

Eğirdir Gölü Su Kalitesinin Trofik Durum İndeksleriyle Belirlenmesi*

Cafer BULUT^{1**}, Ayşegül KUBİLAY²

¹Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Eğirdir/Isparta.

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Isparta.

Geliş : 13.04.2018

Kabul : 05.11.2018

** Sorumlu Yazar: caferbulut@gmail.com

E.Dergi ISSN: 1308 -7517

Araştırma Makalesi / Research Paper

[DOI: 10.22392/egirdir.415073](https://doi.org/10.22392/egirdir.415073)

Özet

Bu çalışmada; Ülkemizin 2. büyük tatlısu gölü olan Eğirdir Gölü'nün su kalitesinin trofik durum indeksleriyle belirlenmesi amaçlanmıştır. 2013 yılı ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemleri ile 2014 yılı kış dönemlerinde gölü temsil edecek şekilde seçilen 9 istasyonda mevsimsel olarak gerçekleştirilen çalışmada çözülmüş oksijen içeriği, toplam fosfor (TP), Secchi derinliği (SD), klorofil-a (Chl-a) ve toplam azot (TN) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Eğirdir Gölü'nün Carlson trofik durum indeksi TSI değerleri, OECD indeksinin ortalama \pm 1SD aralığı ve Yerstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği trofik durum indeksi ortalama değerlerine göre mezotrofik seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Eğirdir Gölü, su kalitesi, Carlson trofik seviye indeksi, OECD indeksi

The determination with Trophic State Indices of Water Quality in Egirdir Lake

Abstract

In this study; it was aimed to determine the water quality of the Egirdir Lake, which is the second largest freshwater lake in our country, by using the trophic status indices. The study was carried out in 9 selected stations to represent the whole lake in the spring, summer and autumn periods of 2013 and in the winter periods of 2014. In the seasonal study, analyzes of dissolved oxygen, total phosphorus (TP), chlorophyll-a (Chl-a) and total nitrogen (TN) and measurement of Secchi depth (SD), were performed. At the end of the study, it was determined that the Egirdir Lake was at the mesotrophic level according to the Carlson trophic status index TSI values, the average \pm 1SD interval of the OECD index and the trophic status index of the Water Quality Management Regulation.

Key words: Lake Eğirdir, water quality, Carlson trophic state index, OECD index

***Bu çalışma, 3454-D2-13 nolu SDÜ-BAP projesi tarafından desteklenmiştir.**

GİRİŞ

Göller Bölgesi içerisinde yer alan Eğirdir Gölü balıkçılık ve kerevit potansiyelinin yanında içme suyu, sulama, turizm ve enerji üretimi açısından büyük öneme sahiptir (Şener vd., 2010). Göl, orta kısımda doğu-batı doğrultusunda bir daralma göstererek iki kısma ayrılmaktadır. Kuzey kısmına Hoyran, güney kısmına ise Eğirdir adı verilir. Gölün iki kısmı arasındaki en dar bölgenin genişliği yaklaşık 3 km, gölün kuzey-güney doğrultusundaki toplam uzunluğu ise yaklaşık 50 km'dir. Gölün ortalama derinliği 8-9 m. olmakla birlikte bölge derinlik değerleri değişkenlik arz etmektedir. Yıllara ve mevsimlere göre değişmekle birlikte, maksimum derinliğin 13,5-15 m arasında olduğu bildirilmektedir (Bulut ve Atay, 2005; Kesici ve Kesici, 2006). Yaklaşık 482 km²'lik bir yüzey alanına

sahip olan gölün deniz seviyesinden yüksekliği ise 918 m'dir (Bulut vd., 2009; Güneş vd., 2011; WWF, 2015).

Göllerin trofik durumlarının belirlenmesinde klorofil-*a*, toplam fosfor ve Secchi derinliği, toplam azot, çözünmüş oksijen parametrelerinden yararlanılmaktadır. Bu parametrelerin indeks değişkenleri linear regresyon modeli tarafından birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu değişkenler kullanılarak göl suları verimlilik açısından sınıflandırılabilir. Örneğin bu veriler ışığında bir gölün besin maddeleri düzeyi ya da verimlilik açısından durumu, en basit ve kolay şekliyle Carlson (1977) tarafından ortaya konulan trofik durum indeksi ile belirlenebilmekte ve göller doğrudan değişkenlere veya değişkenlerden hesaplanan indislere göre bir trofik sınıfa dahil edilmektedir (Şen vd., 2003; Sezen, 2008; Zeybek vd., 2012; Varol, 2013;).

Trofik durum kavramına göre göller, birinden diğerine sürekli olarak ilerleyen bir trofik akış dizisi (oligotrofik-mezotrofik-ötrofik-hipertrofik) içerisinde yer almaktadırlar (Tablo 1). Carlson trofik seviye indeksinde (TSI), Secchi derinliği (SD), toplam fosfor (TP) ve klorofil-*a* (Chl-*a*) TSI değerlerinin toplamının ortalamaları eğer 0'a yakın değerlerde ise göl oligotrofik düzeye daha yakın, 100'e daha yakınsa gölün hiperötrofik yapıda olduğu kabul edilir (Carlson ve Simpson, 1996). OECD trofik durum indeksinde ise toplam fosfor (TP), toplam azot (TN), klorofil-*a* (Chl-*a*) ve Secchi derinliği (SD) değerleri (OECD, 1982) (Tablo 2). Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (Anonim, 2016) trofik durum indeksi'nde ise bunlara ek olarak çözünmüş oksijen parametresi kullanılmaktadır (Tablo 3).

Tablo 1. Carlson trofik durum indeksi (TSI) tablosu (Carlson ve Simpson, 1996)

TSI	Trofik seviye	Chl- <i>a</i> (mg/m ³)	Secchi (m)	TP (µg/L)
<30	Oligotrofik	<0.95	>8	<6
40-50	Mezotrofik	2,6-7,3	4-2	12-24
50-60	Ötrofik	7.3-20	2-1	24-48
70-80	Hiperötrofik	56-155	0,25-0,5	96-192

Tablo 2. OECD trofik durum sınıflandırması indeksi (OECD, 1982)

Trofik seviye	Toplam P (µg/L)	Toplam N (mg/L)	Chl- <i>a</i> (mg/m ³)	Mak. Chl- <i>a</i> (mg/m ³)	Secchi derin.(m)
Oligotrofik	8	0,661	1,7	4,2	9,9
Mezotrofik	26,7	0,753	4,7	16,1	4-2
Ötrofik	84,4	1,875	14,3	42,6	2,45

Tablo 3. Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği trofik durum indeksi (Anonim, 2016)

Trofik seviye	Toplam P (µg/L)	Toplam N (mg/L)	Chl- a (mg/m ³)	Secchi (m)	Çöz. O ₂ (mg/L)
Oligotrofik	< 10	< 0,35	< 3,5	> 4	>7
Mezotrofik	10-30	0,35-0,65	3,5-9,0	4-2	6-4
Ötrofik	31-100	0,651-1,20	9,1-25,0	1,9-1	3
Hipertrofik	> 100	> 1,2	> 25,0	< 1	<3

Bu çalışmamızda ise ülkemizin 2. büyük tatlısu gölü olan ve önemli bir potansiyel değeri bulunan Eğirdir Gölü'nün su kalitesinin trofik durum indeksleriyle belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma Sahası ve Örnekleme Noktaları

Çalışma, Eğirdir Gölü'nde kirletici kaynaklara yakınlık ve hidrodinamik özellikleri dikkate alınarak belirlenen 9 örnekleme noktasında mevsimsel olarak gerçekleştirilmiştir. İlkbahar örnekleme 2013 yılı Nisan ayı, yaz örnekleme 2013 yılı Temmuz ayı, sonbahar örnekleme 2013 yılı Ekim ayı ve kış örnekleme de 2014 yılı Ocak ayı içerisinde yapılmıştır. Örnekleme noktaları, koordinatları ve ortalama derinlikleri de Tablo 4 ve Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 4. Eğirdir Gölü örnekleme noktaları, koordinatları ve ortalama derinlikleri

İstasyonlar	İstasyon Adı	Koordinat	Ort.Derinlik
1.İstasyon	Kayaagzı	38°09'10.64"N-30°45'44.47"E	3,5 m.
2.İstasyon	Taşevi	38°15'43.48"N-30°49'22.37"E	4,5 m.
3.İstasyon	Aşağıtırtar	38°14'55.70"N-30°53'17.77"E	3,9 m.
4.İstasyon	Barla	37°59'43.82"N-30°49'10.48"E	5,8 m.
5.İstasyon	Gelendost	38°05'22.50"N-30°55'50.69"E	4,3 m.
6.İstasyon	Sarıidris	37°57'46.31"N-30°56'29.37"E	4,5 m.
7.İstasyon	Yeşilada	37°52'55.63"N-30°53'41.17"E	8,1 m.
8.İstasyon	Eğirdir	37°51'41.52"N-30°51'02.18"E	4,3 m.
9.İstasyon	Aksu Çayı	37°50'53.26"N-30°53'08.06"E	4,9 m.

Eğirdir Gölü havzası kapsamında yerleşim alanlarından kaynaklanan evsel baskı ve tehditler başta Senirkent-Uluborlu alt havzası yerleşim alanları (1.istasyon, 2.istasyon ve 3.istasyon bölgeleri), Gelendost-Bağlı ve Yaka yerleşim birimleri ve Yalvaç deresi (Akçay) üzerinde bulunan köy ve belde belediyelerinin evsel atık suları, Eğirdir, Barla yerleşim birimleri (4.istasyon, 5.istasyon ve 6.istasyon bölgeleri), Eğirdir ilçe merkezi ve Aksu deresi (7.istasyon, 8.istasyon ve 9.istasyon bölgeleri) sayılabilir.



Şekil 1. Eğirdir Gölü örnekleme noktaları

Araştırma da çözülmüş oksijen, toplam fosfor, klorofil-a, Secchi derinliği ve toplam azot verileri incelenmiştir. Çözülmüş oksijen içeriği, YSI Multiplus arazi ölçüm seti ile, Secchi derinliği, Secchi diski ile direkt yerinde, toplam fosfor (TP) tayini fosfor molibdenyum mavi metodu ve toplam azot (TN) tayini de indo fenol mavi metodu kullanılarak spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir (APHA, 1995). Klorofil-a (Chl-*a*) tayininde 1 L su örnekleri, 0,45 µm gözenek açıklığına sahip 47 mm çapındaki GF/C filtre kağıtlarında süzölmüştür. Daha sonra 10 mL %90'lık aseton bulunan santrifüj tüplerinde bir gece buzdolabında bekletilerek santrifüjlenmiş ve elde edilen ekstraktlar 630, 645 ve 665 nm dalga boylarında spektrofotometrede okunarak belirlenmiştir (APHA, 1995). Trofik durum indekslerinden Carlson trofik durum indeksinin (TSI) hesaplanmasında toplam fosfor (TP) ve klorofil-a (Chl-*a*) yoğunluklarının birimleri µg/L, Secchi derinliği (SD) ise metre (m) olarak alınmıştır (Carlson, 1977). Carlson trofik durum indeksi hesaplama yöntemi Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Carlson trofik durum indeksi hesaplama yöntemi

Secchi diski derinliği trofik durum indeksi değerinin (TSI) hesaplanması

$$TSI (SD) = 60 - 14.41 [\ln \text{Secchi diski (metre)}]$$

Klorofil-a yoğunluğu trofik durum indeksi değerinin (TSI) hesaplanması

$$TSI (\text{Chl-}a) = 9.81 [\ln \text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L})] + 30.6$$

Toplam fosfor trofik durum indeksi değerinin (TSI) hesaplanması

$$TSI (TP) = 14.42 [\ln \text{Toplam fosfor } (\mu\text{g/L})] + 4.15$$

Ortalama trofik durum indeksi değerinin (TSI) hesaplanması

$$[TSI (TP) + TSI (\text{Chl-}a) + TSI (SD)]/3$$

Elde edilen verilerin istatistiki değerlendirilmesi SPSS 25.0 paket programı ve Microsoft Excel 2016 kullanılarak yapılmıştır. Bütün verilere varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve grup ortalaması arasındaki farklılıklar Tukey testi ile çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiş ve önem seviyesi olarak $p < 0,05$ kullanılmıştır

BULGULAR

Eğirdir Gölü çözünmüş oksijen, Secchi derinliği, toplam fosfor, klorofil-a ve toplam azot değerlerinin istasyonlar üzerinden karşılaştırılması Tablo 6'da, mevsimsel karşılaştırılması ise Tablo 7'de verilmiştir.

Çalışma boyunca Eğirdir Gölü çözünmüş oksijen içeriği 7,27-10,93 mg/L arasında ortalama ise 9,05 mg/L olarak belirlenmiştir. Mevsimsel çözünmüş oksijen içerikleri ise ortalama olmak üzere ilkbahar döneminde 9,64 mg/L, yaz döneminde 8,12 mg/L, sonbahar döneminde 8,64 mg/L ve kış döneminde ise 9,62 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Secchi derinliği 0,7-6,0 m arasında ölçülmüş olup ortalama ise 2,89 m olarak belirlenmiştir. Mevsimsel Secchi derinliği değişimleri ortalama olmak üzere ilkbahar döneminde 1,89 m, yaz döneminde 4,08 m, sonbahar döneminde 3,65 m ve kış döneminde ise 1,94 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 3).

Tablo 6. Eğirdir Gölü istasyonların çözülmüş oksijen, Secchi derinliği, toplam fosfor, klorofil-a ve toplam azot değerleri

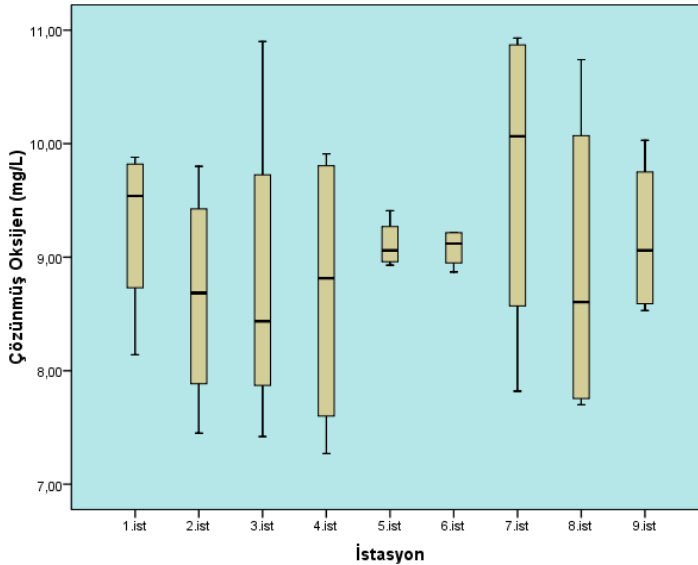
Parametre		1. İst.	2. İst.	3. İst.	4. İst.	5. İst.	6. İst.	7. İst.	8. İst.	9. İst.
Çözülmüş O₂ (mg/L)	Min.	8,14	7,45	7,42	7,27	8,93	8,87	7,82	7,70	8,53
	Mak.	9,88	9,80	10,90	9,91	9,42	9,22	10,93	10,74	10,03
	Ort.	9,28	8,66	8,80	8,70	9,12	9,08	9,72	8,91	9,17
	S.S.	0,79	1,00	1,48	1,30	0,21	0,17	1,46	1,44	0,71
Secchi Derinliği (m)	Min.	2,20	1,00	1,30	2,00	0,80	0,70	1,55	0,90	0,75
	Mak.	3,50	3,50	4,00	6,00	3,70	4,50	4,10	4,50	4,50
	Ort.	3,13^{ab}	2,58^a	3,18^{ab}	3,88^b	2,27^a	2,65^a	3,16^{ab}	2,75^a	2,41^a
	S.S.	0,43	1,14	1,26	1,93	1,55	1,88	1,18	1,48	1,68
Toplam Fosfor (TP) (µg/L)	Min.	11	11	9	10	9	13	10	10	10
	Mak.	45	27	18	13	15	18	12	16	15
	Ort.	29^{b*}	18^{ab}	14^a	12^a	12^a	16^{ab}	11^a	14^a	13^a
	S.S.	15	8	5	2	3	2	1	3	2
Klorofil-a (Chl-a) (µg/L)	Min.	1,58	0,84	1,24	0,74	1,92	1,38	0,71	1,34	1,42
	Mak.	3,54	3,94	3,08	3,42	4,90	3,04	2,60	2,23	3,02
	Ort.	2,75^b	2,29^{ab}	2,25^{ab}	2,20^{ab}	3,36^c	2,24^{ab}	1,78^a	1,77^a	2,18^{ab}
	S.S.	0,86	1,33	0,80	1,29	1,22	0,87	0,88	0,40	0,71
Toplam Azot (TN) (mg/L)	Min.	0,38	0,27	0,46	0,55	0,37	0,29	0,35	0,56	0,55
	Mak.	2,05	1,03	0,84	0,76	0,84	0,90	0,74	0,76	0,67
	Ort.	0,92^b	0,64^{ab}	0,68^{ab}	0,61^a	0,60^{ab}	0,59^a	0,58^a	0,63^a	0,61^a
	S.S.	0,78	0,32	0,19	0,10	0,23	0,27	0,17	0,09	0,07

*Aynı satırdaki farklı harfler istasyonlar arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

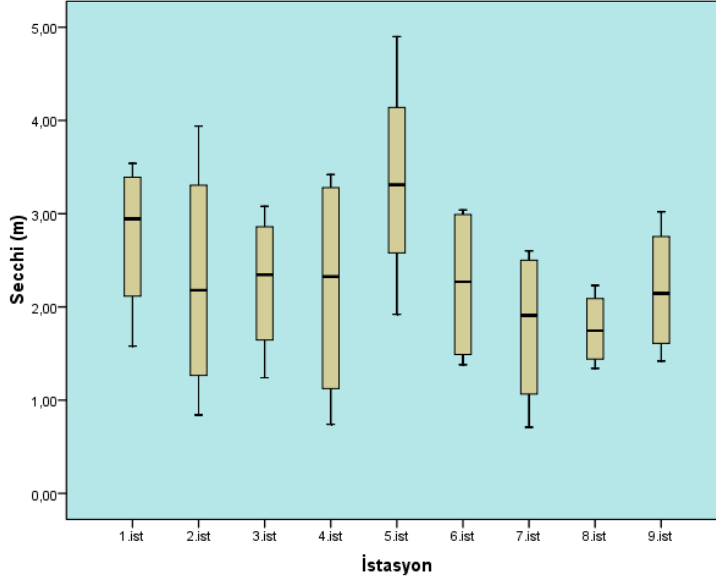
Tablo 7. Eğirdir Gölü su kalitesi parametrelerinin mevsimsel karşılaştırılması

Parametre		Çöz.O ₂	Secchi	TP	Chl- <i>a</i>	TN
Birimi		mg/L	m	µg/L	µg/L	mg/L
İlkbahar	Min.	8,32	0,70	10	0,0030	0,55
	Mak.	10,81	3,30	36	0,0071	2,05
	Ort.	9,64^b	1,89^a	18	0,0044^{ab}	0,91^a
	S.S.	0,81	1,05	8	0,0013	0,46
Yaz	Min.	7,42	3,20	11	0,0042	0,35
	Mak.	9,03	5,00	45	0,0468	0,86
	Ort.	8,12^a	4,08^b	19	0,0112^b	0,59^b
	S.S.	0,61	0,59	11	0,0138	0,16
Sonbahar	Min.	7,27	2,50	9	0,0034	0,27
	Mak.	10,93	6,00	24	0,0081	0,76
	Ort.	8,81^a	3,64^b	13	0,0052^{ab}	0,46^a
	S.S.	1,09	1,04	5	0,0017	0,17
Kış	Min.	8,99	0,75	9	0,0013	0,40
	Mak.	10,90	4,00	13	0,0031	0,84
	Ort.	9,62^b	1,94^a	11	0,0019^a	0,61^a
	S.S.	0,55	1,13	1	0,0006	0,14
TOPLAM	Min.	7,27	0,70	9	0,71	0,27
	Mak.	10,93	6,00	45	4,90	2,05
	Ort.	9,05	2,90	15	2,31	0,65
	S.S.*	1,17	1,40	8	0,97	0,30
	S.H.**	0,99	0,20	1	0,16	0,05

*Aynı satırdaki farklı harfler istasyonlar arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

**Şekil 2.** Eğirdir Gölü çözünmüş oksijen değişim grafiği

Çözünmüş oksijen ve Secchi derinlik parametrelerinde istasyonlar arası farkların istatistiki olarak önemsiz, Secchi derinliğinde mevsimsel değişim farklarının ise istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Secchi diski ölçümlerinin mevsimler arası değişkenliğinde rüzgâr ve ölçüm anındaki hava koşullarının etkisi büyüktür.

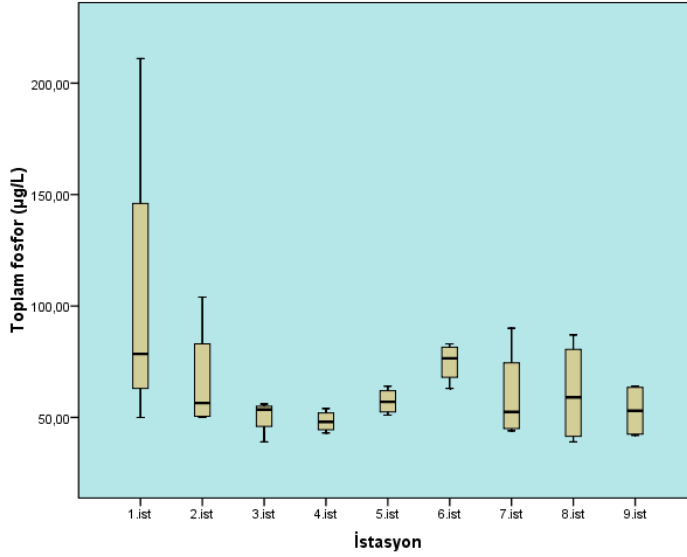


Şekil 3. Eğirdir Gölü Secchi derinliği değişim grafiği

Eğirdir Gölü'nde Carlson TSI (SD) değerleri ise 34,2-65,1 arasında değişim göstermiştir. En yüksek TSI (SD) değeri ilkbahar döneminde VI. istasyonda, en düşük TSI (SD) değeri ise sonbahar döneminde IV. istasyonda belirlenmiştir. TSI (SD) değerleri açısından istasyonlar arasında farkın istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p<0,05$).

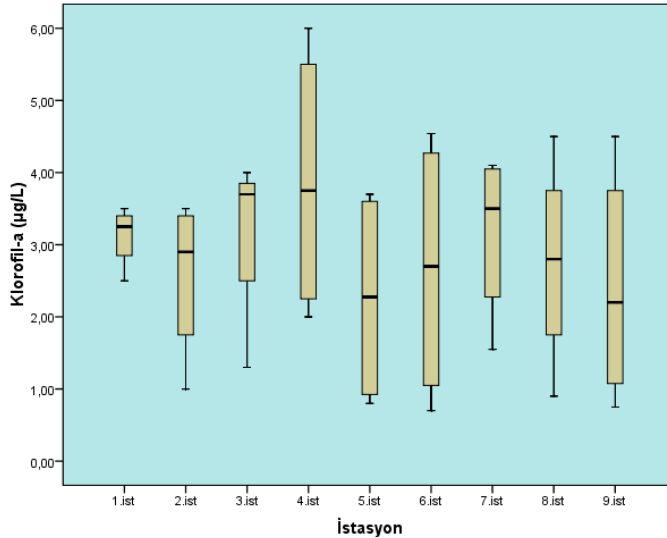
Eğirdir Gölü toplam fosfor (TP) konsantrasyonu 39-211 $\mu\text{g/L}$ arasında olup tespit edilmiş olup ortalama 64 $\mu\text{g/L}$ olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistiki analizlerde ise 1.istasyon (Kayaagzı) ile diğer bütün istasyonların arasındaki farkların istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$) (Şekil 4). Mevsimsel TP değişimleri incelendiğinde ise ilkbahar döneminde ortalama TP içeriği 57 $\mu\text{g/L}$, yaz döneminde 74 $\mu\text{g/L}$, sonbahar döneminde 64 $\mu\text{g/L}$ ve kış döneminde ise 62 $\mu\text{g/L}$ olarak belirlenmiştir. Hoyran Bölgesi'ni özellikle yazın kuruyan Pupa çayı ve Hoyran deresi suları yağışlı dönemlerde yağışların etkisiyle etkilemekte dereye bırakılan kirletici yükleri göle ulaştırmaktadır. Bu durum TP değerlerinin diğer istasyonlara oranla daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

Eğirdir Gölü'nde Carlson TSI (TP) değerleri 57,0-89,3 arasında değişim göstermiştir. En düşük TSI (TP) değeri yaz döneminde III. ve VIII. istasyonlarda, en yüksek TSI (TP) değeri ise ilkbahar döneminde III. istasyonda hesaplanmıştır. TSI (TP) değerleri açısından istasyonlar arasında fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p<0,05$).

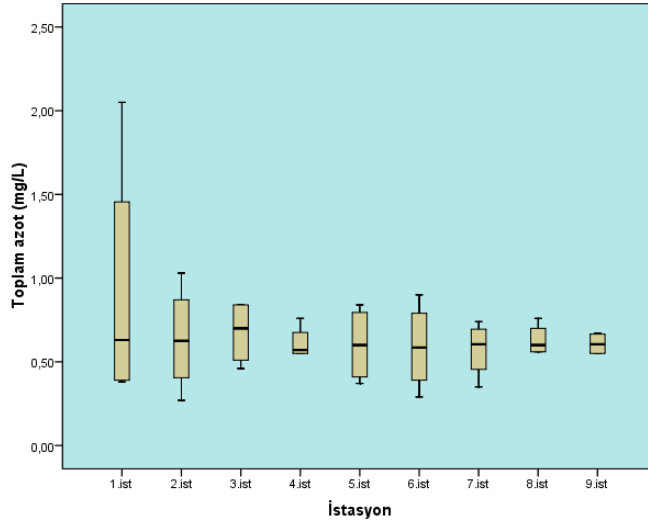


Şekil 4. Eğirdir Gölü toplam fosfor (TP) değişim grafiği

Eğirdir Gölü Chl-*a* ölçümleri 0,4-2,9 µg/L arasında belirlenmiş olup ortalama Chl-*a* 1,2 µg/L'dir (Şekil 5). Yapılan istatistiki analizlerde ise istasyonlar arası küçük farklar olmakla birlikte bu farkın istatistiki olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p < 0,05$). Eğirdir Gölü mevsimsel Chl-*a* düzeyleri ilkbahar döneminde ortalama 3,01 µg/L, yaz döneminde 3,04 µg/L, sonbahar döneminde 1,96 µg/L ve kış döneminde ise 1,24 µg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan istatistiki analizlerde ise mevsimsel değişimler arasında ilkbahar ve yaz dönemleri Chl-*a* değerleri sonbahar ve kış dönemleri Chl-*a* değerleri arasındaki fark ise istatistiki olarak önemli görülmüştür ($p < 0,05$).



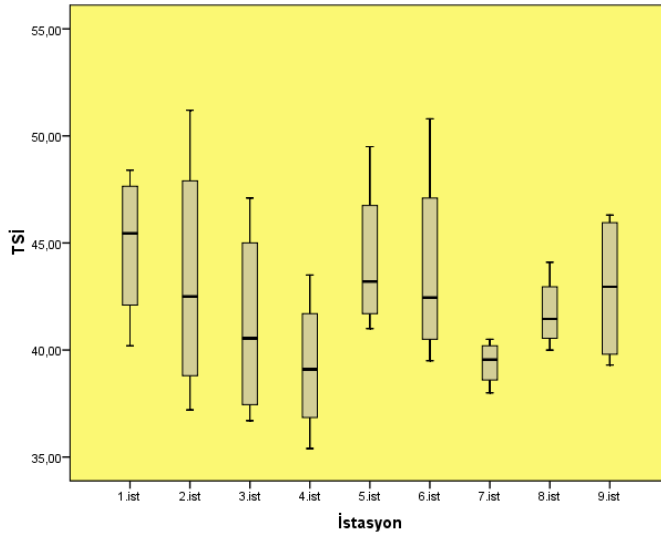
Şekil 5. Eğirdir Gölü klorofil-a değişim grafiği



Şekil 6. Eğirdir Gölü toplam azot değişim grafiği

Eğirdir Gölü TN ölçümleri 0,27-2,05 (ort: 0,65) mg/L arasında belirlenmiştir. En düşük 0,27 ile sonbahar döneminde II.istasyonda, en yüksek ise ilkbahar döneminde I.istasyonda tespit edilmiştir (Şekil 6). Yapılan istatistiki analizlerde ise 1.istasyon ile diğer istasyonlar arası farkın istatistiki olarak anlamlı olduğu, diğer istasyonların kendi aralarındaki farkların ise önemsiz olduğu görülmüştür ($p<0,05$).

Eğirdir Gölü'nde Carlson TSI (Chl-*a*) değerleri 27,2-46,2 arasında değişim göstermiştir. Eğirdir Gölü'nde en yüksek TSI (Chl-*a*) değeri yaz döneminde V.istasyonda, en düşük TSI (Chl-*a*) değeri ise kış döneminde VII. istasyonda kaydedilmiştir. TSI (Chl-*a*) değerleri açısından istasyonlar arasında fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p<0,05$).



Şekil 7. Eğirdir Gölü Carlson TSI grafiği

Carlson trofik durum indeksine göre, ortalama TSI (SD), TSI (TP) ve TSI (Chl-*a*) değerleri açısından Eğirdir Gölü'nün mezotrofik özellik gösterdiği yine ortalama TSI değerlerine göre ise Eğirdir Gölü'nün mezotrofik seviyede olduğu belirlenmiştir (Şekil 7) (Tablo 8).

Tablo 8. Carlson trofik durum indeksi (TSI) sonuçları

TSI	Ortalama	Trofik seviye
TSI (CHL- <i>a</i>)	47	Mezotrofik
TSI (SD)	38	Mezotrofik
TSI (TP)	42	Mezotrofik
Ort. TSI	42	Mezotrofik

OECD trofik durum indeksine göre TP, Chl-*a*, Mak. Chl-*a* ve Secchi derinliği parametreleri açısından mezotrofik, TN parametresi açısından oligotrofik özellik gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. OECD trofik durum sınıflandırması indeksi sonuçları

Parametre	Ortalama	Trofik Seviye
Toplam P ($\mu\text{g/L}$)	64	Mezotrofik
Toplam N (mg/L)	0.65	Oligotrofik
Chl- <i>a</i> (mg/m^3)	2.31	Mezotrofik
Mak. Chl- <i>a</i> (mg/m^3)	4.90	Mezotrofik
Secchi derin.(m)	2.89	Mezotrofik

Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği trofik durum indeksine göre Chl-*a* ve çözülmüş oksijen değerleri açısından oligotrofik, TN ve Secchi derinliği değerleri açısından mezotrofik, TP değerleri açısından ise ötrofik özellik gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği trofik durum indeksi sonuçları

Parametre	Ortalama	Trofik Seviye
Toplam P ($\mu\text{g/L}$)	64	Ötrofik
Toplam N (mg/L)	0.65	Mezotrofik
Chl- <i>a</i> (mg/m^3)	2.31	Oligotrofik
Secchi derin.(m)	2.89	Mezotrofik
Çöz. O ₂ (mg/L)	9.05	Oligotrofik

TARTIŞMA ve SONUÇ

Sucul ortamların ışık geçirgenliğinin göstergesi olan Secchi derinliği, genel olarak su derinliğine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, mevsimsel değişkenliklerin de oldukça belirgin olduğu anlaşılmıştır. Erk'akan ve Bayrak (1992), 1989 yılında yaptıkları çalışmada Eğirdir Gölü ortalama Secchi derinliğini 1,95 m, Zeybek vd., (2012), 2010 yılında aylık gerçekleştirdikleri çalışmada 1,60 m ve Yağcı vd., (2013), 2011 yılında aylık

olarak gerçekleştirilen çalışmada ise 1,77 m olarak belirlediklerini bildirmişlerdir. Mevsimsel gerçekleştirilen bu çalışmada ise ortalama 2,89 m olarak tespit edilmiştir.

Zeybek ve arkadaşları 2010-2011 yılları arasında Eğirdir Gölü Köprübaşı Bölgesi, Kovada Kanalı ve Kovada Gölü Giriş Bölgesi'nde yapmış oldukları çalışmada ortalama Secchi derinliğini Eğirdir Gölü'nde 1,77 (Aralık, Ocak)-2,07 m (Temmuz); kanalda 0,12 (Nisan)-0,58 m (Eylül); Kovada Gölü'nde 0,2 (Eylül)-1,43 m (Mart) arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar her üç habitatta tespit edilen değerler karşılaştırıldıklarında ise Kovada Gölü'nde Eğirdir Gölü'ne göre düşük, kanala göre yüksek ortalama değer saptadıklarını ve farklı morfolojik yapıya sahip olan kanalda ise Secchi derinliğinin yapılan bütün ölçümlerde oldukça düşük olduğu bildirilmişlerdir (Zeybek vd., 2012). Tanyolaç (2000), göllerde suyun şeffaflığını ve ışık geçirgenliğini plankton yoğunluğu, su içindeki çözülmüş organik ve inorganik maddeler, suyun kimyasal yapısı, ışığın gelme açısı ve dalga boyu, su yüzeyinin durumu, bulutluluk durumu gibi birçok faktörün etkilediğini bildirmiştir.

Güneş vd (2011), yaptıkları çalışmada orto-fosfat içeriğinin ölçüm zamanına ve noktalarına bağlı dağılım ve değişim gösterdiğini bununla birlikte tespit edilen değerler düşük düzeylerde (4,19 µg/L) olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar bu durumun göl içim mezo-ötrofik özellik gösterdiğini, daha ileriki trofik kademeye ulaşmaması için, evsel ve hayvansal atıklarla özellikle gübre kullanımlarının kontrol altına alınması ve mümkün olduğu kadar göl suyuna karışmaması gerektiğini bildirmişlerdir. Ayrıca Eğirdir Gölü'nde belirlenen fosfat içeriğinin Kalite Standardı bakımından A1-K değerini sağladığını bununla birlikte, fosfat elementinin özellikle azotla birlikte göl su kalitesi için (alg üretimi ve ötrofikasyon açısından) son derece önemli olduğunu ve bu parametrenin mutlak surette kaynağında kontrol altına alınmasının önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Zeybek vd. (2012), 2010-2011 yılları arasında Eğirdir Gölü Köprübaşı Bölgesi, Kovada Kanalı ve Kovada Gölü Giriş Bölgesi'nde yapmış oldukları çalışmada ortalama toplam fosfor miktarının Eğirdir Gölü'nde en düşük Analiz limitlerinin altında [ALA] (Kasım, Nisan-Haziran), en yüksek 0,12 mg/L (Temmuz); kanalda en düşük 0,10 (Ekim), en yüksek 0,72 (Temmuz); Kovada Gölü'nde en düşük ALA (Şubat, Nisan), en yüksek 0,91 mg/L (Temmuz) olarak ölçüldüğünü bildirmişlerdir (ALA<0,05 mg/L).

Güler ve Çobanoğlu (1997), fosforun birçok mineralin yapısında bulunmasına rağmen, alkali topraklardaki çözünürlüğünün az olması nedeniyle sudaki miktarı sınırlı olduğunu, su, kaya ve topraklardan geçebildiği gibi, yapay gübrelerden ve endüstriyel atıklardan da geçebildiğini bildirmişlerdir.

Goldman ve Horne (1983), fosforun oksijenli koşullarda derin göllerin bentiğinde biriktiğini, O₂'siz ortamlarda dip çamurundan ayrılarak suya geçtiğini böylece oksijenli ortamlarda ferrik (Fe⁺³) iyonunun, PO₄⁻³'ü bağladığı için verimlilik açısından azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca sularda PO₄⁻³ iyonunun Fe⁺³, CaCO₃ ve çamur (silt) ile üç farklı yoldan tutulduğunu ve çamurun (silt) sığ göllerde daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Güneş vd. (2011), yaptıkları çalışmada Chl-*a* konsantrasyonu bakımından göl ortası ve yüzey istasyonları arasında önemli fark gözlemediklerini ölçülen Chl-*a* değerlerinin mevcut durumda göl suyu için risk oluşturmamakla birlikte önceki yıllara göre belirgin bir biyokütle artışının olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu artışın kontrolünde ise, göl tabanının önemli kısmında yayılan makrofitlerin etken olduğunu zira sığ göllerde su kalitesi ve üretkenliğinin; besin tuzu seviyesi, yüksek su içi bitkileri, fitoplankton durumu, ışık geçirgenliği ve su seviyesine bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Yağcı

vd. (2013), yaptıkları çalışmada ise göl Chl-*a* içeriğinin 0,58-9,70 µg/L arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

Bulut vd. (2009), Eğirdir Gölü'nün fiziko-kimyasal parametrelerini Temmuz 2004'den Nisan 2005'e (Ocak ve Şubat hariç) aylık olarak ölçtükleri çalışma sonucunda göldeki fiziko-kimyasal parametreler açısından önemli bir risk gözükmediğini bununla birlikte bazı istasyonlarda organik kirlilikten kaynaklanan bazı parametrelerin nispeten yüksek bulunduğunu ve tedbir alınması gerektiğini bildirmişlerdir.

Dodds, (2002), azot ve fosforun sucül ekosistemlerde algal üretim potansiyeli açısından birincil derecede sınırlayıcı nutrientler olduğunu, bununla birlikte tatlı su ekosistemlerinde fosforun azota oranla daha sınırlayıcı element olduğunu bildirmiştir.

Howarth vd. (2000), alg ve bitki gelişimi için deniz ekosistemlerinde sınırlayıcı nutrientin azot, tatlı su ekosistemlerinde ise fosfor olduğunu bildirmişlerdir.

Smith (1982), TN:TP oranı <10 olduğunda azotun, TN:TP oranı >17 olduğunda ise fosforun sınırlayıcı nutrient olduğunu, TN:TP oranı 10-17 arasının ise tatlı su ekosistemi açısından dengeli olduğunu bildirmiştir.

Varol (2013), Carlson'un ortalama TSI değerine göre ise baraj gölünün mezotrofik seviyede olduğunu, ortalama TN:TP oranına göre ise gölde fitoplankton gelişimini, azot ve fosforun birlikte sınırladığını bildirmiştir.

Anna Jarosiewicz vd. (2011), Polonya'nın kuzeyinde Pomeranya nehirleri Wieprza ve Łupawa arasında yer alan göllerin (Rybiec, Niezabyszewskie, Czarne, Chotkowskie, Obłęże, Jasioń Południowy, Jasioń Północny, Jeleń) güncel trofik durumunu Carlson TSI ile belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada hesapladıkları dört trofik durum indeksi (TSI (SD), TSI (Chl-*a*), TSI (TP) ve TSI (TN)) ve aralarındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bahsi geçen göllerin trofik seviyesinin mezotrofik ve ötrofik durumlar içinde olduğunu bildirmişlerdir. Analiz edilen göllerdeki TSI (TP) değerlerinin, diğer değişkenler bazında hesaplanan indeks değerlerinden daha yüksek olduğunu bununla birlikte, belirli göller için indeksler arasındaki farklılıkların, analiz edilen göllerde fosforun algal üretkenliği sınırlayan bir faktör olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir.

Akyüz (2016), TSI (Chl-*a*) değerinin tüm mevsimlerde en düşük değere sahip olduğunu, bu durumun mevcut alg büyümesinden daha fazla miktarda alg gelişimini sağlayabilecek miktarda besi maddesinin bulunduğunu gösterdiğini ve göl için besi maddelerinden daha etkin anahtar sınırlayıcı parametrelerin değerlendirilmesi gerektiğinin gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca gölün fosfor fazlasının ve alglardan kaynaklanmayan bulanıklığı mevcut olduğunu; bu durumun azot konsantrasyonu ve Secchi derinliğinin anahtar sınırlayıcı parametreler olduğunu gösterdiğini; alg büyümesinin çok olduğu yaz ve sonbahar mevsimlerinde TN/TP oranı ortalamasının 30 değerinden daha az olmasının da bu sonucu desteklediğini bildirmiştir.

Sömek ve Ustaoglu (2016), Ege bölgesinin Güney doğusunda bulunan Saklıgöl, Gökçeova Göleti, Kartal Gölü ve Karagöl gerçekleştirdikleri çalışmada göllerdeki ortalama Secchi derinliği ve klorofil-*a* ölçümlerinden hesaplanan TSI (SD) sonuçlarının 47,3 ile 59,3 arasında, TSI (Chl-*a*) sonuçlarının 38,1 ile 45,5 arasında, TSI (Ortalama)'nin ise 42,7 ile 55,5 arasında değişim gösterdiği bildirmişlerdir.

Lawniczak-Malińska ve Achtenberg (2018), Polonya'nın orta batı kesiminde Wielkopolska bölgesinde bulunan göllerde gerçekleştirdikleri çalışmada Carlson trofik durum indeksine (TSI) göre, özellikle klorofil-*a* (TSI (Chl-*a*)) ve Secchi derinliği (TSI (SD)) ile ilgili olarak, en çok gelişen sulara sahip grupta daha düşük bir değer gösterdiğini,

klorofil-a'nın arttığı göllerde yoğunluğuna dayanan TSI'nin, su ötrofikasyonu TSI (Chl)>59'un yoğunlaştığını gösteren diğer göl gruplarına göre 50'den daha düşük olduğunu, bununla birlikte, tüm göl grupları hipertröfiye (TSI (TP)>70) karşılık gelen suda çok yüksek bir toplam fosfor içeriği ile karakterize edildiği, toplam fosfor konsantrasyonuna (TSI (TP)) göre gruplar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunu bildirmişlerdir.

Tepe vd. (2018), Karkamış Baraj Gölü'nün 0-8 m arasındaki su kolonunun Carlson trofik durum indeksine göre toplam fosfor, toplam azot ve klorofil a indeks değerleri açısından trofik durumunu mezotrofik olduğunu, OECD indeksinin ortalama ± 1 SD aralığına göre ise, toplam fosfor miktarı bakımından mezotrofik ve diğer parametreler bakımından oligotrofik olarak sınıflandığını sonuç olarak ise üç farklı trofik durum indeksiyle değerlendirildiğinde Karkamış Baraj Gölü trofik durumunun oligotrofik sınıftan mezotrofik sınıfa geçiş gösterdiğini, TN:TP oranına fosforun sınırlayıcı nutrient olduğunu bildirmişlerdir.

Eğirdir Gölü'nün kirlenme etkisini yavaşlatan şartlar başta göl suyunun yeraltı suyu ile beslenmesi, göl etrafında endüstriyel kuruluşun oldukça az olması, göl etrafında nüfus yoğunluğunun az olması, suyunun çözünmüş oksijen içeriğinin yüksek olması sayılabilir. Bununla birlikte göl ile bağlantısı olan derelere önlem alınması, tarım arazilerinde sulama ve ilaçlama disiplinine gidilmesi ve göl ile bağlantılı yerleşim bölgelerinde atık su arıtma ünitelerinin kurulması büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak Ülkemiz ve dünya için son derece kıymetli olan sularımızın kirlenmemesi birincil görevlerimizden olmalıdır. Çevreyi tahrip etmeden, orman ve diğer bitkisel alanları koruyarak, mevcut oluşan kirliliğin çevrenin kendi döngüsü içinde temizlenebileceği oranda ve şekilde ortamlar oluşturmayı hedef edinmemiz gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akyüz, D.E. (2016). Trofik durum indeksi ile anahtar sınırlayıcı parametrelerin değerlendirilmesi: Taihu gölü örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(Ek Sayı 1), 194-201.
- Anonim (2016). Yerüstü su kalitesi yönetimi yönetmeliği, 10 Ağustos 2016 tarih 29797 sayılı Resmî Gazete, Ankara.
- APHA (1995). American Public Health Association: Standard methods for the examination of water and wastewater, s 1-1134, 14th Edition Washington DC.
- Bulut, C., & Atay, R. (2005). Beyşehir, Eğirdir, Kovada, Çivril ve Karakuyu (Çapalı) göllerinde su kirliliği Projesi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Eğirdir Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Proje Raporu, Isparta, 225 s.
- Bulut, C., Atay, R., & Uysal, K. (2009). Eğirdir Gölü'nde Fiziko-Kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değişimi ve Limnolojik Açından Değerlendirilmesi. *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 10(2); 447-454.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic index for lakes. *Limnology and Oceanography*, (22), 361-369.
- Carlson, R.E. & Simpson, J. (1996). A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods, North American Lake Management Society, 96 pp.
- Dodds, W. K. (2002). Freshwater Ecology: Concepts and environmental applications. San Diego, CA: Academic Press.
- Erk'akan, F.G., & Bayrak, M. (1992). Eğirdir gölü stok tespiti. TÜBİTAK DEBÇAĞ 97/G 143 s.
- Goldman, C. R., & Horne, A. J. (1983). Limnology. McGraw-Hill Book Co., New York, 464 p.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1997). Pestisitler, 1. Baskı, İlköz Matbaası, Ankara, 173 s.

- Güneş, K., Dönertaş, S.A., Metin, E., Şenduran, C., Dikerler, T., Arlı, Ö., Olgun, A., Aktaş, Ö., Aydoğan, C., Özdemir, Ö., Ayaz, S., Tüfekçi, H., Tüfekçi, V., Atabay, H., Mantıkçı, A.M., İnal, Ö., Kara, E., Konya, Y., Sapmaz, K., Çelik, S., Enginsoy, G., Yakupoğlu, G., & Çeleme, M. (2011). İçme ve kullanma suyu kaynağı olarak kullanılan Eğirdir gölü havza koruma planı ve özel hüküm belirlenmesi projesi. Proje Sonuç Raporu. Proje no:5098116. TÜBİTAK-MAM, Gebze, Kocaeli, 400 s.
- Howarth, R.W., Anderson, D., Cloern, J., Elfring, C., & Hopkinson, C. (2000). Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas, *Issues in Ecology*, (7), 1–15.
- Jarosiewicz, A., Ficek, D., & Zapadka, T. (2011). Eutrophication parameters and Carlson-type trophic state indices in selected Pomeranian lakes, *Limnological Review*, 11(1) 15–23. DOI:<https://doi.org/10.2478/v10194-011-0023-3>
- Kesici, E. & Kesici, E. (2006). Eğirdir gölü (Isparta)'nın doğal yapısına yapılan müdahalelerin gölün ekolojik yapısına etkileri. *Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi*, (23), 99-103.
- Lawniczak-Malinska, A.E., & Achtenberg, K. (2018). Indicator values of emergent vegetation in overgrowing lakes in relation to water and sediment chemistry, *Water*, (10), 498; Doi:10.3390/w10040498
- OECD (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control, 154 pp. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- Sezen, G. (2008). Sarımsaklı baraj gölü (Kayseri) fitoplanktonu ve su kalitesi özellikleri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, 230 s.
- Smith, R. E. H. (1982). The estimation of phytoplankton production and excretion by carbon-14. *Marine Biology Letters*, (3), 325-334.
- Sömek, H., & Ustaoglu, M.R. (2016). Yaz aylarında Batı Anadolu'nun bazı dağ göllerinin (Denizli-Muğla) fitoplankton kompozisyonu ve trofik durum indeksi değerleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(2): 121-128.
- Şen, B., Koçer, M.A.T., & Alp, M.T. (2003). Göl trofik durum indeksleri. XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 2-5 Eylül, Elazığ, s. 589-599.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., Karagüzel, R., & Bulut, C. (2010). Eğirdir gölü su kalitesine yönelik ön bulgular: yerinde ölçümlerin değerlendirilmesi, *Suleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences*, 14(1), 72-83.
- Tanyolaç, J. (2000). Limnoloji ders kitabı. Hatiboğlu Yayıncılık, Ankara, 294 s.
- Tepe, R., Karakaya, G., Şahin, A.G., Sesli, A., Küçükylmaz, M., & Aksağan, A. (2018). Karkamış baraj gölü trofik durumu, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 2(1), 1-3.
- Varol, M. (2013). Batman baraj gölü'nün trofik durumunun belirlenmesi, *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(2), 51-59.
- WWF (2015). Eğirdir Gölü balıkçılık raporu, Erişim Tarihi: 13.04.2018, <http://www.wwf.org.tr/?1292>
- Yağcı, M.A., Alp, A., Akın, Ş., Yağcı, A., Bilgin, F., Atay, R., Dölcü, B., Uysal, R., Cesur, M., Bostan, H., & Yeğen, V. (2013). Eğirdir gölü'ne atılan gümüş balığının (*Atherina boyeri* Risso, 1810) besin zincirindeki etkileri. Tagem Haysüd Projesi, Isparta, 332 s.
- Zeybek, M., Kalyoncu, H., & Ertan, Ö.O. (2012). Eğirdir ve Kovada göllerini bağlayan Kovada kanalı ile göllerin kanala yakın bölümünde trofik durumunun belirlenmesi, *Ege Journal Fish Aquatic Sciences*, 29(3), 137-141.