Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 2, 2020 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.752460

VAN GÖLÜ EDREMİT KIYISI YÜZEY SULARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayşegül DEMİR YETİŞ [*]
Ayşe ÖZGÜVEN [**]

Alınma: 13.06.2020 ; düzeltme: 01.07.2020 ; kabul: 07.07.2020

Öz: Bu çalışmada Van Gölü Edremit kıyısı açıklarında ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek üzere Mayıs 2019 ve Ağustos 2019 tarihlerinde göldeki toplam 8 farklı istasyondan yüzey suyu örneklemesi yapılmıştır. Alınan örneklerde Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal konsantrasyonları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar göl su kütleleri için dikkate alınan ulusal mevzuatlardan; Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) yer alan sınır değerlerle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Ayrıca istasyonlar ve dönem ölçümleri arasındaki farkın anlamlılık düzeyi ANOVA analizi ile test edilmiş, parametreler arasındaki korelasyonlar Pearson Korelasyon Matrisi ile tespit edilmiştir. Van Gölü Edremit kıyısı bor açısından IV. sınıf, Cd bakımından III. sınıf ve Cr bakımından ise II. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Ağır metal parametreleri bakımından istasyonlar arasındaki fark anlamlı olmamakla birlikte, dönemler arasındaki fark anlamlı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Fe, Cu, Cr ve B parametreleri arasında ise güçlü korelasyonlar saptanmıştır. Edremit Atıksu Arıtma Tesisinin (EAAT) çıkış atıksuyunda ölçülen ağır metal parametrelerinden Cr ve Cu konsantrasyonlarının göl suyu üzerinde kısmen baskı unsuru olduğu söylenebilir. Hidrojeokimyasal süreçlerin de etkisi düşünüldüğü zaman insan faaliyetleri ile oluşan noktasal ve yayılı kirliliği önlemeye yönelik olarak önlem programlarının oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Van gölü, YSKY, SKKY, Su kirliliği

Investigation of Heavy Metal Pollution in Surface Waters of the Van Lake Edremit Coast

Abstract In this study, surface water sampling was carried out from 8 different stations in the lake between May 2019 and August 2019 in order to determine heavy metal concentrations off the shore of Edremit, Van Lake. Heavy metal concentrations such as Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were measured in the samples. The results obtained are among the national legislations considered for lake water bodies; It was evaluated by comparing the limit values in the Surface Water Quality Regulation (SWQR) and the Water Pollution Control Regulation (WPCR). In addition, the significance level of the difference between stations and period measurements was tested by ANOVA analysis, and correlations between parameters were determined by Pearson Correlation Matrix. Van Lake, Edremit coast, in terms of boron IV. Class, in terms of Cd III. Class, in terms of Cr II. Class water quality feature. While the difference between stations was not significant in terms of heavy metal parameters, the difference between periods was found significant. In addition, strong correlations were found between Fe, Cu, Cr and B parameters. It can be said that the heavy metal values measured in outlet wastewater of the Edremit Wastewater Treatment Plant (EWTP) are partially pressured on lake water in terms of Cr and Cu. When the effects of hydrogeochemical processes are also considered, it is of great importance to create measures programs to prevent spot and diffuse pollution caused by human activities.

Keywords: Heavy metal, Van Lake, TSWQR, TWPCR, Water pollution

[*] Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis.
[**] Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 65080, Van.
İletişim Yazarı: Ayşe Özgüven (ayseozguven@yyu.edu.tr)

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışı, endüstrinin sürekli gelişmesi ve su kaynaklarının verimsiz kullanımı yüzeysel su kalitesinde hızlı bir bozulmaya neden olmaktadır (Forslund, 2009; Yetiş ve diğ., 2019). Sucul ortamlardaki ağır metaller hem doğal kaynaklardan (esas olarak toprak ve kayaların ayrışması, cevher yataklarının yıkanması, orman yangınları ve volkanik patlamalar) hem de antropojenik faaliyetlerden (katı atık bertarafı, endüstriyel veya evsel atıksular, tarımsal drenaj) kaynaklanmaktadır (Yetiş ve diğ., 2019; Marcovecchio, 2007; Yetiş ve diğ., 2018). Akarsu sistemlerindeki ağır metal kirlenmesinin en yaygın kaynakları arasında arıtma tesisleri, madencilik faaliyeti, metal işleme ve tekstil üretimi bulunmaktadır (Dey ve Islam, 2015). Maden kaynaklarının çıkarılmasında kullanılan madencilik ve endüstriyel işlemler ve daha sonra bunların sanayi ve tarımdaki uygulamaları, biyojeokimyasal döngülerde ağır metallerin konsantrasyonunda bir artışa yol açmıştır (Ali ve diğ., 2019). Ağır metaller, kanserojen etkileri ve canlılara karşı toksisiteleri, uzun kalma süreleri ve özellikle suda iyonik formda çözündüğünde kalıcı biyoyararlanımları ile bilinirler (Maanan ve diğ., 2015; Demir Yetiş, 2019). Fe, Co, Ni, Cr, Cd, Pb, Zn, Mn ve Cu gibi ağır metaller, çevresel kalıcılıkları, toksisiteleri ve besin zincirlerine girme yetenekleri nedeniyle sucul ekosistemlerin ciddi kirleticileri olarak kabul edilirler ve planktonlara, sucul bitkilere, omurgasızlara ve omurgalılara zarar verebilirler (Yılmaz, 2004). Ağır metal kirliliği sadece balıklar ve diğer su canlıları için bir tehdit oluşturmaz, aynı zamanda tüketiciler için de önemli sağlık riskleri söz konusudur (Alhashemi ve diğ., 2012; Yi ve diğ., 2011). Ağır metallere maruz kalma sonucunda, bu metallerinnörolojik ve böbrek sistemine (Jaishankar ve diğ., 2014) zarar veren pek çok sağlık sorununa neden olduğu bildirilmiştir (Sharma and Agrawal, 2005; Tchounwou ve diğ., 2012). Toksik metaller sucul ortamlardaki organizmalarda yapısal deformasyonlara neden olarak, kan ve dokulardaki birçok fizyolojik süreç ve biyokimyasal parametreleri değiştirebilirler (Barlas ve diğ., 2005).

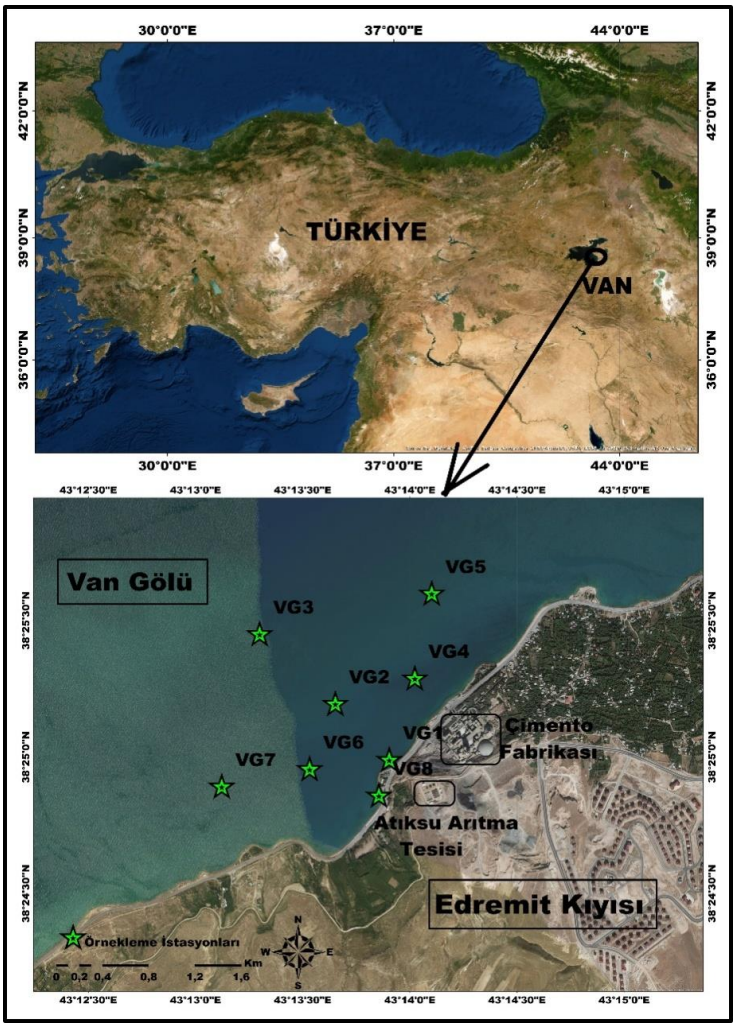
Alıcı ortam özelliği gösteren göller birçok yaşam formunu desteklemekte, insanlara rekreasyon ve av balıkçılığı sağlamanın yanısıra içme ve kullanma amaçlı iyi bir su kaynağı sunmaktadır (Ikem ve diğ., 2003). Van Gölü'nde ticari anlamda balıkçılığın yapılması gölün doğal canlılığını sürdürmesi için önemli katkı sağlamaktadır (Deniz, 2003). Van Gölü havzasında bulunan atıksu arıtma tesisleri, yerleşim birimlerinden çıkan katı atıklar, küçük ve orta ölçekli sanayi işletmeleri ve tarımsal faaliyetler kirlilik kaynaklarını oluşturmaktadır (İÇDR, 2018; Demir Yetiş ve Akyüz, 2020). Göl çevresindeki yerleşimlerin atıksularının yeterli arıtma olmadan deşarj edilmesi esas olarak kirlenmeye neden olmaktadır; özellikle bölgedeki et entegre tesisleri, un, şeker, çimento fabrikaları ve Van Organize Sanayi Bölgesi kirletici kaynaklar arasındadır. Özellikle Akköprü, Kirman, Gevaş ve Kurubaş dereleri gibi su kaynakları gelişi güzel atık deşarjları nedeniyle kirletilmiş ve bulanık olarak göle deşarj olmaktadır (Anonim, 2015). Metallerin toksisitesi, çevredeki kalıcılıkları, biyobirikimi, insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki potansiyel riskleri bu çalışmayı yönlendiren en önemli faktörler arasındadır.

Bu çalışmada göl suyunda Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları yağışlı ve kurak mevsimde incelenerek Van Gölü Edremit sahilindeki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde yer alan ulusal mevzuat değerleriyle kıyaslanmıştır. Bu bulgular sadece gölün şu anki ağır metal kirlilik seviyesini açıklamak için değil, aynı zamanda rasyonel yönetim planlarının geliştirilmesi için de çok büyük önem arz etmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Van Gölü Türkiye'nin doğu bölgesinde bulunan ülkenin en büyük gölü ve Ortadoğu'nun ikinci büyük gölüdür. Nemrut Dağı'nın volkanik faaliyetleri sonucu meydana gelen kraterde biriken suların oluşturduğu volkanik set gölü olan Van Gölü Bitlis ile Van il sınırları arasında bulunmaktadır. Van Gölü Havzasının alanı yaklaşık 20 000 km^2'dir ve göl alanı 3 713 km^2'dir. Dünyanın en büyük sodalı gölü olan Van Gölü, Türkiye'nin Doğu Anadolu platosunda yaklaşık 43°E ve 38,5°N'de bulunmaktadır (Şekil 1). Gölün en derin noktası 457 m'dir ve deniz seviyesinden ortalama 1 650 m yüksekliğe sahiptir (Çiftci ve diğ., 2008). Van Gölü suyunun pH değeri 9'un üzerinde olup, çok alkalidir ve deniz suyundan çok daha fazla potasyum, lityum ve sodyum içermektedir. Yüksek oranda klorür, bikarbonat ve karbonat iyonu içeriğiyle dünyanın en büyük sodalı gölüdür. Gölün drenaj havzasında yağışların çoğu yüksek miktarlarda kar yağışı ve şiddetli yağışların ardından ilkbaharda görülmektedir (Tomonaga ve diğ., 2012). Temmuz ayından eylül ayına kadar geçen süre, ortalama 20°C sıcaklıktaki en sıcak ve en kurak dönemdir.



Şekil 1:
Örnekleme istasyonlarının coğrafik konumu

2.2. Örnekleme ve Metodoloji

Bu çalışmada ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için yağışlı ve kurak dönemi temsilen Mayıs 2019 ve Ağustos 2019 tarihlerinde ve toplamda 8 farklı istasyondan (VG1, VG2, VG3, VG4, VG5, VG6, VG7, VG8) yüzey suyu örneklemesi yapılmıştır. Bunun yanında EAAT çıkış sularından da numuneler alınmıştır. Van Gölü yüzey suyunda örneklerin toplandığı istasyonlara ait koordinat ile lokasyon bilgisi Tablo 1'de ve istasyonların coğrafik görünümüne ait konumu ise Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Örnekleme istasyonlarının koordinat ve lokasyon bilgileri

Örnekleme Noktaları	**Rakım (m)**	**Koordinatlar**	
		Enlem (X)	**Boylam (Y)**
VG1	1649	345628	4253514
VG2	1647	345269	4253900
VG3	1647	344764	4254382
VG4	1647	345812	4254062
VG5	1647	345938	4254634
VG6	1647	345086	4253461
VG7	1647	344487	4253354
VG8	1653	345553	4253273

Yüzey suyu örnekleri 1060 C. Sample stroge and preservation (APHA,1999) metoduna göre alınmıştır. Alınan su örnekleri kimyasal reaksiyonları engellemek amacıyla nitrik asit (HNO_3) ile muamale edilerek pH 2'ye düşürülmüştür. 500 ml'lik polietilen şişelere alınan numuneler +4 °C'de muhafaza edilerek Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal parametreleri analiz edilmek üzere ISO 17025 kalite sistemiyle akredite edilmiş laboratuara gönderilmiştir. Ağır metal analizleri "Perkin Elmer" marka (inductively coupled plasma optical emission spektrometre) ICP-OES cihazı ile akredite laboratuarda yapılmıştır. Çalışmada izlenen ağır metal konsantrasyonları standart yöntemlere göre analitik teknikler kullanılarak analiz edilmiştir (APHA,1999). Ağır metal parametreleri için ilgili mevzuatlardaki sınır değerler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Kıta içi su kaynaklarında ağır metal parametreleri için mevzuat sınır değerleri

		YSKY		SKKY			
Parametre	**Birim**	**YO-ÇKS**	**MAK-ÇKS**	**I. Sınıf**	**II. Sınıf**	**III. Sınıf**	**IV. Sınıf**
Alüminyum	($\mu g\ L^{-1}$)	2,2	27	300	300	1000	>1000
Bor	($\mu g\ L^{-1}$)	707	1472	1 000	1 000	1000	>1000
Kadmiyum	($\mu g\ L^{-1}$)	0,2	1,5	3	5	10	>10
Kobalt	($\mu g\ L^{-1}$)	0,3	2,6	10	20	200	>200
Krom	($\mu g\ L^{-1}$)	1,6	142	-	20	50	>50
Bakır	($\mu g\ L^{-1}$)	1,6	3,1	20	50	200	>200
Demir	($\mu g\ L^{-1}$)	36	101	300	1 000	5000	>5000
Mangan	($\mu g\ L^{-1}$)	100	100	100	500	3000	>3000
Nikel	($\mu g\ L^{-1}$)	4	34	20	50	200	>200
Kurşun	($\mu g\ L^{-1}$)	1,2	14	10	20	50	>50
Çinko	($\mu g\ L^{-1}$)	5,9	231	200	500	2000	>2000

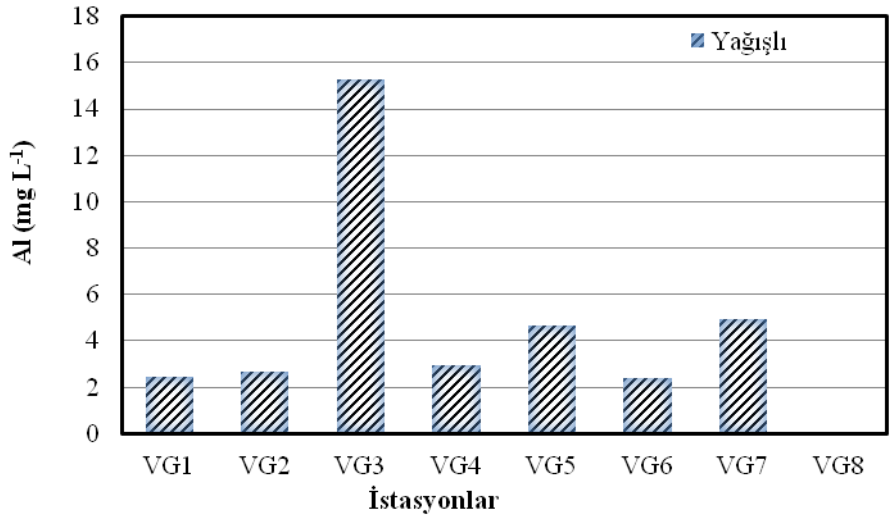
Göl suyunda ölçülen Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn seviyeleri kıta içi su kaynaklarımızdan göl su kütleleri için dikkate alınan ulusal mevzuatlarımız Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin (SKKY, 2004). Tablo 1: "Kıta içi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" sınır değerleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2012) EK-5 Tablo 2: "Kıta içi Yerüstü Su kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri", Tablo 4: "Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları" ve Tablo 5: "Yerüstü Su Kaynakları için Öncelikli Maddeler ve Çevresel Kalite Standartları" YO-ÇKS (Yıllık Ortalama-Çevre Kalite Standardı) ve MAK-ÇKS (Maksimum Ortalama-Çevre Kalite Standardı) sınır değerleri ile mukayese edilmiştir. Ağır metal verilerinin istatistiksel değerlendirmesi SPSS 25 (Statistical Package for the Social Sciences) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Ağır metal parametreleri açısından örnekleme istasyonları ve dönemler arasındaki anlamlılık durumları tek yönlü varyans (One Way ANOVA) analizi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca ağır metal değerleri arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Van Gölü Edremit sahili yüzey sularında Mayıs 2019 ve Ağustos 2019 tarihlerinde yağışlı ve kurak mevsimi temsilen 8 farklı örnekleme noktasında Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler YSKY ve SKKY'de verilen sınır değerleri ile mukayese edilerek değerlendirilmiştir (SKKY, 2004; YSKY, 2012). Ayrıca EAAT'den göle deşarj edilen atıksuların ağır metal bakımından göl suyu üzerindeki etkisi de irdelenmiştir.

3.1. Alüminyum

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Al değeri VG6 nolu istasyonda 2,41 µg L^{-1}, en yüksek Al değeri ise VG3 nolu istasyonda 15,32 µg L^{-1} olarak yağışlı dönemde ölçülmüştür (Şekil 2). Kurak dönemde Al değerleri tespit limiti (detection limit) altındadır. Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Al miktarı (15,32 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (27 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aşmadığı görülmektedir. Ayrıca SKKY'de bulunan sınır değerlere göre ise I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2).



Şekil 2:
Van Gölü yüzey sularında Al değerinin istasyonlara göre değişimi

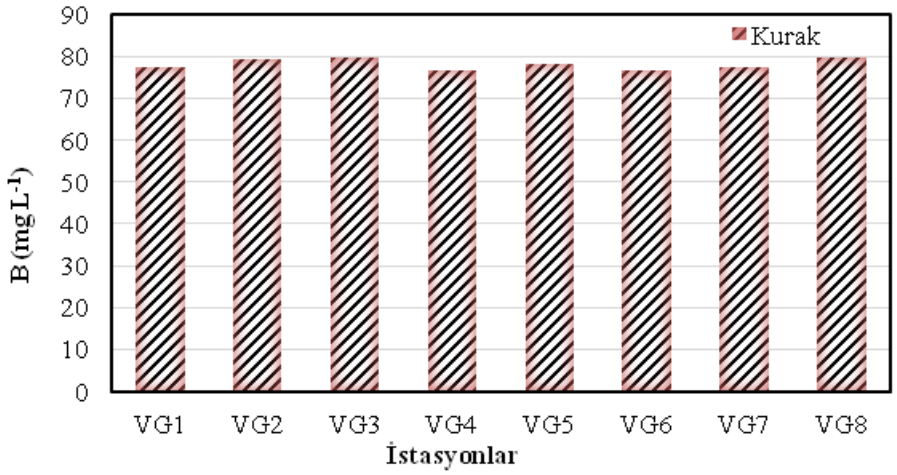
EAAT çıkışından alınan atıksu numunesinde ölçülen Al değeri 17,46 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak Al değerleri göl açıklarındaki VG3, VG5 ve VG7 nolu istasyonlarda diğer istasyonlara nazaran yüksek seviyelerde seyretmektedir. Bu üç istasyon dışındaki istasyonlarda elde edilen sonuçlar literatürde bulunan Van Gölü yüzey sularında elde edilen sonuçlara benzemektedir (Akdemir, 2014). Bu da atıksu arıtma tesisinin arıtım verimin iyi olduğu ve ağır metal bakımından gölü olumsuz anlamda etkilemediğini göstermektedir. Van Gölü'nün litolojik dağılımı metalik mineraller açısından belirli bir zenginliğin bulunduğunu kanıtlamaktadır. Havzayı oluşturan kayaçların kökensel dağılım bakımından, doğu ve güney kesimlerinde bazik-ultrabazik kayaçlar, batı-kuzeybatı kesimlerinde volkanik kayaçlar ve arada kalan kesimlerde ise genç gölsel ve akarsu çökellerinin yer aldığı görülmektedir (Çiftci ve diğ., 2008).

Göl açıklarındaki istasyonlarda nispeten yüksek olan değerler gölün ve bölgenin litolojik yapısından kaynaklanan çözünmenin etkisiyle açıklanabilir. Çünkü Al majör bir element olup, yer kabuğunda büyük miktarlarda bulunmaktadır (WHO, 2017). Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları (Özgüven ve Demir Yetiş, 2020), jeotermal kaynaklar ve volkanik püskürmeler su ortamındaki alüminyumun artışına neden olan kirlilik kaynakları arasında sayılır (Şahinci, 1991).

3.2. Bor

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük B değeri VG4 nolu istasyonda 76,48 mg L^{-1}, en yüksek B değeri ise VG3 nolu istasyonda 79,86 mg L^{-1} olarak kurak dönemde ölçülmüştür. Yağışlı dönemde B değerleri tespit limiti (detection limit) altındadır. Şekil 3'de bor

değerinin istasyonlara göre değişimine bakıldığı zaman bor konsantrasyonlarının birbirine yakın seviyelerde olduğu görülmektedir.

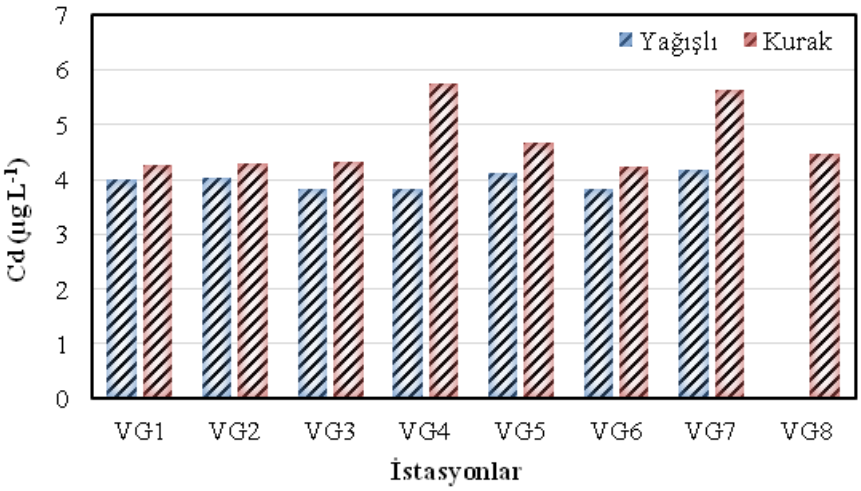


Şekil 3:
Van Gölü yüzey sularında Bor değerinin istasyonlara göre değişimi

Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek B miktarı (7,986 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (1,472 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değerin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca SKKY'de bulunan sınır değerlere göre ise IV. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2). EAAT çıkış atıksuyu bor değeri 539 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak bor değerleri göl içindeki istasyonlarda tesisteki değerlerden daha yüksek seviyelerde seyretmektedir. Bu da atıksu arıtma tesisinin göldeki yüksek bor değerleri üzerinde olumsuz herhangi bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu değerler diğer çalışma sonuçları ile kıyaslandığında, bu çalışmada oldukça yüksek bor seviyeleri elde edilmiştir (Akdemir, 2014). Bor su ortamında genellikle yüksek çözünürlüğe sahip olmakla birlikte; volkanik kayaçlar, jeotermal ortamlar ve aşırı tuzlu ortamlar gibi çok farklı jeolojik yapılarda depolanmış materyaller ile birlikte bulunur. Bor tuzlu sularda evaporitler içinde kolaylıkla çökelme eğilimindedir ve bu kayaçların çözünmesi sularda olası bir bor kaynağı olarak dikkate alınmaktadır (Özler, 2004; Yiğit ve diğ., 2017). Borun göl yüzey sularında yüksek değerlerde olması havza genelinde genç volkanitler ve göl çökellerindeki potansiyel bor tuzlarının çözünmesi ile açıklanabilir (Çiftci ve diğ., 2008).

3.3. Kadmiyum

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Cd değeri yağışlı dönemde, VG3 nolu istasyonda 3,808 µg L^{-1}, en yüksek Cd değeri ise VG4 nolu istasyonda 5,733 µg L^{-1}olarak kurak dönemde ölçülmüştür (Şekil 4). Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Cd miktarı (5,732 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (1,5 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aşmaktadır., VG7 için hesaplanan YO-ÇKS değeri (4,899 µg L^{-1}), ise yönetmelikteki 0,2 µg L^{-1} sınır değeri ile kıyaslandığında sınır değerin üzerinde kalmaktadır. Ayrıca SKKY'de bulunan sınır değerlere göre VG4 ve VG7 nolu istasyonlar haricinde diğer istasyonlarda ölçülen değerler bakımından II. sınıf su kalitesine sahip iken, bu iki istasyonda ise III. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir (Tablo 2). EAAT çıkış atıksuyu için Cd değeri tespit limiti" (detection limit) altında kalmıştır. Genel olarak göl açıklarındaki VG4 ve VG7 nolu istasyonlarda Cd değerleri diğer istasyonlara nazaran çok düşük düzeyde yüksek olmasına rağmen birbirine yakın değerlerde olduğu söylenebilir.

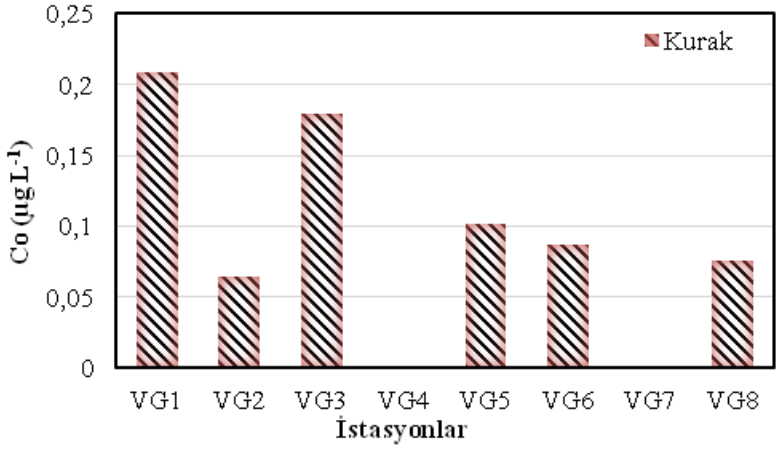


Şekil 4:
Van Gölü yüzey sularında Cd değerinin istasyonlara göre değişimi

Van Gölü'nde 2005-2008 yılları arasında yapılan çalışmada hem yüzey suyundaki farklı derinliklerde ve hem de sedimentte Cd değerlerine rastlanmazken, Van Gölü yüzey sularında yapılan başka bir çalışmada Cd değerleri yağışlı dönemde 0,031 µg L^{-1} ve kurak dönemde ise 0,046 µg L^{-1} olarak tespit edilmiştir (Erenturk ve diğ., 2014; Bilgili ve diğ., 1995). Gölün aynı bölgesinde 2013 yılında yapılan çalışmada tespit edilen 4,520 µg L^{-1} Cd değeri bu çalışmada elde edilen değerlere yakındır (Akdemir, 2014). Buna göre geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar Cd değerlerinde bir artış olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularının Cd değerleri bakımından insan faaliyetleri neticesinde kirlendiği anlamına gelmektedir Nitekim Cd yer kabuğunda nadir olarak bulunan canlılar için potansiyel toksik etkiye sahip bir elementtir (Ajima ve diğ., 2015). Van Gölü Edremit kıyısı için göl suyunun, gübrelere ait drenaj suları ve endüstriyel tesisler (Çimento Fabrikası) gibi bir takım insan faaliyetlerinden etkilendiği söylenebilir (Niu ve diğ., 2017; Abdeldayem ve Zaghlou, 2018).

3.4. Kobalt

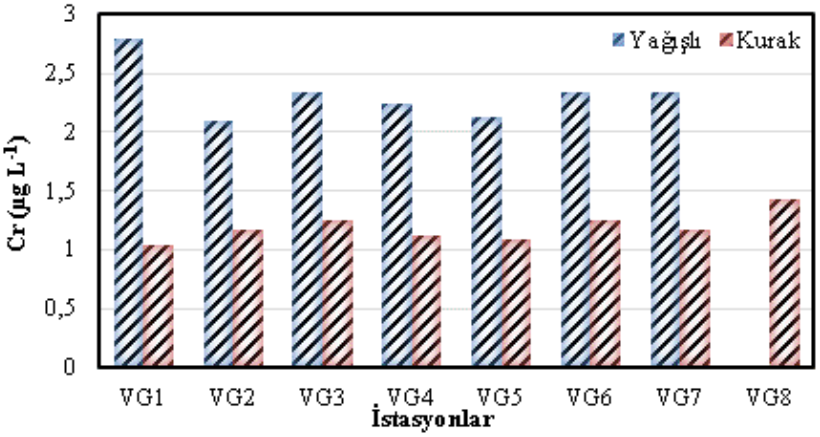
Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Co değeri kurak dönemde VG2 nolu istasyonda 0,064 µg L^{-1}, en yüksek Co değeri ise VG1 nolu istasyonda 0,208 µg L^{-1}olarak yine kurak dönemde ölçülmüştür. Göl içerisindeki istasyonlarda yağışlı dönemde Co değerleri VG6 dışında (0,087 µg L^{-1}) tespit limiti (detection limit) altında kalmıştır. Şekil 5'de Co değerinin istasyonlara göre değişimine bakıldığı zaman en yüksek değerler sırasıyla VG1 ve VG3 nolu istasyonlarda kurak dönemde gözlenmiştir. Van Gölü yüzey sularında kurak dönemde ölçülen en yüksek Co miktarı (0,208 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (2,6 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değerinin altında kalmıştır. Ayrıca SKKY'de Co için verilen sınır değerlere göre göldeki bütün istasyonlar I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2). EAAT çıkışından alınan atıksuda yağışlı dönem için ölçülen Co değeri 0,183 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Kurak dönem için Co değeri tespit limiti (detection limit) altında kalmıştır. Genel olarak göle deşarj noktası olan VG1 ve göl açığındaki VG3 nolu istasyonlarda Co değerleri yüksek ölçülse de sınır değerlerin altında olduğundan bu parametre bakımından iyi kaliteye sahip olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla atıksu arıtma tesisi çıkış atıksuyunda ölçülen düşük Co değerinin göldeki istasyonları olumsuz etkilemediği söylenebilir. 2013 yılında gölün aynı bölgesinde yapılan çalışmada sadece sediment örneklerinde Co ölçümü yapılmıştır (Akdemir, 2014). Kobaltın daha yüksek konsantrasyonları ise başta insanlar olmak üzere, karasal ve sucul canlılar için toksik etkiye sahiptir (Nagpal, 2004).



Şekil 5:
Van Gölü yüzey sularında Co değerinin istasyonlara göre değişimi

3.5. Krom

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Cr değeri kurak dönemde VG1 nolu istasyonda 1,037 µg L^{-1}, en yüksek Cr değeri ise yine aynı istasyonda 2,783 µg L^{-1} olarak yağışlı dönemde ölçülmüştür (Şekil 6). Ayrıca yağışlı dönem değerlerinin nispeten kurak dönem değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Cr miktarının (2,783 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (142 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aşmadığı, yine her istasyon için hesaplanan ortalama değerlerin YO-ÇKS (1,6 µg L^{-1}) sınır değerini aştığı görülmektedir. Ayrıca SKKY'de Cr için verilen sınır değerlere göre göldeki bütün istasyonların II. sınıf su kalitesine sahip olduğu görülmektedir. (Tablo 2).



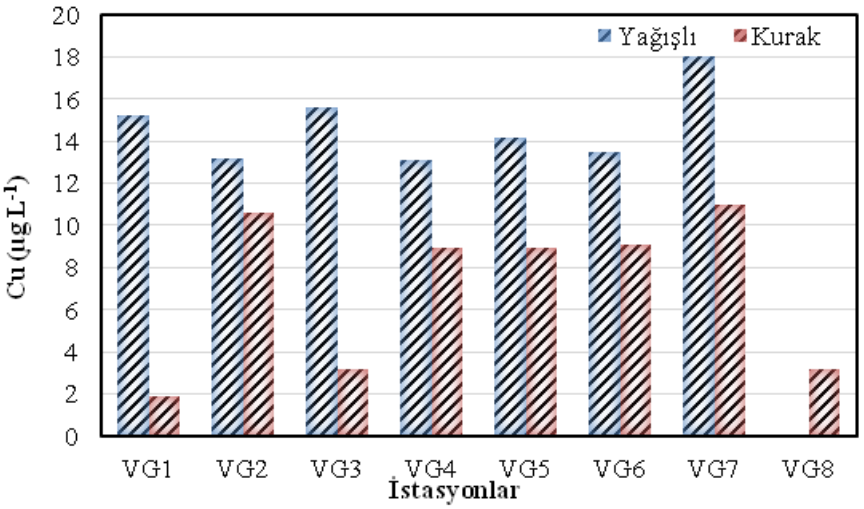
Şekil 6:
Van Gölü yüzey sularında Cr değerinin istasyonlara göre değişimi

EAAT'de yağışlı dönem için tesis çıkış atıksuyunda ölçülen Cr değeri 3,967 µg L^{-1}, kurak dönem için ise 2,383 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak tesis çıkışında ölçülen değerler, göle ilk deşarj edildiği noktada nispeten seyrelmeye uğrasa da göldeki istasyonları etkilediği ifade edilebilir. Literatürde bulunan çalışma sonuçları bu çalışmada elde edilen Cr değerlerinden daha yüksek seviyelerdedir (Akdemir, 2014). Cr, doğal su ortamlarında çok az çözünebilmektedir

(Şahinci, 1991). Su ortamında Cr seviyesini; evsel deşarjlar, madencilik, endüstriyel tesisler (özellikle Çimento Fabrikası), pestisit ve gübre drenajları gibi insan faaliyetlerinin yanında jeojenik kökenli kirliliklerin de arttırdığı söylenebilir (Seven ve diğ., 2018).

3.6. Bakır

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Cu değeri kurak dönemde VG1 nolu istasyonda 1,918 µg L^{-1}, en yüksek Cu değeri ise VG7 nolu istasyonda 18,05 µg L^{-1} olarak yağışlı dönemde ölçülmüştür. Şekil 7'de Cu değerinin istasyonlara göre dağılımına bakıldığında yağışlı dönem değerlerinin kurak dönem değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yağışlı dönemde VG7 dışında diğer istasyonlardaki değerler birbirlerine yakın seviyelerde seyretmektedir. Kurak dönemde ise VG1, VG3 ve VG8 nolu istasyon değerleri birbirine yakın ve düşük, diğer istasyonlar ise birbirine yakın olmakla birlikte daha yüksek değerlerde seyretmektedir. Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Cu miktarının (18,05 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (3,1 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aştığı, yine her bir istasyon için hesaplanan ortalama değerlerin de YO-ÇKS (1,6 µg L^{-1}) sınır değerini aştığı görülmektedir. Ayrıca SKKY'de Cu için verilen sınır değerlere göre göldeki bütün istasyonlar I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2).



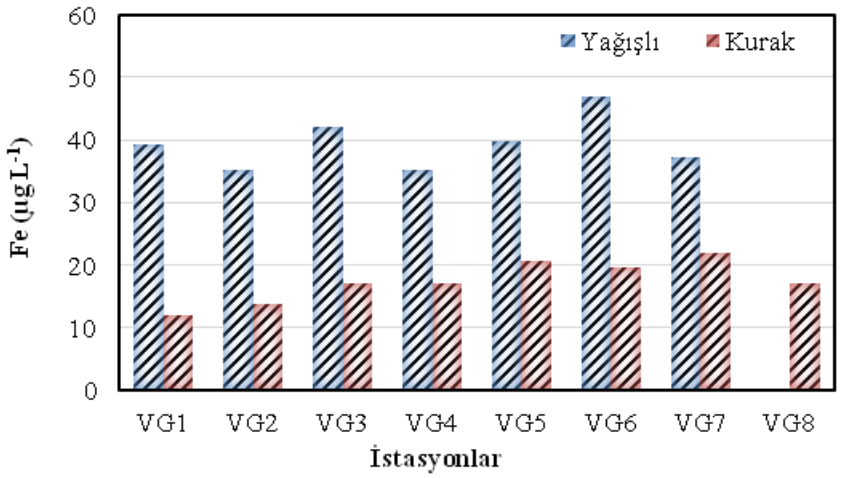
Şekil 7:
Van Gölü yüzey sularında Cu değerinin istasyonlara göre değişimi

EAAT'de yağışlı dönem için tesis çıkış atıksuyunda ölçülen Cu değeri 119,2 µg L^{-1}, kurak dönemde ise tesis çıkış atıksuyu için 5,219 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak yağışlı dönemde tesis çıkışında ölçülen değerlerin kurak döneme nazaran yüksek olduğu görülmektedir. Tesis çıkışında ölçülen yağışlı dönem değerlerinin göldeki istasyonları etkilediği, ancak kurak dönemde de göl açıklarındaki değerlerin tesis çıkış değerlerine göre farklı olmadığı ifade edilebilir. Van Gölü yüzey sularında yapılan çalışmada Cu değerleri kurak dönemde elde edilen verilerle benzeşmektedir (Bilgili ve diğ., 1995). Literatürdeki diğer çalışma sonuçları, bu çalışmada elde edilen Cu sonuçlarından daha düşük seviyelerdedir (Akdemir, 2014). Cu geniş bir kullanım alanına sahip olup, su ortamlarına evsel ve endüstriyel deşarjlar (Cu içerikli metal üretimi), tarımsal faaliyetler, madencilik ve jeokimyasal süreçlerle girmektedir. Cu açısından Van Gölü'nde ölçülen değerlerin genel olarak gölün yakınındaki tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan yapay gübre ve pestisitler (Şahinci, 1991) ile madencilik ve jeojenik köken kaynaklı olabileceği

düşünülmektedir (Şahinci, 1991; Seven ve diğ., 2018). Ayrıca alkali pH'ya sahip sularda sudaki bakır konsantrasyonu çoğunlukla artmaktadır (WHO, 2017).

3.7. Demir

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen en düşük Fe değeri kurak dönemde VG1 nolu istasyonda 12,08 µg L^{-1}, en yüksek Fe değeri ise VG6 nolu istasyonda 47,03 µg L^{-1} olarak yağışlı dönemde ölçülmüştür. Şekil 8'de Fe değerinin istasyonlara göre dağılımına bakıldığı zaman yağışlı dönem değerlerinin kurak dönem değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yağışlı dönemde ölçülen Fe değerleri genel olarak birbirine çok yakın iken, yağışlı dönem değerleri için de aynı durum söz konusudur. Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Fe miktarının (47,03 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (101 µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aşmadığı, yine her bir istasyon için hesaplanan ortalama değerlerin de YO-ÇKS (36 µg L^{-1}) sınır değerini aşmadığı görülmektedir. Ayrıca SKKY'de Fe için verilen sınır değerlere göre göldeki bütün istasyonlar I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2).



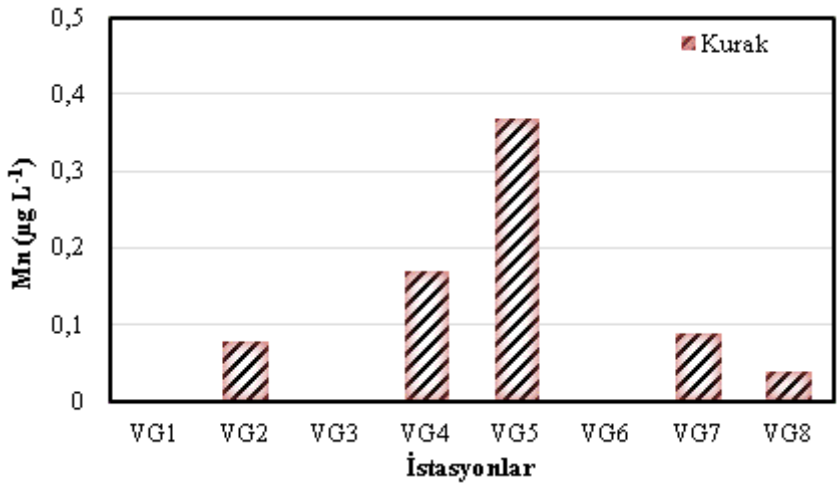
Şekil 8:
Van Gölü yüzey sularında Fe değerinin istasyonlara göre değişimi

EAAT'de yağışlı dönem için tesis çıkış atıksuyunda ölçülen Fe değeri 190,3 µg L^{-1}' dir. Kurak dönem için tesis çıkış atıksuyunda Fe değeri 23,47 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak yağışlı dönemde tesis çıkışında ölçülen değerlerin kurak döneme nazaran yüksek olduğu görülmektedir. Van Gölü yüzey sularında yapılan çalışmada Fe değerlerinin bu çalışma verileriyle kıyaslandığında oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Bilgili ve diğ., 1991). Fe bileşiği, doğal su ortamlarına jeolojik kayaç yapısı, demir ihtiva eden gübreler, maden işletmeleri, evsel atıklar gibi doğal ve insan faaliyetleri neticesinde taşınmaktadır (Çiftçi ve diğ., 2008 ; WHO, 2017).

3.8. Mangan

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülebilen en düşük Mn değeri kurak dönemde VG8 nolu istasyonda 0,04 µg L^{-1}, en yüksek Mn değeri ise VG5 nolu istasyonda 0,37 µg L^{-1} olarak kurak dönemde ölçülmüştür. Şekil 9'da Mn değerinin istasyonlara göre değişimine bakıldığı zaman yağışlı dönemde bütün istasyonlar ve kurak dönemde ise VG1, VG3 ve VG6 nolu istasyon değerleri tespit limiti (detection limit) altında kalmıştır. Ayrıca VG4 ve VG5 nolu istasyonlar diğer istasyonlarla karşılaştırıldığında nispeten yüksek değerlere sahiptir. Van Gölü yüzey sularında ölçülen en yüksek Mn miktarı (0,37 µg L^{-1}) YSKY'de yer alan MAK-ÇKS (100

µg L^{-1}) değeri ile kıyaslandığında sınır değeri aşmadığı görülmektedir. Ayrıca SKKY'de Mn için verilen sınır değerlere göre göldeki bütün istasyonlar I. sınıf su kalitesine sahiptir (Tablo 2).



Şekil 9:
Van Gölü yüzey sularında Mn değerinin istasyonlara göre değişimi

EAAT'de yağışlı dönem için tesis çıkış atıksuyunda ölçülen Mn değeri 38,53 µg L^{-1}, kurak dönem için ise 29,28 µg L^{-1} olarak ölçülmüştür. Genel olarak atıksu arıtma tesisi çıkış atıksularında ölçülen Mn değerlerine bakınca göldeki istasyonları olumsuz etkilemediği söylenebilir. 2013 yılında gölün aynı bölgesinde yüzey suyunda yapılan çalışma sonuçlarına bakıldığında, bu çalışmada elde edilen Mn sonuçlarından nispeten daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir (Akdemir, 2014). Van Gölü yüzey sularında yapılan çalışmada Mn değerleri yağışlı dönemde elde edilen verilerle benzeşirken, kurak dönem değerleri büyük farkla yüksek değerlerdedir (Bilgili ve diğ., 1995). Mn'ın topraktan su ortamlarına geçişi atmosferik olayların etkisi ile çözünerek gerçekleşmektedir. Bir su kütlesi demir ihtiva ediyorsa çoğunlukla mangan da o ortamda bulunur ve miktarı da 0,3 mg L^{-1}'den yüksek değildir. Yerüstü su kütlelerinde Mn dip çamuruna çökelmiş durumdadır ve indirgeyici bir ortamda dip çamurundan suya geçmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Van Gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ölçülen diğer ağır metal parametrelerine göre Ni, Pb ve Zn parametreleri için ölçüm sonuçları hem tespit limitinin (detection limit) altında hem de mevzuattaki sınır değerlerinden daha düşük seviyelerde tespit edilmiştir.

3.9. İstatistiksel Değerlendirme

One way ANOVA analizi ikiden fazla bağımsız grubun ortalamalarının birbirinden farklı olup olmama durumunu test etmek amacıyla yapılır (Bilgin, 2015). Buna bağlı olarak örnekleme istasyonları ve dönemler arasında ağır metal parametreleri bakımından anlamlı fark olup olmadığı test edilmiştir.

Ağır metal parametreleri bakımından örnekleme istasyonları arasında farklılıkları belirlemek amacıyla yapılan one way analizine göre Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe ve Mn gibi ağır metal parametrelerinin tamamı için %95 güven aralığında $p>0,05$ olduğu için ağır metal parametreleri bakımından istasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir (Tablo 3).

Ağır metal parametreleri bakımından dönemler arasında farklılıkları belirlemek amacıyla yapılan one way analizine göre Al, B, Cd, Co, Cr, Cu ve Fe gibi ağır metal parametreleri için %95 güven aralığında $p<0,05$ olduğu için ağır metal parametreleri bakımından istasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Ancak Tablo 3'den görüldüğü üzere Mn değeri bakımından dönemler arasındaki fark $p>0,05$ olduğu için anlamlı olarak tespit edilmemiştir.

Tablo 3. Örnekleme istasyonları ve dönemlere ait one vay ANOVA testi önem düzeyleri (p) değerleri

Parametreler	İstasyonlar			Dönem		
	df	F	Sig. (p value)	df	F	Sig. (p value)
Al	7	0,457	0,838	1	9,644	0,008
B	7	0,074	0,999	1	21718,754	0,000
Cd	7	0,453	0,841	1	9,338	0,009
Co	7	0,416	0,865	1	9,895	0,008
Cr	7	0,047	1,000	1	152,081	0,000
Cu	7	0,457	0,838	1	24,317	0,000
Fe	7	0,134	0,992	1	130,098	0,000
Mn	7	0,602	0,741	1	3,823	0,072

Van Gölü'nde 8 örnekleme istasyonu ve 8 ağır metal parametresinin değişkenler arasındaki korelasyonları Pearson korelasyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 4). Korelasyon katsayıları, mekansal ve zamansal değişikliklerden aynı anda etkilendiklerinden beklenen ilişkilerin açıklanabilmesi için ek olarak ayrıntılı açıklamaya ihtiyaç duyulur. Ağır metal parametrelerinden Fe ile Cu ve Cr (*r=0,778-0,933*) arasında yüksek pozitif korelasyon gözlenmiştir. B, Cr, Cu ve Fe (*r=0,812-0,958*) arasında yüksek, negatif korelasyon gözlenmiştir. Bununla birlikte diğer parametreler arasında da genel olarak pozitif ve negatif korelasyonlar saptanmıştır.

Tablo 4. Van Gölü ağır metal parametreleri arasındaki Pearson korelasyon matrisi

Parametreler	Al	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn
Al	1							
B	-0,652**	1						
Cd	-0,458	0,637*	1					
Co	-0,429	0,663**	-0,002	1				
Cr	0,620*	-0,958**	-0,646**	-0,645**	1			
Cu	0,592*	-0,812**	-0,306	-0,845**	0,778**	1		
Fe	0,660**	-0,955**	-0,563*	-0,705**	0,933**	0,824**	1	
Mn	-0,311	0,473	0,554*	0,098	-0,507	-0,174	-0,383	1

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Van Gölü Edremit kıyısı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada;, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal parametreleri için ölçüm sonuçları ölçülebilir limit değerin altında veya mevzuattaki sınır değerlerden daha düşük olarak tespit edilmiştir. SKKY (2004) Tablo 1 sınır değerlerine göre ölçülen Al, Co, Fe ve Mn değerleri I. sınıf su kalitesi niteliğindedir. Göldeki su kalitesi; B değerleri bakımından IV. sınıf, Cd bakımıdan III. sınıf ve Cr bakımından ise II. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Ayrıca gölde ölçülen B, Cd, Cr ve Cu değerleri YSKY (2012)'ne göre; ÇKS değerlerini aşmaktadır. Yapılan ANOVA analizi sonuçlarında ise ağır metal parametreleri bakımından istasyonlar arasında anlamlı bir fark tespit edilmezken, dönemler arasındaki fark anlamlı olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Fe, Cu, Cr ve B parametreleri arasında ise güçlü korelasyonlar saptanmıştır. Bununla birlikte kıyıya yakın EAAT'nin çıkış atıksuyunda ölçülen ağır metal değerlerinin göl kıyısı üzerindeki etkisi incelendiğinde Cr ve Cu bakımından kısmen baskı unsuru olduğu söylenebilir. Bu durum özellikle Cu ve Cd için doğal etmenlerin yanında antropojenik faaliyet kaynaklı olarak birkaç sebeple açıklanabilir;

i) Van gölünün jeokimyasal durumu
ii) Van Gölü çevresindeki tarımsal faaliyetler sonucu yapay gübre kullanılan ve özellikle pestisit içeriğinde bulunan bazı ağır metal türevlerinin göl suyuna karışması
iii) Gölün kıyısındaki yerlerden kaçak olarak yapılan doğrudan kentsel deşarjlar
iv) Kıyıya yakın bulunan çimento fabrikasının etkileri
v) Son olarak göl çevresinde madencilik faaliyetleri sonucu kirli suların göle karışması ile ifade edilebilir.

Çalışma sonuçları Van Gölü Edremit Kıyısı yüzey sularında B, Cd, Cr ve Cu gibi ağır metal parametreleri açısından bir kirliliğin söz konusu olduğunu göstermektedir. Ölçülen diğer ağır metal parametreleri açısından herhangi bir risk durumunun olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak bu durum ağır metal açısından gölün temiz olduğu anlamına gelmemekle birlikte, hidrojeokimyasal süreçlerin de etkisi düşünüldüğü zaman insan faaliyetleri ile oluşan noktasal ve yayılı kirliliği önlemeye yönelik bir takım önlem programlarının oluşturularak hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya desteklerinden dolayı GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde görev yapan Kimyager Hatice KARA'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Abdeldayem, R. ve Zaghlou, Z. (2018) Distribution and accumulation of trace elements in El-Brullus Lake Islands, *Arabian Journal of Geosciences,* 11:497, doi: 10.1007/s12517-018-3836-4

2. Ajima, M.N.O., Nnodi, P.C., Ogo, O.A., Adaka, G.S., Osuigwe, D.I. ve Njoku, D.C. (2015) bioaccumulation of heavy metals in mbaa river and the impact on aquatic ecosystem, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187:768, doi: 10.1007/s10661-015-4937-0

3. Akdemir, F. (2014) XRF ve ICP-OES Teknikleri ile Van Gölü'nün Su ve Sedimentinin Eser Element Analizi, Doktara Tezi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

4. Alhashemi, A.H., Sekhavatjou, M.S., Kiabi, B.H. ve Karbassi, A.R. (2012) Bioaccumulation of trace elements in water, sediment, and six fish species from a freshwater Wetland Iran, *Microchemical Journal,* 104(1), 1–6, doi: 10.1016/j.microc.2012.03.002

5. Ali, H., Khan, E. ve Ilahi, I. (2019) Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation, *Journal of Chemistry,* 6730305, 1-14, doi: 10.1155/2019/6730305

6. Anonim, (2015) Van Gölü Havzası'nda Su Kirliliği, http://www.ayk.gov.tr/wp-content/upload.pdf (Erişim Tarihi: 15.10.2019)

7. APHA (American Public Health Association), 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Washington D.C.

8. Barlas, N., Akbulut, N. ve Aydoğan, M. (2005) Assessment of Heavy Metal Residiues in the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology,* 74: 286-293, doi: 10.1007/s00128-004-0582-y

9. Bilgili, A., Yarsan, E., Sagmanlıgil, H., Çetinkaya, N. ve Turel, İ. (1995) Van Gölü Suyunun Doğal Kalitesi ve Buradan Avlanan İnci Kefali (Chalcalburnus Tarichi, Pallas 1811) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Düzeyleri, *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi,* 42: 445-450.

10. Bilgin, A. (2015) Borçka Baraj Gölü Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemle Değerlendirilmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 11(2), 287-29, doi: 10.18466/cbujos.81428

11. Çiftci, Y., Isık, M.A., Alkevli, T. ve Yesilova, C. (2008) Van Gölü Havzasının Çevre Jeolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi,* 32:45–77.

12. Deniz O. (2003) Van kentinde gözlenen bazı çevre sorunları ve alınması gereken bazı önlemler, *Journal of East Geography,* 9:143-169.

13. Demir Yetiş, A. (2019) Bitlis Ahlat sazlıkları yüzey sularında bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması, *Çukurova* Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1): 1-12, doi: 10.21605/cukurovaummfd.601207

14. Demir Yetis, A. ve Akyuz, F. (2020). Water quality evaluation by using multivariate statistical techniques and pressure-impact analysis in wetlands: Ahlat Marshes, Turkey. *Environment, Development and Sustainability,* doi: 10.1007 /s10668-020-00690-5.

15. Dey, S. ve Islam, A.A. (2015) Review on Textile Wastewater Characterization in Bangladesh, *Resources and Environment,* 5(1), 15–44. doi: 10.5923/j.re.20150501.03

16. Erenturk, S., Yusan, S., Turkozu, D.A., Camtakan, Z., Olgen, M.K., Aslani, M.A.A., Aytas, Ş. ve Isik, M.A. (2014) Spatial Distribution and Risk Assessment of Radioactivity and Heavy Metal Levels of Sediment, Surface Water and Fish Samples from Lake Van, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* 300: 919–931, doi: 10.1007/s10967-014-3042-0

17. Forslund A. (2009) Securing Water for Ecosystems and Human Well-Being: The Importance of Environmental Flows. SIWI. Swedish Water House Report 24.

18. Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1997) Su Kalitesi Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:43. Birinci Baskı, Ankara-Türkiye, s.95.

19. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B. ve Beeregowda, K.N. (2014) Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals, *Interdisciplinary Toxicology,* 7(2), 60–72, doi: 10.2478/intox-2014-0009

20. Ikem, A., Egiebor, O. ve Nyavor, K. (2003) Trace elements in water, fish and sediment from Turkegee Lake, Southeastern USA, *Water, Air and Soil Pollution,* 149: 51-75, doi: 10.1023/A:1025694315763

21. İÇDR, (2018) (İl Çevre Durum Raporu). Van İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. Çevre Yönetim ve Denetimi Şube Müdürlüğü, s.578. Ankara-Türkiye.

22. Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O. ve Zourarah, B. (2015) Environmental and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Nador lagoon. Morocco, *Ecological Indicators,* 48: 616–626, doi: org/10.1016/j.ecolind.2014.09.034

23. Marcovecchio, J.E., Botte, S.E. ve Freije, R.H. (2007) Heavy metals, major metals, trace elements. In: Nollet, L.M. (Ed.), Handbook of Water Analysis, second ed. CRC Press, London- England, , pp. 275–311.

24. Nagpal, N.K. (2004) Technical Report, Water Quality Guidelines for Cobalt. Water Protection Section Water, Air and Climate Change Branch Ministry of Water, *Land and Air Protection.* ISBN 0-7726-5229-5.

25. Niu, Y., Niu, Y., Yu, H., Jiang, X., Guo, X., Pang, Y. ve Xu, X. (2017) Concentration distribution and toxicity of heavy metals in surface sediment of Poyang Lake, China. Wetlands, doi: 10.1007/s13157-017-0904-6.

26. Özgüven, A. ve Yetis, A. D. (2020). "Assessment of Spatiotemporal Water Quality Variations, Impact Analysis and Trophic Status of Big Soda Lake Van, Turkey. *Water Air Soil Pollution,* 231: 260, doi: 10.1007/s11270-020-04622-x

27. Özler M. (2004) Van akiferinin hidrojeolojisi ve tuzlanma nedenleri. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu (TÜBİTAK), Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu, Proje No: YDABAK-101YO97.

28. Seven, T., Can, B., Darende, B.N. ve Ocak, S. (2018) Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi,* 1(2), 91-103.

29. Sharma, R.K. ve Agrawal, M. (2005) Biological Effects of Heavy Metals: An Overview, *Journal of Environmental Biology,* 26: 301–313.

30. SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 Tarihli ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

31. Şahinci A. (1991) Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, İzmir-Türkiye, s.548.

32. Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. and Sutton, D.J. (2012) Heavy Metal Toxicity and the Environment. Molecular, *Clinical, and Environmental Toxicology,* 101: 365–396, doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6

33. Tomonaga, Y., Blattler, R., Brennwald, M.S. ve Kipfer, R. (2012) Interpreting noble-gas concentrations as proxies for salinity and temperature in the world's Largest soda lake (Lake Van, Turkey), *Journal of Asian Earth Sci.* 59: 99–107, doi: 10.1016/j.jseaes.2012.05.011

34. WHO, (2017) (World Health Organization) Chemical Fact Sheets, Guidelines for Drinking - Water Quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, Geneva. pp 631.

35. Yetiş, R., Atasoy, A.D., Demir Yetiş, A. ve Yeşilnacar, M.I. (2018) Balıklıgöl Havzası Su Kaynaklarının Nitrat ve Nitrit Seviyelerinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 33(1),47-54, doi: 10.21605/cukurovaummfd.420659

36. Yetiş, R., Atasoy A.D., Demir Yetiş A. ve Yeşilnacar M.İ. (2019) Hydrogeochemical Characteristics and Quality Assessment of Groundwater in Balikligol Basin, Sanliurfa, Turkey, *Environmental Earth Sciences,* 78: 331, doi: 10.1007/s12665-019-8330-0

37. Yılmaz F. (2004) Mumcular barajı (Muğla-Bodrum)'nın fiziko-kimyasal özellikleri, *Ekoloji,* 13(50), 10-17.

38. Yi, Y.,Yang, Z. ve Zhang, S. (2011) Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediment and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Fishes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Basin, *Environmental Pollution,* 159(10), 2575–2585, doi:10.1016/j.envpol.2011.06.011

39. Yiğit, A., İrak, Z.T., Öztürk, D., Öztürk, E., Alpaslan, D., Şahan, T. ve Aktaş, N. (2017) Van Gölü Suyunun İyon Karakterizasyonuyla Su Kalitesinin Belirlenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 7(4), 169-179, doi: 10.21597/jist.2017.210

40. YSKY, (2012) Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 30 Kasım 2012 Tarihli ve 28483 Sayılı Resmi Gazete, Ankara