ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/359143448

BURSA İLİ KIRSAL BÖLGELERİNDEKİ İÇME SUYU AMAÇLI KULLANILAN KUYU SULARININ AĞIR METAL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Article · March 2022

DOI: 10.15237/gida.GD22012

CITATIONS
0

READS
17

3 authors, including:



Selman Kander
Uludag University
4 PUBLICATIONS **1** CITATION

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Formation of Thin Films via Atomic Layer Deposition for the Elimination of Toxic Dyes in Textile Effluents View project

All content following this page was uploaded by Selman Kander on 15 March 2022.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

GIDA
THE JOURNAL OF FOOD
E-ISSN 1309-6273, ISSN 1300-3070

Araştırma / *Research*
GIDA (2022) 47(2)199-211
doi: 10.15237/gida.GD22012

BURSA İLİ KIRSAL BÖLGELERİNDEKİ İÇME SUYU AMAÇLI KULLANILAN KUYU SULARININ AĞIR METAL SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Ayşe Kurt[1*], Selman Kander[2], Ömer Utku Çopur[3]
[1*] Bursa Uludağ Ünversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi , Bursa, Türkiye
[2]Bursa Uludağ Ünversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye
[3]Bursa Uludağ Ünversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye

Geliş / *Received*: 12.01.2022; Kabul / *Accepted*: 02.03.2022; Online baskı / *Published online*: 05.03.2022

Kurt, A., Kander, S., Çopur, Ö.U. (2022). Bursa ili kirsal bölgelerindeki içme suyu amaçli kullanilan kuyu sularinin ağir metal seviyelerinin belirlenmesi. *GIDA* (2022) 47(2)199-211 doi: 10.15237/gida.GD22012

Kurt, A., Kander, S., Çopur, Ö.U. (2022). Determination of the heavy metal levels of well waters used as drinking waters in the rural areas of Bursa city. GIDA (2022) 47(2)199-211 doi: 10.15237/gida.GD22012

ÖZ
Bu çalışma kapsamında Bursa ili kırsal bölgelerindeki 10 farklı noktadan içme suyu amaçlı kullanılan kuyu suyu toplanmış ve analiz edilmiştir. Numunelerin içerdikleri ağır metallerin ortalama seviyeleri (µg/L); Cu (183.40) > Fe (86.29) > Al (55.75) > Mn (20.2) > Cr (7.33) > Cd (5) > Ni (2.54) > As (2.23) > Se (1.99) > Pb (1.55) > Hg (1) > Sb (0.70) > B (0.0002) olarak bulunmuştur. Tüm kuyu sularına ait su kalite indeksi (WQI) değerleri < 50 olduğu için su kaliteleri DSÖ (2011) kriterlerine göre "mükemmel" olarak tanımlanmıştır. Ağır metal kirliliği (HPI) değerleri <100 olduğundan sağlık açısından olumsuz etkilere yol açmadığı sonucuna varılmıştır. Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) <10 ve çok düşük değerlerde olduğundan sonuçlar su kaynaklarında kayda değer bir kirliliğin olmadığını göstermiştir. Tüm kuyulara ait suların maksimum kirletici seviyeleri (MCL) EPA (2018)'e göre 0.01 mg/L'nin altında olup insan ve hayvan için kanserojen risk içermemektedirler.
Anahtar kelimeler: Su kalitesi, kırsal bölgeler, ağır metaller, yeraltı suları, içme suları.

DETERMINATION OF THE HEAVY METAL LEVELS OF WELL WATERS USED AS DRINKING WATERS IN THE RURAL AREAS OF BURSA CITY

ABSTRACT
Well waters were collected from 10 different points in rural areas of Bursa city. The average heavy metal doses in samples were found as (µg/L); Cu (183.40) > Fe (86.29) > Al (55.75) > Mn (20.2) > Cr (7.33) > Cd (5) > Ni (2.54) > As (2.23) > Se (1.99) > Pb (1.55) > Hg (1) > Sb (0.70) > B (0.0002). Since the WQI values of all samples are < 50, the water qualities were defined as "perfect" according to WHO (2011). Since the HPI values are < 100, heavy metal levels do not cause negative effects in terms of health. Since the HEI values are < 10, the results show that there is no significant pollution at the sources. The MCL values of all waters are below 0.01 mg/L according to EPA (2018) thus, they do not contain carcinogenic risks for humans and animals.
Keywords: Water quality, rural areas, heavy metals, groundwater, drinking water.

[*]Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author;*
✉ kurtayse1987@gmail.com ✆ (+90) 224 294 0000/55448 🖷 (+90) 0 224 294 14 02
Ayşe Kurt; ORCID no: 0000-0003-0085-7517
Selman Kander; ORCID no: 0000-0003-2098-9445
Ömer Utku Çopur; ORCID no: 0000-0002-1951-7937

GİRİŞ

Bursa Türkiye'nin başta gelen sanayi merkezi illerinden biridir. Bursa ilinin su ihtiyacı yüzeysel sular, yeraltı suları ve pınarlar olmak üzere üç ana kaynaktan karşılanmakta iken, son yıllarda meydana gelen kuraklıkların sebep olduğu yüzey sularındaki azalmaların yeraltı sularına olan talebi ciddi oranda artırdığı görülmüştür (BÇDR, 2019; Solak, 2019). Artan su çekimleri yeraltı suyu seviyelerinin yanında kalitesinde de bir takım değişimlere neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda Bursa ili kırsal bölgelerinde yer alan yeraltı su kaynaklarından bazılarının yıllara göre yukarıda bahsedilen tarım uygulamaları ve sanayileşmeye bağlı olarak ciddi oranda kalitesinin kötüleştiği tespit edilmiştir (BÇDR, 2019).

Bursa Ovası genelde serbest yeraltı suyu ve artezyen akiferler içerdiği için ovada yeraltı suyu temini sığ kuyulardan yapılmaktadır. Genel olarak sular içilebilir durumda olup, endüstriyel kullanıma da uygundur. (DSİ, 2018). İl sınırları içerisinde yıllık yeraltı suyu potansiyelinin 366.85 hm^3 olduğu bildirilmiştir. Yıllık çekilen miktar ise 363.67 hm^3 civarındadır. Yeraltı suyu tahsisi; içme-kullanma, sulama, proses ve hayvancılık amaçlı olarak yapılmaktadır. Bursa ilinde yeraltı su kirliliğine neden olabilecek faktörler arasında noktasal kaynaklar (fabrikalar), yayılı kaynaklar (tarım uygulamaları) ve diğer önemli kirletici kaynaklar ele alınmaktadır. Mudanya ilçesinde yaygın olarak yapılan tarımsal uygulamalara bağlı olarak zirai ilaç ve gübre kullanımından kaynaklanan yeraltı sularını tehdit eden bir yayılı kaynak kirlenmesi raporlanmıştır (BÇDR, 2017). Noktasal kaynaklar kendi içerisinde endüstriyel ve evsel kaynaklar olarak iki alt kaynağa ayrılmaktadır. Noktasal kaynak olarak Bursa İlinde ele alınabilecek endüstriyel bölgeler: Karacabey ilçesinde bulunan İkizce-Badırga Köyleri arasında bulunan Deri Organize Sanayi Bölgesi; Nilüfer ilçesinde bulunan Bursa Ticaret ve Sanayi Odası Organize Sanayi Bölgesi, Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi ve Hasanağa Organize Sanayi Bölgesi; Osmangazi ilçesinde kurulmuş olan Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi; Gemlik İlçesinde kurulmuş olan Gemlik Organize Sanayi Bölgesi; İnegöl İlçesinde kurulmuş olan İnegöl Organize Sanayi Bölgesi; Mustafakemalpaşa İlçesinde kurulu Mustafakemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi ve Yenişehir İlçesinde kurulu olan Yenişehir Organize Sanayi Bölgesi olarak sıralanabilmektedir (Çevre, 2017; Solak, 2019).

Bununla birlikte, dünyadaki mevcut suyun miktarı 141 milyar m^3 olmasına rağmen, kullanılabilir su miktarı 7600 m^3/kişi-yıl'dır, Türkiye'de ise bu sayının 1430 m^3/kişi-yıl olduğu bilinmektedir (Yalılı Kılıç, 2016). Nüfus artışı ve insan ömrünün uzaması gibi faktörler ele alındığında ise, 2025 yılında kişi başına 1100 m^3 suyun düşeceği tahmin edilmektedir (Solmaz, 2011). Kullanılabilir su miktarının giderek azalacak olması, su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kentsel su yönetimi kavramının uygulanması gereğini ortaya koymaktadır (Córcoles vd., 2010; Petroulias vd., 2016). Bu yönetim anlayışına göre, kirlenmiş bir su kaynağının iyileştirilmesi ya da oluşan atıksuların arıtılması gibi çözümlerden önce önceliğin su kaynaklarının kirlilikten korunmasına verilmesi gereklidir (Araujo vd., 2015; Rygaard vd., 2014). Suyun kalite ve miktar analizleri yapılarak, kirletici faktörler belirlenmeli, su kaynaklarına uygun önlemlerin alındığı stratejiler uygulanmalıdır (Gao vd., 2014; Kolokytha vd., 2002). Sürdürülebilir kentsel su yönetiminin doğru şekilde uygulanabilmesi için çevresel, ekonomik ve sosyal unsurların birbiriyle bütünleştirilmesi, mevcut plan ve projelerdeki eksikliklerin göz önüne alınarak hareket edilmesi gerekmektedir. Eksikliklerin doğru raporlanabilmesi için su kaynakları izlenmeli ve planlamanın zayıf noktaları ve fırsatları belirlenmelidir (Araujo vd., 2015; Hu vd., 2014). İlgili kurumlar tarafından konunun sürdürülebilir kentsel su yönetimi kapsamında değerlendirilmesi için çevresel, sosyal ve ekonomik unsurlarla birlikte ele alınması gerekmektedir (Kolokytha vd., 2002; Van der Hoek vd., 2016).

Yapılan araştırmalara göre son 15 yıldır Emet Çayı'nda 50 mg/L'nin üzerinde olmak üzere çok yüksek bor derişimlerinin gözlendiği bilinmektedir (Benzer, 2017; Tokatlı vd., 2016). Dalkıran vd. (2020) Bursa ilinde yer alan Mustafakemalpaşa Çayı'nın su kalitesini belirleme amacıyla çeşitli ağır metal kirlilik parametrelerini incelemiş, bor, arsenik, civa, krom, nikel,

alüminyum ve demirin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne (HSKY, 2016) göre yıllık ortalama çevresel kalite standardı ve/veya maksimum çevresel kalite standardının üstünde olduğunu tespit etmişlerdir (Dalkıran vd., 2020). Yapılan bu çalışmalara bakıldığında Bursa ili yüzeysel su kaynaklarında ağır metal kirliliği raporlanmasına rağmen içme suyu amaçlı kullanılan su kaynaklarıyla ilgili literatürde herhangi bir çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple bu çalışma, Bursa ilinde bulunan kırsal bölgelere ait içme suyu amaçlı kullanılan yeraltı sularının ağır metal seviyelerinin belirlenmesiyle ilgili yapılan ilk çalışma olup, özellikle kırsal bölgelerde oluşabilecek içme ve kullanma sularından kaynaklı halk sağlığını tehdit eden sorunlara karşı çözüm önerilerinin geliştirilmesi açısından son derece önemlidir. Mevcut çalışma kapsamında Bursa ili içerisinde farklı kırsal bölgelerde bulunan ilçe, köy ve beldelere ait çeşitli noktalar belirlenmiş ve bu noktalardan toplanan su numunelerinin ağır metal seviyelerinin belirlenmesi için gerekli laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma Bölgesi Olan Bursa İli'nin Önemi ve Numune Alma

Bursa ili, 40 derece boylam ve 28 - 30 derece enlem daireleri arasında Türkiye'nin kuzeybatısında ve Marmara Denizi'nin güneydoğusunda yer almaktadır. Doğuda Bilecik, Adapazarı, kuzeyde İzmit, Yalova, İstanbul ve Marmara Denizi, güneyde Eskişehir, Kütahya ve batıda Balıkesir illeriyle çevrilidir. Toplam 11027 kilometrekarelik alana sahip olan Bursa'nın Büyükorhan, Gemlik, Gürsu, Harmancık, İnegöl, İznik, Karacabey, Keles, Kestel, Mudanya, Mustafakemalpaşa, Orhaneli, Orhangazi, Yenişehir, Nilüfer, Osmangazi ve Yıldırım isimli 17 ilçesi bulunmaktadır (TÜİK, 2016).

Bursa ilinin su ihtiyacı yüzeysel sular, yeraltı suları ve pınarlar olmak üzere üç ana kaynaktan karşılanmakta iken, son yıllarda bahsi geçen kuraklıklar sonucu yüzey sularında meydana gelen azalmaların yeraltı sularına olan talebi ciddi oranda artırdığı görülmüştür (BÇDR, 2019; Solak, 2019).



Şekil 1. Numune alma noktaları

Figure 1. The location of water sampling points

Bu kapsamda, araştırma konusu olan su numunelerinin alındığı yerler ve numune alma noktaları Şekil 1'de harita üzerinde gösterilmiştir. Mudanya ilçesine bağlı beş (5) köyden (Yörükyenicesi, Yalıçiftlik, Zeytinbağı, Eğerce ve Mesudiye), Gemlik ilçesine bağlı dört (4) köyden (Engürücük, Büyükkumla, İslamköy ve Gemsaz) ve Osmangazi İlçesine bağlı bir (1) köyden (Yiğitali) BUSKİ tarafından içme ve kullanma suyu amaçlı işletilen kuyuların çıkışından, kuyuya

bağlı depolardan ve kuyuya bağlı ana şebekelerden numune alımları gerçekleştirilmiştir. Kuyu suyu numunelerinin arıtım proses sıralamaları Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı'na bağlı İçme Suyu Tesisleri Birimi'nin gerçekleştirmiş olduğu üzere belirtilmiştir: Klorlama→Paket İçme Suyu Arıtım Prosesi veya Baraj Suyuyla Paçal Etme (Sonuçlar istenilen değerlerin üzerinde ise)→ Klorlama→Şebeke Dağıtım

Numuneler, bu bölgelerden Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'de (BUSKİ) görevli teknik personel tarafından anlık olarak Haziran 2021 tarihinde alınmıştır. Bu amaçla, görevli teknik personel için, BUSKİ'den gerekli teknik destek izin yazısı da sağlanmıştır. Numuneler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği (2009) (SKKY, 2004) hükümlerine uygun olarak 500 mL ağzı kapalı plastik şişelere alınacak ve soğuk zincir taşıma koşulları ile analizleri yapılmak üzere laboratuvara ulaştırılmıştır. Dezenfeksiyon yöntemi: klorlama olup, numune alma yöntemi ve sayısı: anlık - 1 kez'dir. Çizelge 1'de numune alımına ilişkin olarak, numunenin alındığı bölge ismi, numune alım noktası ve şekli bilgileri verilmiştir.

Çizelge 1. Numune alımına ait bilgiler

Sıra No *(Serial No)*	Numunenin Alındığı Bölge *(Region Where the Sample Was Taken)*	Numune Alım Noktası *(Sampling Point)*
1	Osmangazi Yiğitali	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
2	Gemlik Gemsaz	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
3	Gemlik İslamköy	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
4	Gemlik Engürücük	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
5	Gemlik Büyük Kumla	Depo çıkışı-tek noktadan (Reservoir outlet-from a single point)
6	Mudanya Yalıçiftlik	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
7	Mudanya Zeytinbağı	Kuyu çıkışı-tek noktadan (Well outlet-from a single point)
8	Mudanya Eğerce	Şebeke çıkışı-tek noktadan (Waterworks outlet-from a single point)
9	Mudanya Mesudiye	Şebeke çıkışı-tek noktadan (Waterworks outlet-from a single point)
10	Mudanya Yörük Yenice	Şebeke çıkışı-tek noktadan (Waterworks outlet-from a single point)

Numuneler TSE ISO 5667-3 (TSE, 1997) – Su Kalitesi – Numune Alma – Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza ve Taşıma Kuralları çercevesinde saklanmıştır. Bu süre içinde kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel açıdan bozulan veya tehlike arz eden numuneler, numune saklama süresinin bitimi beklemeden imha edilmiştir.

İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) Analizleri

Su numunelerinde 13 ağır metal elementi olan alüminyum, mangan, demir, bor, antimon, arsenik, bakır, civa, kadmiyum, krom, kurşun, nikel ve selenyum (Al, Mn, Fe, B, Sb, As, Cu, Hg, Cd, Cr, Pb, Ni ve Se) konsantrasyonları ICP-MS (Perkin Elmer, NEXION 1000, Massachusetts, ABD) cihazında analiz yapılarak belirlenmiştir (Yuksel ve Arica, 2018). Ölçüm, metot geçerli kılma ve belirsizlik hesaplamaları EPA 200.8 ve EPA 6020A metotları ile gerçekleştirilmiştir (EPA, 1994a, 1994b). Çizelge 2'de ICP-MS cihazı optimum çalışma şartları verilmiştir. Nicel analiz için en az beş farklı derişim aralığında çizilen kalibrasyon eğrisinden ($r^2 > 0.999$) faydalanılarak sonuçlar hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analizler

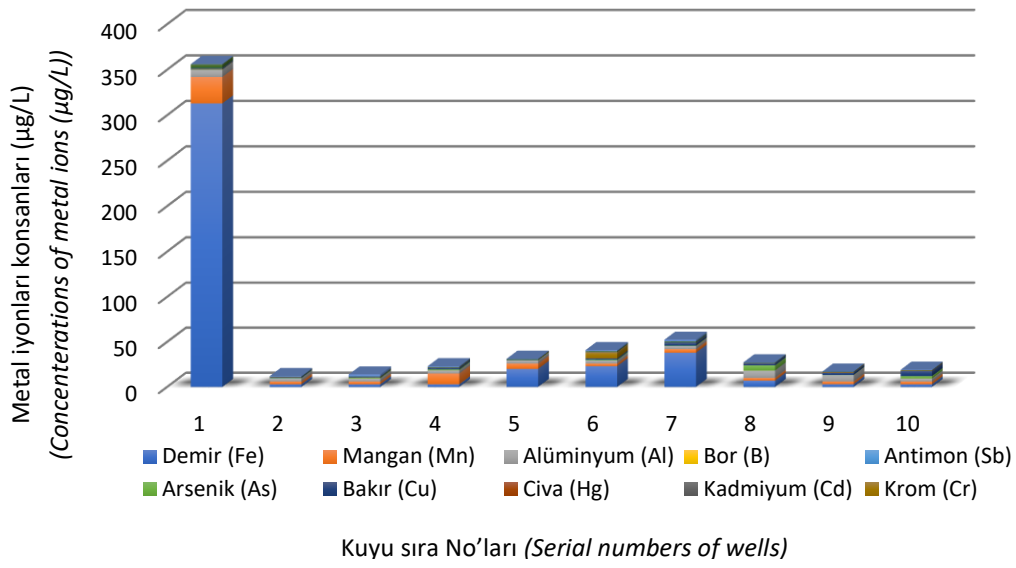
"Pearson" korelasyon matrisleri ve ağır metal içeriklerinin bölgelere göre dağılım grafiği (Şekil 2) MS Office Excel 2019 programı kullanılarak hesaplanmış ve oluşturulmuştur. Ölçüm sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği için tüm analizler 3 kez tekrar edilmiştir.

Ağır metal parametreleri arasındaki korelasyonun yönü ve seviyesinin belirlenmesi amacıyla *"Pearson"* korelasyon matrisleri hesaplanmıştır. Değişken parametreler arasında: korelasyon katsayısı: $r < 0.2$ ise korelasyon çok zayıf yoktur,

r: 0.2-0.4 arasındaysa zayıf korelasyon, r: 0.4-0.6 arasındaysa orta seviyede korelasyon, r: 0.6-0.8 arasındaysa yüksek seviyede korelasyon, 0.8 > r ise çok yüksek seviyede korelasyonun mevcudiyeti söz konusudur (Tokatli, 2017; Ustaoğlu vd., 2017).

Çizelge 2. ICP-MS cihazı optimum çalışma şartları
Table 2. The optimal operating conditions of ICP-MS instrument

Cihaz Parametresi *(Instrument Parameter)*	Şartlar *(Conditions)*
RF gücü *(RF power)*	1600 Watt
RF voltajı *(RF voltage)*	200 Volt
Hücre girişi voltajı *(Cell input voltage)*	-10 Volt
Hücre girişi voltajı RB *(Cell input voltage RB)*	-10.057 Volt
Hücre çıkışı voltajı *(Cell outlet voltage)*	-22 Volt
Hücre çıkışı voltajı RB *(Cell outlet voltage RB)*	-22.04 Volt
Kanal gaz akışı *(Channel gas flow)*	0 ml/dak *(ml/min)*
Plazma gaz akışı *(Plasma gas flow)*	15 L/dak *(L/min)*
Plazma gaz akışı RB *(Plasma gas flow RB)*	14.98 L/dak
Argon gaz kaynağı basıncı *(Pressure Argon gas source)*	91.42 psig
Vakum basıncı tam RB *(Full Vacuum pressure RB)*	6e-07 Torr
Vakum basıncı düşük RB *(Low Vacuum pressure RB)*	2e-07 Torr



Şekil 2. Bursa İli kırsal alanlara ait içme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularının içerdikleri metal iyonlarının sütun dağılım grafiği
Figure 2. Column graph of metal ions in well waters of the rural areas of Bursa City which are used as drinking waters

BULGULAR ve TARTIŞMA

Analiz Metodunun Güvenilirliği

Çizelge 3'te kullanılan analitik yöntemin metot performans parametreleri (tayin sınırı, tekrarlanabilirliği, ara kesinlik, geri kazanım ve ölçüm belirsizliği) sunulmuştur. Bu metot ile elde edilen parametreler EPA 200.8 (EPA, 1994a) ve EPA 6020 A (EPA, 1994b) kriterleri ile uyum sağlamaktadır.

Çizelge 3. Analiz metodunun performans parametreleri (n = 20)
Table 3. Performance parameters of the analysis method (n = 20)

Analizin Adı *(Name of analysis)*	LOQ (µg/L)	Geri kazanım *(Recovery)* (%)	% CV_r[1]	% CV_i[2]	u (%)[3]
Fe	2.92	101.5	3.8	4.29	5.8
Mn	3.02	88.35	4.25	4.34	5.6
Al	3.27	101.9	3.62	3.81	4.4
B	0.05	98.8	1.88	3.38	4.2
Sb	0.1	99.47	0.83	1.35	2
As	0.1	101.02	2.38	4.38	6
Cu	0.1	101.63	1.33	1.72	3.27
Hg	0.1	98.53	2.24	2.97	4
Cd	0.1	100.32	1.53	1.67	2.6
Cr	0.1	100.67	4.39	5.11	6.9
Pb	0.1	101.14	1.22	1.52	1.74
Ni	0.1	101.74	1.52	2.04	2.22
Se	0.1	103.03	1.98	2.19	3.2

[1]Tekrarlanabilirlik rölatif standart sapma (Repeatability relative standard deviation), [2]Ara kesinlik rölatif standart sapma (Intermediate precision relative standard deviation), [3]Rölatif standart ölçüm belirsizliği (Relative standard uncertainty of measurement)

Numunelerin Ağır Metal Seviyeleri

Bursa ili farklı ilçelere ait bölgelerden toplanan içme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularının analizinden elde edilen ağır metal seviyeleri ve 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik' (İTAS, 2016) hükümlerine göre yasal limit değerler Çizelge 4'te belirtilmiştir. Kuyu sularının içermiş olduğu ortalama ağır metal seviyeleri µg/L birimiyle; Cu (183.40) > Fe (86.29) > Al (55.75) > Mn (20.2) > Cr (7.33) > Cd (5) > Ni (2.54) > As (2.23) > Se (1.99) > Pb (1.55) > Hg (1) > Sb (0.70) > B (0.0002) olarak bulunmuştur. Çizelge 4'teki analiz sonuçları incelendiğinde su örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının WHO (2011) ve 20.10.2016 Tarih ve 29863 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular (İTAS) Hakkında Yönetmelik ekinde belirtilen içme suyu limit değerlerini genel olarak aşmadığı görülmüştür (İTAS, 2016; WHO, 2011).

Ancak 1 No'lu kuyu suyundaki 313 µg/L olan demir değeri İTAS (2016) yönetmelik değerinin üzerinde kalmıştır (limit değer: 200 µg/L) (İTAS, 2016; WHO, 2011). Ancak bu kaynağa ait su bu şekilde şebekeye verilmemekte, arıtmaya tabi tutulmakta (paket içme suyu arıtma tesisi) ve standart limit değerlere uygun olarak dağıtımı sağlanmaktadır. Doğada bulunan içme suyu kaynaklarının içerdiği demir konsantrasyonları 0.5 ila 50 mg/L arasında değişmektedir (WHO, 2011). Demir elementi daha çok, demir(II)oksit formunda, insan vücudunun ihtiyaç duyduğu temel elementlerdendir. Ancak bazı içme suları kaynaklarında bulunan demir(II) tuzları kararsız yapıdadır ve buna bağlı olarak çözünemeyen demir(III)hidroksit formuna geçebilmekte ve pas renginde çökelmektedir. 3000 µg/L altındaki demirin insan sağlığına herhangi bir zararlı etkisi yoktur (Selçuk vd., 2019). Bununla birlikte, tat eşik değeri bunun epey alt seviyesinde olduğundan genel insan sağlığı için önerilen limit değerin (WHO, 2011) altıdır. Şekil 2'de Bursa ili kırsal alanlara ait içme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularının içerdikleri metal iyonlarının dağılımı grafiksel olarak belirtilmiştir.

Nikel parametresinin demir ile yüksek korelasyona sahip olduğu (r > 0.8) işaretlenerek gösterilmiş olup bu sonucun Ni ve Fe elementinin altyapıya bağlı olarak tesisat ve borulardan suya geçmiş olabileceği ihtimalinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Nikel, demir ve mangan, bu elementi taşıyan kayaçların yağışlarla birlikte çözünmesiyle yeraltı su kaynaklarının bazılarına geçmektedir. Bununla birlikte içme sularındaki

varlığı çoğunlukla tesisat ve borulardan kaynaklanmaktadır. İçme sularında bulunan nikel içeriği genel olarak 0.02 mg/L'den azdır. Tesisat veya borulardan suya nikel geçişi 1 mg/L miktarına kadar ulaşabilmektedir (WHO, 2011).

Çizelge 4. Bursa İli farklı ilçelere ait içme suyu kuyularından alınan örneklerin ağır metal iyonları içeriği ve konsantrasyonları

Table 4. Heavy metal ions content and concentrations of the samples taken from drinking water wells in different districts of Bursa City

		Kuyu Sıra No'ları *(Serial Numbers of Wells)*									
Metal İyonları-Birimi: µg/L *(Metal Ions-Unit: µg/L)*	#Limit Değer *(Limit Value)*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demir (Iron)	200	313.00	*<2.92	<2.92	<2.92	20.00	23.00	38.00	7.00	3.00	<2.92
Mangan (Manganese)	50	29.00	<3.02	<3.02	12.00	6.00	<3.02	4.00	<3.02	<3.02	<3.02
Alüminyum (Aluminum)	200	8.00	<3.27	<3.27	<3.27	<3.27	<3.27	<3.27	8.00	7.00	<3.27
Bor (Boron)	1000	<0.05	0.16	0.08	0.15	<0.05	0.06	0.05	0.06	<0.05	0.08
Antimon (Antimony)	5	<0.1	0.36	0.20	0.16	0.1	0.11	0.15	0.14	<0.1	0.11
Arsenik (Arsenic)	10	<0.1	0.25	0.71	0.95	0.48	0.83	0.45	5.82	0.19	2.59
Bakır (Copper)	2000	0.46	0.58	0.65	1.41	0.38	1.26	2.58	1.99	2.48	5.65
Civa (Mercury)	1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Kadmiyum (Cadmium)	5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Krom (Chromium)	50	0.44	<0.1	<0.1	0.21	<0.1	6.94	0.15	0.21	0.44	0.24
Kurşun (Lead)	10	0.66	0.12	<0.1	0.34	<0.1	0.17	0.76	0.17	0.16	<0.1
Nikel (Nickel)	20	4.01	0.31	0.33	0.38	0.21	0.91	0.91	0.35	0.29	0.28
Selenyum (Selenium)	10	<0.1	0.68	2.23	0.95	0.32	1.06	1.85	0.21	<0.1	0.59

*#Numune/Numunelerde suyun yapılan analiz sonucunda 20.10.2016 Tarih ve 29863 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 'Insani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te yer alan Ek-1 Çizelge b hükümlerine göre limit değer belirlenmistir. (As a result of the analysis of water in the sample/samples, the limit value has been determined according to the provisions of Annex-1 Table b of the 'Regulation on Water Intended for Human Consumption' published in the Official Gazette dated 20.10.2016 and numbered 29863.) *<Kantifikasyon limiti (LOQ) (Limit of quantification (LOQ))*

Çizelge 5. Bursa İli farklı ilçelere ait içme suyu kaynağı olarak kullanılan kuyulardan alınan su numunelerinin içerdiği ağır metallere ait "*Pearson*" korelasyon matrisleri

Table 5. "Pearson" correlation matrices of heavy metals in water samples taken from drinking water wells in different districts of Bursa City

	Fe	Mn	Al	B	Sb
Fe	1				
Mn	0.929	1			
Al	0.527	0.45	1		
B	-0.304	-0.074	-0.417	1	
Sb	-0.266	-0.248	-0.331	0.767	1
As	-0.251	-0.268	0.365	-0.107	-0.137
Cu	-0.29	-0.334	-0.07	-0.132	-0.302
Hg	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0
Cr	-0.033	-0.133	-0.172	-0.182	-0.22
Pb	0.631	0.595	0.21	-0.23	-0.187
Ni	0.989*	0.908	0.501	-0.295	-0.259
Se	-0.298	-0.322	-0.624	0.118	0.276

**Korelasyon matrisi 0,01 seviyesinde anlamlıdır. (*The correlation matrix is significant at the level of 0.01.)*

Bununla birlikte, Çizelge 5'te Ni, Fe ve Mn arasında korelasyonun yüksek olduğu (0.989* ve 0.908), Pb'nin Fe ve Mn arasında orta seviyeli korelasyonun olduğu (0.631 ve 0.595) ve Al'in Fe ile orta seviyede korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak bu korelasyonların ilgili bölgelerde bulunan çoğu altyapının tesisat ve borularından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte sonuçlar, 20.10.2016 Tarih ve 29863 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan 'İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te yer alan Ek-1 Çizelge b hükümleri limit değerlerinin çok altında bulunmuş ve dolayısıyla numunelerin içme suyu olarak tüketimi uygundur.

Ağır Metal Kirliliği İndeksi (HPI), Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI) ve Su Kalite İndeksinin Belirlenmesi (Weight Quality Index-WQI)

Ağır metal kirliliği indeksinin hesaplanması, metal parametrelerinin su kalitesi üzerinde etkisinin değerlendirmesi için gereklidir. Dolayısıyla, HPI değerleri ağır metallerin toplam su kalitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Herojeet vd., 2015; Ustaoğlu, 2021). Ağır metal kirliliği indeksi (HPI) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (1-3) (Mohan vd., 1996);

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n}(QiWi)}{\sum_{i=1}^{n} Wi} \quad (1)$$

$$Qi = \frac{Ci}{Si} \times 100 \quad (2)$$

$$Wi = \frac{k}{Si} \quad (3)$$

Qi: Ağır metal parametrelerinin alt indeksi, *Ci:* Ağır metal parametrelerinin konsantrasyon değeri (µg/L) (Çizelge 4), *Si:* Ağır metal parametrelerinin içme suları kategorisindeki standart değerleri (WHO, 2011), *Wi:* Ağır metallerin birim ağırlığı, *k:* Sabit değer, 1

HPI değeri < 100 olduğunda ağır metal kirliliği boyutunun düşük seviyeli olduğunu ve sağlık açısından olumsuz etkilere yol açmadığını belirtir. *HPI* = 100 ise, bu durum eşik riski ve sağlık açısından olumsuz etkileri temsil etmektedir. *HPI* > 100 olduğunda ise, su kaynağının içme suyu olarak kullanılamayacak durumda olduğunu belirtir (Saleh vd., 2019). Ağır metal değerlendirme indeksi, suyun ağır metal kirliliğiyle alakalı kalitesine bağlı olarak değerlendirilmesini ifade etmektedir (Edet ve Offiong, 2002). Ağır metal değerlendirme indeksi, HEI aşağıda yer alan formüldeki gibi hesaplanmaktadır (4).

$$\mathrm{HEI} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mathrm{H_C}}{\mathrm{H_{MAC}}} \quad (4)$$

H_C: Ağır metal parametreleri için tespit edilen değerler (Çizelge 4), H_{MAC}: Ağır metal parametreleri için müsade edilen maksimum konsantrasyon değeri (Çizelge 6) (WHO, 2011)

HEI < 10 olduğunda kirliliğin düşük seviyede olduğu, 10 < *HEI* < 20 olduğunda kirliliğin orta seviyeli, *HEI* > 20 ise kirliliğin yüksek seviyede olduğu yorumu yapılabilmektedir (Saleh vd., 2019). Bu çalışma, Bursa İli ilçelerine ait kırsal bölgelerdeki içme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularının kalitesindeki değişimlerin içerdikleri ağır metal seviyelerine bağlı olarak lokasyonlara göre tespiti ve değerlendirilmesini içermektedir. WQI formülasyonunda, çeşitli parametrelerin önemi suyun kullanım amacına bağlıdır; burada su kalite parametreleri insan tüketimine uygunluk açısından incelenmektedir. Bu çalışmada kullanılan içme suyu için 'standartlar' (çeşitli parametrelerin izin verilen değerleri) Dünya Sağlık Örgütü, DSÖ (2011) ve Türk Standartları Enstitüsü içme suyu standartları (2001) tarafından önerilenlerdir (IQS, 2001; WHO, 2011). Metal parametrelerinin her biri için mevcut su kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkisiyle alakalı şekilde 1 ila 5 arasında değişen ağırlık değerleri (*AWi*) belirlenmiştir (Yüksel vd., 2021).

WQI'nin hesaplanması ve formülasyonu aşağıdaki adımları içermektedir:

1) İlk adımda, önceki farklı çalışmalardan alınan toplu uzman görüşlerine bağlı olarak insan sağlığına zararlı olan on ağır metal parametrenin her birine 1 ila 5 arasında değişen bir ağırlık (*AWi*) değeri atanmıştır. Kullanılan referanslarla birlikte her bir parametrenin ağırlıkları için ortalama değerler Çizelge 6'da gösterilmiştir. Ancak, göreceli ağırlık olarak "1" en az anlamlı ve "5" en önemli değer olarak kabul edilmiştir.

2) İkinci adımda, bağıl ağırlık (RW) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

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

Üçüncü aşamada, ağır metal konsantrasyonlarının (C_i) DSÖ'nün (WHO, 2011) belirlediği içme suyu standart limit değeri olan S_i'ye bölündükten sonra 100 ile çarpılıp kalite derecesi, Q_i bulunmuştur (2).

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

Su kalitesi indeksi (WQI) analizindeki son aşamada, rölatif ağırlık; RW ile kalite derecesi; Qi çarpıldıktan sonra tüm metal değerleri için alt indeks; SI_i değerleri hesaplanmıştır (3). Sonuç olarak WQI değeri, SI_i değerlerinin tümünün toplanmasıyla hesaplanmıştır (4).

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

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

Hesaplanan WQI değerleri < 50 = Mükemmel; 50-100 = İyi; 100-200 = Zayıf; 200-300 = Çok zayıf; > 300 = Uygun değil olarak sınıflandırılmıştır (Ramakrishnaiah vd., 2009). WQI değerlerinin hesaplanmasında insan sağlığına olumsuz bir etki bulunmamasından dolayı "Fe ve Mn" parametreleri ve DSÖ (2011) tarafından verilen herhangi bir limit değeri bulunmadığından dolayı "B ve Cd" elementleri dahil edilmemiştir (WHO, 2011). WQI değerleri herbir kuyu için Çizelge 7'de belirtilmiştir. Çizelge 6'da çalışmada değerlendirilen metal parametrelerinin ağırlık değerleri (AW) ve bağıl ağırlık (RW) değerleri belirtilerek Si değerleri de DSÖ (2011) limitleri baz alınarak verilmiştir (WHO, 2011). AW değerleri ilgili literatürden (Abdul Hameed M Jawad vd., 2010; Ustaoğlu, 2021; Yüksel vd., 2021) araştırılarak atanmıştır.

Çizelge 6. Çalışmada değerlendirilen metal parametrelerinin ağırlık değerleri (AW), bağıl ağırlık (RW) değerleri ve içme suları kategorisindeki standart değerleri (Si)

Table 6. Weight (AW), relative weight (RW) and standard values at drinking water category (Si) of the metal parameters

Ağır Metal Parametresi	AW	RW	S_i, H_{MAC}
Sb (µg/L)	4	0.095238	314
As (µg/L)	5	0.119048	315
Cu (µg/L)	2	0.047619	2000
Hg (µg/L)	5	0.119048	6
Cr (µg/L)	5	0.119048	50
Pb (µg/L)	5	0.119048	383
Ni (µg/L)	5	0.119048	396
Se (µg/L)	3	0.071429	413
B (mg/L)	3	0.071429	323
Cd (µg/L)	5	0.119048	327
Toplam *(Total)*	42	1	-

Çizelge 7. Su örneklerinin kuyu sıra No'larına göre WQI (Su Kalite İndeksi), HPI (Ağır Metal Kirliliği) ve HEI (Ağır Metal Değerlendirme Indeksi) değerleri

Table 7. WQI (Water Quality Index), HPI (Heavy Metal Pollution) and HEI (Heavy Metal Evaluation Index) values of the water samples according to the serial numbers of water wells

Kuyu sıra No'larına göre WQI (Su Kalite İndeksi), HPI (Ağır Metal Kirliliği) ve HEI (Ağır Metal Değerlendirme İndeksi) değerleri *(WQI (Water Quality Index), HPI (Heavy Metal Pollution) and HEI (Heavy Metal Evaluation Index) values according to serial numbers of wells)*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WQI	0.4586	0.2759	0.3136	0.3379	0.5207	1.9444	0.3495	0.5017	0.3394	0.3974
HPI	1.4418	1.3672	1.3727	1.3926	1.3651	2.6917	1.3838	1.4131	1.4294	1.4042
HEI	0.0388	0.0244	0.0289	0.0300	0.0227	0.1648	0.0321	0.0431	0.0295	0.0358

Çizelge 7'de belirtilen tüm kuyu sularına ait WQI (su kalite indeksi) değerleri < 50 olduğu için su kaliteleri DSÖ (2011) kriterlerine göre içme suyu olarak "mükemmel" seviyesinde tanımlanmıştır (WHO, 2011). Yine aynı çizelgede HPI (ağır metal kirliliği) değerleri < 100 olduğundan ağır metal düzeyinin sağlık açısından olumsuz etkilere yol açmayacak düzeyde olduğu saptanmıştır. HEI (ağır metal değerlendirme indeksi) < 10 ve çok düşük düzeylerde olduğundan sonuçlar kayda değer bir kirliliğin olmadığını göstermiştir.

Çizelge 8. EPA (2018) kriterlerine göre içme suyu standartları ve sağlık tavsiyeleri
Table 8. Drinking water standards and health recommendations according to EPA (2018) *criteria*

Kimyasal *(Chemicals)*	Standartlar *(Standards)*				Sağlık Önerileri (*health recommendations)*				Kanser Tanımlayıcı *(Cancer Descriptor)*
			10-kg Çocuk *(Child)*			DWEL			
	MCLG (mg/L)	MCL (mg/L)	1-gün *(day)* (mg/L)	10-gün *(day)* (mg/L)	RfD (mg/kg/ gün)	(mg/L)	Yaşam-süresi *(Life-time)* (mg/L)	10^{-4} seviyesinde mg/L Kanser Riski *(10^{-4} mg/L Cancer Risk)*	
Sb	0.006	0.006	0.01	0.01	0.0004	0.01	0.006	-	D
As	0.00	0.01	-	-	0.0003	0.01	-	0.002	A
B	-	-	3	3	0.2	7	6	-	I
Cd	0.005	0.005	0.04	0.04	0.0005	0.02	0.005	-	D
Cu	1.3	AT[6]	-	-	-	-	-	-	D
Pb	0.00	AT[6]	-	-	-	-	-	-	B2
Mn	-	-	1	1	0.141	1.6	0.3	-	D
Hg	0.002	0.002	0.002	0.002	0.0003	0.01	0.002	-	D
Ni	-	-	1	1	0.02	0.7	0.1	-	-
Se	0.05	0.05	-	-	0.005	0.2	0.05	-	D
Cr	0.1	0.1	1	1	0.0035	0.1	-	-	D
Fe	Final	0.3	-	-	-	-	-	-	-
Al	Final	0.05-0.2	-	-	-	-	-	-	-

MCLG: Maksimum Kirletici Seviye Hedefi. Kişilerin sağlığı üzerinde bilinen veya beklenen hiçbir olumsuz etkinin meydana gelmesinin beklenmediği ve yeterli bir güvenlik payına izin veren bir düzeyde belirlenen, uygulanamaz bir sağlık kıyaslama hedefi..*(Maximum Contaminant Level Goal. A non-enforceable health benchmark goal which is set at a level at which no known or anticipated adverse effect on the health of persons is expected to occur and which allows an adequate margin of safety.); MCL:* Maksimum Kirletici Seviyesi. İçme suyunda izin verilen en yüksek kirletici seviyesi. MCL'ler, mevcut en iyi analitik ve arıtma teknolojileri kullanılarak ve maliyet dikkate alınarak, MCLG'ye mümkün olduğu kadar yakın ayarlanır. MCL'ler uygulanabilir standartlardır.(*Maximum Contaminant Level. The highest level of a contaminant that is allowed in drinking water. MCLs are set as close to the MCLG as feasible using the best available analytical and treatment technologies and taking cost into consideration. MCLs are enforceable standards.); RfD:* Referans Doz. İnsan popülasyonuna (hassas alt gruplar dahil) günlük oral maruziyetin bir tahmini (belki de bir büyüklük sırasını kapsayan belirsizlikle birlikte), bir ömür boyunca kayda değer bir zararlı etki riski olmadan olması muhtemeldir. *(Reference Dose. An estimate (with uncertainty spanning perhaps an order of magnitude) of a daily oral exposure to the human population (including sensitive subgroups) that is likely to be without an appreciable risk of deleterious effects during a lifetime.); DWEL:* İçme Suyu Eşdeğer Seviyesi *(Drinking Water Equivalent Level); A* İnsan kanserojen *(Human carcinogen); B2* Hayvanlarda yeterli kanıtı ve insanlarda yetersiz veya hiç kanıt olmadığını gösterir. *(indicates sufficient evidence in animals and inadequate or no evidence in humans.); D* İnsan kanserojenliğine göre sınıflandırılamaz. *(Not classifiable as to human carcinogenicity.); I* Kanserojen potansiyeli değerlendirmek için yetersiz bilgi *(Insufficient information to assess carcinogenic potential); AT* Arıtma Teknolojisi *(Treatment Tecnology); [6]* Bakır etki seviyesi *(the effect level of copper) 1,3 mg/L*; kurşun etki seviyesi *(the effect level of lead) 0.015 mg/L*

Çizelge 8'de EPA (2018) kriterlerine göre içme suyu standartları ve sağlık tavsiyeleri belirtilmiştir (EPA, 2018). Çizelge 8'e göre yalnızca arsenik elementi insan kanserojenliğine (Kanser Tanımlayıcı Kod: A) göre 10-4 seviyesinde mg/L olarak 0.002 kanser riski değerine sahiptir. MCL (Maksimum Kirletici Seviyesi) (mg/L) değeri: 0.01 ve RfD (Referans Doz) (mg/kg/gün) değeri: 0.0003'tür. Diğer elementler insan ve hayvanda kanser riskine göre sınıflandırılamamaktadır. Bununla birlikte, tüm kuyulara ait suların MCL değerleri 0.01 mg/L'nin altındadır ve bu sular arıtmaya tabi tutularak (paket içme suyu arıtma tesisi) standart limit değerlere uygun olarak dağıtılmakta olup insan ve hayvan için kanserojen riske sahip değildir.

SONUÇ

Bursa ili kırsal bölgelerinin 10 adet farklı noktalarından toplanan numunelerle yapılan bu çalışma sonuçlarına göre içme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularının ortalama ağır metal seviyeleri μg/L cinsinden; Cu (183.40) > Fe (86.29) > Al (55.75) > Mn (20.2) > Cr (7.33) > Cd (5) > Ni (2.54) > As (2.23) > Se (1.99) > Pb (1.55) > Hg (1) > Sb (0.70) > B (0.0002) olarak hesaplanmıştır. Sonuçların tamamı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları (TS 266) tarafından önerilen içme suyu limit değerlerini aşmamıştır. Tüm kuyu sularına ait WQI (su kalite indeksi) değerleri <50 olduğu için su kaliteleri DSÖ (2011) kriterlerine göre su örnekleri içme suyu olarak "mükemmel" seviyede tanımlanmıştır. HPI (ağır metal kirliliği) değerleri <100 olduğundan ağır metal düzeyinin sağlık açısından olumsuz etkilere yol açmadığını göstermiştir. HEI (ağır metal değerlendirme indeksi) <10 ve çok düşük değerlerde olduğundan dolayı sonuçlar kayda değer bir kirliliğin olmadığını göstermiştir. Ayrıca EPA (2018) kriterlerine göre çalışmada incelenen su numunelerinin ağır metal seviyeleri insan ve hayvanda kanserojen bir risk unsuru oluşturmadığını göstermiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar makalenin herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması ve yazarlar arasında çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

YAZARLARIN KATKISI

Yazarlar AK, SK ve ÖUÇ, araştırma faaliyetlerinin planlanma aşaması, uygulanması ve yürütülmesi ve sonuç verilerin değerlendirilerek makalenin yazımında görev almışlardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FHIZ-2021-406 No'lu proje ile ve Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı'na bağlı İçme Suyu Laboratuvarı tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Abdul Hameed M Jawad, A., Haider S, A., Bahram K, M. (2010). Application of water quality index for assessment of Dokan lake ecosystem, Kurdistan region, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection, 2010*.

Araujo, R. S., da Gloria Alves, M., de Melo, M. T. C., Chrispim, Z. M., Mendes, M. P., Júnior, G. C. S. (2015). Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. *Science of the Total Environment, 511*: 815-828.

BÇDR (2017). Bursa İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu. T.C. Bursa Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Bursa.

BÇDR (2019). Bursa İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu. Retrieved from https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bursa_2018_cdr_son-20190726135329.pdf, Bursa.

Benzer, S. (2017). Concentrations of arsenic and boron in water, sediment and the tissues of fish in Emet stream (Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 98*(6): 805-810.

Córcoles, J., De Juan, J., Ortega, J., Tarjuelo, J., Moreno, M. (2010). Management evaluation of Water Users Associations using benchmarking techniques. *Agricultural Water Management, 98*(1): 1-11.

Çevre, T. (2017). Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu. Retrieved from https://ced.csb.gov.tr/turkiye-cevre-sorunlari-ve-oncelikleri-raporu-i-82679.

Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Mestik, D. T., Karabayırlı, G., Sevil, A., Koşucu, T., Akay, E. (2020). Mustafakemalpaşa Çayı'nın (Bursa) su kalitesinin faktör analizi kullanılarak değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica, 16*(1): 124-137.

DSİ (2018). Toprak ve Su Kaynakları. Bursa.

Edet, A., Offiong, O. (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*(4): 295-304.

EPA (1994a). Determination of Trace Elements In Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Environmental Monitoring Systems Laboratory Office Of Research And Development U.S. Environmental Protection Agency, CINCINNATI, OHIO 45268.

EPA (1994b). Inductively coupled plasma mass spectrometry, SW-846 Method 6020. Environmental Monitoring Systems Laboratory Office Of Research And Development U.S. Environmental Protection Agency, CINCINNATI, OHIO 45268.

EPA (2018). 2018 Edition of the drinking water standards and health advisories tables. USEPA Office of Water.

Gao, H., Wei, T., Lou, I., Yang, Z., Shen, Z., Li, Y. (2014). Water saving effect on integrated water resource management. *Resources, Conservation and Recycling, 93*: 50-58.

Herojeet, R., Rishi, M. S., 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. *Chinese Journal of Geochemistry, 34*(4): 620-633.

HSKY (2016). Hassas su kütleleri ile bu kütleleri etkileyen alanların belirlenmesi ve su kalitesinin iyileştirilmesi hakkında yönetmelik.

Hu, X. J., Xiong, Y. C., Li, Y. J., Wang, J. X., Li, F. M., Wang, H. Y., Li, L. L. (2014). Integrated water resources management and water users' associations in the arid region of northwest China: A case study of farmers' perceptions. *Journal of Environmental Management, 145*: 162-169.

IQS (2001). Drinking-Water Standard. 417, Central Organization for Quality Control and Standardization, Council of Ministers, Republic of Iraq.

İTAS (2016). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Sağlık Bakanlığı (Türkiye Halk Sağlığı Kurumu), Ankara, Türkiye.

Kolokytha, E., Mylopoulos, Y., Mentes, A. (2002). Evaluating demand management aspects of urban water policy-A field survey in the city of Thessaloniki, Greece. *Urban Water, 4*(4): 391-400.

Meriç, B. T. (2004). Su kaynakları yönetimi ve Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28*(1): 27-38.

Mohan, S. V., Nithila, P., Reddy, S. J. (1996). Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A, 31*(2): 283-289.

Petroulias, N., Foufeas, D., Bougoulia, E. (2016). Estimating water losses and assessing network management intervention scenarios: the case study of the water utility of the city of Drama in Greece. *Procedia Engineering, 162*: 559-567.

Ramakrishnaiah, C., Sadashivaiah, C., Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of Chemistry, 6*(2): 523-530.

Rygaard, M., Godskesen, B., Jørgensen, C., Hoffmann, B. (2014). Holistic assessment of a secondary water supply for a new development in Copenhagen, Denmark. *Science of The Total Environment, 497*: 430-439.

Saleh, H. N., Panahande, M., Yousefi, M., Asghari, F. B., Conti, G. O., Talaee, E., Mohammadi, A. A. (2019). Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. *Biological Trace Element Research, 190*(1): 251-261.

Selçuk, H., Velioğlu, Y., Baloğlu, Z. (2019). Ozonlama ve Filtrasyon İşleminin Sularin Demir

ve Mangan İçeriğine Etkisi. *GIDA, 44*(6): 1210-1221.

SKKY (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Solak, S., Yalılı Kılıç, M. Akal Solmaz, S. K. (2019). Bursa İlinde Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 24*(1): 111-124. doi: 10.17482/ uumfd.463302.

Solmaz, S. K., Yalılı Kılıç, M., Üstün, G.E. (2011). Bursa İli Su Kaynaklarının Mevcut Durumunun Değerlendirilmesi *1.Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü*. Tekirdağ.

Teksoy, A., Nalbur, B. E., Akal Sönmez, S. (2017). Assessement of Water and Waste Water Potantial of Bursa City. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 22*(1): 115-123.

Tokatli, C. (2017). Bioecological and statistical risk assessment of toxic metals in sediments of a worldwide important wetland: Gala Lake National Park (Turkey). *Archives of Environmental Protection, 43*(1).

Tokatlı, C., Köse, E., Arslan, N., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., Dayıoğlu, H. (2016). Ecosystem quality assessment of an aquatic habitat in a globally important boron reserve: Emet Stream Basin (Turkey). *International Journal of Environment and Pollution, 59*(2-4): 116-141.

TSE (1997). Türk Standartları Enstitüsü, Su Kalitesi Numune Alma Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza ve Taşınma Kuralları. TS 5106 ISO 5667-3/Nisan 1997.

TÜİK (2016). Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara, Türkiye.

Ustaoğlu, F. (2021). Ecotoxicological risk assessment and source identification of heavy metals in the surface sediments of Çömlekci stream, Giresun, Turkey. *Environmental Forensics, 22*(1-2): 130-142.

Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Aydın, H., Akbaş, A. (2017). Investigation of water quality and pollution level of lower Melet River, Ordu, Turkey. *Alinteri Journal of Agriculture Science, 32*(1): 69-79.

Van der Hoek, J. P., de Fooij, H., Struker, A. (2016). Wastewater as a resource: Strategies to recover resources from Amsterdam's wastewater. *Resources, Conservation and Recycling, 113*: 53-64.

WHO (2011). Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Press, World Health Organization, Geneva 27, Switzerland.

Yalılı Kılıç, M., Akal Solmaz, S.K. (2016). Su Kaynakları Yönetiminde Sürdürülebilirlik: Bursa İli Örneği. Malatya.

Yalılı Kılıç M., A. S., S.K., Çiner, F. (2013). Kentsel Su Yönetiminde Su Kullanıcısının Önemi. Bursa.

Yalılı, M., Solmaz, S. K. A., Kestioğlu, K. (2006). Bursa su kaynakları potansiyeli ve kullanıcı faktörü. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 11*(2).

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.

Yüksel, B., Ustaoğlu, F., Arica, E. (2021). Impacts of a garbage disposal facility on the water quality of çavuşlu stream in Giresun, Turkey: a health risk assessment study by a validated ICP-MS assay. *Aquatic Sciences and Engineering, 36*(4): 181-192.

View publication stats