

## Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesinin Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı'na göre Değerlendirilmesi

Muhterem KÜÇÜKÖNDER<sup>1\*</sup>, Erkan KALKAN<sup>2</sup>, Kevser CIRIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

<sup>3</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0001-5350-7794>

<sup>2</sup> <http://orcid.org/0000-0002-9769-4330>

<sup>3</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1756-553X>

\*Sorumlu yazar: muhteremkucukonder@ksu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.07.2021

Kabul tarihi: 23.09.2021

Online Yayınlanma: 08.03.2022

#### Anahtar Kelimeler:

Kılavuzlu barajı

Su kalitesi

IDW

KSKİ

Bu çalışma; Kahramanmaraş ilinde Menzelet ve Sır Barajları arasında yer alan enerji üretimi, tarımsal sulama ve balık yetiştiriciliği yapılan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde 2018 yılında mevsimsel olarak 11 örnekleme noktasından Nisan, Ağustos ve Kasım aylarında yerinde ölçümler ve su örnekleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerde fiziko-kimyasal değerler olarak sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon, inorganik karbon, toplam karbon ve sülfat analiz edilmiştir. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) tekniği kullanılarak Kılavuzlu Baraj Gölü'nde su kalitesi parametrelerinin mekânsal değişimi haritalandırılmıştır. Rezervuarın, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine göre sıcaklık, pH, nitrat ve sülfat değerleri için I. kalite su sınıfına, amonyum değerleri için IV. kalite su sınıfına dahil olduğu tespit edilmiştir. Referans değerlerin üzerinde olan amonyum ve toplam organik karbon parametrelerinin etkisi ile Kanada Su Kalitesi İndeksine göre ise kötü sınıfa dahil olmuştur. İl ekonomisine önemli katkısı bulunan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde su ürünleri yetiştiriciliğinin ve tarımsal sulama amaçlı kullanımın sürdürülebilir olması adına su ekosistemini korumaya yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir.

## Assessment of Kılavuzlu Dam Lake (Kahramanmaraş) Water Quality According to Canadian Water Quality Index Class

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 16.07.2021

Accepted: 23.09.2021

Published online: 08.03.2022

#### Keywords:

Kılavuzlu reservoir

Water quality

IDW

CWQI

This study was carried out at 11 sampling sites by in situ measurements and taking surface water samples in April, August and November 2018 in the Kılavuzlu Dam Lake, that is located between Menzelet and Sır Dams in Kahramanmaraş, and used for energy production, agricultural irrigation and fish farming. Water temperature, pH, nitrate, ammonium, total organic carbon, inorganic carbon, total carbon and sulfate were analyzed as physico-chemical parameters in the water samples. Spatial variation of water quality parameters in Kılavuzlu reservoir was mapped using the Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW) technique. It was determined that the Kılavuzlu Reservoir is in the I. quality water class in terms of temperature, pH, nitrate and sulfate parameters, while it is included in the IV. quality water class for ammonium values according to the Regulations on Surface Water Quality. Due to the effects of total organic carbon and ammonium parameters, which are above the reference values, the reservoir included in the Marginal class specified in the Canadian Water Quality Index. Measures should be taken to protect the aquatic ecosystem to ensure the sustainability of aquaculture and use of irrigation water in the Kılavuzlu dam lake, that has a significant contribution to the provincial economy.

**To Cite:** Küçükönder M., Kalkan E., Cırık K. Kılavuzlu Baraj Gölü (Kahramanmaraş) Su Kalitesinin Kanada Su Kalite İndeks Sınıfı'na göre Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1):118-142.

## **Giriş**

Son yüzyılda dünyada su kullanımı, nüfus artış oranının iki katından daha fazla artmıştır (Piesse, 2020). Demografik büyüme, iklim değişikliği ve ekonomik gelişme, sınırlı su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmaktadır (Steduto ve ark., 2012; Muluk ve ark., 2013). Kısıtlı doğal kaynakların doğrudan veya dolaylı olarak kirletilmesi ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ülkemiz için önemli bir konu başlığıdır. On Birinci Kalkınma Planında “çevre ve doğal kaynakların korunması, kalitesinin iyileştirilmesi, etkin, bütünleşmiş ve sürdürülebilir şekilde yönetiminin sağlanması, her alanda çevre ve iklim dostu uygulamaların gerçekleştirilmesi”, olarak çevrenin korunmasına yönelik hedefler net olarak ifade edilmiştir (SBB, 2019). Bu hedefler doğrultusunda ülkemizde suların varlığının yanında kullanılabilir su kaynaklarında su kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesi, görev ve yetkileri içerisinde tanımlanan Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde 2021 yılı itibariyle 861 adet baraj faaliyet göstermektedir. Barajlar, morfolojik yapıları, su tutma süresinin kısa olması ve göle deşarj olan suların niteliğine ve niceliğine bağlı olarak daha fazla kirlilik problemi yaşayabilmektedirler (Fakıoğlu ve ark., 2011). Bu nedenle doğal ve yapay göllerde sürdürülebilir su kaynakları yönetimi çerçevesinde su kalitesi parametrelerinin kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde yer alan doğal ve yapay göllerde Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalar haricinde literatürde, noktasal örnekleme ile fiziko-kimyasal parametrelerin çeşitli tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistiksel yöntemler kullanılarak değerlendirildiği çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Baraj göllerinde gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmalarından bazıları Eber Gölü (Gümüş ve Akköz, 2020) Apa (Mert ve ark., 2008; Yılmaz ve Akköz, 2014), Derbent (Taş, 2006), Selevir (Bulut ve ark., 2011), Borçka (Eryılmaz, 2014), Dicle (Varol, 2015), Demirköprü (Erdoguş, 2016), Germeçtepe (Atea ve ark., 2017), Karacaören 1 (Şener ve ark., 2017), Almus (Polat ve ark., 2018), Karkamış (Tepe ve Kutlu, 2019), Suat Uğurlu (Orak, 2019), Yamula (Kar ve Leblebici, 2020) ve Keban (Topal, 2019; Varol, 2020) olarak sayılabilir. Son yıllarda göl ve baraj gibi su kaynaklarının izlenmesi, noktasal ve yayılı kirlilik kaynaklarının tespiti gibi amaçlarla birçok mekânsal istatistiksel algoritmaları ve haritalama araçlarını barındıran esnek Coğrafi Bilgi Sistemleri araçları su kalitesi izleme çalışmalarının mekânsal boyutunu güçlendirmektedir (Arslan, 2008; Şener ve ark., 2017; Polat ve ark., 2018; Yıldız ve Karakuş, 2018; Davraz ve ark., 2019; Uddin ve ark., 2021). Aynı zamanda yapılan çalışmalarda çok sayıda parametrenin tek değer altında birleştirilmesiyle yüzey sularının tarımsal, kaynak suyu veya içme suyu olarak kullanıma uygunluğunu değerlendirmek amacıyla su kalite indeksleri kullanılmaktadır (Dede ve ark., 2017; Şener ve ark., 2017; Uddin ve ark., 2021). Su kalite indeksleri, sürdürülebilir su yönetimini kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir bir değerler

grubu altında değerlendirme olanağı sunan metodolojik bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Uddin ve ark., 2021).

Kahramanmaraş ilinde Sır Barajı ve çeşitli akarsular üzerinde gerçekleştirilmiş çalışmalar bulunmaktadır. 2005 yılı Kahramanmaraş ili Çevre Durum raporunda su arıtma tesislerinin kurulması önerilirken 2011 yılında yayınlanan raporda Kahramanmaraş ovasında Karaçay, Erkenez ve Aksu Çaylarında azot türevlerinin içme ve kullanma suyu standartlarına göre sınır değerlerin çok üzerinde ölçüldüğü belirtilmiştir (ÇED, 2005; ÇED, 2011). Bu akarsularda yapılan diğer çalışmalarda kirlilik kaynakları, endüstriyel, evsel, hayvansal ve tarımsal atıklarla ilişkilendirilmiştir (Kara, 2004; Kara ve Şimşekli, 2009; Tanrıverdi ve ark., 2010; ÇED, 2011; ÇED, 2016). 2011 yılında bazı sanayi tesislerinde bireysel atıksu arıtma tesisi kurulduğu diğerleri için ise inşa çalışmalarının başladığı belirtilmiştir. Olgun ve ark. (2011), Ceyhan Havzası Kahramanmaraş ili içerisinde 18 örnekleme noktası belirleyerek nitrit ve amonyum parametrelerine göre II. sınıf su kalitesi tespit etmişlerdir. Aksu Nehri ve Erkenez Çayı üzerindeki ölçüm noktalarında evsel kaynaklı kirleticiler ile endüstriyel kirlilik yüklerinin fazla olduğu belirtilmiştir (Olgun ve ark., 2011). Ceyhan Havzası için hazırlanan Havza Koruma Eylem Planı ise Kılavuzlu Barajı mansap çıkışı-Sır Barajı girişindeki örneklem noktasında kurşun ve bazı kimyasal özellikler açısından II. sınıf olarak tanımlanmıştır (HKEPH-CH, 2010). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2016 yılında hazırlanan rapora göre ise Kahramanmaraş ilinde bulunan Aksu Çayı yan derelerin etkisiyle su kalite sınıfı IV. olarak tespit edilmiştir (CHKÖEP, 2016). Bölgede yapılan Fe, Cu, Zn, Cr ve Ni gibi ağır metal değerleri nedeniyle Sır Baraj Gölü'nde kirlilik yükünün fazla olduğu tespit edilmiştir (Canpolat ve Uzun, 2019). Sır Baraj Göleti'ne deşarj edilen evsel nitelikli atık suların arıtılması amacıyla Avrupa Birliği projesi ile Kahramanmaraş Belediyesi tarafından kurulan kentsel atık su arıtma tesisi 2018 yılı itibariyle faaliyete başlamıştır (ÇED, 2019). Ceyhan Havzası Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde çeşitli su kaynaklarında yapılan çalışmalar bulunmasına karşın Kılavuzlu Baraj Gölü'nün su tutmaya başladığı 2014 yılından itibaren bir çalışma gerçekleştirilmiş (Bozkurt, 2016) ve balık çiftliklerinin su kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Gölün kirlilik durumunu tespit eden ve su kalitesini sınıflandırmayı hedefleyen bir araştırma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı endüstriyel kirlilik yükü bulunmayan, su ürünleri yetiştiriciliği yapılan tarımsal faaliyet ve kırsal yerleşim etkisindeki Kılavuzlu Baraj Gölü'nde (Şekil 1) seçili parametreler ile 2018 yılı için yüzey su kalitesindeki değişimlerini belirlemek ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında dağılım haritaları oluşturmaktır. Aynı zamanda Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (Resmî Gazete, 2021) uygun olarak kirlilik sınıfının belirlenmesi ve oluşturulan dağılım haritalarından yararlanarak kirletici kaynakları araştırılmasıdır.

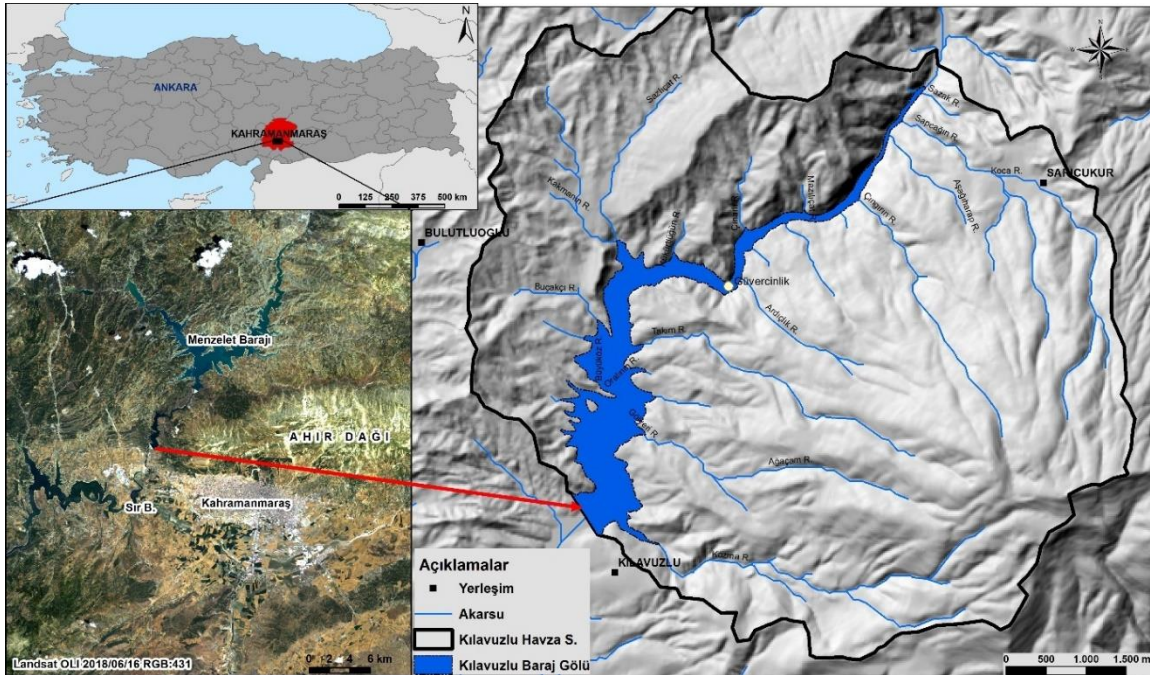
Çalışmada hedeflenen ikinci çıktı ise Kanada Su Kalitesi İndeksine (CCME, 2017) göre Kılavuzlu Baraj Gölü'nün su kalitesi sınıfını tespit etmektir. Araştırma dönemi içinde baraj gölünde her bir parametre ölçeğinde oluşturulan su kalite sınıflarının tek su kalite grubunda açıklamaya yardımcı olan indekslerden biri olarak Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKİ) bu çalışmada kullanılmıştır. Parametre ve zamansal (%80 tutarlılık oranı) toleransı yüksek olması (Tri-Star, 2017) ve her parametre için referans

alınan eşik değerlerin çalışma amacına göre belirlenmesine imkân vermesinin yanı sıra çalışma alanında örneklem sayısı uygunluğu (Namugize ve Jewitt, 2018) nedeniyle KSKİ tercih edilmiştir. İndeksteki eşik referans değerler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre belirlenerek Türkiye barajlarının yaklaşık %3'üne sahip Kahramanmaraş ilinde hem çalışma alanı hem de diğer baraj göllerinde sürdürülebilir su yönetimi açısından uygulanabilirliği örneklendirilmiştir.

## Materyal ve Metot

### Çalışma alanı

Kılavuzlu Barajı, Ceyhan Havzası Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde inşası devam eden 17 ve işletmede olan 8, toplam 25 barajdan biridir. Kılavuzlu Baraj Gölü Kahramanmaraş kentinin 18 km kuzeybatısında Ceyhan Nehri üzerinde kurulmuş olup yapımına 1996 yılında başlanmıştır (Şekil 1). Tarımsal sulama ve enerji üretimi amacıyla kurulan baraj 2014 yılında işletmeye alınmıştır. Kahramanmaraş, Gaziantep ve Hatay illerinde Orta Ceyhan Menzelet Kılavuzlu Sulama Projesi kapsamında 180.000 hektarlık bir alana sulama hizmeti sunması planlanmaktadır (Turgut ve Küçükönder, 2016). Barajın su sporları amaçlı kullanılmasının yanı sıra Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü, Su Ürünleri Yetiştiricilik tesisleri 2020 yılı istatistiklerine göre Kahramanmaraş iline kayıtlı 27 ağ kafes balık üretim tesisinin 5'i Kılavuzlu Baraj Gölü'nde faaliyet göstermektedir.



Şekil 1. Kılavuzlu Baraj Gölü ve drenaj havzası konumu ve hidroloji haritası.

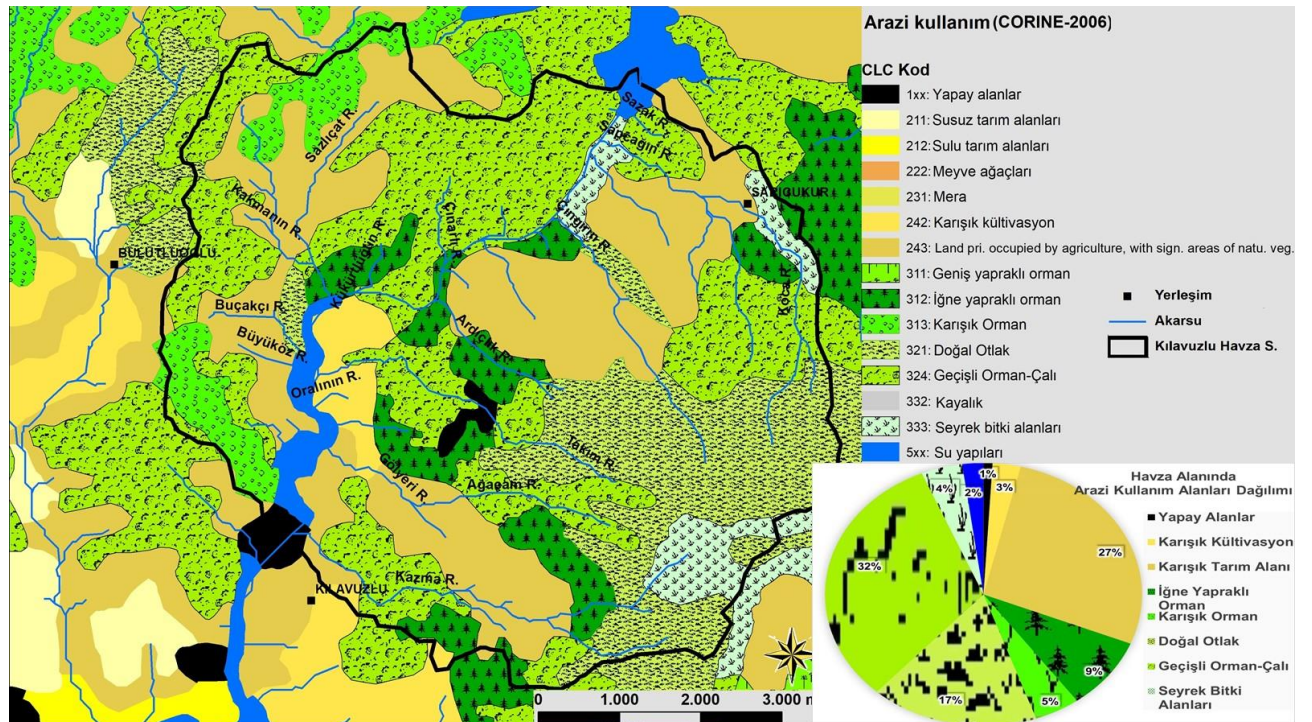
Gövde tipi zonlu toprak dolgu olan barajın; gövde hacmi 3,5 hm<sup>3</sup>, talvegden yüksekliği 59 m, normal su kotunda göl hacmi 69 hm<sup>3</sup> ve normal su kotunda göl alanı 3 km<sup>2</sup>'dir. Kılavuzlu Barajı alt havzası 48,8 km<sup>2</sup>'lik bir yüzey drenaj alanına sahiptir. Kuzeyinde kurulu bulunan Menzelet Barajı ve



güneyinde Sır Barajı nedeniyle Kılavuzlu Barajı oldukça küçük bir yüzey drenaj alanından etkilenmektedir. Havzanın doğusunda 500 m'den başlayan yükselti Ulucak Tepe'de yaklaşık 1750 m'ye ulaşmaktadır. Havzanın batı bölümünde baraj kıyısından yaklaşık 500 m'den başlayan yükselti doğuya doğru 750 m'lere çıkmaktadır. Göl alanı doğudan Sazak, Sapçağın, Aşağıharap, Çingırın, Güvercinlik, Ardıçlık, Takım, Gölyeri ve Kazma, batısından ise Büyüköz, Buçakçı, Kakmanın, Sazlıçat, Kükürtlüğün, Çınarlı, Mazlıçat mevsimlik akarsuları ile yüzey beslenimi sağlamaktadır.

Akdeniz ikliminin yaşandığı bölgede Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1930-2019 yılları arası Kahramanmaraş (KMAR:17255) istasyonu istatistiklerine göre ortalama sıcaklık en düşük Ocak ayında 4,7 °C iken en yüksek 28,3 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür. Kış aylarında daha fazla olmakla birlikte yıllık toplam yağış miktarı 719,7 mm'dir (MGM, 2020).

Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırması CORINE (Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu) 2006 yılı verilerine göre havzada sanayi ve yoğun yerleşim alanı bulunmamaktadır (CORINE, 2006). Havzanın %66'sını kaplayan hâkim arazi örtüsünü orman, mera ve geçişli orman niteliğinde doğal bitki örtüsü alanları oluşturmaktadır. Arazi kullanım olarak ise kuru tarım ve bahçe alanları havzanın yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır (Şekil 2 ve 3). Kahverengi Orman Topraklarının hâkim olduğu havzada litoloji olarak Tersiyer yaşlı kireçtaşı ve karasal kırıntılı (kumtaşı, çakıltaşı, çamurtaşı) birimleri gözlenmektedir (Aksay ve ark., 2002). Litolojik olarak ayrışmaya uygun bu birimlerin göl alanı için siltasyon ortaya çıkarma potansiyeli bulunmaktadır.



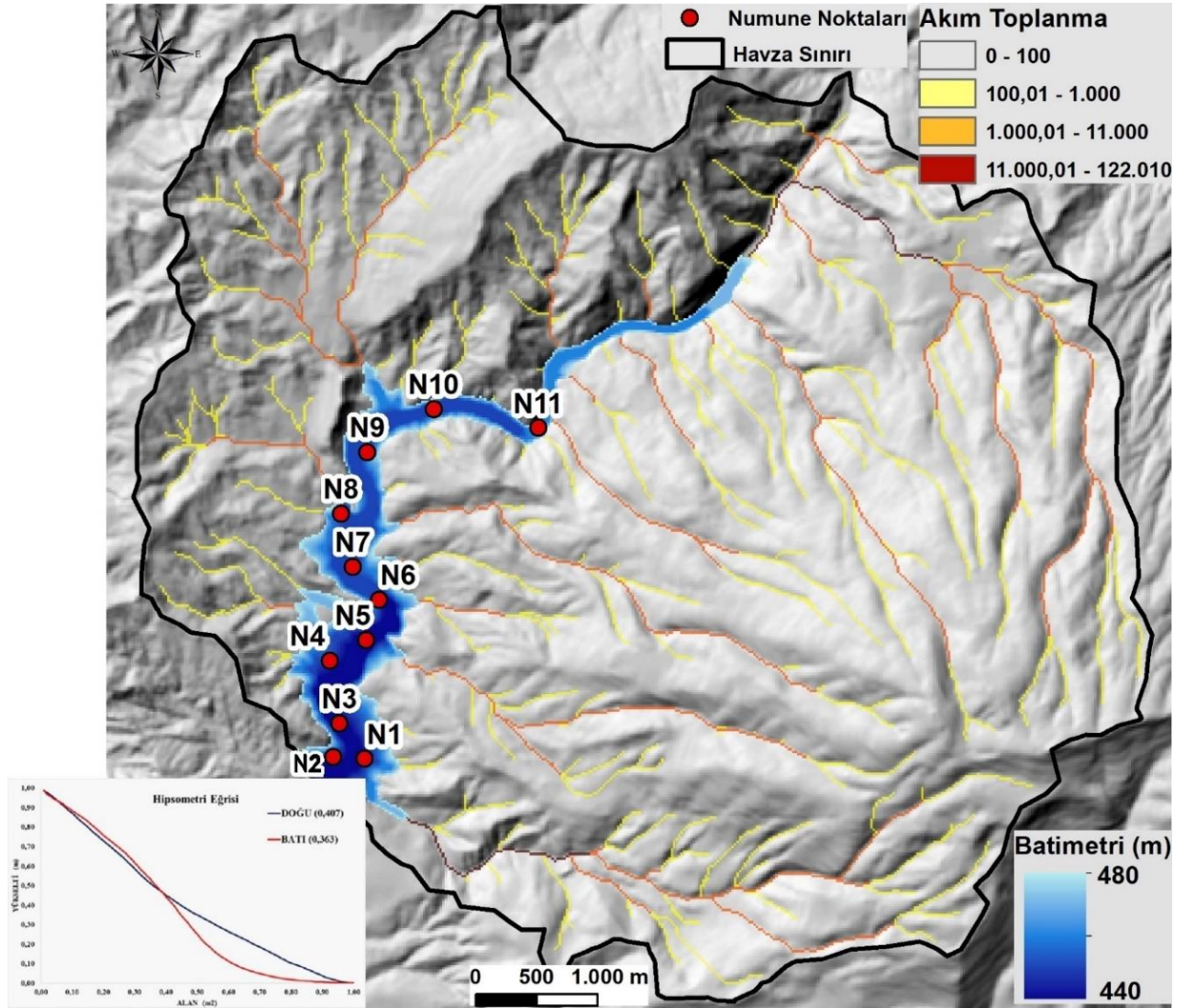
Şekil 2. Kılavuzlu Barajı Drenaj Havzasına ait CORINE 2006 Arazi Örtü/Arazi Kullanım Haritası.



**Şekil 3.** Kılavuzlu Barajı havzasındaki arazi kullanım alanları F1) Gölün kuzeyinde gözlenen orman alanı, F2) tarım alanları, F3) karışık kültivasyon alanları.

Drenaj alanının yüzey akım özellikleri incelendiğinde gölün doğusunda kalan alanın hipsometrik integral değeri 0,407 ve akışa katkıda bulunan 100 eşiği üzerindeki akım toplanma uzunluğu 100,5 km'dir (Şekil 4). Batı havza alanında ise hipsometrik integral değeri 0,363 iken 100 eşiği üzerinde kalan akışa katkıda bulunan akım toplanma uzunluğu 50,9 km ile doğu drenaj alanının yaklaşık yarısı kadardır. Hipsometrik eğri grafiğinde (Şekil 4) doğu havzanın hem genç nitelikte olması hem de akım uzunluğunun fazla olması gölün su kalitesi parametrelerinde daha fazla etkin olduğunu göstermektedir. Batı havza alanındaki farklı türdeki ormanlık alanlar (Şekil 3, F1) ve göle yakın kıyı hattında karışık kültivasyon alanlar (Şekil 3, F3) antropojenik etkinliğin fazla olduğunu göstermektedir.





**Şekil 4.** Kılavuzlu Baraj Gölü örneklem noktalarının simüle edilmiş batimetrik haritadaki konumları, akım toplanma değerleri, doğu ve batı havzalarının hipsometrik eğri grafikleri.

#### Yöntem

Çalışma; saha, laboratuvar ve ofis olarak üç temel etapta gerçekleştirilmiştir. İlk etapta baraj bölgesini en iyi şekilde temsil edebilen örnek alım noktaları belirlenmesi amacıyla baraj göl alanı topografya haritası kullanılarak batimetrik haritası simüle edilmiştir (Şekil 4). Baraj gövdesinden itibaren dar ve uzun kuzey-güney uzanım sunan, yaklaşık 7 km uzunluğa ve normal su kotunda 3 km<sup>2</sup> alana sahip göl üzerinde, gölün şekli ve derinliği ile havzanın arazi kullanım özellikleri dikkate alınarak 11 örneklem noktası belirlenmiştir (Şekil 4). N1 ve N2 isimli örneklem noktaları gölün krete yakın kısımda, N3 balık kafeslerinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. N4 örneklem noktası Kılavuzlu spor tesisleri açıklarında iken N5'ten itibaren gölün daralmasından dolayı yaklaşık 400 m aralıklarla numune alımı yapılmıştır. Son örneklem noktası olan N11 ise Menzelet Barajı mansabına yaklaşık 3000 metre uzaklıkta yer almaktadır. Örneklem noktalarında su derinlikleri yaklaşık 25 m ile 40 m arasında değişmektedir. Baraj gölünü etkileyen drenaj alanı ile ilgili yüzey akım toplanma değeri ve

hipsometrik integral analizleri çevresel etmenleri değerlendirmek üzere ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları (Resmî Gazete, 2020) kapsamında tanımlanan standartlara uygun olarak 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım 2018 tarihlerinde yerinde ölçümler ve yüzey su örnekleri alınmıştır. Örnek alım tarihleri ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında olmasına karşın sürekli ölçüm yapılamaması nedeniyle bu tarihler kullanılarak açıklamalar yapılmıştır. Yerinde ölçümler (pH ve sıcaklık ölçümleri) WTW 330i cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler aynı gün içinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında ASRS-300 (4 mm) supresör, iletkenlik dedektörü, IonPac® AG9-HC (4x50mm) guard ve AS9HC (4x250mm) analitik kolon ile donanımlı ICS-5000 model İyon Kromatografisi Cihazında (Dionex, Sunnyvale, CA, ABD) analiz edilmiştir. Numunelerde nitrat ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L), amonyum ( $\text{NH}_4^+$  mg N/L), toplam organik karbon (TOK mg/l), inorganik karbon (İK mg/l), toplam karbon (TK mg/l) ve sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$  mg/l) miktarları tespit edilmiştir. Ofis çalışmalarında GPS koordinatları alınan numune toplama noktaları sayısallaştırılarak vektör veri haline dönüştürülmüştür. Üç dönem için laboratuvar sonuçları veri tabanı oluşturularak GPS konumları ile entegre edilmiştir. Tüm analiz işlemleri ArcGIS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### *Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Analizi*

Sayısallaştırılan vektör veri ve entegre edilen veri tabanı kullanılarak ters mesafe ağırlıklı (inverse distance weighted: IDW) tekniği ile ölçülen parametreler için mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon tekniği, bilinmeyen konumdaki değerlerin bir ağırlık fonksiyonu kullanılarak bilinen konumlar üzerinden hesaplanmasına dayanan mekânsal deterministik simülasyon algoritmalarından biridir (Philip ve Watson, 1982; Holdaway, 1996; Hudson ve Wackernagel 1994; Burrough ve Mcdonnell, 1998).

$$\hat{Z}(s_o) = \sum_{i=1}^N (d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}) Z(s_i) \quad (1)$$

$\hat{Z}(s_o)$ ,  $s_o$  konumu için tahmin edilecek değer;  $Z(s_i)$ ,  $s_i$  konumunda ölçülen değer;  $N$ , tahmin konumu;  $p$ , aradaki mesafenin artışına bağlı normalize parametre;  $d_{i0}^{-p}$ , tahmin edilen konum; ( $s_o$ ) ve ölçülen konumların ( $s_i$ ) her biri arasındaki mesafedir (Denklem, 1; Burrough ve Mcdonnell, 1998).

#### *Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKI)*

Sürdürülebilir su yönetiminde, kolay anlaşılabilir ve uygulanabilir olması amacıyla çok sayıda parametre değerlerini, istenen birimler grubu altında birleştirmek üzere su kalite indeksleri kullanılmaktadır (Uddin ve ark., 2021). Literatürde hesaplama yöntemlerine göre farklılık gösteren 21 adet çeşitli su



kalite indeksi bulunmaktadır. Bunlardan yaygın olarak kullanılanlar Horton indeks, Ulusal Sağlık Vakfı Su Kalite İndeksi, İskoç Araştırma Geliştirme Departmanı İndeksi, Malezya Su Kalitesi İndeksi ve Baskaron İndeksi'dir. Tüm su kalitesi indeksleme yöntemlerinde örneklem sayısı, parametre seçimi, örnekleme dönemlerinin belirlenmesi gibi model sonuçlarının doğruluğunu etkileyen belirsizlikler söz konusudur (Uddin ve ark., 2021). Bu nedenle analiz dönemi ve seçilen örneklem büyüklüğünün sonuçlar üzerinde etkilidir (Namugize ve Jewitt, 2018) Göreceli olarak uygulama kolaylığı ve modele dahil edilecek su kalitesi parametrelerinin seçiminde esneklik sağlaması nedeniyle Kanada Su Kalitesi İndeksi (KSKİ) (CCME, 2017; Dede ve Sezer, 2017; Uddin ve ark., 2021) bu çalışmada Kılavuzlu Baraj Gölü'nde tek bir su kalite sınıfı oluşturmak üzere kullanılmıştır. Bu çalışmada 11 örneklem noktasında, altı parametre (sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon ve sülfat) ve üç dönem (Nisan, Ağustos ve Kasım 2018) için oluşturulan veri seti örneklem noktaları, aylık ve tüm ölçüm değerleri için gruplandırılarak KSKİ sınıfları hesaplanmıştır.

Seçilen KSKİ kalite sınıflarının hesaplanmasında parametre seçiminde esnektir ve parametreler için ağırlık değerlerine gereksinim duymamaktadır (Uddin ve ark., 2021). Kanada Çevre Bakanları Konseyi (CCME) ilk kılavuzunda KSKİ hesaplanması için en az dört parametre ve bu parametrelerin en az dört dönem ölçümü yeterli olacağı (CCME, 2017; Dede ve Sezer, 2017) belirtilmesine karşın bazı durumlarda örneklem dönemlerinde değişiklik yapılabileceği belirtilmektedir (CESİ, 2008). İstisnai durumlarda, örneğin örnekleme maliyetlerinin yüksekliği veya akarsular için soğuk bölgelerde donma ve sıcak bölgelerde kuruma dönemlerinde numune alınamaması, göller için yağışlı dönemler sonrası ilkbahar ve sonbahar olmak üzere yılda iki numune alınmasının yeterli olabileceği vurgulanmaktadır (CESİ, 2008; DDPHE, 2018). Erişimi zor olan bölgelerde yılda dört yerine üç örnek kullanma olasılığı üzerine yapılan çalışma sonucunda örnekleme döneminin azalmasının KSKİ sınıflandırma sonuçlarını önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir (Hamel ve Quiniou, 2007; Tri-Star, 2017). Zamansal ve örneklem sayılarına göre indeksin duyarlılığı üzerine yapılan araştırmalarda mevsimsel ve aylık analiz grupları arasında %80 tutarlılık sağladığı hesaplanmıştır (Tri-Star, 2017). Tunus'ta iki farklı istasyonda, üç dönem (yaz 2015, kış 2015 ve ilkbahar 2016) örneklenen aynı veri setini kullanarak dört farklı su kalitesi indeksinin (KSKİ, Tiwari ve Mishra SKİ, Ramakrishnaiah SKİ ve fuzzy SKİ) zamansal ve mekânsal farklılıklarını test edilmiştir (Kachroud ve ark., 2019). Dört farklı SKİ için parametrelerin birleştirilmesinde kullanılan gruplama süreci (ağırlıklı, logaritmik, uzman görüşü, harmonik kare ortalama, bulanık mantık yaklaşımı) ile ilişkili farklılıkların sonuç indeks sınıfları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Kachroud ve ark., 2019). Su kaynakları yönetiminde çok-boyutlu KSKİ uygulamasında Abd (2019) iki dönem (Şubat ve Mayıs) veri setini kullanmıştır. Alexakis (2020) havza ölçeğinde bir hidrolojik yıl içinde nemli ve kurak iki dönemi dikkate alarak iki örnekleme periyodu için KSKİ sonuçlarının Yunanistan Yeraltı Suyu Direktifleri 2006/118/EC ile yakın sonuç verdiğini belirtmektedir.

İndeks toplam deney sayısı, referans değerin üzerinde olan başarısız değerler ve sayıları ve başarısız deneylerin sayısı gibi etmenleri kullanarak boyut, frekans ve genlik olarak isimlendirilen üç faktör üzerinden hesaplanmaktadır (CCME, 2017; Uddin ve ark., 2021).

$$KSKİ = 100 - \sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}/1,732 \quad 2$$

Birinci faktör, boyutu temsil eden F1, standartlarda referans kabul edilen değeri aşan parametrelerin toplam parametre içindeki yüzdesidir.

$$F1 = (\text{Başarısız parametrelerin sayısı}/\text{Toplam parametre sayısı}) * 100 \quad 3$$

Frekans olarak adlandırılan ikinci faktör F2 ise çalışma sürecinde yapılan başarısız deneylerin toplam deneyler içindeki yüzdesidir.

$$F2 = (\text{Başarısız deneylerin sayısı}/\text{Toplam deney sayısı}) * 100 \quad 4$$

Genlik faktörü F3 ise her bir parametre ve deney için referans değerlerinden sapmayı normalize ederek üç aşamada hesaplanır. Bu aşamalar:

$$sapma_i = (\text{Başarısız deney değeri}/\text{Referans değer}) - 1 \quad 5$$

Sapmalar toplamının normalize edilmesi (nse)

$$nse = \left( \sum_{i=1}^n sapma_i / \text{Toplam deney sayısı} \right) \quad 6$$

$$F3 = nse / (0,01 * nse + 0,01) \quad 7$$

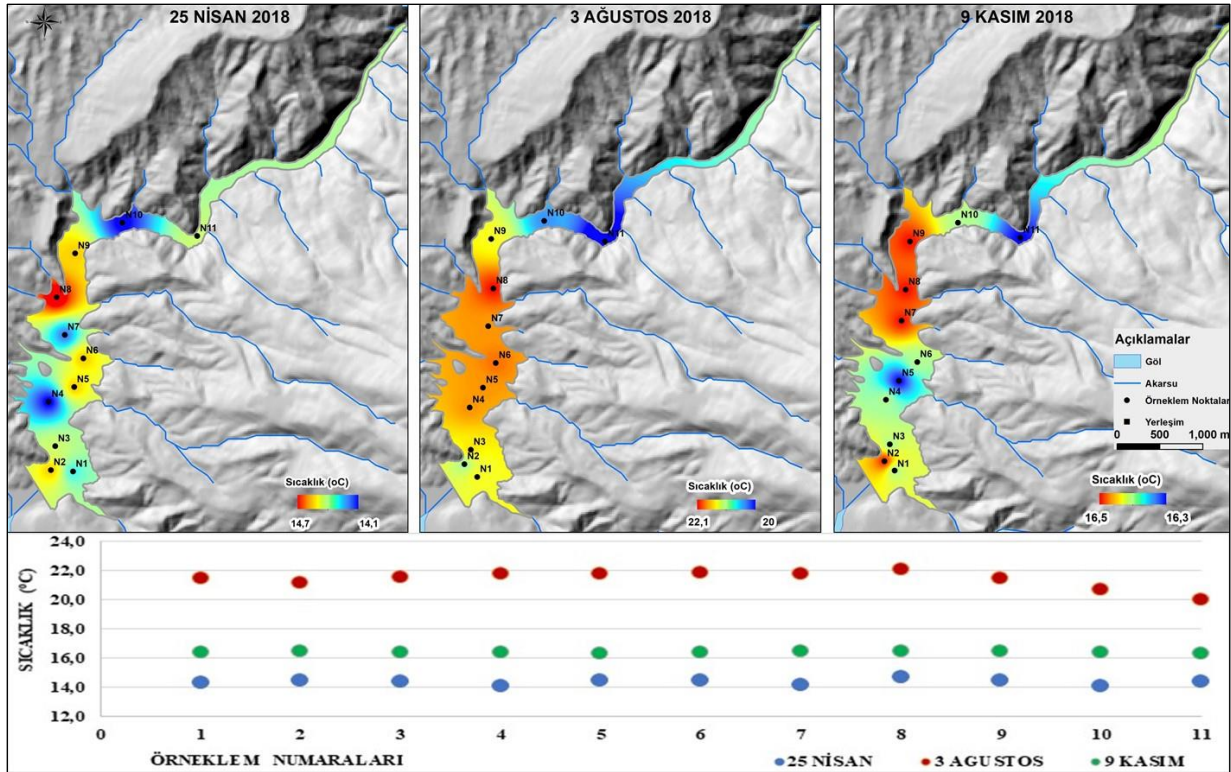
Standart olarak belirlenen referans eşiklerden parametrelerin sapmalarına göre KSKİ 0 ile 100 aralığında mükemmel, iyi, orta, kötü, çok kötü olarak beş sınıf altında toplanmaktadır. Sonuç KSKİ değerleri Tablo 1'deki gibi sınıflandırılmaktadır.

**Tablo 1.** KSKİ değerlerinin sınıflandırılması

Değer Aralığı	Sınıf
95-100	Mükemmel
80-94,9	İyi
65-79,9	Orta
45-64,9	Kötü
0-44,9	Çok Kötü

## Bulgular ve Tartışma

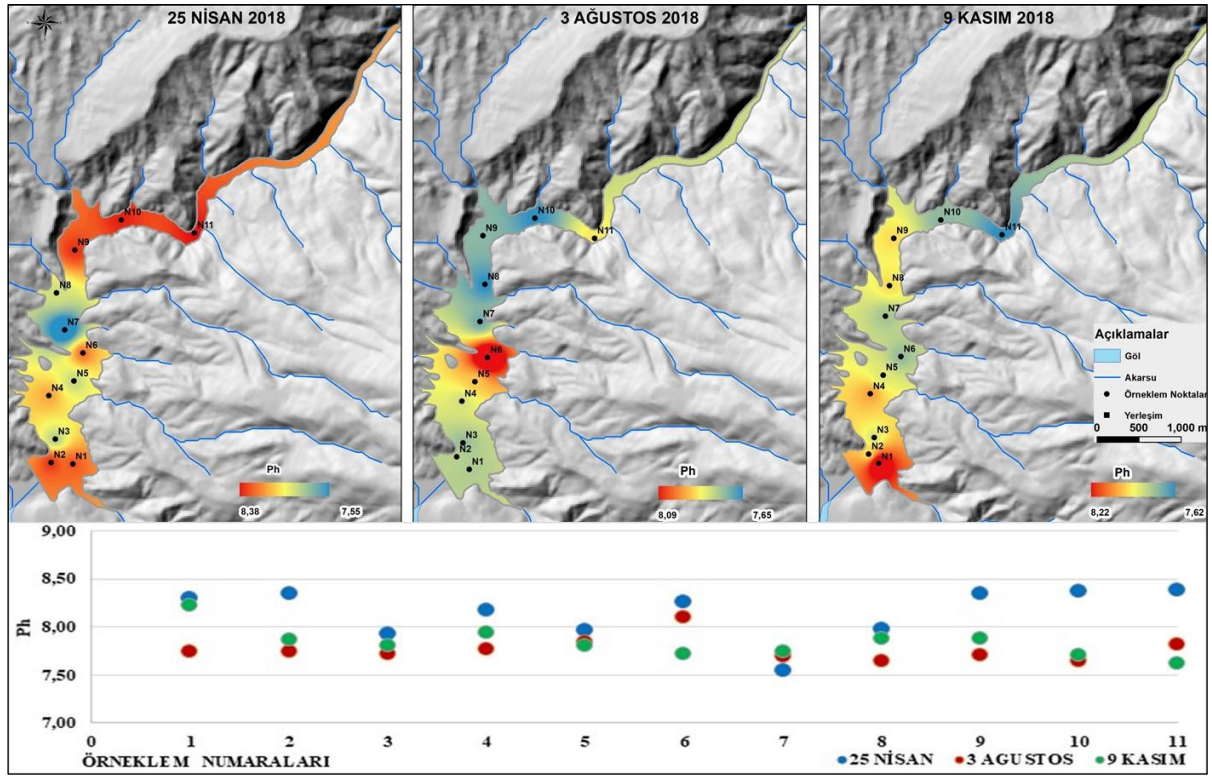
Su kütlelerinde sıcaklık değişiklikleri diğer kimyasal reaksiyonları etkilemesinin yanı sıra mevcut su yaşam formlarını değiştirebilmektedir. Örneğin alg baskınlığı su sıcaklığı arttıkça diyatomlardan yeşil alglere ve sonra mavi yeşil alglere dönüşüm göllerde ötrofikasyon problemi ortaya çıkarabilmektedir (Cao ve ark., 2011; Fakioğlu ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2019). Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde yerinde alınan sıcaklık değerleri ortalamaları ve standart sapma değerleri sırasıyla  $14,38\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ,  $21,45\pm 0,58^{\circ}\text{C}$  ve  $16,42\pm 0,07^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Göl alanında Ağustos dönemi sıcaklık artmasına karşın Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için I. Sınıf su kalitesine sahiptir. Sıcaklık dağılım haritalarında (Şekil 5) her üç dönem üst çığırda nispeten sığ ve derin vadi arasında kalan N10 ve N11 konumlarında daha düşük sıcaklıklar gözlenmektedir. Nisan ve Kasım dönemlerinde N4 ve N5 konumlarında sıcaklık nispeten daha düşüktür. Düşük olan noktalarda yeraltı suyu veya kaynak suları ile beslenme söz konusu olabilir. 2016 yılı Ağustos dönemi ölçülen sıcaklık ortalaması ( $14,65^{\circ}\text{C}$ ) ile (Bozkurt, 2016) karşılaştırıldığında sıcaklığın 2018 yılında  $6,8^{\circ}\text{C}$  arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Kılavuzlu Baraj Gölü 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerinde sıcaklık değerleri mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Hem doğal hem de antropojenik işlemler su kütlelerinin asit baz dengesini değiştirebilmekte ve sucul sistemlerdeki pH ve alkalilik genellikle havzadaki kaya ve toprakların jeokimyasından kaynaklanmaktadır (CCME, 2008). Yerinde ölçülen pH değerleri ortalamaları ve standart sapmaları Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde sırasıyla  $8,15\pm 0,18$ ;  $7,77\pm 0,12$  ve  $7,84\pm 0,15$ 'dir. pH dağılım

haritalarında (Şekil 6) üç dönem de düzenli bir patern sunmamaktadır. Nisan döneminde memba ve üst çığırda pH yaklaşık 8,4'e ulaşmaktadır. Göl alanında ölçülen farklılıklar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için I. Sınıf su kalitesi referans değerleri arasında kalmaktadır. Türkiye'deki barajlarda yapılan çalışmalarda suların hafif bazik özellik gösterdiği fakat herhangi bir şekilde kirlenen göl sularında pH değerinin 6-9 değerleri arasında değişebileceği belirtilmiştir (Varol, 2015). Ağ kafes yöntemi ile balık yetiştiriciliği yapılan Kılavuzlu Baraj Gölü'nde demir gibi diğer bileşiklerin sudaki konsantrasyonunun artması pH değerini asidik seviyelere düşürebileceği ve balıklar üzerinde olumsuz etki ortaya çıkarabileceği belirtilmektedir (ÇED, 2016).

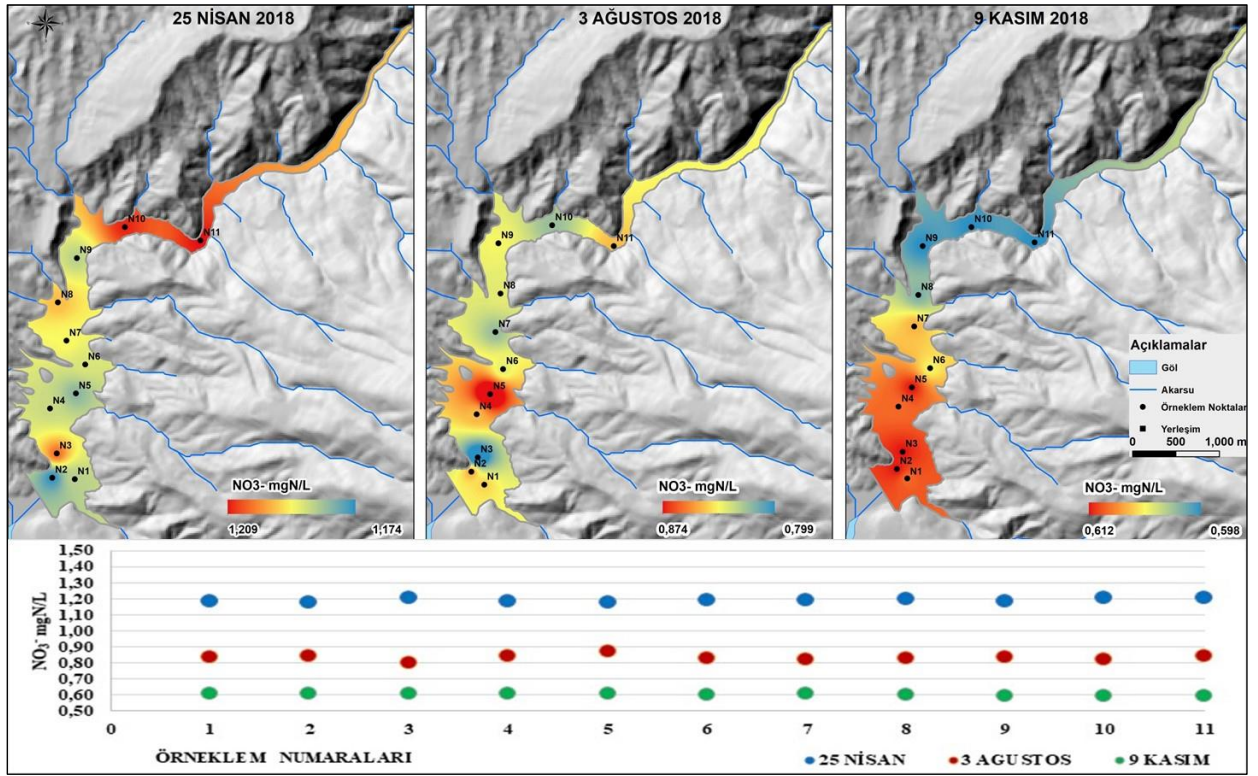


Şekil 6. Kılavuzlu Baraj Gölü pH değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekansal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Yüzey suları çoğunlukla 1 mg/l'den az da olsa iz olarak nitrat içermektedirler. Yüzey sularındaki nitrat konsantrasyonları, yeraltı suyu girişinin orantılı olarak daha az olduğu ilkbaharda, karasal akıştan yapılan katkıların önemli olduğu durumlarda veya kış aylarında biraz daha yüksek dalgalanma gösterebilmektedir. Göl yüzey sularında litre başına birkaç yüz mikrogramdan daha yüksek nitrat konsantrasyonları alg patlamalarını tetikleme ve ötrofik koşulları belirtme eğilimini belirtmektedir (CCME, 2008; Nordin ve ark., 2009). İç sularda nitrat oranının artmasına evsel ve endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan zirai gübreler neden olarak gösterilmektedir. Çalışma dönemlerinde nitrat değerleri ortalamaları ve standart sapmaları Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde sırasıyla  $8,52 \pm 0,19$  ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L);  $0,84 \pm 0,02$  ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L) ve  $0,61 \pm 0,01$  ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L)'dür. Göl alanında nitrat Nisan tarihinde 1,17-1,20 ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L), Ağustos tarihinde 0,79-0,87 ( $\text{NO}_3^-$  mg N/L) ve Kasım tarihinde 0,59-0,62



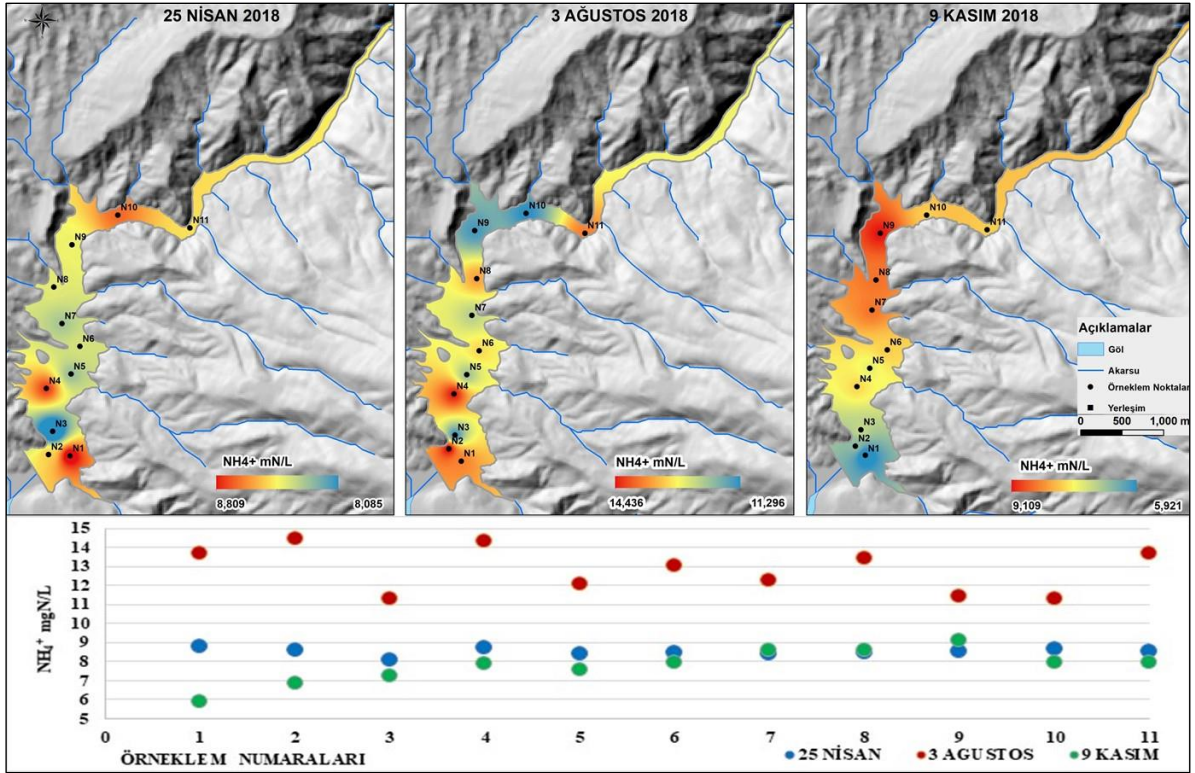
(NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg N/L) değerleri arasında ölçülmüştür (Şekil 7). Nisan dönemi ortalama nitrat değerinin (8,52 mg/l), 2016 yılında bir istasyonda ölçülen maksimum nitrat (2,8 mg/l) değerinin (Bozkurt, 2016) oldukça üzerine çıktığı görülmektedir. 2005 yılından yapılan ölçüm sonuçlarına göre Tanrıverdi ve ark. (2010), Kılavuzlu istasyonunda nitrat değerlerinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre üç dönem için referans değer 3 mg altında kalarak I. Sınıf su kalitesine sahiptir. 2016 yılı Ceyhan havzası İzleme programı kapsamında yapılan çalışmalara göre Ceyhan Havzası üstü çığırında yüksek kaliteli veya az kirlenmiş su sınıfına alınmıştır (CHKÖEP, 2016). Nitrat dağılım haritalarında (Şekil 7) Ağustos ve Kasım aylarında krete doğru artış eğilimi gözlenmektedir. Kanada Su Kalitesi Standartlarına göre (CCME, 2008) Kılavuzlu Baraj Gölü'nde Nisan nitrat değerleri ötrifikasyona neden olabilecek seviyelere erişmektedir.



Şekil 7. Kılavuzlu Baraj Gölü nitrat değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekansal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Doğal sular tipik olarak 0,1 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg N/L altındaki konsantrasyonlarda amonyak ve amonyum bileşikleri içerebilmektedir. Daha yüksek konsantrasyonlar, antropojenik girdinin ve organik kirliliğin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Nordin ve ark., 2009). Amonyum sonuçlarının Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla 8,52±0,19 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg N/L), 12,81±1,13 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg N/L), ve 7,78±0,84 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg N/L) olarak tespit edilmiştir (Şekil 8). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre çok iyi (I. sınıf) sularda Amonyum 0,2 mg/l altında, iyi (II. sınıf) sularda ise 1 mg/l civarında olması istenmektedir. Elde edilen amonyum değerlerine göre Kılavuzlu Baraj Gölü üç dönem için IV. sınıf su kalitesi sınıfına girmektedir.

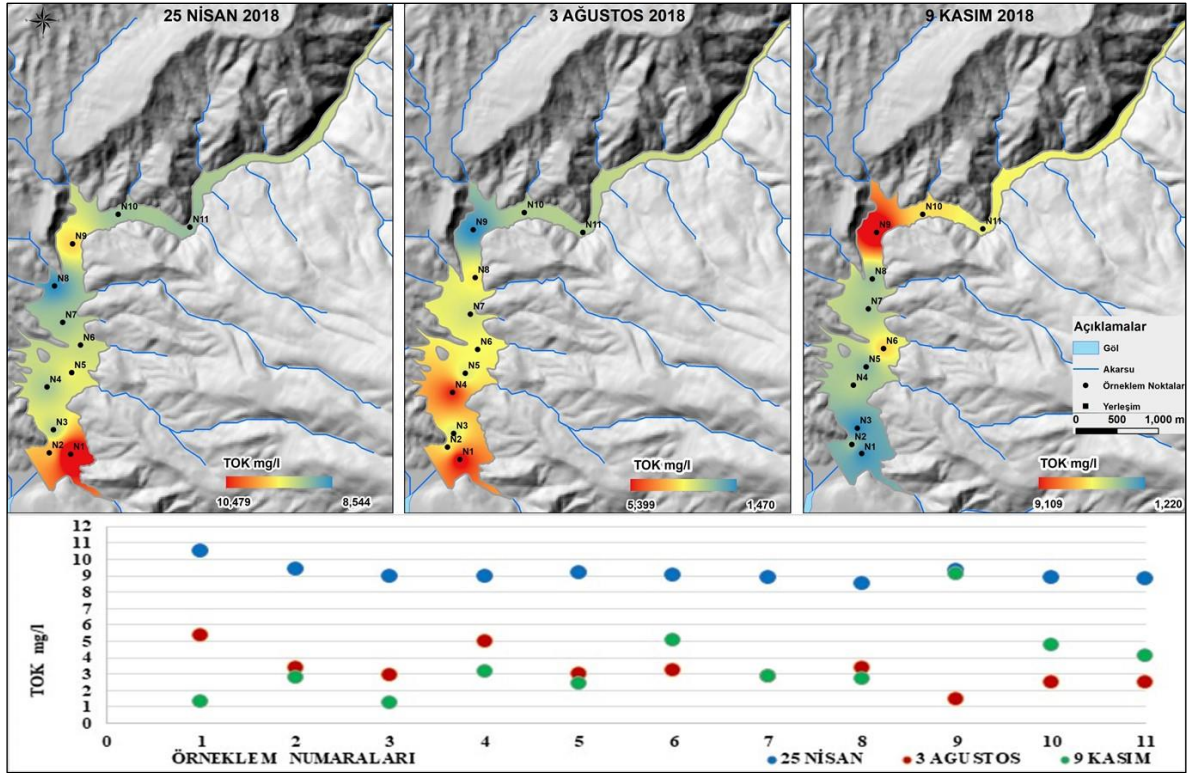
Kılavuzlu Baraj Gölü'nde amonyum kıta içi sulara  $1 \text{ NH}_4^+$  mg N/L'in altında olması gereken miktarın oldukça üzerindedir. Üç dönemde N1, N2, N3 ve N4 lokasyonları için yüksek olmakla birlikte amonyum dağılımı düzenli bir patern sunmamaktadır (Şekil 8). Fakat Ağustos dönemi için konsantrasyon dağılımlarının alansal olarak değişim trendi daha fazladır. Bazik koşullar ve yüksek sıcaklığa bağlı olarak amonyumun amonyağa dönüşümü sucul ekosistem üzerinde toksik etki oluşturabilmektedir (Atea ve ark., 2017). Germeçtepe (Atea ve ark., 2017), Derbent (Taş, 2006), Apa (Mert ve ark., 2008), Selevir (Bulut ve ark., 2011) ve Karkamış (Tepe ve Kutlu, 2019) baraj göllerinde amonyum değerlerinin en az 0 en fazla 3 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Kılavuzlu Barajındaki amonyum değerleri, yapılan bu çalışmalardan oldukça yüksek bir aralıkta seyretmektedir.



Şekil 8. Kılavuzlu Baraj Gölü amonyum değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Kirlenmemiş sulara, topraktaki organik madde, sucul bitki örtüsü, suda yaşayan organizmalar ve yağış organik karbonun başlıca kaynaklarıdır. Toplam organik karbon (TOK), ölçülen suyun türüne bağlı olmakla birlikte aynı zamanda yağış, mevsim, sıcaklık, tuzluluk, pH, mikrobiyal aktivite ve çevredeki bitki örtüsü gibi çeşitli parametrelerden de etkilenmektedir. Sonuç olarak, TOK değeri oldukça değişkendir ve çoğunlukla sulara organik kirliliğin bir göstergesi olarak incelenirler (Visco ve ark., 2005; Chen ve ark., 2015): Yer altı veya deniz sularında 1 mg/l'den az, göl veya nehir sularında 2–10 mg/l'e, bataklık ve bataklıklarda 10 mg/l'e kadar değerler alabilmektedir (Visco ve ark., 2005). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde (Resmî Gazete, 2021) toplam organik karbon, inorganik karbon ve organik karbon değerleri ile ilgili bir referans limit belirtilmemektedir. Yönetmelikte dikkat

edilmesi gereken koşullar arasında karbon kalıntılarının bulunmaması şeklinde bir değerlendirme yapılmıştır. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Ceyhan Havzası raporunda I sınıf sular için 5 mg/l, II sınıf sular için 8 mg/l, III sınıf sular için 12 mg/l olarak belirtilmektedir (HKEPH-CH, 2010). Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde TOK değerleri ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla  $9,14 \pm 0,49$  mg/l,  $3,24 \pm 1,05$  mg/l ve  $3,60 \pm 2,10$  mg/l olarak hesaplanmıştır. TOK dağılım haritalarında (Şekil 9) Nisan ve Kasım dönemlerinde N1 ve N2 konumlarındaki memba bölümüne yakın konumlarda daha fazla olduğu gözlenirken Kasım tarihinde yukarı çığırda N9 konumunda yüksek değerler gözlenmektedir. Ağustos ve Kasım dönemleri için I. Sınıf su olarak tanımlanabilmesine karşın Nisan dönemi için su kalitesi III. sınıftır.

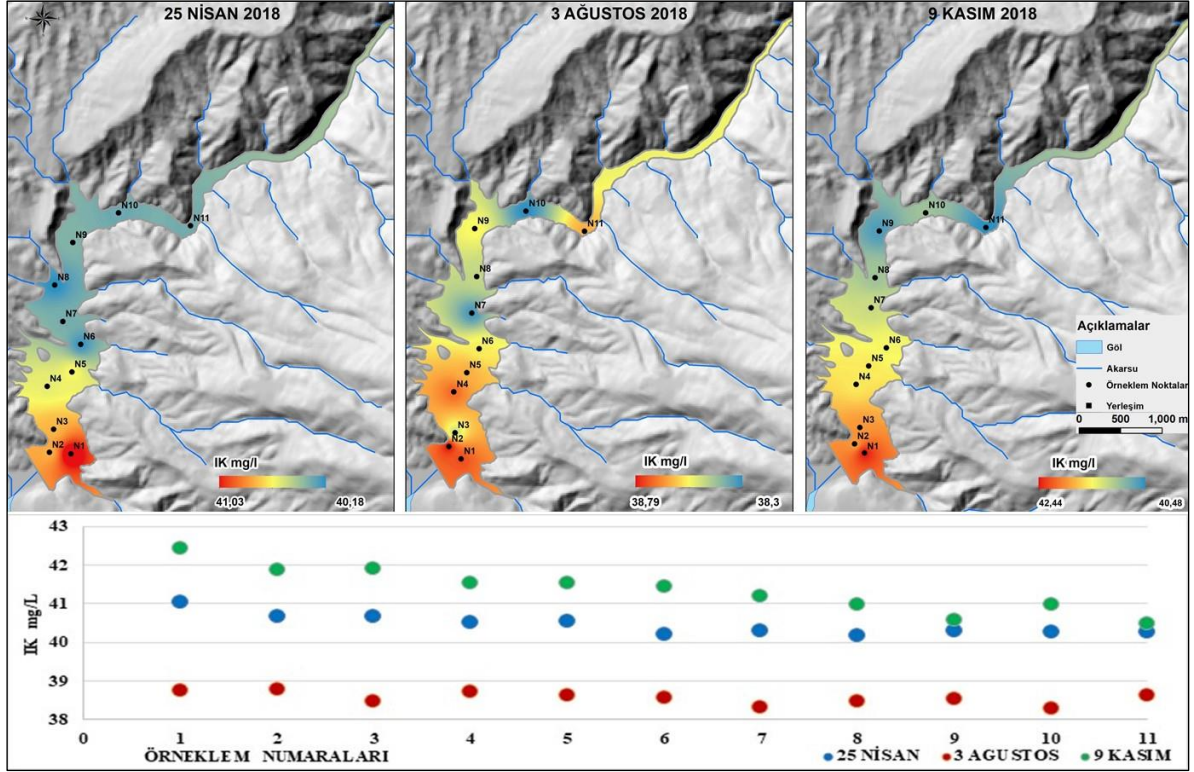


**Şekil 9.** Kılavuzlu Baraj Gölü toplam organik karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

İnorganik karbon bileşikleri temel olarak karbonatlar, bikarbonatlar ve karbonik asitten kaynaklanmaktadır. İnorganik karbonun varlığı suyun sertliğini etkilemesi nedeniyle suyun evsel ve endüstriyel kullanımları üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir. Yüzey suyundaki toplam inorganik karbon konsantrasyonları, daha fazla yeraltı suyu akışı nedeniyle genellikle düşük deşarj dönemlerinde daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (CCME, 2008). İnorganik karbon (İK) Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla  $40,45 \pm 0,25$  mg/l,  $38,56 \pm 0,15$  mg/l ve  $41,36 \pm 0,56$  mg/l ölçülmüştür (Şekil 10). Üç dönem için düzenli bir patern gösteren inorganik karbon dağılımı kret bölümüne yakın ve derin alanlarda yüksek konsantrasyona

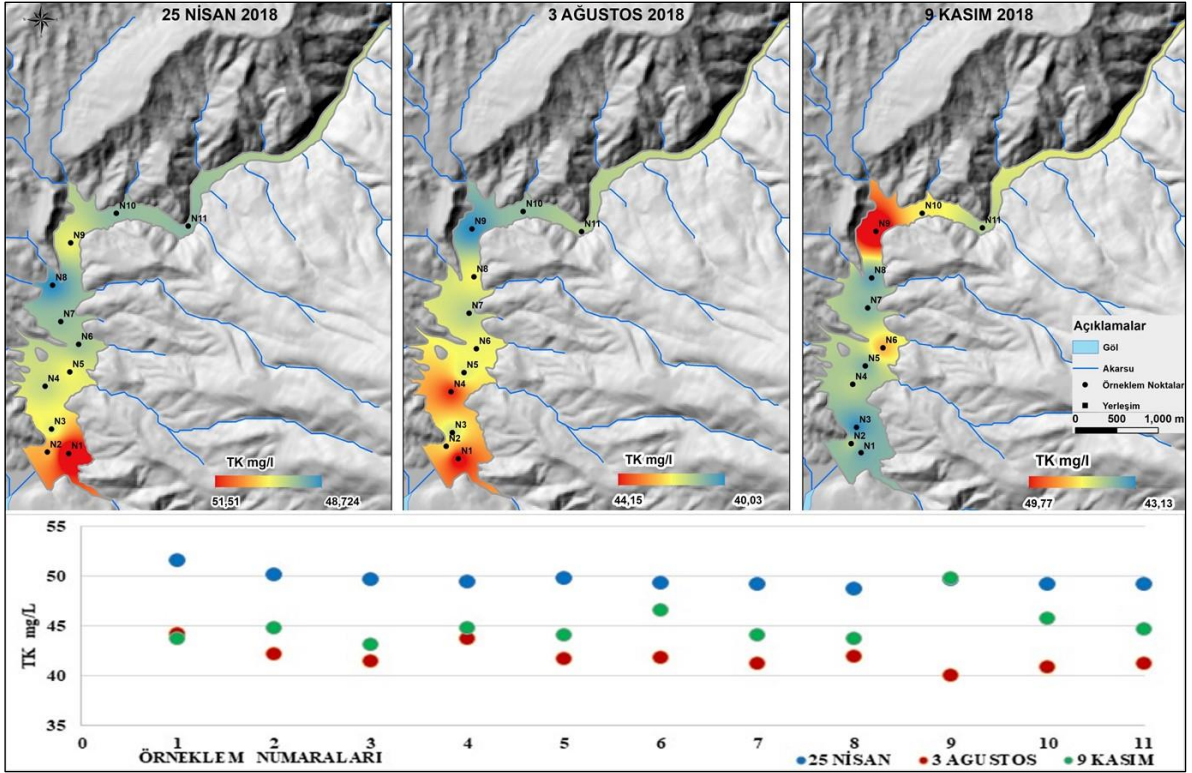


sahip olduğu gözlenmektedir. Göl drenaj alanında özellikle doğu bölüm kırıntılı ve karbonat kayaçlar ve kireçtaşı litolojisine sahip olması İK değerlerinde etkin kaynak oluşturduğunu göstermektedir. Göl alanında toplam karbon (TK) ortalama ve standart sapma değerleri Nisan, Ağustos ve Kasım dönemleri için sırasıyla  $49,59 \pm 0,25$  mg/l,  $41,81 \pm 1,14$  mg/l,  $44,97 \pm 0,56$  mg/l olarak tespit edilmiştir (Şekil 11). Toplam karbon dağılım haritalarında Nisan ve Ağustos dönemlerinde memba kısmına doğru yüksek değerler gözlemlenirken Kasım döneminde üst çıkırda TK konsantrasyonu daha fazla gözlenmektedir.



Şekil 10. Kılavuzlu Baraj Gölü inorganik karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

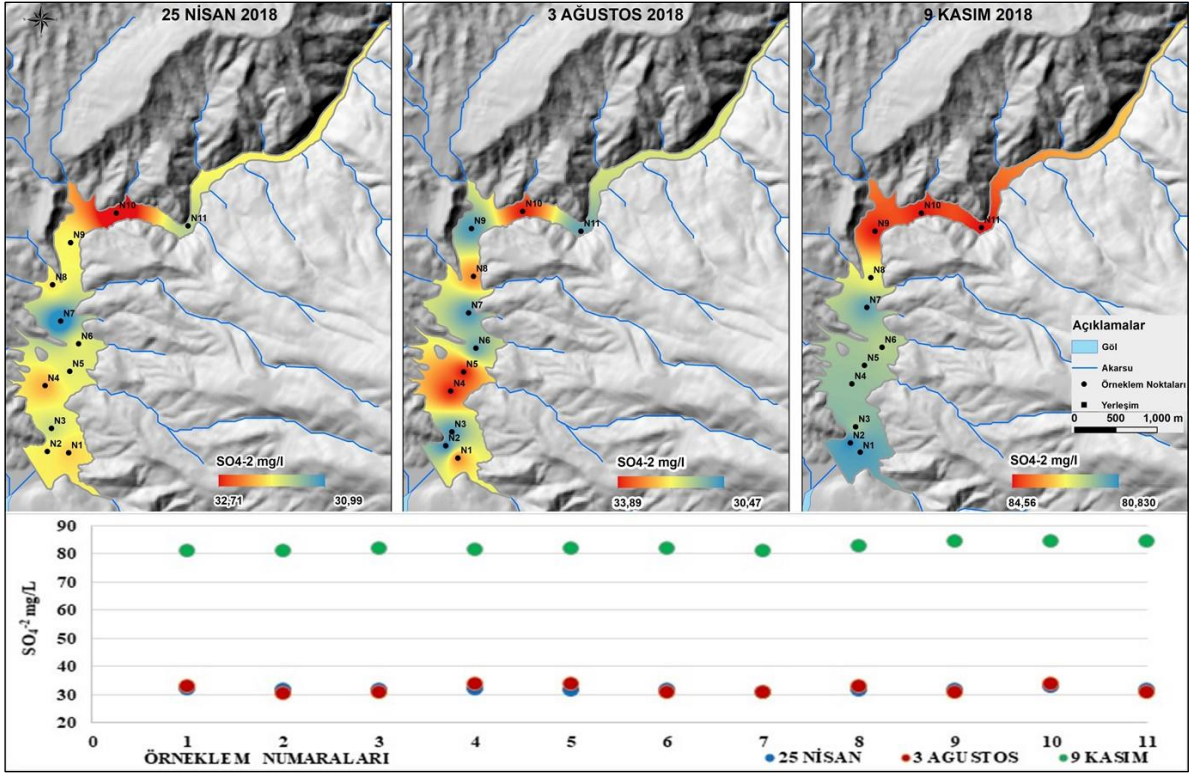




**Şekil 11.** Kılavuzlu Baraj Gölü toplam karbon değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Sülfatlar, şeyller de dahil olmak üzere çoğu tortul kayadan, jips ve anhidrit gibi sülfat içeren minerallerin ayrışması sonucu su ortamlarına katılmaktadır. Çözünmüş  $SO_4^{-2}$ 'nin ana kaynakları şunlardır: (1) piritin oksidasyonu; (2) toprakta organik olarak bağlı kükürtün mineralizasyonu; (3) yağmur suyu ve (4) tarımsal ve endüstriyel drenajlar ve diğer doğal kaynaklar (Robinson ve Bottrell, 1997). Sülfat konsantrasyonları normalde yüzey sularında 10 ile 80 mg/l arasında değişmektedir (CCME, 2008). Varol (2020) ülkemizdeki baraj göllerinde sülfat kaynaklarına göre değerler oldukça farklılık gösterebileceğini belirtmektedir. Nisan, Ağustos ve Kasım tarihlerinde alınan numunelerde sülfat ( $SO_4^{-2}$ ) ortalamaları ve standart sapmaları sırasıyla  $31,79 \pm 0,39$  mg/l,  $31,98 \pm 1,45$  mg/l ve  $82,40 \pm 1,39$  mg/l olarak ölçülmüştür (Şekil 12). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğine (Resmî Gazete, 2021) göre sınıflamada kullanılmayan sülfat parametresi Kılavuzlu göl alanında Kasım dönemi 80 mg/l'nin üzerine çıkmaktadır. Sülfat dağılım haritalarında her üç dönem üst çığırda (N10) nispeten sığ alanda yüksek konsantrasyon gözlenmektedir (Şekil 12). Farklı olarak Ağustos döneminde N4 ve N5 konumlarında sülfat miktarında artış gözlenmiştir. Baraj gölünün kuzeyinde N10 noktasına yakın olan Kükürtlüğün Deresi civarında pirit içeren kayaların varlığı ve diğer sülfat kaynaklarının bu değerlere etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Kılavuzlu Baraj Gölü'nde 11 örneklem noktasından alınan sonuçlar için sıcaklık, pH, nitrat, amonyum, toplam organik karbon ve sülfat parametrelerinde sırasıyla 25 (°C), 8,5, 10 ( $NO_3^-$  mg N/L), 1 ( $NH_4^+$  mg N/L), 4 (mg/l) ve 150 (mg/l) referans değerleri kullanılarak Kanada Su Kalitesi İndeksi uygulanmıştır.



**Şekil 12.** Kılavuzlu Baraj Gölü sülfat değerlerinin 25 Nisan, 3 Ağustos ve 9 Kasım tarihlerindeki mekânsal dağılım haritaları ve ölçüm tarihlerinde örneklem noktalarındaki değerlerin değişimi

Tüm örneklem noktalarında, ay gruplarında ve tüm veri setinde kötü (KSKİ 45-64,9) su kalite sınıflaması hesaplanmıştır (Tablo 2). En az dört parametre tüm gruplamalarda karşılanırken örneklem noktaları (istasyon grupları) en az dört örnek karşılanmamaktadır. Bu tür parametre veya örneklem sayısının en az 4 olma koşulunu sağlamayan durumlarda literatürde önerilen F1 (boyut) devre dışı tutularak modifiye-KSKİ sınıfları hesaplanabilmektedir (Davies 2006; DDPHE, 2018). F1 devre dışı bırakılarak yapılan hesaplama sonuçlarında, ortalama %5'lik bir artış gerçekleşmesine karşın sınıf değerleri aynı grupta (kötü) kalmaktadır. KSKİ değerleri IDW tekniği ile haritalandırılarak göl alanında standart sapma aralıklarına göre dört gruba ayrılmıştır. Kötü sınıfı içerisinde N9, N10 ve N11 konumlarının yer aldığı üst çığır değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 13). Tüm ölçüm noktalarında ve farklı tarihlerde amonyum ve TOK değerleri referans değerinin altında kalmıştır. KSKİ sonuçları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Resmî Gazete, 2021) ile karşılaştırıldığında Kılavuzlu Baraj Gölü su kalitesinin kirlenmiş su sınıfına dahil edilebileceğini göstermektedir.

**Tablo 2.** Kılavuzlu Baraj Gölü örneklem noktalarında Kanada Su Kalite İndeksi Sonuçları

Veri Seti Grupları	F1 (Boyut)	F2 (Frekans)	F3 (Genlik)	En az veri seti gereksinimi (4 Değişken)		KSKİ	Sınıf		
				En az 4 Parametre	En az 4 Örnek			M-KSKİ	Sınıf
Tüm Veri Seti	33	25	61	Karşılar		58	Kötü		
<b>Ay Grupları</b>				<b>En az 4 Parametre</b>	<b>En az 4 Örnek</b>	<b>KSKİ</b>	<b>Sınıf</b>		
Nisan	33	33	59	Karşılar (6)	Karşılar (11)	56	Kötü		
Ağustos	33	20	66	Karşılar (6)	Karşılar (11)	56	Kötü		
Kasım	33	23	54	Karşılar (6)	Karşılar (11)	61	Kötü		
<b>İstasyon Grupları</b>				<b>En az 4 Parametre</b>	<b>En az 4 Örnek</b>	<b>KSKİ</b>	<b>Sınıf</b>	<b>M-KSKİ</b>	<b>Sınıf</b>
N1	33	28	60	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	62	Kötü
N2	33	22	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N3	33	22	58	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	59	Kötü	64	Kötü
N4	33	28	62	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	56	Kötü	61	Kötü
N5	33	22	59	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	59	Kötü	64	Kötü
N6	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü
N7	33	22	60	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N8	33	22	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	63	Kötü
N9	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü
N10	33	28	59	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	58	Kötü	62	Kötü
N11	33	28	61	Karşılar (6)	Karşılamaz (3)	57	Kötü	61	Kötü

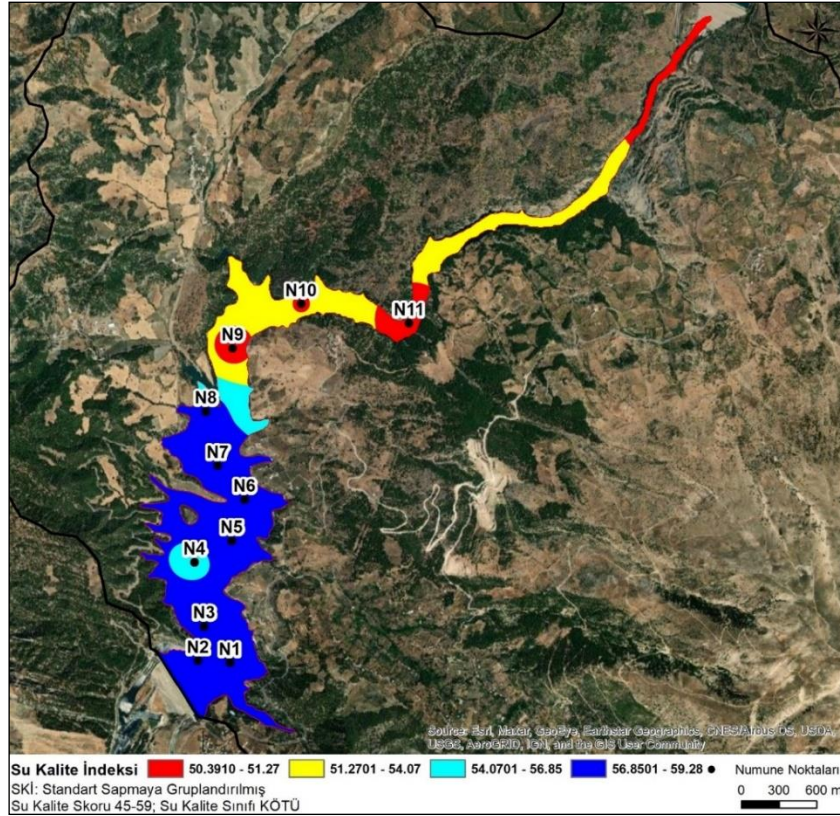
M-KSKİ: Modifiye-Kanada Su Kalitesi İndeksi

### Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma Kılavuzlu Baraj Gölünde 2018 yılı Nisan, Ağustos ve Kasım aylarında yapılan ölçümlerin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Resmî Gazete, 2021) ve Kanada Su kalitesi İndeksi (KSKİ)'ne göre değerlendirmesini ve CBS ortamında haritalandırılmasını içermektedir. 2018 yılı ölçüm dönemi için KSKİ kötü sınıfta yer almaktadır. Uzun dönem su kalitesi ölçümleri bulunmayan baraj gölünde 2016 yılında yapılan bir çalışma sonuçları (Bozkurt, 2016) ile nitrat değerleri karşılaştırılabilmiş ve nitrat değerlerinde artış tespit edilmiştir. Endüstriyel faaliyetin gerçekleşmediği seyrek kırsal yerleşme ve tarımsal faaliyetin yürütüldüğü havzada 2014 yılında su tutmaya başlayan gölün kısa sürede çevresel koşullardan etkilendiği görülmüştür.

Sıcaklık, pH, nitrat değerleri açısından referans değerler içerisinde kalmasına karşın amonyum, sülfat ve toplam organik karbon değerlerinin sucul canlılar için olumsuz etki oluşturma potansiyeli söz konusudur. Amonyum miktarının tarımsal amaçlı suni gübre kullanımından veya balık yetiştiriciliğinde yüksek azot bileşenli yem kullanımından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İl ekonomisine önemli katkısı bulunan su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olması adına su ekosistemini korumaya yönelik çevresel detaylı izleme çalışmalarının yapılması ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.





Şekil 13. Kılavuzlu Baraj Gölü Kanada Su Kalite İndeksi (KSKİ) Dağılım Haritası.

Baraj gölünde sülfat değerlerinin yüksek olması nedeniyle sülfat katılımının belirlenmesi amacıyla bölgede yan kollarda ve kaynaklarda jeolojik özelliklerin incelenmesine ve detaylı jeokimyasal analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Özellikle mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde karar vericilerin hızlı aksiyon gösterebilmesi Kılavuzlu barajı gibi çok fonksiyonlu kullanım alanları (tarımsal sulama, su sporları, su ürünleri yetiştiriciliği, elektrik üretimi) için uygun su kalitesi indeks yönteminin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. 2018 yılında üç dönem için yapılan bu çalışmadan alınan sonuçlar doğrultusunda Kılavuzlu Baraj Gölü limnolojik yapısının daha hassas değerlendirilmesi, hidrolojik çevrimlerin zamansal etkisinin tespit edilmesi ve bölgeye uygun su kalitesi indeksleme yönteminin seçilebilmesi adına izleme süresinin sürekli (en az 12 ay) ve daha fazla parametre ile gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

CBS tabanlı mekânsal analizler ile üretilen dağılım haritalarına göre sıcaklık değerlerinde hem gölün hem de havzanın morfolojik özelliklerinin önemli etkisi olabileceği, özellikle amonyum değerlerinin balık çiftlikleri ve tarım alanlarına yakın alınan örneklerde (N1, N2, N3 ve N4) fazla olduğu, sülfat kaynaklarının havzanın üst çıkırından katılım gösterdiği, karbon bileşenlerinin gölün krete yakın ve orta kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir.



## **Teşekkür**

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018/1-22M proje numaralı “Kahramanmaraş Kılavuzlu Baraj Gölünde Su Kalitesinin İzlenmesi” konusu ile ilgili olup, ilgili birimce desteklenmiştir. Aynı zamanda bu çalışma süresince laboratuvar çalışmaları esnasında yardımcı olan Vildan Akgül ve diğer laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Makalenin düzeltilmesinde yapıcı yorumları ile yönlendirici olan hakemlere teşekkürlerimizi sunarız.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

1. Yazar makaleye %60 (CBS ve KSKİ analizleri, makalenin yazılması), 2. Yazar makaleye %25 (Saha örnekleme ve makalenin yazılması) ve 3. Yazar makaleye %15 (laboratuvar analizleri) oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça**

- Abd MH. Development of a multilateral Canadian Water Quality Index (C-WQI) for water supply applications. *EAS Journal of Humanities and Cultural Studies* 2019; 1(1): 64-69.
- Aksay A., Altun İ., Arda O., Aslaner M., Aslantürk M., Atabey E., Atan O., Ateş Ş., Ayhan A., Baskurt M., Baştaoğlu D., Baydar O., Beğenilmiş S., Bilgin AZ., Bilgin ZR., Bilginer E., Yalçın S., Yalçinkaya AF., Yergök M., Yıldırım Y., Yılmaz E., Yiğitbaş A., Yurtsever ZV. MTA 500bin jeoloji haritaları Hatay paftası. Maden Tetkik Arama Müdürlüğü, 2002; Ankara, Türkiye.
- Alexakis DE. Meta-evaluation of water quality indices. application into groundwater resources. *Water* 2020; 12(7): 1890.
- Arslan O. Su kalitesi verilerinin CBS ile çok değişkenli istatistik analizi Porsuk Çayı örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* 2008; 99: 5-15.
- Atea EAH., Kadak AE., Sönmez AY. Germeçtepe baraj gölünün (Kastamonu-Daday) bazı fiziko-kimyasal su kalite parametrelerinin incelenmesi. *Alınteri Ziraat Bilimler Dergisi* 2017; 32(1): 55-68.
- Bozkurt A. Zooplankton of Kılavuzlu Dam Lake (Kahramanmaraş) and the effect of cage fish farming on water quality and zooplankton fauna of the Dam Lake. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research* 2016; 2(3): 97-108.
- Bulut S., Mert R., Solak K., Konuk M. Selevir baraj gölünün bazı limnolojik özellikleri. *Ekoloji* 2011; 20(80): 13-22.

- Burrough PA., Mcdonnell RA. Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford 1998.
- Canpolat Ö., Uzun SK. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'nde meydana getirdiği ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 8(3): 816-825.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian environmental quality guidelines, 2008, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User's Manual – 2017 Update. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Cao C., Zheng B., Chen Z., Huang M., Zhang J. Eutrophication and algal blooms in channel type reservoirs: A novel enclosure experiment by changing light intensity. Journal of Environmental Sciences 2011; 23(10): 1660-1670.
- Canadian Environmental Sustainability Initiative (CESI) Water Team, The WQI approach: science and program development challenges. Freshwater quality indicator, internal program review 2005-2008, October 2008. Environment Canada.
- Ceyhan Havzası Kirlilik Önleme Eylem Planı (CHKÖEP). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, Rapor 2016.
- Chen M., Zeng G., Zhang J., Xu P., Chen A., Lu L. Global landscape of total organic carbon, nitrogen and phosphorus in lake water. Scientific reports 2015; 5(1): 1-7.
- CORINE. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Arazi Kullanım-Arazi Örtüsü haritası, 2006. <http://corinecbs.tarimorman.gov.tr/corine> Erişim Tarihi: 10 Mart 2018.
- ÇED, Kahramanmaraş İli Çevre Durum Raporu. Çevresel Etki Değerlendirme Hizmetleri ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kahramanmaraş Valiliği; 2005, 2011, 2016, 2019.
- Davies JM. Application and tests of the Canadian Water Quality Index for assessing changes in water quality in lakes and rivers of Central North America. Lake and Reservoir Management 2006; 22(4): 308-320.
- Davraz A., Sener E., Sener S. Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake. Turkey. Journal of African Earth Sciences 2019; 158: 103569.
- Denver Department of Public Health & Environment (DDPHE). Water Quality in Lakes and Streams, Water Quality Reports and Data, Water Quality Index Methodology. FINAL 7/31/18. 2018. Denver, Amerika.
- Dede ÖT., Sezer M. Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32(3): 909-917.
- Erdoğan M. Demirköprü baraj gölünün bazı fizikokimyasal parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2016, İzmir.

- Eryılmaz H., İpek Şİ., Çelik BY. Borçka Baraj Gölü (Artvin) su kalitesinin araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2014; 033: 1-8.
- Fakıoğlu Ö., Atamanalp Ö., Demir N. Baraj göllerinde toksik mavi-yeşil algler. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 2011; 3(2): 65-71.
- Gümüş NE., Akköz C. Eber Gölü (Afyonkarahisar) su kalitesinin araştırılması. Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research 2020; 6(2): 153-163.
- Hamel M., Quiniou L., Behavioural study on the Water Quality Index of the Canadian Council of Ministers of the Environment. Environment Accounts and Statistics Technical Paper Series Volume 2007, number 3, catalogue number 16-001-MWE. 2007, Canada.
- Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Ceyhan Havzası (HKEPH-CH). TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü 2010, Gebze.
- Holdaway MR. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. Climate Research 1996; 6(3): 215-225.
- Hudson G., Wackernagel H. Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. International Journal of Climatology 1994; 14(1): 77-91.
- Kachroud M., Trolard F., Kefi M., Jebari S., Bourrié G. Water quality indices: Challenges and application limits in the literature. Water 2019; 11(2): 361.
- Kar M., Leblebici Z. Su rezervuarlarının kalitesinin değerlendirilebilmesi için çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanılması: Yamula Baraj Gölü örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 20(2): 189-195.
- Kara C., Çömlekçioğlu U. Karaçay (Kahramanmaraş)'ın kirliliğinin biyolojik ve fiziko-kimyasal parametrelerle incelenmesi. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 2004; 7(1): 1-8.
- Kara C., Şimşekli M. Erkenez Çayı (Kahramanmaraş)'ın kirliliğinin fiziko-kimyasal parametrelerle incelenmesi. 3. Çevre Sorunları Kongresi, 15-16 Mayıs 2008, sayfa no:137-141, İstanbul.
- Mert R., Bulut S., Solak K. Apa Baraj Gölü (Konya)'nın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2008; 8(2): 1-10.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İstatistikleri (MGM), 2020. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=K.MARAS> Erişim Tarihi: 10 Ağustos 2020.
- Muluk ÇB., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan MA., Balkız Ö., Gümrükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. Türkiye'de suyun durumu ve su yönetiminde yeni yaklaşımlar: çevresel perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği-Doğa Koruma Merkezi 2013.
- Namugize JN., Jewitt GPW. Sensitivity analysis for water quality monitoring frequency in the application of a water quality index for the uMngeni River and its tributaries, KwaZulu-Natal, South Africa. Water SA 2018; 44(4): 516-527.
- Nordin RN., Pommen LW., Meays CL. Water quality guidelines for nitrogen (nitrate, nitrite, and ammonia). Water Stewardship Division, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Canada 2009; 1-29.

- Olgun E., Öksüz S., Çağlayan HS., Korkmaz F., Kumru C. Havzalarda örnekleme noktası belirleme ve su kalitesi izleme raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı, Çevre Referans Laboratuvarı 2011, Ankara.
- Orak TG. Suat Uğurlu Baraj Gölü'nün (Samsun) su kalitesi ve trofik seviyesinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü sayfa no:129, Ordu, 2019.
- Philip GM., Watson DF. A precise method for determining contoured surfaces. The APPEA Journal, 1982; 22(1): 205-212.
- Polat F., Dal T., Karataş İ., Buhan E. Temperature and dissolved oxygen stratification in Almus dam lake on Yeşilirmak river (Turkey) and its GIS maps. Ecological Life Sciences 2018; 13(2): 74-86.
- Resmî Gazete. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği numune alma ve analiz metotları tebliği. 2020; (RG-7/10/2020-31267).
- Resmî Gazete. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. 2021; (RG-16/6/2021-31513).
- Piesse M. Global water supply and demand trends point towards rising water insecurity. Future Directions International Pty Ltd. 27 Şubat 2020 (online: <https://www.futuredirections.org.au/publication/global-water-supply-and-demand-trends-point-towards-rising-water-insecurity/>) Erişim Tarihi: 01.09.2021.
- Robinson BW., Bottrell SH. Discrimination of sulfur sources in pristine and polluted New Zealand River catchments using stable isotopes. Applied Geochemistry 1997; 12(3): 305-319.
- Steduto P., Faurès JM., Hoogeveen J., Winpenny J., Burke J. Coping with water scarcity, an action framework for agriculture and food security, FAO Water Reports, 2012.
- Şener Ş., Şener E., Davraz A. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment 2017; 584: 131-144.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB), On birinci kalkınma planı 2019-2023. Temmuz 2019, Ankara.
- Tanrıverdi Ç., Alp A., Demirkıran AR., Üçkardeş F. Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 2010; 167(1): 175-184.
- Taş B. Derbent Baraj Gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi. Ekoloji 2006; 16(61): 6-15.
- Tepe R., Kutlu B. Examination water quality of Karkamış dam lake. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 2019; 7(3): 458-466.
- Topal M. Elazığ Keban Baraj gölü Pertek bölgesi su kalitesinin bazı parametrelerle belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 8(2): 561-568.
- Tri-Star Environmental Consulting. Synthesis Of Research And Application Of The CCME Water Quality Index. CCME Project No. 520-2012 2017.
- Turgut A., Küçükönder M. Kahramanmaraş İli Barajlarında Landsat 8 (OLI) kullanarak su kalitesinin izlenmesi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 2016, sayfa no:640-649, Adana.
- Uddin MG., Nash S., Olbert AI. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecological Indicators 2021; 122: 107218.



- Varol M. Dicle Baraj gölü su kalitesinin su kirliliği kontrolü yönetmeliği'ne göre değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2015; 2(1): 85-91.
- Varol M. Spatio-temporal changes in surface water quality and sediment phosphorus content of a large reservoir in Turkey. *Environmental Pollution* 2020; 259, 113860.
- Visco G., Campanella L., Nobili V. Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements. *Microchemical Journal* 2005; 79(1-2): 185-191.
- Yıldız S., Karakuş CB. Sivas 4 Eylül Barajı su kalitesi-seviye ilişkisinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile haritalanması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2018; 6(1): 64-75.
- Yılmaz ÖB., Akköz C. Investigation of water quality of Apa dam lake (Çumra-Konya) and according to the evaluation of PCA. *Biological Diversity and Conservation* 2014; 7(2): 136-147.
- Zhang Y., Peng C., Wang J., Huang S., Hu Y., Zhang J., Li D. Temperature and silicate are significant driving factors for the seasonal shift of dominant diatoms in a drinking water reservoir. *Journal of Oceanology and Limnology* 2019; 37(2): 568-579.