

Uydu Verisi ve CBS ile Van Gölü Klorofil-a Dinamiklerinin İzlenmesi

Ufuk Tari¹ , Nazlı Olğun Kıyak² 

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Makale Tariçesi

Gönderim: 20 Haziran 2023

Kabul: 29 Kasım 2023

Yayın: 15 Mart 2024

Araştırma Makalesi

Öz – Dünyanın en büyük alkali gölü olan Van Gölü, fitoplankton (mikro-alg) içeriği açısından düşük organik üretimli (oligotrofik) bir yapıya sahiptir. Besin zincirinin ilk halkasını oluşturan fitoplankton yoğunluğunun belirlenmesinde en sık kullanılan parametrelerden biri klorofil-a pigmentidir. Fitoplankton ve dolayısıyla klorofil-a yoğunlaşmaları aynı zamanda su kalitesinin evsel, tarımsal ve sanayi atıkları gibi insan kaynaklı kirliliğin takibinde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Van Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarının dağılım haritaları, literatürdeki 1983-84, 2002 ve 2014 yersel ölçme verileri (spektrofotometrik yöntem ile), uydu verisi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) metodları kullanılarak Van Gölü'ndeki temsiliet kapasitesi değerlendirilmiştir. Buna göre, klorofil-a dağılımları mekânsal olarak değişiklik göstermektedir. Gölün kuzeydoğu ve doğusundaki klorofil-a yoğunluğunun, gölün batı kesimine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Saha çalışmaları ile 2014 yılı klorofil-a yersel ölçmelerden elde edilen klorofil-a değerleri (1.7-7.8 mg/m³) kullanılarak Landsat-8 OLI algılayıcısına ait mavi bantın (562-443 nm arası dalga boyu) yeşil banta (562-482 nm arası dalga boyu) yansıma oranı ile elde edilen klorofil-a konsantrasyonunun ölçme hatalarının içerisinde kaldığı (karesel ortalama hata) ve Landsat-8 OLI algılayıcısının Van Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarını haritalamak için uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Van Gölü'nün farklı lokasyonlarında 1983-84 ve 2002 yıllarında klorofil-a tesbiti için yapılan yersel ölçmeler kullanılarak, CBS'de jeo-istatistik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile birlikte, Van Gölü'ndeki klorofil-a'nın mekânsal dağılımlarının izlenmesinde CBS yöntemiyle kıyaslandığında uydu verisinin temsilietinin yeterli doğrulukta tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Van Gölü, klorofil-a, uzaktan algılama, Landsat-8/OLI, CBS

Monitoring the Chlorophyll-a Dynamics of Van Lake with Satellite Data and GIS

¹Department of Geological Engineering, Faculty of Mines, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye

²Eurasia Institute of Earth Sciences, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye

Article History

Received: 20 Jun 2023

Accepted: 29 Oct 2023

Published: 15 Mar 2024

Research Article

Abstract – Lake Van, the world's largest alkaline lake, is known to be a low organic production (oligotrophic) lake in terms of phytoplankton (micro-algae). Chlorophyll-a (chl-a) pigment is one of the most frequently used parameters in determining the phytoplankton, which makes up the first link of the food chain in the lakes. Phytoplankton and hence chlorophyll-a concentrations are also used for monitoring water quality and anthropogenic pollution such as domestic, agricultural, and industrial wastes. In this study, chlorophyll-a distributions of Lake Van were studied by using in situ chl-a measurements (by spectrophotometric method) found in the literature (1983-84, 2002 and 2014 data), remote sensing data and Geographic Information System (GIS) methods, and the representativeness of satellite data in the study region was evaluated. Accordingly, chl-a distributions in Lake Van varied significantly with higher chl-a concentrations found in the northeast and east of the lake compared to the western section. The differences in chl-a data from in situ measurements in field studies in 2014 (1.7-7.8 mg/m³) and the reflection ratio of the blue band (562-443 nm wavelength) to the green band (562-482 nm wavelength) of the Landsat-8 OLI sensor were found to be below the measurement errors (mean

¹utari@itu.edu.tr (Corresponding Author); ²nokiyak@itu.edu.tr

squared error) and which suggested the suitability of Landsat-8 OLI sensor for mapping chl-a concentrations throughout Lake Van. In addition, geo-statistical analyses were performed for the two other chl-a data sets including the 1983-84 and 2002 data, which were older than the available satellite technology. This study showed that the use of satellite data for representation for Lake Van chl-a spatial distribution is more accurate compared to GIS method.

Keywords – Lake Van, chlorophyll-a, remote sensing, Landsat-8/OLI, GIS

1. Giriş

Van Gölü, dünyanın en büyük alkali (alkalinite 155 m eq l^{-1} , pH 9.81, tuzluluk 21.4%) ve kapalı göllerinden biridir [1]. Gölün bugünkü alkali özelliği ve tuzluluğu, çevredeki volkanik kayaçların kimyasal aşınması ve buharlaşma ile oluşmuştur. Dünyada bilinen en büyük mikrobiyolit oluşumların bu gölde olduğu da bilinmektedir [2].

Van Gölü'nün bu farklı konumuyla her zaman göl ekosistemini anlamaya yönelik çalışmalar içinde hedef alanlardan biri olmuştur (Şekil 1a ve 1b). Göl ekosistemin en temel halkasını oluşturan birincil organik üretim (alg veya fitoplankton üretimi), gerek karbon döngüsünde gerekse iklim değişikliğinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Fitoplankton üretimindeki aşırı artışlar, su kalitesini etkilemekte ve çevresel sorunlara sebep olabilmektedir [3-6]. Ayrıca, antropojenik ve iklim etkilerine bağlı olarak göllerdeki klorofil-a artışları ötrofikasyona neden olur [7,8]. Van Gölü'ndeki fitoplankton yoğunluğu aynı zamanda Türkiye'nin iç balıkçılığının yaklaşık %30'unu oluşturmada olan inci kefalinin (*A. tarichi*) besin zincirine de etki etmektedir. Göl seviyesi değişimlerinin inci kefalinin popülasyonu üzerindeki etkileri de güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır [9].

Buradan hareketle, göl suyunda birincil üretimi değerlendirmek amacıyla kullanılan en yaygın parametre 'klorofil-a' yoğunlaşmasıdır. Özellikle bu yoğunlaşmanın su örneklerinde ölçülmesi nispeten kolay olmasına rağmen, belirli yerlerde su örneklerinin toplanması, çoğunlukla yoğun kaynak gerektirmekte ve bu durum mekânsal ve zamansal değişkenliği karakterize etme açısından bilimsel çalışmaları sınırlamaktadır. Ayrıca, noktasal klorofil-a ölçümleri, maalesef su kaynağının tamamını temsil etmemektedir. Bu noktada, birincil üretimin izlemesi konusunda uzaktan algılama teknolojisi yaygınca kullanılabilir. Bu teknoloji, ötrofikasyon koşullarının direkt göstergesi olan klorofil-a yoğunluk değerlerinin tahmin edilmesini uygun maliyetli ve gerçek zamanlı olarak izleme olanağı sağlamaktadır [10-16]. Özellikle, alkali göl sularında klorofil-a konsantrasyonunun mekânsal ve zamansal değişiminin izlenmesi, tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve birincil organik üretim koşullarının tahmin edilmesi için çok önemlidir.

Su kütlelerindeki klorofil-a konsantrasyonu hem fitoplankton biokütlesinin hem de göl ötrofikasyonunun bir göstergedir [17]. Kapalı göllerde ise, genellikle su kalitesi, akaçlama (drenaj) havzasındaki kayaçların jeokimyası, akarsu girdisi, iklim koşulları ve bunlara bağlı buharlaşma/yağış oranı ve kimyasal aşınma ile de ilişkilendirilmektedir [1]. Bu noktada uzaktan algılama teknolojisi, makro-dinamik özelliklerinden dolayı büyük kolaylık sağlamak ve bundan dolayı da su kütlelerindeki klorofil-a'nın tahminine yönelik olarak da sıklıkla kullanılmaktadır.

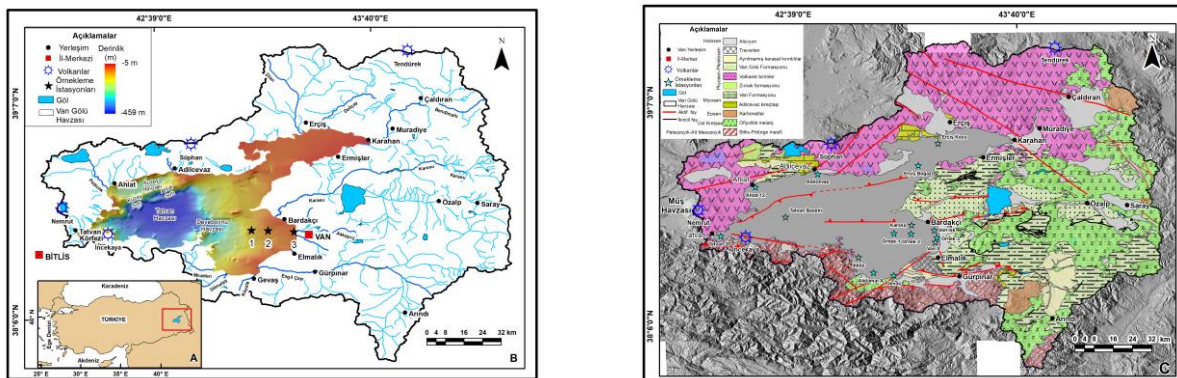
Landsat serisi uyduları, 1972 yılından beri sağladıkları görüntü arşivleri ile arazi örtüsü/kullanımı çalışmalarının yanı sıra, özellikle klorofil-a tahmini, askıda katı madde belirlenmesi, fitoplankton konsantrasyonu, alg patlaması, su yüzey sıcaklığının belirlenmesi ve makro fitlerin izlemesi gibi çalışmalarda da sıklıkla kullanılmaktadır [18-23]. Özellikle bu seriden Landsat-8 uydusuna, önceki Landsat-TM ve ETM+ uydularına ait algılayıcıların özelliklerine nazaran, yeni spektral aralıkların eklenmesi ve bunların çözünürlük özelliklerinin artırılmasıyla, su kalitesinin izlenmesi üzerine yapılan bilimsel araştırmalara katkı sağlanmıştır

[6,14,24,25]. Böylece, sucul ortamlarda Landsat-8 uydusuna ait OLI (Operational Land Imager) algılayıcısı ile çalışılması, klorofil-a düzeylerinde meydana gelen değişimlerin tahmini ve haritalanmasını mümkün kılmaktadır [26-29].

Göl suyundaki klorofil-a tahminleri, yerinde (in-situ) ölçülen klorofil-a ölçme verileri ile OLI algılayıcısına ait bantların spektral yansımaları ile birlikte çalışılan bölgeye bağlı ampirik modeller, önerilen algoritmalar ve klorofil-a verilerinin regresyon analizleri ile ilişkisi arasındaki korelasyona dayanarak yapılabilmektedir [26,28,29]. Bu yöntemler, büyük ölçüde çalışma bölgesinden elde edilen veri kümesine de bağlı olabileceği gibi, modelin uygulanabilirliği de inceleme alanı ile belirlenebilmektedir [14]. Bu çalışmada da kullanılan uydu verisine ait farklı bant kombinasyonlarının su yüzeyindeki spektral yansımaları ile ilişkili algoritmalarından biri kullanılmıştır.

Su yüzeyinin spektral yansımaları, klorofil-a tahminleri de dâhil olmak üzere, sudaki aktif maddelerin bir ifadesi olarak kullanılır [30]. Klorofil, elektromanyetik spektrumun görünür bölümünde bulunan mavi ve kırmızı ışığın emilip, yeşil ışığı yansıtma özelliği kullanılarak tespit edilmektedir. Özellikle, klorofil-a konsantrasyon tahmininde klorofilin bu özellikleri göz önünde bulundurularak, klorofil-a'nın yansımalarına duyarlı farklı bant kombinasyonları kullanılır. Farklı çalışmalarda bu bant kombinasyonlarına dayalı olarak pek çok algoritma önerilmiştir [31-35]. Bu çalışmalar genellikle sucul ortamlarda (ör. göl, deniz veya okyanus sularında) görünür yeşil renkte klorofil-a yansıma değeri ~ 565 nm [34] iken, kızılötesine yakın dalga boyları için yansıma değerinin ~ 700 nm olduğu önerilmiştir [33]. Atmosferden kaynaklanan etkiler de minimize edildiğinde, kullanılan spektral bant oranları ile daha yüksek doğrulukta klorofil-a tahminleri yapılabilmektedir [14,19,36]. Böylece, klorofil-a yansıma değerlerini belirlemek için kullanılan en yaygın algoritmalar, genellikle ~ 675 - 700 nm dalga boyları arasında yer alan spektral bantlardan seçilmektedir [37]. Bu çalışmada, gölde toplanan klorofil-a yersel ölçme verileri, örnekleme lokasyonu ve tarihi ile birlikte, bulutsuz koşullar altında elde edilen eş zamanlı Landsat-8 OLI uydu görüntüsü kullanılmıştır. Daha sonra, Ha [14] tarafından önerilen farklı bant kombinasyon modelleri arasından en uygun klorofil-a tahmin algoritması seçilerek uygulanmıştır.

Bununla beraber, klorofil-a konsantrasyonunun mekânsal ve zamansal değişimleri CBS analizleri (ör. ters mesafe ağırlıklandırma-IDW metodu) kullanılarak da tahmin edilebilmektedir [38,39]. Bu kapsamda, Van Gölü'nde farklı zamanlarda (sırasıyla, 1983-1984 ve 2002 yıllarına ait farklı aylar) elde edilen klorofil-a ölçme değerleri kullanılarak [40,41], göldeki klorofil-a konsantrasyonuna ait eğilim ve mekânsal dağılımlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, ilgili yıllara ait farklı sezonlarda (yaz ve kış dönemi) toplanan ölçmeler, CBS'nde analiz edilerek, klorofil-a konsantrasyonuna ait değişimler ile uydu verisinden elde edilen bulguların karşılaştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 1. a) Çalışma alanının yer bulduru haritası b) Van Gölü Havzası'nın önemli akarsuları ve batimetrisi [42]'den (bu çalışmadaki örnekleme lokasyonları yıldız işareti ile gösterilmiştir), c) Jeoloji haritası ([43]'den derlenmiştir)

Van Gölü'nün kapalı bir havza oluşu iklim kayıtlarının korunmasını sağlamaktadır ve bu nedenle geçmiş iklim ve çevresel değişimleri anlamak için göl çökelleri oldukça detaylı araştırılmıştır [44-48]. Son araştırmalarda, göl sularının çeşitli su kalitesi parametrelerinin mevsimsel değişimleri birbiriyle korelasyonları incelenmiştir [49]. Ancak, göldeki besin zincirinin ilk halkası oluşturan fitoplanktonların yoğunlaşmalarının en yaygın göstergesi olan klorofil-a ölçümleri az sayıda çalışmada, farklı tarih ve lokasyonlarda kısıtlı olarak gerçekleştirilmiştir [40,41,50]. Van Gölü'nde klorofil-a konsantrasyonunun uzaktan algılama teknolojisi ile izlenmesine yönelik güncel çalışmalara fazla rastlanmadığı gibi gölün organik kirliliğinin tespiti üzerine yapılanlar da çok sınırlıdır [40,41,49,50]. Bu çalışmada, Van Gölü'nde gerçekleştirilmiş olan kısıtlı sayıdaki klorofil-a yersel ölçüm verileri kullanılarak klorofil-a yoğunlaşmalarının göldeki mekânsal dağılımı CBS (1983-84 ve 2002 verileri) ve uzaktan algılama (2014 verisi) kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, kullanılan yöntemlerin Van Gölü klorofil-a araştırmaları açısından avantaj/dezavantajları değerlendirilmiştir.

Araştırma alanı olan Van Gölü, denizden oldukça yüksek (1648 m), Doğu Anadolu yüksek platosu üzerinde yer almaktadır. BGB-DKD yönünde yaklaşık 130 km'lik uzanımı ile, dünyanın en büyük dördüncü kapalı (hacmi, 607 km³; yüzey alanı, 3574 km²; maksimum derinliği, 460 m) ve alkali (soda) gölüdür [47,51]. Ayrıca, Anadolu, Avrasya ile Arap levhaları arasındaki çarpışma zonunda bulunan ve konumu itibarıyla de tektonizmanın oldukça aktif olduğu (bölgedeki son sismik aktivite 2011 M_w=7.1 büyüklüğündeki Van depremi) bir bölgede yer almaktadır [51-55]. Gölün hemen yakınında yer alan Nemrut Dağı (3050 m) ve Süphan Dağı (3800 m) olarak bilinen yarı aktif iki yanardağ ile İncekaya (400 m) volkanik krateri yükselir [52].

Van Gölü Havzası, batısında yer alan Muş Havzası'nın devamı niteliğinde olup Muş Havzası'ndan Nemrut Volkan'ının yaklaşık günümüzden 500-600 bin yıl önce püskürmeye başlamasıyla ayrılmıştır. Bu yaş verisi, daha sonra gölde yapılan karotlu sondaj çalışmalarında elde edilen karottaki örneklerden yapılan yaş analizleri ile de doğrulanmıştır [42,44,47,51]. Bölgesel olarak meydana gelen bu tektonik ve volkanik olaylar gölün taban morfolojisinin de farklı şekillenmesine (sırt, havza ve şelf gibi) neden olmuştur (Şekil 1b).

Van Gölü Havzası'nı oluşturan jeolojik birimler ise genellikle havzanın batısı ve kuzeyinde yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı Nemrut ve Süphan volkanikleri, Neojen volkanik kayaları ile Miyosen yaşlı klastik ve karbonatlı çökeller ile temsil edilir (Şekil 1c). Doğusundaki birimler ise, Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı'nı oluşturan Pliyosen çökelleri ve Üst Kretase-Oligosen yaşlı fliş ve ofiyolitik melanj ile güneyinde yer alan Bitlis Masifi'nin Paleozoik yaşlı metamorfik kayalardan oluşur [52,53,56].

Gölün çevresinde yüzeyleyen volkanik kayaçların kimyasal ayrışması ve buharlaşması ile gölde meydana gelen hidrotermal aktivite sonucu, bugünkü göl suyunun aşırı alkali özelliğini ve tuzluluğunu oluşturmuştur. Bu durum, gölün dünyanın en büyük soda gölü olmasını da sağlamıştır [1,2,57]

Van Gölü hem coğrafi konumu hem de kapalı bir havza oluşu nedeniyle iklim değişimlerine duyarlıdır [45,46,48,58]. Bu durum, gölün iklimsel değişimlere (yağış, buharlaşma, göl seviyesi değişimleri gibi) dolayısıyla hidrolojik rejiminin değişmesine de duyarlı bir şekilde tepki verdiğini göstermektedir. Göl çevresinde yüksek göl seviyelerini işaret eden Pleyistosen yaşlı teraslar (~ 107 m'ye varan) ve çökellerinin bulunması da son 20 bin yılda birkaç yüz metreye kadar göl seviyesinde değişikliklerin meydana geldiğini göstermektedir [59,60]. Ayrıca, Van Gölü'nde günümüzde su seviyesi yükselmesinin Van Gölü'nde derin suyun yenilenmesini engellediğini ve böylece 300 m'nin altındaki derinliklerde anoksik koşulların oluştuğunu da göstermiştir [1,44].

Van Bölgesi'nde günümüzde karasal iklimin etkisiyle kışlar soğuk ve yağışlı, yazlar ılık ve kurak geçer. Gölün

yüzeysel su sıcaklıkları yaz aylarında 21-25 °C, kışın ise 2-7 °C arasında değişmektedir [44]. Yıllık yağış miktarı ~ 400-600 mm/yıl arasındadır. Bölgede rüzgâr, çoğunlukla güneybatıdan esmektedir. Bu durum kış ile ilkbahar boyunca da yağıştan sorumlu nemli havayı sağlamaktadır. Yazın özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama 20 °C gündüz sıcaklıkları ve kuzey rüzgârları ile de kuru bir hava hakimdir [57].

Yaklaşık 16.000 km²'lik bir alanı kaplayan Van Gölü'nün kapalı havzası, çevresindeki yüksek dağlardan kaynaklı göle sürekli akan çeşitli akarsular ile beslenen kapalı bir drenaj sistemine sahiptir (Şekil 1b). Bu drenaj havzasında çoğunlukla gölü besleyen akarsular, kuzeyden Zilan, Deliçay ve Bendimahi, doğudan Karasu, Moralı ve Engil, batıdan Ovakışla, Tatvan yakınlarından Güzel ve Ahlat yakınlarından da Papicek (Süfrefor) akarsularıdır (Şekil 1b). Göle doğrudan yağış ve akarsu girdisi ile toplam tatlı su girişi yılda 4.2 km³'tür. Buharlaşma (~3.8 km³/yıl), yıllık göl seviyesi salınımları (0.9 m'ye kadar) ve akarsu girdisi, gölü kontrol eden en önemli süreçlerdir. Bu akarsular, gölün havzasında birikmekte olan önemli miktardaki sediman taşımının yanı sıra geçtikleri bölgenin arazi özelliklerine göre su kalitesinin değişim göstermesini de sağlamaktadır [1,42].

Havzaya yağışlar çoğunlukla kışın kar ve yağmur, ilkbaharda akarsu girdisi olarak görülür [57]. Göle tatlı su girişi, ilkbaharın sonlarında ve yaz başında çevresindeki dağlarda bulunan karın erimesiyle maksimum seviyelere ulaşır. 1944 yılından bu yana göl seviyesinde yapılan ölçümlere bakıldığında Ocak 1963'te ölçülen en düşük seviyesi 1646.69 m iken, Haziran 1995'te ölçülen en yüksek seviyesi 1650.55 m olarak kaydedilmiştir. 1944-2000 yılları arasında yıllık ortalama seviyeler temel alındığında ise göl seviyesinin en yüksek 1650.55 m ve en düşük ise, 1646.69 m tespit edilmiştir. Bu farkın kaydedildiği yıllar arasında da ~ 4 m lik değişim söz konusudur. Bu durum, Van Gölü'nün göl seviyesinin son 90 bin yıl içindeki değişimlerinin araştırıldığı çökel çalışmasında göl seviyesinin mevsimsel değişimin etkisiyle yıllık ortalama ~42 cm değiştiğini gösterilmiştir [46].

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın amacı, göl ekosistem ve çevresel kirlilik açısından önemli bir alan olan Van Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonunun mekânsal ve zamansal olarak uydu verisi ve CBS metodu ile değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda görsel ve kantitatif verilerin değerlendirilmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu analizler için uygulanan yöntemler yayınlanmış ve kabul görmüş hipotezler uygulanarak karşılaştırılmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

2.1. Klorofil-a Ölçüm Verileri

Van Gölünde gerçekleştirilmiş olan ölçme verileri Tablo 1'de sunulmuştur. Spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilen klorofil-a ölçmeleri sırasıyla 1983-84 [40], 2002 [41] ve 2014 [50] yıllarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Van Gölü seferinde Temmuz 2014'te gerçekleştirilen arazi çalışması sırasında yapılan ölçme ve filtrelemeler

Toplanan su örneklerindeki klorofil-a ölçmeleri, 0.7 µm cam fiberden geçirilen örneklerden %95 aseton filtre pigment ekstrasyonu yöntemi ile spektrofotometrede ölçülmüştür. Bunun için pigment özünün en yüksek yoğunluk ölçmeleri sırasıyla A630, A647, A664 ve A750 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra da klorofil-a yoğunluk değerleri için aşağıdaki denklem 2.1 uygulanarak mg/m³ cinsinden değerler elde edilmiştir (bkz. Tablo 1).

$$\text{Chlorophyll} - a \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{[11.85(A664 - A750) - 1.54(A647 - A750) - 0.08(A630 - A750) \times v]}{[V \times Z]} \quad (2.1)$$

A630, A647, A664 ve A750; farklı dalga boylarında ölçülen optik yoğunluk, v; pigment özünün ml cinsinden hacmi, V; litre olarak filtrelenen numunenin litre cinsinden hacmi ve Z; cam küvetin cm cinsinden uzunluğudur.

Tablo 1. Van Gölü'nün farklı lokasyonlarında yapılan klorofil-a ölçmeleri (mg/m³)

| İstasyon | Enlem | Boylam | Derinlik (m) | Klorofil-a (mg/m ³) | | | | | Kaynakça |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|
| | | | | 10-13 Haziran 1983 | 8-11 Eylül 1983 | 1-4 Haziran 1984 | | | |
| Tatvan Boğazı | 42 ^o .7065 | 38 ^o .6453 | 0.5 | 0.12 | 0.07 | 0.52 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 20 | - | 0.12 | 0.82 | | | |
| | | | 50 | 0.32 | - | - | | | |
| Erciş Koyu | 43 ^o .3831 | 38 ^o .9786 | 0.5 | 0.52 | 0.11 | 2.0 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 5 | - | - | 3.9 | | | |
| | | | 10 | 0.64 | 0.08 | - | | | |
| Erciş Boğazı | 43 ^o .2186 | 38 ^o .8315 | 0.5 | 0.54 | 0.04 | 0.94 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 10 | 0.70 | - | - | | | |
| | | | 20 | - | 0.14 | 0.48 | | | |
| | | | 30 | 0.46 | - | - | | | |
| Ahlat | 42 ^o .4775 | 38 ^o .7329 | 0.5 | 0.12 | 0.08 | 0.59 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 20 | 0.23 | 0.13 | 0.87 | | | |
| Gevaş | 43 ^o .1071 | 38 ^o .3319 | 0.5 | 0.15 | 0.07 | 0.58 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 20 | 0.14 | 0.19 | 0.92 | | | |
| | | | 50 | 0.07 | - | - | | | |
| Adilcevaz | 42 ^o .7610 | 38 ^o .7933 | 0.5 | 0.43 | 0.09 | 0.71 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 10 | 0.46 | 0.14 | 0.78 | | | |
| Van | 43 ^o .3032 | 38 ^o .5042 | 0.5 | 0.23 | 0.08 | 0.41 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 10 | 0.32 | 0.05 | 0.72 | | | |
| Tatvan | 42 ^o .3200 | 38 ^o .5105 | 0.5 | 0.22 | 0.41 | 0.63 | | | Tuğrul vd.1984 |
| | | | 10 | 0.26 | 0.38 | 0.65 | | | |
| | | | | 13 Ocak 2002 | 25 Ocak 2002 | 09 Şubat 2002 | 03 Mart 2002 | 17 Mart 2002 | |
| Karasu | 43 ^o .1887 | 38 ^o .5608 | 0.1 | - | 1.61 | 1.46 | 0.87 | 0.75 | Cüreoğlu, 2002 |
| Van İsk. | 43 ^o .2925 | 38 ^o .5364 | 0.1 | - | 1.18 | 0.92 | 0.99 | 0.70 | Cüreoğlu, 2002 |
| İnköy | 42 ^o .9469 | 38 ^o .4136 | 0.1 | 1.38 | 1.24 | 0.85 | 1.03 | 1.31 | Cüreoğlu, 2002 |
| Akdamar | 43 ^o .0148 | 38 ^o .3443 | 0.1 | 1.39 | 1.28 | 0.68 | 1.14 | 1.73 | Cüreoğlu, 2002 |
| | | | | 07 Nisan 2002 | 21 Nisan 2002 | 05 Mayıs 2002 | | | |
| Karasu | 43 ^o .1887 | 38 ^o .5608 | 0.1 | 0.98 | 0.98 | 0.83 | 0.87 | | Cüreoğlu, 2002 |
| Van İsk. | 43 ^o .2925 | 38 ^o .5364 | 0.1 | 1.16 | 1.16 | 1.25 | 1.24 | | Cüreoğlu, 2002 |
| İnköy | 42 ^o .9469 | 38 ^o .4136 | 0.1 | 1.16 | 1.16 | 1.05 | 0.81 | | Cüreoğlu, 2002 |
| Akdamar | 43 ^o .0148 | 38 ^o .3443 | 0.1 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 0.96 | | Cüreoğlu, 2002 |
| | | | | 08 Temmuz 2014 | | | | | |
| Örnek-1 | 43 ^o .1080 | 38 ^o .5232 | 0.1 | 1.73 | | | | | Olğun-Kıyak ve Çağatay, 2015 |
| Örnek-2 | 43 ^o .1863 | 38 ^o .5214 | 0.1 | 1.70 | | | | | Olğun-Kıyak ve Çağatay, 2015 |
| Örnek-3 | 43 ^o .3075 | 38 ^o .5161 | 0.1 | 7.79 | | | | | Olğun-Kıyak ve Çağatay, 2015 |

2.2. CBS ile Klorofil-a Analizi

Van Gölüne ait Tablo 1’de sunulan klorofil-a ölçme verilerini kullanarak klorofil-a mekânsal dağılımları için her veri setine CBS ve uzaktan algılama yöntemi uygulanması hedeflenmiştir. Tüm veri setleri için klorofil-a çalışmalarında kullanılan farklı algılayıcılara ait uydu veri tabanları taranmıştır. Ancak 1983-84 ve 2002 verileri için yapılan uydu görüntüsü veri tabanı taramasında ilgili algılayıcılarda söz konusu yıllar için veri bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, 1983-84 ve 2002 klorofil-a dağılımları için sadece CBS yöntemi kullanılmıştır. Tablo 1’de sunulan ve üç istasyondan oluşan 8 Temmuz 2014 yılı klorofil-a dağılımları için en yakın tarihli uydu verisi sadece Landsat-8 OLI algılayıcısından (11 Temmuz 2014 görüntüsü) temin edilmiştir. Ancak, 2014 yılı verilerinin alındığı istasyonlara ait lokasyonların aşağıda bahsedilen CBS yönteminde uygulanacak enterpolasyona uygun olmamasından dolayı bu yıla ait veriler sadece uzaktan algılama ile elde edilen klorofil-a verilerinin doğruluk analizinde kullanılmıştır.

Klorofil-a verilerin bir araya getirilmesi, işlenmesi, yönetilmesi, görselleştirilmesi, sorgulama ve analiz edilmesi, CBS çalışmalarında çok yaygın bilinen ArcGIS Desktop 10.6.1 ESRI™ yazılımında yapılmıştır. Farklı modüller (3D Analyst, Spatial Analyst, Geostatistical Analyst gibi) barındıran özelliği ile gölde yapılan önceki çalışmalardan elde edilen klorofil-a ölçme verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu veriler, Tablo 1’de verilmiştir.

Gölde klorofil-a parametresine yönelik su örneklerinde yapılan ölçme verileri ve bu çalışmadan elde edilen bulgularla birlikte bölgede klorofil-a değişiminin nasıl bir eğilim gösterdiği mekânsal analizlerle ortaya çıkarılmıştır. Klorofil-a konsantrasyonunun tespitine yönelik olan bu bulgular, uzaktan algılama teknolojisi ile yersel ölçmelerle, spektrofotometrik yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilmiştir.

İnceleme alanında farklı dönemlere (ve su derinliklerine) ait alınan su örneklerinden ölçülen klorofil-a değerlerine ait sonuçlar, CBS çalışmalarında kullanılan yazılımda kullanılabilecek uygun formatta kaydedilmiştir. Daha sonra her noktaya ait veri değerlerini içeren bu dosya, ilgili yazılımda hazırlanan veri katmanı ile ilişkilendirilmiştir. Böylece, “klorofil-a değerleri” ölçülen ay ve yıllar için ayrı ayrı CBS’nin analiz modüllerinden yararlanılarak değerlendirilmiştir.

CBS’de yapılan analizlerde, farklı enterpolasyon (ara değer bulma) yöntemleri kullanılmaktadır [11,61-63]. Farklı parametrelerin ayrı şekilde haritalanmasına yönelik sunulan bu yöntemlerin temel amacı, genellikle ilgili ortamdaki mekânsal dağılımların ortaya çıkarılmasıdır. IDW enterpolasyon metodu olarak bilinen bu yöntemde, bilinmeyen konumdaki değerlerin bir ağırlık fonksiyonu kullanılarak bilinen konumlar üzerinden en uygun konumun bulunmasına dayanan mekansal bir algoritmadır [11,61-63].

İnceleme alanında CBS’de yapılan analizde, noktasal özellikte olan “klorofil-a” değerlerini enterpolasyon algoritması kullanarak mekânsal dağılımın nasıl olduğuna dair bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Ardından ara değerler tahmin edilip, daha net analiz yapılması sağlanmıştır. Enterpolasyon yaparken kullanılan yöntemler genel olarak ikiye ayrılır: Bunlar Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting, IDW) ve Kriging enterpolasyon metotlarıdır [64]. IDW enterpolasyon metodunda, veri girişi yapılmış konumlara sayısal olarak yakın ve mantıklı veriler atanması esastır. Bu metot ile enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı azaltan ve örnekleme noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir mekânsal dağılım yüzeyi oluşturur. CBS analizi ile örneklenmemiş alanlarda (yeterli verinin olmadığı) istenilen öznitelik bilgilerini ve mekânsal olarak dağılımını tahmin etmek kullanılan en iyi enterpolasyon yöntemlerinden biridir. Önceden örneklenmiş klorofil-a konsantrasyon verileri nokta kaynak tabanlıdır ve CBS tekniği kullanılarak, bunlar, hücre tabanlı (grid) görüntü verilerine dönüştürülür. Böylece, değerleri bilinmeyen noktaların yakınındaki kontrol noktalarından uzak noktalara göre daha fazla etkilendiği varsayılarak oluşturulan mekânsal haritalar

üretilebilmektedir [65,66]. Çalışma bölgesinde, IDW metodu kullanılarak enterpole edilmiş ve sonuçta klorofil-a değerlerine ait verilerden alansal verilere dönüşen grid formatında katmanlar oluşturulmuştur. Hazırlanan bu veri katmanları CBS kapsamında değerlendirilerek Van Gölü'ne ait klorofil-a konsantrasyonlarının mekânsal dağılım modeli ile tematik haritaları elde edilmiştir (Şekil 4 ve 5).

2.3. Uydu Görüntüsü ile Klorofil-a Tahmin Analizi

Van Gölü klorofil-a uydu görüntü analizleri için okyanus, deniz ve göl araştırmalarında önceki çalışmalarda yaygın olarak kullanılan OLCI, SLSTR, VIIRS, MERIS, MODIS-Aqua, SeaWiFS ve OLI [12,14,15,34,41,67-69] farklı uydu veri tabanları taranmıştır. Sadece 2014 yılı verileri için Landsat-8 uydusuna ait OLI algılayıcısından uydu görüntüsü elde edilebilmiştir.

Çalışmada kullanılan Landsat-8 OLI (Seviye 2) 11.07.2014 tarihli uydu görüntüsü, Amerikan Jeoloji Servisi (USGS-Earth Explorer) internet sitesinden temin edilmiştir. Landsat-8 uydusu; OLI ve TIRS algılayıcıları ile görünür, yakın-kızılötesi, kısa dalga kızılötesi ve termal kızılötesi spektral aralıklarda görüntü almakta olup, bu aralığa bağlı olarak mekânsal çözünürlüğü 15 ile 100 metre arasında değişmektedir. Landsat-8 OLI bant 1 (kıyısıl/aerosol) veya diğer adıyla derin mavi (mavimsi) bantın (0.433-0.453 nm dalga boyu aralığı), mekânsal çözünürlüğü 30 m'dir. Söz konusu spektral bant ile su kalitesinin belirlenmesinin yanı sıra sudaki klorofil-a konsantrasyonu ile askıda katı madde, fitoplankton ve alg patlamalarını izlemek için de kullanılmaktadır [70]. Ayrıca, mavi ve mor rengi yansıttığı bilinen bu bant aralığında suyun rengindeki küçük farklılıklar belirlenebildiğinden renk yoğunluğundaki bu farklılıklar suya neyin karıştığı konusunda da bilgi çıkartılmasına olanak sağlamaktadır.

Diğer yandan, dünyanın farklı bölgelerinde bir su kütlelerinde birçok parametre belirlemek için yapılan çalışmalarda, su örneklemelerinin zamansal ve mekânsal olarak yeterli sayıda olması ve bunların uzaktan algılama yöntemi kullanılarak tahmin yapılması ile elde edilen performanslar değişkendir. Örneğin, Giardino vd. [71] İtalya'daki bir gölde klorofil-a konsantrasyonlarını belirlemek için kullandığı Landsat uydu görüntüsü ile elde edilen temsiliyet kapasitesi değerlendirildiğinde korelasyon katsayısı (R^2), 0.99 olarak elde edilmiştir. Ancak bu yüksek sayı, yalnızca 4 nokta ile elde edilen bir değerdir. Nelson vd. [72] incelenen su kütlelerinde zamana bağlı büyük değişimin olmadığı durumlarda veri alınma zamanlamaları arasındaki farkın klorofil-a tayinindeki başarıyı etkilemeyeceğini de belirtmiştir. Li vd. [65]'teki çalışmasında uzaktan algılama ve mevcut örnekleme sayısı kullanılarak yapılan optimizasyon ile su kalitesini parametrelerinin değerlendirilme aşamasında, en azından çalışılan bölgede ön bilgi olarak hizmet edebileceğini belirtmişlerdir. Buradan hareketle, bu çalışma kapsamında sınırlı sayıda ölçülen klorofil-a değerleri kullanılarak uzaktan algılama verilerine entegre edilmiştir.

Uzaktan algılama verileri ile su kalitesi belirleme amaçlı yapılan çalışmalar, genel olarak istatistik analizlerin kullanıldığı ampirik ve yarı ampirik yöntemler ile daha çok spektral bilginin teorik analizinin gerçekleştirildiği yarı analitik ve analitik yöntemler olmak üzere gruplandırılırlar [73,74]. Ampirik yöntemlerde su kalitesi parametreleri ile çeşitli bantlar, bant oranları vb. ile regresyon ya da korelasyon analizleri yapılırken, yarı ampirik yöntemlerde ise istatistiksel analizlerin yanı sıra spektral ölçümlere de ihtiyaç duyar. Bu çalışmada ampirik yöntem kullanılmış, yersel ölçümler ile uydu görüntüsünden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki incelenmiş ve su yüzeyindeki dağılımlar belirlenerek doğruluk analizi yapılmıştır. Ayrıca, kırmızı ve yakın kızılötesi spektral bant aralığına (655-865 nm dalga boyu) sahip Landsat TM, ETM+ ve OLI gibi multi-spektral algılayıcılar ile kırmızı ve kızılötesi spektral bant yansıma oranlarının kullanılmasının, klorofil-a'nın tahmini için uygun olmadığı da belirlenmiştir [14].

Sucul ortamlarda klorofil-a tahminine yönelik geliştirilen algoritmalar, genellikle klorofil-a'nın su yüzeyindeki bir biriminde güneş ışığının emilme (absorpsiyon) ve yansıma (reflektans) modelleri üzerine kurulmaktadır (Şekil 3). Bunlar genellikle aşağıda detayları verilen farklı iki spektral bant oranına dayanan modellerdir [19,36].

Literatürde de kabul gören bu modellerin ayrıntıları şu şekildedir (Şekil 3);

1) 440 ve 510 nm (spektral aralık) dalga boyu arası (mavi-spektral bant) bölgedeki en güçlü emilimin ilk tepe noktası ile 550 ve 555 nm dalga boyu arası (yeşil-spektral bant) bölgedeki en düşük emilimin yansıma oranı [75-77] (Şekil 3),

2) 685 ve 710 nm arası dalga boyuna sahip yakın-kızılötesi (NIR-near infrared spektral bant) bölgedeki emilimin en düşük noktası ile 670 ve 675 nm dalga boyu arası (kırmızı-spektral bant) bölgedeki ikinci en tepe noktasındaki emilimin yansıma oranı [33,78-81] (Şekil 3),

3) Son olarak, 670 ve 675 nm dalga boyu arası (kırmızı-spektral bant) bölgedeki emilimin ikinci tepe noktası ile 550 ve 555 nm dalga boyu arası (yeşil-spektral bant) bölgedeki en düşük emilimin yansıma oranı ile ifade edilen algoritmalarıdır [82] (Şekil 3).

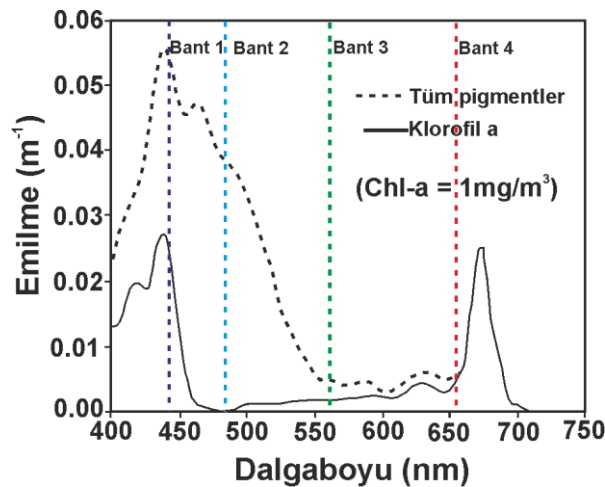
Çalışma kapsamında Landsat-8 OLI uydu görüntüsünden bilgi çıkartmak amacıyla görüntü işleme adımları SNAP (Sentinel Uygulama Platformu) ücretsiz yazılımında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra uydu görüntüsüne, önce görüntü zenginleştirme, daha sonra da spektral bant oranlaması ilgili algoritmalar uygulanmıştır. Bu algoritmalar, klorofil-a tahmini için, iki farklı yeşil-mavi bant oranlamasıdır. [14] tarafından geliştirilen bu tahmin algoritmaları, R(562)/R(443) ve R(562)/R(483) bant oranları ile elde edilmiştir. Landsat-8 OLI algılayıcısının sadece bir adet yakın-kızılötesi bant bulunduğundan çalışmada kullanılan görüntüye bu iki bant oranları uygulanmıştır.

SNAP yazılımında bant oranlama tekniği ile uygulanan algoritma sonucunda elde edilen klorofil-a değerlerine dönüşüm aşağıdaki eşitlikler (2.2) ve (2.3) ile elde edilmiştir. Bu dönüşüm denklemi literatürde de sıklıkla kullanılan eşitliklerdir [14].

$$\text{Model 1 için; Chl-a (mg/m}^3\text{)} = ae^{b \times GrB1}; a = 0.04709, b = 4.001 \quad (2.2)$$

$$\text{Model 2 için; Chl-a (mg/m}^3\text{)} = ae^{b \times GrB2}; a = 0.008155, b = 6.081 \quad (2.3)$$

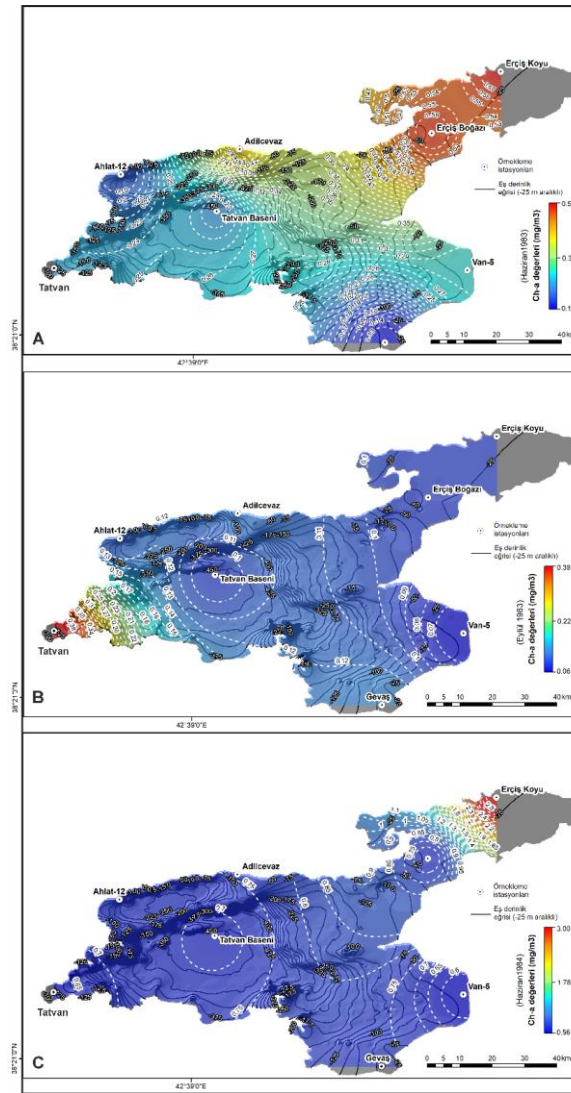
Denklemlerde kullanılan katsayılar a ve b ile e ise doğal logaritma tabanını (Euler sayısı) ifade etmektedir.



Şekil 3. Landsat-8 OLI çok bantlı uydu görüntüsünün görünür ve yakın-kızılötesi bölgelerdeki dört bantına (mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi spektral bantlar) ait dalga boyları ile 1 mg/m³ deki klorofil-a ve toplam pigmentin emilme miktarları ([83]'den düzenlenerek alınmıştır)

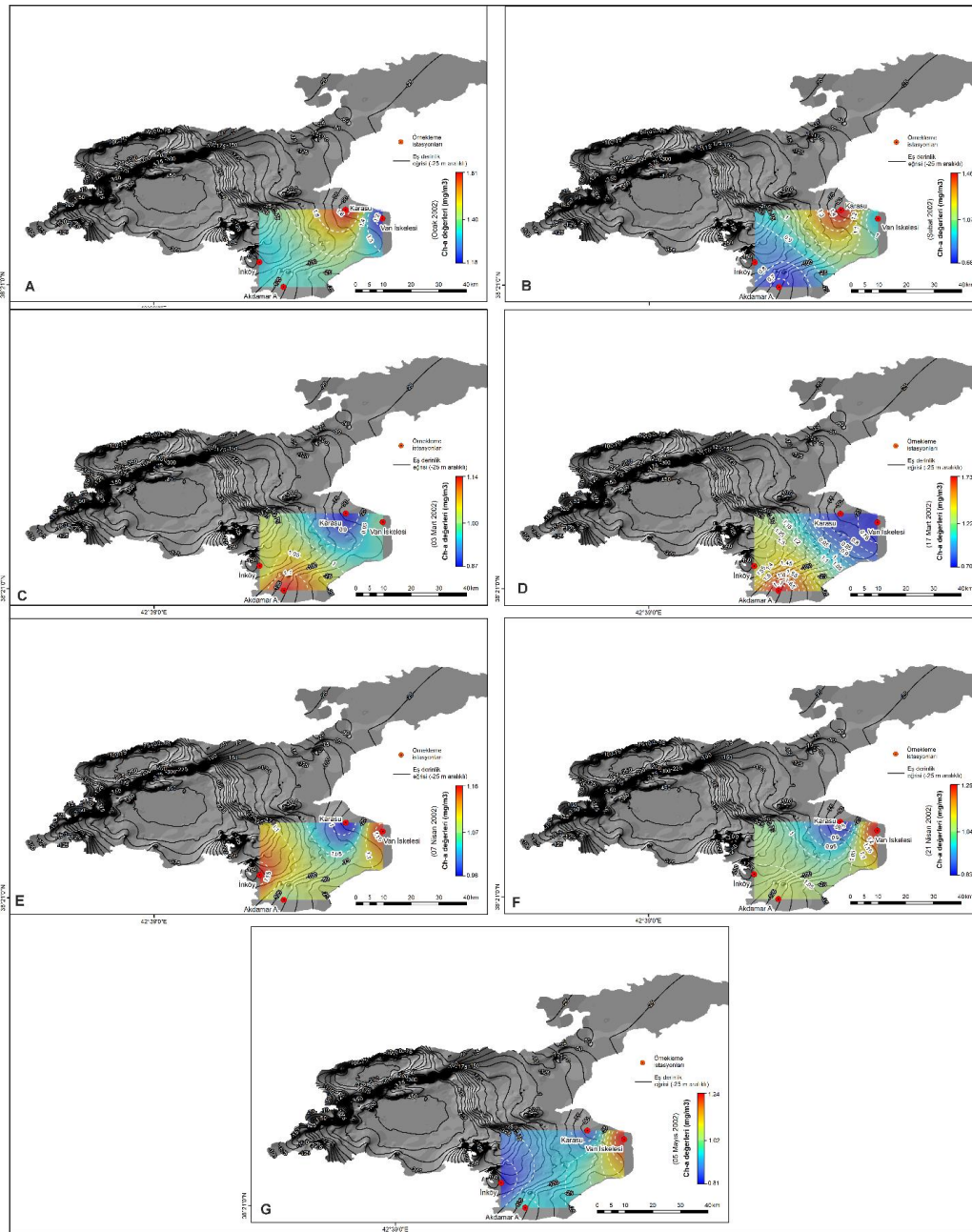
3. Bulgular ve Tartışma

Van Gölü klorofil-a mekânsal dağılımları için Tablo 1’de sunulan ölçme verileri için 1983-84 (Şekil 4) ve 2002 (Şekil 5) yılları verileri CBS yöntemi ile 2014 (Şekil 7) yılı verileri uzaktan algılama yöntemiyle incelenmiştir. 1983-84 verilerine ait ilgili çalışmanın istasyon dağılımları gölün genelini temsil edecek nitelikte olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Sırasıyla, Haziran 1983, Eylül 1983 ve Haziran 1984 yılları için oluşturulan klorofil-a dağılımları incelendiğinde Haziran ayında klorofil-a konsantrasyonu gölün batısında düşük iken doğusunda daha yüksektir (Şekil 4). Gölde gözlenen en yüksek klorofil-a konsantrasyonu 1.73 mg/m^3 , en düşük ise 0.06 mg/m^3 ’dür. Kış mevsiminde 1.73 mg/m^3 ile yüksek, yaz mevsiminde de 0.12 mg/m^3 ile daha düşük bir klorofil-a konsantrasyon değerleri gözlenmiştir (Şekil 4). Aynı ay için Haziran 1983 ve Haziran 1984 klorofil-a dağılımları incelendiğinde iki tarihte de gölün kuzeyinde yer alan Erciş ve yakın civarında klorofil-a yoğunlaşması olduğu görülmüştür. 1983 yılı için yaz ve sonbahar dönemi incelendiğinde sonbaharda klorofil-a değerlerinin gölün güneybatısında yer alan Tatvan bölgesinde göreceli daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). En yüksek klorofil-a konsantrasyonları Haziran 1984 döneminde ($0.6\text{-}3.0 \text{ mg/m}^3$) ve en fazla kuzeyde Erciş Koyu bölgesinde gözlenmiştir (Şekil 4c). Sonbahar dönemi başını içeren Eylül ayı ile Haziran 1983 ve 1984 kıyaslandığında Eylül ayı klorofil-a değerlerinin görece düşük seviyede olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Van Gölü’nde a) Haziran 1983, b) Eylül 1983 ve c) Haziran 1984 yıllarında elde edilen klorofil-a konsantrasyonlarının IDW metoduyla elde edilen mekânsal dağılımları

CBS yöntemiyle değerlendirilen 2002 yılı Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında gölün güneydoğusunda yer alan Karasu, Van, Akdamar ve İnköy kıyı ve açıklarında alınan ölçmeler Şekil 5'te sunulmuştur. İstasyon lokasyonlarının dağılımı nedeniyle, gölün sadece güney ve güneydoğu kısımlarındaki klorofil-a mekânsal dağılımları kapsamaktadır. Buna göre, örnekleme bölgesinde düşük klorofil-a değerleri 0.68-1.87 mg/m³ arasında değişmektedir. Klorofil-a konsantrasyon dağılımları incelendiğinde belirgin bir mekânsal patern izlenmemektedir. Ocak ve Şubat 2002 tarihlerinde klorofil-a yoğunluklarının kuzeyde yer alan Karasu Bölgesi'nde (Şekil 5a ve 5b), Mart 2002 döneminde ise güneyde yer alan Akdamar bölgesinde (Şekil 5c ve 5c), Nisan 2002 döneminde güneyde İnköy ile doğuda Van İskelesi (Şekil 5d ve 5e) ve Mayıs 2002 döneminde ise Van iskelesinde yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 5f). 2002 yılı kış (Ocak, Şubat) ve bahar (Mart, Nisan, Mayıs) döneminde klorofil-a konsantrasyon değerleri kıyaslandığında bahar döneminde beklenen klorofil-a artışları görülmemiş ve belirgin bir fark izlenmemiştir.

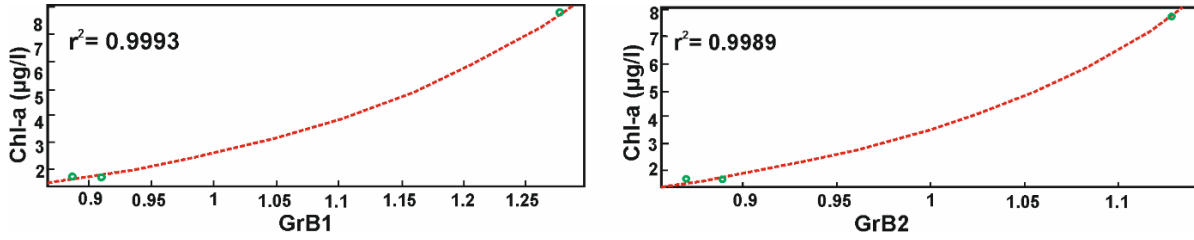


Şekil 5. Van Gölü'nde a) Ocak 2002, b) Şubat 2002, c) 03 Mart 2002, d) 17 Mart 2002, e) 07 Nisan 2002, f) 21 Nisan 2002 g) 05 Mayıs 2002 yıllarında elde edilen klorofil-a konsantrasyonlarının CBS analizi ile elde edilen mekânsal dağılımları

Temmuz 2014 dönemi için Van Gölü'nde klorofil-a tahminine yönelik olarak yapılan uzaktan algılama çalışmasında, Landsat-8 OLI algılayıcısının elektromanyetik spektrumun mavi bölgesinde, 443 nm spektral banta sahip kıyısal (coastal/aerosol) bantı (bant 1) ile ve 483 nm spektral banta sahip mavi (bant 2) bant arasındaki oran ile tespit edilmiştir. Çünkü klorofil-a'nın su yüzeyindeki bir biriminde güneş ışığını emilimi bant 1 ile ilk tepe noktasına, bant 2 ile tüm pigmentlerdeki emilim en tepe noktasına ulaşılır (Şekil 3). Yeşil ışığın yansımalarının da, 562 nm dalga boyunda yer alan bant 3 ile elde edildiği görülmüştür (Şekil 3).

Bu bilgiler ışığında göl yüzeyinde klorofil-a'nın tahmini için iki farklı yeşil-mavi spektral bant oranlamasına dayanan algoritmalar kullanılmıştır. [14] tarafından geliştirilen ve GrB1 ve GrB2 olarak adlandırılan bu tahmin algoritmaları, $R(562)/R(443)$ ve $R(562)/R(483)$ bant oranları ile elde edilmiştir (Şekil 6 ve 7).

Daha sonra iki farklı bant oranlarını ile elde edilen bu algoritmaların karşılaştırılması ve geçerli olabilmesi için aynı zaman aralığında (08 Temmuz 2014) yapılan spektral ölçme ile göldeki su örneklemeleri Landsat-8 OLI uydu görüntüsüne uygulanmıştır (Şekil 7a). Böylece her pikseldeki su yüzeyi referansları, 08 Temmuz 2014'te saha çalışmaları ile Van Gölü'nün üç farklı lokasyonunda ölçülen klorofil-a veri kümesinden elde edilen ile en iyi iki bant oranının belirlenmesi ile sağlanmıştır.



Şekil 6. Van Gölü'nde 11.07.2014 tarihinde üç istasyonda ölçülen klorofil-a değerleri ve Landsat 8/OLI görüntüsüne uygulanan GrB1 ($r^2 = 0.9993$; Karesel ortalama hata= 0.2 mg/m^3) ile GrB2 ($r^2 = 0.9989$; Karesel ortalama hata= 0.1 mg/m^3) algoritmalarından elde edilen klorofil-a tahmin değerleri arasındaki ilişki

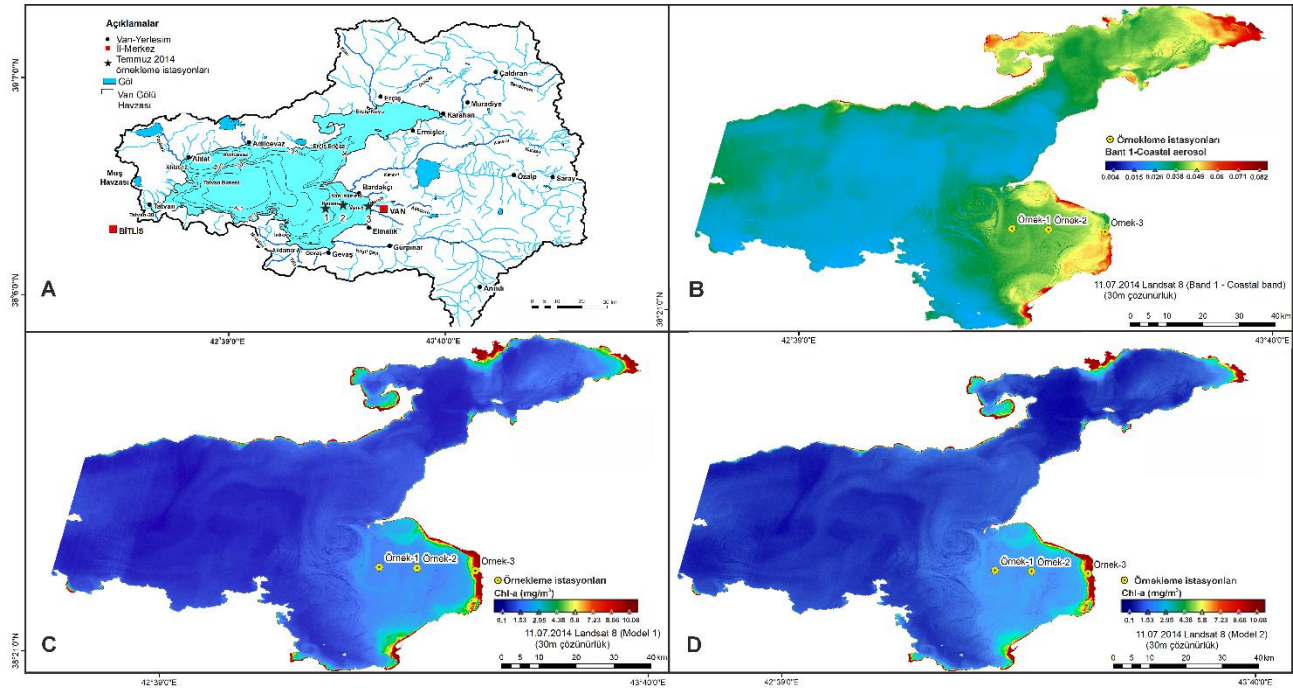
Landsat-8 OLI uydu görüntüsüne uygulanan GrB1 ve GrB2 algoritmalarından elde edilen klorofil-a tahmin değerleri $0.1\text{-}10.08 \text{ mg/m}^3$ aralığındadır (Şekil 7b ve 7c). Klorofil-a tahmini için ilgili uydu görüntüsüne iki model (farklı bant kombinasyonu) uygulanarak klorofil-a tahmin haritaları üretilmiştir (Şekil 7b ve 7c). Yersel veri olarak üç ölçme noktası kullanılarak ulaşılan bulgular birbiriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, GrB1 ve GrB2 olarak sunulan ampirik modellerin karesel ortalama hatasının 0.1 mg/m^3 'e kadar düştüğü tespit edilmiştir (Tablo 2). Bu durum, örnek sahası ortalama konsantrasyonlarının göl çapındaki ortalama konsantrasyonu temsil ettiğini de göstermektedir. Seçilen oran modelinin doğruluğu karşılaştırmak için de elde edilen konumsal doğrulukların ölçme hatalarının içerisinde kaldığı belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Van Gölü üç farklı lokasyonda ölçülen verileri kullanarak elde edilen klorofil-a tahmin değerleri ile iki farklı mavi-yeşil bant oranı arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan regresyon eğrilerinin uygunluklarını gösteren parametreler

| | Eşitlik | Üstel |
|--|-----------------------|---------|
| Klorofil-a ve GrB ₁ (Tahmin modelindeki üstel eşitlik; $f(x) = ae^{bx}$ $a = 0.04709$; $b = 4.001$) | r^2 | 0.9993 |
| | $F(1:8)$ | - |
| | p -değeri | - |
| | Sig. (SSE) | 0.01737 |
| | Tahmini standart hata | 0.1318 |
| Klorofil-a ve GrB ₂ (Tahmin modelindeki üstel eşitlik; $f(x) = ae^{bx}$ $a = 0.008155$; $b = 6.081$) | r^2 | 0.9989 |
| | $F(1:8)$ | - |
| | p -değeri | - |
| | Sig. (SSE) | 0.02607 |
| | Tahmini standart hata | 0.1615 |

Uydu verisi ile yersel ölçme verileri kıyaslandığında, Örnek-1, Örnek-2 ve Örnek-3 istasyonlarında 11 Temmuz 2014 tarihine ait Landsat-8 OLI algılayıcısı ile 1.53 mg/m^3 , 2.24 mg/m^3 ve 10 mg/m^3 üzerinde klorofil-a tahmin değerleri tespit edilirken, yersel ölçmeler ile aynı istasyonlarda 8 Temmuz 2014 tarihinde 1.73 mg/m^3 , 1.7 mg/m^3 ve 7.79 mg/m^3 olduğu görülmüştür. 2002 yılında Tablo 1'den de izlendiği üzere, Karasu ve Van İskelesi istasyonlarında 2002 yılı ilkbahar mevsimindeki klorofil-a değerlerinin, 2002 yılında diğer istasyonlarda ölçülenlere göre daha fazladır [41]. Bu çalışmada 11 Temmuz 2014 tarihli uydu verisinden elde edilen bulgulara göre bu lokasyonlara çok yakın istasyonlardan toplanan örneklerin klorofil-a değerleri de birbirine benzerdir (Şekil 7a ve 7b). Gölün doğusundaki bu bölgede klorofil-a değerlerinin fazla çıkmasının nedeni, olasılıkla Karasu akarsuyunun deşarjından kaynaklanmaktadır. Yağmurlarla beraber gelen ve mevsim itibariyle yüksek besin girdisi bulunan bu sulara klorofil-a miktarının yüksek çıkması beklenir [40,41]. Diğer önemli faktör ise Van iline yakın olan lokasyonların olasılıkla İl merkezine ait endüstriyel ve/veya kentsel atık tesislerinin yarattığı organik madde girişinin fazla olmasından dolayı klorofil-a konsantrasyonu bakımından zengin olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada Van Gölü'ndeki klorofil-a konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlandığından klorofil-a'nın tahminine yönelik olarak hem Landsat-8 OLI uydu görüntüsü hem de yer ölçmeleri ile çalışılmış ve doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bant oranlaması yöntemi kullanarak oluşturulan görüntü ile tespit edilen klorofil-a değerleri, Landsat-8 OLI çok bantlı uydu görüntüsünün görünür ve yakın-kızılötesi bölgelerdeki dört bantına (mavi, yeşili kırmızı ve yakın kızılötesi) ait dalga boylarının yansımaya ve emilme miktarı ile elde edilmiştir.



Şekil 7. a) Van Gölü ve yakın çevresinin hidroloji haritası, b) 11 Temmuz 2014 yılına ait Landsat-8 OLI algılayıcısının bant 1 (kıyasal/aerosol) spektral bandına ait görüntüsü, c) Landsat-8 OLI uydu görüntüsüne GrB1 ve d) GrB2 ampirik modeller uygulanarak üretilen klorofil-a tahmin haritaları

Göllerde genellikle ötrofikasyon ve organik madde üretimi çok fazla olmasına rağmen Van Gölü'nde tespit edilen durum görece daha az olduğunu göstermektedir. Van Gölü'nün 11 Temmuz 2014 tarihli Landsat-8 OLI uydu görüntüsü ile elde edilen klorofil-a haritası izlendiği Model 1 ve Model 2 kullanılarak elde edilen klorofil-a tahmin değerleri $0.10-10.08 \text{ mg/m}^3$ aralığındadır (Şekil 7b ve 7c). İki model arasında belirgin fark izlenmemektedir. Uydu görüntüsünde, klorofil-a yoğunlaşmalarının gölün doğu kıyılarında daha fazla olduğu görülmüştür. Buna göre, en yüksek klorofil-a değerleri kuzeydoğuda Muradiye-Karahan ve kuzeyde de Erciş

Koyu ve doğuda Van ili bölgelerinde izlenmiştir (Şekil 7). Yüksek mekânsal çözünürlükte (30 m) hazırlanan tematik haritalarda göldeki yüzey akıntı ve Örnek 1 açıklarında girdapların da iyi izlendiği görülmüştür (Şekil 7b ve 7c). Ayrıca, göldeki akıntı yönlerine bakıldığında, gölün güneydoğusunda yer alan Gevaş'tan başlayan akarsu girdisi, saat yönünün tersine hareket ederek Van'a doğru ilerlemektedir (Şekil 7). Kuzeydoğu 'da Muradiye civarında gölü kuzeyden besleyen önemli akarsular (Zilan, Deliçay ve Bendimahi) bulunmaktadır (Şekil 7a). Özellikle bu bölgede Muradiye ve Erçiş civarındaki nehir suyu etkisinin yüksek klorofil-a değerleri gözlenirken, gölün güneydoğusunda yer alan Adilcevaz ve Tatvan civarında bu etkinin oldukça az olduğu görülmüştür (Şekil 7b ve 7c).

11 Temmuz 2014 yılına ait Landsat-8 OLI algılayıcısının bant 1 (kıyasal/aerosol) spektral bantına ait görüntüsü incelendiğinde klorofil-a değerlerinin en düşük olduğu değerler (0.1-1.5 mg/m³) Van Gölü'nün güneybatı kısmında yer alan Tatvan Havzası'nda (-450 m) izlenmektedir (Şekil 7b). Su derinliğinin yüzey klorofil-a değerlerine olan etkileri önceki araştırmalarda da değinilmiştir. Örneğin, Arap ve Umman Körfezlerinde MODIS Aqua uydu algılayıcısı kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada, klorofil-a değerleri ile su derinliği arasında negatif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir [84]. Van Gölü'ndeki OLI algılayıcısı ile elde edilen en düşük klorofil-a değerlerinin batimetriye bağlı dip yansıma etkisinden kaynaklanması muhtemeldir (Şekil 7b).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Van Gölü klorofil-a konsantrasyon dağılımları literatürde yer alan ölçme verileri kullanılarak CBS (IDW metodu) ve uzaktan algılama (Landsat-8 OLI algılayıcısı) metotları kullanılarak modellenmiştir. Van Gölü'nde klorofil-a ölçme verilerinin oldukça kısıtlı olduğu gözlenmiştir. 1983-84 ve 2002 yıllarına ait klorofil-a verileri IDW metodu kullanılarak mekânsal olarak incelenmiştir. 1983-84 ve 2002 yersel verileri içeren uydu görüntülerine ait veri tabanlarında klorofil-a konsantrasyonunda yaygın kullanılan hiçbir algılayıcıda bu yıllara ait uygun veri seti bulunmamıştır. 2014 yılına ait Landsat-8 OLI uydu görüntüsünden GrB1 ve GrB2 olarak adlandırılan algoritmalar kullanılarak klorofil-a tahmin değerleri bulunmuştur. Az sayıdaki 2014 yılı klorofil-a ölçmelerinin IDW metoduyla yapılan incelemede uygun olmadığı tespit edilmiştir. Klorofil-a yoğunlaşmalarının kuzeyde Erçiş kuzeydoğuda Muradiye-Karahan, doğuda Van İli ve güneydoğuda Gevaş ve İnköy açıklarında gölün batısına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kullanılan iki metot kıyaslandığında, uydu verisi ile elde edilen klorofil-a konsantrasyon değerleri, sınırlı veri seti olmasına rağmen gölün genelindeki temsiliyeti yeterli doğrulukta ve yüksek çözünürlükte elde edilebilmiştir. CBS'de IDW metodu ile gölün geneline yönelik temsiliyet için geniş bir istasyon dağılımı gereklidir. Bu çalışmadaki uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak uygulanan modeller takip edilerek önemli bir su kalitesi parametresi olan klorofil-a konsantrasyonlarının Van Gölü'ndeki zamansal ve mekânsal değişimlerinin incelenmesi tavsiye edilir.

Yazar Katkıları

İkinci yazar projeyi yönetmiştir. Her iki yazar kavramsal fikirleri tasarlamış ve teorik çerçeveyi geliştirmiştir. İkinci yazar, saha çalışmaları ile klorofil-a deneylerini gerçekleştirmiş ve birinci yazar da CBS ve uydu görüntülerinin analizini planlamış ve tasarlamıştır. Birinci yazar ve ikinci yazar bu çalışmanın bulgularını denetlemiştir. Birinci yazar, makaleyi yazmış ve temel şekil ve grafikleri hazırlamıştır. İkinci yazar makaleyi gözden geçirmiş, çalışmanın analizlerini yorumlamış ve makalenin son haline getirilmesini sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar hiçbir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Van Gölü 2014 seferi verileri, Avrupa Birliği Marie Curie Cofund 'Environmental impacts of subaerial volcanic eruptions on alkaline lakes—A case study on Lake Van in eastern Turkey (EVOLVAN)' başlıklı projesi ve TÜBİTAK 112C001 nolu proje desteği ile elde edilmiştir. Van Gölü batimetri verileri için Dr. Deniz Çukur'a ve ICDP PaleoVan Projesi ekibine de teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] A. Reimer, G. Landmann, S. Kempe, *Lake Van, Eastern Anatolia, hydrochemistry and history*, Aquatic Geochemistry 15 (1–2) (2009) 195–222.
- [2] S. Kempe, J. Kazmierczak, G. Landmann, T. Konuk, A. Reimer, A. Lipp, *Largest known microbialites discovered in Lake Van, Turkey*, Nature 349 (6310) (1991) 605–608.
- [3] L. Daoji, D. Daler, *Ocean pollution from land-based sources: East China Sea, China*, Ambio 33 (1/2) (2004) 107–113.
- [4] S. Garrido, R. Ben-Hamadou, P. B. Oliveira, M. E. Cunha, M. A. Chícharo, C. D. Van Der Lingen, *Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: Correlation with satellite-derived chlorophyll data*, Marine Ecology Progress Series 354 (2008) 245–256.
- [5] N. Olgun, S. Duggen, B. Langmann, M. Hort, C. F. Waythomas, L. Hoffmann, P. Croot, *Geochemical evidence of oceanic iron fertilization by the Kasatochi volcanic eruption in 2008 and the potential impacts on Pacific sockeye salmon*, Marine Ecology Progress Series 488 (2013) 81–88.
- [6] A. Tuzcu Kokal, N. Olgun, N. Musaoğlu, *Detection of mucilage phenomenon in the Sea of Marmara by using multi-scale satellite data*, Environmental Monitoring and Assessment 194 (585) (2022) 194–585.
- [7] X. M. Chuai, X. Chen, L. Yang, J. Zeng, A. Miao, H. Zhao, *Effects of climatic changes and anthropogenic activities on lake eutrophication in different ecoregions*, International Journal of Environmental Science and Technology 9 (2012) 503–514.
- [8] M. Nazari-Sharabian, S. Ahmad, M. Karakouzian, *Climate change and eutrophication: A short review*, Engineering, Technology and Applied Science Research 8 (6) (2018) 3668–3672.
- [9] B. Bardakcı Şener, E. M. Tıraşın, A. Ünlüoğlu, *The influence of lake level fluctuations on fisheries in Lake Van*, Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research, 7 (2) (2021) 157–165.
- [10] O. Holm-Hansen, M. Kahru, C. D. Hewes, S. Kawaguchi, T. Kameda, V. A. Sushin, I. Krasovski, J. Priddle, R. Korb, R. P. Hewitt, B. G. Mitchell, *Temporal and spatial distribution of chlorophyll-a in surface waters of the Scotia Sea as determined by both shipboard measurements and satellite data*, Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 51 (12-13) (2004) 1323–1331.
- [11] X. J. Wang, R. M. Liu, *Spatial analysis and eutrophication assessment for chlorophyll a in Taihu Lake*, Environmental Monitoring and Assessment 101 (1–3) (2005) 167–174.
- [12] A. Abdul-Hadi, S. Mansor, B. Pradhan, C. K. Tan, *Seasonal variability of chlorophyll-a and oceanographic conditions in Sabah waters in relation to Asian monsoon - A remote sensing study*, Environmental Monitoring and Assessment 185 (5) (2013) 3977–3991.

- [13] C. Giardino, M. Bresciani, D. Stroppiana, A. Oggioni, G. Morabito, *Optical remote sensing of lakes: An overview on Lake Maggiore*, *Journal of Limnology* 73 (1) (2014) 201–214.
- [14] N. T. T. Ha, K. Koike, M. T. Nhuan, B. D. Canh, N. T. P. Thao, M. Parsons, *Landsat 8/OLI Two bands ratio algorithm for chlorophyll-a concentration mapping in hypertrophic waters: An application to west lake in Hanoi (Vietnam)*, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 10 (11) (2017) 4919–4929.
- [15] R. C. Trinh, C. G. Fichot, M. M. Gierach, B. Holt, N. K. Malakar, G. Hulley, J. Smith, *Application of Landsat 8 for monitoring impacts of wastewater discharge on coastal water quality*, *Frontiers in Marine Science* 4 (2017) 17 pages.
- [16] C. Cheng, Y. Wei, G. Lv, N. Xu, *Remote sensing estimation of chlorophyll-a concentration in Taihu Lake considering spatial and temporal variations*, *Environmental Monitoring and Assessment* 191 (84) (2019) 25 pages.
- [17] R. W. Johnson, R. C. Harriss, *Remote sensing for water quality and biological measurements in coastal waters*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 46 (1) (1980) 77–85.
- [18] J. P. Verdin, *Monitoring water quality conditions in a large Western reservoir with Landsat imagery (USA)*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 51 (3) (1985) 343–353.
- [19] A. G. Dekker, S. W. M. Peters, *The use of the thematic mapper for the analysis of eutrophic lakes: A case study in the Netherlands*, *International Journal of Remote Sensing* 14 (5) (1993) 799–821.
- [20] M. Mayo, A. Gitelson, Y. Z. Yacobi, Z. Ben-Avraham, *Chlorophyll distribution in Lake Kinneret determined from Landsat Thematic Mapper data*, *International Journal of Remote Sensing* 16 (1) (1995) 175–182.
- [21] R. K. Vincent, X. Qin, R. M. L. McKay, J. Miner, K. Czajkowski, J. Savino, T. Bridgeman, *Phycocyanin detection from LANDSAT TM data for mapping cyanobacterial blooms in Lake Erie*, *Remote Sensing of Environment* 89 (3) (2004) 381–392.
- [22] A. N. Tyler, E. Svab, T. Preston, M. Présing, W. A. Kovács, *Remote sensing of the water quality of shallow lakes: A mixture modeling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment*, *International Journal of Remote Sensing* 27 (8) (2006) 1521–1537.
- [23] T. P. Albright, D. J. Ode, *Monitoring the dynamics of an invasive emergent macrophyte community using operational remote sensing data*, *Hydrobiologia* 661 (1) (2011) 469–474.
- [24] J. Andrzej Urbanski, A. Wochna, I. Bubak, W. Grzybowski, K. Lukawska-Matuszewska, M. Łącka, S. Śliwińska, B. Wojtasiewicz, M. Zajączkowski, *Application of Landsat 8 imagery to regional-scale assessment of lake water quality*, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 51 (2016) 28–36.
- [25] J. Boucher, K. C. Weathers, H. Norouzi, B. Steele, *Assessing the effectiveness of Landsat 8 chlorophyll-a retrieval algorithms for regional freshwater monitoring*, *Ecological Applications* 28 (4) (2018) 1044–1054.
- [26] J. Lim, M. Choi, *Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea*, *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (2015) Article Number 384 17 pages.
- [27] A. P. Yunus, J. Dou, N. Sravanthi, *Remote sensing of chlorophyll-a as a measure of red tide in Tokyo Bay using hotspot analysis*, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 2 (2015) 11–25.
- [28] F. S. Y. Watanabe, E. Alcântara, T. W. P. Rodrigues, N. N. Imai, C. C. F. Barbosa, L. H. da S. Rotta, *Estimation of chlorophyll-a concentration and the trophic state of the barra bonita hydroelectric reservoir using Landsat-8/OLI images*, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (9) (2015)

10391–10417.

- [29] Z. Yang, Y. Anderson, *Estimating chlorophyll-A concentration in a freshwater lake using landsat 8 imagery*, Journal of Environment and Earth Science 6 (4) (2016) 134–142.
- [30] Y. M. Li, J. Z. Huang, Y. C. Wei, W. N. Lu, *Inversing chlorophyll concentration of Taihu Lake by analytic model*, Journal of Remote Sensing-Beijing 10 (2) (2006) 2–4.
- [31] R. P. Bukata, J. E. Bruton, J. H. Jerome, S. C. Jain, H. H. Zwick, *Optical water quality model of Lake Ontario 2: Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors*, Applied Optics 20 (9) (1981) 1704–1714.
- [32] K. Kallio, T. Kutser, T. Hannonen, S. Koponen, J. Pulliainen, J. Vepsäläinen, T. Pyhälähti, *Retrieval of water quality from airborne imaging spectrometry of various lake types in different seasons*, Science of the Total Environment 268 (1–3) (2001) 59–77.
- [33] A. A. Gilerson, A. A. Gitelson, J. Zhou, D. Gurlin, W. Moses, I. Ioannou, S. A. Ahmed, *Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near-infrared bands*, Optics Express 18 (23) (2010) 24109–24125.
- [34] N. T. T. Ha, K. Koike, M. T. Nhuan, *Improved accuracy of chlorophyll-a concentration estimates from MODIS Imagery using a two-band ratio algorithm and geostatistics: As applied to the monitoring of eutrophication processes over Tien Yen Bay (Northern Vietnam)*, Remote Sensing 6 (1) (2013) 421–442.
- [35] F. Zhang, J. Li, Q. Shen, B. Zhang, C. Wu, Y. Wu, G. Wang, S. Wang, Z. Lu, *Algorithms and schemes for chlorophyll-a estimation by remote sensing and optical classification for turbid lake Taihu, China*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 8 (1) (2015) 350–364.
- [36] T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, J. Chipman, *Remote sensing and image interpretation*, 7th edition, Wiley Company, United States, 2015.
- [37] M. H. Gholizadeh, A. M. Melesse, L. Reddi, *A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques*, Sensors 16 (8) (2016) 1298 43 pages.
- [38] D. G. George, *The airborne remote sensing of phytoplankton chlorophyll in the lakes and tarns of the English Lake District*, International Journal of Remote Sensing 18 (9) (1997) 1961–1975.
- [39] R. M. Liu, X. J. Wang, C. H. Wang, Y. C. Jiang, X. W. Zhou, *Application of geo-statistics in studying spatial distribution of chlorophyll a in lakes*, Agro-environment Protection 20 (5) (2001) 308–310.
- [40] S. Tuğrul, G. Dumlu, A. Baştürk, C. İlhal, T. Balkaş, *Van Gölü özümleme kapasitesinin saptanması ve evsel nitelikli atıksu arıtımı ve deşarjı optimizasyonu*. Gebze-Kocaeli: TÜBİTAK-MAM ve İller Bankası Genel Müdürlüğü (0730018301) Yayın Numarası 145 (1984) 183 pages.
- [41] M. Cüreoğlu, *Van Gölü yüzey sularında klorofil-a değişiminin seaWIFS görüntüleri ve yer ölçümleri ile izlenmesi*, Master's Thesis Van Yüzüncü Yıl University (2002) Van.
- [42] D. Cukur, S. Krastel, H. U. Schmincke, M. Sumita, Y. Tomonaga, M. N. Çağatay, *Water level changes in Lake Van, Turkey, during the past ca. 600 ka: climatic, volcanic and tectonic controls*, Journal of Paleolimnology 52 (3) (2014) 201–214.
- [43] M. Şenel, T. Ercan, 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Van paftası, 2nd Edition, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2002.
- [44] M. Stockhecke, F. S. Anselmetti, A. F. Meydan, D. Odermatt, M. Sturm, *The annual particle cycle in Lake Van (Turkey)*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 333–334 (2012) 148–159.
- [45] F. Barlas Şimşek, M. N. Çağatay, *Late Holocene high-resolution multi-proxy climate and environmental records from Lake Van, eastern Turkey*, Quaternary International 486 (2018) 57–72.

- [46] M. N. Çağatay, N. Öğretmen, E. Damcı, M. Stockhecke, Ü. Sancar, K. K. Eriş, S. Özeren, *Lake level and climate records of the last 90 ka from the Northern Basin of Lake Van, eastern Turkey*, Quaternary Science Reviews 104 (2014) 97–116.
- [47] T. Litt, N. Pickarski, G. Heumann, M. Stockhecke, P. C. Tzedakis, *A 600,000-year long continental pollen record from Lake Van, eastern Anatolia (Turkey)*, Quaternary Science Reviews 104 (2014) 30–41.
- [48] E. Damcı, M. N Çağatay, *Chronological evolution of some morphological, tectonic and volcanic features in Lake Van, based on correlation of seismic and core data*, Quaternary International 486 (2018) 29–43.
- [49] A. Turan, A. Aldemir, *Statistical assessment of seasonal variations in water quality for different regions in Lake Van (Türkiye)*, Environmental Monitoring and Assessment 195 (2023) Article Number 237 18 pages.
- [50] N. Olğun Kıyak, M. N. Çağatay, *Environmental impacts of subaerial volcanic eruptions on alkaline lakes – A case study on Lake Van in eastern Turkey (EVOLVAN)*. TÜBİTAK (European Commission 7th Framework Programme funded Project-Marie Curie 2236 Co-funded Brain Circulation Scheme) TÜBİTAK (112C001) (2015).
- [51] E. T. Degens, H. K. Wong, S. Kempe, F. Kurtman, *A geological study of lake van, Eastern Turkey*, Geologische Rundschau 73 (2) (1984) 701–734.
- [52] M. Keskin, *Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey*, Geophysical Research Letters 30 (24) (2003) 8046 4 pages.
- [53] A. M. C. Şengör, M. S. Özeren, M. Keskin, M. Sakiç, A. D. Özbakir, I. Kayan, *Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens*, Earth Science Reviews 90 (1-2) (2008) 1–48.
- [54] O. Tüysüz, Ş. C. Genç, U. Tarı, *Van depremi kör bindirme fayının kırılmasının bir sonucu*, Cumhuriyet Bilim Teknoloji Gazetesi 1285 (2011) 10–11.
- [55] F. Arikan, M. N. Deviren, O. Lenk, U. Sezen, O. Arikan, *Observed Ionospheric Effects of 23 October 2011 Van, Turkey Earthquake*, Geomatics, Natural Hazards, and Risk, 3 (1) (2012) 1–8.
- [56] A. Sağlam Selçuk, *Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey*, Geomorphology 270 (2016) 9–21.
- [57] M. Kadioğlu, Z. Şen, E. Batur, *The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change*, Annales Geophysicae 15 (11) (1997) 1489–1497.
- [58] G. Landmann, A. Reimer, S. Kempe, *Climatically induced lake level changes at Lake Van, Turkey, during the Pleistocene/Holocene transition*, Global Biogeochemical Cycles 10 (4) (1996) 797–808.
- [59] S. Kempe, G. Landmann, G. Müller, *A floating varve chronology from the last glacial maximum terrace of Lake Van (Turkey)*, Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 126 (2002) 97–114.
- [60] C. Kuzucuoglu, A. Christol, D. Muralis, A. F. Dogu, E. Akköprü, M. Fort, D. Brunstein, H. Zorer, M. Fontugne, M. Karabiyikoğlu, S. Scaillet, J. L. Reyss, H. Guillou, *Formation of the Upper Pleistocene terraces of Lake Van (Turkey)*, Journal of Quaternary Science 25 (7) (2010) 1124–1137.
- [61] R. Nagalakshmi, K. Prasanna, S. Prakash Chandar, *Water quality analysis using GIS interpolation method in Serthalaikadu Lagoon, east coast of India*, Rasayan Journal of Chemistry 9 (4) (2016) 634–640.
- [62] E. Y. Wardani, Y. Wardiatno, S. B. Agus, *Spatial distribution and biophysics chemistry characterization of Pearl Oyster farming in Semau Strait, East Nusa Tenggara*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 54 (2017) 012069 10 pages.

- [63] M. Küçükönder, E. Kalkan, K. Cırık, *Kılavuzlu baraj gölü (Kahramanmaraş) su kalitesi ve Kanada su kalite indeksi sınıfı*, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1) (2022) 118–142.
- [64] D. Zimmerman, C. Pavlik, A. Ruggles, M. P. Armstrong, *An experimental comparison of ordinary and universal kriging and inverse distance weighting*, *Mathematical Geology* 31 (4) (1999) 375–390.
- [65] J. Li, L. Tian, Y. Wang, S. Jin, T. Li, X. Hou, *Optimal sampling strategy of water quality monitoring at high dynamic lakes: A remote sensing and spatial simulated annealing integrated approach*, *Science of the Total Environment* 777 (2021) 146113 14 pages.
- [66] E. Kim, S. H. Nam, C. H. Ahn, S. Lee, J. W. Koo, T. M. Hwang, *Comparison of spatial interpolation methods for distribution map an unmanned surface vehicle data for chlorophyll-a monitoring in the stream*, *Environmental Technology & Innovation* 28 (2022) 102637 11 pages.
- [67] M. G. Allan, D. P. Hamilton, B. Hicks, L. Brabyn, *Empirical and semi-analytical chlorophyll-a algorithms for multi-temporal monitoring of New Zealand lakes using Landsat*, *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (2015) Article Number 364 24 pages.
- [68] K. Blix, K. Pálffy, V. R. Tóth, T. Eltoft, *Remote sensing of water quality parameters over Lake Balaton by using Sentinel-3 OLCI*, *Water* 10 (10) (2018) 1428 20 pages.
- [69] A. C. Blanco, A. Manuel, R. Jalbuena, K. Ticman, J. M. Medina, E. Gubatanga, A. Santos, R. Sta. Ana, E. Herrera, K. Nadaoka, *Estimation of Chl-a concentration in Laguna Lake using Sentinel-3 OLCI images*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42 (2020) 17–21.
- [70] C. D. Mobley, *Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements*, *Applied Optics* 38 (36) (1999) 7442–7455.
- [71] C. Giardino, M. Pepe, P. A. Brivio, P. Ghezzi, E. Zilioli, *Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery*, *Science of The Total Environment* 268 (1-3) (2001) 19–29.
- [72] S. A. C. Nelson, P. A. Soranno, K. S. Cheruvilil, S. Batzli, D. Skole, *Regional assessment of lake water clarity using satellite remote sensing*, *Journal of Limnology* 62 (Suppl. 1) (2003) 27–32.
- [73] H. Wang, D. Zhao, L. Wang, F. Huang, *Advance in remote sensing of water quality*, *Marine Environmental Science* 31 (2) (2012) 285–288.
- [74] X. Wang, W. Yang, *Water quality monitoring and evaluation using remote-sensing techniques in China: A systematic review*, *Ecosystem Health and Sustainability* 5 (1) (2019) 47–56.
- [75] A. Morel, L. Prieur, *Analysis of variations in ocean color*, *Limnology and Oceanography* 22 (1977) 709–722.
- [76] H. R. Gordon, A. Y. Morel, *Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery*, Springer-Verlag, New York, 1983.
- [77] K. L. Carder, F. R. Chen, Z. Lee, S. K. Hawes, J. P. Cannizzaro, *MODIS Ocean Science Team Algorithm Theoretical Basis Document: Case 2 Chlorophyll-a*, University of South Florida (2003) Florida.
- [78] J. Blaustein, *The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: Relationships of its magnitude and position with chlorophyll*, *International Journal of Remote Sensing* 13 (17) (1992) 3367–3373.
- [79] H. Luoheng, D. C. Rundquist, *Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: A case study in a turbid reservoir*, *Remote Sensing of Environment* 62 (3) (1997). 253–261.
- [80] J. F. Schalles, Y. Z. Yacobi, *Remote detection and seasonal patterns of phycocyanin, carotenoid and*

chlorophyll pigments in eutrophic waters, *Ergebnisse Der Limnologie* 55 (2000) 153–168.

[81] G. Yu, W. Yang, B. Matsushita, R. Li, Y. Oyama, T. Fukushima, *Remote estimation of chlorophyll-a in inland waters by a NIR-red-based algorithm: Validation in Asian Lakes*, *Remote Sensing* 6 (4) (2014) 3492–3510.

[82] D. C. Pierson, N. Strömbeck, *A modeling approach to evaluate preliminary remote sensing algorithms: Use of water quality data from Swedish great lakes*, *Geophysica* 36 (1–2) (2000) 177–202.

[83] J. F. Schalles, *Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll-a concentrations in coastal waters with varying suspended matter and C_{dom} concentrations*, *Remote Sensing and Digital Image Processing* 9 (2006) 27–79.

[84] K. A. Hussein, K. Al Abdouli, D. T. Ghebreyesus, P. Petchprayoon, N. O. Al Hosani, H. Sharif, *Spatiotemporal variability of chlorophyll-a and sea surface temperature, and their relationship with bathymetry over the coasts of UAE*, *Remote Sensing* 13 (13) (2021) 2447–25 pages.