

Araştırma / Research

PIRHÜSEYİN VE YALINCAK KÖYLERİ (HAFİK, SİVAS) DOLAYLARINDAKİ SULARIN ARSENİK KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet Ali KURT (ORCID:0000-0001-7255-2056)*

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

*Geliş / Received: 14.11.2017
Kabul / Accepted: 05.02.2018*

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; Pırhüseyin ve Yalınca köyleri (Hafik, Sivas) civarındaki yüzey ve yeraltı sularının arsenik konsantrasyonlarının belirlenmesi ve yönetmeliklerdeki sınır değerlerle karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla 2014 yılı Ağustos ayında bölgedeki kaynaklardan 13 adet, köy şebeke sularından 9 adet ve akarsulardan 6 adet su numunesi alınmıştır. Alınan su numunelerinin arsenik, ağır metal, anyon ve katyon derişimleri belirlenmiştir. Bu suların en düşük, ortalama ve en yüksek As değerleri sırasıyla; <1, 130 ve 1064 µg/L'dir. Bu numunelerin 9 adedinin arsenik derişimleri içme suyu sınır değeri olan 10 µg/L'nin üzerindedir. Yalınca Köyü içme suyunun Arsenik içeriği 1064 µg/L olup çalışma kapsamındaki en yüksek Arsenik derişimine sahiptir. Yalınca Köyü içme suyunun kaynağından alınan numunenin Arsenik derişimi ise 1039 µg/L'dir. Sonuç olarak, bölgedeki bazı köylerin şebeke sularında, kaynak sularında ve bazı akarsularda ciddi boyutlarda bir arsenik kirliliğinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik kirliliği, Kaynak ve içme suyu, Yalınca köyü, Pırhüseyin köyü, Hafik.

DETERMINATION OF ARSENIC CONCENTRATION IN WATERS AROUND THE PIRHÜSEYİN AND YALINCAK VILLAGES (HAFİK, SİVAS)

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the arsenic concentrations and comparison with the limit values in the regulations in surface and ground waters around the region of Pırhüseyin and Yalınca villages (Hafik, Sivas). For this purpose in August 2014, 13 spring water, 9 village tap water (drinking water network) and 6 surface water samples have been collected. Concentrations of arsenic, heavy metals, anions and cations were determined in the collected water samples. Minimum, mean and maximum arsenic concentrations in the water samples were determined as <1, 130 and 1064 µg/L, respectively. Nine out of twenty-eight water samples have As concentrations that exceeded the drinking water standard of 10 µg/L. Arsenic concentration of the Yalınca village drinking water network is 1064 µg/L and it is the highest arsenic value recorded during this survey. Arsenic concentration of the sample taken from the drinking water source of Yalınca village is 1039 µg/L. As a result, it was determined that there is a significant arsenic pollution in village drinking water network and surface and ground waters in the region.

Keywords: Arsenic pollution, spring and drinking water, Yalınca village, Pırhüseyin village, Hafik.

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 324 3610001; e-mail / e-posta: mehmetalikurt@gmail.com

1. GİRİŞ

Kanserojen etkisinden dolayı içme sularında arseniğin varlığı son yıllarda sıkça gündeme gelen bir konudur. Arseniğin (As) atom numarası 33, atom ağırlığı 74,91 olup bileşiklerinde +5, +3, 0 ve -3 değerliklerini alabilmektedir. Buna karşın, +3 ve +5 değerlikli arsenik doğada en çok bulunan türüdür. Arsenik, toprak ve sulara doğal ve antropojenik etmenler sonucu geçebilmektedir. Yüzeysel ve yeraltı sularına doğal süreçler sonucu geçen arsenik, kayaların bünyesinde yer alan arsenik minerallerinin veya diğer minerallerin bünyesindeki arseniğin çözünmesinin bir sonucudur. Yeraltı sülfid mineralizasyonu ve madencilik faaliyetleri yapıldığı bölgeler, redükleyici ortamlar, oksitleyici ve redükleyici ortamlar, jeotermal bölgeler ve buharlaşmanın fazla olduğu karasal ortamlar, arsenik probleminin en fazla görüldüğü ortamlardır [1]. Antropojenik etkilere bağlı olarak sulara görülen arsenik genellikle tarım, endüstri ve madencilik faaliyetleri sonucu toprağa ve sulara geçebilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü 1993 yılında içme sularındaki arsenik sınır değerini 10 µg/L'ye düşürmüştür [2,3]. Ülkemizde de bu değer 2005 yılında yayımlanan ve 2008 yılında yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile 10 µg/L'ye düşürülmüştür [3].

Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve çeşitli bölgelerinde arsenikli suların varlığı birçok çalışmada rapor edilmiştir. Arjantin, Şili, Bangladeş, Çin, Macaristan, Hindistan, Meksika, Romanya, Tayvan, Amerika'nın bazı bölümleri ve Vietnam'da yüksek arsenik konsantrasyonlu içme suları mevcuttur [1,4-7]. Dünyada 100 milyondan fazla kişinin arsenikli su içtiği [3] ve sadece Hindistan ve Bangladeş'te 60-100 milyon dolayında insanın risk altında olduğu belirtilmektedir [7,8]. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından hazırlanan "İnsani Gelişme Raporu 2006 Kıtılığın Eşiğinde: Göç, Yoksulluk ve Küresel Su Krizi" başlıklı raporda Türkiye, arsenik kirliliği olasılığı olan ülkeler arasında gösterilmektedir [3]. Türkiye'de farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda [9-19] arsenikli suların varlığı tespit edilmiştir.

İçme sularında arsenik elementinin derişimi çok değişkenlik göstermektedir. Çeşitli ülkelerde, değişik zamanlarda yapılan çalışmalarda içme sularında oldukça yüksek konsantrasyonlarda As tespit edilmiştir. Bangladeş ve Batı Bengal'de yapılan çalışmalarda içme sularında 0,5-3200 µg/L arsenik tespit edilmiştir [1]. İçme sularında arsenik problemi ilk olarak 1960'larda Tayvan'da belirlenmiş ve 10-1800 µg/L arasında değişen konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir [1]. Çin'in kuzeyindeki bazı bölgelerde içme sularında 1200 µg/L, Arjantin'de 5280 µg/L'ye, Vietnam'da ise 3050 µg/L'ye çıkabilen arsenik derişimleri belirlenmiştir [1]. Türkiye'de de birçok çalışmada [10,12,14-17,20], değişik bölgelerde içme sularında sınır değerlerin üzerinde arsenik konsantrasyonları saptanmıştır. Turhal (Tokat) ilçesi, Hacılar ve Elalmış köyleri civarındaki sulara 429 µg/L derişime kadar çıkan arsenik olduğu belirtilmiştir [10]. Kütahya ili ile Emet ilçesinin içme suyu kaynaklarında 448 µg/L [20], Hisarcık ve Kütahya'da maksimum 510 µg/L [17], Kütahya-İğdeköy-Emet civarlarında 7754 µg/L [18] ve Balıkesir ve Bigadiç dolaylarında yapılan çalışmada 911 µg/L [15] arsenik tespit edilmiştir. Kütahya-Emet bölgesinde [13] tarafından yapılan çalışmada yeraltı sularında maksimum 1000 µg/L arsenik tespit edilmiştir. Sivas ili Şarkışla ilçesi dolaylarında [11] tarafından yapılan çalışmada ise maksimum 345 µg/L arsenik tespit edilmiştir. Bu da göstermektedir ki, içme sularındaki arsenik problemi ülkemizde de yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak ülkemizdeki bu arsenikli suların tamamı henüz ortaya konulamamıştır.

Bu çalışma Sivas ili Hafik ilçesi Yalınca ve Pirhüseyin köyleri ve civarındaki (Şekil 1) şebeke, yüzeysel, yeraltı ve kaynak sularındaki arsenik derişimlerinin belirlenmesi ve içme suyu standartlarındaki sınır değer ile karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

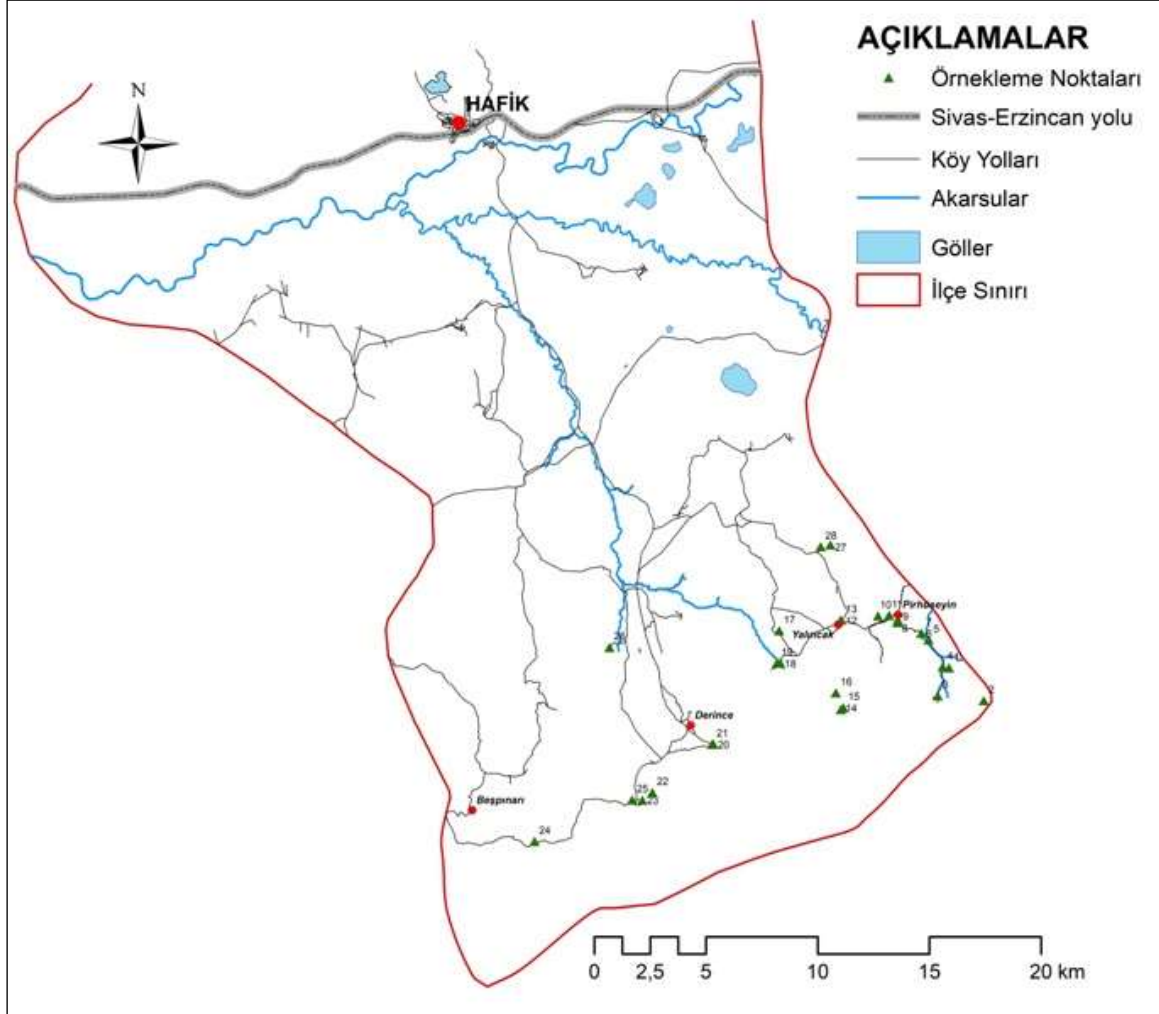
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2014 yılı ağustos ayında, Sivas ili Hafik ilçesi Yalınca ve Pirhüseyin köyleri ve yakın civarındaki köylerin ev şebeke sularından, bölgedeki kaynak ve derelerden toplam 28 adet su numunesi alınmıştır. Bu suların 13'ü kaynak suyu, her biri farklı köylerden olmak üzere 9'u köy şebeke suları, 6'sı bölgedeki derelerden alınmış akarsu ve 1 adedi kuyu suyudur. Su örneklemeleri [21]'deki su numunesi alma prosedürüne göre yapılmıştır. Su örneklemeleri için 250 ml'lik iki adet polietilen (PE) numune kabı (HCl ve ultra saf su ile steril edilip kurutulmuş) kullanılmıştır. Alınan numunelerden birinin içerisine 2 ml nitrik asit (pH <2 olacak şekilde) arazide eklenmiş ve bu numunede arsenik ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Diğer numuneye bir şey eklenmeden ve majör katyon ve anyon analizi için soğuk zincirle laboratuvara getirilmiştir.

Alınan numunelerin ağır metal ve arsenik derişimleri, majör anyon ve katyonlar ve fiziksel parametreleri (pH, iletkenlik, sıcaklık, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, tuzluluk ve oksijen doygunluğu) belirlenmiştir. Su numuneleri laboratuvara getirildikten sonra analiz yapılmaya kadar +4 °C'de saklanmıştır. Katyon ve anyon analizleri iyon kromatografisi cihazı ile [22] ve [23]'e göre yapılmıştır. Ağır metal ve arsenik analizleri ICP-MS cihazı ile [24]'te belirtildiği şekilde yapılmıştır. Suların pH ve elektrik iletkenliği kalibrasyonu günlük olarak

PİRHÜSEYİN VE YALINCAK KÖYLERİ (HAFİK, SİVAS) DOLAYLARINDAKİ SULARIN ARSENİK KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

yapılan multiparametre cihazı ile arazide, sırasıyla Elektrometrik Metodu [25] ve Elektrometrik Metodu [26] ile ölçülmüştür.



Şekil 1. Hafik ilçesi ve çalışmanın yapıldığı köylerin yerbulduru haritası.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma alanından alınan toplam 28 numunenin pH, iletkenlik, As, B, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo, Cd, Ba ve Pb analiz sonuçları Çizelge 1’de, anyon ve katyon sonuçları Çizelge 2’de verilmektedir. Çizelge 1 ve Çizelge 2’de ayrıca tüm parametrelere ait değerlerin en büyük ve en küçük istatistik değerleri de verilmiştir. Suların en küçük ve en büyük pH değerleri sırasıyla 7,22 ve 8,37 (Çizelge 1) olup bu sular nötr ve alkali sular sınıfına girmektedir. Suların en küçük ve en büyük elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 183 ve 2430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir (Çizelge 1). Elektriksel iletkenliği en yüksek olan numune yörede acısu olarak adlandırılan ve evaporitlerin içerisinde bulunan bir kaynağa aittir. Suların en küçük ve en büyük arsenik derişimleri sırasıyla <1 ve $1064 \mu\text{g}/\text{L}$ ’dir (Çizelge 1). Diğer elementlerin değerlerine bakıldığında B, Fe ve Sr elementleri bazı numunelerde yüksek derişimlerde görülürken, buna karşılık, Cu, Zn, Mo, Cd ve Pb elementlerinin derişimleri tayin limitinin (tayin limiti $1 \mu\text{g}/\text{L}$ ’dir) altında ve/veya tayin limitine yakın düzeydedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Suların pH, iletkenlik, ağır metal ve bazı element derişimleri.

Numune No	Suyun Türü	pH	İletkenlik (µS/cm)	As (µg/L)	B (µg/L)	Al (µg/L)	Cr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Sr (µg/L)	Ba (µg/L)
1	Kaynak	7,49	284	<1	14,92	30,7	1,57	1,41	408,4	1,15	<1	9,37	122,5	<1
2	Kaynak	7,50	217	<1	515	17,55	<1	<1	230,5	<1	<1	<1	123,8	<1
3	Kaynak	7,22	535	406	1294	<1	1,02	<1	424,1	1,17	<1	<1	1031	38,79
4	Dere	7,67	1318	21,9	275,5	1,822	<1	1,04	1872	5,28	<1	<1	3309	45,24
5	Kaynak	7,81	389	3,86	90,42	<1	7,80	<1	216,7	2,54	<1	<1	1889	46,72
6	Kaynak	7,82	416	6,68	62,98	2,89	5,74	<1	233,9	4,63	3,99	3,86	274,7	22,3
7	Kaynak	8,04	411	7,37	59,47	4,9	5,21	1,367	224,6	4,28	<1	<1	345,2	40,25
8	Kaynak	7,82	375	<1	110,3	<1	13,5	<1	210,1	1,20	<1	<1	670,1	51,33
9	Kaynak	7,91	386	3,32	75,58	<1	8,26	<1	198,4	3,38	<1	3,03	406,6	3,347
10	Kaynak	7,77	2430	2,68	83,82	2,74	3,55	<1	4858	13,22	<1	9,22	8131	<1
11	Dere	7,77	1539	<1	126,2	5,11	<1	11,4	2157	8,56	<1	1,42	3857	32,71
12	Kaynak	7,27	361	8,24	11,46	2,08	3,29	<1	404,1	1,65	<1	3,51	304,7	28,57
13	Şebeke	7,98	230	1064	1944	1,26	<1	<1	185,7	<1	<1	5,75	147,6	<1
14	Kaynak	7,97	231	1039	1921	1,6	<1	<1	185,5	<1	4,437	2,80	146,4	<1
15	Dere	8,28	245	189	436	1,36	<1	1,79	332,1	1,22	<1	<1	185	26,71
16	Kaynak	7,58	501	<1	112,6	1,54	2,85	<1	647,2	1,79	<1	<1	703,2	67,07
17	Şebeke	7,93	287	<1	8,85	<1	7,56	<1	412	1,50	<1	<1	131,9	2,20
18	Dere	8,37	337	9,15	160,6	70,58	2,70	6,88	501,8	3,22	<1	<1	533,7	33,63
19	Şebeke	8,05	284	<1	6,11	<1	7,39	<1	417,8	1,46	<1	<1	133,5	2,25
20	Şebeke	8,1	210	<1	14,18	<1	10,69	<1	254,5	<1	<1	1,27	69,61	<1
21	Dere	8,21	309	<1	32,29	496,1	63,21	175,8	2283	250	2,294	4,72	322,9	34,38
22	Kaynak	7,68	295	19,4	24,92	1,69	2,52	<1	293	1,58	<1	<1	264,7	2,03
23	Şebeke	8,15	183	<1	7,04	<1	39,73	<1	154,9	<1	<1	2,01	58,81	1,10
24	Şebeke	8,02	263	<1	7,58	1,217	5,55	<1	216,2	1,44	1,33	3,00	99,1	11,98
25	Dere	8,21	384	<1	36,23	67,54	3,41	13,44	506,8	6,47	<1	<1	354,7	25,77
26	Şebeke	8,03	291	18,84	23,17	1,021	2,76	<1	285,7	1,30	<1	<1	259	2,20
27	Kuyu	7,42	1342	24,87	165,1	12	10,42	<1	1290	5,14	<1	4,00	4052	20,22
28	Şebeke	8,09	462	132	23,87	2,877	8,34	<1	301,9	1,60	<1	<1	529,3	111,5
En Küçük Değer		7,22	183	<1	6,11	<1	<1	<1	154,90	<1	<1	<1	58,81	<1
En Büyük Değer		8,37	2430	1064	1944	496,1	63,21	175,8	4858	250	4,43	9,37	8131	111,5

Çizelge 2'deki Na, Mg, K ve Ca katyonlarının en büyük değerleri mg/L olarak sırasıyla, 56.54, 65.19, 2.92 ve 581'dir. Florür, klorür, nitrit, nitrat, fosfat ve sülfat anyonlarının en büyük değerleri mg/L olarak sırasıyla, 0.26, 75.92, 0.17, 51.21, 34.80 ve 1294'tür.

Çalışma alanı ve civarının jeolojisine bakıldığında; bölgedeki temel kayaları, Paleozoyik yaşlı metamorfik seri ile Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayaların oluşturduğu görülür. Bölgedeki ofiyolitik kayalar, Gürlevik Dağı'nın güneyi ile batısında görülmektedir. Bu temelin üzerinde, çoğunlukla kırıntılı çökellerden oluşmuş Üst Kretase-Tersiyer yaşlı sedimanter kayalar istiflenmiştir [27]. İstifin tabanında Üst Kretase-Paleosen yaşlı Gürlevik formasyonu yer almakta olup, formasyon marn ara katkılı kireçtaşı litolojisine sahiptir [27]. Bu istiften sonra Eosen yaşlı Kozluca ve Bozbel formasyonları gelmektedir. Kozluca formasyonu, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve şeylden oluşurken [27], Bozbel formasyonu ise konglomera, volkanik breş ve tüfit, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kilaşı birimlerinden oluşmaktadır [28, 29]. Karadağ bazaltı, Bozbel formasyonu ile aynı yaşlı olup bu formasyonla bazı bölgelerde ara katmanlı bir şekilde gözlenmektedir. Bozbel formasyonunun bazı seviyelerinde gözlenen volkanik breş ve tüfitlerin Karadağ bazaltik volkanizmasından kaynaklandığı belirtilmektedir [28].

PİRHÜSEYİN VE YALINCAK KÖYLERİ (HAFİK, SİVAS) DOLAYLARINDAKİ SULARIN ARSENİK KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Hafik ilçesi ve civarında yaygın olarak gözlenen Oligosen ve Miyosen birimleri ise sırasıyla Selimiye ve Hafik formasyonlarıdır. [28] tarafından tanımlanan Selimiye formasyonu, en altta masif jipslerle başlamakta ve üste doğru doğru gri renkli, kalın-orta ve orta-ince katmanlı çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ardalanması ile son bulur [30]. Hafik formasyonu ise çalışma alanı ve civarında geniş yayımlı olup, üst seviyeleri tabakalı jips, alt seviyeleri kumtaşı, silttaşı, konglomera litolojilerinden oluşmaktadır [31].

Çizelge 2. Suların katyon ve anyon derişimleri.

Numune No	Suyun Türü	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Florür (mg/L)	Klorür (mg/L)	Nitrit (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Sülfat (mg/L)
1	Kaynak	4,38	8,82	0,25	41,54	0,07	1,64	<0,01	1,93	<0,01	9,50
2	Kaynak	7,92	3,57	0,52	26,07	0,03	1,53	<0,01	2,10	<0,01	23,37
3	Kaynak	39,89	9,73	1,50	48,80	0,07	32,10	<0,01	0,16	<0,01	41,78
4	Dere	30,00	24,71	1,28	243,49	0,07	31,61	<0,01	0,46	34,80	856,15
5	Kaynak	1,42	29,14	0,24	31,90	0,13	1,86	<0,01	5,03	<0,01	12,49
6	Kaynak	0,95	26,19	0,19	33,13	0,14	1,76	<0,01	3,49	<0,01	6,11
7	Kaynak	0,92	27,67	0,16	33,51	0,13	1,61	<0,01	2,57	<0,01	6,41
8	Kaynak	1,87	27,88	0,31	32,02	0,09	1,33	<0,01	4,33	<0,01	3,64
9	Kaynak	1,54	29,42	0,25	33,60	0,14	2,05	<0,01	4,50	<0,01	9,69
10	Kaynak	47,42	19,26	1,14	581,20	0,26	75,92	0,17	5,29	0,11	1294
11	Dere	32,61	40,35	0,84	264,96	0,16	73,15	<0,01	0,83	0,11	976,21
12	Kaynak	4,83	12,30	<0,01	35,77	0,14	2,45	<0,01	5,76	<0,01	8,40
13	Şebeke	15,68	3,19	0,51	21,87	0,06	2,92	<0,01	0,29	<0,01	28,25
14	Kaynak	17,35	3,52	0,62	24,22	0,06	2,94	<0,01	0,34	<0,01	28,55
15	Dere	4,24	4,49	0,23	36,47	0,03	1,13	<0,01	0,37	<0,01	13,79
16	Kaynak	8,02	14,02	1,04	41,74	0,06	1,21	<0,01	3,63	<0,01	19,06
17	Şebeke	0,44	5,45	0,20	39,04	0,04	0,79	<0,01	2,03	0,38	2,97
18	Dere	7,65	9,03	0,65	47,83	0,03	4,43	<0,01	0,24	<0,01	28,69
19	Şebeke	0,42	5,61	0,16	35,80	0,02	0,75	<0,01	2,23	0,14	2,85
20	Şebeke	0,39	7,66	0,06	26,94	0,01	2,14	<0,01	1,32	<0,01	2,44
21	Dere	3,45	15,74	0,51	25,43	0,02	2,12	<0,01	0,69	<0,01	20,60
22	Kaynak	11,84	9,27	0,54	35,03	0,10	23,74	0,06	2,04	<0,01	7,87
23	Şebeke	0,44	12,21	0,13	19,08	0,01	0,68	<0,01	2,25	<0,01	1,87
24	Şebeke	1,36	17,60	0,34	27,55	0,02	0,93	<0,01	1,94	0,16	4,26
25	Dere	2,64	17,17	0,47	26,74	0,03	2,80	<0,01	0,66	<0,01	26,63
26	Şebeke	12,95	10,58	0,62	34,69	0,12	21,97	<0,01	1,72	<0,01	8,66
27	Kuyu	56,54	65,19	2,92	167,89	0,13	72,99	<0,01	7,33	<0,01	672
28	Şebeke	10,50	29,12	0,37	29,95	0,21	9,83	<0,01	51,21	<0,01	15,86
En Küçük Değer		0,39	3,19	0,06	19,08	0,01	0,68	<0,01	0,16	<0,01	1,87
En Büyük Değer		56,54	65,19	2,92	581	0,26	75,92	0,17	51,21	34,80	1294

Bölgede özellikle Bozbel formasyonu içerisinde çok sayıda yüksek debili kaynak mevcuttur. Bu kaynakların beslenme alanları, yüksekliği yaklaşık 2700 metre olan Gürlevik dağı ve etekleridir. En yüksek As konsantrasyonlu kaynak, Yalınca köyünün yaklaşık 5 km güneyinde olup, Bozbel formasyonu içerisindeki kumtaşlarından çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Yalınca köyü eski içme suyu şebekesinin kaynağı.

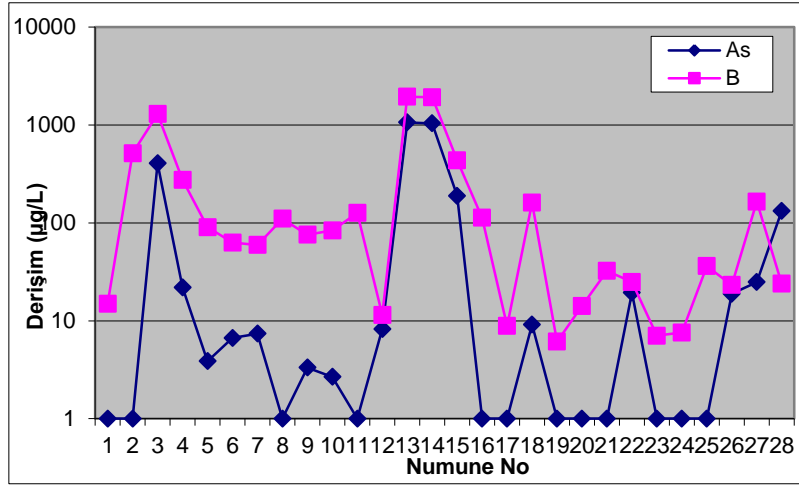
Çalışma kapsamında alınan 28 numuneden 9 tanesinin (3, 4, 13, 14, 15, 22, 26, 27 ve 28 nolu örnekler) arsenik derişimleri arseniğin içme sularındaki ulusal ve uluslararası [32-34] sınır değer olan 10 $\mu\text{g/L}$ 'nin üzerinde çıkmıştır. Bu 9 numunenin 3 tanesi kaynak suyu, 3 tanesi köy şebeke suyu, 2 tanesi akarsu ve bir tanesi kuyu suyudur.

Yalınca Köyü'nün içme suyu şebekesine (2014 yılı köy şebeke suyu) ait su, bölgedeki en yüksek As elementi içeren su niteliğindedir (1064 $\mu\text{g/L}$). Bu suyun kaynağı ise köyün yaklaşık 3,5 km güneyinde yer almakta ve borularla köye iletilmektedir. Bu kaynağın (Şekil 2) arsenik derişimi de 1039 $\mu\text{g/L}$ 'dir. Kaynak Gürlevik Dağı eteklerinde yüzeylenen yeşilimsi-grı renkli kumtaşları ve tüfitler içinden boşalmaktadır. Bölgede arsenik içeriği en yüksek düzeyde olan su, bu kaynağa ait olup bölgedeki arseniğin kökeninin belirlenmesi için oldukça önemlidir. Kaynağın yerleşim yerlerinden uzak bir konumda yer alması, kaynak ve beslenme alanında tarımsal ya da endüstriyel faaliyetlerin olmaması, kapalı sistemle köye götürülmüş olması ve kaynağın köydeki sularla aynı arsenik derişimine sahip olması, arseniğin kökeninin jeolojik etmenlere bağlı olduğunu göstermektedir. Bunun için çalışma alanı ve civarının litolojisi, bölgedeki arsenikli suların kökenini aydınlatmada büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında alınan su numunelerinin arsenik ve bor derişimleri Şekil 3'deki değişim diyagramında verilmiştir. Bu diyagram irdelendiğinde yüksek arsenik içeren suların bor derişimlerinin de yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek arsenik derişimli 13 ve 14 numaralı numuneler (sırasıyla 1064 ve 1039 $\mu\text{g/L}$) aynı zamanda en yüksek bor derişimlerine sahip numunelerdir (sırasıyla 1944 ve 1921 $\mu\text{g/L}$). Çalışma kapsamında üçüncü en yüksek arsenik derişimi 3 nolu numunede belirlenmiş (406 $\mu\text{g/L}$) olup bu numunenin bor derişimi de üçüncü en yüksek bor derişimine (1294 $\mu\text{g/L}$) sahiptir. Bu da göstermektedir ki bor ve arsenik aynı kaynak kayadan çözünerek yeraltı sularına geçmiştir. Kütahya Emet'teki bor yatağında yapılan çalışmalarda bor ile arseniğin birlikteliği belirlenmiştir [35, 36]. Ayrıca arsenik mineralleri olan realgar ve orpimentin bor madenleri içerisinde yaygın olduğu ve boratlarla aynı kökene sahip oldukları vurgulanmıştır [37]. Emet ve Kütahya içme suyu kaynağında [20], Hisarcık ve Kütahya'da [17], İğdeköy-Kütahya-Emet dolaylarında [18], Bigadiç ve Balıkesir'de [15], Kütahya-Emet yörelerinde [13] yapılan çalışmalarda yüksek arsenik derişimleri tespit edilmiş ve bu çalışmalarda arsenik ile bor elementinin birlikteliği vurgulanmıştır. Bu bölgede de Türkiye'nin değişik bölgelerinde yapılan çalışmalarda ortaya konulan sulara bor ve arsenik birlikteliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmada analizi yapılan diğer elementlerin ve anyon/katyonların arsenikle buna benzer bir ilişkisi bulunmamaktadır.

Suların üç tanesinin sülfat derişimi standartlardaki [22] sınır değer olan 250 mg/L 'yi geçmiştir. Bu numuneler 4, 10 ve 27 numaralı numuneler olup sülfat derişimleri sırasıyla 856, 8131 ve 672 mg/L 'dir. 4 nolu numune Pirhüseyin köyü deresine ait yüzeysuyu, 10 numaralı numune yörede Kaya Mezar Kaynağı olarak bilinen su ve 27 numaralı numune ise Belinkaya Köyü'nde açılmış bir kuyudan alınan yeraltı suyudur. Bu üç numunenin stronsiyum (Sr) element derişimleri tüm numuneler içerisinde en yüksek derişime sahip olup derişimleri sırasıyla 3309, 8131 ve 4052 $\mu\text{g/L}$ 'dir. Bu üç numunenin demir derişimleri sırasıyla 1872, 4858 ve 1290 $\mu\text{g/L}$ olup standart değer (200 $\mu\text{g/L}$) [22] çok üstündedir. Bu numunelerin kaynak kayaları Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu ve Miyosen yaşlı Hafik formasyonudur [28]. Bu formasyonlar gölsel evaporitik kayalardan oluşmakta ve bazı seviyelerinde sölestin (SrSO_4) mineralleri hakim mineral konumundadır [28]. Bu numunelerdeki sülfat ve stronsiyum derişimleri yüzey ve yeraltı sularıyla temasında kolay çözünebilen sölestin minerallerinden kaynaklanmaktadır.

PİRHÜSEYİN VE YALINCAK KÖYLERİ (HAFİK, SİVAS) DOLAYLARINDAKİ SULARIN ARSENİK KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ



Şekil 3. Çalışmada alınan numunelerdeki As ve B elementlerinin değişim diyagramı.

Arsenik vücutta solunum, kalp ve damar, bağışıklık, üreme, sindirim ve sinir sistemleriyle genital ve üriner sistemleri etkilediği [3] ve arsenikli suların içilmesiyle insanlarda akciğer, böbrek, mesane ve cilt kanserine sebep olabileceği birçok çalışmada belirtilmiştir [3, 7, 38-41]. Bölgede yapılan çalışma sırasında geçmiş yıllarda bölgedeki köylerde kanser vakalarının çok sık görüldüğü yöre halkı tarafından dile getirilmiştir. Bölgede meydana geldiği belirtilen kanser vakalarının ve sık görülen diğer hastalıkların bölgedeki arsenikli sulardan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tıbbi jeolojik çalışmalarla ortaya konulmalıdır. Bu tür tıbbi jeolojik çalışmalar, özellikle yaklaşık 30 yıldır arsenikli su (1064 µg/L) kullanan Yalınca köyü için oldukça önemlidir.

Sivas ili, Şarkışla ilçesi dolayında yapılan çalışmada içme sularında en yüksek 345 µg/L düzeyinde arsenik belirlenmiş ve bölgedeki arsenikli suların Pliyosen yaşlı kumtaşı ve Kuvaterner yaşlı alüvyon akiferlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir [11]. Bu çalışma ve Şarkışla dolaylarında yapılan çalışmalar [11, 12], Sivas havzasının bazı bölümlerindeki yüzey ve yeraltı sularında ciddi bir arsenik probleminin olduğunu göstermektedir. Ancak bölgede Yalınca köyü dolayları ile Şarkışla dolaylarında yapılan çalışmalar dışında herhangi çalışma mevcut olmayıp, içme sularının arsenik düzeyleri bilinmemektedir. Bundan sonra yapılacak çalışma, bölgedeki arsenikli kaynak sularına ait akifer kayaçlarının araştırılarak arseniğin hangi kayaçlardan ve hangi mineral fazlarından suya geçtiğinin saptanması olmalıdır. Bu bölgedeki arsenikli suyun kaynak kayacının belirlenmesi önemlidir. Çünkü Sivas ilindeki bu bölge ile benzer jeolojik yapıya sahip diğer bölümlerde de içme sularında arsenik kirliliğinin olup olmayacağı ile ilgili önemli ipuçları verecektir.

4.SONUÇLAR

Çalışma alanından alınan 28 numuneden 9 tanesinin arsenik derişimleri, içme sularındaki sınır değer olan 10 µg/L'nin üzerinde bulunmuştur. En yüksek arsenik derişimli numuneler Yalınca köyü şebeke suyu ve bunun kaynağına (sırasıyla 1064 ve 1039 µg/L) aittir. Çalışma sonucunda sulardaki arseniğin kaynağının jeojenik olduğu belirlenmiş olup arseniğin hangi formasyondan ve hangi mineral fazından kaynaklandığı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Arsenik derişimleri yüksek olan numunelerin aynı zamanda bor derişimlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir.

Numunelerin üç tanesinin sülfat derişimi standartlardaki sülfatın sınır değeri olan 200 mg/L'den yüksektir. Bu numunelerin kaynak kayaları Oligosen ve Miyosen yaşlı evaporitik formasyonlar olup sülfatın kaynağı yüzey ve yeraltı sularıyla temasında kolay çözünebilen sölestin (SrSO₄) mineralidir.

Yapılan arazi çalışmaları sırasında, yöre halkıyla yüzyüze yapılan görüşmelerde, geçmiş yıllarda civar köylerde kanser vakalarının çok sık görüldüğü belirtilmiştir. Bu kanser vakalarının arsenikli sulardan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tıbbi jeolojik çalışmalarla ortaya konulmalıdır.

Sonuç olarak, sınırlı alanda yapılan bu çalışmada, özellikle Pirhüseyin ve Yalınca köyleri civarındaki kaynak sularında ciddi bir arsenik kirliliğinin olduğu belirlenmiş olup, acilen bölgedeki tüm yerleşim yerlerinin (kasaba, köy, bucak) tamamının şebeke, kaynak ve akarsuları arsenik ve diğer kirlleticiler açısından detaylı olarak incelenmelidir. İçme suyu standartlarını aşan suların kullanımının önlenmesi ve standartlara uygun içme suyu temini yapılması, hem doğal çevre için, hem de bölge halkının sağlığı için oldukça önemlidir.

M. A. KURT

TEŞEKKÜR

Yazar, çalışmaya katkılarından dolayı Prof. Dr. Cüneyt GÜLER'e, Doç. Dr. Erkan AKTAŞ'a ve Arş. Gör. Ümit YILDIRIM'a teşekkür eder. Yazar ayrıca, numune alımı ve arazi çalışmaları sırasındaki yardım ve rehberliklerinden dolayı Pirhüseyin köyünden Sayın Musa AKTAŞ ve Sayın Haşim AKTAŞ'a, gösterdikleri ilgi ve misafirperverliklerinden dolayı Pirhüseyin ve Yalınca köyleri halkına teşekkür etmeyi bir borç bilir.

KAYNAKLAR

- [1] SMEDLEY, P.L. KİNNİBURGH, D.G., “A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters”, *Applied Geochemistry*, 17, 517-568, 2002.
- [2] LEE, Y., UM, I., YOON, J., “Arsenic(III) Oxidation by iron (VI) (Ferrate) and subsequent removal of arsenic(V) by iron(III) coagulation”, *Env. Sci. Tech.*, 37, 5750-5756, 2003.
- [3] BİLİCİ-BAŞKAN, M., PALA, A., “İçme sularında arsenik kirliliği; Ülkemiz açısından bir değerlendirme”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, 69-79, 2009.
- [4] SHUKLA, D.P., DUBEY, C.S., SINGH, N. P., TAJBAKSH, M., CHAUDHRY, M., “Sources and controls of Arsenic contamination in groundwater of Rajnandgaon and Kanker District, Chattisgarh Central India”, *Journal of Hydrology*, 395, 49-66, 2010.
- [5] RAHMAN, M., NAIDU, R., BHATTACHARYA, P., “Arsenic contamination in groundwater in the southeast Asia region”, *Environmental Geochemistry and Health*, 31, 9–21, 2009.
- [6] BROMSSEN, M.V., JAKARIYA, M., BHATTACHARYA, P., AHMED, K.M., HASAN, M.A., SRACEK, O., JONSSON, L., LUNDELL, L., JACKS, G., “Targeting low-Arsenic aquifers in Matlab Upazila, Southeastern Bangladesh”, *Science of the Total Environment*, 379 (2–3), 121–132, 2007.
- [7] NG, J.C., WANG, J., SHRAİM, A., “A global health problem caused by arsenic from natural sources”, *Chemosphere*, 52, 1353-1359, 2003.
- [8] CHAKRABORTI, D., BASU, G.K., BISWAS, B.K., CHOWDHURY, U.K., RAHMAN, M.M., PAUL, K., CHOWDHURY, T.R., CHANDA, C.R., LODH, D., RAY, S.L., “Characterisation of arsenic bearing sediments in Gangetic Delta of West Bengal, India”, Editors: Chappell, W.R., Abernathy, C.O., Calderon, R.L., “Arsenic Exposure and Health Effects”, Elsevier, 2001.
- [9] ARSLAN, Ş., “Assessment of groundwater and soil quality for agricultural purposes in Köprüören basin, Kütahya, Turkey”, *Journal of African Earth Sciences*, 131, p.1-13, 2017.
- [10] KURT, M.A., YILDIRIM, Ü., GÜLER, C., ALPASLAN, M., “Hacılar ve Elalmış (Tokat, Turhal) Yöresi Yüze ve Yeraltı Sularındaki Arsenik Kirliliğinin Kökeni”, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 14-18 Nisan 2014, Bildiri Özleri Kitapçığı, 134-135, 2014.
- [11] ŞİMŞEK, C., “Assessment of naturally occurring arsenic contamination in the groundwater of Şarkışla Plain (Sivas/Turkey)”, *Environmental Earth Science*, 68, 691-702, 2013.
- [12] ŞİMŞEK, C., “Şarkışla (Sivas) Ovasında Arsenik Kirliliği ve İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi”, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan 2012, Bildiri Özleri Kitabı, sayfa 134, 2012.
- [13] ÜNLÜ, M.İ., BİLEN, M., GÜRÜ, M., “Kütahya-Emet Bölgesi Yeraltı Sularında Bor ve Arsenik Kirliliğinin Araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 26, No 4*, 753-760, 2011.
- [14] YOLCUBAL, İ., “Yeraltı sularında Arsenik Kirliliği: Kökeni, Davranışı ve Mobilitesi”, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009, 534-535, 2009.
- [15] GEMİCİ, Ü., TARCAN, G., HELVACI, C., SOMAY, A.M., “High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç Borate Deposits (Western Turkey)”, *App. Geochemistry*, 23, 2462-2476, 2008.
- [16] DOĞAN, M., DOĞAN, A.U., “Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya region of the western Anatolia, Turkey”, *Environ Geochem Health*, 29, 119–129, 2007.
- [17] ÇÖL, M., ÇÖL, C., “Arsenic concentrations in the surface, well, and drinking waters of the Hisarcık, Turkey Area”, 10, 461-465, 2004.
- [18] ÇOLAK, M., GEMİCİ, Ü., TARCAN, G., “The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and groundwater in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey”, 149, 127-143, 2003.
- [19] ERDOL, S., CEYLAN, S., “Bursa yöresinde içme ve kullanma sularında arsenikle kirlenmenin araştırılması”, *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16, 119–127, 1997.
- [20] ORUÇ, N., “Emet-Kütahya içme sularında arsenik düzeyi, önemi ve bor yatakları ile ilişkisi”, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 2004.

PİRHÜSEYİN VE YALINCAK KÖYLERİ (HAFİK, SİVAS) DOLAYLARINDAKİ SULARIN ARSENİK KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

- [21] TÜRK STANDARDI, TS EN ISO 5667-1, “Su kalitesi - Numune alma - Bölüm 1: Numune alma programlarının ve numune alma tekniklerinin tasarımına dair kılavuz”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2008.
- [22] TÜRK STANDARDI, TS EN ISO 14911, “Su Kalitesi Su ve Atık Sularda Çözünmüş Li+, Na+, Nh4, Mn2+, Ca2+, Mg2+, Sr2+ ve Ba2+'nin Tayini- İyon Kromatografisi Metodu”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [23] TÜRK STANDARDI, TS EN ISO 10304-1, “Su kalitesi- Çözünmüş Florür, Klorür, Nitrit, Ortofosfat, Bromür, Nitrat ve Sülfat İyonlarının Sıvı İyon Kromatografisi ile Tayini Bölüm 1-Az Kirlenmiş Sular İçin Metodu”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2010.
- [24] TÜRK STANDARDI, TS EN ISO 17294-2, “Su kalitesi – İndüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometrisinin (ICP-MS) uygulanması – Bölüm 2: Uranyum izotopları dahil seçilmiş elementlerin tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2017.
- [25] TÜRK STANDARDI, TS EN ISO 10523, “Su kalitesi - pH tayini, Türk Standardları Enstitüsü”, Ankara, Türkiye, 2013.
- [26] TÜRK STANDARDI, TS 9748 EN 27888, “Su kalitesi-Elektriksel iletkenlik tayini”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1996.
- [27] KORKMAZ, S., “Sivas havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle araştırılması”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37, 61-88, 1990.
- [28] KURTMAN, F., “Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı”, MTA Dergisi, 80, 1-32, 1973.
- [29] AKTİMUR, H.T., TEKİRLİ, M.E., YURDAKUL, M.E., “Sivas-Erzincan Tersiyer havzasının jeolojisi”, MTA Dergisi, 111, 25-36, 1990.
- [30] AY, F., YALÇIN-ERİK, N., “Ulaş (Sivas) kuzeyindeki Tersiyer yaşlı birimlerin petrol kaynak kaya ve organik fasiyes özellikleri”, Cumhuriyet üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20 (1), 38-51, 2003.
- [31] ÖNAL, K.M., “Sivas havzası derin yapısının jeofizik yöntemlerle incelenmesi”, Cumhuriyet üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99 sayfa, 2007.
- [32] TÜRK STANDARDI, TS 266, “Sular - İnsani Tüketim Amaçlı Sular”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [33] WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION), “Guidelines for Drinking-water Quality”, Fourth ed., World Health Organization, Geneva, 1993.
- [34] US EPA, “National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water”, EPA 822-Z-99-001, p.25, 1999.
- [35] HELVACI, C., “Occurrence of rare borate-minerals: veatchite-A, tunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey”, *Mineralium Deposita* 19:217-226, 1984.
- [36] HELVACI, C., “Geochemistry and origin of the Emet borate deposits, western Turkey. Faculty of Engineering Bulletin”, Cumhuriyet University, Series A. *Earth Sciences* 3: 49-73, 1986.
- [37] HELVACI, C., “Emet bor yatağında (Türkiye) iki yeni mineralin bulunuş öyküsü: Emetit Ca₇Na₃K(SO₄)₉ ve Fontarnauit Na₂Sr(SO₄)[B₅O₈(OH)](H₂O)₂” MTA Dergisi, 151: 273-287, 2015.
- [38] ATSDR, “Toxicological profile for arsenic”, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 428, 2000.
- [39] CHOPRAPWON, C., PORAPAKKHAM, Y., “Occurrence of cancer in arsenic contaminated area, Ronpibool District, Nakorn Srithmmarat Province, Thailand”, In: Chappell, W.R., Abernathy, C.O., Calderon, R.L. (Eds.), “Arsenic Exposure and Health Effects”, Elsevier, pp. 201–206, 2001.
- [40] BRAMMER, H. RAVENSCROFT, P., “Arsenic in groundwater: A threat to sustainable agriculture in South and South-east Asai”, *Environmental International*, 35, 647-654, 2014.
- [41] ATABEY, E., “Tıbbi Jeoloji”, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları: 88, 210s, 2005.