



Evaluation of the Suitability of Gündoğan Pond (Sivas) Water Quality for Irrigation Purposes and Determination of Heavy Metal Pollution

Elif Seda Özbek^{1,a,*}, Ekrem Mutlu^{2,b}

¹Taşköprü Yerel Eylem Grubu Derneği, Taşköprü 37400, Kastamonu, Türkiye.

²Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 37150, Kastamonu, Türkiye.

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Research Article</i> Received : 05.06.2025 Accepted : 14.07.2025 Keywords: Gündoğan Pond Irrigation Water Quality Heavy Metal Pollution Index Sodium adsorption ratio Environmental monitoring	In this study, the water quality of the Gündoğan Pond, constructed for irrigation purposes was assessed using 14 different parameters obtained from monthly water samples collected over a 12-months period from 5 distinct stations. To facilitate a straightforward interpretation of the data, index-based evaluations and statistical methods were employed. According to the results, the annual average water quality of the pond was classified as Class I very good- quality water in accordance with the guidelines of the World Health Organization (WHO) and the Turkish Surface Water Quality Regulation (SWQR). In terms of irrigation suitability, the values of electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), sodium percentage (Na%) and residual sodium carbonate (RSC) were found to be [326.66 µS/cm], [1.42], [33.17%] and [-4.67] respectively. All of these values fall within the acceptable limits specified in the literature. Based on the United States Salinity Laboratory (USSL) water salinity classification table, the pond water was categorized as C2-S1, indicating medium salinity and low sodium hazard. The heavy metal pollution index (HPI) calculated to evaluate the heavy metal content of the water was found to be [13.73], suggesting a low level of pollution. However, the concentrations of copper [Cu⁺²] in May and June were measured at [4.60] µg/L in May and [7.40] µg/L, respectively-both exceeding the threshold limits stated in the relevant standards. Additionally, the annual average chloride (Cl⁻) content was 5.25 ± 1.02 mg/L, placing the pond water in a class with moderate potential for harm. In conclusion, the water of Gündoğan Pond is generally suitable for irrigation purposes. However, due to the elevated copper levels and moderate chloride concentrations, regular monitoring is recommended, particularly if the water is to be used for the cultivation of drupe fruit trees, which are more sensitive to such conditions.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(09): 2727-2734, 2025

Gündoğan Göleti (Sivas) Su Kalitesinin Sulama Amaçlı Uygunluğunun Değerlendirilmesi ve Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<i>Araştırma Makalesi</i> Geliş : 05.06.2025 Kabul : 14.07.2025 Anahtar Kelimeler: Gündoğan Gölet'i Sulama Suyu Kalitesi Ağır Metal Kirlilik İndeksi Sodyum adsorpsiyon oranı Çevresel izleme	Bu çalışmada sulama amaçlı inşa edilen Gündoğan Göleti'nin su kalitesi, 5 farklı istasyondan 12 ay boyunca aylık olarak alınan su örneklerinden 14 farklı parametre kullanılarak değerlendirilmiştir. Verilerin basit bir şekilde yorumlanması için indeksler ve istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre gölet suyunun yıllık ortalama kalitesi Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (SWQR)'a göre I sınıf, -çok iyi- kalitede su olarak belirlenmiştir. Sulama suyu uygunluğu açısından incelendiğinde EC, SAR, %Na ve RSC değerleri sırasıyla [326,66 µS/cm]; [1,42]; [%33,17] ve [-4,67] olarak bulunmuş olup değerlerin tamamı literatürde belirtilen sınır değerler arasında yer almıştır. USSL su tuzluluğu sınıflandırma tablosuna göre gölet suyu C2-S1 sınıfında tespit edilmiştir. Ağır metal içeriğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan ağır metal kirlilik indeksi (HPI=13,73) gölet suyunun kirlilik düzeyinin düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte bakır [Cu⁺²] konsantrasyonu mayıs ve haziran aylarında sırasıyla 4,60 ve 7,40 µg/L olarak ölçülmüş ve her iki değer de ilgili standartlarda belirtilen sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur. Ayrıca klorür [Cl⁻] içeriği yıllık ortalama 5,25±1,02 mg/L düzeyinde tespit edilmiş olup bu değer ile gölet suyu orta düzeyde zarar potansiyeli taşıyan sınıf içerisinde yer almıştır. Bu kapsamda Gündoğan göletinin sulama amaçlı kullanımının genel olarak uygun olduğu ancak sert çekirdekli meyve yetiştiriciliğinde kullanımının takip edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

^a elifsedaozbek@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0003-2981-5417>

^b ekrem-mutlu@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-60000-245X>



Giriş

Akarsular ve göller; canlı yaşamının ihtiyaç duyduğu içme suyunun karşılanmasında, tarımsal sulamada ve endüstriyel kullanımda gerekli olan su kaynaklarını oluşturmaktadır. Artan nüfus ile birlikte nüfusa bağlı olarak gelişen tarım ve endüstri sektörlerinin daha fazla su ihtiyacı duyması, mevcut su kaynakları üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır (Mutlu, 2019; Şener ve ark., 2020). Bu durum, Türkiye gibi su azlığı yaşayan ülkelerde suyun miktar ve kalite açısından izlenmesini ve etkin bir şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır.

Türkiye toplamda 112 milyar m³ kullanılabilir yeraltı ve yerüstü su potansiyeline sahip olmasına karşın 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 86 milyonluk nüfusu göz önüne alındığında kişi başına düşen yıllık su miktarı 1307 m³ ile su azlığı ya da su stresi yaşayan ülkeler arasındadır (Anonim, 2020; Anonim 2024; Falkenmark ve ark., 1989). Bu değer dünya ortalaması olan 7600 m³'ün oldukça altındadır (Yılmaz, 2015). Ayrıca Türkiye'nin yaklaşık %60'ı kuraklık ve çölleşmeye açık alanlardan oluşmaktadır (Türkeş, 2021).

Dünyada tatlı su kaynaklarını en çok kullanan sektörlerin başında tarım gelmekle birlikte tarımda su kullanımı toplam su kullanımının yaklaşık %70'ini oluşturmakta, 2050 yılına kadar bu oranın %15 artış göstereceği öngörülmektedir (Anonim, 2025a). Türkiye'de ise toplam su kullanımının %74'ü bu sektöre aittir (Küçük ve ark., 2022). Tarımsal sulama, zirai ilaç ve gübre kullanımı gibi faaliyetler hem suyun tüketime neden olmakta hem kirletici yükünü artırmaktadır (Griffin, 2006; Şimşek & Aydınbaş, 2025). Ayrıca Su kaynakları erozyon gibi doğal yollarla kirlenebildiği gibi daha çok tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, madencilik gibi antropojenik etkenlerden dolayı da kirlenebilmektedir (Mutlu, 2021).

Bu durum su kaynağının fizikokimyasal kalitesinde önemli değişikliklere neden olabilmektedir (Kutlu & Mutlu, 2024).

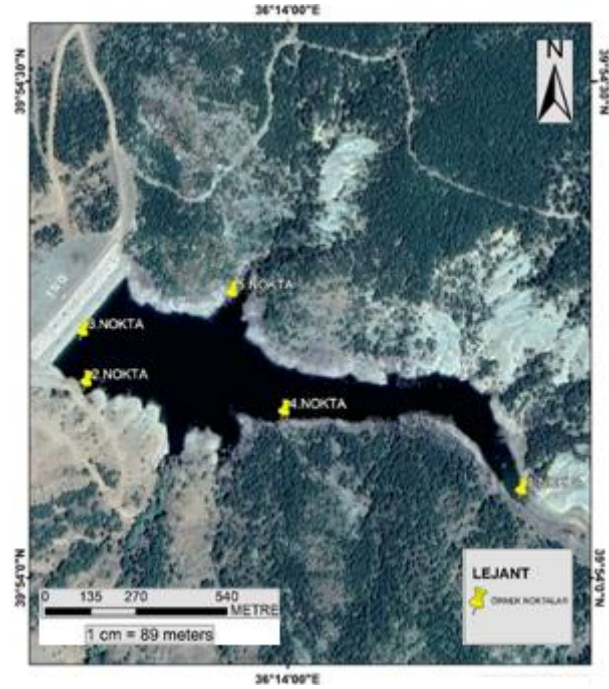
Bu çalışmada 2018 yılında sulama amacıyla inşa edilen Gündoğan Baraj Göletinin su kalitesi değerlendirilmiştir. Fizikokimyasal parametreler, ağır metal düzeyleri ve potansiyel kirletici kaynaklar analiz edilerek, suyun sulama amacıyla kullanım uygunluğu ortaya konulmuştur. Çalışmanın bulguları yalnızca yerel düzeyde değil aynı zamanda su stresi yaşayan ülkelerde sürdürülebilir su yönetimi stratejilerine katkı sunması bakımından önem arz etmektedir. Ayrıca bölgesel ölçekte yapılan bu tür detaylı çalışmalar küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının korunmasına yönelik politikalara da veri temelli katkı sağlayabilir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

Gündoğan Göleti; Yeşilirmak havzasında yer almakta olup Sivas ilinin Yıldızeli ilçesinde 1279 metre rakımda bulunmaktadır. Gölet 39°54'05"- 39°54'15"K paralelleri ile 36°13'40"- 36°14'15"D meridyenleri arasında bulunmakta olup su tutma kapasitesi 1,05 milyon m³'tür (Şekil 1). 2017 yılında hizmete alınan baraj 2.130 dekar arazinin sulanabilmesine imkân sağlamaktadır. Sivas iline ait mevsim normalleri incelendiğinde en fazla toplam yağış

miktarı Mayıs ayında 51,00 mm, en düşük toplam yağış miktarı Ağustos ayında 14,60 mm olarak ölçülürken ortalama sıcaklık değerleri 0,9- 24,3°C (Ocak-Ağustos) arasında değişiklik göstermektedir (Anonim, 2025b).



Şekil 1 Su örneklerinin alındığı istasyonlar
Figure 1. Stations where water samples were collected

Su Örnekleri ve Analizler

Su örnekleri göletin su kalitesini en iyi şekilde temsil edecek nitelikte belirlenen beş istasyondan Nisan 2019-Mart 2020 tarihleri arasında aylık olarak alınmıştır. Gölet suyunun sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik (EI) parametreleri örnekleme sırasında YSI 556 MPS çok parametrelilik cihaz ile ölçülmüştür. Su örneklerinin alınmasında asit ile ön yıkama yapılmış kaplar kullanılmış ve sonrasında su örnekleri kimyasal analizler için ısı yalıtımlı çanta ile laboratuvara taşınarak, analiz öncesinde (+) 4°C'de muhafaza edilmiştir (Mutlu & Uncumusaoğlu, 2024). Kalsiyum karbonat (HCO³⁻), sodyum (Na⁺), magnezyum (Mg²⁺), kalsiyum (Ca²⁺), klor (Cl⁻) ve potasyum (K⁺), parametreleri standart laboratuvar teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Demir (Fe²⁺), kurşun (Pb²⁺), bakır (Cu²⁺), cıva (Hg²⁺), nikel (Ni²⁺) ve çinko (Zn²⁺) gibi ağır metaller SpectroBlue ICP-OES cihazı ile ölçülmüştür (APHA, 1985; Mutlu & Uncumusaoğlu, 2024).

Elde edilen değerlere ait ölçü birimleri mg/l'den meq/l'ye dönüştürülmüş ve formülleri aşağıda (I) ile (IV) arasında belirtilen sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), yüzde sodyum oranı (%Na), kalıcı sodyum karbonatlar (RSC) ve ağır metal kirlilik indeksi (HPI) parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır (Eaton, 1950; Mohan ve ark., 1996; Richards, 1954; Wilcox, 1955;). Ayrıca toplam çözünür tuz içeriği (tuzluluk tehlikesi) ve özel iyon toksisiteyi gölete ait sulama suyu kalitesinin tespiti için değerlendirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 1'de belirtilen sulama suyu kriterlerine göre değerlendirilmiş ve gölet suyu bu kapsamda kategorize edilmiştir.

Çizelge 1. Sulama suyu kalite değerlendirme kriterleri

Table1. Irrigation water quality assessment criteria

Formüller	Açıklama	Tanımlama
$SAR = \frac{Na_{meq}^+}{\sqrt{\frac{Ca_{meq}^{+2} + Mg_{meq}^{+2}}{2}}} \text{ (Richards, 1954)}$	0-10 10-18 18-26 >26 <20	Mükemmel İyi Makul Uygun Değil Mükemmel
$\%Na = \frac{(Na_{meq}^+ + K_{meq}^+) \times 100}{(Na_{meq}^+ + Ca_{meq}^{+2} + Mg_{meq}^{+2} + K_{meq}^+)} \text{ (Wilcox, 1955)}$	20-40 40-60 60-80 <1,25	İyi İzin Verilebilir Kötü Güvenli
$RSC = (Alkanity \times 0,0333) - (Ca_{meq}^{+2} + Mg_{meq}^{+2}) \text{ (Eaton, 1950)}$	1,25-2,50 >2,50	Şüpheli Uygun Değil
$Q_i = \sum_{i=1}^n ([Mi - li]/Si - li) \times 100 \text{ HPI} = \sum Q_i W_i / \sum W_i \text{ (Mohan ve ark., 1996)}$	<100 >100 <750	Düşük kirlilik Yüksek kirlilik Yok
EC ($\mu S \text{ cm}^{-1}$) (Follett ve Soltanpour 2002; Bauder ve ark., 2011)	750-1500 1500-3000 3000-7500 <2	Kısmi zarar Orta seviyede zarar Şiddetli zarar Güvenli
Cl ⁻ (meq l ⁻¹) (Ludwick ve ark., 1990; Bauder ve ark., 2011)	2-4 4-10 >10	Kısmi zararlı Orta seviyede zarar Şiddetli zarar

İstatistiksel Analizler

Verilerin tanımlayıcı istatistikleri ve çoklu karşılaştırma testleri için IBM SPSS 23 programı kullanılmıştır. Veriler normal dağılım göstermediği için ortalamalar arası farklılıkların belirlenebilmesi amacıyla Kruskal-Wallis testi, post-hoc testi olarak Dunn testi uygulanmıştır (Howladar ve ark., 2021).

Araştırmada kullanılan harita ArcGIS Desktop 10.5 programında, radar diyagramları Origin Pro 2024 programında oluşturulmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Gündoğan göletinden temin edilen su örneklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2’de sunulmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda incelenen tüm parametreler açısından istasyonlar arasında anlamlı bir fark bulunmazken ($p > 0,05$), mevsimsel ve aylık değişimler arasında istatistiki olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$).

Göletin ortalama su sıcaklığı $9,24 \pm 5,60$ °C olarak belirlenirken en düşük sıcaklık şubat ayında, en yüksek sıcaklık ise eylül ayında ölçülmüştür. Yapılan benzer çalışmalarda Kutlu & Mutlu (2024) tarafından Şerefiye Barajı için ortalama su sıcaklığı $13,46$ °C olarak belirlenmiştir. Demir (2024) ise Van ilinde sulama amaçlı kullanılan göletler için ortalama su sıcaklığı değerlerini sırasıyla Oymaklı’da $13,20$ °C, Sağmal’da $13,80$ °C, Aşağı Tulgalı’da $13,97$ °C, Sırmalı’da $12,67$ °C ve Morçipek’ta $14,17$ °C olarak bildirmiştir. Su sıcaklığı arttıkça suyun oksijen tutma kapasitesi azalmakta ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu düşmekte, amonyak, nitrat, toplam azot ve kimyasal oksijen ihtiyacı gibi parametrelerde artış gözlemlenmektedir (Li ve ark., 2013). Gölet su sıcaklığının benzer çalışmalarda bildirilen değerlere kıyasla daha düşük olması içerdiği sucul ekosistemin oksijen ihtiyacının karşılanması açısından bir avantaj olarak

değerlendirilebilir. Ayrıca göletin su sıcaklığının yapılan benzer çalışmalar ile farklılık göstermesinin çalışmaların gerçekleştirildiği yıllarda ki iklimsel koşulların ve göletlerin bulunduğu lokasyonların farklı coğrafi özelliklerde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

pH, su kaynaklarındaki biyolojik aktivite ile yakından ilgili olduğu için önemlidir (Carr & Neary, 2008). Gündoğan Göleti’ne ait yıllık ortalama pH değeri $8,66 \pm 0,15$ olarak belirlenmiş ve göletin alkali yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu değer SWQR (2016)’da belirtilen sınır değerler arasında yer almakta ve göletin pH açısından su kalitesi standartlarını karşıladığını göstermektedir (Çizelge 2). Gölet suyunda ana anyon içeriği HCO_3^- ardından Cl^- olarak, katyon sıralaması $Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+$ olarak belirlenmiştir. Göletin pH değerindeki değişimde ana etkenin HCO_3^- içeriğinin olduğu ve aralarında yüksek düzeyde güçlü pozitif bir ilişki bulunduğu korelasyon analizi ile tespit edilmiştir ($r > 0,75$). Yapılan önceki çalışmalarda Kahramanmaraş Sır Baraj Gölü’nün pH değerinin $7,9-8,1$ arasında olduğu, Sivas Şerefiye Barajına ait pH değerinin $7,83-8,24$ arasında değiştiği bildirilmiştir (Demirkıran, 1998; Kutlu & Mutlu, 2024). Bu bulgular Gündoğan Göleti’nin pH düzeyinin bölgede aynı amaçla kullanılan su kaynaklarıyla benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Su kaynaklarında pH değerinin 6-9 aralığı dışına çıkması, sucul ekosistemi doğrudan etkileyebilmekte, bunun yanında pH amonyak, hidrojen sülfür ve çözünmüş metaller gibi su kalitesini etkileyen diğer değişkenlerle etkileşime girerek bu parametrelerin toksisite düzeylerinde önemli değişikliklere neden olabilmektedir (Sallenave, 2019). Bu nedenle özellikle kültür balıkçılığı yapılan göletlerde pH düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi hem su kalitesi hem sucul ekosistemin sağlığı açısından kritik öneme sahiptir.

Bikarbonat [HCO_3^-] parametresine ait yıllık ortalama değer $375,01 \pm 23,61$ mg/l olarak belirlenmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda [HCO_3^-] değerlerini Serder ve ark.

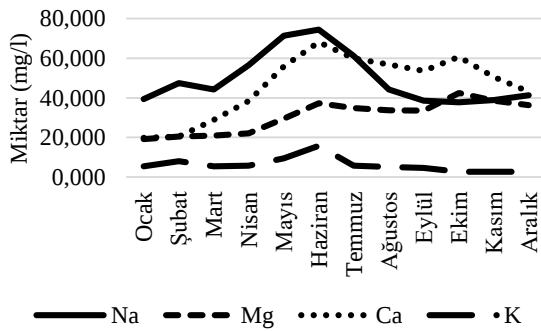
(2020) 107,1- 200,1 mg/l; Şimşek & Mutlu (2023) 342,32-407,28 mg/l ve Demir (2024) 88,19- 239,12 mg/l aralığında bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular söz konusu çalışmalarla genel olarak benzerdir. Sulama amaçlı sularda yüksek bikarbonat değerleri yapraklarda ve meyvede beyaz bir renklenmeye neden olabilmektedir (Ayers & Westcot, 1985). Bu nedenle $[HCO_3^-]$ değerinin sulama amaçlı sularda 610 mg/l'den az olması istenmektedir (Isaac ve ark., 2009). Bu kapsamda gölet suyunun bikarbonat içeriği sulama amaçlı kullanım için uygun bulunmuştur. Klorür parametresine ait yıllık ortalama değer ise $5,25 \pm 1,02$ mg/l olarak tespit edilmiştir. Bu değer WHO (2021)'de belirtilen 250 mg/l sınır değerinin oldukça altında yer almaktadır. Elde edilen bulgular Kutlu & Mutlu (2024) tarafından bildirilen 6,80-8,12 mg/l aralığıyla uyumlu ancak Serder ve ark. (2020) tarafından bildirilen 111,1- 227,3 mg/l aralığıyla karşılaştırıldığında Gündoğan Göleti'nin klorür içeriği oldukça düşüktür. Bununla birlikte Çizelge 1'de belirtilen sınır değerlere göre Gündoğan Göleti'nin klorür içeriği orta seviyede zararlı su kategorisinde belirlenmiş olup, kullanımı sırasında özellikle yapraklarda görülebilecek klorür zararının dikkatli takip edilmesi gerekmektedir (Zaman ve ark., 2018).

Yıllık ortalama sodyum (Na) konsantrasyonu $49,61 \pm 12,66$ mg/l olarak tespit edilmiş olup bu değer WHO

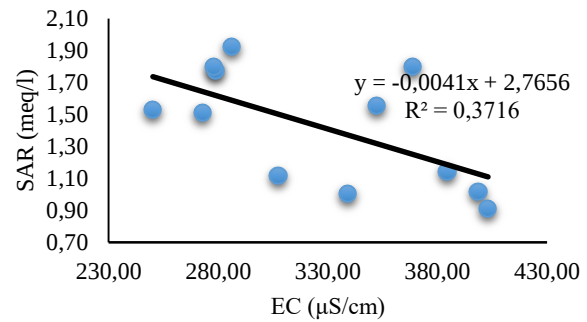
(2021)'de belirtilen 200 mg/l sınır değerinin oldukça altındadır. Isaac ve ark. (2009) sulama suyu kalitesi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada su kaynaklarının sodyum içeriğini 26,00-59,50 mg/l aralığında, Tokatlı (2020) ise Trakya Bölgesi baraj göllerine yönelik yapmış olduğu çalışmada 14,87- 71,17 mg/l aralığında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen sodyum konsantrasyonları Isaac ve ark. (2020) ve Tokatlı (2020) verileriyle uyumlu bulunmuştur. Kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) parametrelerine ait yıllık ortalama değerler sırasıyla $46,38 \pm 15,65$ mg/l, $30,76 \pm 7,80$ mg/l ve $6,11 \pm 3,53$ mg/l olarak tespit edilmiştir. Bu değerler WHO (2021)'de belirtilen sınır değerlerinin altındadır (Çizelge 2). Söz konusu bulgular Tokatlı (2020) ile Serder ve ark. (2020)'nin bildirilen değerleri ile karşılaştırıldığında belirli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların temel nedeninin göletlerin bulundukları bölgelerin jeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle alüminosilikatların ayrışması, kireçtaşı, manyezit, jips ve benzeri minerallerin çözünme düzeyleri suyun katyon içeriğini doğrudan etkileyebilmektedir (Arshad & Shakoor, 2017). Katyonların aylara göre değişimi Şekil 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Gölet suyuna ait tanımlayıcı istatistikler
Table 2. Descriptive statistics of pond water

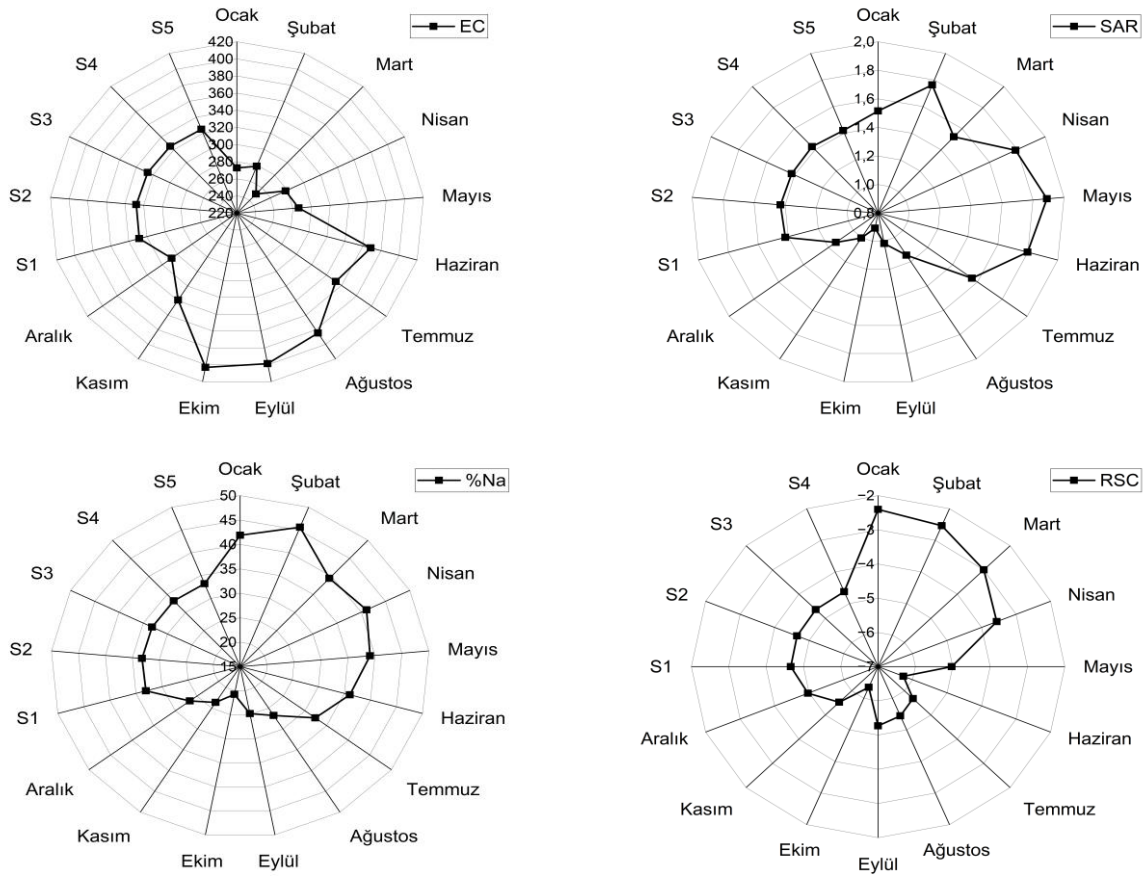
Parametreler	Min.	Maks.	Ortalama	Std. Sapma	SWQR (2016)	WHO (2021)
Sıcaklık (°C)	0,70	19,10	9,24	5,60	-	-
Ph	8,46	9,01	8,66	0,15	6-9	6,5-8,5
EC (µS/cm)	249,64	404,76	326,66	52,41	<400	<1500
Na (mg/l)	37,78	74,56	49,61	12,66	-	200
Cl (mg/l)	3,24	6,58	5,25	1,02	-	250
Ca (mg/l)	19,80	68,56	46,38	15,65	-	150
K (mg/l)	2,58	15,74	6,11	3,53	-	12
Mg (mg/l)	19,12	43,12	30,76	7,80	-	50
HCO_3^- (mg/l)	337,49	413,03	375,01	23,61	-	-
Fe (µg/l)	0,000	5,000	1,117	1,391	101	300
Pb (µg/l)	0,000	1,670	0,534	0,430	14	10
Cu (µg/l)	0,000	10,000	1,483	2,390	3,1	2000
Hg (µg/l)	0,001	0,006	0,002	0,001	0,07	6
Ni (µg/l)	2,000	4,000	2,183	0,537	34	70
Zn (µg/l)	0,000	13,000	3,483	3,833	231	3000



Şekil 2. Katyonların aylara göre değişimi
Figure 2. Monthly variation of cations



Şekil 3. SAR ve EC parametrelerine ait korelasyon ilişkisi
Figure 3. Correlation between SAR and EC parameters



Şekil 4. EC, SAR, %Na ve RSC değerlerinin istasyon ve aylara göre değişimi
Figure 4. Variation of EC, SAR, %Na and RSC values by stations and months

Toplam Çözünabilir Tuz İçeriği (µS/cm)

Gündoğan Göleti'nde elektriksel iletkenlik değeri (EC) en düşük mart, en yüksek ekim ayında ölçülmüş olup yıllık ortalama EC değeri $326,66 \pm 52,41$ µS/cm olarak tespit edilmiştir. Sulama sularında çözünmüş tuz içeriğinin bir göstergesi olarak kabul edilen EC değerine göre gölet suyu Follett & Soltanpour (2002) ve Bauder ve ark. (2011) tarafından bildirilen ve Çizelge 1'de belirtilen sınıflandırma tablosuna göre sulama amacıyla kullanımında herhangi bir zararı olmayan su kategorisinde yer almaktadır (<750 µS/cm). WHO (2021)'ya göre gölet suyu sınır değerler altında yer alırken (<1.500 µS/cm), SWQR (2016)'ye göre ekim ayı hariç tüm aylarda I. sınıf (çok iyi kalitede su) sınıfında belirlenmiştir (<400 µS/cm). Isaac ve ark. (2009), Şimşek ve Mutlu (2023) ve Demir (2024) yapmış oldukları çalışmalarda EC değerlerini sırasıyla 260-1370 µS/cm; 284,60- 443,61 ve 226-769 µS/cm arasında bildirilmişlerdir. Çalışmada elde edilen bulguların söz konusu çalışmalarla genel olarak uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek tuzluluk, agregat parçalanmasını azaltarak toprağa suyun geçişini artırmaktadır. Sodyum içeriğinden bağımsız olarak düşük tuz içeriğine sahip (<200 µS/cm) yağmur suyu gibi sular toprak yapısını bozarak kabuklanmaya neden olabilmekte ve suyun geçişini olumsuz etkileyebilmektedir (Zaman ve ark., 2018). Bu nedenle sulama suyu kalitesi değerlendirilirken elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) birlikte değerlendirilmelidir. Yapılan çalışmada Şekil 3'te belirtildiği üzere EC ile SAR arasında negatif yönlü orta

seviyede bir ilişki tespit edilmiştir ($r = -0,61$). Buna karşın Isaac ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise bu iki parametre arasında pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada gözlenen negatif ilişkinin, gölet suyunun kalsiyum ve magnezyum içeriğinin sodyum içeriğine göre daha fazla artmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum EC değerinin yükselmesine karşın SAR değerinin düşmesine neden olmaktadır (Şekil 3).

Çalışmada elde edilen EC ve SAR değerleri, modifiye edilmiş ABD Toprak Tuzluluk Laboratuvarı (USSL) sınıflandırma tablosuna göre gölet suyunun C2-S1 sınıfında yer aldığını göstermektedir. Bu sınıfta yer alan sular, orta düzeyde tuza toleransı olan bitkilerin yetiştirilmesinde tuzluluk kontrolü için herhangi bir kontrol ihtiyacı olmaksızın kullanılabilir. Ancak kayısı, şeftali gibi sert çekirdekli meyveler ve avokado gibi sodyuma duyarlı ürünlerin sulanmasında özellikle sodyum konsantrasyonlarının dikkatle izlenmesi gerekmektedir (Tüzüner, 1990).

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulama sularında sodyum tehlikesi, genellikle sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ile değerlendirilmektedir. Çalışmada yıllık ortalama SAR değeri 1,42 olarak belirlenmiş olmakla birlikte en düşük SAR değeri 0,91 ile ekim ayında, en yüksek SAR değeri 1,92 ile Mayıs ayında tespit edilmiştir. Richards (1954)'e göre elde edilen değerler mükemmel olarak sınıflandırılmıştır. SAR değerlerinin istasyonlara ve aylara göre değişimi Şekil 4'te

sunulmuştur. Demirkıran (1998) tarafından Kahramanmaraş Sır Baraj Gölü için SAR değerleri 1,9-2,2 aralığında, Ehya & Moghadam (2017) tarafından Maroon Nehri için SAR değerleri 2,39- 14,25 aralığında, Kutlu & Mutlu (2024) tarafından ise Sivas Şerefiye Barajı için yıllık ortalama SAR değeri 1,73 olarak bildirilmiştir. Elde edilen bulgular Demirkıran (1998) ve Kutlu & Mutlu (2024)'nın bildirmiş olduğu değerler ile uyumlu, Ehya & Moghadam (2017)'dan farklı bulunmuştur. Topraktaki yüksek sodyum birikimi, toprağın fiziksel yapısının bozulmasına, agregatların dağılmasına ve geçirgenliğin azalmasına neden olmakta ve bu durum özellikle bitki köklerinin su alımını zorlaştırarak fizyolojik kuraklık oluşumuna yol açabilmektedir (Zaman ve ark., 2018). Ayrıca sodyum iyonları topraktaki değişebilir kalsiyum ve magnezyumun yerini alarak kil mineralleri etkileşimi ile toprağın işlenebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Arshad & Shakoor, 2017). Bu nedenle SAR değerinin 10 meq/l seviyesini aşmaması hem bitki sağlığı hem toprak yapısının korunması açısından önemlidir (Zaman ve ark., 2018).

Sodyum Yüzdesi (%Na)

Sulama sularında sodyumun potansiyel zararını belirlemek amacıyla uygulanan analizlerden bir tanesi de sodyum yüzdesidir. Bu değer 60'ın altında tercihen ise 40'ın altında olması gerektiği, bu değerlerin aşılması durumunda toprağın yapısında bozulmalar ve bitkisel gelişimde olumsuzluklar görülebileceği bildirilmektedir (Wilcox, 1955). Ancak toprağın katyon değiştirme kapasitesi ve sulama suyunun tuz konsantrasyonuna bağlı olarak sodyum yüzdesi değerinin 50'nin üzerinde tespit edildiği su kaynaklarının da tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Ayyıldız, 1983). Bu çalışmada yıllık ortalama %Na değeri %33,17 olarak belirlenmiştir. En yüksek değer şubat ayında (%45,60), en düşük değer ise ekim ayında (%20,77) tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu değerlere göre gölet suyu ocak, şubat ve nisan aylarında "izin verilebilir", diğer aylarda ise "iyi" sınıfında değerlendirilmiştir. Çalışma bulguları Ehya & Moghadam (2017) tarafından bildirilen 19,41- 44,77 aralığındaki %Na değerleri ile Kutlu & Mutlu (2024)'ün bildirdiği %31,08 ortalama %Na değeri ile uyumlu bulunmuştur. Bu durum gölet suyunun tarımsal sulama için genel olarak uygun nitelikte olduğunu ancak özellikle sodyuma hassas bitki türlerinin yetiştirileceği dönemlerde dikkatli olunması gerektiğini bir kez daha göstermektedir.

Kalıcı Sodyum Karbonatlar (RSC)

Kalıcı sodyum karbonat (RSC), toprakta sulama faaliyetlerinden kaynaklı sodyum oranının artma ihtimalini önceden tespit edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Çizelge 1'de belirtilen denkleme göre elde edilen değer pozitif ise bu durum ortamda hala karbonat ve bikarbonatın var olduğunu ve bu bileşiklerin sodyum ile birleşme eğilimi göstererek eriyebilirliği sınırlı olan sodyum bikarbonat (NaHCO_3) oluşacağını bildirmektedir. Eğer sonuç negatif ise bu durumda sodyum bikarbonat oluşma ihtimali bulunmadığından sodyumun olumsuz etkisinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmamaktadır (Yurtseven, 2016). Çalışmada RSC değerleri -2,40 ile -6,27 arasında değişmekle birlikte yıllık ortalama -4,67 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu sonuçlar Ehya & Moghadam

(2017) tarafından bildirilen -0,85 ile -12,99 aralığındaki değerler ile uyumlu ve Kutlu & Mutlu (2024)'ün bildirdiği -257,1 ortalama değeri ile farklı bulunmuştur. Elde edilen negatif değerler gölet suyunun sulama amaçlı kullanımında toprak yapısı üzerinde olumsuz etki oluşturma potansiyelinin düşük olduğunu göstermektedir.

Ağır Metal Kirlilik İndeksi (HPI)

Ağır metaller kuyular, akarsular, göl ve göletler gibi kaynakların içme suyu olarak kullanılmasıyla insan vücuduna girebilmekte ve sağlık otoritelerince izin verilen sınır değerlerin üzerinde bir kirlilik söz konusu olduğunda ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedir (Priti & Paul, 2016). Sulama, pestisit ve gübre kullanımı gibi tarımsal faaliyetler ile endüstriyel ve evsel atıklar toprakta ve su kaynaklarında ağır metal birikimine neden olabilmekte, bu dönemde yetiştirilecek tarımsal ürünler ise toprakta ve sulama suyundaki ağır metalleri bünyelerinde biriktirme eğiliminde bulunmaktadır (Doğan, 2003). Bu nedenle sulama sularında ağır metal kirliliğinin takibi büyük önem taşımaktadır.

Yapılan analizler sonucunda Gündoğan Göleti'ne ait yıllık ortalama demir (Fe), kurşun (Pb), bakır (Cu), cıva (Hg), nikel (Ni) ve çinko (Zn) konsantrasyonlarının SWQR (2016) ve WHO (2021) tarafından belirtilen sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Ağır metallerle ait aylık maksimum değerlerin genel olarak ilgili standartlar içerisinde kaldığı ancak bakır elementine ait mayıs ve haziran ayı değerlerinin SWQR (2016) belirtilen limitin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durumun ana nedeninin uygulanan bakır bazlı pestisit ve gübre uygulamalarının yüzey ve yeraltı sularına karışması sonucunda gölet rezervuarında birikmesiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bakır bazlı pestisitler genellikle bitkilerde bakteriyel ve fungal hastalıklar ile mücadele etmek amacıyla kullanılmakta olup (Neaman ve ark., 2024), Bu uygulamaların göletin bakır içeriğini geçici olarak artırabileceği öngörülmektedir. Ayrıca rezervuar havzasında yer alan toprakların doğal olarak yüksek bakır içeriğine sahip olması durumunda, yağış kaynaklı erozyon ve taşınım süreçleriyle birlikte göletin bakır içeriğinin artabileceği değerlendirilmektedir. Nitekim Kutlu ve ark. (2024) yapmış oldukları bir çalışmada yüzey sularındaki bakır konsantrasyonunun WHO (2011) sınır değerleri içerisinde olduğunu ancak sedimentte belirli bölgelerde bakır konsantrasyonunun birikim gösterdiğini bildirmişlerdir. Söz konusu çalışmada bu birikimin büyük ölçüde litojenik kökenli olduğu ifade edilirken, gübre ve pestisit kullanımı gibi tarımsal faaliyetler ile yerleşim alanlarından kaynaklanan evsel atıklar, sanayi ve madencilik faaliyetlerinin de bu birikimine neden olabileceği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada hesaplanan ağır metal kirlilik indeksi (HPI) 13,73 olarak belirlenmiştir. Bu değer Çizelge 1'de belirtilen sınıflandırmaya göre gölet suyunun "düşük kirlilik" düzeyinde olduğunu göstermekte ve sulama amaçlı kullanımının uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bu çalışmada Gündoğan Göleti'nden bir yıl boyunca aylık olarak alınan su örnekleri değerlendirilmiş ve elde edilen

sonuçlar SWQR (2016) ve WHO (2021) rehberlerinde belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Gölet suyunun genel olarak sulama amaçlı kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir.

- İncelenen parametrelerden bakır (Cu^{+2}) elementi mayıs ve haziran aylarında sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Bakır değerlerindeki bu artışın ana nedeninin tarımsal faaliyetler gibi antropojenik etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak çalışma kapsamında pestisitler, diğer tarım kimyasalları veya bölgenin toprak özellikleri ile su kalitesi arasındaki ilişki analiz edilmediğinden potansiyel kirlilik kaynaklarının kapsamlı bir şekilde ortaya konulması sınırlı kalmaktadır.
- Sulama suyunun sodyum kaynaklı zarar oluşturma potansiyeli SAR, %Na, RSC gibi parametrelerle değerlendirilmiş ve söz konusu değerlerin tamamının kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı görülmüştür.
- Göletin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri de sulama için herhangi bir olumsuzluk oluşturmayacak düzeyde bulunmuştur.
- Klorür (Cl^-) içeriğinin bazı hassas bitkilerde zarar oluşturabileceği göz önünde bulundurularak bu parametrenin düzenli aralıklarla izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Hesaplanan ağır metal kirlilik indeksi (HPI) değeri, gölet suyunun düşük kirlilik seviyesinde yer aldığını ve bu yönüyle sulama amacıyla kullanım açısından bir risk taşımadığını göstermiştir.

Su kalitesinin daha kapsamlı izlenebilmesi amacıyla daha uzun sürede mevsimsel periyotlarla çalışmalar programlanarak bu çalışmalara pestisit ve toprak içeriğinin belirlenmesine yönelik analizlerin dahil edilmesi faydalı olacaktır.

Declarations

Ethical Approval Certificate

Araştırma kapsamında Etik Onay Belgesi gerekmemektedir. Araştırma kapsamında hayvan deneyleri bulunmamaktadır.

Author Contribution Statement

E.M.: Çalışmanın tasarlanması, verilerin toplanması, analizi ve incelemesi, orijinal taslağın hazırlanması ve gönderilmesi

E.S.Ö.: İstatistiksel analizler, verilerin yorumlanması ve orijinal taslağın hazırlanması ve gönderilmesi

Fund Statement

Bu çalışma herhangi bir kurum/organizasyon tarafından fonlanmamıştır.

Conflict of Interest

“Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.”

Acknowledgments

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğüne Teşekkür Ederiz.

Kaynaklar

- Anonim (2020). <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>. Erişim Tarihi: 27.02.2025.
- Anonim (2024). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2024-53783>. Erişim Tarihi: 27.02.2025.
- Anonim (2025a). <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement#1>. Erişim Tarihi: 05.03.2025.
- Anonim (2025b). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>. Erişim Tarihi: 04.03.2025.
- APHA (American Public Health Association) (1985). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th Edn. Washington DC: APHA.
- Arshad, M., & Shakoor, A. (2017). Irrigation water quality. *Water Int*, 12(1-2), 145-160.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*.
- Ayyıldız, M. (1983). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. *A.Ü. Ziraat Fak. Yay.*
- Bauder TA., Waskom R. M., Sutherland PL, & Davis J. G. (2011) Irrigation water quality criteria. *Colorado State University Extension Publication*,
- Carr, G. M., & Neary, J. P. (2008). Water quality for ecosystem and human health. *UNEP/Earthprint*.
- Demir, M. (2024). Water Quality Characteristics of Some Ponds in Van (Türkiye) Province. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.46384/jmsf.1391707>
- Demirkıran, A. R. (1998). Determination of RSC and PI values in some irrigation waters of Kahramanmaraş grassy plain. *M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil, Menemen-İzmir, Turkey, Proceeding Book pp. 620-623*.
- Doğan, M. (2003). Şanlıurfa'da Karakoyun Deresi atık suları ile sulanan soğanda (*Allium cepa* L.) toksik element birikimi üzerine bir araştırma. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12(48), 1-3.
- Eaton, F. M. (1950). Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil science*, 69(2), 123-134. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-195002000-00004>
- Falkenmark, M., Lundqvist, J., & Widstrand, C. (1989). “Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: Aspects of vulnerability in semi-arid development”. *Natural Resources Forum* 13 (4): 258–267. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x>
- Follett, R. H., & Soltanpour, P. N. (1985). Irrigation water quality criteria. *Colorado State University Extension Service*.
- Griffin, R. C. (2016). Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects. *MIT press*.
- Howladar, M. F., Chakma, E., Koley, N. J., Islam, S., Al Numanbakh, M. A., Ahmed, Z., ... & Akter, S. (2021). The water quality and pollution source assessment of Surma river, Bangladesh using, hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods. *Groundwater for sustainable development*, 12, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100523>
- Isaac, R. K., Khura, T. K., & Wurmbbrand, J. R. (2009). Surface and subsurface water quality appraisal for irrigation. *Environmental monitoring and assessment*, 159, 465-473. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0643-5>
- Kutlu, B., & Mutlu, E. (2024). Evaluation of the Şerefiye (Zara-Sivas) Dam According to Water Quality Indexes. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(2), 1-12. <https://doi.org/10.58626/menba.1479473>
- Kutlu, B., Çevik, F., & Çetindağ, S. (2024). Assessments of heavy metal contaminations of surface water and sediment of Pülümür Stream (Türkiye). *Environmental Forensics*, 26(1), 107-121. <https://doi.org/10.1080/15275922.2024.2330024>

- Küçük, N., Doğan, H. P., & Aydoğdu, M. H. (2022). Sektörler Arası Su Rekabeti ve Harran Ovası Tarım İşletmelerinin Sulama Algısı Üzerine Bir Araştırma. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(83), 1343-1357. <https://doi.org/10.17755/esosder.1073491>
- Li, H. Y., Xu, J., & Xu, R. Q. (2013). The effect of temperature on the water quality of lake. *Advanced Materials Research*, 821, 1001-1004. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.821-822.1001>
- Ludwick, A. E., Campbell, K.B., Johnson R. D., McClain L. J., Millaway R.M., Purcell S.L., Phillips I. L., Rush D. W., Waters J. A., (eds) (1990) Water and plant growth. In: Western Fertilizer Handbook – horticulture Edition (pp 15–43), *Interstate Publishers Inc.*
- Mohan, S. V., Nithila, P., & Reddy, S. J. (1996). Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 31(2), 283-289. <https://doi.org/10.1080/10934529609376357>
- Mutlu, E. (2019). Evaluation of spatio-temporal variations in water quality of Zerveli stream (northern Turkey) based on water quality index and multivariate statistical analyses. *Environmental monitoring and assessment*, 191(6), 335. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7473-5>
- Mutlu, E. (2021). Determination of seasonal variations of heavy metals and physicochemical parameters in Kildir pond (Yildizeli-Sivas). *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(6), 5773-5780.
- Mutlu, E., & Uncumusaoglu, A. A. (2024). Research on Water Quality for Evaluation Using the Water Quality Index and Multivariate Statistical Approach of Evrenye Stream (Kastamonu, Türkiye). *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/192355>
- Neaman, A., Schoffer, J. T., Navarro-Villarroel, C., Pelosi, C., Peñaloza, P., Dovletyarova, E. A., & Schneider, J. (2024). Copper contamination in agricultural soils: A review of the effects of climate, soil properties, and prolonged copper pesticide application in vineyards and orchards. *Plant, Soil & Environment*, 70(7). <https://doi.org/10.17221/501/2023-PSE>
- Priti, P., & Paul, B. (2016). Assessment of heavy metal pollution in water resources and their impacts: A review. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 3(8), 671-675.
- Richards, L. A. (Ed.). (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). *US Government Printing Office*. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-195408000-00012>
- Sallenave, R. (2019). Understanding Water Quality Parameters to Better Manage Your Pond. *New Mexico State University Cooperative Extension Service*. Serder, M. F., Islam, M. S., Hasan, M. R., Yeasmin, M. S., & Mostafa, M. G. (2020). Assessment of coastal surface water quality for irrigation purpose. *Water Practice & Technology*, 15(4), 960-972. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.070>
- Simsek, A., & Mutlu, E. (2023). Assessment of the water quality of Bartın Kışla (Kozcagız) Dam by using geographical information system (GIS) and water quality indices (WQI). *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26568-3>
- SWQR (2016) Turkey surface water quality management regulation. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16806&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Şener, Ş., Şener, E., & Varol, S. (2020). Hydro-chemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey). *Environmental pollution*, 266, 115214. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115214>
- Şimşek, O., & Aydınbaş, G. (2025). Su Tüketimi ile Tarım, Sanayi, Turizm Sektörleri İlişkisi Üzerine Panel Nedensellik Analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 26(1), 205-231. <https://doi.org/10.31671/doujournal.1465481>
- Tokatlı, C. (2020). Application of water quality index for drinking purposes in dam lakes: A case study of thrace region. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(1), 393-402.
- Türkeş, M. (2021). Türkiye'nin su iklimi, iklim değişikliği ve 2019-2020 kuraklığı. *EKOİQ*, 92, 90-97.
- Tüzüner, A. (1990). Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı. *Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara*.
- Wilcox, L. (1955). Classification and use of irrigation waters (No. 969). *US Department of Agriculture*.
- World Health Organization. (2021). A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality (Second Edition). *World Health Organization*.
- Yılmaz, M. (2015). Ortadoğu'da su sorunu kapsamında Türkiye'nin Sınırtaş sularının jeopolitik önemi. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi*.
- Yurtseven, E. (2016). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk. *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Açık Ders Malzemeleri*. <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=212>. Erişim Tarihi: 12.05.2025.
- Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. *Springer Nature*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>