Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Cilt 23, Sayı 2, 515-527, 2019

Süleyman Demirel University
Journal of Natural and Applied Sciences
Volume 23, Issue 2, 515-527, 2019

DOI: 10.19113/sdufenbed.532220

Karacabey (Bursa) İlçesinin Hidrojeoloji İncelemesi ve İçme Sularının Sağlık Risk Değerlendirmesi

Ayşen DAVRAZ*[1], İhsan Selim ERASLAN[2]

[1,2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 25.02.2019, Kabul / Accepted: 05.07.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 30.08.2019)

Anahtar Kelimeler
Karacabey,
Hidrojeoloji,
Hidrojeokimya,
Sağlık,
Bursa

Özet: Bu çalışmada Karacabey (Bursa) ilçesi ve çevresinde yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında yeraltısularının Ca-HCO_3, Ca-Mg-HCO_3 ve Mg-Ca-HCO_3'lı sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Mg artışı formasyonlar içerisindeki kumtaşı ve konglomera seviyeleri ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında suların genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından içme suyu sınır değerlerini aşmadığı tespit edilmiştir. Ancak, yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir. As artışı genelde volkanik kayaçlarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Bazı lokasyonlarda NO_3, Fe ve Mn içeriklerinin de içme suyu standart değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu artışların jeojenik ve antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Su kaynaklarının oral (içme) ve dermal (deri) yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Su kaynaklarının içmesuyu olarak uzun süreli kullanımında sağlık için olumsuz etki oluşabileceği tespit edilmiştir. As elementi açısından kanser riski olasılığı da bulunmaktadır.

Hydrogeological Investigation and Health Risk Assessment of Karacabey (Bursa) District

Keywords
Karacabey,
Hydrogeology,
Hydrogeochemistry,
Health,
Bursa

Abstract: In this study, the hydrogeochemical properties of the groundwater samples in the Karacabey (Bursa) district and surrounding were investigated and health risk assessment was performed. Groundwaters are Ca-HCO_3, Ca-Mg-HCO_3 and Mg-Ca-HCO_3 facies. The increase of Mg is originated from water-rock interaction related to sandstone and conglomerate levels in different formations. In the study area, it is observed that the waters do not exceed the drinking water limit values in terms of physical properties and anion-cation contents. However, the As content of groundwater ranges between 9-79.1 µg/l. The increase of As is geogenic origin associated with volcanic rocks. In some locations, NO_3, Fe and Mn contents were found to be higher than the drinking water standard values. These increases are thought to be of geogenic and anthropogenic origin. In this study, health risk assessment was made for As, NO_3, Fe and Mn parameters which exceed drinking water limit values. Hazard Quotient (HQ), Hazard Index (HI) and Carcinogenic risk values of the spring waters for oral (drinking) and dermal (skin) intake were calculated by taking into consideration adult and child individuals. It has been determined that the long-term use of water resources as drinking water may have a negative impact on health. The carcinogenic risk may also be caused by the As element.

1. Giriş

Son yıllarda artan insan baskısı mevcut su kaynaklarını kalite ve miktar açısından olumsuz etkilemiştir. Ülkemizdeki pek çok havzada içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli sorunlar yaşanmaktadır. Günümüzde yüzey suları kolay ulaşılabilir olmaları nedeniyle olumsuz etkilere daha fazla maruz kalmış ve kullanılamaz duruma gelmiştir. Bu durum

*İlgili yazar: aysendavraz@sdu.edu.tr

yeraltısularının farklı amaçlara yönelik su ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük yer tutmasına neden olmuştur. Yeraltısularına yönelik artan ilgi, aşırı çekim sonucu, koruma kullanma dengesinin bozulmasına neden olmakta, insan faaliyetleri ve doğal kökenli kirlilik riskleri de bu kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir.

Su kalitesi su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için en önemli parametrelerden birisidir. Yeraltısularının kimyasal bileşimi temas ettiği maddelerin fiziksel özelliklerine, bileşim ve temas süresine bağlı olarak değişmekte ve suyun kökeni ile etkileşimde olduğu ortamlar hakkında da bilgi vermektedir. Yeraltısularını kirleten etkenlerden en önemlisi antropojenik kirlilik olarak tanımlanan tamamen insan faaliyetlerinden (tarım, sanayi, çöp depolama vb.) kaynaklanan kirliliktir. Ancak, doğal olarak da yeraltısularının geçtikleri kayaçlar içerisinden bünyelerine aldıkları elementlerle (As, Cr, Fe, Mn, Pb vb.) su kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Su kalitesindeki bozulmalar uzun süreli kullanımda sağlık problemleri de oluşturabilmektedir.

İnceleme alanı olarak Bursa iline bağlı Karacabey ilçesi ve çevresi seçilmiştir (Şekil 1). Karacabey ilçesi ve köylerinde içmesuyu amacı ile kullanılabilecek su sıkıntısı bulunmaktadır. Bu sıkıntı daha çok kalite problemlerinden kaynaklanmaktadır. Karacabey Ovası Susurluk havzası içerisinde yer almaktadır. 2013 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı ve TÜBİTAK ortaklığında yapılan "*Susurluk Havzası Havza Koruma Eylem Planı*"nda Karacabey Ovası sıcak nokta olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama Karacabey Ovasının kirlilik riski taşıyan bir bölge olduğunu göstermektedir. Ancak, Karacabey Ovası hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve kirlilik incelemelerinin yapıldığı ayrıntılı bir araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada Karacabey (Bursa) Ovası'nın ayrıntılı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmaları yapılarak su kalitesi ve kirlilik durumu tespit edilmiştir. Ayrıca, su kaynaklarının kullanımı ile oluşabilecek sağlık riskleri de incelenmiştir.

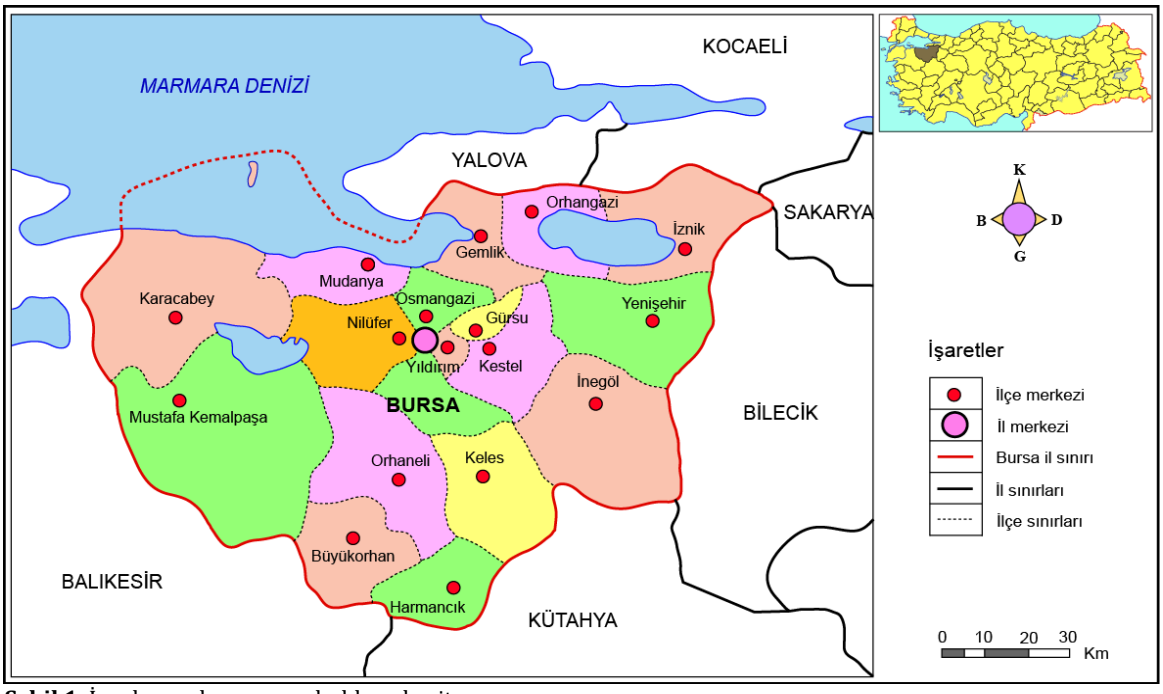
2. Materyal ve Metot

Karacabey, Marmara Bölgesinin güney Marmara bölümünde, Bursa iline bağlı bir ilçedir. Doğudan Mudanya ve Bursa, güneyden Mustafakemalpaşa, Susurluk, güneybatıdan Manyas, batıdan Balıkesir'in ilçesi Bandırma ve kuzeyden Marmara denizi ile çevrilidir.

İnceleme alanında yüzeyleyen jeolojik birimler bölgede yapılan önceki araştırmalar gözönünde bulundurularak incelenmiştir. Bu birimler hidrojeolojik özellikleri açısından değerlendirilmiş ve akifer birimler tanımlanarak hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur.

2.1. Örnekleme ve laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanı olarak seçilen bölgede çok sayıda yerleşim alanı bulunmaktadır. Bu çalışmada Ekim-2018'de yerleşim alanlarında kullanılan kaynak suları, kuyu suları ve şebeke sularından su örnekleri alınmıştır. Su örneği alımı sırasında arazide suların elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri Hanna marka çok parametreli ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Örnek alım noktaları



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

saha çalışmaları sırasında GPS ile koordinatlandırılmıştır. Örnekler 0,45 µm geçirgenliğindeki filtre ile süzülmüştür. Anyon ve katyon analizleri için ayrı örnek şişeleri kullanılmıştır. Su örneklerinin anyon içerikleri (Cl^-, $SO_4^=$, HCO_3^-, $CO_3^=$) ile Florür (F) ve Nitrat (NO_3) analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Bu iyonlarının belirlenmesi için PERKIN ELMER marka ve Optima 2100 DV model ICP-OES cihazı kullanılmıştır. Katyon (Na^+, K^+, Ca^+, Mg^+) ve ağır metal analizleri ise Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında ICP-MS cihazı kullanılarak yaptırılmıştır. Söz konusu laboratuar ISO 9002 akreditasyonuna sahip olması ve analiz ücretlerinin yurtiçi ve yurtdışı laboratuarlarına göre daha ekonomik olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bureau Veritas Laboratuarına katyon ve ağır metal analizleri için gönderilen 100 ml'lik sızdırmaz kapaklı, polietilen şişe içerisine alınan suyun özelliğinin korunması amacıyla %5'lik HNO_3 ile pH değerleri 2'nin altına düşürülmüştür. Elde edilen sonuçlar farklı diyagramlar ve haritalar üzerinde yorumlanarak içme suyu amacı için kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

İnceleme alanında kaynak ve şebeke suları içme suyu amacıyla da kullanılmaktadır. Bu suların uzun süreli kullanımı durumunda olası sağlık riskleri araştırılmıştır.

2.2. Sağlık risk değerlendirmesi

Risk değerlendirmesi, çeşitli kirletici maddelere maruz kalmaktan kaynaklanan insan sağlığı için olası riskleri belirleme ve ölçme çabası olarak tanımlanmaktadır [1]. Amerika Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından geliştirilen "*Kronik kanser dışı tehlike indeksi (HI) yaklaşımı*" ile birden fazla kimyasalın yol açtığı kanserojen olmayan etkiler için potansiyel değerlendirilebilmektedir [2]. Bu yaklaşımda, kirletici maddenin vücuda alınma yolu, maruz kalma süresi, yoğunluğu ve sıklığı dikkate alınarak *Ortalama Günlük Doz* (ADD) tahmin edilmektedir. İnsanın metallere maruz kalması doğrudan yutma, ağız -burun yoluyla soluma ve deriye maruz kalma şeklinde üç yolla gerçekleşmektedir [3, 4, 5]. Ortalama Günlük Doz (ADD) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [6, 7, 8].

$$ADD_{oral} = (Ci \times L \times EF \times ED)/ (BW \times AT) \quad (1)$$

$$ADD_{dermal} = (Ci \times SA \times Kp \times ET \times EF \times ED \times 10\text{-}3)/(BW \times AT) \quad (2)$$

Formüllerde;
Ci: içme suyundaki bir (i) kirleticinin konsantrasyonu (mg/l), L: günlük su alım oranı (l/gün), EF: maruziyet sıklığı (gün/yıl), ED: maruziyet süresi (yıl; kanserojen olmayan risk için 30 yıl, kansorejen olan için 70 yıl), BW: vücut ağırlığı (kg), AT: ortalama maruziyet zamanı (gün, kanserojen olmayan risk için 30 yıl x 365 gün/yıl, kansorejen olan için 70 yıl x 365 gün/yıl), SA: maruz kalan deri alanı (cm^2), ET: maruziyet zamanı (saat/gün). Formüllerde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Kp değeri sudaki dermal geçirimlilik katsayısı (cm/saat).

Tablo 1. İçme suyu ve dermal kullanım için varsayılan değerler [9]

Parametreler	Yetişkin	Çocuk
L(l/gün)	2	1
EF (gün/yıl)	365-oral 350-dermal	365-oral 350-dermal
ED (yıl)	30	6
BW (kg)	70	15
AT (gün)	10950	2190
SA(cm^2)	18000	6600
ET (s/gün)	2.6	1

Farklı yollarla ortama günlük doz (ADD_{oral}, ADD_{dermal}) tahmininden sonra bu etkinin kanserojenik olup olmadığını tespit etmek için Tehlike katsayısı (HQ) hesaplanmaktadır.

$$\text{Tehlike katsayısı (HQ)} = ADD/ RfD \quad (3)$$

Kanserojen risk, bir bireyin yaşam boyu kanserojen tehlikelere maruz kalmasından dolayı herhangi bir kanser türü geliştirme olasılığı olarak tanımlanmıştır [10]. Kanser riski aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Kanser risk} = ADD \times SF \quad (4)$$

Yukarıdaki formüllerde bulunan RfD referans doz, SF, kirletici için eğim faktörü (kg d/mg)'dür. Her bir inorganik parametre için belirlenen SF ve RfD değerleri EPA Entegre Risk Bilgi Sistemi çevrimiçi veritabanından ve EPA Sağlık Etkileri Değerlendirme özet tablolarından (HEAST) elde edilebilmektedir [11, 12]. Formüllerde kullanılan Kp, RfD, SF değerleri Tablo 2'de verilmiştir

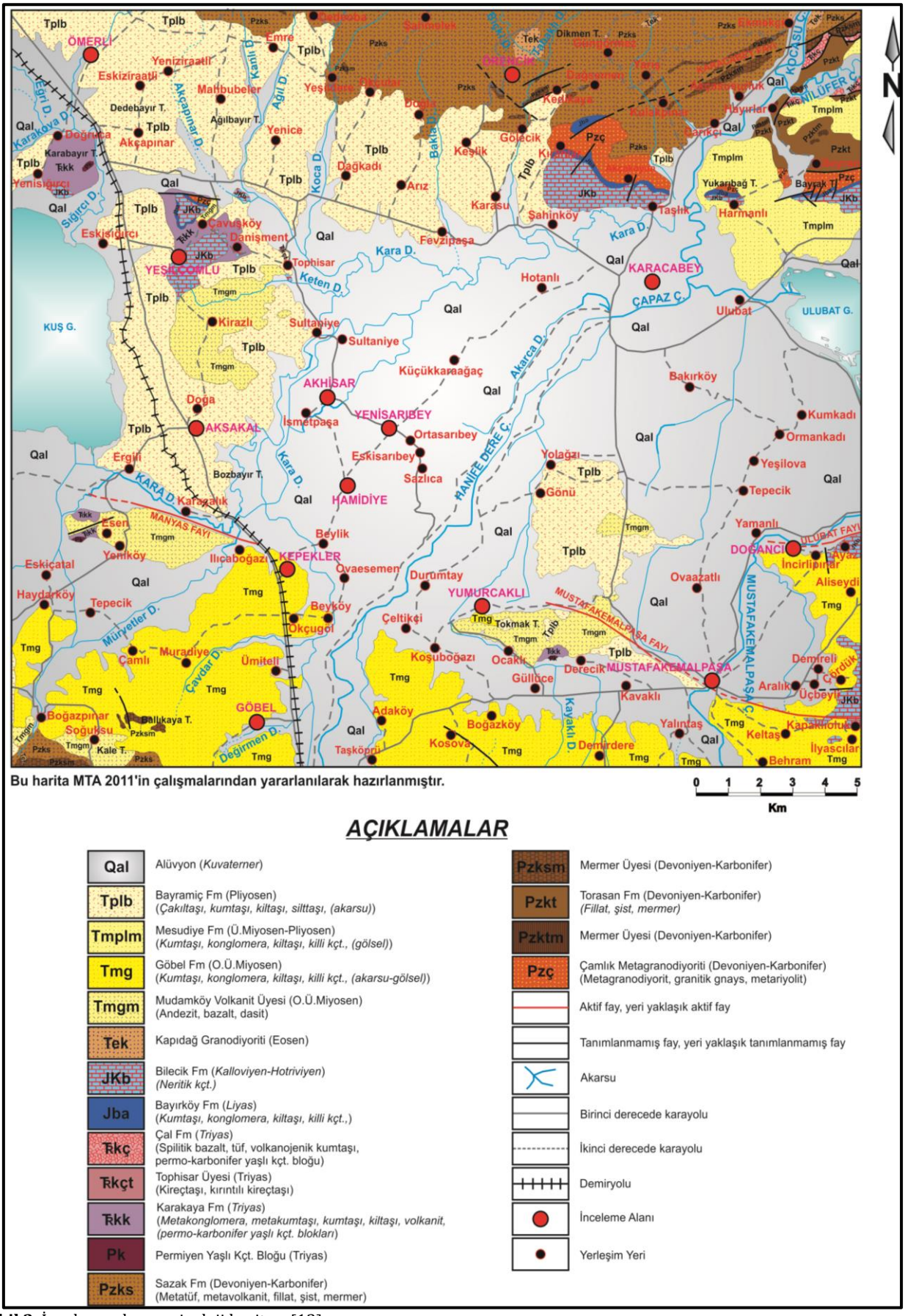
Tablo 2. Bazı elementlerin Kp, RfD, SF değerleri[11, 12]

	Kp *(cm/h)*	**RfD-oral** *(mg/kg/d)*	**RfD-dermal** *(mg/kg/d)*	**SF-oral** *(kg d/mg)*	**SF-dermal** *(kg d/mg)*
As	1E-03	3E-04	1.23E-04	1.5	3.66
Fe	1E-03	0.3	0.14		
Mn	1E-03	0.14	1.84E-03		
NO_3		1.6	0.8		

3. Bulgular

3.1. Jeoloji ve hidrojeoloji

İnceleme alanında Üst Paleozoyik ve Triyas yaştaki birimler temel kayalar olarak yüzeylemektedir (Şekil 2). Paleozoyik birimler Kalabak grubu olarak adlandırılan metamorfik bir istiften oluşmaktadır. Bu



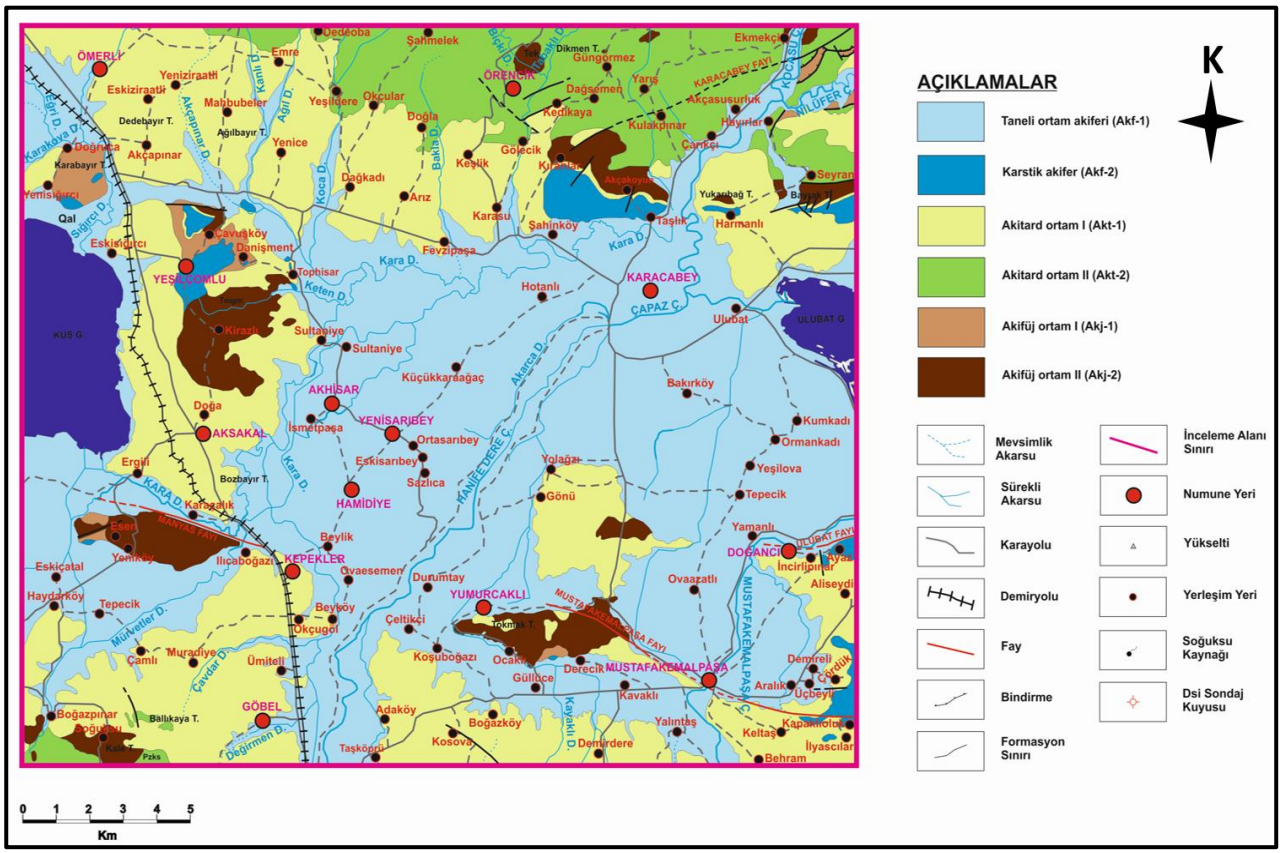
Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası [13]

grubun alt bölümü fillat, şist ve mermerlerden oluşan Torasan formasyonu, üstteki bölüm ise metatüf, metavolkanit, fillat, şist ve mermerlerden yapılı Sazak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Torasan formasyonu ile tektonik ilişkili gözlenen metagranodiyoritler ise Çamlık metagranodiyoriti olarak ayırtlanmıştır. Bölgede Triyas yaşlı birimler metakonglomera, metakumtaşı, kumtaşı ve kiltaşından oluşan Karakaya formasyonu ile spilitik bazalt, tüf, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Çal formasyonudur. Jura yaşlı birimler kumtaşı, konglomera, kiltaşı ardalanmalı Bayırköy formasyonu ve Neritik kireçtaşlarının oluşturduğu Bilecik formasyonudur. İnceleme alanında Eosen yaşlı sadece Kapıkaya granodiyoriti bulunmaktadır. Kumtaşı, konglomera, kiltaşı ve killi kireçtaşları ardalanmasından oluşan Göbel ve Mesudiye formasyonları Miyosen birimlerdir. Bölgede Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon en genç birimlerdir [13].

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre yeniden değerlendirilmiş ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). İnceleme alanı içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon *Taneli Ortam Akiferi* olarak adlandırılmıştır. Bölgede sulama ve kullanma suyunun bir kısmı farklı kurum ve şahıslar tarafından bu birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Bilecik formasyonu, Tophisar üyesi ve Permiyen kireçtaşı birimleri *Karstik Akifer* olarak adlandırılmıştır. Birimler içerisinde açılmış sondaj kuyuları bulunmamaktadır. Ancak, mevsimsel olarak soğuk su kaynak boşalımları gerçekleşmektedir [14].

Genel olarak konglomera, kumtaşı ve kiltaşı litolojilerinin ardalanmasından oluşan Bayramiç, Mesudiye, Göbel ve Bayırköy formasyonları su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıdıkları için Akitart Ortam olarak ayırtlanmışlardır. Konglomera ve kumtaşı birimleri kalınlıkları ve yayılımlarının artışı oranında yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Bu nedenle, çok düşük hidrolik iletkenliğe sahip yarı geçirimli litolojileri tanımlayan akitart ortam ismi verilmiştir. İnceleme alanında bu birimlerden kaynak boşalımları mevcuttur. Ancak, bu birim üzerinde açılmış sondaj kuyusu bulunmamaktadır [14].

Metatüf, metavolkanit, şist, fillat, kuvars, mikaşist ve mermer litolojilerinden oluşan Sazak ve Torasan formasyonları içerdikleri litolojilerin yeraltısuyu bulundurma kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle akitart ortam olarak tanımlanmıştır. Sazak ve Torasan formasyonları içinde üye olarak ayırtlanabilen mermer birimleri birbirini kesen kırık çatlak sistemlerinin varlığı oranında su bulundurabilmektedir. Karakaya formasyonu ve Çal formasyonu *Akifüj Ortam-1*, Mudamköy volkanit üyesi, Kapıdağ granodiyoriti ve Çamlık metagranodiyoriti ise *Akifüj Ortam-2* olarak ayırtlanmıştır [14].



Şekil 3. İnceleme alanının hidrojeoloji haritası [14]

3.2. Hidrojeokimya

İnceleme alanının tamamını temsil edecek şekilde K5, K11 ve K15 nolu örnekler şebeke suyundan, K12 ve K13 nolu örnekler kuyu suyundan diğer örnekler ise kaynak sularından alınmıştır. Ekim 2018 döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz ve arazide ölçüm sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

İnceleme alanında yeraltısularının sertliği 6.59-25.31 Fr^0 arasında değişmektedir (Tablo 3). İnceleme alanında K12, K13, K14, K15 nolu örnekler ***Yumuşak***, K5 örneği dışındaki diğer yeraltısuları ***Az sert***, K5 ise ***Oldukça sert*** su sınıfı sınıfında yeralmaktadır. Yeraltısularının pH değeri 7.14-8.55 arasında değiştiği için ***Bazik karakterli*** olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında kaynak sularının EC değeri 370-1550 µS/cm, şebeke sularının 550-1140 µS/cm ve kuyu sularının 620-770 µS/cm arasındadır (Tablo 3), [14].

Ayrıca, su örneklerinde genel olarak anyon ve katyon dağılımını görmek amacıyla hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (Şekil 4).

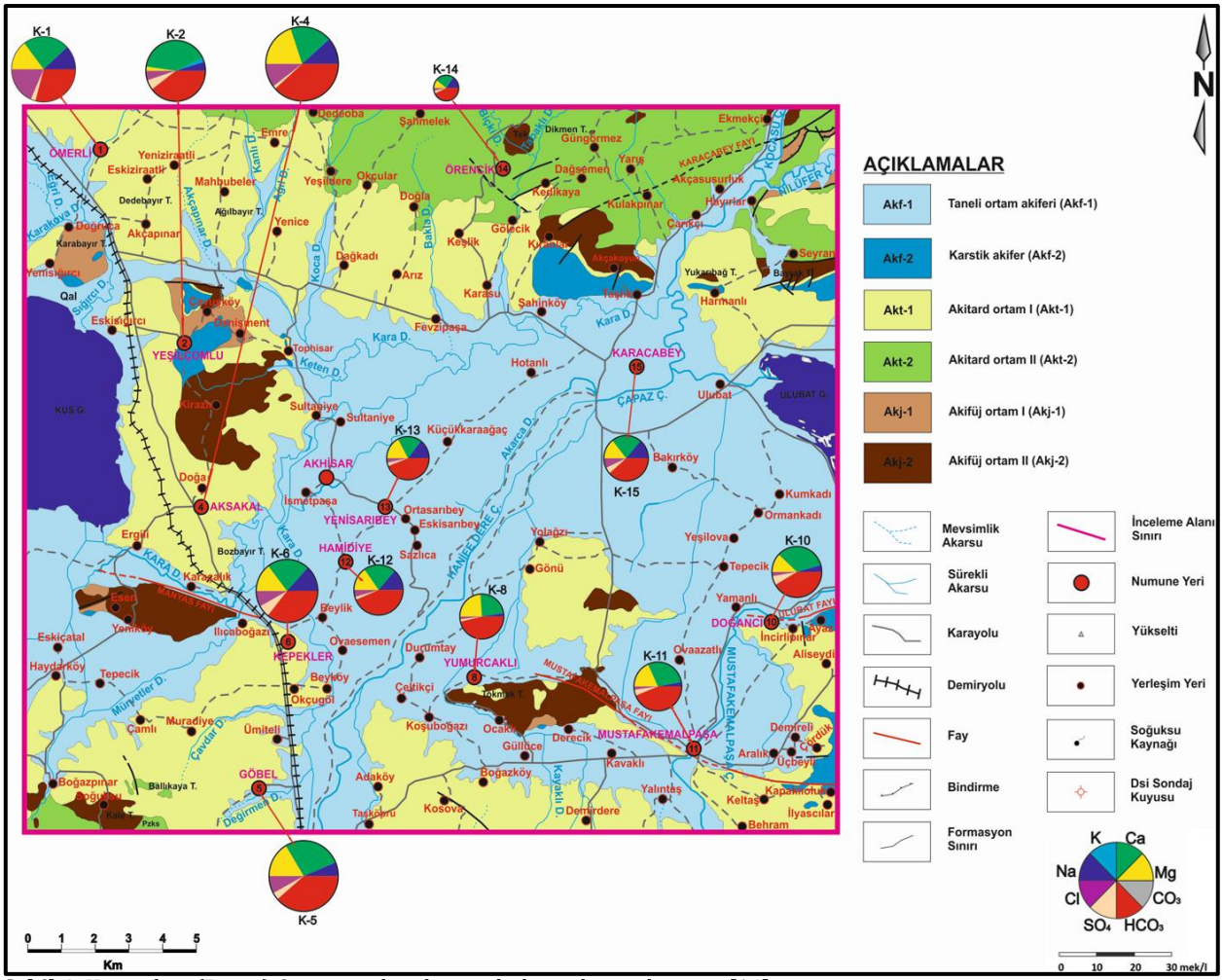
İnceleme alanında su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Piper (1944) diyagramı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5). İnceleme alanının batısında Yeşilçomlu (K2) ve doğusunda Doğancı (K10) köyleri civarında bulunan kaynak suları Piper diyagramına göre Ca-HCO_3'lı sular fasiyesindedir. Bu kaynaklar kireçtaşı akiferinden beslenmektedir. Kaynak sularının yüksek Ca^{+2} ve HCO_3^- içeriği bu durumu doğrulamaktadır. K4 ve K8 nolu örnekler Mg-Ca-HCO_3'lı sular sınıfındadır. Bu kaynaklar Pliyosen yaşlı Bayramiç ve Miyosen yaşlı Göbel formasyonları içerisinde bulunan kumtaşı ve konglomera seviyelerinden boşalmaktadır. Bu kaynak sularındaki Mg^{+2} artışı kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit gibi mineralleridir [15]. İnceleme alanından Mg^{+2} artışı sedimanter ve volkanik kayaçlarla ilişkilidir. İnceleme alanındaki diğer kaynak ve kuyu suları ise Ca-Mg-HCO_3'lı sular sınıfındadır [14].

İnceleme alanında şebeke suları ve kaynak suları içmesuyu amacı için kullanılmaktadır. Suların içilebilme özelliklerinin değerlendirilmesi için öncelikle suların kimyasal analiz sonuçları Türk İçme Suyu [16] ve Dünya Sağlık Örgütü [17] standartları ile karşılaştırılmıştır. Sulardaki Cl^- ve SO_4^{-2} iyon konsantrasyonları için TS-266 ve WHO tarafından içme ve kullanma sularında en fazla bulunabileceği miktar 250 mg/l olarak belirlenmiş olup inceleme alanındaki yeraltısuları sınır değeri aşmamaktadır. Na^+ için bu değer 200 mg/l olup inceleme alanındaki yeraltısuları bu sınır değeri aşmamaktadır. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

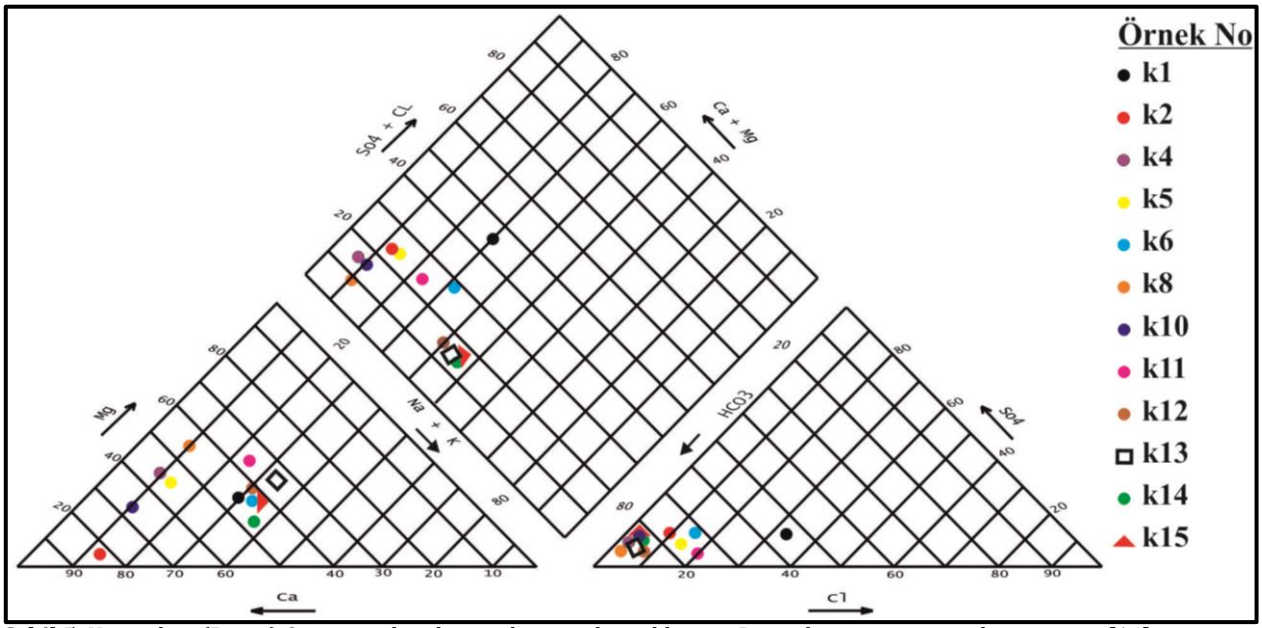
Tablo 3. Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ekim 2018).

	K1	K2	K4	K5	K6	K8	K10	K11	K12	K13	K14	K15
Na^+ mek/l	2,345	0,947	2,632	1,467	2,853	0,328	0,676	0,422	2,074	1,820	1,273	1,933
K^+ mek/l	0,018	0,450	0,077	0,045	0,046	0,052	0,074	0,041	0,064	0,060	0,048	0,044
Ca^{++} mek/l	4,618	8,135	4,135	6,304	4,716	3,213	5,169	4,213	3,138	2,261	1,796	2,984
Mg^{++} mek/l	2,900	0,447	4,504	3,803	3,134	3,295	1,874	2,664	2,305	2,166	0,837	2,003
Cl^- mek/l	3,304	0,777	2,115	1,433	1,223	0,246	0,375	0,303	0,629	0,422	0,238	0,868
$SO_4^=$ mek/l	0,425	0,822	0,271	0,598	0,920	0,210	0,806	0,534	0,261	0,330	0,248	0,558
HCO_3^- mek/l	5,198	6,098	7,797	6,898	5,398	5,698	5,798	5,998	6,098	5,498	2,999	4,798
Nitrat mek/l	0,420	1,780	0,325	2,002	2,352	0,386	0,494	0,164	0,044	0,012	0,111	0,088
% hata	2,782	2,579	3,835	3,053	4,141	2,589	2,101	2,381	3,764	0,357	4,753	4,908
Sertlik Fr^o	18.8	21.47	21.63	25.31	19.66	16.29	17.64	17.22	13.63	11.08	6.59	12.48
EC µS/cm	940	1120	1550	1140	1100	530	830	750	620	770	370	550
pH	7.66	7.14	7.57	7.31	7.64	8.00	7.84	8.36	8.25	8.38	7.50	8.55
Su Sınıfı	Ca-Mg-HCO_3Cl	$CaHCO_3$	Mg-Ca-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Mg-Ca-HCO_3	$CaHCO_3$	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3

K-1: Ömerli, K-2: Yeşilçomlu, K-4: Aksakal, K-5: Göbel, K-6: Kepekler, K-8: Yumurcaklı, K-10: Doğancı, K-11: Mustafakemalpaşa, K-12: Ovahamidiye, K-13: Yenisarıbey, K-14: Örencik, K-15: Karacabey



Şekil 4. Karacabey (Bursa) Ovası yeraltısularının hidrojeokimya haritası [14]



Şekil 5. Karacabey (Bursa) Ovası yeraltısularının kimyasal içeriklerinin Piper diyagramı üzerinde gösterimi [14]

Tablo 4. İnceleme alanında yeraltısularının ağır metal, F ve NO_3 analiz sonuçları

No	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	F mg/l	NO_3 (mg/l)
K1	11.2	19	43.99	1.5	16.7	<10	0.65	<0.2	0.5	18.5	0.56	26.04
K2	14.4	63	164.57	1.1	1.7	<10	<0.05	<0.2	<0.2	0.6	0.27	110.39
K4	24.1	61	368.42	1.8	1.3	<10	0.96	<0.2	0.4	1.8	0.65	20.18
K5	22.0	42	429.76	1.5	0.8	<10	<0.05	<0.2	<0.2	0.8	1.01	124.12
K6	25.6	85	118.21	3.5	1.3	<10	2.78	<0.2	<0.2	3.0	0.65	145.86
K8	51.7	77	310.49	1.8	1.1	<10	0.24	<0.2	<0.2	1.3	0.23	23.93
K10	79.1	868	435.26	1.9	0.7	<10	<0.05	<0.2	<0.2	1.1	0.37	30.61
K11	9.0	45	57.99	2.3	2.3	<10	0.21	<0.2	<0.2	12.4	0.99	10.16
K12	52.8	221	155.44	1.3	0.5	262	574.5	1.5	0.3	3.5	0.30	2.71
K13	32.3	321	96.97	1.6	1.6	183	7.75	0.4	<0.2	92.7	0.35	0.76
K14	19.0	13	8.12	1.3	0.4	<10	0.13	<0.2	<0.2	0.6	0.21	6.86
K15	21.4	599	92.93	2.1	5.3	49	4.41	0.2	0.6	47.9	0.40	5.43
TSE 2005	10	1000	-	50	2000	200	50	20	10	-	1.5	50
WHO 2011	10	2400	700	50	2000	-		70	10	-	1.5	50

3.3. Sularda kirlilik araştırmaları

İnceleme alanında en önemli kirlilik kaynağı yoğun olarak yapılan tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktır. Bölgede sıvı ve katı atıkların bertarafı için düzenli bir tesis bulunmamaktadır. İnceleme alanında kirlilik tespiti için Ekim- 2018 döneminde azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 4).

İnceleme alanında yeraltısularının nitrat içerikleri 0.76-145.86 mg/l arasında değişmektedir. Türk içme suyu ve (WHO) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin genelinde nitrat içeriğinin 10 mg/l üzerinde bulunması suyun antropojenik kirlenmeye maruz kaldığının göstergesidir [16, 17]. İnceleme alanında Yeşilçomlu (K2) ve Kepekler'de (K6) bulunan kaynak suları ile Göbel'de (K5) şebekeden alınan sularda nitrat içeriğinin sınır değerin çok üstünde olduğu görülmektedir (Tablo 4). Bu artış kaynakların beslenim alanlarında antropojenik kökenli kirleticiler ile ilişkilidir.

Yeşilçomlu (K2) kaynak suyu çeşme şeklinde yerleşim merkezinde kullanılmaktadır (Şekil 6). Bu kaynağın çıkış bölgesi ve borularla taşınması sırasında gerekli önlemlerin alınıp alınmadığı belli değildir. Göbel'den alınan K5 örneği ise şebeke suyundan alınmıştır. Klorlanmadan önce alınan bu örneğin doğal çıkış bölgesi ile ilgili net bulunmamaktadır. K6 nolu Kepekler kaynak suyu örneği ise doğal kaynak boşalımından alınmıştır (Şekil 7). Bu kaynak etrafında herhangi bir önlem alınmamıştır. Bu kaynak suyundaki nitrat artışı kaynak suyu etrafının kirleticilere açık olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Yeşilçomlu kaynak suyu



Şekil 7. Kepekler kaynağı boşalımı

Ağır metallerin su içerisindeki varlığı suyun hangi tür kayaçlarla etkileşim içerisinde olduğunu bildirmesi yanı sıra su içerisindeki miktarı suyun kalitesini de etkilemektedir. Bu nedenle, inceleme alanındaki sularda birincil (major) iyon analizleri ile birlikte ikincil ve üçüncül iyonların analizleri de yapılmıştır. Bu analizlerde sularda bulunabilecek arsenik (As), bor (B), baryum (Ba), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko

(Zn) iyonlarının analizleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) laboratuarında yaptırılmıştır (Tablo 4). Değerlendirmede Türk İçme Suyu (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları dikkate alınmıştır.

İnceleme alanında yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir. Bölgede yeraltısularında As içeriğinin yüksek olduğu bilinmekte ve çoğu kaynak suyu içme suyu amacıyla kullanılmamaktadır. Ancak, analiz sonuçlarına göre şebeke suları ve içmesuyu olarak kullanılan kaynak sularında da As içeriğinin sınır değerin üzerinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanında yeraltısularında As artışı genelde volkanik kayaçlarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Ancak, tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli etkilerin de olabileceği düşünülmektedir.

Hamidiye ve Yenisarıbey'de bulunan sondaj kuyularından alınan örneklerde Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu lokasyonlardaki Fe artışlarının tarımsal faaliyetlerle ilişkili antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Karacabey Ovası'nda sebze ve meyve üretimi yapılmaktadır. Sebze ve meyve üretiminde kullanılan pek çok gübrede (In-Green ultra, Quatro Combi, Quatro BZNFe vb.) Fe elementi bulunmaktadır (http://www.agroquatro.com/assets/agro-quatro-20185.pdf). Fe içeriğinde olduğu gibi en yüksek Mn içeriği de (574.50 µg/l) Karacabey Ovası'nda Hamidiye'den alınan kuyu suyu örneğinde tespit edilmiştir. K12 nolu bu kuyu suyu örneği Salça Fabrikasından alınmıştır. Hamidiye'de yeraltısularında bu ekstrem Fe ve Mn değerlerinin tarımsal faaliyetler yanısıra endüstriyel etkenlerle de oluşabileceği düşünülmektedir. Bu bölgede bu konu ile ilgili ayrıntılı çalışma yapılmalıdır. Bu araştırmada incelenen B, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn içeriklerinin yüksek olmadığı tespit edilmiştir [14].

3.4. Sağlık risk değerlendirmesi

İnceleme alanında en önemli tehlike kuyu ve kaynak sularında tespit edilen yüksek As içeriğidir. Ayrıca, bazı kaynak sularında NO_3 içeriğinin içme suyu standart değerlerini aştığı görülmektedir. Sulama suyu olarak kullanılan K12 kuyu suyu örneğinde de Fe ve Mn içeriklerinin de içme suyu sınır değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında analizleri yapılan su kaynaklarının As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için oral ve dermal yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

İçme suyu olarak (oral) ve deri yoluyla (dermal) herhangi bir kirleticiye maruz kalınan ortalama günlük doz (ADD_{oral}, ADD_{dermal}) değerleri "Materyal ve Metod" bölümünde verilen formül ve katsayılar ile yetişkin ve çocuk bireyler için hesaplanmıştır. Ortalama günlük doz değerleri kullanılarak hesaplanan Tehlike katsayısı (HQ) değeri 1'den büyükse (HQ >1), kanserojen olmayan etkiler için endişe edilebileceğini göstermektedir. HQ'nun yüksek değerleri kanserojen olmayan etki olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir [18, 19, 20]. HQ değeri tek başına değerlendirmede kullanılabileceği gibi, araştırma yapılan alana bağlı olarak herhangi bir kirleticinin içmesuyu (yutma) kullanımı ve deri yoluyla alımında karşılaşılabilecek olumsuz etkileri belirleyebilmek için her bir maruziyet türünde elde edilen tehlike katsayıları (HQ) toplanarak toplam tehlike indeksi (HI) değeri ile de değerlendirilebilmektedir. USEPA'ya göre hesaplanan HI değeri 1'den büyük ise kirleticilerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etki edebileceği belirtilmiştir [3, 9]. "Materyal ve Metod" bölümünde verilen formül ile hesaplanan kanser riski değeri için kabul edilebilir veya tolere edilebilir değer 10^{-6} ile 10^{-4} arasındadır [10, 21].

Yetişkin

İçme suyu olarak kullanımda yetişkinler için Fe ve Mn elementleri için hesaplanan tehlike katsayısı değerlerinin tamamı 1'den küçüktür. Bu durum Fe ve Mn elementleri açısından içme suyu olarak kullanımda su kaynaklarının olumsuz etki yaratmayacağını göstermektedir. NO_3 içeriği açısından Yeşilçomlu kaynak suyu (K2), Kepekli kaynak suyu (K6) ile Göbel'de şebeke suyundan (K5) alınan örneklerin HQ değerleri 1'den büyüktür ve içme suyu olarak kullanımda NO_3 içeriği bu bölgelerde riskli olabilecektir. As elementi için yapılan tehlike katsayısı (HQ) hesaplamasında Mustafakemalpaşa'dan alınan şebeke suyu örneği dışındaki bütün su örneklerinin içmesuyu olarak kullanımda risk oluşturacağı tespit edilmiştir.

İnceleme alanındaki bütün su örneklerinin As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den büyüktür. Bu durum inceleme alanında analiz edilen su örneklerinin içmesuyu olarak kullanımda sağlık için olumsuz etki edebileceğini göstermektedir. Yetişkinler için hesaplanan kanser riski değerlerinin $1.03x10^{-3}$ ile $9.43x10^{-4}$ arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında K4, K8 ve K10 nolu kaynak suları, K6 nolu şebeke suyu ve K12, K13 nolu kuyu sularının kanser riski değerleri kabul edilebilir değer olan 10^{-4}'den daha büyüktür (Tablo 5). Bu durum, bu suların yaşam boyu içme suyu olarak kullanımında kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

Tablo 5. Su örneklerinin HQ, HI ve Kanser risk değerleri

No	Yetişkin-HQ_{oral}					
	As	Fe	Mn	NO_3	HI	As-Kan.R.
1	1.07E+00	8.57E-05	1.33E-04	4.65E-01	1.53E+00	4.80E-04
2	1.37E+00	8.57E-05	1.02E-05	1.97E+00	3.34E+00	6.17E-04
4	2.30E+00	8.57E-05	1.96E-04	3.60E-01	2.66E+00	1.03E-03
5	2.10E+00	8.57E-05	1.02E-05	2.22E+00	4.31E+00	9.43E-04
6	2.44E+00	8.57E-05	5.67E-04	2.60E+00	5.04E+00	1.10E-03
8	4.92E+00	8.57E-05	4.90E-05	4.27E-01	5.35E+00	2.22E-03
10	7.53E+00	8.57E-05	1.02E-05	5.47E-01	8.08E+00	3.39E-03
11	8.57E-01	8.57E-05	4.29E-05	1.81E-01	1.04E+00	3.86E-04
12	5.03E+00	2.50E-02	1.17E-01	4.84E-02	5.22E+00	2.26E-03
13	3.08E+00	1.74E-02	1.58E-03	1.36E-02	3.11E+00	1.38E-03
14	1.81E+00	8.57E-05	2.65E-05	1.23E-01	1.93E+00	8.14E-04
15	2.04E+00	4.67E-03	9.00E-04	9.70E-02	2.14E+00	9.17E-04
No	**Çocuk-HQ_{oral}**					
	As	**Fe**	**Mn**	**NO_3**	**HI**	**As-Kan.R.**
1	4.98E-01	4.00E-05	6.19E-05	2.17E-01	7.15E-01	1.12E-03
2	6.40E-01	4.00E-05	4.76E-06	9.20E-01	1.56E+00	1.44E-03
4	1.07E+00	4.00E-05	9.14E-05	1.68E-01	1.24E+00	2.41E-03
5	9.78E-01	4.00E-05	4.76E-06	1.03E+00	2.01E+00	2.20E-03
6	1.14E+00	4.00E-05	2.65E-04	1.22E+00	2.35E+00	2.57E-03
8	2.30E+00	4.00E-05	2.29E-05	1.99E-01	2.50E+00	5.18E-03
10	3.52E+00	4.00E-05	4.76E-06	2.55E-01	3.77E+00	7.93E-03
11	4.00E-01	4.00E-05	2.00E-05	8.47E-02	4.85E-01	9.02E-04
12	2.35E+00	1.16E-02	5.47E-02	2.26E-02	2.44E+00	5.29E-03
13	1.44E+00	8.13E-03	7.38E-04	6.33E-03	1.45E+00	3.24E-03
14	8.44E-01	4.00E-05	1.24E-05	5.72E-02	9.02E-01	1.90E-03
15	9.51E-01	2.18E-03	4.20E-04	4.53E-02	9.99E-01	2.14E-03
No	**Yetişkin-HQ_{dermal}**					
	As	**Fe**	**Mn**	**NO_3**	**HI**	**As-Kan.R.**
1	5.00E-04	1.24E-05	6.79E-04	6.26E-02	6.38E-02	2.26E-07
2	6.43E-04	1.24E-05	5.23E-05	2.65E-01	2.66E-01	2.90E-07
4	1.08E-03	1.24E-05	1.00E-03	4.85E-02	5.06E-02	4.86E-07
5	9.83E-04	1.24E-05	5.23E-05	2.98E-01	2.99E-01	4.43E-07
6	1.14E-03	1.24E-05	2.91E-03	3.51E-01	3.55E-01	5.16E-07
8	2.31E-03	1.24E-05	2.51E-04	5.75E-02	6.01E-02	1.04E-06
10	3.53E-03	1.24E-05	5.23E-05	7.36E-02	7.72E-02	1.59E-06
11	4.02E-04	1.24E-05	2.20E-04	2.44E-02	2.51E-02	1.81E-07
12	2.36E-03	3.60E-03	6.01E-01	6.52E-03	6.13E-01	1.06E-06
13	1.44E-03	2.51E-03	8.10E-03	1.83E-03	1.39E-02	6.51E-07
14	8.49E-04	1.24E-05	1.36E-04	1.65E-02	1.75E-02	3.83E-07
15	9.56E-04	6.73E-04	4.61E-03	1.31E-02	1.93E-02	4.31E-07
No	**Çocuk-HQ_{dermal}**					
	As	**Fe**	**Mn**	**NO_3**	**HI**	**As-Kan.R.**
1	3.84E-02	2.71E-06	1.49E-04	1.37E-02	5.23E-02	1.73E-05
2	4.94E-02	2.71E-06	1.15E-05	5.82E-02	1.08E-01	2.23E-05
4	8.27E-02	2.71E-06	2.20E-04	1.06E-02	9.35E-02	3.73E-05
5	7.55E-02	2.71E-06	1.15E-05	6.55E-02	1.41E-01	3.40E-05
6	8.78E-02	2.71E-06	6.37E-04	7.69E-02	1.65E-01	3.96E-05
8	1.77E-01	2.71E-06	5.50E-05	1.26E-02	1.90E-01	8.00E-05
10	2.71E-01	2.71E-06	1.15E-05	1.61E-02	2.87E-01	1.22E-04
11	3.09E-02	2.71E-06	4.82E-05	5.36E-03	3.63E-02	1.39E-05
12	1.81E-01	7.90E-04	1.32E-01	1.43E-03	3.15E-01	8.17E-05
13	1.11E-01	5.52E-04	1.78E-03	4.01E-04	1.14E-01	5.00E-05
14	6.52E-02	2.71E-06	2.98E-05	3.62E-03	6.88E-02	2.94E-05
15	7.34E-02	1.48E-04	1.01E-03	2.86E-03	7.74E-02	3.31E-05

Su kaynaklarının kullanımı ile deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (Tablo 5). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alımında riskin olmadığını belirtmektedir. Dermal yolla hesaplanan kanser risk değerleri $1.04x10^{-6}$ ile $6.51x10^{-7}$ arasında değişmektedir. 10^{-6}'dan yüksek olan K8, K10 ve K12 örnekleri dışındaki suların dermal yolla maruziyette kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

Çocuk

İçme suyu olarak kullanımda çocuk için Fe ve Mn elementleri için tehlike katsayısı (HQ_{oral}) değerlerinin tamamı yetişkinlerde olduğu gibi 1'den küçüktür. Sudaki Fe ve Mn içerikleri içme suyu olarak kullanımda olumsuz etki yaratmayacaktır. NO_3 içeriği açısından Göbel'de şebeke suyu (K5) ve Kepekli'deki kaynak suyundan (K6) alınan örneklerin HQ değerleri 1'den büyük olduğu görülmektedir (Tablo 5). As elementi için K4, K6, K8, K10, K12, K13 örneklerinin HQ_{oral} değerleri 1'den büyüktür. Çocuk için toplam tehlike indeksi (HI) değerleri K2, K4, K5, K6, K8, K10, K12, K13 örneklerinde 1'den büyüktür. Bu kaynak, kuyu ve şebeke sularının içme suyu olarak kullanımında sağlık açısından risk yaşanabileceğini göstermektedir. Çocuklar için hesaplanan içme suyu olarak kullanımda kanser riski değerlerinin $1.12x10^{-3}$ ile $9.02x10^{-4}$ arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında K11 nolu şebeke suyu örneği dışındaki bütün su örneklerinin kanser riski değerleri kabul edilebilir değer olan 10^{-4}-10^{-6} aralığından daha büyüktür (Tablo 5). İnceleme alanında As elementi açısından uzun süreli kullanımda çocuklar açısından kanser yapma olasılığı bulunmaktadır.

Deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (Tablo 5). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alımında riskin olmadığını belirtmektedir. Dermal yolla hesaplanan kanser risk değerleri de 10^{-6} ile 10^{-4} olan tolere edilebilir risk değer aralığı içerisindedir. Bu hesaplamalar deri yoluyla maruziyette çocuklar açısından risk olmadığını göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

İnceleme alanı olan Karacabey ilçesi ve köylerinde çok sayıda su kaynağı bulunmasına rağmen, kalite problemleri nedeniyle, bu kaynaklar ve ovada açılan kuyulardan alınan yeraltısuları içme suyu amacı ile kullanılmamaktadır. Bu çalışmada bölgenin hidrojeolojik incelemesi yapılmış ve yerleşim yerlerinde kullanılan su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ile su kaynaklarının kullanımına bağlı sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır.

İnceleme alanında Üst Paleozoyik ve Triyas yaşlı temel kayalar üzerinde Jura, Miyosen ve Eosen birimler de yüzeylemektedir. Bölgede Pliyosen yaşlı Bayramiç formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon en genç birimlerdir. İnceleme alanı içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon *Taneli Ortam Akiferi*, Bilecik formasyonu, Tophisar üyesi ve Permiyen kireçtaşı birimleri *Karstik Akifer*, Bayramiç formasyonu, Mesudiye formasyonu, Göbel formasyonu, Bayırköy formasyonu *Akitart Ortam-1*, Sazak ve Torasan formasyonları *Akitart Ortam-2*, Karakaya formasyonu ve Çal formasyonu *Akifüj Ortam-1*, Mudamköy volkanit üyesi, Kapıdağ granodiyoriti ve Çamlık metagranodiyoriti ise *Akifüj Ortam-2* olarak ayırtlanmıştır.

İnceleme alanında en önemli tehlike kuyu ve kaynak sularında tespit edilen yüksek As içeriğidir. Yeraltısularının As içeriği 9-79.1 µg/l arasında değişmektedir. İnceleme alanında yeraltısularında As artışı genelde volkanik kayaçlarla ilişkili olarak jeojenik kökenlidir. Ancak, tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli etkilerin de olabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca, bazı kaynak sularında NO_3 içeriğinin içme suyu standart değerlerini aştığı görülmektedir. Yeşilçomlu ve Kepekli'de bulunan kaynak suları ile Göbel'de şebekeden alınan sulardaki yüksek nitrat içeriği antropojenik kökenli kirleticiler ile ilişkilidir.

Ovahamidiye ve Yenisarıbey'de bulunan sondaj kuyularından alınan örneklerde Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu lokasyonlardaki Fe artışlarının tarımsal faaliyetlerle ilişkili antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Fe içeriğinde olduğu gibi en yüksek Mn içeriği de (574.50 µg/l) Karacabey Ovası'nda Hamidiye'den alınan kuyu suyu örneğinde tespit edilmiştir.

K12 nolu bu kuyu suyu örneği Salça fabrikasından alınmıştır. Hamidiye'de yeraltısularında bu ekstrem Fe ve Mn değerlerinin tarımsal faaliyetler yanısıra endüstriyel etkenlerle de oluşabileceği düşünülmektedir. Bu araştırmada incelenen B, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn içeriklerinin yüksek olmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada içme suyu sınır değerlerini aşan As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme alanında analizleri yapılan su kaynaklarının As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için oral ve dermal yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanmıştır. İçmesuyu olarak kullanımda bütün su örneklerinin As, NO_3, Fe ve Mn parametreleri için hesaplanan toplam tehlike indeksi (HI) değerleri dikkate alındığında sağlık için olumsuz etki oluşabileceği tespit edilmiştir. Genel olarak As açısından içmesuyu

olarak uzun süreli kullanımda yetişkin ve çocuklar için kanser riski olabilecektir. Dermal yolla maruziyette yetişkinler için bazı örneklerde risk tespit edilmiştir. Çocuklar açısından ise risk olmadığı görülmüştür.

Karacabey (Bursa) Ovası yoğun olarak sebze ve meyve üretiminin yapıldığı bir bölgedir. Yerel yöneticiler ve yöre halkı tarafından bölgedeki yeraltısularının özellikler As içeriği açısından sağlık sorunları oluşturabileceği bilinmektedir. Bu nedenle içme suyu amacı için kullanılan çok az sayıda su kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışmada özellikle içme suyu amacı için kullanılan sulardan alınan örnekler üzerinde hidrojeokimyasal ve sağlık risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Ancak, bütçe kısıtlılığı nedeniyle tek dönem olarak gerçekleştirilen bu araştırmanın sonuçları yine de literatüre ve gelecek yıllarda yapılabilecek yeni araştırmalara ışık tutacaktır. Bu araştırma sonuçlarına göre özellikle As içeriği açısından mevcut durumda içmesuyu olarak kullanılan kaynaklarda da sorunlar oluşabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bölgede içmesuyu ve evsel olarak kullanılan su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin örnek sayıları ve örnekleme dönemleri arttırılarak araştırılması yerel yöneticiler ve yöre halkı açısından oldukça önemlidir.

Kaynakça

[1] O'Rourke, M.K., van de Water, P.K, Jin, S., Rogan, S.P., Weiss, A.D., Gordon, S.M., Moschandreas, D.J., Lebowitz, M.D., 1999. Evaluations of Primary Metals from NHEXAS Arizona: Distributions and Preliminary Exposures. J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol. 9, 435–445

[2] USEPA, 1986. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA/600/8-87/045

[3] USEPA, 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final. EPA/540/R/99/005 OSWER 9285.7-02EP PB99-963312 July 2004, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, 2004.

[4] De Miguel, E., Iribarren, I., Chacon, E., Ordonez, A., Charlesworth, S., 2007. Risk-Based Evaluation of the Exposure of Children to Trace Elements in Playgrounds in Madrid (Spain), Chemosphere, 66, 505–513.

[5] Wu, B., Zhao, D., Jia, H., Zhang, Y., Zhang, X., Cheng, S., 2009. Preliminary Risk Assessment of Trace Metal Pollution in Surface Water from Yangtze River in Nanjing Section, China, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 82, 405–409.

[6] Kavcar P, Sofuoglu A, Sofuoglu S, 2009. A Health Risk Assessment for Exposure to Trace Metals via Drinking Water Ingestion Pathway, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 212, 216–227.

[7] Davraz, A., Afşin, M., Aksever, F, Karataş, Z., Hınıs, M.A., 2016. The Interference of a Deep Thermal System with a Shallow Aquifer and Health Risk Assessment: The Case of Sandıklı (Afyonkarahisar). Environ Earth Sci, 75: 332.

[8] Varol, S., Davraz, A., 2016. Evaluation of Potential Human Health Risk and Investigation of Drinking Water Quality in Isparta City Center (Turkey). Journal of Water and Health, 14.3, 471-488.

[9] USEPA, 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplement Guidance for Dermal Risk Assessment). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA.

[10] Li, S., Zhang, Q., 2010. Risk Assessment and Seasonal Variations of Dissolved Trace Elements and Heavy Metals in the Upper Han River, China. Journal of Hazardous Materials, 181, 1051-1058.

[11] USEPA, 2013 Risk Assessment IRIS (Integrated Risk Information System). http://www.epa.gov/risk assessment

[12] IRIS (Integrated Risk Information System), 2005. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. Accessed at: (http://www.epa.gov/iris), September-2005.

[13] MTA, 2011. Pehlivan, Ş., Duru, M., Kanar, F., Kandemir, Ö., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 156, Bandırma-H20 Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

[14] Eraslan, İ.S., 2019. Karacabey (Bursa) Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi, Süleyman Demirel Üniversites, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97 s (Yayınlanmamış).

[15] Şahinci, A.,1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546, İzmir.

[16] TSE, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart - Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.

[17] WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edt., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978 92 4 1548151.

[18] USEPA, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final, Office of Emergency and Remedial Response, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

[19] Khan S, Cao Q, Zheng YM, Huang YZ, Zhu YG, 2008. Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Wastewater in Beijing China, Environ. Pollut., 152, 686–692.

[20] Muhammad, S., Shah, M.T., Khan, S., 2011. Health Risk Assessment of Heavy Metals and Their Source Apportionment in Drinking Water of Kohistan Region, Northern Pakistan. Microchem. J., 98, 334-343.

[21] Lim, H. S., Lee, J. S., Chon, H. T. & Sager, M. 2008. Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea. J. Geochem. Exploration. 96, 223–230.