

## AKTAŞ GÖLÜ (ARDAHAN) ÇÖKELLERİNDE BİRİNCİL PALEO-ÜRETİM GÖSTERGELERİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

### *Investigation of The Temporary Change of Primer Paleo-Production Proxies in Lake Aktaş (Ardahan) Sediments*

Serkan KÜKRER

Ardahan Üniversitesi İnsani Bilimler  
ve Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü  
serkankukrer@ardahan.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-6924-3199

Şakir FURAL<sup>1</sup>

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi,  
Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya  
Bölümü  
furalsakir@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1603-2424

Dilek AYKIR

Ardahan Üniversitesi, İnsani  
Bilimler ve Edebiyat Fakültesi,  
Coğrafya Bölümü  
dilekaykir@ardahan.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-2748-4055

(Teslim: 8 Eylül 2021; Düzeltme: 10 Kasım 2021; Kabul: 11 Kasım 2021)  
(Received: September 8, 2021; Revised: November 10, 2021; Accepted: November 11, 2021)

### Abstract

Aktaş Lake is a wetland of tectonic origin, located on the Turkey-Georgia border, covering a surface area of 25.5 km<sup>2</sup>. The aim of this study is to analyze the temporal changes of nitrogen, total organic carbon (TOC), chlorophyll degradation products (CDP), biogenic silica (BSi) concentrations in Aktaş Lake and to evaluate the risk of eutrophication and algae bloom by examining the relationships between the palaeoclimatic proxies with multivariate statistical analyzes. Within the scope of the study, a 57 cm long core from Aktaş Lake was used. The core was divided into 5 cm slices before analysis. Then, CDP, TOC, total carbon (TC), total inorganic carbon (TIC), BSi and total nitrogen (TN) analyzes were performed. It has been determined that there is a significant increase in CDP and TOC concentration, which represents primary production in wetlands, from the base of the core to the surface. The temporal variation of TN concentration, which is one of the important stimulators of primary production, shows positive trend with those of CDP and TOC. According to these results, it can be said that nitrogen inputs cause increase in primary production in the lake. Unlike CDP, which represents the plant production processes, BSi is suggestive of diatom abundance. The absence of a statistical relationship between these two parameters suggests that the species controlling CDP are groups other than diatoms. C/N ratios reveal that the primary production in the lake is phytoplankton-based. The findings show that the amount of phytoplankton from the past the the present tends to increase in Aktaş Lake, there is an abundance of diatoms in the lake, if nitrogen, organic matter and other nutritional element of anthropogenic origin inflows continue at the same amount, eutrophication problems may arise in the coming years due to of the algae growth.

**Keywords:** Wetland Ecology, Ecological Risk, Paleo-production, Algae Growth, Eutrophication, Aktaş Lake, Turkey

### Öz

Aktaş Gölü; Türkiye – Gürcistan sınırında yer alan, 25.5 km<sup>2</sup> alan kaplayan, suları sodalı olan tektonik kökenli bir sulak alandır. Bu çalışmanın amacı; birincil üretim göstergelerinin Aktaş Gölü'ndeki zamansal değişiminin analiz edilerek birbiriyle olan ilişkilerinin çok değişkenli istatistiksel analizlerle incelenerek ötrofikasyon ve aşırı alg çoğalması riskinin değerlendirilmesidir. Çalışma kapsamında Aktaş Gölü'nden alınan 57 cm uzunluğundaki karot kullanılmıştır. Karot, analizler öncesinde 5'er cm'lik dilimlere ayrılmıştır. Ardından klorofil bozunma ürünleri (CDP), toplam organik karbon (TOC), toplam karbon (TC), toplam inorganik karbon (TIC), biyogenik silika (BSi) ve toplam azot (TN) analizleri gerçekleştirilmiştir. Göllerde birincil üretimi temsil eden CDP ve TOC miktarında karotun tabanından yüzeyine doğru bariz bir artış olduğu tespit edilmiştir. Birincil üretimin önemli uyarıcılarından olan TN miktarının zamansal değişimi CDP ve TOC'un çizdiği trendle paralellik göstermektedir. Bu sonuçlara göre azot girdilerinin göldeki birincil üretimi arttırdığı söylenebilir. BSi, bitkisel üretim süreçlerini temsil eden CDP'den farklı olarak diyatome bolluğunu ifade etmektedir. Bu iki parametre arasında istatistiksel ilişki bulunmaması CDP'yi kontrol eden türlerin diyatome dışındaki gruplar olduğunu düşündürmektedir. C/N oranları göldeki birincil üretimin fitoplankton kaynaklı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, Aktaş Gölü'nde birincil üreticilerin artış eğiliminde olduğunu, antropojenik kaynaklı azot, organik madde ve diğer besin elementi girişlerinin sürmesi durumunda gelecek yıllarda ötrofikasyon sorunlarının büyüebileceğini, alg çoğalmalarının sıklık ve etkisinin artabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sulak Alan Ekolojisi, Ekolojik Risk, Paleo-üretim, Alg Çoğalması, Ötrofikasyon

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar/ Corresponding author

## 1. GİRİŞ

Göl çökelleri geçmiş jeolojik dönemlerde yaşanan binlerce, hatta milyonlarca yıl öncesine ait doğal ortam değişimlerinin kaydını tutan önemli ekolojik göstergelerdir (Dergachev ve Dmitriev, 2017; Vologina vd., 2019). Göl ekosistemlerinin hafızası olarak niteleyebileceğimiz çökellerden doğal ortam değişimlerinin yanında birincil üretim göstergeleri olan N (azot), TC (toplam karbon), TIC (toplam inorganik karbon), TOC (toplam organik karbon), CDP (klorofil bozunma ürünleri) ve BSi (biyojenik silika) miktarlarının zamansal değişimlerini takip etmek mümkündür. Göl çökelleri birincil üretim göstergeleri ve potansiyel toksik elementler için depolanma alanıdır. Çökellerde depolanan birincil üretim göstergeleri ve elementler uygun ortam koşullarının oluşması halinde suya geri salınabilme riskinden dolayı ekolojik risk açısından ikincil kaynak özelliği göstererek biyo-jeokimyasal süreçlerde kritik rol oynar (Nazneen ve Raju, 2017). Kapalı havza gölleri birincil üretim göstergelerin depolanması ve tarihi kayıtlarının tutulması için son derece uygun doğal ortamlardır.

Göl havzalarında artan antropojenik etkiler ekolojik risk sorunlarını tetiklemektedir. Göllerde ekolojik risk genellikle antropojenik kaynaklı N (azot) ve  $PO_4^{3-}$  (fosfat) girdileri ile başlar. Göllere deşarj olan N ve  $PO_4^{3-}$  miktarının hızla artması zaman içerisinde ötrofikasyon sorununa neden olur. Ötrofikasyon; göl ekosisteminde başta N ve  $PO_4^{3-}$  olmak üzere besin elementi miktarının hızla artması sonucunda ortaya çıkan alg ve fitoplanktonların aşırı şekilde çoğalma süreci olarak tanımlanabilir (Yağcı, 2010). Göllerde aşırı miktarda biriken organik maddenin ayrıştırıcılar tarafından parçalanması sırasında fazla miktarda oksijen tüketimi gerçekleşir. Oksijenin yaşam seviyesinin altına düşmesiyle oksijensiz süreçler olarak tanımlanan anoksik koşullar başlar ve göl ekosisteminde yaşayan canlılar için yaşam tehdidi ortaya çıkar. Göllerde alg çoğalmasının yaşanması ile suyun ışık geçirgenliği azalır, TOC miktarı artar, tabanda oksijensiz süreçler yaşanır ve hidrojen sülfür ( $H_2S$ ), bisülfid iyonu ( $HSO_4^-$ ), sülfür anyonu ( $S^{2-}$ ), metan ( $CH_4$ ), amonyak ( $NH_3$ ) gibi toksik madde üretimi artar (Ulutaş, 2014). Ötrofikasyon sorunları başladığında antropojenik etkiler dursa bile sedimentte depolanan besleyici elementlerin suya geri salınabilme özelliğinden dolayı ekolojik risk tehlikesi devam eder (Sawyer vd., 2006). Göllerdeki organik materyaller alloktan, otokton veya karışık kökenli olabilir (Nazneen ve Raju, 2017). Göl çökellerinde depolanan organik maddelerin kaynağı fitoplankton gibi damarsız bitki kalıntıları ile göl içinde ve çevresinde

yaşayan çalı ve ağaç gibi damarlı bitki kalıntıları olabilir. Bunlar organik materyallerin doğal kaynaklarıdır. Ancak başta tarım, sanayi ve evsel atıkların göllere deşarj olması çökellerdeki organik madde miktarını arttırabilmektedir. (Meyers ve Teranes, 2002; Nazneen ve Raju, 2017; Fural vd., 2021).

CDP'nin kaynağı tıpkı organik maddeler gibi karmaşıktır. Makroskobik, yani gözle görülebilen bitki türlerini oluşturan makrofit kalıntıları ile fitoplankton (mikrofit) çökeldaki karbon miktarının artmasına neden olur. Makrofitlere göre daha dayanıklı yapıda olan damarlı bitki kalıntıları çökeldaki N miktarını arttıran kaynaklar arasındadır (Nazneen ve Raju, 2017). Birincil üretim sonucunda oluşan karbon göl içinde oluşmuş olabileceği gibi, karada oluşmuş ve akarsular, yüzey akışları gibi yollarla göllere deşarj olmuş olabilir. Göl ekosistemindeki organik madenin kaynağını belirlemek için toplam organik karbon/toplam azot oranından faydalanılır (Kaushal ve Binford, 1999; Sampei ve Matsumoto, 2001).

Diyatomeler doğal ortam değişikliklerine karşı yüksek hassasiyetleri ve her ekosistemde bulunmaları sebebiyle geçmiş dönemlerdeki doğal ortam değişimlerin tespit edilmesinde kullanılan iyi bir göstergedir (Sha vd., 2020). Küresel ölçekte sucül birincil üretimin önemli bir parçasını oluşturan diyatometler sulak alanlardaki birincil üretimin % 40'tan fazlasını, kıta sahanlığı (shelf) üretiminin ise % 75'ten fazlasını gerçekleştirir. Diyatometler aynı zamanda göllerdeki atmosferik  $CO_2$ 'yi uzaklaştırarak doğal bir karbon pompası işlevi de görmektedir. (Li vd., 2019).

Çökellerin BSi miktarının ölçülmesi, silisli mikrofosil bolluğu ve birincil üretim süreçleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Conley ve Schelske, 2006). BSi başta diyatometler olmak üzere silikalı türler tarafından fotosentez sırasında suda çözünmüş haldeki silikatın alınmasıyla üretilir. BSi çökelde depolanan diyatometler ve genel fitoplankton verimliliği hakkında kayıt sağlamaktadır (Ran vd., 2017; Sha vd., 2020).

Çalışma kapsamında inceleme alanı olarak seçilen Aktaş Gölü etrafındaki köylerin atıksularını drene eden bir kanalizasyon sisteminin olmaması göl ekosistemi için potansiyel bir risktir. Bunun yanında su içmek için büyük sürüler halinde göl kenarına gelen hayvanların bıraktıkları atıklara bağlı olarak göl suyunda besin maddesi miktarı artışları söz konusudur (Kükrer, Fural ve Aykır 2021). Aktaş Gölü yüzey çökellerinde potansiyel toksik element kirliliği tespit edilmemiştir (Kükrer, 2017). Ancak, yaz aylarında gün ışığı ve sıcaklık artışını takiben gölde red-tide

(suyun aşırı alg artışına bağlı olarak renklenmesi) olarak bilinen alg çoğalmaları gözlemlenmektedir. Bu nedenle; Aktaş Gölü'ndeki birincil üretim süreçlerinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimlerin incelenmesi, risk faktörlerinin belirlenmesi, tespit edilen risklere karşı uygulanabilir çözüm önerilerinin sunulması oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile Aktaş Gölü'nden alınan karot örneğinde birincil üretim göstergesi miktarlarının zamansal değişimlerinin araştırılması, göstergelerin kaynağı ve birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bir diğer önemli amacı, Aktaş Gölü'nde ötrofikasyonu tetiklemesi muhtemel faktörleri belirlemek ve alg çoğalması sorununun büyümesinin engellenmesi için çözüm önerileri sunmaktır.

## 2. MATERİYAL VE METOT

## 2.1. Çalışma Alanı

Aktaş Gölü; 25.5 km<sup>2</sup> alan kaplayan, Türkiye - Gürcistan sınırında yer alan, suyu sodalı olan tektonik kökenli bir göldür (Şekil 1 ve Fotoğraf 1). Gölün 11.7 km<sup>2</sup> 'si Ardahan'ın Çıldır ilçesi sınırlarında, 13.8 km<sup>2</sup> 'si ise Gürcistan sınırları içerisinde yer almaktadır (Kükrer, Fural ve Aykır 2021). Aktaş Gölü'nün derinliği 2 – 4 metre arasında değişmektedir (Ulutaş, 2014). Göl; ekolojik yapısı ve fauna özellikleri (Kırpık, 2019), kuş gözlemciliği ve ekoturizm (Onmuş, 2019) ile balıkçılık açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Ünal, 2019). Göl içerisinde üzerinde yerleşim bulunmayan 13 ada vardır. Kenarbel, Kayabeyi ve Öncül köyleri havzadaki önemli yerleşmelerdir (Yerli ve Zengin 2019). Göl havzasının Gürcistan tarafında Kartsakhi ve Philipovka isminde iki yerleşim bulunmaktadır. Aktaş Gölü güneyde yer alan kaynak suları ve mevsimlik akarsularla beslenmektedir (Doğanay ve Zaman, 2006; Kükrer, Fural ve Aykır 2021). Oldukça dar bir havzası (173 km<sup>2</sup>) olan gölün su seviyesi kaynak suları sayesinde korunmaktadır.

Pliyosen yaşlı karasal kıvrıntılar, Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanitler göl çevresinde yaygın olarak görülmektedir (Lahn, 1949; Güney, 2004). Göl, çevresi dik eğimli yamaçlara sahip dağlarla çevrili tektonik bir çöküntü içerisine yer almaktadır. Göl çevresindeki en önemli yükseltiler kuzeybatıda Kel Dağ (3050 metre) ile güneybatıdaki Akbaba Dağı (3026 metre) ve uzantılarıdır (Doğanay ve Zaman, 2006).

Aktaş Gölü ve yakın çevresinde günümüzde karasal iklim koşulları hakimdir (Öztürk, Gülden ve Aydın,

2017). Sert geçen kış mevsimlerinde göl yüzeyi aralık ve mart ayları arasında 70 – 80 cm kalınlığa kadar ulaşan buz kütlesiyle kaplanmaktadır (Ersin, 2018). Karasal iklim şartlarının etkisi ile göl çevresinde bodur ağaç ve çalı karışımı antropojenik step formasyonları ile doğal çayırılar yer almaktadır (Akgül, 2008). Günümüzden 685 yıl önce, Ortaçağ ılık döneminde Aktaş Gölü havzasında daha nemli iklim koşulları hakim durumdaydı. 685 yıllık dönemi kapsayan paleoekolojik analizlerde otsu bitki formlarının odunsu bitki formlarına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Zamansal değişimde günümüze doğru yaklaşıldığında odunsu formlar olan *Pinus* ve *Picea* polenlerinin oldukça azalması antropojenik etkilerle orman tahribatı yapıldığını göstermiştir (Ersin, 2018). Sahada yapılan diğer çalışmalar göl havzasında son 930 yılda orman vejetasyonunun gittikçe azaldığını ve antropojenik step vejetasyonunun hâkim duruma geçtiğini göstermiştir (Kılıç ve Caner, 2017; Kılıç vd., 2018). Bu bilgiler göl havzasındaki antropojenik etkilerin yaklaşık bin yıldır sürdüğüne işaret etmektedir.



Şekil 1- Aktaş Gölü'nün lokasyon haritası

Figure 1- Location map of Aktaş Lake



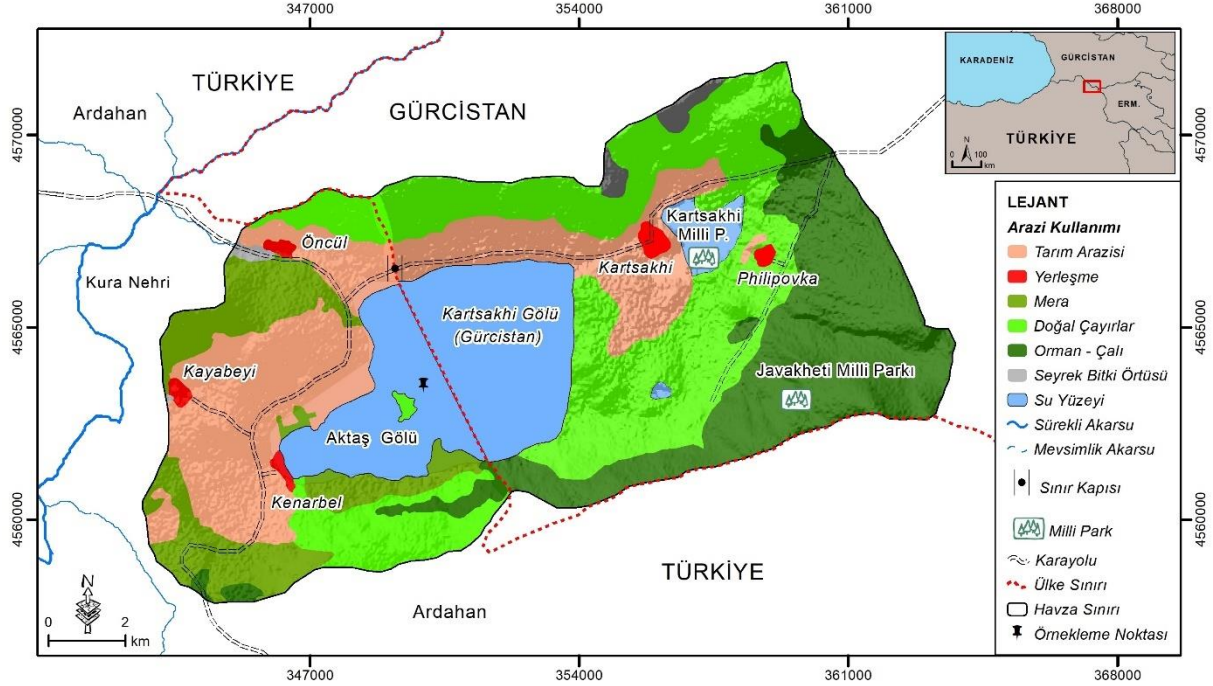
Fotoğraf 1- Aktaş Gölü'nün Türkiye sınırından görüntüsü  
(Batıdan doğuya bakış)

Foto: Doç. Dr. Muhammed Zeynel Öztürk

*Photograph 1- View of Aktaş Lake from the Turkish border  
(view from west to east) Photo: Assoc. Prof. Dr.  
Muhammed Zeynel Öztürk*

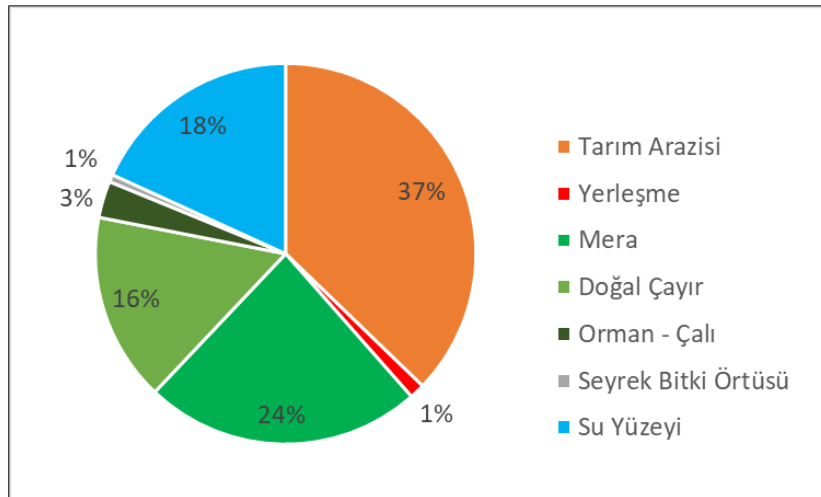
Aktaş Gölü havzası 173 km<sup>2</sup> alan kaplamaktadır. Havzanın 66 km<sup>2</sup>'si Türkiye, 106 km<sup>2</sup>'si Gürcistan sınırlarında yer almaktadır (Şekil 2). Havza'nın Türkiye sınırları içerisinde kalan bölümünün % 37'si tarım arazisi, % 24'ü mera, % 18'i su yüzeyi, % 16'sı doğal çayırlar, % 3'ü orman ve çalılık arazi, % 1'i yerleşim alanlarını oluşturmaktadır (Şekil 3). Göl havzasının Türkiye'de kalan bölümünde tarım ve hayvancılığın baskın antropojenik faaliyet

olduğu görülmektedir. Havzanın Gürcistan topraklarında kalan bölümünde 2 yerleşme ve 2 milli park bulunmaktadır. Gölün kuzey kıyıları ile yerleşme çevreleri tarım alanı olarak değerlendirilmektedir. Gürcistan sınırında kalan bölgede doğal alanların fazlalığı dikkat çekmektedir (Şekil 2). Havza bütününde bir değerlendirme yapıldığında tarım ve hayvancılık dışında en önemli potansiyel antropojenik etki karayolu olarak belirtilebilir.



Şekil 2- Aktaş Gölü havzasının arazi kullanım haritası

Figure 2- Land use map of Aktaş Lake basin.



Şekil 3- Aktaş Gölü havzasının Türkiye kısmındaki arazi kullanım dağılışı

Figure 3- Land use distribution in the Turkish part of the Aktaş Lake basin

## 2.2. Araştırma Problemi

Türkiye'nin göllerinde ortaya çıkan ötrofikasyon ve alg çoğalması gibi ekolojik risk sorunları son yıllarda oldukça artmıştır. Göllerde ortaya çıkan ekolojik risklerin temel nedeni yoğun antropojenik faaliyetlerdir. Ancak, antropojenik etkilerden oldukça uzak olduğu düşünülen Aktaş Gölü'nde son yıllarda yaz aylarının belirli dönemlerinde ötrofikasyon ve alg artışlarının yol açtığı red-tide gözlemlenmiştir. Bu sorunların kaynağının araştırılması için birincil üretim süreçlerine katkı sunan göstergelerin çökeldaki zamansal değişimi, analitik metotlar ve çok değişkenli istatistiksel analizler ile incelenmiştir.

## 2.3. Örneklem ve Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma kapsamında Aktaş Gölü'nden alınan 57 cm uzunluğundaki karot kullanılmıştır. Karot analizler öncesinde 5'er cm'lik dilimlere ayrılmıştır. CDP analizi için yaş çökel örnekleri +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Diğer analizlerin uygulanmasında gerekli olan örneklerin hazırlanması için petri kaplarına yerleştirilen çökel örnekleri 70 °C'ye ayarlanmış etüvde 20 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan çökel örnekleri porselen havanda dövülerek toz haline getirilmiş, ardından 11 mesh ölçekli elekten geçirilmiştir. CDP analizi aseton ekstraksiyon yöntemiyle spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir (Lorenzen, 1971). TOC miktarı Walkley-Black titrasyon yöntemi ile ölçülmüştür (Gaudette vd., 1974). TC ve TN analizleri CHN analizörü ile Kastamonu Üniversitesi Merkez laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. TIC verileri, TC miktarından TOC miktarının çıkarılması ile elde edilmiştir. BSi analizi, silikatın alkali ortamda ekstra edilerek, standart yöntemle ölçümü esasına göre gerçekleştirilmiştir (Conley ve Schelske, 2006). İncelenen göstergeler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için çok değişkenli istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen bulgular Arc – Map 10.5 yazılımına aktararak karot modellenmiştir. Havzanın Türkiye tarafında kalan kısmının arazi kullanım haritası Corine 2018 verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Gürcistan kısmının arazi kullanımı haritası basemap üzerinden ekran sayısallaştırması ile yapılmıştır. Farklı türde bileşenlerden oluşan arazi kullanım veri seti Arc – Map 10.5 yazılımına aktararak birleştirilmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aktaş Gölü çökellerinde TC miktarı % 3.66 - % 6.70 aralığında tespit edilmiştir. Ortalama TC miktarı % 5.29'dur. TC miktarının karot içerisinde 45 cm

diliminin altında % 4'ten az olduğu görülmektedir. 45 cm diliminden sonra artışa geçen TC miktarı dalgalı bir trendle de olsa genellikle sürekli artış eğilimindedir. TC karotun en üstünde, 0 – 5 cm diliminde maksimum miktara (% 6.70) ulaşmıştır. Bu pikin TIC artışıyla bağlantılı olduğu net şekilde görülmektedir (Şekil 4).

TIC miktarı % 1.56 - 2.50 aralığında değişmektedir. Ortalama TIC miktarı %1.91'dir. TIC, karot içerisinde dalgalı bir eğilim göstermiştir. 25-45 cm aralığında yüksek miktarda bulunan TIC, 20 cm' deki azalışı takiben 15 cm diliminde artış eğilimine girmiştir. 5-15 cm aralığında azalma eğilimine giren TIC miktarı yüzeye doğru artış eğilimine geçerek en üst dilimde maksimum miktara (% 2.50) ulaşmıştır (Şekil 4). Karotun ilk 5 cm'lik bölümünde görülen TIC artışının çökelmeye bağlı gerçekleştiği düşünülmektedir. Çünkü bu seviyedeki C/N oranının < 10 olması karbon kaynağının gölde yaşayan fitoplankton olduğunu göstermektedir. Özetle; göle karasal karbon girişi görünmediği için TIC'in karadan deşarj olma ihtimali azdır. Benzer durum karotun 15 - 25 – 40 cm dilimlerinde görülen pikler için de geçerlidir.

TOC miktarı % 2.00 - % 4.19 aralığında değişmekte olup, ortalama % 3.38'dir. Minimum TOC miktarı karotun en dibinde, maksimum miktar ise karotun en üst diliminde tespit edilmiştir. TOC miktarının genel trendinin dipten yüzeye doğru artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. TOC miktarı 20 - 30 ve 45 cm dilimlerinde pik yapmıştır. Ancak en belirgin miktar artışı 0-10 cm arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4). Karottaki TOC ve TIC eğilimleri karşılaştırıldığında artış ve azalış noktalarının birbirine zıt olduğu görülmektedir. Bu durum, TOC'un yağışlı dönemlerdeki artış eğilimine karşılık, TIC'in kurak dönemlerde çökmesine bağlı olarak yaptığı artışlarla açıklanabilir (Kılıç ve diğ., 2018). Karottaki TOC miktarının yükseldiği dönemlerde havzadaki evsel ve hayvansal atıkların yağmur suları ile göle deşarj olduğu düşünülmektedir. Çünkü, TOC miktarının en önemli kaynakları arasında evsel ve hayvansal atıklar yer almaktadır (Kudal ve Müftüoğlu, 2014).

Birincil üretimin önemli uyarıcılarından olan TN miktarı % 0.20 – % 0.49 aralığında değişmiştir ve ortalama değer % 0.36'dır. TN'nin karot içerisindeki zamansal hareket trendinin TOC ile benzer olduğu görülmektedir (Şekil4). Bu durum, organik madde üretimini tetikleyen abiyotik faktörlerden bir tanesinin N olduğunu kanıtlamaktadır. Göl çevresindeki köylerin evsel atıkları için bir kanalizasyon sistemi bulunmayışı, açık alanlarda tezcek depolanması ve

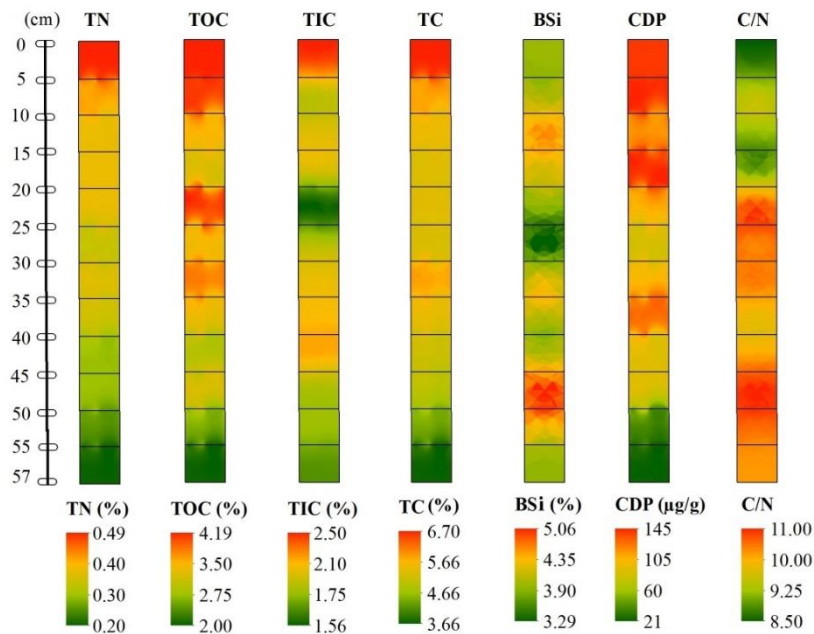
büyük sürüler halinde göl kıyısına gelerek su için hayvanların atıklarının yükselen TN miktarından sorumlu olduğu düşünülmektedir. Aynı faktörler Aktaş Gölü'nün suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişiminden sorumlu tutulmaktadır (Kükrer, Fural ve Aykır 2021). TN'nin temel kaynakları arasında atıksular yer almaktadır. Atıksularda TN'nin arınması için ileri düzey arıtma sistemi teknolojileri gerekmektedir (Shelknanloymilan vd., 2012).

Göldeki birincil üretimi temsil eden göstergelerden birisi olan CDP miktarının zamansal değişimi TOC ile uyumlu bir trend çizmektedir. Karottaki CDP miktarı 21 µg/g - 145 µg/g aralığında tespit edilmiştir. Ortalama CDP miktarı ise 101 µg/g'dır. CDP miktarının minimum ve maksimum değerleri arasındaki büyük fark olması birincil üretimin zaman içerisinde ciddi miktarda artmasından kaynaklanmaktadır. Karotun en alt seviyelerinde minimum düzeyde olan CDP miktarı tıpkı TOC gibi dalgalı bir trend izlemiş ancak yüzeye doğru genel bir artış eğilimi göstermiştir (Şekil 4). Birincil üretim ve ekolojik riskin önemli göstergeleri olan CDP miktarı Türkiye'nin çeşitli noktalarında gerçekleştirilen çalışmalarda da artış eğiliminde tespit edilmiştir (Kükrer vd., 2019; Fural, Kükrer ve Cürebal 2020).

Diyatome komünitesini temsil eden BSi miktarı % 3.29- % 5.06 aralığında olup ortalama değer % 4.16'dır. BSi miktarının karotta belli bir aralıkta dalgalandığı ve 45 – 50 ile 10 – 20 cm dilimleri hariç

ani artış/azalış yapmadığı görülmektedir. BSi'nin en sert artışı 45-50 cm aralığında meydana gelmiştir. Bunu 30 cm ve 10 cm'lerdeki iki artış izlemektedir. Karotun yüzey diliminde stabil bir trend görülmektedir (Şekil 4). Bu durum, son yıllarda diyatome komünitesinin sabit bir düzeyde kaldığını göstermektedir (Conley ve Schelske, 2006).

C/N oranı organik karbonun kaynağını tespit etmek için sıklıkla kullanılan bir göstergedir (Janssen, 1996; Sampei ve Matsumoto, 2001). Suda fotosentez yapabilen fitoplankton ve denizde yaşayan hayvansal organizmalar olan zooplankton, içeriğinde N olan proteinleri ihtiva ettiğinden C/N oranı 5-6 civarında iken planktonik taze çökelmiş organik madde ise 6-9 seviyesindedir (Sampei ve Matsumoto, 2001). Karasal kökenli odunsu bitkiler lignin ve selüloz içerdiğinden N miktarları düşüktür. Bu bitkiler daha yüksek (15 - 20) C/N oranına sahiptir (Kaushal ve Binford, 1999; Sampei ve Matsumoto, 2001). Aktaş Gölü karotundaki C/N oranı 8.50 - 11.00 arasında değişmektedir (Şekil 4). Ortalama değer ise 9.88'dir. C/N oranının 4-9 arasında olması planktonik organizmaların, > 15 olması ise karasal bitkilerin karbon kaynağı olduğuna işaret etmektedir (Janssen, 1996; Sampei ve Matsumoto, 2001). Buna göre, Aktaş Gölü'ndeki TOC'un kaynağı otokton, yani planktonik organizmalardır. Bu yüzden göle gerçekleşen besleyici element deşarjlarının kontrol altına alınması alg çoğalması ve ötrofikasyonun önlenmesi açısından önemlidir.



Şekil 4- Birincil paleoüretim göstergelerinin zamansal değişimi

Figure 4- Temporal variation of primary paleoproduction proxies

Birincil üretimi temsil eden değişkenler arasındaki ilişkileri tespit etmek amacıyla spearman rank korelasyon ve temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Korelasyon testi sonuçlarına göre CDP, TC, TN ve TOC kendi arasında güçlü pozitif korelasyona sahiptir (Tablo 1). Bu durum N'in plankton üretimi ve dolayısıyla organik karbon üretimi üzerinde kontrol edici bir etkisinin olduğunu göstermektedir. BSi ile diğer değişkenler arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır. TOC'un kökeni fitoplankton olmasına rağmen, diyatomelerle diğer

değişkenler arasında ilişki olmaması fitoplankton komünitesinde baskın grubun diğer türlerce oluşturulmuş olabileceğini düşündürmektedir. Genel bir söylemle, diyatomelerin daha çok mezotrofik göllerde baskın olduğu, ötrofik göllerde ise *chlorophyta* ve *cyanophyta* türlerinin baskın gruplar olduğu ifade edilmektedir (Wang vd., 2013). Bu açıdan bakıldığında, ötrofik karakter gösteren Aktaş Gölü'nde diyatomelerin CDP ile ilişkisinin olmaması, fitoplankton komünitesinde içindeki bolluklarının göreceli olarak az olmasından kaynaklanmış olabilir.

Tablo 1- Spearman korelasyon matrisi\*  
Table 1- Spearman correlation matrix

|     | TN            | TC            | TOC           | TIC            | CDP            | BSi    | C/N |
|-----|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------|-----|
| TN  |               |               |               |                |                |        |     |
| TC  | <b>0.8741</b> |               |               |                |                |        |     |
| TOC | <b>0.8671</b> | <b>0.8951</b> |               |                |                |        |     |
| TIC | 0.2727        | 0.4196        | 0.1399        |                |                |        |     |
| CDP | <b>0.9021</b> | <b>0.8112</b> | <b>0.6573</b> | 0.4056         |                |        |     |
| BSi | 0.0070        | 0.0210        | 0.0245        | -0.2067        | -0.0280        |        |     |
| C/N | -0.4965       | -0.4685       | -0.1958       | <b>-0.7133</b> | <b>-0.6294</b> | 0.3152 |     |

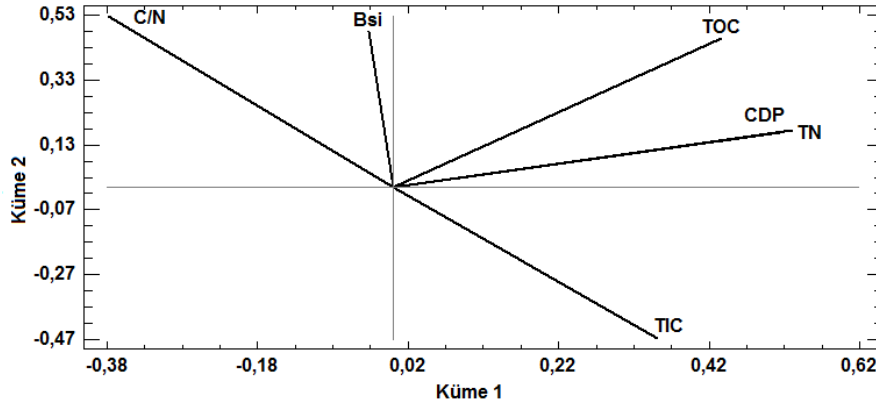
\*Koyu ifadeler %95 güven aralığında önemli korelasyonları ifade etmektedir.

Temel bileşenler analizine (PCA) göre özdeğerleri > 1 olan iki komponent belirlenmiştir. Bu bileşenler toplam varyansın %78.30'unu oluşturur. PC1 toplam varyansın % 54.46'sını oluşturmaktadır ve ağırlıklı olarak TN, TOC, ve CDP'den oluşmaktadır. PC 2 ise toplam varyansın 23.83'ünü temsil etmektedir ve pozitif yüklü TOC, BSi ve negatif yüklü TIC'den oluşmaktadır (Tablo 2). TOC'nin birbirine yakın ağırlıklarla her iki bileşende de yer alması dikkat

çekicidir. TOC, PC1'de CDP, PC 2'de ise BSi ile birlikte bulunmaktadır. Bu veriler TOC'un bir kısmının diyatome dışındaki fitoplankton gruplarından, bir kısmının ise diyatomelerden geldiğini göstermektedir. PCA analizi verileri iki kümeyi belirgin şekilde ayırmıştır. PCA analizi verilerine göre TOC, CDP, TN, TIC birinci kümede, BSi ve C/N ikinci kümede yer almıştır (Şekil 5).

Tablo 2- PCA komponent ağırlıkları  
Table 2- PCA component weights

|     | PC 1         | PC 2         |
|-----|--------------|--------------|
| TN  | <b>0.529</b> | 0.175        |
| TOC | 0.435        | <b>0.459</b> |
| TIC | <b>0.350</b> | -0.469       |
| CDP | <b>0.513</b> | 0.167        |
| BSi | -0.032       | <b>0.482</b> |
| C/N | -0.377       | <b>0.526</b> |



Şekil 5- Birincil üretim göstergelerinin PCA grafiği

Figure 5- PCA plot of primary production indicators

Çok değişkenli istatistiksel analiz bulguları incelenen birincil üretim göstergelerinin birbiriyle olan ilişkileri ve kaynaklarının tanımlanmasında karot verileriyle uyumlu bilgiler sunmuştur. Aktaş Gölü'nde 2018 yılında yapılan çalışmada bu çalışmadakine benzer nitelikte bir karot alınmıştır. 60 cm uzunluğundaki karotun 57. cm'si günümüzden 930 – 795 yıl öncesine tarihlendirilmiş ve yıllık çökme hızı 0.70 mm olarak tespit edilmiştir (Kılıç vd., 2018). Yıllık çökme hızına bağlı olarak bir hesaplama yapıldığında bu çalışma kapsamında kullanılan 57 cm uzunluğundaki karotun en alt diliminin yaşı yaklaşık olarak 814 yıldır. Bu durumda yaklaşık 814 yıllık süreçte karotun en dibinden günümüze kadar; TC 2.45 kat, TOC 2.90 kat, TIC 1.60 kat, CDP 6.90 kat artmıştır. Karot boyunca küçük aralıkta dalgalanmalar ile artıp azalan BSi ve C/N oranı azalma eğilimine girmiştir. Bu veriler Aktaş Gölü çökellerinde birincil üretim göstergelerinin büyük kısmının yaklaşık 814 yıllık süreçte oldukça arttığını göstermektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın bulguları değerlendirildiğinde; Aktaş Gölü havzasının Türkiye sınırları içerisinde kalan bölümünde göl ekosistemini tehdit eden antropojenik etkilerin bazı ekolojik risk sorunları yarattığı tespit edilmiştir. Göl havzasındaki yerleşmelerde kanalizasyon ağı olmaması, kışın ısınma ihtiyacını gidermek için kullanılan tezeklerin uygunsuz şartlarda, göle yakın açık alanlarda depolanması ve hayvan sürülerinin göle girerek su ihtiyaçlarını karşılaması ekolojik risk faktörü olarak belirlenmiştir. Bahsi geçen risk faktörleri gölde besin maddesi zenginleşmesi ve yaz aylarında izlenen aşırı alg çoğalması (red – tide) olayından sorumlu tutulmuştur.

Birincil üretim göstergelerinin yaklaşık 814 yıllık değişimi incelendiğinde; organik üretimin bir göstergesi olan TOC miktarı ile TN arasındaki ilişki N'in birincil üretim üzerinde kontrol edici etkisinin olduğuna işaret etmektedir. Karottaki diyatome komünitesinin bolluğunu temsil eden BSi ile TOC arasında bir ilişki olmasına rağmen, CDP ile BSi arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiştir. Göl ekosistemlerindeki alg üretimini temsil eden CDP ile BSi arasındaki bu benzeşmezlik, CDP miktarını diyatome dışındaki türlerin kontrol ettiğini düşündürmektedir. C/N oranları göldeki TOC üretiminin otokton kaynaklardan geldiğini ve bu kaynağın fitoplankton olabileceğini göstermektedir. Göl çevresinde önemli N kaynaklarının yer alması ve üretimin otokton kaynaklardan gelmesi, ötrofikasyonla mücadele için göl içi dinamiklerin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Elde edilen bulgular göldeki antropojenik kaynaklı girdilerin yaklaşık 814 yıllık süreçte artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında yerleşim alanlarının evsel atıklarının göle ulaşmasının önlenmesi, tezek depolamalarının açık havada yapılmaması ve hayvanların gölden uzağa kurulacak alanlarda sulanması, ötrofikasyonun azalmasına önemli katkılar sunacaktır. Aktaş Gölü havzasının büyük bir kısmı Gürcistan sınırında kalmaktadır. Bu nedenle, gölün sürdürülebilir kullanımının sağlanması için iki ülke arasında bilimsel iş birliği yapılmalıdır.

#### Teşekkür

Bu yayın Ardahan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 2019-10 kodlu “Aktaş Gölü Sedimentlerinde Paleo-Verimlilik Kayıtlarının Araştırılması” projesi kapsamında üretilmiştir. Ardahan Üniversitesi BAP birimine destekleri için teşekkür ederiz.

## REFERANSLAR

- Akgül, G. 2008. Çıldır ve Aktaş Gölleri Arasında Kalan Bölgenin Florası. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 15, 37-70.
- Conley, D., Schelske, C. 2006. Biogenic Silica. In *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, 281–293. [https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1\\_14](https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_14).
- Doğanay, H., Zaman, S. 2006. Aktaş Gölü ve Yakın Çevresinin Coğrafyası. *Türk Coğrafya Dergisi* 46, 23-39.
- Dergachev, V. A., Dmitriev, P. B. 2017. Cyclical Changes in the Pleistocene Climate from an Analysis of Biogenic Silica in a Bottom Sediment Core Sample of Lake Baikal. *Geomagnetism and Aeronomy*, 57, 877–885. <https://doi.org/10.1134/S0016793217070052>.
- Ersin, S. 2018. *Aktaş Gölü ve çevresinin geç holosen dönemi vejetasyonunun palinolojik analizlerle belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Fural, Ş., Kükrer S., Cürebal İ. 2020. Geographical information systems based ecological risk analysis of metal accumulation in sediments of İkizce Tepeler Dam Lake (Turkey), *Ecological Indicators*, 119, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106784>.
- Fural Ş., Kükrer S., Cürebal İ., Aykır D. 2021. Spatial distribution, environmental risk assessment, and source identification of potentially toxic metals in Atıkhisar dam, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, (193), 268. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09062-6>.
- Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L., & Folger, D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 44 (1), 249–253. <https://doi.org/10.1306/74D729D7-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Güney, E. 2004. *Türkiye Hidrocoğrafyası*. Çantay Kitabevi Yayınları, İstanbul.
- Janssen B.H. 1996. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. In: Van Cleemput O., Hofman G., Vermoesen A. (eds) *Progress in Nitrogen Cycling Studies*. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 68. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5450-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5450-5_13).
- Kaushal, S., Binford, M. W. 1999. Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA. *Journal of Paleolimnology*, 22 (4), 439–442. <https://doi.org/10.1023/A:1008027028029>.
- Kırpık, M. A. 2019. Ardahan İli Aktaş Gölü'nün Faunistik Yapısı. *Aktaş Gölü Biyoçeşitliliğinin Korunması ve Sürdürülebilir Gelişme Çalıştayı 2019 Bildiriler Kitabı*, 41-46, Ardahan Üniversitesi, Ardahan.
- Kılıç N. K., Caner H. 2017. Aktaş Gölü ve çevresinde son 1000 yıldaki bitki örtüsü değişimi, *IV. Ulusal Orman Kongresi 2017 Bildiriler Kitabı*, 33-39, Ardahan Üniversitesi, Ardahan.
- Kılıç N.K., Caner H., Erginal A.E., Ersin S., Kaya H. 2018. Environmental changes based on multi-proxy analysis of core sediments in Lake Aktaş, Turkey: Preliminary results, *Quaternary International*, 486, 88-97.
- Kudal, M., Müftüoğlu, M.M. 2014. Kentsel Atıksu ile Sulanan Topraklarda Bazı Verimlilik Özelliklerinin İncelenmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, (2), 1, 77-81.
- Kükrer, S. 2017. Pollution, source, and ecological risk assessment of trace elements in surface sediments of Lake Aktaş, NE Turkey. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23 (7), 1629–1644.
- Kükrer, S., Çakır Ç., Kaya H., Erginal A.E. 2019. Historical record of metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (Istanbul, Turkey) based on anthropogenic impacts and ecological risk assessment, *Environmental Forensics*, (20), 4, 385-401. <https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1657985>.
- Kükrer, S., Fural, Ş., Aykır, D. 2021. Aktaş Gölü (Ardahan) Yüzey Sularındaki Besleyici Elementlerin Yaz Dinamiklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İncelenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 42, 283–294.
- Li, D., Dong, M., Liu, S., Chen, H., Yao, Q. 2019. Distribution and budget of biogenic silica in the Yangtze Estuary and its adjacent sea. *Science of The Total Environment*, 669, 590–599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.144>.
- Lorenzen, C. J. 1971. Chlorophyll-degradation products in sediments of Black Sea. *Woods Hole Oceanographic Institution Contribution*, 28, 426–428.

- Meyers, P. A., Teranes, J. L. 2002. Sediment Organic Matter. In W. M. Last & J. P. Smol (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, 239–269. Springer, Netherlands. [https://doi.org/10.1007/0-306-47670-3\\_9](https://doi.org/10.1007/0-306-47670-3_9).
- Nazneen, S., Raju, N. J. 2017. Distribution and sources of carbon, nitrogen, phosphorus and biogenic silica in the sediments of Chilika lagoon. *Journal of Earth System Science*, 126 (1), 13. <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0785-8>.
- Onmuş, O. 2019. Aktaş Gölü Kuşları ve Ekoturizm Açısından Önemi. *Aktaş Gölü Biyoçeşitliliğinin Korunması ve Sürdürülebilir Gelişme Çalıştayı 2019 Bildiriler Kitabı*, 47-62, Ardahan Üniversitesi, Ardahan.
- Öztürk, M. Z., Gülden, Ç., Aydın, S. 2017. Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi* 35, 17-27.
- Ran, X., Xu, B., Liu, J., Zhao, C., Liu, S., Zang, J. 2017. Biogenic silica composition and  $\delta^{13}\text{C}$  abundance in the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) Rivers with implications for the silicon cycle. *Science of The Total Environment*, 579, 1541–1549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.161>.
- Sampei, Y., Matsumoto, E. 2001. C/N ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, southwest Japan—Usefulness as an organic source indicator—. *Geochemical Journal*, 35 (3), 189–205. <https://doi.org/10.2343/geochemj.35.189>.
- Saywer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F., 2006. Chemistry for environmental engineering science, 5th Ed; Mc Graw Hill, New, York USA.
- Sha, L., Li, D., Liu, Y., Wu, B., Wu, Y., Knudsen, K. L., Li, Z., & Xu, H. 2020. Biogenic silica concentration as a marine primary productivity proxy in the Holsteinsborg Dyb, West Greenland, during the last millennium. *Acta Oceanologica Sinica*, 39 (9), 78–85. <https://doi.org/10.1007/s13131-020-1648-3>.
- Shelknanloymilan, L., Atıcı, T., Obal, O. 2012. Removal of nitrogen and phosphate by using *Choleralla vulgaris* on synthetic and organic materials waste water, *Biological Diversity and Conservation*, (5), 2, 89-94.
- Ulutaş, N. 2014. *Aktaş Gölü (Ardahan, Türkiye) Su Kalite Parametrelerinin Su Ürünleri Yetiştiriciliği Açısından Değerlendirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi.
- Ünal, V. 2019. Aktaş Gölü'nde Sürdürülebilir Balıkçılık ve Sınırötesi Balıkçılık Yönetimi Modeli Geliştirilmesi. *Aktaş Gölü Biyoçeşitliliğinin Korunması ve Sürdürülebilir Gelişme Çalıştayı 2019 Bildiriler Kitabı*, 63-74, Ardahan Üniversitesi, Ardahan.
- Vologina, E. G., Sturm, M., Astakhov, A. S., Xuefa, S. 2019. Anthropogenic traces in bottom sediments of Chukchi Sea. *Quaternary International*, 524, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.008>.
- Wang, X., Wang, Y., Liu, L., Shu, J., Zhu, Y., Zhou, J. 2013. Phytoplankton and Eutrophication Degree Assessment of Baiyangdian Lake Wetland, China. *The Scientific World Journal*, 2013, e436965. <https://doi.org/10.1155/2013/436965>.
- Yağcı, M. 2010. Göllerde Ötrofikasyon, Kontrolü ve Planktonik Gösterge Türler, *Yunus Araştırma Bülteni*, 1, 11-14.
- Yerli, S. V., Zengin, M. 2019. Aktaş Gölü ile ilgili bir değerlendirme. *Aktaş Gölü Biyoçeşitliliğinin Korunması ve Sürdürülebilir Gelişme Çalıştayı 2019 Bildiriler Kitabı*, 19-28, Ardahan Üniversitesi, Ardahan.