



Sığ Sularda Nutrient Seviyelerine Sediman Kalitesinin Etkisinin Konumsal Olarak Değerlendirilmesi: Cernek Gölü Örneği

Hüseyin Cüce^{1*}, Gülfem Bakan²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 55139 Samsun, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş 29 Kasım 2016
Kabul 31 Aralık 2016

Anahtar Kelimeler:

Göl Sedmanı
Tropik Seviye
Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)
Cernek Gölü
Kızılırmak Deltası

*Sorumlu Yazar:

E-mail: huseyincuce@nevsehir.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'nin en önemli sulak alanlarından biri olan Kızılırmak Deltasında yer alan ve Ramsar alanı olarak korunan Cernek Gölü'nün su-sediman kalitesi ve trofik durumundaki değişimi belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma süresince temel hedef, sığ göl sediman tabakasının yüzey suyu trofik seviyesi üzerinde oluşturabileceği etkileri incelemek ve değerlendirmektir. Çalışmada, gölün mevcut su ve sediman kalitesi belirlenerek trofik durumundaki dönemsel değişim Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla değerlendirilmiştir. Bazı su ve sediman kalite parametreleri için (pH, tuzluluk, Secchi disk derinliği ve klorofil-a, toplam fosfat ve toplam organik karbon (TOK) konsantrasyonu) konumsal analizler gerçekleştirilmiştir. Cernek Gölü'nde üç mevsim (2010-2011) yürütülen saha çalışmalarının sonuçları, sedimanların yüksek fosfat (yıllık ortalama 541 mg / kg PO₄-P, kuru ağırlık) ve yüksek organik karbon (yıllık ortalama 22,4 G) / Kg TOC, Kuru ağırlık) içerdiğini göstermiştir. Özellikle yaz döneminde, hesaplanan Carlson İndeksi değerlerinin sonbahara kıyasla nispeten düşüşe geçtiği (81'den 79'a) ancak gölün halen ötrofik yapıda olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, bölgedeki kıyasal ekosistemler arasında kritik öneme sahip Cernek Gölü'nün kirlenmiş sediman tabakasının, yüzey suyu trofik seviyesindeki değişimde oldukça etkili olabileceğini göstermiştir. Çalışma, ötrofikasyona yönelik orta ve uzun vadeli önlemlerin alınması ve stratejik eylem planlarının hayata geçirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, (5): 546-555, 2017

Spatial Assessment of the Effect of Sediment Quality on the Nutrient Levels in Shallow Waters: Cernek Lake Case

ARTICLE INFO

Research Article

Received 29 November 2016
Accepted 31 December 2016

Keywords:

Lake Sediment
Trophic Level
Geographic Information System (GIS)
Cernek Lake
Kızılırmak Delta

*Corresponding Author:

E-mail: huseyincuce@nevsehir.edu.tr

ABSTRACT

This study was conducted to determine the water-sediment quality and trophic status changes of Cernek Lake located in the Kızılırmak Delta (one of the most important wetlands in Turkey) and protected as a Ramsar site. The main objective, was evaluated and examined the effects on trophic level of surface water that the layers of lake sediments can create. In the study, the periodic exchange on trophic level have been evaluated with Geographic Information Systems (GIS) by identifying existing water of lake and sediment quality of lake. Spatial analysis was realized for water and sediment quality parameters (pH, salinity, Secchi disc depth and chlorophyll-a, total phosphate and total organic carbon (TOC) concentrations). The results of field studies conducted at Cernek Lake for three seasons (2010-2011) showed that the sediments contain high phosphate (annual average 541 mg / kg PO₄-P, dry weight) and high organic carbon content (annual average 22.4 G / kg TOC, Dry weight). During the summer, Carlson Index values relatively declined during this period compared to autumn (81 to 79), but the eutrophic structure of the lake is still found to be high character. Findings, 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. According to the results of study, taking the medium and long term measures to eutrophication and implementation of the strategic action plan is required.

Giriş

Günümüzde, nutrient girdilerinin artması nedeniyle sığ sularda trofik seviyenin yükselmesi yüzey sularının kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır. Göl sistemlerindeki nutrient form ve konsantrasyonları, içsel ve dışsal nutrient kaynaklarına bağlı olduğu gibi çevresel, iklimsel, morfolojik ve hidrolojik faktörlere göre de değişim gösterir. Göl ekosistemlerine sürekli artan miktarlarda fosfor girdileri birçok gölde ötrofikasyonun hızlanmasına yol açmaktadır. Göl ötrofikasyonunun kontrolü ve yönetimi, su kütlesi ve onu çevreleyen bölge arasındaki karışık etkileşimlerin analiz edilmesini gerektirir (Christophoros ve Fytianos, 2006).

Dip sedimanların yeniden askıda hale geçmesi, sedimandan kaynaklı nutrientlerle su kolonunun zenginleşmesi ve ışık kullanılabilirliğinin azalması nedeniyle, sığ su çevrelerindeki verimliliği etkilemektedir. Sedimandan salınan iz metallerin ve organik kirleticilerin yerüstü su kalitesini olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahip olduğu bilinmektedir (Ali ve ark., 2014). Bir göldeki nutrient zenginleşmesi birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametre tarafından kontrol edilmektedir. Bu parametrelerden en önemlisi, su kaynaklarının çoğunda üretimi kontrol eden faktör olarak belirlenen ve azot ile birlikte ötrofikasyonda en etkin nutrient olarak ileri sürülmüş olan fosfordur. Fosforun mevcudiyeti, göllerin çevresel durumunu yansıtan en önemli faktördür. Fiziksel bir parametre ve göl sularında geçirgenliğin bir derecesi olan Secchi disk derinliği ölçümleri nutrient düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı araştırmacılara göre ötrofikasyonun en önemli sonucu olarak görülen ve alg biyokütlesi ile yakından ilişkili olan klorofil de önemli bir parametredir (Sondergaard, 2007; Zhou ve ark., 2005; Carlson ve Simpson, 1996).

Yüzey sedimanları, göl ekosistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Gölün su toplama alanının jeolojik karakteri, kullanılma şekli, göl havzasının şekilsel ölçüleri ve hidrolojik bağlantıları, biriken sedimanların özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Sedimanlarda depolanabilen bu bileşikler özellikle fosfor, rüzgar etkisiyle türbülanslı karışım veya gaz kabarcıklarının oluşması gibi koşullar altında (dip bölgede su sıcaklığı, pH, oksijen konsantrasyonu belirleyici faktörlerdir) su kolonuna yeniden salılabildiklerinden gölün trofik durumunun değişiminde söz sahibi olabilmektedirler. Genel olarak, sığ göllerin fonksiyonel özellikleri üzerinde azot ve fosfor döngülerinin biyojeokimyasal etkilerinin belirlenmesinde, akan sularla taşınan sedimanlar önemli rol oynamaktadır. Akarsular tarafından göllere taşınan nutrient ve sediman yüklerinin büyüklüğü, havzadaki nutrient kaynaklarının mevcudiyetine ve göle doğru hareket etme potansiyellerine bağlıdır (Hayakawa ve ark., 2015).

Göllerdeki su ve sediman kalitesinin belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalarda, trofik durum ortaya konulurken göl içindeki bu iki tabakanın (sediman ve su kolonu) karşılaştırılması olarak değerlendirilmesi önemlidir. 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.

Sediman, sadece nutrientlerin kaynağı olarak rol oynamaz aynı zamanda, üzerini kaplayan suda oksijen ihtiyacına da katkıda bulunur. Böylece, sedimandan nutrient salımı ve sediman oksijen ihtiyacı, su kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve sonradan nutrientlerin nokta kaynakları büyük ölçüde azalsa dahi ötrofikasyonun devam etmesine yol açabilirler (Hua ve ark., 2001). Yüzey sedimanlarından depolanmış nutrientlerin (özellikle fosfor) salınımı, sulak alanların trofik durumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Brzozowska ve ark., 2007).

Bu araştırmada, göl sedimanlarının karakteristik yapılarının göl içi besin seviyesinde oluşturabileceği etkileri izlemek amacıyla Cernek Gölü'nde gerçekleştirilen örnekleme ve analizler yardımıyla sediman ve su kalitesi dönemsel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, verilerin istatistiksel analizi için varyans analizi kullanılırken, su kalitesinin konumsal analizi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nden yararlanılmıştır. Gölün dip sediman tabakasının mevcut kirliliğinin yüzey suyu kalitesine olan etkisinin belirlenebilmesi için belirlenen parametrelere yönelik CBS ortamında dağılım haritaları hazırlanmış ve gölün trofik seviyelerinde meydana gelen periyodik değişim hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanının Tanıtılması

Orta Karadeniz bölgesinde yer alan Kızılırmak Deltası, doğal özellikleri korunmuş uluslararası nitelikte önemli sulak alanlara sahiptir. Karadeniz'e özgü nadir ve içerdiği habitat tiplerini iyi temsil eder nitelikte olması, çok sayıda nesli tehlike altında olan bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yapması, birçok kuş ve iç su balığı türünün hayatlarının belirli dönemlerinde yoğunlaştıkları alan olması, tehlike altındaki balıkların yaşam döngülerinin kritik dönemlerini bu alanda geçirmeleri, çok sayıda kuşa ev sahipliği yapması ve mersin balıklarının %1'inden çoğunu üreme döneminde barındırdığı için Ramsar Alanı olarak kabul edilmektedir (Yeniuyurt ve ark., 2008). Deltanın 15000 hektarlık kısmı marş ve bataklıklar ile lagünlerden meydana gelir. Kızılırmak Deltasında yer alan bataklık alanlar, özellikle deltanın sağ ve sol sahilinde bulunan göllerin çevresinde yer almakta ve yaklaşık 86,5 km²'lik bir alanı kaplamaktadır (Özesmi, 2003). Bafra (Samsun) ilçesinin doğusunda, ilçe merkezine yaklaşık 10 km uzaklıkta yer alan bu göllerin yüzey alanlarının mevsimsel değişkenlik gösterdiği (ortalama olarak 25,3 km²; yağışlı dönemde (Aralık başından-Nisan ayı sonuna) 2780 hektara kadar ulaşırken, kurak dönemde (Haziran sonundan-Ekim ayı başına) 980 hektarlık alanı kaplayabilmektedir) göl alanı dışındaki 2 m kotu altında kalan alanların ise sulak alanları oluşturduğu bilinmektedir. Alanda yapılmış incelemelerde ve çeşitli kaynaklarda birbirinden oldukça farklı veriler (Tablo 1) bulunmaktadır (Aydın ve ark., 2011; Arslan ve ark., 2013).

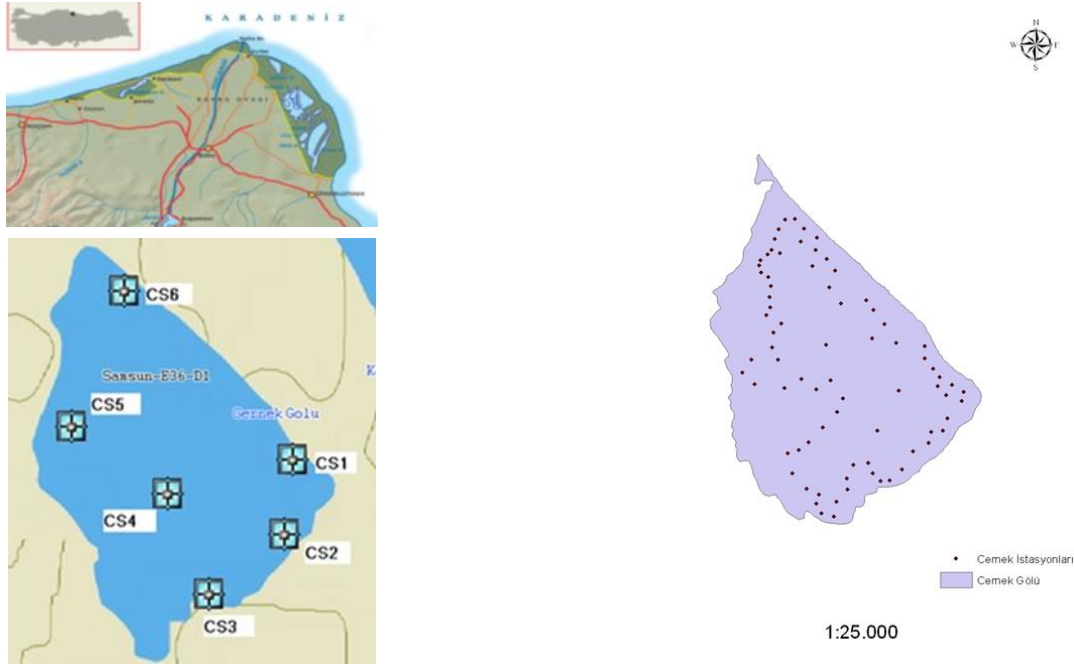
Dar bir kumsal bariyeri ile Karadeniz'den ayrılan ve bu çalışma için seçilen Cernek Gölü, deniz seviyesinde olup kurak koşullarda 370 hektar alana kadar daralma

göstermektedir (Bekleyen ve Taş, 2006; Demirkalp, 2007). Göl ve çevresi, kuş gözlemciliği, kampçılık gibi eko-turizm açısından olduğu kadar sazçılık (göl kıyısı yoğun olarak kamışlarla kaplı olup yöre halkı tarafından kesimi yapılmaktadır.) gibi ülke ekonomisine değer katan faaliyetler için cazip konumdadır. Göl alanı küçük olmakla birlikte, ornitolojik ve balıkçılık açısından delta içinde ulusal ve uluslararası sözleşme statüsünde koruma altına alınmıştır. (Maraslıoğlu ve ark., 2011). 1979 yılından itibaren “Yaban Hayatı Koruma (Geliştirme) Sahası” ilan edilen Cernek Gölü, 1998’de İran’ın Ramsar kentinde 1971 yılında kabul edilen “Özellikle Su Kuşları

Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak alanlar Hakkında Sözleşme” veya kısaca RAMSAR Sözleşmesine tabi olmuştur. Derinliğin kurak sezonda en yüksek 180 cm olduğu gölde, bu güne kadar yapılan çalışma sonuçlarına göre termal tabakalaşma tespit edilmemiştir. Dip yapısı çamur ve balçık olan gölün yıl boyunca ötrofik karakterini koruduğu gözlenmiştir. Azot ve fosfor bileşiklerinin göl sularına karışması neticesinde göl ekosistemi ötrofik düzeyi geçmekte ve sık sık ötrofikasyon olayı gerçekleşmektedir (Yeniyurt ve ark., 2008).

Tablo 1 Kızılırmak deltasındaki sığ göllere ait bazı fiziki veriler (Aydın ve ark., 2011)

Gölün adı	Yağışlı dönem yüzey alanı (km ²)	Kurak dönem yüzey alanı (km ²)	Ortalama derinlik (m)	Denizden yükseklik (m)
Balık Gölü (Ulugöl)	8,3	2,5	2,5	0-2
Uzun Göl	5,5	2,9	1,5	0-2
Gıcı ve Tatlı Gölleri	5,7	1,9	1,5	0-2
Cernek Gölü	5,9	3,7	2,0	0-2
Liman Gölü	2,7	1,8	1,5	0-1
Karaboğaz Gölü	15,0	2,7	2,5	0-3



Şekil 1 Yüzey suyu ve sediman örnekleme istasyonları

Örnekleme ve Analiz Programı

Cernek Gölü’nde 3 sezon (Nisan/Mayıs 2010 – Ekim/Kasım 2010 ve Temmuz/Ağustos 2011) süren alan çalışmalarında coğrafi koordinatları GPS (Magellan Triton 1500) ile kaydedilen 78 noktadan yüzey suyu, bölgesel 6 istasyondan ise sediman örnekleri alınmıştır. Örnekleme dönemleri seçilirken, gölün sığ olması sebebiyle mevsimsel geçiş dönemlerinde sıcaklık değişimine bağlı olarak tam anlamıyla yüzey suyunun karışma (sonbahar ve ilkbahar karışımı) uğradığı zamanlar ve algisel büyümenin (aynı zamanda makrofit gelişimi) pik yaptığı aylar (büyüme sezonu) takip edilmiştir. Yüzey suyu ve sediman alınan istasyonlar Şekil 1’de gösterilmektedir. Toplanan yüzey suyu örneklerinin periyodik olarak analizleri yerinde ve

laboratuvar ortamında yapılmıştır. Sediman örnekleri Eijkelkamp Beeker tipi kolon sediman örnekleme ile alınmıştır. Yerinde yapılan fizikokimyasal su kalite parametrelerinin (sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, redoks potansiyeli, iletkenlik ve tuzluluk, Consort C535 ile) ölçümlerine ek olarak yüzey suyu klorofil-a derişimleri flourometrik olarak (Turner-Design Aquaflo) test edilmiştir. Yine bu noktalardan toplanan mevsimsel sediman örneklerinin bir kısmı, standart yöntemlerin gerektirdiği kadar, yaş analizler (gözenek suyunda pH ve Eh, % nem (103°C’de 12 saat), % organik madde içeriği (550°C’de 2 saat) için kullanılmıştır (Aydın Uncumusaoğlu ve ark., 2016; Egemen, 2000; APHA, 1998). Kurutulan bir kısım sediman örneği ise tane boyutu analizinden sonra toplam fosfor (TP) ve toplam

organik karbon (TOK) içerikleri belirlenmek üzere steril plastik kaplarda derin dondurucuda (-20°C’de) saklanmıştır. Göl su ve sedimanlarında toplam azot (TN), TP derişimleri, laboratuvarında test kitleri ile standart yöntemlere (APHA, 1998) uygun olarak belirlenirken TC ve TOC ölçümleri karbon analizörü (Teledyn Tekmar Apollo 9000) ile gerçekleştirilmiştir. Göl suyunun kalitesinin derecelendirmesi için Carlson Trofik Durum İndeksi (TDİ); Klorofil a (Chl a), toplam fosfor (TP), toplam ve Secchi diski derinliği (SD) kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen tüm verilerin istatistiksel değerlendirmesinde ANOVA analizi (SPSS-19 programı ile) uygulanmış ve ölçüm istasyonu-sezon-parametre arasındaki farklılıklar %95 güven aralığında ortaya çıkarılmıştır.

Bulgular

Göl Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

En yüksek yüzey suyu derinliğinin 195 cm ile sonbaharda ölçüldüğü gölde, ortalama yüzey suyu derinliğinin ilkbaharda 152,6±17,5cm ve sonbaharda 152,5±21,3 cm ile benzer sonuçlar verdiği, yaz döneminde ise 138±23,8 cm’ye kadar düştüğü görülmüştür. İlkbahar ve sonbahardaki nispeten yüksek ortalama Secchi disk derinliğinin (sırasıyla 123,4±23,75 cm ve 114,5±27,6 cm) yaz sezonunda ise 86,6±23,57 cm’ye (en düşük 30 cm) kadar azaldığı tespit edilmiştir.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (10 Ağustos 2016) Ek5, Tablo 2’de yer verilen ‘Kıta içi yerüstü su kaynaklarının genel kimyasal ve fizikokimyasal parametreler açısından sınıflarına göre kalite kriterleri’ne göre ölçülen parametreler bazında göl yüzey suyu, II. sınıf az kirlenmiş (iyi durumda) su kütlesi konumundan III. sınıf kirlenmiş su kalitesine yaklaşmış durumdadır. Aynı yönetmeliğin Ek5 Tablo 3’de Kıyı suları (Karadeniz) alıcı ortam kalite kriterlerine göre ise göl suyunun orta sınıf kalitede olduğu görülmüştür.

Sürdürülebilir sucul yaşam için tatlı sularda çözünmüş oksijenin (ÇO) en az 5 mg/L olması beklenir (Kurnaz ve ark., 2016; Atay ve Pulatsü, 2000). Cernek Gölü’ndeki çözünmüş oksijen derişiminin kurak mevsim gereği en düşük <4,8 mg/L seviyelerinde seyretmesi göldeki iyi kalite su durumunun (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek5 Tablo 3) yaz mevsiminde daha tehlikeli biçimde bozulduğu söylenebilir. Göl yüzey suyu seviye alçalması ve denizden olan girişimlere bağlı olarak tuzluluğun ise en yüksek >2,5 g/L ile artış göstermesi gölün genel karakteristik yapısı gereği olağan sonuçlar olarak değerlendirilmiştir.

Yüzey sularında nitratın yüksek konsantrasyonları kirliliğin göstergesidir. Sulardaki nitrat kaynakları atıksular, organik azot ve tarımda kullanılan gübrelerdir. 4 mg/L ve üzerindeki nitrat konsantrasyonlarının balık ölümlerine yol açtığı rapor edilmiştir (Kurnaz ve ark., 2016; Acu, 2000; Topal ve Arslan Topal, 2012). Örneklenen yüzey sularında yapılan bazı analiz sonuçlarına göre; yüzey suyu azot ve fosfor içeriklerinin değişiminde mevsimsel etkinin önemli bir rol oynadığı (sırasıyla, $p_N = 0.000$ ve $p_P = 0.043$ $P < 0,05$) fakat seçilen 6 bölgesel istasyonun arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı ($p_N = 0,585$ ve $p_P = 0,077$) görülmüştür. Hava sıcaklığındaki artışla birlikte algisel faaliyetlerin

hızlanması ile klorofil-a konsantrasyonları ilkbahar ortalamasının 4 katına kadar yükselmiştir. Elektriksel iletkenlik (EC) sucul ürünler için oldukça önemlidir. Kirlenme arttıkça EC değeri 100 µg/L’nin üzerinde seyeder. Kış aylarında düşük olan EC değerleri, su sıcaklığının ve inorganik tuzların artması ile artışa geçer (Mutlu ve Uncumusaoğlu, 2016; Verap ve ark., 2005). Yüzey suyundaki tuzluluk derişiminin gölün genelinde 3 katına kadar çıktığı (en düşük 2,0 ve en yüksek 3,80 g/L) bu artışa paralel elektriksel iletkenliğin de 1,5 kat arttığı söylenebilir.

Göl Sediman Kalitesinin Değerlendirilmesi

Cernek Gölü yüzey suyu ortalama pH değerinin dönemsel değişiminin 8,40–9,50 arasında alkali bir durum sergilediği görülürken gölden alınan sediman örneklerinin gözenek suyunda ölçülen pH değerlerinin 3 dönem boyunca ortalama 8,10 ile kararlı yapıda olduğu belirlenmiştir. İnce taneli sediman özelliği gösteren göl sediman tabakası üst su kolonu berraklaştıkça ve seviye yükseldikçe, inorganik tuz birikimi azalmış ve bu sebeple nem absorbe etme kabiliyeti düşmüştür. Özellikle sonbahar karışım döneminde tüm sediman örneklerinde tuzluluk ve elektriksel iletkenlik oranının azaldığı (ortalama 0,43 g/L ve 0,63 mS/cm) buna paralel nem içeriklerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Tablo 3).

63 µm çapındaki sediman örnekleri 23 mL hazneli hızlı asit sindirim kapsüllerinde (bomb) ön işleme tabi tutularak toplam fosfat analizi için hazırlanmıştır. Sediman toplam fosfat miktarlarının sonbahar karışımında en düşük seviyede iken (ortalama 498 mg/kg PO₄-P, kuru ağırlıkta) ilkbaharda 528 mg/kg PO₄-P’ye ve yazın büyüme sezonunda en yüksek seviyelere (600 mg/kg PO₄-P) ulaştığı görülmüştür.

Gölün Trofik Durumu ve Konumsal Analizlerin Değerlendirilmesi

Göllerde meydana gelen büyük çaplı ve uzun süreli değişimler, yapılan çok yıllık periyodik izleme ve yerinde yapılan deneyler ile ortaya çıkartılmakta ve göllerin sürdürülebilir yönetimi için karar vericilere önemli bilgiler sağlanmaktadır (Karakaya ve ark., 2015). Coğrafik yapı, çevre ve insan aktiviteleri nedeniyle göl ötrofikasyonu tipleri için değerlendirme metodları (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek2’de verilen fizikokimyasal parametrelere bağlı ekolojik durum değerlendirmesi, ötrofikasyon kirlilik indeksi, diatom gibi biyoindikatörleri kullanan trofik indeksler vb.) çeşitlilik gösterir. Bu gibi farklılıklar, araştırmacıların farklı göllerin ötrofikasyon durumunu değerlendirmede uygun bir metot aramasını gerektirir. Trofik durum kavramı, su kütlesinin kimyası ve biyolojisi ile drenaj havzası arasındaki ilişkisi olarak tanımlanır ve göl sınıflamasında birincil yöntemlerin başında gelir (EPA, 2000). Zaman içerisinde trofik durumda değişimleri değerlendirmek ve bölge içinde gölleri su kalitesi yönünden karşılaştırmak için numerik sınıflamaya dayanan indeksler önerilmiştir. Göl yönetimi açısından yararlı olabilecek bu öneriler, göl ötrofikasyonunun arkasındaki mekanizmalarının kantitatif çalışmalarında, trofik sınıflandırma için (oligotrofik, mezotrofik ve ötrofik durumlar) subjektif etiketlemede anahtar olarak kullanılabilir. (Duan ve ark., 2007; Cheng ve Lei, 2001).

Tablo 2 Yüzey suyu fiziko-kimyasal analiz sonuçları (Ortalama Değerler)

Parametre	İlkbahar Karışım Sezonu (2010)	Sonbahar Karışım Sezonu (2010)	Yaz Büyüme Sezonu (2011)
Su Derinliği, cm	152,6±17,5	152,5±21,3	138±23,8
Su sıcaklığı, °C	22,60±1,29	21,0±1,29	26,9±0,63
pH	9,10±0,25	8,41±0,37	9,53±0,58
Redoks Potansiyeli, (Eh) mV	-126,4±14,3	-84,7±21,5	-146,2±33,3
Elektriksel İletkenlik, (EC) mS/cm	1,99±0,24	2,13±0,10	3,43±0,42
Çözünmüş Oksijen, (DO) mg/L O ₂	6,20±0,65	5,6±0,28	4,78±0,84
Toplam Çöz. Katılar, (TDS) g/L	1,06±0,13	1,14±0,06	1,84±0,23
Tuzluluk, (SAL) g/L	1,03±0,27	1,12±0,09	2,56±0,34
Toplam Azot (TN), mg/L N	0,75±0,19	0,70±0,13	4,44±1,35
Toplam Fosfat (TP), mg/L PO ₄ -P	0,050±0,04	0,025±0,01	0,101±0,05
Klorofil –a (CHL-a) µg/L	33,6±16,7	102,3±60,9	127,3±106,9
Toplam Organik Karbon (TOK), mg/L C	12±3,67	10±1,16	28±3,11

Tablo 3 Yüzey sediman kalitesi analiz sonuçları (Ortalama Değerler)

Parametre	İlkbahar Karışım Sezonu (2010)	Sonbahar Karışım Sezonu (2010)	Yaz Büyüme Sezonu (2011)
pH	8,01	8,02	8,20
Redoks Potansiyeli (Eh), mV	-59,83	-60,05	-67,66
Elektriksel İletkenlik (EC), mS/cm	1,13	0,63	3,40
Tuzluluk, g/L	0,75	0,43	2,55
Nem içeriği, %	69,2	43,3	61,7
Organik Mad. İçeriği, %	28,3	2,2	14,3
Toplam Organik Karbon (TOK), mg/g	22,15	27,39	17,71
Toplam Fosfat (TP)mg/L PO ₄ -P	527,8	497,9	599,8

Tablo 4 Gölde trofik durum indeksinin mevsimsel değişimi

İndeks Değişkeni	TDİ _(SDD)	TDİ _(TP)	TDİ _(Chl-a)
Mevsimsel Trofik Değer	56 / 59 / 61	61 / 51 / 71	67 / 81 / 79

Karışım ve büyüme periyotlarını içeren saha çalışmaları ile ortalama derinliği 1,5 m olarak bulunan gölün trofik durumunu değerlendirmek üzere Carlson İndeks (Carlson, 1977) değerleri hesaplanmıştır. Bir göle ait Trofik Durum İndeksi (TDİ) değeri; 40'ın altında ise oligotrofik, 40-60 arasında mezotrofik, 60-70 arasında ötrofik ve 70'den büyük ise hipertrofik su kalitesine sahip bir göldür. Bu indeksin hesaplanması ile göl suyunun kalitesinin hangi trofik seviyeye geldiğinin tespit edilmesinin yanı sıra, parametrelerin birbirleri ile kıyaslanması ile göldeki sınırlayıcı parametrenin hangisi olduğu belirlenebilmektedir (Carlson ve Havens, 2005). Buna göre, ortalama fosfor konsantrasyonu üzerinden hesaplanan TDİ değerinin en düşük sonbaharda olduğu, bunun aksine Chl-a'dan hesaplanan TDİ değerinin en yüksek sonbaharda olduğu hesaplanmıştır. Fakat, büyüme sezonunda klorofil-a'dan hesaplanan TDİ dışında diğer parametrelere bağlı indeks değerlerinin sıcaklığın yüksek seyrettiği yaz mevsiminde arttığı görülmüştür (Tablo 4). Klorofil-a2dan hesaplanan indeks değerinin diğer değişkenlere göre kurak mevsimde düşük olması, ışık geçirgenliğindeki düşüşün nedeninin fitoplankton yoğunluğundan olmadığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, su seviyesinin düşmesiyle hafif rüzgarlarla dahi sediman-su kolonu kolaylıkla karışabilmekte olduğundan diğer indekslerin yükselmesinde sedimandan suya karışan partiküler materyaller etkili olabileceği düşünülmüştür.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek-7 Tablo 9'a göre Karadeniz bölgesi geçiş suları olarak gösterebileceğimiz bu tür göl oluşumlarında trofik durum göstergeleri değerlendirilecek olursa; Tablo 2'de verilen ortalama toplam fosfor konsantrasyonu açısından gölün ilkbahar ve yaz döneminde hipertrofik yapıda olduğu, sonbaharda ise mezotrofik hale geçtiği görülmüştür. Fakat hem Secchi disk derinliği (ortalama 1,5 m'den daha az) hem de klorofil-a konsantrasyonu (ortalama 5 µg/L den daha fazla) bakımından gölün her üç dönem içinde hipertrofik sınır (Yerüstü su kalitesi Yönetmeliği, Ek6 Tablo 8a) içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

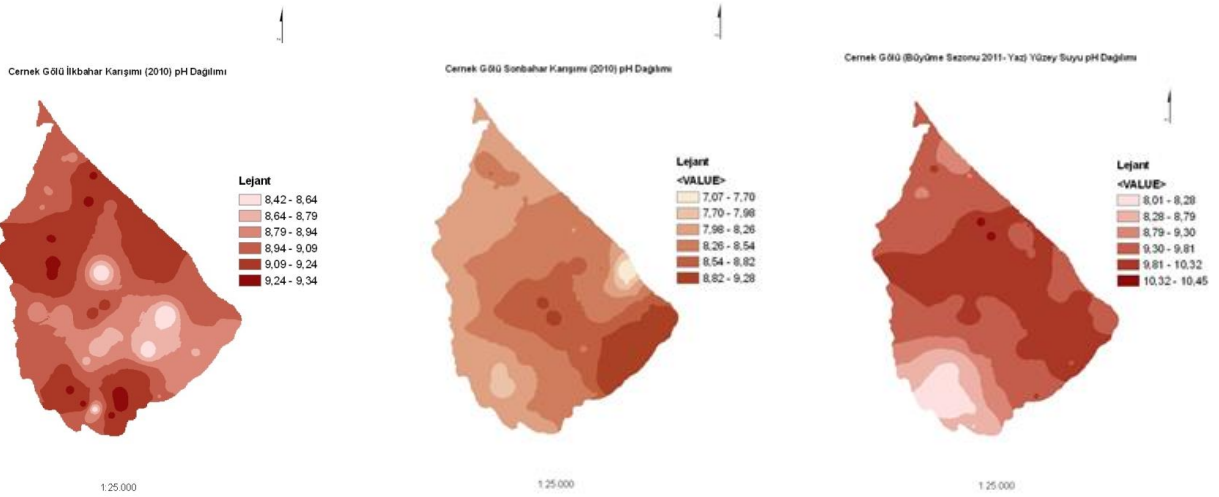
Cernek Gölü'nün sınırları ve anlık numune noktaları sayısallaştırılarak vektör veri haline getirilmiştir. Anlık numunelerin su kalitesi parametreleri tablo haline getirilerek öznitelik verisi olarak ArcMAP'te göl üzerinde yapılan sayısallaştırılmış vektör veri üzerine aktarılmıştır. Sayısallaştırılan vektör veri ve üzerine eklenen öznitelik tablosu kullanılarak ArcGIS 9.3.1 Spatial Analyst ile göl yüzey suyu ve sedimanına yönelik tematik haritalar üretilmiştir. Konuma bağlı zamansal dağılım haritaları oluşturulurken sürekli yüzey oluşturmada modülde yer alan ters mesafe ağırlıklandırma (IDW; Inverse Distance Weighted) yöntemi uygulanmış ve veri dağılımında standart sapma aralıkları kullanılmıştır. CBS altında oluşturulan tematik haritalardaki yönelimler incelendiğinde, yaz büyüme sezonu süresince su seviyesinin 65 cm ile en düşük seviyede izlendiği gölde sonbaharda gölün güney doğu kıyılarında artışa geçen pH

değerlerinin bu dönemde iç kesimlere doğru yayıldığı fark edilmiştir. Nispeten düşük pH değerlerinin (en düşük 8,01) gölün güney batı kıyılarında ölçüldüğü göle, yaz döneminde kuzeyden maksimum 2,66 g/L ile mineral (deniz suyu kaynaklı inorganik tuzlar) akışı olduğu belirlenmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3).

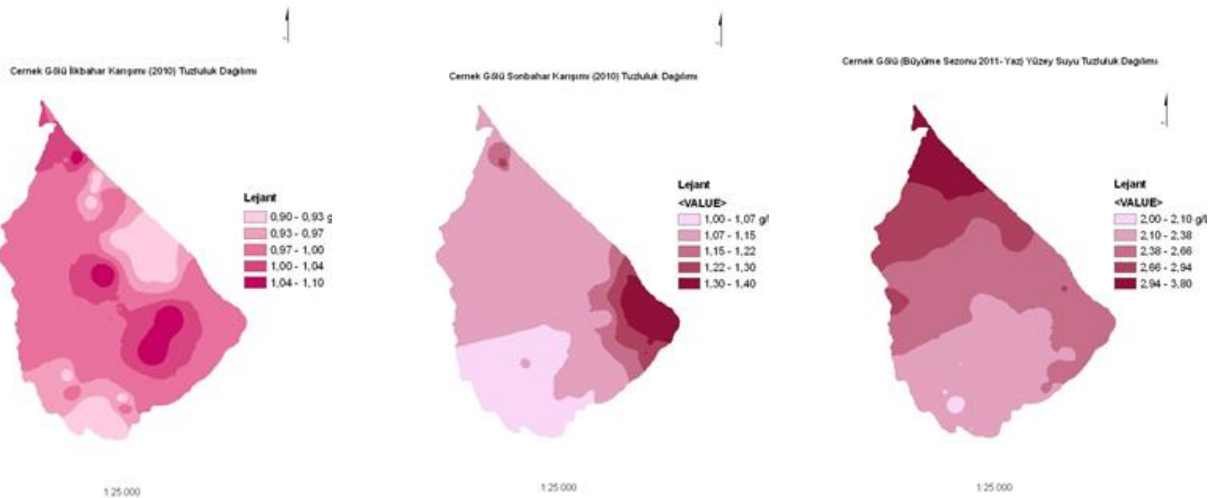
Göldeki Secchi disk derinliğinin, yüksek fitoplankton nedeniyle kuzeybatı ve güneydoğu kıyı kesimlerinde sonbaharda azaldığı ve büyüme sezonu süresince disk görünürlüğünün 86 cm'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4). Ancak, geniş fitoplankton kütleleri gölün derin bölgelerinde sedimantasyona uğradığından bu noktalarda yüzeydeki sular, sığ bölgelere göre daha berrak bir görünüm verebilmektedirler. Sığ su sistemlerindeki tüm alg gruplarında var olması sebebiyle klorofil-a konsantrasyonu iç su kütlelerinin biyolojik üretimi açısından anahtar indikatördür (Duan ve ark., 2007; Torbick ve ark., 2008). Kontrolsüz atık boşaltımı yapılan

kanallar, tarımsal faaliyetlerden yağışla beraber dönen sular ve dış kaynaklı çevresel akışların etki altına aldığı gölün güneydoğusunda ve kuzeybatı iç kesimlerinde klorofil-a derişimlerinde bölgesel artış (ortalama $127,3 \pm 106,9 \mu\text{g/L}$ ile) gözlenmiştir. Bu bölgelerdeki yoğunlaşma, beraberinde göl suyunun bazik etkisinin de artmasına yol açmıştır. Bu nedenle, algel biyokütlenin göldeki etkin rolünü ortaya koyan klorofil-a derişimindeki periyodik artışlar (yaz döneminde pik değerlere ulaşmakta $>400 \mu\text{g/L}$), gölün trofik durumundaki kritik yükselmenin devam ettiğini gösterir niteliktedir (Şekil 5).

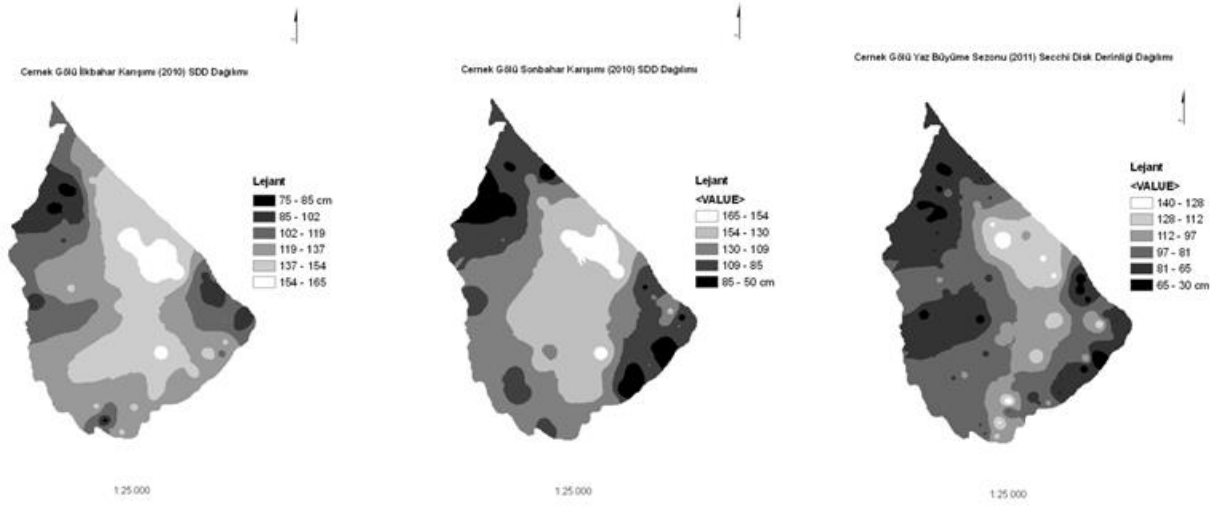
Kurak sezonda, göl sedimanlarındaki TOK miktarının klorofil-a artışının izlendiği bölgelerde sonbahar karışım dönemine göre azalma gösterdiği, fosfat derişimlerinde ise nispeten artış olduğu dağılım haritalarında görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7).



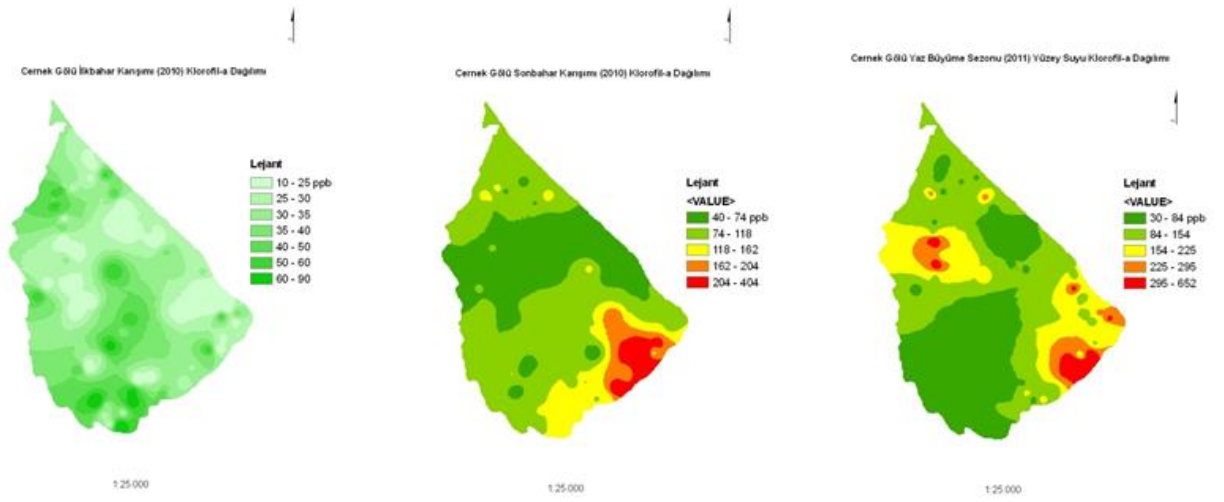
Şekil 2 Göl yüzey suyunda dönemsel pH dağılımları



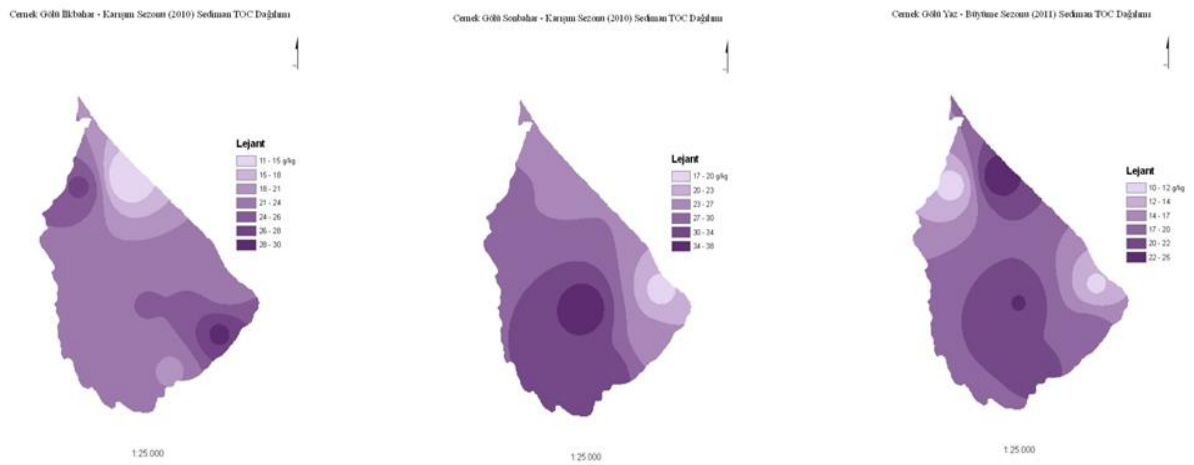
Şekil 3 Göl yüzey suyunda dönemsel tuzluluk dağılımları



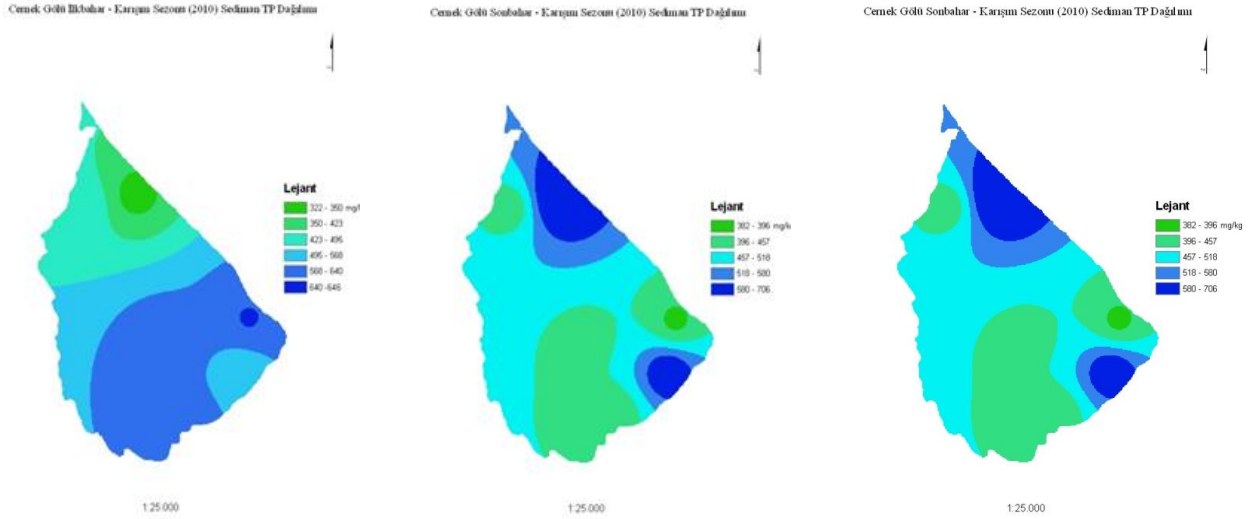
Şekil 4 Göl yüzey suyunda dönemsel Secchi disk derinliği dağılımları



Şekil 5 Göl yüzey suyunda dönemsel klorofil-a konsantrasyonu dağılımları



Şekil 6 Göl sedimanında dönemsel TOK konsantrasyonu dağılımları (g/kg C)



Şekil 7 Göl sedimanında dönemsel toplam fosfat konsantrasyonu dağılımları (mg/kg PO₄-P)

Tartışma ve Sonuç

Göl ekosistemlerinin değişen çevre koşullarına bağlı olarak nasıl tepkiler gösterdiğini anlayabilmek, değişik baskılar (özellikle koruma alanı statüsünü koruma zafiyetinden faydalanan insan faaliyetleri; kaçak yapılaşma gibi) altında önleyici ve iyileştirici önlemler alabilmek bakımından çok önemlidir. Bu çalışmada, özellikle yaz dönemi sonlarında göl yüzeyindeki değişim dikkat çekici boyuttadır. Dönemsel olarak kurak mevsimin uzun sürmesi, iklim değişikliğine bağlı olarak göl aynasının aşırı güneşe maruz kalması yüksek oranda buharlaşmayı beraberinde getirmiştir. Bunun yanı sıra Kızılırmak üzerine yapılan sulama barajlarının etkisi altında şekillenmekte olan delta genelinde, tarımsal sulama amaçlı açılan kuyulardan aşırı yeraltı suyu çekilmekte olup son dönemlerde mevcut tatlı su miktarının giderek azaldığı izlenmektedir. Bu nedenle yaz mevsiminde gölün berraklığında azalma ve gölün su seviyesinde önemli bir düşüş kaydedilmesinin yanında göl yüzeyini kaplayan sucul bitkilerin de yavaş yavaş çürümeye başladığı gözlenmiştir. Gölün trofik yapısının ilkbaharda sergilediği mezotrofik durumdan güneydoğu kıyılarına doğru hipertrofik düzeyde yükselme eğilimi gösterdiği ve bu durumun büyüme sezonunda ve sonrası dönemde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla çevresel akışlarla birlikte tarımsal alanlardan (özellikle çeltik tarımında aşırı kontrolsüz gübre kullanımı) ilk yağışlarla birlikte sınırlayıcı elementlerin göle doğru akışı yüzey sedimanlarında depolanan azot, fosfor ve karbon yükünden sorumlu temel dışsal kaynaklar olarak tespit edilmiştir. Yüksek miktarlarda fosfat depolandığı tespit edilen göl sedimanlarından, havaların ısınmasını takip eden ilkbahar karışımı ve yaz büyüme sezonlarında bölgede etkili olan güçlü rüzgarların dalgalanmaya bağlı oluşturduğu dip tabakadaki karışım sonucu yüzey suyuna fosfatın geri salınması olasılığının bu süreçte etkin rol alabileceği düşünülmektedir.

Göle azot ve fosforlu bileşiklerin taşınımı ve bu bileşiklerin dip çamurda birikmesi gölün su kalitesini

düşürmektedir. Gölden toplanan bölgesel sediman örneklerinin özellikle yaz sezonunda genel olarak daha ince tane boyutlu olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, gölün bazı bölgelerindeki sediman yapısının yüksek fosfat absorblama kabiliyeti göstermesi de olağan netice olarak karşımıza çıkmaktadır. Morkoç ve ark., (1993)'nin oligotrofik yapıdaki bir gölde (Sapanca Gölü) yaptıkları çalışmada, ortalama %50 su içeriğine sahip göl sedimanlarının gözenek suyundan elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde, sonbahar karışımı sürecinde sediman gözenek suyunda en düşük pH ve en yüksek TOK değerleri gözlenirken yine bu dönemde yüzey suyu profiline göre en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Genel olarak, yüksek üretkenliğe sahip göller daha otokton (bulunduğu yapıya zaten var olan, içsel kaynak) TOK değerleri sergilerken düşük verimlilikteki göller çoğunlukla alloktokton (bulunduğu yapıya sonradan taşınmış, dışsal kaynak) TOK içeriğine sahiptirler (Yu ve ark., 2015). Bir başka çalışmada (Shao ve ark., 2016) ise, ötrofik sığ bir göl olan Taihu Gölü (Çin) sediman TOK seviyelerinin 2,7 g/kg'dan 28,5 g/kg'a kadar değiştiği belirtilmiştir. Cernek Gölü sediman örneklerinde bu çalışma ile belirlenen organik karbon içeriğinin, sonbahar döneminde en yüksek 27 g/kg ile nispeten arttığı görülürken ilkbaharda 22 g/kg ve yazın en düşük seviyelerde (17 g/kg) olduğu görülmüştür. Bu nedenle Cernek Gölü sedimanlarının oligotrofik yapıdaki bir göle kıyasla ötrofik bir gölün sedimanları ile organik kirlilik açısından benzerlik gösterdiğini söylemek mümkündür.

Delta alanının önemli bir parçasını oluşturan ve özel koruma statüleri kapsamında korunan Cernek Gölü'nün mevcut su kalitesi bu araştırma kapsamında üç sezon boyunca incelenmiştir. Tespitler sonucunda, gölün trofik durumunda meydana gelen mevsimsel değişim coğrafi bilgi sistemleri altında değerlendirilmeye çalışılmış ve gölün sürdürülebilir yönetimi konusunda değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışma sonuçları bir bütün olarak ele alındığında, farklı arazi kullanımları

(tarım, ruhsatsız yerleşimler), hidrolojik değişimler (sulama ve drenaj kanallarının etkisi), hayvan besleme (yüksek manda popülasyonu) ve avlanma (balıkçılık, kaçak avlanma) vb. insan faaliyetlerinin etkisi altında biçim değiştirmekte olan Türkiye'nin en önemli sulak alanlarından Kızılırmak Deltası ve çevresinde barındırdığı sığ göl ekosistemlerinin doğal yapısını yitirmeye başladığını söylemek yanlış değildir. Cernek Gölü ve çevresine gelen suların, deltada yoğun olarak işlenmiş alanlardan, yersel kanalizasyon atıklarından ve hayvan çiftliklerinden (mandıra) akışa geçerek drenaj kanalları vasıtasıyla taşınarak karıştığı bilinmektedir. Arıtılmadan derelere ve kanallara deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıksular ile tarımsal sulama sularının göl ve çevre sulak alanlar için önemli bir besin girdisine neden olduğu saha çalışmalarında da gözlenmiştir. Cernek Gölü yüzey suyu ve yeraltı suyundaki kirlenmenin temel kaynağı zirai faaliyetlerde kullanılan kimyasal gübrelerden alana giren azot ve fosfor bileşikleridir. Göle ulaşan noktasal ve yayılı yüklerin doğal veya yapay yollarla kontrol altına alınması ile dışarıdan göle ulaşacak olan azot ve fosfor miktarları azaltılabilir. Bununla birlikte, kirlenmiş göl sediman tabakasının arıtılabilmesi ve su kolonunun rehabilitasyonu için alternatif yöntemler (tarama, kaplama veya biyo-manipülasyon teknikleri gibi) için fizibilite çalışmaları yapılmalıdır. Fakat, trofik seviyenin iyileştirilmesi ve bu iyileşmenin sürdürülebilir olması oldukça zor ve maliyetlidir (Akyüz, 2016). Bu araştırmanın çıktularından biri de, gölün dip tabakasında depolanmış yoğun besi maddesinin, dönemsel değişimlerin etkisiyle üst bölgedeki yüzey suyuna etkin olarak katılabileceği, bu durumun da trofik seviyeyi olumsuz etkileyebileceğinin anlaşılmasıdır. Sığ göllerin trofik seviyesinde meydana gelen yükselmelerde benzer özellikteki göller için yapılacak değerlendirmelerde sediman yapısının mutlak suretle araştırmalara dahil edilmesi önem taşımaktadır. Göl içi dinamiklerin seyrinde nutrient zenginleşmesi ve oksijenlenme gibi trofik seviyenin değişimine etki eden olaylarda dip tabakanın kirlilik durumunun izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.

Gelişen su kalitesi izleme sistemleri sayesinde delta ekosistemi ve bünyesindeki göllerin sürekli izlenmesi ve göl besin seviyesinin günlük değişiminin tespit edilebilmesi, sediman-su etkileşimi ile diğer çevresel koşullar (iklim değişikliği ve doğal afetler gibi) arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesini mümkün hale getirecektir. Birçok problem nedeniyle baskı altında canlılığını sürdürmeye devam eden Kızılırmak Deltası'nda insan kaynaklı çevresel kirliliğin önüne geçilmesi, bölgenin sürdürülebilir kullanımı ve korunması için yerel yönetim ve sivil toplum kuruluşlarının aynı bütüncül yaklaşım içerisinde bulunması, göllere özel eylem planlarının süratle uygulanması ve çevresel farkındalığın artırılması yönünde çalışmalar yapılması önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.10.001 numaralı bilimsel araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Acu A. 2000. Beytepe Göleti'nin su kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Postgraduate Thesis, Department of Aquaculture, Science Institute of Ankara University, Ankara/Turkey.
- Akyüz DE. 2016. Trofik durum indeksi ile anahtar sınırlayıcı parametrelerin değerlendirilmesi: Taihu Gölü örneği. Mehmet Akif Ersoy Üni. FBE Dergisi., 7(Ek Sayı 1): 194-201
- Ali A. Lemckert CJ. Zhang H, Dunn RJK. 2014. Sediment dynamics of a very shallow subtropical estuarine lake. Journal of Coastal Research, 30(2), 351–361. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- Apha Awwa Wef (American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation). Standard methods for the examination of water and wastewater, 1998. 20th ed., Washington DC, USA.
- Arslan H, Cemek B, Güler M, Demir Y. 2013. Kızılırmak Deltası Cernek Gölü su seviyelerinin trend analizi ile değerlendirilmesi. III. Sulak Alanlar Kongresi, Bildiriler Kitabı, 277-282.
- Atay D, Pulatsü S. 2000. Su kirlenmesi ve kontrolü. Faculty of Agriculture, Ankara University, Publication Nr.1513, Ankara.
- Aydın H, Karakuş H, Meriç BT. 2011. sulak alan ekosistemlerinde su yönetimi: Kızılırmak Deltası örneği. 9. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, 5-8 Ekim 2011. Samsun.
- Bekleyen A, Taş B. 2008. Cernek Gölünün (Samsun) zooplankton faunası. Ekoloji, 17 (67):24-30
- Aydın Uncumusaoğlu A, Mutlu C, Kayış, İ. 2016. Determining the Sediment Quality of Yağlıdere Stream (Giresun). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 4(12): 1221-1227.
- Brzozowska R, Dunalska J, Zdanowski B. 2007. chemical composition of the surficial sediments in Lake Lichenskie. Arc. Pol. Fish. Vol.15, 4:445-455.
- Carlson RE. 1977. A trophic index for lakes. Limnol. Research Center. Vol.22.
- Carlson RE, Simpson, J. 1996. a coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. North American Lake Management Society. 96 pp.
- Carlson RE, Havens KE. 2005. Simple graphical methods for the interpretation of relationships between trophic state variables. Lake and Reservoir Management, 21: 107-118.
- Cheng K, Lei T. 2001. Reservoir trophic state evaluation using Landsat TM images. Journal of the American Water Resources Association, 37(5): 1321-1334.
- Christophoros C, Fytianos K. 2006. Conditions affecting the release of phosphorus from surface lake sediments, J. Of Environmental Quality; 35:4, 1181-1192.
- Demirkalp FY. 2007. Some of the growth characteristics of carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) in Cernek Lake (Samsun, Turkey). Hacettepe J. Biol. & Chem., 35 (1):57-65.
- Duan H, Zhang B. Song K, Wang Z. 2007. Assessment of chlorophyll-a concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data. Environ Monit Assess. 129:295–308.
- Egemen Ö. 2000. Çevre ve su kirliliği. E. Ü. Su Ürünleri Fak., Yayın No 42, 116, Bornova, İzmir.
- Epa (Environmental Protection Agency) 2000. Nutrient criteria technical guidance manual. Lakes and reservoirs. EPA-822-B00-001, Office of Wat. Sci. and Tech., Washington, DC., 232p.
- Hayakawa A, Ikeda S, Tsushima R, Ishikawa Y, Hidaka S. 2015. Spatial and temporal variations in nutrients in water and riverbed sediments at the mouths of rivers that enter Lake Hachiro, a shallow eutrophic lake in Japan. Catena 133 :486–494.

- Hua WF, Lob W, Chuah H, Sina SN, Yub PHF. 2001. Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong. *Environment International* 26: 369-375.
- Karakaya N, Evrendilek F, Silahan GT, Ögel RD, Yar NS. 2015. Göl metabolizmasının diel oksijen tekniği ile belirlenmesi: Abant Gölü örneği, 11. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, Bursa. *Bildiriler Kitabı, Cilt 1:288-299.*
- Kurnaz A, Mutlu E, Aydın Uncumusaoğlu A. 2016. Determination of water quality parameters and heavy metal content in surface water of Çığdem Pond (Kastamonu/Turkey). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(10): 907-913.
- Maraşlıoğlu F, Soylu NE, Gönülol A. 2011. Chlorococcal chlorophyte composition, community structure, and seasonal variations in the shallow lakes of the Kızılırmak Delta, Turkey. *Türk J. Biol. Tübitak*, 35: 117-124.
- Morkoç E, Öztürk M, Tüfekçi H, Tüfekçi V, Egesel L, Okay O. 1993. Determination of limnological characteristics of the Sapanca Lake. Final Report, Tübitak MRC., Depart. of Enviro. Eng., Gebze, Kocaeli-Turkey, 26p.
- Mutlu, E. Aydın Uncumusaoğlu A. 2016. Physicochemical analysis of water quality of Brook Kuruçay. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(11): 991-998.
- Özesmi U. 2003. The ecological economics of harvesting sharp-pointed rush (*Juncus Acutus*) in the Kızılırmak Delta, Turkey. *Human Ecology* 31 (4): 645-655.
- Shao K, Gao G, Tang X, Dai J, Liu H, Gong Y, Hu Y, Qin B. 2016. Spatial variation of surface sediment nutrients in the large shallow eutrophic Lake Taihu, China. *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 25 – No. 9/2016, pages 3543-3547
- Sondergaard M. 2007. Nutrient dynamics in lakes– with emphasis on phosphorus, sediment and lake restoration, Doctor's dissertation (DSc), National Environmental Research Institute, University of Aarhus, Denmark.
- Topal M, Arslan Topal E. 2012. Elazığ ilinde bir maden sahasında kaynaklanan sızıntı sularının maden çayına etkisi. *Karaelmas University, Journal of Science and Engineering*, 2(1): 15-21.
- Torbick N, Hu F, Zhang J, Qi J, Zhang H, Becker B. 2008. Mapping Chl-*a* conc. in West Lake, China using Landsat 7 ETM+. *J. Great Lakes Res.* 34: 559–565.
- Verep B, Serdar U, Turan D, Şahin C. 2005. İyidere (Trabzon)'nin fiziko-kimyasal açıdan su kalitesinin belirlenmesi. *Ekoloji*, 14(57): 26-35.
- Yeniurt C, Çağrankaya S, Lise Y, Ceran Y. (editörler) 2008. Kızılırmak deltası sulak alan yönetim planı 2008-2012. Çevre ve Orman Bakanlığı Ankara (KDYP).
- Yu ZT, Wang XJ, Zhang EL, Zhao CY, Liu XQ. 2015. Spatial distribution and sources of organic carbon in the surface sediment of Bosten Lake, China. *Biogeosciences*, 12, 6605–6615.
- Zhou A, Tang H, Wang D. 2005. Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition. *Water Research* 39;1245–1254.