Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 8(12): 2729-2737, 2020
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i12.2729-2737.4019

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Evaluation of the Effect of Dissolved Metals Detected in Değirmendere Dam (Amasya, Turkey) on Drinking and Irrigation Water Quality

Fikret Ustaoğlu[1,a,*]

[1]*Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Giresun University, 28200 Giresun, Turkey*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 23/10/2020
Accepted : 21/11/2020

Keywords:
Water quality index
Heavy metal pollution index
Hazard quotient
Hazard index
Irrigation water quality

ABSTRACT

Dams are important sources particularly for energy production as well as drinking and irrigation water. In this study, dissolved metal concentrations in Değirmendere Dam water in Amasya province were determined by ICP-MS and the data were evaluated in terms of drinking/irrigation water. Mean value of each metal in samples collected from 5 different points of the reservoir is presented in µg L as follows; Ca (50943)> Mg (42212)> Na (31637)> K (3725)> Al (63.68)> Fe (43.30)> Zn (30.78)> Cu (5.79)> Mn (4.59)> Ni (2.97)> Cr (1.18)> Pb (1.14)> As (1.04)> Cd (0.69). These results did not exceed the drinking water limit values recommended by the World Health Organization (WHO) and Turkish Standards (TS 266). Water quality index (WQI), heavy metal pollution index (HPI) and heavy metal evaluation index (HEI) values were calculated as 16.63-17.54-1.00, respectively. In terms of hazard quotient (HQ), hazard index (HI) and cancer risk (CR), the water quality of the reservoir is not potentially dangerous for adults/children. Dam water is convenient for irrigation based on sodium absorption rate (SAR = 0.78) and sodium percentage (Na = 19.56%). However, magnesium hazard (MH = 57.70) value is above the limit value of 50 with reference to irrigation water.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(12): 2729-2737, 2020

Değirmendere Barajı'nda (Amasya, Türkiye) Suda Tespit Edilen Çözünmüş Metallerin İçme ve Sulama Suyu Kalitesine Olan Etkisinin Değerlendirilmesi

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 23/10/2020
Kabul : 21/11/2020

Anahtar Kelimeler:
Su kalitesi indeksi
Ağır metal kirlilik indeksi
Tehlike oranı
Tehlike indeksi
Sulama suyu kalitesi

ÖZ

Barajlar; başta enerji üretimi olmak üzere, içme ve sulama suyu ihtiyacının karşılandığı önemli kaynaklardır. Bu çalışmada Amasya ilindeki Değirmendere Baraj suyunda çözünmüş metal konsantrasyonları ICP-MS ile tespit edilmiş ve veriler içme/sulama suyu açısından değerlendirilmiştir. Baraj gölünün 5 farklı noktasından alınan numunelerdeki her bir metalin ortalama miktarı µg/L cinsinden; Ca (50943)> Mg (42212)> Na (31637)> K (3725)> Al (63,68)> Fe (43,30)> Zn (30,78)> Cu (5,79)> Mn (4,59)> Ni (2,97)> Cr (1,18)> Pb (1,14)> As (1,04)> Cd (0,69) olarak tespit edildi. Bu sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları (TS 266) tarafından önerilen içme suyu limit değerlerini aşmamıştır. Su kalitesi indeksi (WQI), ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) değerleri sırasıyla 16,63-17,54-1,00 olarak hesaplanmıştır. Tehlike oranı (HQ), tehlike indeksi (HI) ve kanser riski (CR) açısından baraj gölünün su kalitesi yetişkinler /çocuklar için potansiyel tehlike oluşturmayacak durumdadır. Sodyum absorpsiyon oranı (SAR=0,78) ve sodyum yüzdesi (% Na=19,56) değerlerine göre baraj suyu sulama açısından elverişlidir. Ancak magnezyum zararı (MH=57,70) değeri sulama suyu bakımından 50 olan limit değerin üzerindedir.

[a] *fikretustaoglu@hotmail.com* *https://orcid.org/0000-0002-8195-8557*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Günümüzde küresel ısınma, iklim değişikliği, kentleşme, sanayileşmeye ve zirai faaliyetler sonucu içme/sulama suyu kaynaklarının miktarı ve kalitesi her geçen gün azalmaktadır (Mutlu ve ark., 2016; Ustaoğlu ve ark., 2017; Ustaoğlu ve ark., 2020a; Tokatlı ve ark., 2020). Bu durum su sıkıntısı çeken bölgelerde kentsel gelişim ve ekolojik çevre için önemli bir problem oluşturur. Özellikle sürekli artan dünya nüfusu ciddi güvenli su sorunlarıyla karşı karşıyadır (Mutlu ve ark., 2013; Mutlu ve Tepe, 2014; Xiao ve ark., 2019). Tatlı suya olan talebin her geçen gün artması nedeniyle yerüstü su kütlesinin etkili ve verimli bir biçimde kullanılması önemli hale gelmiştir (Taş ve Kolören, 2017; Ustaoğlu ve Tepe, 2019; Taş ve Şişman Hamzaçebi, 2020).

Yerüstü sularının bir parçası olan barajlar, birçok kullanım alanı olan çok önemli doğal kaynaklardır. Başta içme-kullanma suyu olmak üzere, endüstri, sanayi, tarım, su ürünleri yetiştiriciliği, hayvancılık, hidroelektrik üretimi, ulaşım ve rekreasyon gibi sektörlerde barajlardan faydalanılır (Taş, 2006). Bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi içinde, barajların ve onları besleyen akarsuların sağlıklı ekosistemlere ve belirli bir su kalitesine sahip olması gerekir (Tepe ve Aydın, 2017; Mutlu ve Kurnaz, 2018; Cüce ve ark., 2020).

Sular birçok kirleticinin baskısı altındadır. Bu kirleticiler arasında ağır metaller, yüksek toksisiteleri ve kanserojenik etkileri nedeniyle çevre ve insanlar için en tehlikeli maddeler arasındadır (Ustaoğlu ve ark., 2020b). Biyolojik olarak parçalanmamaları, biyoakümülasyonları, kalıcı olmaları, akuatik yaşam ve insanlar için potansiyel tehlike oluşturmaları nedeniyle sulardaki metal kirliliği büyük önem taşımaktadır (Ustaoğlu ve İslam, 2020). Su kalitesinin bozulmasına yol açan ağır metaller hem doğal hem de insan kaynaklıdır. Sulara doğal kaynaklı metal girdisi genellikle ana kaya/toprak aşınması, erozyon, volkanik patlama ve atmosferik yağışlar ile olur. İnsani kaynaklı metal girdileri ise çoğunlukla madencilik, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler ile evsel atık suları vasıtasıyla gerçekleşir (Aras ve ark., 2017). Herhangi bir kirleticinin toksisitesi ile bunun çevre ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri, büyük ölçüde kirleticinin konsantrasyonuna ve maruz kalma yollarına bağlıdır. Sucul ortamdaki ağır metallerin, bazen organizmalar tarafından absorbe edilerek, besin zinciri yoluyla insanlara ulaşması sonucu dokularda ağır metal birikimi meydana gelir (Ustaoğlu, 2020). Sonrasında kanserojen olmayan sağlık tehlikeleri ve hayatı tehdit eden kanserler de dahil olmak üzere çeşitli hastalıklara neden olabilirler (Herojeet ve ark., 2015). Bu durum insanoğlu için büyük bir tehdit ve temel endişe kaynağıdır. Bu nedenle su kaynaklarının kalitesinin sürdürülebilir yönetimi için sürekli olarak izlemesi gerekmektedir.

Suyun yapısında bulunan ağır metal konsantrasyonlarının, kabul edilebilir sınır değerlerle basit bir şekilde mukayese edilmesi, onların insanlar üzerindeki negatif etkilerinin hassas bir şekilde değerlendirilmesinde yetersiz kalabilir. Ağır metallerin sudaki konsantrasyonları uluslararası standartlara uysa bile, yine de önemli sağlık riski oluşturma olasılığına sahip olabilirler (Gao ve ark., 2016; Xiao ve ark., 2019). Bu yüzden son on yılda yerüstü suları kalitesini daha etkin, hassas ve kapsamlı değerlendirebilmek için kirlilik indekslerinden faydalanılmaktadır (Varol, 2020; Canpolat ve ark., 2020). Bu indeksler su kalitesinin değerlendirilmesinde; su kalitesi yöneticileri, çevre yöneticileri, karar vericiler ve potansiyel kullanıcılar için basit, kullanışlı ve anlaşılması kolay araçlardır. Bu çalışmanın amacı Değirmendere Barajı'ndaki suyun, içme/sulama suyu kalitesini su kalitesi indeksi (WQI), ağır metal kirlilik indeksi (HPI), ağır metal değerlendirme indeksi (HEI), tehlike oranı (HQ), tehlike indeksi (HI), kanser riski (CR), sodyum absorsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (% Na) ve magnezyum zararı (MH) gibi bazı içme ve sulama suyu risk indeksleriyle değerlendirmektir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı

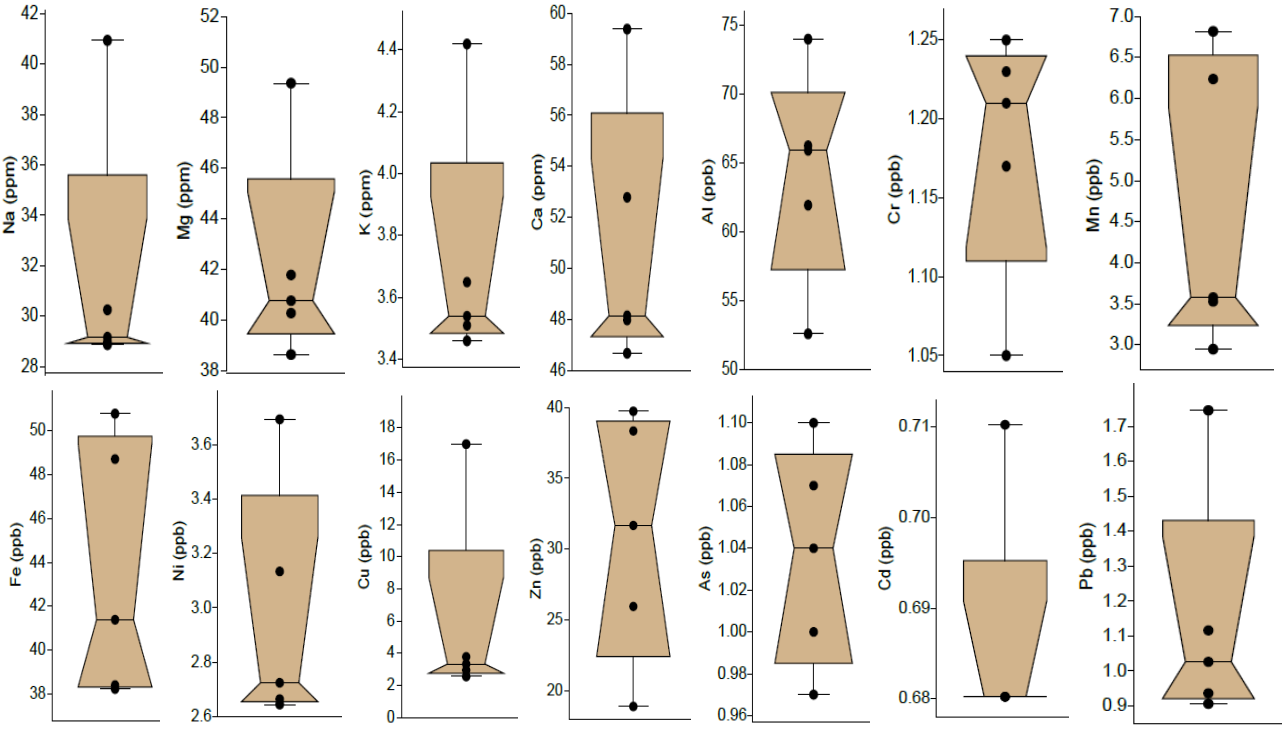
Değirmendere Barajı Orta Karadeniz Bölgesi'nde Amasya il sınırları içerisindeki Kanlıdere üzerinde 2012 yılında yapılmıştır. Uzunluğu 319 m, yüksekliği 52,70 m aktif su depolama hacmi 4393 hm^3 olan baraj, 140 L/s içme suyu sağlamasının yanında 242 hektar araziyi sulama kapasitesine sahiptir (Keskin ve Demir, 2018). Barajın genel görünümü ve uydu görüntüsü Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Değirmendere Baraj Gölü'nün genel görünümü
Figure 1. General view of Değirmendere Dam Lake



Şekil 2. Değirmendere Baraj Gölü'nün uydu görüntüsü ve örnekleme yapılan istasyonlar
Figure 2. Satellite image of Değirmendere Dam Lake and sampled stations



Şekil 3. Değirmendere Baraj Gölü'ndeki metallerin box plot grafikleri
Figure 3. Boxplot diagram of metals in Değirmendere Dam Lake

Örneklerin Toplanması ve Kimyasal Analiz

Yüzeysel su örnekleri Şekil 2'de gösterilen noktalardan Eylül 2019 tarihinde alındı. Örneklemeler suyun 15-20 cm altından daha önceden %4'lük HCl ile yıkanmış, saf su ile durulanmış 2,5 litrelik plastik şişeler ile yapılmıştır. Su numuneleri buz çantasına konularak soğuk zincir yoluyla laboratuvara getirildi ve 0,45 µm filtre kağıdından süzüldü. Sonrasında meydana gelebilecek herhangi bir kontaminasyonu önlemek için pH<2 olacak şekilde konsantre HNO_3 eklenerek analiz edilene kadar 4°C'de muhafaza edilmiştir (Taş ve ark., 2019). Su numunelerinde 14 elementin konsantrasyonu (Na, Mg, K, Ca, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb) indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7700x) kullanılarak ölçülmüştür (Yüksel ve Arica, 2018).

İstatistiksel Analiz

Suda tespit edilen metallerin ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri ile parametreler arasındaki ilişkileri belirleyen Pearson korelasyon katsayıları analizi SPSS 22.0 paket programı kullanılarak belirlendi. Ayrıca, box plot (kutu) grafiklerinin oluşturulmasında PAST 3.x istatistik program kullanılmıştır.

Su Kalite İndeksi (WQI)

Su kalite indeksi**,** bireysel su kalitesi parametrelerinin toplam su kalitesi üzerindeki bileşik etkisi dikkate alarak hesaplanan en etkili derecelendirme tekniklerinden biridir. İçme suyu ve evsel ihtiyaçların karşılanmasında kullanılacak suyun kalitesi hakkında etkili ve kapsamlı bir bakış açısı sağlar. WQI başlangıçta ABD'de Horton (1965) tarafından geliştirilmiş olup su kalitesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kükrer ve Mutlu, 2019; Mutlu, 2019; Tokatlı ve Ustaoğlu, 2020).

Mevcut çalışmada, analiz edilen 14 metalin ortalama değeri WQI hesaplamasına dahil edilmiştir. Her bir parametreye; su kalitesindeki etkilerine ve insan sağlığı açısından önemine bağlı olarak 1-5 arasında ağırlık değerleri (*AW*) belirlendi (Varol ve Davraz, 2015). Bu değerler aşağıdaki formüle yerleştirilerek bağıl ağırlık (*RW*) hesaplanmıştır (1).

$$RW=\frac{AW}{\sum_{i=1}^{n} AW} \quad (1)$$

İkinci adımda, analizi yapılan parametrelerin konsantrasyon değerleri (C_i) Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) tarafından belirlenmiş içme suyu limit değerine (S_i) bölünüp 100 ile çarpılarak kalite derecesi (Q_i) hesaplanmıştır (2).

$$Q_i=\left(\frac{C_i}{S_i}\right)\times 100 \quad (2)$$

WQI analizinin son aşamasında, bağıl ağırlık (*RW*) ile kalite derecesi (Q_i) çarpılarak her bir su kalitesi parametresi için alt indeks (SI_i) değerleri hesaplandı (3). Tüm alt indeks (SI_i) değerlerinin toplanması ile de su kalite indeksi belirlenmiştir (4).

$$SI_i=RW\times Q_i \quad (3)$$

$$WQI=\sum_{i=1}^{n} SI_i \quad (4)$$

Aralıklarına göre WQI sınıflandırılması Yadav ve ark. (2010)'na göre yapıldı. WQI değerleri sırasıyla "0–25, mükemmel su; 26–50, iyi su; 51–75, zayıf su; 76–100, çok zayıf su ve >100 içme suyu için uygun değil" şeklinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Değirmendere Baraj Gölü'ndeki metal konsantrasyonlarının WHO ve TS266 limit değerleri ile karşılaştırılması
Table 1. Comparison of metal concentrations in Değirmendere Dam Lake with WHO and TS 266 limit values

Metal	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma	WHO, 2011	TS 266, 2005
Na (mg/L)	28,87	40,94	31,64	5,23	200	….
Mg (mg/L)	38,68	49,41	42,21	4,18	50	….
K (mg/L)	3,47	4,43	3,73	0,40	12	….
Ca (mg/L)	46,63	59,33	50,95	5,23	75	….
Al (µg/)	52,15	73,53	63,68	7,79	200	200
Cr (µg/)	1,05	1,25	1,18	0,08	50	50
Mn (µg/)	2,92	6,79	4,59	1,77	400	50
Fe (µg/)	38,04	50,58	43,31	5,88	300	200
Ni (µg/)	2,64	3,69	2,97	0,45	70	20
Cu (µg/)	2,43	16,86	5,79	6,20	2000	2000
Zn (µg/)	18,75	39,59	30,78	8,70	3000	3000
As (µg/)	0,97	1,10	1,04	0,05	10	10
Cd (µg/)	0,68	0,71	0,69	0,01	3	5
Pb (µg/)	0,90	1,74	1,14	0,35	10	10

Çizelge 2. Değirmendere Baraj Gölü'ndeki metallerin korelasyon matrisi
Table 2. Correlation matrix of metals in Değirmendere Dam Lake

	Na	Mg	K	Ca	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Na	1													
Mg	0,979**	1												
K	0,996**	0,992**	1											
Ca	0,937*	0,967**	0,958*	1										
Al	0,744	0,864	0,794	0,846	1									
Cr	0,096	-0,047	0,025	-0,244	-0,37	1								
Mn	-0,468	-0,51	-0,47	-0,292	-0,547	-0,469	1							
Fe	0,44	0,412	0,423	0,298	0,216	0,582	-0,605	1						
Ni	0,15	0,166	0,148	0,067	0,116	0,467	-0,547	0,937*	1					
Cu	-0,322	-0,244	-0,304	-0,365	0,077	-0,058	-0,341	-0,485	-0,372	1				
Zn	-0,775	-0,818	-0,795	-0,79	-0,717	-0,059	0,538	-0,784	-0,663	0,501	1			
As	-0,016	-0,121	-0,061	-0,167	-0,422	0,664	-0,069	0,77	0,756	-0,665	-0,321	1		
Cd	0,994**	0,962**	0,985**	0,896*	0,707	0,197	-0,529	0,495	0,201	-0,303	-0,773	0,043	1	
Pb	-0,104	-0,06	-0,098	-0,172	0,008	0,426	-0,537	0,802	0,954*	-0,146	-0,461	0,661	-0,049	1

**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlı.*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlı

Ağır Metal Kirlilik İndeksi (HPI)

Ağır metal kirlilik indeksi, her bir ağır metalin genel su kalitesi üzerindeki birleşik etkisini hesaba katan bir değerlendirme yöntemidir. Bu nedenle, birçok araştırmacı HPI değerini ağır metallere dayalı toplam su kalitesini belirlemek için kapsamlı bir araç olarak kullanmıştır (Herojeet ve ark., 2015; Ustaoğlu ve Aydın, 2020). HPI aşağıdaki formüller (5-7) kullanılarak hesaplanmıştır (Mohan ve ark., 1996);

$$HPI=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i W_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \quad (5)$$

$$Q_i=\frac{C_i}{S_i}x100 \quad (6)$$

$$W_i=\frac{k}{S_i} \quad (7)$$

Burada;

Q_i Her bir metalin alt indeksini
C_i Metallerin tespit edilen konsantrasyon değerini
S_i Parametrelerin WHO (2011) tarafından içme suyu olarak izin verilen standart değerlerini
W_i Metallerin birim ağırlığını
k Sabit bir değeri "1" temsil eder.

Eğer *HPI* <100 ise düşük seviyeli bir ağır metal kirliliğinin olduğunu ve olumsuz sağlık etkileri olmadığını işaret eder. *HPI* = 100 olduğunda, eşik riskinin ve olumsuz sağlık etkilerinin mümkün olduğunu gösterir. *HPI* 100'den fazlaysa, su içmek için kullanılamaz ve tüketim için uygun değildir (Saleh ve ark., 2018).

Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI)

Ağır metal kirlilik indeksi gibi ağır metal değerlendirme indeksi de sudaki ağır metal kirliliği ile ilgili olarak su kalitesinin genel eğilim değerlendirmesini tarif eder. Dolayısıyla, suyun kirlilik seviyesinin kolay yorumlanmasına yardımcı olur (Edet ve Offiong, 2002). HEI, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (8).

$$HEI=\sum_{i=1}^{n}\frac{H_C}{H_{MAC}} \quad (8)$$

Burada;

H_C her bir parametre için tespit edilen değeri
H_{MAC} her bir parametrenin maksimum izin verilen konsantrasyon değerini simgeler.

"*HEI* <10 ise düşük kirlilik, 10<*HEI*<20 ise orta kirlilik, *HEI* >20 ise yüksek kirlilik var" şeklinde yorumlanır. (Saleh ve ark., 2018)

Çizelge 3. Çalışma alanındaki parametrelerin ağırlık değerleri
Table 3. Weight values of parameters in the study area

Metal	WHO (2011)	Ağırlık Değeri (AW)	Bağıl Ağırlık (RW)
Na (mg/L)	200	3	0,058
Mg (mg/L)	50	2	0,038
K (mg/L)	12	2	0,038
Ca (mg/L)	75	2	0,038
Al (µg/)	200	4	0,077
Cr (µg/)	50	5	0,096
Mn (µg/)	400	5	0,096
Fe (µg/)	300	4	0,077
Ni (µg/)	70	5	0,096
Cu (µg/)	2000	2	0,038
Zn (µg/)	3000	3	0,058
As (µg/)	10	5	0,096
Cd (µg/)	3	5	0,096
Pb (µg/)	10	5	0,096
Toplam		52	1,00

Çizelge 4. Sağlık riski değerlendirmesi için incelenen metallerin toksikolojik parametreleri
Table 4. Toxicological parameters of the investigated metals for health risk assessment

Metal (µg/L)	K_p	$RfD_{sindirim}$ µg/kg/day	RfD_{deri} µg/kg/day	ABS_g (%)
Cr	1,00E-03	3	0,075	0,013
Ni	2,00E-04	20	0,8	0,04
Cu	1,00E-03	40	8	0,57
Zn	6,00E-04	300	60	0,2
As	1,00E-03	0,3	0,285	0,95
Cd	1,00E-03	0,5	0,025	0,05
Pb	1,00E-04	1,4	0,42	0,117
Mn	1,00E-03	24	0,96	0,06
Fe	1,00E-03	700	140	0,014
Al	1,00E-03	1000	200	0,20

Çizelge 5. Değirmendere Barajı'ndaki toksik metallerin tehlike oranı ve kanser risk değerleri
Table 5. Hazard quotient and cancer risk values of toxic metals in Değirmendere Dam

Element	$HQ_{sindirim}$		HQ_{Deri}		HI		Kanser riski (Sindirim + Deri)	
	Yetişkin	Çocuk	Yetişkin	Çocuk	Yetişkin	Çocuk	Yetişkin	Çocuk
Cr	1,40E-04	1,57E-04	2,25E-03	4,98E-03	2,39E-03	5,14E-03		
Ni	1,63E-04	1,82E-04	1,06E-04	2,35E-04	2,69E-04	4,17E-04		
Cu	2,26E-03	2,53E-03	1,04E-04	2,29E-04	2,37E-03	2,76E-03		
Zn	5,62E-04	6,30E-04	4,40E-05	9,74E-05	6,06E-04	7,27E-04		
As	9,00E-02	1,01E-01	5,21E-04	1,15E-03	9,05E-02	1,02E-01	4,10E-05	4,66E-05
Cd	1,88E-03	2,10E-03	3,92E-03	8,68E-03	5,80E-03	1,08E-02		
Pb	2,61E-03	2,92E-03	3,88E-05	8,59E-05	2,65E-03	3,01E-03		
Mn	3,14E-02	3,52E-02	6,84E-04	1,51E-03	3,21E-02	3,67E-02		
Fe	2,37E-03	2,66E-03	4,42E-05	9,79E-05	2,42E-03	2,76E-03		
Al	3,49E-02	3,91E-02	4,55E-05	1,01E-04	3,49E-02	3,92E-02		
Toplam HI					1,74E-01	2,03E-01		

Çizelge 6. Sulama suyu indekslerine (% Na, SAR ve MH) göre kalite sınıfları
Table 6. Quality classes according to irrigation water indices (Na%, SAR, and MH)

% Na (meq/L)	Su Kalitesi	SAR (meq/L)	Su Kalitesi	MH (meq/L)	Su Kalitesi
<20	Mükemmel	0-6	İyi	<50	Uygun
20–40	İyi	6-9	Şüpheli	>50	Uygun değil
40–60	İzin verilebilir	>9	Uygun değil		
60–80	Şüpheli				
>80	Uygun değil				

Sağlık Risk Değerlendirmesi

Mevcut sağlık risk değerlendirme yöntemleri ve matematiksel modeller ülkeler ve organizasyonlar arasında farklılıklar göstermekle birlikte temelde aynı prensibi paylaşmaktadır. Bu çalışmada USEPA (2004) tarafından önerilen sağlık riski değerlendirme yöntemini kullanıldı. Suda bulunan ağır metallerin insan sağlığı açısından risk değerlendirilmesi yapılırken, genellikle sindirim yoluyla alınan ve deri yoluyla absorbe edilen miktarı dikkate alınır (Zeng ve ark., 2015; Saleem ve ark., 2019). Bu nedenle, doğrudan sindirimle ($ADD_{sindirim}$) ve deri ile emilen (ADD_{deri}) ortalama günlük doz (ADD) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır (9, 10).

$$\mathrm{ADD_{sindirim}} = \frac{C_{su} \times IR \times ABS_g \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (9)$$

$$\mathrm{ADD_{deri}} = \frac{C_{su} \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (10)$$

Burada;

$ADD_{sindirim}$ Sindirim ve deri yoluyla alınan günlük ortalama dozu (µg/kg/gün)

ADD_{deri} Sindirim ve deri yoluyla alınan günlük ortalama dozu (µg/kg/gün)

C_{su} Suda tespit edilen metallerin konsantrasyonlarını (µg/L)

IR Yetişkinler için 2, çocuklar için 0,64 olan sindirim oranını (L/gün) gösterir

EF Maruz kalma sıklığı anlamına gelir, bu çalışmada 365 gün/yıl

ED Maruz kalma süresini (yıl) gösterir. Bu çalışmada yetişkinler için 70 ve çocuklar için 6

BW Ortalama vücut ağırlığını (kg) gösterir. Bu çalışmada yetişkinler için 70 ve çocuklar için 20

AT Ortalama yaşam süresi (gün) gösterir. Bu çalışmada yetişkinler için 25550 ve çocuklar için 2190

SA Bu çalışmada yetişkinler için 18000 ve çocuklar için 6600 olmak üzere maruz kalan cilt alanını (cm^2) gösterir

ABS_g Mide bağırsak emilim faktörüdür.

Kp Suda dermal geçirgenlik katsayısını (cm/sa) belirtir

ET Banyo ve duş sırasında maruz kalma süresidir

Bu çalışmada 0,6 saat/gün; *CF*, 1 L/1000 cm^3 birim dönüşüm faktörüdür (Saleem ve ark., 2019; Xiao ve ark., 2019).

Sindirim ve deri ile alınan ağır metallerin hem olası kanserojen riski hem de kanserojen olmayan riski çocuklar ve yetişkinler için hesaplandı ve değerlendirildi. Kanserojen olmayan risk oranı (*HQ; Hazard Quotient*); günlük ortalama dozun (*ADD*) referans doza (*RfD*) bölünmesiyle hesaplandı. Tehlike indeksi (*HI; Hazard Index*) ise *HQ* değerlerinin toplamına eşittir ve tüm ağır metallerin oluşturduğu potansiyel kanserojen olmayan riski temsil eder. *HQ* ve *HI* aşağıdaki formüllerle (11, 12) hesaplanmıştır (USEPA, 2004).

$$\mathrm{HQ} = \frac{\mathrm{ADD_{sindirim}}/\mathrm{ADD_{deri}}}{\mathrm{RfD_{sindirim}}/\mathrm{RfD_{deri}}} \quad (11)$$

$$\mathrm{HI} = \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{ADD_{sindirim}} + \mathrm{ADD_{deri}}) \quad (12)$$

Hesaplamalar sonucunda; *HQ*<1 değeri, herhangi bir olumsuz sağlık etkisine maruz kalınmasının olası olmadığını, *HI*>1 değeri ise ağır metallere maruz kalmadan kaynaklanan kanserojen olmayan etkilerin olabileceğini gösterir.

Kanserojen risk (CR), ömür boyu potansiyel bir kanserojene maruz kalma olasılığıdır ve herhangi bir bireyin herhangi bir kirleticiye ömür boyunca maruz kalması neticesinde kanser olup olmayacağını gösteren değerdir. Kanserojen risk aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (13)

$$\mathrm{CR} = \mathrm{ADD} \times \mathrm{CSF} \quad (13)$$

Burada, *CSF* kanser eğim faktörüdür. Kanser riski mevcut çalışmada sadece As için hesaplandı. CSF değerleri sindirim ve deri için sırasıyla 0,0015 ve 0,00366 µg/kg/gün'dür (Gao ve ark., 2019).

USEPA (2004) kabul edilebilir kanserojen risk aralığını 10^{-6} ile 10^{-4} olarak tavsiye etmiştir. Oysa CR $\geq 10^{-4}$ olduğunda insan sağlığı için zararlı etkilerin meydana gelme olasılığı yüksektir.

Sulama Suyu Kalite Parametreleri

Sulama suyu kimyası; kaynağa, jeoloji ve iklimdeki bölgesel farklılıklara göre değişmektedir. Örneğin, yüksek tuz konsantrasyonuna sahip sular, bitkilerin su absorbsiyonunu azaltarak büyümesini geciktirir ve metabolik süreçlerini değiştirerek bitkilere son derece zararlı olabilir (Aydın ve ark., 2021). Mevcut çalışmada, Değirmendere Baraj suyunun sulama suyu kalitesi sodyum absorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na) ve magnezyum zararı (MH) parametreleri ile değerlendirildi ve sırasıyla aşağıdaki formüller yardımıyla (14-16) hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken, elementlerin konsantrasyon birimi meq/L'ye dönüştürdü (Ravikumar ve ark., 2013).

$$\mathrm{SAR} = \frac{\mathrm{Na^+_{meq}}}{\sqrt{\frac{\mathrm{Ca^{2+}_{meq}} + \mathrm{Mg^{2+}_{meq}}}{2}}} \quad (14)$$

$$\%\,\mathrm{Na} = \frac{(\mathrm{Na^+_{meq}} + \mathrm{K^+_{meq}}) \times 100}{\mathrm{Na^+_{meq}} + \mathrm{Ca^{2+}_{meq}} + \mathrm{Mg^{2+}_{meq}} + \mathrm{K^+_{meq}}} \quad (15)$$

$$\mathrm{MH} = \left(\frac{\mathrm{Mg^{2+}_{meq}}}{\mathrm{Ca^{2+}_{meq}} + \mathrm{Mg^{2+}_{meq}}}\right) \times 100 \quad (16)$$

Bulgular ve Tartışma

Değirmendere Baraj Gölü'nde yapılan su analizi sonucunda elde edilen metal değerlerinin tanımlayıcı istatistik verileri (ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum) ile bu metallerin ulusal (TS 266, 2005) ve uluslararası (WHO, 2011) tavsiye edilen standart limitleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, box plot grafikleri de Şekil 3'te görülmektedir. Baraj gölü suyunda bulunan metallerin konsantrasyonları (µg/L) sırasıyla; Ca (50943)> Mg (42212)> Na (31637)> K (3725)> Al (63,68)> Fe (43,30)> Zn (30,78)> Cu (5,79)> Mn (4,59)> Ni (2,97)> Cr (1,18)> Pb (1,14)> As (1,04)> Cd (0,69) değeri şeklindedir. Bu dağılıma bakarak metal konsantrasyonlarının WHO

(2011)'nun ve TS 266 (2005)'nın bildirdiği içme ve kullanma suyu standart değerlerini aşmadığı söylenebilir.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi, kimyasal parametreler arasındaki ilişkinin yönünü ve miktarını belirlemek için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının -1'e yakın olması güçlü negatif ilişki, +1'e yakın olması güçlü pozitif ilişki anlamına gelir. Sıfıra yakın değerler anlamlı düzeyde bir ilişkinin olmadığını gösterir (Tokatlı, 2017; Ustaoğlu ve Tepe, 2018). Aralarında güçlü korelasyon (r>0,8) olan parametreler koyu renkle gösterilmiş oluş, büyük ihtimalle benzer kaynaklardan yayılış göstermişlerdir.

Baraj gölünün su kalitesinin içme suyu açısından değerlendirilmesinde su kalitesi indeksi (WQI), ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) kullanıldı. İndeks hesaplamaları WHO (2011)'nun içme suları için tavsiye ettiği değerler ile yapıldı. WQI hesaplamasında kullanılan ağırlık değerleri Çizelge 3'te gösterilmiştir. Metallere uygulanan indeks hesaplamaları sonucunda WQI değeri 16,3 olarak tespit edildi. Bu sonuca göre, Değirmendere Baraj suyu "mükemmel su" (WQI=0-25) kalitesindedir (Yadav, 2010). Hesaplanan HPI değeri (17,54) <100 olduğundan düşük derecede bir metal kirliliğinin varlığını işaret etmekle birlikte, olumsuz sağlık etkilerinin olmadığını gösterir (Saleh ve ark., 2018). Benzer şekilde HEI değeri (1,00) <10 olduğundan su kalitesi "düşük kirlilik" sınıfına dahildir (Saleh ve ark., 2018). Kükrer ve Mutlu (2019), antropojenik kaynaklardan fazla etkilenmeyen Saraydüzü Barajı'nda yaptıkları çalışmada, WQI değerlerine göre (17,62-29,88) baraj suyunun mükemmel kalitede olduğunu bildirmişlerdir. Sanayi ve zirai faaliyetlerden yoğun bir şekilde etkilenen Gala ve Sığırcı göllerinde yapılan çalışmada ise WQI değerleri sırasıyla 253 ve 159 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre her iki gölün de içme suyu için uygun kalitede olmadığı bildirilmiştir (Tokatlı ve Ustaoğlu, 2020). Aynı çalışmada, hesaplanan HPI ve HEI değerlerine göre de Gala ve Sığırcı göllerinin metal kirliliğine maruz kaldığı, dolayısıyla içme suyu için uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Önemli miktarda metal içeren içme suyunun içilmesi sağlık için zararlıdır. Dolayısıyla çeşitli kanser türlerine ve kanserojen olmayan rahatsızlıklara neden olabilir. Bu çalışmada tespit edilebilen toksik metallerin yetişkinler ve çocuklar için kanser/kanserojen olmayan sağlık risk etkileri belirlenmiştir. Çizelge 4'te gösterildiği gibi, her bir metalin ADD, RfD ve CSF değerleri temelinde, HQ, HI ve CR değerleri hesaplanmıştır (USEPA., 2004; Wang ve ark., 2017). Değirmendere Barajı'nda 10 metal (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Mn, Fe, Al) için hesaplanan $HQ_{ingestion}$, HQ_{dermal} ve HI değerleri çocuklar ve yetişkinlerde <1 olduğu için, baraj suyu yerel halk tarafından içme suyu olarak kullanıldığında, potansiyel bir tehlike oluşma ihtimalinin düşük olduğunu söyleyebiliriz. Dünyada, özellikle Asya kıtasında bu konuda yapılan çalışmalar yaygındır. Örneğin Nepal'deki Himalaya Nehri'nde, bölge sakinlerinin toksik metaller nedeniyle maruz kalacağı sağlık tehlikesi riskinin (HQ ve HI) düşük olduğu veya hiç olmadığı bildirilmiştir (Tripathee ve ark., 2016). Oysa, endüstri faaliyetlerinin yoğun olduğu Hindistan Ajay Nehri ve Bangladeş'in Rupsa Nehri havzalarında yapılan araştırmalarda HQ/HI değerlerinin sınırlayıcı risk değerlerini aştığı ve yöre halkı için sağlık riski oluşturabileceği bildirilmiştir (Singh ve Kumar, 2017; Proshad ve ark., 2020)

İçme suyu vasıtasıyla uzun süre arseniğe maruz kalınması durumunda, kanserojen etki, hipertansiyon, cilt lezyonları gibi sağlık sorunları meydana gelir. Bu çalışmada hem çocuklar hem de yetişkinler için kanser riski (CR) kanser eğim faktörü (CSF) kullanılarak sadece arsenik için hesaplandı (Çizelge 5). Çocuklar için hesaplanan CR (4,66E-05), yetişkinlerden (4,01E-05) daha yüksektir. Bu durum çocukların yetişkinlerle aynı çevreye maruz kaldıklarında, yetişkinlerden daha savunmasız olduklarını gösterir (Xiao ve ark., 2019). Arsenik için tespit edilen CR sonuçları USEPA tarafından önerilen limit değerler (10^{-4}-10^{-6}) aralığındadır. Elde edilen bu değerler, Değirmendere Baraj suyundan arseniğe sindirim ve deri ile maruz kalınması durumunda, önemli bir kanser riskinin oluşmayacağını göstermektedir. Keban Barajı'nda yapılan iki çalışma sonucunda tespit edilen CR değerleri bu çalışmada olduğu gibi kabul edilebilir aralıktadır (Varol, 2019; Canpolat ve ark., 2020). Ancak şehirleşme, sanayileşme ve tarımsal baskılara maruz kalan bölgelerde yerüstü suların kullanılması halinde, arseniğe bağlı yüksek kanser risklerinin olabileceği bildirilmiştir (Saha ve ark., 2017; Qu ve ark., 2018).

Değirmendere Barajı'nın yapılış amaçlarından biri de bölgenin tarım arazilerini sulamaktır. Bu çalışmada sodyum yüzdesi (%Na), sodyum absorbsiyon oranı (SAR) ve magnezyum zararı (MH) değerlerine dayalı sulama suyu kalitesi parametreleri hesaplandı. Sonuçlar Çizelge 6'ya göre değerlendirildi (Ravikumar, 2013). %Na, sodyum tehlikesini incelemek için kullanılan bir yaklaşımdır. Su kalitesinin sulama için uygunluğunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Su ve topraktaki yüksek sodyum konsantrasyonu, su geçirgenliğini azaltarak bitkilerin büyümesini yavaşlatacağı için, sulama amaçlı suyun yönetimi için çok önemlidir. Değirmendere Barajı'nda 19,56 olarak hesaplanan %Na değerine göre baraj suyu "mükemmel" kalitededir (%Na<20). SAR, sulama suyunun topraktaki katyon değişim reaksiyonlarına girme eğilimini belirleyen bir yaklaşımdır. Sudaki yüksek Na^+ seviyesi toprak alkalinitesini arttırır ve bitkilerin su kullanılabilirliği ile birlikte toprak geçirgenliğini azaltır (Arveti ve ark. 2011). Değirmendere Barajı'nda SAR değeri 0,79 olup sulama suyu açısından "iyi kalite su" (SAR<6) kategorisindedir.

MH, sulama için suyun kalitesini belirlemede en önemli kalitatif kriterlerden biri olarak kabul edilmektedir. Sulardaki yüksek Mg^{+2} oranı genellikle dengeli olan Ca^{+2} ve Mg^{+2} oranını bozabilir. Ayrıca, fazla Mg^{+2}, suyu daha fazla alkaline dönüştürerek bitkilerin büyümesini etkiler (Khalid, 2019). Bu çalışmada 57,70 olarak hesaplanan MH değeri, sulama için tavsiye edilen limit değerin (MH>50) biraz üzerindedir. Çalışma alanımızın batısında bulunan, Batı Karadeniz Bölgesi'nden denize dökülen Sakarya Nehri'nde farklı istasyonlarda yürütülen bir çalışmada, tüm istasyonlar için sulama suyunun; SAR, %Na ve MH açısından sırasıyla mükemmel, iyi ve uygun olduğu bildirilmiştir (Özer ve Köklü, 2019).

Sonuç

Değirmendere Barajı'nda yürütülen bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sudaki metal konsantrasyonları WHO ve TS 266'ya göre içme ve kullanma suları için tavsiye edilen limit değerleri aşmamıştır.
- İçme suyu bakımından metallerin bütünleşik etkilerinin değerlendirildiği WQI, HPI ve HEI değerlerine göre su kalitesi içme suyu için uygundur.
- Sağlık riskinin değerlendirildiği tehlike oranı (HQ), tehlike indeksi (HI) ve kanser riski (CR) açısından baraj gölünün su kalitesi yetişkinler ve çocuklar için potansiyel tehlike oluşturmayacak durumdadır.
- Sulama suyu kalitesinin belirlendiği sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum yüzdesi (%Na) değerlerine göre baraj suyu sulama açısından elverişlidir. Ancak magnezyum zararı (MH) değeri sulama suyu bakımından 50 olan limit değerin biraz üzerindedir (MH=57,70).

Teşekkür

Değerli yorum ve önerileri için Prof. Dr Beyhan Taş'a ve dilbilgisi düzeltmeleri için Dr. Dursun Şahin'e çok teşekkür ederim.

Kaynaklar

Aras S, Fındık Ö, Kalıpcı E, Sahinkaya S.2017. Assessment of concentration physicochemical parameters and heavy metals in Kızılırmak River, Turkey. Desalınatıon and Water Treatment, 72: 328-334.

Arveti N, Sarma MRS, Aitkenhead-Peterson JA, Sunil K. 2011. Fluoride incidence in groundwater: a case study from Talupula, Andhra Pradesh. India. Environmental monitoring and assessment, 172:427–443.

Aydın H, Ustaoğlu F, Tepe Y, Soylu EN. 2021 Assessment of Water Quality of Streams in northeast Turkey by Water Quality Index and Multiple Statistical Methods. Envıronmental Forensıcs, https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1836074

Canpolat Ö, Varol M, Okan Ö, Eriş K, Çağlar M. 2020. A comparison of trace element concentrations in surface and deep water of the Keban Dam Lake (Turkey) and associated health risk assessment. Environmental Research, 190:110012.

Cüce H, Kalıpcı E, Taş B, Yılmaz, M. 2020. Rakım Farklılığı Nedeniyle Oluşan Meteorolojik Değişimlerin Su Kalitesine Olan Etkilerinin CBS ile Değerlendirilmesi: Morfolojik Olarak Farklı İki Göl için Bir Karşılaştırma. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 10(1):1-26.

Edet AE, Offiong OE. 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. a study case from Akpabuyo-Odukpani Area, Lower Cross River Basin (Southeastern Nigeria). GeoJournal, 57:295–304.

Gao B, Gao L, Gao J, Xu D, Wang Q, Sun K. 2019. Simultaneous evaluations of occurrence and probabilistic human health risk associated with trace elements in typical drinking water sources from Major River Basins in China. Sci Total Environ, 666:139–146.

Herojeet R, Rishi MS, Kishore N. 2015. Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India. Chin. J. Geochem, 34: 620–633.

Horton RK. 1965. An index-number system for rating water quality. Journal of the Water Pollution Control Federation, 37(3): 300-306.

Keskin AÜ, Demir ŞD. 2018. Amasya Değirmendere Barajında Sulama Alanı ve Baraj Yüksekliği Arasında Ekonomik Analiz. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(60):755-764.

Khalid S. 2019. An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. Journal of Geochemical Exploration, 197:14-26.

Kükrer S, Mutlu E. 2019. Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. Environ Monit Assess 191, 71. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7197-6

Mutlu E, Demir T, Kutlu B, Yanık T. 2013. Sivas- Kurugöl Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 1 (1): 37-43

Mutlu E, Tepe Y. 2014. Yayladağı Sulama Göleti (Hatay) Suyunun Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Alınteri Zirai Bilimler Dergisi, 27(B): 18-23.

Mutlu E, Kutlu B, Demir T. 2016. Assessment of Çinarli Stream (Hafik-Sivas)'S Water Quality via Physico-Chemical Methods, Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 4 (4): 267-278

Mutlu E, Kurnaz A. 2018. Assesment of Physiochemical Parameters and Heavy Metal Pollution in Çeltek Pond Water. Indian Journal of Geo-Marine Sciences. 47(6):1185-1192.

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. Environ Monit Assess, 191, 335. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7473-5

Mohan SV, Nithila P, Reddy SJ.1996. Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. J Environ Sci Health Part A, 31(2):283–289.

Özer Ç, Köklü R. 2019. Assessment of Lower Sakarya River Water Quality in Terms of Irrigation Water. Journal of Natural Hazards and Environment, 5(2):1-10.

Proshad R, Islam S, Tusher TR, Zhang D, Khadka S, Gao J, Kundu S. 2020. Appraisal of heavy metal toxicity in surface water with human health risk by a novel approach: a study on an urban river in vicinity to industrial areas of Bangladesh. Toxin Reviews, https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1780615

Qu L, Huang H, Xia F, Liu Y, Dahlgren RA, Zhang M. 2018. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. Environ. Pollut, 237:639-649.

Ravikumar P, Mehmood MA, Somashekar RK. 2013. Water quality index to determine the surface water quality of Sankey tank and Mallathahalli lake, Bangalore urban district, Karnataka, India. Applied Water Science, 3(1):247–261.

Saha N, Rahman MS, Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Guo W. 2017. Industrial metal pollution in water and probabilistic assessment of human health risk. J. Environ. Manag. 185:70-78.

Saleh HN, Panahande M, Yousefi M, Asghari FB, Oliveri Conti G, Talaee E, Mohammadi AA. 2018. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. Biol Trace Elem Res, 190(1):251–261.

Saleem M, Iqbal J, Shah MH.2019. Seasonal variations, risk assessment and multivariate analysis of trace metals in the freshwater reservoirs of Pakistan. Chemosphere, 216:715–724

Singh UK, Kumar B. 2017. Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. Chemosphere, 174:183-199.

Taş B. 2006. Derbent Baraj Gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi. Ekoloji, 15(60): 1-6.

Taş B, Kolören Z. 2017. Evaluation of water qualities of discharging area of some running waters into Black Sea in the Central Black Sea Region of Turkey. Review of Hydrobiology, 10(1): 1-19.

Taş B, Şişman Hamzaçebi E. 2020. Assessment of algal diversity and hydrobiological preliminary results in a high-mountain lake (Karagöl Lake, Giresun Mountains, Turkey). Review of Hydrobiology, 13,1-2:11-38.

Taş B, Tepe Y, Ustaoğlu F, Alptekin S. 2019. Benthic algal diversity and water quality evaluation by biological approach of Turnasuyu Creek, NE Turkey. Desalination and Water Treatment 155:402–415.

Tepe Y, Aydin H. 2017. Water quality assessment of an urban water, Batlama Creek (Gıresun), Turkey by applying multivariate statistical techniques. Fresenius Environ Bull, 26:6413-6420.

Tokatlı C.2017. Bio-ecological and statistical risk assessment of toxic metals in sediments of a worldwide important wetland: Gala Lake National Park (Turkey). Arch Environ Prot, 43(1):34–47.

Tokatli C, Solak CN, Yilmaz E. 2020. Water Quality Assessment by Means of Bio-Indication: A Case Study of Ergene River Using Biological Diatom Index. Aquatic Sciences and Engineering, 36(2): 43-51.

Tokatli C, Ustaoğlu F. 2020. Health risk assessment of toxicants in Meriç River Delta Wetland, Thrace Region, Turkey. Environ Earth Sci, 79: 426.

USEPA, 2004. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. 1, Human Health Evaluation Manual (Part A), Washington, DC.

Ustaoğlu F. 2020. Ecotoxicological risk assessment and source identification of heavy metals in the surface sediments of Çömlekci stream, Giresun, Turkey. Environmental Forensics, https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1806148

Ustaoğlu F, Tepe Y, Aydın H, Akbaş A. 2017. Investigation of water quality and pollution level of lower Melet River, Ordu, Turkey. Alınteri Zirai Bilimler Dergisi, 32(1): 69-79.

Ustaoğlu F, Tepe Y. 2018. Determination of the sediment quality of Pazarsuyu Stream (Giresun, Turkey) by multivariate statistical methods. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(3):304–312.

Ustaoğlu F, Tepe Y. 2019. Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. Int Soil Water Conserv Res, 7:47–56

Ustaoğlu F, Aydın H. 2020. Health risk assessment of dissolved heavy metals in surface water in a subtropical rivers basin system of Giresun (north-eastern Turkey). Desalination and Water Treatment, 194:222–234.

Ustaoğlu F, Islam, S. 2020. Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. Ecological Indicators, 113, 106237.

Ustaoğlu F, Tepe Y, Taş B. 2020a. Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. Ecol. Indic, 113,105815. https://doi.org/ 10.1016/j.ecolind.2019.105815

Ustaoğlu F, Tepe Y, Aydin H. 2020b. Heavy metals in sediments of two nearby streams from Southeastern Black Sea coast: Contamination and ecological risk assessment. Environmental Forensics, 21(2):145-156.

Wang J, Liu G, Liu H, Lamc P. 2017. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. Sci Total Environ 583:421–431.

Xiao J, Wang L, Deng L, Jin Z. 2019. Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. Sci Total Environ 650:2004–2012.

Varol M. 2019. Arsenic and trace metals in a large reservoir: Seasonal and spatial variations, source identification and risk assessment for both residential and recreational users. Chemosphere, 228:1-8.

Varol M. 2020. Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: a case study. Environ Pollut 266:115417

Varol S, Davraz A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). Environ Earth Sci, 73: 1725–1744.

Yadav AK, Khan P, Sharma SK 2010. Water Quality Index Assessment of Groundwater in Todaraisingh Tehsil of Rajasthan State, India-A Greener Approach. Journal of Chemistry, 7: 428-432. https://doi.org/10.1155/2010/419432

Yuksel B, Arica E. 2018. Assessment of Toxic, Essential, and Other Metal Levels by ICP-MS in Lake Eymir and Mogan in Ankara, Turkey: An Environmental Application. Atomic Spectroscopy, 39(5):179-184.

Zeng X, Liu Y, You S, Zeng G, Tan X, Hu X, Huang L, Li F.2015. Spatial distribution, health risk assessment and statistical source identification of the trace elements in surface water from the Xiangjiang River, China. Environ Sci Pollut Res, 22:9400–9412.