



Araştırma Makalesi
(Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2021, 58 (1): 285-294

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.750813>

Ataman Altuğ ATICI ^{1*} 

Ahmet SEPİL ¹ 

Fazıl ŞEN ¹ 

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bölümü, Van/Türkiye

*İletişim (correspondence) e-posta: atamanaltug@yyu.edu.tr

Van Gölü havzası tuzlu sularının su kalitesi özellikleri ve ağır metal kirlilik indeksinin belirlenmesi

Water quality properties and heavy metal pollution index of saline waters in Van Lake basin

Alınış (Received): 10.06.2020

Kabul Tarihi (Accepted): 27.11.2020

ÖZ

Amaç: Van Gölü Havzası kapalı bir havza konumunda olup, içerisinde birçok tuzlu su kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışmada Van Gölü Havzası içerisinde yer alan Van Gölü dışındaki diğer tuzlu su kaynaklarının özellikleri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Çalışmada 7 noktada 2019 yılında Temmuz ayı içerisinde multimedre ile ölçümler yapılmış, su örneklerinde ağır metal kirlilik indeks değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca titrimetrik analizler ile nitrit, nitrat, amonyum azotu, fosfat, sülfat, florür, siyanür, bulanıklık, askıda katı madde ve silisyum analizleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ilgili su kalite yönetmeliklerine göre değerlendirilmiştir.

Araştırma Bulguları: Çalışmada sıcaklık, çözünmüş oksijen, tuzluluk, elektriksel iletkenlik ve pH ortalama değerleri sırasıyla 23.5±1.8 (13.8-27.4)°C, 11.36±1.56 (6.91-17.70) mg/L, ‰3.67±1.47 (0.71-12.16), 6452.4±2350.0 (1087.0-19730.0) µS/cm ve 9.02±0.50 (6.21-10.13) olarak ölçülmüştür. Ağır metallerden bakır, kadmiyum, kurşun ve selenyum belirlenmezken, diğer ağır metal ortalama seviyeleri Mo> Mn > Al > Zn > Fe > Cr > Co > Ni > As şeklinde olmuştur. Ağır metal kirlilik indeks ortalama değeri ise 147.4±25.2 hesaplanmıştır.

Sonuç: Su örnekleri ağır metal indeksi (HPI) kalite sınıfına göre genel olarak "kullanılamaz su" sınıfında yer almıştır. Sonuçlara göre "mükemmel" sınıfta örnek noktası yer almazken, N1 "iyi" sınıfta yer alan tek nokta olmuştur. N2, N3, N4, N5, N6 ve N7 noktaları "kullanılamaz su" sınıfında yer almıştır.

Anahtar sözcükler: Ağır metal kirlilik indeksi, su kalitesi, su kirliliği, Van Gölü Havzası

Keywords: Heavy metal pollution index, water quality, water pollution, Van Lake Basin

ABSTRACT

Objective: Van Lake Basin is in a closed basin, and there are many saline water sources. In this study, the characteristics of other saline water sources were investigated outside Van Lake.

Material and Methods: In the study, measurements were made with multimeter at 7 points in July 2019, and heavy metal pollution index values were calculated. In addition, nitrite, nitrate, phosphate, phosphorus, sulfate, fluoride, cyanide, turbidity, total suspended solids and silicon analysis were also performed with titrimetric analyses. The results obtained were evaluated according to the relevant water quality regulations.

Results: The average temperature as 23.5±1.8 (13.8-27.4) °C, dissolved oxygen (DO) 11.36±1.56 (6.91-17.70) mg L⁻¹, salinity 3.67±1.47‰ (0.71-12.16), electrical conductivity (EC) 6452.4±2350.0 (1087.0-19730.0) µS cm⁻¹ and pH 9.02±0.50 (6.21-10.13) were measured. The concentration of copper, cadmium, lead and selenium from heavy metals were not determined. The heavy metals from the highest value to the lowest one were Mo> Mn> Al> Zn> Fe> Cr> Co> Ni> As. The average value of heavy metal pollution index (HPI) determined by heavy metal results was calculated as 147.4±25.2.

Conclusion: Saline water samples are generally classified as "unsuitable water" according to HPI quality class. N1 was the only station in the "good" class. The sample points of N2, N3, N4, N5, N6 and N7 are included in the "unsuitable water" class.

GİRİŞ

Dünya çapında, yakın gelecekte kaliteli tatlı suyun kıtlaşmaya başlaması endişesi nedeniyle birçok ülke son on yılda ekonomilerini su kalitesi izleme programlarına ayırmaya başlamışlardır (Debels et al., 2005). Bununla birlikte ülkemizdeki su kaynaklarının eşit dağılmaması, mevcut kuraklıklar ve bazı havzalarda suyun etkin kullanımı konusunda tarımsal faaliyetler üzerindeki baskıyı oldukça arttırmıştır (Akkuzu & Pamuk Mengü, 2012).

Deniz ve okyanuslar, akarsular, göller ve buzullar yeryüzündeki en büyük su kaynakları olup, büyük bir bölümü tuzlu su veya buzul halindedir. Kullanılabilir tatlı su miktarı oldukça az ve sınırlı olup, sahip olduğu su kalitesi suyun bütün kullanım amaçlarını etkilemektedir. Yeryüzünde kullanılacak suyun sınırlı olması ve teknolojinin ilerlemesiyle insanların su ihtiyaçlarının artması temiz ve kullanılabilir su kaynaklarına olan baskıyı arttırmaktadır (Heathcote, 1998). Bu nedenle su kalitesiyle ilgili ölçütlerin temel amacı içme suyunda halk sağlığını tehlikeye düşürebilecek bazı olumsuzlukların arındırılmasının yanında, su ürünleri üretimi, tarımsal üretim ve sanayi faaliyetlerinde kullanılan suyun kalitesini belirlemeye yöneliktir. Sağlığa zararlı bazı maddelerden suyun arındırılması, halk sağlığını tehlikeye düşürebilecek sonuçların engellenebilmesi açısından özellikle önem taşımaktadır (WHO, 2011; Najah et al., 2009).

Bir ülkede kullanılan toplam su miktarı, geleneksel olarak, içme-kullanma, endüstri ve tarım sektörlerinde tüketilen suyun toplamı olarak karışımımıza çıkmaktadır. Bu nedenle ülkelerin su talebi ve hedefleri farklı sektörlerdeki üretim süreçlerinde kullanılan su miktarlarından hesaplanmaktadır.

Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu'da Van ve Erçek Gölü yağış alanlarından oluşan kapalı bir havza olmasına rağmen, su kaynakları bakımından oldukça zengindir. Havzada başta Van, Erçek, Nazik, Nemrut, Aygır ve Arin doğal gölleri, Sarımeşmet, Koçköprü, Zerne ve Morgedik baraj gölleri, çok sayıda gölet ile Bendimahî, Deliçay, Zilan, Karasu, Engil, Güzeldere, Karmuç, Sapur, Akköprü, Kurubaş ve Memedik dereleri bulunmaktadır. Havzadaki bu su kaynaklarından balıkçılık, enerji üretimi, sulama, taşıma, içme ve kullanma suyu ve turizm amaçlı yararlanılmaktadır (Çetinkaya, 1993).

Bu çalışmada Van Gölü Havzası içerisinde yer alan Van Gölü dışındaki diğer tuzlu su kaynaklarının özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında alınan su örneklerinde ağır metal ve diğer kimyasal parametreler incelenmiştir. Ağır metal sonuçları üzerinden ağır metal kirlilik indeksi (HPI) hesaplanmış ve HPI kalite sınıfına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca su örneklerinde diğer su kalitesi parametreleri de incelenmiş, sonuçlar su kalitesi ile ilgili yönetmeliklerde yer alan değerlere göre yorumlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Su örnekleri 2019 yılında Temmuz ayında Van Gölü Havzası içerisindeki elektriksel iletkenlik değerleri 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve üzeri olan 7 farklı noktadan tek örnekleme yapılarak alınmıştır (Şekil 1). Örnekleme noktalarında sıcaklık, çözülmüş oksijen (ÇO), tuzluluk, elektriksel iletkenlik (EI) ve pH değerleri HACH HQ 40d marka multimetre cihazı ile bulanıklık ise HACH 2100Q marka turbidimetre cihazı ile ölçülmüştür.

Kimyasal parametrelerden kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik, toplam alkalinite, karbonat, bikarbonat miktarı titrimetrik yöntemlerle belirlenirken (APHA, 1995), nitrit, nitrat, amonyak, fosfor, sülfat, siyanür, florür, silisyum ve askıda katı madde (AKM) analizleri HACH LANGE DR 5000 spektrofotometre cihazında HACH Standart metotlarıyla ve hazır su analiz kitleri kullanılarak yapılmıştır. Ağır metaller analizleri Thermo marka X SERIES 2 model ICP-OES cihazında analiz edilmiştir.

Ağır metal kirlilik indeksi (HPI), ağır metal değerleri üzerinden su kalitesinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Eşitlik 1'de Mohan et al. (1996) tarafından önerilen formülden HPI değeri hesaplanmıştır;

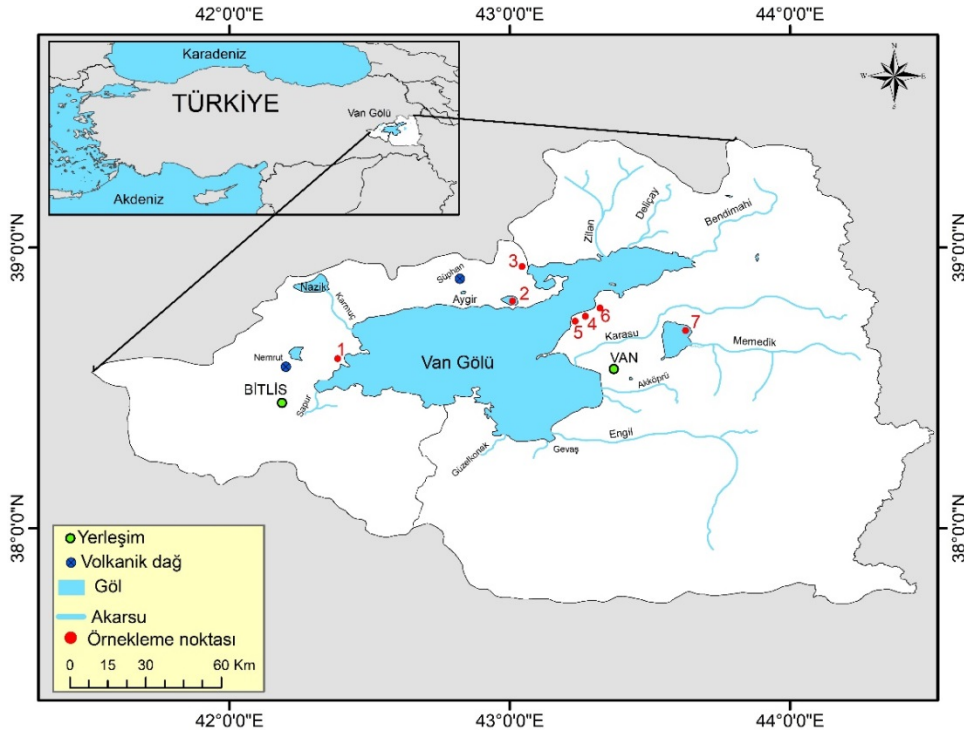
$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad 1$$

burada W_i değeri S_i üzerinden hesaplanan birim ağırlık değerini, S_i ise yönetmeliklerde izin verilen en yüksek değeri ifade etmektedir. Eşitlik 2'de ise Q_i alt indeks değeri hesaplanmaktadır;

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - I_i|}{S_i - I_i} \times 100 \quad 2$$

burada M_i değeri analiz edilen ağır metal değerini, S_i yönetmeliklerde izin verilen en yüksek değeri ve I_i ise yönetmeliklerde belirtilen ideal ağır metal değerini ifade etmektedir.

Elde edilen veriler; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ve Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (YSKYY)'nde yer alan Kıtaçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri, Türkiye İçme Suyu Standardı (TS 266), Avrupa Birliği Direktifi (AB), İngiltere İçme Suyu Kalite Kriterleri (UK), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve HPI'ya göre değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Ölçümlerin yapıldığı ve su örneklerinin alındığı örnekleme noktaları; 1.Tatvan-Kıyıdüzü, 2.Arin Gölü, 3.Heybeli (Norşin) Gölü, 4.Ayanis-I.sazlık, 5.Ayanis-II.sazlık, 6.Amik sazlığı, 7.Erçek Gölü.

Figure 1. Map of the Van Lake Basin with sampling stations; 1.Tatvan-Kıyıdüzü, 2.Arin Lake, 3.Heybeli (Norşin) Lake, 4.Ayanis-1st reeds, 5.Ayanis-2nd reeds, 6.Amik reeds, 7.Erçek Lake.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Örnekleme noktalarındaki ölçüm değerleri

Su örneklerine ait yerinde ölçümlerde elde edilen değerler Çizelge 1'de, ICP-OES ve spektrofotometre cihazında yapılan analizler ile titrimetrik olarak yapılan kimyasal analizlerin sonuçları ise Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir. Ayrıca bütün parametrelerin minimum, maksimum, ortalama değerleri ve standart hataları Çizelge 5'te yer almaktadır. Bakır, kadmiyum, kurşun ve selenyum değerleri sıfır çıktığı için sonuçlar çizelgede verilmemiştir.

Sıcaklık ortalama değeri 23.5 ± 1.8 °C olurken, en düşük sıcaklık N1'de 13.8 °C, en yüksek ise N2'de 27.4 °C ölçülmüştür. Sıcaklık bakımından sular SKKY (2004) ve YSKYY(2012)'ye göre I. sınıf ve TS 266'ya göre müsaade edilebilecek maksimum değerler içinde yer almıştır. Ayrıca ortalama sıcaklık bakımından AB ve UK içme suyu kalitesi standartlarına uygun değerlerde olduğu belirlenmiştir (Tebbutt, 1998; TSE, 2005). Çözünmüş oksijenin örnekleme noktalarına göre ortalama değeri 11.36 ± 1.56 mg/L, en düşük ve en yüksek çözünmüş oksijen değerleri ise sırasıyla N1'nde 6.91 mg/L ve N3'de 17.70 mg/L olarak ölçülmüştür (Çizelge 1). N3 noktasında, yüzey alanın sürekli rüzgar alması çözünmüş oksijen değerinin yüksek çıkmasında etkili olmuştur. Su örnekleri havzada genel olarak SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'ye göre I. sınıf değerler içinde yer almıştır.

Çizelge 1. Örnekleme noktalarında yapılan ölçümler

Table 1. The saline water sample results obtained based on in situ measurements

İstasyon Numaraları	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	Eİ (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	pH	Bulanıklık (NTU)	AKM (mg/L)
N1.	13.8	6.91	1087.0	0.71	6.21	0.76	0.0
N2.	27.4	14.50	4880.0	2.49	9.44	17.9	10.0
N3.	25.7	17.70	7730.0	4.18	9.07	14.4	2.0
N4.	22.1	7.33	2430.0	1.32	10.13	1.73	0.0
N5.	24.5	13.91	4900.0	2.61	9.86	1.74	6.0
N6.	27.2	10.84	4410.0	2.24	8.80	8.25	1.0
N7.	23.6	8.32	19730.0	12.16	9.60	29.10	0.0

*Örnekleme noktaları: 1.Tatvan-Kıyıdüzü, 2.Arın Gölü, 3.Heybeli (Norşin) Gölü, 4.Ayanis-1.Sazlık, 5.Ayanis-2.Sazlık, 6.Amik sazlığı, 7.Erçek Gölü.

Havza genelinde tuzluluk ortalama değerleri $\%3.67 \pm 1.47$, en düşük ve en yüksek tuzluluk değeri ise sırasıyla N1'de $\%0.71$ ve N7'de $\%12.16$ olarak ölçülmüştür. Eİ, suda çözünmüş bütün anyon ve katyonların toplam miktarına bağlı olup, suyun iyon zenginliği hakkında bir fikir verir (Güler, 1997). Eİ ortalama değeri 6452.4 ± 2350.0 µS/cm olurken, en düşük N1'de 1087.0 µS/cm ve en yüksek N7'de 19730.0 µS/cm olarak ölçülmüştür. Su örnekleri TS 266'da sınır değerlerin çok üstünde çıkmıştır (TSE, 2005).

pH ortalama değeri 9.02 ± 0.50 iken, en düşük pH N1'de 6.21 ve en yüksek pH ise N4'te 10.13 olarak ölçülmüştür (Çizelge 1). Havza tuzlu sularında pH değerleri genel olarak SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'ye göre IV. sınıfta, TS 266'ya göre ise müsaade edilebilecek maksimum değerler içinde çıkmıştır (Tebbutt, 1998; TSE, 2005).

Bulanıklık en yüksek N7'de 29.10 NTU olarak belirlenmiştir. Bulanıklık ortalama değeri 15.54 ± 3.78 NTU, AKM ortalama değeri ise 10.55 ± 3.99 mg/L olurken, en yüksek AKM N2'de 10.0 mg/L çıkmıştır (Çizelge 1). Bulanıklık ortalama değeri UK'ye göre yüksek çıkarken, ortalama AKM değeri ise TS 266'ya göre yüksek çıkmıştır. (Tebbutt, 1998; TSE, 2005).

Titrimetrik analiz değerleri

Cl⁻, Ca⁺², Mg⁺² ve toplam sertlik ortalama değerler sırasıyla 415.4 ± 133.3 , 214.5 ± 82.9 , 123.5 ± 43.8 ve 1043.8 ± 347.1 mg/L olarak belirlenmiştir. Suların tuzluluk miktarını artıran etmenlerin başında buharlaşma, daha tuzlu sularla olan dikey karışımlar ve suların donması; azaltan etmenlerin başında ise yağışlar, daha az tuzlu sularla olan dikey karışımlar ve denizlere dökülen büyük nehirler ve buzların çözülmesi gelmektedir (Göksu, 2003). En yüksek Cl⁻, N7'de 1153.8 mg/L, en yüksek Ca⁺² ve Mg⁺² ise N3'te sırasıyla 640.0 mg/L ve 316.2 mg/L olarak belirlenmiştir. Cl⁻ ortalama değerleri TS 266 ve UK'ye göre yüksek çıkarken, Ca⁺² ve Mg⁺² ortalama değerleri de TS 266 ve UK'de istenilen değerlerin üstünde çıkmış, sertlik bakımından sular çok sert su sınıfında yer almıştır (Tebbutt, 1998; TSE, 2005). Sularda HCO₃⁻, pH değeri 7-9 iken, CO₃⁻² ise pH değeri 9 ve üzeri olduğunda kendini göstermektedir. HCO₃⁻ sadece N1 noktasında 630.3 mg/L ile belirlenmiştir. Bu örnekleme noktasında HCO₃⁻ ile ilişkili olan pH değeri de diğer noktalara göre düşük çıkmıştır. CO₃⁻² ve toplam alkalinite ortalama değerleri ise sırasıyla 609.7 ± 191.6 ve 1697.6 ± 579.3 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Örnek sularına ait titrimetrik analiz sonuçları (mg/L).

Table 2. Titrimetric analysis results of saline water samples (mg L⁻¹)

İstasyon Numaraları	Cl ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Toplam sertlik	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Toplam alkalinite
N1.	94.7	42.7	82.7	446.7	0.0	630.3	516.7
N2.	384.6	322.7	61.6	1060.0	894.7	0.0	1466.7
N3.	526.6	640.0	316.2	2900.0	793.0	0.0	1300.0
N4.	227.8	26.7	85.9	420.0	340.0	0.0	1133.3
N5.	284.0	50.7	37.3	280.0	410.0	0.0	1366.7
N6.	236.7	256.0	21.1	726.7	300.0	0.0	1000.0
N7.	1153.8	162.7	259.4	1473.3	1530.0	0.0	5100.0

Diğer kimyasal analiz değerleri

Sulardaki azotlu bileşik değerleri N7 ve N1'de yüksek çıkarken, ortalama NO₃-N, NO₂-N ve NH₄-N değerleri sırasıyla 2.5±0.5 mg/L, 0.009±0.004 mg/L ve 0.42±0.17 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'ye göre NO₃-N ve NO₂-N I. sınıfta, NH₄-N ise II. sınıfta yer almıştır. Nitrat ve nitrit ise AB, UK, WHO'ya göre uygun sınırlar içerisinde yer almıştır (Tebbutt, 1998). Sulardaki en yüksek PO₄⁻³ ve P değerleri sırasıyla 1.35 ve 0.86 mg/L ile N1'de belirlenirken, ortalama PO₄⁻³ ve P değerleri sırasıyla 0.34±0.10 ve 0.11±0.03 mg/L olarak bulunmuştur. Sulardaki ortalama fosfor değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'ye göre II. sınıfta yer almış, TS 266'da tavsiye edilen değer ve UK'de ise sınır değer içinde kalmıştır (Tebbutt, 1998).

Sulardaki en düşük sülfat değeri 1.0 mg/L ile N2 ve N3'te çıkarken, en yüksek sülfat değerleri 98.5 mg/L ile N5'te çıkmıştır (Çizelge 3). Ortalama sülfat değeri 60.4±15.6 mg/L olarak bulunmuştur. TS 266'da bu değer 25-250 mg/L, AB ve EPA'da 250 mg/L ve WHO 500 mg/L olarak verilmiştir (EPA, 2009; Tebbutt, 1998; TSE, 2005). Volkanik bölge olan Van Gölü Havzası'nda N2 ve N3 örnekleme noktalarında sülfat değerlerinin düşük çıkmasında su yüzeyinin sürekli esen rüzgar ile havalanması etkili olabilir. Aynı bölgelerde yapılan ölçümlerde çözünmüş oksijen değerleri de yüksek bulunmuştur. Bulum (2015), havza içerisinde yer alan Bendimahi Çayı'nda yaptığı çalışmada ise ortalama sülfat değerini 8.6 mg/L olarak bildirmiştir.

Doğal sularda 2-20 mg/L arasında bulunan silisyum, kırıkdak oluşumu için temel elementtir (Aksoy, 2006). Silisyum 24.0 mg/L ile en yüksek N1'de çıkarken (Çizelge 3), ortalama silisyum değeri 6.8±3.3 mg/L olmuştur.

Florür ortalama değeri 1.02±0.13 mg/L olurken, en yüksek N5'te 1.42 mg/L olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Florür ortalama değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de II. sınıf su kalite özelliği gösterirken, TS 266 bakımından da tavsiye edilen değerlerin altında olmuştur. AB, UK ve WHO'ya göre de uygunluk göstermiştir (Tebbutt, 1998). Ortalama florür, Erciş içme sularında 0.58±0.07 mg/L, Van içme sularında ise 161.1±0.021.47 mg/L olarak bildirilmiştir (Atıcı ve ark., 2016; Çavuş ve ark., 2017). Seyhan (2016), Deliçay'da yaptığı çalışmada ise ortalama florür değerini 0.19 mg/L olarak belirlemiştir.

Çizelge 3. Örnek sularına ait kimyasal ölçüm sonuçları (mg/L)

Table 3. Chemical analysis results of saline water samples (mg L⁻¹)

No.	NO ₃ -N	NO ₃ ⁻	NO ₂ -N	NO ₂ ⁻	NH ₄ -N	PO ₄ ⁻³	P	SO ₄ ⁻	Si	F ⁻	CN ⁻
N1.	2.9	12.7	0.000	0.000	0.07	0.69	0.22	77.0	24.0	1.25	0.010
N2.	1.9	8.6	0.015	0.044	0.36	0.16	0.05	1.0	2.0	0.43	0.004
N3.	1.5	6.6	0.004	0.009	0.95	0.14	0.05	1.0	2.9	0.64	0.005
N4.	2.2	9.7	0.001	0.003	0.24	0.14	0.04	86.5	2.9	1.15	0.005
N5.	1.8	8.0	0.002	0.004	0.09	0.12	0.04	98.5	2.7	1.42	0.002
N6.	1.9	8.4	0.015	0.048	1.19	0.50	0.16	77.5	13.1	1.13	0.013
N7.	5.3	24.2	0.029	0.092	0.07	0.66	0.21	81.0	0.5	1.15	0.001

Siyanür en yüksek 0.013 mg/L ile N6'da belirlenirken (Çizelge 3), havzada ortalama siyanür değeri 0.005 ± 0.002 mg/L çıkmıştır (Çizelge 5). Siyanür bakımından su örnekleri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de I. sınıf su kalite özelliği gösterirken, TS 266'da tavsiye edilen değerlerin altında olmuştur. AB (50.0 µg/L), UK (50.0 µg/L) ve WHO (70.0 µg/L)'ya göre de sınır değerlerin altında çıkmıştır (Tebbutt, 1998).

Ağır metal analiz değerleri

Sularda ağır metallere Se, Cd, Pb ve Cu değerleri sınırın altında çıkarken, Al, Ar, Cr, Co, Fe, Mn, Mo, Ni ve Zn en düşük ve en yüksek değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Örnek sularına ait ağır metal ölçüm sonuçları (µg/L)

Table 4. Heavy metal concentrations at different locations (µg L⁻¹)

No	Al	As	Co	Cr ⁺⁶	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Mo	Ni	Zn
N1.	16.2	0.0	0.0	12.0	0.0	250.0	650.0	0.0	0.0
N2.	24.5	3.2	106.5	10.5	5.0	750.0	450.0	18.0	80.0
N3.	23.8	52.7	25.0	10.5	5.0	500.0	500.0	7.5	55.0
N4.	119.1	30.2	20.0	25.0	0.0	550.0	400.0	8.0	105.0
N5.	37.4	50.8	4.0	7.0	0.0	500.0	500.0	0.0	65.0
N6.	1.3	18.8	57.0	22.5	5.0	650.0	450.0	13.5	65.0
N7.	99.4	87.6	7.0	12.0	35.0	1550.0	400.0	4.0	35.0

Çizelge 5. Van Gölü Havzası su kaynaklarına ait ortalama, standart hata (SH), min. ve mak. değerler (n=7)

Table 5. Descriptive statistics of saline water samples (n=7, means, standard error (SE), min. and max. values)

Parametre	Min	Mak	Ort.	SH	Parametre	Min	Mak	Ort.	SH
Sıcaklık (°C)	13.8	27.4	23.5	1.8	NH ₄ -N (mg/L)	0.07	1.19	0.42	0.17
ÇO (mg/L)	6.91	17.70	11.36	1.56	NH ₃ (mg/L)	0.08	1.44	0.51	0.21
Eİ (µS/cm)	1087.0	19730.0	6452.4	2350.0	NH ₄ (mg/L)	0.09	1.53	0.54	0.22
Tuzluluk (‰)	0.71	12.16	3.67	1.47	PO ₄ ⁻³ (mg/L)	0.12	0.69	0.34	0.10
pH	6.21	10.13	9.02	0.50	P (mg/L)	0.04	0.22	0.11	0.03
AKM (mg/L)	0.0	10.0	2.7	1.5	SO ₄ ⁻ (mg/L)	1.0	98.5	60.4	15.6
Bulanıklık (NTU)	0.76	29.10	10.55	3.99	Si (mg/L)	0.5	24.0	6.8	3.3
Cl ⁻ (mg/L)	94.7	1153.8	415.4	133.3	F ⁻ (mg/L)	0.43	1.42	1.02	0.13
Ca ⁺² (mg/L)	26.7	640.0	214.5	82.9	CN ⁻ (mg/L)	0.001	0.013	0.005	0.002
Mg ⁺² (mg/L)	21.1	316.2	123.5	43.8	Al (µg/L)	1.3	119.1	46.0	17.0
T. sertlik (mg/L)	280.0	2900.0	1043.8	347.1	As (µg/L)	0.0	87.6	34.8	11.8
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.0	1530.0	609.7	191.6	Co (µg/L)	0.0	106.5	31.4	14.5
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	0.0	630.3	630.3	0.0	Cr ⁺⁶ (µg/L)	7.0	25.0	14.2	2.6
T. alkalinite (mg/L)	516.7	5100.0	1697.6	579.3	Fe ⁺² (µg/L)	0.0	35.0	7.1	4.7
NO ₃ -N (mg/L)	1.5	5.3	2.5	0.5	Mn ⁺² (µg/L)	250.0	1550.0	678.6	156.5
NO ₃ ⁻ (mg/L)	6.6	24.2	11.1	2.3	Mo (µg/L)	400.0	650.0	478.6	32.5
NO ₂ -N (mg/L)	0.000	0.029	0.009	0.004	Ni (µg/L)	0.0	18.0	7.3	2.5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.000	0.092	0.028	0.013	Zn (µg/L)	0.0	105.0	57.9	12.6

Alüminyum ortalama değeri 46.0 ± 17.0 µg/L olurken, en yüksek alüminyum değeri N4'te 119.1 µg/L olarak belirlenmiştir. Ortalama değer SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de I. sınıf su kalite özelliği gösterirken, TS 266'da tavsiye edilen değerlerin altında olmuştur. UK (200.0 µg/L)'ya göre ise sınır değerlerin altında çıkmıştır (Tebbutt, 1998; TSE, 2005). Arsenik en yüksek 87.6 µg/L ile N7'de çıkarken, ortalama As değeri 34.8 ± 11.8 µg/L olmuştur. Ortalama arsenik değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de II. sınıf su kalitesinde, WHO (10 µg/L)'da limit değerlerin üstünde çıkmıştır. TS 266 ve UK (50.0 µg/L)'da

ise limit değerinin altında yer almıştır (TSE, 1997; Tebbutt, 1998). Krom en yüksek 25.0 µg/L ile N4'te belirlenirken, krom ortalama değeri 14.2±2.6 µg/L olmuştur. Havzada krom ortalama değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de I. sınıf su kalite özelliği gösterirken, AB, UK ve WHO (50.0 µg/L)'da da sınır değerinin altında çıkmıştır (Tebbutt, 1998).

Demir ortalama değeri 7.1±4.7 µg/L olurken, en yüksek 35.0 µg/L ile N7'de belirlenmiştir. Mangan ise en yüksek 1550.0 µg/L ile N7'de çıkarken, Mn⁺² ortalama değeri 678.6±156.5 µg/L çıkmıştır. Havzada ortalama demir değeri genel olarak yönetmeliklere uygun çıkmıştır. Mangan ise SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de III. sınıf su kalite özelliği gösterirken, TS 266, AB, UK ve WHO'da tavsiye edilen değerlerin üstünde çıkmıştır (Tebbutt, 1998; TSE, 2005). İçme sularında yüksek miktardaki demir sebebiyle şebeke borularında demir birikmeleri olmakta ve mikroorganizma sayısında artış olmaktadır (AWWA, 1999). Molibden ortalama değeri 478.6±32.5 µg/L olurken, en yüksek 650.0 µg/L ile N1'de belirlenmiştir. Molibden ortalama değeri WHO (70 µg/L)'da belirtilen değerinin üstünde çıkmıştır (Tebbutt, 1998).

Kobalt en yüksek 106.5 µg/L ile N2'de belirlenirken, ortalama kobalt değeri 31.4±14.5 µg/L olmuştur. Ortalama kobalt değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de III. sınıf su kalite özelliği göstermiştir. Atıcı vd. (2018) Karasu'da yaptıkları çalışmada ortalama kobalt değerini 27.8 µg/L olarak bildirmişlerdir. Nikel ortalama değeri 7.3±2.5 µg/L olurken, en yüksek nikel 18.0 µg/L ile N2'de çıkmıştır. Havzada ortalama nikel değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de I. sınıf su kalite özelliği gösterirken, UK (50 µg/L) ve WHO (20.0 µg/L)'da sınır değerinin altında, tatlısu balıkları yetiştiriciliğine (direktif no 78/659/EEC) göre ise uygun değerinde (50-200 µg/L) çıkmıştır (Tebbutt, 1998).

Çinko en yüksek 105.0 µg/L ile N4'te belirlenirken, ortalama çinko değeri 57.9±12.6 µg/L olmuştur. Çinko ortalama değeri SKKY (2004) ve YSKYY (2012)'de I. sınıf su kalite özelliği gösterirken, TS 266, AB ve UK'de tavsiye edilen değerlerde olmuştur (Tebbutt, 1998, TSE, 2005). Bayram (2016), Güzelkonak Deresi'nde yaptığı çalışmada ortalama çinko değerini 36.5 µg/L olarak bildirmiştir.

Ağır metal kirlilik indeks değerleri

HPI değerlerinin belirlenmesi için on üç ağır metalin (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn) ortalama konsantrasyonları kullanılmıştır. HPI değerlerinin hesaplanmasına ilişkin ayrıntılar Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Van Gölü Havzası tuzlu suları için ağır metale dayalı HPI hesaplamaları

Table 6. HPI calculations for saline water sample based on mean heavy metals concentration

Ağır metaller (µg/L)	Ortalama konsantrasyon (Mi)	İzin verilen en yüksek değer (Si)*	Tavsiye edilen değer (Ii)	Birim ağırlık (Wi = 1/Si)	Alt-indeks (Qi)	Wi × Qi
Al	46.0	200	-	0.005	23.0	0.115
As	34.8	10	-	0.1	348.0	34.8
Cd	0.0	5	-	0.2	0.0	0
Co	31.4	10 ^a	-	0.1	314.0	31.4
Cr	14.2	50	-	0.02	28.4	0.568
Cu	0.0	2000	-	0.0005	0.0	0
Fe	7.1	200	-	0.005	3.6	0.01775
Mn	678.6	50	-	0.02	1357.2	27.144
Mo	478.6	70 ^b	-	0.01429	683.7	9.76735
Ni	7.3	20	-	0.05	36.5	1.825
Pb	0.0	10	-	0.1	0.0	0
Se	0.0	10	-	0.1	0.0	0
Zn	57.9	500 ^a	-	0.002	11.6	0.02316

$\sum Wi = 0.71679$, $\sum QiWi = 105.7$, ortalama HPI = 147.4,

*Molibden ve çinko hariç bütün sınır değerler TS 266'dan alınmıştır (^aİSES 2012, ^bWHO 2011).

Ortalama HPI değeri dışında ağır metal kirlilik yükünü karşılaştırmak ve su kalitesini değerlendirmek için tüm istasyonlarda HPI değeri ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 7).

Elumalai et al. (2017) tarafından belirtilen HPI kalite sınıflarına göre Van Gölü Havzası tuzlu sularından “mükemmel” sınıfta örnekleme noktası yer almazken, N1 “iyi” sınıfta yer alan tek nokta olmuştur. N2, N3, N4, N5, N6 ve N7 noktaları “kullanılamaz su” sınıfında yer almıştır (Çizelge 8). Benzer ağır metal kirlilik indeksi çalışmalarında Milivojević et al. (2016) tarafından ise Uglješnica Nehri’nde ortalama HPI yaz mevsimi için 67.5 ve sonbahar mevsimi içinse 80.7 olarak hesaplanmıştır. En yüksek HPI değeri ise limit değer olan 100 üzerinde 112.7 olarak belirlenmiştir. Dede (2016), Çamlıdere Barajı’nda HPI değerlerinin orta sınıfa karşılık geldiğini ve yüzey sularının eser elementlerle tamamen kirlenmediğini bildirmiştir. Diğer bir çalışmada Pal et al. (2017) tarafından Yamuna Suyu için ortalama HPI değeri yaz mevsiminde 261, yağışlı dönem sonunda ise 92.5 olarak hesaplanmıştır. Leventeli et al. (2019) tarafından Düden ve Göksu nehirleri için ortalama HPI değerleri ise sırasıyla 80.4 ve 60.2 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7. Örnekleme noktalarının HPI değerleri

Table 7. HPI calculations for saline water sample at each sampling sites

Örnekleme Noktaları	HPI
N1.	33.2
N2.	214.7
N3.	153.9
N4.	116.8
N5.	119.1
N6.	160.9
N7.	232.4
Ortalama HPI ± SH	147.4±25.2

Çizelge 8. HPI kirlilik sınıfları

Table 8. The classification based on HPI values

HPI	Kalite sınıfları (Elumalai et al., 2017)	Örnekleme Noktaları
0-25	Mükemmel	-
26-50	İyi	N1
51-75	Fakir	-
76-100	Çok fakir	-
100<	Kullanılamaz	N2, N3, N4, N5, N6, N7

SONUÇ

Çalışma sonucunda havzada su örneği alınan noktaların oksijen ve sıcaklık ortalama değerleri SKKY ve YSKYY’ye göre I. sınıf, TS 266, AB, UK ve WHO standartlarına ve tatlısu balıkları yetiştiriciliğine (direktif no 78/659/EEC) göre ise uygun değerlerde çıkmıştır. pH değerleri genel olarak SKKY ve YSKYY’ye IV. sınıfta olmuştur. El değerleri ise TS 266’da sınır değerlerin çok üstünde çıkmıştır. Ca⁺² ve Mg⁺² ortalama değerleri TS 266 ve UK’de istenilen değerlerin üstünde çıkmış, sertlik bakımından sular çok sert su sınıfında yer almıştır. Amonyak azotu, fosfor ve florür SKKY ve YSKYY’ye göre II. sınıfta yer alırken, ağır metallere arsenik, kobalt, mangan ve molibden limit değerlerin üstünde çıkmıştır. HPI kalite sınıflarına göre Van Gölü Havzası tuzlu suları arasında “mükemmel” sınıfta örnekleme noktası yer almazken, sadece bir örnekleme noktasının “iyi” sınıfta olduğu belirlenmiştir. Diğer örnekleme noktaları “kullanılamaz su” sınıfında yer almıştır. Elde edilen bulgular su kalitesi yönetmelikleri ile değerlendirildiğinde tarım ve hayvancılık amacıyla bu kaynaklardan su kullanılması uygun değildir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2019-7966 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkuzu, E. & G. Pamuk Mengü. 2012. Aşağı Gediz havzası sulama birliklerinde karşılaştırmalı performans göstergeleri ile sulama sistem performansının değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 49 (2): 149-158.
- Aksoy, T. 2006. Silisyumun bitki ve toprakta bulunuşu, dağılımı ve insan sağlığı için önemi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- APHA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th editon. (Eds. Greenberg A.H., Clesceri, I.S. & A.D. Eaton), American Public Health, 1008 pp.
- Atıcı, A.A., A. Gültekin, F. Şen & M. Elp. 2016. Erciş (Van) ilçesi içme sularının su kalitesi özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26 (4): 517-528.
- Atici, A.A., M. Elp & F. Sen. 2018. The effects of sand pits and sand extractions region on Karasu stream (Van) to water quality criteria. Fresenius Environmental Bulletin, 27 (10): 6583-6590.
- AWWA, 1999. Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies. 5th Editon, American Water Works Association, McGraw-Hill, New York.
- Bayram, M.S. 2016. Van Gölü'ne dökülen Güzelkonak (Arpit) Deresi'nin (Gevaş- Van) su kalite kriterleri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Bulum, Ö.B. 2015. Bendimahi Çayı'nın (Van) su kalite kriterleri üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Çavuş. A., A.A. Atıcı ve F. Şen. 2017. Van-Merkez içme sularının su kalite kriterlerinin incelenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (3): 326-336.
- Çetinkaya, O. 1993. "Van Gölü havzası su kaynakları ve balıkçılık potansiyeli, 71-83". Doğu Anadolu Bölgesi I. Su Ürünleri Sempozyumu (23-25 Haziran 1993, Erzurum) Bildirileri, 785 s.
- Debels, P., R. Figueroa, R. Urrutia, R. Barra & X. Niell. 2005. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. Environmental monitoring and assessment, 110 (1-3): 301-322.
- Dede, Ö.T. 2016. Application of the heavy metal pollution index for surface waters: A case study for Çamlıdere. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 44 (4): 499-504.
- Elumalai, V., K. Brindha & E. Lakshmanan. 2017. Human exposure risk assessment due to heavymetals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: a case study from South Africa. Water, 9, 234.
- EPA, 2009 Environmental Protection Agency (EPA), National primary drinking water regulations, EPA- 816-F-09-0004. Environmental Protection Agency, USA.
- Göksu, M.Z.L. 2003. Su Kirliliği, Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayın No:7, 232 s.
- Gültekin, A., A.A. Atıcı & F. Şen. 2017. Van-Merkez içme sularının su kalite kriterlerinin incelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (3): 326-336.
- Heathcote Isobel, W. 1998. Integrated Watershed Management: Principles and Practices, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- İSESY, 2012 İçme suyu elde edilen veya elde edilmesi planlanan yüzeysel suların kalitesine dair yönetmelik, R. G. Tarihi: 26.06.2012, R. G. Sayısı: 28338. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (Web sayfası: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120629-9.htm>) (Erişim tarihi: Mayıs 2020).
- Leventeli, Y., F. Yalçın & M. Kılıç. 2019. An investigation about heavy metal pollution of Duden and Goksu Streams (Antalya, Turkey). Applied Ecology And Environmental Research, 17 (2): 2423-2436.

- Milivojević, J., D. Krstić, B. Šmit & V. Djekić, 2016. Assessment of heavy metal contamination and calculation of its pollution index for Uglješnica River, Serbia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 97: 737-742.
- Mohan, S.V., P. Nithila & S.J. Reddy. 1996. Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science and Health A*, 31 (2): 283-289.
- Najah, A., A. Elshafie, O.A. Karim & O. Jaffar. 2009. Prediction of Johor River water quality parameters using artificial neural networks. *European Journal of Scientific Research*, 28 (3): 422-435.
- Pal, R., R.K. Dubey, S.K. Dubey & A.K. Singh. 2017. Assessment of heavy metal pollution through index analysis for Yamuna Water in Agra Region, India. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 6 (12): 1491-1498.
- Seyhan, Y. 2016. Deliçay (Haydarbey Çayı)'ın su kalite kriterlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, R. G. Tarihi: 31.12.2004, R. G. Sayısı: 25687. Ek 1 (Değişik: R.G.-13/2/2008-26786). Çevre ve Orman Bakanlığı. (Web sayfası: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>) (Erişim: Mayıs 2020).
- Tebbutt, T.H.Y. 1998. *Principles of Water Quality control (Fifth Edition)*. Elsevier Ltd. ISBN: 978-0-7506-3658-2.
- TSE, 2005. TS 266: Türkiye İçme Suyu Standartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- WHO, 2011. *Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol. 1, Recommendations, 3rd edn.* Geneva: World Health Organization.
- YSKYY, 2012. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, R. G. Tarihi: 30.11.2012, R. G. Sayısı: 28483. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (Web sayfası: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/11/20121130-5.htm>) (Erişim: Nisan 2020).