWAT modeli geliştiricileri tarafından tavsiye edilmektedir (Arnold ve ark., 2012) ve başlangıç koşullarının bilinmediği durumlarda, koşulların stabilize edilmesi amacı ile kullanılmaktadır.

Tablo 3.13 SWAT modeli için kullanılan girdilerin özeti

Veri çeşidi	Kaynak	Veri çözünürlüğü
Sayısal yükseklik modeli	ASTER GDEM V2 ve	30m
	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM5) Seviye-0 SYM5	5m
Arazi kullanımı	CORINE (yıl 2012)	100 m
Toprak	FAO-UNESCO küresel toprak haritası	5 km
İklim verileri	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	Günlük
Debi, sediment ve nütrient	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	Günlük
Baraj verileri	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	Aylık

Sonuç olarak SWAT modeli için toplam 2801 HRU bağımsız bölüm ve 42 alt havza elde edilmiştir. Şekil 3.14’te gri çizgiler oluşturulan alt havza sınırlarını, sayılar alt havza numaralarını, kırmızı çizgiler resmi BMN Havza sınırını ve mavi çizgiler oluşturulan nehir ağını ifade etmektedir.



Şekil 3.14 BMN havzasında SWAT modeli ile üretilen alt havzalar

Modelde kullanılan SYM'nin çözünürlüğü yüksek olmasına rağmen resmi havza sınırı ile hesaplanan havza sınırı arasında %1,41'lik bir fark oluşmuştur. Bu fark kıyı kesimlerindeki düz bölgelerden kaynaklanmaktadır. Toplam 25.649 km² olmak üzere havzanın %98,59'i modellenmiştir.

3.2.6 Kalibrasyon ve doğrulama – SWAT-Calibration Uncertainty Procedures

Model simüle edilirken aylık zaman periyodu kullanılmış, 2010-2013 yılları arasında kalibre edilmiş ve 2014-2019 yılları arasında doğrulanmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama işlemleri, SWAT-Calibration Uncertainty Procedures (SWAT-CUP) yazılımı (Abbaspour, 2007) ile Sequential Uncertainty Fitting version 2 (SUFI-2) analiz rutini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model performansını değerlendirmek için akış, sediment Nash- Sutcliffe Efficiency (NSE) ve R² değerleri kullanılmıştır; burada R², tahmin edilen ve gözlenen değişkenler arasındaki doğrusal ilişkidir. NSE ise gözlenen verilere kıyasla artık varyansın göreceli büyüklüğüdür (Moriasi ve ark., 2007). Simüle edilen ve ölçülen değerler mükemmel uyumu temsil eden değerlerin 1 olması durumu ile -∞ ile 1 arasında değişmektedir. Moriasi ve ark. (2007)'ye göre sonuçların tatmin edici kabul edilmesi için, havza ölçeğinde aylık simüle edilmiş SWAT modelinde akışın NSE değeri > 0,55 ve R² değerleri > 0,7 olmalıdır. Ancak bu değerler sediment ve nütrient için farklılık göstermektedir (sediment için: NSE değeri > 0,45, R² değeri > 0,4; azot için: NSE > 0,35, R² > 0,3; fosfor için: NSE > 0,4, R² > 0,4 (Tablo3.14)).

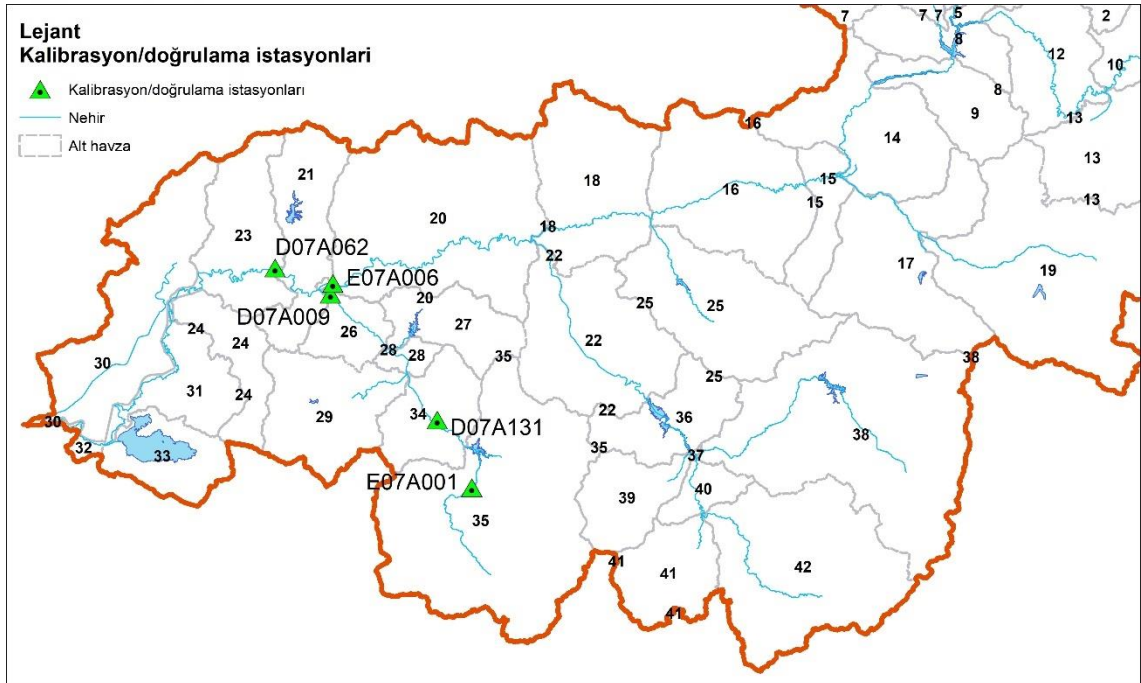
Tablo 3.14 Kalibrasyon performans değerlendirme kriterleri (Moriasi ve ark., 2007)

Parametre	Zamansal ölçek	Performans Değerlendirme Kriterleri			
		Çok iyi	İyi	Tatmin edici	Tatmin etmeyen
Akış	G-A-Y	R ² > 0,85	0,75 < R ² ≤ 0,85	0,60 < R ² ≤ 0,75	R ² ≤ 0,60
Sediment/ P	A	R ² > 0,80	0,65 < R ² ≤ 0,80	0,40 < R ² ≤ 0,65	R ² ≤ 0,40
N	A	R ² > 0,70	0,60 < R ² ≤ 0,70	0,30 < R ² ≤ 0,60	R ² ≤ 0,30
Akış	G-A-Y	NSE > 0,80	0,70 < NSE ≤ 0,80	0,50 < NSE ≤ 0,70	NSE ≤ 0,50
Sediment	A	NSE > 0,80	0,70 < NSE ≤ 0,80	0,45 < NSE ≤ 0,70	NSE ≤ 0,45

N/P	A	NSE > 0,65	0,50 < NSE ≤ 0,65	0,35 < NSE ≤ 0,50	NSE ≤ 0,35
Akış	G-A-Y	PBIAS < ±5	±5 < PBIAS < ±10	±10 < PBIAS < ±15	PBIAS > ±15
Sediment	G-A-Y	PBIAS < ±10	±10 < PBIAS < ±15	±15 < PBIAS < ±20	PBIAS > ±20
N/P	G-A-Y	PBIAS < ±15	±15 < PBIAS < ±20	±20 < PBIAS < ±30	PBIAS > ±30

G,A,Y: Sırasıyla günlük, aylık ve yıllık zamansal ölçeklerdir. Tablodaki performans değerlendirme aralıkları havza bazlı modeller için geçerlidir ve Moriasi et al (2007) çalışmasından yararlanmıştır.

Kalibrasyon ve doğrulama işlemi için kullanılan akış ve sediment verileri, DSİ'nin 5 ölçüm istasyonundan (Şekil 3.15 istasyon isimleri E07A001, D07A009, E07A006, D07A062) elde edilmiştir.



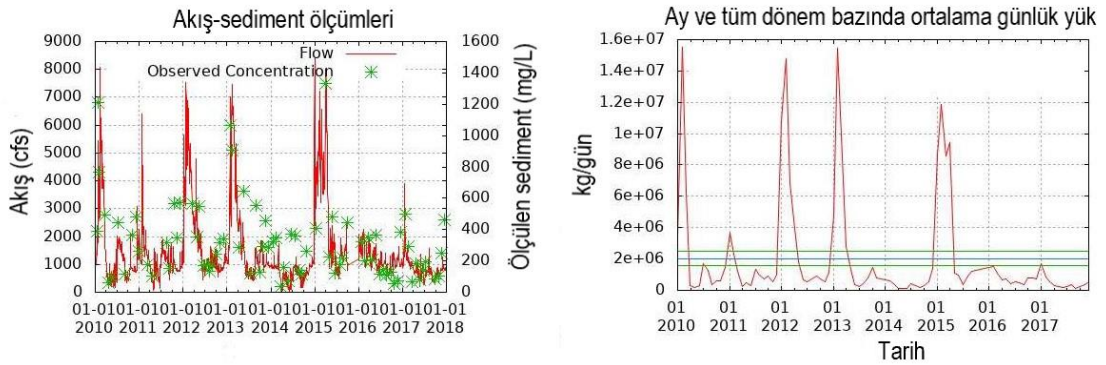
Şekil 3.15 SWAT modeli kalibrasyon ve doğrulamasında kullanılan DSİ istasyonları

Bölgede DSİ tarafından işletilen çok sayıda akış (debi), daha az sayıda sediment ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonların veri sağladıkları zaman aralıkları ve veri miktarları farklıdır. Gerek zaman ve veri içerikleri gerekse konumları nedeniyle, ölçüm istasyonları belirli kriterler gözetilerek seçilmiştir. Bu kriterler; kalibrasyon/doğrulama periyodunda mümkün olduğunca veri sağlaması, sediment verisini içermesi ve Bafa Gölü'ne yakınlığı açısından BMN havzasındaki konumudur.

Nütrient ölçüm istasyonları akış/sediment istasyonlarından farklıdır ve daha sınırlı sayıdadır. Nütrient kalibrasyonunda ve doğrulanmasında hem Bafa Gölü'ne hem de akış istasyonuna yakın olan ve 2013-2019 yıllarında veri sağlayan 23. alt havzada bulunan

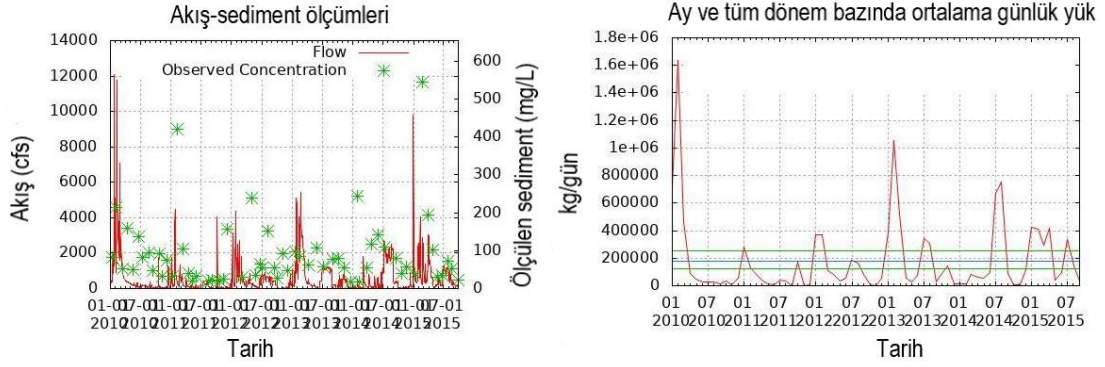
İstasyon kullanılmıştır. İstasyonlara ait akış verileri günlük olarak bulunmaktadır ancak DSİ sediment ve nütrient verilerini ayda bir gün ya da bazı durumlarda iki ayda bir düzensiz zaman aralıklarında ölçmektedir. Bu veriler aylık kalibrasyon işlemi için uygun değildir. Web-tabanlı bir yük hesaplama aracı olan LOADEST (Load Calculation tool) sediment verisini aylık sediment yüküne dönüştürmektedir. Purdue Üniversitesi Ziraat ve Biyoloji Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilmiştir ve Youn Shik Park (2015) tarafından programlanmıştır. LOADEST aracı, akarsu ve nehirlerde günlük akış verileri ve düzensiz günlere ait yük girdilerini kullanarak aylık sürekli bir veri seti hesaplamada bir regresyon modeli oluşturmak için kullanılabilir. Model yük hesaplamada üç istatistiksel model kullanılmaktadır: Maximum likelihood estimation (MLE), adjusted maximum likelihood estimation (AMLE) ve least absolute deviation (LAD). Bu metodlara ilişkin denklemlere programın kullanım klavuzundan ulaşılabilir¹². Bu çalışmada AMLE modeli kullanılmıştır.

Şekil 3.16’da solda yer alan grafikte E07A006 istasyonu için elde edilen düzensiz sediment verisini (yeşil yıldız işareti), günlük akış verisini (sürekli kırmızı çizgi) ve Şekil 3.16’da sağ tarafta LOADEST ile aylık olarak modellenmiş çıktısını göstermektedir.

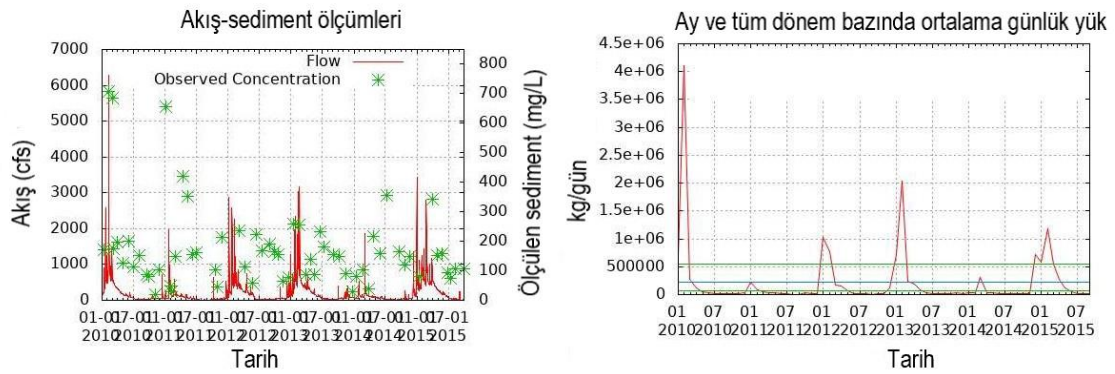


Şekil 3.16 E07A006 istasyonu için elde edilen düzensiz sediment verisi (yeşil yıldız işareti) ve günlük akış verisi (sürekli kırmızı çizgi) (sol); LOADEST ile aylık olarak modellenmiş sediment verisi (sağ)

¹² <https://water.usgs.gov/software/loadest/>



Şekil 3.17 D07A009 istasyonu için elde edilen düzensiz sediment verisi (yeşil yıldız işareti) ve günlük akış verisi (sürekli kırmızı çizgi) (sol); LOADEST ile aylık olarak modellenmiş sediment verisi (sağ)

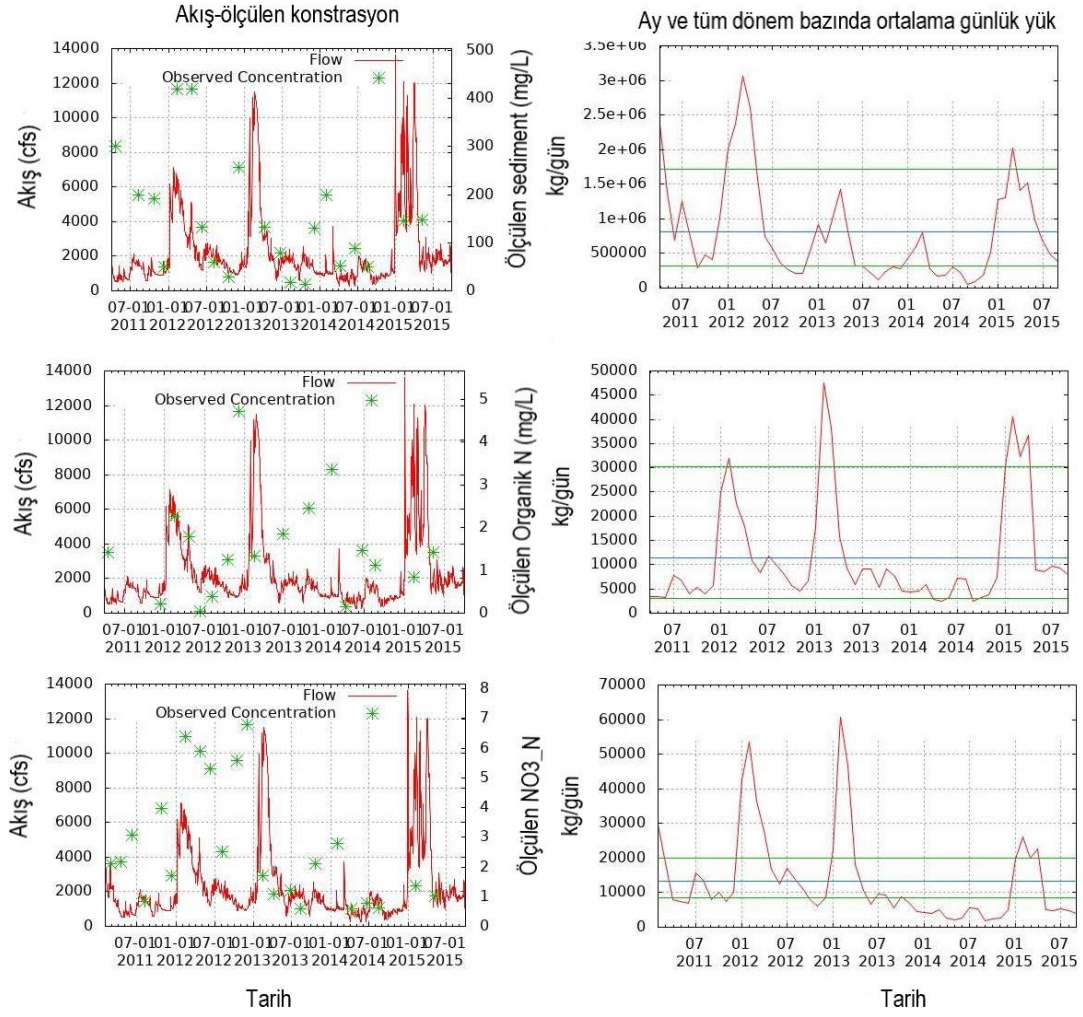


Şekil 3.18 E07A001 istasyonu için elde edilen düzensiz sediment verisi (yeşil yıldız işareti) ve günlük akış verisi (sürekli kırmızı çizgi) (sol) LOADEST ile aylık olarak modellenmiş sediment verisi (sağ)

Benzer şekilde Şekil 3.17’de ve Şekil 3.18’de D07A009 ve E07A001

istasyonlarına ait sedimente verilerinin LOADEST girdi ve çıktılarını göstermektedir.

Şekil 3.19’da kalibrasyon ve doğrulama için nütrient verisi sağlayan tek istasyon D07A0062’nin sol tarafta sırasıyla düzensiz sediment, organik N ve NO₃_N verisi (yeşil yıldız işareti) ve günlük akış verisi (sürekli kırmızı çizgi), sağ tarafta da LOADEST ile aylık olarak modellenmiş sediment, organik N ve NO₃_N grafikleri verilmektedir.



Şekil 3.19 D07A0062 istasyonu için elde edilen düzensiz sediment, organik N ve $\text{NO}_3\text{-N}$ verisi (yeşil yıldız işareti) ve günlük akış verisi (sürekli kırmızı çizgi) sırasıyla yukarıdan aşağı (sol); LOADEST ile aylık olarak modellenmiş sediment, organik N ve $\text{NO}_3\text{-N}$ sırasıyla yukarıdan aşağı (sağ)

Aylık sediment yük değerleri SWAT model kalibrasyonu ve doğrulaması için SWAT-CUP yazılımına girdi olarak kullanılmıştır.

3.3 Uzaktan Algılama Modeli

3.3.1. Uydu verileri

Bafa Gölü'nün içinde bulunduğu Landsat 8 görüntü çerçeveleri USGS (United States Geological Survey) Earth Explorer¹³ web arayüzü kullanılarak indirilmiştir. Landsat 8 (L8) 11 Şubat 2013'te fırlatılmış ve 30 Mayıs 2013'te normal operasyonlara başlamıştır. L8'in 16 günlük bir ziyaret döngüsü vardır ve saat 10:00'da ekvatorial geçiş yapmaktadır. L8, 185 km tarama genişliğine ve 30m mekânsal çözünürlüklü sekiz banda ve 15m mekânsal çözünürlüklü bir pankromatik banda sahip, dokuz bantlı bir tarayıcıdır (Tablo 3.15). Daha önceki Landsat görevlerinde taşınan Thematic Mapper (L4-5/TM) ve Enhanced Thematic Mapper Plus (L-7/ETM +) ile karşılaştırıldığında, L8/OLI daha yüksek sinyal-gürültü oranları (signal-to-noise ratios, SNR) sunmaktadır. Ortorektifiye edilmiş ve yer düzeltmeleri yapılmış Seviye 1T OLI görüntüleri, atmosferik düzeltme yapılarak, ESA (Avrupa Uzay Ajansı) tarafından sağlanan Sentinel Application Platform¹⁴ (SNAP) yazılımı ile coğrafi koordinat sistemi WGS 1984'e dönüştürülmüştür.

Tablo 3.15 Landsat 8 OLI bantları, dalga boyları ve yer örnekleme aralıkları

Bant	Dalga boyu (nm)	Yer örnekleme aralığı (m)
1 (Coastal/Aerosol)	433–453	30
2 (Blue)	450–515	30
3 (Green)	525–600	30
4 (Red)	630–680	30
5 (NIR) Near Infrared	845–885	30
6 (SWIR 1) Shortwave Infrared 1	1560–1660	30
7 (SWIR 2) Shortwave Infrared 2	2100–2300	30
8 (PAN) Panchromatic	500–680	15
9 (CIRRUS)	1360–1390	30

Su kütleleri üzerinde yapılan uzaktan algılama uygulamaları için atmosferik düzeltme önemli bir adımdır. L8 Seviye 1T OLI uydu görüntülerine ilk adım olarak ozon ve Rayleigh saçılma etkilerinin giderilmesi için atmosferik düzeltme uygulanmalıdır. Atmosferik düzeltme, kıyı ve iç su uygulamalarında atmosferik düzeltme ve işleme için RBINS'de (Royal Belgian Institute of Natural Sciences) geliştirilmiş ACOLITE açık kaynaklı bir yazılımdır. Şu anda Landsat (5/7/8), Sentinel-2 (A/B), Sentinel-3 (A/B), PlanetScope, Pleiades ve WorldView gibi birçok sensörü desteklemektedir. ACOLITE, "dark spectrum fitting" yaklaşımını (Vanhellemont ve Ruddick, 2021) kullanarak atmosferik düzeltmeyi varsayılan olarak gerçekleştirmektedir ancak üstel ekstrapolasyonu (exponential extrapolation) kullanacak şekilde de yapılandırılabilir

¹³ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

¹⁴ <https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>

(Vanhellemont ve Ruddick, 2014). Genel olarak, ACOLITE atmosferik düzeltmeyi Rayleigh düzeltmesi (Vermote ve ark., 2006) ve aerosol düzeltmesi olarak iki adımda gerçekleştirir: Atmosferik düzeltmeye ilişkin detaylı açıklamalar Vanhellemont ve Ruddick (2014) tarafından açıklanmaktadır.

3.3.2. Yerde ölçüm Chl-a verileri

Uzaktan algılama Chl-a tahmin modeli için yerinde ölçümlerle elde edilmiş iki Chl-a veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti, Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından finanse edilen iki saha çalışmasından elde edilmiş, ikinci veri seti DSİ izleme istasyonlarının arşiv verilerinden sağlanmıştır.

Saha çalışması

Gölden su numunesi alımı ve bu numunelerin laboratuvar ortamında Chl-a konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla Türkiye Akreditasyon Kurumu tarafından akredite edilen bir laboratuvar ve danışmanlık kurumundan hizmet alımı gerçekleştirilmiştir. Chl-a konsantrasyonları laboratuvarda aseton ekstraksiyon yöntemi uygulanarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür (ISO 10260, 1992). Saha çalışması için gerekli su taşıtı kiralama ile temin edilmiştir (Şekil 3.20). 17 Temmuz 2018 ve 10 Eylül 2019 tarihleri olmak üzere iki oturumda saha çalışması yapılmıştır. Her oturumda 13 adet olmak üzere toplam 26 su numunesi alımı yapılmıştır (Şekil 3.21). Serçin bölgesinde önceden planlanan su numunesi alımı, planlanan noktanın sığ alana denk gelmesi ve teknenin bu alana girememesi nedeniyle gerçekleştirilememiştir (Şekil 3.22'da Serçin sığ bölge olarak isimlendirilen taralı alan).



Şekil 3.20 Saha çalışması için kiralanan su taşıtı

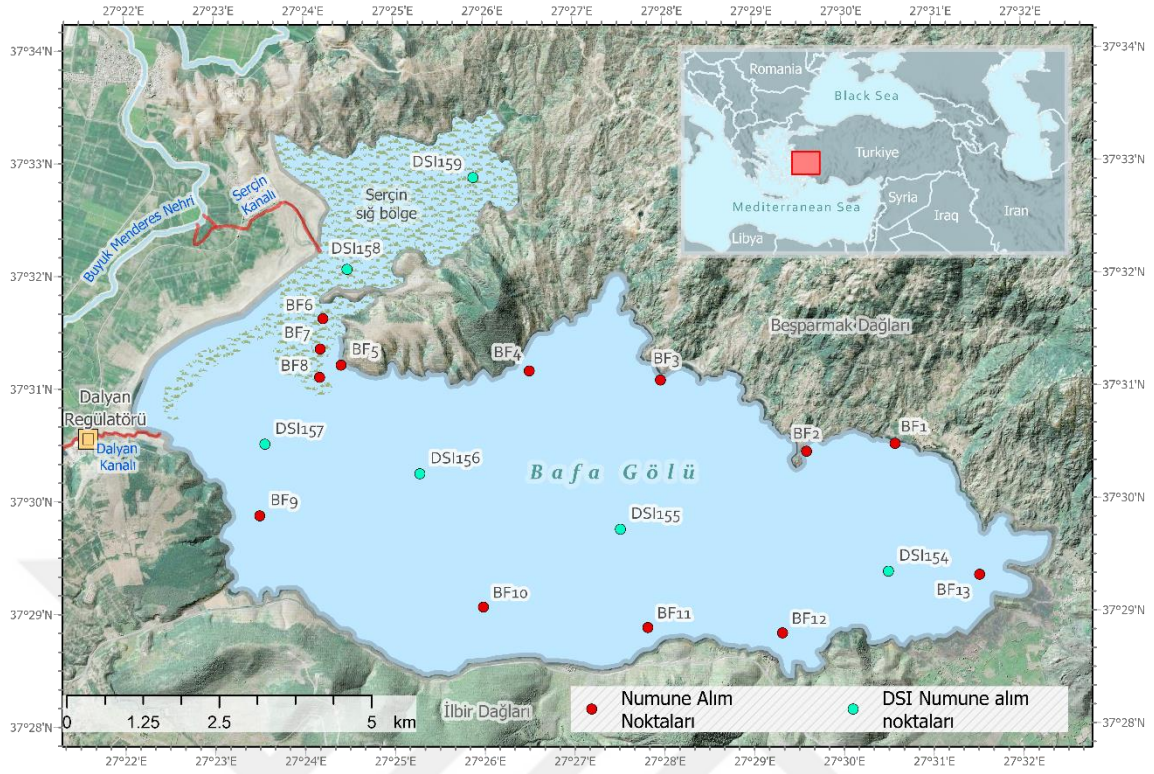


Şekil 3.21 Saha çalışması göl yüzeyinden su numunesi alımı ve saklanması

DSI arşiv veri seti

DSI 6 adet istasyon yardımıyla 2009-2014 yılları arasında düzenli Chl-a gözlemi yapmıştır. Bu gözlemlerden L8 operasyon tarihi olan 2013 yılı ve sonrasına ait olanlar filtrelenmiştir. Chl-a analizleri, laboratuvarında aseton ekstraksiyon yöntemi uygulanarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür (ISO 10260, 1992).

Numune alınan noktaların göl üzerindeki dağılımı Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Yeşil noktalar DSI arşiv verilerinin, kırmızı noktalar ise saha çalışması verilerinin konumlarını temsil etmektedir.

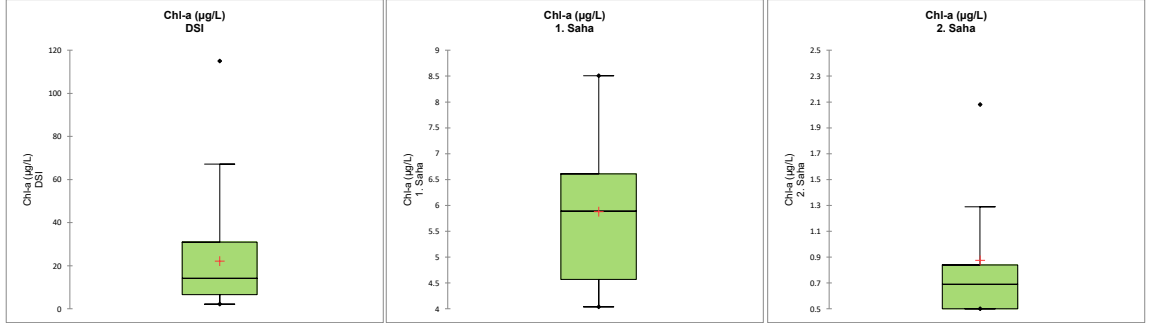


Şekil 3.22 Numune alınan noktaların göl üzerindeki dağılımı

Her iki veri setinden toplamda 68 Chl-a konsantrasyon değeri elde edilmiştir. Ayrıca laboratuvar ölçümlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 3.16’de bu değerlere ait kutu grafikler de Şekil 3.23’de verilmiştir.

Tablo 3.16 Numune noktalarından elde edilen Chl-a konsantrasyon değerleri açıklayıcı istatistikler.

İstatistik	Chl-a ($\mu\text{g/L}$) DSI	Chl-a ($\mu\text{g/L}$) 1. Saha	Chl-a ($\mu\text{g/L}$) 2. Saha
Ölçü adedi	42	13	13
Minimum	2,20	4,04	0,50
Maksimum	115,06	8,51	2,08
1. çeyrek	6,63	4,57	0,50
Medyan	14,24	5,89	0,69
3. çeyrek	30,96	6,61	0,84
Ortalama	22,13	5,88	0,87
Varyans (n-1)	509,04	1,89	0,27
Standart sapma (n-1)	22,56	1,37	0,52



Şekil 3.23 Numune noktalarından elde edilen Chl-a konsantrasyon değerleri kutu grafikleri.

DSI veri seti 2014 yılında meydana gelen CyanoHAB olayını kapsadığı için içeriğinde düşük, orta ve yüksek Chl-a konsantrasyon değerleri bulunmaktadır. Bu nedenle Şekil 3.23’de verilen her bir veri seti için kutu grafiklerde veri aralığı en yüksek olan (min:2,2 – maks:115,06) settir. 1. Saha çalışması 2018 yılında yaşanan CyanoHAB olayının hemen ardından yapılmış olup (Temmuz ayı), 2. Saha çalışmasından (Eylül 2019) görece yüksek konsantrasyon değerlerine sahiptir.

3.3.3. Uzaktan algılama Chl-a tahmin modeli

Bafa Gölü'ndeki CyanoHAB’ların görselleştirilmesi ve nicelleştirilmesi için bir uzaktan algılama Chl-a tahmin modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında ilk olarak veri setindeki numune ölçüm zamanlarına en yakın tarihli (14 Temmuz 2013, 15 Ağustos 2013, 7 Şubat 2014, 23 Şubat 2014, 12 Nisan 2014, 14 Mayıs 2014, 15 Haziran 2014, 17 Temmuz 2014, 19 Eylül 2014, 28 Temmuz 2018 ve 1 Eylül 2019) L8 çerçeveleri seçilmiş ve bölüm 3.3.1’de açıklanan işlem ve düzeltmeler yapılmıştır. SNAP yazılımı kullanılarak, nokta konumları görüntülerle, bulutlu alanlar maskelenerek karşılaştırılmış ve noktayı merkez alan 5x5 boyutlu piksellerin ortalama yansıma değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ile Chl-a değerleri eşlenerek yansıma - Chl-a veri seti çiftleri oluşturulmuştur. Sonuçta 2013, 2014, 2018 ve 2019 yıllarına ait 11 adet görüntüden 68 adet veri çifti eşleşmiştir. Bu veri çiftlerinden %80’i (54) modelin oluşturulması/kalibrasyonu, %20’si (14) ise doğrulanması sürecinde kullanılmıştır.

Rastgele Orman Modeli

Chl-a'yı birden fazla parametre kullanarak tahmin etmek için, sınıflandırma ve regresyonda yaygın olarak kullanılan bir algoritma olan Rastgele Orman (RF) Modeli (Liaw ve Wiener, 2002) kullanılmıştır. Model, regresyon analizi için girdi verilerinin yüksek mekânsal ve zamansal değişkenliklere sahip olduğu durumlarda kullanılacak model türleri arasındadır. Bu algoritmada yüzlerce karar ağacı rastgele oluşturulur ve tüm ağaçlar birbirinden bağımsızdır. RF Modeli sonucu, rastgele seçilen eğitim ve test kümelerinin seçimlerine bağlı olarak farklı olabileceğinden, en iyi model ancak farklı model parametreleri ve eğitim-test kümeleri kombinasyonları denendikten sonra oluşturulabilir. Nihai bir sınıflandırma veya regresyon modeli, karar ağaçlarının birden çok katmanını toplayarak yapılan en doğru modeldir. Ağaçlar rasgele oluşturulur ve tüm süreç için eğitim, doğrulama ve test seti de istatistiksel modellerden kaynaklanan yaygın aşırı uydurma ve sapmalardan kaçınmak için tüm veri kümesinden rastgele seçilir. Bu çalışmada Chl-a tahmini için oluşturulabilecek regresyon modeli aday değişkenleri belirlemede RF algoritması kullanılmış ve elde edilen nihai denklem aşağıda verilmiştir;

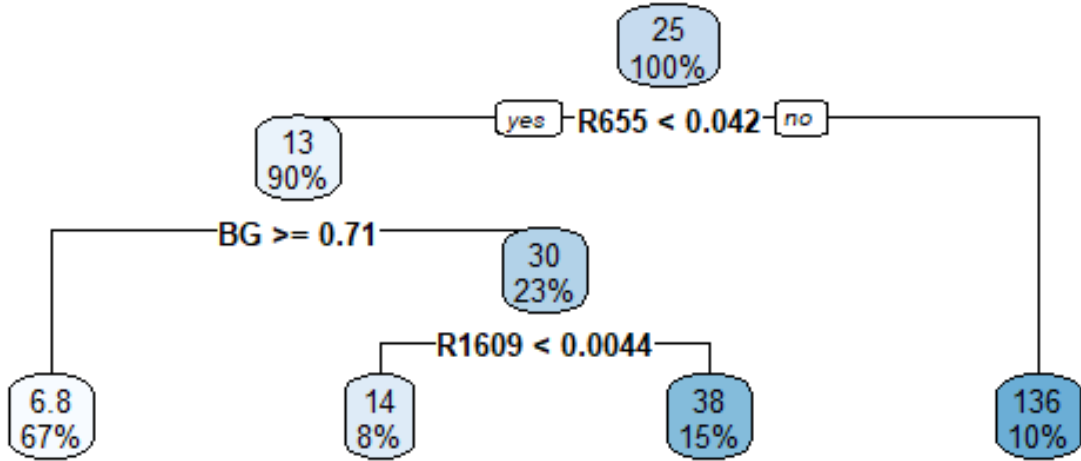
$$Chla \sim R_{rc, RED} + BG + R_{rc, SWIR} + FAI \quad (3.1)$$

şeklindedir. Burada; $R_{rc, RED}$ ve $R_{rc, SWIR}$ L8 bantlarının atmosferik olarak düzeltilmiş değerleridir. BG mavi (Blue) bandın yeşil (Green) banda oranını ve FAI ise Floating Algae Index'i temsil etmektedir. FAI ilk olarak Hu (2009) tarafından MODIS için geliştirilen bir CyanoHAB görselleştirme ve nicelleştirme modelidir. Modelde kullanılan parametrelerin spektral özellikleri ve formülleri Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17 Chl-a tahmin modelinde kullanılan bantlar ve formülleri

Spektral Özellik	Formül
Blue 480 nm	$R_{rc, BLUE}$
Green 560 nm	$R_{rc, GREEN}$
Red 655 nm	$R_{rc, RED}$
NIR 865 nm	$R_{rc, NIR}$
SWIR 1 1609 nm	$R_{rc, SWIR}$
Blue bandın Green banda oranı (BG)	$\frac{R_{rc, BLUE}}{R_{rc, GREEN}}$
Floating algae index (FAI)	$R_{rc, NIR} - \left[R_{rc, RED} + \frac{(R_{rc, SWIR} - R_{rc, RED})(\lambda_{NIR} - \lambda_{RED})}{\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED}} \right]$

Şekil 3.24’de en iyi modelin (Denklem 3.1) aday değişkenlerini belirlemek için eşik limitlerini gösteren karar ağacı verilmiştir. Burada R655 değerinin <0,042 sağlanması durumu için çok anlamlıdır. Bunun yanında BG değerinin $\geq 0,71$ durumu da sağlanırsa %67’lik maksimum değere ulaşmaktadır. R655 ve BG, R1609 ile birleştirilirse sadece %23 değeri elde edilmektedir.

**Şekil 3.24** En iyi modeldeki aday değişkenler için eşik sınırlarını gösteren karar ağacı

Chl-a model değerlendirmesi, doğrulama veri seti için tahmin edilen Chl-a (RF_{Chl-a}) ve ölçülen değerler arasındaki mutlak ve standartlaştırılmış farklar karekökleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir (KOH). Ayrıca, hata doğrulama veri setindeki ölçülen maksimum ve minimum değerlerin farkına bölünerek ortalama mutlak yüzde hatası (%KOH) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$KOH = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(RF_{Chl-a\ i} - \text{ölçülen}_i)^2}{N}} \quad (3.2)$$

$$\%KOH = \left[\frac{KOH}{Y_{maks} - Y_{min}} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

burada, N ölçüm sayısı Y_{maks} , yerinde ölçülen değerlerin en büyüğü; Y_{min} , yerinde ölçüm değerlerinin en küçüğüdür.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmadan elde edilen bulgular her bir süreç için ayrı olarak ele alınmış ve bölümler halinde aşağıda detaylandırılmıştır. İlk bölüm havza ölçeğinde oluşturulan SWAT modelinin kalibrasyon ve doğrulama sonuçları, süreçte kullanılan kalibrasyon parametrelerinin tartışılması ve her iki işlem için model performansının değerlendirilmesini içermektedir. İkinci bölümde L8 görüntülerinden Chl-a nicelleştirilmesi işleminde kullanılacak RF regresyon modelinin değişkenlerinin kalibrasyon ve doğrulama performansları tartışılmıştır. Bu model önceki bölümlerde de açıklandığı üzere tüm uzaktan algılama veri setine uygulanarak oluşturulan zaman serisi ve serinin yorumlanması “RF_{Chl-a} Zaman Serisi” başlığı altında verilmiştir. Ayrıca, harita doğrulaması olarak isimlendirilen, RF_{Chl-a} değerlerinin göl yüzeyindeki Chl-a desenleri ile görsel olarak karşılaştırılması ve yorumlanması da ayrı bir bölüm olarak ele alınmıştır. Son bölümde RF_{Chl-a} değerleri ile SWAT model çıktılarının karşılaştırıldığı korelasyon analizleri ve sonuçlarının değerlendirilmesi verilmiştir.

4.1. SWAT Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulanması

SWAT modeli aylık periyotta kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. BMN Havzası topografik olarak çok sayıda dağlık alana sahip olduğu için kalibrasyon işlemine kar parametreleri ile başlanmıştır. 250 simülasyondan sonra kar erime sıcaklığı (SMTMP) -4,96 değerine, kar yağışı sıcaklığı (SFTMP) 4,88 değerine ve maksimum ve minimum kar erime hızı faktörleri (SMFMX, SMFMN) sırasıyla 7,56 ve 3,40 değerlerine sabitlenmiştir. Kalibrasyon çalışmasında kullanılan SWAT kar parametreleri Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: Kalibrasyon çalışmasında kullanılan SWAT kar parametreleri.

Model Parametreleri	Parametre Açıklaması	Parametre Aralığı	Sabitlenen Değer
SMTMP	Kar erimesi sıcaklığı	-20 ile 20	-4,96
SFTMP	Kar yağışı sıcaklığı	-20 ile 20	4,88
SMFMX	21 Haziran için kar erimesi faktörü	0 ile 20	7,56
SMFMN	21 Aralık için kar erimesi faktörü	0 ile 20	3,40

Bu kar parametreleri sabitlendikten sonra kalibrasyon ve doğrulama için Abbaspour ve ark. (2015) tarafından verilen parametre bölgeleştirme kuralları (parameter regionalization) protokolü takip edilmiştir. Bu protokol özet olarak simüle edilmiş verilerin gözlemlerle elde edilen verilere daha iyi uyum göstermesi için uygun parametrelerin tespiti ve değerlerinin değiştirilmesi işlemleridir. Kalibrasyona protokolde verilen ana parametrelerle başlanmış ve istasyon bölgesinin karakteristik yapısına göre yeni parametreler eklenmiştir. İstasyonlardaki hassas parametreler farklılık göstermiştir ve hassas olmayan parametreler çıkarılmıştır. Kalibrasyona üst havzadan başlanmış ve her bir işlem adımı 1000 simülasyon sayısı sonunda parametreler sabitlenerek havzada, aşağıya doğru devam edilmiştir. Model simülasyonları R² ve NSE değerleri tatmin edici olana kadar yinelenmiştir. Kalibrasyon nihai toplam 13 hassas hidrolojik parametreyle tamamlanmıştır (Tablo 4.2). Bu parametrelerin çoğu toprak ve yeraltı suyu özellikleri ile ilgilidir. Tabloda yer alan girdi dosyası alanı ilgili parametrenin hangi SWAT dosyası içinde olduğunu belirtmektedir. Metot alanında yer alan “r” model parametresinde bağıl, “v” ise mutlak bir değişiklik yapıldığını göstermektedir. Parametre adında yer alan “()”, ilgili parametrenin her katmanı için değişiklik yapılacağını belirtmektedir.

Tablo 4.2 Kalibrasyonda kullanılan parametreler ve başlangıç değer aralıkları

Parametre	Parametre Açıklaması	Min	Maks	Girdi dosyası	Metot
CN2	Toprak nemi II için SCS yüzeysel akış eğim değeri	-0,2	0,2	mgt	r
ESCO	Toprak buharlaşması faktörü	0	1	hru	v
SOL_AWC()	Toprağın kullanılabilir su tutma kapasitesi	-0,2	0,4	sol	r
SOL_BD(1)	Toprak yoğunluğu (g/cm ³)	-0,5	0,6	sol	v
SOL_K()	Toprak iletkenliği (mm/sa)	-0,8	0,8	sol	r
GWQMN	Sığ akiferden geri dönüş suyu için eşik su derinliği (mm)	0	2000	gw	v
GW_REVAP	Yeraltı suyu revap. Katsayısı	0	0,2	gw	v
ALPHA_BF	Baz akım alfa faktörü (gün)	0	1	gw	v
GW_DELAY	Yeraltı Suyu Gecikme süresi	0	500	gw	v
REVAPMN	‘revap’ değeri için sığ akiferde eşik su derinliği (mm)	0	700	gw	v
CH_K2	Ana kanal alüvyonunda etkin hidrolik iletkenlik	-0,01	500	rte	v
CH_N2	Ana kanal için Manning'in "n" değeri	-0,01	0,3	rte	v
CH_S2	Ana kanalın ortalama eğimi	-0,001	10	rte	v

Model hidroloji parametreleri için kalibre edilmiş, bu parametre değerleri için en iyi değer sabitlenmiştir. Her bir parametrenin alt havzalara göre sabitlenen değerleri Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3 Model için kullanılan hidrolojik kalibrasyon parametreleri

Parametre	Alt havza	En iyi değer
CN2	1-20,22,25,36-42	-0,1865
	21,23	0,0775
	26-29,34	-0,067
	35	-0,1535
ESCO	35	0,445
SOL_AWC()	1-20,22,25,36-42	0,0475
	35	0,3883
SOL_BD(1)	1-20,22,25,36-42	1,9165
	26-29,34	1,692
	35	1,868
SOL_K()	21,23	-0,1625
	35	-0,1417
GWQMN	1-20,22,25,36-42	857,5
	21,23	538,75
	26-29,34	347
	35	742,5
GW_REVAP	1-20,22,25,36-42	0,1268
	26-29,34	0,0448
	35	0,1883
ALPHA_BF	1-20,22,25,36-42	0,823
	21,23	0,34
	26-29,34	0,655
GW_DELAY	1-20,22,25,36-42	205,5
	21,23	277,5
	26-29,34	436,3
	35	0,1883
REVAPMN	35	520
CH_K2	1-20,22,25,36-42	109,4500
	26-29,34	4,5
	35	122,5
CH_N2	1-20,22,25,36-42	0,0167
	21,23	0,2716
	26-29,34	0,0102
CH_S2	1-20,22,25,36-42	5,7733
	21,23	1,9953

Model sediment ve nütrient yükleri için de kalibre edilmiştir. Sediment ve nütrient yükleri sırasıyla Tablo 4.4'te listelenen 6 ve 11 parametre kullanılarak kalibre edilmiştir.

Tablo 4.4 Sediment ve nütrient kalibrasyonunda kullanılan parametrelerin açıklamaları.

	Parametre	Parametre Açıklaması	
Sediment	USLE_P	USLE destek uygulama faktörü	
	SPEXP	Sediment taşıma denkleminde üs (kuvvet)	
	SPCON	Sediment taşıma katsayısı	
	SLSOIL	Yanal yüzey altı akışı için eğim uzunluğu	
	USLE_K()	USLE denkleminde toprak aşınabilirlik (K) faktörü	
	HRU_SLP	Ortalama eğim dikliği	
Nütrient N (Azotlu bileşikler)	P (fosfor)	RS5	20 °C'de [gün-1] ulaşılacak organik fosfor çökeltme oranı
		ERORGP	Organik P zenginleştirme oranı
		SOL_ORGP()	Yüzey toprak tabakasındaki ilk organik P konsantrasyonu [mg/kg]
	N (Azotlu bileşikler)	ERORGN	Organik N zenginleştirme oranı
		RS3	20 °C'de erişimde NH ₄ -N için bentik kaynak oranı [mg NH ₄ -N/[m ² ·gün]]
		NPERCO	Azot süzülme katsayısı
		CMN	Aktif organik azotun humus mineralizasyonu için oran faktörü
		CDN	Denitrifikasyon üstel oran katsayısı
		RCN	Yağışta nitrojen konsantrasyonu
		BC1	20 °C'de NH ₄ 'ün NO ₂ 'ye biyolojik oksidasyonu için hız sabiti [gün-1]
		BC3	20°C'de organik N'nin NH ₄ 'e hidrolizi için hız sabiti [gün-1]

Kalibrasyonda kullanılan parametrelerin sabitlendiği en iyi değerler ve alt havzalara göre dağılımları Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.5 Model için kullanılan sediment kalibrasyon parametreleri

Parametre	Metot	Min.	Maks.	Alt Havza	En iyi değer	Girdi Dosyası
USLE_P	v	0	1	1-20,22,25,36-42	0,3420	mgt
				21,23	0,4428	
SPEXP	v	0	1,5	TÜM	1,3675	bsn
SPCON	v	0,0001	0,01	TÜM	0,0049	bsn
SLSOIL	v	0	150	1-20,22,25,36-42	92,25	hru
				21,23	45,75	
				26-29,34	37,75	
				35	48,75	
USLE_K()	v	0	0,65	1-20,22,25,36-42	0,2762	sol
				21,23	0,4387	
HRU_SLP	r	-0,5	0,6	1-20,22,25,36-42	-0,422	hru
				21,23	0,55	
				26-29,34	-0,226	
				35	0,35	

Tablo 4.6 Model için kullanılan nütrient kalibrasyon parametreleri

Parametre	Metot	Min.	Maks.	Alt Havza	En iyi değer	Girdi Dosyası
RS3	v	0	1	Tüm	0,3938	swq
RS5	v	0,001	0,1	Tüm	0,0862	swq
ERORGP	v	0	5	Tüm	0,1853	hru
SOL_ORGP()	v	0	100	Tüm	45,6491	chm
ERORGN	v	0	5	Tüm	0,7503	hru
NPERCO	v	0	1	Tüm	0,241	bsn
CMN	v	0,001	0,003	Tüm	0,0017	bsn
CDN	v	0	3	Tüm	1,4336	bsn
RCN	v	0	15	Tüm	5,9125	bsn
BC1	v	0,1	1	Tüm	0,4693	swq
BC3	v	0,2	0,4	Tüm	0,3036	swq

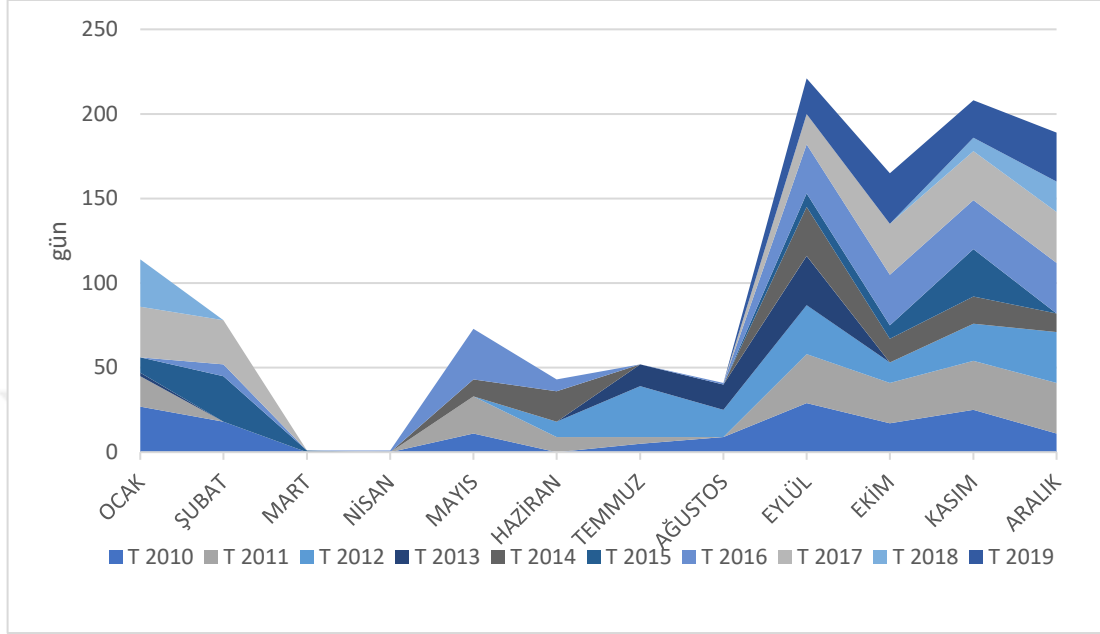
Hidroloji parametreleri, sediment ve nütrient yük parametreleri sabitlendikten sonra Bafa Gölü'nün hacmi kalibre edilmiştir. Rezervuarlar için aylık su dengesi (hacim) (Denklemler 4.1), rezervuara giren ve çıkan akışı, yüzeydeki yağışı, buharlaşmayı, rezervuar tabanından sızıntıyı ve sapmaları içerir. Hesaplama Neitsch ve ark. (2011), tarafından verilen;

$$V = V_{depolanan} + V_{giriş} - V_{çıkış} + V_{yağış} - V_{buharlaştırma} - V_{sızıntı} \quad (4.1)$$

denklemleri kullanılmıştır. Burada V, ay sonunda barajdaki su hacmidir (m³ su), $V_{depolanan}$, ay başında rezervuarda depolanan su miktarıdır (m³ su), $V_{giriş}$, ay boyunca rezervuara giren su hacmidir (m³ su), $V_{çıkış}$, ay boyunca rezervuardan akan su hacmidir (m³ su), $V_{yağış}$, ay boyunca rezervuara düşen yağış miktarıdır (m³ su), $V_{buharlaştırma}$, ay boyunca buharlaşma yoluyla rezervuardan çekilen su hacmidir (m³ su) ve $V_{sızıntı}$, rezervuardan sızıntı ile kaybedilen su hacmidir (m³ su).

Rezervuarda depolanan aylık su hacimleri DSİ arşivlerinden alınmıştır. Rezervuara giren suyun hacmi BMN'den takviye edilen ve Bafa Gölü'nü besleyen doğal kaynak sularının hacmi toplamıdır. Bafa Gölü'ne BMN'den aylık takviye edilen suyun hacminin hesaplanması için DSİ arşiv belgelerinden elde edilen ve Bafa Gölü'ne su giriş-çıkış süreçlerinin aylık gün sayılarının kaydının tutulduğu, su giriş-çıkış veri seti oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de bu veri seti yığın-alan biçiminde oluşturulan grafiklerle özetlenmiştir. Hesaplamalar, bu veri setine bağlı olarak, giriş su debisinin 3 m³/sn kabulü ile yapılmıştır. Bu kabul, göle su girişini kontrol eden DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü

uzmanlarıyla yapılan mülakatlarla karşılaştırılmıştır. DSI tarafından ölçülen aylık hacim değerlerinden BMN'den gelen takviye su hacmi çıkarılarak, kalibrasyonda kullanılacak yeni hacim değerleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 DSI arşiv belgelerinden elde edilen Bafa Gölü su takviye gün sayıları yığın-alan grafiği.

2010-2019 yılları arasında Mart ve Nisan aylarında su takviyesi verilen toplam gün sayısı 1 iken Eylül ayında 221 olarak gerçekleşmiştir. Göl hacmi kalibrasyon işleminde kullanılan parametreler Tablo 4.7'de, açıklamaları da Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Hacim kalibrasyonunda kullanılan parametreler

Metot	Parametre	Girdi Dosyası	Min.	Maks.	Alt havza	En iyi değer
r	CN2	mgt	-0,3	0,3	33	-0,2925
v	SLSOIL	hru	0	1,5	33	108,7500
v	CH_K2	rte	-0,01	500	33	262,4953
v	SOL_BD(1)	sol	0,9	2,5	33	1,3176
r	SOL_AWC()	sol	-0,4	0,4	33	-0,2924
v	RES_PVOL	res	65000	70000	33	68316
v	RES_EVOL	res	65000	75000	33	70612
v	EVRSV	res	0	1	33	0,4897

Tablo 4.8 Hacim kalibrasyonunda kullanılan parametrelerin açıklamaları

	Parametre	Parametre Açıklaması
Hacim	RES_PVOL	Rezervuar işletme hacmi
	RES_EVOL	Rezervuar acil dolu savak hacmi
	EVRSV	Göl buharlaşma katsayısı (varsayılan 0.6)

Nehir akış, sediment ve nütrient verilerinin yaklaşık yarısı kalibrasyon için, diğer yarısı ise doğrulama için kullanılmıştır. Kalibrasyonda akış verileri için R^2 0,64-0,92, NSE 0,63-0,82, sediment verileri için, R^2 0,55-0,82, NSE 0,33-0,67, nütrient verileri için R^2 0,59-0,79, NSE -1,55 – 0,50'dir. Doğrulama da ise bu değerler akış verileri için R^2 0,57-0,97, NSE 0,54-0,92, sediment verileri için, R^2 0,66-0,81, NSE 0,10-0,79, nütrient verileri için R^2 0,40-0,77, NSE -0,51-0,71 olmuştur.

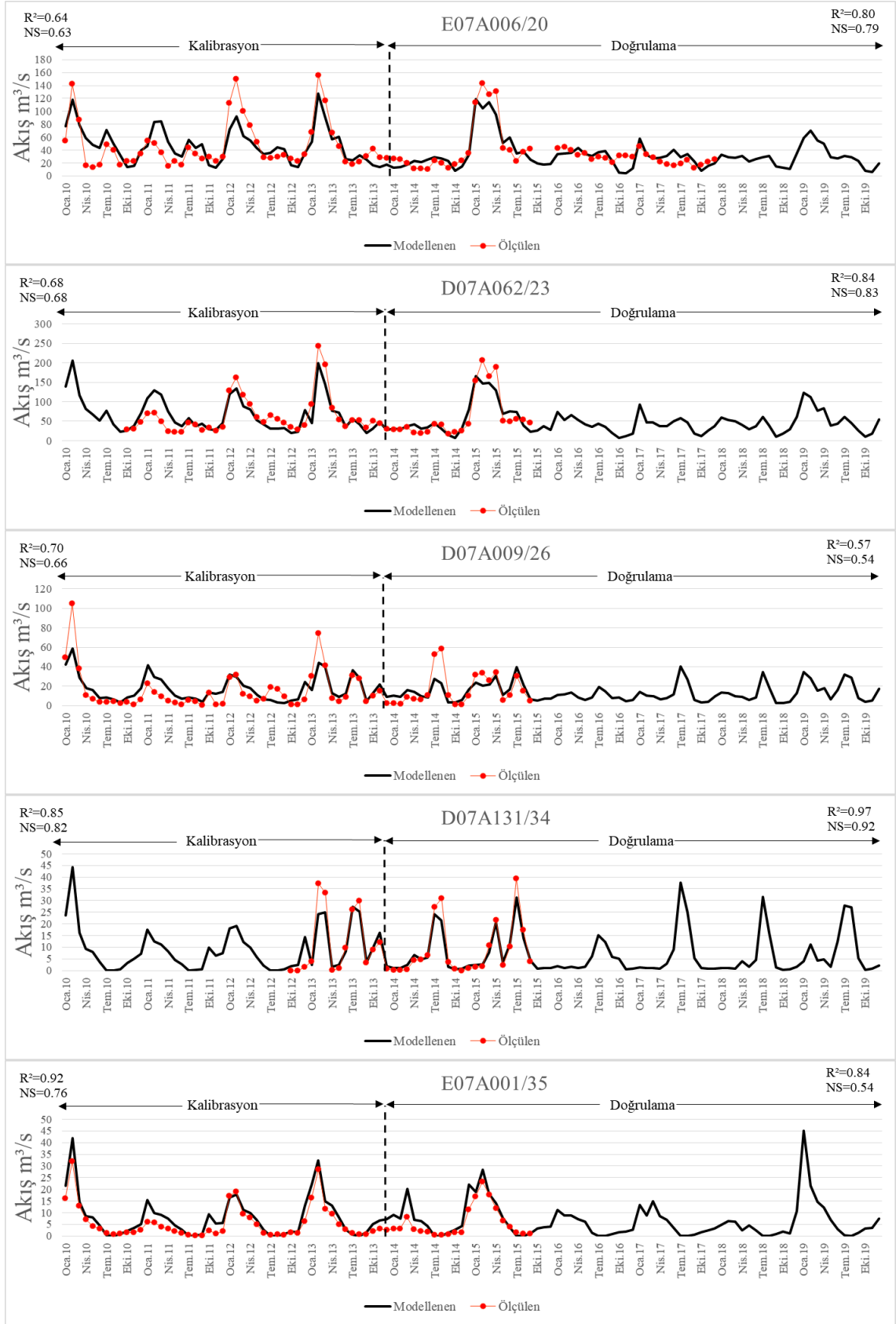
Aylık zaman adımı için model kalibrasyonu ve doğrulama performansı, Moriasi ve ark. (2007) göre Tablo 4.9'de kalın olarak verilmiştir.

Tablo 4.9 Aylık zaman adımı için model kalibrasyonu ve doğrulama performansı

İst. adı/Alt Havza	Output	Kalibrasyon (2010-2013)		Doğrulama (2014-2019)	
		Aylık		Aylık y	
		R^2	NSE	R^2	NSE
E07A006/20	Akış	0,64	0,63	0,80	0,79
D07A062/23		0,68	0,68	0,84	0,83
D07A009/26		0,70	0,66	0,57	0,54
D07A131/34		0,85	0,82	0,97	0,92
E07A001/35		0,92	0,76	0,84	0,54
E07A006/20	Sediment	0,55	0,33	0,75	0,58
D07A062/23		0,75	0,63	0,66	0,10
D07A009/26		0,76	0,67	0,48	0,30
E07A001/35		0,82	0,52	0,81	0,79
D07A062/23	Organik N	0,59	0,26	0,77	0,71
D07A062/23	NO3_N	0,59	0,48	0,68	0,50
D07A062/23	TN	0,61	0,50	0,61	0,55
D07A062/23	TP	0,79	-1,55	0,40	-0,51
33	Hacim	0,55	0,54	0,52	0,57

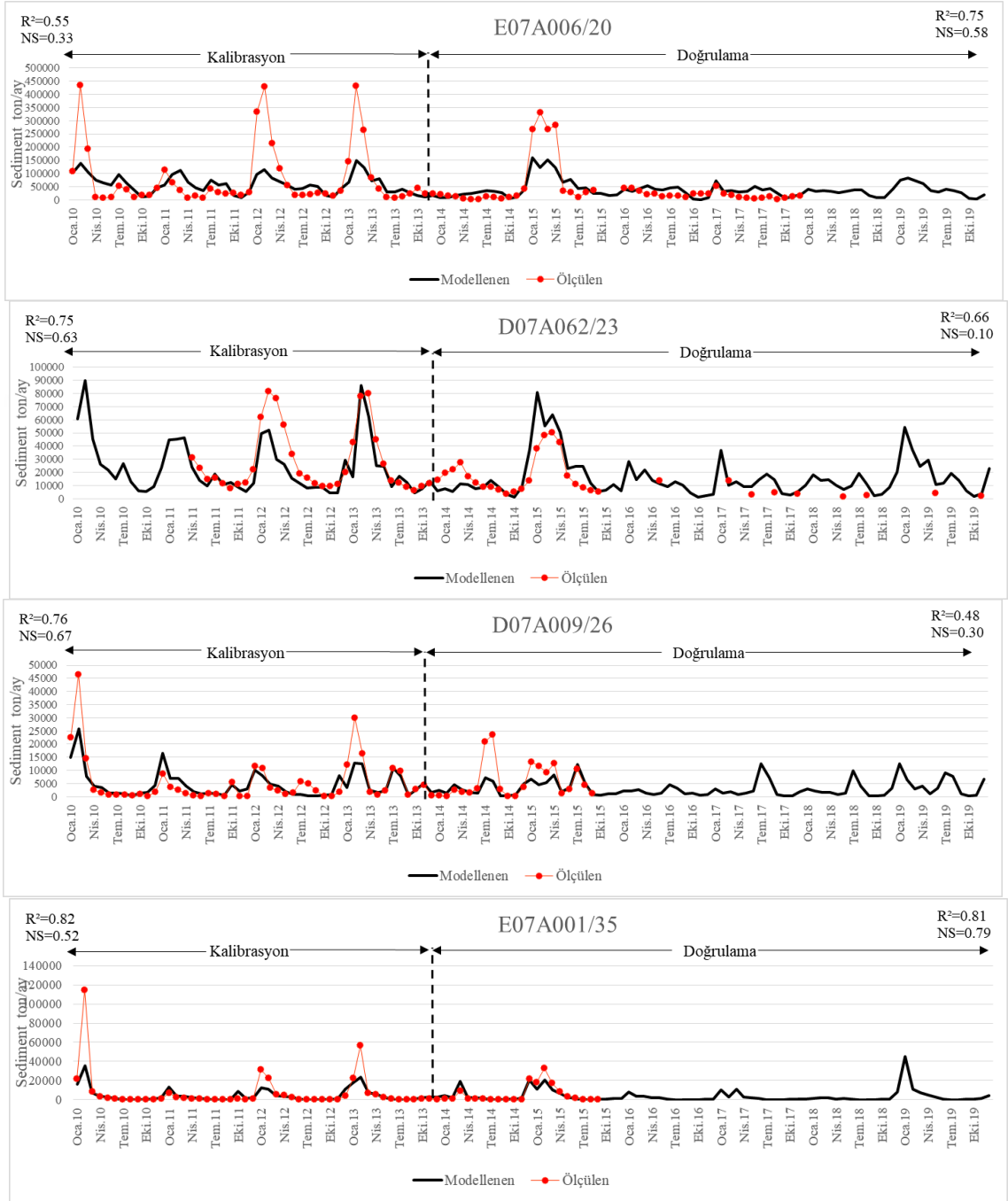
Organik Azot (Organik N), Nitrat Azotu (NO3_N), Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP)

Kalibre edilmiş ve doğrulanmış istasyonlara ait akış grafikleri, Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Grafiklerin başlığı istasyon ismi/modelde bulunduğu alt havza şeklinde verilmiştir. Siyah sürekli çizgi (simulated) modellenen akışı, kırmızı noktalar (observed) o aya ait gerçek ölçümleri temsil etmektedir.



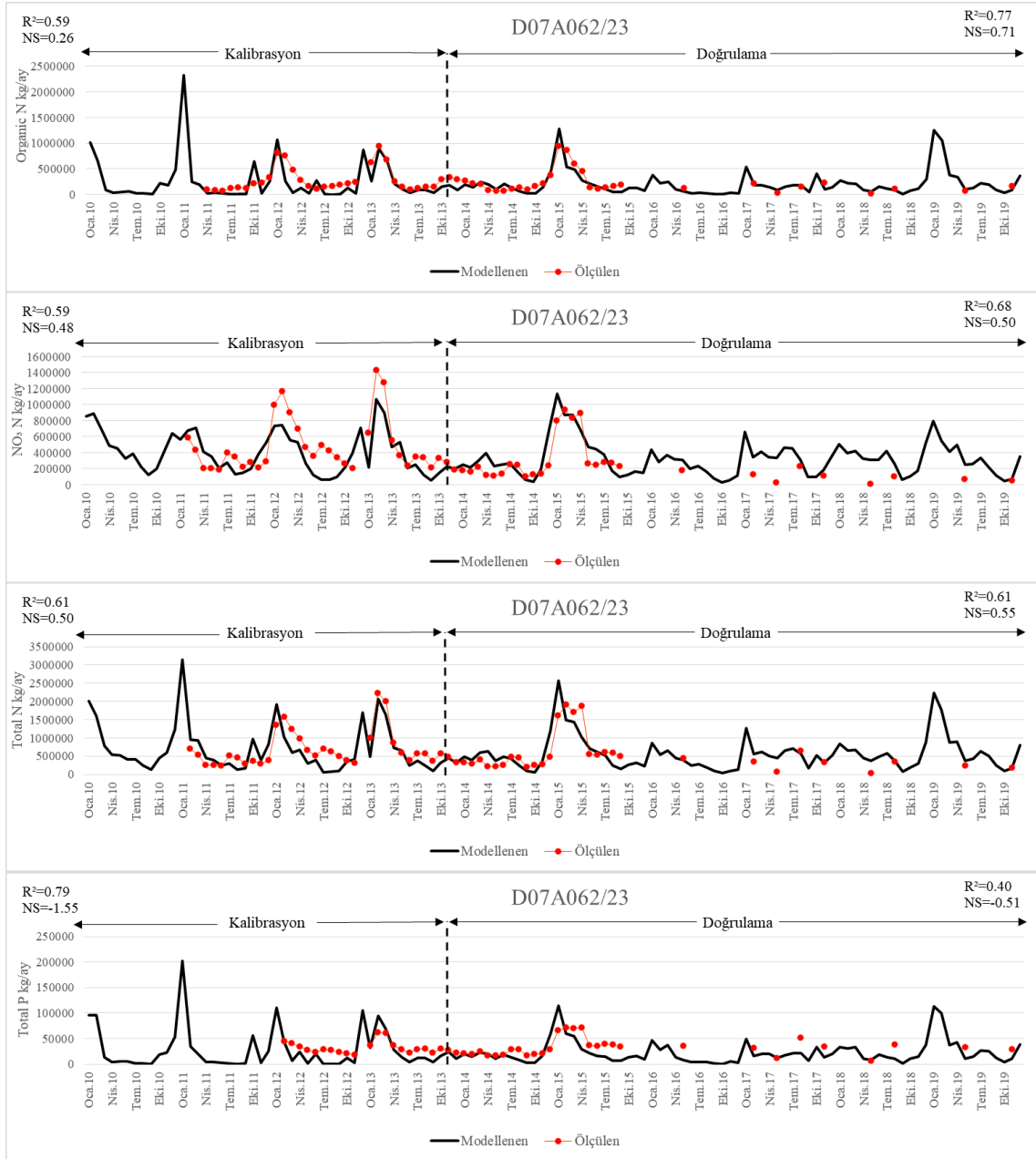
Şekil 4.2 İstasyonlara ait kalibrasyon (2010–2013) ve doğrulama (2014–2019) sürecinde su akış grafiği

İstasyonlara ait kalibre edilmiş ve doğrulanmış sediment yükü grafikleri Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Grafik yapısı akış ile aynı şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 4.3 İstasyonlara ait kalibrasyon (2010–2013) ve doğrulama (2014–2019) sürecinde sediment yükleri grafiği

23. alt havzada bulunan D07A062 nolu istasyon ile kalibre edilmiş ve doğrulanmış organik azot, nitrat azotu, toplam azot ve toplam fosfor grafikleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 D07A62 istasyonuna ait kalibrasyon (2010–2013) ve doğrulama (2014–2019) sürecinde aşağıdan yukarıya sırasıyla organik azot, nitrat azotu, toplam azot ve toplam fosfor yükleri grafiği

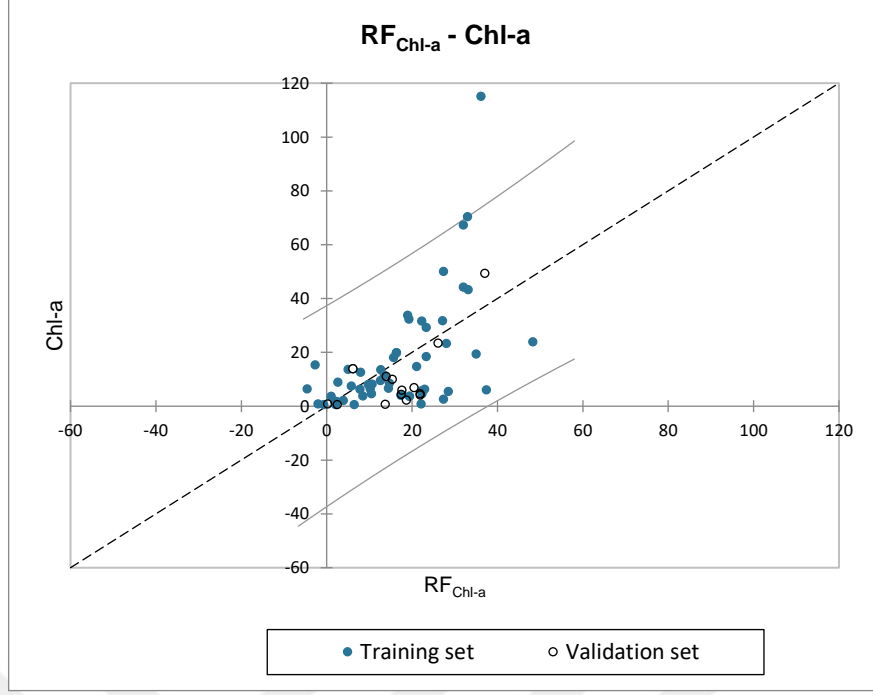
Tablo 4.9’da verilen istasyonlara ait kalibrasyon ve doğrulama değerleri incelendiğinde Moriasi ve ark. (2007) değerlendirme kriterine göre (Tablo 3.12), sonuçlardan R² ya da NSE değerlerinin en az birinden ‘tatmin edici’, ‘iyi’ ya da ‘çok iyi’ sonuç verdiği görülmektedir. Kalibrasyonda kullanılan mevcut verilerin doğası gereği kalibrasyon ve doğrulama için tam olarak eşit istatistiksel özelliklere sahip iki veri seti oluşturulamadığından bazı istasyonlarda kalibrasyon değerleri doğrulama değerlerinden yüksek (ya da aksi) sonuçlar vermiştir. Toplam fosfor değeri “tamin edici” kalibrasyon/doğrulama R² değerine sahipken NSE değeri negatiftir. Şekil 4.4’de toplam

fosfor yükü grafiği incelendiğinde, modelin toplam fosfor değeri eğilimini doğru saptadığı fakat tepe değerlerinin ölçülmüş değerden daha az hesaplandığı görülmüştür. Tatmin etmeyen NSE değerlerinin sebebinin modele girilemeyen noktasal kaynaklı yükler ya da fosfor içerikli gübreler olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada nütrient ve chl-a arasındaki ilişkilere odaklanıldığından modelin bu ilişkiyi tespit edebilme yeteneği yeterli olduğu düşünülmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere BMH-KEP 2010'da verilen bilgilere göre toplam azotun %87,66'sı ve toplam fosforun %84,45 yayılı kaynaklardan gelmektedir. Noktasal kaynaklardan gelen TN için %12,34 ve TP için %15,55 oranların korelasyon sonuçlarını değiştirme potansiyeli bulunmaktadır.

Sonuç olarak BMN havzası hidrolojik modeli, kalibrasyon ve doğrulama performansları göz önüne alındığında, çalışmanın amaç ve hedeflerine uygundur ve kalibrasyon işlemi sonucunda kalibre edilmiş alt havza (output.sub), nehir (output.rch) ve rezervuar (output.rsv) SWAT çıktıları başarı ile elde edilmiştir.

4.2. RF Regresyon Modelinin Kalibrasyonu ve Doğrulaması

L8 görüntülerinden Chl-a nicelleştirmesi yapmak amacıyla RF_{Chl-a} değerlerinin elde edilmesi için RF ile elde edilen değişkenler Bölüm 3.3.3.'de tanımlanmıştır ve formüle edilmiştir. Bu değişkenler ile RF lineer regresyon modeli oluşturulmuştur. 68 adet veri çiftinin 54 (%80) adedi regresyon modeli oluşturmada (training set) 14 (%20) adedi modeli doğrulamada (validation set) kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bu noktalar rastgele seçilmiştir. Bir adet veri hariç tüm noktalar güven aralığında kalmaktadır.



Şekil 4.5 Tahmin edilen RF_{Chl-a} ve ölçülen Chl-a değerleri regresyon grafiği

Tablo 4.10'da değişkenlere ait katsayılar ve temel hata verileri verilmiştir. %95 güven aralığı sırasıyla BG>kesişim>FAI şeklindedir. BG için $p < 0,01$, Kesişim ve FAI için $p < 0,05$ 'dir. Tüm parametreler tek başına anlamlı olmasa da kesişimleri %95 güven aralığında model anlamlıdır.

Tablo 4.10 Değişkenlere ait katsayılar ve temel istatistik verileri

Değişken	Katsayı	Standart hata	t	Pr > t	Alt (95%)	Üst (95%)
Kesişim	60,139	24,592	2,445	0,018	10,719	109,559
R655	-261,036	587,786	-0,444	0,659	-1442,236	920,164
BG	-65,145	22,846	-2,851	0,006	-111,055	-19,234
R1609	1053,022	754,052	1,396	0,169	-462,302	2568,345
FAI	-1899,530	901,970	-2,106	0,040	-3712,106	-86,953

$$RF_{Chl-a} = 60.139 - 261.036 * R_{rc, 655} - 65.145 * BG + 1053.022 * R_{rc, 1609} - 1899.530 * FAI \quad (4.2)$$

RF linear regresyon modeli sonucunda sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama için KOH 18,10 $\mu\text{g/L}$ ve 14,25 $\mu\text{g/L}$; %KOH %15,80 ve %29,22 elde edilmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11 Regresyon istatistikleri

İstatistik	Kalibrasyon	Doğrulama
Gözlem Sayısı	54	14
R ²	0,33	0,47
KOH	18,10	14,25
%KOH	15,80	29,22

Le ve ark. (2013), MODIS verileri ile yaptıkları çalışmada kalibrasyonda 36,5 %KOH ve doğrulamada iki bağımsız veri seti ile 25,8 ve 41,7 %KOH değerlerini elde etmiştir. Le ve ark. (2013)'a göre iç su kütleleri (haliçler) okyanus sularına nazaran optik olarak daha karmaşıktır ve iç su kütlelerinde 39,6 %KOH değeri kabul edilebilir algoritma performansındadır. Bu kabul değerini Chla'yı açık okyanus sularında %35 mutlak doğrulukla hesaplamaya yönelik SeaWiFS uydu okyanus rengi görev hedefine dayandırmaktadır (Hooker, 1992). Ng ve ark. (2011), MERIS verileri ile chl-a tahmin modelinde 13,2 µg/L KOH elde etmiştir. Ogashawara ve ark. (2014) MODIS verileri ile oluşturdukları chl-a algoritmalarında, kalibrasyonda 32,41 ve doğrulamada 30,4 %KOH değerleri elde etmiştir. Bonansea ve ark. (2015) Landsat verileri ile 0,18-0,30 µg/L KOH ve 7,25-11,93 %KOH elde etmiştir. Curtarelli ve ark. (2015), MODIS verileri ile 30,04 %KOH elde etmiştir ve Bresciani ve ark. (2018), Sentinel ve Landsat görüntüleri ile yaptığı çalışmada 0,43 µg/L KOH elde etmiştir.

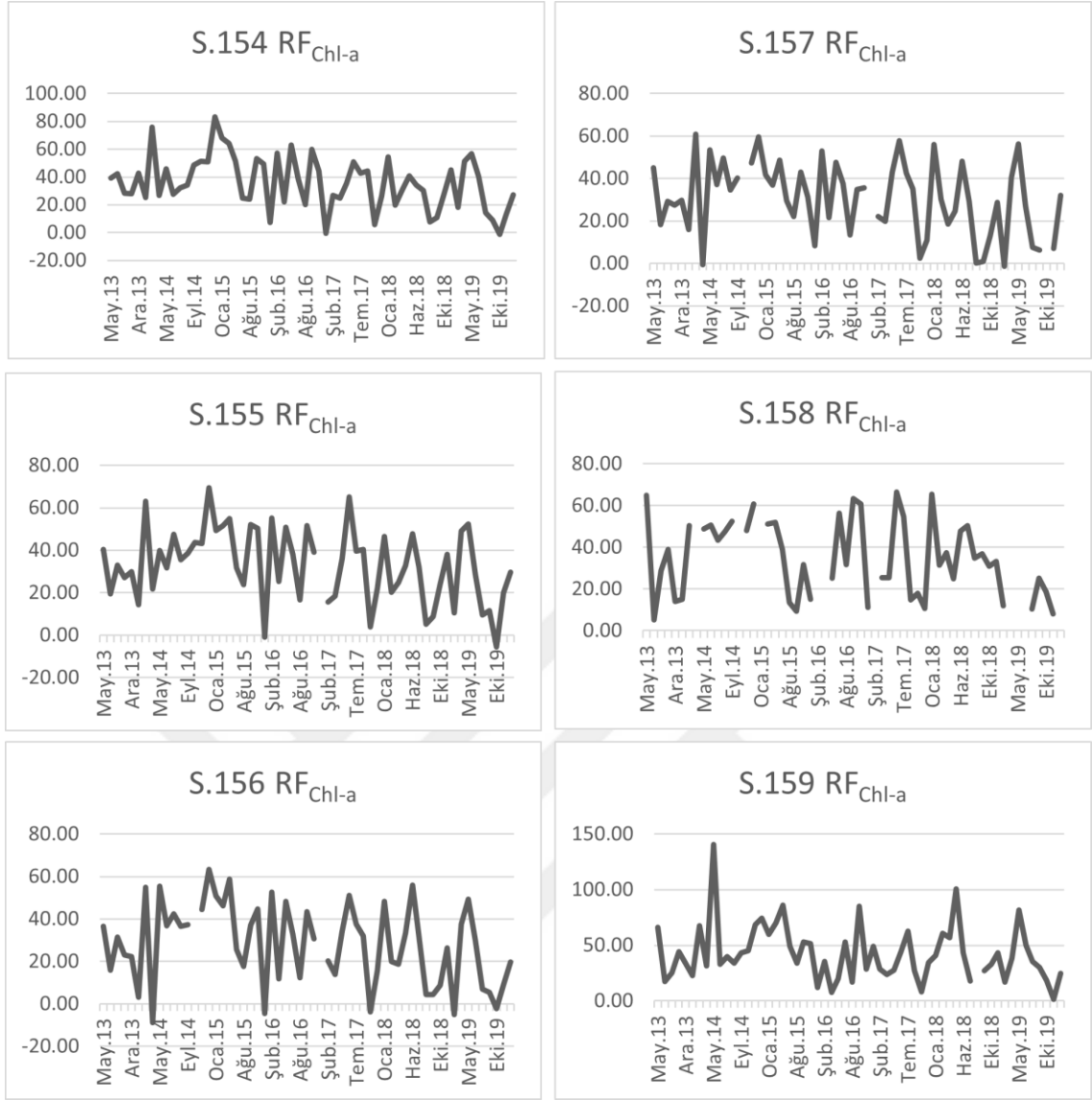
Elde edilen uzaktan algılama chl-a tahmin modeli performans sonuçları, bu çalışmalar ile karşılaştırıldığında/inceleildiğinde, çalışmanın amacı ve zamansal-mekânsal ölçeği de dikkate alındığında, CyanoHAB olaylarının eğilimini saptayabilme konusunda yeterli ve başarılıdır.

4.3. RF_{Chl-a} Zaman Serisi

Chl-a tahmin modeli oluşturulduktan sonra, 2013-2019 yılları arasında nispeten bulutsuz 77 adet (Tablo 4.12) L8 görüntüsüne atmosferik düzeltmeler uygulanmıştır. 154, 155, 156, 157, 158 ve 159 numaralı Bafa Gölü numune alım noktalarına (3. Bölüm Şekil 3.22) karşılık gelen, noktaları merkezleyen, 5x5 boyutlu, bulut etkisi bulunmayan piksellerin ortalama yansıma değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler yardımıyla bahsi geçen noktaların RF_{Chl-a} zaman serileri oluşturulmuştur. Analiz edilen her bir istasyonun zaman serisi Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.12 RF_{Chl-a} zaman serilerinde kullanılan L8 görüntülerinin tarihleri

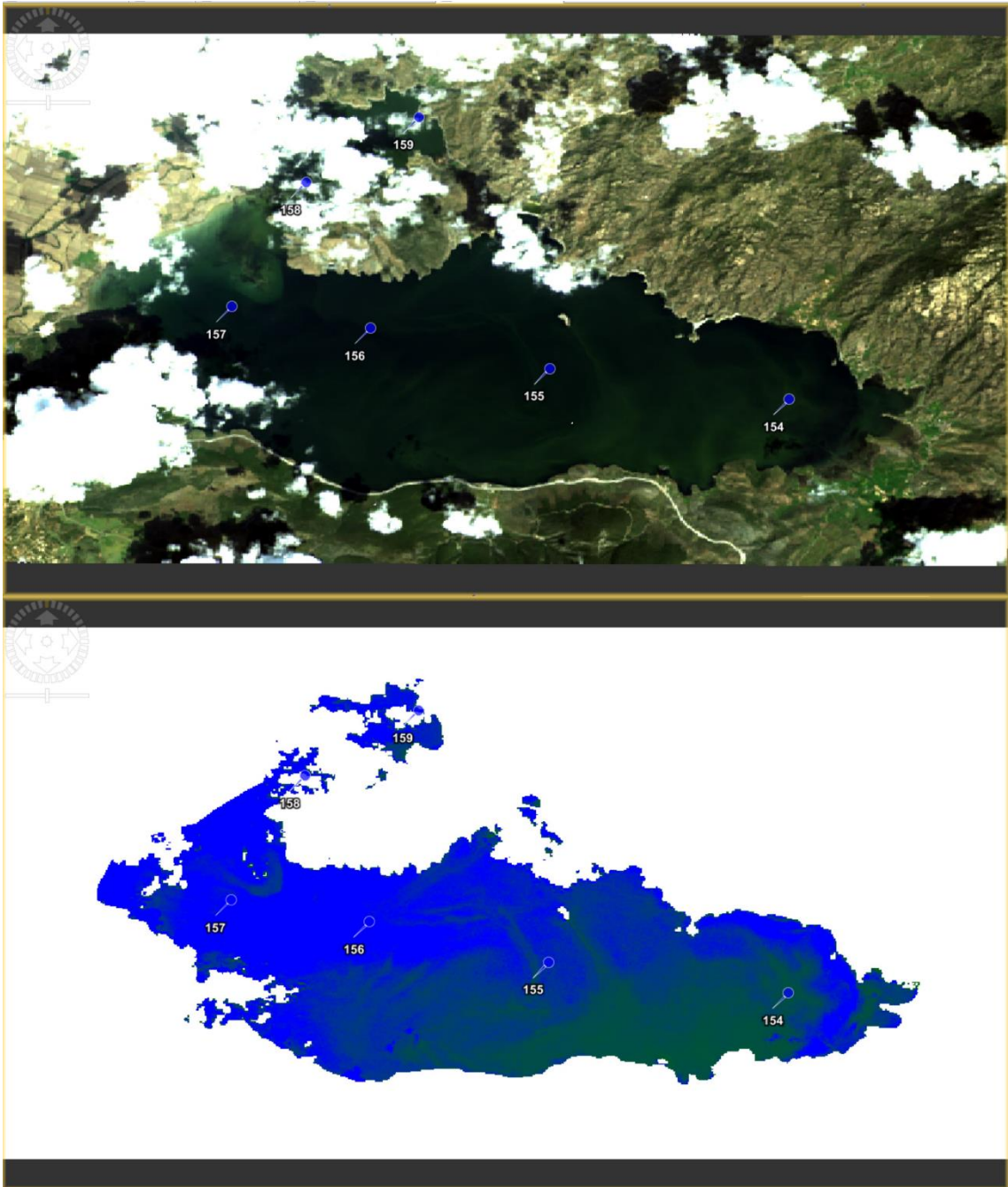
Ay	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1			9/1/2015	28/1/2016		1/1/2018	
2		7/2/2014 23/2/2014		29/2/2016		18/2/2018	5/2/2019 21/2/2019
3		27/3/2014		16/3/2016	3/3/2017		9/3/2019
4		12/4/2014	15/4/2015	1/4/2016 17/4/2016		7/4/2018 23/4/2018	
5		14/5/2014	1/5/2015 17/5/2015			9/5/2018	12/5/2019
6	28/6/2013	15/6/2014	18/6/2015	4/6/2016 20/6/2016	23/06/2017	10/06/2018	29/6/2019
7	14/7/2013 30/7/2013	17/7/2014	4/7/2015 20/7/2015	6/7/2016 22/7/2016	9/7/2017 25/7/2017	12/7/2018 28/7/2018	15/7/2019 31/7/2019
8	31/8/2013		5/8/2015 21/8/2015	7/8/2016 23/8/2016	10/8/2017 26/8/2017	13/8/2018 29/8/2018	16/8/2019
9	16/9/2013		6/9/2015	8/9/2016	11/9/2017 27/9/2017	14/9/2018	1/9/2019 17/9/2019
10				10/10/2016 26/10/2016	13/10/2017	16/10/2018	
11	3/11/2013	6/11/2014 22/11/2014	9/11/2015			1/11/2018	
12	5/12/2013 21/12/2013	24/12/2014	27/12/2015				6/12/2019



Şekil 4.6 RF_{Ch1-a} değerleri zaman serisi

Serilerin yorumlanabilmesi için ilişkili oldukları tarihler için oluşturulan RF_{Ch1-a} dağılım haritalarıyla birlikte değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu değerlendirme işlemi harita doğrulaması olarak isimlendirilecektir. Şekil 4.6'da noktalara ait zaman serilerindeki kesintiler, ilgili çerçevede bulunan bulut, bulut gölgeleri, güneş parlaması ve yüzey üstü su bitkileri gibi etkilerden kaynaklanan sapmaları temsil etmektedir. Bu sapmalar analiz sonuçlarını olumsuz etkileyecek büyüklükte olduğu için zaman serilerinden ayıklanmaları gerekir. Şekil 4.6'da verilen 158 numaralı noktaya ait seride, Nisan 2014 çerçevesi için bir RF_{Ch1-a} değeri hesaplanamadığı görülmektedir. Şekil 4.7'de ilgili hesaplama için kullanılan L8 görüntüsü (üst) ve aynı görüntü için RF modeliyle hesaplanan RF_{Ch1-a} dağılımı haritası (alt) gösterilmektedir. Her iki görüntünün incelenmesi, zaman serisinde yaşanan kesintinin, 158 noktasının bulut etkisi altında

olmasından kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu nokta için RF modeli ile bir RF_{Chl-a} değeri hesaplanamamıştır.

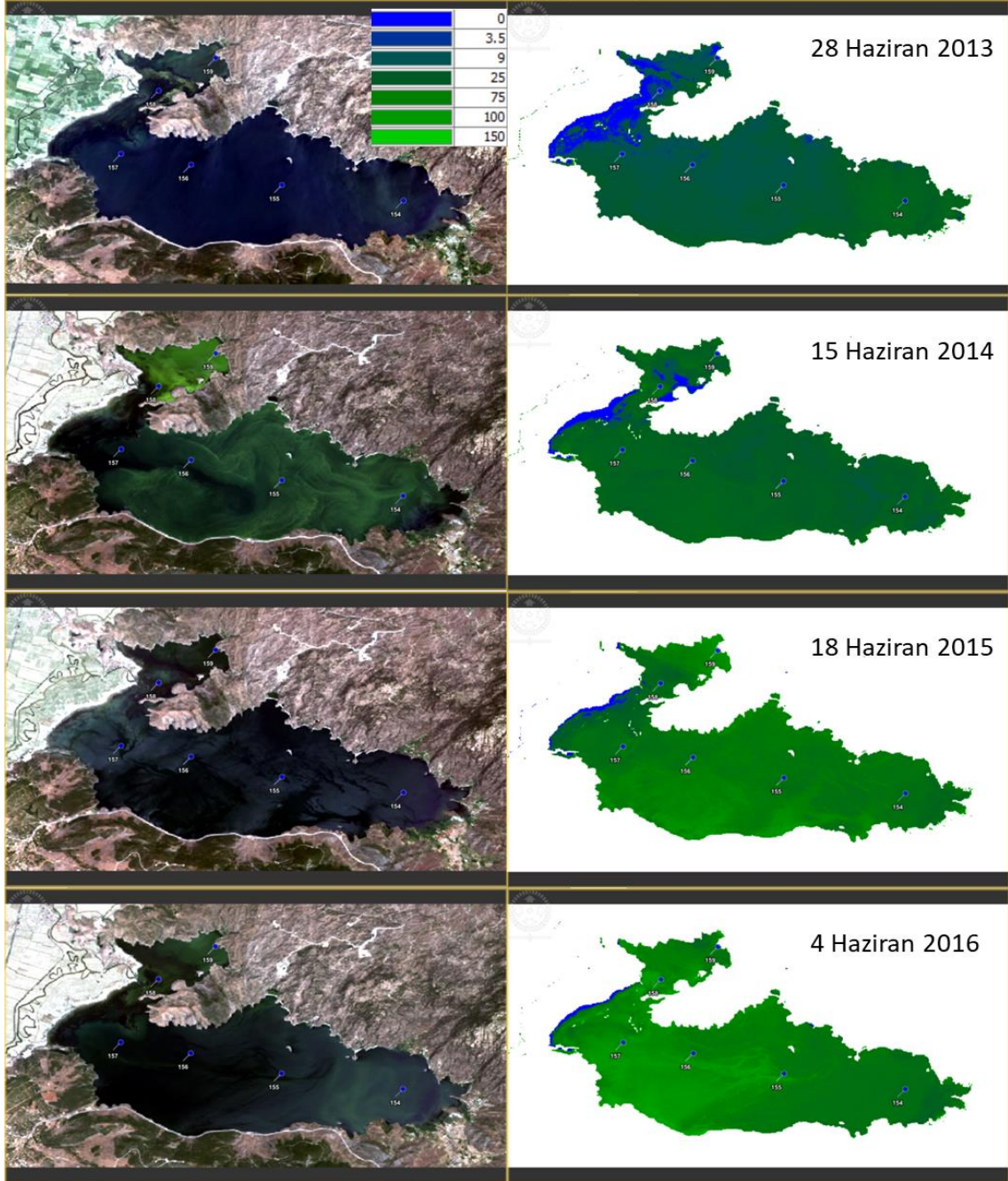


Şekil 4.7 Nisan 2014 tarihli L8 görüntüsü (üst) ve aynı görüntüye ait RF_{Chl-a} dağılımı haritası

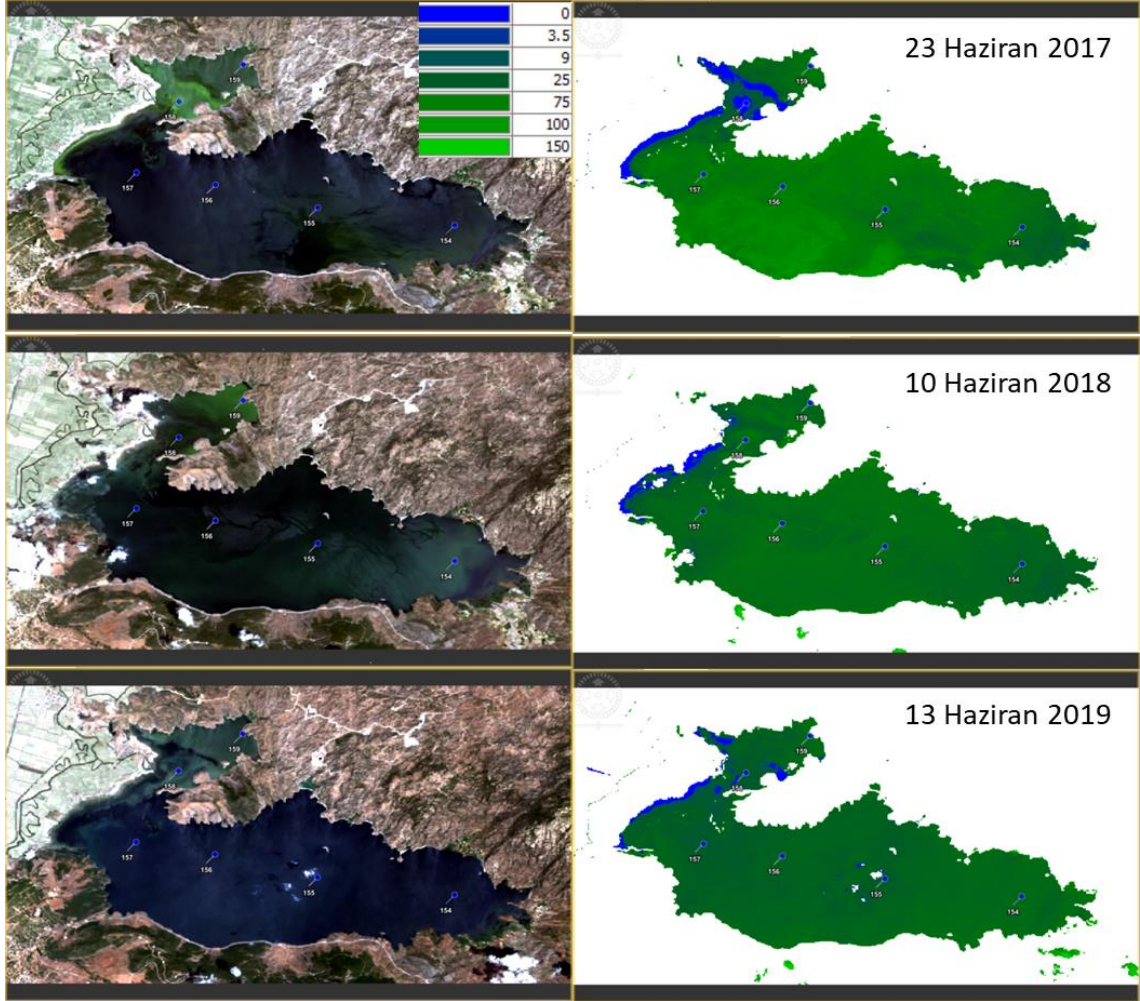
Oluşturulan modelin CyanoHAB desenlerini yansıtıp yansıtmadığının doğrulanması için RF_{Chl-a} dağılım haritaları oluşturulmuştur. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da 2013-2019 yılları arasında her yıl Haziran ayı için RF_{Chl-a} dağılım haritaları verilmiştir. Solda L8'e ait (RGB) görüntüler, sağda verilen RF_{Chl-a} dağılımları ile karşılaştırıldığında RF modelin CyanoHAB izlenmesinde başarılı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte bazı

uydu görüntüleri güneş parlaması (sun glint) etkisindedir ve bu RF_{Chl-a} dağılım haritalarında hataya sebep olmaktadır.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde sığ olan ve BMN'den su takviyesi yapılan Serçin bölgesinin RF_{Chl-a} seviyelerinin yüksek olduğu görülür. Gölün güney doğu kesimi de yine RF_{Chl-a} seviyelerinin yüksek olduğu kesimdir. Bu kesimde tarım alanlarının ve yerleşim alanlarının içinden geçen akarsular göle boşalmaktadır.



Şekil 28 Haziran aylarına ait Bafa Gölü'ne Landsat 8 RGB görüntüsü (sol) ve RF model ile oluşturulmuş Chl-a dağılım haritası (sağ)



Şekil 39 Haziran aylarına ait Bafa Gölü'ne Landsat 8 RGB görüntüsü (sol) ve RF model ile oluşturulmuş Chl-a dağılım haritası (sağ)

4.4. RF_{Chl-a} ve SWAT Çıktıları Korelasyon Analizleri

RF_{Chl-a} değerleri ve SWAT modeli korelasyon işlemlerinde 154, 155, 156, 157, 158 ve 159 noktalarına ait RF_{Chl-a} değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır. Bu değerler ve kalibre edilmiş SWAT değerleri arasında Pearson korelasyon analizi yapılarak, katsayıları (R^2) tablolar halinde verilmiştir. RF_{Chl-a} değerlerinin;

- Bafa Gölü alt havzası (modelde 33 nolu alt havza) ile ilişkisini nicelleştirmek için output.sub dosyası parametreleri,
- Bafa Gölü'nün hacmi ve nütrient konsantrasyonları ile ilişkisini nicelleştirmek için (output.rsv) dosyası parametreleri ve
- Son olarak Bafa Gölü'nü besleyen doğal akarsular (33. alt havza) ve BMN (31. alt havza) ile ilişkisini nicelleştirmek için output.rch dosyası parametreleri,

kullanılmıştır.

Korelasyon analizleri aylık ve çeşitli mevsim/ dönemler baz alınarak yapılmıştır. Dönemsel ayırımında RF_{Chl-a}'nın, tüm aylar (TA) baz alınarak elde edilen korelasyonlara kıyasla, kurak-sıcak (KS) dönem (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos) ve yağışlı-soğuk (YS) dönem (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat) korelasyonlarının daha 'anlamli' olduğu görülmüştür. Tablo 4.13'de kısaltmalarıyla verilen çıktı parametrelerinin açıklamaları, ilgili tabloların altında verilmiştir. Parametrelerin SWAT modeli ile hesaplama yöntemleri ve parametrelere ilişkin detaylı bilgiler¹⁵ yazılımın kullanıcı rehberlerinde ayrıntılı olarak yer almaktadır (Neitsch ve ark., 2011). İstatistiksel olarak anlamlı korelasyonlar (p<0,05) tabloda koyu olarak verilmiştir.

Tablo 4.13 RF_{Chl-a} ve Bafa Gölü alt havzası arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

output.sub (33)	PREC	ET	SW	PERC	SURQ	SYLD	N_ORG	P_ORG
TA	0,19	0,35	-0,03	0,20	0,30	0,31	0,30	0,31
KS RF _{Chl-a}	0,46	0,60	0,59	0,53	0,36	0,28	0,15	
YS	0,70	-0,22	0,24	0,70	0,66	0,62	0,63	0,62

TA: Tüm aylar; **KS:** Kurak-sıcak dönem; **YS:** Yağışlı-soğuk dönem; **PREC:** Precipitation- yağış (mm); **ET:** Evaporation and transpiration- evapotranspirasyon (mm); **SW:** Soil water- toprak nemi (mm); **PERC:** Percolation-sızma (mm); **SURQ:** Surface runoff- yüzey akışı (mm); **SYLD:** Sediment yield- havzadan taşınan sediment (metrik ton/ha); **N_ORG:** Organic N yield- havzadan taşınan organik nitrojen (kg N/ha); **P_ORG:** Organik P yield- havzadan taşınan organik fosfor (kg P/ha)

RF_{Chl-a} ve yağış (PREC) ilişkisi incelendiğinde TA döneminde anlamlı korelasyon bulunmamaktadır (0,19) ancak KS (0,46) ve YS (0,70) dönemlerinde pozitif korelasyon bulunmaktadır. Evapotranspirasyon (ET) ile ilişkisi incelendiğinde TA (0,35) döneminde ve KS (0,60) dönemlerinde pozitif anlamlı korelasyon bulunmaktadır ancak YS (-0,22) döneminde anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır, iki parametrenin ters ilişkili olduğu söylenebilir. RF_{Chl-a} ile toprak nemi (SW) arasında yalnız KS (0,59) dönemde anlamlı pozitif korelasyon bulunmaktadır. RF_{Chl-a} ile sızma (PERC) arasında, yağmur ile ilişkisiyle aynı özellikleri göstermiştir (KS:0,53, YS:0,70). RF_{Chl-a} ile yüzey akışı (SURQ) tüm dönemlerde pozitif anlamlı korelasyona sahiptir (TA: 0,30, KS: 0,36, YS: 0,66). Sediment (SYLD), TA (0,31) ve YS (0,62) dönemlerinde anlamlı pozitif korelasyon göstermiştir. Organik azot (N_ORG) benzer şekilde TA (0,30), YS (0,63) değerleri ile anlamlı korelasyondadır. Organik fosfor (P_ORG) TA (0,31) ve YS (0,62) döneminde pozitif anlamlı korelasyon gösterirken KS döneminde değerler sıfır olduğundan hesaplanmamıştır. Parametreler genel olarak değerlendirildiğinde, KS ve YS dönemlerin

¹⁵ <https://www.swat.tamu.edu/docs>

tüm ayların birlikte değerlendirilmesinden daha anlamlı sonuç verdiği söylenebilmektedir. Ayrıca KS dönemdeki RF_{Chl-a} artışlarının iklim parametrelerine, yağışlı-soğuk dönemdeki RF_{Chl-a} artışlarının yağmura, sediment ve nütrient yüklerine daha duyarlı olduğu söylenebilmektedir.

RF_{Chl-a} değerleri ve Bafa Gölü rezervuarı model çıktıları (Tablo 4.14) arasındaki ilişki incelendiğinde göl hacmi (VOLUME) sadece KS dönemde anlamlı pozitif korelasyon göstermektedir. RF_{Chl-a} değerleri ile buharlaşma (EVAP) arasında negatif anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. Fosfor konsantrasyonu (RES_ORGP) ve amonyak konsantrasyonu (RES_NH3) TA'da RF_{Chl-a} ile anlamlı korelasyon göstermiştir. Nitrat konsantrasyonu (RES_NO3) YS'de negatif anlamlı korelasyon göstermiştir.

Tablo 4.14 RF_{Chl-a} ve Bafa Gölü rezervuarı (33 nolu alt havza) arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

output.rsv (33)	VOLUME	EVAP	RES_ORGN	RES_ORGP	RES_NO3	RES_NH3
TA	0,24	0,05	0,26	0,30	-0,14	0,29
KS	0,55	-0,46	0,08	0,12	-0,08	0,11
YS	-0,04	-0,21	0,40	0,46	-0,55	0,41

TA: Tüm aylar; **KS:** Kurak-sıcak dönem; **YS:** Yağışlı-soğuk dönem; **HACİM:** Rezervuar hacmi (m³); **EVAP:** Buharlaşma (m³); **RES_ORGN:** Nitrojen konsantrasyonu (mg N/L); **RES_ORGP:** Fosfor konsantrasyonu (mg P/L); **RES_NO3:** Nitrat konsantrasyonu (mg N/L); **RES_NH3:** Amonyak konsantrasyonu (mg N/L)

Burada hesaplanan konsantrasyonlar Bafa Gölünün doğal akarsularla taşınan nütrient yükleriyle hesaplanmıştır. SWAT modeli yapısı gereği, daha önce de açıklandığı üzere hidrolik sistemlerle Bafa Gölü'ne BMN'den yapılan su takviyelerini ve bu suyla taşınan nütrient yük miktarlarını hesaplamamaktadır. Bu nedenle konsantrasyon hesaplamaları bu değerlerden yoksundur. Bafa Gölü rezervuarı ve nütrientler arasındaki anlamlı ilişkilerin sayısının azlığı bu faktörlere bağlanabilir.

RF_{Chl-a} 'nın gerek doğal akarsular gerekse BMN ile ilişkisini nicelleştirmek için SWAT "output.rch" dosyasında bulunan nehir parametreleri kullanılmıştır (Tablo 4.15). RF_{Chl-a} Bafa alt havzasında bulunan doğal akarsularla ilişkisi incelendiğinde, KS döneminde akış (FLOW), nitrat (NO3) ve toplam azot (TOT_N) ile pozitif anlamlı korelasyon bulunmaktadır. TA ve YS döneminde organik azot (ORGN), organik fosfor (ORGP), amonyum (NH4), toplam azot (TOT_N) ve toplam fosfor (TOT_P) pozitif korelasyon göstermiştir.

Tablo 4.15 RF_{Chl-a} ile Bafa gölü havzası doğal nehirleri ve BMN arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

Nehir output.rch (33)	FLOW	SED	ORGN	ORGP	NO3	NH4	TOT_N	TOT_P
TA	0,15	0,16	0,30	0,30	0,09	0,30	0,30	0,30
KS	0,44	0,41	0,41	0,41	0,47	0,29	0,47	0,41
YS	RF _{Chl-a}	0,20	0,61	0,61	0,04	0,61	0,61	0,61
Su G.>15	0,10	0,19	0,09	0,13	0,16	0,05	0,10	0,13
Su G.<15	0,15	0,17	0,34	0,34	0,06	0,35	0,34	0,34
BMN output.rch (31)								
TA	0,22	0,27	0,06	0,10	0,38	-0,03	0,20	0,09
KS	0,27	0,24	0,35	0,39	0,48	0,05	0,45	0,23
YS	RF _{Chl-a}	0,36	0,13	0,25	0,43	-0,08	0,22	0,21
Su G.>15	0,42	0,45	0,10	0,10	0,40	0,14	0,28	0,14
Su G.<15	0,17	0,23	0,04	0,08	0,39	-0,08	0,18	0,07

TA: Tüm aylar; **KS:** Kurak-sıcak dönem; **YS:** Yağışlı-soğuk dönem; **Su G.>15:** BMN'den Bafa Gölü'ne su girişinin ayda 15 günden fazla olduğu aylar; **Su G.<15:** BMN'den Bafa Gölü'ne su girişinin ayda 15 günden fazla olduğu aylar; **FLOW:** Ortalama günlük akış (m³/sn) **SED:** Nehirde taşınan sediment miktarı (metrik ton); **ORGN:** Nehirde taşınan organik azot (kg N); **ORGP:** Ay boyunca nehirde taşınan organik fosfor (kg P); **NO3:** Ay boyunca nehirde taşınan nitrat (kg N); **NH4:** Ay boyunca nehirde taşınan amonyum (kg N); **TOT_N:** Ay boyunca nehirde taşınan toplam nitrojen (kg N); **TOT_P:** Ay boyunca nehirde taşınan toplam fosfor (kg P).

BMN ile ilişkisi incelendiğinde. TA, KS ve YS dönemlerinde korelasyon katsayılarının çok düşük olduğu ve nitrat (NO₃) dışında anlamlı korelasyon olmadığı görülmektedir. Bu dönemlerde BMN'den gelen takviye su miktarı tam olarak bilinmediğinden, etkisini incelemek için yeni bir periyot oluşturulmuştur. Aylık BMN'den gelen takviye yapılan gün sayısının 15 günden büyük olması durumu “Su G.>15” küçük olması durumu da “Su G.<15” parametreleri ile değerlendirilmiştir. Su girişinin 15 günden küçük olması durumunda Bafa havza akarsularıyla taşınan organik azot (ORGN), organik fosfor (ORGP), amonyum (NH₄), toplam azot (TOT_N) ve toplam fosfor (TOT_P) yükleri ile pozitif korelasyon göstermiştir. Su girişinin 15 günden büyük olması durumunda BMN akış (FLOW), sediment (SED) ve nitrat (NO₃) arasında anlamlı korelasyon bulunmaktadır. Tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde Bafa Gölü Chl-a miktarı hem bulunduğu alt havzadan hem de BMN'den gelen yüklerden etkilenmektedir. Dönemsel olarak hassas olduğu parametreler değişim göstermektedir. Genel olarak tüm dönemlerde evapotranspirasyon (ET) ve fosforla ilişkili parametrelerden (P_ORGN, RES_ORGP, TOT_P, ORGP) etkilenmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında BMN havzasında yer alan BMN'nin oluşturduğu sığ bir alüvyon set gölü olan Bafa Gölü'nde insanların, vahşi yaşamın ve su sistemlerinin uzun vadeli ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirliği için önemli bir tehdit olan CyanoHAB olaylarının izlenmesi ve sebep olan faktörlerin geniş çaplı araştırılması amaçlanmıştır. Öncelikle Bafa Gölü'nde meydana gelen CyanoHAB olaylarının zamansal ve mekânsal boyutta analizi için uzaktan algılama tekniklerine odaklanılmıştır. CyanoHAB tespiti için önemli bir indikatör olan Chl-a pigmentinin, uygun alıcılara sahip uydularla üretilen görüntüler üzerinde tespiti, uzaktan algılama ile yürütülen süreçte ana motivasyon olmuştur. Çalışmanın diğer bir odak noktası da tespit edilen CyanoHAB olaylarının, bu olayların meydana geldiği su kütlelerini de içine alan havzalar bazında değerlendirilerek, tetikleyici sebeplerini araştırmaktır. BMN havzasında, mekânsal bir veri tabanı oluşturularak hidrolojik modelleme yapılmış ve modelden elde edilen çıktılarla CyanoHAB olayları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Chl-a pigmentinin uzaktan algılanmış görüntülerden tahmini için bir rastgele orman lineer regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu model $0,33 R^2$, $18,10 \mu\text{g/L KOH}$ ve $15,80 \% \text{KOH}$ değerleriyle 54 nokta kullanılarak kalibre edilmiştir. Doğrulama işlemi 14 nokta ile gerçekleştirilmiş ve $0,47 R^2$, $14,25 \mu\text{g/L KOH}$ ve $29,22 \% \text{KOH}$ değerleri elde edilmiştir. Model CyanoHAB olaylarının eğilimini saptayabilme konusunda yeterli ve başarılıdır.

Havza bazında oluşturulan SWAT hidrolojik modeli için, sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama süreçleri için olmak üzere, akış verileri için $R^2 0,64-0,92$, $\text{NSE } 0,63-0,82$, ve $R^2 0,57-0,97$, $\text{NSE } 0,54-0,92$; sediment verileri için, $R^2 0,55-0,82$, $\text{NSE } 0,33-0,67$, ve $R^2 0,66-0,81$, $\text{NSE } 0,10-0,79$; ve nütrient verileri için $R^2 0,59-0,79$, $\text{NSE } -1,55 - 0,50$, ve $R^2 0,40-0,77$, $\text{NSE } -0,51-0,71$ sonuçları elde edilmiştir. Hacim için kalibrasyon periyodunda $R^2 0,55$ $\text{NSE } 0,55$ ve doğrulama periyodunda $R^2 0,52$ $\text{NSE } 0,57$ değerleri elde edilmiştir.

Toplam fosfor değeri dışındaki sonuçlar Moriasi ve ark. (2007) değerlendirme ölçütlerine göre kalibrasyon ya da doğrulamada R^2 ve NSE değerlerinden en az biri için tatmin edici düzeydedir. Bu çalışmada nütrient ve chl-a arasındaki ilişkilere odaklanıldığından modelin bu ilişkiyi tespit edebilme yeteneği yeterli olduğu

düşünülmektedir. Sonuç olarak BMN havzası hidrolojik modeli, kalibrasyon ve doğrulama performansları göz önüne alındığında, çalışmanın amaç ve hedeflerine uygundur ve başarı ile çalışmaktadır.

Uzaktan algılama modeli ve SWAT modelinden elde edilen değerler ile korelasyon analizi yapılmıştır. Sonuçlar Chl-a pigmentini etkileyen faktörlerin dönemsel olduğunu göstermiştir. Yağışlı-soğuk dönemde (Pearson) korelasyon katsayıları sızma (PERC) 0,70, yağış (PREC) 0,70 ve yüzey akışı (SURQ) 0,66 en yüksek korelasyon gösteren anlamlı parametrelerdir. Kurak-sıcak dönemde evapotranspirasyon (ET), toprak nemi (SW) ve hacim (VOLUME) sırasıyla 0,60, 0,59 ve 0,55 değerleri ile en anlamlı korelasyon değerlerine sahiptir. Tüm dönemler beraber değerlendirildiğinde evapotranspirasyon (ET) ve fosforla ilişkili parametreler (P_ORGN, RES_ORGP, TOT_P, ORGP) en yüksek anlamlı korelasyona sahiptir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, Bafa Gölü Chl-a miktarının, hem bulunduğu alt havzadan hem de BMN'den gelen yüklerden etkilendiği ortaya koyulmuştur. Tematik haritalarda, Serçin bölgesinin gölün yüksek RF_{Chl-a} değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu yüksek değerler buharlaşma ve BMN'den gelen sediment/nütrient yüklerin etkilerine işaret etmektedir. Bafa Gölü'nde meydana gelen CyanoHAB olayları hem iklim hem de antropolojik etmenlerin bir araya gelmesiyle açıklanabilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, uzaktan algılanmış Chl-a değerleri ve SWAT modelinin birleştirilmesinin, bir havza ölçeğinde iç su kütlelerinde meydana gelen CyanoHAB'ların zamansal değişkenliğinin itici güçlerini analiz etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur.

5.2 Öneriler

BMN havzası çok sayıda baraj ve sulama yapıları ile hidrolojik olarak yoğun düzenlenmiş bir havzadır. Çalışmada önemli olduğu düşünülen barajlar modellenmiş ve otomatik sulama seçeneği kullanılmıştır. Odak noktası hidrolojik hesaplar olan çalışmalarda bütün barajların modellenmesi ve sulamanın ayrıntılı modellenmesi sonuçları iyileştirecektir. Toprak analizi veri seti olmadığından bu çalışmada küresel ölçekli toprak haritaları kullanılmıştır. BMN Havza'sında toprak analizleri kullanılması modelin performansını iyileştirecektir. Bu çalışmada noktasal kaynaklı kirlilik yükleri modellenmemiştir. Gelecek çalışmalarda noktasal kirlilik yükleri modele dahil edilmelidir. SWAT modeline geleceğe yönelik iklim verileri entegre edilmesi

durumunda, küresel ısınma ile ilişkisi araştırılabilir. Oluşturulan uzaktan algılama modelinin performansı modellemede kullanılan yerinde ölçüm Chl-a veri setinin genişletilmesi ile mümkündür. Bunun için düşük, orta ve yüksek (CyanoHAB olaylarında esnasında) Chl-a değerlerinin veri setine eklenmelidir. Gelecek çalışmalarda, birden çok uydu birlikte kalibre edilerek kesintisi olmayan bir Chl-a zaman serisi elde edilebilir.



6. KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. C. (2007) "User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs", *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland*, 93.
- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. ve Kløve, B. (2015) "A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model", *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
- Alparslan, E., Coskun, H. G. ve Alganci, U. (2009) "Water Quality Determination of Küçükçekmece Lake, Turkey by Using Multispectral Satellite Data", *The Scientific World Journal*, 9, 1215-1229.
- Arnold, J. G. ve Fohrer, N. (2005) "SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling", *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 563-572.
- Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R. ve Haney, E. B. (2011) "Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2009".
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., van Griensven, A. ve van Liew, M. W. (2012) "SWAT: Model use, calibration, and validation", *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Mutiah, R. S. ve Williams, J. R. (1998) "LARGE AREA HYDROLOGIC MODELING AND ASSESSMENT PART I: MODEL DEVELOPMENT", *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Mutiah, R. S. ve Williams2, J. R. (1998) "LARGE AREA HYDROLOGIC MODELING AND ASSESSMENT PART I: MODEL DEVELOPMENT", *JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION*, 34(1), 73-89.
- Backer, L. C., Landsberg, J. H., Miller, M., Keel, K. ve Taylor, T. K. (2013) "Canine Cyanotoxin Poisonings in the United States (1920s-2012): Review of Suspected and Confirmed Cases from Three Data Sources", *Toxins*, 5, 1597-1628.
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F. R., Dekker, A. G., Phinn, S. R. ve Brando, V. E. (2014) "A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans", *Progress in Oceanography*, 123, 123-144.
- Bonansea, M., Rodriguez, M. C., Pinotti, L. ve Ferrero, S. (2015) "Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina)", *Remote Sensing of Environment*, 158, 28-41.
- Boyacioglu, H., Boyacioglu, H., Water, O. G.-E. ve 2005, undefined (2005) "Application of factor analysis in the assessment of surface water quality in Buyuk Menderes River Basin", *researchgate.net*.
- Bresciani, M., Cazzaniga, I., Austoni, M., Sforzi, T., Buzzi, F., Morabito, G. ve Giardino, C. (2018) "Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8", *Hydrobiologia*, 824(1), 197-214.
- Bricaud, A., Babin, M., Morel, A. ve Claustre, H. (1995) "Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C7), 13321-13332.

- Busteed, P. R., Storm, D. E., White, M. J. ve Stoodley, S. H. (2009) "Using SWAT to target critical source sediment and phosphorus areas in the Wister Lake Basin, USA".
- Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı* (2018).
- Carmichael, W. W. (2012) "Health Effects of Toxin-Producing Cyanobacteria: 'The CyanoHABs'", <https://doi.org/10.1080/20018091095087>, 7(5), 1393-1407.
- Chapra, S. C., Boehlert, B., Fant, C., Bierman, V. J., Henderson, J., Mills, D., L Mas, D. M., Rennels, L., Jantarasami, L., Martinich, J., Strzepek, K. M. ve Paerl, H. W. (2017) "Climate Change Impacts on Harmful Algal Blooms in U.S. Freshwaters: A Screening-Level Assessment".
- Clark, J. M., Schaeffer, B. A., Darling, J. A., Urquhart, E. A., Johnston, J. M., Ignatius, A. R., Myer, M. H., Loftin, K. A., Werdell, P. J. ve Stumpf, R. P. (2017) "Satellite monitoring of cyanobacterial harmful algal bloom frequency in recreational waters and drinking water sources", *Ecological Indicators*, 80, 84-95.
- Cuceloglu, G., Abbaspour, K. C. ve Ozturk, I. (2017) "Assessing the Water-Resources Potential of Istanbul by Using a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrological Model", *Water*, 9(10).
- Curtarelli, M. P., Ogashawara, I., Alcântara, E. H. ve Stech, J. L. (2015) "Coupling remote sensing bio-optical and three-dimensional hydrodynamic modeling to study the phytoplankton dynamics in a tropical hydroelectric reservoir", *Remote Sensing of Environment*, 157, 185-198.
- Douglas-Mankin, K. R., Srinivasan, R. ve Arnold, J. G. (2010) "Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications", *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431.
- Dörnhöfer, K. ve Oppelt, N. (2016) "Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances", *Ecological Indicators*, 64, 105-122.
- Duan, H., Feng, L., Ma, R., Zhang, Y. ve Arthur Loiselle, S. (2014) "Variability of particulate organic carbon in inland waters observed from MODIS Aqua imagery", *Environmental Research Letters*, 9(8), 084011.
- Durdu, O. F. (2010) "Effects of climate change on water resources of the Büyük Menderes river basin, western Turkey", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(4), 319-332.
- Ekerin, S. (2007) "Water quality retrievals from high resolution ikonos multispectral imagery: A case study in Istanbul, Turkey", *Water, Air, and Soil Pollution*, 183(1-4), 239-251.
- Erdoğan, S. (2011) "A chemical reaction to a physical impact: Lake Bafa wetland ecosystem (Turkey) case".
- Falkowski, P. G., Katz, M. E., Knoll, A. H., Quigg, A., Raven, J. A., Schofield, O. ve Taylor, F. J. R. (2004) "The evolution of modern eukaryotic phytoplankton", *Science*, 305(5682), 354-360.
- Fang, C., Song, K., Li, L., Wen, Z., Liu, G., Du, J., Shang, Y. ve Zhao, Y. (2018) "Spatial variability and temporal dynamics of HABs in Northeast China", *Ecological Indicators*, 90, 280-294.
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H. ve Arnold, J. G. (2007) "The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions", *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250.
- Gitelson, A. A., Gurlin, D., Moses, W. J. ve Barrow, T. (2009) "A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters", *Environmental Research Letters*, 4(4), 045003.

- Gitelson, A. ve Merzlyak, M. N. (1994) "Spectral Reflectance Changes Associated with Autumn Senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. Leaves. Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation", *Journal of Plant Physiology*, 143(3), 286-292.
- Githui, F., Gitau, W., Mutua, F. ve Bauwens, W. (2009) "Climate change impact on SWAT simulated streamflow in western Kenya", *International Journal of Climatology*, 29(12), 1823-1834.
- Gordon, H. R., Brown, O. B., Evans, R. H., Brown, J. W., Smith, R. C., Baker, K. S. ve Clark, D. K. (1988) "A semianalytic radiance model of ocean color", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 93(D9), 10909-10924.
- Gower, J. F. R. (1980) "Observations of in situ fluorescence of chlorophyll-a in Saanich Inlet", *Boundary-Layer Meteorology* 1980 18:3, 18(3), 235-245.
- Gower, J. F. R., Doerffer, R. ve Borstad, G. A. (1999) "Interpretation of the 685nm peak in water-leaving radiance spectra in terms of fluorescence, absorption and scattering, and its observation by MERIS", *International Journal of Remote Sensing*, 20(9), 1771-1786.
- Han, X., Feng, L., Hu, C. ve Chen, X. (2018) "Wetland changes of China's largest freshwater lake and their linkage with the Three Gorges Dam", *Remote Sensing of Environment*, 204, 799-811.
- Harke, M. J., Steffen, M. M., Gobler, C. J., Otten, T. G., Wilhelm, S. W., Wood, S. A. ve Paerl, H. W. (2016) "A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp.", *Harmful Algae*, 54, 4-20.
- Härmä, P., Vepsäläinen, J., Hannonen, T., Pyhälähti, T., Kämäri, J., Kallio, K., Eloheimo, K. ve Koponen, S. (2001) "Detection of water quality using simulated satellite data and semi-empirical algorithms in Finland", *Science of The Total Environment*, 268(1-3), 107-121.
- Havens, K. E. (2008) "Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems.", *Advances in experimental medicine and biology*, 619, 733-747.
- Hellweger, F. L., Schlosser, P., Lall, U. ve Weissel, J. K. (2004) "Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(3), 437-448.
- Hill, P. R., Kumar, A., Temimi, M. ve Bull, D. R. (2020) "HABNet: Machine Learning, Remote Sensing-Based Detection of Harmful Algal Blooms", *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 13, 3229-3239.
- Hooker, S. B. (1992) "SeaWiFS technical report series: An overview of SeaWiFS and ocean color".
- Hou, X., Feng, L., Duan, H., Chen, X., Sun, D. ve Shi, K. (2017) "Fifteen-year monitoring of the turbidity dynamics in large lakes and reservoirs in the middle and lower basin of the Yangtze River, China", *Remote Sensing of Environment*, 190, 107-121.
- Hu, C. (2009) "A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans", *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118-2129.
- Hu, C., Lee, Z., Ma, R., Yu, K., Li, D. ve Shang, S. (2010) "Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) observations of cyanobacteria blooms in Taihu Lake, China", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C4), 4002.
- Hunter, P. D., Tyler, A. N., Carvalho, L., Codd, G. A. ve Maberly, S. C. (2010) "Hyperspectral remote sensing of cyanobacterial pigments as indicators for cell

- populations and toxins in eutrophic lakes”, *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2705-2718.
- Hunter, P. D., Tyler, A. N., Gilvear, D. J. ve Willby, N. J. (2009) “Using remote sensing to aid the assessment of human health risks from blooms of potentially toxic cyanobacteria”, *Environmental Science and Technology*, 43(7), 2627-2633.
- Immerzeel, W. W., Gaur, A. ve Zwart, S. J. (2008) “Integrating remote sensing and a process-based hydrological model to evaluate water use and productivity in a south Indian catchment”, *Agricultural Water Management*, 95(1), 11-24.
- ISO 10260 (1992) “Water quality measurement of biochemical parameters spectrometric determination of the chlorophyll-a concentration. International Organization for Standardization.”
- Kallio, K., Attila, J., Härmä, P., Koponen, S., Pulliainen, J., Hyytiäinen, U. M. ve Pyhälähti, T. (2008) “Landsat ETM+ Images in the Estimation of Seasonal Lake Water Quality in Boreal River Basins”, *Environmental Management 2008* 42:3, 42(3), 511-522.
- Kannan, N., White, S. M., Worrall, F. ve Whelan, M. J. (2007) “Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000”, *Journal of Hydrology*, 332(3-4), 456-466.
- Kazanci, N., Girgin, S. ve Dügel, M. (2008) “Research on the limnology of Bafa Lake in South-Western Turkey and climate change impacts”, *Review of Hydrobiology*, 2, 207-223.
- Kızılkaya, I. T., Demirel, Z., Kesici, K., Kesici, E. ve Sukatar, A. (2016) “Morphological, Molecular and Toxicological Characterization of *Nodularia spumigena* Mertens in Jungens (1822) from Brackishwater Lake Bafa (Turkey)”, *Sinop Uni J Nat Sci*, 1, 39-52.
- Kittel, C., Nielsen, K., Tøttrup, C. ve Bauer-Gottwein, P. (2018) “Informing a hydrological model of the Ogooué with multi-mission remote sensing data”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1453-1472.
- Koç, C. (2008) “The effects of the environment and ecology projects on lake management and water quality”, *Environ Monit Assess*, 146, 397-409.
- Koçak, F., Aydın-Önen, S., Açık, Ş. ve Küçüksezgin, F. (2017) “Seasonal and spatial changes in water and sediment quality variables in Bafa Lake”, *Environmental Earth Sciences*, 76(617).
- Koker, L., Akcaalan, R., Oguz, A., Gaygusuz, O., Gurevin, C., Akat Kose, C., Gucver, S., Karaaslan, Y., Erturk, A. ve Albay, M. (2017) “Distribution of toxic cyanobacteria and cyanotoxins in Turkish waterbodies”, *Journal of environmental protection and ecology*, 18(2), 425-432.
- Kosten, S., Huszar, V. L. M., Bécares, E., Costa, L. S., van Donk, E., Hansson, L. A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeo, N., de Meester, L., Moss, B., Lürling, M., Nöges, T., Romo, S. ve Scheffer, M. (2012) “Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes”, *Global Change Biology*, 18(1), 118-126.
- Kutser, T. (2004) “Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing”, *Limnology and Oceanography*, 49(6), 2179-2189.
- Kutser, T., Pierson, D. C., Kallio, K. Y., Reinart, A. ve Sobek, S. (2005) “Mapping lake CDOM by satellite remote sensing”, *Remote Sensing of Environment*, 94(4), 535-540.
- Lathrop, J. R. (1992) “Landsat Thematic Mapper monitoring of turbid inland water quality”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing:(United States)*, 58.

- Le, C., Hu, C., English, D., Cannizzaro, J., Chen, Z., Feng, L., Boler, R. ve Kovach, C. (2013) "Towards a long-term chlorophyll-a data record in a turbid estuary using MODIS observations", *Progress in Oceanography*, 109, 90-103.
- Li, Y., Zhang, Yunlin, Shi, K., Zhou, Y., Zhang, Yibo, Liu, X. ve Guo, Y. (2018) "Spatiotemporal dynamics of chlorophyll-a in a large reservoir as derived from Landsat 8 OLI data: understanding its driving and restrictive factors", *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1359-1374.
- Liaw, A. ve Wiener, M. (2002) "Classification and Regression by randomForest", 2(3).
- Lillesand, T. M., Johnson, W. L., Deuell, R. L., Lindstrom, O. M. ve Meisner, D. E. (1983) "Use of Landsat Data to Predict the Trophic State of Minnesota Lakes*", 49(2), 219-229.
- Liu, X., Steele, C., Simis, S., Warren, M., Tyler, A., Spyrakos, E., Selmes, N. ve Hunter, P. (2021) "Retrieval of Chlorophyll-a concentration and associated product uncertainty in optically diverse lakes and reservoirs", *Remote Sensing of Environment*, 267, 112710.
- Lymburner, L., Botha, E., Hestir, E., Anstee, J., Sagar, S., Dekker, A. ve Malthus, T. (2016) "Landsat 8: Providing continuity and increased precision for measuring multi-decadal time series of total suspended matter", *Remote Sensing of Environment*, 185, 108-118.
- Magnin, G. ve Yazar, M. (1997) "Important bird areas in Turkey".
- Maniyar, C. B., Kumar, A. ve Mishra, D. R. (2022) "Continuous and Synoptic Assessment of Indian Inland Waters for Harmful Algae Blooms", *Harmful Algae*, 111, 102160.
- Matthews, M. W. (2011) "A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters", <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.512947>, 32(21), 6855-6899.
- Matthews, M. W., Bernard, S. ve Robertson, L. (2012) "An algorithm for detecting trophic status (chlorophyll-a), cyanobacterial-dominance, surface scums and floating vegetation in inland and coastal waters", *Remote Sensing of Environment*, 124, 637-652.
- Matthews, M. W. ve Odermatt, D. (2014) "Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters".
- Merel, S., Walker, D., Chicana, R., Snyder, S., Baurès, E. ve Thomas, O. (2013) "State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins", *Environment International*, 59, 303-327.
- Mishra, D. R., Kumar, A., Ramaswamy, L., Boddula, V. K., Das, M. C., Page, B. P. ve Weber, S. J. (2020) "CyanoTRACKER: A cloud-based integrated multi-platform architecture for global observation of cyanobacterial harmful algal blooms", *Harmful Algae*, 96, 101828.
- Mishra, S., Mishra, D. R., Lee, Z. ve Tucker, C. S. (2013) "Quantifying cyanobacterial phycocyanin concentration in turbid productive waters: A quasi-analytical approach", *Remote Sensing of Environment*, 133, 141-151.
- Morel, A. (1988) "Optical modeling of the upper ocean in relation to its biogenous matter content (case I waters)", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C9), 10749-10768.
- Morel, A. ve Andre, J. M. (1991) "Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean as derived and modeled from coastal zone color scanner observations", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C7), 12685-12698.
- Morel, A. ve Prieur, L. (1977) "Analysis of variations in ocean color 1", *Limnology and oceanography*, 22(4), 709-722.

- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. ve Veith, T. L. (2007) "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Müllenhoff, M., Handl, M., Knipping, M. ve Brückner, H. (2004) *The evolution of Lake Bafa (Western Turkey)-Sedimentological, microfaunal and palynological results.*
- Narasimhan, B., Allen, P. M., Coffman, S. v., Arnold, J. G. ve Srinivasan, R. (2017) "Development and Testing of a Physically Based Model of Streambank Erosion for Coupling with a Basin-Scale Hydrologic Model SWAT", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(2), 344-364.
- Nas, B., Ekercin, S., Karabörk, H., Berktaş, A. ve Mulla, D. J. (2010) "An application of landsat-5TM image data for water quality mapping in Lake Beyşehir, Turkey", *Water, Air, and Soil Pollution*, 212(1-4), 183-197.
- Nechad, B., Ruddick, K. G. ve Park, Y. (2010) "Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters", *Remote Sensing of Environment*, 114(4), 854-866.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. ve Williams, J. R. (2011) "Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009".
- Neville, R. A. ve Gower, J. F. R. (1977) "Passive remote sensing of phytoplankton via chlorophyll α fluorescence", *Journal of Geophysical Research*, 82(24), 3487-3493.
- Ng, S. M. Y., Antenucci, J. P., Hipsey, M. R., Tibor, G. ve Zohary, T. (2011) "Physical controls on the spatial evolution of a dinoflagellate bloom in a large lake", *Limnology and Oceanography*, 56(6), 2265-2281.
- Ogashawara, I., Alcântara, E. H., Curtarelli, M. P., Adami, M., Nascimento, R. F. F., Souza, A. F., Stech, J. L. ve Kampel, M. (2014) "Performance Analysis of MODIS 500-m Spatial Resolution Products for Estimating Chlorophyll-a Concentrations in Oligo- to Meso-Trophic Waters Case Study: Itumbiara Reservoir, Brazil", *Remote Sensing 2014, Vol. 6, Pages 1634-1653*, 6(2), 1634-1653.
- Olmanson, L. G., Brezonik, P. L. ve Bauer, M. E. (2014) "Geospatial and Temporal Analysis of a 20-Year Record of Landsat-Based Water Clarity in Minnesota's 10,000 Lakes", *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 748-761.
- Oyama, Y., Fukushima, T., Matsushita, B., Matsuzaki, H., Kamiya, K. ve Kobinata, H. (2015) "Monitoring levels of cyanobacterial blooms using the visual cyanobacteria index (VCI) and floating algae index (FAI)", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 335-348.
- Öström, B. (1975) "Fertilization of the Baltic by nitrogen fixation in the Blue-Green Alga *Nodularia spumigena*", *Remote Sensing of Environment*, 4(C), 305-310.
- Paerl, H. W., Gardner, W. S., Havens, K. E., Joyner, A. R., McCarthy, M. J., Newell, S. E., Qin, B. ve Scott, J. T. (2016) "Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients", *Harmful Algae*, 54, 213-222.
- Paerl, H. W., Hall, N. S. ve Calandrino, E. S. (2011) "Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change", *Science of the Total Environment*, 409, 1739-1745.
- Paerl, H. W. ve Paul, V. J. (2012) "Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria", *Water Research*, 46(5), 1349-1363.
- Page, B. P., Kumar, A. ve Mishra, D. R. (2018) "A novel cross-satellite based assessment of the spatio-temporal development of a cyanobacterial harmful algal bloom", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 66, 69-81.

- Park, Y. S., Engel, B. A., Frankenberger, J. ve Hwang, H. (2015) "A web-based tool to estimate pollutant loading using LOADEST", *Water (Switzerland)*, 7(9), 4858-4868.
- Pattiaratchi, C., Lavery, P., Wyllie, A. ve Hick, P. (1993) "Estimates of water quality in coastal waters using multi-date Landsat Thematic Mapper data", <http://dx.doi.org/10.1080/01431169408954192>, 15(8), 1571-1584.
- Peker, İ. B. ve Cüceloğlu, G. (2022) "SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Modeline Genel Bir Bakış ve Modelin Türkiye'deki Uygulamaları", *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 1(1), 9-26.
- Peterson, K. T., Sagan, V. ve Sloan, J. J. (2020) "GIScience & Remote Sensing Deep learning-based water quality estimation and anomaly detection using Landsat-8/Sentinel-2 virtual constellation and cloud computing Deep learning-based water quality estimation and anomaly detection using Landsat-8/Sentinel-2 virtual constellation and cloud computing".
- Qin, B., Li, W., Zhu, G., Zhang, Y., Wu, T. ve Gao, G. (2015) "Cyanobacterial bloom management through integrated monitoring and forecasting in large shallow eutrophic Lake Taihu (China)", *Journal of Hazardous Materials*, 287, 356-363.
- Qin, B. Q., Gao, G., Zhu, G. W., Zhang, Y. L., Song, Y. Z., Tang, X. M., Xu, H. ve Deng, J. M. (2012) "Lake eutrophication and its ecosystem response", *Chinese Science Bulletin* 2012 58:9, 58(9), 961-970.
- Ruiz-Verdú, A., Simis, S. G. H., de Hoyos, C., Gons, H. J. ve Peña-Martínez, R. (2008) "An evaluation of algorithms for the remote sensing of cyanobacterial biomass".
- Saade, J., Atieh, M., Ghanimeh, S. ve Golmohammadi, G. (2021) "Modeling Impact of Climate Change on Surface Water Availability Using SWAT Model in a Semi-Arid Basin: Case of El Kalb River, Lebanon", *Hydrology* 2021, Vol. 8, Page 134, 8(3), 134.
- Sahoo, K., Milewski, A. M., Mani, S., Hoghooghi, N. ve Panda, S. S. (2019) "Assessment of Miscanthus Yield Potential from Strip-Mined Lands (SML) and Its Impacts on Stream Water Quality", *Water*, 11(546).
- Saleh, A., Arnold, J. G., Gassman, P. W., Hauck, L. M., Rosenthal, W. D., Williams, J. R. ve McFarland, A. M. S. (2000) "APPLICATION OF SWAT FOR THE UPPER NORTH BOSQUE RIVER WATERSHED", *Transactions of the ASAE*, 43(5), 1077-1087.
- Sass, G. Z., Creed, I. F., Bayley, S. E. ve Devito, K. J. (2008) "Interannual variability in trophic status of shallow lakes on the Boreal Plain: Is there a climate signal?", *Water Resources Research*, 44(8), 8443.
- Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill, C. M., Warnock, R. E. ve Lewis, M. R. (1989) "Remote sensing of oceanic primary production: computations using a spectral model", *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(3), 431-453.
- Scarpace, F. L., Fisher, L. T., Holmquist, K. W., Fisher, L. T. ve Holmquist, K. W. (1979) "Landsat analysis of lake quality", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45.
- Schuol, J. ve Abbaspour, K. C. (2006) "Calibration and uncertainty issues of a hydrological model (SWAT) applied to West Africa", *Advances in Geosciences*, 9, 137-143.
- Shi, K., Zhang, Y., Li, Y., Li, L., Lv, H. ve Liu, X. (2015) "Remote estimation of cyanobacteria-dominance in inland waters", *Water Research*, 68, 217-226.

- Shi, K., Zhang, Y., Qin, B. ve Zhou, B. (2019) “Remote sensing of cyanobacterial blooms in inland waters: present knowledge and future challenges”, *Science Bulletin*, 64(20), 1540-1556.
- Shi, K., Zhang, Y., Zhou, Y., Liu, X., Zhu, G., Qin, B. ve Gao, G. (2017) “Long-term MODIS observations of cyanobacterial dynamics in Lake Taihu: Responses to nutrient enrichment and meteorological factors”, *Scientific Reports 2017 7:1*, 7(1), 1-16.
- Shi, K., Zhang, Y., Zhu, G., Liu, X., Zhou, Y., Xu, H., Qin, B., Liu, G. ve Li, Y. (2015) “Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data”, *Remote Sensing of Environment*, 164, 43-56.
- Silvestro, F., Gabellani, S., Rudari, R., Delogu, F., Laiolo, P. ve Boni, G. (2015) “Uncertainty reduction and parameter estimation of a distributed hydrological model with ground and remote-sensing data”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(4), 1727-1751.
- Song, K., Li, Lin, Li, S., Tedesco, L., Hall, B. ve Li, Linhai (2011) “Hyperspectral Remote Sensing of Total Phosphorus (TP) in Three Central Indiana Water Supply Reservoirs”, *Water, Air, & Soil Pollution 2011 223:4*, 223(4), 1481-1502.
- Sun, D., Qiu, Z., Li, Y., Shi, K. ve Gong, S. (2014) “Detection of Total Phosphorus Concentrations of Turbid Inland Waters Using a Remote Sensing Method”, *Water, Air, & Soil Pollution 2014 225:5*, 225(5), 1-17.
- Sun, D., Shi, K., Hu, C. ve Qiu, Z. (2015) “Estimating phycocyanin pigment concentration in productive inland waters using Landsat measurements: A case study in Lake Dianchi”, *Optics Express, Vol. 23, Issue 3, pp. 3055-3074*, 23(3), 3055-3074.
- SWAT (2022) *SWAT / Soil & Water Assessment Tool*. <https://swat.tamu.edu/> (Erişim: 09 Aralık 2022).
- Tebbs, E. J., Remedios, J. J. ve Harper, D. M. (2013) “Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of cyanobacterial biomass in Lake Bogoria, a hypertrophic, saline–alkaline, flamingo lake, using Landsat ETM +”, *Remote Sensing of Environment*, 135, 92-106.
- Topp, S. N., Pavelsky, T. M., Jensen, D., Simard, M. ve Ross, M. R. V. (2020) “Research trends in the use of remote sensing for inland water quality science: Moving towards multidisciplinary applications”, *Water (Switzerland)*, 12(1).
- Tuppad, P., Douglas-Mankin, K. R., Lee, T., Srinivasan, R. ve Arnold, J. G. (2011) “Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Hydrologic/Water Quality Model: Extended Capability and Wider Adoption”, *Transactions of the ASABE*, 54(5), 1677-1684.
- UNEP/MAAP (2022). <https://www.unep.org/unepmap/> (Erişim: 08 Aralık 2022).
- Vanhellemont, Q. ve Ruddick, K. (2014) “Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8”, *Remote Sensing of Environment*, 145, 105-115.
- Vanhellemont, Q. ve Ruddick, K. (2021) “Atmospheric correction of Sentinel-3/OLCI data for mapping of suspended particulate matter and chlorophyll-a concentration in Belgian turbid coastal waters”, *Remote Sensing of Environment*, 256, 112284.
- Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., Morcrette, J. J. ve Kotchenova, S. Y. (2006) “Second simulation of a satellite signal in the solar spectrum-vector (6SV)”, *6S User Guide Version*, 3(2), 1-55.
- Wang, M., Nim, C. J., Son, S. H. ve Shi, W. (2012) “Characterization of turbidity in Florida’s Lake Okeechobee and Caloosahatchee and St. Lucie Estuaries using MODIS-Aqua measurements”, *Water Research*, 46(16), 5410-5422.

- Wang, S., Li, J., Zhang, B., Spyarakos, E., Tyler, A. N., Shen, Q., Zhang, F., Kuster, T., Lehmann, M. K., Wu, Y. ve Peng, D. (2018) “Trophic state assessment of global inland waters using a MODIS-derived Forel-Ule index”, *Remote Sensing of Environment*, 217, 444-460.
- Warren, M. A., Simis, S. G. H. ve Selmes, N. (2021) “Complementary water quality observations from high and medium resolution Sentinel sensors by aligning chlorophyll-a and turbidity algorithms”, *Remote Sensing of Environment*, 265, 112651.
- Weber, S. J., Mishra, D. R., Wilde, S. B. ve Kramer, E. (2020) “Risks for cyanobacterial harmful algal blooms due to land management and climate interactions”, *Science of The Total Environment*, 703, 134608.
- Wen, Z., Song, K., Liu, G., Shang, Y., Fang, C., Du, J. ve Lyu, L. (2019) “Quantifying the trophic status of lakes using total light absorption of optically active components”, *Environmental Pollution*, 245, 684-693.
- Wrigley, R. C. ve Horne, A. J. (1974) “Remote sensing and lake eutrophication”, *Nature* 1974 250:5463, 250(5463), 213-214.
- Wu, G., de Leeuw, J., Skidmore, A., Prins, H. ve Liu, Y. (2008) “Comparison of MODIS and Landsat TM5 images for mapping tempo-spatial dynamics of Secchi disk depths in Poyang Lake National Nature Reserve, China”, <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701422254>, 29(8), 2183-2198.
- Wynne, T. T., Stumpf, R. P., Tomlinson, M. C. ve Dyble, J. (2010) “Characterizing a cyanobacterial bloom in western Lake Erie using satellite imagery and meteorological data”, *Limnology and Oceanography*, 55(5), 2025-2036.
- Zhang, L., Jin, X., He, C., Zhang, B., Zhang, X., Li, J., Zhao, C., Tian, J. ve DeMarchi, C. (2016) “Comparison of SWAT and DLBRM for hydrological modeling of a mountainous watershed in arid northwest China”, *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(5), 04016007.
- Zhang, Y., Jeppesen, E., Liu, X., Qin, B., Shi, K., Zhou, Y., Thomaz, S. M. ve Deng, J. (2017) “Global loss of aquatic vegetation in lakes”, *Earth-Science Reviews*, 173, 259-265.
- Zhu, M., Paerl, H. W., Zhu, G., Wu, T., Li, W., Shi, K., Zhao, L., Zhang, Y., Qin, B. ve Caruso, A. M. (2014) “The role of tropical cyclones in stimulating cyanobacterial (*Microcystis* spp.) blooms in hypertrophic Lake Taihu, China”, *Harmful Algae*, 39, 310-321.
- Zolfaghari, K., Pahlevan, N., Binding, C., Gurlin, D., Simis, S. G. H., Verdu, A. R., Li, L., Crawford, C. J., Vanderwoude, A., Errera, R., Zastepa, A. ve Duguay, C. R. (2022) “Impact of Spectral Resolution on Quantifying Cyanobacteria in Lakes and Reservoirs: A Machine-Learning Assessment”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60.