

Uluabat Gölü (Bursa) YüzeY Suyu Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Lake Uluabat (Bursa) Surface Water Quality Using Multivariate Statistical Methods

Ceren Özlem Kesmez^{1,*}, Nurhayat Dalkıran²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bursa, Türkiye

*Sorumlu Yazar: cerenozlemgurler@gmail.com

Received: 20.03.2023

Accepted: 09.08.2023

Published: 01.12.2023

How to Cite: Kesmez, C. Ö., & Dalkıran, N. (2023). Uluabat gölü (Bursa) yüzeY suyu kalitesinin çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 19(4), 341-357. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.1267921>

Özet: Sucul ekosistemler için tehdit oluşturan kirleticilerin bir RAMSAR alanı olan Uluabat Gölü'ndeki etkisini araştırmak amacıyla 2017 yaz, 2018 sonbahar, 2019 ilkbahar ve 2020 kış dönemleri olmak üzere beş istasyondan alınan su örneklerinde bazı fizikokimyasal değişkenler, ağır metaller ve toksik elementler değerlendirilmiştir. Açıklayıcı faktör analizi sonuçlarına göre Uluabat Gölü havzasında yapılan madencilik faaliyetlerinin ve havzanın jeolojik yapısının gölün su kalitesini etkileyen en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Al, As, B, Fe ve Mn gibi bazı ağır metal ve toksik elementlerin toplam varyansın %30,54'ünü açıklayarak I. ekseninde pozitif faktör yükü oluşturmuştur. Üçüncü ve dördüncü faktör yüklerinde ise ötrofikasyon ve besin tuzu yüklerinin göl su kalitesine olan etkileri tespit edilmiştir. Faktör analizi sonucunda belirlenen dört faktör yükünün toplam varyansı %85,47 olmuştur. Kruskal-Wallis analizi sonuçlarına göre 31 fizikokimyasal değişkenden 19'u yıllara göre farklılık gösterirken, istasyonlara göre sadece PO₄-P'nin anlamlı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Cluster analizi tüm fizikokimyasal değişkenlerin istasyonlara ve yıllara göre farklılığını belirgin olarak açıklamıştır. Bu analize göre Uluabat Gölü'nde en kirli nokta Akçalar bölgesi olarak belirlenirken en farklı mevsim kış olmuştur. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre Al, As, B ve Fe'nin maksimum çevresel kalite standardı üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyu kriterlerine göre ise B, izin verilen maksimum konsantrasyon üzerinde bulunmuştur. Carlson Trofik Seviye İndeksi'ne göre göl suyu değerlendirildiğinde ise, toplam azot ve toplam fosfor'a göre hiperötrofik, klorofil-a değerine göre ise ötrofik karakterde olduğu tespit edilmiştir.

Keywords

- Uluabat Gölü
- Su kalitesi
- Açıklayıcı faktör analizi
- Toksik metaller
- Trofik seviye

Abstract: To investigate the impact of pollutants that pose a threat to aquatic ecosystems in Uluabat Lake, a RAMSAR area, a number of physicochemical variables, heavy metals, and toxic elements were evaluated in water samples collected from five stations in the summer of 2017, fall 2018, spring 2019 and winter 2020. According to the results of the Explanatory Factor Analysis, it was determined that mining activities in the Uluabat Lake basin and the geological structure of the basin are the most important factors affecting the water quality of the lake. Some of the heavy metals and toxic elements such as Al, As, B, Fe, and Mn explained the 30.54% of the total variance and created a positive factor load on the first axis. In the third and fourth factor loadings, the effects of eutrophication and nutrient loadings in water quality of the lake were determined. The total variance of the four factor loadings was determined as 85.47%. According to the results of the Kruskal-Wallis analysis, 19 out of 31 physicochemical variables differed by years, while only PO₄-P showed significant differences by stations. Cluster analysis significantly explained the differences of all physicochemical variables for both by stations and years. According to this analysis, the most polluted site in Uluabat Lake was determined as Akçalar region and the most different season was winter. According to the Regulation on Surface Water Quality, Al, As, B, and Fe were found to be above the maximum environmental quality standards. According to irrigation water criteria, B was found to be above the maximum permissible concentration. When

Anahtar kelimeler

- Lake Uluabat
- Water quality
- Explanatory factor analysis
- Toxic metals
- Trophic state



the lake water was evaluated according to Carlson Trophic State Index, it was found to be hyper-eutrophic in accordance with the total amounts of nitrogen and phosphorus and eutrophic in accordance with the concentrations of chlorophyll-a.

1. GİRİŞ

Sucul ortamlar endüstriyel, tarımsal ve evsel faaliyetler sonucu ortaya çıkan ve çevreye salınan çoğu toksik maddenin nihai alıcısıdır. Sulak alanlara giren toksik maddelerin yönetimi zordur, çünkü kirleticiler genellikle bir su sistemine birden fazla veya dağınık kaynaktan giriş yapar (Rand, 1985). Biyoçeşitliliği yüksek olan sulak alanların korunması ekolojik dengenin sağlanması için oldukça önemlidir. Bu nedenle sulak alanlarda gerçekleştirilecek sürekli su kalitesi çalışmaları kirleticilerin çevreye salınımının sonuçlarının aydınlatılmasında büyük öneme sahip olmaktadır.

Uluabat Gölü RAMSAR Sözleşmesi ile koruma altına alınmış, sanayi, tarımsal faaliyet ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Bursa ilinde (Karacabey ve Mustafakemalpaşa ilçelerinde) yer alan önemli bir sulak alandır. Uluabat Gölü'nü Mustafakemalpaşa Çayı ile iki kolu olan Emet Çayı ve Orhaneli Çayı beslemektedir. Bu akarsu havzalarından kaynaklı tarımsal, evsel ve endüstriyel kirleticiler gölü önemli ölçüde etkilemektedir. Orhaneli ve Emet çaylarının her ikisi de Kütahya il sınırları içinde olup Hisarcık, Tavşanlı, Çavdarhisar, Emet ve Domaniç ilçelerinden kaynaklı kirliliği ve madencilik faaliyetleri sonucu oluşan kirleticileri Mustafakemalpaşa Çayı'na taşımaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde oluşan kirlilik ülkemiz için çok önemli olan Uluabat Gölü'ne Mustafakemalpaşa Çayı aracılığıyla taşınmaktadır.

Uluabat Gölü yüksek biyolojik zenginliğe (Dalkıran, 2015) ve ekolojik öneme sahip sığ bir sulak alan olması nedeni ile uzun yıllardır araştırmacıların dikkatini üzerine çekmiştir. İlk çalışmalar 1986-1990 yılları arasında çoğunlukla yaz aylarını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Dalkıran vd., 2006). 1998 yılından itibaren ise aylık örneklemeler yapılarak gölün su kalitesini belirlemek için daha ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Dalkıran vd., 2006; Elmacı vd., 2007; Filik İşcen vd., 2008; Bulut vd., 2010; Katip ve Karaer, 2011; Katip vd., 2012; İleri vd., 2014; Zünbülçil, 2015; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2016; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2018). Ancak Uluabat Gölü havzasının madencilik faaliyetleri (Barlas vd., 2005; Çiçek vd., 2013; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2016; Omwene vd., 2019), tarımsal faaliyetler (Hacısalihoğlu ve Karaer 2020) ve insan aktiviteleri nedeni ile sürekli baskı altında olması gölün kirlilik yüklerinin ve trofik seviyesinin takip edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çok değişkenli istatistiksel yöntemler, özellikle kompleks veri datası içeren su kalite çalışmalarında veri indirgemek, su kalitesine etkili olabilecek faktörler ve bunların etki dereceleri ve muhtemel çevresel baskıları belirlemek amacıyla uzun yıllardır uygulanmaktadır (Şengörür ve İsa, 2001; Filik İşcen vd., 2008; Bulut vd., 2010; Varol vd., 2012; Tokatlı vd., 2014; Tokatlı vd., 2016; Dalkıran vd., 2020; Varol vd., 2022). Cluster ve faktör analizi gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemler zamansal ve mekânsal değişime bağlı olarak antropojenik faktörlerin su kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için en yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerdir. Veri indirgeme ve ilişkili değişkenlerden ilişkisiz ve daha az boyutlu yeni faktör yapıları oluşturmak faktör analizinin temel iki amacıdır. Cluster analizi ise su kalitesi parametrelerinin zamansal ve mekânsal değişimlerini belirlemek için uygun çok değişkenli bir analiz olarak bilinir. Bu nedenle Uluabat Gölü su kalitesini değerlendirmek için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada Uluabat Gölü'nde belirlenen beş örnekleme istasyonundan 2017-2020 tarihleri arasında alınan su örneklerinde belirlenen fizikokimyasal değişkenlerin gölün yüzey suyu kalitesini belirlemek için çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda ulusal yönetmeliklere göre su kalitesinin değerlendirilmesi çalışmamızın bir diğer amacını oluşturmaktadır.

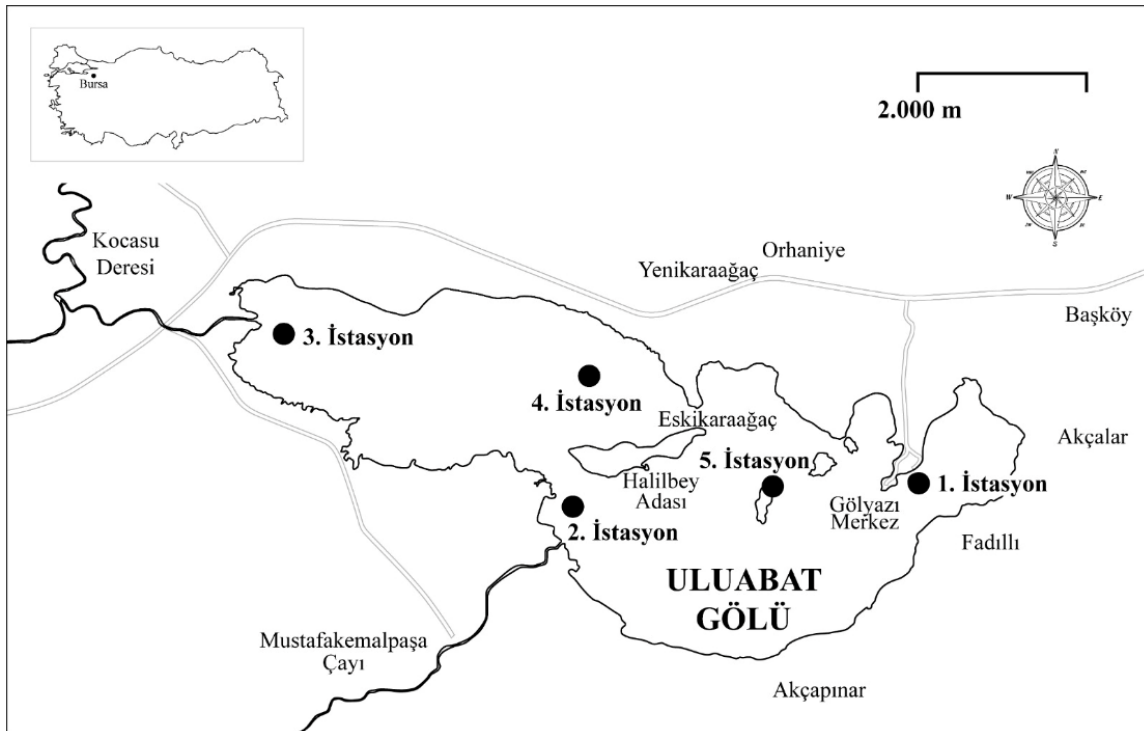
2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Örnekleme Noktaları

Uluabat Gölü havzası ülkemizin 25 akarsu havzasından biri olan Susurluk havzasının alt havzalarından biridir. Türkiye'nin kuzeybatısında Marmara Bölgesi'nde, 40°10' kuzey ve 28°35' doğu koordinatları arasında yer alan Uluabat Gölü, sucul ekosistem yönünden Türkiye'nin en zengin

göllerinden biri olarak bilinir (Dalkıran, 2015; Karacaoğlu vd., 2004). Önceki yıllarda yapılan çalışmalara göre gölün, 1984'de 133,1 km², 1993'de 120,5 km² ve 1998'de 116,8 km² yüzey alanına sahip olduğu belirtilmektedir (Aksoy & Özsoy, 2002). Uluabat Gölü ve çevresinde Marmara iklimi egemendir.

Bu çalışmada Uluabat Gölü'nde beş farklı örnekleme noktası belirlenmiştir. Örnekleme, 2017 yaz, 2018 sonbahar, 2019 ilkbahar ve 2020 kış mevsimlerinde yapılmıştır. 1. istasyon (40°10'38"N, 28°40'19,18"W) Akçalar yerleşim alanlarına ve Akçalar Organize Sanayi Bölgesi'ne yakın olması nedeniyle seçilmiştir. 2. istasyon (40°9'50"N, 28°32'25"W) Mustafakemalpaşa Delta açıklarındadır ve Emet, Orhaneli ve Mustafakemalpaşa çaylarının ve bu çaylara etki eden yerleşim yerlerinin etkilerini gözlemlemek için seçilmiştir. 3. istasyon (40°10'57"N, 28°27'19"W) Uluabat Köyü açıklarıdır ve gölün boşalmasını sağlayan Kocasu Deresi yakınlarından seçilmiştir. 4. istasyon (40°10'52"N, 28°32'40,1"W) ve 5. istasyon (40°10'8,9"N, 28°38'16"W) Eskikaraağaç ile Gölyazı kıyıları açıklarından seçilmiştir.



Şekil 1. Uluabat Gölü örnekleme noktaları

2.2. Su kalitesi analizleri

Bu çalışmada Uluabat Gölü su kalitesini belirlemek için beş örnekleme noktasından 2017-2020 yılları arasında su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri 1 litrelik polietilen şişelerin yüzeyden dibe doğru daldırılması ile standart yöntemler ile alınmıştır. Su sıcaklığı (°C), Elektriksel İletkenlik (EI) ve Çözünmüş Oksijen (ÇO) Hach-Lange marka multi prob (HQ40D) kullanılarak arazide yerinde ölçülmüştür. pH ise HANNA HI8314 marka pH metre kullanılarak yine arazide anlık ölçüm yapılmıştır.

Bikarbonat, karbonat (CO₃ ve HCO₃), toplam alkalinite (Alk) (APHA 2320 B) ve kalsiyum (Ca) (APHA 3500-Ca B) titrimetrik yöntemlerle belirlenmiştir. Magnezyum (Mg) (APHA 3500-Mg B) ve toplam sertlik (TH) hesaplama yöntemi ile belirlenmiştir. Fosfat fosforu (PO₄-P) askorbik asit yöntemi (APHA 4500-P E), toplam fosfor (TP) ise (APHA 4500-P B) persülfat parçalama metodunun ardından askorbik asit yöntemi ile belirlenmiştir. Nitrit azotu (NO₂-N) kolorimetrik yöntemi ile (APHA 4500-NO₂ B), nitrat azotu (NO₃-N) kadmiyum indirgeme yöntemi ile (APHA 4500-NO₃ E), toplam azot (TN) ise alkalın persülfat parçalama yöntemini takip eden kadmiyum indirgeme kolonu yöntemi ile (APHA 4500-N C) tayin edilmiştir. Kjeldahl azotu (TKN) ise toplam azottan nitrit ve nitrat azotunun çıkarılması ile hesaplama yöntemi ile belirlenmiştir. Sülfat turbidimetrik yöntemi

(APHA 4500-SO₄ E), akıda katı madde (AKM) filtrasyon yöntemi (APHA 2540 D), klorofil a (Chl-a) ise aseton ekstrasyon yöntemi ile (APHA 10200 H) tayin edilmiştir. Permanganat indeksi ise (pV) titrasyon yöntemi ile (ISO 8467, 1993) belirlenmiştir (APHA, 1998). Bazı ağır metal ve toksik element analizleri (Al, As, Mn, Cr, Zn, Fe, Ni ve B) ICP-OES ile akredite olmuş Bursa BUSKİ atıksu laboratuvarında yaptırılmıştır.

Göl suyunu sulama suyu kriterleri açısından değerlendirmek için ‘Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT, 2010)’ eklerinde yer alan Tablo E7.2 “Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş tablo” ve Tablo E7.7, “sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları” tablolarından faydalanılmıştır. Ayrıca göl suyu kalitesi Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2012) Ek 5, Tablo 4 (Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları)’e göre de değerlendirilmiştir.

Carlson Trofik Seviye İndeksi (TSI) Carlson (1977), Kratzer ve Brezonik (1981) ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2012)’nde verilen eşitliklere göre TN, TP ve Chl-a’ya göre hesaplanmıştır (Tablo 1). Gölün trofik seviyesi ise Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek 6’da (YSKY, 2012) verilen trofik seviye aralıklarına göre değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Trofik seviye indeksi hesaplama denklemleri

$TSI-Chl-a = 9.81 \cdot \ln(Chl-a) + 30.6$
$TSI-TP = 14.42 \cdot \ln(TP) + 4.15$
$TSI-TN = 54,45 + 14,43 \cdot \ln(TN)$

Chl-a: Klorofil-a (µg/L), TP: Toplam Fosfor (µg/L), TN: Toplam Azot (mg/L)

Tablo 2. Yer Üstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre (YSKY, 2012) trofik seviyeler (Yönetmelik Ek 6, Tablo 9)

Trofik Seviye İndeksi Değeri (TSI)		Trofik Seviye
	>62	Hipertrofik
	62	Ötrofik
60*	52	Mezotrofik
	44	Oligotrofik
	≤ 29	Ultraoligotrofik

*Baraj ve göletler için geçerlidir.

2.3. İstatistiksel analizler

Bu çalışmada Uluabat Gölü üzerinde baskı oluşturan fizikokimyasal değişkenleri, ağır metalleri ve toksik elementleri belirlemek için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden Açıklayıcı faktör analizi (AFA) kullanılmıştır. Veri setinde boyut indirgemek ve döndürülmüş yeni faktör yapıları oluşturmak için varimaks rotasyonu, faktörlerin ekstraksiyonu için ise Ana Bileşenler Analizi (ABA, PCA) uygulanmıştır. Faktör analizinde korelasyon matrisinin anlamlılığını ölçmek için Küresellik testi (Bartlett, 1950) kullanılmıştır (p<0,05). Kaiser-Meyer-Olkin örneklem yeterliliği testi (KMO) (Kaiser, 1970) değişkenlerin tutarlılığını ölçmek için kullanılan bir ölçüttür ve veri setine faktör analizinin uygulanabilmesi için kabul edilen sınır değer 0,5’tir (Kaiser, 1974). KMO’nun özel bir biçimi olan her bir değişken için belirlenen örneklem uygunluk ölçüsü (ÖÜÖ), her bir değişken için belirlenir ve KMO gibi değerlendirilir (Kaiser ve Rice, 1974; Cerny ve Kaiser, 1977). ÖÜÖ için bazı araştırmacılar sınır değer olarak 0,5’i kabul ederken (Kaiser ve Rice, 1974; Dziuban ve Shirkey, 1974; Cerny ve Kaiser, 1977; Field, 2013), bazı araştırmacılar 0,6’nın sınır değer olarak alınmasını söylemektedirler (Pett ve ark., 2003). Bu nedenle düşük ÖÜÖ değerleri içeren fizikokimyasal değişkenler analizden çıkarılmıştır (Pett ve ark. 2003). Faktör analizi IBM SPSS 25 istatistik paket programında gerçekleştirilmiştir.

Cluster analizi (Kümeleme) göl yüzey suyunda belirlenen tüm fizikokimyasal değişkenler kullanılarak su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimlerini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Cluster analizi UPGMA metoduna göre Bray Curtis benzerlik analizine ile gerçekleştirilmiştir. Birçok fizikokimyasal değişken normal dağılım göstermediği için gruplar arası karşılaştırmalarda parametrik olmayan “Kruskal-Wallis” analizi ve yine parametrik olmayan bir Post-Hoc testi olan Dunn’s testi

uygulanmıştır. Cluster analizi ve Kruskal-Wallis analizi PAST 4.03 paket programında gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

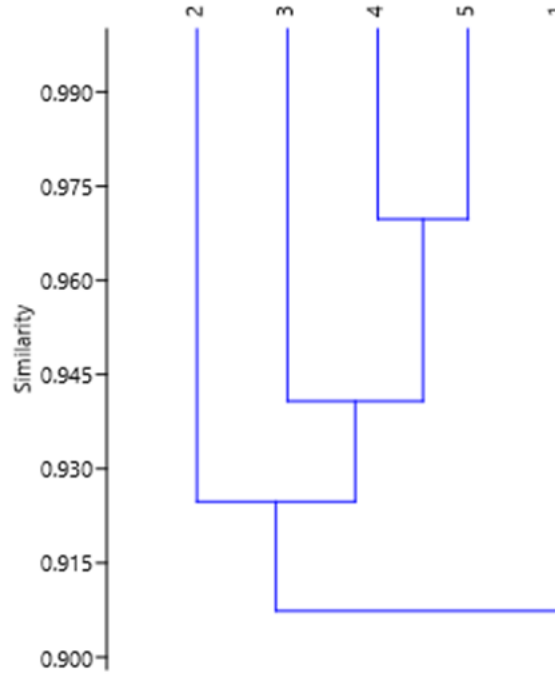
3.1. Fiziksel ve Kimyasal Bulgular

Uluabat Gölü yüzey suyunda ölçülen fizikokimyasal değişkenlere ait analiz sonuçları (minimum, maksimum, yıllık ortalama, standart sapma) Tablo 3’de verilmiştir. Uluabat Gölü’nün her yıl için bütün istasyonlarda saptanan Eİ değerlerine göre gölün II. Sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir (YSKY, 2012). Al, As, B ve Fe’nin ise maksimum çevresel kalite standardı (MAK-ÇKS) üzerinde olduğu belirlenmiştir (YSKY, 2012). Sulama suyu kriterlerine (AATTUT, 2010) göre ise sadece B, izin verilen maksimum konsantrasyon (İVMK) üzerinde tespit edilmiştir. Ayrıca B değerine göre göl suyu Tehlikeli- III. Sınıf su kalitesindedir (> 3) (AATTUT, 2010).

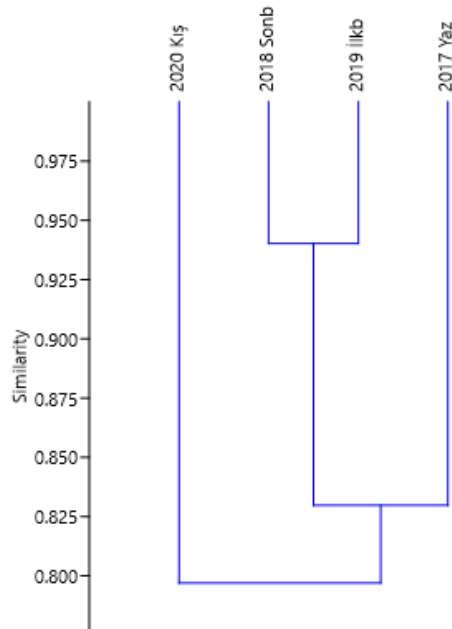
Tablo 3. Göl suyunda tespit edilen fiziko-kimyasal değişkenlerin, tanımlayıcı istatistikleri

	Birim	n	Ort±SH	Medyan	Min	Maks
pH		20	8,441±0,05	8,45	7,90	8,90
Eİ	µS/cm	20	595,05±15,53	579,50	484,00	737,00
ÇO	mg/L	20	8,68±0,39	9,00	6,10	13,10
T	°C	20	18,15±0,94	17,95	13,60	23,65
AKM	mg/L	20	14,90±3,03	11,75	3,40	64,70
pV	mg/L	20	13,04±1,40	12,00	6,40	35,20
NO ₂ -N	mg/L	20	0,01±0,001	0,01	<0,01	0,02
NO ₃ -N	mg/L	20	0,19±0,03	0,13	0,03	0,57
TN	mg/L	20	3,41±0,50	2,52	1,54	9,54
TKN	mg/L	20	3,22±0,50	2,37	1,29	9,44
PO ₄ -P	mg/L	20	0,03±0,01	0,01	<0,01	0,29
TP	mg/L	20	0,13±0,05	0,07	0,03	1,03
Ca	mg/L	20	79,56±6,17	82,16	24,05	124,25
Mg	mg/L	20	76,12±9,08	91,20	7,30	116,74
TH	mg/L	20	323,95±28,35	378,32	76,03	490,36
Cl	mg/L	20	15,52±2,34	14,50	3,00	54,98
SO ₄	mg/L	20	185,91±14,46	189,37	70,42	301,65
HCO ₃	mg/L	20	237,26±20,97	248,27	106,14	511,18
CO ₃	mg/L	20	34,86±5,59	45,60	0,00	74,40
Alk	mg/L	20	272,12±19,30	280,78	156,62	537,58
Al	mg/L	20	0,59±0,10	0,52	0,09	2,21
Fe	mg/L	20	0,40±0,07	0,37	0,08	1,63
B	mg/L	20	4,33±0,57	4,81	0,17	8,62
As	µg /L	20	44,87±6,79	33,25	12	123,50
Mn	µg /L	20	20,40±3,41	13	<10	60
Ni	µg /L	20	9,40±0,61	8,25	6	17
Zn	µg /L	20	16,55±2,94	12	<10	51
Cr	µg /L	20	3,07±0,48	2,75	1	10
TSL_TN	mg/L	20	69,96±1,68	67,75	60,69	86,99
TSL_TP	mg/L	20	67,62±2,65	64,91	51,12	104,21
TSL_Ch1	mg/L	20	54,75±2,57	50,95	36,40	79,36
Ch1a	µg /L	20	23,13±7,34	8,03	1,81	144,03

Tüm fizikokimyasal değişkenlerin bir arada kullanılarak yapılan cluster analizine göre 4. (Eskikaraağaç) ve 5. (Gölyazı) istasyonları birbirine en çok benzeyen noktalar olarak belirlenmiştir (Şekil 2). 1. istasyonun (Akçalar) ise diğer tüm noktalara göre benzerliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir. cluster analizine göre fizikokimyasal değişkenler yıllara göre karşılaştırma yapıldığında, 2018 sonbahar ve 2019 yaz dönemlerinin benzerlik gösterdiği Şekil 3'te görölmektedir. Cluster dendrogramına göre en farklı olan çalışma dönemi 2020 kış olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. İstasyonlara göre cluster dendrogramı (Kofenetik korelasyon katyasısı 0,812)

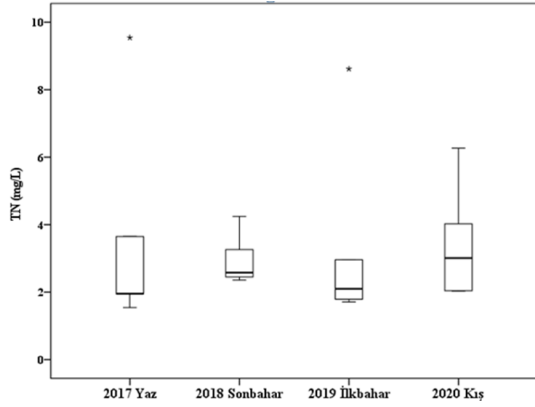


Şekil 3. Yıllara göre cluster dendrogramı (Kofenetik korelasyon katsayısı 0,943)

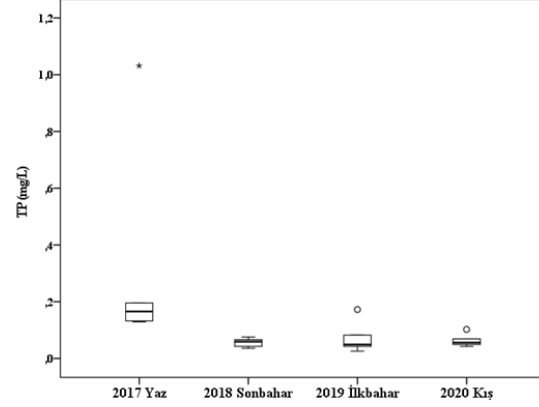
Kruskal-Wallis analizine göre istasyonlara göre sadece PO₄-P ($H:11,933$, $p:0,018$) değişkeni anlamlı farklılık göstermiştir. Yıllara göre ise fizikokimyasal değişkenlerden 19 tanesinde anlamlı farklılık tespit edilmiştir.

3.2. Gölün Trofik Seviyesinin Belirlenmesi

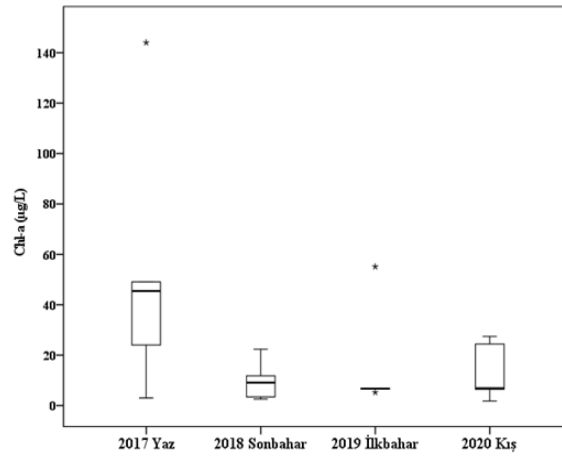
Gölün trofik seviyesinin belirlenmesinde kullanılan her mevsim için TN, TP ve Chl-a değerlerinin ortalaması Tablo 3’de verilmiştir. Kruskal-Wallis analizine göre TP, TN, Chl-a değerleri yıllara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0,05$) (şekil 4-5-6).



şekil 4. Uluabat Gölü TN değerleri



şekil 5. Uluabat Gölü TP değerleri

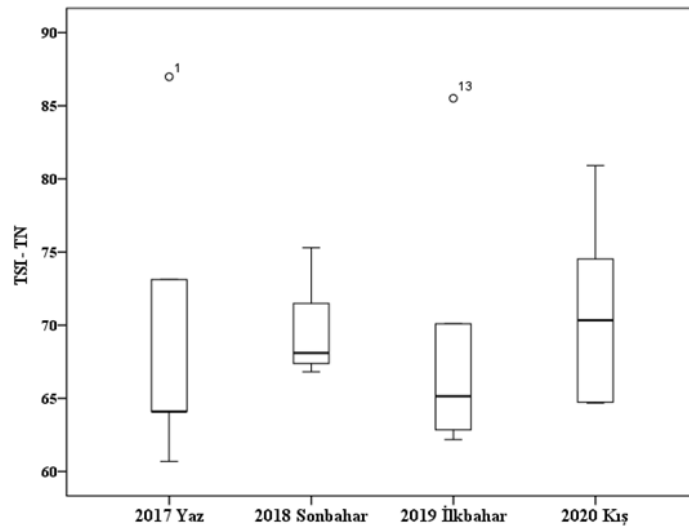


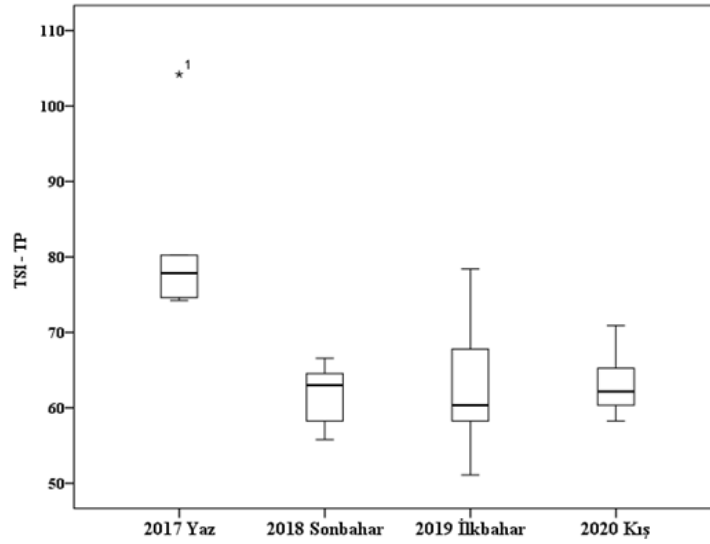
şekil 6. Uluabat Gölü Chl-a değerleri

Tablo 4. Yıllara göre trofik seviye indeksi ortalama değerleri

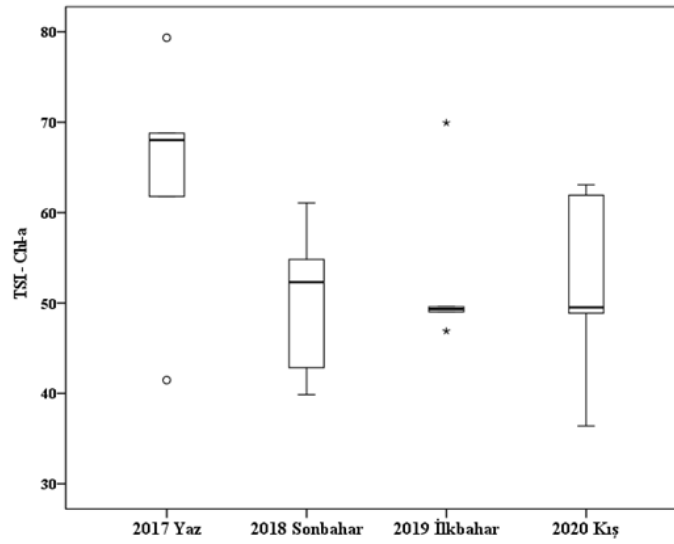
Dönem	TSI	Ort±SH	Medyan	Min	Maks	n
2017 YAZ	TSI-TN	69,8±4,77	64,103	60,691	86,986	5
	TSI-TP	82,23±5,602	77,850	74,25	104,21	5
	TSI-Chla	63,89±6,274	68,050	41,48	79,356	5
2018 SONBAHAR	TSI-TN	69,82±1,592	68,105	66,815	75,302	5
	TSI-TP	61,64±2,002	63,015	55,81	66,584	5
	TSI-Chla	50,19±3,906	52,308	39,865	61,082	5
2019 İLKBAHAR	TSI-TN	69,16±4,317	65,150	62,191	85,514	5
	TSI-TP	63,19±4,643	60,353	51,117	78,418	5
	TSI-Chla	52,96±4,271	49,331	46,904	69,937	5
2020 KIŞ	TSI-TN	71,05±3,084	70,347	64,688	80,918	5
	TSI-TP	63,4±2,205	62,181	58,259	70,921	5
	TSI-Chla	51,97±4,903	49,519	36,404	63,088	5

Carlson TSI-TN ve TSI-TP değerlerine göre Uluabat Gölü'nün hiperötrotfik karakterde (>62, Tablo 2, Tablo 4) olduğu tespit edilmiştir. Carlson TSI-Chla değerlerine göre ise Uluabat Gölü'nün ötrofik karakterde olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Kruskal-Wallis analizine göre TSI-TN ve TSI-Chl-a yıllara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermezken, TSI-TP ise yıllara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir ($H:6,185$, $p:0,005$, 2017 1.grup-2018, 2019, 2020 2.grup) (Şekil 7-8-9).

**Şekil 7.** Uluabat Gölü toplam azot (TSI-TN) değerleri



Şekil 8. Uluabat Gölü toplam fosfor (TSI-TP) değerleri

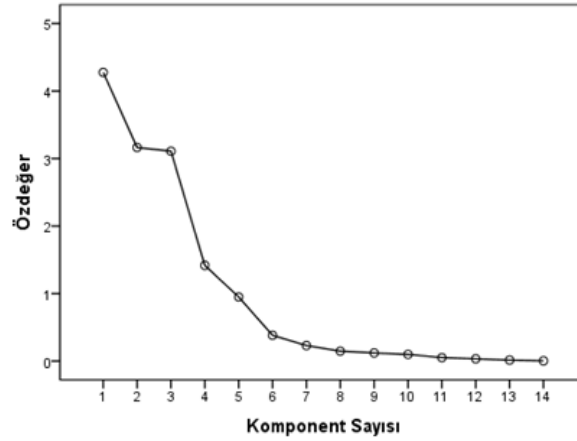


Şekil 9. Uluabat Gölü TSI-Chl-a değerleri

3.3. Faktör Analizi Bulguları

Faktör analizi uygulamadan önce fizikokimyasal değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisine bakılmış ve çoklu bağlantıyı (multikolinearite) engellemek için 0,9'un üzerinde korelasyon ilişkisi gösteren fizikokimyasal değişkenler analizden çıkarılmıştır. Her bir değişken için belirlenen örneklem uygunluk ölçüsü (ÖÜÖ) değerleri kontrol edilerek 0,5 altında ÖÜÖ değerine sahip değişkenler analizden çıkarılmıştır (Pett vd., 2003). Son faktör analizi veri setinde 14 fizikokimyasal değişken kullanılmıştır. Bu fizikokimyasal değişkenler Tablo 6'da verilmiştir. Analiz sonunda KMO değeri 0,614 olarak belirlenmiştir.

KMO değerinin 0,6'nın üzerinde bulunması veri setinin faktör analizi için uygun olduğunu göstermektedir. Bartlett küresellik testi (Bartlett, 1950) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($0,614$, $X^2: 281,225$; $df: 91$; $p: 0,000$) ve faktör analizi'nin bu veri setine uygulanılabileceğine karar verilmiştir. Uygun faktör sayısını belirlemek için uygulanan yamaç eğim testi (Cattell, 1966), özdeğeri (λ) 1'den büyük olan dört faktör olduğunu göstermiştir. Bu faktörlerin değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Faktör özdeğerlerinin (λ) yamaç eğim grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 10). İlk dört faktör toplamı %85,47 olmuş ve açıklanan varyans kriteri için istenen %67 sınırı (açıklanan varyansın en az 2/3'ü) aşılmıştır (Tablo 5).

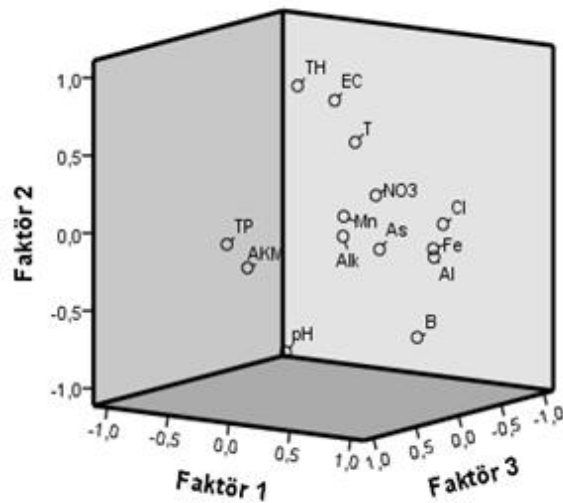


Şekil 10. Faktör özdeğerlerinin (λ) yamaç eğim grafiği

Tablo 5. Tahminlenmiş ve döndürülmüş faktör yüklerinin varyansları

Faktör	Tahminlenmiş Yüklerin Kareler Toplamı			Döndürülmüş Yüklerin Kareler Toplamı		
	Toplam	% Varyans	% Yığılmalı Varyans	Toplam	% Varyans	% Yığılmalı Varyans
1	4,276	30,541	30,541	4,113	29,38	29,38
2	3,164	22,601	53,142	3,09	22,075	51,455
3	3,109	22,205	75,346	2,651	18,936	70,391
4	1,417	10,123	85,469	2,111	15,078	85,469

Faktör I'de Al, Fe, Cl, B, As, Mn ve su sıcaklığı pozitif faktör yükü oluşturmuştur. Faktör II'de ise pH ve B negatif, Eİ, sıcaklık ve toplam sertlik ise pozitif faktör yükü oluşturmuştur. AKM ve toplam fosfor III. Faktör yükünde ve toplam alkalinite ve nitrat azotu ise IV. Faktör yükünde pozitif yük oluşturmuştur. Bu bulgulara göre havzanın jeolojik yapısı ve madencilik faaliyetleri I. faktör yükünde belirlenirken, besin tuzu ve ötrofikasyonun göl su kalitesine etkisi III. ve IV. faktör yüklerinde belirlenmiştir. Döndürülmüş faktör matrisinin bileşenleri ise aşağıda verilmiştir (Tablo 6 ve Şekil 11).



Şekil 11. Döndürülmüş faktör matrisinin bileşen yükleri

Tablo 6. Döndürülmüş faktör matrisinin bileşenleri

	Faktörler			
	I	II	III	IV
T	0,442	0,619		
pH		-0,826		
Eİ		0,757		
TH		0,896		
Alk				0,922
AKM			0,94	
NO₃-N				0,774
TP			0,967	
Cl	0,876			
Al	0,963			
As	0,525			-0,638
Fe	0,96			
B	0,575	-0,702		
Mn	0,651		0,692	

4. TARTIŞMA

Ülkemizin önemli RAMSAR alanlarından biri olan Uluabat Gölü antropojenik aktiviteler, madencilik, tarım faaliyetleri, doğrudan ve dolaylı yoldan deşarjlar sonucunda kirlenmekte ve su kalitesi bozulmaktadır. Bu çalışma ile sucul ekosistem için önemli bir tehdit unsuru olan kirleticilerin Türkiye'nin değerli sulak alanlarından biri olan Uluabat Gölü'nün yüzey suyu kalitesi üzerine etkisinin açıklanması amaçlanmıştır.

Fizikokimyasal değişkenlerin istasyonlara göre farklılıklarını belirlemek için uygulanan Kruskal-Wallis analizine göre sadece PO₄-P istasyonlarda anlamlı farklılık göstermiştir. Ancak cluster analizi sonuçları fizikokimyasal değişkenlerin istasyonlara göre değişimini güzel açıklamıştır (Şekil 2). Cluster analizi dendrogramında 1. istasyon (Akçalar) ayrı bir küme oluşturmuştur. Akçalar Uluabat Gölü'nün noktasal olarak kirlenen en kirli noktası olarak bilinir (Hacısalıhoğlu ve Karaer, 2020). Bu istasyonun ayrı kümelenmesinin en önemli nedeninin endüstriyel ve evsel atık suların göle deşarj edildiği Akçalar Deresi vasıtası ile bu noktada kirlilik yükünün artması olduğu düşünülmektedir. Katip vd. (2013) çalışmalarında, Uluabat Gölü'ne ulaşan azot ve fosfor yüklerinin kaynağının Akçalar Köyü'nde bulunan et kesimhanelerinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Yılların karşılaştırıldığı cluster analizi sonuçlarına göre ise 2020 kış dönemi diğer yıllardan ayrı kümelenmiştir (Şekil 3). Bu durumun temel nedeninin kış aylarında göl suyu seviyesinin yükselip, içinde bulunan kimyasalların seyrelmesi olabileceği düşünülmektedir.

Uluabat Gölü hipertrofik karakterde olmasına (Elmacı vd., 2009; Akdeniz vd., 2011) ve tarımsal, evsel ve sanayi kirliliği su kalitesi üzerinde baskı oluşturmasına (Hacısalıhoğlu ve Karaer, 2020) rağmen faktör analizi sonuçlarına göre bu kirleticiler III. ve IV. faktörlerde temsil edilmişlerdir. Filik İşcen vd. (2008) Uluabat Gölü'nde yaptıkları çalışmada faktör analizi sonucunda üç faktör yükünden ilkinin mikrobiyolojik, ikincisinin organik besin tuzu, üçüncüsünün ise fizikokimyasal faktörler olduğunu tespit etmişlerdir. Bulut vd. (2010), Uluabat Gölü'nün su kalitesini değerlendirmek için faktör analizi uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmada ilk faktör toplam varyansın %58,70'ini açıklamış ve evsel-tarımsal drenaj faktörü olarak isimlendirilmiştir. İkinci faktör ise toplam varyansın %41,30'ını açıklamış ve nutrient faktör olarak isimlendirilmiştir. Eski yıllarda yapılan çalışmalar (Filik İşcen vd., 2008; Bulut vd., 2010) Uluabat Gölü'nün öncelikle evsel, mikrobiyolojik ve tarımsal faktörler tarafından kirletildiğini göstermektedir. Bu çalışmada ise havzanın jeolojik yapısı ve madencilik faaliyetlerinin Uluabat Gölü'ne etkisi I. faktör yükünde belirlenirken, besin tuzu ve ötrofikasyonun su kalitesine etkisi III. ve IV. faktör yüklerinde belirlenmiştir. Bu farkın nedenlerinden birinin 2018

yılında devreye giren ve Gölyazı, Çatalağıl, Karacaoba, Başköy, Akçalar ve Fadıllı bölgesine hizmet veren Akçalar Atıksu Arıtma Tesisi'nden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Bu arıtma tesisi; ilk olarak fiziksel, sonrasında ileri biyolojik ve ultraviyole dezenfeksiyon arıtma gerçekleştirmektedir. Ancak Uluabat Gölü'ne yüksek oranda tarımdan dönen sulama sularını taşıyan üç pompa istasyonundan ve Mustafakemalpaşa Çayı'ndan yüksek oranda besin tuzu girişi olduğu Hacısalihoğlu ve Karaer'in (2020) çalışmasında ortaya konmuştur. Faktör analizinde madencilik faaliyetlerinin I. faktör yükünde belirlenmesinin temel nedeninin havzada gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin artış göstermesi ve Uluabat Gölü'nü etkileyen en önemli kirlenici kaynak olarak ön plana çıkması olduğu düşüncesindeyiz. Son 15 yılda Uluabat Gölü'nü besleyen akarsuların havzalarında, özellikle Emet Çayı havzasında madencilik faaliyetlerinin yüksek oranda artış gösterdiği ve su kalitesi üzerine olumsuz etkiler oluşturduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Tokatlı vd., 2012; Tokatlı vd., 2013; Tokatlı vd., 2014; Helvacı, 2015; Omwene vd., 2019; Dalkıran vd., 2020). Artışın diğer bir nedeninin ise Kütahya ili civarında maden atığı bertaraf tesisi bulunmamasından (KÇŞİDİM, 2021) kaynaklanabileceği de göz ardı edilmemesi gereken önemli bir sorundur.

Faktör analizi sonuçlarına göre Al, As, B, Fe ve Mn gibi bazı metaller I. faktör yükünde pozitif faktör yükü oluşturmuştur. 2011 yılında Uluabat Gölü'nde yapılan bir çalışmada Fe, Zn, Cr, Ni, B ve Pb konsantrasyonlarının diğer doğal su kaynaklarından daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Katip ve Karaer, 2011). Göl yüzey suyunda ağır metal analizleri yapan çeşitli çalışmalardaki (Çelenli, 2000; Elmacı vd., 2010; İleri, 2010; Katip & Karaer 2011; Katip vd., 2014; Hacısalihoğlu ve Karaer, 2016) veriler bu çalışmadaki veriler ile karşılaştırıldığında Fe, Mn, Cr konsantrasyonlarının düştüğü, As ve Fe konsantrasyonlarında belirgin bir artış olmadığı, Mn konsantrasyonunun ise 1 ile 4 kat arasında arttığı tespit edilmiştir. Fe ve Al'nin bazı dönemlerdeki konsantrasyonlarının MAK-ÇKS'nin (YSKY, 2012) neredeyse 6-8 katı üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Al yeryüzünde en çok bulunan metaldir ve çoğunlukla alüminyum oksit ve silikat olarak bulunur. Sanayi alanlarının olduğu bölgelerde, büyük şehirlerin atmosferik havasında Al varlığı tespit edilmiştir. Hava kirliliği ve asit yağmurları nedeniyle toprakta kolayca mobilize olan Al, göl sularına ve sucul canlılara ulaşır (Guibaud ve Gualthier, 2003). Madencilik faaliyetleri ve toprak erozyonu da diğer önemli girdi kaynaklarını oluşturur. Özellikle gölde (Çelenli, 2000; Katip ve Karaer, 2011) ve gölü besleyen akarsularda (Omwene 2019, Dalkıran vd., 2020) Fe ve/veya Al üzerine yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Önceki yıllarda gölü besleyen Mustafakemalpaşa Çayı'nda yapılan çalışmalar bu metallerin konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğunu göstermiştir (Omwene 2019; Dalkıran, 2020). Tarımsal faaliyetler ile gölün sediman yükünün artmasına bağlı olarak su seviyesi günden güne azalmakta, Fe ve Al gibi metaller Orhaneli ve Emet çayları ile taşınarak Mustafakemalpaşa Çayı'na, oradan da Uluabat Gölü'ne ulaşmaktadır (Omwene vd., 2019; Dalkıran vd., 2020; Yurtseven ve Randhir, 2020).

Uluabat Gölü'nde kirliliğe neden olan diğer bir kaynak B elementidir. Göl suyu sulama kriterlerine göre değerlendirildiğinde (AATTUT, 2010) B değerine göre (ort 4,33 mg/L) Tehlikeli- III. Sınıf su kalitesinde (> 3) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca maksimum değer (8,62 mg/L) (Tablo 3) izin verilen MAK ÇKS konsantrasyonunun (1,472 mg/L) (YSKY, 2012) yaklaşık 6 katı kadardır. Çelenli (2000), Uluabat Gölü yüzey suyunun B konsantrasyonunu 0,24-1,15 mg/L aralığında, Dalkıran vd. (2006) 0,36-1,79 mg/L aralığında, Elmacı vd. (2010) ortalama 0,96 mg/L, Katip vd. (2014) ortalama 2,17 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Bu bulgular doğrultusunda önceki yıllarda gölde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde B konsantrasyonunun kademeli olarak arttığı görülmektedir. Uluabat Gölü havzası Kütahya ili sınırlarında doğan Orhaneli ve Emet çayları ile beslenir. Kütahya ülkemizin en önemli maden kaynaklarının bulunduğu ilimizden biridir. Kütahya Eti Maden Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık ve Espey olmak üzere iki açık ocaktan kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$) cevheri üretimi gerçekleştirmektedir. Emet Çayı'nda yapılan çalışmalar ise B konsantrasyonunun daha yüksek olduğunu göstermektedir (Arslan, 2013; Benzer, 2016; Tokatlı vd., 2016;). Ayrıca Dalkıran vd. (2006) Mustafakemalpaşa Çayı'ndan Uluabat Gölü'ne eski yıllarda 0,701 ton B girişi olduğunu tespit etmişlerdir. 2020 yılında Mustafakemalpaşa Çayı'nda yapılan bir çalışmada ise B konsantrasyonu ortalama 9,32 mg/L olarak tespit edilmiştir (Dalkıran vd., 2020). Özellikle son 20 yılda yapılan çalışmalarda Uluabat Göl suyu örneklerinde tespit edilen B miktarının giderek arttığı görülmektedir (Çelenli, 2000; Bebek, 2001; Dalkıran vd., 2006; Elmacı vd., 2010; Katip ve Karaer, 2011; İleri vd.,

2014;). Ayrıca Semiz (2014) yaptığı çalışmada Uluabat Gölü'nde tespit edilen yüksek B konsantrasyonu nedeniyle göl suyunun sulama suyu olarak kullanılmasının uygun olmadığını belirtmiştir. Bu bulgular gölde B konsantrasyonundaki artışın madencilik faaliyetlerinden kaynaklandığını desteklemektedir. B madeni dışında Kütahya havzasında feldispat ($XA_{1(1-2)}Si_{(3-2)}O_{(8)}$), manezit ($MgCO_3$), florit (CaF_2), talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), Ag, Cu, Pb, Zn, antimon, Fe, Mn, Cr madenleri de bulunmaktadır (Özgenç, 1993; Oygür & Erler, 1999).

Yapılan çalışmada As yaz ve ilkbahar dönemlerinde MAK-ÇKS üzerinde tespit edilmiştir. As jeolojik ve antropojenik faaliyetler ile su, hava ve toprak yoluyla insanlara ulaşır. Özellikle Uluabat Gölü'nü besleyen akarsulardan biri olan Emet Çayı (Tokatlı vd., 2014; Tokatlı vd., 2016) ve Mustafakemalpaşa Çayı'nda As seviyesi dönem dönem sınır değerlerin üzerine çıkabilmektedir (Dalkıran vd., 2020). Bunun en temel nedeni Kütahya iline bağlı B yatağında As-boratlardan terugit ve kahnit-B minerallerinin bulunmasıdır (Helvacı, 1984). Özellikle yüksek derişimlerde içme suyu yolu ile sürekli As maruziyeti cilt kanseri ve ekstremitelerde hiperkeratosis ve As melanozu ile karakterizedir (Çöl vd., 1999; Abdul vd., 2015). Özellikle Emet Çayı havzasında içme suyu ve yeraltı sularında yüksek As varlığı 2000'li yıllarda yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Çolak vd., 2003; Çöl ve Çöl, 2004). İnsan ve çevre sağlığı üzerindeki bu etkileri nedeni ile As'nin sucul canlılar üzerindeki etkileri de araştırma konusu olmuştur. Bunun yanında tüm mevsimlerde ölçülen göl suyu değerlerinde Zn, Mn, Ni, Cr derişimleri İVMK ve MAK-ÇKS altında tespit edilmiştir. Mn derişimleri İVMK ve MAK-ÇKS altında tespit edilmesine rağmen faktör analizi sonuçlarına göre faktör I'de pozitif yük oluşturmuştur. Bu çalışma ile ağır metallerin ve diğer toksik elementlerin Uluabat Gölü'ne Mustafakemalpaşa Çayı yoluyla taşındığı ve gölde kirlilik yarattığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Uluabat Gölü trofik seviyeleri Tablo 4'de gösterilmiştir. Uluabat Gölü Carlson TSI-TN ve TSI-TP (>62, YSKY, 2012) değerlerine göre hiperötrofik karakterde olduğu belirlenmiştir. Carlson TSI-Chl-a (52-62, YSKY, 2012) değerlerine göre ise ötrofik karakterdedir. Ötrofikasyon su kalitesi ve sucul canlı popülasyonunu etkileyen bir faktördür. Daha önce yapılan çalışmalarda göl suyu TP, TN ve Chla değerlerine göre değerlendirildiğinde ötrofikten hiperötrofiğe geçiş tespit edilmiştir (Akdeniz vd., 2011; Katip vd., 2015; Hacısalihoglu ve Karaer, 2016; Yılmaz vd., 2017). Antropojenik etkiler her geçen gün dünya tatlı su göllerinde olduğu gibi Uluabat Gölü'nde de etkili olmuş ve ötrofikasyonu arttırmıştır (Dalkıran vd., 2006). Bunun yanında özellikle azotlu ve fosfatlı gübrelerin tarımda yaygın olarak kullanılması bu besin tuzlarının su kaynaklarında yüksek seviyelere çıkmasına ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Mustafakemalpaşa Çayı civarındaki tarım arazilerinden gelen kirlilik yüklerinin (Hacısalihoglu ve Karaer, 2020) Uluabat Gölü'ne taşınması ötrofikasyonu arttırmakta ve gölün trofik seviyesini değiştirmektedir.

5. SONUÇ

Elde edilen verilere göre B şu an Uluabat Gölü'nde sınır değerdedir ve bu derişimde toksik etki yaratmayacağı düşünülmektedir. Fakat ileriki dönemlerde Mustafakemalpaşa Çayı'nda ortalama 20 mg/L olan B miktarı göle giriş yapmaya devam ederse sucul canlılar üzerine ve buna bağlı olarak insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilir. Uluabat Gölü'nü besleyen Orhaneli ve Emet çayları havzaları etrafında yer alan yerleşim yerleri ve madencilik faaliyetleri nedeniyle göle önemli ölçüde ağır metal ve B girdisi olmaktadır (Çelenli, 2000; İleri, 2010; Tokatlı vd., 2012; Katip vd., 2013; Dalkıran vd., 2020). Halihazırda havzada faaliyet gösteren sanayi alanlarına ek olarak yeni bir sanayi bölgesinin kuruluşuna başlandığı ve su ihtiyacını Uluabat Gölü havzasından sağlayacağı bilinmektedir. Bu durum göle giren su miktarının azalmasına ve göl suyunda ağır metal, toksik element ve besin tuzu konsantrasyonlarının artmasına neden olabilir. Göle ağır metal ve toksik element girişinin bu seviyelerde devam etmesi durumunda, göl suyunun sulama suyu olarak kullanılması nedeniyle çevredeki tarım arazilerinde yetişen sebze ve meyvelerin tüketilmesi de toksisiteye neden olabilir. Bu çalışma metal ve B kirliliğinin önlenmesi için gerekli önlemlerin alınmasının gelecekte insan sağlığı ve su ekosisteminin tehlikeye girmemesi için önemli olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı DDP-(F2018-10) numarasıyla destekleyen Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

FİNANSMAN

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından DDP-(F2018-10) Doktora Destek Projesi ile desteklenmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

YAZAR KATKILARI

Arazi çalışmaları: ÇÖK, Deneyleerin gerçekleştirilmesi: CÖK, ND; Makale yazımı: CÖK; Düzenleme: ND. Bütün yazarlar nihai taslağı onaylamıştır.

ETİK BİLDİRİMLER

Bu çalışmada deney hayvanı kullanılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

VERİ KULLANILABİLİRLİK BEYANI

Bu çalışmada kullanılan veriler, makul talep üzerine ilgili yazarlardan temin edilebilir.

KAYNAKLAR

- AATTUT, (2010). Atıksu arıtma tesisleri teknik usuller tebliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. Resmi Gazete, Tarih 20.03.2010, Sayı 27527.
- Abdul, K. S. M., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(3), 828-846. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016>
- Akdeniz, S., Karaer, F., Katip, A., & Aksoy, E. (2011). A GIS-based method for shallow lake eutrophication assessment. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(15).
- Akgün, Ü. (2022). *Bursa İlinde Toprak-Su Kirliliği ve Çözüm Önerileri* [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
- Aksoy, E., & Özsoy, G. (2002). Investigation of multi-temporal land use/coverand shoreline changes of the Uluabat Lake Ramsar site using RS and GIS. *International Conference on Sustainable Land Use and Management*, 318-325.
- APHA, (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater (20th ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- Arslan, N. (2013). Invisible face of boron pollution in fluvial ecosystem: the level in the tissues of sentinel and nektonic organisms. *Ambio*, 42(6), 715-723.
- Barlas, N., Akbulut, N., & Aydoğan, M. (2005). Assessment of heavy metal residues in the sediment and water samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(2), 286-293.
- Bartlett, M. (1950). Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Psychology*, 3, 77-85.
- Bebek, M. T. (2001). *Uluabat gölü ve gölü besleyen su kaynaklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].
- Bulut, C., Atay, R., Uysal, K., Köse, E., & Çınar, Ş. (2010). Uluabat Gölü yüzey suyu kalitesinin değerlendirilmesi. *Aquatic Sciences and Engineering*, 25(1), 9-18.
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1(2), 245-276. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10
- Cerny, B. A., & Kaiser, H. F. (1977). A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. *Multivariate Behavioral Research*, 12(1), 43-47. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1201_3

- Çelenli, A. (2000). *Uluabat Gölü çevre jeokimyası* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Çiçek, A., Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö., Köşe, E., Bakurt, S., & Sülün, Ş. (2013). Macro and micro element concentrations in water, sediment and commercial fishes of Çatören Dam (Eskişehir). *Journal of Research in Ecology*, 2(2), 91-99.
- Çolak, M., Gemici, Ü., & Tarcan, G. (2003). The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and ground water in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 149, 127-143.
- Çöl, M., Çöl, C., Soran, A., Sayli, B. S., & Oztürk, S. (1999). Arsenic-related Bowen's disease, palmar keratosis, and skin cancer. *Environmental Health Perspectives*, 107(8), 687-689. <https://doi.org/10.1289/ehp.107-1566498>
- Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Dere, Ş., Şentürk, E., & Torunoğlu, T. (2006). Factors affecting the current status of a eutrophic shallow lake (Lake Uluabat, Turkey): Relationships between water physical and chemical variables. *Chemistry and Ecology*, 22(4), 279-298. <https://doi.org/10.1080/02757540600856229>
- Dalkıran, N. (2015). *Uluabat Gölü Ramsar alanı ve biyolojik özellikleri* [Konferans sunumu]. Karacabey Sempozyumu, Bursa, Türkiye. <https://www.researchgate.net/publication/329962646>
- Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Taş, D., Karabayırlı, G., Atak, S., Koşucu, T. A., Akay, E. (2020). Mustafakemalpaşa Çayı'nın (Bursa) su kalitesinin faktör analizi kullanılarak değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 16(1), 124-137. <https://doi.org/10.22392/actaquat.610888>
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (1982). Apolyont Gölü ve yan kolları projesi kirlilik gözlem çalışmaları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, I. Bölge Müdürlüğü. 55s
- Dziuban, C. D., & Shirkey, E. C. (1974). When is a correlation matrix appropriate for factor analysis? *Some decision rules. Psychological Bulletin*, 81(6), 358. <http://dx.doi.org/10.1037/h0036316>
- Elmacı, A., Teksoy, A., Topaç, O., Özenin, N., Kurtoğlu, N., & Başkaya, H. (2007). Assessment of heavy metals in Lake Uluabat, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 19(6), 2236-2244. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2351>
- Elmacı, A., Özenin, N., Teksoy, A., Topaç Ş., Topaç, F.O., & Baskaya, H. (2009). Evaluation of trophic state of lake Uluabat, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 30(5), 757-760.
- Elmacı, A., Teksoy, A., Topaç, F., Özenin, N., & Başkaya, H. (2010). Uluabat Gölü fizikokimyasal özelliklerinin yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1), 149.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. SAGE Publications. 4th Edition.
- Filik Iscen, C., Emiroglu, Ö., İlhan, S., Arslan, N., Yılmaz, V., & Ahiska, S. (2008). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1-3), 269-276.
- Guibaud, G., & Gauthier, C. (2003). Study of aluminium concentration and speciation of surface water in four catchments in the Limousin region (France). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 97(1), 16-25. [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(03\)00254-X](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(03)00254-X)
- Hacısalihoğlu, S., & Karaer, F. (2016). Relationships of heavy metals in water and surface sediment with different chemical fractions in Lake Uluabat, Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 1937-1946. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62908>
- Hacısalihoğlu, S., & Karaer, F. (2018). Evaluation of water quality in eutrophic shallow lakes: case study on lake Uluabat, Turkey. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(1), 18-28. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18004>
- Hacısalihoğlu, S., & Karaer, F. (2020). Uluabat Gölü noktasal kirlenici kaynaklar ve kirlilik yükleri. *Doğal Afetler Çevre Dergisi*, 6(2): 258-267.
- Helvacı, C. (1984). Occurrence of rare borate minerals: Veatchite-A, tunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey. *Mineralium Deposita*, 19(3), 217-226.
- Helvacı, C. (2015). Geological features of neogene basins hosting borate deposits: An overview of deposits and future forecast, Turkey. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 151, 169-215. <https://doi.org/10.19111/bmre.05207>

- İleri, S. (2010). *Uluabat gölü su ve sediment kalitesinin fiziko-kimyasal parametreler açısından değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında analizlenmesi* [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
- İleri, S., Karaer, F., Katip, A., & Onur, S. (2014). Sığ göllerde su kalitesi değerlendirmesi, Uluabat Gölü Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(1), 47-57. <https://doi.org/10.17482/uujfe.58132>
- Kaiser, H.F. (1970). A second generation little jiffy. *Psychometrika*, 35(4), 401-415. <https://doi.org/10.1007/BF02291817>
- Kaiser, H.F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31-36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Kaiser, H. F., & Rice, J. (1974). Little jiffy, mark IV. *Educational and Psychological Measurement*, 34(1), 111- 117. <http://dx.doi.org/10.1177/001316447403400115>
- Karacaoğlu, D., Dere, Ş., & Dalkıran, N. (2004). A taxonomic study on the phytoplankton of Lake Uluabat (Bursa). *Turkish Journal of Botany*, 28(5), 473-485. <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol28/iss5/2>
- Karacaoğlu, D. (2006). *Emet Çayı'nın epipelik diyatomeleleri ve bentik omurgasızlarının ilişkilendirilmesi ile kirlilik düzeyinin saptanması* [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
- Katip, A., & Karaer, F. (2011). Uluabat Gölü su kalitesinin Türk mevzuatına ve uluslararası kriterlere göre değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 16(2), 25-34.
- Katip, A., Karaer, F., Başkaya, H. S., İleri, S., & Sarmaşık, S. (2012). Fraction distribution and risk assessment of heavy metals and trace elements in sediments of Lake Uluabat. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 5399-5413.
- Katip, A., Karaer, F., İLERİ, S., & Sarmaşık, S. (2013). Uluabat Gölü'nde iz metallerin askıda katı madde ile su arasındaki dağılımının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4).
- Katip, A., İleri, S., Karaer, F., & Onur, S. (2015). Determination of the trophic state of Lake Uluabat (Bursa-Turkey). *Ekoloji*, 24(97), 24-35. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2015.06>
- KÇŞİDİM, (2021). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Kütahya İli 2021 Çevre Durum Raporu.
- Kratzer, C., & Brezonik, P. (1981). A carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 17(4), 713-715. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1981.tb01282.x>
- Omwene, P. I., Öncel, M. S., Çelen, M., & Kobya, M. (2019). Influence of arsenic and boron on the water quality index in mining stressed catchments of Emet and Orhaneli streams (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7337-z>
- Oygür, V., & Erler, A. (1999). Jasperoid tipi epidermal cevherleşmeye batı Anadolu'dan bir örnek: Değirmenciler antimon cevherleşmesi (Simav, Kütahya). *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 121, 97-113.
- Özgenç, İ. (1993). Ovacık (Tavşanlı-Kütahya) fluorit yatağının jeolojisi ve oluşumu. *Jeoloji Mühendisliği*, 43, 5-14.
- Pett, M., Lackey, N., & Sullivan, J. (2003). Making Sense of Factor Analysis: The use of factor analysis for instrument development in health care research. California: Sage Publications Inc.
- Rand, G. M., & Petrocelli, S. R. (1985). Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications. FMC Corp., Princeton, NJ.
- Semiz, G. D. (2014). Sulama suyu açısından bor içeriğinin değerlendirilmesi: Uluabat Gölünü besleyen Orhaneli, Emet ve Mustafakemalpaşa Çayları. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 98-105.
- Şengörür, B. & İsa, D. (2001). Sakarya Nehri'ne ait su kalite gözlemlerinin faktör analizi. *Turk J Engin Environ Sci*, 25, 415-425.
- Tokatlı, C., Köse, E., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., & Dayıoğlu, H. (2012). Lead accumulations in biotic and abiotic components of Emet Stream (Uluabat Lake Basin, Turkey). *Pakistan Journal of Zoology*, 44(6), 1587-1592.

- Tokatlı, C., Arslan, N., Çiçek, A., Kose, E., Emiroglu, O., & Dayioğlu, H. (2013). Effect of silver on aquatic ecosystems of Emet Stream Basin, Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 45(2).
- Tokatlı, C., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., Köse, E., & Dayioğlu, H. (2014). Statistical approaches to evaluate the aquatic ecosystem qualities of a significant mining area: Emet stream basin (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 71, 2185-2197.
- Tokatlı, C., Köse, E., Arslan, N., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., & Dayioğlu, H. (2016). Ecosystem quality assessment of an aquatic habitat in a globally important boron reserve: Emet Stream Basin (Turkey). *International Journal of Environment and Pollution*, 59(2-4), 116-141.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., & Şen, B. (2012). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Tigris River (Turkey) using multivariate statistical techniques a case study. *River Research and Applications*, 28(9), 1428-1438.
- Varol, M., Karakaya, G., & Alpaslan, K. (2022). Water quality assessment of the Karasu River (Turkey) using various indices, multivariate statistics and APCS-MLR model. *Chemosphere*, 308, 136415.
- Yılmaz, F., Ozodemir, N., Demirak, A., & Tuna, A. (2007). Heavy metal level in two fish species *Leuscius cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, 100(2), 830-835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.020>
- YSKY, (2012). Yerüstü su kalitesi yönetmeliği. Resmi Gazete, Tarihi: 30.11.2012, Sayı: 28483.
- Yurtseven, I., & Randhir, T. O. (2020). Multivariate assessment of spatial and temporal variations in irrigation water quality in Lake Uluabat watershed of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 1-29. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08723-2>
- Zünbülçil, B. (2015). Uluabat Gölü sulakalan bölgesi epifitik diyatomeleri ile su kalitesi arasındaki ilişkiler [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
-