

# SİĞ BİR GÖLDE SEDİMAN KALİTESİNİN TROFİK DURUMA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ; BALIK GÖLÜ ÖRNEĞİ (KIZILIRMAK DELTASI)

Hüseyin CÜCE <sup>1\*</sup>, Gülfem BAKAN <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun.

(Geliş Tarihi: 21.02.2017; Kabul Tarihi: 14.04.2017)

## Özet

Bu araştırma, sediman tabakasının sığ göllerin trofik seviyesi üzerinde oluşturabileceği etkileri incelemek ve göl sedimanının fiziko-kimyasal kalitesini değerlendirmek için yürütülmüştür. Standart yöntemlere göre Balık Gölü üzerindeki 6 istasyondan 2 yıl boyunca (2010-2011) sediman ve su örnekleri toplanmıştır. Gölde üç sezon için gerçekleştirilen alan çalışmalarında örneklenen yüzey sedimanlarından elde edilen analiz sonuçları, sedimanların yüksek fosfat (yıllık ortalama 663 mg/kg PO4-P, kuru ağırlıkta) ve organik karbon içeriklerine (yıllık ortalama 24,4 g/kg TOC, kuru ağırlıkta) sahip olduklarını göstermiştir. Verilerin istatistiksel analizi için ANOVA kullanılmıştır. ArcGIS ile oluşturulan dağılım haritalarından izlenen periyodik bulgular, kirlenmiş göl sediman tabakasının gölün trofik seviyesinde oldukça etkili olabileceğini göstermiş bu nedenle ötrofikasyona yönelik önlemlerin alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Göl sedimanı; trofik durum; coğrafi bilgi sistemi (CBS); Balık Gölü; Kızılırmak Deltası

## A EVALUATION OF THE EFFECTS OF SEDIMENT QUALITY ON TROPHIC STATUS IN A SHALLOW LAKE; THE CASE OF BALIK LAKE (KIZILIRMAK DELTA)

### Abstract

The study was conducted to assess the lake sediment physico-chemical quality and to examine the effects on trophic level of shallow lakes constituted by sediment layer. Sediment and water samples were collected for two years (2010-2011) at six stations on Balık Lake according to standard methods. The results of analysis obtained from surface sediments sampled from the field studies for three seasons in Balık lake showed that high-phosphate (annual average of 541 mg / kg PO4-P, dry weight) and high-organic carbon content (annual average 22.4 g / kg TOC, dry weight) in the sediments. Analysis of variance (ANOVA) was used to statically analyse the data. Findings, periodically monitored distribution maps created with ArcGIS showed that the contaminated lake sediment layer would be highly effective in trophic level of the lake therefore it has revealed the necessity of taking measures for eutrophication.

**Key Words:** Lake sediment, trophic level, geographic information system (GIS), Balık Lake, Kızılırmak Delta

\*[huseyincuce@nevsehir.edu.tr](mailto:huseyincuce@nevsehir.edu.tr)

## **1.Giriş**

Göl ekosistemlerinin biyojeokimyasının ve doğasının tümüyle belirlenmesinde bazı değişim proseslerinin önemi, gölün derinliği ile azalmaktadır. Sığ göl sedimanları, erozyona ve partikül maddelerin yeniden süspanse olmasına neden olabilen rüzgar dalgalarının sürekli fiziksel hareketine maruz kalırlar. İnce taneli silt ya da kil sedimanlar yüksek sorblama potansiyeline sahiptir, başka bir anlamda, daha geniş yüzey alanları olduğundan kum boyutlu sedimanlardan daha büyük kirlilik türü miktarlarını tutarlar (Vicente et al 2010).

Göl ekosistemlerine olan sürekli ve artan fosfor girdileri birçok gölde ötrofikasyonun hızlanmasına yol açmaktadır (Christophoros & Fytianos 2006). Bu çevrelerde, inorganik nutrient artışına olan ekolojik tepkilerin (ötrofikasyon gibi) büyüklüğünün ve yöneliminin tahmin edilmesi zordur (Pusceddu 2007). Sığ göllerde, sedimanlarda anaerobik parçalanma olurken sediman-su arayüzeyinde ve su sütununda aerobik parçalanma meydana gelir. Anoksik sedimanlardaki organik madde, sürekli olarak, çözülmüş inorganik azot ve reaktif fosforun sediman üstü suya doğru salınmasıyla ayrışmaktadır (Smolders et al 2006). Büyük havzaya sahip sığ göller, genellikle geniş drenaj alanından gelen nutrient girdilerinin bir sonucu olarak açıkça ötrofikasyona doğru bir yönelim gösterirler (Tsagli 2006).

Göllerin dip tabakalarında bulunan sedimanlar, uzun periyotlarda çeşitli kirleticileri bünyelerinde biriktirebilirler ve yıllar boyunca yüzey suyuna etki edecek yeni bir kirletici kaynak gibi rol oynayabilirler (Brzozowska et al 2007).

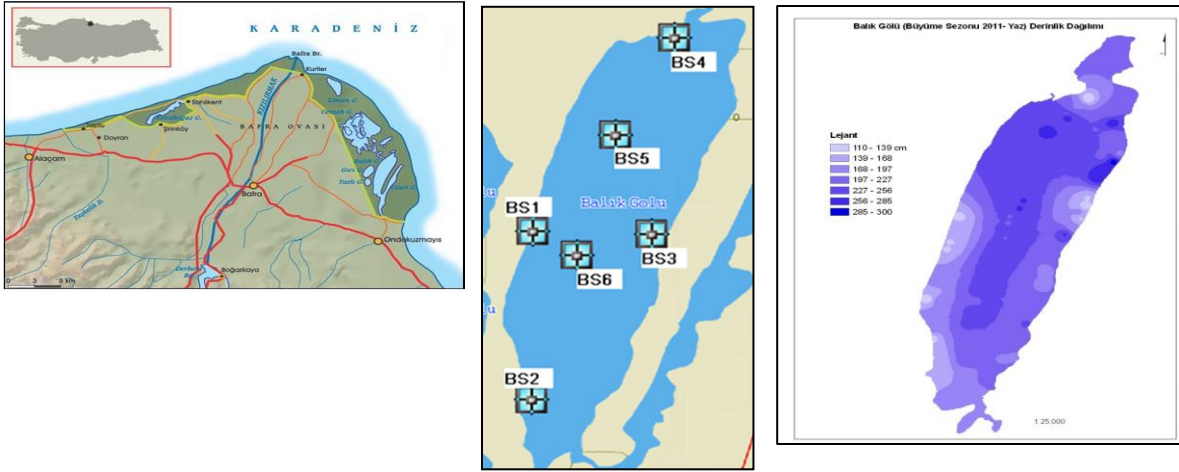
Bu araştırma, göl sedimanlarının göl içi besin seviyesinde oluşturabileceği etkileri izlemek ve karakterize etmek amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla, Kızıllırmak Deltasında sığ göller bölgesinde önemli bir yere sahip olan Balık Gölü'nün su ve sediman kalitesinin tespiti yapılarak gölün trofik yapısındaki periyodik değişimi coğrafi bilgi sistemi ile konumsal olarak analiz edilmiştir. Göl yüzey sedimanının taşıdığı mevcut kirliliğinin yüzey suyu kalitesi üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için CBS yazılımı kullanılarak parametrik konumsal dağılım haritaları hazırlanmış ve göl yüzey suyu besi maddesi seviyelerinde meydana gelen sezona bağlı değişim hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması ve Örnekleme

Kızılırmak Deltası 1182 km'lik uzunluğa ve 78000 km<sup>2</sup> lik havzaya sahip, Kızılırmak'ın Karadeniz'e döküldüğü yerde doğal olarak oluşmuş Türkiye'nin en büyük sulak alanlarından biridir. Kızılırmak Deltası, doğu kıyılarında, gerek ekolojik gerekse sosyo-kültürel açıdan bölge halkı için önemli olan ve özellikle kıyı kordonları vasıtasıyla birbirinden ayrılmış sığ göller bünyesinde barındırmaktadır. İlçe merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta yer alan bu göllerin deltada kapladıkları alanlar mevsime göre değişkenlik göstermektedir (yağışlı dönemde ortalama 2780 hektar, kurak dönemde ise ortalama 980 hektar). Günümüzde, ANTROPOJENİK değişime uğrayan delta sulak alanları birçok tehditle de karşı karşıya kalmaktadır. Kızılırmak Deltasındaki ekolojik bozulma insanın doğal ortam özellikleri üzerindeki olumsuz etkilerinin bir sonucudur. Doğuya doğru hareket eden Karadeniz kıyı akıntısının oluşturduğu dalga erozyonunun Kızılırmak'ın getirdiği alüvyonları sürüklemesi sonucu, deltanın doğu kıyılarındaki sığ göllerin giderek dolmasına sebep olduğu ve deltanın morfolojik yapısının nasıl değişim gösterdiği geçmiş ve günümüz alansal fotoğraflarından açıkça görülmektedir (Turoğlu 2005; Sertel et al 2008).

Kızılırmak Deltası'ndaki ornitolojik ve balıkçılık açısından delta içindeki en önemli doğal sığ göllerden biri olan Balık Gölü (Ulu Göl), deltanın doğu yakasında yer alan 19 Mayıs beldesi (Bafra-Samsun) sınırları içerisinde deniz seviyesinde yaklaşık 1380 ha'lık alanı kaplar. Şekil 1'de Balık Gölü'nde 6 bölgesel sediman ve yüzey suyu örnekleme noktasının konumu ve kurak sezon derinlik dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. Gölde Örnekleme İstasyonlarının Konumu ve Derinlik Haritası (Yaz dönemi)  
Figure 1. Sampling Stations in the Lake and Map of Depth

Balık Gölü'nde coğrafi koordinatları GPS (Magellan Triton 1500) ile kayıt altına alınan 6 istasyonda 3 periyot (sonbahar, ilkbahar ve yaz) süren arazi çalışmalarında göl yüzey suyu ve göl yüzey sedimanı örneklenmiştir. Sediman örnekleri *Eijkelkamp Beeker tipi kolon sediman örnekleme* ile alınmıştır. Yüzey suyu kalite parametreleri arasında; sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, redoks potansiyeli, iletkenlik ve tuzluluk değerleri *Consort C535* ile ölçülürken, yüzey suyu klorofil-a derişimleri flourometrik olarak (*Turner-Design Aquafloor*) yerinde test edilmiştir.

Gölden 3 dönemde 6 adet stratejik noktadan alınan yüzey suyu örneklerinde trofik durumunu belirlemek üzere yerinde yapılan ölçümlere ek olarak, nitrit (kat no: 14547) ve nitrat azotu (kat no:14542; 0,5 – 18 mg/L NO<sub>3</sub>-N aralığında), toplam azot (DIN EN ISO 11905-1, kat no: 14537; 0,5–15 mg/L N aralığında), toplam fosfat (EPA 365.2+3, US Standard Metots 4500-PE ve ISO 6878, kat no: 14543; 0,05–5 mg/L PO<sub>4</sub>-P aralığında), toplam sertlik (kat no: 00961; 5-215 mg/L Ca<sup>+2</sup> aralığında) ve klorür (kat no: 14897; 10-250 mg/L Cl<sup>-</sup> aralığında) konsantrasyonları laboratuvarda test kitleri (MERCK ve WTW firmalarında temin edilmişlerdir) ile standart yöntemlere uygun olarak belirlenmiştir.

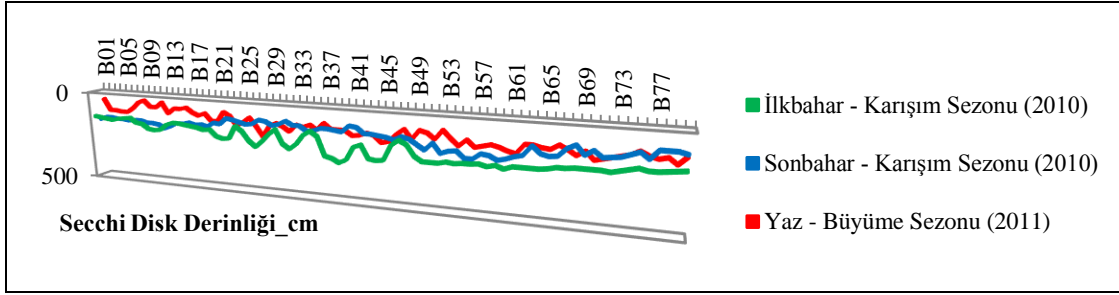
İstasyonlardan kolon örnekleme ile alınan sediman örnekleri yaş ve kuru analizler için laboratuvar ortamına soğutucu kutular içinde getirilmiştir. Sediman gözenek suyunda pH ve Eh, % nem (103 °C'de 12 saat), % organik madde içeriği (550 °C'de 2 saat), kuru sediman örneklerinde ise tane boyutu analizinden sonra toplam fosfor (TP) ve toplam organik karbon

(TOC) konsantrasyonları tespit edilmiştir. Gölün su ve sediman örneklerinde Toplam fosfor derişimleri, laboratuvarda test kitleri ile standart yöntemlere göre (APHA AWWA WPCE Std. Methods 1998) analiz edilirken, Toplam karbon ve Toplam organik karbon ölçümleri Teledyn Tekmar APOLLO 9000 karbon analizörü ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.Bulgular ve Tartışma

#### 3.1.Göl Yüzey Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi

Göl aynası üzerinde belirlenen 6 istasyondan alınan yüzey suyu örneklerinin mevsimsel analizleri hem yerinde ve hem laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Gölde yapılan fiziki ölçümler esas alındığında ilkbahar döneminde 370 cm ile en yüksek su seviyesine ulaşılırken (ort. yüzey suyu derinliği bu dönemde  $248\pm 61,15$ cm) en düşük su seviyesi 110 cm ile yaz sezonunda tespit edilmiştir. Secchi derinliği sonuçları incelendiğinde ise, en düşük 45 cm ile yaz döneminde en kritik seviye sonuçlarına ulaşıldığı ve  $127\pm 32,38$ cm ortalama değeri ile önceki iki döneme göre (ilkbaharda  $195\pm 38,01$  cm iken sonbaharda  $145\pm 29,95$  cm) Balık Gölü berraklığının oldukça azaldığı görülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Gölde Mevsimsel Secchi Disk Derinliği Değişimi

Figure 2. Variaton of Seasonal Secchi Disc Depth in the Lake

ÇO derişiminin yaz mevsimi gereği en düşük ort. 4,6 mg/L seviyelerine kadar düşmesi, göldeki seviye alçalması ve denizden olan komşu Uzun Göl tarafından penetrasyon sebebiyle tuzluluğun ort. 1,8 g/L'den daha yüksek değerlere doğru artış göstermesi olağan sonuçlar olarak değerlendirilebilir. Gölde azot ve fosfor konsantrasyonlarının değişiminde mevsimlerin istatistiki olarak anlamlı bir fark oluşturduğu (sırasıyla,  $p_N = 0,001$  ve  $p_P = 0,000$

$p < 0,01$ ) fakat 6 bölgesel istasyonun arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı ( $p_N = 0,268$  ve  $p_P = 0,393$ ) bulunmuştur. Benzer olarak yüzey suyu toplam organik karbon içerikleri de gölde artış göstermiştir. Göldeki klorür ve sertlik konsantrasyonunun değişiminde mevsimlerin oldukça etkili olduğu ( $p = 0,000$ ) görülürken klorür açısından ölçüm yapılan istasyonlar arasında istatistiksel açıdan öneme rastlanmazken ( $p = 0,097$ ) sertlik açısından durum farklıdır ( $p = 0,003$ ). Ortalama klorofil-a konsantrasyonu bakımından bu dönem alınan sonuçlar sonbahar ortalamalarına göre gölde azalma yönünde olduğunu fakat konumsal yöneliminin değiştiğini göstermiştir. Gölün yüzey suyu kalitesinin özellikle toplam azot ve fosfor yönünden doğal koruma alanlarının sınır değerlerinin üzerinde olduğunu lakin göl doğal olarak tuzlu göller sınıfında kabul edildiğinde nispeten ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri bazında su kalitesinin kabul edilebilir düzeyde seyrettiği söylenebilir. Kıta içi su kaynakları sınıflandırma kriterlerine (Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği 2012) göre ise fiziko-kimyasal parametreler genelinde göl suyu II. Sınıf su kalitesinde iken organik parametreler bakımından III. Sınıf su kalitesine yaklaştığını söylemek mümkündür (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Göl Yüzey Suyunda Yerinde ve Laboratuvarda Ölçülen Parametreler

*Table 1. Parameters measuring for In situ and Laboratory in the Lake Surface Water*

PARAMETRE	BALIK GÖLÜ		
	İlkbahar Karışım Sezonu (2010)	Sonbahar Karışım Sezonu (2010)	Yaz - Büyüme Sezonu (2011)
Su sıcaklığı, °C	22	17	27
pH	8,6	8,5	9,6
Redoks Potansiyeli, (Eh) mV	-95	-71	-148
Elektriksel İletkenlik, (EC) mS/cm	1,7	2,0	2,5
Çözülmüş Oksijen, (DO) mg/L O <sub>2</sub>	5,8	5,0	4,6
Toplam Çöz. Katılar, (TDS) g/L	0,91	1,06	1,33
Tuzluluk, (SAL) g/L	0,87	1,37	1,80
Klorofil -a µg/L	20	57	34
Nitrit Azotu, mg/L NO <sub>2</sub> -N	0,034	0,037	0,064
Nitrat Azotu, mg/L NO <sub>3</sub> -N	0,397	0,516	0,782
Toplam Azot, mg/L N	0,95	1,7	2,98
Toplam Fosfat, mg/L PO <sub>4</sub> P	0,033	0,020	0,093
Toplam Karbon/ TOK mg/L C	70/12	68/13	50/32
Toplam Sertlik, mg/L CaCO <sub>3</sub>	422	392	251
Klorür, mg/L Cl <sup>-</sup>	532	700	510

Not: Çizelgedeki değerler, gölde 6 bölgesel noktadan sedimanla aynı zamanda alınan yüzey suyu örnekleri analiz sonuçlarının ortalamasıdır

### 3.2. Göl Sediman Kalitesinin Değerlendirilmesi

İstasyonlardan kolon örnekleyici yardımıyla 3 dönemde alınan sediman örneklerinin genel fiziko-kimyasal özelliklerini veren yaş analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Balık Gölü’nden alınan 6 adet sediman örneği için ortalama pH ve redoks potansiyeli değerlerinin 7,9 ve -54 mV ile yaz döneminde en düşük değerde olduğu görülmüştür. Bu duruma rağmen örneklerdeki ortalama tuzluluk konsantrasyonunun en yüksek seviyeye (1,35 g/L) bu dönemde ulaştığı belirlenmiştir.

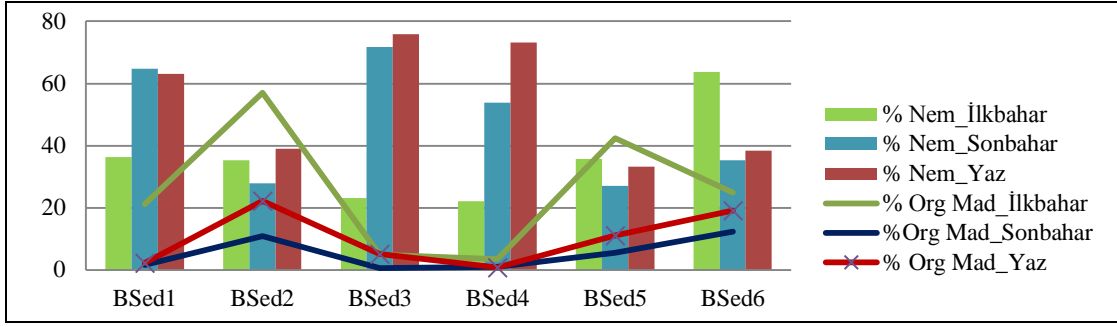
**Çizelge 2.** Göl Sediman Kalitesi Analiz Sonuçları (Ortalama Değerler)

Table 2. Results of Analysis for Quality of Lake Sediment

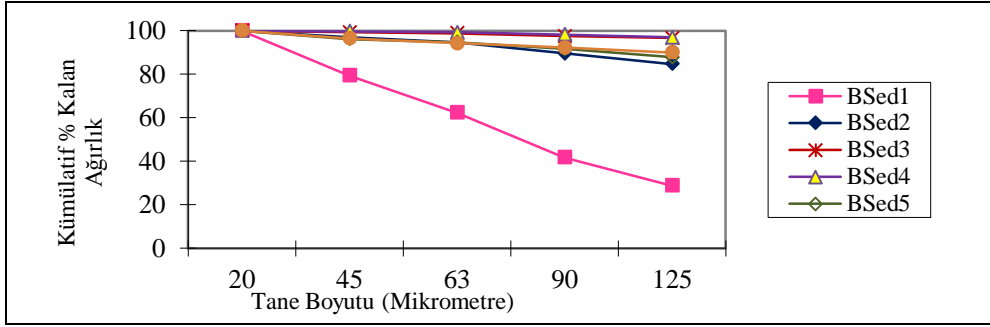
PARAMETRE	İlkbahar Karışım Sezonu (2010)	Sonbahar Karışım Sezonu (2010)	Yaz Büyüme Sezonu (2011)
pH	8,02	8,1	7,94
Redoks Potansiyeli (Eh), mV	-61,2	-63,7	-54,16
Elektriksel İletkenlik (EC), mS/cm	0,947	1,026	1,896
Tuzluluk (SAL), g/L	0,62	0,75	1,35
Nem içeriği, %	36,1	46,7	53,8
Organik Mad. İçeriği, %	25,7	5,3	10,2
Toplam Org. Karbon (TOC), mg/g	17,66	38,53	17,25

Göl sediman örnekleri nem içeriği ortalama değerlerinin ilkbahar karışım sezonunda en düşük (% 36), yazın ise en yüksek (% 54) değeri aldığı tespit edilmiştir. Gölün sediman organik madde içeriğinin ise ilkbaharda ortalama % 26 ile en yüksek değere ulaştığı, sonbaharda ise % 5 ile en düşük değerine ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 3). İlkbahar döneminde en yüksek nem içeriğine sahip sediman örneğinin gölün orta bölümünden alınan 6 nolu örnek olduğu, sonbahar ve yaz dönemlerinde ise 1,3 ve 4 nolu örneklerin diğer 3 noktaya kıyasla daha yüksek nem içeriğine fakat nispeten daha düşük karbon içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir.

Balık Gölü’ne ait mevsimsel tane boyutu analiz sonuçları ana tane boyutunun 125 µm üzerinde ve genel yapının yüksek silt içeriğine (özellikle 1 nolu örnek alanında kil oranı da yüksek seviyededir) sahip kum özelliğinde olduğunu göstermiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Göl Sediman Örneklerinde Mevsimsel % Nem ve % Organik Madde Değişimi  
Figure 3. Variation of Seasonal Moisture% and Organic Matter% in the Lake Sediment Samples



Şekil Error! No text of specified style in document.. Göl Sedimanlarında Tane Boyutu Dağılımı (Yaz dönemi)  
Figure 4. Distribution of Grain Size in the Lake Sediments

### 3.3. Gölün Trofik Durumu ve Konumsal Analizlerin Değerlendirilmesi

Periyodik alan çalışmaları ile yerinde ve laboratuvarında göl yüzey suyunda gerçekleştirilen toplam fosfor (TP), klorofil-a (Chl-a) ve Secchi Disk Derinliği (SDD) tespitleri ve bu parametreler arasındaki ilişkiye göre Carlson Trofik Durum (düzey) İndeksi (TDİ) değerleri göl için hesaplanarak değerlendirilmiştir. Carlson TDİ skala değerlerine göre;  $TDİ \leq 40$  “oligotrofik”,  $41 \leq TDİ \leq 50$  “mezotrofik”,  $50 \leq TDİ \leq 70$  “ötrofik” ve  $TDİ \geq 70$  “hiper ötrofik” olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre, Balık Gölü trofik düzey indeksinin mevsimsel değişimi Çizelge 3’de görülmektedir. Gölün özellikle kurak dönem (yaz) trofik durumundaki değişim incelendiğinde, ortalama klorofil-a konsantrasyonlarına göre hesaplanan Carlson indeksi değerlerinin sonbahara kıyasla bu dönemde nispeten düşüğe geçtiği (70’den 64’e düşmüştür) ancak genel itibariyle gölün halen ötrofik yapısını muhafaza ettiği ve göl statüsünün kritik duruma yaklaştığını bulgular göstermektedir.



**Çizelge 1.** Gölde Trofik Durum İndeksinin Periyodik (İlkbahar-sonbahar-yaz) Değişimi  
 Table 3. Variaton of Periodically Trophic State Index of the Lake

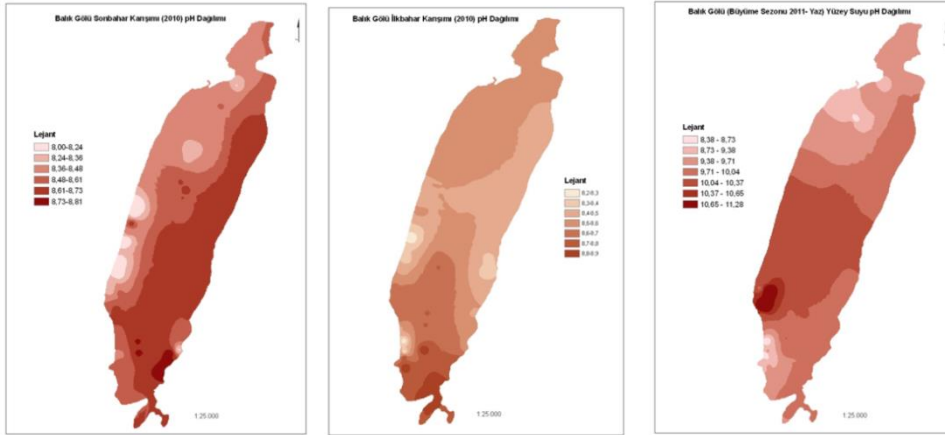
İndeks Değişkeni	TDİ <sub>(SDD)</sub>	TDİ <sub>(TP)</sub>	TDİ <sub>(Chl-a)</sub>
Göl trofik değeri	51 / 54 / 55	55 / 48 / 70	60 / 70 / 64

Göl yüzeyi, 1:25000 ölçekli Standart Topografik Haritadan (STH) sayısallaştırılarak ArcMap ortamına alınmıştır. Görüntü üzerinde Balık Gölü'nün sınırları ve anlık numune noktalarının el GPS'i yardımıyla belirlenen coğrafi koordinatları 6° lik UTM (ED50 37) koordinatlarına dönüştürüldükten sonra vektör veri olarak ArcGIS 9.3.1 yazılımına aktarılmıştır. Öznitelik verisi olarak ArcMAP'te göl üzerinde yapılan sayısallaştırılmış vektör veri üzerine aktarılan Çizelgeler kullanılarak ArcMAP'te tematik haritalar oluşturulmuştur. Sediman örneklerinde belirlenen toplam fosfat ve toplam organik karbon değerleri için ArcGIS 9.3.1 *Spatial Analyst*'de ters mesafe ağırlıklandırma (IDW) yöntemine göre tematik haritalandırma yapılmıştır.

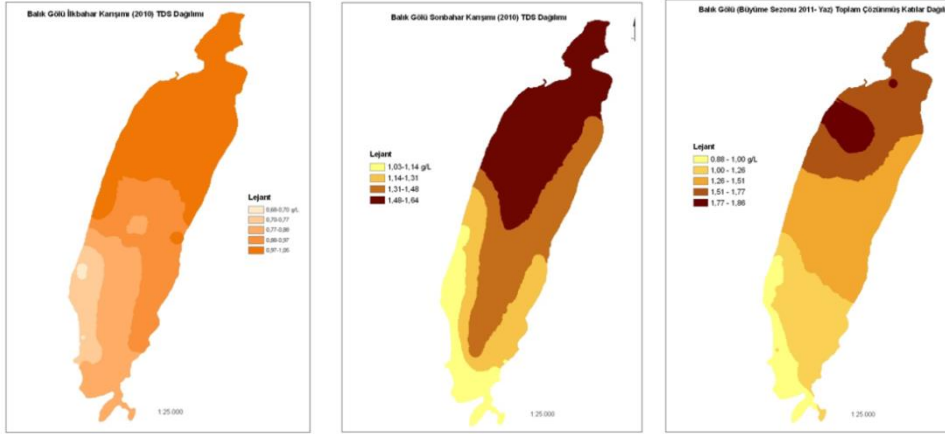
Büyüme sezonunda elde edilen sonuçların haritalardan yansıması göstermektedir ki, gölün güney batı kıyılarında pH değeri daha fazla artmış ve sonbahar dönemine kıyasla güney doğu kıyılarındaki pH değişimi nispeten az olmuştur (Şekil 5). Bu dönemde de yine gölün kuzey batı kıyılarından mineral girişi izlenmiş fakat sonbahardaki gibi geniş yayılım göstermemesine rağmen genel olarak en yüksek değerleri (minimum 0,88 ve maksimum 1,86 g/L) yaz döneminde izlenmiştir. Bu duruma etken olan kuzey-batı kanal bağlantılarından gelen sular olduğu harita üzerinde noktasal dağılım olarak kendini göstermiştir (Şekil6). Aynı zamanda bu durum gölün kuzeyinden güneyine doğru bir tuzluluk akışının etkisinde olduğunu (minimum 1,10 ve maksimum 2,60 g/L ) göstermiştir (Şekil 7). Yaz döneminde tuzluluğun artmasında yüksek su sıcaklığına bağlı aşırı buharlaşmanın etkisi de önemli bir rol oynamıştır (bu dönemde su seviyesi ort. 205 cm ile en düşük seviyede). pH değerinin yükseldiği güney batı kıyılarında Secchi derinliğinin azaldığı ve klorofil-a konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığı haritalardan (Şekil 8) açıkça görülmektedir. Göldeki Secchi derinliğinin ortalama 145±29,95 cm ile gölün kuzey batısından güney doğusuna doğru azaldığı, ortalama klorofil-a konsantrasyonlarının ilkbaharda 20,2±10,6 µg/L iken sonbaharda 61,2±12,0 µg/L'ye kadar artış gösterdiği gölde iki yönlü ANOVA test sonuçları mevsim değişiminin istatistiksel olarak önemli bir farklılık gösterdiğini (p=0.000 ve

$p < 0.001$ ) fakat istasyonlar arasında benzer bir durumun olmadığı görülmüştür ( $p = 0.790$  ve  $p > 0.05$ ). Trofik seviyenin güney batı ve orta kesimlerde ötrofik düzeyde olduğu gözlenirken özellikle güney doğu kıyılarında hiperötrofik bir görünümde olduğu belirlenmiştir.

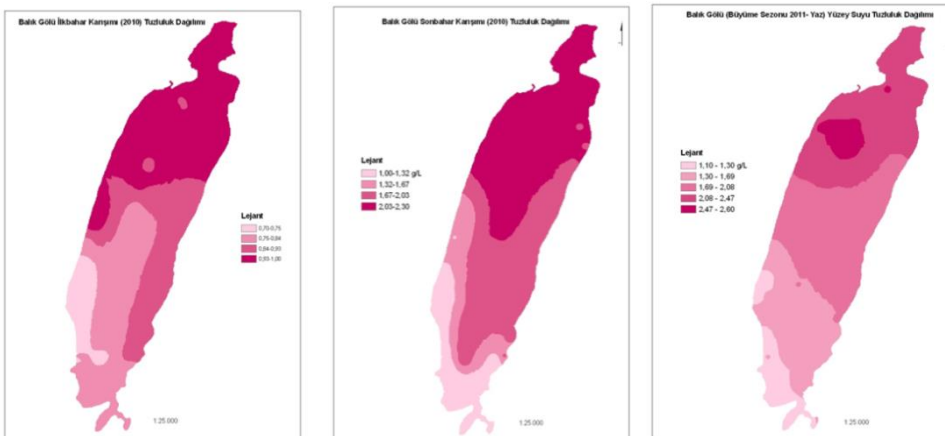
Oluşturulan dağılım haritaları incelendiğinde, sedimandaki organik karbon içeriklerinin gölün genelinde yaz döneminde azalma gösterdiği (ort. 38 g/kg C'dan 17 g/kg'a) görülürken özellikle gölün güneybatı kıyılarında sediman fosfat içeriğinin nispeten daha fazla azalma eğiliminde (ort. 896 mg/kg P'den 675 mg/kg'a) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9 ve Şekil 10). İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre, sedimanlardaki toplam fosfatın mevsimsel ve istasyonel olarak anlamlı bir fark göstermediği aynı şekilde sediman-su matriksinde fosfat konsantrasyonlarının anlamlı bir fark gösterdiği ( $p = 0,033$ ) ve mevsimlerin sediman-su arasında fosfat bakımından istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olduğu ( $p = 0,006$ ) izlenmiştir. Bununla birlikte, organik maddenin sedimandaki fosfat sorpsiyonunda temel faktörlerden biri olduğu bilinmektedir (Jensen ve Andersen, 1992). Sedimandan çözünmüş organik fosfatın salınımı organik madde içeriğine bağlı olarak zenginleşmektedir. Özellikle, gölün güney batı bölgesinden alınan 2 nolu sediman örneklerinin 3 sezon süresince organik madde açısından zengin yapıda olması dikkat çekmektedir. Test sonuçlarına göre, mevsimsel değişimin sediman-su arasındaki TOC konsantrasyonunun değişiminde etkili olduğu ( $p = 0,008$ ) fakat mevsimsel ( $p = 0,081$ ) ve istasyonel ( $p = 0,528$ ) olarak TOC konsantrasyonunun anlamlı bir fark göstermediği ve sediman-su arasında istatistiksel olarak önemli bir bulgu olmadığı ( $p = 0,442$ ) anlaşılmaktadır. Ancak bu noktalarda, yaz mevsimi boyunca yüzey suyunda belirlenen fosfat artışı (maksimum 0,09 mg/L) beraberinde suda klorofil-a kons. artışını ( $> 90 \mu\text{g/L}$ ) da sağlamış olabilir. Bununla birlikte, yüzey suyu toplam fosfat ve klorofil-a kons. arasında 6 bölgesel istasyona bağlı mevsimsel korelasyonun 0,734 ile nispeten yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimlerin etkisi ile sediman gözenek suyu pH artışına (maksimum 8,42) bağlı sediman üstü suya nutrient salınımı vb. dinamiklerin gölde mevsimsel olarak etkili olduğunu gösteren önemli bir bulgudur.



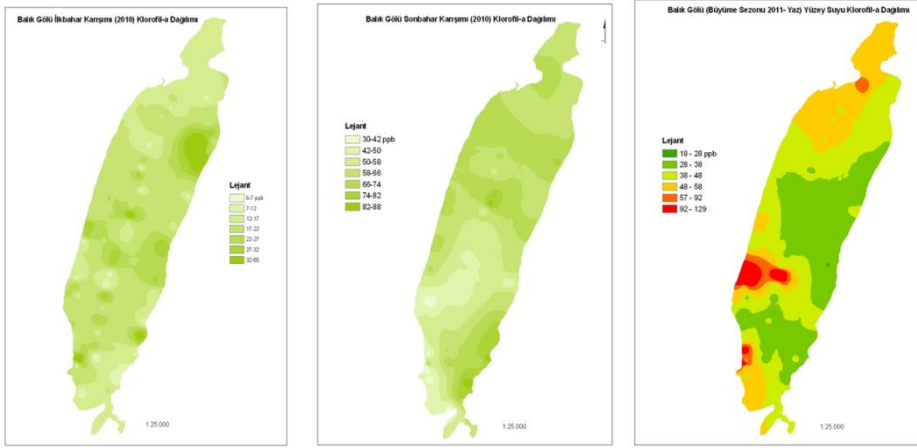
Şekil 5. Göl Yüze Suyu Mevsimsel pH Dağılımı  
Figure 5. Distribution of Seasonal PH of the Lake Surface Water



Şekil 6. Göl Yüze Suyu Mevsimsel Toplam Çözünmüş Katılar Dağılımı  
Figure 6. Distribution of Seasonal TDS of the Lake Surface Water

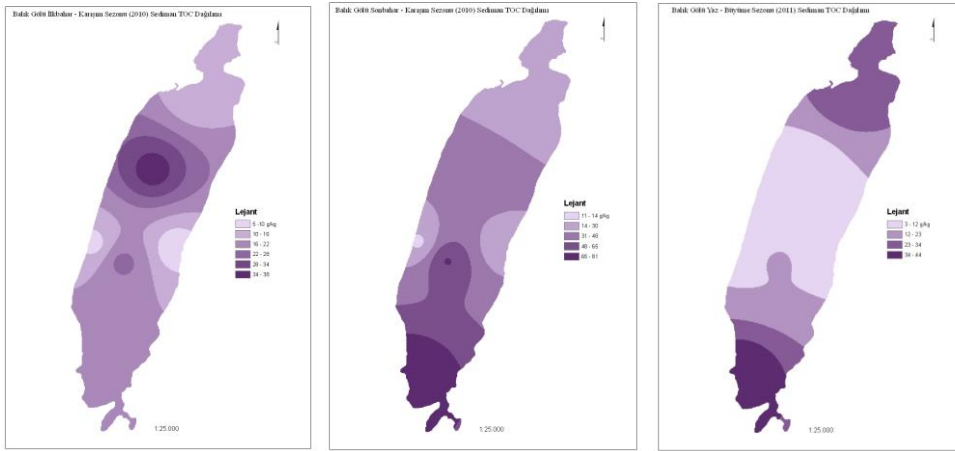


Şekil 7. Göl Yüze Suyu Mevsimsel Tuzluluk Dağılımı  
Figure 7. Distribution of Seasonal SAL of the Lake Surface Water



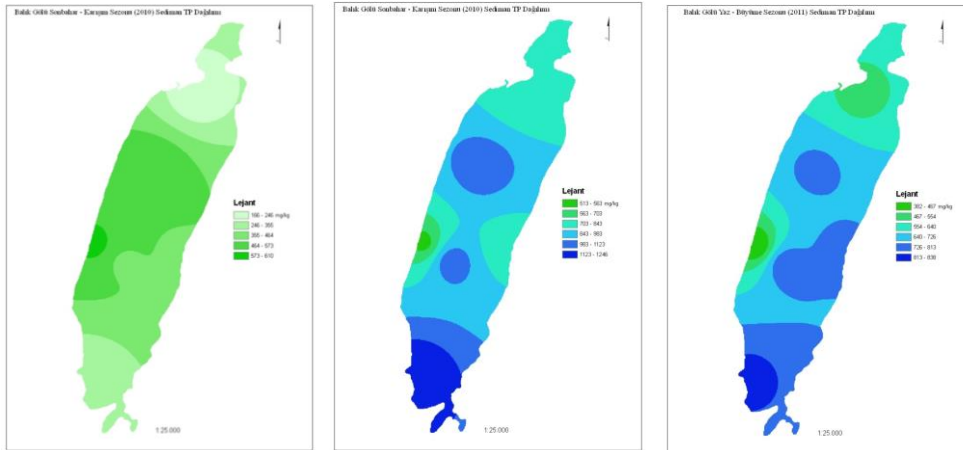
Şekil 8. Göl Yüzey Suyu Mevsimsel Klorofil-a Dağılımı

Figure 8. Distribution of Seasonal CHL-a of the Lake Surface Water



Şekil 9. Sediman Toplam Organik Karbon Dağılımı (ilkbahar-sonbahar-yaz; g/kg C)

Figure 9. Distribution of Seasonal TOC of the Lake Sediments



Şekil 10. Sediman Toplam Fosfat Dağılımı (ilkbahar-sonbahar-yaz; mg/kg PO<sub>4</sub>-P)

Figure 10. Distribution of Seasonal TP of the Lake Sediments

#### 4.Sonuç

Bu araştırma süresince incelenen Kızılırmak deltası balık gölü yüzey sedimanlarından elde edilen bulgular, yüksek fosfat (yıllık ortalama 663 mg/kg PO<sub>4</sub>-P, kuru ağırlıkta) ve organik karbon konsantrasyonları yıllık ortalama 24,4 g/kg TOC, kuru ağırlıkta) sahip göl sedimanlarının oldukça kirlendiğini göstermiştir. ArcGIS ile oluşturulan dağılım haritalarından da izlenen yüzey suyu nutrient akış oranları ve biyokütle yönelimlerinin mevsimsel durumları, kirlenmiş göl sediman tabakasının gölün trofik seviyesinde de ne kadar etkili olabildiklerini gösterir niteliktedir. Sedimanlardaki yoğun besin maddelerinin gölde mevcut makro-alg yosunlarının daha fazla büyümesini sağlamak için önemli bir nutrient kaynağı olarak rol aldıklarını ve bazı durumlarda, sedimandan nutrient salınımlarının, bahar karışım dönemlerinde makro-algsel büyümenin başlamasını tetikleyecek kadar da yeterli düzeyde olabildiğini gösterir niteliktedir. Balık Gölü'ne doğrudan ve dolaylı olarak karışan suların, deltada yoğun olarak işlenen alanlardan (çeltik tarlaları gibi), belde kanalizasyon atıksularının iyi ıslah edilmemesi sonucu göllere kadar ulaştığı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla çevresel akışlar, yüzey sedimanlarında depolanan azot, fosfor ve karbon yükünden sorumlu temel dışsal kaynaklar olarak tespit edilmiş ve bölgede kontrolsüz atık boşaltımı örnekleriyle karşılaşılmıştır. Arıtılmadan derelere ve kanallara deşarj edilen atıksular ile tarımsal sulama sularının göl ve çevre sulak alanlar için önemli bir besin girdisine neden olduğu saha çalışmalarında da gözlenmiştir. Çeşitli olumsuz çevre koşullarının baskısı altında varlığını sürdürmeye devam eden Kızılırmak Deltası'nda insan kaynaklı çevresel kirliliğin önüne geçilebilmesi için yerel yönetim ve sivil toplum kuruluşlarının entegre havza yönetimi yaklaşımı çerçevesinde konuyu ele alması, bölgede yaşamını sürdürmekte olan tüm canlı popülasyonlarının korunması amacıyla çevresel farkındalığın artırılması yönünde çalışmalar yapılması önem taşımaktadır. Deltanın biyoçeşitliliğinin ve diğer tüm zenginliklerinin sürdürülebilir bir şekilde korunması ancak bütüncül bir anlayışla sağlanabilecektir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.10.001 numaralı bilimsel araştırma projesi ile desteklenmiş olup doktora tezinden (YÖK Tez No: 316332) türetilmiştir.

## **Kaynaklar**

APHA/AWWA/WEF: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edn, Washington DC, USA

Brzozowska R Dunalska J & Zdanowski B (2007). Chemical Composition of the Surficial Sediments in Lake Lichenskie. *Arc. Pol. Fish.* Vol.15, 4:445-455

Christophoros C & Fytianos K (2006). Conditions Affecting the Release of Phosphorus from Surface Lake Sediments, *J. Of Environmental Quality*; 35:4, 1181-1192

Jensen HS & Andersen FO (1992). Importance of temperature, nitrate, and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes. *Limnol Oceanogr* 3:577- 89

Pusceddu A Gambi C Manini E & Danovaro R (2007). Trophic state, ecosystem efficiency and biodiversity of transitional aquatic ecosystems: analysis of environmental quality based on different benthic indicators, *Chemistry and Ecology*, Vol. 23, No. 6, 505–515

Sertel E Fındık N Kaya S & Şeker DZ (2008). Samsunlu A., Assessment of Landscape Changes in the Kizilirmak Delta, Turkey, Using Remotely Sensed Data and GIS. *Environmental Engineering Science*, 25 (3); 353-361

Smolders AJP Lamers LPM Lucassen E Van Der Velde G & Roelofs JGM (2006). Internal eutrophication: how it works and what to do about it—a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93–111

Tsagli J A (2006). Spatial Distribution of Water Quality and Eutrophication Levels of Wetlands; A Case Study of Lake Cuitzeo-Mexico, A Thesis for The Degree of Master's

of Science (Supervisor: Vekerdy Z.) International Ins. for Geo-Information Sci. and Earth Observation, NL

Turoğlu H(2006). Kızılırmak Deltası ve Yakın Çevresinin Jeomorfolojik Özellikleri ve İnsan Yaşamındaki Etkileri, [www.iudergi.com/tr//anadolu/article/view/2117/0](http://www.iudergi.com/tr//anadolu/article/view/2117/0) (Erişim tarihi: 06.01.2015)

Vicente I Cruz-Pizarro L & Rueda FJ (2010). Sediment resuspension in two adjacent shallow coastal lakes: controlling factors and consequences on phosphate Dynamics, *Aquat. Sci.* 72:21–31