



Research Article

A Study on Monitoring of Chlorophyll-a Level by Remote Sensing

Mustafa Akgün¹ *

¹ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: mustafaakgun@ardahan.edu.tr

Received: 19 April 2023; Accepted: 14 June 2023; Published: 30 June 2023

Abstract: In this study, the chlorophyll-a level of the part of the Kura river within the borders of Ardahan city center was determined and a chlorophyll-a map was made with the support of Göktürk-2 satellite imagery. Detection and monitoring of chlorophyll-a, which is an important parameter among water quality criteria, plays a very decisive role in the protection and management of water resources. Conventional determination of chlorophyll-a levels in lakes and streams is a time-consuming and laborious method that requires on-site sampling. For this purpose, on 30 August 2016, samples were taken from 5 suitable points for the study and the chlorophyll-a levels of these samples were determined. In addition, NDVI analysis was carried out using the infrared and red bands of the image taken from the Göktürk-2 satellite on the same date. Thus, the chlorophyll-a map of the Kura river was created. In addition, regression analysis was performed between the pixel values of the chlorophyll-a map and the results of the chlorophyll-a value obtained from the field studies and gave acceptable results. The predictive coefficient (R^2) of the regression analysis was found to be 0.95, which is a high value.

Keywords: remote sensing, chlorophyll-a, Göktürk-2, Kura river

Araştırma Makalesi

Uzaktan Algılama ile Klorofil-a İzlenmesi Üzerine Bir Çalışma

Öz: Bu çalışmada, Kura nehrinin Ardahan il merkezi sınırları içerisinde bulunan kısmının klorofil-a düzeyinin belirlenip Göktürk-2 uydu görüntüsü desteği ile klorofil-a haritası yapılmıştır. Su kalitesi kriterlerinden önemli bir parametre olan klorofil-a'nın tespiti ve izlenmesi su kaynaklarının korunması ve yönetilmesi konusunda oldukça belirleyici rol oynamaktadır. Göllerin ve akarsuların klorofil-a seviyelerinin geleneksel tespiti, yerinde örnekleme gerektiren, zaman alıcı ve zahmetli bir yöntemdir. Bu amaçla 30 Ağustos 2016 tarihinde olmak üzere çalışma için uygun 5 noktadan numune alınmış ve alınan bu numunelerin klorofil-a düzeyleri belirlenmiştir. Ayrıca Göktürk-2 uydusundan aynı tarihte alınan görüntünün kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak NDVI analizi yapılmıştır. Böylece Kura nehrinin klorofil-a haritası oluşturulmuştur. Ayrıca oluşturulan klorofil-a haritasının piksel değerleri ile saha çalışmalarından elde edilen klorofil-a değeri sonuçları arasında regresyon analizi yapılmış ve kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Yapılan regresyon analizinin belirleyicilik katsayısı (R^2) yüksek bir değer olan 0.95 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: uzaktan algılama, klorofil-a, Göktürk-2, Kura nehri

Citation: M. Akgün, "A Study on Monitoring of Chlorophyll-a Level by Remote Sensing", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 1, pp. 41-47, Jun 2023, doi: 10.5281/zenodo.8074879

1. Giriş

Su kalitesi parametrelerinin uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak izlenmesine dair çalışmalar [1], [2] son zamanlarda popülerlik kazanmıştır. Son dönemlerde uydu görüntülerine erişim eskiye oranla daha kolaylaştığı için uzaktan algılama çalışmaları hızlanmıştır. Bu noktada, çevre kirliliğinin tespiti ve izlenmesi açısından yapılacak analizlerde uzaktan algılama teknolojisi kolay, hızlı ve etkili bir şekilde kullanılabilir [3]–[6]. Uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak renkli organik madde, bulanıklık ve klorofil-a değerleri ölçülebilir. Bu teknoloji, çevre kirliliğinde su kalitesi boyutuna odaklanan çalışmaları incelerken kolaylıkla kullanılmaktadır [7]–[12]. Uzaktan algılama teknolojisi yardımıyla renkli organik madde, bulanıklık ve klorofil-a değerleri gibi su kalitesi parametreleri tespit edilip izlenebilmekte ve böylece arazi çalışmasına gerek kalmadan su kaynaklarının kalitesinin takibi için yapılan çalışmalar uzaktan kolayca yapılabilmektedir. Literatürde uydulardan sağlanan görüntüler neticesinde matematiksel modeller oluşturularak klorofil-a değerinin tahmin edildiği [13]–[15] ve araziden veri toplanmasına gerek duyulmadan su kalitesi ile ilgili somut sonuçların elde edilebildiği çalışmalar mevcuttur.

Uzaktan algılama terimi, cisimlere fiziksel bir temasta olmadan herhangi bir mesafeden o cisim hakkında bilgi edinme sanatı ve bilimi olarak tanımlanabilmektedir [16]. Landsat uydusunun fırlatılması, su kalitesini uzaktan algılama yöntemleriyle belirlemeye yönelik çalışmaların başlangıcı olmuş ve birçok uydu günümüzde de etkin bir biçimde su kaynaklarının izlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır [17]–[19]. Su kalitesinin izlenmesi ve kalitenin düzeyinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda, ışığın görünür bölgedeki bantları (mavi, yeşil ve kırmızı) ve kızılötesi bantlar tekil olarak veya bu bantların farklı bileşimleri olarak kullanılmıştır [10], [20]. Uzaktan algılama teknolojileri mevcut durumun tespitine ek olarak daha eski verilerin işlenmesi yoluyla sürecin nasıl işlediğini ve nasıl ilerlediğini de gösterebilir.

Kirleticiler su kaynaklarına birden fazla yerden karışabilir ve su kaynağının kimyasal özelliklerini ve fiziksel özelliklerini değiştirebilirler. Suyun kalitesini kirleticilerinden başka bozan etkenlerin başlıcaları olarak sıcaklık değişimi, yağışlar, su kaynağının hidrolik özellikleri ve diğer hidrolik süreçleri sayabiliriz [21]. Literatürde uzaktan algılama yöntemleri yardımıyla matematiksel modeller geliştirilmesi ve geliştirilen bu modeller yardımıyla su kaynaklarının yönetilmesine yönelik birçok çalışmaya rastlanılmaktadır [22]–[25].

Suyun çeşitli amaçlar için kullanımı dikkate alındığında su kaynaklarının yönetimi için su kalitesinin tespit edilmesi, kaliteyi en iyi şekilde temsil edecek ölçüm yerlerinin ve su kalitesi parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekir. Klorofil-a önemli bir su kalitesi parametresi olması sebebiyle bu çalışmada seçilmiştir.

Bu çalışma için Kura nehrinin Ardahan ili sınırları içerisinde kalan kısmı seçilmiştir. Nehirdeki klorofil-a düzeyleri ile Göktürk-2 uydu görüntüsünün kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) analizi yapılmış ve klorofil-a sonuçları ile NDVI analizi arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Ardahan ($41^{\circ} 6'46.69''K$, $42^{\circ}42'8.12''D$) il merkezi, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğu kesiminde yer almaktadır ve Karadeniz Bölgesi'ne komşudur. Ardahan, rakım olarak yüksek ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Sahada 3000 m'yi aşan dağlar yer alır. Ardahan Merkez ilçesinin batısında Artvin'in Şavşat ilçesi, kuzeyinde Hanak, doğusunda Çıldır ve güneyinde Göle yer almaktadır. Ardahan'da; kışları soğuk, yazları ılık, her mevsim yağışlı olan nemli orta enlem iklimi hakimdir. Yıllık ortalama sıcaklık $3.8^{\circ}C$ 'dir, yılın 5 ayı sıcaklık ortalaması $0^{\circ}C$ 'nin altında [26] olup çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ardahan ili genel görünümü

2.2. Veri toplama

2.2.1 Uydu görüntüsü verilerinin toplanması

409 kg ağırlığına sahip olan Göktürk-2 uydusu, 18 Aralık 2012 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Uydunun tekrar ziyaret zamanı (uydunun görüntü alınan koordinattan tekrar geçme süresi) ortalama 2.5 gün olup uydu 5 m renkli çözünürlüğe, 2.5 m siyah beyaz çözünürlüğe sahiptir. Göktürk-2 uydusu, mavi (0.422-0.512 μm), yeşil (0.5-0.584 μm), kırmızı (0.596-0.750 μm), yakın kızılötesi (0.762-0.894 μm) ve orta kızılötesi (0.8-1.7 μm) olmak üzere 5 spektral banda sahiptir [27]. Göktürk-2 uydu görüntüleri yalnızca kamu kurum ve kuruluşları ile belediyeler ve üniversitelerle bedelsiz paylaşılmakta. Yerli ve yabancı gerçek ve tüzel kişilere satışı bulunmamaktadır.

30 Haziran 2016 tarihindeki uydu görüntüsü, Türk Hava Kuvvetlerine bağlı Keşif ve Uydu Komutanlığı tarafından sağlandı. Keşif ve Uydu Komutanlığı aynı zamanda Göktürk-2 uydusunun işletilmesini de sağlamaktadır. Bu sebeple görüntülere radyometrik ve atmosferik düzeltme işlemleri de yine Keşif ve Uydu Komutanlığı tarafından yapıldı.

Görüntü işleme için ERDAS Imagine programı 2016 versiyonu kullanıldı ve UTM koordinat sistemine göre konumlandırıldı (WGS84, zone 38). Geometrik düzeltme işlemi için 15 adet yer kontrol noktası belirlendi ve bu noktalara göre yapıldı. Geometrik düzeltme işleminin RMS hatası 1 pikselden daha az olarak elde edildi.

2.2.2 Arazi verilerinin toplanması

Bu araştırmanın çalışma alanı olarak belirlenen Ardahan ili merkezinden harita üzerinden 5 farklı nokta belirlenmiş ve bu noktalardan numune alınması planlanmıştır. Bu plan çerçevesinde; 30 Haziran 2016 tarihinde belirlenen 5 farklı noktadan numune alınmıştır. Klorofil-a analizi için alınan numuneler vakit kaybedilmeden laboratuvara getirilmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı tarihte alınan uydu görüntüsü ile kura nehri klorofil-a haritasının hazırlanmasında kullanılmıştır. Tablo 1 de Kura nehrinden alınan su numunelerinin koordinatları ve Şekil 2'de numunelerin yerleri gösterilmektedir. Numuneler nehrinden alınırken su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metodları tebliğinin ilgili hükümleri gereğince alınmıştır [28].

Tablo 1. Kura nehrinden alınan su numunelerinin koordinatları

İstasyon	Koordinatlar	
	Enlem	Boylam
1	41° 7'21.28"K	42°43'36.26"D
2	41° 4'9.98"K	42°28'58.79"D
3	41° 6'4.52"K	42°40'5.70"D
4	41° 6'17.58"K	42°40'54.41"D
5	41° 6'54.37"K	42°42'0.07"D



Şekil 2. Alınan su numunelerin konumu

2.3. Veri Analizi

2.3.1. Görüntü İşleme

Geometrik olarak düzeltilmiş görüntülerde, tek bir bantın aynı olgu için farklı yansıma değerlerinin etkisinin azaltılması için bant oranlaması kullanılmıştır. Bantların oranlanmasıyla aynı olguya ait iki farklı yansıma değer arasında bir ilişki kurulabilmekte ve verinin işlenerek geliştirilmesi veya daha etkin kullanımı mümkün olabilmektedir [20]. Su kaynaklarının araştırılmasında en çok kullanılan bantlar yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardır. [20]. Göktürk-2 uydusundan alınan görüntünün ilgilenilen kısmının (AOI) elde edilen için ERDAS Imagine yazılımının 2016 sürümü kullanılmıştır. AOI'ler, araziden alınan veriler ile uydu görüntüsü arasında ilişki kurabilmek için uydulardan elde edilen ham görüntülerdeki piksel değerlerinin koordinatlarıdır. Su ampirik model yaklaşımı olarak bilinen, yansıma değerlerinden elde edilen değerlere göre geliştirilen modeller ile kirletici maddelerin sudaki miktarları belirlenebilmektedir [10]. Klorofil-a değeri haritaları NDVI analizi ile oluşturulmuştur.

2.3.2 İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz IBM SPSS Statistics 25 yazılımı kullanılarak yapıldı. Klorofil-a değeri bağımsız değişken olarak ve Göktürk-2 uydu görüntüsünün kızılötesi bandı ve kırmızı bandından elde edilen NDVI değeri ise bağımlı değişken olarak belirlendi ve bu iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Doğrusal regresyon analizi yapılırken %95 güven aralığı dikkate alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Klorofil-a değerlerine yönelik bulgular

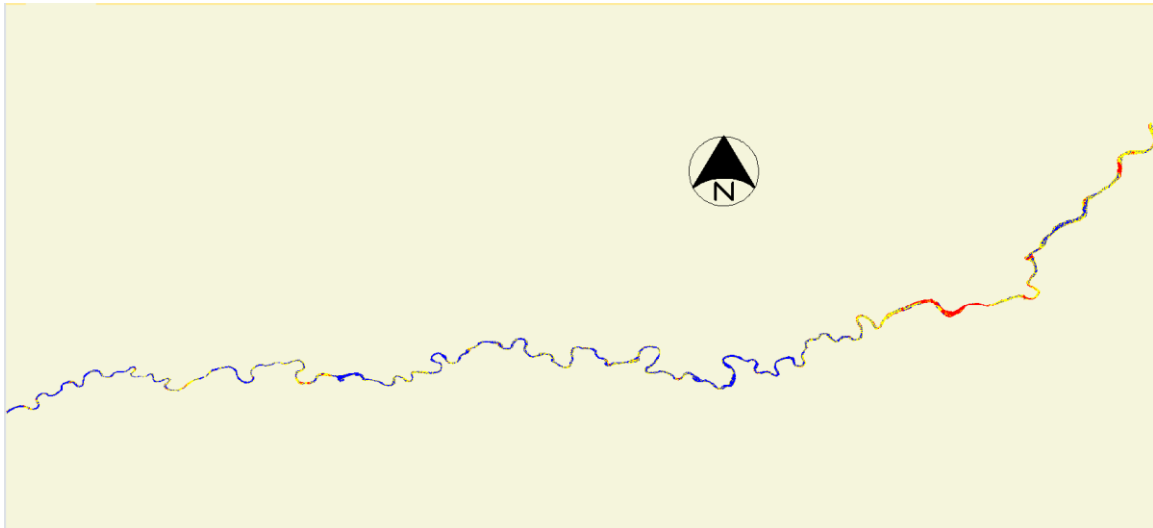
Tablo 2 de Kura nehrinden önceden belirlenen noktalardan 30 Haziran 2016 tarihinde alınan örneklerle klorofil-a analizi yapıldı ve sonuçların 2.24 $\mu\text{g/L}$ ile 4.89 $\mu\text{g/L}$ arasında olduğu tespit edildi. Bu sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. 30 Haziran 2016 tarihinde Kura nehrinden alınan su numunelerinin klorofil-a değerleri

İstasyon	30 Haziran 2016
1	3.74
2	2.24
3	4.89
4	4.36
5	2.24

3.2 Klorofil-a haritasının oluşturulması

Klorofil-a'nın genel olarak sudaki organik maddelerden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 3, Kura nehrinin 30 Haziran 2016 tarihli klorofil-a derecesini gösteren tematik bir haritasıdır. Bu haritaların hazırlanmasında NDVI değerleri kullanılmıştır. Klorofil-a haritası üretilirken indeks veya bant kombinasyonları kullanılmasının nedeni; topoğrafya kaynaklı düzensizlikten ya da güneş ışığının gelişinin engellenmesinden kaynaklı, aynı nitelikteki bölgenin değişik aydınlanması sebebiyle gölge faktörünün etkisinin azaltılabilmesidir. Böylece aynı obje için birden fazla yansıma değerleri oluşması önlenmiş olur ve bu olgular arasında bir ilişki kurulabilmesi ya da yetersiz veriyi geliştirmek veya etkin hale getirmek daha olası hale gelir. NDVI sonucunda elde edilen klorofil-a değerleri için üretilen haritada nehrin klorofil-a seviyesi üç sınıfa ayrılmış ve mavi, sarı ve kırmızı renkli olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3.** Kura nehrinin 30 Haziran 2016 tarihli klorofil-a derecesini gösteren haritası

3.3 Doğrusal Regresyon modeli

Bu çalışmada NDVI analiziyle klorofil-a miktarının arasındaki ilişkinin gücünün belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Koordinat değerleri belirlenmiş olan noktalardan alınan numunelerin klorofil-a değerleri sonuçları ile NDVI analizi sonucu üretilen görüntünün belirlenen noktaların koordinatlarından alınan piksel değerleri kıyaslanmıştır. Regresyon analizi yapılırken Klorofil-a değerleri bağımlı değişken, NDVI görüntüsünün ilgili koordinattaki piksel değeri ise bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Klorofil-a değeri ile NDVI analizi sonuçları arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) 0.95 olarak bulunmuş ve bu değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Klorofil-a Regresyon Denklemi ve Katsayı Değerleri

R	R^2	Adj. R^2	Std. Hata
0.982	0.963	0.951	0.01096

4. Sonuç

Bu çalışma, Kura nehrindeki klorofil-a değeri ile Göktürk-2 uydusunun kızılötesi ve kırmızı bantları kullanılarak yapılan NDVI analizi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlardan Göktürk-2 uydusuna ait görüntülerin kızılötesi ve kırmızı bantları ile Kura nehrindeki klorofil-a miktarının belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kura nehrindeki klorofil-a değerleri istasyon bazında karşılaştırıldığında, nehrin kenarındaki köyden karışan organik atık nedeniyle 3 numaralı istasyonun ve şehirden karışan atık nedeniyle 4 numaralı istasyonun klorofil- a miktarının diğer istasyonlara oranla daha yüksek çıktığı görülmektedir. Şehirden uzaklaşılıdıkça kanalizasyondan gelen organik atıkların seyrelmesinden ve başka organik atık karışmamasından dolayı klorofil-a miktarının azaldığı görülmektedir.

Kış mevsiminde yağın nehrin kenarlarına ait piksel değerlerinin yansıma değerlerini etkilemesi ve nehrin yüzeyinin buz tutması, sonbahar ve kış mevsimlerinde havanın bulutlu, sık yağışlı olması sebebiyle bu dönemlerde uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bir çalışma yapılması zorlaşmaktadır. İleriki çalışmalarda uzaktan algılama teknikleriyle desteklenen çalışmalarda farklı su kalitesi parametrelerinin incelenmesi ile yüzey suyu kalitesinin izlenmesinde kolaylık sağlayacak bir alternatif olduğu söylenebilir.

Kaynakça

- [1] K. Toming, T. Kutser, A. Laas, M. Sepp, B. Paavel, and T. Nõges, "First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 8, pp. 1–14, 2016, doi: 10.3390/rs8080640.
- [2] C. Zuccari Fernandes Braga, A. W. Setzer, and L. Drude de Lacerda, "Water quality assessment with simultaneous Landsat-5 TM data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil," *Remote Sens. Environ.*, vol. 45, no. 1, pp. 95–106, Jul. 1993, doi: 10.1016/0034-4257(93)90085-C.
- [3] S. Dlamini, I. Nhapi, W. Gumindoga, T. Nhwatiwa, and T. Dube, "Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe," *Phys. Chem. Earth*, vol. 93, pp. 2–11, 2016, doi: 10.1016/j.pce.2016.04.004.
- [4] F. S. Y. Watanabe, E. Alcântara, T. W. P. Rodrigues, N. N. Imai, C. C. F. Barbosa, and L. H. da S. Rotta, "Estimation of chlorophyll-a concentration and the trophic state of the barra bonita hydroelectric reservoir using OLI/landsat-8 images," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 9, pp. 10391–10417, 2015, doi: 10.3390/ijerph120910391.
- [5] J. Zhang, T. Zou, and Y. Lai, "Novel method for industrial sewage outfall detection: Water pollution monitoring based on web crawler and remote sensing interpretation techniques," *J. Clean. Prod.*, vol. 312, no. June 2020, p. 127640, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127640.
- [6] Y. Guo *et al.*, "Development and application of a new sensitivity analysis model for the remote sensing retrieval of heavy metals in water," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e12033, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12033.
- [7] P. L. Brezonik, L. G. Olmanson, J. C. Finlay, and M. E. Bauer, "Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters," *Remote Sens. Environ.*, vol. 157, pp. 199–215, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.04.033.
- [8] A. I. Dogliotti, K. G. Ruddick, B. Nechad, D. Doxaran, and E. Knaeps, "A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters," *Remote Sens. Environ.*, vol. 156, pp. 157–168, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.09.020.
- [9] J. L. Wu, C. R. Ho, C. C. Huang, A. L. Srivastav, J. H. Tzeng, and Y. T. Lin, "Hyperspectral sensing for turbid water quality monitoring in freshwater rivers: Empirical relationship between reflectance and turbidity and total solids," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 12, pp. 22670–22688, 2014, doi: 10.3390/s141222670.
- [10] I. M. Hasmadi and U. Norsaliza, "Analysis of SPOT- 5 Data for Mapping Turbidity Level of River Klang," *Water*, vol. 1, no. 2, pp. 14–18, 2010.
- [11] F. L. Hellweger, W. Miller, and K. S. Oshodi, "Mapping turbidity in the Charles River, Boston using a high-resolution satellite," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 132, no. 1–3, pp. 311–320, 2007, doi: 10.1007/s10661-006-9535-8.
- [12] T. Kutser, D. C. Pierson, K. Y. Kallio, A. Reinart, and S. Sobek, "Mapping lake CDOM by satellite remote sensing," *Remote Sens. Environ.*, vol. 94, no. 4, pp. 535–540, 2005, doi: 10.1016/j.rse.2004.11.009.

- [13] K. W. Abdelmalik, "Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, 2016, doi: 10.1016/j.ejrs.2016.12.002.
- [14] M. Hartnett and S. Nash, "An integrated measurement and modeling methodology for estuarine water quality management," *Water Sci. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 9–19, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.wse.2014.10.001.
- [15] N. Strömbeck and D. C. Pierson, "The effects of variability in the inherent optical properties on estimations of chlorophyll a by remote sensing in Swedish freshwaters," *Sci. Total Environ.*, vol. 268, no. 1–3, pp. 123–137, 2001, doi: 10.1016/S0048-9697(00)00681-1.
- [16] N. K. Sönmez and M. Sarı, "Uzaktan algılama temel prensipleri ve uygulama alanları," *Derim*, vol. 19, no. 2, pp. 16–30, 2002.
- [17] M. Gholizadeh, A. Melesse, and L. Reddi, "A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques," *Sensors*, vol. 16, no. 8, p. 1298, 2016, doi: 10.3390/s16081298.
- [18] R. G. Lathrop and T. M. Lillesand, "Use of thematic mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 52, no. 5, pp. 671–680, 1986.
- [19] T. M. Lillesand, W. L. Johnson, and R. L. Deuell, "Use of landsat data to predict the trophic state of Minnesota lakes," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 49, no. 2, pp. 219–229, 1983, [Online]. Available: http://eserv.asprs.org/PERS/1983journal/feb/1983_feb_219-229.pdf
- [20] Somvanshi.S, Kunwar.P, Singh.N.B, Shukla.S.P, and Pathak.V, "Integrated remote sensing and GIS approach for water quality analysis of Gomti river , Uttar Pradesh," *Int. J. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 62–75, 2012, doi: 10.6088/ijes.2012030131008.
- [21] I. Barut, H. Keskin-Citiroglu, M. Oruc, and A. M. Marangoz, "Determination by Landsat Satellite Imagery to Local Scales in Land and Pollution Monitoring: a Case of Buyuk Melen Watershed (Turkey)," *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 389–404, 2015, doi: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0029.
- [22] C. B. Mouw *et al.*, "Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions," *Remote Sens. Environ.*, vol. 160, pp. 15–30, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2015.02.001.
- [23] S. C. J. Palmer, T. Kutser, and P. D. Hunter, "Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions," *Remote Sens. Environ.*, vol. 157, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1016/j.rse.2014.09.021.
- [24] K. Shi *et al.*, "Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 164, pp. 43–56, Jul. 2015, doi: 10.1016/J.RSE.2015.02.029.
- [25] Z. Zhou and Y. Zhao, "Research on the water quality monitoring system for inland lakes based on remote sensing," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 10, no. PART B, pp. 1707–1711, 2011, doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.268.
- [26] "Wikipedi," 2023. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ardahan>
- [27] V. O. Atak, M. Erdoğan, and A. Yılmaz, "Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri," *Harit. Derg.*, pp. 18–33, 2015.
- [28] *Su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metodlar tebliği*. Türkiye, 2009.