

Antalya İli (Türkiye) İçme Suyu Kaynaklarında Arsenik (As) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi*

İsmail KIR**, Mehmet ULUSOY

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Isparta.

Geliş : 23.02.2017

Kabul : 09.03.2017

Araştırma Makalesi / Research Paper

**Sorumlu yazar: ismailkir@sdu.edu.tr

E-Dergi ISSN: 1308-7517

Özet

Bu çalışma, Haziran 2013-Mayıs 2014 arasında Antalya ili içme suyu kaynağı olarak kullanılan Duraliler1, Duraliler 2, Boğaçay, Yeniköy depo ve Yeşilbayır depo istasyonlarından aylık olarak alınan su numunelerinin As konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Analizler ICP-MS cihazında EPA 200.8 metoduyla yapılmış ve sonuçlar aylık ve mevsimlik olarak değerlendirilmiştir. Çalışma süresince en yüksek As konsantrasyonu Şubat ayında 13,01 µg/L ile Yeniköy depo istasyonunda, en düşük arsenik konsantrasyonu ise Haziran ayında 0,07 µg/L ile Boğaçay istasyonunda ölçülmüştür. Su depolarındaki mevsimlik ortalama en düşük As 0,08-0,97 µg/L ile Boğaçay istasyonunda, en yüksek As ise 8,30-11,40 µg/L ile Yeniköy depo istasyonunda tespit edilmiştir. Diğer istasyonlardaki mevsimlik ortalama As içerikleri ise; Duraliler 1 istasyonu 2,58-3,97 µg/L, Duraliler 2 istasyonu; 3,62-4,62 µg/L ve Yeşilbayır depo istasyonu; 8,30-10,04 µg/L aralığında belirlenmiştir. Çalışmada Yeşilbayır ve Yeniköy depolarında bulunan bazı konsantrasyonların İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikle öngörülen <10 µg/L limit değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen yüksek sonuçların sadece bölgenin jeolojik yapısından kaynaklanmadığı, oluşan As kirliliğinin aynı zamanda su kaynaklarının beslenme alanlarında yapılan, yoğun tarımda kullanılan As içerikli pestisit ve herbisitlerin yıkanarak yeraltı suyuna karışması ve sığ dolaşımına beraber kaynaklara ulaşması sonucunda yükseldiği düşünülmektedir. Yüksek As sonuçlarının elde edildiği bölgelerde organik tarıma geçilmesi teşvik edilmeli, arseniğin kümülatif olarak artması durumunda ise As artıtımı için gerekli tesislerin kurulması düşünülebilir. Ancak kaynakların beslenme havzalarında koruma önlemlerinin alınması ilk hedef olmalıdır.

Anahtar kelimeler: Arsenik, Antalya, İçme suyu, Su kirliliği

Determination of Arsenic (As) Concentrations in Drinking Water Sources of Antalya Province (Turkey)

Abstract

This study was carried out to determine the arsenic concentrations of water samples taken from Duraliler 1, Duraliler 2, Boğaçay, Yeniköy warehouse and Yeşilbayır depot stations which are used as drinking water source in Antalya between June 2013 and May 2014. Analyses were performed using EPA 200.8 method and ICP-MS instrument, and the results were evaluated monthly and seasonally. The results of the current study indicated that the highest arsenic level (13.01 µgL⁻¹) was observed in Yeniköy water warehouse station in February whereas the lowest arsenic concentration (0.07 µgL⁻¹) was determined in June at Boğaçay station. In the seasonal averages, the lowest As content between 0.08-0.97 µgL⁻¹ was determined in Boğaçay station and the highest As content between 8.30-11.40 µgL⁻¹ was determined in Yeniköy station. Seasonal average of the other stations were; Duraliler 1 station between 2.58 to 3.97 µgL⁻¹, Duraliler 2 station between 3.62 to 4.62 µgL⁻¹ and Yeşilbayır water warehouse between 8.30 to 10.04 µgL⁻¹. The results of the study showed that Yeşilbayır and Yeniköy stations had higher content of As than the limit value <10 µgL⁻¹ stated in Regulation Concerning Water Intended for Human Consumption. This could be fact that the pollution of As in the water sources is caused not only from the geological structure but also the use of As containing pesticides and herbicides in intensive farming which leaches into groundwater and reaches water sources. The areas containing high As content should be encouraged to transition to organic farming, and in case of the cumulative increase of As content, establishment of As treatment facility can also be considered. However, the first goal should be to take protection measures in the recharge basins of the sources.

Keywords: Arsenic, Antalya, drinking water, water pollution

***Bu çalışma, yüksek lisans tezinden özetlenmiştir**

GİRİŞ

Arsenik (As), yer kabuğunda geniş bir alana yayılmış ve ortalama konsantrasyonu 2 mg/L olan, 5,78 g/cm³ yoğunluğa sahip atom numarası 33 olan bir metaloiddir (Duker vd., 2005).

Arseniğin biyolojik olarak izlenmesi, akut ya da kronik As zehirlenmesinin tanımlanması için gereklidir. As vücuttan idrarla atılır. İdrardaki toplam As konsantrasyonu genellikle yakın zamanda beklenen As zehirlenmesinin bir göstergesidir. İnorganik arseniğin insanlardaki yarı ömrü dört gündür. Absorbe olan organik ve inorganik arseniğin kandaki yarılanma ömrü ise çok kısa olduğundan kan, oral arsenik zehirlenmesinde kimyasal analizler için uygun bir biyolojik materyal değildir. Saç ve tırnak, vücudun diğer dokularıyla kıyaslandığında As konsantrasyonunun en yüksek olduğu dokulardır. İnorganik As zehirlenmesinin ölçülmesinde daha çok saç kullanılmaktadır (Yağmur ve Hancı, 2002).

Toprakta, suda ve canlı organizmalarda As ppm'den ppb'ye değişen konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyundaki As derişimi 2 µg/L civarında iken, toprakta genellikle 1-40 µg/g'dır. Doğal sulardaki arseniğin toksisitesi yalnızca onun kimyasal formuna değil, aynı zamanda derişimine de bağlıdır. Jeolojik alanlar genellikle yüksek derişimde As türleri içerebilir. İçme sularındaki As bölgelere göre konsantrasyonu ve türleri bakımından farklılık göstermektedir. İçme sularının litresinde birkaç yüz mikrogram As bulunması deri, mesane ve akciğer kanserine yol açabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2003 yılında, içme sularındaki inorganik arseniği, kanser yapıcı olarak belgelendirmiş ve en yüksek kabul edilebilir seviyeyi 10 µg/L olarak önermiştir. Türkiye'de ise, Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanan ve TSE 266 sayılı standart ile içme sularındaki arsenik miktarı <10 µg/L olarak belirlenmiştir (Anonim, 2005).

Doğal sulardaki As genel olarak, madencilik atıklarından, jeotermal kaynaklardan, volkanik tortulardan, alüvyonlu göl tabanından geniş bir havzaya yayılmış tortulardan, ayrıca; arsenikli pestisitlerin kullanımı, ağaç koruyucu ajanlar, metal maden cevherlerinin eritilmesi gibi kontrol edilemeyen antropojenik faaliyetler sonucu direkt olarak doğaya bırakılmaktadır. As doğal yüzey sularında; inorganik türleri ve daha az toksik metilatlı organik türleri halinde bulunur. Yeraltı sularında ise inorganik As türleri mevcuttur (Jain vd., 2000).

İçme sularında As değerlerinin belirlenmesine yönelik Türkiye ve Dünya'da pek çok çalışma yapılmıştır. Altaş vd. (2011), Aksaray'da içme suyu olarak kullanılan ve içilebilir su kaynağı özelliği taşıyan sulara; Öztürk (2009), Manisa ve bazı ilçelerin yeraltı ve içme sularında; Çaylak (2012), Çankırı ili içme sularında; Baba (2007), Çanakkale Biga yarımadasındaki bazı sıcak su kaynaklarında; Çolak vd. (2003), Kütahya ili yeraltı sularında As değerlerini incelemişlerdir. Bu çalışmaların yanında Afyon, İzmir, Nevşehir, Kırklareli, Balıkesir ve Van şehirlerinin içme suyu ve yeraltı su kaynaklarının yüksek oranda As içerdiği bildirilmektedir (Gemici, 2004; Gemici ve Tarcan, 2007; Yılmaz vd. 2009).

Konu ile ilgili yapılan literatür taraması neticesinde; ülkemizin değişik bölgelerindeki içme sularında bilimsel nitelikli As değerleri ölçülmesine rağmen, Antalya ili içme sularında böyle bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile Antalya ili için içme suyu

elde edilen kaynaklarda As düzeyinin aylık ve mevsimlik değişimleri izlenerek, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte verilen limit değerlere ($<10 \mu\text{g/L}$) uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

İstasyon Seçimi ve Su Numuneleri

Bu çalışma kapsamında; Antalya şehir merkezinde içme suyu kaynağı olarak kullanılan; Duraliler 1 ($36^{\circ}54'30.84''\text{K } 30^{\circ}36'59.11''\text{D}$), Duraliler 2 ($36^{\circ}54'30.38''\text{K } 30^{\circ}36'57.75''\text{D}$), Boğaçay ($36^{\circ}51'43.20''\text{K } 30^{\circ}37'13.46''\text{D}$), Yeniköy depo ($37^{\circ}01'15.48''\text{K } 30^{\circ}30'30.96''\text{D}$) ve Yeşilbayır depo ($37^{\circ}01'18.63''\text{K } 30^{\circ}30'35.58''\text{D}$) olmak üzere 5 farklı istasyon belirlenmiştir (Şekil 1.).



Şekil 1. Arsenik analizleri yapılan Antalya ili su kaynaklarının konumları.

Çalışma için belirlenen 5 istasyondan su numuneleri aylık olarak 500 ml polietilen şişelere alınmıştır. Alınan numuneler $+4^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta muhafaza edilerek laboratuara getirilmiştir. Laboratuara getirilen her bir örnek pH 1-2 olacak şekilde nitrik asitle muamele edilerek korunmuştur. Analizler Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Su Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aylık ve mevsimlik olarak değerlendirilmiştir.

ICP-MS Tekniği ve Analiz Aşamaları

Aylık olarak içme suyu depolarından alınan su rnelerinin As içeriklerinin belirlenmesinde ICP-MS cihazı ve EPA 200.8 analiz metodu kullanılmıştır (Epa, 1994).

ICP-MS katı ve sıvı örneklere çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde llmesine olanak sağlayan bir analiz tekniğidir. Analitik bir cihaz olarak ICP-MS Indktif olarak eşleştirilmiş plazma (ICP) ve Ktle spektrometresi (MS) olmak üzere iki üniteden oluşmaktadır. Analiz edilmek istenen örnekteki elementler ICP’de iyonlaştırıldıktan sonra ktle spektroskopisine gönderilirler ve burada ktle/yük (m/z) oranlarına göre ayrılarak ölçülürler.

Araştırma istasyonundan aylık olarak alınan ve +4°C’de muhafaza edilen her bir su örneğinin analizi ICP-MS cihazında, her ay ve istasyon için k kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalamaları alınmıştır.

İstatistiksel Analizler

As değerlerinin aylık ve istasyonlara göre istatistiksel analizi SPSS programı kullanılarak Duncan’s Multiple Range testine göre yapılmıştır (Duncan, 1995).

BULGULAR

Aylara Göre İstasyonlardaki Arsenik Konsantrasyonları

Çalışmada elde edilen 5 farklı istasyona ait aylık ortalama As değerleri Tablo 1’de verilmiştir. En yüksek As Yeniköy depo istasyonunda belirlenmiştir. As içeriği en düşük istasyon ise tüm çalışma süresince Boğay depo İstasyonu olmuştur. İstasyonlardaki toplam As konsantrasyonları Yeniköy depo > Yeşilbayır depo > Duraliler 2 > Duraliler 1 > Boğay şeklinde sıralanmıştır.

Tablo 1. Antalya ili içme sularında ölçülen ortalama As değerleri ($\mu\text{g/L}$).

İstasyonlar	Haz. 13	Tem. 13	Ağu. 13	Eyl. 13	Eki. 13	Kas. 13	Ara. 13	Oca. 14	şub. 14	Mar. 14	Nis. 14	May. 14
Duraliler 1	1,69	3,00	3,06	2,92	2,64	2,58	2,01	3,30	3,26	4,10	4,04	3,78
Duraliler 2	3,28	3,76	4,31	4,02	4,07	3,82	3,90	3,25	3,72	4,87	5,32	3,68
Boğay	0,07	0,10	0,08	0,11	0,24	0,32	0,26	0,59	0,96	1,02	1,54	0,34
Yeşilbayır depo	9,65	8,42	6,82	7,88	7,42	9,85	9,97	9,44	10,72	9,60	9,52	9,32
Yeniköy depo	11,85	8,64	6,91	7,81	8,12	8,96	9,79	11,40	13,01	11,05	10,51	10,46

Mevsimlere Göre İstasyonlardaki Arsenik Konsantrasyonları

Çalışılan 5 istasyonun; yaz (haziran, temmuz, ağustos), sonbahar (eylül, ekim, kasım), kiş (aralık, ocak, şubat) ve ilkbahar (mart, nisan, mayıs) olmak üzere 4 mevsimin ortalama As değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Antalya ili içme sularında mevsimlere göre ortalama As değerleri ($\mu\text{g/L}$).

İstasyonlar	Yaz 2013	Sonbahar 2013	Kış 2014	İlkbahar 2014
Duraliler 1	2,58	2,71	2,86	3,97
Duraliler 2	3,78	3,97	3,62	4,62
Boğaçay	0,08	0,22	0,60	0,97
Yeşilbayır depo	8,30	8,38	10,04	9,48
Yeniköy depo	9,13	8,30	11,40	10,67

Duraliler 1 istasyonunda mevsimlere göre ortalama As içeriği en düşük yaz döneminde 2,58 $\mu\text{g/L}$ olmuştur. Maksimum değer ise 3,97 $\mu\text{g/L}$ ile ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir.

Duraliler 2 istasyonunda en düşük mevsimsel As içeriği 3,62 $\mu\text{g/L}$ ile kış mevsiminde gözlenirken, en yüksek ortalama değer ise ilkbahar mevsiminde 4,62 $\mu\text{g/L}$ olmuştur.

Diğer istasyonlara göre en düşük As içeriğine sahip olan Boğaçay istasyonu, mevsimsel olarak değerlendirildiğinde 0,08 $\mu\text{g/L}$ ile yaz döneminde en düşük içeriğe sahip olurken, en yüksek As içeriği 0,97 $\mu\text{g/L}$ ile ilkbahar döneminde olmuştur.

Çalışılan 5 istasyon içerisinde en yüksek 2. As içeriğine sahip olan Yeşilbayır istasyonunda mevsimsel ortalama en düşük As içeriği 8,3 $\mu\text{g/L}$ ile yaz mevsiminde olurken, en yüksek As içeriği 10,04 $\mu\text{g/L}$ ile kış mevsiminde olmuştur.

Arsenik bakımından en yüksek değerlere sahip olan Yeniköy istasyonunun mevsimsel ortalama As içeriklerine bakıldığında, en düşük As içeriği ortalama 8,30 $\mu\text{g/L}$ ile sonbahar mevsiminde, en yüksek As içeriği ise ortalama 11,4 $\mu\text{g/L}$ ile kış mevsiminde ölçülmüştür.

Sonuçların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Çalışma sonucunda elde edilen As değerlerinin aylık ve istasyonlara göre istatistiksel analizi yapılırken; Boğaçay için B, Duraliler 1 için D1, Duraliler 2 için D2, Yeniköy için Y ve Yeşilbayır için YB kısaltmaları kullanılmıştır. Çalışılan istasyonlarda 12 ay boyunca ölçülen As içeriklerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3' de verilmiştir.

İstasyonlar arası benzerlikler ve her bir istasyona ait aylara göre As içeriği değişimi Tablo 4'de verilmiştir. Haziran 2013 dönemi istasyonlar arası As değerlerine baktığımızda bütün istasyonların farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Temmuz, Ağustos ve Eylül 2013 dönemlerinde ise Yeniköy ve Yeşilbayır istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken, diğer istasyonlar farklılık göstermiştir. Ekim ve Kasım 2013 döneminde tüm istasyonlar farklılık gösterirken, Aralık 2013'de yine Yeşilbayır ve Yeniköy istasyonları benzerlik göstermiştir.

Aynı istasyona ait aylara göre As içeriği değişimine baktığımızda, Boğaçay istasyonu için Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül 2013 dönemi ayrıca Ekim 2013, Kasım 2013, Aralık 2013, Mayıs 2014 dönemi kendi içerisinde ve Şubat 2014, Mart 2014 örneklemeleri de grup olarak istatistiksel benzerlik gösterirken; Ocak 2014 ve Nisan 2014 örneklemeleri ise farklılık göstermiştir. Duraliler 1 ve Duraliler 2 istasyonları, Ocak 2014 ve Mayıs 2014 örneklemelerinde benzerlik gösterirken, Şubat, Mart ve Nisan 2014 dönemlerinde tüm istasyonlar farklılık göstermiştir.

Tablo 3. Antalya ili içme sularında 12 ay boyunca ölçülen As içeriklerinin ortalama ve standart sapma değerleri ($\mu\text{g/L}$)

Aylar	İstasyonlar				
	B	D1	D2	Y	YB
Haziran 2013	0,07±0,015	1,693±0,099	3,28±0,055	11,85±0,123	9,65±0,026
Temmuz 2013	0,103±0,003	2,997±0,150	3,76±0,123	8,64±0,131	8,42±0,060
Ağustos 2013	0,08±0,006	3,063±0,026	4,31±0,080	6,91±0,078	6,82±0,042
Eylül 2013	0,11±0,010	2,923±0,072	4,02±0,096	7,81±0,080	7,88±0,221
Ekim 2013	0,24±0,012	2,643±0,087	4,07±0,049	8,12±0,085	7,42±0,060
Kasım 2013	0,32±0,020	2,583±0,061	3,82±0,208	8,96±0,107	9,85±0,081
Aralık 2013	0,26±0,006	2,013±0,082	3,9±0,061	9,79±0,130	9,97±0,093
Ocak 2014	0,59±0,021	3,303±0,038	3,25±0,144	11,4±0,047	9,44±0,064
Şubat 2014	0,96±0,035	3,26±0,090	3,72±0,106	13,01±0,092	10,72±0,035
Mart 2014	1,02±0,036	4,103±0,073	4,87±0,064	11,05±0,114	9,6±0,060
Nisan 2014	1,54±0,035	4,043±0,132	5,32±0,015	10,51±0,174	9,52±0,076
Mayıs 2014	0,34±0,010	3,78±0,148	3,68±0,105	10,46±0,116	9,32±0,114
Mayıs 2014	0,34±0,010	3,78±0,148	3,68±0,105	10,46±0,116	9,32±0,114

B: Boğaçay, **D1:** Duraliler 1, **D2:** Duraliler 2, **Y:** Yeniköy, **YB:** Yeşilbayır

Tablo 4. Antalya ili içme sularında istasyonlar arası benzerlikler ve her bir istasyona ait aylara göre As içeriği değişimi ($\mu\text{g/L}$).

Aylar	İstasyonlar				
	B	D1	D2	Y	YB
Haziran 2013	*0,070±0,02 ^e	1,693±0,10 ^d	3,280±0,06 ^c	11,85±0,12 ^a	9,650±0,03 ^b
Temmuz 2013	0,103±0,003 ^d	2,997±0,15 ^c	3,760±0,12 ^b	8,64±0,13 ^a	8,420±0,06 ^a
Ağustos 2013	0,080±0,006 ^d	3,063±0,03 ^c	4,310±0,08 ^b	6,910±0,0 ^a	6,820±0,04 ^a
Eylül 2013	0,110±0,01 ^d	2,923±0,07 ^c	4,020±0,10 ^b	7,810±0,08 ^a	7,880±0,22 ^a
Ekim 2013	0,240±0,01 ^e	2,643±0,09 ^d	4,070±0,05 ^c	8,120±0,09 ^b	7,420±0,06 ^a
Kasım 2013	0,320±0,02 ^e	2,583±0,06 ^d	3,820±0,21 ^c	8,960±0,11 ^b	9,850±0,08 ^a
Aralık 2013	0,260±0,01 ^d	2,013±0,08 ^c	3,900±0,06 ^b	9,790±0,13 ^a	9,970±0,09 ^a
Ocak 2014	0,590±0,02 ^d	3,303±0,04 ^c	3,250±0,14 ^c	11,400±0,05 ^b	9,440±0,06 ^a
Şubat 2014	0,960±0,04 ^e	3,260±0,09 ^d	3,720±0,11 ^c	13,010±0,09 ^b	10,720±0,04 ^a
Mart 2014	1,020±0,04 ^e	4,103±0,07 ^d	4,870±0,06 ^c	11,050±0,11 ^b	9,600±0,06 ^a
Nisan 2014	1,540±0,04 ^e	4,043±0,13 ^d	5,320±0,02 ^c	10,510±0,17 ^b	9,520±0,08 ^a
Mayıs 2014	0,340±0,01 ^d	3,780±0,15 ^c	3,680±0,11 ^c	10,460±0,12 ^b	9,320±0,11 ^a

* Her bir parametre satır ve sütununda aynı harfle gösterilen değerler arasındaki fark 0.05 düzeyinde önemsizdir (\pm Standart sapma).

B: Boğaçay, **D1:** Duraliler 1, **D2:** Duraliler 2, **Y:** Yeniköy, **YB:** Yeşilbayır

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, Antalya ili içme suyu kaynağı olarak kullanılan Duraliler 1, Duraliler 2, Boğaçay, Yeniköy depo ve Yeşilbayır depo istasyonlarından Haziran 2013 ile Mayıs 2014 tarihleri arasında aylık olarak alınan su numunelerinin As konsantrasyonları incelenmiştir. Çalışmada elde edilen aylık sonuçlara göre en yüksek arsenik miktarı Yeniköy depo istasyonunda görülmüştür. Sonuç itibari ile istasyonlardaki ortalama As değerlerinin birbirine göre dağılımları Yeniköy depo > Yeşilbayır depo > Duraliler 2 > Duraliler 1 > Boğaçay şeklinde sıralanmıştır.

Altaş vd. (2011), Aksaray ilçesinde içme suyu olarak kullanılan ve içilebilir su kaynağı özelliği taşıyan 62 suyun 22'sinde As değerini ortalama 10-50 µg/L arasında, 5'inde >50 µg/L, diğer 35 istasyonda ise limit değer olan 10 µg/L'nin altında As tespit etmişlerdir. Öztürk (2009), Manisa ve bazı ilçelerin yeraltı içme sularında 10 örnekten sadece bir numunede toplam As 10 µg/L değerinin üzerinde bulmuştur. Çaylak (2012), Çankırı ilinde 26 örnekleme noktasında As değerini 10 - 30 µg/L arasında, 12 noktada >30 µg/L, 13 noktada ise <10 µg/L olarak tespit ederken; Baba (2007), Çanakkale ilindeki bazı sıcak su kaynaklarında As konsantrasyonunun WHO'nün önerdiği sınır değerleri aştığını bildirmiştir.

Antalya bölgesinde gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında yapılan 1 yıllık analiz sonuçlarına bakıldığında, diğer bölgelerdeki çalışmalara nazaran daha düşük As değerleri tespit edilmiştir. Ancak Yeşilbayır ve Yeniköy depolarında elde edilen bazı değerlerin WHO ve Anonim (2005)'in içme sularında sınır değer olarak kabul ettiği 10 µg/L'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Hem (1985), yeraltı su kaynaklarının kalitesinin, etkileşimde bulunduğu jeolojik formasyonlara göre değiştiğini, bu durumun, kalite değişim tipi, su-kaya etkileşimleri olarak bilindiğini belirtmiştir. Gemici (2004), Gemici ve Tarcan (2007) ve Yılmaz vd. (2009), yeraltı sularında yüksek As içeriğinin nedenlerinin termal su deşarjı, üçüncül volkan sedimentleri, redoks koşullarında tutulu olan arseniğin salınımı olabileceğini söylemişlerdir. Bu sonuçlardan yola çıkarak, farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda elde edilmiş yüksek As değerleri, su-kayaç etkileşimine bağlı olabilir.

Antalya ili, Neojen Havzası olarak adlandırılan kısmen birbirinden bağımsız olarak gelişen Beydağları Miyosen Havzası ile Antalya Miyosen Havzası ve tümüyle birbirinden bağımsız olarak gelişen Antalya Üst Miyosen-Pliyosen Havzası ile temsil edilir. Çalışma alanının bulunduğu havzada magmatik, metamorfik veya termal herhangi bir oluşum bulunmadığı, tamamen sedimanter bir havza olduğu görülmektedir. Bu sedimanter havzanın tabanı serpantin kayaçlardan oluşmaktadır (Akay vd., 1985). İstasyonlarda elde edilen As değerlerinin bir kısmı, suyun derin dolaşımıyla beraber serpantinli kayaçlarla teması sonucu meydana gelmiş olabilir.

Çalışmada ortalama As içerikleri, Boğaçay istasyonunda 0,08-0,97 µg/L, Duraliler 1 istasyonunda 2,58-3,97 µg/L, Duraliler 2 istasyonunda 3,62-4,62 µg/L, Yeşilbayır depoda 8,30-10,04 µg/L ve Yeniköy depoda 8,30-11,04 µg/L olarak tespit edilmiştir. Yeşilbayır ve Yeniköy depolarında ortalamaların, 10 µg/L değerinden yüksek olmasının, yukarıda açıklandığı üzere bir kısmının jeolojik yapıya bağlı olarak su-kaya etkileşimine bağlı olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan su kaynaklarının beslenme alanlarında yapılan yoğun tarımda kullanılan As içerikli pestisit ve herbisitlerin yıkanarak yeraltı suyuna karışması ve sığ dolaşımıyla beraber kaynaklara ulaşması sonucunda da As miktarının

arttığı söylenebilir. Bu konuda He vd. (2004) ve Duker vd. (2005), As bileşiklerinin uzun yıllar herbisit ve pestisit ilaçlarda kullanıldığını belirtmişlerdir.

Sonuç olarak Su-kayaç etkileşimi ile oluşan As kirliliği ile ilgili olarak, doğal yapıya müdahale şansı yoktur. Bu nedenle, arsenik açısından kirlilik yükünün azaltılabilmesi için, Antalya İl Tarım Müdürlüğü ile ortak çalışmalar yapılarak, öncelikle Korkuteli İlçesi ve civarı başta olmak üzere, kaynakların beslenme havzasında yer alan yerleşim yerlerinde bulunan tarım alanlarında, As içeren pestisit ve herbisit kullanımının kontrol altına alınması veya alternatifi bulunuyorsa kullanımının tamamen terk edilmesi, mümkün olan yerlerde organik tarım yapılması için gerekli çalışmaların yapılması önerilmektedir. As içeren pestisit ve herbisitlerin kullanımından kaçınmak mümkün değilse, çalışma konusu kaynaklar, uzun dönem periyotlarında, arsenik içeriklerine göre izlenmelidir. Arseniğin kümülatif olarak artması durumunda, arsenik arıtımı için gerekli tesislerin kurulması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Akay, E., Uysal, Ş., Poisson, A., Cravatte, J. & Müller, C. (1985). Antalya neojen havzasının stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C, 28,105-119.
- Altaş, L., Işık, M. & Kavurmacı, M. (2011). Determination of arsenic levels in the water resources of Aksaray Province, Turkey. *Journal of Environmental Management*. 92, 2182-2192.
- Anonim, (2005). “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” Resmi Gazete, 2005. Sayı:25730.
- Baba, B. (2007). Biga Yarımadası (Çanakkale) sıcak su kaynaklarıdaki arsenik (AS)'in voltametri ve indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) teknikleri ile kantitatif tayini, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 61s, Çanakkale.
- Çaylak, E. (2012). Health Risk Assessment for arsenic in water sources of cankiri province of Turkey. *Clean – Soil, Air, Water*, 40(7), 728-734.
- Çolak, M., Gemici, U. & Tarcan, G. (2003). The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and groundwater in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, 149(1–4), 127–143.
- Duker, A.A., Carranza, E.J.M. & Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environment International*, 31, 631-641.
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple f tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- EPA Method 200.8. (1994). Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma - mass spectrometry. U.S. *Environmental Protection Agency (EPA)*, 5.4, Ohio.
- Gemici, Ü. (2004). Impact of acid mine drainage from the abandoned Halıköy mercury mine (Western Turkey) on surface and ground waters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72, 482–489.
- Gemici, Ü. & Tarcan, G. (2007). Assessment of the pollutants in farming soil sand waters around untreated abandoned türkönü mercury mine (Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79, 20–24.
- He, Y., Zheng, Y., Ramnaraine, M. & Locke, D.C. (2004). Differential pulse cathodic stripping voltammetric speciation of trace level inorganic arsenic compounds in natural water samples, *Analytica Chimica Acta*, 511, 2004, 55-61.
- Hem., J.D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. *Geological Survey Water - Supply*, 2254 p.
- Jain, C.K. & Ali, I. (2000). Arsenic occurrence, toxicity and speciation techniques, *Waters. Research*, 34, 4304-4312.

- Öztürk, R. (2009). Manisa ve bazı ilçelerin yer altı ve içme sularında arsenik miktarının tayini, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 45s, Manisa.
- Yağmur, F. & Hancı, H. (2002). Arsenik, *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 11, 250-251.
- Yılmaz, S., Baba, B., Baba, A., Yağmur, S. & Citak, M. (2009). Direct quantitative determination of total arsenic in natural hot waters by anodic stripping voltammetry at the rotating lateral gold electrode. *Current Analytical Chemistry*, 5(1), 29-34.
- WHO. (2003). Arsenic in drinking-water. Background Document for Preparation of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva, World Health Organization.