



Kayseri Kenti Yer Altı Sularının Arsenik Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi

Groundwater of Kayseri Evaluation in Term of Arsenic Contamination

Mustafa Yazıcı^{1*}, Mustafa Değirmenci¹, Onur Sözüdoğru³, Mehmet Ekmekçi², Eyüp Atmaca¹,
Levent Tezcan², Otgon Bayer Namkhai²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Öz

Bu çalışma, Kayseri Kenti içme ve kullanma suyunun temin edildiği yer altı suyu akiferlerinin arsenik kirliliği açısından değerlendirilmesini konu almaktadır. Çalışma kapsamında; KASKİ (Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi) tarafından Kayseri kentinin içme ve kullanma suyunun karşılandığı kuyular, TÜBİTAK projesi kapsamında karotlu sondaj tekniği ile açılan kuyular ve şahıslara ait sığ kuyulardan oluşan toplam 50 kuyu seçilmiştir. Bölgedeki mevcut yapının anlaşılması için 2009 yılında 8 ay boyunca, yağışlı ve kurak dönemleri temsil edebilecek şekilde, ayda bir kez örnekler alınmıştır. Elde edilen veriler, örnekleme noktalarının durumuna bağlı olarak ve antropojenik etkiler göz önüne alınarak incelenmiştir. Karotlu sondajlar sayesinde elde edilen litolojik bilgiler ışığında akiferdeki arsenik varlığı değerlendirilmiştir. Derin ve sığ akiferi temsil eden örnekleme noktaları ayrı ayrı kullanılarak, arseniğin alansal kirlilik haritası oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, arsenik kirliliğinin derin akiferin çoğunluğunda sınır değer altında, sığ akiferde ise bunun tam tersi olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca arseniğin çoğunlukla litolojiden kaynaklandığı da tespit edilmiştir. Bölgedeki yer altı sularının içme ve kullanma suyu olarak kullanılması sebebiyle çalışma sonucunda bu amaçla kullanılıp kullanılmayacağı ve çözüm yolları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, Doğal kirlenme, Kayseri, Yer altı suyu kirliliği

Abstract

In this study, groundwater aquifers that supply the tap water in Kayseri Metropolitan Area have been evaluated in terms of arsenic contamination. Within the framework of this study, a total of 50 wells were chosen which consist of wells meeting the drinking and domestic water demands of Kayseri by KASKİ (Water and Sewerage Administration of Kayseri Metropolitan Municipality), wells opened as part of a TÜBİTAK Project via core-drill technique, and wells belonging to individuals. To understand the structure under consideration within the region, monthly samples had been taken for 8 months so as to represent rainy and rainless periods in 2009. Obtained data were evaluated dependent on the nature of the sampling points and by considering anthropogenic factors. Moreover, in the light of lithological data obtained from core drills, presence of arsenic in the aquifer was assessed. Using sampling points that represent shallow and deep aquifers separately, areal contamination maps were established. As collected data were evaluated, it was figured that arsenic contamination values were below limits in most samples within the deep aquifer, and contrary in the case of the shallow aquifer. Additionally, it was noticed that the presence of arsenic was strongly related to lithology. This study discusses whether the groundwater in the region can be consumed for drinking and domestic purposes and considers possible solutions.

Keywords: Arsenic, Natural contamination, Kayseri, Groundwater pollution

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: m_yazici@outlook.com

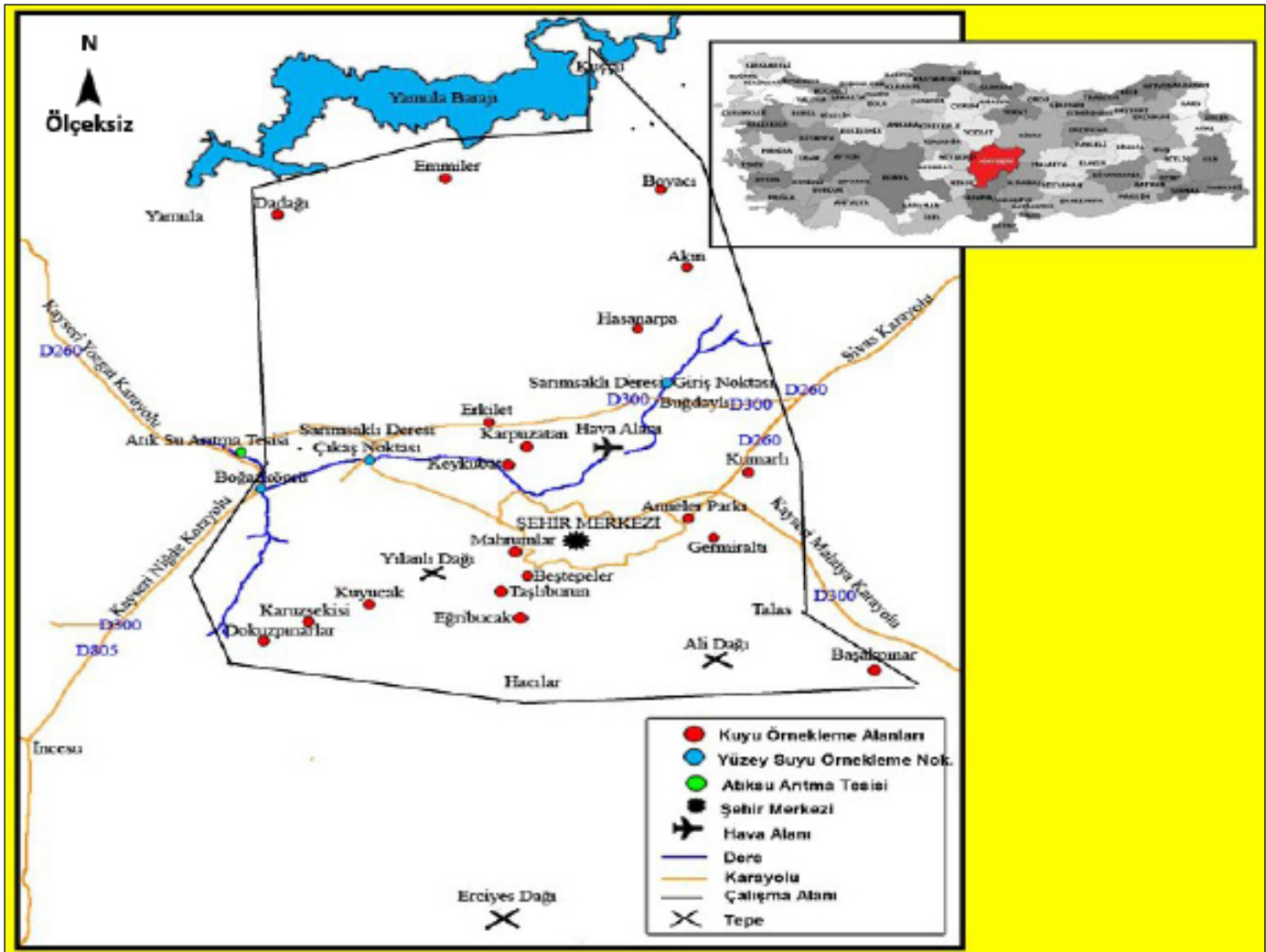
1. Giriş

Kayseri, İç Anadolu Bölgesi'nin Orta Kızılırmak bölümünde, Erciyes Dağı'nın eteklerinde kurulan modern bir kenttir. Kayseri Büyükşehir Belediyesi mücavir alanındaki yerleşim yerlerinin nüfusu 2013 yılında 1 295 355'dir (Nüfus 2013). Kentin içme suyunun tamamı kent yerleşkesi içerisinde kalmış 53 adet sondaj kuyusu ve bir adet yaklaşık 300 L/s debili bir kaynaktan (Beştepeler Kaynağı) karşılanmaktadır. Şekil 1'de mevcut kuyular gösterilmiştir (Yazıcı 2012). 2010 yılında KASKİ tarafından toplam çekilen yer altı suyu miktarı 57482.766 m³'dür. KASKİ Genel Müdürlüğü'nün 2010 yılında yer altı suyundan yaptığı çekimin tesislere göre yüzdelik dağılımı; Keykubat % 15.86, Karpuzatan % 10.96, Hacılar (Kuyucak) % 1.78, Germiraltı % 15, Gediris % 2.12, Erkilet % 0.29, Eğribucak % 5.71, Mahrumlar % 11.39, Anayurt % 2.27, Anneler Parkı % 11.23, Beştepeler

% 18.06 ve Çaybağları % 5.72 şeklindedir (Değirmenci vd. 2011).

Kentin içme ve kullanma suyunun alındığı akifer sistemi, genel anlamda "Çatlaklı Kaya Akiferi" türündedir. Bölgede gözlenen kayaç türleri bazalt, andezit ve bunların tüf ve aglomeraları şeklindedir. İçme suyu havzasında iki ayrı akifer sistemi mevcuttur. Bunlardan birisi, Erciyes dağının yüksek kotlarından beslenen, dolayısıyla basınçlı akifer niteliğinde ve volkanik kayaçlardan oluşan alt (ana) akifer, diğeri ise bunun üzerinde yer alan sığ/serbest akiferdir. Şekil 2'de görüleceği üzere basınçlı akiferin en güzel örneği Erciyes dağının ovaya yakın eteğinden tek noktadan çıkan, yaklaşık 300 L/s debili Beştepeler kaynak suyudur. (Değirmenci vd. 2011).

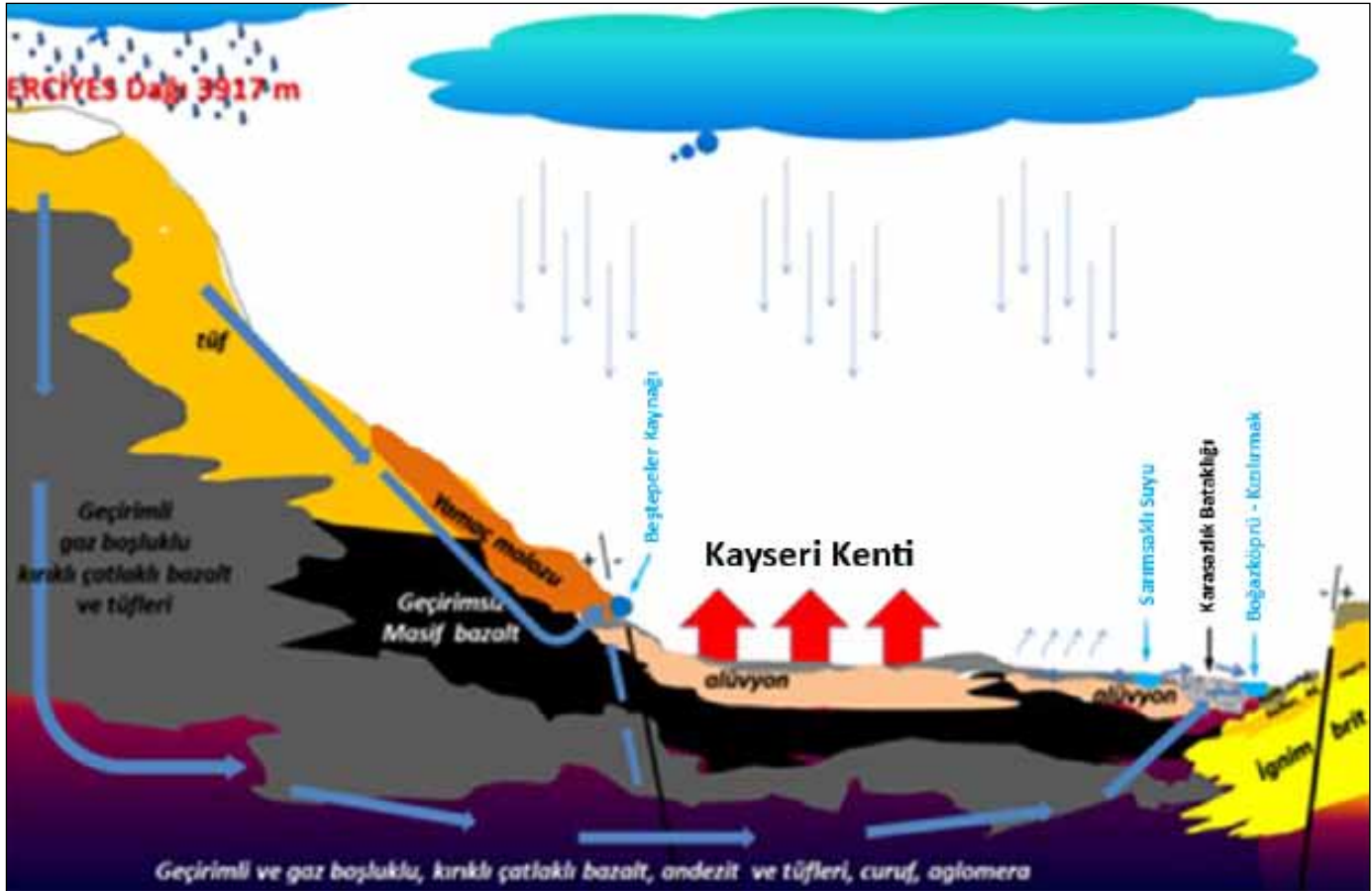
Arsenik yerkabuğunda en çok bulunan elementlerden bir tanesidir. Metal olmayan veya metaloid olarak sınıflandırılmaktadır. Tarım, eczacılık vb. endüstri dallarında



Şekil 1. Çalışma alanı bulduru haritası.

kullanılmasına rağmen insan, hayvan ve bitkiler üzerinde toksik etkiye sahiptir. Arsenik kanserojenik olarak bilinen zehirli bir elementtir (World Health Organization 2001). Amerika Çevre Koruma Ajansı tarafından içme sularında arsenik için kabul edilen maksimum kirletici seviyesi 0.05 mg/L'den 0.01 mg/L'ye düşürülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü tarafından da bu değer 1993 yılında 0.01 mg/L'ye indirilmiştir (Başkan ve Pala 2009). Ülkemizde de "İnsani Tüketim Amaçlı Sular" Yönetmeliğinde Şubat 2008'den itibaren arsenik için izin verilen sınır değer 10 ppb olarak kabul edilmiştir (TS 226 2005). Arseniğin ortam boyunca çok çeşitli kimyasal formları bulunur ve bu formlar farklı jeokimyasal süreçlerde mikroorganizmalar tarafından kolayca değiştirilebilmektedir (Cullen ve Reimer 1989). Arsenik doğal olarak ortaya çıkabildiği gibi çeşitli endüstriyel uygulamaların bir sonucu olarak da ortama katılabilir (Han vd. 2003). Volkanik kayalar, kaplıcalar, ılıcalar, tortul kayaları (organik/inorganik killer), başkalaşım kayaları, deniz suyu, mineral çökelleri, volkanik hareketler, kaya erozyonu ve orman yangınları arseniğin doğal kaynakları arasında yer alır (EPA 2003a). Antropojenik arsenik kirliliği ise

çeşitli aktivitelerden meydana gelir: metal ve alaşım imalatı, petrol rafinesi, fosil yakıtların yanması, gübre ve atıklar bunlardan bazılarıdır (Ayotte vd. 2003). Genelde arseniğin çok çeşitli değişen toksisite ve hareketliliğe sahip kimyasal türleri ortam boyunca bulunur. Bu türler biyolojik aktivite, redoks potansiyeli değişimi veya pH gibi parametreler vasıtasıyla kolayca birbirine dönüşebilmektedir (Francesconi ve Kuehnelt 2004, Gong vd. 2002). Arsenik (III) ve arsenik (V)'in oksijen ve hidrojen içeren bileşikleri ortamda bulunabilecek arseniğin ana türleridir (Garcia Manyes vd. 2002). Yer altı sularında As varlığı: mineral çözünme/çökeltme, adsorbsiyon/desorbsiyon, yükseltgenme/indirgenme reaksiyon mekanizmaları ve biyolojik dönüşüm ile kontrol edilir. Arsenik hareketliliğini kısıtlayan ve arttıran en önemli mekanizma genellikle adsorbsiyon ve desorpsiyondur. Adsorbsiyon-desorbsiyon etkisini metal oksit ve oksihidroksitler (Fe-Al-Mn), kil mineralleri, karbonatlar ve humik asitler oluşturmaktadır. Arsenik adsorbsiyonu; adsorblayıcı katı yüzeyi, pH, Eh, As konsantrasyonu ve türleri, reaksiyon kinetiği ve rekabet halinde olduğu fosfat, sülfat, silikat, organik ligantlar, kalsiyum ve mag-



Şekil 2. Çalışma alanının beslenme-boşalım ilişkisini gösteren şematik hidrojeolojik kesit.

nezyum konsantrasyonlarına bağlıdır (Güneş ve Güneş 2009). Arsenik hem oksitlenebilir hem de indirgenebilir yapısından dolayı problemlili bir kirliletiçi özelliğe sahiptir. Arsenik konsantrasyonu indirgenme koşulları altında diğeri ağır metallere 1000 kat daha fazla olabilir. Arseniğin başka bir karakteristik özelliği de akifer içindeki konsantrasyon değişikliğidir. Yani belirli bir kuyudaki arsenik konsantrasyonu, bilinen yakın bir kuyuyla benzer olmayabilir. Arsenik (III) ve Arsenik (V) farklı adsorpsiyon izotermine sahiptirler. Böylece yer altı suyu ortamı boyunca farklı hızlarla taşınır ve akış boyunca ayrılırlar. Arsenik (III) 'ün, indirgeyici şartlar altında Arsenik (V)'ten üç kat daha hızlı taşındığı gözlemlenmiştir. pH 8.3 civarında indirgeyici şartlar altında As (III) ve As (V) eşit hızlarla taşınır (Claesson ve Fagerberg 2003). Doğada en çok bulunan arsenik türü olan inorganik arsenik; yüzeysel su, yer altı suyu ve deniz suyunda baskın olan tür iken organik arsenik türleri ise doğal gaz ve petrolde baskın olarak bulunur (EPA 2002). Yer altı sularındaki As kirliliğinin alansal olarak bilinen yaygın örneklerinin çoğunda, arsenik kaynağının jeolojik kökenli olduğu gösterilmiştir (Smedley ve Kinniburgh 2002). İnorganik arsenik bileşikleri ve değerlikleri, redoks koşullarına ve suyun pH' sine bağlı değişmekte ve genel olarak, Arsenat (As^{5+}) formunda yüzeysel sularda, arsenit (As^{3+}) olarak yeraltısularında görülmektedir (Alpaslan vd. 2010). Ekseriyetle inorganik arsenik, organik arsenikten, +3 değerlikli arsenit ise +5 değerlikli arsenattan çok daha toksiktir (Chen vd. 2008).

Bu çalışmada artan nüfusu ve sanayisi ile birlikte mevcut su kaynaklarının önemi her geçen gün daha da artan Kayseri kentinin, içme suyunun karşılanmakta olduğu kaynak ve kuyu sularındaki arsenik düzeylerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bölgede içme ve kullanma suyu sağlayan KASKİ'ye ait su kuyuları, tarafımızca yürütülmüş olan TÜBİTAK projesi kapsamında karotlu sondaj tekniği ile açılmış olan sığ-derin kuyular ve şahıslara ait sığ kuyuların arsenik miktarları incelenmiş olup konsantrasyon değerlerine göre değerlendirme ve öneriler yapılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Bölgedeki içme ve kullanma suyunun karşılandığı yer altı suyunun arsenik değerini saptamak amacıyla 50 örnekleme noktası seçilmiştir. Bunların 17 tanesi KASKİ işletme kuyuları, 15'i TÜBİTAK projesi kapsamında açılan sığ ve derin araştırma kuyuları, geri kalan 18 kuyu ise bölgede yer alan şahıslara ait kuyulardır. Çizelge 1' de mevcut kuyulardaki arsenik değerleri verilmiştir. Mevcut

kuyulardan 2009 yılında 8 ay boyunca ayda bir kez olmak üzere örnekler alınmıştır. Numuneler, kuyudaki durgun su boşaltıldıktan sonra 1 litrelik sterilize kaplara başka bir madde ilave edilmeksizin alınmıştır. Alınan numunelerin Arsenik analizi Thermo Elemental X7 ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Analizin kalite kontrolü için NIST 1640a ve 1643e "Trace Elements in Water" Standart Reference Material (SRM) kullanılmıştır. Aynı zamanda TÜBİTAK projesi kapsamında açılan karotlu sondaj kuyularından elde edilen litolojik birimlere ait bilgiler sayesinde, arsenik değeri fazla olan kuyulardaki litolojik birimler ile arsenik arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın da içinde yer aldığı TÜBİTAK çalışmasında yapılan diğeri yer altı suyu seviye ölçümü ve kimyasal analiz sonuçlarından da arseniğin yorumlanmasında faydalanılmıştır.

Bölgede gözlenen kayaç türleri andezit, bazalt ve bunların tüf ve/veya aglomeraları şeklindedir (Değirmenci vd. 2011). Bölgede aynı alanda bulunan derin ve sığ kuyulara ait akifer sistemlerinin beslenme alanlarının farklı olmasından dolayı, Arcgis programında hazırlanan alansal dağılım haritalarının oluşturulmasında sığ ve derin kuyular ayrı değerlendirilerek şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanı olan Sarımsaklı havzası Kızılırmak havzasının alt havzası olup Erciyes Dağı'nın kuzey yamacı boyunca yer almaktadır. Havzanın doğusu ve güneydoğusunda Seyhan havzası diğeri taraflarında ise Kızılırmak komşu havza olarak bulunmaktadır. Proje alanının içinde yer aldığı Sarımsaklı havzasının alanı 2132.3 km², çevresi 243.75 km, en düşük kotu 1017.6 m, en yüksek kotu 3871.9 m, ortalama kotu 1434 m' dir. Kayseri kenti içme suyu havzasının alansal ortalama yağış değeri "Thiessen Poligon" yöntemi kullanılarak 370.86 mm bulunmuştur (Değirmenci vd. 2011). Çizelge 1'de bölgede bulunan kuyulara ait arsenik değerleri verilmiştir.

Bölgedeki derin akiferde arseniğin ana kaynağı jeolojik kökenliyen, sığ akiferde jeokimyasal süreçler ile antropojenik etki birleşerek daha da yüksek değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Şekil 3'te Karpuzatan, Keykubat, Beştepeler, Erkilet ve Mahrumlar bölgelerinde sığ ile derin akiferin arsenik değerleri arasındaki farkı çok net olarak görmek mümkündür.

KASKİ'ye ait işletme kuyuları (17 adet) çoğunlukla sınır değerin altında bulursa da sığ akifer için aynı durumdan söz etmek mümkün değildir (Şekil 4 ve 5).

Ortamda (As_2S_3 , FeS_2 gibi) arsenikçe zengin sülfürlü bileşiklerin oksijen eşliğinde reaksiyona girdiğinde sülfürün ayrışarak sülfata dönüştüğü ve nitratın ise FeS_2 ile reaksiyona girerek (piriti) çözdüğünü ve bunun sonucunda da arseniğin suda serbest kaldığı bilinmektedir (Welch vd. 2006). Keykubat, Karpuzatan ve Beştepeler bölgesindeki sığ akiferleri temsil eden kuyulara bakıldığında (KY64 için ortalama değerleri; NO_3 :18.98 ppm- SO_4 : 198.81 ppm, As: 41.35 ppb, KY64B için ortalama değerleri; NO_3 : 6.63 ppm- SO_4 : 576.29 ppm, As:37.58 ppb, KY55 için ortalama değerleri; NO_3 : 107.70 ppm- SO_4 : 130.18 ppm, As: 28.24 ppb, KY63 için ortalama değerleri; NO_3 :15.52 ppm- SO_4 : 605.91 ppm, As: 28.50 ppb) SO_4 ve NO_3 değerleriyle birlikte arsenik değerlerinin

de yüksek olduğu görülmektedir (Değirmenci vd. 2011).

Çalışma kapsamında, geçmiş yıllarda işletilen Kumarlı ve Beştepeler çöp deponi alanının arsenik açısından yer altı sularına etkisi de incelenmiştir. Litolojik olarak incelendiğinde, Kumarlı bölgesinde nitrat değerleri çöp deponi alanına en yakın kuyuda (KY67) 10.61 ppm, (yeraltısuyu akış yönünde) daha uzakta bulunan KY70 nolu kuyuda ise 13.63 ppm olarak ölçülmüştür. Bu kuyuların arsenik değerleri ise; KY67: 15 ppb, KY70:9.5 ppb olarak ölçülmüştür. Arsenikte olduğu gibi Kurşun (KY67: 2.13 ppb, KY70: <0.001 ppb) ve çinko (KY67: 56.77 ppb, KY70: 20.86 ppb) değerlerinde de düşük gözlenmektedir (Değirmenci vd. 2011). Yukarıdaki

Çizelge 1. Bölgede yer alan kuyularda ölçülen arsenik değerleri

BÖLGE	KEYKUBAT								KASLI	BURDURLU
	KUYULAR	KY-03	KY-04	KY-05	KY-02	KY-06	KY-04	KY-04A		
SEMBOZ	■	■	■	■	■	▲	▲	▲	■	■
MIN.	0.000	0.049	0.037	4.200	2.011	13.110	0.000	21.700	0.010	0.000
MAK.	3.300	0.490	14.500	0.004	10.000	0.070	10.410	04.100	1.400	11.040
ORT.	1.000	7.000	0.070	0.000	10.000	0.000	10.000	07.000	0.000	0.000
SS.	1.110	0.000	4.710	1.400	4.000	10.010	0.000	20.000	0.000	1.700

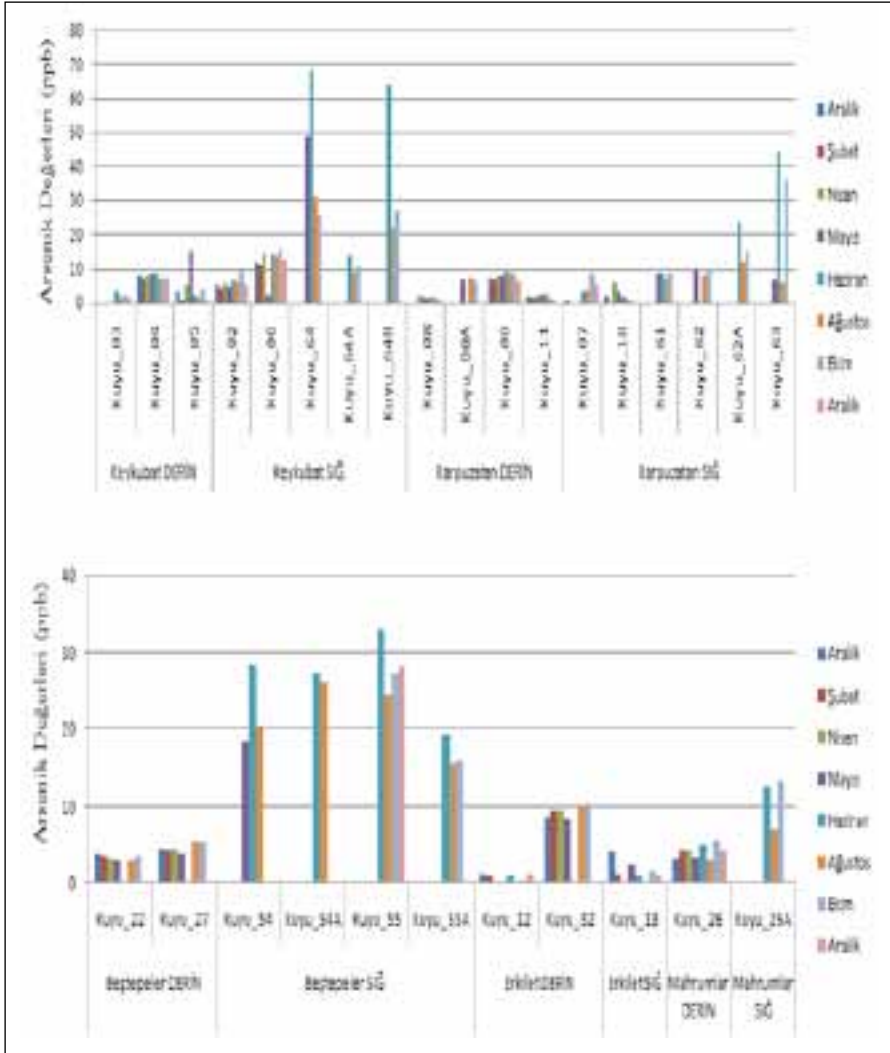
BÖLGE	KARPUZATAN							ARINCIL		
	KUYULAR	KY-08	KY-09	KY-11	KY-07	KY-10	KY-01	KY-03	KY-02	KY-10
SEMBOZ	■	■	■	■	■	▲	▲	▲	■	■
MIN.	0.010	0.440	0.010	0.010	0.007	0.000	7.700	0.700	0.000	0.000
MAK.	1.044	0.107	0.010	0.001	0.000	0.440	0.770	40.070	0.404	0.070
ORT.	0.070	7.041	1.040	0.000	1.714	7.070	0.000	20.000	0.000	0.000
SS.	0.000	0.001	0.010	0.000	1.011	0.000	1.000	10.000	1.000	0.000

BÖLGE	BEŞTEPELER						SERVALI		MARMARİSLAR	ARIN
	KUYULAR	KY-02	KY-07	KY-04	KY-04A	KY-05	KY-05A	KY-07	KY-10	KY-08A
SEMBOZ	■	■	▲	▲	▲	▲	■	■	▲	■
MIN.	0.000	0.700	10.040	20.170	24.000	10.400	0.000	0.104	0.000	0.477
MAK.	0.700	0.000	10.000	27.010	20.000	10.000	4.070	0.007	10.040	10.000
ORT.	0.004	4.000	11.420	20.740	20.000	10.000	0.700	1.107	10.000	0.047
SS.	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000

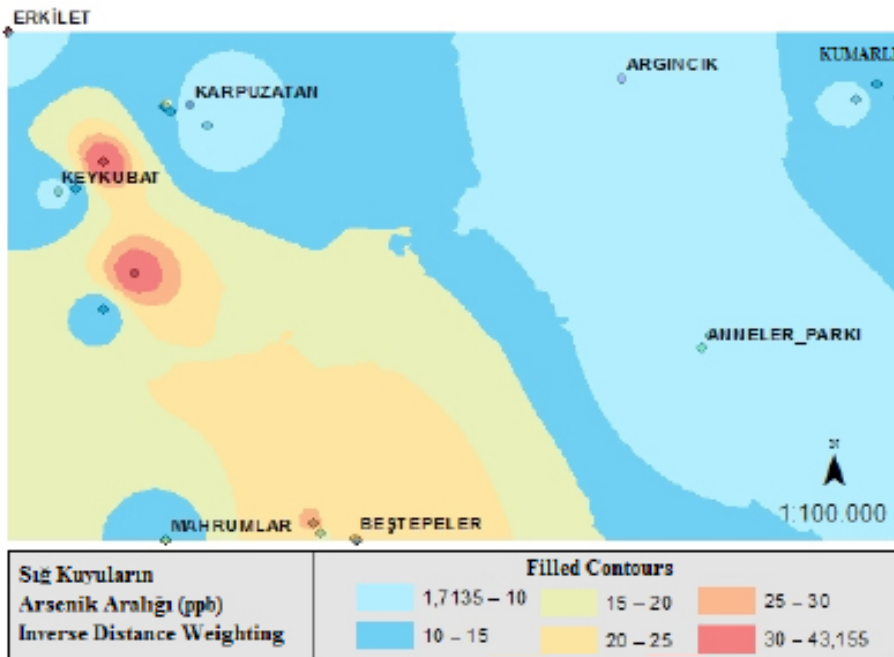
BÖLGE	KUMARLI					KUYUCAK			KARPUZATAN	EMNİLİLER
	KUYULAR	KY-07	KY-08	KY-08A	KY-09	KY-10	KY-08A	KY-09B	KY-09C	KY-08B
SEMBOZ	▲	▲	▲	▲	▲	■	■	■	■	■
MIN.	10.010	0.000	0.007	0.000	0.007	10.000	10.000	10.000	10.000	0.000
MAK.	20.000	10.400	14.000	10.010	0.010	0.000	00.000	20.000	10.000	0.000
ORT.	10.000	10.004	10.000	10.000	0.010	10.000	10.000	20.000	10.000	0.000
SS.	0.777	1.040	0.770	0.000	1.010	0.000	0.770	0.771	1.000	0.000

BÖLGE	ANNELER PAZARI			ERKLEK			GÖZÜS		DÖNÜKÇAR	DADAĞ
	KUYULAR	KY-00	KY-00	KY-00	KY-02	KY-02	KY-10	KY-00	KY-00	KY-00
SEMBOZ	■	▲	▲	■	■	■	■	■	■	■
MIN.	0.000	0.071	7.000	0.400	0.000	0.000	0.000	0.704	0.077	10.000
MAK.	4.000	0.000	7.000	1.000	10.000	4.000	0.000	0.000	4.100	10.000
ORT.	0.040	0.004	7.400	0.040	0.004	1.700	1.000	4.071	0.700	10.000
SS.	0.000	0.000	0.170	0.040	0.004	1.007	1.470	0.104	0.000	0.404

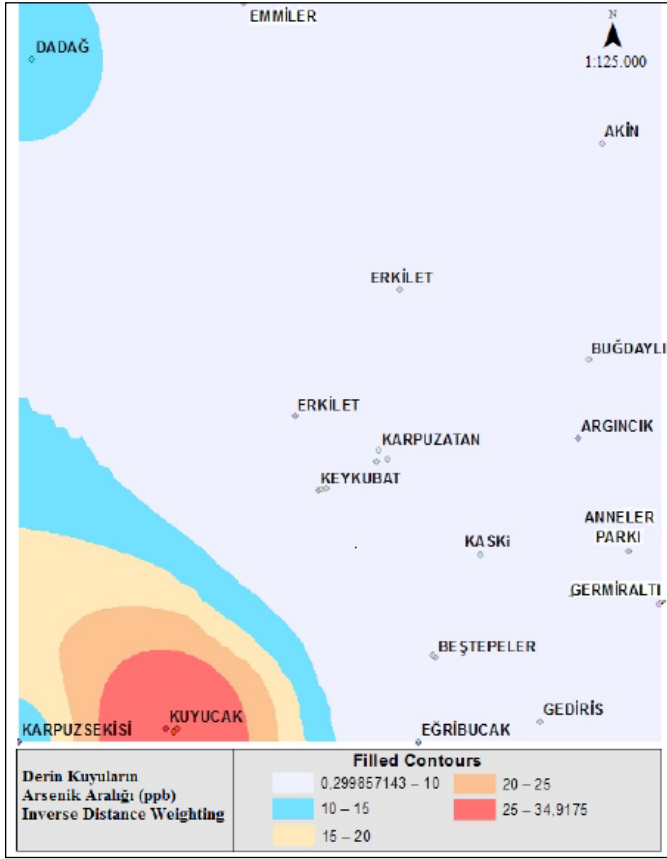
DEĞERLER PPB CİNSİNDEN DİR. ■ - BAŞKIYE AIT KUYULAR ▲ - ŞAHİDLARA AIT KUYULAR
■ - 2071170 NOLU TÜBİTAK PROJESİ KAPSAMINDA AÇILAN KUYULAR



Şekil 3. Sığ ve derin kuyuların arsenik değerleri.



Şekil 4. Sığ kuyuların arsenik dağılımı.



Şekil 5: Derin kuyuların arsenik dağılımı.

veriler çöp deponi alanından uzaklaştıkça (+) yüklü iyonların azaldığını (-) yüklü iyonların ise arttığını göstermektedir. Zira bölgedeki kil, silt ve tüften oluşan ince malzeme; içinden geçen yer altı suyunun taşıdığı (+) yüklü metalleri (arsenik, kurşun ve çinko) iyon değişimi ve adsorpsiyon gibi süreçler neticesinde içinde tutmaktadır. Nitrat ise (-) yüklü olması nedeniyle ortamda tutulmadan ilerlemektedir. Diğer taraftan Beştepeler bölgesinde, genelde masif, yer yer kırıklı/çatlaklı bazaltın üzerinde bulunan yaklaşık 15 m kalınlığındaki çürufumsu malzemeden oluşan üst zon içerisinde akan sızıntı suyunun, arseniğin yüksek çıkmasına etki eden faktörlerden biri olduğu düşünülmektedir. Eski çöp deponi alanına yakın ancak etki alanı dışında kalan bölgelerin arsenik değeri 13~15 ppb dolaylarındayken, çöpün etkili olduğu bölgedeki (KY54- KY54A- KY55- KY55A) kuyularda 15-30 ppb düzeyinde tespit edilmiştir. Yüzeyden 15 m derinlikten sonraki litolojik yapının 50. metrelere kadar masif/yer yer kırık çatlaklı bazalt olması ve ayrıca alttaki akiferin basınçlı akifer şeklinde olmasından dolayı çöp sızıntı suyunun, derin akiferi etkilemediği gözlenmiştir. Değirmenci vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, Beştepeler bölgesinde

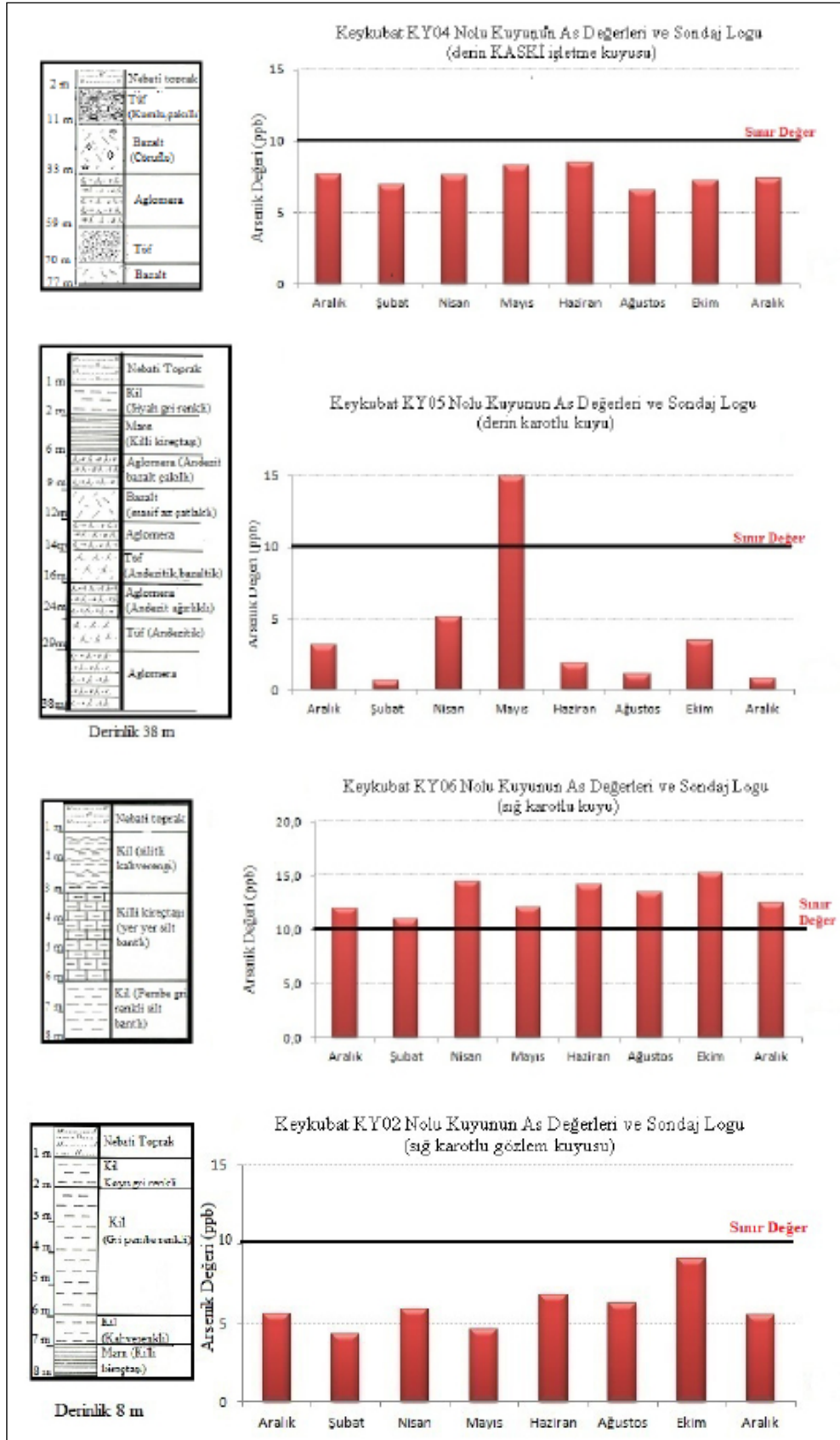
derin akiferde difüzyon taşınımının çok yavaş gerçekleştiği ve kirlenme riski altında bulunmadığı da belirtilmiştir.

KASKI'ye ait işletme kuyularının bulunduğu Keykubat bölgesinde karotlu açılan sığ ve derin kuyular ile işletme kuyusunun arsenik değerleri sırasıyla KY06 (derinliği 8 m) 11.83 ppb, KY05 (derinliği 38 m) 3.88 ppb ve KY04 (derinliği 77m) nolu işletme kuyusunda 7.51 ppb bulunmuştur. KY05-KY06 nolu karotlu açılan kuyuların arasındaki mesafe 5 m'yi geçmezken, KY04 nolu kuyu bu kuyulara 130 m kadar uzaktadır (Değirmenci vd. 2011). Şekil 6'ya bakıldığında ilk 8 m'nin (KY05 ile KY06 da) kil ve killi kireç taşından oluştuğu görülmektedir. KY06 nolu kuyunun suyu 8 m'lik sığ akiferden alınmaktadır ve arsenik kirliliğine, bölgedeki kilin büyük etkisi olduğu gözlenmiştir. KY05 nolu kuyuda ise ilk 8 m kapalı geçilerek su alınmaya başlanmıştır. Bu da bize 8 m'den sonraki litolojide bulunan aglomera ve tüfün taşıdığı arseniğin daha az olduğunu göstermiştir.

KY02 (derinliği 8m, As ort = 5.97 ppb) ile KY06 (derinliği 8 m, As ort= 11.83 ppb) kuyuları arasında yaklaşık 270 m bulunmakta ve KY06 nolu kuyunun kotu 1043.46 m iken KY02 1042.95 m'dir. Yer altı suyu KY06 nolu kuyudan KY02 nolu kuyuya doğru akmaktadır (Değirmenci vd. 2011). Arseniğin aradaki 270 m mesafedeki litolojik yapıdaki kilde %50'sinin tutulduğu görülmektedir. Böylece KY06 nolu kuyunun akış aşağısında kalan KY02 nolu kuyuda arsenik değeri düşük çıkmıştır.

Arseniğin sınır değerini aştığı bölgelerde, araştırma amaçlı yeni karotlu kuyular açılarak, arseniğin litolojik birimler ile olan ilişkisinin sağlıklı bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Bunun için su alınması istenen derinlerde, arsenik açısından hem suyun hem de litolojik birimlerin analizi yapılmalıdır. Elde edilen bulgular sonucunda, gerekli görülen kısımlar tecrit edilerek, kaynağında alınan önlemlerle kuyudaki mevcut arsenik konsantrasyonunun düşürülebileceği öngörülmektedir. Böylece arseniğin arıtma maliyetinden tasarruf edilecek ve mevcut ilişkinin açıklanmasıyla, arseniğin giderim mekanizmalarına destek sağlanacaktır.

Yer altında jeolojinin homojen bir yapıda dağılması çok zor olduğu için bölgedeki derin akifer ile sığ akifer birbirinden tam bağımsız halde bulunmamaktadır. Derin akifer ile sığ akiferin yer altı suyu seviyeleri çoğu bölgede birbirine çok yakın gözlenmektedir. TÜBİTAK çalışmasında ölçülen yeraltısu seviyelerinden, hidrolik gradyanın derin akiferden sığ akifere doğru olduğu gözlenmiştir (Değirmenci vd. 2011). Ancak derin akiferdeki suyun kullanımıyla bu gradyan tersine dönebilir. Bu



Şekil 6: Kaykubat bölgesinde yer alan KASKİ ile TÜBİTAK projesi kapsamında açılan kuyuların litolojisi ve arsenik değerleri.

nedenle bölgedeki tüm devlet kuruluşlarının entegre su yönetimi kapsamında, yer altı suyunu doğru kullanması sağlanmalıdır. Böylelikle kirlenmiş olan üst/sığ akifer sularının, kentin içme suyunun temin edildiği, alttaki derin akifere intikalinin önüne geçilebilir.

Bölge KASKİ işletme kuyuları açısından genel olarak değerlendirildiğinde; Kayseri kenti içme suyu havzasında Kuyucak kuyuları, sanayi bölgesi başlangıcı hattı sınır sayılacak şekilde batı kesimde (Kuyucak kuyuları, Karasazlık, Karbondioksit işletme kuyusu ve Dokuzpınarlar bölgesi) arsenik değerinin standart değer olan 10 ppb'nin üzerinde, mevcut durumda kent içme suyunun %100'ünün karşılanmakta olduğu bölgede ise 10 ppb sınırının altında olduğu görülmektedir. İçme suyunun sağlandığı bölgelerden Keykubat, Karpuzatan, Erkilet ve Akin'de arsenik 7~8 ppb düzeyindeyken içme suyunun çok büyük bir kısmını karşılamakta olan Mahrumlar, Beştepeler, Eğribucak, Gediris, Çaybağları, Germiraltı ve Anneler parkı bölgelerinde 3~4 ppb gibi çok düşük düzeylerde gözlenmektedir.

Bu çalışmanın sonucunda Kayseri kenti içme suyu temini amacıyla kullanılan yer altı suyu akiferlerinin arsenik kirliliği açısından mevcut durumu ortaya konulmuştur. Şehrin nüfus artışıyla birlikte mevcut kuyuların ihtiyacı karşılayamaması neticesinde yeni kuyu işletme bölgelerinin açılması söz konusudur. Yapılan bu araştırma ile yeraltısuyu işletmesindeki arsenik sorununun mevcut olduğu bölgeler ortaya konularak, bu bölgelerde yapılması düşünülen çalışma ve yatırımlara temel oluşturması amaçlanmıştır. Ayrıca bölgedeki yer altı sularının içme ve kullanma suyu olarak kullanılması sebebiyle çalışma sonucunda bu amaçla kullanılıp kullanılmayacağı ve çözüm yolları da değerlendirilmiştir.

4. Teşekkür

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a (107Y170 no'lu proje) ve KASKİ'ye teşekkürlerimizi sunarız.

5. Kaynaklar

- Alpaslan, MN., Dölgen, D., Boycaoğlu, H., Sarptaş, H. 2010. İçme Suyundan Kimyasal Yöntemlerle Arsenik Giderimi. *İTÜ, Su Kirl. ve Kont. Derg.*, 1: 15-25.
- Ayotte, JD., Montgomery, DL., Flanagan, SM., Robinson, KW. 2003. Arsenic in Groundwater in Eastern New England: Occurrence, Controls, and Human Health implications. *Environ. Sci. Tec.*, 37: 2075-2083.

- Başkan, B.M., Pala, A. 2009. İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme, *Pamukkale Üniv., Müh. Bil. Derg.*, 1: 69-79.
- Chen, Y., Yao, J., Wang, F., Zhou, Y., Chen, H., Gai, N., Chen, H., Chen, K., Maskow, T., Ceccanti, B., Trebse, P., Zaray, G. 2008. Toxic Effect of Inorganic Arsenite [As(III)] on Metabolic Activity of *Bacillus subtilis* by Combined Methods. *Curr. Microbiol*, 57:258-263.
- Claesson, M., Fagerberg, J. 2003. Arsenic in Groundwater of Santiago Del Estero, Argentina: a Minor field study., Royal Ins. of Tech. Inter. Office, TRITA-LWR-EX-03-5, 59.
- Cullen, WR., Reimer, KJ. 1989. Arsenic Speciation in the Environment. *Chem. Rev.*, 89: 713-764.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Altın, A., Atmaca, E. 2006. Kayseri Kent İçme Suyu Havzasında Yeralan Eski Çöp Deponi Alanları Sızıntı Sularının Kent İçme Suyu Akiferlerine Olan Etkilerinin ve Havza Koruma Alanlarının Belirlenmesi, Devlet Planlama Teşkilatı Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, 2001.K.120340, 244s., Sivas.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Atmaca, E., Namkhai, O., Yazıcı, M., Sözüdoğru, O., Aykar, E., Akpınar, H. 2011. Kayseri Kent İçme Suyu Akiferlerinin Özellikleri, Kirlenme Riskleri ve Havza Koruma Alanlarının Belirlenmesi, 107Y170 No'lu TÜBİTAK Projesi, 268s.,Sivas.
- EPA. 2002. Arsenic Treatment Technologies For Soil, Waste, and Water, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- EPA. 2003a. Design Manual: Removal of Arsenic from Drinking Water by Ion Exchange.
- Francesconi, K. A., Kuehnelt, D. 2004. Determination of Arsenic Species: A Critical Review of Methods and Applications. *Analyst*, 129: 373-395.
- Garcia-Manyes, S., Jimenez, G., Padro, A., Rubio, R., Rauret, G. 2002. Arsenic Speciation in Contaminated Soils. *Talanta*, 58: 97-109.
- Gong, Z., Lu, X., Ma, M., Watt, C., Le, C. 2002. Arsenic Speciation Analysis. *Talanta*, 58: 77-96.
- Güneş, T. S., Güneş, C. 2009. Jeotermal Kaynaklı Arseniğin Yeraltısuyu ve Yüzeysel Sularındaki Jeokimyasal Davranışı: Birlikte Çökme, Adsorbsiyon, pH-Eh, TMMOB Jeo. Kong., Ankara, 183-203s.
- Han, F. X., Su, Y., Monts, D. L., Plodinec, M. J., Banin, A. And Triplett, G. B. 2003. Assessment of Global Industrial-Age Anthropogenic Arsenic Contamination. *Naturwissenschaften*, 90: 395- 401.
- Nüfus. 2013. http://www.kayseri.gov.tr/default_B0.aspx?content=217
- Smedley, PL., Kinniburgh, DG. 2002. A Review of the Source, Behaviour and Distribution of Arsenic in Natural Waters. *App. Geochem.*, 17: 517-568.

TS 266. 2005. Sular- İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standardı, Ankara, 20 s.

Welch, Alan H., Oremland, Ronald S., Davis, James A., Watkins, Sharon A. 2006. Arsenic in Groundwater: A Review of Current Knowledge and Relation to the CALFED Solution Area with Recommendations for Needed Research, San Francisco. *Estuary and Watershed Sci.*, 4, 2.

World Health Organization. 2001. Fact Sheet No. 210. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact210.html>.

Yazıcı, M. 2012. Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinin İz Element ve Kirletici Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ref. No:426715, 110s. Sivas.