

**T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYSERİ KENTİ İÇME SUYU AKİFERLERİNDE ARSENİK
KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mustafa YAZICI
(201192102014)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ

**SİVAS
HAZİRAN 2016**

Mustafa YAZICI'nın hazırladığı ve “Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinde Arsenik Kirliliğinin İncelenmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ**
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar NUHOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Orhan CERİT
Cumhuriyet Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Eyüp ATMACA
Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-566 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mustafa YAZICI, 2016

Çalışma sırasında bana destek olan değerli eşim ve biricik kızım'a...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

02.06.2016

Mustafa YAZICI

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve beni bu konuya yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ'ye;

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye;

Bu tezde yer alan jeoloji araştırmaları sürecinde takıldığım hususlarda yardımcı esirgemeyen Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ'a;

Bu tezin içinde zaman zaman kullanılan Arcgis programındaki yardımlarından dolayı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden Ahmet Hamdi SARGIN'a;

Bu tez verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan PHREEQC programına ait bilgi, belge, her türlü doküman ve desteğini esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinden Cihan GÜNEŞ hocama;

Bu tez çalışmasının bir kısmını kapsayan (içinde bulunduğum) 107Y170 nolu TÜBİTAK çalışmasında katkıları bulunan Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr.Eyüp ATMACA, Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN ve Yüksek Mühendis Otgonbayar NAMKHAİ ile Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden Yüksek Mühendis Onur SÖZÜDOĞRU'ya;

Bu tezin yazımı sırasında, tezin en küçük ayrıntısına kadar titizlikle ilgilenen Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Orhan CERİT'e;

Tezimi bitirmem yönünde ellerinden gelen maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli dostlarım ve meslektaşlarım Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Fakültesinden Araş. Gör. Ahmet Salih ŞİMŞEK ve Araş. Gör. Mustafa ELMAS ile Edebiyat Fakültesinden Araş. Gör. Mustafa GÜLER'e,

Bu tezin arazi çalışmalarıyla ilgili her türlü lojistik desteği sağlayan Kayseri Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) Genel Müdürü Sayın Ender BATUKAN ve ilgili tüm personeline, ayrıca Su Kalitesi Laboratuvarlar Şube Müdiresi Sayın Fazilet Malik ve ekibine çok teşekkür ederim.

ÖZET

KAYSERİ KENTİ İÇME SUYU AKİFERLERİNDE ARSENİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mustafa YAZICI

Doktora Tezi,

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ

2016, 140+XIII Sayfa

Türkiye’de içme sularının %47,5’i yeraltısularından elde edilmektedir. Yeraltısuları mineral yönünden zengin olabildiği gibi çeşitli zararlı elementleri de içerebilmektedir. Kanserojen olması açısından Arsenik özellikle yeraltısularında bulunan zehirli elementlerin başında gelmektedir. Bu yüzden içme ve kullanma suyunun %100’nü sulama suyununda bir kısmını yeraltısularından karşılayan Kayseri kentinin su kaynaklarına ait arsenik sorununun incelenmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Kayseri kenti yeraltısularındaki arsenik kaynakları, nedenleri ve türleşmeleri incelenerek, olası çözüm önerilerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında Kayseri kenti ve civarındaki “Mevcut İçme Suyu Bölgesi” ile “Karasazlık Bölgesi”ndeki yeraltısı kaynakları incelenmiştir. Araştırmada 29 farklı bölgedeki 58 kuyudan su örnekleri toplanmıştır.

Ulaşılan verilerle su kimyası analizlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Araştırmada ayrıca Phreeqc programı kullanılarak türleşmeler, mineral doygunluklar, arıtma modelleri ve tutunma sürecinde arsenikle rekabet hâlindeki türlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Bununla birlikte incelemede Kayseri kenti içme suyu havzasının jeolojisi ve litolojik birimlerinin minerolojisi de araştırılmıştır. Yapılan su analizleri, jeolojik incelemeler ve modelleme çalışmalarından elde edilen bulgular doğrultusunda Kayseri ili yeraltısı kaynaklarındaki baskın arsenik türünün arsenat olduğu ve “Mevcut İçme Suyu Bölgesi”ndeki arsenik ortalamasının 3.64 ppb, Karasazlık bölgesindeyse 23 ppb olduğu belirlenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda; yükseltgen şartların bulunduğu bazaltik ve andezitik lav akıntı malzemelerinden arseniğin, suya geçtiği düşüncesi hâkim olmuştur.

“Mevcut İçme Suyu Bölgesi”nin, “Karasazlık Bölgesi”ne nazaran daha asidik ve su ortamının indirgen şartlarda olduğu görülmüştür. Arseniğin hareketliliğinde mangan, klorür, sülfat, baryum, bikarbonat, stronsiyum, demir, karbondioksit, pH ve Orp’nin etkili olduğu bulunmuştur. Arseniğin demirhidroksit üzerine sorplanmasında rekabet içinde olduğu türler de tespit edilmiştir. Yapılan karışım ve tutunma modellerinin uygulanabilirliği de görülmüştür.

Karasazlık bölgesinde arseniğe kaynaklık eden litolojik zonlar tam manasıyla anlaşılamamaktadır. Bu sorunun çözümü için Karasazlık bölgesi ile alt kısmındaki bataklık içinde dar çaplı ve sürekli karotlu şekilde araştırma kuyuları açarak incelemelerin yapılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kayseri, Yeraltısuyu, Arsenik, Phreeqc.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ARSENIC POLLUTION IN DRINKING WATER AQUIFERS OF KAYSERİ

Mustafa YAZICI

PhD Thesis,

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCI

2016, 140+XIII pages

In Turkey, 47.5 percent of drinking water is obtained from groundwater. Although it is fertile in terms of minerals, groundwater may contain some toxic elements, as well. Since it is carcinogenic, Arsenic is one of the leading toxic elements present in groundwater. Hence, it is crucial to investigate the arsenic problem of the groundwater in Kayseri city which acquires all of its drinking and tap water and some of its irrigation water from groundwater resources.

In this study, it is aimed to investigate the sources, reasons of occurrence and speciation of arsenic in Kayseri's groundwater and to propose possible solutions. Throughout the study, groundwater resources in "Present Drinking Water Area" and "Karasazlık Area" in the vicinity of Kayseri are examined. During this research, water samples from 58 wells in 29 different regions are gathered.

With the data collected from these samples, water chemistry analysis is carried out and evaluated. In addition, by using the PHREEQC software package; examinations on speciations, mineral saturations, treatment models and studies to identify the species that are in competition with arsenic during the sorption process are performed. Besides that, the geology of the drinking water basin in Kayseri and the mineralogy of lithological units are also investigated. Based on the data obtained from the water analysis, geological investigations and the modeling efforts, it is observed that the dominant type of arsenic in Kayseri is arsenate, and the average arsenic concentration is 3.64 ppb in "Present Drinking Water Area", while it is 23 ppb in "Karasazlık Area".

As a result of the investigations, it is seen that arsenic is transferred into water from basaltic and andesitic lava flow born materials under oxidizing conditions. It is

observed that the “Present Drinking Water Area” is more acidic in comparison to “Karasazlık Area” and the water medium possesses reducing conditions. It is noticed that manganese, chloride, sulphate, barium, bicarbonate, strontium, iron, carbon dioxide, pH and Orp are effective on the mobility of arsenic. The species that compete with arsenic during the sorption process of arsenic on ironhydroxide are also identified. The applicability of the mixture and sorption models are also shown.

In the Karasazlık area, the lithological zones that supply arsenic are not completely figured out. In order to overcome this issue, it is suggested that further investigations should be carried out by drilling narrow and continuous core drilled wells in the Karasazlık area and in the marsh area underneath.

Keywords: Kayseri, Groundwater, Arsenic, Phreeqc.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Çalışmanın Önemi	2
1.3 Önceki Çalışmalar	3
2. ÇALIŞMA ALANINA AİT BİLGİLER	7
2.1 Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	7
2.2 Kayseri İl'i İklim ve Hava Şartları	7
2.3 İçme Suyu Kaynakları İle İlgili Mevcut Durum	8
2.4 Kayseri İl'i Nüfus Dağılımı ve Su İhtiyacı	10
3. JEOLojİ VE HİDROJELOJİ	14
3.1 Genel Jeoloji	14
3.1.1 Litolojik birimler ve özellikleri	15
3.1.2 Litolojik birimlerin minerolojik özellikleri	16
3.2 Hidrojoloji	20
3.2.1 Drenaj alanı sınırları, özellikleri ve yüzey suları	20
3.2.2 Drenaj şekli ve yoğunluğu	21
3.2.3 Kayseri kenti içme suyu akiferlerinin litolojik özellikleri	21
3.2.4 Kayseri kentine içme suyu sağlayan kuyular ve özellikleri	24
4. ARSENİK	32
4.1 Genel Bilgiler	32
4.2 Arseniğin Kaynakları	33
4.2.1 Arsenik mineralleri	33
4.2.2 Kayaç, sediment ve toprak bileşimlerinde arsenik	35
4.3 Arsenik Türleri	35
4.4 Arseniğin İndirgenme-Yükseltgenme Kimyası	38
4.5 Arseniğin Çözünme-Çökelme Kimyası	43
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	52
5.1 Giriş	52
5.2 Mevcut İçme Suyu Bölgesi	54
5.2.1 Su analizi verilerinin değerlendirilmesi	54
5.2.2 Analiz hatalarının belirlenmesi ve model için uygun örneklerin seçimi	73
5.2.3 pe değerlerinin elde edilmesi	75
5.2.4 Arsenik türlerinin tespiti	77
5.2.5 Doygunluk modellemesi	80
5.3 Karasazlık Bölgesi	91
5.3.1 Su analizi verilerinin değerlendirilmesi	93
5.3.2 pe değerlerinin elde edilmesi	100
5.3.3 Arsenik türlerinin tespiti	101
6. ARITMA MODELLERİ	106
6.1 Karışım Modellemesi	106
6.2 Tutunma Modeli	107
6.2.1 Tutunma	107
6.2.2 Yüzeye tutunma izotermi	108
6.2.3 Kütle hareket kanunu temelli iyon değişimi tanımı	109

6.2.4 Yüzey kompleksleşme modeli	110
6.2.5 Model uygulamalarının değerlendirilmesi	113
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR	119
EKLER.....	125
EK-I Phreeqc Kodu.....	126
EK-II Kayaç Toplulukları ve Litolojik Özellikleri	129
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Tezlerin yapıldığı bölümlere göre arsenik ile ilgili yapılan lisansüstü tez sayıları...	4
Şekil 1.2	Tezin yapılış amacına göre arsenik ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin dağılımı. ...	4
Şekil 2.1	Kayseri kenti içme suyu havzası çalışma alanı bulduru haritası.	7
Şekil 2.3	Yıllara göre su üretimi ve nüfus dağılımı	12
Şekil 2.4	Kuyu gruplarının her birinden alınan toplam su miktarlarının genel üretim içerisindeki oranları.	12
Şekil 3.1	Çalışma alanının jeoloji haritası	15
Şekil 3.2	Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti	16
Şekil 3.3	Proje alanı çevresinde yer alan başlıca havzalar ve akarsular.	20
Şekil 3.4	İnceleme alanında gelişmiş drenaj yapısı.	21
Şekil 3.5	İnceleme alanında açılan kuyulara ait kuyu logları ve kuyulara ait bazı özellikler	23
Şekil 3.6	İnceleme alanında yer alan sığ kuyuların bulduru haritası.	25
Şekil 3.7	İnceleme alanında yer alan derin kuyuların bulduru haritası	27
Şekil 3.8	Kayseri kenti içme suyu havzasında yer alan kuyulara ait kuyu logu bilgileri	29
Şekil 3.9	Kayseri kenti içme suyu havzasında yer alan kuyulara ait kuyu logu bilgileri	30
Şekil 3.10	İnceleme alanında açılan kuyulara ait kuyu logları ve kuyulara ait bazı özellikler	31
Şekil 4.1	Sulu ortamda pH değerine bağlı olarak As^{3+} türleri	37
Şekil 4.2	Sulu ortamda pH değerine bağlı olarak As^{5+} türleri	37
Şekil 4.3	Bangladesh ve batı Bengal yeraltısularında yüksek arsenik konsantrasyonlarına.. ait gerçekleşen reaksiyonlar.....	43
Şekil 4.4	Arsenat minerallerinin termodinamik çözünürlük izotermi	46
Şekil 4.5	Arsenit minerallerinin termodinamik çözünürlük izotermi	46
Şekil 4.6	pH'ın bir fonksiyonu olarak metal arsenatların çözünürlüğü	47
Şekil 4.7	Toprakta arseniğin pe+Ph'a göre türleri	48
Şekil 4.8	pH'ın bir fonksiyonu olarak yeraltısuyu numunelerinde hesaplanan arsenat aktiviteleri.....	49
Şekil 5.1	Örnekleme noktaları, yeraltısuyu işletme kuyuları konum haritası.	53
Şekil 5.2	Çalışma alanı blok diyagramı	54
Şekil 5.3	Kuyu örneklerine ait alkanite-pH değerleri.	55
Şekil 5.4	Kuyu örneklerine ait alkanite- arsenik değerleri.	56
Şekil 5.5	Kuyu örneklerine ait Orp- pH değerleri.....	57
Şekil 5.6	Kuyu örneklerine ait Orp-arsenik değerleri.	58
Şekil 5.7	Kuyu örneklerine ait sülfat- pH değerleri.	59
Şekil 5.8	Kuyu örneklerine ait sülfat-arsenik değerleri.	59
Şekil 5.9	Kuyu örneklerine ait mangan- pH değerleri.	60
Şekil 5.10	Kuyu örneklerine ait mangan- arsenik değerleri.	61
Şekil 5.11	Kuyu örneklerine ait elektriksel iletkenlik- pH değerleri.	62
Şekil 5.12	Kuyu örneklerine ait elektriksel iletkenlik - arsenik değerleri.	63
Şekil 5.13	Kuyu örneklerine ait klorür- pH değerleri.	63
Şekil 5.14	Kuyu örneklerine ait klorür -arsenik değerleri.	64
Şekil 5.15	Kuyu örneklerine ait demir - pH değerleri.	65
Şekil 5.16	Kuyu örneklerine ait demir - arsenik değerleri.....	66
Şekil 5.17	Kuyu örneklerine ait stronsiyum- pH değerleri.....	67
Şekil 5.18	Kuyu örneklerine ait stronsiyum- arsenik değerleri.	67
Şekil 5.19	Kuyu örneklerine ait stronsiyum- bikarbonat değerleri.....	68

Şekil 5.20 Kuyu örneklerine ait arsenik- sıcaklık değerleri.....	68
Şekil 5.21 Kuyu örneklerine ait kalsiyum - pH değerleri.	69
Şekil 5.22 Kuyu örneklerine ait kalsiyum -arsenik değerleri.	70
Şekil 5.23 Kuyu örneklerine ait alüminyum -pH değerleri.....	70
Şekil 5.24 Kuyu örneklerine ait arsenik- alüminyum değerleri.....	71
Şekil 5.25 Kuyu örneklerine ait Mg/Na- Ca/Na değerleri.	72
Şekil 5.26 Kuyu örneklerine ait HCO ₃ /Na –Ca/Na değerleri.	72
Şekil 5.27 Phreeqc programında verilerin gösterimi.	78
Şekil 5.28 Phreeqc programında arsenik türlerinin gösterimi.	78
Şekil 5.29 Mevcut içme suyu bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As ⁺³ türlerinin % dağılımı	80
Şekil 5.30 Mevcut içme suyu bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As ⁺⁵ türlerinin % dağılımı	80
Şekil 5.31 Alunit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	81
Şekil 5.32 Baryum arsenat mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	83
Şekil 5.33 Baryum değerlerine karşılık arseniğin değişimi.	83
Şekil 5.34 Basaluminit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	84
Şekil 5.35 Kalsit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	86
Şekil 5.36 CO ₂ 'in pH'a karşılık doygunluk değerleri.....	87
Şekil 5.37 Demirhidroksit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri	87
Şekil 5.38 Manganit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	89
Şekil 5.39 Siderit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.	90
Şekil 5.40 Karasaz-Dokuzpınarlar alanında açılan kuyu grupları ve arsenik değerleri.....	93
Şekil 5.41 Karasazlık bölgesindeki kuyular için arsenik – demir- Orp değerleri.	94
Şekil 5.42 Karasazlık bölgesindeki suların si_Fe(OH) ₃ ve pH değerleri.	95
Şekil 5.43 Karasazlık bölgesindeki suların si_Fe(OH) ₃ ve arsenik değerleri.	96
Şekil 5.44 Karasazlık bölgesindeki kuyular için arsenik – sülfat değerleri.	97
Şekil 5.45 Karasazlık bölgesi kuyularında pH ile arsenik türleri arasındaki ilişki.	98
Şekil 5.46 Karasazlık bölgesi kuyularında pH ile arsenik III arasındaki ilişki.....	98
Şekil 5.47 Karasazlık bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As ⁺³ türlerinin % dağılımı	99
Şekil 5.48 Karasazlık bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As ⁺⁵ türlerinin % dağılımı	99
Şekil 5.49 Bölgede seçilen kuyuların arsenik türlerinin % dağılımı.	101
Şekil 5.50 Karasazlık kaptaj I bölgesindeki K8 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.	102
Şekil 5.51 Karasazlık kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.....	102
Şekil 5.52 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K7 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.	102
Şekil 5.53 Karasazlık kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.....	103
Şekil 5.54 Kuyucak bölgesindeki K1 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.	103
Şekil 5.55 Karasazlık kaptaj I bölgesindeki K8 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.	104
Şekil 5.56 Karasazlık Kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.	104
Şekil 5.57 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K7 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.....	104
Şekil 5.58 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.....	105
Şekil 5.59 Karasazlık Kuyucak bölgesindeki K1 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.	105
Şekil 6.1 Tutunma modeli öncesi ve sonrasındaki arsenik miktarı.....	111
Şekil 6.2 Tutunma modelinde Fe(OH) ₃ 'in güçlü bölgesinde tutulan türler.	111
Şekil 6.3 Tutunma modelinde Fe(OH) ₃ 'in zayıf bölgesinde tutulan türler.	112
Şekil 6.4 Tutunma'dan önce ve sonraki element miktarlarındaki değişim.	113

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Yıllara göre Kayseri il merkezi nüfusları, 2007-2013	11
Tablo 2.2 Kayseri il nüfusunun ilçeler itibariyle dağılımı, 2013	11
Tablo 2.3 KASKİ kuyu grupları ve 2014 yılı debi değerleri.....	13
Tablo 3.1 Erciyes sistemini oluşturan magmatik ürünlerin minerolojik bileşimi	17
Tablo 3.2 Erciyes sistemini oluşturan magmatik ürünlerin majör ve iz element analiz sonuçları	19
Tablo 3.3 İnceleme alanındaki sık kuyulara ait bilgiler	24
Tablo 3.4 İnceleme alanındaki derin kuyulara ait bilgiler.....	26
Tablo 4.1 Doğada var olan en yaygın arsenik mineralleri.....	34
Tablo 4.2 Arseniğin çeşitli minerallerdeki konsantrasyon aralığı.....	34
Tablo 4.3 Arsenik için bir dizi denge reaksiyonu.....	42
Tablo 4.4 Standart koşullarda arsenik türlerine ait bir takım denge reaksiyonları	45
ve sabitleri	45
Tablo 5.1 Su analizlerinin anyon –katyon toplamalarının kontrolü için % hata miktarı.	74
Tablo 5.2 Zobell'in arazide ölçülen Orp değerlerini düzeltme tablosu.....	76
Tablo 5.3 Arazide ölçülen oksidasyon redüksiyon potansiyellerinin pe karşılığı.	77
Tablo 5.4 Kuyularda baskın olan arsenik türlerinin dağılımı.	79
Tablo 5.5 Kuyulardaki As (III) ve As (V) türlerinin tümünün dağılımı.....	79
Tablo 5.6 Arazide ölçülen oksidasyon redüksiyon potansiyellerinin pe karşılığı.	100
Tablo 6.1 Karışımda kullanılan kuyuların arsenik değerleri.	106
Tablo 6.2 Karışım modelinde kuyulara denenen karışım debileri ve oluşması beklenen ...	107
arsenik değerleri.	107

KISALTMALAR DİZİNİ

A.G.İ	: Akım Gözlem İstasyonu
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
D. S.	: Dinamik Seviye
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
d.s.ü	: Deniz Seviyesi Üstü
°F	: Fransız Sertlik Birimi
KASKİ	: Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
m.y.	: Milyon Yıl
Q	: Debi
St. Sv	: Statik Seviye
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
YASS	: Yeraltı Seviyesi

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kayseri kenti için arsenik sorununun çözümünde, öncelikli olarak sorunun ortaya konulabilmesi amacıyla birkaç aşamadan oluşan bir çalışma yürütülmesinde yarar görülmektedir. Bu kapsamda sırasıyla;

- Arseniğin kökeninin ve kaynaklarının, litoloji/jeoloji ile ilişkilerinin ortaya konması,
- Yeraltısuyunda rastlanan arsenik derişiminin hidrolojik/hidrojeolojik koşullar ile ilişkilerinin tanımlanması,
- Arseniğe kaynaklık eden litolojik zonların belirlenmesi durumunda bu zonların tecrit edilerek yeraltısuyu sisteminin kullanılabilirliğinin ortaya konması ve
- Arseniğe kaynaklık eden litolojik zonların bulunması durumunda da bu zonların tecrit edildikleri kuyuların inşaaı için kuyu tasarımlarının hazırlanması ve tasarımların arazide de denenerek kuyuların etkinliğinin artırılmasına yönelik yerinde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Yukarıda değinilen hususların ilk iki maddesi ağırlıklı olarak bu çalışmamızın konusunu oluşturmaktadır. Diğer iki öneri ise işletme hazırlığına yönelik olup bu çalışma kapsamında değildir.

İlk iki madde kapsamında yapılanlar ise;

- Arsenik hakkında çalışmamızı aydınlatacak kuramsal bilgilerin toplanması,
- Örnekleme noktaları ve analiz yapılacak parametrelerin seçimi ve analizleri,
- Proje alanının ve yakın çevresinin jeolojisinin araştırılması ve haritalanması,
- Çalışma alanının hidrojeolojik etüdü ile ilgili haritaların oluşturulması,
- Eldeki kuyu logları incelenerek, mevcut litoloji ilişkisinin tespit edilmesi,
- Wateqf4 ve phreeqc veri tabanları kullanılarak alınan su örneklerinin arsenik türlerinin ve dağılımının tespit edilmesi,
- Phreeqc ve wateqf4 veri tabanları kullanılarak alınan su örneklerinin mineral doygunluklarının tespiti,
- Arsenik giderimine yönelik alternatif tekniklerin wateqf4 ve phreeqc veri tabanları kullanılarak incelenmesi ve değerlendirilmesiyle, sudaki arseniği 10 ppb olan sınır değerin altına indirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Önemi

Günümüzde insan eliyle doğal yaşamın değiştirilmesi sonucunda iklim değişikliği vb. olaylar yaşanmaktadır. Bu değişimden en çok etkilenen ise yine insan olmaktadır. İklim değişikliğinin yağış düzensizliklerine neden olması, barajların yeterince dolmamasına ve artan nüfus ile birlikte su ihtiyacının da artmasına sebep olmaktadır. Böylece her türlü su kaynağının önemi daha da artmaktadır. Türkiye’de 2012 yılı itibarıyla içme ve kullanma amacıyla Belediyeler tarafından 4,9 milyar m³ su çekilmiştir. Dağıtılan bu suyun kaynak ve miktarlarına bakıldığında %48,9’ı barajlardan, %28,3’i kuyulardan, %19,2’ü kaynaklardan, %1,6’sı akarsulardan ve %2’side göl, gölet veya denizlerden çekilmektedir¹. Türkiye’de belediyelerce dağıtılan toplam suların %47,5’i yeraltısularından karşılanmakta olup, bu denli önemli bir kaynağın gelecek nesillere ulaştırılması adına da bizlere büyük sorumluluk düşmektedir.

Dağıtımda bu kadar önemli bir paya sahip olan yeraltısularının, ana problemlerinden birisi arsenik sorunudur. Yeraltısularında su-kayaç ilişkisi yüzey suyuna nazaran daha uzun ve komplike sürmekte, böylece kayaç yapısındaki mineralleri oluşturan elementler suya geçmektedir. Dünya geneline bakıldığında birçok ülkede (Bengal deltası (Batı Bengal, Hindistan ve Bangladeş), Amerika, Çin ve Yeni Zelanda) doğal olarak (kayaç yapısından) oluşan yeraltısuyu arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyonun üzerinde insan arsenik zehirlenmesi riskiyle karşı karşıya kalmıştır (Henke, 2009). Birleşmiş Milletler (BM) Kalkınma Programı’nın 'İnsani Gelişme Raporu 2006, Kıtlığın Eşiğinde Güç, Yoksulluk ve Küresel Su Krizi' adlı raporu; Türkiye’yi sularında arsenik zehirlenmesi ihtimali bulunan ülkeler arasında göstermiş ve bu konuda dikkatli olunmasını salık vermiştir. Nitekim Oruç’a (2004) göre Kütahya’da Emet ve Hisarcık’ta, Erdol ve Ceylan’a (1997) göre Bursa ve çevresinde, Gemici vd., (2008) göre de Balıkesir ve Uşak’ta yüksek miktarda arsenik belirlenmiştir. Bu örneklerle Afyonkarahisar, Aksaray, Kırıkkale, Van, Nevşehir, İzmir, Tokat (Niksar) ve Sivas (Şarkışla) gibi şehirler de verilebilir. Ülkemizde de sorun olarak önümüze çıkan bu konuda 2016’ya kadar toplam 75 adet yüksek lisans 27 adet de doktora çalışması yapılmıştır.

¹ Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16171>.
Erişim Tarihi: 22.01.2015.

Arsenik kanserojenik olarak bilinen zehirli bir element olup, toplum sağlığı açısından ciddi önem arz etmektedir. Ülkemizde Şubat 2008’den itibaren “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” Hakkındaki Yönetmelik gereği arseniğin izin verilen sınır değeri 10 µg/L olarak kabul edilmiştir (TSE, 2005).

Çalışma alanı olan Kayseri kenti ise; çok gelişmiş sanayiisi ve bir milyon dolayındaki nüfusu ile Orta Anadolu Bölgesinin merkezinde, hızla gelişen, içme ve kullanma suyunun tamamını, sulama suyunun da önemli bir kısmını yeraltısularından karşılayan Türkiye'nin önemli kentlerinden birisidir. Mevcut durumda kentin içme ve kullanma suyu, Erciyes Dağından beslenen ve şehrin de üzerinde kurulduğu ovada açılan yeraltısuyu kuyularından sağlanmaktadır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi kayıtlı abonelerine 2014 yılında vermiş olduğu içme suyu miktarı toplam 63.699.111 m³ tür (KASKİ, 2015). Kayseri kentinin 2050 yılına kadar içme-kullanma suyu ihtiyaının karşılanması amacıyla gerçekleştirilen hidrojeolojik çalışmalar kapsamında yapılan analizler yeraltısuyunda arsenik sorununun bulunduğunu göstermiştir (Ekmekçi vd., 2014). Mevcut durumda, (Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi) KASKİ’nin Kayseri Kent Merkezine vermekte olduğu içme suyu kuyularında arsenik sorunu bulunmamasına karşın, aynı bölgede bulunan sığ akiferde ise bu sorun gözlenmektedir. Ayrıca Kayseri kenti için gelecekte kullanılabilecek potansiyel yeraltısuyu alanlarında da yüksek miktarlarda arseniğe rastlanmıştır.

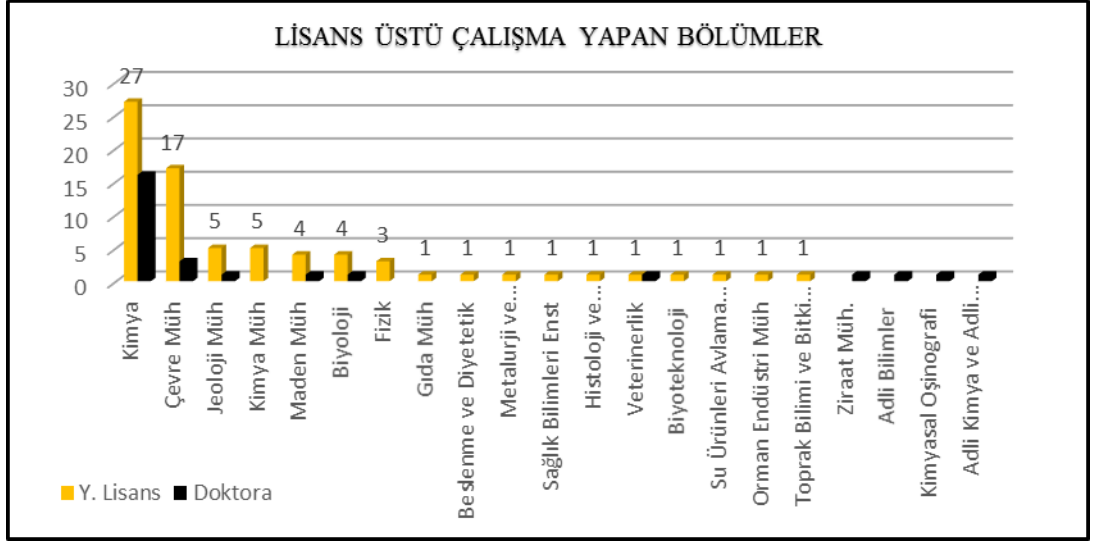
Ülkemizde genelde arsenik ile ilgili yapılan çalışmalar giderim yöntemleri ya da analiz yöntemlerini kapsamaktadır. Ancak kirlenmenin önüne geçilebilmesi için sınırlı çalışmalar yapılmıştır.

1.3 nceki alışmalar

Ülkemizde arsenik ile ilgili olarak birçok niversitemizde lisansüstü düzeyde tez çalışmaları yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir.

Günümüze kadar yapılmış olan yüksek lisans tez sayısı 75 adet, Doktora alışmaları ise toplam 27 adettir. Söz konusu tezlerin yapıldığı bölümlere ait bilgiler ile genel çalışma konuları şekil 1.1 ve şekil 1.2’de verilmiştir.

Türkiye genelinde arsenik konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında; Gürtunca vd., (1973) Ankara ve yöresinde içme ve kullanma sularında arsenik kirliliği heteropoly-mavi kolorimetrik yöntem kullanarak araştırmış. Yaptıkları 12 analiz sonucunda arsenik kirliliğini 0- 0.20 ppm arasında bulmuşlardır.



Şekil 1.1 Tezlerin yapıldığı bölümlere göre arsenik ile ilgili yapılan lisansüstü tez sayıları.



Şekil 1.2 Tezin yapılış amacına göre arsenik ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin dağılımı.

Hisarcık (Emet-Kütahya) kolemanit madeni çevresinde Çolak vd., (2003). Tarafından yapılan hidrokimyasal çalışmada, yeraltısularında 0.07 ile 7.754 ppm arasında son derece yüksek arsenik kirliliğine rastlanmıştır. Yazar, Emet'e bağlı iğde köy ve civarındaki arsenik kirliliğinin, (bünyesinde arsenikli mineralleri taşıyan) Borat içeren kil zonlarındaki arseniğin doğal olarak çözünmesinden kaynaklandığı tespit etmiştir. Kolemanit parçalarında gözlenen orpiment ve realger gibi arsenik minerallerinin bazılarını içeren Neojen borat taşıyan kil birimi, bu alandaki yeraltısularında arsenik kirliliğinin sorumlusu olduğu görülmüştür.

Türkiye'nin doğal bor kaynaklarının bulunduğu, büyük bir bor madenine sahip olan Hisarcık bölgesinde arsenik kirliliğinin ortaya konulması amacıyla Çöl ve Çöl, tarafından (2004) yapılan çalışmada, arsenik kirliliğine rastlanmıştır. Anılan Çalışma kapsamında yüzey suyu, içme suyu ve kuyu sularından toplam 365 örnek alınarak, arsenik analizi yapılmış ve sonucunda yüzey suyunda 10-3000 ppb (ort: 510), içme

suyunda 1-760 ppb (ort: 380) ve kuyu suyunda 1-300 ppb (ort: 50) arsenik konsantrasyonları bulunmuştur.

Yılmaz ve Ekici (2004) ise Van yöresindeki içme suyundan aldıkları örneklerin arsenik konsantrasyonlarını spektrofotometrik yolla belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada toplam 77 örneğin arsenik konsantrasyonu 0.378 ile 14.210 ppb aralığında olduğunu ve yürüttükleri araştırma sonucunda, Van yöresi içme sularında insan ve hayvan sağlığı açısından risk oluşturacak miktarda arsenik kirliliği olmadığını ifade etmişlerdir.

Dünya’da en büyük kolemanit ve üleksit yataklarının bulunduğu Bigadiç bölgesindeki borat madenlerinin çevresel etkilerini açıklamak için Gemici vd., (2008) bir çalışma yapmıştır. Söz konusu çalışma sonucunda, Borat taşıyan formasyonların yeraltısularında bazı kirleticilerin konsantrasyonlarını etkilediği görülmüştür ve böylece Bigadiç borat madenlerinin çevresindeki yeraltısularında, arsenik ve borun iki önemli kirletici olduğu tespit edilmiştir. Yazarlar, Yeraltısuyu örneklerinin arsenik derişiminin 33 ile 911 ppb, bor derişiminin ise 0.05 ile 391 ppm aralıklarında olduğunu saptamışlardır. Alandaki tuf ve kireçtaşlarının arsenik ve bor’un zenginleşmesinde faktör olduğu da ayrıca ifade etmişlerdir.

İzmir’de bulunan, Balçova jeotermal sahasındaki jeolojik yapının düşük permeabilitesi ve porozitesinden dolayı jeotermal su kaynakları Agamemnon (İzmir Balçova Kaplıcası) fayı aracılığıyla bölgedeki soğuk sularla karıştığı Aksoy vd., (2009) bulunmuştur. Yazarlar, alandaki yeraltısuları ile yüzey sularına Balçova jeotermal sahasındaki arsenik içerikli sıcak suların etkisini inceleyerek, jeotermal su örneklerinin arsenik derişiminin 163.5 ile 1419.8 ppb, yüzey suyu örneklerinin 1.5 ile 231 ppb ve yeraltısuyu örneklerininse 0.7 ile 170.1 ppb arasında olduğunu belirlemişlerdir. Söz konusu araştırmacıların bulgularına göre, Ege bölgesinin diğer jeotermal alanlarında da benzer konsantrasyonlar gözlenmiş, jeotermal sondaj kuyularının bulunduğu yerlerde arsenik konsantrasyonunun fazla olmasının, sıcak su kaynaklarının etkisini gösterdiğini vurgulamışlardır. Nitekim anılan çalışmada sığ kuyularda arsenik konsantrasyonu düşükken, derin kuyularda daha yüksek çıktığı da belirlenmiştir.

Hasandağı ve Erciyes Dağı volkanizmasından etkilenen bölgelerde yer alan Nevşehir ili, İnallı ve Suvermez Belediyeleri içme suyu havzalarında yapılan bir çalışmada, İnallı Kasabasındaki içme suyu örneklerinin arsenik miktarı 31 ile 36.4 ppb arasında

çıkarken, Suvermez Kasabasında ise 8.70 ile 11.80 ppb aralığında olduğu görülmüştür (Üzeltürk, 2009). Bazaltların ve diğer volkanik kayaçların kimyasal olarak ayrışması ve fiziksel olarak aşınması sonucu oluşan, alüvyon karakterli birimin minerolojik ve kimyasal özelliklerinin, içinden geçen suları etkilediği tespit edilmiştir (Üzeltürk, 2009). Yazar, ayrıca Sağlık Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalarda arsenik tespit edilen yerleşim alanlarından bazılarını; Niğde, Aksaray, Nevşehir, Kütahya, Van, Kars, İzmir, Soma (Manisa), Şarkışla (Sivas), Babaeski (Kırklareli), Ayvacık (Çanakkale), Afyon ve Kayseri olarak belirtmiştir.

Öztürk (2009), Manisa ve bazı ilçelerin yer altı ve içme sularındaki toplam arsenik ve inorganik arsenik türlerinin tayini sürekli akış hidrür oluşturmali atomik soğurma (absorpsiyon) spektroskopisi yöntemiyle analizlerini araştırmıştır. Çalışma sonunda analiz edilen su numunelerinde arsenik III 2.75 ppb'den düşük, arsenik V türü ise 8.04 ppb'den düşük bulunmuştur. Sadece bir örnekte arsenik V değeri sınır değerin üstünde çıkmıştır.

Şimşek (2012) tarafından Şarkışla (Sivas) ovasında içme ve kullanma sularının arsenik kirliliği araştırılmıştır. İçme ve kullanma suyu ihtiyacı yüzeysel alüvyon akiferden sağlandığı ve akiferin killi kum ile killi çakıldan oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan jeolojik çalışmalarda Paleosen yaşlı volkanik kayalar, Oligosen yaşlı volkano-sedimanter kayalar, Pliyosen yaşlı karasal tortullar ve Kuvarterner yaşlı alüvyon birimlerden oluşan dört farklı kaya grubu belirlenmiştir. Yeraltısuyu arsenik konsantrasyonları ise 0.5 ile 345 ppb aralığında görülmüştür.

Buna bağılı olarak ilde iklim, düşük topoğrafik kotlarda daha yumuşakken, yaylalardan dağılık kesimlere doğıru gidildikçe sertleşir. En sıcak günler Temmuz ve Ağustos aylarında olup sıcaklık 38°C'ye kadar yükseldiğı olur. Bu ayların ortalama sıcaklığı ise yaklaşık 23°C'dir. En soğıuk günler ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olup, sıcaklığın bazen -36°C'ye kadar düştüğü görölmektedir. Kış ortalaması ise -2°C ile -6°C arasındadır. Son altmış dört yıllık gözlemlere göre merkezde ortalama sıcaklık 10.6°C'dir. 2015 yılında ise bu değıer 10.5°C olarak kaydedilmiştir. Kayseri'nin merkez ilçesinde yıllık ortalama yağış 452.6 mm' dir. Bölgeye en çok yağış Mart, Nisan ve Mayıs aylarında, en az yağış Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında düşmektedir. Buharlaşma-Terleme ve Nispi nem açısından ise Kayseri kent merkezinde 24 yıllık rasat süresi içerisinde, yıllık ortalama buharlaşma miktarı 1013.9 mm'dir.

2.3 İçme Suyu Kaynakları İle İlgili Mevcut Durum

Kayseri, Türkiye'de içme sularının tümü yeraltısuyundan (kaynak ve kuyu olarak) karşılandığı örnek kentlerden birisidir. Kayseri kenti 2014 yılında, 1.295.355 kişi nüfusu ile ev ve işyerlerindeki musluklardan sertliği 6-12 °F arasında değışen, memba suyu kalitesinde su akan, Türkiye'de örnek bir şehir durumundadır. Bunu, kentin hemen yakınında yer alan ve çok geniş bir yayılıma sahip olan volkanik kökenli Erciyes Dağı'na borçludur. Kentin içme ve kullanma suyu Erciyes dağıının ovaya yakın eteğıinden tek noktadan çıkan, yaklaşık 200 L/sn debili bir kaynak suyu ile yine Erciyes dağıından (aynı bölgeden) beslenen ve kentin üzerinde kurulmuş olduğı ovada açılmış 63 adet kadar sondaj kuyularından alınan sulardan sağlanmaktadır.

Kayseri kenti içme suyu havzasında iki ayrı akifer sistemi mevcuttur. Bunlardan birisi, Erciyes dağıının yüksek kotlarından beslenen, dolayısıyla basınçlı akifer niteliğıindeki alt akifer, diğıeri ise bunun üzerinde yer alan sığ/serbest akiferdir (Değıirmenci vd., 2011). Üstteki bu sığ/serbest akifer kentsel yapılaşma ve bununla ilişkili pek çok kirletici kaynağıın doğrudan etkisi altında olduğı için kirlenme riski oldukça yüksektir. Beslenim bölgesi itibariyle basınçlı akifer niteliğı kazanmış olan alt akiferin üst tabakasını oluşturan geçirimsiz katman her yerde yeterli kalınlık ve yayılımda bulunmayabileceğıinden dolayı alt akiferden fazla su çekimiyle birlikte hidrolik gradyan tersine dönerek üstteki sığ/serbest akiferin suyu ile kirlenebilme riskiyle karşı karşıyadır.

Öte yandan, DSİ'nin bölgede 1967 yılından günümüze kadar Limnigrafli kuyu sistemleriyle ölçmekte olduğı yeraltısuyu seviyesinde, 1998'den sonra belirgin bir

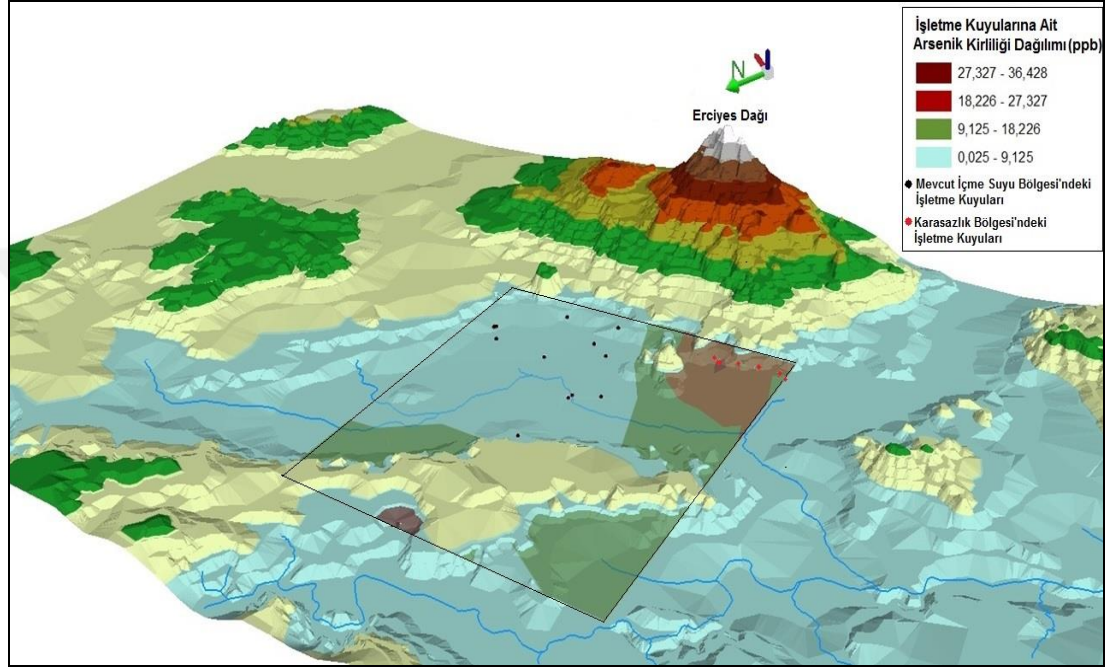
düşüş olduğunu bilinmektedir. Küresel iklim değişikliğinin; Kayseri bölgesinde kar şeklindeki yağışların azalması biçiminde gözleniyor olması, kentin içme suyunun alınmakta olduğu ve besleniminin tamamına yakını Erciyes dağının yüksek kotlarındaki kar erimeleri şeklinde olan derin akifer sisteminin beslenme miktarını, zaman içerisinde önemli ölçüde azaltacak gibi görülmektedir (Değirmenci vd., 2006).

Eskiden bölgenin çöpleri; 1986 yılına kadar 12 yıllık bir süreyle Beştepeler kaynağının çıkış noktasının birkaç yüz metre akış yukarısında bir alana (Beştepeler çöplüğü), 1986-1996 tarihleri arasında 10 yıllık bir süreyle de, yine içme suyu havzası içerisinde, kent merkezi yakınında/Kumarlı mevkiindeki bir vadide depolanmıştır. Söz konusu bu "Eski Çöp Deponi Alanları'ndan Beştepeler Çöplüğü bölgenin en önemli su kaynaklarından birisi olan Beştepeler Kaynağı'nın çok yakınında ve kaynağın akış yukarısında yer almaktadır. Ancak Beştepeler'de 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 suyu derin akiferi etkilememiştir. Lakin aynı durum eski Kumarlı çöp deponi alanı için söz konusu değildir (Değirmenci vd., 2006).

Kentin içme suyunun alındığı 63 dolayındaki kuyunun çoğunluğu yoğun yapılaşmalı kent yerleşkesi içerisinde kalmış durumdadır. Söz konusu kuyuların koruma alanları oluşturulurken (vadoz zon kalınlığı, hidrolik gradyan, transmisivite vb.) hidrojeolojik durumlar dikkate alınmadan, sadece kuyu yakın çevresi çitle çevrilerek "Kuyu Başı Koruma" yapılmıştır. Kuyu başı koruma önlemleri, su alma yapısının etkilediği dar alanlarda geçerliyken, yeraltısu haznesinin (akiferin) korunması, ilke olarak beslenme alanındaki bütün faaliyetleri ve olası kirletici kaynakların dikkate alınmasını ve çok daha ayrıntılı çalışmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Değirmenci vd., 2011).

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 (Şekil 2.2). 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. Ancak aynı bölgelerde işletme kuyularının dışında kalan sığ akiferde arsenik değerleri sınır değerin üzerinde tespit edilmiştir. Bölgedeki derin ve sığ akiferin (fazla su çekilmesi vb. olaylar sonucunda) mevcut hidrolik gradyanının değişebilir olması derin akiferin arsenik kirliliğinin artmasına da sebep olabileceği düşünülmektedir (Yazıcı vd., 2015).



Şekil 2.2 Çalışma alanı işletme kuyularına ait arsenik kirliliği dağılımı.

2.4 Kayseri İl'i Nüfus Dağılımı ve Su İhtiyacı

2013 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre Kayseri İl'i'nin toplam nüfusu 1 295 355 kişidir (Tablo 2.1). 2000 yılında nüfus büyüklüğü bakımından Kayseri İl'i 16. sırada iken, son genel nüfus sayımına göre ülkemizin 15. büyük İl'i olmuştur. Nüfus yoğunluğu 76 kişi/km²'dir. İl, 16 ilçeden oluşmaktadır (Tablo 2.2). İl merkezi büyükşehir statüsünde olup, 23 Temmuz 2004 tarihinde yürürlüğe giren 5216 sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu ile Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin sınırları yeniden düzenlenmiştir. Daha önce iki metropol ilçeden oluşan Kayseri Büyükşehir Belediyesi yeni yasa ile beş ilçeden (Kocasinan, Melikgazi, Hacılar, İncesu ve Talas belediyesinden) oluşmakta ve hizmet vermekte olduğu alan artmaktadır². Dolayısıyla su ihtiyacı gerek nüfus artışı gerekse hizmet alanının genişlemesinden dolayı artmaktadır. KASKİ Genel Müdürlüğü tarafından kentin içme suyunun karşılandığı

² http://www.kayseri.gov.tr/default_B0.aspx?content=217

yeraltısuyu üretim miktarındaki artış da her geçen yıl tüketimin arttığını kanıtlamaktadır (Şekil 2.3).

Tablo 2.1 Yıllara göre Kayseri il merkezi nüfusları, 2007-2013³

il	Toplam Nüfus							
	2000	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Kayseri	719,850	1,165,080	1,184,380	1,205,870	1,234,650	1,255,340	1,274,960	1,295,350

Tablo 2.2 Kayseri il nüfusunun ilçeler itibariyle dağılımı, 2013⁴

İLÇELER	TOPLAM	İLÇELER	TOPLAM
Kocasinan	377051	Özvatan	4542
Melikgazi	520319	Pınarbaşı	26559
Akkışla	6663	Sarıoğlan	14977
Bünyan	29120	Sarız	10626
Develi	63994	Talas	119810
Felahiye	7013	Tomarza	24996
Hacılar	12376	Yahyalı	36776
İncesu	24315	Yeşilhisar	16218
TOPLAM	1 295 355		

2000 yılında kentin nüfusu 719,852 kişi olup toplam 39903,1 ton/yıl su üretilirken, 2013 yılına gelindiğinde kent nüfusu 1,295,355 kişi olarak artıp 67342,162 ton/yıl su şebekeye verilmiştir (Şekil 2.3). Kentin içme suyu, tamamı kent yerleşkesi içerisinde kalmış 63 adet sondaj kuyusu ve bir adet yaklaşık 200 L/sn debili bir kaynaktan (Beştepeler Kaynağı) karşılanmaktadır.

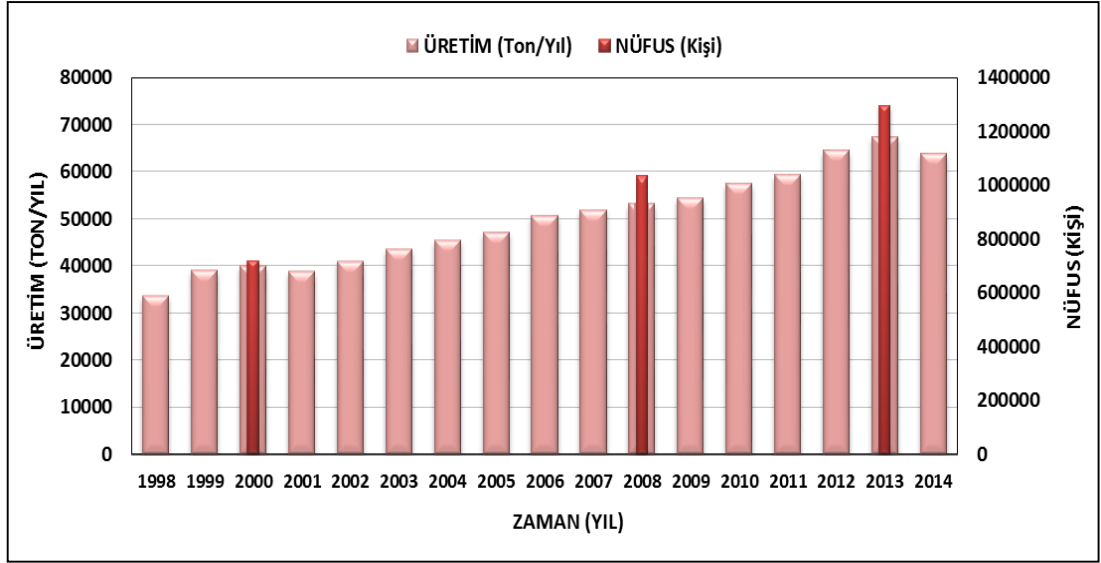
Şekil 2.4’de KASKİ tarafından şehre dağıtılan suyun, sağlandığı bölgelerin (genel toplam içerisindeki) yüzde dağılımları verilmiştir. Sürdürülebilir yeraltısuyu temini çalışmaları kapsamında atılacak adımlarda mevcut üretim bölgelerinin de sağladığı su miktarları da göz önüne alınarak Belediyecilik (park, bahçe, konut vb.) işlemleri yapılmalıdır.

³Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>.

Erişim Tarihi: 05.07.2014.

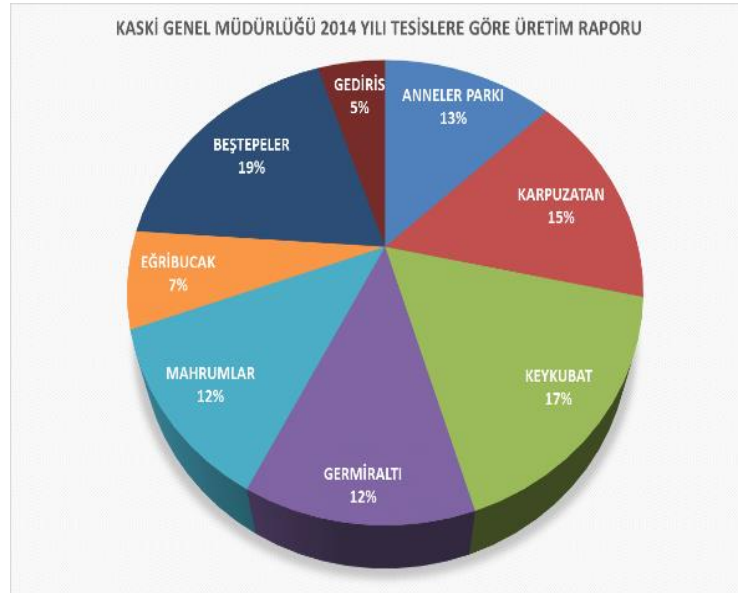
⁴ T.C. Kayseri Valiliği, http://www.kayseri.gov.tr/default_B0.aspx?content=217%20

Erişim Tarihi: 05.07.2014.



Şekil 2.3 Yıllara göre su üretimi ve nüfus dağılımı (KASKİ, TÜİK verileri kullanılarak).

Ayrıca Tablo 2.3’de yeraltısuyu işletmesi yapılmakta olan KASKİ kuyu bölgeleri ve her bölgede bulunan kuyular ve bunlardan 2014 yılında alınmış olan toplam yeraltısuyu miktarları da verilmiştir. Tablo 2.3’den görüleceği üzere bölgelerin toplam debisine karşılık, kuyulardan çekilen su ortalaması en düşük Germiraltı iken, en fazla Beştepeler bölgesidir. Yeni açılacak kuyularda hidrolik gradyan ve su kalitesinin yanında alınacak verime de dikkat edilerek, optimum şartların sağlanması gerekir.



Şekil 2.4 Kuyu gruplarının her birinden alınan toplam su miktarlarının genel üretim içerisindeki oranları.

Tablo 2.3 KASKİ kuyu grupları ve 2014 yılı debi değerleri (KASKİ, 2015)

KASKİ MERKEZ YER ALTI SONDAJ KUYULARI SU KAPASİTESİ-2014					
ANNELER PARKI TESİSİ		KARPUZATAN TESİSİ		KEYKUBAT TESİSİ	
SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)
1.SONDAJ	23.5	1.SONDAJ	52.7	1.SONDAJ	49
2.SONDAJ	40	2.SONDAJ	49	2.SONDAJ	45
3.SONDAJ	32.8	3.SONDAJ	52.6	3.SONDAJ	47
4.SONDAJ	22.2	4.SONDAJ	51	4.SONDAJ	62
5.SONDAJ	53.3	5.SONDAJ	53	5.SONDAJ	31.5
6.SONDAJ	45.6	6.SONDAJ	20.8	6.SONDAJ	53.4
7.SONDAJ	38	7.SONDAJ	36.7	7.SONDAJ	45.5
8.SONDAJ	27	8.SONDAJ	81	8.SONDAJ	18
9.SONDAJ	47	TOPLAM	396.8	9.SONDAJ	80
TOPLAM	329.4			TOPLAM	431.4
		MAHRUMLAR TESİSİ		EĞRİBUCAK TESİSİ	
SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)
1.SONDAJ	DEVRE DIŞI	1.SONDAJ	32.2	1.SONDAJ	38
2.SONDAJ	32	2.SONDAJ	53	2.SONDAJ	24
3.SONDAJ	18	3.SONDAJ	66	3.SONDAJ	36
4.SONDAJ	31.3	4.SONDAJ	69	4.SONDAJ	37
5.SONDAJ	51	5.SONDAJ	DEVRE DIŞI	5.SONDAJ	37
6.SONDAJ	38	6.SONDAJ	37	TOPLAM	172
7.SONDAJ	32	TOPLAM	305.2		
8.SONDAJ	32.8				
9.SONDAJ	38.5	BEŞTEPELER TESİSİ		GEDİRİS TESİSİ	
10.SONDAJ	35	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)	SONDAJ NO	DEBİ (lt/sn)
TOPLAM	308.6	1.SONDAJ	79	1.SONDAJ	44
		2.SONDAJ	77	2.SONDAJ	49.5
		3.SONDAJ	78	3.SONDAJ	37
		4.SONDAJ	45	TOPLAM	130.5
		KAYNAK	200		
		TOPLAM	479		
TOPLAM DEBİ= 2552.9 lt/sn					
NOT: DEBİLER 2014 YILI İŞLETME DEĞERLERİDİR.					

3. JEOLojİ VE HİDROJELOJİ

3.1 Genel Jeoloji

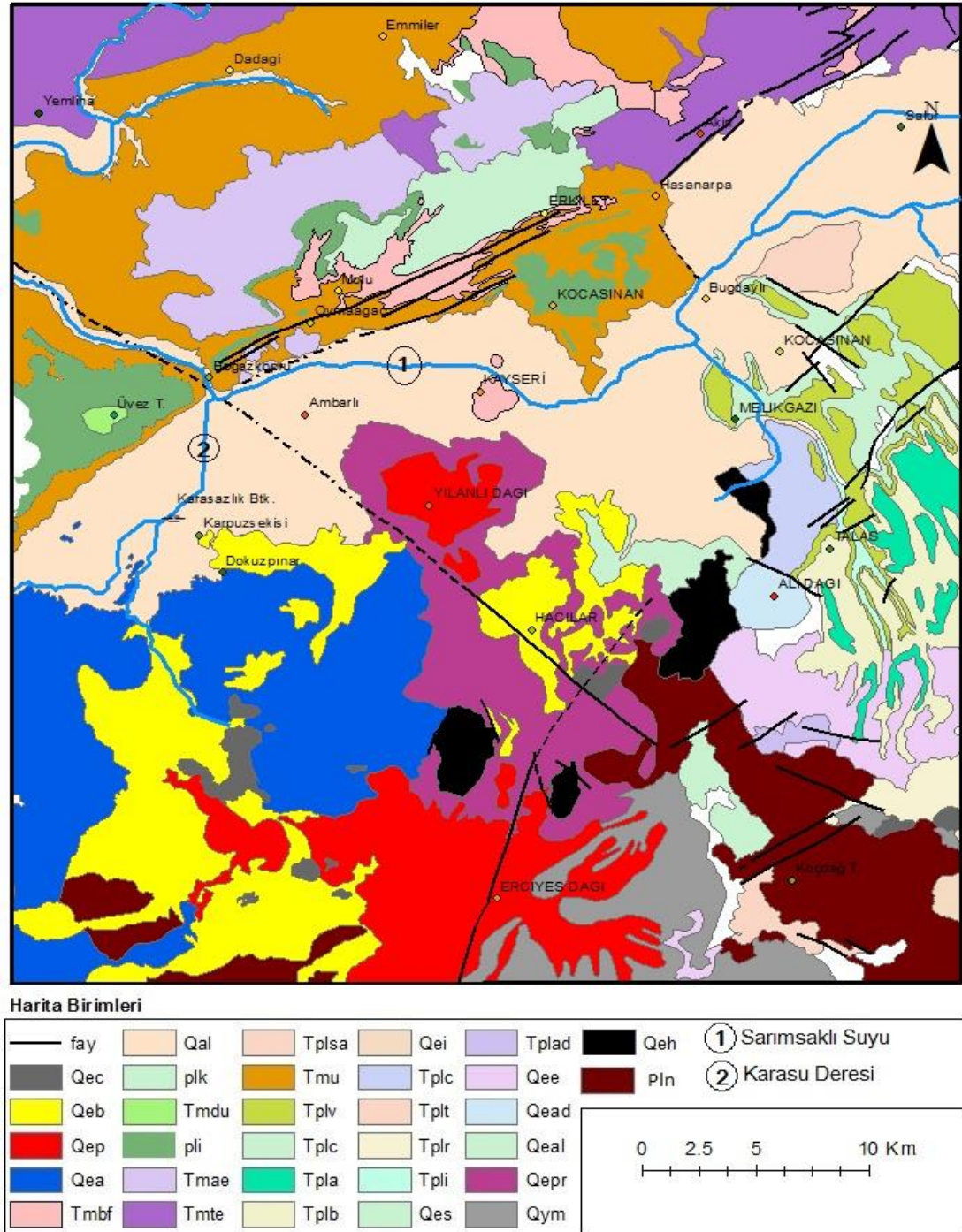
Genel olarak çalışma alanı, iki ayrı litolojik birimden (alüvyon – yamaç molozu ile Erciyes Dağı'nın volkanizma ürünü bazalt, andezit ve bunların tuf ve aglomeraları) oluşmaktadır (Şekil 3.1). Çalışma alanı ve yakın çevresinde, Neojen'de çökelen tortul kayalar ve Neojen'den başlayarak Kuvaterner'de de devam eden Erciyes volkanizmasına ait bazalt, andezit ve bunların breş, tuf ve aglomeralarından oluşan birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar (Q) gözlenmektedir (Değirmenci vd., 2011).

Kayseri Sarımsaklı ovasının kuzey ve güney kenarları faylı olup, bir çöküntü havzası durumundadır. Bu çöküntü havzası, Pliyo- Kuvaterner yaşlı formasyonlar ile aynı zamanda oluşmuş olan tuf, aglomera, bazalt ve andezitik lavlarla dolmuştur. Bu dolgunun kalınlığı jeofizik incelemelere göre 350-400 m'ye yakındır. Sarımsaklı suyunun ovaya giriş yeri ile Küçükhanç Tepe ve Keykubat Tepe yakınlarına kadar olan alanda kum, çakıl, killi kumlu çakıl, tüflü ve değişik kalınlıkta kil bantları yer almaktadır. Ovanın batısında Ambarlı Köyü civarında kum, çakıl, tuf tabakaları ve kil bantları yer alır. Ambarlıköyden güneybatıdaki Çorakdüzü mevkiğine kadar olan alan (Karasazlık bataklığı) kum, çakıl ve kalın kil seviyelerinden oluşur. Karasazlık alanında killerin kalınlığı yüzeyden itibaren ortalama 100 m dir. Killerin altında yer yer sert çatlaklı bazaltlar bulunur (Şekil 3.2). Buradaki killer arasında yer yer turbalı ve fosilli seviyeler vardır (MTA, 1999).

Bölgesel jeolojinin şekillenmesinde önemli bir yere sahip olan Erciyes dağı, Orta Anadolu'nun sönmüş volkanları arasında büyüklüğü ve yüksekliği ile en başta gelmekte olup, 3916 m yüksekliğe erişen merkez konisinin etrafında çapları 600-3000 m olan çeşitli büyüklüklerde 68 volkan konisi bulunmaktadır. Erciyes bir volkanlar topluluğudur. Erciyes dağı volkanizması starato tipi volkan olup hem lav hem de tuf ve proklastik faaliyeti olmuştur. Volkanizmanın 3 evrede oluşumunu tamamladığı; ilk evre ile doleritik bazalt tuf ve ignimbirit-olivinli bazalt ve bazik damar taşlarının, ikinci evrede bazik ortaç lavlar ile bazaltik andezitler, üçüncü evre ile de kuvarslı olivin bazalt-bazaltik tuf- bazik dayklar- andezitler ve sonra çeşitli proklastiklerin (lapilli kül, süngertaşı vb.) meydana geldiği tespit edilmiştir (MTA, 1999).

3.1.1 Litolojik birimler ve özellikleri

Çalışma alanında yer alan kayaç türleri ve ilişkileri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Çalışma alanının jeoloji haritası.

JEOLÖJİK YAŞ		BİRİM	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
KUVATERNER	HOLOSEN	Alüvyon Traverten		Qal : Alüvyon Qet : Traverten
	PLEYİSTOSEN	Hisarcık lavları Endürlük lavları Alakuşak İgnimbiriti		Qeh: Bazalt Qee: Andezit Tpla: İgnimbirit Tplb: Tüf
TERSİYER	NEOJEN	ÜST PLİYOSEN		Tplv: İgnimbirit Pleç: Tüf Tplç: Tüf
		ALT PLİYOSEN		Tpip: Bazalt Tmg: Andezit
		ÜST MİYOSEN		çTmbe: Çakıltası çTmkü: Kumtaşı çTmb : Çakıltası, Kumtaşı
	ORTA MİYOSEN		Tme : Çakıltası, Kumtaşı, Kilitaşı ve Kireçtaşı	
	ALT MİYOSEN		Tmy : Aglomera	
	PALAJOJEN	OLİGOSEN		Tod: Çakıltası, Kumtaşı, Jips ve Kilitaşı
EOSEN			Teb: Çakıltası, Kumtaşı, Mörn	
MESOZOYİK	KRETASE		Mig : Granit Kye : Serpantinit, Gabra, Diyabaz, Mermer	
	JURA		Bindirme	
	TRİYAS		Tektonik Mza : Kristalize Kireçtaşı	

Şekil 3.2 Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (MTA, 1999).

Çalışma alanında yer alan kayaç toplulukları ve litolojik özellikleri üstten alta (genç birimlerden yaşlı birimlere) doğru sırasıyla EK-II’de tanımlanmışlardır.

3.1.2 Litolojik birimlerin minerolojik özellikleri

Çalışma alanında bulunan kayaçların taşıdığı mineralleri, kimyasal bileşimlerini ve doğada bulunuş şekillerini ortaya koyarak, kayaçların tanınması için her evreye ait minerolojik bileşim genel hatlarıyla aşağıda sunulmuştur (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

Tablo 3.1 Erciyes sistemini oluşturan magmatik ürünlerin minerolojik bileşimi (Kürkçüoğlu, 2000)

Andezitler	Koçdağ evresinde lav akıntıları ile kaldera içi ve kenarında, Erciyes evresinde ise farklı zaman aralığında tekrarlamalı olarak oluşmuş ürünlerdir. Bu evrelerde belirlenen mineral parajenezleri; Plajiyoklaz + ortopiroksen + klinopiroksen , Plajiyoklaz + ortopiroksen + amfibol + klinopiroksen , Plajiyoklaz + ortopiroksen + klinopiroksen , Plajiyoklaz + ortopiroksen + klinopiroksen + amfibol + kuvars olan dört tip mineral parajenezi mevcuttur. Mineral kimyaları Plajiyoklazlar labrador ve bitovnit, kaldere içi andezitler andezin, labrador ve bitovnit, klinopiroksenlerin ojit, ortopiroksenlerin hipersten, kaldere içi andezitlerin bronzit + hipersten oluşmaktadır. Yeni Erciyes evresindeki andezitler ise plajiyoklazların, andezin, labrador ve bitovnit, Ca-piroksenlerin ojit, Na-piroksenlerin hipersten ve bronzit bileşiminden oluşmaktadır.
Dasit ve Riyodasitler	Erciyes siteminin gelişimi sırasında en yaygın olarak gözlenen ürünler dasitlerdir. Farklı dasit jenerasyonu gelişmiş olmasına rağmen bu ürünler hiçbir kimyasal bileşim farkı göstermezler. Buna karşın, farklı tiplerde mineral parajenezleri belirlenmiştir. Koçdağ evresinde plajiyoklaz , Na-piroksen ve Ca-piroksen , yeni Erciyes evresinde ise plajiyoklaz + Na-piroksen , plajiyoklaz + Na-piroksen + biyotit , plajiyoklaz + Na-piroksen + Ca-piroksen , plajiyoklaz + Ca-piroksen + Na-piroksen + amfibol + biyotit den oluşmaktadır. Kaldera kenarı dasitlerinde plajiyoklazlar çoğunlukla ters zonlanmalı olarak andezin ve labrador, piroksinler bronzit ve hipersten bileşimindedir. Dasitlerde Ca ve Na piroksen birlikteliği dikkat çekerken, piroksenler ojit, bronzit ve hipersten bileşimindedir. Riyodasitlerde plajiyoklazlar, andezin, labrador ve bitovnit bileşimindedir.
Alkali Bazaltik Ürünler	Sub-ofitik ve porfirik doku hâkimdir. Baskın olarak plajiyoklaz fenokristalleri ile olivin ve nadir olarak klinopiroksen minerallerden oluşurlar.

Tablo 3.1 (Devamı...)

Toleyitik Bazaltlar	Genel olarak sub-ofitik porfirik dokuya sahip bu ürünler çubuksu plajiyoklaz fenokristallerinin arasındaki boşlukları dolduran olivin ve klinopiroksen minarelleri ile tipiktirler. Plajiyoklazlar labrador, piroksenler ojit-salit bileşimindedir.
Kalkalkali Bazalt ve Bazaltikandezitler	Volkanik gelişim sırasında Koçdağ ve bunu takip eden Yeni Erciyes evresinde de bazaltikandezit bileşiminde ürünler türemiştir. Koçdağ evresinde mineral parajenezi, plajiyoklaz , olivin , klinopiroksen ve ortopiroksen 'den oluşmakta Yeni Erciyes evresinde ise ortopiroksen hariç aynı mineraller görülmektedir. Diğer taraftan Yeni Erciyes serisinde kalkalkali nitelikte olan bazaltlar da mevcuttur ve ana bileşen olarak plajiyoklaz , olivin ve nadir olarak piroksen minerali içermektedir. Plajiyoklazlar normal ve ters zonlanmalı bitovnit ve anotit, Ca-piroksenlerin, diyopsit, endiyopsit, ojit; Na-piroksenlerin ise bronzit bileşimindedir.

Tablo 3.2 Erciyes sistemini oluşturan magmatik ürünlerin majör ve iz element analiz sonuçları (Kürkçüoğlu, 2000)

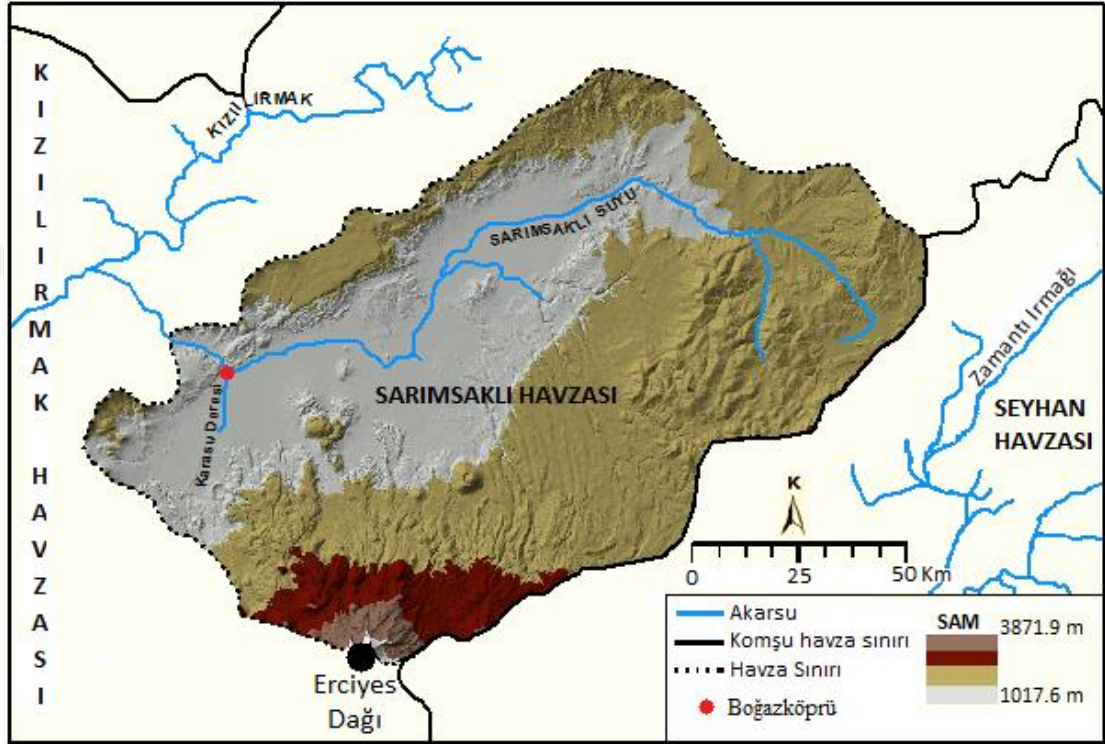
	1			2			3			5			7			s			10		
	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort
SiO ₂ %	49.21	49.21	49.21	57.07	61.45	59.78	51.97	56.76	54.86	63.34	65.54	64.53	58.14	62.52	60.31	63.51	68.87	66.05	54.35	54.57	54.46
Al ₂ O ₃	17.09	17.17	17.13	16.77	18.00	17.25	17.17	18.37	17.82	15.78	16.56	16.24	16.10	17.36	16.79	14.77	16.56	15.96	17.28	17.76	17.52
Fe ₂ O ₃	11.14	11.26	11.20	5.05	6.83	5.98	6.65	7.80	7.04	4.47	4.88	4.70	4.93	5.66	5.29	3.19	4.57	4.00	7.16	7.44	7.30
MnO	0.17	0.18	0.17	0.08	0.11	0.09	0.10	0.12	0.11	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.09	0.06	0.08	0.07	0.12	0.12	0.12
MgO	6.61	7.07	6.84	2.69	5.16	3.40	4.11	7.08	5.20	2.02	2.28	2.16	2.82	3.90	3.37	1.28	2.53	1.90	5.37	5.81	5.59
CaO	9.13	9.42	9.28	5.45	7.53	6.40	7.21	9.07	8.13	4.26	4.84	4.47	5.52	7.11	6.41	3.32	5.32	4.58	8.12	8.61	8.37
Na ₂ O	3.47	3.75	3.61	3.34	3.82	3.69	2.80	3.85	3.28	3.85	4.54	4.16	3.25	3.87	3.58	3.55	3.93	3.75	3.39	3.45	3.42
K ₂ O	0.57	0.71	0.64	0.99	2.11	1.55	0.86	1.29	1.06	2.03	2.39	2.26	1.46	1.76	1.60	1.67	2.82	2.11	1.17	1.18	1.18
TiO ₂	1.70	1.77	1.74	0.67	1.01	0.87	0.94	1.22	1.00	0.67	0.78	0.71	0.65	0.81	0.74	0.40	0.59	0.53	1.04	1.11	1.08
P ₂ O ₅	0.36	0.41	0.39	0.18	0.40	0.28	0.16	0.38	0.24	0.16	0.24	0.21	0.18	0.25	0.21	0.13	0.25	0.17	0.32	0.45	0.39
Ba (ppm)	160.50			289.70	483.40	386.55	199.80			427.00	481.80	454.40	337.60			371.70	492.20	424.20	284.80	299.20	292.00
Sr	365.60			335.40	376.30	355.85	335.40			264.50	285.80	275.15	291.00			210.30	280.90	247.20	447.60	457.40	452.50
Rb	5.97			27.40	37.10	32.25	24.97			69.42	79.70	74.56	59.32			65.00	113.70	84.13	22.20	24.72	23.46
Ga	16.80			18.40	22.60	20.50	16.10			15.70	19.10	17.40	15.10			17.40	18.20	17.70	16.10	19.50	17.80
Ni	96.00			17.00	38.20	27.60	47.00			12.00	18.40	15.20	7.00			12.00	17.40	14.80	69.90	82.00	75.95

	11			12			13			15			16			17		
	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort	min	mak	ort
SiO ₂ %	62.25	65.26	63.80	51.90	63.86	54.51	56.46	63.61	60.48	69.07	70.54	69.90	63.24	65.06	64.15	70.54		
Al ₂ O ₃	15.50	16.07	15.77	16.51	18.54	17.42	16.54	17.58	17.13	14.78	15.21	15.00	16.12	16.47	16.30	15212.81		
Fe ₂ O ₃	3.84	5.27	4.60	4.70	9.13	7.68	4.73	7.57	5.51	2.68	2.81	2.75	4.31	4.89	4.60	0.06		
MnO	0.07	0.08	0.08	0.08	0.15	0.12	0.07	0.13	0.09	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.96		
MgO	1.23	2.09	1.72	2.47	6.63	5.30	2.22	3.62	3.00	0.77	0.96	0.88	2.21	2.78	2.50	3.21		
CaO	3.85	4.98	4.45	5.75	8.43	7.51	5.65	6.84	6.27	3.00	3.21	3.12	4.71	5.91	5.31	4.00		
Na ₂ O	3.46	4.60	4.02	3.37	4.14	3.82	3.43	4.16	3.65	3.84	4.00	3.91	3.78	3.80	3.79	2.79		
K ₂ O	1.94	3.01	2.44	1.04	1.69	1.38	1.23	2.16	1.58	2.77	2.96	2.84	1.60	2.15	1.88	0.37		
TiO ₂	0.49	0.95	0.73	0.63	1.56	1.23	0.62	1.12	0.75	0.33	0.37	0.35	0.60	0.63	0.62	0.11		
P ₂ O ₅	0.15	0.25	0.20	0.19	0.66	0.44	0.18	0.49	0.26	0.09	0.11	0.10	0.19	0.19	0.19	0.29		
Ba (ppm)	383.80	522.30	464.30	287.90	507.90	366.13	59.20	404.50	266.70	440.30	510.50	479.03	339.60	469.30	404.45	482.80		
Sr	275.30	298.10	290.07	420.60	656.90	491.00	292.10	421.70	362.06	194.50	201.70	199.03	275.40	314.90	295.15	210.10		
Rb	77.80	88.00	84.27	22.09	30.75	27.10	1.70	58.17	32.69	110.90	146.50	123.37	55.20	92.20	73.70	133.70		
Ga	17.90	22.10	20.50	15.50	23.40	17.73	16.60	20.00	18.08	14.60	18.10	16.40	18.40	18.70	18.55	16.40		
Ni	8.10	19.30	12.63	48.50	86.00	70.08	8.00	111.10	44.22	3.90	7.20	5.60	23.50	31.00	27.25	8.20		

3.2 Hidrojoloji

3.2.1 Drenaj alanı sınırları, özellikleri ve yüzey suları

Proje alanı olan Sarımsaklı havzası Kızılırmak havzasının alt havzası olup Erciyes Dağı'nın kuzey yamacı boyunca yer almaktadır. Havzanın doğusu ve güneydoğusunda Seyhan havzası, diğer taraflarında ise Kızılırmak havzası komşu olarak bulunmaktadır (Şekil 3.3).



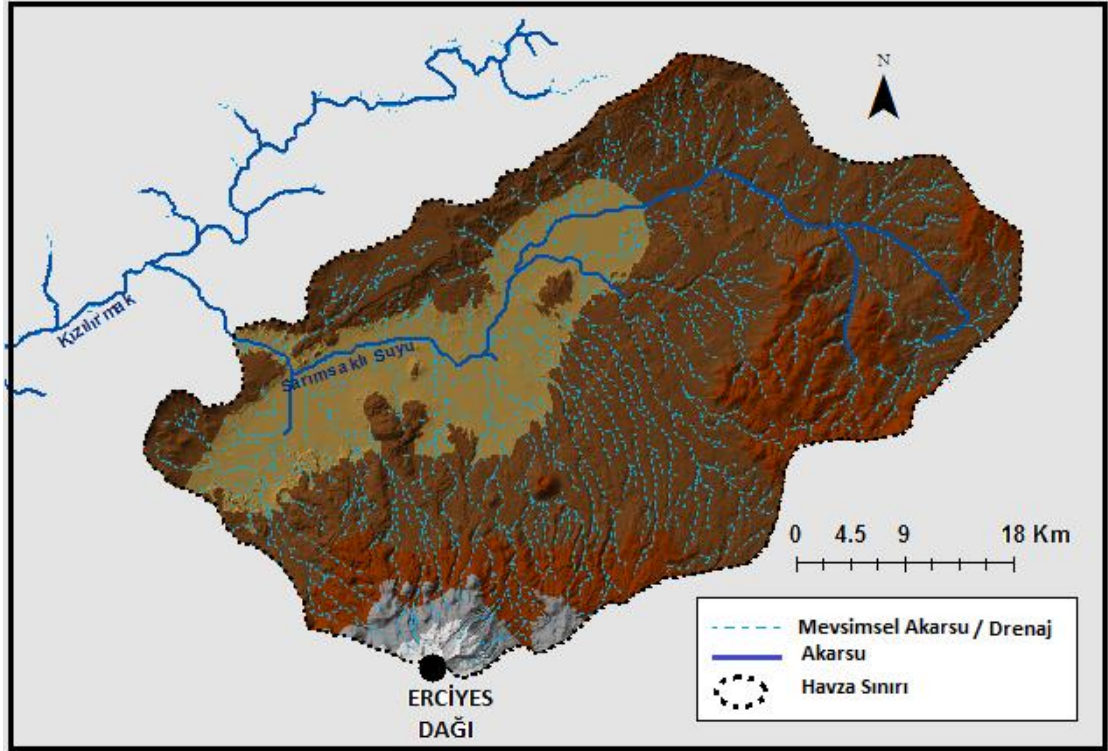
Şekil 3.3 Proje alanı çevresinde yer alan başlıca havzalar ve akarsular.

Çalışma alanının hidrolojik ve morfolojik yapısı, büyük ölçüde volkanik kayaç arazisine bağımlı olarak gelişmiştir. Havzada bulunan başlıca akarsular Sarımsaklı Suyu ile Karasu Deresi'dir. Bunlar dışında mevsimsel olarak akan çok sayıda akarsular, çay ve dereler mevcuttur (Şekil 3.4). Sarımsaklı Suyu ana akarsuyu olup havzanın kuzey doğusundan güneybatıya doğru akmakta ve havza çıkışında Karasu Deresi ile Boğazköprü akım gözlem istasyonunda birleşerek Kızılıрмаğı'na boşalmaktadır. Toplam drenaj alanı 2132.33 km² olan Sarımsaklı Suyu ve Karasu Deresi sürekli akış halinde bulunmakta ve topoğrafik eğim 3°'nin altındır (Şekil 3.3). Karasu Deresi havzanın batısında en düşük kotlarında yer almaktadır.

3.2.2 Drenaj şekli ve yoğunluğu

İnceleme alanını oluşturan litolojik birimlerin çeşitliliği ve yapısal unsurlar farklı drenaj yapılarının gelişmesine neden olmuştur. Havzanın güney ve doğu kesimlerinde hâkim olan volkanik kayalara bağlı olarak gelişen birbirine paralel derin vadiler çevresinde kafesli (trellis) tip drenaj yapısı gelişirken, havzanın kuzeyinde ve kuzeydoğusunda dallı (dendritik) tip drenaj gelişmiştir (Şekil 3.4).

Sarımsaklı havzasının drenaj derecesinin belirlenmesi amacıyla Strahler akarsu derecelendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre havza 4.dereceden bir akarsu havzasıdır. Yukarıda değinildiği gibi proje alanındaki iklim, eğim durumu, jeolojik ve tektonik yapılarına bağlı olarak drenaj yapısı gelişmiştir. Fakat sürekli akarsulardan ziyade mevsimsel akarsular daha çok görülmektedir (Değirmenci vd., 2011).



Şekil 3.4 İnceleme alanında gelişmiş drenaj yapısı.

3.2.3 Kayseri kenti içme suyu akiferlerinin litolojik özellikleri

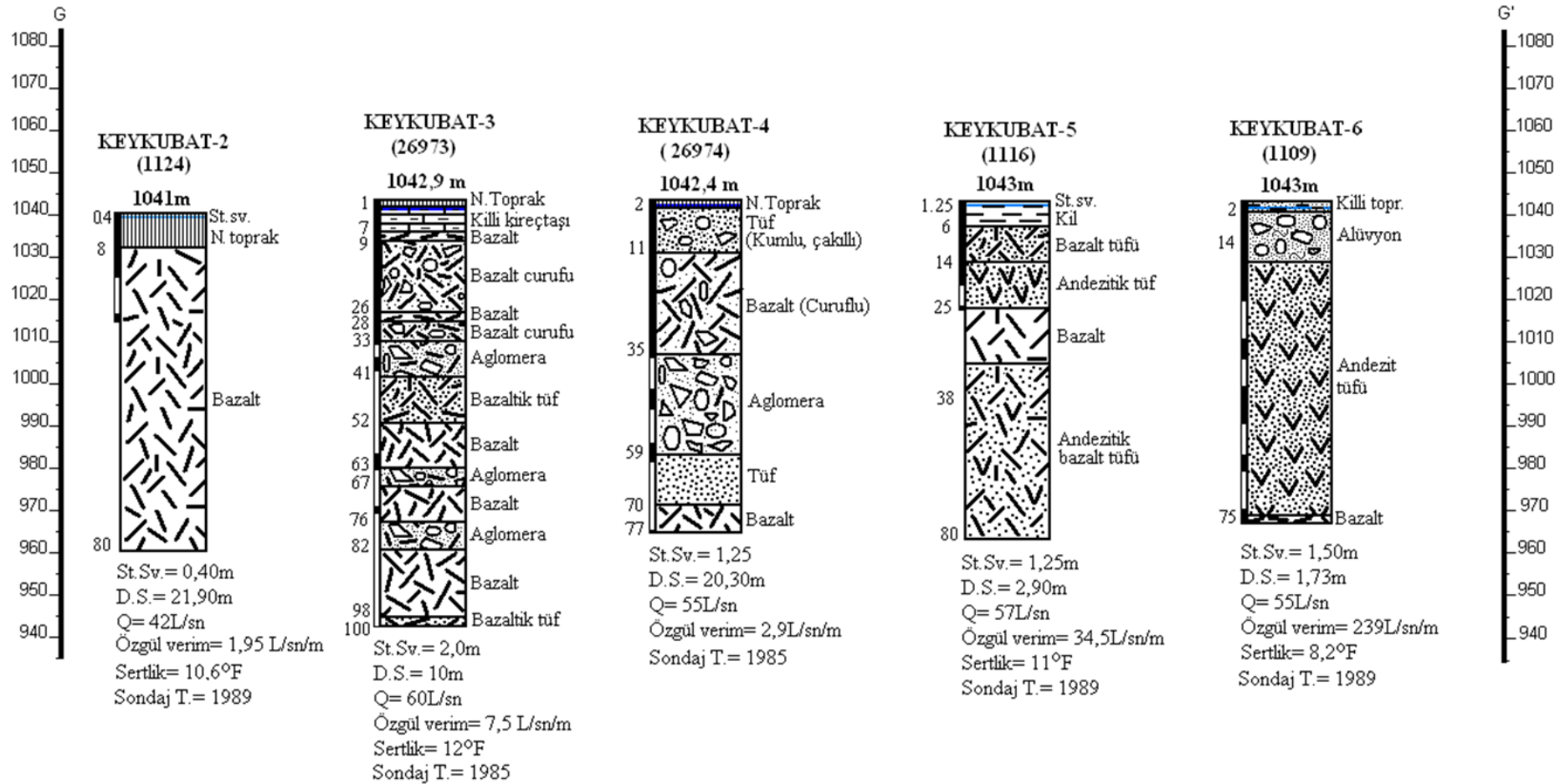
Kentin içme ve kullanma suyunun alındığı akifer sistemi, genel anlamda “Çatlaklı Kaya Akiferi” türündedir. Bölgede gözlenen kayaç türleri bazalt, andezit ve bunların tüf ve aglomeraları şeklindedir. İçme suyu havzasında iki ayrı akifer sistemi mevcuttur. Bunlardan birisi, Erciyes dağının yüksek kotlarından beslenen, dolayısıyla basınçlı akifer niteliğinde ve volkanik kayalardan oluşan alt (ana) akifer, diğeri ise

bunun üzerinde yer alan sığ/serbest akiferdir. Basınçlı akiferin en güzel örneği Erciyes dağının ovaya yakın eteğinden tek noktadan çıkan, yaklaşık 200 L/s debili Beştepeler kaynak suyudur. Bu sistemdeki ana akiferi “volkanik cüruf” olarak adlandırılan birim ve/veya benzer özellik taşıyan bazalt ve andezitlerin tüf ve aglomeraları oluştururken, kırık ve çatlaklı akifer olma özelliklerinin yanı sıra “masif” özellik de sunan bazalt veya andezitler ise basınçlı akiferin üst geçirimsiz veya yarı geçirimli örtü tabakasını oluşturmaktadır. Volkanik arazilerde volkanik kökenli kaya türlerinin kalınlığı ve devamlılığı, sedimenter arazilerde olduğu gibi geniş yayımlı ve sürekli bir şekilde gözlenmemektedir. Bu nedenle, üst örtü tabakası işlevindeki masif bazalt veya andezitlerin bölgesel ölçekteki devamlılıklarını her yerde görebilmek mümkün değildir. Bu örtü kaya birimlerinin mevcut olduğu bölgelerde Basınçlı Akifer Sistemi’nin en güzel örnekleri gözlenirken, bu birimin bulunmadığı bölgelerde bu önemli faktör ortadan kalkmaktadır. Bu özellik sayesinde ana akifer (basınçlı akifer) sistemine, kirlenmiş sığ akifer sularının veya çöp vb. kirlilik taşıyan sızıntı suların taşınması önlenmektedir (Değirmenci vd., 2006).

Söz konusu basınçlı akifer sisteminin oluşumunda önemli koşullardan birisini sağlayan “beslenim alanı bölgesi yüksekliği” koşulu KASKİ kuyularının bulunduğu bölgenin tamamında mevcuttur. Ancak önemli diğer bir koşul olan, ana akifer sisteminin üst yarı geçirimli/geçirimsiz tabakasını oluşturan, belli kalınlıktaki masif bazalt ve/veya andezitler her kuyu bölgesinde bulunmayabilmektedir.

Şekil 3.5’de sunulan kuyu logları Kayseri Kenti içme suyu havzasında yer alan KASKİ tarafınca işletilen içme suyu kuyularına ait olup, kuyuların birbiriyle olan mesafesi 5 ile 15 metre arasında değişmektedir. Söz konusu alanın bazalt ve andezit türlerinden oluştuğu görülmektedir.

Sarımsaklı Havzası içerisindeki, Piyosen’den Kuvaterner’e kadar dönemde çökellerin oluşturduğu akiferler, genel olarak heterojen yapıdadır. Bazı araştırmacılar tarafından Kızılırmak formasyonu adı altında bahsedilen çökeller, havzanın kuzey bölümünde serbest akiferlerdir ve anizotropiktir. Güney bölüm (Ambar, Karasaz ovası) kalın bir turba ve kil taşı çökel örtüsü ile kaplıdır. Bu nedenle tabanda yer alan volkanik bileşenli (silt, kum, çakıl) çökeller basınçlı akifer davranışındadır. Organize Sanayi kuzeyi ile Oymaağaç ve Molu köyünün ova içi arazilerinde artezyen sondajlar mevcuttur (Yıldız, 2010).



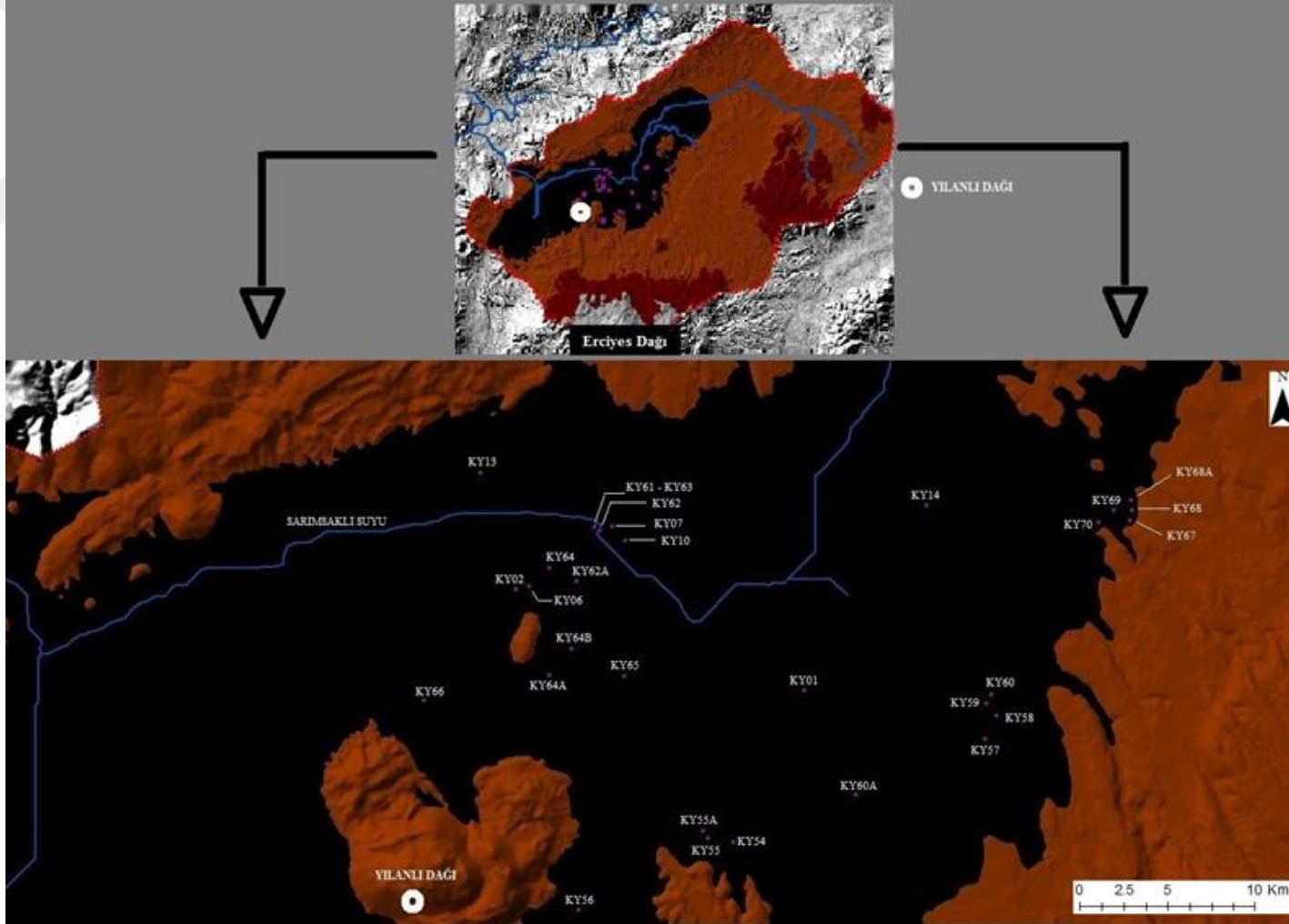
Şekil 3.5 İnceleme alanında açılan kuyulara ait kuyu logları ve kuyulara ait bazı özellikler (Değirmenci vd., 2011).

3.2.4 Kayseri kentine içme suyu sağlayan kuyular ve özellikleri

Sığ Kuyular: İnceleme alanında toplam 30 adet sığ kuyu seçilmiştir. Bunlardan 2 tanesi araştırma sondaj kuyusu diğer 6 tanesinde sulama amaçlı olmak üzere toplam 8 adet sığ kuyu Keykubat'ta, Karpuzatan'da 2 tanesi araştırma sondaj kuyusu olup toplam 4, Beştepeler'de 3, Yıldırım Beyazıt'ta 4, Kumarlı Eski çöp deponi alanı civarında 3, Kumarlı'da 2 ve Altınoluk, KASKİ, Belsin, Argıncık, Erkilet ve Gültepe'de birer adet sığ kuyu bulunmaktadır (Tablo 3.3 ve Şekil 3.6).

Tablo 3.3 İnceleme alanındaki sığ kuyulara ait bilgiler

No	Örnek No	Örnek Yerleri	Amaç	Koordinat		Kot (m)	Kuyu Derinliği (m)
				X (m)	Y (m)		
1	KY-01	KASKİ	Araştırma	716964	4290969	1051,5	54
2	KY-02	KEYKUBAT	Araştırma	710931	4293089	1042,95	8
3	KY-06	KEYKUBAT	Araştırma	711199	4293144	1043,46	8
4	KY-07	KARPUZATAN	Araştırma	712950	4294402	1044,12	14
5	KY-10	KARPUZATAN	Araştırma	713225	4294093	1073,92	11
6	KY-13	ERKİLET	Araştırma	710184	4295523	1041,15	25
7	KY-14	ARGINCIK	Araştırma	719528	4294836	1059,75	25
8	KY-54	BEŞTEPELER	Sulama/Kullanma	715479	4287798	1063	10
9	KY-55	BEŞTEPELER	Sulama kullanma	714838	4288024	1063	10
10	KY-55A	BEŞTEPELER	Sulama kullanma	714949	4287880	1056	12
11	KY-56	ALTINOLUK.	Sulama kullanma	712232	4286378	1084	20
12	KY-57	YIL. BEYAZIT	Sulama kullanma	720758	4289953	1076	9
13	KY-58	YIL. BEYAZIT	Sulama kullanma	720978	4290438	1076	
14	KY-59	YIL. BEYAZIT	Sulama kullanma	720766	4290694	1070	45
15	KY-60	YIL. BEYAZIT	Sulama kullanma	720886	4290879	1087	16
16	KY-60A	GÜLTEPE	Sulama kullanma	718048	4288793	1063	18
17	KY-61	KARPUZATAN	Sulama kullanma	712554	4294372	1041	
18	KY-62	KARPUZATAN	Sulama kullanma	712675	4294303	1041	18
19	KY-62A	KEYKUBAT	Sulama kullanma	712207	4293261	1050	
20	KY-63	KEYKUBAT	Sulama kullanma	712585	4294391	1041	
21	KY-64	KEYKUBAT	Sulama kullanma	711619	4293530	1049	
22	KY-64A	KEYKUBAT	Sulama kullanma	711618	4291275	1060	40
23	KY-64B	KEYKUBAT	Sulama kullanma	712098	4291846	1047	
24	KY-65	KEYKUBAT	Sulama kullanma	713184	4291262	1095	
25	KY-66	BELSİN	Sulama kullanma	709012	4290753	1053	75
26	KY-67	KUMARLI	Sulama kullanma	723772	4294515	1099	
27	KY-68	KUMARLI	Sulama kullanma	723814	4294745	1097	50
28	KY-68A	KUMARLI	Sulama kullanma	723804	4294954	1086	32
29	KY-69	KUMARLI	Sulama kullanma	723434	4294741	1088	
30	KY-70	KUMARLI	Sulama kullanma	723122	4294482	1084	13

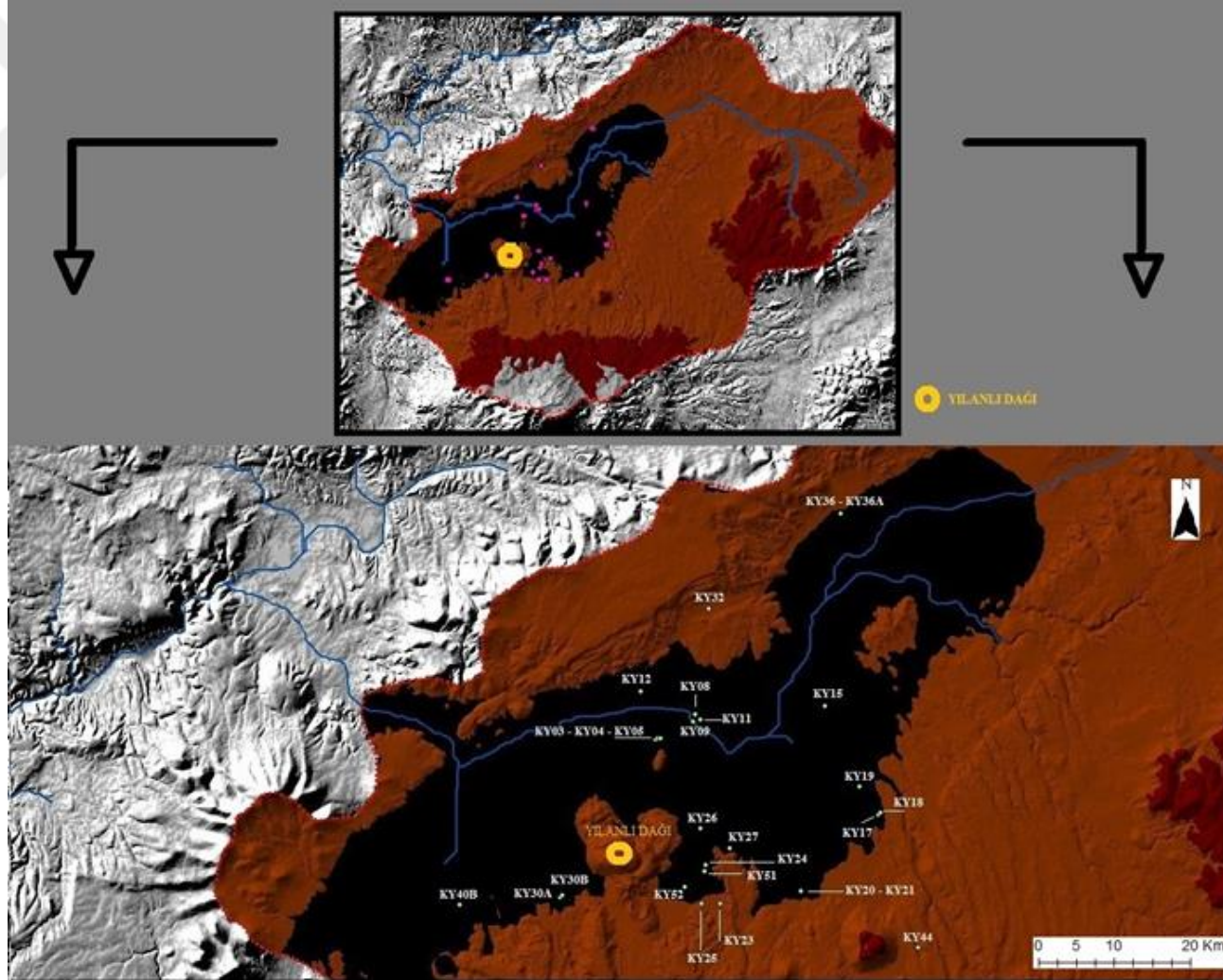


Şekil 3.6 İnceleme alanında yer alan sığ kuyuların bulduru haritası.

Derin Kuyular: İnceleme alanında toplam 30 adet derin kuyu seçilmiştir. Bunlardan 2 tanesi araştırma sondaj kuyusu ve 1 tanesi işletme kuyusu olup toplam 3 adet derin kuyu Keykubat'ta bulunmaktadır. Karpuzatan'da aynı şekilde 3 adet, Germiraltı ve Gediris'te 1 tane sondaj kuyusu olup 2'şer adet toplam 4, Kuyucak'ta 2, Kavaklık'ta 2, Taşlıburun ve Argıncık'ta 1'er adet sondaj kuyusu olup 2 adet; Beştepeler, Anneler parkı, Eğribucak, Kergahbağları, Mahrumlar, Erkilet, Emmiller, Dadağ, Boyacı, Erciyes kasabası ve Hasanarpa'da birer adet kuyu olup KASKİ tarafından işletilmektedir (Tablo 3.4, Şekil 3.7).

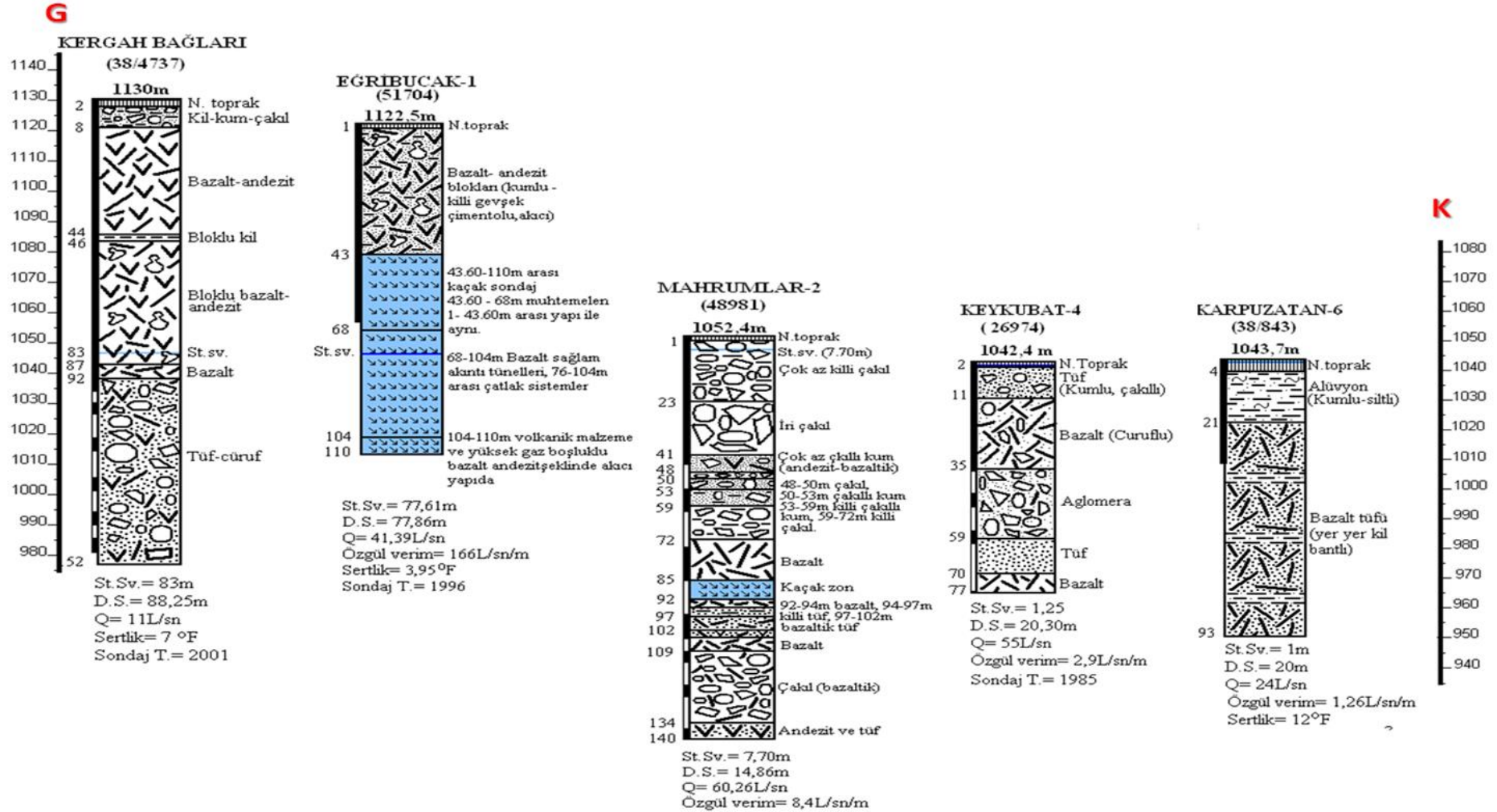
Tablo 3.4 İnceleme alanındaki derin kuyulara ait bilgiler

No	Örnek No	Örnek Yerleri	Koordinat		Kot (m)	Kuyu Derinliği (m)
			X (m)	Y (m)		
1	KY-03	KEYKUBAT	710946	4293088	1042,67	55
2	KY-04	KEYKUBAT	711065	4293136	1042,56	100
3	KY-05	KEYKUBAT	711194	4293143	1043,34	38
4	KY-08	KARPUZATAN	712944	4294383	1044,08	43
5	KY-09	KARPUZATAN	712842	4294017	1044,05	44
6	KY-11	KARPUZATAN	713223	4294093	1044,89	93
7	KY-12	ERKİLET	710181	4295527	1041,25	40
8	KY-15	ARGINCIK	719537	4294819	1059,81	56
9	KY-17	GERMİRALTİ	722189	4289290	1093,94	95
10	KY-18	GERMİRALTİ	722322	4289421	1095,5	
11	KY-19	ANNELER PARKI	721250	4290725	1076,18	
12	KY-20	GEDİRİS	718275	4285423	1095,54	95
13	KY-21	GEDİRİS	718288	4285427	1095,48	
14	KY-23	EĞRİBUCAK	714233	4284775	1122,5	110
15	KY-24	TAŞLIBURUN	713483	4286768	1068,73	70
16	KY-25	KERGAHBAĞLARI	713284	4284786		152
17	KY-26	MAHRUMLAR	713208	4288584	1052,4	112
18	KY-27	BEŞTEPELER	714712	4287617	1056	75
19	KY-30A	KUYUCAK	706140	4285106	1037	
20	KY-30C	KUYUCAK	706244	4285208	1037,08	
21	KY-31	EMMİLER	708453	4309213	1228,09	
22	KY-32	ERKİLET	713624	4299712	1176,4	
23	KY-33	DADAĞ	701479	4307343	1080,13	
24	KY-35	BOYACI	715300	4310798	1291,43	
25	KY-36	AKİN	720316	4304546	1099,85	
26	KY-36A	HASANARPA	720316	4304546	1100	
27	KY-40B	KARPUZSEKİSİ	701032	4284759	1039	
28	KY-44	ERCİYES	724229	4282571	1335,94	
29	KY-51	KAVAKLIK	713434	4286414	1073	120
30	KY-52	KAVAKLIK	712437	4285647	1075	150

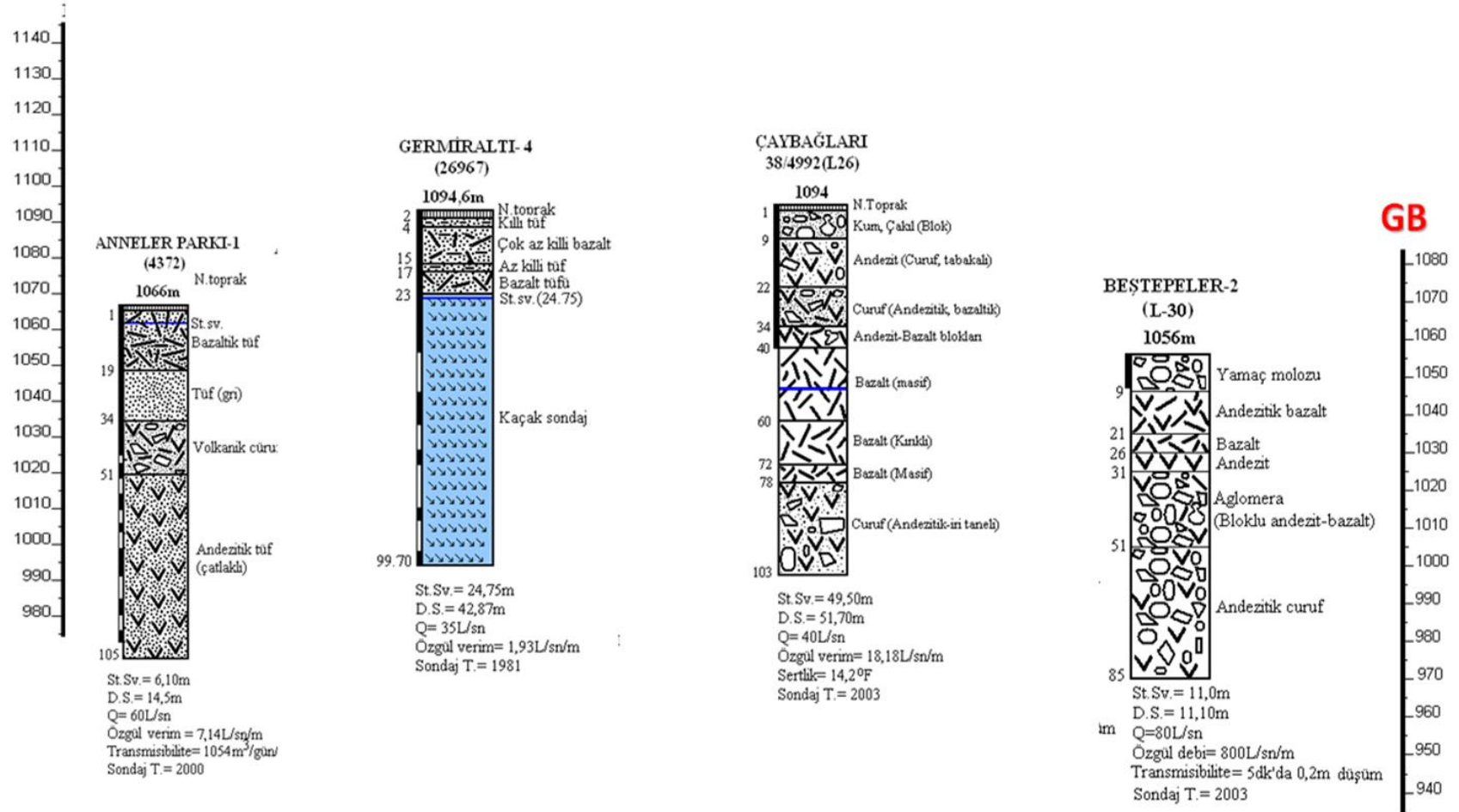


Şekil 3.7 İnceleme alanında yer alan derin kuyuların bulduru haritası.

Akifer hakkında bilgi almak için Karotlu Sondaj tekniği kullanılarak açılan 16 adet araştırma sondaj kuyularında mevcut yeraltısuyunun bulunduğu litolojik birimlerinin geçirimsizliğinin belirlenmesi amacıyla her 5 metrede zeminin türüne bağlı olarak “basınçlı su testi” yapılmıştır (Değirmenci vd., 2011). Sondaj çalışması sırasındaki gözlemler ile bölgedeki mevcut içme suyu sondaj kuyularına ait kuyu loglarından ve karot örnekleri üzerinde yapılan gözlemlerden anlaşıldığı üzere, volkanik ortamların doğasına uygun olarak litolojik birimlerin yatay ve düşey yöndeki devamlılıkları az, bu birimlerin kalınlık ve yayılımları ise kısa mesafelerde sıklıkla değişmektedir (Şekil 3.10). Sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen karot örnekleri ve jeoloji haritası değerlendirildiğinde, çalışma alanında bazalt, andezit ve tüfler geniş yayılım gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Keykubat (KY02, KY03, KY06 ve KY05) ve Karpuzatan (KY08, KY11, KY07 ve KY10) bölgelerindeki sondajlarda bu birimler dışında aglomeraya da rastlanmaktadır. Argıncık (KY15 ve KY14), Germiraltı (KY18), Çaybağları (Gediris KY20) ve Taşlıburun (KY24) bölgelerinde ise daha çok bazalt ve andezitlerin alterasyon ürünleri veya tüflerine rastlanmaktadır. KASKİ Genel Müdürlüğü (KY01) ve Erkilet çevre yolu (KY12 ve KY13) bölgelerinde açılan sondaj kuyularında ise en az 25 m’lik kalınlıkta alüvyon ve sedimenter birimlere (killi kireçtaşı-marn ve kil) rastlanmıştır (Değirmenci vd., 2011).

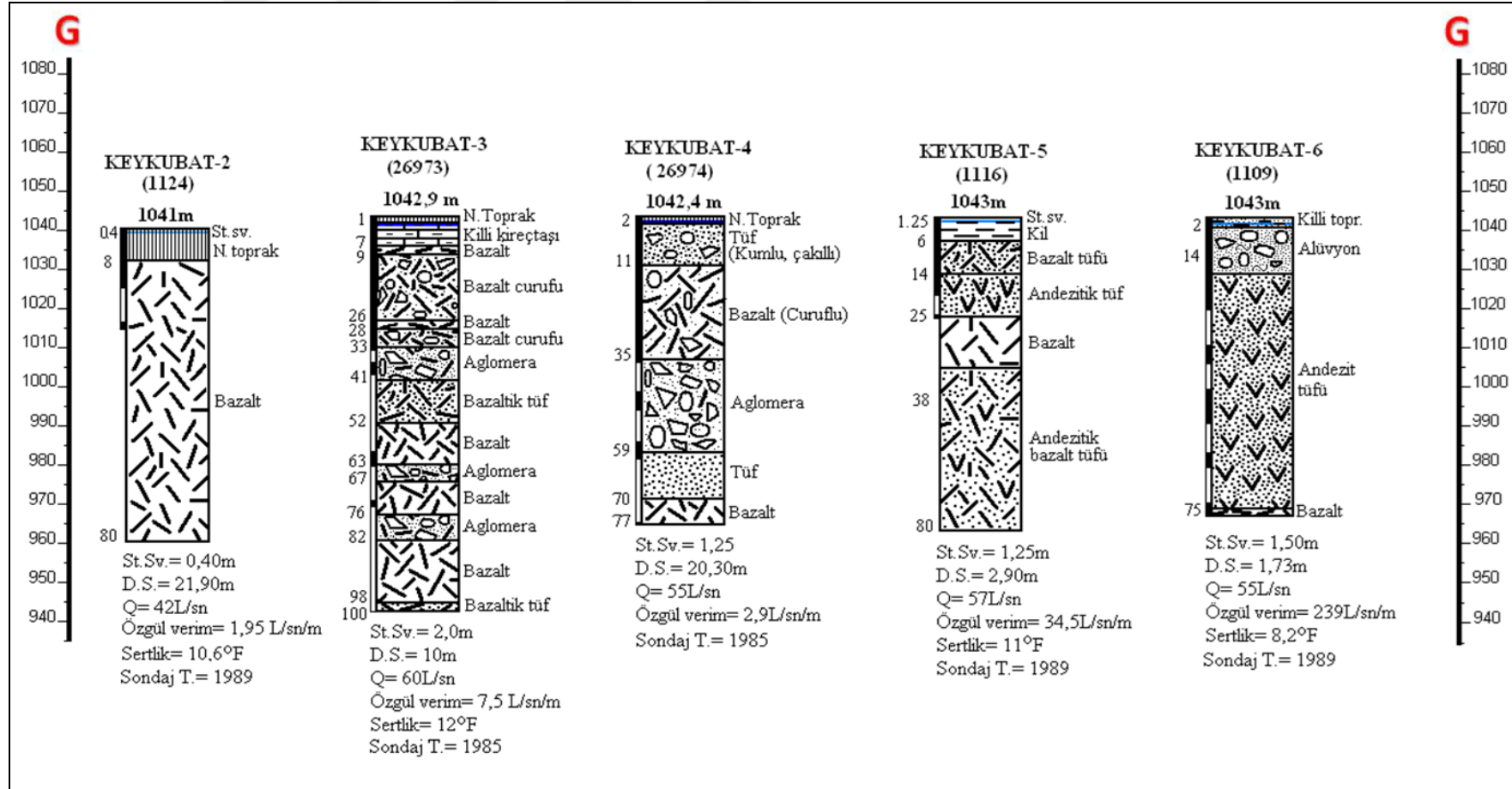


Şekil 3.8 Kayseri kenti içme suyu havzasında yer alan kuyulara ait kuyu logu bilgileri (Değirmenci vd., 2011).

KD**GB**

Şekil 3.9 Kayseri kenti içme suyu havzasında yer alan kuyulara ait kuyu logu bilgileri (Değirmenci vd., 2011).

Derin kuyularına ait kuyu logu bilgileri kullanılarak Kergahbağları'ndan Karpuzatan doğrultusunda güney-kuzey yönündeki (Şekil 3.8), Anneler Parkı'ndan Beştepeler'e doğru kuzeydoğu-güneybatı yönünde jeoloji gösterilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.10 İnceleme alanında açılan kuyulara ait kuyu logları ve kuyulara ait bazı özellikleri (Değirmenci vd., 2011).

4. ARSENİK

4.1 Genel Bilgiler

Arsenik jeolojik malzeme, toprak, hava, su, bitki ve canlılar da doğal olarak bulunan bir elementtir. Kara ve su ortamında geniş ölçüde dağılmıştır. Yerkabuğunun arsenik konsantrasyonlarında farklılık olsa da, genellikle 1,5 ile 5 mg / kg arasında değişir. Arsenik doğada 200'ün üzerinde mineralin ana bileşeni olarak en çok bulunan 20. element olup, yerkabuğunun milyonda 0.50'ini oluşturur. Deniz suyunda en çok bulunan 14. ve insan vücudunda ise 12. Elementtir. Arsenik minerallerinin ayrışma ve çözünmesi su ortamına geçişine sebep olabilir (Mandal ve Suzuki, 2002).

Ayrıca antropojenik kaynaklardan hava, su ve toprağa arsenik geçebilir. Sanayide kullanılan arsenik bileşikleri ve ürünleri vardır. 1960 yılından önce, arsenikli pestisitler, herbisit ve insektisitler yoğun olarak üretilmiş ve uygulanmıştır. Arsenik aynı zamanda tıbbi ürünler, yem katkı maddesi ve çeşitli metalürji uygulamaları için de kullanılmıştır.

Arsenik “As” simgesi ile gösterilir, periyodik cetvelde VA grubunda fosfor ve antimon arasında yer almakta olup, atom numarası 33 ve atom ağırlığı 74.9216 g/mol, kokusuz ve tatsız özelliktedir. Arsenik metal olmayan ya da metaloit olarak sınıflandırılmakta olup ağır metal grubunda yer almaktadır. Arsenik redoksa duyarlı bir elementtir, yani indirgenme (elektron alma) veya yükseltgenme (elektron verme) yoluyla arseniğin formunu değiştirilebilir. Arseniğin oluşumu, dağılımı, hareketliliği ve formları farklı pH koşulları, indirgenme-yükseltgenme reaksiyonları, diğer iyonik türlerin dağılımı, su kimyası ve mikrobiyal aktivite gibi jeokimyasal faktörlerin etkileşimine bağlıdır (Shih, 2005). Toplam arsenik, organik ve inorganik türlerden oluşmaktadır. Genellikle inorganik arsenik indirgen koşullar altında (+3) değerlikli olarak ya da yükseltgen koşullar altında (+5) değerlikli olarak bulunur. Az miktarda (0 değerlikli) elementel arsenik de doğada bulunur. Genellikle suda bulunan inorganik türler arsenit (H_3AsO_3^0) ve arsenattır (H_2AsO_4^- , ve HAsO_4^{2-}).

Araştırmalar içme suları aracılığıyla inorganik arseniğin, özellikle As^{3+} ün birçok insanda kanserojen etkiye neden olduğunu belirlemiştir. Arseniğin yeraltısularında doğal olarak yüksek olduğu bölgelerde, insanların bu suyu tüketmesi sonucunda ölüm

vb. sağlık sorunlarının yaşandığı (Bangladeş, Hindistan ve Tayvan gibi) lkeler vardır (Flora, 2015).

4.2 Arseniğin Kaynakları

Arsenik hem doğal hem de antropojenik kaynaklarla sucul ortama katılmaktadır. Toprak, hava, su ve kayaç yapısında bulunabilir. Genellikle su’da arsenik oluşumuna arsenik taşıyan kayaç, mineral ve cevherlerin çözünmesi ve ayrışması neden olmaktadır. Ayrıca bazı alanlarda endüstriyel atıklar, sulardaki arseniğe katkıda bulunurlar. Arsenik ticari (rneğin alaşım maddeleri ve ağşap koruyucu vs.) olarak da kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yanması da atmosferik birikim vasıtasıyla ortamda arseniğin kaynağıdır. Halk sağlığı için içme sularında arseniğin olması büyük tehdit oluřturur⁵.

Arsenik elementel arsenik, arsenidler, sülfidler, oksitler, arsenatlar ve arsenitler de dhil olmak üzere birçok mineralin ana bileşeni olarak ortaya çıkar. Arsenik hem organik hem de inorganik formlarda var olsa da, inorganik formları su içinde daha yaygın ve daha fazla toksik kabul edilir.

4.2.1 Arsenik mineralleri

Doğada 300’den fazla arsenik mineralinin bulunduğu bilinmektedir. Bunların yaklaşık %60’ı arsenatlar, %20’si sülfitler ve sülfo-tuzlar, %10’u oksitler ve geri kalanı da arsenitler, arsenrler, doğal elementler ve metal alaşımlarından oluşmaktadır (Bowell ve Parshley, 2001). En yaygın arsenik minerallerinin bazıları Tablo 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur.

Bunların çoğu cevher mineralleri veya bunların alterasyon ürünleridir. Ancak, bu mineraller doğal ortamda oldukça nadirdir. Bu minerallerin en yüksek konsantrasyonları mineralleşmiş alanlarda (maden ve/veya endüstriyel hammadde yatakalrında) bulunmaktadır ve ayrıca Cd, Pb, Ag, Au, Sb, P, W ve Mo’nun yanı sıra geçiş metalleri ile yakın ilişki içinde bulunmaktadır. Arseniğin en çok bulunan cevher minerali (FeAsS) arsenopirit’dir. Genellikle cevher yataklarında mevcut olsa da, arsenopirit muhtemelen cevher zonlarındaki arseniğin en önemli kaynaklarından arsenian (arsenike zengin) pirit’den $(Fe(S,As)_2)$ çok daha boldur (Nordstrom, 2000). Oksitler ve sülfatlar cevherleşmenin son evrelerinde oluşmaktadır (Arehart vd., 1993).

⁵ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/>. Erişim Tarihi: 07.07.2014.

Tablo 4.1 Doğada var olan en yaygın arsenik mineralleri (WHO, 2001)

Mineral	Bileşimi	Oluşumu
Doğal Arsenik	As	Hidrotermal damarlar
Nikel arsenit	NiAs	Maden damarları ve norite
Realgar	As ₂ S	Kireçtaşı, kil ve orpimentle bağlantılı maden damarları, ayrıca sıcak su yataklarında
Orpiment	As ₂ S ₃	Maden damar yatağı, volkanik süblimasyon ürünleri, sıcak sular
Kobaltit	CoAsS	Yüksek sıcaklık çökelleri, metamorfik kayalar
Arsenopirit	FeAsS	Çoğunlukla mineral damarlarında en çok bulunan arsenik mineralidir
Tennantin	(Cu, Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃	Hidrotermal maden damarları
Enargit	Cu ₃ AsS ₄	Hidrotermal maden damarları
Arsenelit	As ₂ O ₃	Realger, doğal arsenik ve diğer arsenik minerallerinin oksidasyonu ile oluşan ikincil mineral
Kludetit	As ₂ O ₃	Realger, arsenopirit ve diğer arsenik minerallerinin oksidasyonu ile oluşan ikincil mineral
Skoredit	FeAsO ₄ ·2H ₂ O	İkincil mineral
Hernesit	Mg ₃ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O	İkincil mineral, döküm atıkları
Haematolite	(Mn, Mg) ₄ Al(AsO ₄)(OH) ₈	İkincil mineral
Konikalsit	CaCu(AsO ₄)(OH)	İkincil mineral
Farmekosiderit	Fe ₃ (AsO ₄) ₂ (OH) ₃ ·5H ₂ O	Arsenopirit ve arsenik minerallerin oksidasyon ürünü

Tablo 4.2 Arseniğin çeşitli minerallerdeki konsantrasyon aralığı (Smedley, 2006)

Sülfat mineralleri →	Pirit	Pirotit	Markazit	Galen	Sfalerit	Kalkopirit
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	100-120,000	5-100	20-276,000	5-10,000	5-17,000	10-5000
Oksit mineralleri →	Hematit	Demir (III) oksihidroksit		Manyetit	Maghemit	
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	> 29,000	>76,000		2,7-41	>186,000	
Silikat mineralleri →	Kuvars	Feldispat	Biyotit	Amfibol	Olivin	Piroksen
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	0,4-1,3	<0,1-2,1	1,4	1,1-2,3	0,08-0,17	0,05-0,8
Karbonat mineralleri →	Kalsit	Dolomit	Siderit			
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	1-8	<3	<3			
Sülfat mineralleri →	Anhidrit		Barit	Jerosit		
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	<1-6		<1-12	34-1000		
Diğer →	Apatit	Halit	Florit			
Arsenik kons. aralığı (mg/kg)	<1-1000	<3-30	<2			

Toprak kaynaklı arsenik daha çok kükürt içeren minerallerde yer alır. Bu minerallere örnek olarak realgar (As₂S₂), orpiment (As₂S₃), arsenopirit (FeAsS), nikolit (NiAsS) ve kobaltit (CoAsS) verilebilir (Bissen ve Frimmel, 2003). Bunların dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir (Sadiq vd., 2002; Doğan ve Doğan, 2007).

Doğada arseniğin en önemli kaynağı sülfür mineralleridir. Özellikle kömürde arsenopirit (FeAsS) şeklinde bulunmakta olup, kömürün yanması sonucu önemli

kirlilik oluşturmaktadır (Henden ve Çelik, 1990). Arsenik içeren en önemli mineraller arasında As_2S_3 (orpiment), AsS (realgar), FeAsS, FeAs₂, NiAs, CoAsS, Cu₁₂As₄S₁₃ ve Cu₃AsS₄ yer almaktadır (Bissen ve Frimmel, 2003), (Matschullat, 2000). Sülfür mineralleri dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir (Sadiq vd., 2002; Jain vd., 1999). Arsenik doğada çoğunlukla diğer metallerle, demir, bakır, gümüş, nikel, oksijen ve sülfürün kombinasyonları ile birlikte bulunmaktadır (Nriagu, 1994).

Doğada en çok bulunan arsenik türü olan inorganik arsenik toprakta ve pek çok tip kayada, özellikle de bakır ya da kurşun içeren minerallerde, cevherlerde, yüzey ve yeraltı sularında baskın iken organik arsenik türleri doğal gaz ve petrolde baskındır. Özellikle Fe, Pb, Hg, Zn, Ag ve Cu metalleri ile sülfür gibi bazı minerallerde arseniğin doğal olarak bulunması oldukça yaygındır (USEPA, 2002).

4.2.2 Kayaç, sediment ve toprak bileşimlerinde arsenik

Arsenik kayaçların çoğunda 1-15 mg/kg (ortalama 2 mg/kg) bulunmaktadır. Kumtaşları ile kireçtaşlarında da aynı miktarlarda arsenik bulunmaktadır. Fosfat kayalarında 200 mg/kg, diğer bazı sedimenter kayaçlarda ise 900 mg/kg değerlerine kadar arsenik bulunmaktadır (Nriagu, 1994). Kontamine toprak numunelerindeki arsenik 0,2-40 mg/kg iken, bu miktar farklı jeolojik yapılardan oluşan kumtaşı ve dolomit numunelerinde 67 mg/kg'a ve çeşitli maden kömürlerinde ise 100 mg/kg'a kadar çıkabilmektedir (WHO, 1981). Arsenik toprakta, bazı kaya türlerinde ve özellikle kurşun ve bakır içeren mineral ve cevherlerde doğal olarak bulunur (Chou ve Rosa, 2003). Arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda, oksitlerde de izlenir (Şahinci, 1970).

Ayrıca karbonatlı kayalar, kireçtaşı/dolomit ve travertendeki kırık zonlar boyunca oluşan realgar ve orpiment formundaki epitermal jipsler ve volkanik kayalarda da yüksek arsenik konsantrasyonları bulunmaktadır (Doğan ve Doğan, 2007).

4.3 Arsenik Türleri

Arsenik bileşikleri organik ve inorganik olmak üzere iki formdadır. Elementel arseniğin oksijen, klor ya da kükürt ile bileşik oluşturmuş haline inorganik arsenik; karbon, hidrojen ile bağlanmış haline ise organik arsenik denir (Erdoğan, 2005). Doğada en çok bulunan arsenik türü olan inorganik arsenik toprakta ve pek çok tip

kayada, özellikle de bakır ya da kurşun içeren minerallerde, cevherlerde, yüzey ve yeraltısularında baskın iken organik arsenik türleri doğal gaz ve petrolde baskındır (USEPA, 2002). Organik arsenik türlerinin konsantrasyonları yeraltısuyunda ufak bir rol oynamaktadır (Tretner, 2002). Arsenik suda genellikle inorganik formda bulunur ve katı fazın çözünmesi sonucunda oluşur (Smith, 2004). İnorganik arsenik, As III ve As V türlerini kapsayan bir terimdir (Hung vd., 2004). As III ve As V türlerinden herhangi birisi yeraltısularında baskın olabilir (Kim vd., 2000). Genellikle oksijence zengin aerobik ortamlarda As^{5+} türleri baskın ve kararlı iken, yeraltısuyu gibi indirgen anaerobik koşullarda ise As^{3+} türleri baskındır (Viraraghavan vd., 1999). 0 ve -3 değerlikli arsenik doğada nadiren bulunur (Bissen ve Frimmel, 2003). Arseniğin taşınımı ve toksisitesi kimyasal formu ve değeri ile değişir^{6,7}. As^{3+} bileşikleri As^{5+} bileşiklerine göre suda 4 ila 10 kat daha fazla çözünür halde bulunur (Vaclavikova vd., 2008). İnorganik arsenik türleri, organik arsenik türlerinden daha toksiktir (Neff, 1997). Arsenit, arsenata göre 60 kez daha toksik özellikte olup, inorganik arsenik bileşikleri de organik bileşiklerine göre 100 kez daha toksiktir (Maes ve Pate, 1977; Vural, 1996; Dip, 2001).

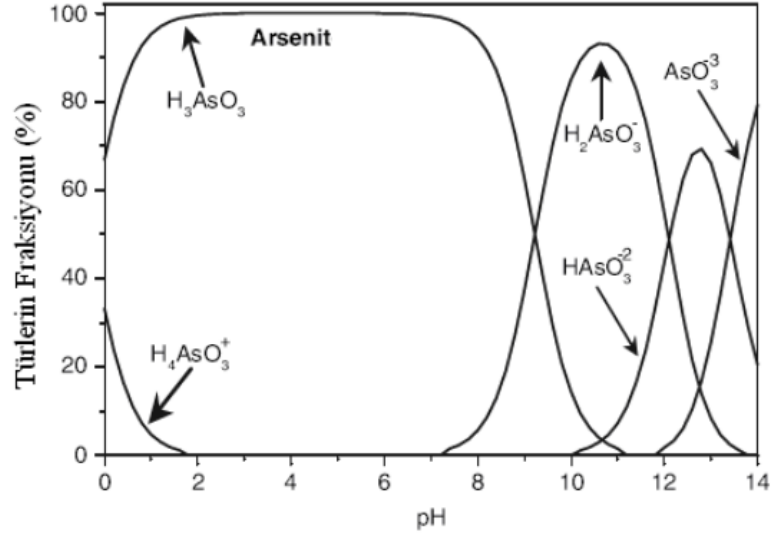
As V sulu çözelti içinde pH değerine göre H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ ve AsO_4^{3-} gibi dört şekilde bulunur. Benzer bir şekilde As III'de sulu çözelti içinde pH değerine göre $H_4AsO_3^+$, H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$ ve AsO_3^{3-} gibi beş şekilde bulunur. Arsenatın iyonik formları pH>3 de baskındır. Arsenit ise pH<9'da nötr ve pH>9'da iyoniktir (Edwards, 1998). Arsenik doğada kolay bir şekilde oksidasyon basamağını ve kimyasal formunu değiştirir. Arseniğin değerliliğini ve türünü suyun pH değeri, redoks potansiyeli, sülfür, demir ve kalsiyum gibi iyonların varlığı ve mikrobiyal aktiviteler etkilemektedir (USEPA, 2002).

İndirgen ortamlarda As(III)'ün H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$, $HAsO_3^{2-}$, AsO_3^{3-} iyonlarının, yükseltgen ortamlarda ise As(V)'in H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ ve AsO_4^{3-} iyonlarının var olduğu bilinmektedir (Kumar vd., 2004). pH değerine bağlı olarak arsenit (As^{3+}) ve arsenat (As^{5+}) türleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Arsenit As^{3+} , suyun pH'a bağlı olarak değişik şekillerde bulunur. As^{3+} , pH 2-7 arasında genel olarak H_3AsO_3 halinde bulunmaktadır. Suyun pH > 8 üzerinde olduğu zaman yine ortamın pH'a bağlı

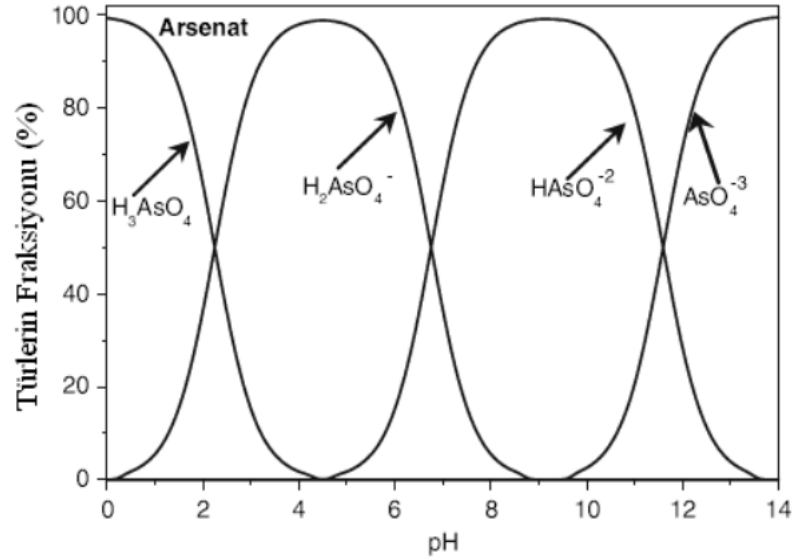
⁶ <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r97009/625r97009.pdf>) Erişim Tarihi: 07.07.2014.

⁷ <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/arsenic/recognition.html>. Erişim Tarihi: 07.07.2014.

olarak As^{3+} , H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-} ve AsO_3^{3-} halinde bulunmaktadır. As^{5+} , su ortamının pH değerine bağlı olarak değişik formda bulunur. pH 5-8 aralığında arsenit (As(III)) protonlanmış halde ve arsenat (As(V)) anyon olarak H_2AsO_4^- ve HAsO_4^{2-} çözülmüş durumlarda bulunabilmektedir (Kartinen ve Martin, 1995).



Şekil 4.1 Sulu ortamda pH değerine bağlı olarak As^{3+} türleri (Vaclavikova vd., 2008).



Şekil 4.2 Sulu ortamda pH değerine bağlı olarak As^{5+} türleri (Vaclavikova vd., 2008).

İnorganik arseniğin sudaki kararlı türleri artı yüklü iyonlar olarak değil, oksijenli eksi yüklü anyonlar şeklinde bulunur (Mohan ve Pittman, 2007).

Arsenik ağır metaloidler ve genellikle yeraltısuyunda pH 6,5-8,5 değerlerinde bulunan taşınım hassas oksianyon oluşturan (arsenik, selenyum, antimon, molibden, vanadyum, krom, uranyum, renyum gibi) elementlerin oksitleyici ve indirgeyici koşullarının her ikisinin altında da belki de eşsizdir. Bu kural yeraltısularında her

zaman geçerli olmamasına rağmen, genellikle (üç değerlikli indirgenmiş formu As III) arsenit anaerobik koşulların varsayıldığı yeraltısularında ve (beş değerlikli oksitlenmiş formu As V) arsenat aerobik koşulların varsayıldığı yüzey suyunda bulunur. Bazı yeraltısularının sadece As (III)'e diğerinde sadece As V'e bazı su kaynaklarının ise her iki forma sahip olduğu bulunmuştur (Ferguson ve Gavis, 1972; Korte ve Fernando, 1991; Cheng vd., 1994; Hering ve Chiu, 2000).

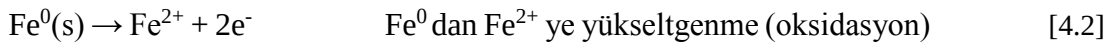
4.4 Arseniğin İndirgenme-Yükseltgenme Kimyası

İndirgenme-yükseltgenme reaksiyonları redoks reaksiyonları olarak da bilinir, elementel oksidasyon koşullarındaki değişimi içerir. Yükseltgenme (oksidasyon) bir elementin elektron vermesidir ve indirgenme (redüksiyon) ise elektron almasıdır. Suyun redoks potansiyelindeki (Eh) değişimler, arseniğin değerlik durumunu kontrol ederek arsenik toksisitesini ve hareketliliğini büyük ölçüde etkileyebilir. Özellikle elektron transfer reaksiyonları, ortaya çıkan arsenik türlerinin çevresel davranışını etkileyebilir.

Elektronlar çözelti içinde serbestçe bulunamaz, bu nedenle indirgenme olmadan yükseltgenme veya tam tersi de olamaz. Örneğin Fe^{2+} yükseltgenmesi ve demir hidroksitin çökmesidir. Bu reaksiyonda demir +2 halinden +3 haline oksitlenir ve oksijen 0 halinden -2 haline indirgenir. Diğer taraftan kalsit çözündüğünde,



Bir redoks tepkimesi değildir. Çünkü kalsiyum ve karbonun yükseltgenme sayıları sırasıyla +2 ve +4'dür, ve bunlarda reaksiyon esnasında değişiklik yoktur.



Yukarıdaki reaksiyonda Fe^0 bir elektron vererek oksitlenmiş (ve indirgen madde olarak adlandırılmış) ve oksijen de bir elektron alarak yükseltgen madde olarak adlandırılmıştır (Bundschuh ve Zilberbrand, 2012).

Arsenik kalsit'in aksine demir gibi redoks tepkimesinin gerçekleştiği bir elementtir. Arseniğin hangi türünün ortamda baskın halde olduğu; ortamın pH 'sına ve arsenikle birlikte bulunan yükseltgen ve indirgen türlere bağlı olarak değişir (Kartinen ve Martin, 1995).

Arsenik hem oksitlenebilir hem de indirgenebilir yapısından dolayı problemli bir kirletici özelliğe sahiptir. Arsenik konsantrasyonu indirgenme koşulları altında diğer ağır metallerden 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 olamayabilir. Arsenik (III) ve Arsenik (V) farklı yüzeye tutunma izotermelerine sahiptirler. Böylece yeraltısuyu ortamı boyunca farklı hızlarla taşınır ve akış boyunca ayrılırlar. Arsenik III 'ün, indirgeyici şartlar altında Arsenik V'ten üç kat daha hızlı taşındığı anlaşılmıştır. pH 8,3 civarında indirgeyici şartlar altında As (III) ve As (V) eşit hızlarla taşınır (Claesson ve Fagerberg, 2003).

Doğal sulardaki As III veya As V bileşenlerin bulunmasında, sülfidlerin yükseltgenmesi ve demir fazların indirgenmesi etkili olmaktadır (Kartinen ve Martin, 1995). Gündüz vd., (2012), çalışmalarında indirgeyici koşullar altında arseniğin, As III formunda olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışma alanını temsil eden örneklerde arsenik ile yüksek korelasyona sahip olan demir ve manganın, çöktürmeleri üzerinde arseniğin adsorplandığı anlaşılmıştır.

As⁺³'ün Yükseltgenmesi

Manganez oksitler, topraktaki hem koloidal hem de koloidal olmayan parçacıklarda bulunurlar ve As⁺³'ün As⁺⁵'e yükseltgenmesinde de elektron alıcı oldukları belirlenmiştir (Oscarson, 1981a).

Üç farklı manganez dioksitin (birnesit, kriptomelan ve pirolusit) çözeltideki As⁺³'ü oksitleme kabiliyeti incelendiğinde, elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; her üç manganez dioksit de As⁺³'ün As⁺⁵'e yükseltgenmesini sağlamaktadır. Manganez oksitlerin yüzeyinde As⁺³'ün adsorplanması suretiyle, As⁺³'ün sudaki konsantrasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, birnesit ve kriptomelanın, pirolusite göre nispeten daha yüksek kinetik hızlarda As⁺³'ü As⁺⁵'e dönüştürdüğünü belirtmişlerdir (Oscarson, 1983).

Sun (1999) tarafından yapılan arsenitin mangan ile yer değiştirilmiş (Mn-substituted) götit üzerinde yükseltgenmesine dair spektroskopik çalışma sonucunda, As⁺³'ün As⁺⁵'e yükseltgenmesinin Mn-substituted götit tarafından desteklendiğini ortaya koynulmuş ve As⁺³'ün yükseltgenme hızının, götitteki Mn yer değiştirmesi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Aynı çalışmada yükseltgenme reaksiyonunun

pH'tan ziyade sıcaklığa karşı hassas olduğu belirtilmiştir. Foster (1998) ise As^{+3} 'ün önemli bir kısmının Georgia kaolini üzerinde yükseltgendiğini, fakat anataz ile tepkimeye girdiğinde neredeyse tamamen As^{+5} 'e yükseltgendiği belirlemiştir. Ayrıca As^{+3} 'ün Georgia kaolini ve Montana illiti yüzeylerinde önemli boyutlarda heterojen yükseltgenmeye uğradığını ve herhangi bir katı mineral bulunmayan ve pH>9 olan alkali çözeltilerde, As^{+3} 'ün homojen yükseltgenmeye uğrayarak As^{+5} 'e yükseltgendiği belirlenmiştir (Manning ve Goldberg, 1997b).

As^{+5} 'in İndirgenmesi

Cummings (1999) tarafından yapılan çalışmalarda, katabolik (solunumsal) olarak Fe^{+3} indirgeyen bakteri türü Shewanella alga ile arsenik mobilizasyonunu göstermiştir ki; demir indirgeyen bakteriler, kristalli ferrik arsenatın yanı sıra çökeltiiler üzerindeki tutunma (sorpsiyon) yüzeylerinden de arsenik mobilizasyonunu arttırmıştır. Bu bakteriler, Fe^{+3} ve Fe^{+2} 'nin katabolik indirgenmesi ve bu sayede çökeltiiler tarafından sorplanmış As^{+5} 'in çözünür hale gelmesi sonucunda skorodit mineralinden arsenat salınmasını sağlamıştır. Anılan çalışmalarda ayrıca, demir indirgeyen bakterilerin solunum faaliyetlerinin As^{+5} 'i As^{+3} 'e indirgemediğini, fakat demir-arsenat mineralinin indirgeyici çözünümü sayesinde çözültideki arsenat miktarını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Mcgeehan ve Naylor'a (1994) göre ise, suya doymun iki farklı topraktaki tutunma reaksiyonlarının arsenit ve arsenat dönüşüm hızı üzerindeki etkilerine bakıldığında; İki toprak türü, $H_3AsO_3^0$ and $H_2AsO_4^-$ 'a dair tutunma kapasitelerinde farklılık gösterdiği ifade edilmektedir. Bu araştırmacıların sonuçları göstermiştir ki; çözünmüş konsantrasyonları başlangıçta Mn ve Fe oksitler (oksihidroksitler) üzerindeki tutunma kontrol ederken, anaerobik şartlar sağlandıktan hemen sonra Fe ve Mn oksihidroksitlerin çözünümü gerçekleşmiş ve bu da sorplanmış arsenik türlerinin salınımına sebep olmuştur. Ardından, $H_2AsO_4^-$ hızlıca H_3AsO_4 'e indirgenmiştir. Yazarlar, oksihidroksit arsenik çözünümünün, arsenat geri salım (desorpsiyon) ve indirgenmesinin; çözünmüş arsenik seviyesi ve redoks durumunun kontrol edilmesinde etkili olan birçok faktör arasında yer aldığı sonucuna varmışlardır.

Katılarda ve suda arseniğin indirgenme-yükseltgenmesi

Carbonell (2000) tarafından pH ve pE'nin arsenik türleşmesi ve çözünürlüğü üzerine etkilerini göstermek için kullanılan artıma çamuru çalışmalarında, oksitleyici şartlar

altında arıtma çamurundaki arsenik çözünürlüğü çok düşükken; orta seviyede indirgeyici şartlar altında çözeltideki ana tür arsenit olmak üzere arsenik çözünürlüğünün önemli miktarda arttığı gözlemlenmiştir. Anılan çalışmada, yüksek seviyede indirgeyici şartlarda ise çözünmeyen arsenit sülfidlerin oluşması sebebiyle arsenik çözünürlüğü çarpıcı şekilde düştüğü gözlenmiş ve ayrıca araştırmacılar, çözünmüş arseniğin nötr pH değerlerinde maksimum olduğunu, asidik ve bazik değerlerde ise azaldığını belirlemişlerdir.

Massacheleyn (1991) göre, redoks potansiyeli ve pH'ın kirletilmiş topraklardaki arsenik türleşmesi ve çözünürlüğü üzerine etkilerini araştırması sonucunda; arseniğin oksidasyon durumunda, redoks potansiyeli ve pH etkilerinden kaynaklanan değişimlerin topraktaki çözünürlüğü önemli ölçüde etkilediğini tespit etmiştir. Yazarın bulgularına göre arsenik çözünürlüğü, arseniğin çoğunun As^{+5} olarak bulunduğu toprağın yüksek redoks seviyelerinde düşüktür. Ayrıca, bazik pH'larda ve orta seviyede indirgeyici toprak koşullarında, As^{+5} 'in As^{+3} 'e indirgenmesinin çözeltiye önemli miktarlarda arsenik saldıgını da ifade etmektedir. Dahası, çözeltideki arsenik artışından demir oksihidroksitlerin çözünmesinin sorumlu olduğunu da belirtmiştir.

Aşağıda arsenik için verilen denge reaksiyonları çizelgesinde (Tablo 4.3), sol sütunda arsenik reaksiyonları, sağ sütunda ise bu reaksiyonlara ait standart serbest enerji değişimi (ΔG^0) ve pH değerleri yer almaktadır. ΔG^0 bir reaksiyonun termodinamik olarak gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirtmektedir. ΔG^0 değerinin negatif olması, reaksiyonun ürünler yönüne doğru istemli olduğunu ($\Delta G^0 < 0$ ise istemli). ΔG^0 değerinin pozitif olması ise, reaksiyonun ürünler yönüne doğru istemsiz, girenler yönüne doğru ise istemli olduğunu göstermektedir ($\Delta G^0 > 0$ ise istemsiz). $\Delta G^0 = 0$ durumunda ise denge hali söz konusudur. Verilen pH eşitliği ile ilgili minerallerin bilinen derişimleri eşitlikte yerine yazılarak, o koşullardaki pH değerleri bulunabilir.

Tablo 4.3'de yer alan;

$5Mg_3(AsO_4)_2 + 12CO_3^{-2} + 18H_2O + 4H^+ = 3[4MgCO_3.Mg(OH)_2.4H_2O] + 10HAsO_4^{2-}$ reaksiyonunda serbest enerji değişimi (ΔG^0) değeri -266.69 kJ olduğu için bu reaksiyonun gerçekleşmesi doğal bir olaydır. Eğer ortamda magnezyum arsenat ile birlikte karbonat ve diğer bileşenler var ise arsenik serbest kalır. Böylece suda (arsenat türüne ait olan) $HAsO_4^{2-}$ iyonu miktarı artar. $\Delta G^0 > 0$ değerine sahip olan reaksiyonların ise doğal yolla gerçekleşmesi genellikle zordur.

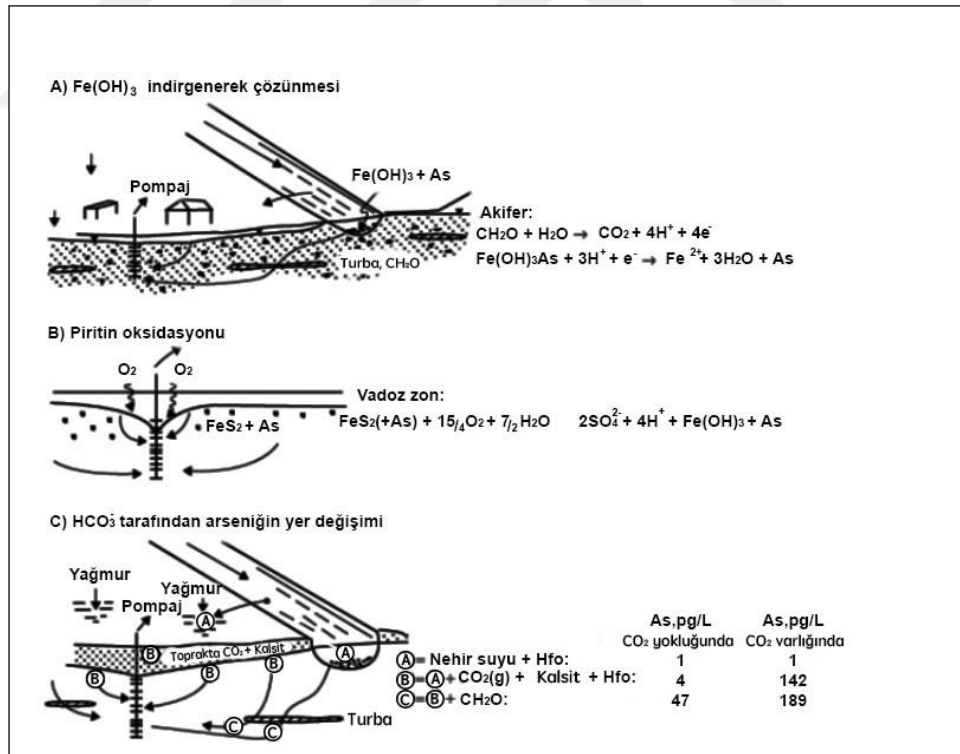
Tablo 4.3 Arsenik için bir dizi denge reaksiyonu (Robins, 1981)

FeAsO ₄ için denge reaksiyonları;	
$\text{FeAsO}_4 + 3\text{H}^+ = \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{Fe}^{3+}$ $\text{FeAsO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ = \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{FeOH}^{2+}$ $\text{FeAsO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{AsO}_4^- + \text{FeOH}^{2+}$ $\text{FeAsO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{AsO}_4^- + \text{H}^+$	pH: 0.12- $1/3 \log \text{H}_3\text{AsO}_4 - 1/3 \log \text{Fe}^{3+} \Delta G^0$: -2.05 kJ pH: -0.90- $1/3 \log \text{H}_3\text{AsO}_4 - 1/2 \log \text{FeOH}^{2+} \Delta G^0$: 10.33 kJ pH: -4.05- $\log \text{H}_2\text{AsO}_4^- - \log \text{FeOH}^{2+} \Delta G^0$: 23.14 kJ pH: 5.30+ $\log \text{H}_2\text{AsO}_4^- \Delta G^0$: 30.25 kJ
Ca ₃ (AsO ₄) ₂ için denge reaksiyonları;	
$\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + \text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{AsO}_4^- + 3\text{Ca}^{2+}$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{HAsO}_4^{2-} + 3\text{Ca}^{2+}$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 = 2\text{AsO}_4^{3-} + 3\text{Ca}^{2+}$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{AsO}_4^{3-} + 3\text{CaOH}^+ + 3\text{H}^+$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{AsO}_4^{3-} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}^+$	pH: 4.56- $1/2 \log \text{H}_2\text{AsO}_4^- - 3/4 \log \text{Ca}^{2+} \Delta G^0$: -104,10 kJ pH: 2.36- $\log \text{HAsO}_4^{2-} - 3/2 \log \text{Ca}^{2+} \Delta G^0$: -26.94 kJ $\log \text{AsO}_4^{3-} = -9.24 - 3/2 \log \text{Ca}^{2+} \Delta G^0$: 105,44 kJ pH: 18.83 + $2/3 \log \text{AsO}_4^{3-} + \log \text{CaOH}^+ \Delta G^0$: 322,42 kJ pH: 14.41 + $1/3 \log \text{AsO}_4^{3-} \Delta G^0$: 322,42 kJ
Ca ₃ (AsO ₄) ₂ ile HCO ₃ ⁻ denge reaksiyonları;	
$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ $\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{HCO}_3^- = 3\text{CaCO}_3 + 2\text{HAsO}_4^{2-} + \text{H}^+$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = 3\text{CaCO}_3 + 2\text{HAsO}_4^{2-}$ $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{CO}_3^{2-} = 3\text{CaCO}_3 + 2\text{AsO}_4^{3-}$	pH: 1.35+ $2 \log \text{HAsO}_4^{2-} - 3 \log \text{HCO}_3^- \Delta G^0$: 7.70 kJ pH: 14.80- $\log \text{HAsO}_4^{2-} + 3/2 \log \text{CO}_3^{2-} \Delta G^0$:-169,16 kJ $-\log \text{AsO}_4^{3-} = 3.22 + 3/2 \log \text{CO}_3^{2-} \Delta G^0$:-36.78 kJ
$\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{AsO}_4^- + 3\text{Mg}^{2+}$ $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{HAsO}_4^{2-} + 3\text{Mg}^{2+}$ $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{HAsO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ $2\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 3\text{HCO}_3^- + 15\text{H}_2\text{O} = 3[\text{Mg}(\text{OH})_2.\text{MgCO}_3.3\text{H}_2\text{O}] + 4\text{HAsO}_4^{2-} + 5\text{H}^+$ $5\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 12\text{HCO}_3^- + 18\text{H}_2\text{O} = 3[4\text{MgCO}_3.\text{Mg}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}] + 10\text{HAsO}_4^{2-} + 8\text{H}^+$ $5\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 + 12\text{CO}_3^{2-} + 18\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ = 3[4\text{MgCO}_3.\text{Mg}(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}] + 10\text{HAsO}_4^{2-}$	pH: 4.26- $\log \text{H}_2\text{AsO}_4^- - 3/4 \log \text{Mg}^{2+} \Delta G^0$:-97.19 kJ pH: 1.76- $\log \text{HAsO}_4^{2-} - 3/2 \log \text{Mg}^{2+} \Delta G^0$:-20,04 kJ pH: 11.68+ $1/2 \log \text{HAsO}_4^{2-} \Delta G^0$:266,73 kJ pH: 10.58- $3/5 \log \text{HCO}_3^- + 4/5 \log \text{HAsO}_4^{2-} \Delta G^0$:301,96 kJ pH: 9.65+ $5/4 \log \text{HAsO}_4^{2-} - 3/2 \log \text{HCO}_3^- \Delta G^0$:440,74 kJ pH: 11.68- $5/2 \log \text{HAsO}_4^{2-} + 3 \log \text{CO}_3^{2-} \Delta G^0$:-266.69 kJ

4.5 Arseniğin Çözünme-Çökelme Kimyası

Arsenik katı ve minerallerinin çökelme ve çözünme kimyasının anlaşılması; arseniğin yeraltı ve yüzey sularındaki çevresel konsantrasyonlarını, türleşmelerini, taşınım ve akıbetlerini anlamak açısından çok önemlidir. Sulu çözeltilerden katı faz bileşiklerinin oluştuğu çok çeşitli kimyasal reaksiyonlar çökelme veya birlikte çökelme reaksiyonları olarak bilinirler. Aksine, kristal yapıli minerallerin ve amorf katı faz bileşiklerinin, çözünmüş faz çözeltilerine dönüşmesi ise çözünme reaksiyonları olarak adlandırılır. Arsenik için, çözünme-çökelme reaksiyonları ile ne kadar arseniğin katı fazda ve ne kadarının da çözünmüş fazda olduğunu belirleyen çok sayıda mineral ve katı faz bileşiği mevcuttur. Özel çevresel koşullar altında, nasıl bir kimyasal reaksiyon hızının ortaya çıkacağını belirlenmesinde hem pH hem de pE (Eh) önemli rol oynar. Bunlara ek olarak, arseniğin değerlik durumu da çözünme-çökelme reaksiyonları açısından önemlidir

Apollo (2008) Bangladesh ve batı Bengal yeraltısularında sedimentlerden arseniğin serbest kalmasını aşağıdaki, üç kimyasal reaksiyonla açıklamaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Bangladesh ve batı Bengal yeraltısularında yüksek arsenik konsantrasyonlarına ait gerçekleşen reaksiyonlar (Apello, 2008).

- Demirhidroksitin indirgenerek çözünmesi,
- Piritin oksidasyonu,
- Bikarbonat tarafından arseniğin yer değişimi,

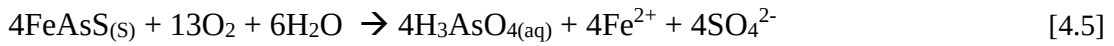
Bunlar;

A) Demir oksihidroksitler organik madde tarafından indirgenir ve sorblanmış arsenik serbest kalır (Apello, 2008).

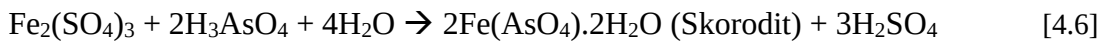
B) Pompaj ile birlikte oluşan düşüm sonucu prit ile oksijen erişimi kolaylaşır ve çözünme başlar (Apello, 2008).

C) Yeraltısularında yüzey sularından daha fazla konsantrasyonda olan bikarbonat nehir sedimentlerinde depolanmış demir oksihidroksitlerdeki arsenikle yer değiştirir (Apello, 2008).

Şekil 4.3’de ifade edilen reaksiyonlar, majör çözünenler ve arseniğin korelasyonu, sürecin baskınlığını göstermektedir. Birinci reaksiyonu (A) organik karbon başlatır, Fe^{2+} ve (DOC) organik karbonun çözünmesiyle arsenik bağlantılıdır. İkinci reaksiyonda (B), FeS_2 -(As) çözünmesi ve oksidasyonu ile, PO_4^{3-} , HCO_3^- ve arsenik arasında bir korelasyon olduğu tahmin edilmektedir (Apello, 2008). Arseniğin mineral ve tuzlarını içeren jeolojik malzemelerin bozunması, çok sayıda aşamalı reaksiyonlar neticesinde arseniğin yükseltgenmesi ve çözünmesi sonucunu doğurur. En yaygın arsenik minerali olan arsenopiritin yükseltgenmesi ve çözünmesi için özet reaksiyon Denklem 4.5’de verilmiştir.



Yukarıda açıklanan arsenik mineralleri ve katı fazlara ek olarak, arseniğin çökeltme-çözünme kimyasını anlamakta önem arz eden birtakım katı fazlar mevcuttur. Bu katı faz bileşikler Al, Ba, Ca, Mg, Cd ve Mn arsenatlarını içermektedir. Düşük karbonatlı kuvvetli asidik şartlarda, çözünmüş arsenik hareketlidir; fakat zayıf asidik, nötr ya da hafifçe alkali şartlar altında, çözünmüş arsenik nispeten hareketsizdir. Bu hareketsizlik, özellikle sulu demir oksitler ve kobalt, nikel, kurşun ve çinko gibi metallerle ikincil arsenat minerallerinin oluşmasına sebep olan hidroliz ve birlikte çökeltme reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır. Denklem 4.6’da buna bir örnek verilmiştir:



Skorodit’in oluşması/çökeltmesi Denklem 4.7 ve 4.8’de gösterilen aşamalarda gerçekleşir:



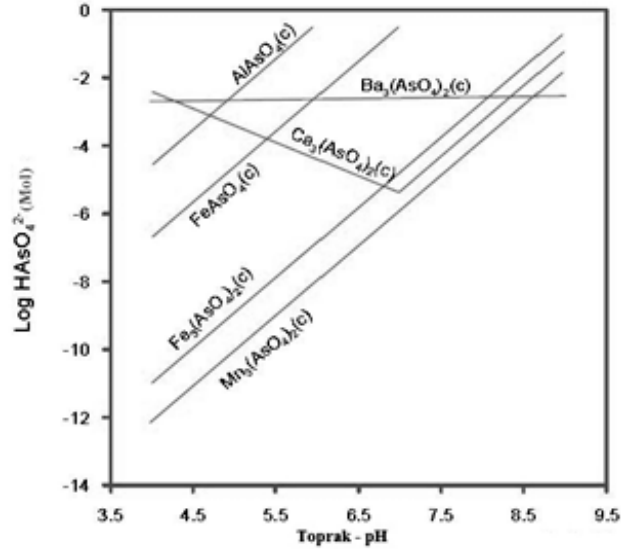
Co, Ni ve As⁵⁺ içeren ve Skorodit'inkine benzeyen çökelme reaksiyonları, eritrit ve anabergit oluşmasına neden olur. Toprak-su ortamında yeterli miktarlarda Pb ve Zn mevcut ise, bu durumda ikincil mineral çökeltileri olarak bödantit, adamit ve mimetit oluşur. Üç mineral; realgar, orpiment ve arsenolit, arseniğin indirgenmiş hali olan As⁺³ içerir. Bununla beraber, arsenolit, suyun bulunması halinde son derece kararsızdır ve oksijen tarafından kolayca yükseltgenebilir. Aksi takdirde, arsenolit suda az miktarda çözünebilir ve sonuçta zayıf asidik bir çözelti oluşur. Diğer iki mineral ise düşük pH'lı ve yüksek oranda indirgeyici bir ortamda bulunmadıkları sürece hızlı bir yükseltgenmeye uğrarlar.

Tablo 4.4'de standart koşullarda arsenik türlerine ait bir takım denge reaksiyonları ve sabitleri sunulmuştur.

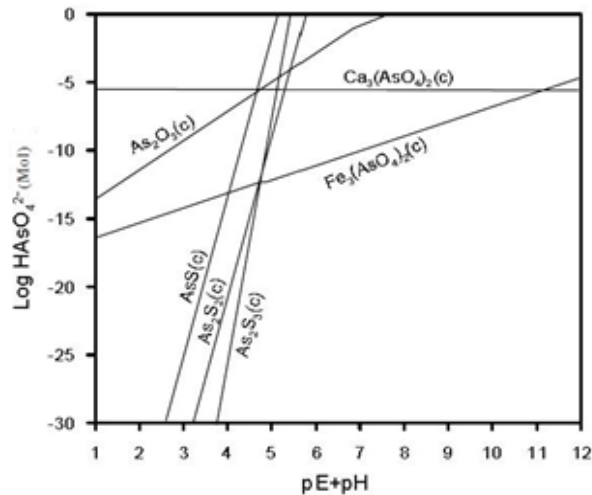
Tablo 4.4 Standart koşullarda arsenik türlerine ait bir takım denge reaksiyonları ve sabitleri (Sadiq, 1997)

Standart Koşullarda As Türlerinin Denge reaksiyonları ve Sabitleri (Log K ⁰)		
No	Chemical reactions	Log K ⁰
A: Arseniğin Katı Türleri		
1	As ₂ O ₃ (c.arsenolit) + 5H ₂ O $\leftrightarrow$ 2HAsO ₄ ²⁻ + 8H ⁺ + 4e ⁻	-58,68
2	As ₂ O ₃ (c.klodetit) + 5H ₂ O $\leftrightarrow$ 2HAsO ₄ ²⁻ + 8H ⁺ + 4e ⁻	-58,78
3	As ₂ O ₃ (c) + 3H ₂ O $\leftrightarrow$ 2HAsO ₄ ²⁻ + 4H ⁺	-11,63
4	AsS(c.realgar) + 8H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + SO ₄ ²⁻	-83,13
5	As ₂ S ₂ (c.orpiment) + 16H ₂ O $\leftrightarrow$ 2HAsO ₄ ²⁻ + 2SO ₄ ²⁻ + 30H ⁺ + 22e ⁻	-180,43
6	As ₂ S ₃ (c) + 20H ₂ O $\leftrightarrow$ 2HAsO ₄ ²⁻ + 3SO ₄ ²⁻ + 30H ⁺ + 33e ⁻	-219,14
7	AlAsO ₄ (c) + H ⁺ $\leftrightarrow$ Al ³⁺ + HAsO ₄ ²⁻	-4,70
8	Ba ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Ba ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-26,50
9	Ca ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Ca ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-1,91
10	Cd ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Cd ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-8,97
11	Cu ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Cu ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-14,97
12	FeAsO ₄ (c) + H ⁺ $\leftrightarrow$ Fe ³⁺ + HAsO ₄ ²⁻	-9,45
13	Fe ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Fe ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-18
14	Mn ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Mn ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-8,51
15	Ni ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Ni ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-2,21
16	Pb ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Pb ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-9,07
17	Zn ₃ (AsO ₄) ₂ (c) + 2H ⁺ $\leftrightarrow$ 3Zn ²⁺ + 2HAsO ₄ ²⁻	-8,20
B: Arseniğin Çözünmüş Türleri		
18	AsO ₂ ⁻ + 2H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + 3H ⁺ + 2e ⁻	-19,31
19	HAsO ₂ ^{II} + 2H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻	-28,60
20	AsO ₂ ⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ HAsO ₂ ⁰	-9,29
21	AsO ₃ ³⁻ + H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + H ⁺ + 2e ⁻	-6,13
22	HAsO ₃ ³⁻ + H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + 2H ⁺ + 2e ⁻	-7,27
23	H ₂ AsO ₃ ⁻ + H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + 3H ⁺ + 2e ⁻	-19,49
24	H ₃ AsO ₃ ^{II} + H ₂ O $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻ + 4H ⁺ + 2e ⁻	-28,63
25	AsO ₃ ³⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ HAsO ₃ ²⁻	-12,71
26	AsO ₄ ³⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ HAsO ₄ ²⁻	12,19
27	HAsO ₄ ²⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ H ₂ AsO ₄ ⁻	6,94
28	H ₂ AsO ₄ ⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ H ₃ AsO ₄ ^{II}	2,24
C: Organik Bileşikler		
29	CH ₃ .AsO ₃ ²⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ CH ₃ .HAsO ₃ ⁻	8,24
30	CH ₃ .HAsO ₃ ⁻ + H ⁺ $\leftrightarrow$ CH ₃ .H ₂ AsO ₃ ⁰	3,61

Sadiq (1997), çeşitli arsenat ve arsenit mineralleri/katı fazları için termodinamik çözünürlük izotermelerini hesaplamıştır. Bu sonuçlar arsenatlar için Şekil 4.4’de ve arsenitler için Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Bu hesaplamalar; Cd, Ni, Pb, Cu ve Zn’nin arsenatları kristalli $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ ’ye kıyasla oldukça çözünebilir olduğunu göstermektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, kristalli $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2$ ve kristalli $\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2$ birbirlerine çok yakın konsantrasyonlarda çözünmüş arsenik üretirler ve bu çözünürlük, asidik pH aralığında düşük iken pH arttıkça arsenik çözünürlüğü de artmaktadır. Bu mineraller, pH 7’den düşük olduğunda, $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ ’ye kıyasen daha az çözünürdürler. Şekil 4.3’te, $\text{pE}+\text{pH}$ ’ın 5’ten büyük olması halinde, As^{+5} ’e ait $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ ve $\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2$ minerallerinin tüm As^{+3} minerallerinden daha kararlı olduğu görülmektedir. As^{+3} sülfitleri, $\text{pE}+\text{pH}$ ’ın 5’ten az olduğu indirgeyici ve asidik koşullarda en kararlı minerallerdir.



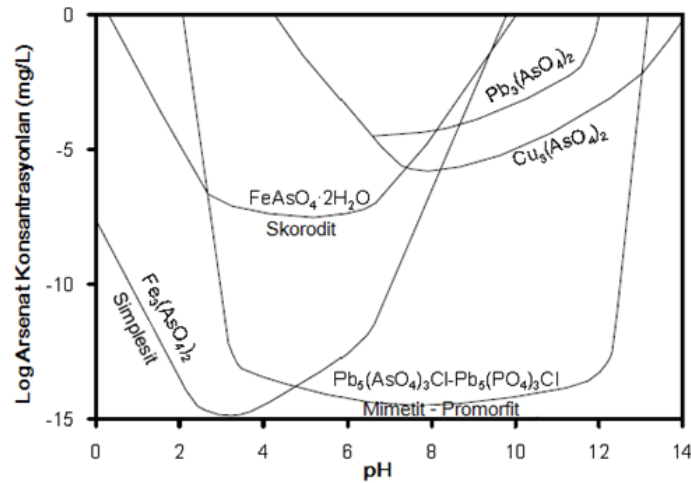
Şekil 4.4 Arsenat minerallerinin termodinamik çözünürlük izotermi (Sadiq, 1997).



Şekil 4.5 Arsenit minerallerinin termodinamik çözünürlük izotermi (Sadiq, 1997).

Robins (1981) FeAsO_4 , $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ ve $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2$ için kararlılık diyagramlarını oluşturmuştur. Anılan yazar, bu üç arsenat katısının çözünürlüklerinin nispeten yüksek olduğu ve havadaki CO_2 'nin, $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ 'nin çözünürlüğü üzerinde belirgin bir artırıcı etkisi olduğu ve $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2$ 'nin çözünürlüğünü de etkilediği sonucuna varmıştır.

Mimetit-piromorfit katı çözeltisi ve diğer bazı arsenat katılarına ait çözünürlükleri gösteren bir grafik pH'ın fonksiyonu olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Bu pH-çözünürlük diyagramı, skoroditin, 3'ün altındaki asidik pH değerlerinde arsenat için çözünürlüğü kontrol eden bir katı olduğunu ve arsenat-fosfat katı fazının, 3-12 aralığındaki pH değerlerinde çözünürlüğü kontrol ettiğini göstermektedir. Skorodit, bir arsenat-fosfat katı çözeltisi olan mimetit-piromorfite göre çok daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (Davis vd., 1996).

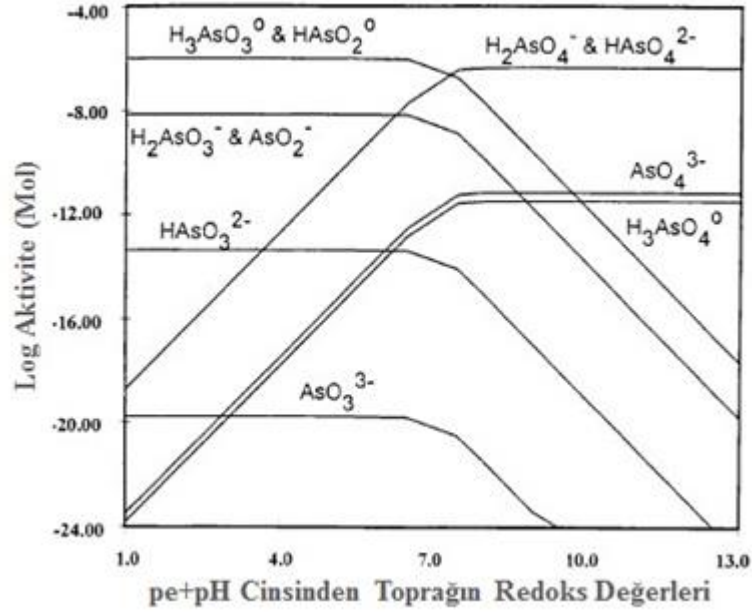


Şekil 4.6 pH'ın bir fonksiyonu olarak metal arsenatların çözünürlüğü (Ruby vd., 1996).

Kim vd. (2000), akifer kayacının arsenik salınımı, bikarbonat konsantrasyonu tarafından güçlü bir şekilde etkilediğini görmüşler. Sülfid minerallerinin karbonasyonunun; daha sonra yeraltısularında kararlı arseno-karbonat kompleksleri oluşturacak arsenik salınımına sebep olduğunu da varsaymışlar. Karbonat iyonunun ayrıca iyon değiştiren substratlardaki yer değiştirme bölgeleri için mücadeleye girdiği ve sulu çözeltelerde AsO_4^{3-} salınımını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Sadiq (1997), termodinamik tahminleri ve saha gözlemlerini vurgulamak suretiyle topraktaki arsenik kimyasına kapsamlı bir çerçeve çizmiştir. Yazarın, termodinamik hesaplamaları göstermiştir ki; asidik, oksik ve sub-oksik (oksik altı) topraklarda arsenik çözünürlüğünü demir-arsenat kontrol ederken, anoksik topraklarda toprakla temas halinde olan çözeltilerdeki çözünmüş arsenik konsantrasyonlarını As^{+3} 'ün

sülfitleri kontrol edebilmektedir. Bu hesaplamalar ayrıca; As^{+5} 'in sulu türleri ($HAsO_4$), oksitli topraklarda $pE+pH$ 9'dan büyük olduğunda daha hakim olduğunu göstermektedir (Şekil 4.7). Sadiq (1997) ayrıca, $pE+pH$ 'ın 7'den küçük olmasıyla tanımlanan nispeten anoksik koşullarda, arseniğin $H_3AsO_3^0$ türleri gibi As^{+3} 'ün sulu formlarında olmasının beklendiğini bildirmiştir.

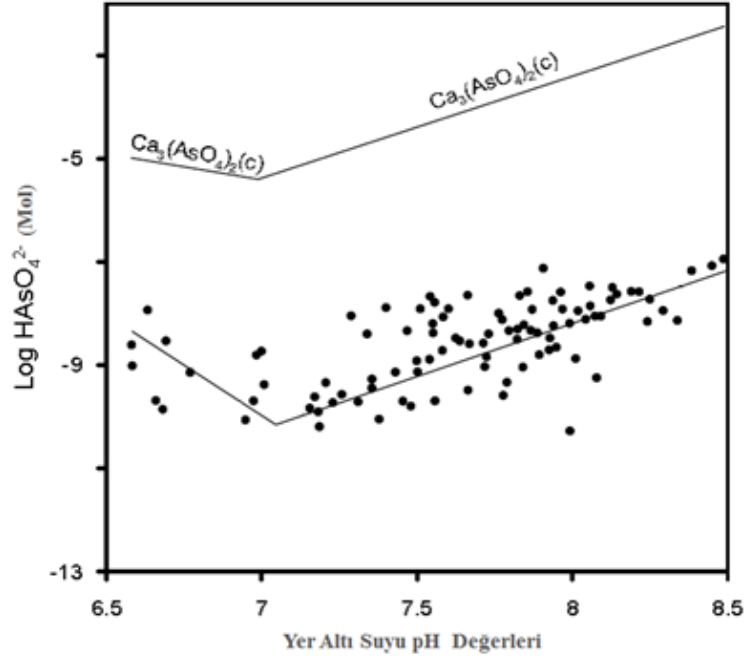


Şekil 4.7 Toprakta arseniğin $pE+pH$ 'a göre türleri (Sadiq, 1997).

Sadiq ve Alam (1996), yeraltısularından alınan numunelere yapılan Eh, pH ve arsenik konsantrasyonu ölçümleri sonucunda; Şekil 4.8'de görüleceği üzere, önemli arsenatlar için termodinamik çözünürlük izotermi hazırlamış ve yeraltısuyu numunelerindeki $HAsO_4^{2-}$ türlerinin aktiviteleri hesaplamıştır. Bu şekil, gözlemlenen arsenat konsantrasyonlarının, $Ca_3(AsO_4)_2(c)$ 'nin çözünürlüğü için hesaplanan değerlerden çok daha düşük olduğunu; ancak, genel eğilim olarak ölçülen değerlerin teorik değerlerle benzer olduğunu belirtmişlerdir. Bu iyonik aktivitelerdeki farklılıklar, güvenilir termodinamik verilerin eksikliğine bağlanmış ve bu bölgedeki yeraltısuyu arsenik konsantrasyonlarının büyük ihtimalle $Ca_3(AsO_4)_2$ tipli bir mineralin yer aldığı çökeltme-çözünme tepkimeleri tarafından kontrol edildiğini bildirmektedirler.

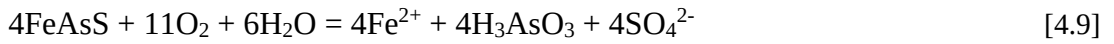
Arsenik farklı yükseltgenme basamaklarında bulunur ve arseniğin bazı yapıları diğerlerine göre sudan daha kolay ayrılır. Arsenik gidermedeki etkinlik açısından yükseltgenme basamağı en temel faktörlerden biridir. Örneğin arsenat ve demir (Fe^{3+})

arasındaki tepkime, çözünmez bir çökelek olan FeAsO_4 ' u oluşturur (Kashi vd., 2001; Krishna, 2001).



Şekil 4.8 pH'nın bir fonksiyonu olarak yeraltısuyu numunelerinde hesaplanan arsenat aktivite (Sadiq ve Alam, 1996).

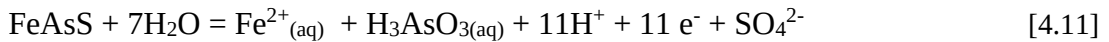
Redoks durumu, topraktan yeraltısularına jeojenik As salınımının kontrolünde kilit bir faktördür. Arsenik, maden ortamlarında piritteki sülfürün yerine geçerek As taşıyan sülfid minerallerinin yükseltgenmesi ile yeraltısularına doğru hareketlenebilir (Savage vd., 2000). Doymamış bölgede oksijen ve su tarafından yükseltgenebilir ki bu da III değerlikli arseniti çözer (Walker vd., 2006).



Aynı zamanda, oksijenin bulunması durumunda As(III) As(V)'e yükseltgenir:

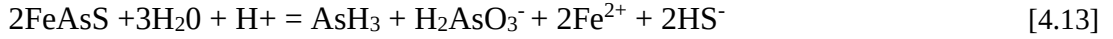


Doymuş bölgede, çok indirgeyici şartlarda ve geniş bir pH aralığında arsenopirit nispeten kararlı bir mineraldir (Craw vd., 2003). Orta seviyede indirgeyici koşullarda arsenopirit su tarafından yükseltgenebilir:



Çok indirgeyici koşullarda, SO_4 indirgenmesi, H_2S oluşumuna sebep olur ve arsenik, arsenikçe zengin pirit gibi ikincil sülfidlerde birlikte çökelmeye uğrayabilir (Sracek vd., 2004). Çözünmüş SO_4 ve üretilen H_2S konsantrasyonu düşük ise, ikincil sülfidler

çökmez ve As hareketli olur. Bu durum, doymuş bölgedeki arsenopirit çözünümü için genel reaksiyon olan (Denklem 4.13) reaksiyonuyla açıklanabilir:



Arsenopiritin ve diğer Fe(II) taşıyan minerallerin bozunması ve yükseltgenmesi, arsenopirit tanelerinin yüzeyinde çökelen ve daha sonra götit ve ferrihidrat gibi daha kararlı ikincil demir minerallerine dönüşen ferrik hidroksitin oluşmasına sebep olur (Kocourkova vd., 2011).



Sracek vd.,'ne (2004) göre, denklem 4.11 - 4.12 - 4.14 ve 4.15 reaksiyonları H^+ iyonlarının artışına neden olmaktadır. Üretilen bu H^+ iyonlarının tamamı ya da bir kısmı karbonat çözünümü gibi nötralizasyon reaksiyonlarında harcanabilir ya da arsenopiritin yükseltgenmesi ile üretilene eklenir [Denklem 4.9 – 4.11 – 4.13].

Ferrik hidroksitin oluştuğu bu reaksiyonlar yüksek öneme sahiptir, zira, oksitleyici şartlarda Fe(III) oksit ve hidroksitler karardır ve hem As(V) hem de As(III) bu yüzeylerde adsorplanır (Sracek vd., 2004). Bu nedenle, Fe(III) oksihidroksitlerin çözünmüş inorganik arseniği kompleksleşme yoluyla kuvvetlice adsorplaması sebebiyle, topraktaki arsenik hareketliliği demir biyojeokimyasıyla yakından ilintilidir. Piritin Fe(III) oksihidroksitlere yükseltgenmesi esnasında hareketlenen As'nin tutunma eğilimi, pH ve redoks şartlarına bağlıdır. Ayrıca, arseniği sorplayan Fe(III) oksihidroksitlerin indirgenerek çözünmesi ile, yeraltı ve yüzey sularına yeniden arseniği bırakır (Dixit ve Hering, 2003; Swartz vd., 2004; Bose ve Sharma, 2002; Belzile ve Tessier, 1990).

Juillot (1999), arsenik tarafından kirletilmiş endüstriyel bir alan ele alındığında, pH 7,9'daki yüzey akışlı suların arsenolit, arsenopirit ve pirit içeren yüzeysel bir yığınla reaksiyona girerek pH 2.2'de aside dönüştüğünü ve kayda değer konsantrasyonlarda çözünmüş As^{+5} içerdiğini belirtmektedir. Aynı yazara göre, bu asidik sular daha sonra altta bulunan kireçtaşı malzemeye tepkimeye girerek arsenik çökeltileri oluşturmakta ve bu kalsiyum arsenatların weillite, haidingerite ve farmakolit oldukları görülmektedir. Ek olarak, küçük miktarlarda pikrofarmakolit olarak bilinen Ca-Mg arsenatlarına da rastlanır. pH 3-6 bölgesindeki bu kalsiyum arsenat çökelmeleri, bu arsenat bileşiklerinin çökme-çözünme kimyası ile de uyumludur.

Yüzeye Tutunma

Arsenik metal oksit ve hidroksitler tarafından adsorplanabilir, özellikle demir, alüminyum ve mangan oksit/hidroksitler akiferde arseniğin en önemli adsorbanları olarak görünmektedir (Oscarson, 1983; Manning ve Goldberg, 1997b; Bowel, 1994; Driehaus vd., 1995; Manning ve Goldberg, 1997a; Stollenwerk, 2003; Lindback ve Sjölin, 2006). Bunlar negatif yüzey yüküne ve büyük yüzey alanlarına sahip olmalarından dolayı arseniğin adsorblanmasında etkilidir (Lindback ve Sjölin, 2006). Yeraltısularında As varlığı: mineral çözünme/çökelme, adsorbsiyon/desorbsiyon, yükseltgenme/indirgenme reaksiyon mekanizmaları ve biyolojik dönüşüm ile kontrol edilir. Arsenik hareketliliğini kısıtlayan ve arttıran en önemli mekanizma genellikle yüzeye tutunma (adsorpsiyon) ve geri salım süreçleridir. Yüzeye tutunma-geri salım 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 magnezyum konsantrasyonlarına bağlıdır (Güneş ve Güneş, 2009). Demir, Alüminyum ve mangan oksitler, karbonlu maddeler ve kil'ler gibi jeolojik materyaller arseniği adsorlayıcı reaksiyonlarda payı olan sediment bileşenleridir (Vance vd., 2001).

Arseniğin suda bulunan türleri ortamın pH'ına ve redoks potansiyeline bağlıdır (Vaclavikova vd., 2008). Kimyasal türleşme arsenik uzaklaştırılmasında önemli bir unsurdur. Arseniğin negatif yüzey yükleri yüzeye tutunma, anyon değişimi ve beraber çöktürme prosesleri ile arseniğin ortamdan uzaklaşmasını kolaylaştırmaktadır. As III 'ün net yükü doğal pH (6-9) düzeylerinde nötr olduğundan, arseniğin bu formu kolayca uzaklaştırılamaz. Buna karşın As V'in net moleküler yükü doğal pH seviyelerinde negatiftir (-1 veya -2), bu da arseniğin daha büyük verimle uzaklaştırılmasını mümkün kılmaktadır.

Toprak ve mineraller üzerinde arseniğin yüzeye tutunması, sorbentin yüzey yükü ve rekabetçi anyonlar tarafından kısıtlamaktadır. Pozitif yüklü demir çökeltileri üzerinde, negatif Mn çökeltilerine kıyasla daha kolay adsorblanan arsenik, sorbentin yüzey yükünü azaltabilecek diğer anyonlar ve ligantlarla müsait bağ bölgeleri için rekabet halindedir (Xu vd., 1991).

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

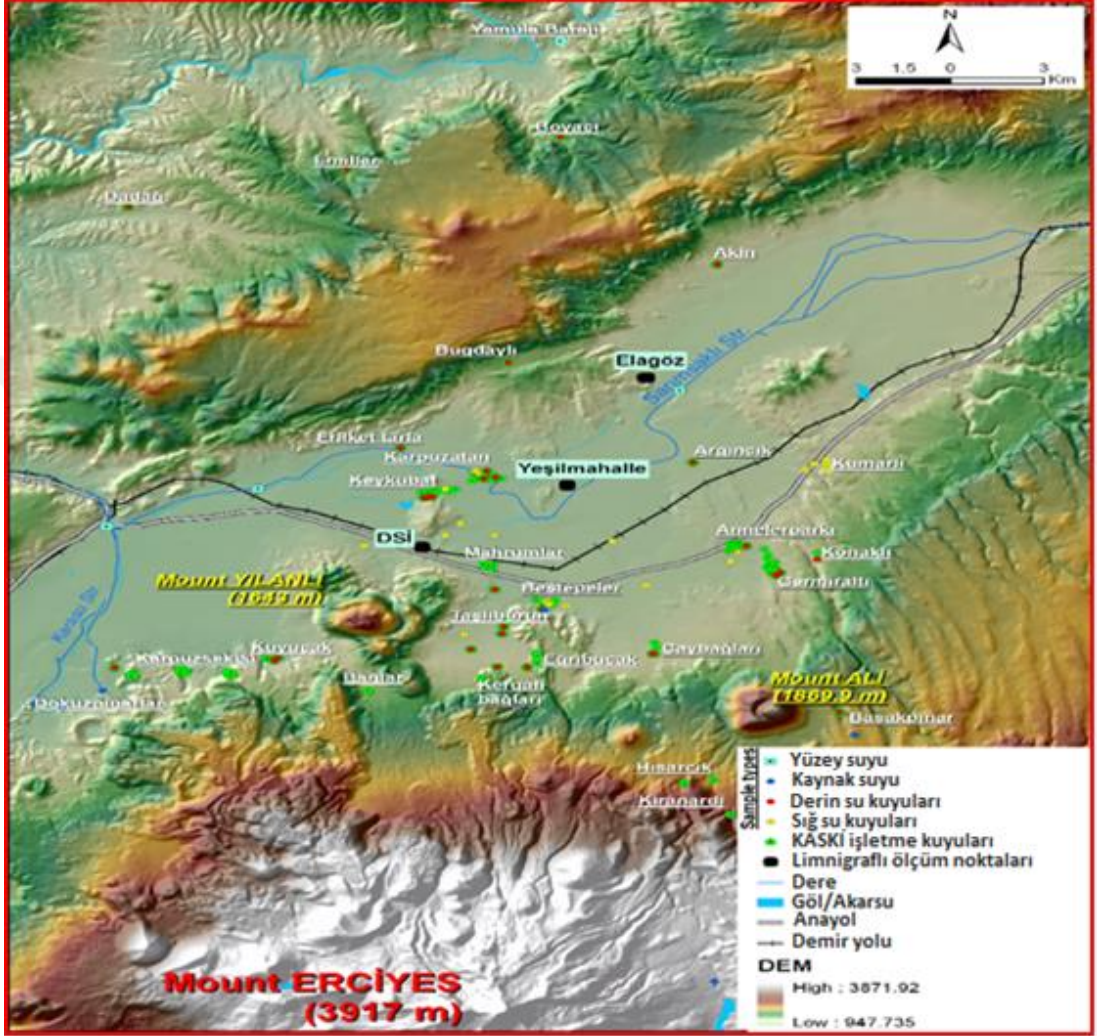
5.1 Giriş

Çalışma kapsamında KASKİ tarafından Kayseri kentinin içme ve kullanma suyunun karşılandığı kuyular ve şahıslara ait kuyulardan oluşan toplam 52 kuyu seçilmiştir (Şekil 5.1). Ayrıca 107Y170 No'lu Tübitak çalışması kapsamında 'karotlu sondaj tekniği' ile açılan 16 adet kuyudan da faydalanılmıştır. Yeraltısuyu dinamiğinin ve kalitesinin ortaya konulmasına amacıyla; tarafımızca alanda 2010 yılından beri yürütülen tüm çalışma verileri dikkate alınmıştır. TÜBİTAK çalışmasında yapılan aylık aralıklarla seviye ölçümü ile eş zamanlı olarak yerinde ölçüm ve örneklemeler değerlendirilmiştir (Değirmenci vd., 2011). Su sıcaklığı, Elektriksel iletkenlik (EC), Toplam Çözünmüş Katılar (TDS), pH, Eh, Tuzluluk ve Çözünmüş Oksijen gibi parametrelerin ölçümleri, arazi tipi ölçüm aleti kullanılarak arazide yerinde gerçekleştirilmiştir. Biyolojik analiz, majör iyon ve minör bileşenlerin analizleri için örnekler toplanıp laboratuvar ortamında analizleri yapılmıştır.

Yerinde ölçümler için YSI Environmental Model 556 Quick-Start Guide cihazı, yeraltısuyu seviye ölçümleri içinse yeraltısuyu Seviyesi Rasat aleti kullanılmıştır. Kimyasal analizler kapsamında Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, CO₃, F, Br, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, ve ağır metal (As, Al, Sr, Ni, Fe, Mn, Cu, Pb, Cr, Co, Mn, Rb, Li, Zn) ve diğer iz element analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Tritiyum Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Bu aşamadan sonra arsenik miktarının çok olduğu Karasazlık Bölgesinde 2014 yılında ayrı bir çalışma yapılmıştır. Alandaki kuyu grupları içinden seçilen kuyularda zamana bağlı su çekimleri yapılarak su kimyasının değişimi incelenmiştir. Yerinde ölçümler için yine YSI Environmental Model 556 Quick-Start Guide cihazı kullanılırken, kimyasal analizler için ise KASKİ'ye ait laboratuvar kullanılmıştır. Alana düşen bakır su kimyasının anlaşılması ve phreeqc programında kullanılması amacıyla Meteoroloji 7. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen yağmur suyu örneklerinin, su kimyası analizi de yapılmıştır. Phreeqc programı ile alandaki minerallerin doygunluk analizi, arsenik türlerinin alandaki dağılımı ve arsenik miktarının giderimine yönelik arıtma modelleri de çalışılmıştır. Phreeqc'de yapılan çalışmaların kodları EK-I'de sunulmuştur. Ayrıca çalışma alanının daha iyi kavranabilmesi için elde edilen verilerin birçoğu coğrafi bilgi sistemi olan Arcgis programında haritalaştırılmıştır.

Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, bölgedeki akiferlerin arsenik sorunu ortaya konulmuş; kirliliğin jeolojik, antropojenik veya jeolojik/antropojenik etmenlerin hangilerinden kaynaklı olduğu araştırılmış ve bu bilgiler ışığında akiferlerin arsenik sorununa yönelik önerilerde bulunulmuştur.



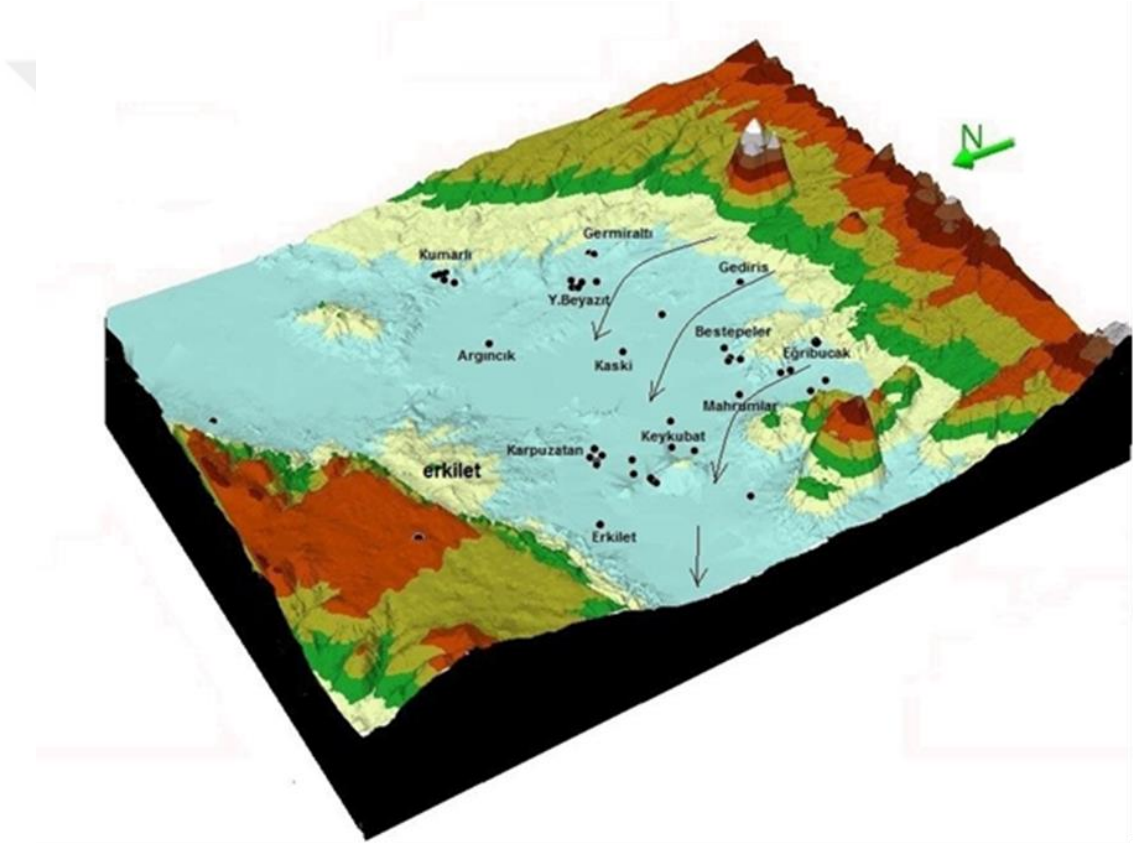
Şekil 5.1 Örnekleme noktaları, yeraltısuyu işletme kuyuları konum haritası.

Bölge KASKİ işletme kuyuları arsenik açısından genel olarak değerlendirildiğinde; Kayseri kenti içme suyu havzasında Kuyucak kuyuları, sanayi bölgesi başlangıç 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 kuyularında 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 daha düşük düzeylerde gözlenmektedir (Değirmenci vd., 2011). Elde edilen bilgiler ışığında çalışma alanı arsenik açısından mevcut içme suyu bölgesi ve Karasazlık bölgesi şeklinde iki bölgeye ayrılarak incelenmesinin daha doğru olabileceği öngörülmüştür

5.2 Mevcut İçme Suyu Bölgesi

Kayseri kenti, İç Anadolu Bölgesi'nin en önemli kent merkezlerinden biri olup, güneyde Erciyes, kuzeyde ise Erkilet yükseltileriyle çevrilidir. Mevcut içme suyu bölgesi; Kayseri kent yerleşkesi içinde kalan alanı, anılan su kaynaklarını ve bu kaynakların beslenme alanlarını da kapsamaktadır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Çalışma alanı blok diyagramı (düşey eksen 5 kat büyütülmüştür).

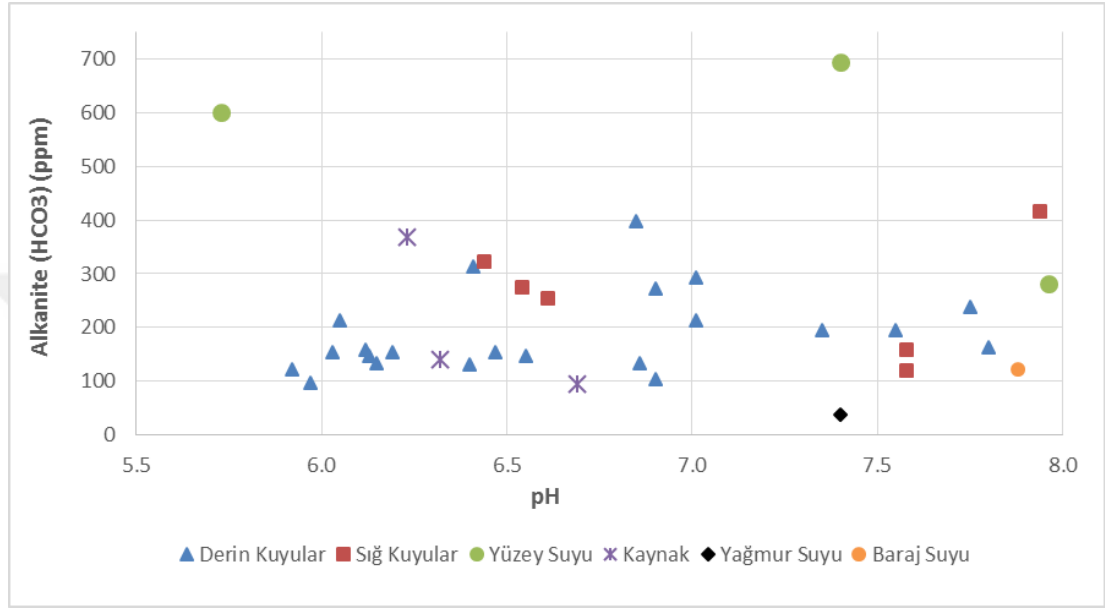
5.2.1 Su analizi verilerinin değerlendirilmesi

Mevcut durumun ortaya konulabilmesine yönelik olarak 107Y170 nolu TÜBİTAK çalışması kapsamında elde edilen su analiz değerleri kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, bölgedeki su kaynakları derin akifer, sıg akifer, yüzey suyu, kaynak suyu, baraj suyu ve yağmur suyu cinsinden ana gruplara ayrılarak incelenmesinin daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki yeraltısu akım yollarının; EC,

Cl⁻ ve yeraltı su seviyesi gibi parametreler göz önüne alındığında güneyden itibaren kuzeye ve kuzeybatıya doğru olduğu düşünülmektedir (Şekil 5.2).

Bikarbonat – pH ve Bikarbonat - Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

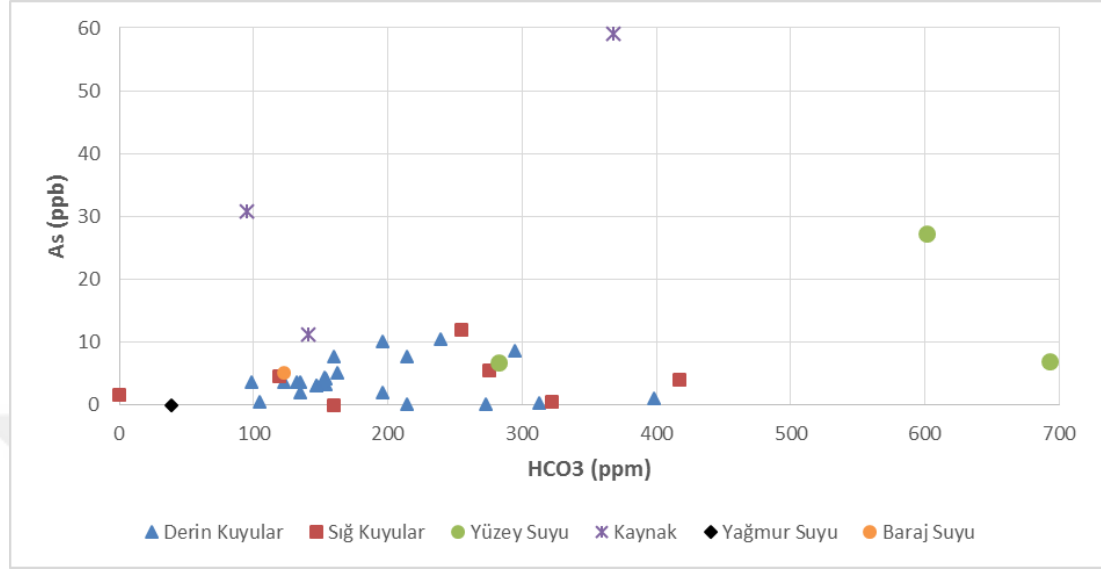
Çalışma alanından alınan su numunelerinin pH, bikarbonat (HCO₃) ve arsenik (As) değerleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de sunulmuştur.



Şekil 5.3 Kuyu örneklerine ait alkanite-pH değerleri.

Derin kuyularda ölçülen pH, bikarbonat ve arsenik türlerine ait ortalama değerler sırasıyla 6.80, 176.46 (ppm) ve 5.11 (ppb), maksimum değerler ise 8.72, 398.49 (ppm) ve 36.43 (ppb)’dür. Genel itibarıyla derin kuyu örneklerinde pH artışıyla birlikte HCO₃ miktarında da artış gözlemlenmektedir (Şekil 5.3). Derin kuyularda birkaç su değerinde pH artışıyla birlikte alkanitenin azaldığı görülmektedir. Bu durumu karbonat minerallerinin çökmesi, anyon değişimi ya da suların daha düşük karbonat içeren sular ile karışmasına bağlayabiliriz. Alanda hem derin akifer hem de sığ akifer sisteminin mevcut olması ve bunların birbirinden tamamen ayrı olmaması (hidrolik gradyana bağlı olarak) suların karışma ihtimalini güçlendirmektedir. Sığ kuyularda ise pH 6.5 (1.grup) ve 7.5 (2.grup) civarlarında iki farklı gruplaşma gözlemlenmektedir. Yeraltı suyu akış yönü 2. gruptan 1. gruba doğrudur (Şekil 5.2) ve jeolojik olarak iki grup da oadaki alüvyon malzeme üzerindedir (Şekil 3.1). Ancak 1. grupta andezit ve piroklastik yapılar da mevcuttur. İkinci grupta bulunan sulardaki bikarbonat miktarının daha düşük olması yeraltında birinci gruba göre daha az yol kat etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey sularında bikarbonat değeri Sarımsaklı girişte

az iken çıkış noktasında fazla ölçülmüştür. Bu durum beslenme alanında bikarbonatın var olduğunu ispatlamaktadır. pH 5.5 ile 6 arasında yer alan yüzey suyu örneği ise Karasazlık bölgesinden gelen Karasu deresini temsil etmektedir.



Şekil 5.4 Kuyu örneklerine ait alkanite- arsenik değerleri.

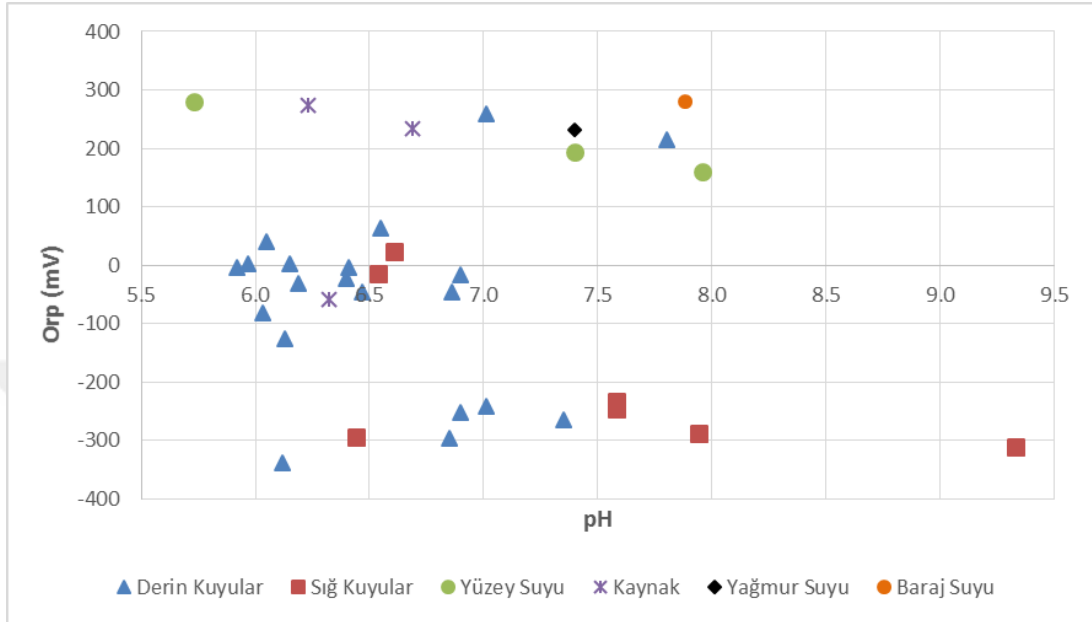
Derin kuyu gruplarına ait bikarbonat arsenik değerlerine bakıldığında, çoğunlukla bikarbonat miktarındaki artışın arsenik değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 5.4). Tablo 4.3’de de arsenik ($\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$) ile HCO_3 arasında bir ilişkinin olduğu gösterilmiştir. Ayrıca karbonatlar ile kimyasal bağ yapmış ya da üzerine sorulan arsenik; karbonat çözünmesi (HCO_3 artışı) ile serbest kaldığı bilinmektedir (Apello, 2008). Yağmur suyu toprağa düştükten sonra (organik maddenin bakteriyel oksidasyonu sonucunda oluşan) karbondioksiti bünyesine alarak karbonik asidin oluşmasına ve pH değerinin düşmesine, oluşan karbonik asid ortamdaki karbonatları çözerek bikarbonat değerinin artmasına (Denklemler 5.1) ve böylece ortamın şartlarının değişmesiyle mevcut bileşiklerinde değişebilmesine yardımcı olduğu da bilinmektedir. Ancak yüzey suları ve sığ kuyu suları için aynı durumdan söz etmek mümkün değildir. Sözkonusu sularda bikarbonat miktarındaki artışın arseniği artırdığı tespit edilmemiştir.



Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli – pH ve

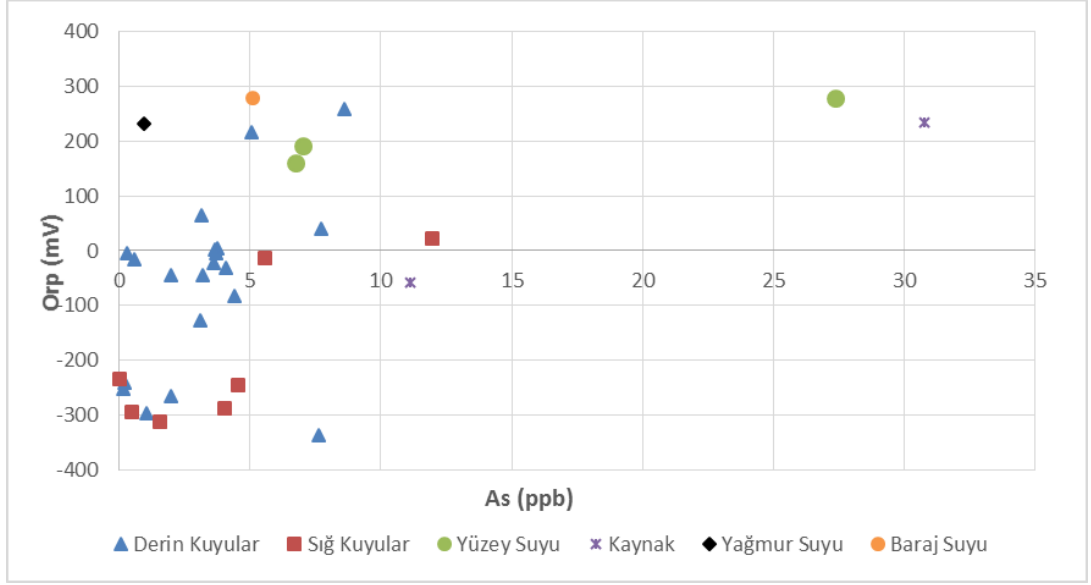
Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli -Arsenik Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Orp, pH ve arsenik (As) değerleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da sunulmuştur.



Şekil 5.5 Kuyu örneklerine ait Orp- pH değerleri.

Yüksek pH’a sahip sular, daha fazla indirgenerek (-) Orp değerlerini, düşük pH’lı sular ise daha fazla okside olarak (+) Orp değerlerini taşımaktadır. Ancak pH ile Orp (oksidasyon redüksiyon potansiyeli) arasında çok sıkı ve değişmeyen bir bağ yoktur. Alanımızda da bunun örnekleri net olarak görünmektedir. Geniş pH aralığında hem indirgen hemde yükseltgen şartlar söz konusudur (Şekil 5.5). Ancak mevcut içme suyu bölgesinde içme ve kullanma suyu için çekilen sığ ve derin kuyuların genelinin indirgen şartlar taşıdığı ve pH değerlerinin de (pH<7 altında olduğu için) asidik olduğu görülmektedir (Şekil 5.5). Mevcut içme suyu bölgesinde pozitif Orp değerlerini taşıyan örneklerin jeolojisi incelendiğinde piroklastikler, bazaltik ve andezitik lav akıntıları gözlemlenmektedir. Nitekim arsenik değerleri fazla olan Karasazlık bölgesinde ölçülen Oksidasyon redüksiyon potansiyelleri pozitif değerler taşımakta ve bu alanın jeolojisinde de piroklastik, bazaltik ve andezitik lav akıntılarından oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 3.1).

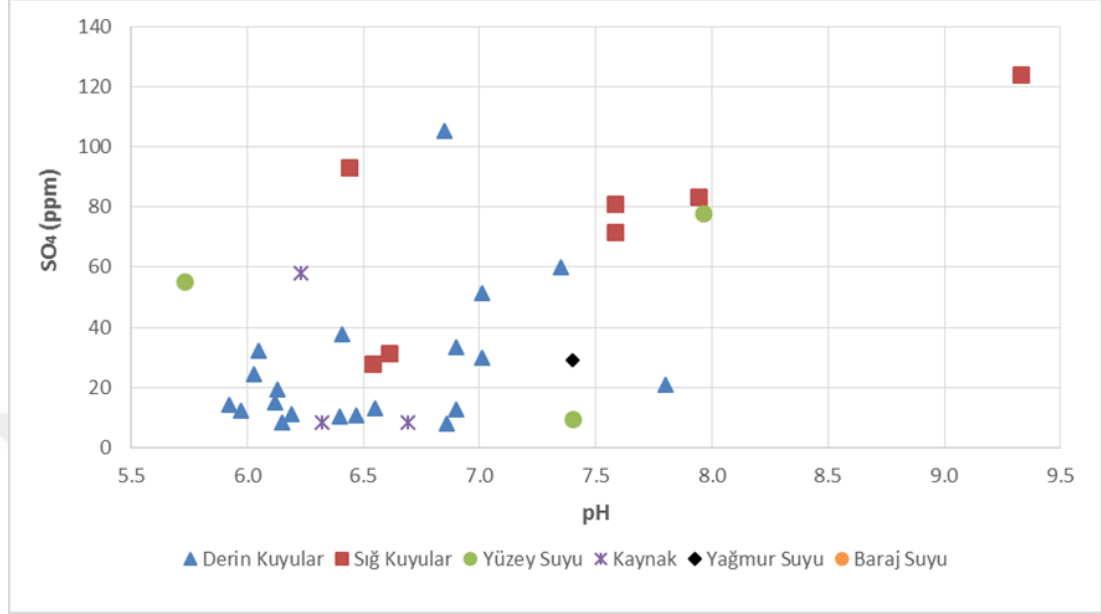


Şekil 5.6 Kuyu örneklerine ait Orp-arsenik değerleri.

Şekil 5.6'da görüleceği üzere (+) Orp değerlerini taşıyan numunelerin arsenik konsantrasyonu (-) Orp değerlerine göre yüksektir. Gerek Karasazlık bölgesi gerek mevcut içme suyu bölgesinde olsun çoğunlukla yükseltgen şartlarda arseniğin fazla olduğu tespit edilmiştir. Keykubat [KY04; Orp:40.00/As: 7.71, KY03; Orp: - 4.70/As:0.30] ve Erkilet [KY32; Orp:259.40/As: 8.59, KY13; Orp:-289.00/As:4.03] bölgelerinde yer alan örnekler bakıldığında, indirgen şartları (- Orp) taşıyan numunelerin arsenik değerleri yükseltgen şartları taşıyanlara göre daha az çıkmaktadır. Sığ kuyu gruplarının arsenik konsantrasyonlarına bakıldığında çoğunluğu 10 ppb sınır değerinin altında olduğu, Keykubat bölgesinde yer alan ve yükseltgen şartlar taşıyan KY06 nolu kuyunun ise 10 ppb sınırı aştığı gözlemlenmektedir. Aynı bölgede yer alan KY02 nolu sığ kuyu ise indirgen şartlar taşıyıp, arsenik konsantrasyonu 10 ppb'nin altındadır (Şekil 3.6). Şekil 5.6'da yüzey sularına bakıldığında arsenik konsantrasyonu sırasıyla; Sarımsaklı suyuna giriş, çıkış ve (Karasazlık bölgesinden bağlanan) Karasu deresinde yüksek olduğu ve Orp değerlerinin de benzer olarak arttığı görülmektedir. Mevcut içme suyu bölgesinde yer alan Sarımsaklı deresinin arsenik konsantrasyonunun (10 ppb) sınır değerinin altında ve yükseltgen şartlar taşıdığı görülmektedir. Mevcut içme suyu bölgesinde, arsenik konsantrasyonunun düşük olmasında Oksidasyon redüksiyon potansiyelinin öneminin büyük olduğu çalışmamızda tespit edilmiştir.

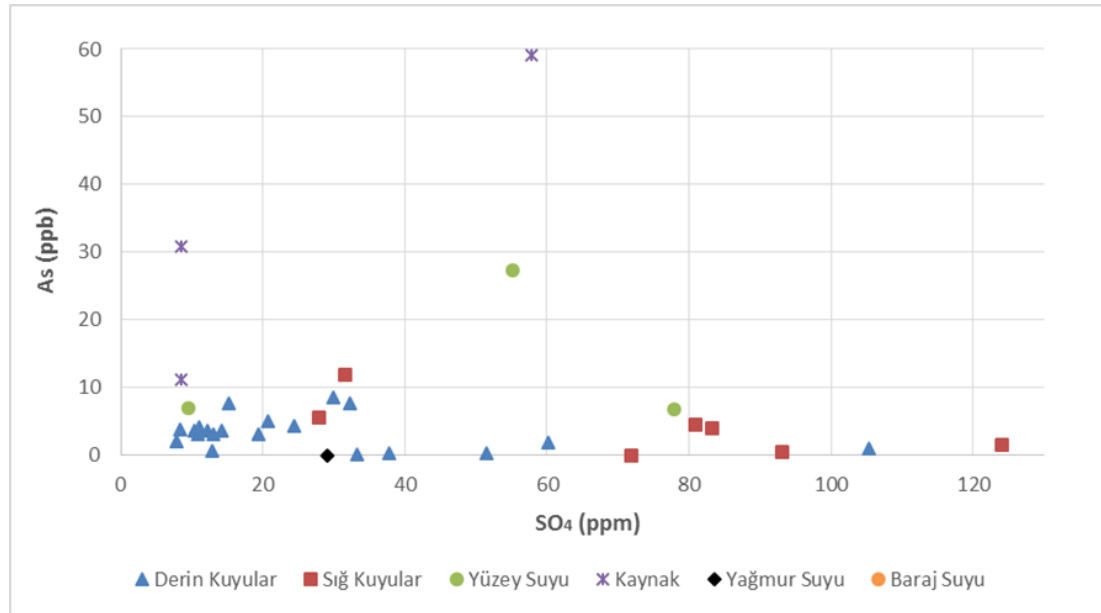
Sülfat– pH ve Sülfat -Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Sülfat, pH ve arsenik (As) değerleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de sunulmuştur.



Şekil 5.7 Kuyu örneklerine ait sülfat- pH değerleri.

Sığ kuyularda pH karşılık ölçülen sülfat değerlerine bakıldığında tek bir değer dışında pozitif yönde doğrusal bir ilişki söz konusudur. Ancak derin kuyu sularında, yüzey sularında ve kaynak sularında aynı ilişkiden söz etmek mümkün değildir (Şekil 5.7).

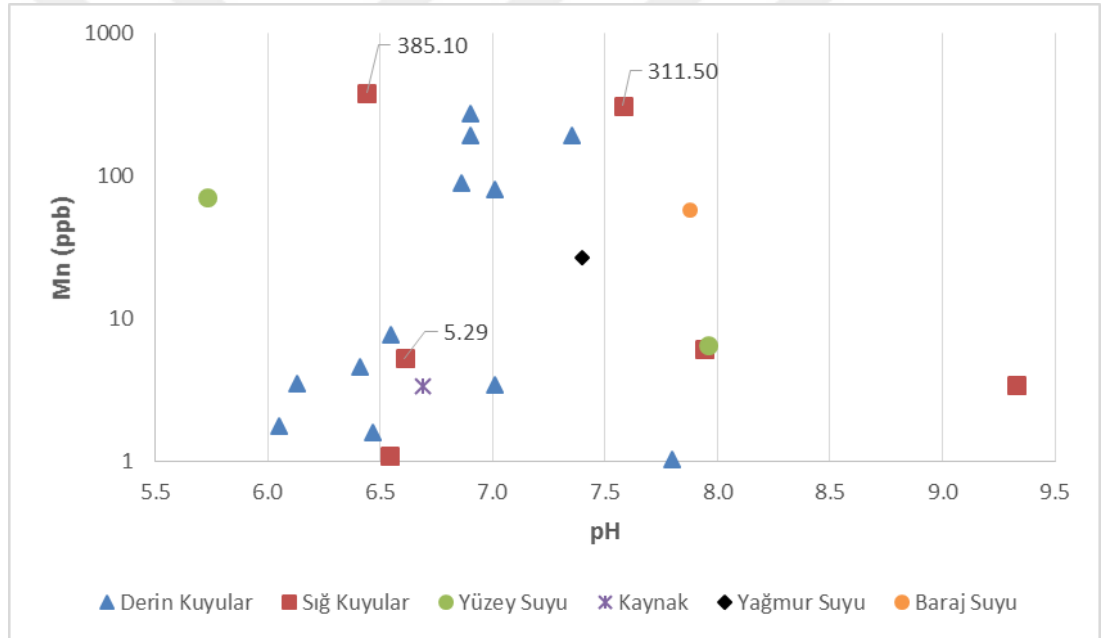


Şekil 5.8 Kuyu örneklerine ait sülfat-arsenik değerleri.

Aynı bölgedeki sığ ve derin kuyu gruplarına bakıldığında (örn. Keykubat bölgesindeki sığ kuyular; KY02'nin pH:6.54, SO₄: 27.93 ppm, As: 5.56 ppb/ KY06'nın pH:6.61, SO₄: 31.53 ppm, As: 11.95 ppb'dir. Derin kuyularda ise KY03'ün pH:6.41, SO₄: 37.72 ppm, As: 0.30 ppb/ KY04'ün pH:6.05, SO₄: 32.24 ppm, As: 7.71 ppb'dir) anlamlı bir ilişki söz konusu değildir (Şekil 5.8). Yüzey suyunda Sarımsaklı deresi giriş noktasında sülfat 77.95 ppm ölçülürken, çıkış noktasında 9.45 ppm ölçülmüştür. Arsenik değerleri sırasıyla 6.76 ve 7.04 ppb'dir. Yaklaşık 20 km'lik bir mesafede sülfat değerinde %77 oranında düşüş gerçekleşmiştir.

Mangan– pH ve Mangan - Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Sülfat, pH, Orp ve arsenik (As) değerleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sunulmuştur.

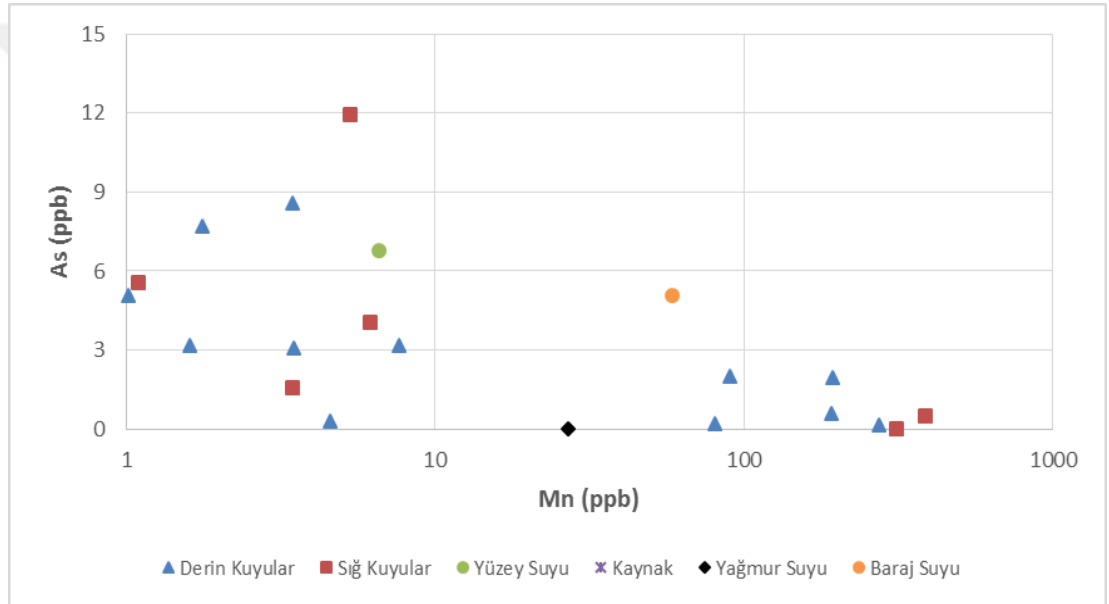
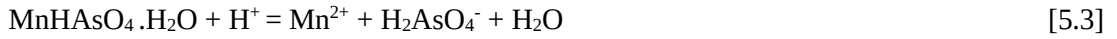
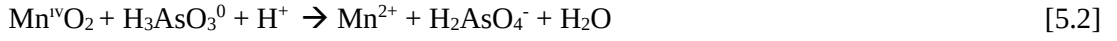


Şekil 5.9 Kuyu örneklerine ait mangan- pH değerleri.

Alandaki mangan değerleri 1 ile 385.10 ppm arasında değiştiğinden dolayı grafikteki değerler lineer eksenle belirli bölgelerde yığılacağı için logaritmik eksen tercih edilmiştir.

Derin kuyu örnekleri incelendiğinde genelinin pH<7 altında olduğu ve pH karşılık mangan konsantrasyonlarının iki grupta toplandığı görülmektedir. Mangan konsantrasyonunun diğerlerine nazaran fazla olduğu ve pH değerlerinin ise yaklaşık 7 civarında bulunduğu örnekler phreeqc'de incelendiğinde, mangan konsantrasyonunun 10 ppm altında ve pH'ın 6 ile 7 arasında olduğu örneklerle nazaran daha fazla HCO₃

içerdiği tespit edilmiştir. pH artışına karşılık mangan değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bu da alanda mangan konsantrasyonunun artmasında jeolojik yapı ve pH'ın rolü olduğunu göstermektedir (Şekil 5.9). Sığ kuyularda ise heterojen bir dağılım söz konusudur ve pH ile mangan arasındaki ilişki açık değildir (Şekil 5.9). Yüzey su örnekleri Sarımsaklı suyu (Mn: 6.54 ppm) ile Karasu deresini (Mn: 71.11 ppm) temsil etmektedir. Yüzey sularında pH ile manganın pozitif bir korelasyona sahip olmadığı görülmektedir. Ancak bu iki su örneğinin beslenme alanının jeolojisi farklıdır (Şekil 3.1). Bu nedenle pH etkisinden jeoloji daha fazla etkilidir.



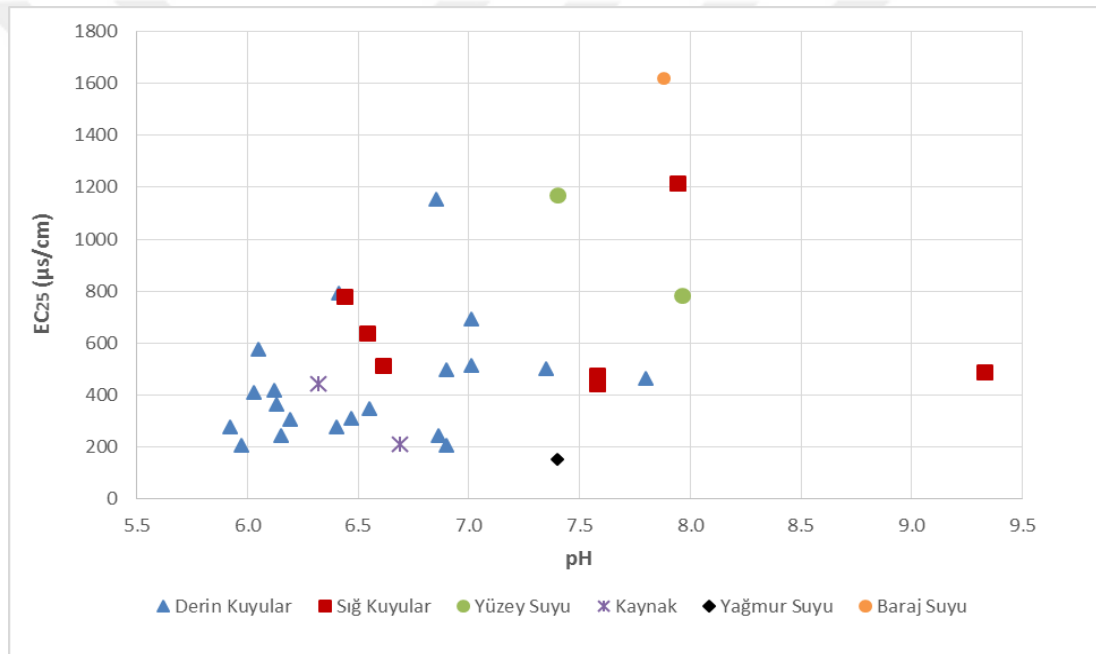
Şekil 5.10 Kuyu örneklerine ait mangan- arsenik değerleri.

Denklem 5.2 ve 5.3’de (+3) halinde giderimi zor olan arseniğin (+5) değerlikli haline dönüştüğü görülmektedir. Mangan ile arsenik arasında pozitif ya da negatif yönde tek bir ilişkiden söz etmek mümkün görünmemektedir (Şekil 5.10). Bazı durumlarda mangan konsantrasyonu artarken, arsenik konsantrasyonu da artmıştır. Ancak tam tersi ilişki de söz konusudur. Genel eğilimin mangan artışıyla birlikte arsenik konsantrasyonunda düşüş olduğunu göstermektedir (Şekil 5.10). Yapılan çalışmada mevcut içme suyu alanı için elde edilen arsenik türlerinin dağılımında As (V)’in daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum alanda manganın arseniği etkileyerek, daha kolay giderilebilen As (V) türüne çevirdiği ve böylece yüzeye tutunma, iyon değişimi vb. doğal koşullarda gerçekleşen durumlar ile arseniğin azaldığı görüşümüzü

güçlendirmektedir. Ayrıca düşük mangan yüksek arsenik konsantrasyonu taşıyan (örneğin; KY04, KY06, KY40 ve KY43 nolu) su örnekleri incelendiğinde ise, diğerlerine nazaran yükseltgen şartlar taşıdığı tespit edilmiştir. Yükseltgen koşullarda yüksek arsenik ile düşük mangan konsantrasyonları da mangan ile arsenik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Karasazlık bölgesinden gelen Karasu deresinin mangan ve arsenik değerlerinin mevcut içme suyu bölgesinden beslenen Sarımsaklı suyundan fazla olduğu da tespit edilmiştir.

Ec– pH ve Ec –Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

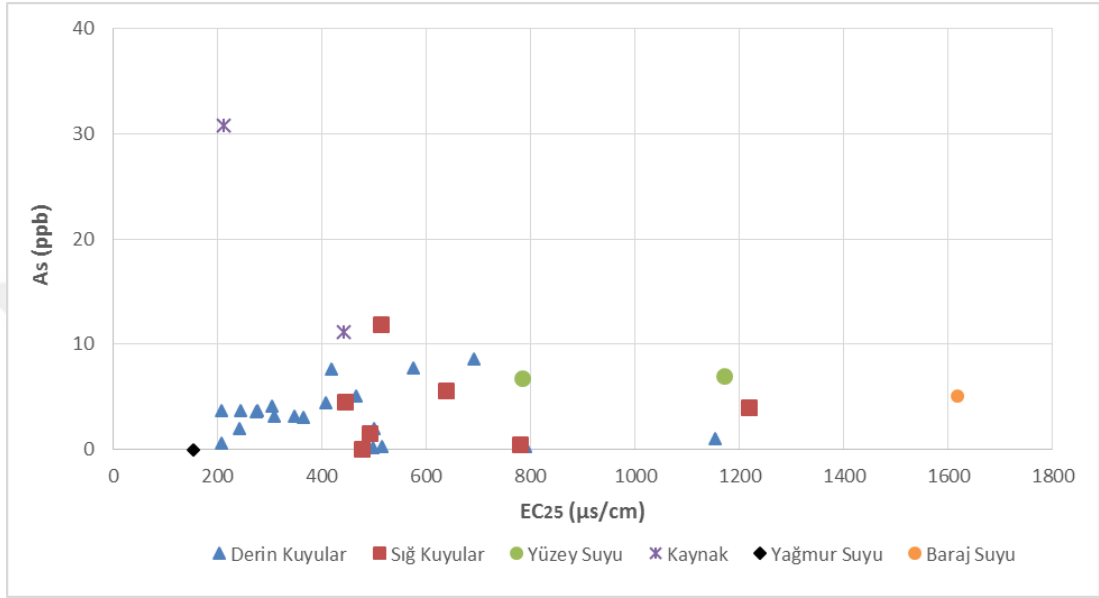
Çalışma alanından alınan su numunelerinin Ec (Elektriksel iletkenlik), pH ve arsenik değerleri Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de sunulmuştur.



Şekil 5.11 Kuyu örneklerine ait elektriksel iletkenlik- pH değerleri.

Çalışma alanında yer alan kuyular incelendiğinde genellikle sığ kuyuların elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin derin kuyulara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Derin kuyularda da asidik şartlarda daha az EC değeri gözlenirken, bazik koşullarda daha yüksek EC değerleri görülmektedir. Bu durumu alanın jeolojisi açıklamaktadır. Kırıntılı malzemeden oluşan alanlardaki örneklerin EC değerini pH etkilerken, masif malzemeden oluşan alanlarda pH’ın çok etkisinin olmadığı görülmüştür (Şekil 5.11). Derin kuyularda elektiriksel iletkenlik miktarındaki artışla birlikte arsenik miktarının da arttığı gözlenmektedir (Şekil 5.12). Su-kaya etkileşimine bağlı çözünmüş içerik artışı hemen hemen tüm örneklerde doğrusal olarak gözlenmektedir. Ancak bazı düşük

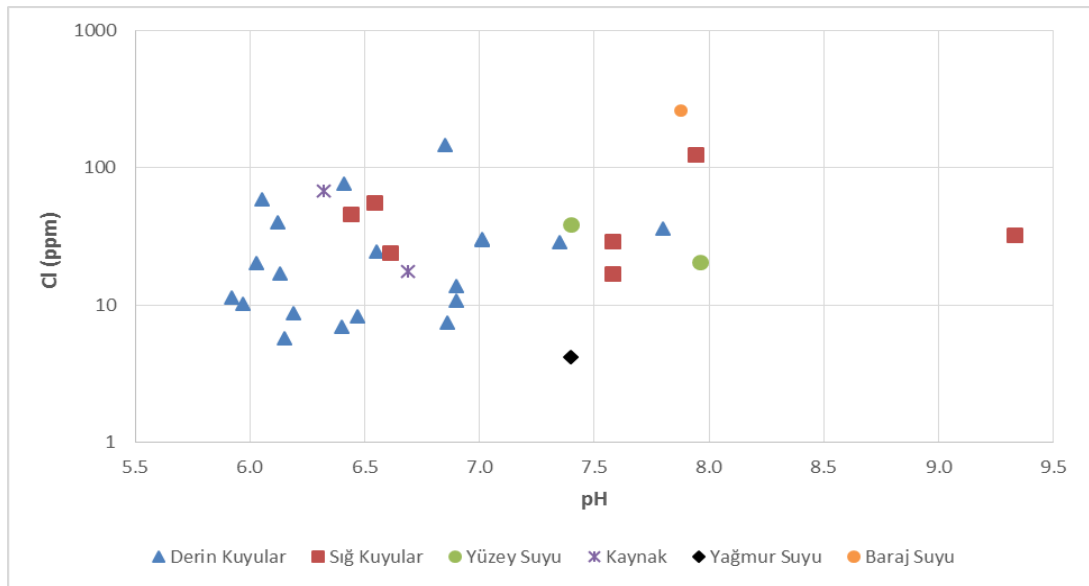
çözünmüş mineral içerikli örneklerin çok yüksek As içermeleri (KY40, KY41 ve KY09) akiferde kuvars gibi az çözünen minerallerin sınırladığı akım yollarında bulunan yağış sularının varlığını, kimliğini koruduğunu ve suyun yükselirken arseniğin sudan uzaklaşmadığını (kuvars gibi silikat minerallerinin düşük yüzey alanı ve sorbsiyon kapasiteleri vardır) göstermektedir.



Şekil 5.12 Kuyu örneklerine ait elektriksel iletkenlik - arsenik değerleri.

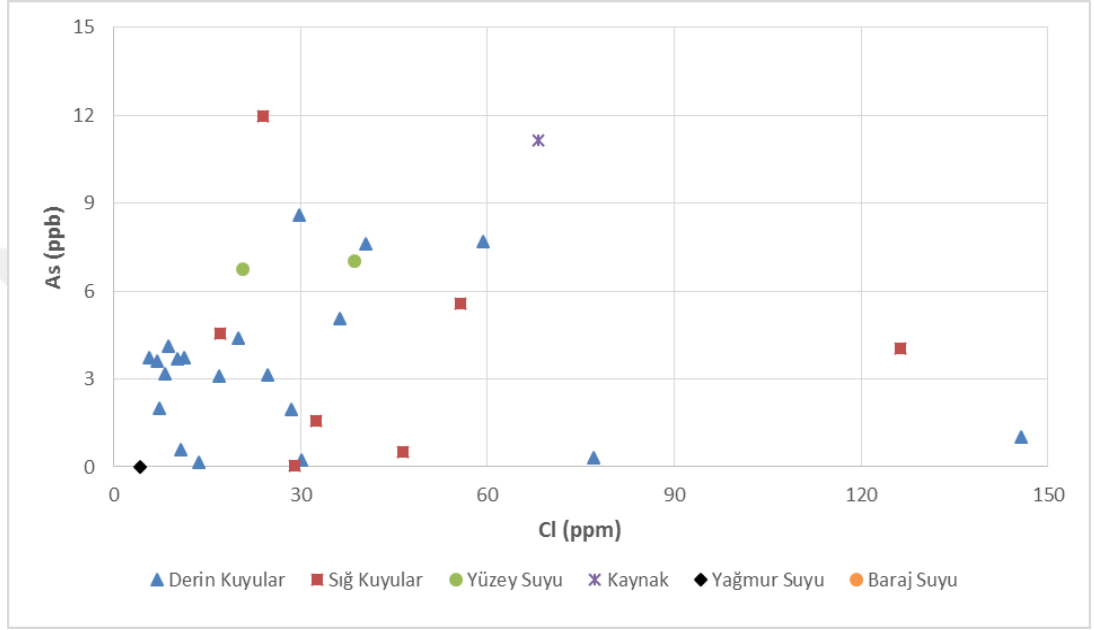
Klorür- pH ve Klorür -Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Klorür, pH ve arsenik ilişkileri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de sunulmuştur.



Şekil 5.13 Kuyu örneklerine ait klorür- pH değerleri.

Klorür ile pH açısından alanda çok önemli bir ilişki görülmemiştir. Hem asidik ($\text{pH} < 7$) hemde bazik şartlar ($\text{pH} > 7$) altında benzer konsantrasyonlarda klorür miktarları gözlenmiştir (Şekil 5.13). Klorür miktarı 10 ppm altında olan bölgeler Germiraltı, Gediris ve Anneler Parkı'dır. Klorür miktarı 10 ppm üstünde olan bölgeler ise Erkilet'tir. Söz konusu alanların jeolojisi sırasıyla Tplc, Qal, Tplc ve Qal/Tmu birimlerinden oluşmaktadır.

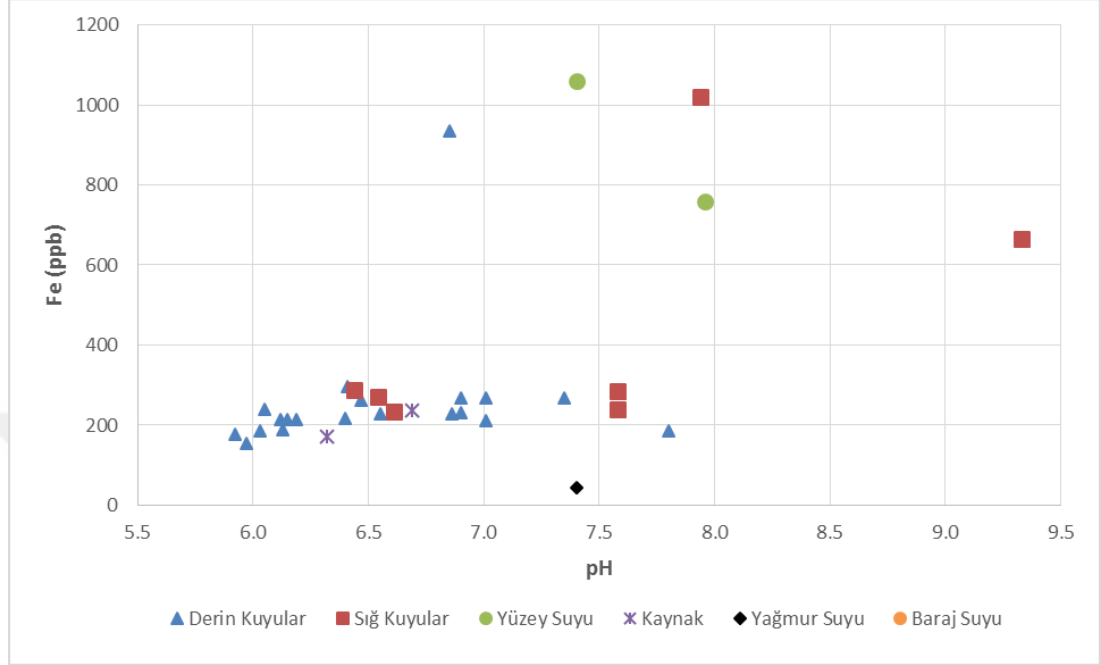


Şekil 5.14 Kuyu örneklerine ait klorür -arsenik değerleri.

Derin kuyular için klorür ile arsenik ilişkisini bakıldığında pozitif bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.14). Ancak aynı bölgede yer alan (birbirine çok yakın) bazı kuyularda klorür miktarının artışına karşılık arsenik değerleri düşük çıkmaktadır. Bu kuyuların (KY03/KY04 ile KY08/KY09) klorür ile oluşan bileşiklerine (phreeqc aracılığıyla) bakıldığında arsenik konsantrasyonu düşük olan kuyularda klorür'den sonra çinko ile bileşik oluşurken, arsenik konsantrasyonu fazla olan kuyularda klorür demir ile reaksiyona girerek bileşikler oluşturmaktadır. Arseniği düşük olan örneklerde ortamda demir olmasına rağmen klorür çinko ile reaksiyona girdiği için ortam koşullarını çok değiştirmemektedir. Ancak arsenik konsantrasyonu fazla olan sularda çinko düşük konsantrasyonlarda bulunduğundan dolayı demirin reaksiyona girerek bileşik oluşturduğu görülmektedir. Ortamdaki demirin değerliğinin değişmesiyle (redoks tepkimelerine sebep olarak) arsenik miktarını değiştirdiği görülmüştür. Dolayısıyla klorürün demir yerine ortamda varsa ilk olarak çinkoyu tercih etmesinin dolaylı olarak arsenik konsantrasyonunu etkilediği tespit edilmiştir.

Demir- pH ve Demir - Orp -Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

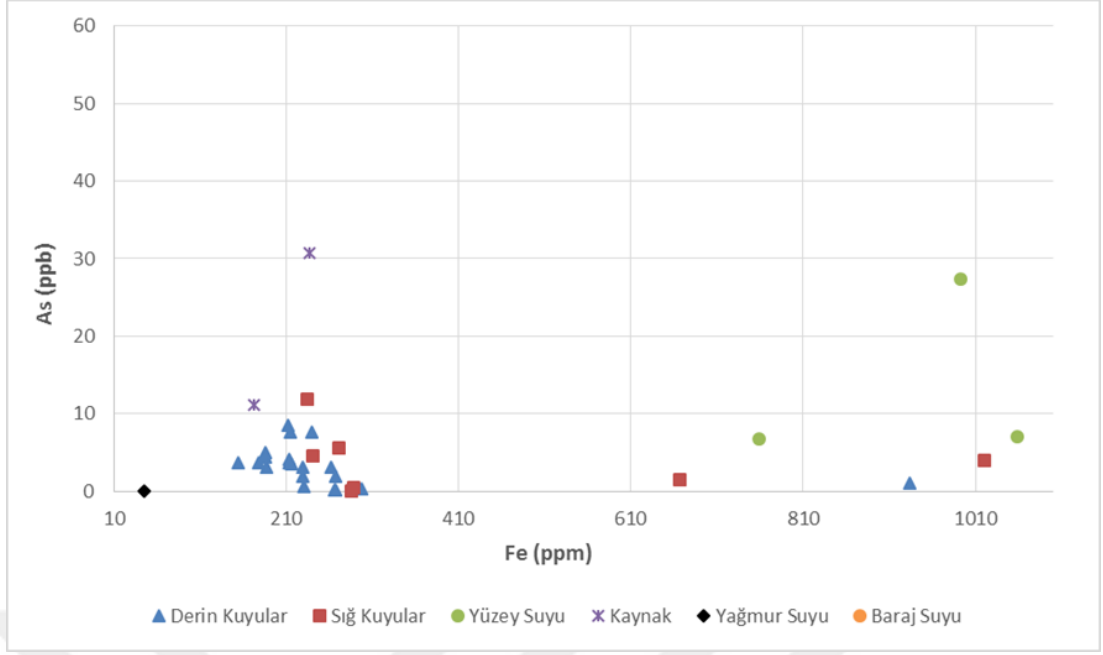
Çalışma alanından alınan su numunelerinin Demir, pH, Orp ve arsenik arasındaki ilişkiler Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da sunulmuştur.



Şekil 5.15 Kuyu örneklerine ait demir - pH değerleri.

Ortamda pH ile demir arasında bazı gruplaşmaların olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.15). Ancak bu gruplar incelendiğinde hem kuyuların bulunduğu konumların hem de demirin pH ile manidar bir ilişkisinin olmadığı görülmüştür. Sarımsaklı suyunun giriş (Fe: 759 ppm) ve çıkış (Fe: 1059 ppm) değerleri incelendiğinde ise (yaklaşık 20 km’lik uzunluktaki) alanda demir konsantrasyonundaki artışa karşın pH’ın düştüğü görülmüştür. Ancak pH’daki bu düşüş, su ortamını asidik veya bazik yönde etkileyecek düzeyde olmamıştır. Demir konsantrasyonunda görülen artış ise alanda demirin var olduğunu kanıtlamaktadır.

Ortamda demir ile arsenik ilişkisi incelendiğinde sığ ve derin kuyularda, genellikle demir konsantrasyonunun artışıyla birlikte arsenik konsantrasyonunda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak ortamdaki arsenik konsantrasyonunun değişimine demir tek başına etki etmemektedir. Nitekim aynı oranda demir içeren (KY26; Fe :187.2 ppm, As: 0.597 ppb, Orp: -16.8 / KY39; Fe :185.3 ppm, As: 5.054 ppb, Orp: 2.54 / KY24; Fe :230 ppm, As: 3.094 ppb, Orp: -126.4 / KY06; Fe :234.7 ppm, As: 11.95 ppb, Orp: 22.6 / KY04; Fe :239.8 ppm, As: 7.705 ppb, Orp: 40 / KY14; Fe :240.5 ppm, As: 4.563 ppb, Orp: -245.4) örneklerin arsenik değerleri farklı olabilmektedir (Şekil 5.16).



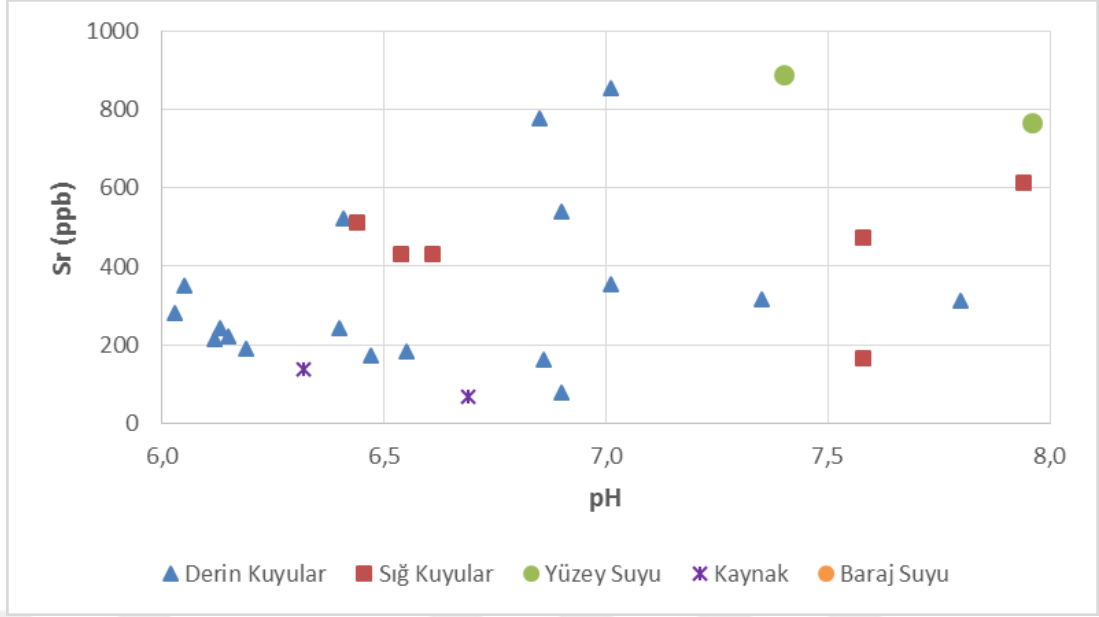
Şekil 5.16 Kuyu örneklerine ait demir - arsenik değerleri.

Şekil 5.15’de derin kuyulardaki gruplaşmalarda, aynı oranda demir içeren örneklerin arsenik konsantrasyonlarına, ortamdaki indirgen/yükseltgen (Orp) şartların katalizör etki yaptığı gözlemlenmiştir. Demirhidroksitin doygunluk değerleri de bunu ispatlamaktadır. Aynı bölgede yer alan KY03, KY05, kuyularının demir, arsenik, Orp ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ konsantrasyonları sırasıyla; (Fe) (297.2), (228.7) / (As) (0.298), (3.157) / (Orp) (-4.7), (64) / (SI) (-0.37), (1.22)’dir. KY04 / KY06/ KY14/ KY24/ KY26 ve KY39 nolu kuyularda da benzer özellikler görülmektedir. Demirhidroksitin doygun olduğu ve yükseltgen şartların hâkim olduğu bazı sularda arsenik konsantrasyonu yüksek çıkmaktadır.

Stronsiyum– pH ve Stronsiyum -Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

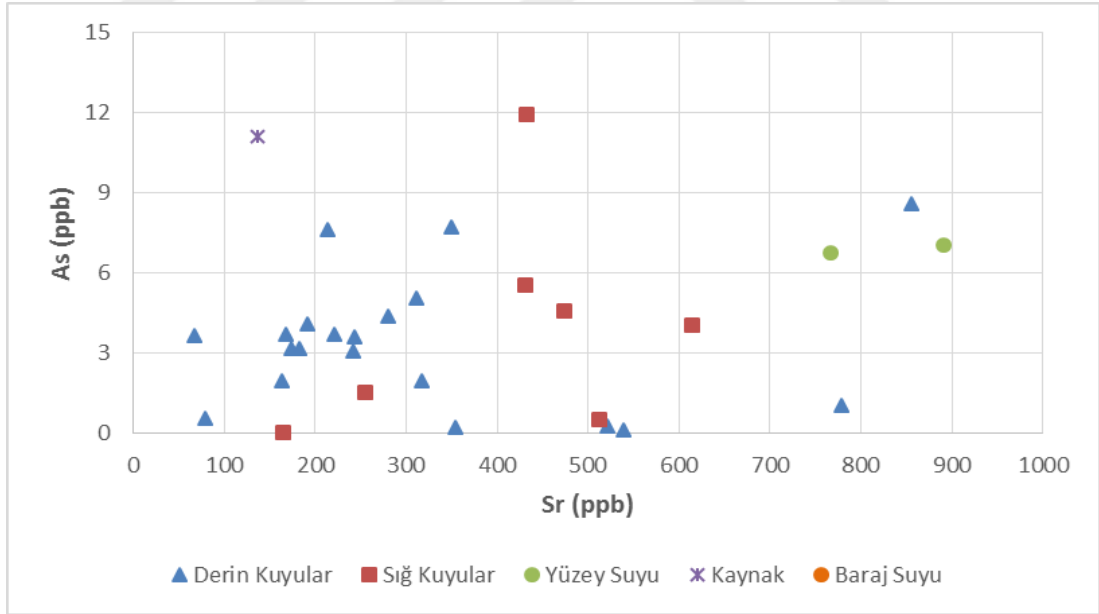
Çalışma alanından alınan su numunelerinin Stronsiyum, pH, Bikarbonat ve arsenik arasındaki ilişkiler Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da sunulmuştur.

pH ile stronsiyum değerleri incelendiğinde negatif veya pozitif anlamda manidar bir ilişki gözlemlenmemiştir (Şekil 5.17). pH ile stronsiyum değerleri incelendiğinde negatif veya pozitif anlamda manidar bir ilişki gözlemlenmemiştir (Şekil 5.17). Hatta derin ve sığ kuyular kendi içlerinde stronsiyumun ile birlikte oluşturduğu (SrHCO_3^+ , SrSO_4 , SrCO_3 ve SrOH^+) türler de (pH 6–8 aralığında) benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.17 Kuyu örneklerine ait stronsiyum- pH değerleri.

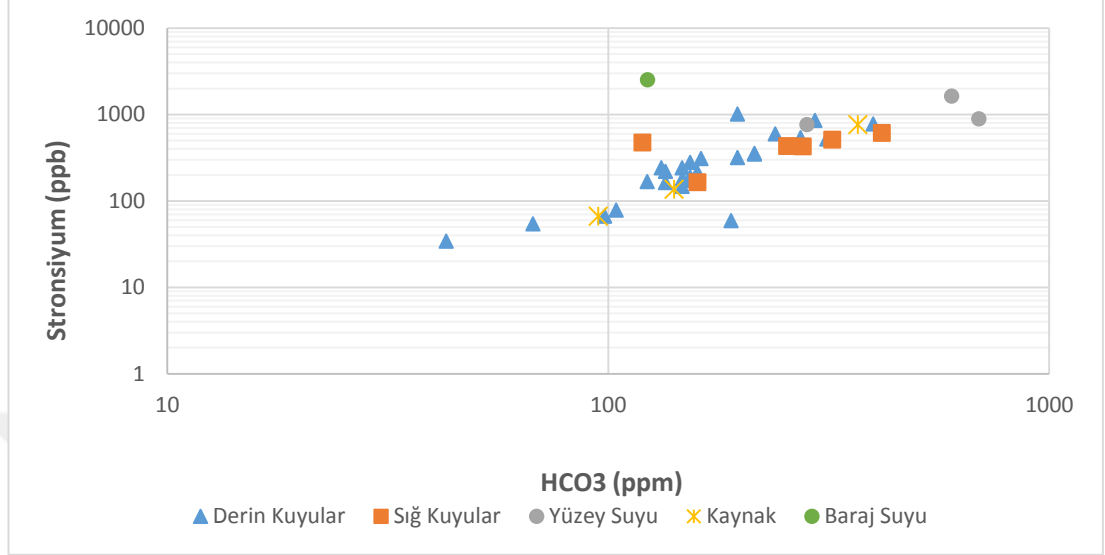
Ancak sülfat, stronsiyum ve pH aralığı çok benzer olmasına rağmen stronsiyum derin kuyularda ilk olarak HCO_3^+ ile bileşik oluştururken, sığ kuyularda SO_4 ile bileşik oluşturduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.18 Kuyu örneklerine ait stronsiyum- arsenik değerleri.

Derin kuyularda genellikle stronsiyum artışıyla birlikte arsenik miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.18). Bunun ana sebebi stronsiyumun, arsenik ile reaksiyona girebilecek HCO_3^+ , SO_4 ve CO_3 'ı kullanarak sistemi etkilemesidir. Karbonatların çözünmesiyle arsenik konsantrasyonunun arttığı bilinmektedir. Şekil 5.19'da

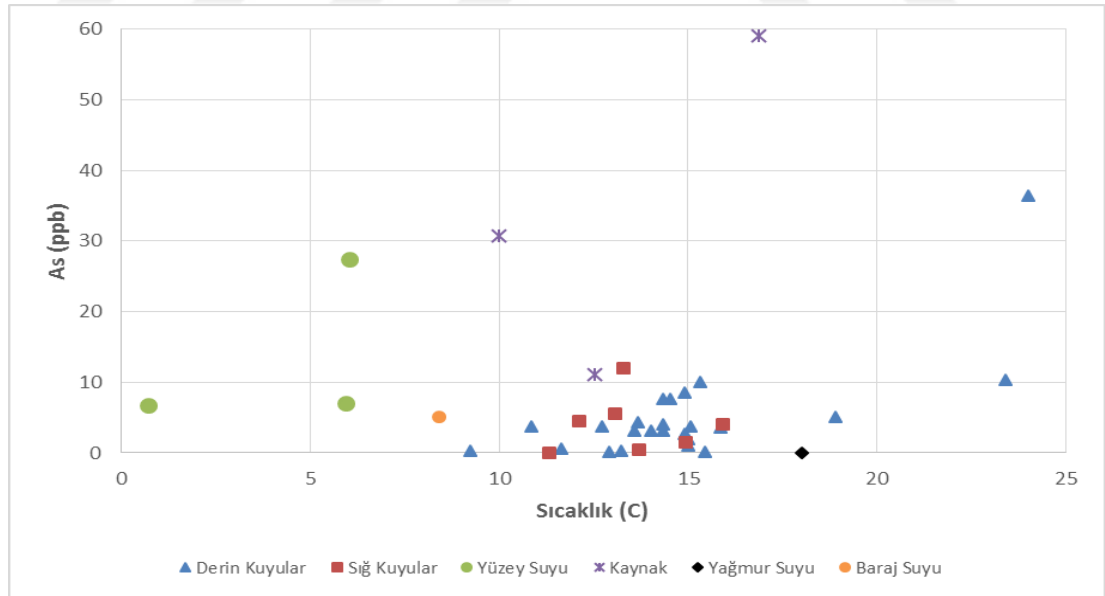
görülebileceği üzere stronsiyum ile bikarbonatın doğrusal bir ilişkisinin olduğu, dolayısıyla karbonatların çözünmesi sonucunda arsenik konsantrasyonun da arttığını kanıtlamaktadır.



Şekil 5.19 Kuyu örneklerine ait stronsiyum- bikarbonat değerleri.

Arsenik– Sıcaklık İlişkilerinin İncelenmesi

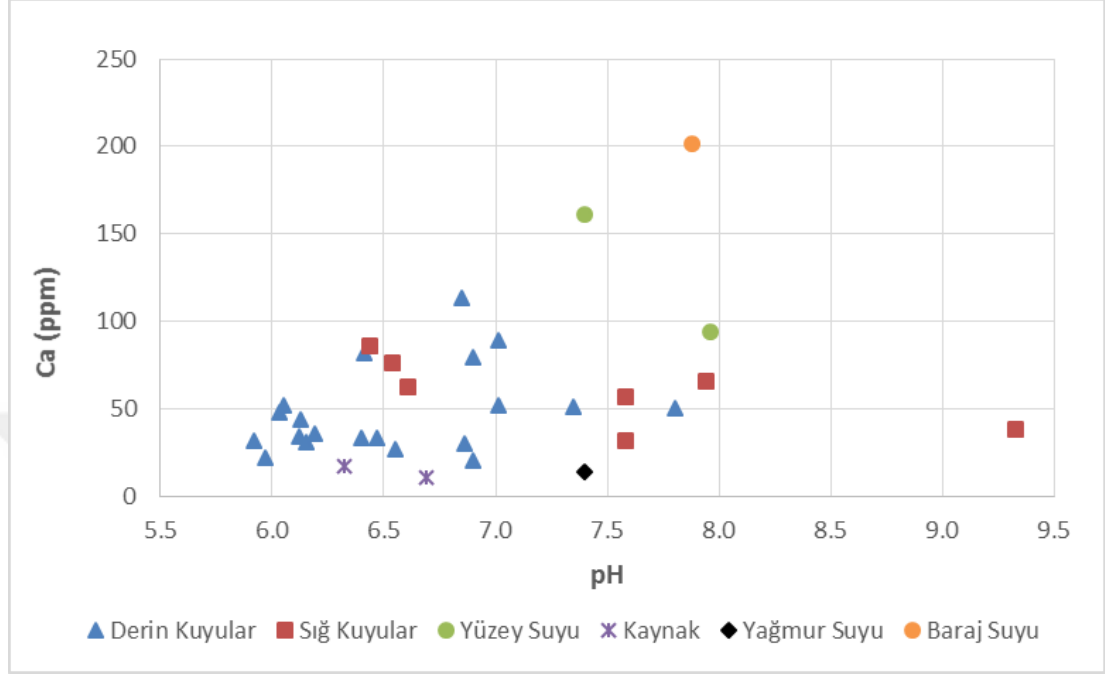
Sıcaklık arttıkça arsenik miktarında da artış gözlenmektedir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20 Kuyu örneklerine ait arsenik- sıcaklık değerleri.

Kalsiyum- pH ve Kalsiyum-Arsenik İlişkilerinin İncelenmesi

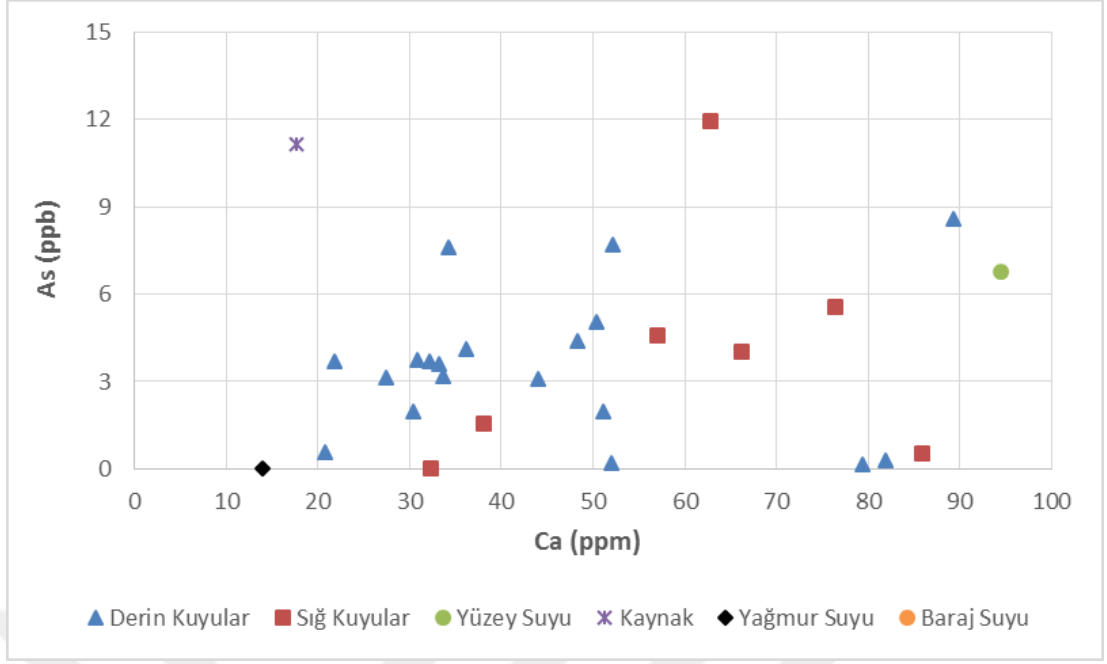
Çalışma alanından alınan su numunelerinin Kalsiyum, pH ve arsenik ilişkileri Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de sunulmuştur.



Şekil 5.21 Kuyu örneklerine ait kalsiyum - pH değerleri.

pH $\leq$ 7’nin altında olan örneklere bakıldığında hem düşük hem de diğerlerine nazaran yüksek kalsiyum konsantrasyonları gözlenmektedir (Şekil 5.21). Alandaki jeolojik yapının homojen olmayışından dolayı düşük pH değerine sahip ancak masif yapıdan oluşan örneklerin kalsiyum konsantrasyonu düşük olurken, kırıntılı malzemeye sahip yapının kalsiyum konsantrasyonu daha yüksek gözlenmektedir. Sığ kuyulara bakıldığında pH $<$ 7’nin altında kalsiyum konsantrasyonu 100 ppm civarıyken, pH $>$ 7’nin üstündeki (bazık) şartlarda daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.21).

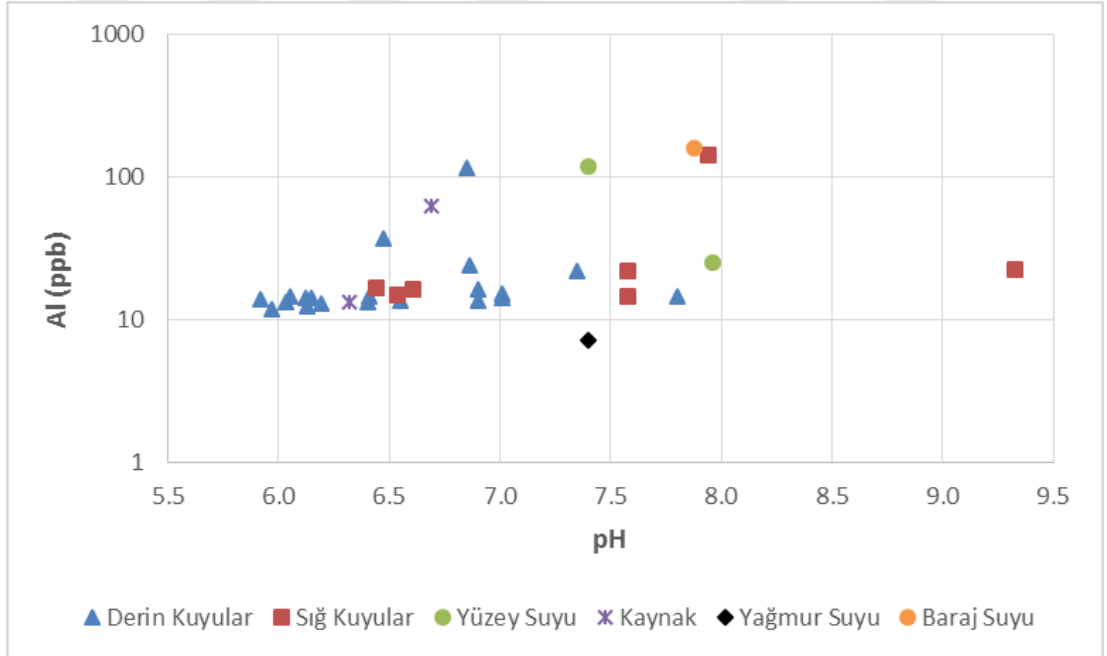
Karbonat ve bazı silikat minerallerinin en önemli katyonu olan kalsiyum ile arsenik arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Ancak yüksek arsenik değerlerine karşın, kalsiyum değerleri oldukça düşük olan veriler de vardır (Şekil 5.22). Bu durum arsenik miktarı üzerinde minerallerin etkinliğinin yanında ortamdaki süreçler (çözünme-çökme, sorbsiyon, iyon değişimi, pH-Eh) ve su karışımlarının da etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.22 Kuyu örneklerine ait kalsiyum -arsenik değerleri.

Arsenik– Alüminyum ve pH- Alüminyum İlişkilerinin İncelenmesi

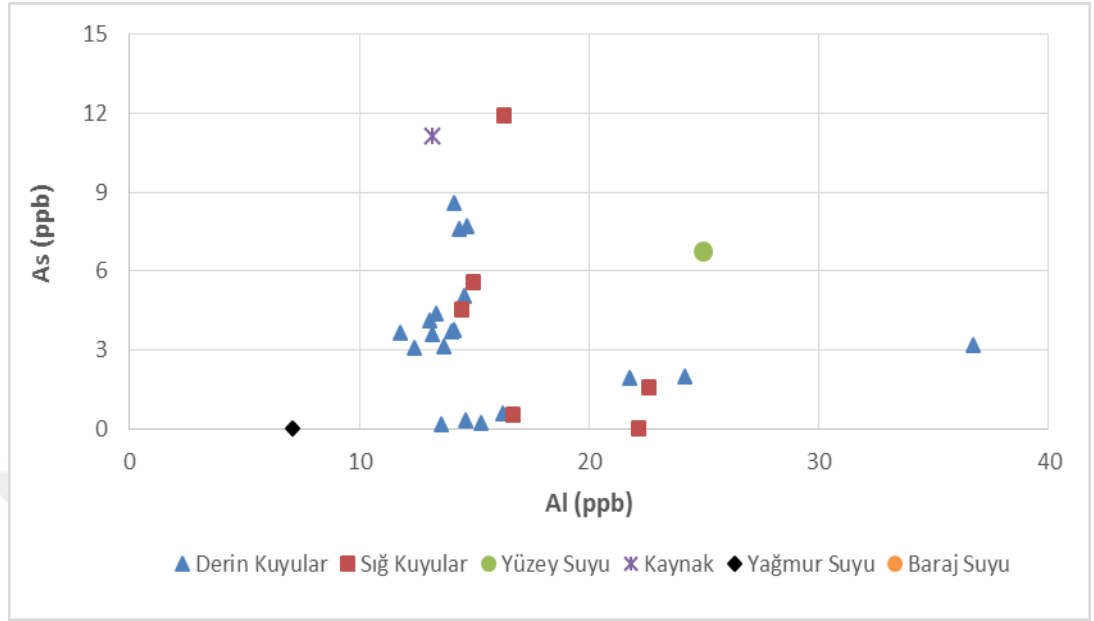
Çalışma alanından alınan su numunelerinin Alüminyum, pH ve arsenik değerleri Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de sunulmuştur.



Şekil 5.23 Kuyu örneklerine ait alüminyum -pH değerleri.

Alüminyum değerleri birbirine çok yakın olduğundan dolayı grafikteki değerler lineer ekseninde belirli bölgelerde yığıldığı için logaritmik eksen tercih edilmiştir. Alanda yer

alan suların çoğunluğu asidik karakter taşıdığı görülmüştür. Ancak alüminyum ile pH açısından manidar bir ilişki görülmemiştir (Şekil 5.23).



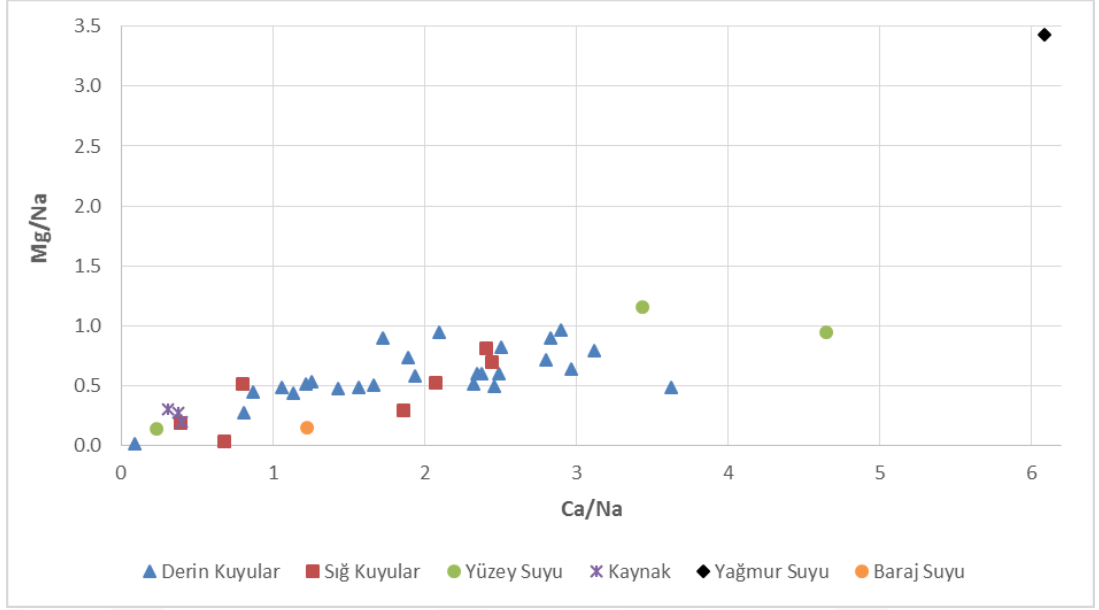
Şekil 5.24 Kuyu örneklerine ait arsenik- alüminyum değerleri.

Alüminyum, silikat minerallerinin en temel bileşenidir ve ortamdaki artışı arsenik varlığı ile oldukça doğru orantılıdır (Şekil 5.24). Ters veya düşük eğilimli ilişkiler su karışımları veya alüminyum minerallerinin çökmesi (Alüminyum sudaki çözünürlüğünü belirleyen mineraller (örn. $\text{Al}(\text{OH})_3$) ile ilişkili olabilir. Model çalışması sonucunda Boğazköprü ile Boyacı dışındaki tüm su analizleri gipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) açısından doymuş ve çökme eğiliminde olduğu da tespit edilmiştir.

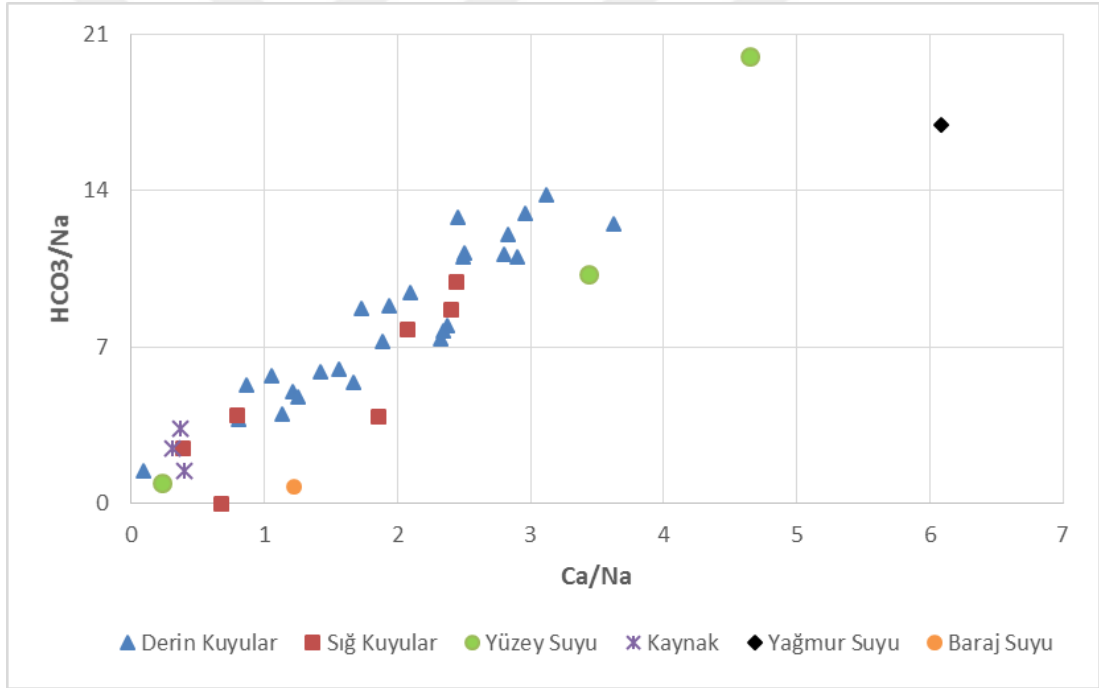
Kalsiyum– Magnezyum ve Bikarbonat/Sodyum - Kalsiyum/Sodyum İlişkilerinin İncelenmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Kalsiyum– Magnezyum ve Bikarbonat/Sodyum - Kalsiyum/Sodyum ilişkileri Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da sunulmuştur.

Suların çözünmüş içeriğinin belirlenmesinde mineral çözünürlüğünün çok önemli bir katkısı vardır. Sulardaki Ca ve Mg konsantrasyonları arasındaki doğrusal ilişki mineral içeriklerinden ya da doğada suyun çözünmüş içeriğini baskın olarak denetleyen katyon değişiminden kaynaklanabilir.



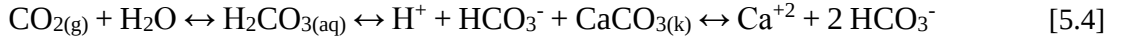
Şekil 5.25 Kuyu örneklerine ait Mg/Na- Ca/Na değerleri.



Şekil 5.26 Kuyu örneklerine ait HCO₃/Na –Ca/Na değerleri.

Katyon değişimi suyun ve katı madde yüzeyinde sorblanmış olarak bulunan katyonların türüne bağlı olarak Na ve Ca, Mg ve Ca ya da Mg ve Na arasında olabilmektedir. Her magnezyum derişimine karşılık 2,5 kat Ca derişimi dolomitik kireçtaşları, silikat mineralleri veya katyon derişimi nedeni ile oluşabilir. Na normalleştirme diyagramı Ca-Na derişimini sabitlemek amacı ile yapılmıştır (Şekil 5.26). Bu duruma göre her Ca iyonuna karşılık 3-4 arasında HCO₃⁻ iyonu

bulunmaktadır. Bu durumda denklem 5.4'e göre kireçtaşlarının çözünmesi her Ca iyonuna karşılık 2 kat HCO_3^- iyonu ortaya çıkarmaktadır. Ancak yukarıda yer alan Şekil 5.26'ya göre her Ca iyonuna karşılık 3-6 arasında HCO_3^- iyonu bulunmaktadır. Bu durum ortamdaki kireçtaşlarının dolomitik karakteri veya daha baskın oranda Na, K, Ca ve Mg içeren minerallerin de katkısı olduğunu göstermektedir. Benzer olarak yukarıda bulunan Şekil 5.25'de göre (Mg/Na-Ca/Na) her bir Mg derişimine karşılık 4 kat Ca bulunması ortamdaki mineral kimlikleri ile ilişkili olabilir.



Sonuç

Bu bölümde bölgede bulunan su gruplarının analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda yeraltısuyu sisteminde arsenik ile bikarbonat, Oksidasyon redüksiyon potansiyeli, sülfat, mangan, klorür, elektriksel iletkenlik, stronsiyum, kalsiyum ve alüminyumun ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir.

5.2.2 Analiz hatalarının belirlenmesi ve model için uygun örneklerin seçimi

İyonlar, katyon ve anyon olmak üzere ikiye ayrılırlar. Elektron alma isteği fazla olanlara anyon, elektron verme isteği fazla olanlara ise katyon denir. Yağmur suları yağıştan itibaren aldığı yol boyunca dengeye gelebilmek için bir sürü reaksiyon geçirir. Bu reaksiyonların sonucunda bünyesine bir kısım anyonlar ve katyonlar katılır. Bu sürecin iyi anlaşılması için, arazide bu reaksiyonların en bol olduğu karışım, atmosfer ile temas gibi süreçlerin öncesi ve sonrasını temel alan örnekleme ve anyon-katyon değerlerine ait analiz sonuçlarının arazideki temsili şartları sağlaması ve güvenilir olması gerekir.

Ancak laboratuvar veya arazide yapılan analizlerin çeşitli nedenlerden ötürü %100 doğrulukta yapılması zordur. Hatalardan ötürü analiz sonuçları ancak belirli sınırlar içerisinde güvenilir olabileceklerdir. Hatalar; kişisel, alet ve kimyasal maddeler ile yöntemden kaynaklanabilmektedir.

Anyon değerleriyle katyon değerleri eşdeğer gram (meq/L) cinsinden birbirine eşit çıkması gerekir⁸.

⁸https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.agri.ankara.edu.tr%2Firrigation%2F1039__ssk_blm5_analizifadeleri.doc&ei=DN7MVPO9I4T6UPi6guAF&usg=AFQjCNH-bu-2FYdQF15ZIKCtXZ6AsrZJ1w&sig2=e. Erişim Tarihi: 31.01.2015.

$$\sum \text{Kasyon (meq/l)} = \sum \text{Anyon (meq/l)} \quad [5.5]$$

Kasyon ve anyon toplamalarının kontrolü için önce % hata miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmalıdır⁵;

Tablo 5.1 Su analizlerinin anyon –kasyon toplamalarının kontrolü için % hata miktarı

Kuyu No	Percent error											
	100*(Cat- An)/(Cat+ An)	F	Cl	NO ₃	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Na	NH ₄	K	Mg	Ca
KY01	5.03	0.06	29.05	0.08	71.82	0.00	159.34	40.33	0.00	9.98	20.66	32.32
KY02	3.42	0.15	55.67	6.13	27.93	0.00	275.88	31.82	0.00	5.23	25.78	76.45
KY03	1.23	0.04	77.03	11.84	37.72	0.00	312.66	43.33	0.00	7.59	32.02	81.92
KY04	-3.14	0.08	59.27	13.88	32.24	0.00	214.57	42.99	0.00	5.36	22.08	52.20
KY05	-1.64	0.08	24.71	8.16	13.02	0.00	147.14	25.88	0.00	3.92	12.63	27.40
KY06	0.80	0.13	23.88	5.40	31.53	0.00	254.33	25.73	0.00	8.75	17.85	62.84
KY07	10.87	0.14	46.41	0.00	93.10	0.00	321.86	41.38	0.00	5.89	21.85	85.93
KY08	2.60	0.09	30.05	2.58	51.40	0.00	214.57	36.49	0.00	7.99	17.40	52.04
KY09	-1.07	0.08	40.39	10.03	15.18	0.00	159.40	42.42	0.00	6.32	11.63	34.27
KY10	18.97	0.13	32.40	0.23	124.04	30.15	0.00	56.02	6.04	12.23	1.79	38.02
KY11	4.66	0.09	28.48	0.27	60.09	0.00	196.18	32.73	3.21	7.65	15.99	51.14
KY12	4.67	0.23	145.61	0.38	105.32	0.00	398.49	100.47	0.00	12.41	43.49	113.69
KY13	9.19	0.36	126.29	0.22	83.31	30.15	416.89	167.91	0.00	49.70	31.17	66.15
KY14	12.83	0.28	17.06	0.51	80.94	18.09	119.49	30.66	2.34	7.76	8.85	56.98
KY15	5.08	0.27	13.62	1.02	33.24	0.00	272.72	21.87	1.15	7.55	10.61	79.31
KY17	-9.12	0.13	5.75	8.74	8.40	0.00	134.81	10.39	0.00	3.95	6.64	30.80
KY18	5.47	0.10	7.38	0.93	7.83	0.00	134.84	12.24	1.11	4.28	7.28	30.46
KY19	-5.01	0.12	6.88	10.39	10.39	0.00	131.81	11.82	0.00	4.81	8.51	33.15
KY20	-6.31	0.05	8.22	13.07	10.92	0.00	153.27	17.33	0.00	4.50	10.06	33.60
KY21	-7.60	0.06	8.68	13.83	11.08	0.00	153.27	12.76	0.00	4.21	11.47	36.15
KY22	-10.16	0.08	11.24	17.31	14.11	0.00	122.58	11.12	0.99	3.90	10.74	32.21
KY23	-6.61	0.13	10.28	8.53	12.19	0.00	98.03	10.42	0.04	2.47	9.85	21.83
KY24	5.88	0.10	10.76	0.66	12.83	0.00	104.22	11.99	0.50	3.01	10.80	20.71
KY26	-10.96	0.07	16.85	25.06	19.30	0.00	147.04	18.51	0.00	6.44	11.13	43.93
KY27	-14.04	0.05	20.06	31.55	24.35	0.00	153.18	20.80	0.00	8.21	10.71	48.37
KY32	-1.68	0.11	29.80	29.92	29.95	18.09	294.18	38.02	0.00	5.76	22.81	89.25
KY33	9.30	0.07	7.84	7.07	6.62	24.12	239.04	45.05	0.00	5.74	20.26	39.08
KY34	8.57	0.16	259.70	1.94		24.12	122.61	164.30	0.00	3.40	25.25	201.17
KY35	14.66	0.13	41.01	0.00	29.50	36.18	189.96	130.22	0.00	3.45	2.20	11.96
KY36	-4.57	0.07	21.26	31.85	37.41	18.09	196.18	41.18	0.00	3.12	21.88	51.80
KY39	5.81	0.04	36.34	7.41	20.72	18.09	162.31	30.17	0.00	4.16	15.35	50.30
KY40	1.21	0.25	17.65	3.67	8.52	0.00	94.93	28.29	1.32	2.36	7.79	10.59
KY41	-0.59	0.23	68.16	7.90	8.56	0.00	140.91	57.06	0.35	4.33	17.25	17.64
KY42	2.08	0.37		8.74	57.84	0.00	367.78		1.36	17.40	49.61	100.50
KY44	-10.96	0.10	8.09	16.36	7.87	0.00	147.04	13.11	0.00	4.11	10.70	32.80
Sarımsaklı Dere Giriş	9.82	0.00	38.65	0.00	9.45	0.00	692.77	34.65	3.39	40.65	32.84	161.01
Sarımsaklı Dere Çıkış	3.71	0.06	20.68	6.34	77.97	30.15	282.01	27.49	0.00	8.46	31.78	94.46
Boğazköprü Dere	3.09	0.56		3.69	55.09	0.00	600.81		2.11	31.06	91.97	150.16
Yağmur Suyu	-19.53		4.20	12.00	29.00		39.00	2.30		2.10	7.90	14.00

$$\% \text{ Hata} = [(\text{Kasyon} - \text{Anyon}) / (\text{Kasyon} + \text{Anyon})] \times 100 \quad [5.6]$$

Denklem 5.5 İle 5.6 eşitliklerinden elde edilen veriler ile analiz sonuçları karşılaştırılarak; verilerin güvenilirlik derecesi saptanır. Arazide elde edilen su analizi verileri bu kapsamda phreeqc programında hesaplanarak Tablo 5.1 de verilmiştir.

Yağmur suyunun hata oranının -19,53 çıkmasının sebebi bazı anyon ve katyon değerlerinin analizlerinin yapılamaması ve toplam çözünmüş içeriğin çok düşük olması (toplam 1000 mg/L çözelti içeriği olan bir su için % 1 hata 10 mg/L çözünmüş içerik iken yağmur suyu gibi 30-100 mg/L konsantrasyona sahip sulara 10 mg/L hata %10-33 arasına tekabül eder) olabilir. Yağmur suyu çalışma alanındaki suların ilk hali olduğu için sistemi kavrama adına kullanılması gereken önemli bir su örneğidir. Bu nedenle yağmur suyunun % hatasını düzeltmek için phreeqc programında sodyum ile dengeye getirilir.

Ayrıca % hata değerlendirmesi ile model’de kullanılabilecek örneklerin seçilmesi sağlanmıştır.

5.2.3 pe değerlerinin elde edilmesi

Kimyasal analiz ile elde edilen sudaki çözünmüş bileşenlerin konsantrasyonlarından (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, alkalinite, As, B, Fe, Al, Mn) türlerin aktivitelerini, mineral çözünme ve doygunluklarını hesaplayabilmek için suyun örnek alınan ortamındaki, pH ve Eh ölçümü hayati öneme sahiptir.

Bir ortamın oksijenli yada oksijensiz olması sadece oksijen değerinin varlığına göre yaklaşık olarak belirlenebilmesine rağmen, indirgen şartlarda ortamda hangi kimyasal reaksiyonların oluşabileceği (denitrifikasyon, Mn, NO₃⁻, Fe⁺³, organik madde, SO₄⁻², fermentasyon-CH₄, NH₄⁺-N₂ indirgenmesi ve H oluşumu) ve reaksiyonun indirgenme veya yükseltgenme gibi hangi yönde ve potansiyelde olduğu, ölçülen pH-Eh değerlerine göre tanımlanabilir.

Atmosferik şartlarda bir ortamın redoks durumu çözünmüş oksijen, toplam Fe, Mn ve Al, sülfat ve nitrat gibi bileşenlerin çözünmüş miktarlarının akım yolu boyunca değişimlerinden yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Ancak yeraltısuyu ortamının redoks seviyesi atmosferik şartlardan (%21 O₂) çok hızlı etkilenecek bir redoks dengesizliği ya da değişimi yaratır ve arazide özel ölçüm ortamları (akım hücresi) ve dengeye gelmesi için uzun zaman gerektirebilir. Eh ölçümü için arazi ortamında standart hidrojen elektrod (SHE) kullanımı gerekli aparat ve şartları sağlamak açısından pek uygun değildir. Onun yerine referans elektrotlar olan doygun kalomel elektrot (Hg/HgCl₂) veya Ag/AgCl elektrot ile ölçülür ve uygun sıcaklıktaki elektrotun hücre katsayıları Orp’ye eklenerek Eh değerine çevrilir. Model çalışmalarında kullanmak üzere Eh değeri Denklem 5.7’de yerine koyularak, pe değerine dönüştürülür. pe

sudaki elektron aktivitesini tanımlar ($pe = -\log a_e$) ve değerinin yüksekliği oksijenli şartları (düşük elektron aktivitesi), düşük değerleri (yüksek elektron aktivitesi) ise indirgen şartları tanımlar⁹. Orp değerinin pe 'ye çevrilmesinin temel nedeni, pe 'nin bir proton alma veya verme eğilimini göstermesi sayesinde phreeqc programında Orp yerine kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

$$pe = F.Eh / 2,303RT \quad [5.7]$$

25 °C'de $pe = 16,9Eh$ veya $Eh = 0,059pe$

F, Faraday katsayısı: 96,42 kJ volt⁻¹ eq⁻¹ veya 23,061 kcal volt⁻¹ gr eq⁻¹

Eh volt olarak,

R ideal gaz sabiti: 8,3145 J (mol K)⁻¹ yada 1,987 kcal K⁻¹mol⁻¹

T, Kelvin olarak sıcaklıktır.

pH=0 ve pH2=1 atm olduğu şartlarda hidrojen yarım hücresine dayalı bir elektrot SHE olarak adlandırılır. Bu tip bir elektrot, herhangi bir diğer elektrotla birlikte bir potansiyelin ölçülmesine olanak tanıyan bir devreyi tamamlayacak şekilde referans olarak kullanılabilir. Sahada SHE'nin referans elektrot olarak kullanılmasının çok uygun olmadığı dikkate alınmalıdır. SHE'yi hazırlamak için bir hidrojen gazı tüpü ile bir şişe asidi her tarafa taşımak zorunda kalınacaktır. Bu nedenle, Ag/AgCl veya doymuş kalomel (SCE) gibi ikincil referans elektrotlar kullanılmaktadır. SCE, HgCl₂ çözeltisindeki cıvadan oluşmaktadır. Bu referans elektrotlara nispeten ölçülen Eh değerleri daha sonra SHE ölçeğine göre düzeltilmelidir¹⁰.

Tablo 5.2 Zobell'in arazide ölçülen Orp değerlerini düzeltme tablosu¹¹

Temperature, C	Zobell Solution Value, mV vs. Ag/AgCl (4 M KCl)
-5	267.0
0	260.5
5	254.0
10	247.5
15	241.0
20	234.5
25	228.0
30	221.5
35	215.0
40	208.5
45	202.0
50	195.5

⁹ <http://kisi.deu.edu.tr/cihan.gunes/>. Erişim Tarihi: 02.02.2015.

¹⁰ https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0CE8Q_xMwCA&url=https%3A%2F%2Fwww.uvm.edu%2F~gdrusche%2FClasses%2FGEOL%2520371%2520-%2520Aqueous%2520Environmental%2520Geochemistry%2FLecture%25209%2520-%2520Redox%2520g. Erişim Tarihi: 02.02.2015.

¹¹ <http://www.ysi.com/media/pdfs/T608-Measuring-ORP-on-YSI-6-Series-Sondes-Tips-Cautions-and-Limitations.pdf>. Erişim Tarihi: 02.02.2015.

Tablo 5.3 Arazide ölçülen oksidasyon redüksiyon potansiyellerinin pe karşılığı

Örnekler	Sıcaklık	ORP	Eh(mV)	pe
KY03	13.21	-4.70	238.63	4.20
KY04	14.51	40.00	281.64	4.93
KY05	13.58	64.00	306.85	5.39
KY08	15.43	-241.50	-1.06	-0.02
KY09	14.35	-338.00	-96.16	-1.69
KY11	14.98	-264.70	-23.67	-0.41
KY12	15.00	-297.20	-56.20	-0.98
KY15	12.92	-251.40	-7.70	-0.14
KY17	15.07	3.30	244.21	4.27
KY18	15.00	-45.70	195.30	3.42
KY19	15.86	-21.90	217.98	3.80
KY20	14.33	-45.80	196.07	3.44
KY21	14.35	-31.90	209.95	3.68
KY22	12.72	-3.70	240.26	4.24
KY23	10.85	2.50	248.90	4.42
KY24	11.65	-16.80	228.56	4.04
KY26	14.02	-126.40	115.87	2.03
KY27	13.68	-81.90	160.82	2.83
KY32	14.90	259.40	500.53	8.76
KY33	23.40	248.50	478.58	8.13

Örnekler	Sıcaklık	ORP	Eh(mV)	pe
KY35	24.00	248.70	478.00	8.11
KY36	15.33	268.50	509.07	8.89
KY39	18.91	215.40	451.32	7.79
KY44	14.92	364.20	605.30	10.59
KY01	11.32	-233.90	11.88	0.21
KY02	13.08	-14.10	229.40	4.04
KY06	13.29	22.60	265.82	4.68
KY07	13.70	-294.80	-52.11	-0.92
KY10	14.93	-311.80	-70.71	-1.24
KY13	15.92	-289.00	-49.20	-0.86
KY14	12.12	-245.40	-0.66	-0.01
KY37	0.70	160.50	420.09	7.73
KY38	5.92	193.00	445.80	8.05
KY43	6.04	280.00	532.65	9.61
KY40	10.00	233.00	480.50	8.55
KY41	12.54	-58.50	185.70	3.28
KY42	16.88	272.80	511.36	8.89
KY34	8.40	279.00	528.58	9.46
Yağmur Suyu	18.00	231.30	468.40	8.11

Arazide YSI 556 marka multi prob ile ölçülen Orp değerleri Tablo 5.2’den elde edilen denklik sayesinde ($y = -1.3x + 260.5$, $R^2 = 1$) düzeltilerek, Tablo 5.3’deki Eh(mV) değerleri bulunmuştur. Daha sonra elde edilen Eh değerler Denklem 5.7’de yerine koyularak pe değerleri bulunmuştur.

5.2.4 Arsenik türlerinin tespiti

Katı, sıvı ya da gaz bir bileşenin derişimi türün aktivitesini (sadece As(III) veya H_3AsO_3 gibi) yansıtan direkt ölçüm ya da toplam türlerinin aktivitesini sağlayan tek bir bileşenin (toplam As, Fe, Al, Mn) ölçümü ile sağlanabilir. Toplam türlerin aktivitesini yansıtan tek bir ölçüm ile (toplam As gibi) termodinamik temelde iyon etkileşim teorisine dayanarak çalışan yazılımlar (PHREEQCI gibi) ile istenen pH, Eh ve eğer gerekli ise diğer etkileşime girdiği elementlerin veya bileşiklerin ölçüm değerlerinin modele katılması ile türlerin derişimleri belirlenebilir. Türlerin içeriklerinin belirlenmesi laboratuvar şartlarında belirlenmiş denge katsayılarına göre oluşturulmuş olmasına rağmen doğal ortamdaki değişimlerin tahminlerinde çok yararlıdır. Ayrıca bir gölde veya yeraltı suyunda belirli bir derinlikteki suda çözünmüş Fe^{+2} veya As(III) miktarını ölçmek için örnek ortamının pH ve redoks şartlarını ya da örnek içinde çözünmüş derişimi zincirleme koruyan bir tasarım ve/veya uygun filtrasyon yöntemleri ile ayrılmış ve korunmuş örnekte ölçüm gerekir. Üstelik örnek çözünmüş içeriği iyi bir arıtım ile organik ve inorganik içerik açısından ölçüm

yöntemini bozmayacak ve istenen bileşene girişim yapmayacak özelliklerde olmalıdır. Bu gibi ölçümlerde başarı oldukça yüksek hassasiyet, donanım ve ne istediğini bilen deneyimli personel gibi birçok etkenin bir araya getirilmesini gerektirir. Bu gibi zorluklar nedeni ile herhangi bir ortamdaki pH, Eh, O₂ ve çözünmüş organik inorganik içerik miktarları gibi temsili ölçüm ve analizler biliniyor ise istenen türler (örneğin Fe⁺², Fe⁺³, As⁺⁵, As⁺³, As⁻³...) termodinamik temelde çalışan yazılımlar ile hesaplanabilir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin arsenik açısından türlerinin tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Bunun için PHREEQC (versiyon 3.1) programında Wateq4f veri tabanı kullanılmıştır. Şekil 5.27 ve Şekil 5.28 'de verilerin programdaki ham hali gösterilmiştir.

PHREEQC Interactive - [su_verileri]

File Edit View Options Window Help

Initial conditions: [Icons]

Forward and inverse modeling: [Icons]

Printing and numerical method: [Icons]

Input files: [Tree view showing simulation 1, solution spread, selected output, etc.]

Number	Description	Temperature	pH	pE	T	Cl	S(1)	S(2)	Alkalinity	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
1	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
2	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
3	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
4	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
5	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
6	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
7	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
8	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
9	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
10	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
11	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
12	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
13	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
14	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
15	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
16	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
17	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
18	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
19	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
20	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
21	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
22	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
23	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
24	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
25	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
26	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
27	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
28	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
29	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
30	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
31	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
32	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
33	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
34	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
35	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
36	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
37	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
38	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
39	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00
40	0010	10.21	4.20	8.45	0.00	77.00	11.14	17.72	112.06	63.00	7.00	12.00	11.00	0.00	14.00	0.00	0.00

Şekil 5.27 Phreeqc programında verilerin gösterimi.

PHREEQC Interactive - [su_verileri]

File Edit View Options Window Help

Initial conditions: [Icons]

Forward and inverse modeling: [Icons]

Printing and numerical method: [Icons]

Output files: [Tree view showing simulation 1, solution spread, selected output, etc.]

Species	Molality	Activity	Log Molality	Log Activity	Log Gamma
H+	4.284e-007	3.890e-007	-6.368	-6.410	-0.042
OH-	1.111e-008	9.949e-009	-7.954	-8.002	-0.048
H2O	5.551e+001	9.997e-001	1.744	-0.000	0.000
Al	5.418e-007				
Al(OH)2+	2.206e-007	1.975e-007	-6.656	-6.705	-0.048
Al(OH)4-	1.402e-007	1.255e-007	-6.853	-6.901	-0.048
AlF+2	6.179e-008	3.968e-008	-7.209	-7.401	-0.192
AlOH+2	4.611e-008	2.961e-008	-7.336	-7.529	-0.192
AlF2+	3.493e-008	3.127e-008	-7.457	-7.505	-0.048
Al(OH)3	2.910e-008	2.918e-008	-7.536	-7.535	0.001
Al+3	6.903e-009	2.548e-009	-8.161	-8.594	-0.433
AlSO4+	1.561e-009	1.398e-009	-8.807	-8.855	-0.048
AlF3	6.499e-010	6.518e-010	-9.187	-9.186	0.001
Al(SO4)2-	9.486e-012	8.491e-012	-11.023	-11.071	-0.048
AlF4-	8.466e-013	4.338e-013	-12.315	-12.363	-0.048
AlHSO4+2	6.896e-017	4.428e-017	-16.161	-16.354	-0.192
As(3)	2.148e-014				
H2AsO3-	2.145e-014	2.151e-014	-13.669	-13.667	0.001
H2AsO3-	2.767e-017	2.477e-017	-16.558	-16.606	-0.048
H4AsO3+	4.631e-021	4.146e-021	-20.334	-20.382	-0.048
HAAsO3-2	1.165e-025	7.483e-026	-24.934	-25.126	-0.192
AsO3-3	6.829e-035	2.520e-035	-34.166	-34.599	-0.433
As(5)	4.007e-009				
H2AsO4-	2.244e-009	2.904e-009	-8.489	-8.537	-0.048
HAAsO4-2	7.624e-010	4.895e-010	-9.118	-9.310	-0.192
H3AsO4	1.999e-013	2.005e-013	-12.699	-12.698	0.001
AsO4-3	5.641e-015	2.082e-015	-14.249	-14.682	-0.433
Ba	3.548e-007				
Ba+2	3.266e-007	2.097e-007	-6.486	-6.678	-0.192

Şekil 5.28 Phreeqc programında arsenik türlerinin gösterimi.

Mevcut İçme Suyu Bölgesi

Mevcut içme suyunun sağlandığı alandaki arsenik türlerinin belirlenmesi hem toksisite hem de arıtma işlemleri için önem arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı alanda hangi arsenik türleri bulunduğunu ve bu türler içinden hangilerinin baskın olduğu Phreeqc programı ile yapılan model çalışması ile ortaya konulmuştur (Tablo 5.4 ve 5.5).

Tablo 5.4 Kuyularda baskın olan arsenik türlerinin dağılımı

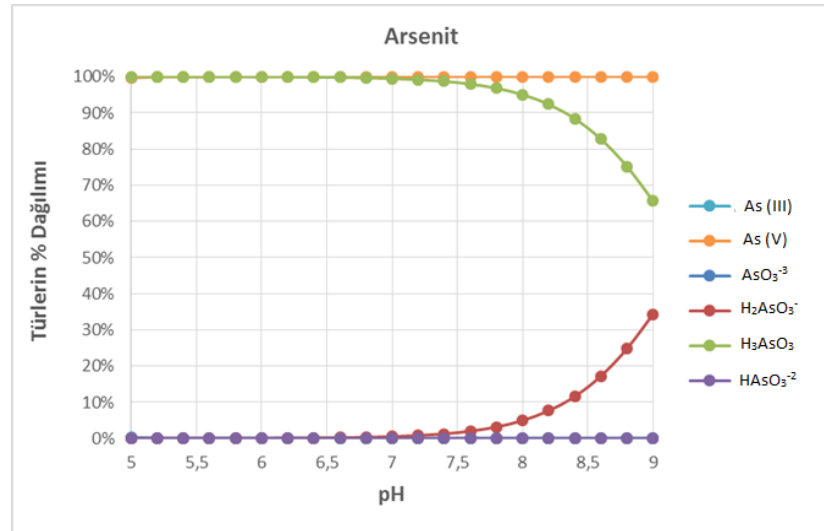
Arsenik Türleri	As (III) içeren kuyu sayısı	As (V) içeren kuyu sayısı
H ₃ AsO ₃	6	-
H ₂ AsO ₄ ⁻	-	20
HAsO ₄ ⁻²	-	11
Toplam	6	31

Tablo 5.5 Kuyulardaki As (III) ve As (V) türlerinin tümünün dağılımı

Arsenik Türleri		Sıklık
As (III)	H ₃ AsO ₃	36
	H ₂ AsO ₃ ⁻	1
	H ₄ AsO ₃ ⁺	0
	HAsO ₃ ⁻²	0
	AsO ₃ ⁻³	0
As (V)	H ₂ AsO ₄ ⁻	25
	HAsO ₄ ⁻²	12
	H ₃ AsO ₄	0
	AsO ₄ ⁻³	0

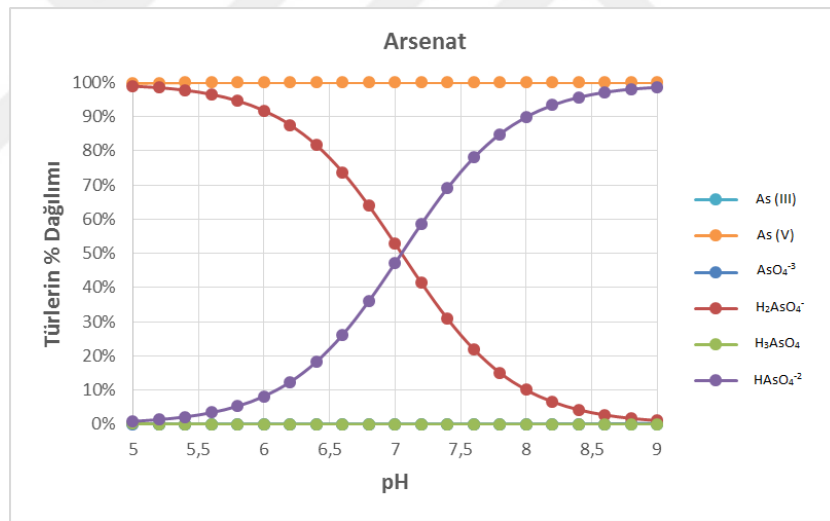
Çalışma alanında As V'e ait negatif yüklü H₂AsO₄⁻ ve HAsO₄⁻² türleri baskındır. Baskın arsenik türünün negatif yüzey yüküne sahip olması sayesinde ortamdan yüzeye tutunma, anyon değişimi ve beraber çöktürme prosesleri ile uzaklaştırılması kolaylaşır. As III açısından (KY07, KY08, KY09, KY11, KY12, KY15) 6 kuyuda ise H₃AsO₃ türü hâkim bulunmaktadır ve nötr olduğundan, bu form kolayca uzaklaştırılmaz.

Mevcut İçme suyu bölgesinde yer alan suların pH değerine bağlı olarak arsenit (As⁺³) ve arsenat (As⁺⁵) türleri Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Alanda baskın arsenik türünün arsenat olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte su ortamında arsenit'in yüksüz olan H₃AsO₃ türünün pH 7'den sonra azaldığı ve yerini H₂AsO₃⁻'ün aldığı da tespit edilmiştir.



Şekil 5.29 Mevcut içme suyu bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As⁺³ türlerinin % dağılımı.

Arsenat açısından ise; pH 7'ye kadar H₂AsO₄⁻ baskın iken pH>7'den sonra HAsO₄²⁻ türünün su ortamında baskın duruma geçtiği belirlenmiştir.



Şekil 5.30 Mevcut içme suyu bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As⁺⁵ türlerinin % dağılımı.

5.2.5 Doygunluk modellemesi

Mineral doygunluk indeksi, belirli bir mineralin suda çözünme ya da çökelme eğiliminde olduğunu gösteren bir indekstir. SI ile ifade edilir. SI değeri negatif olduğunda mineralin doygunluğa ulaşmadığı ve çözünme eğiliminde olduğu, pozitif olduğunda ise mineral doygunluğa ulaşarak çökelme eğiliminde olduğunu göstermektedir. SI değeri 0 iken mineral-su kimyasal denge halindedir. SI'nın kabul edilebilirliği ± 0.5 arasındadır. Doygunluk indeksi (SI);

$SI = \log(IAP/K_{sp})$ formülü ile ifade edilir.

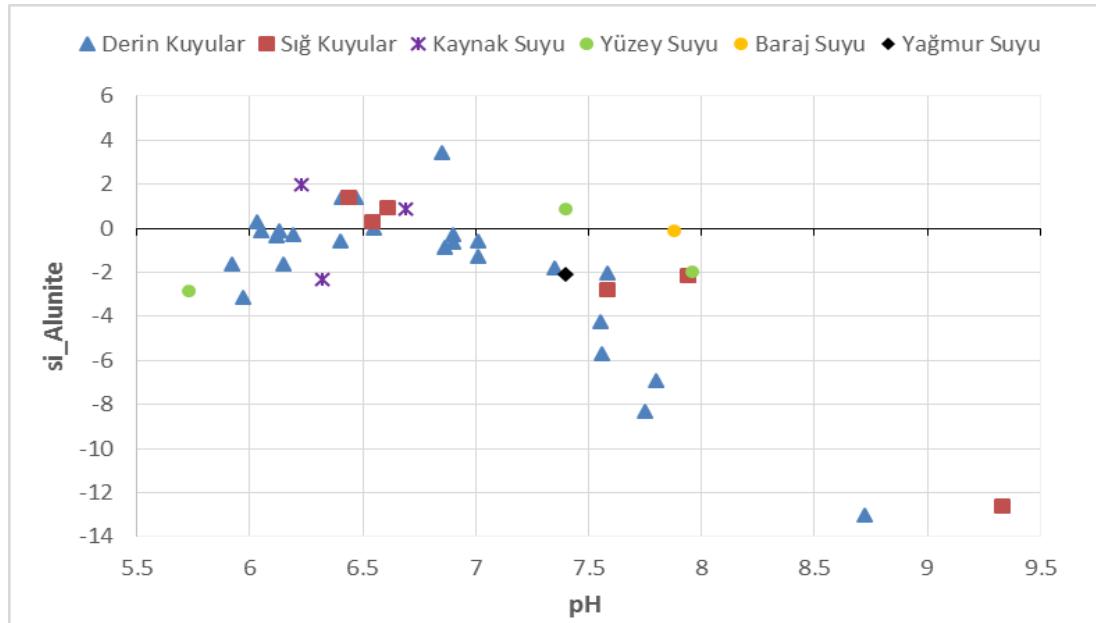
IAP: İyon aktivasyon çarpımı (ürünlerin iyon aktivitesi; türün ortamdaki etkin derişimi)

K_{sp} : Denge sabiti

Bu başlık kapsamında çalışma alanındaki örneklere (PHREEQC programında) mineral-su doygunluk analizi yapılarak, alanda arsenik açısından önem taşıyan minerallerin çözünme/çökelme eğilimleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda $AlAsO_4 \cdot 2H_2O$, Alunite, $Ba_3(AsO_4)_2$, Basaluminite, Calcite, CO_2 , $Fe(OH)_3$, Manganite, Siderite ve Rhodochrosite doygunluk analizi açısından incelenmesi gereken mineraller olmuşken, $Al(OH)_3$, $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 4w$, $Cu_3(AsO_4)_2 \cdot 6w$, Dolomite, $Fe_3(OH)_8$, Geothite, Gypsum, Halite, Magnetite, $Mn_2(SO_4)_3$, $Mn_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$, $Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$, $Pb_3(AsO_4)_2$, Scorodite ve $Zn_3(AsO_4)_2 \cdot 2.5w$ gibi mineraller ise aşırı doygun olması, benzer bileşikler olması ve araştırmalar sonucunda (Halite gibi) arsenik ile ilgisi olmamasından dolayı incelenmemiştir.

Alunit Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Phreeqc programında Wateqf4 veri tabanı kullanılarak yapılan model çalışması sonucunda elde edilen alunite mineraline ait doygunluk değerleri Şekil 5.31’de verilmiştir.



Şekil 5.31 Alunit mineralinin pH’a karşılık doygunluk değerleri.

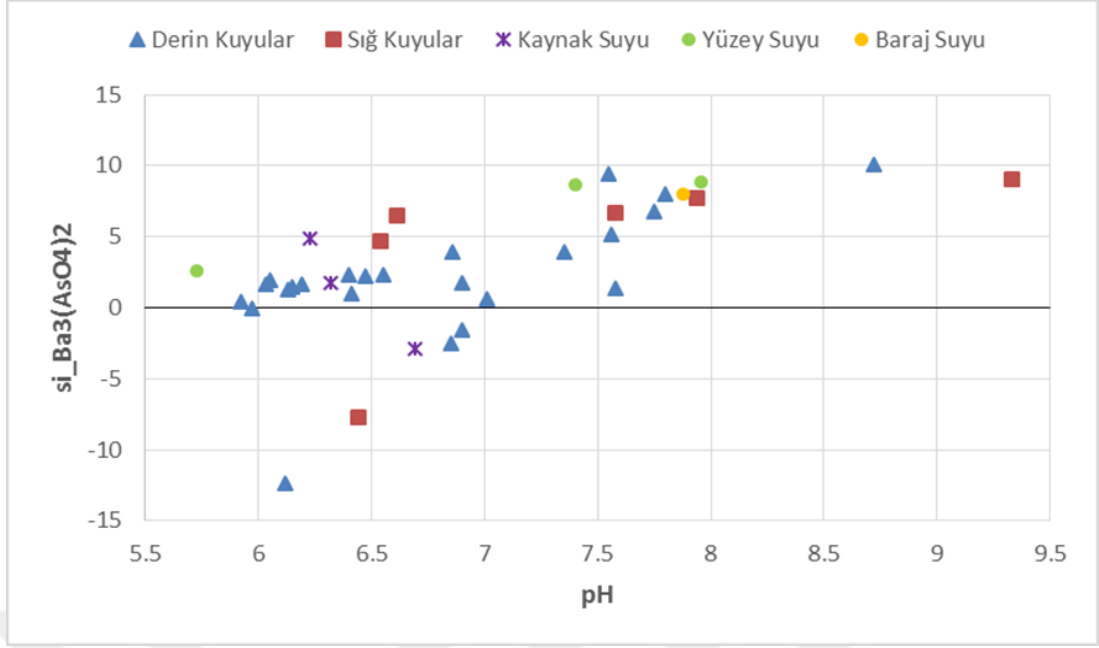
Derin ve sığ kuyular açısından alanda alunitin hem doygunluğa ulaştığı hemde doygun olmadığı durumlar gözlemlenmiştir (Şekil 5.31). Su örneklerine ait sülfat, arsenik, alunit doygunluğu ve arsenik V türü olan AsO_4^{-3} birlikte incelendiğinde; doygunluğa ulaşan örneklerde AsO_4^{-3} türünün, alunit açısından doygun olmayan örnekler göre daha az konsantrasyonlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Örneğin KY12 nolu kuyuda alunit doygunluğu: 3.436, As: 1.03 ppb, SO_4 : 105 ppm iken, KY35 nolu kuyuda alunit doygunluğu: -13.034, As: 36.43 ppb, SO_4 : 29.50 ppm'dir. Bu vb. kuyularda alunit doygun olan örneklerde AsO_4^{-3} türü daha az bulunurken, sülfat değerleri ise doygun olmayanlara nazaran daha yüksek çıkmıştır. Alunit bünyesindeki sülfat ile sudaki (As V türü olan) AsO_4^{-3} yer değiştirdiği görülmüştür. Böylece yüksüz olan arsenik V türünün ortamdan uzaklaştırılmasında alunitin katkısı tespit edilmiştir. Şekil 5.31'deki bazı örneklerde alunit minerali doygunluğa ulaşmadığı belirlenmiştir (Örn: KY10). Bu tür sularda (düşük arsenik konsantrasyonu) AsO_4^{-3} az olduğu için alunitin doygunluğa ulaşması beklenmemektedir. Alana düşen (bakir) yağmur suyu alunit açısından doygunluğu -2 civarındadır. Buradan alunitin jeolojiden nasıl etkilendiği, doygunluğunun azalma ve yükselme eğilimi de görülmektedir.

Tespitlerimizi alunit hakkındaki teorik bilgiler de desteklemektedir. Termodinamik veri tabanında 15 adet sülfat minerali bulunur. Bunlardan biride Alunit'dir. Alunitin kimyasal formülü $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ile ifade edilir. Alunit bazı asidik yüzey sularında çökmemiş halde aşırı doygun olarak bulunabilmektedir (Zhu ve Anderson, 2002). Alunit bileşikleri çevresel koşullarda iyi bir kararlılığa sahiptir. Bu yüzden toksik metallerin hareketsiz hale getirilmesi için önerilmiştir. Alunit'in içindeki SO_4 ile çözelti içindeki AsO_4^{-3} yer değiştirerek, alunit'in bünyesine AsO_4^{-3} katmaktadır (Sunyer vd., 2013).

$\text{K}^+_{(\text{aq})} + 3\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 2\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})} + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6(\text{s}) + 6\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ (Sunyer vd., 2013) [5.8]
AB₃(TO₄)₂(OH)₆ A 2 değerlikli: Na, K, Ba etc B 3 değerlikli: Fe, Al vb. TO₄: SO₄, PO₄ veya AsO₄ olabilir.

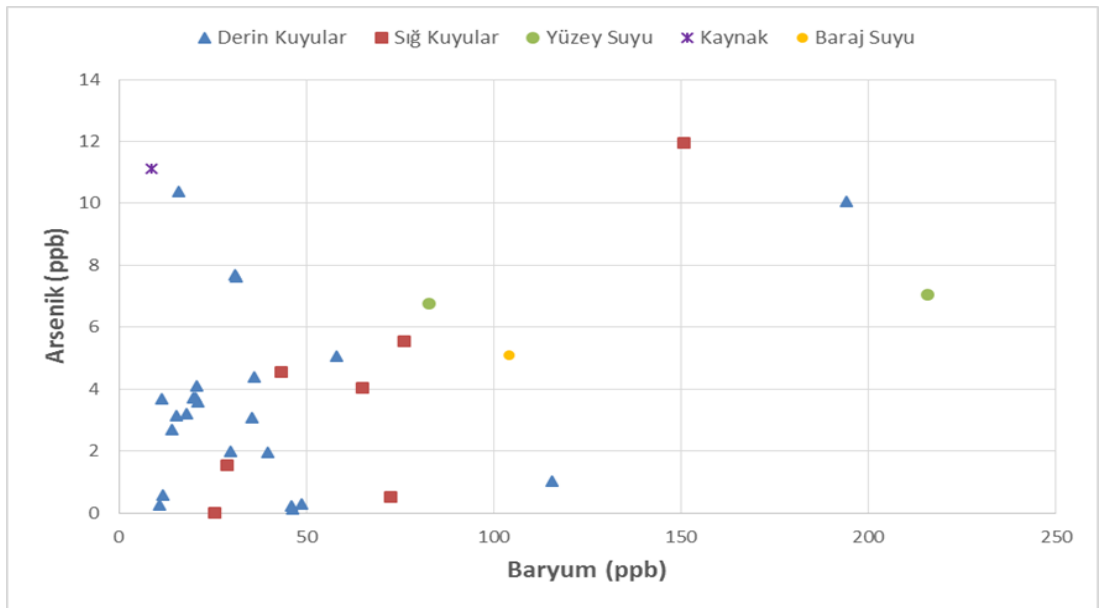
Baryum Arsenat Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen baryum arsenat mineraline ait doygunluk değerleri ve baryum ile arsenat arasındaki ilişki Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.



Şekil 5.32 Baryum arsenat mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.

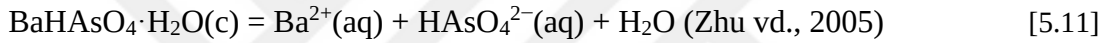
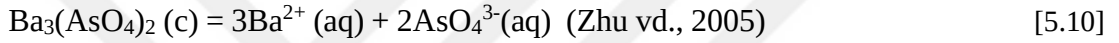
Modelde baryum arsenat açısından alandaki su örneklerinin doygunluğa ulaştığı ve As V türü olan AsO_4^{-3} 'ün ortamdan uzaklaşmasında katkısı olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 5.32). Nitekim alanda bulunan arsenik türleri içinde en az rastlanan türün AsO_4^{-3} olmasında, baryum arsenat ile alunit'in katkıları görülmüştür. Baryum arsenat açısından doymayan (sığ ve derin kuyu) su örnekleri incelendiğinde alunit açısından doymun oldukları belirlenmiştir. Bu durum ortamdaki AsO_4^{-3} türünü ilk olarak alunitin kullandığını sonrasında baryum arsenat ile reaksiyona girdiği kanıtlamaktadır.



Şekil 5.33 Baryum değerlerine karşılık arseniğin değişimi.

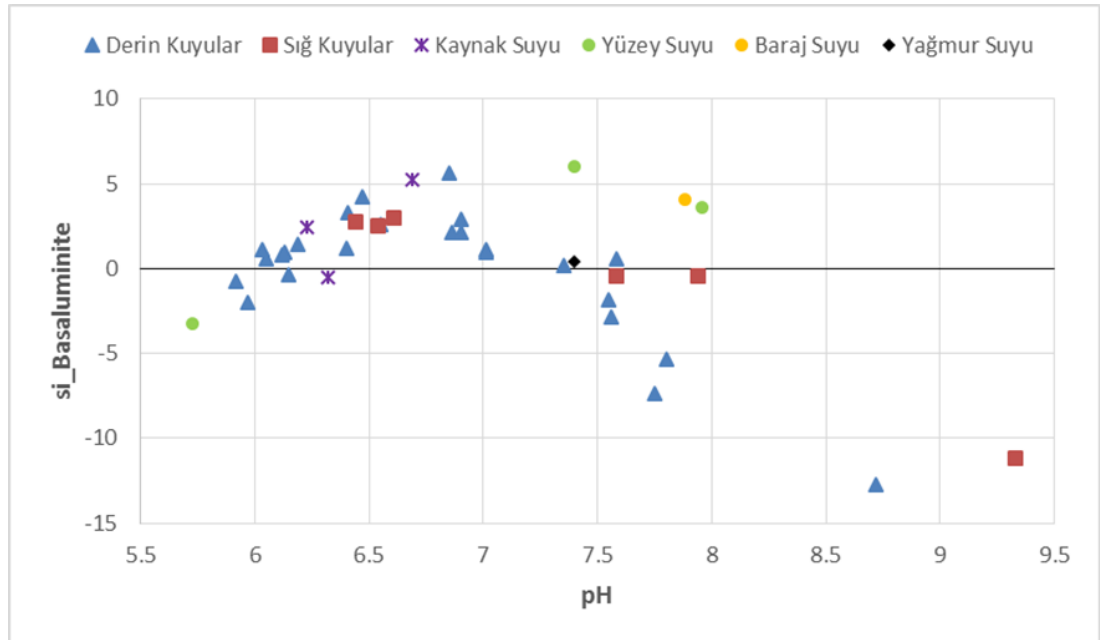
Şekil 5.33'den görüleceği üzere baryum miktarındaki artış ile arsenik çoğunlukla uyum içindedir. Bu iki grafik mevcut şartlar ile değerlendirildiğinde; sudaki baryum mineralinin varlığından dolayı baryum arsenat daha fazla doygunluğa ulaşma eğilimindedir. Ayrıca baryum arsenat grafiğinden baryumun azaldığında arseniğin de azaldığını yani çökelpmenin bazı alanlarda gerçekleşebileceğini, yani arseniğin ortamdan uzaklaşabileceğini ifade etmek de mümkündür.

Nitekim baryum arsenat kararlılığından dolayı katı atık sızıntı sularında ve tatlı sularda arsenik konsantrasyonun kontrolünde kullanılmaktadır. Baryumun iyon aktivitesinin arsenatı kontrol ettiği de belirlenmiştir. Ayrıca baryum arsenatın geniş Eh aralığında ve alkali ph koşullarında kararlı olduğu da bilinmektedir (Zhu vd., 2005). Baryum arsenat ile ilgili denklilikler;



Basaluminite Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen basaluminite mineraline ait doygunluk değerleri Şekil 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5.34 Basaluminite mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.

Basaluminite minerali açısından alandaki su örneklerinin çoğunluğunun doygunluğa ulaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 5.34). Basaluminit minareli çökelirken, ortamdan OH iyonlarını uzaklaştırarak pH'ın asidik olmasına sebep olmaktadır. Şekil 5.34'den görüleceği üzere basaluminite minerali açısından doygunluğa ulaşmış su örneklerinin çoğunluğu $pH < 7$ altındadır. Daha önceki Orp/pH ve Orp/As verilerinin değerlendirilmesi aşamasında ise düşük pH'lı suların daha fazla okside olarak (+) Orp değerleri taşıdığı ve alanda yükseltgen şartları taşıyan örneklerin arsenik değerlerinin daha fazla olduğu tespit edilmişti (Şekil 5.6). Basaluminite minerali ortamın pH'sını etkileyerek dolaylı olarak arseniğin ortamdaki varlığına etki ettiği tespit edilmiştir.

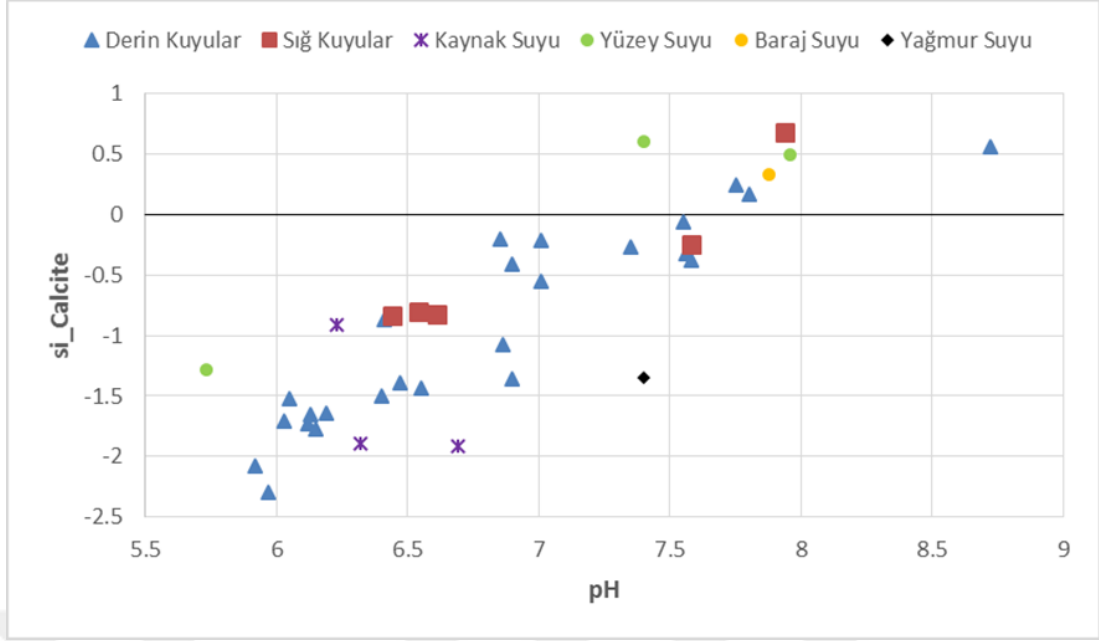
Ayrıca Kürkçüoğlu (2000) tarafından yapılan jeoloji çalışmasında alanda SiO_2 'den sonra en çok bulunan majör elementin Al_2O_3 sonra Fe_2O_3 olduğu bulunmuştur. Alandaki kuyu suyu örneklerimizde ise ($Al_{(min)}$: 7.1 ppb, $Al_{(ort)}$: 27.73 ppb, $Al_{(mak)}$: 141.70 ppb iken, $Fe_{(min)}$: 45 ppb, $Fe_{(ort)}$: 275.14 ppb, $Fe_{(mak)}$: 1021 ppb) durum tam tersidir. Suda alüminyum değerinden daha fazla miktarda demir bulunmaktadır. Bu durum; basaluminite mineralinin sudaki Al hareketliliğini (çözünürlüğünü-çökelişini) kontrol eden mineral olduğunu göstermektedir.

Basaluminite ($Al_4(OH)_{10}SO_4$) temel alüminyum sülfat minerallerindendir (Clayton, 1980). Ortamdaki alüminyum konsantrasyonunun basaluminite gibi ikincil fazlar tarafından kontrol edildiği bilinmektedir (Gitari vd., 2005). Genellikle killerin ayrışması sonucunda oluşur. Basaluminite'in çökmesiyle, demir minerallerinin hareket oranı da giderek azaldığı görülmüştür (Mahoney vd., 2007).

Kalsit Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen kalsit mineraline ait doygunluk değerleri ile $CO_2 - pH$ ilişkisi Şekil 5.35 ve Şekil 5.36 'da verilmiştir.

Çalışma alanındaki kuyu gruplarına bakıldığında ortamın kalsit açısından dengeye gelmeye çalıştığı görülmektedir (Şekil 5.35). Karbonat; Ca, Mg, Fe, Zn, Na, Pb, Mn, Sr ve Ni ile bileşik oluşturabilmektedir. Kalsite doygun örneklerde genellikle bikarbonattan (HCO_3 , CO_2 , $CaHCO_3$ ve $MgHCO_3$ 'den) sonra $CaCO_3$ tercih edilirken, doygun olmayan örneklerde daha çok bikarbonat (HCO_3 , CO_2 , $CaHCO_3$, $MgHCO_3$, $NaHCO_3$, $ZnHCO_3$ ve $FeHCO_3$) türünden sonra kalsit minerali olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.35 Kalsit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.

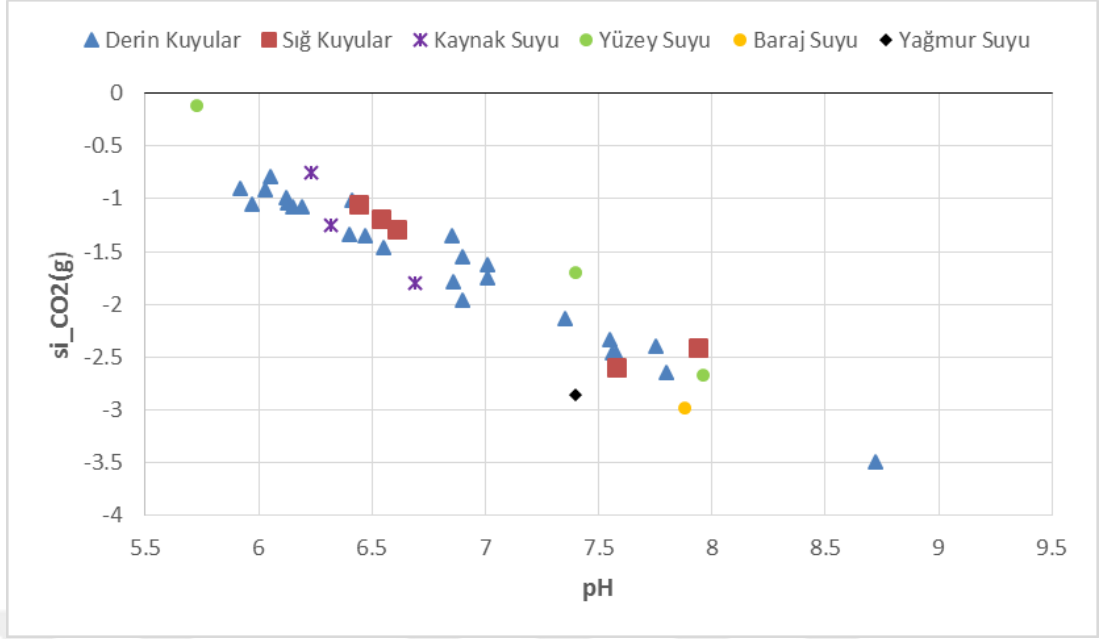
Birkaç derin / sığ kuyu, yüzey suyu ve baraj suyunda kalsitin doygunluğa ulaştığı gözlenmektedir (Şekil 5.35). Bu da alanda arseniğin (az da olsa) kalsit ile çökelebileceğini göstermektedir. Ayrıca Şekil 5.35'den kalsit minerali ile pH arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu belirlenmiştir. Kalsitin pH değişimine katkısından dolayı arsenik değişimine sebep olabileceği de tespit edilmiştir.

Kireçtaşının ana bileşeni olan kalsit minerali, CaCO_3 kimyasal formülü ile ifade edilir¹². Çeşitli çalışmalarda arsenik III ve arsenik V'in kalsit içindeki CO_3^{2-} gruplarıyla yer değiştirebileceği görülmüştür (Winkel vd., 2012). Aşağıdaki (Denklem 5.12 ve 5.13'deki) reaksiyonlarda kalsit ile arsenik ilişkisi görülmektedir.



Yukarıda kalsit mineralinin oluşumuyla birlikte pH'ın arttığı belirlenmişti. pH'a karşı çizilen karbondioksit grafiğinden görüleceği üzere; pH artışında karbondioksitin harcanması veya atmosfere kaçıışı etkin rol oynamaktadır (Şekil 5.36). pH değerinin CO_2 tarafından denetlenmesi, arsenik adsorpsiyonunda en önemli etkenlerden birisi olduğunu düşündürmektedir.

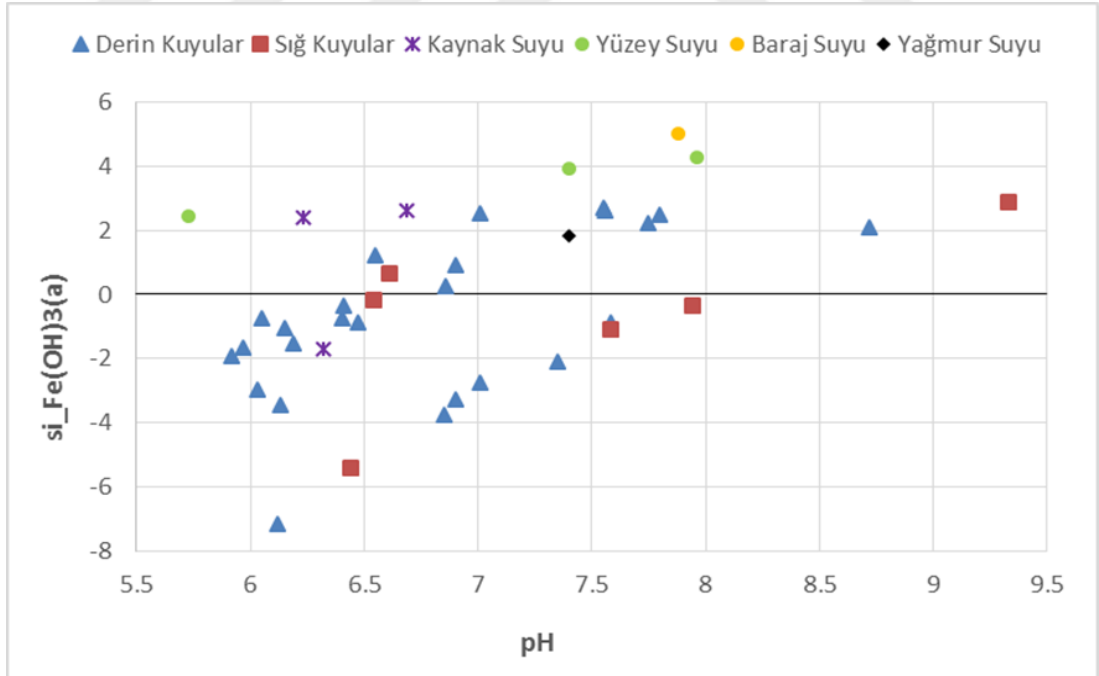
¹²http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2d0e1beec7c6f76_ek.pdf. Erişim Tarihi: 22.02.2015.



Şekil 5.36 CO₂ 'in pH'a karşılık doygunluk değerleri.

Demiroksohidroksit Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen demirhidroksit mineraline ait doygunluk değerleri Şekil 5.37'da verilmiştir.



Şekil 5.37 Demirhidroksit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.

Demiroksohidroksit minerali ile pH arasında manidar bir ilişkinin var olduğu görülmektedir (Şekil 5.37). Fe(OH)₃ ile pH arasındaki denge değişimi sayesinde

alandaki demirin dengeye gelme isteği ve sisteme etkisi görünmektedir. Çalışma alanında demirhidroksit mineraline doymun sularda, arsenik konsantrasyonlarının hem düşük hemde yüksek olduğu örnekler gözlemlenmiştir. Bu durumun sebeplerinden biri arseniğin demir hidroksit üzerinde sorplanmasında onunla rekabet halinde olan (Ca, Mn, OH, Fe, Mg, O ve SO₄) iyonların var olması, bir diğeri de pH'dır. Arsenik konsantrasyonunun azalması için demirhidroksitlerin doymunluğa ulaşması tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda demirhidroksitlerin yüzey yükü de tutunma olayının gerçekleşmesi için şartları sağlaması gerekmektedir. Şekil 5.37'de yer alan, doymunluğu 2 civarında pH'ı ise 8.5 ile 9 arasında olan (derin kuyu) su örneğinin arsenik konsantrasyonu (KY35) 36.43 ppb'dir. Burada yüzey yükünün önemini KY35 numaralı kuyu çok iyi bir şekilde göstermektedir. Nitekim ortam şartlarının bazik olduğu durumlarda yüzey OH⁻ iyonları tarafından sarılarak (yüzeyin) negatif yüklü olması sağlanır, arsenik gibi negatif yüklü iyonların yüzeye tutunmasına da böylece engel olunur. Tam bu durumda KY35 numaralı kuyuda olduğu gibi geri salım olayı gerçekleşerek, arseniğin ortamdaki uzaklaşması engellenir. Demiroksohidroksitleri kayaç akiferlerindeki yeraltısularında arseniğin yüzeye tutunmasında kontrol mekanizması olarak önermiştir¹³. Arsenik Fe(OH)₃, MnO₂ ve su yumuşatma (sertlik giderimi) süreciyle birlikte çökelerek sudan uzaklaştırılabilir. Arsenik yeraltında oluşan Fe(OH)₃ ve MnO₂ üzerinde adsorplandığı da bilinmektedir (Bissen ve Frimmel, 2003). Her mineral için protonasyondan kaynaklanan pozitif yüke protosuzlaştırmadan kaynaklanan negatif yükün eşit olduğu bir pH değeri vardır. Bu nedenle genel yük sıfırdır ve pH değişimine bağlı olarak tutunma mekanizması etkilenmektedir (Merkel ve Friedrich, 2008).

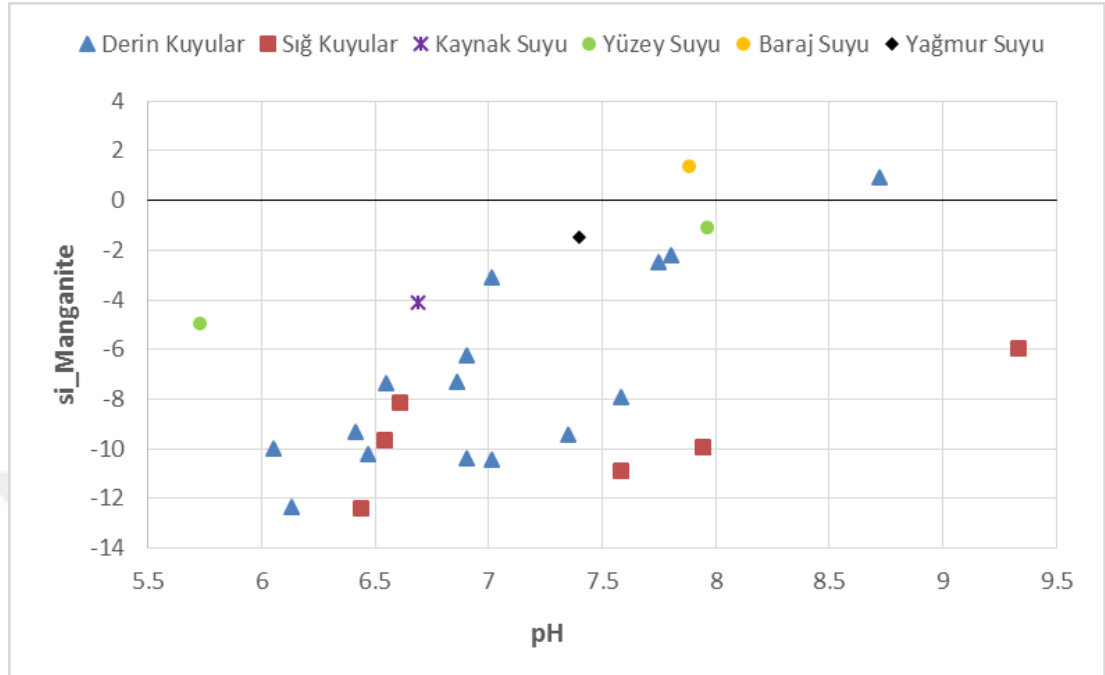
Manganit Mineralinin Doymunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen manganit mineraline ait doymunluk değerleri Şekil 5.38'de verilmiştir.

Çalışma alanında pH değerine karşılık manganitin doymunluğa ulaşma eğiliminin pozitif yönde olduğu tespit edilmiştir. Manganın bu süreçte dengeye ulaşmak istediği ve dolayısıyla sisteme etki etdiği görünmektedir (Şekil 5.38). Doymunluk modeli çalışmasında elde edilen arsenik türleri incelendiğinde alanda bulunan derin ve sığ

¹³ <http://info.ngwa.org/gwol/pdf/822013338.PDF>. Erişim Tarihi: 02.02.2015.

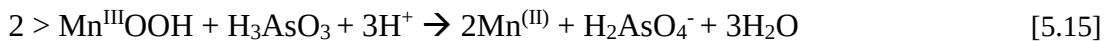
kuyu örneklerinde düşük pH koşullarında arsenik III türüne az rastlandığı, yüksek pH koşullarında ise As III türünün daha da az olduğu görülmüştür.



Şekil 5.38 Manganit mineralinin pH'a karşılık doygunluk değerleri.

Bu bulgu ve manganitin doygunluğa ulaşma eğilimi alanımızda mangan tarafından arsenik konsantrasyonunun kontrol edildiğini kanıtlamaktadır. Yüksek pH'larda alandaki As III türünün daha fazla azalması manganit tarafından arsenik III'ün As V yükseltgendiğini kanıtlamaktadır. Söz konusu bu durum hem (KY02, KY06, KY13 ve KY14 nolu) sığ kuyularda hemde (KY04, KY17, KY22, KY23, KY33, KY35 ve KY39 nolu) derin kuyularda tespit edilmiştir. Tablo 5.4'den de görüleceği üzere çalışma alanındaki kuyularda çoğunlukla As V baskındır.

As(III)'ün As(V) oksitlenmesine örnekler (Denklem 5.14 ve 5.15) (Mengqiangzhu vd., 2009);

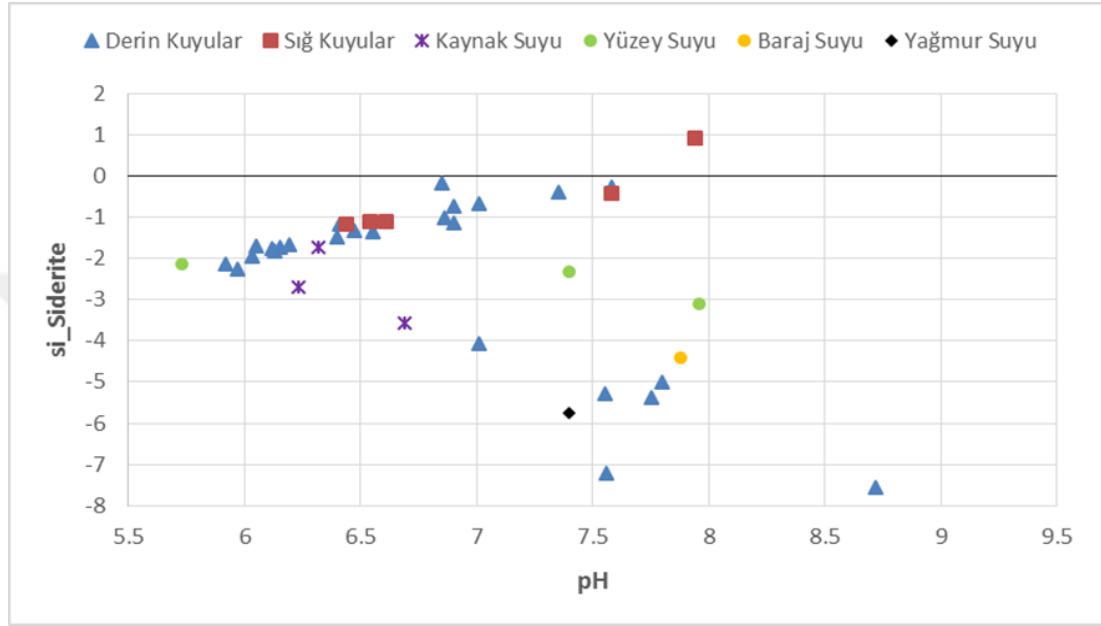


Kimyasal formülü MnO(OH) olarak ifade edilen manganitin, As (III)'ü okside etmesi saatlik bir zaman diliminde meydana gelebilmektedir ve düşük pH değerlerinde As (III)'ün daha yüksek yüzeye tutunma olasılığı vardır (Van ve Andjanet, 2000). Pek çok toprak ve sediment içinde bulunan güçlü oksidantlardan olan mangan oksitler ile arsenit, arsenata oksitlenebilir. Mn-OH kullanışlı gruplarının daha büyük bir

yoğunluğunun da yüksek pH değerindeki yüzeylerde mevcut olduğu da bilinmektedir (Mengqiangzhu vd., 2009).

Siderit Mineralinin Doygunluğunun İncelenmesi

Yapılan model çalışması sonucunda elde edilen siderit mineraline ait doyumluk değerleri Şekil 5.39’da verilmiştir.



Şekil 5.39 Siderit mineralinin pH’a karşılık doyumluk değerleri.

Demirin ortamdaki etkisine kuyu bazında bakıldığında KY42 nolu kuyuda pH:6,23 – Orp:272,8 – As: 59,05 ppb – pe: 8,89 – $SI_{side.}:-2,63$ çıkmıştır. Ortamda oxic ve demir yönünden de zengindir. Ancak arsenik miktarı fazla görülmektedir. Burada iki teori öne sürülebilir. İlki ortamda daha fazla arsenik bulunmakta ancak demir arseniği bu noktaya kadar düşürmektedir. İkincisi ise demir ortamdaki arseniği yükseltgeyerek değerliğini değiştirmektedir. Mineral doyumluk analizinin sonucunda görülmüştür ki; siderit (doygunluğa ulaşmadığı) için sulardaki demir, daha çok arsenik türlerinde değişime sebep olmakta ve arseniti arsenata dönüştürmektedir (Şekil 5.39). Sideritin doyumluğa ulaştığı KY24 vb. kuyularda ise düşük arsenik değeri gözlenmekte bu da bize çökeltme sonucunda arsenik değerinde düşüş olduğunu kanıtlamaktadır.

Demir içerikli maddeler yüksek yüzey alanına ve nötr pH’da pozitif yüzey yüküne sahip olmasından dolayı arseniğin uzaklaştırılmasında çok kullanılmıştır. Fe (II) ve Fe (III), arsenik türleriyle birlikte çökeltme, adsorpsiyon ve elektron transferi gerçekleştirebilmesi sebebiyle çok fazla kullanılmıştır. As (III)’ün As (V)’e oksidasyon

hızı anoksik şartlar altında Fe (II)-Fe (III) yapılarıyla ve oksik şartlar altında da Fe (II)-O₂ yapılarıyla görülmüştür. Genç (yeni oluşan) sideritin, arseniğin uzaklaştırılması sürecinde yüksek arseniğin adsorplanmasında katkıda bulunduğu da gözlemlenmiştir. Ancak sideritin yavaş oksidasyon hızı arseniğin yüzeye tutunması için daha uzun yüzeye tutunma denge zamanı ile sonuçlanmaktadır (Huaming vd., 2013).

Sonuç

Tablo 5.1’de gösterilen analiz hataları belirlenerek, phreeqc programında sodyum ile dengeye getirilmiştir. Bu işlemi sodyum iyonu ile yapmamızın sebebi; sodyumun oluşturacağı reaksiyonların sistemi en az etkileyişidir. Yapılan model çalışmasında Orp (oksijen redüksiyon potansiyeli) değerleri pe (sudaki elektron aktivitesi) değerine dönüştürülmüştür. Mevcut içme suyu bölgesinde yapılan arsenik türlerine ait çalışma da, alanda da As V türünün baskın olduğu belirlenmiştir. Gerek toksisite gerekse arıtılabilirlik yönünden As III’e göre As V türünün baskınlığı avantaj sağlamaktadır. Ancak toksisite açısından As V’in insan bünyesinde As III’e dönüşebildiği de bilinmektedir.

Alandaki mineraller doygunluk açısından değerlendirildiğinde, alunitin AsO₄’ün ortamdan uzaklaştırılmasında katkıda bulunduğu, Baryum arsenatın çökeltme eğilimde olduğu ve böylece arseniği ortamdan uzaklaştırmada yardımcı olduğu, basalumunitin de çökeltme eğilimde olması ile sudaki alüminyum ve demir minerallerinin hareketliliğini etkilediğini, ayrıca silikat ve kil minerallerinin çökeltimlerini kontrol ettiği düşünülmektedir. Ortamın kalsit açısından dengeye gelmeye çalıştığı ve böylece arseniğin uzaklaştırılmasında kalsitin az da olsa etkisinin olabileceği de gözlemlenmiştir. Alandaki sulara karbondioksitin kaçışıyla birlikte pH artışında önemli bağlantı olduğu görülmüştür. Karbondioksitin pH değişimindeki bu etkisi bize; bu durumun alandaki arseniğin yüzeye tutunmasını etkileyen önemli etkenlerden biri olduğunu düşündürmektedir. Demir hidroksitin sulara doygunluk eğiliminde olduğu, böylece arseniğin ortamdan uzaklaşmasında katkıda bulunduğu sanılmaktadır. Manganit ve siderit ise doygunluğa ulaşmadığı için arseniğin çökeltmek ortamdan uzaklaştırmaktansa, türlerinin değişimine sebep olduğu düşünülmektedir.

5.3 Karasazlık Bölgesi

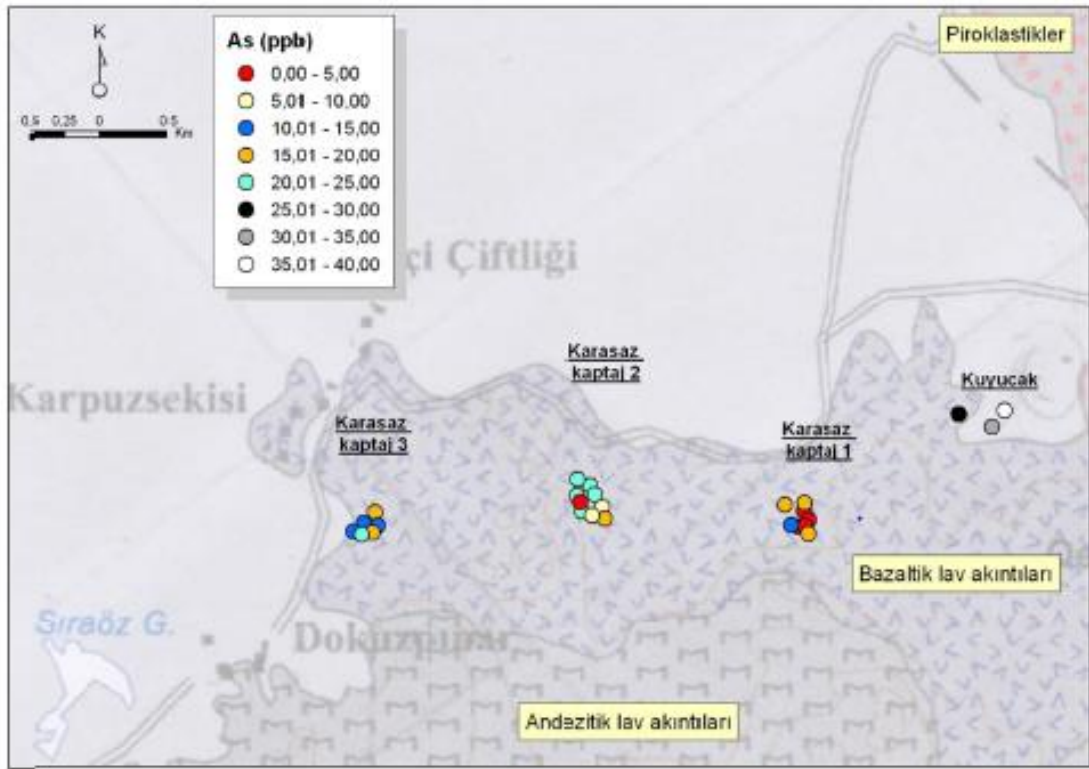
KASKİ 2013 yılı Stratejik Planı’nda mevcut su kaynaklarının korunması ve yeni kaynakların bulunması konularının KASKİ için Temel Politika ve Öncelikleri’nin

başında yer aldığını belirtmiştir. Bu durumu öngören KASKİ Genel Müdürlüğü, önlem olarak yeni su kaynakları arayışına girmiş, bu konuda çeşitli dönemlerde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İller Bankası Genel Müdürlüğü, üniversiteler ve özel sektörle işbirliği içinde yeni su kaynakları araştırmaları yaptırmış ve ek kuyu alanları açma çalışmaları gerçekleştirmiştir. Nüfus artışıyla birlikte su ihtiyacının sağlanabilmesi için, 90 milyon metreküp/yıl oranında yeraltısuyu potansiyeline sahip olan ve komşu havzalarla hidrolik ilişki içinde bulunan (başka bir havza) Karasaz-Dokuzpınarlar Akifer (KDA) sisteminin bulunduğu kaydedilmiştir (Ekmekçi vd., 2014).

Yeni yeraltısuyu işletme alanlarının araştırılması doğrultusunda DSI tarafından 2002 yılında gerçekleştirilen çalışmalara dayanarak Karasazlık/Dokuzpınarlar bölgesi KASKİ tarafından gelecekte su ihtiyacının karşılanabileceği bir potansiyel olarak değerlendirilmiştir. Dokuzpınarlar/Karasazlık bölgesi adından da anlaşıldığı gibi kaynak çıkışlarının yoğunlaştığı, yeraltısuyu boşalımı sonucu geniş sulak alanların oluştuğu bir bölgedir. Bu bölgenin Erciyes volkanizması ve kar örtüsü ile şekillenen hidrojeolojik yapısı gereği verimli akiferler içermesi olağandır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar genellikle su potansiyelinin miktar açısından belirlenmesine yönelik olmuş, suyun kalitesi genel özelliklerle sınırlı kalmış, içilebilirlik açısından su kalitesini etkileyen bileşenler dikkate alınmamıştır (Ekmekçi vd., 2014).

Kayseri kentinin Melikgazi ilçesinin yaklaşık olarak 4 km güneyinde, Karasaz Kaptaj-1, Karasaz Kaptaj-2, Karasaz Kaptaj-3 ve Kuyucak olarak adlandırılan 4 kuyu grubu alanında açılan 25 kuyunun önemli bir bölümünde standartların üzerinde arsenik içeriğine rastlanmıştır (Şekil 5.40).

Yapılan incelemeler de, kaptajlarda açılmış olan kuyu derinliklerinin benzer derinliklere sahip olduklarını ve kuyu tabanlarının yaklaşık olarak aynı kota indiklerini göstermiştir. Kuyuların genellikle 60-70 m arasında derinliklerde olduğu ve açıldıkları kaptaj alanlarında önemli kot farklarının bulunmaması nedeniyle kuyu taban kotlarının da birbirine yakın olduğu görülmüştür (Ekmekçi vd., 2014).



Şekil 5.40 Karasaz-Dokuzpınarlar alanında açılan kuyu grupları ve arsenik değerleri.

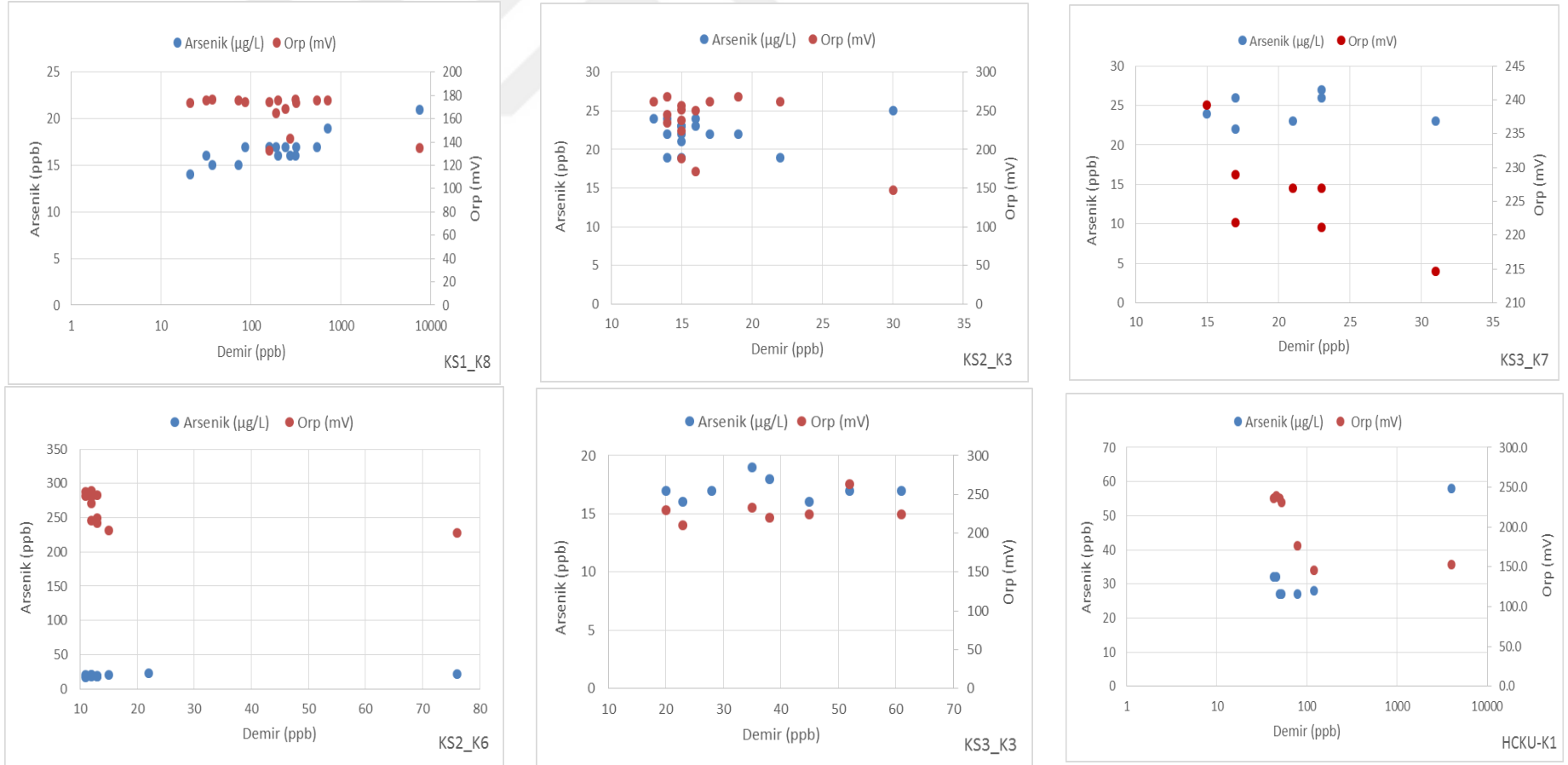
5.3.1 Su analizi verilerinin değerlendirilmesi

Karasazlık bölgesinde yapılan çalışma sonrasında elde edilen su kimyası verileri değerlendirilerek sisteme etkileri incelenmiştir.

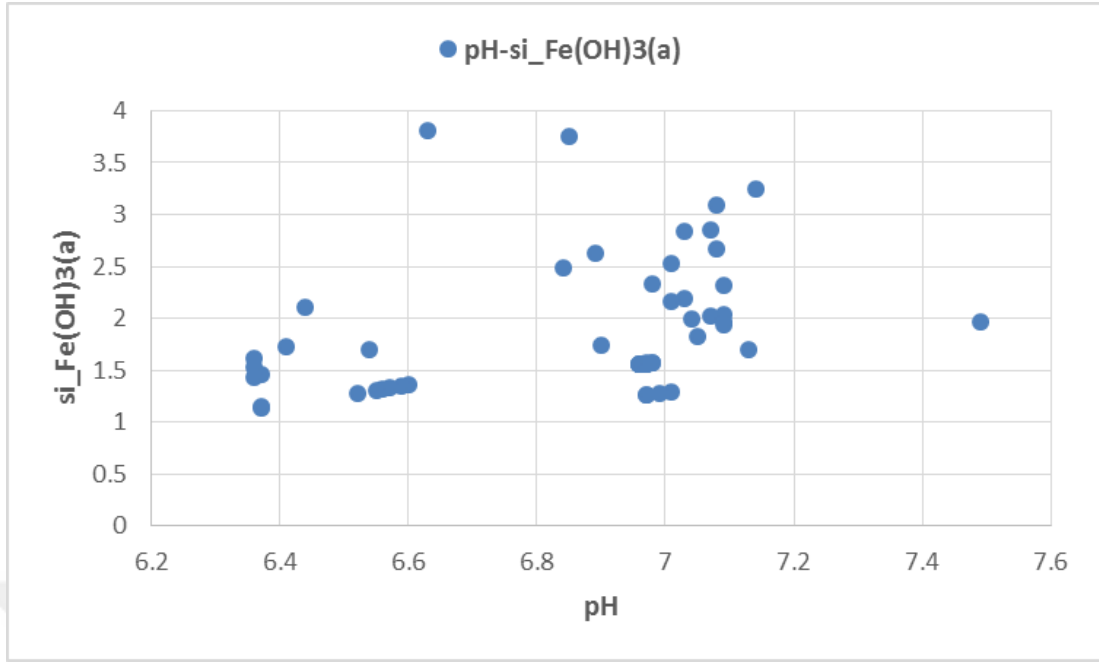
Karasazlık bölgesinde elde edilen analiz sonuçları bize bölgedeki yeraltısularının yükseltgen bir ortamda bulunduğunu göstermiştir (Şekil 5.41) . Şekil 5.41'e bakıldığında diğer veri gruplarından ayrılan fazla miktarda demir olduğunu gösteren numuneler, kuyuların içinde zamanla beklemiş (pompa çalıştıktan birkaç dakika sonra alınan) numunelerdir. Bu numuneler dışında karasazlık bölgesinde analizi yapılan bütün kuyuların demir ortalaması 84 ppb iken, mevcut içme suyu bölgesindeki kuyuların ortalaması 298 ppb'dir. Her iki alandaki (mevcut içme suyu bölgesi – Karasazlık bölgesi) örnekler incelendiğinde su ortamında demir azlığıyla beraber, arsenik miktarının fazla olduğu tespit edilmiştir. Orp değerleri açısından; karasazlık bölgesi, mevcut içme suyu bölgesine nazaran yükseltgen şartlar taşımaktadır. KS1_K8 ve KS3_K3 nolu kuyularda Orp ile arsenik konsantrasyonunun ilişkisi açık bir şekilde gözükmektedir. Ayrıca örneklerin genelinde yaklaşık 250 (mV) Orp değerinde arsenik konsantrasyonunun düşüşe geçtiği de görülmüştür (Şekil 5.41).

Arsenik – Demir - Orp Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Arsenik, Demir ve Orp ilişkileri Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43’de verilmiştir.

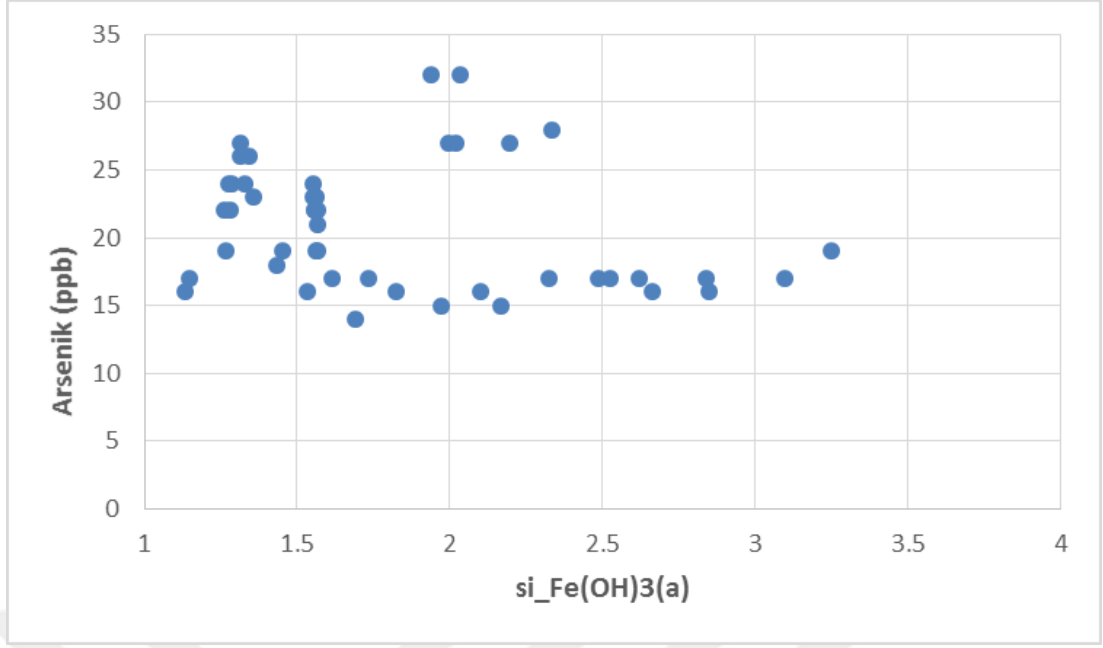


Şekil 5.41 Karasazlık bölgesindeki kuyular için arsenik – demir- Orp değerleri.



Şekil 5.42 Karasazlık bölgesindeki suların $si_Fe(OH)_3$ ve pH değerleri.

Karasazlık bölgesindeki su örneklerinde mevcut içme suyu bölgesindeki sulara nazaran daha az konsantrasyonda demir bulunduğu tespit edilmişti. Ancak Demirhidroksit mineralinin doygunluğu açısından Karasazlık bölgesindeki sular daha doygundur. Demir konsantrasyonunun bu bölgede düşük olmasına, demirhidroksitin doygunluğa ulaşarak demir minerallerini sudan uzaklaştırmasının bir nebze sebep olabileceği düşünülmektedir. Doygunluk $pH \geq 6.8$ 'de daha fazla gözlemlenirken, $pH < 6.8$ altında göreceli olarak daha azdır. Dolayısıyla yüksek pH ve pozitif Orp'nin demirhidroksit mineralinin doygunluğa ulaşmasındaki etkisi bu bölgede tespit edilmiştir (Şekil 5.42). Şekil 5.42'de pH 7.4 ile 7.6 arasında olan örneğe bakıldığında genel eğilimden ayrıldığı ve demirhidroksit mineral doygunluğunun diğerlerine nazaran artış eğiliminde olmadığı görülse de, aslında tam tersidir. Aynı konsantrasyonlarda demir taşımalarına rağmen, bu örneğin pH'ı daha yüksek olduğu için diğerlerine nazaran (KS3_K3, KS3_K7) daha fazla demirhidroksit minerali çökelmiş olmalıdır. Şekil 5.42'de demirhidroksite en fazla doygun örnekler incelendiğinde, demir konsantrasyonunun diğerlerine nazaran daha fazla ve pH'larının da alkali koşullarda olduğu tespit edilmiştir. Ortamda yüksek pH, yüksek demir ve yüksek demirhidroksit mineralinin olduğu örnekler, tam tersi şartları taşıyanlara göre daha az arsenik konsantrasyonu taşıdığı tespit edilmiştir (Şekil 5.43). Ancak alanın genelinde demir konsantrasyonunun düşük olması sistemin dezavantajıdır.



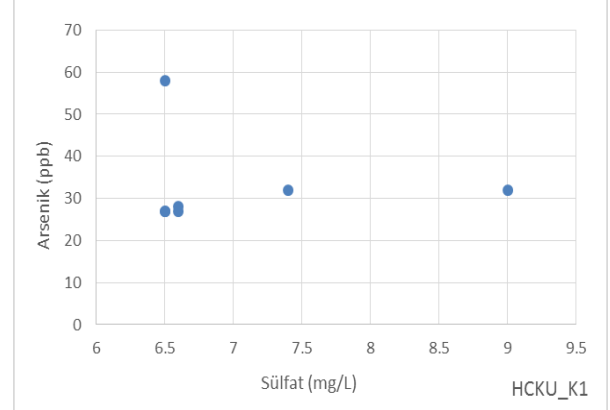
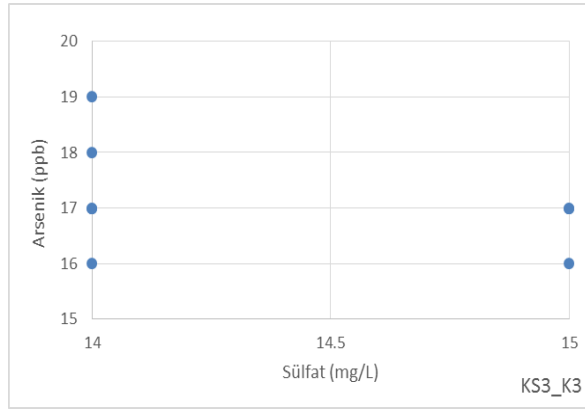
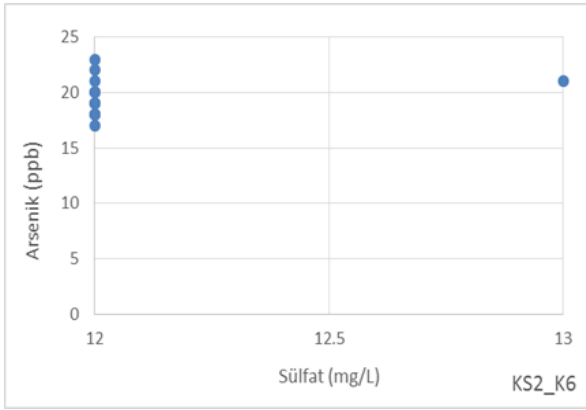
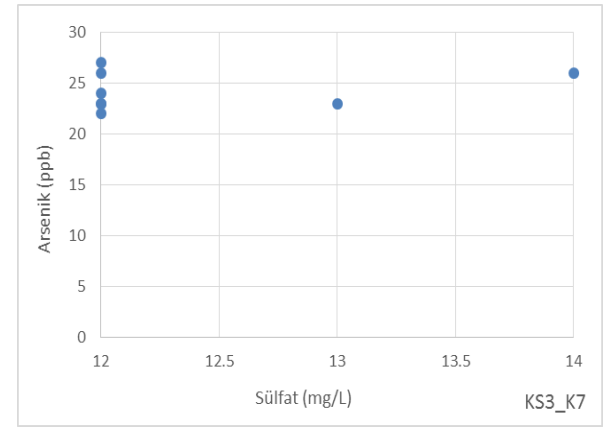
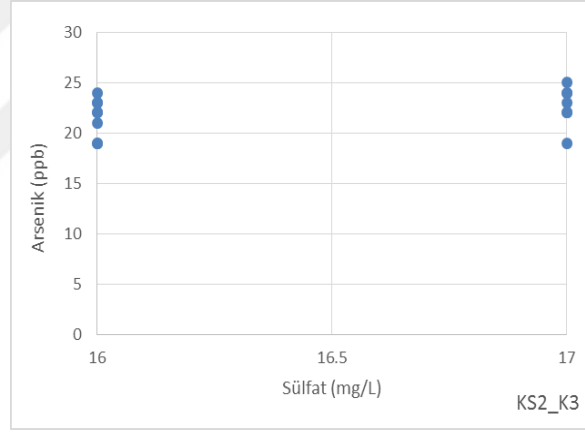
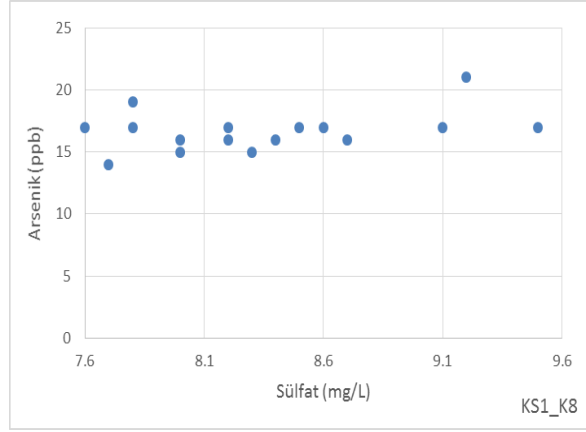
Şekil 5.43 Karasazlık bölgesindeki suların si_Fe(OH)₃ ve arsenik değerleri.

Arsenik ile demirhidroksit minerali karşılaştırıldığında alanda Fe(OH)₃ doygunluğunun artışına karşın arsenik konsantrasyonunda genelde düşüş olduğu Şekil 5.43’de de görülmektedir.

Arsenik – Sülfat Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Arsenik ve Sülfat ilişkileri Şekil 5.44’de verilmiştir.

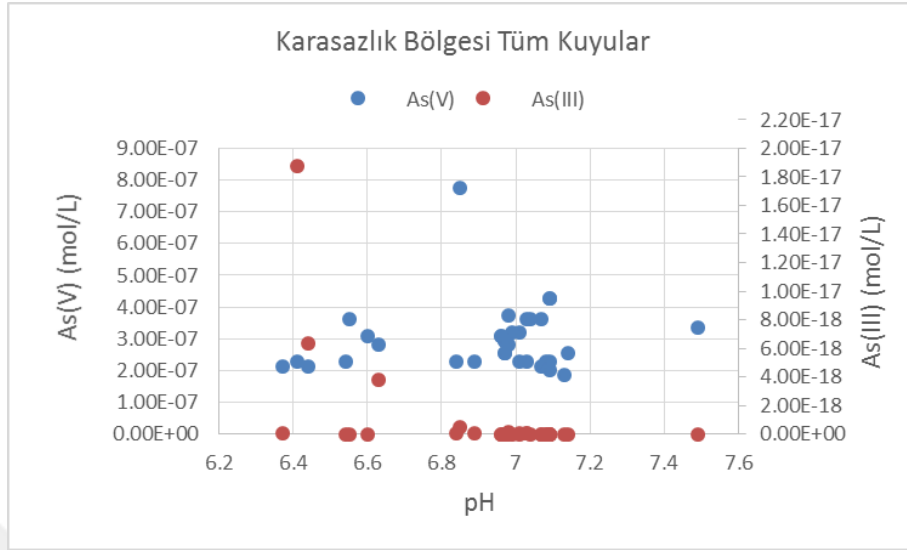
Karasazlık bölgesinde çalışılan kuyuların analiz sonuçları; sülfat miktarının içme suları kalite standartlarına göre sınır değerin çok altında olduğu ve ortamın yükseltgen olması ve sülfat değerlerinin düşük olması sebebiyle, indirgenme/yükseltgenme reaksiyonlarıyla arsenik değişimine sülfatın önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Şekil 5.44). Ayrıca ortamda düşük miktarda bulunan sülfatın yeraltısu ortamında gerçekleşmiş olabilecek olası reaksiyonlar sonucunda azalmış olabileceği ihtimali de göz önüne alınarak sulardaki sülfatlı bileşiklerin doygunluklarına da bakılmıştır. Elde edilen doygunluk analizi sonuçları; si_Jarosite(ss): -1.971, si_JarositeH: -11.339, si_Jarosite-K: -3.136, si_Jarosite-Na: -7.206, si_Mn₂(SO₄)₃: -60.104, si_Pb₃O₂SO₄: -11.932, si_Ni₄(OH)₆SO₄: -24.344, si_Pb₄O₃SO₄: -18.410, si_Basaluminite: 2.054 ve si_Alunite: -0.544’dür. Ortamda Sülfatın az da olsa diğer minerallerle reaksiyona girdiği ve muhtemelen basaluminite olarak çökerek ortamdan uzaklaşmış olabileceği kanısına varılmıştır.



Şekil 5.44 Karasazlık bölgesindeki kuyular için arsenik – sülfat değerleri.

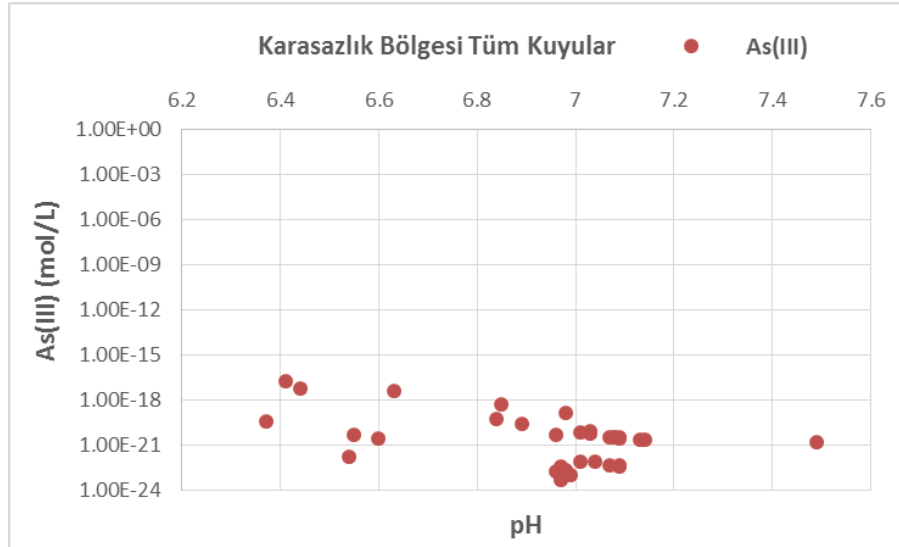
pH ve As Türleri İlişkilerinin İncelenmesi

Çalışma alanından alınan su numunelerinin pH - As ilişkileri Şekil 5.45’de verilmiştir.



Şekil 5.45 Karasazlık bölgesi kuyularında pH ile arsenik türleri arasındaki ilişki.

Alandaki kuyular pH değerlerinin 6.4 ile 7.5 arasında değiştiği ve egemen arsenik türünün As (V) olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.45). Arsenatın arsenite göre daha az toksik olması ve arıtma sistemlerinde arsenite göre daha kolay arıtılmasından dolayı bu değerler önem arz etmektedir.

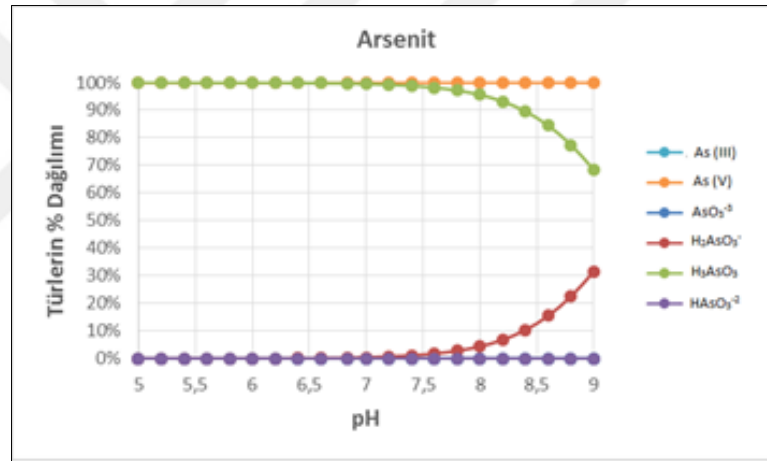


Şekil 5.46 Karasazlık bölgesi kuyularında pH ile arsenik III arasındaki ilişki.

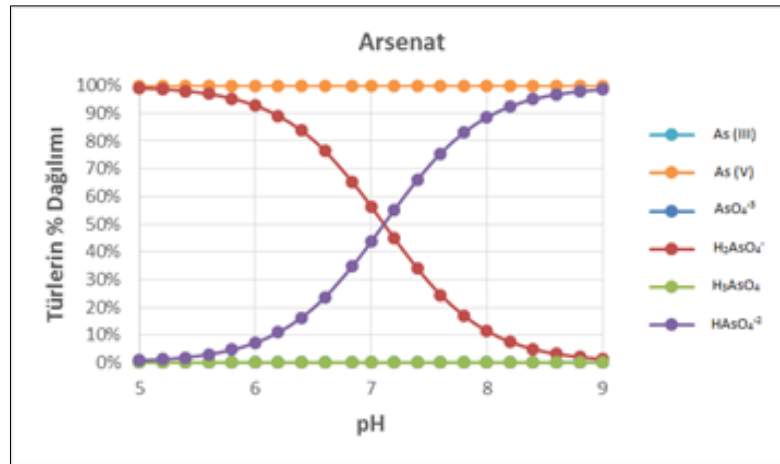
As V türü açısından pH değişimine bağlı olarak azalma ve/veya artış görünmüştür. Ancak As III türü açısından pH artışına karşı sistemde düşüş olduğu net görünmektedir

(Şekil 5.46). Arsenit türündeki değişimin sebeplerinden biri pH'nın artışıyla birlikte As V'e dönüşmesi diğeri ise tutunma ile uzaklaşmasıdır. Nitekim hem pH artışı ile As V türünün ortamda artması hemde (Şekil 5.47'de görüleceği üzere nötr olan) As III türünün yüksek pH'da (-) yüklü hale gelerek tutunma mekanizmalarının gerçekleşebileceğini kanıtlamaktadır.

Şekil 5.45'de As III türü net görünmediği için arseniğin iki türü bir arada gösterildikten sonra, Şekil 5.46'da logaritmik ölçekte As III tekrar çizilerek, pH karşı ilişkisi daha net ortaya konulmuştur. Ayrıca Karasazlık bölgesinde yer alan KS1-K8 nolu kuyunun su verileri kullanılarak (wateqf4 veri tabanında) phreeqc programıyla pH'a karşılık arsenik türleşmelerine de bakılmıştır. As (III) için pH 7'den sonra yüklü olan $H_2AsO_3^-$ türünün ortamda arttığı, As (V) içinse geniş pH aralığında $H_2AsO_4^-$ ile $HAsO_4^{2-}$ türlerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.47 ve Şekil 5.48).



Şekil 5.47 Karasazlık bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As⁺³ türlerinin % dağılımı.



Şekil 5.48 Karasazlık bölgesindeki suların pH değerine bağlı olarak As⁺⁵ türlerinin % dağılımı.

5.3.2 pe değerlerinin elde edilmesi

Bu çalışmada veri analizlerinde Orp değerlerinin pe'ye dönüştürülerek kullanılmasının gerekçeleri çevrildiğini Bölüm 5'de detaylıca anlatılmıştır. Her iki bölgede de Orp ölçümünde aynı cihaz kullanıldığı için Mevcut İçme Suyu bölgesindeki kuyu örnekleri için yapılan hesaplama ve Orp-pe dönüşüm işlemleri aynı şekilde Karasazlık bölgesi kuyu örnekleri için de yapılmıştır. Tablo 5.6'da arazide ölçülen Orp değerlerine karşılık gelen pe değerleri verilmiştir.

Tablo 5.6 Arazide ölçülen oksidasyon redüksiyon potansiyellerinin pe karşılığı

Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
KS1-K8	1	12.35	135.00	379.45	6.70
KS1-K8	15	12.57	132.80	376.96	6.65
KS1-K8	25	12.66	142.70	386.74	6.82
KS1-K8	55	12.55	165.00	409.19	7.22
KS1-K8	65	12.63	168.80	412.88	7.28
KS1-K8	80	12.60	173.80	417.92	7.37
KS1-K8	90	12.62	175.70	419.79	7.40
KS1-K8	100	12.61	175.60	419.71	7.40
KS1-K8	105	12.58	176.70	420.85	7.42
KS1-K8	110	12.60	175.80	419.92	7.41
KS1-K8	115	12.63	176.50	420.58	7.42
KS1-K8	120	12.61	176.10	420.21	7.41
KS1-K8	125	12.59	176.00	420.13	7.41
KS1-K8	130	12.62	174.40	418.49	7.38
KS1-K8	135	12.61	174.30	418.41	7.38
KS1-K8	140	12.59	173.50	417.63	7.37

Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
KS3-K7	5	12.47	214.60	458.89	8.10
KS3-K7	60	12.31	227.00	471.50	8.32
KS3-K7	120	12.20	226.90	471.54	8.33
KS3-K7	180	12.40	221.10	465.48	8.21
KS3-K7	240	12.43	221.90	466.24	8.23
KS3-K7	300	12.41	229.00	473.37	8.35
KS3-K7	360	12.33	239.30	483.77	8.54

Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
KS3-K3	5	12.35	262.80	507.25	8.95
KS3-K3	60	12.32	232.80	477.28	8.43
KS3-K3	120	12.38	210.70	455.11	8.03
KS3-K3	180	12.39	229.20	473.59	8.36
KS3-K3	240	12.34	219.70	464.16	8.19
KS3-K3	300	12.33	224.00	468.47	8.27
KS3-K3	360	12.35	224.60	469.05	8.28

Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
KS2-K3	30	13.40	147.70	390.78	6.87
KS2-K3	60	13.39	171.30	414.39	7.29
KS2-K3	90	13.37	188.10	431.22	7.58
KS2-K3	120	13.34	224.00	467.16	8.22
KS2-K3	150	13.32	234.20	477.38	8.40
KS2-K3	180	13.33	237.70	480.87	8.46
KS2-K3	200	13.32	244.90	488.08	8.59
KS2-K3	220	13.33	251.30	494.47	8.70
KS2-K3	240	13.33	250.80	493.97	8.69
KS2-K3	260	13.33	256.60	499.77	8.79
KS2-K3	280	13.27	261.70	504.95	8.88
KS2-K3	300	13.33	262.20	505.37	8.89
KS2-K3	320	13.32	262.20	505.38	8.89
KS2-K3	340	13.29	268.10	511.32	9.00
KS2-K3	360	13.29	268.10	511.32	9.00

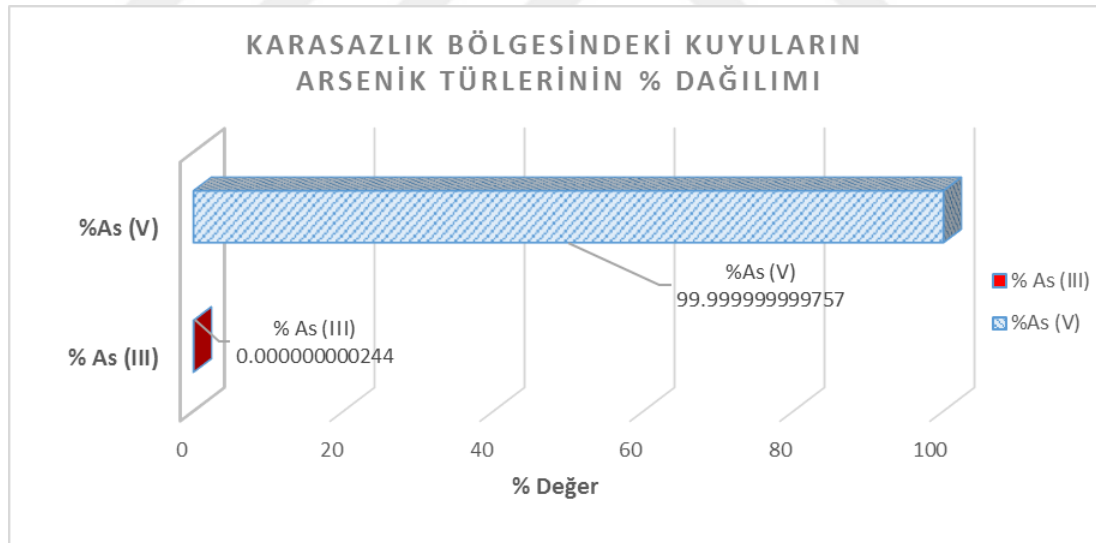
Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
HCKU-K1	5	13.64	152.80	395.57	6.95
HCKU-K1	60	13.30	146.00	389.21	6.85
HCKU-K1	120	13.35	176.60	419.75	7.38
HCKU-K1	180	13.43	231.40	474.44	8.34
HCKU-K1	240	13.28	236.60	479.84	8.44
HCKU-K1	300	13.37	236.00	479.12	8.43
HCKU-K1	360	13.28	239.30	482.54	8.49

Örnekler	Dk	Sıcaklık °C	ORP	Eh(mV)	pe
KS2-K6	5	12.53	228.00	472.21	8.33
KS2-K6	30	12.24	231.10	475.69	8.40
KS2-K6	60	12.26	241.70	486.26	8.59
KS2-K6	90	12.23	246.30	490.90	8.67
KS2-K6	120	12.39	249.70	494.09	8.72
KS2-K6	180	12.52	270.90	515.12	9.09
KS2-K6	240	12.52	280.80	525.02	9.26
KS2-K6	270	12.42	283.00	527.35	9.31
KS2-K6	300	12.41	281.20	525.57	9.28
KS2-K6	330	12.33	283.70	528.17	9.32
KS2-K6	360	12.26	287.90	532.46	9.40
KS2-K6	390	12.32	288.50	532.98	9.41
KS2-K6	420	12.15	288.90	533.61	9.43

5.3.3 Arsenik türlerinin tespiti

Geleceğe dönük olarak yapılan projeksiyonlar, Kayseri nüfusunun 2070 yılında 2.5 milyona ulaşacağını göstermektedir. Buna ek olarak, Belediyeler kanununda yapılan değişikliklerle beraber Kayseri Büyükşehir Belediye sınırları yeniden belirlenmiştir. Yeni sınırları içinde kalan ilçe, belde, köyler ve mücavir alan içinde kalan orman köylerinin alt yapı elemanlarından su ve kanalizasyon hizmetlerinin yürütme görev ve yetkisi KASKİ'ye verilmiştir. Bu kapsamda ileride doğacak ihtiyaçları karşılamak için yeni içme ve kullanma suyu kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Taşıdığı su potansiyeli ve yakınlığı açısından budenli öneme sahip olan Karasazlık bölgesinin daha detaylı çalışılması önem arz etmektedir. Alanda önceden yapılan çalışmalarda su potansiyeli ortaya konulmuş ancak içme ve kullanma suyu olarak su kalitesinin ortaya konulması ve arsenik içeriği açısından detaylı bir çalışma yapılmamıştır.

Bu bölümde sözkonusu bölgede hangi arsenik türlerinin baskın olduğu ortaya konulmuştur. Bölgede çalışılan kuyularda arsenat değerlerinin, arsenite göre %99.9 oranda daha fazla olduğu PHREEQCI'de yapılan analiz sonucu bulunmuştur (Şekil 5.49).

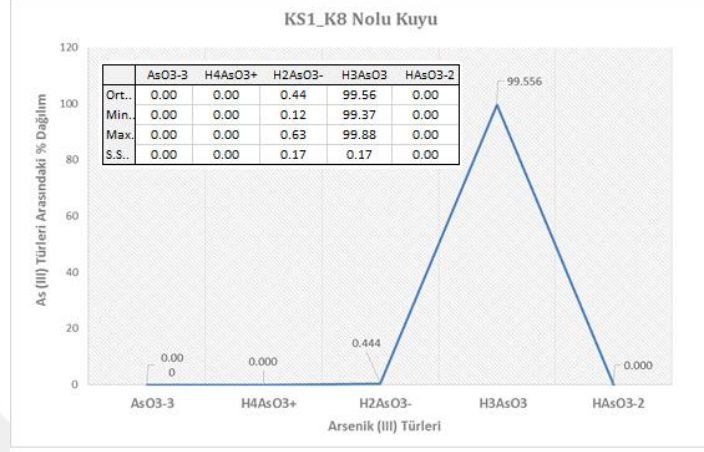


Şekil 5.49 Bölgede seçilen kuyuların arsenik türlerinin % dağılımı.

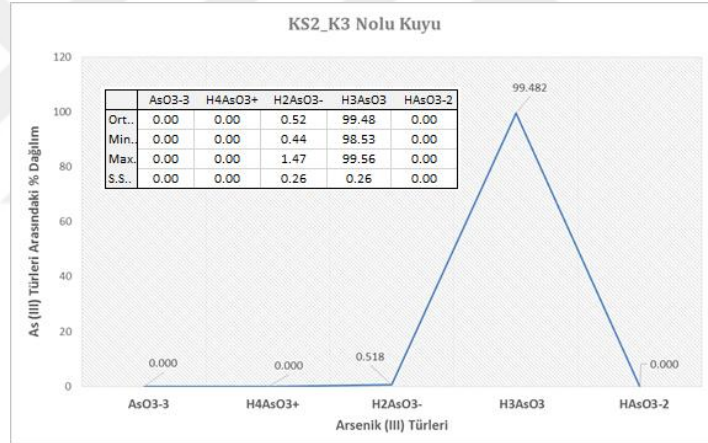
Kuyularda Bulunan As (III) Türleri Arasındaki Dağılım

Şekil 5.40'da gösterilen (Kaptaj-1, Kaptaj-2, Kaptaj-3 ve Kuyucak) bölgeler içinden seçilen kuyularda 2014 yılının Şubat ayı içinde yapılan arazi çalışmalarında, mevcut kuyularda farklı pompaj debileriyle farklı sürelerde yeraltısuyu çekimine bağlı olarak yeraltısuyunda arsenik değişimi incelenmiştir. Yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak

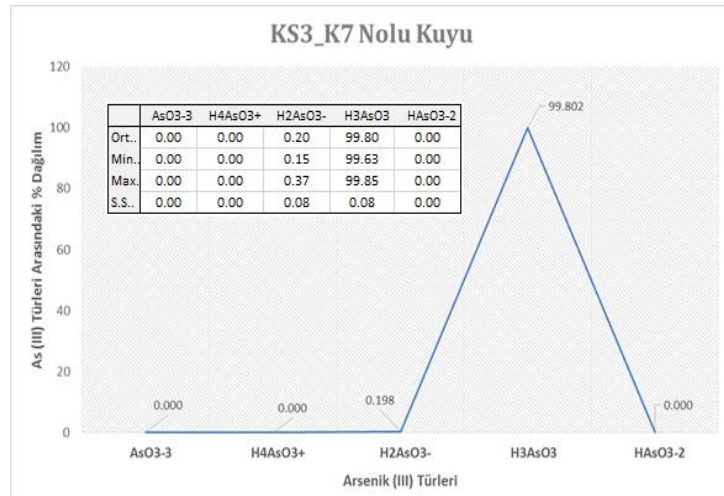
As (III) türlerine ait grafikler çizilmiştir. Şekil 5.50/51/52/53/54'e bakıldığında alandaki kuyularda As (III) açısından baskın olan tür H_3AsO_3 tür. Arsenitin bu türü yüksüz olduğu için sulu çözeltiden giderilmesi oldukça güçtür. Ancak alanda genel olarak As (V) baskın olduğu için bu durum çok önem arz etmemektedir.



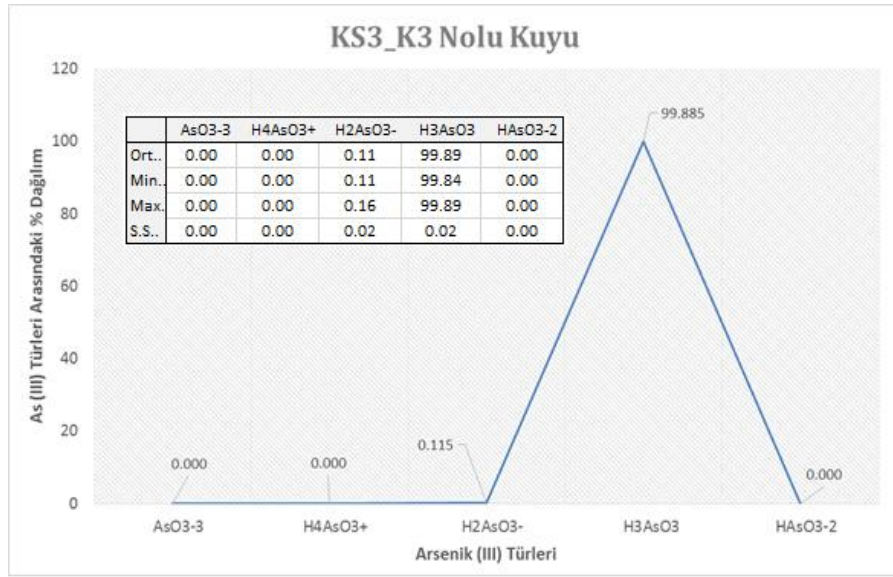
Şekil 5.50 Karasazlık kaptaj I bölgesindeki K8 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.



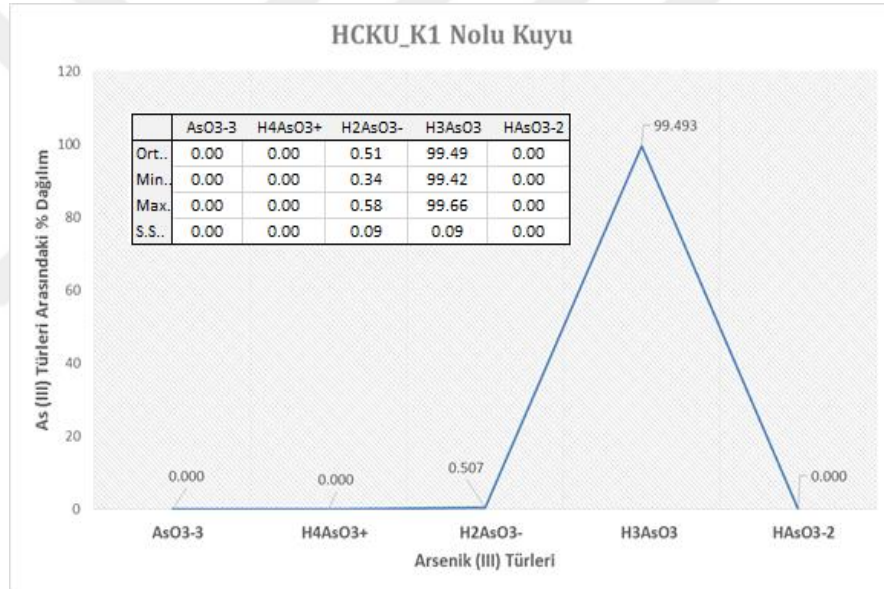
Şekil 5.51 Karasazlık kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.



Şekil 5.52 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K7 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.



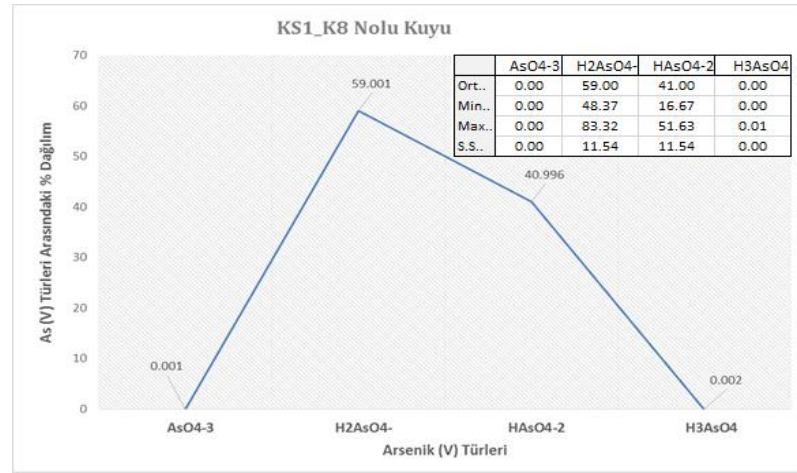
Şekil 5.53 Karasazlık kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.



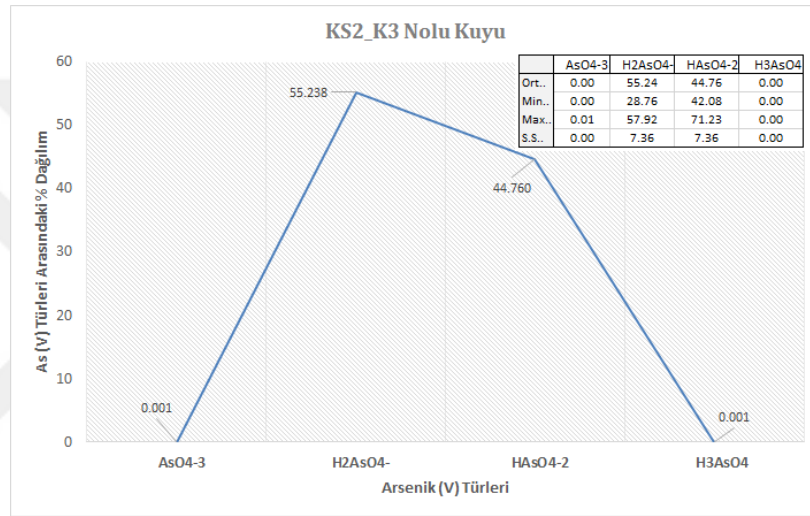
Şekil 5.54 Kuyucak bölgesindeki K1 nolu kuyuya ait arsenik (III) türleri.

Kuyularda Bulunan As (V) Türleri Arasındaki Dağılım

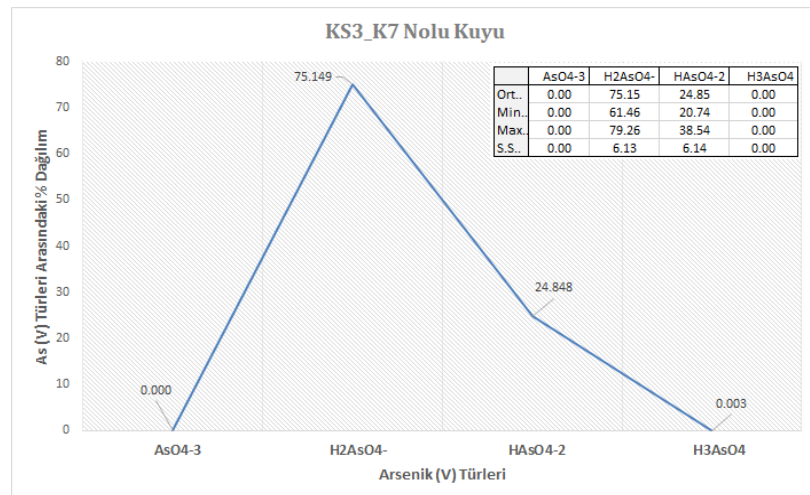
Arsenit için yapılan çalışmaların aynısı arsenat için de yapıldığında model bize As (V) türleri içinde $H_2AsO_4^-$ ve $HAsO_4^{2-}$ türlerinin baskın olduğunu göstermiştir (Şekil 5.55/56/57/58/59). Alanda Arsenatın baskın olması ve bunun içinde de arsenatın (-) yüklü türlerinin baskın olması arıtma vb. giderim şartlarına kolaylık sağlayacağını göstermektedir.



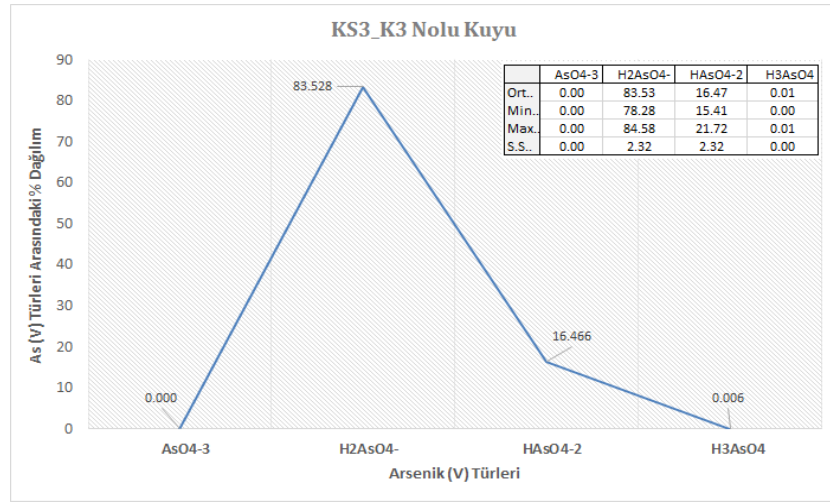
Şekil 5.55 Karasazlık kaptaj I bölgesindeki K8 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.



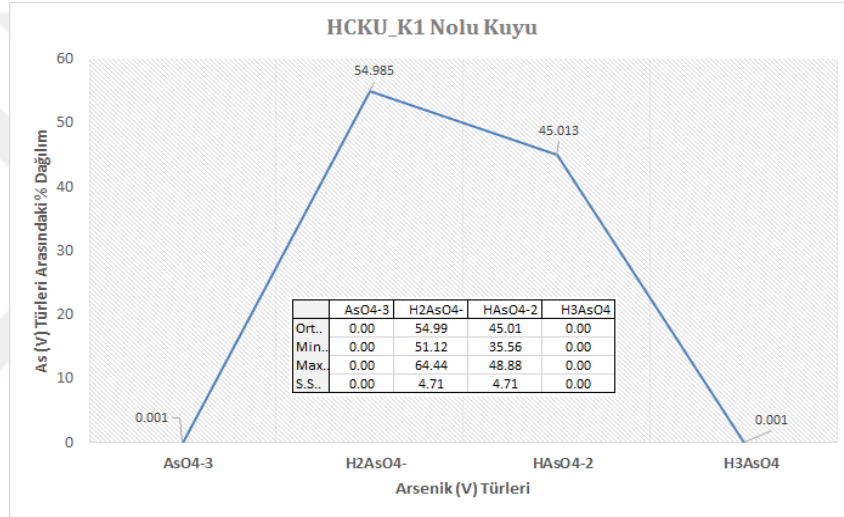
Şekil 5.56 Karasazlık Kaptaj II bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.



Şekil 5.57 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K7 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.



Şekil 5.58 Karasazlık kaptaj III bölgesindeki K3 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.



Şekil 5.59 Karasazlık Kuyucak bölgesindeki K1 nolu kuyuya ait arsenik (V) türleri.

6. ARITMA MODELLERİ

6.1 Karışım Modellemesi

Kayseri ili içme ve kullanma suyunun sağlandığı mevcut akiferlerde arsenik açısından problem görünmezken, gelecekteki su ihtiyacını karşılamak amacıyla seçilen Karasazlık bölgesinde açılan kuyularda sınır değerin (10 ppb) üzerinde arsenik değerlerine rastlanmıştır. Sözü edilen bu alanda önemli miktarda su rezevinin olduğu KASKİ tarafından belirlenmiştir. Arsenik değeri fazla olan bu bölgenin sularının kullanılabilmesi için TSE 266 “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” Yönetmeliğinde bulunan 10 ppb sınır değerin altında olması gerekmektedir. Arıtma maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, bölgesel yeraltısuyunun arıtma yapılmadan kullanma potansiyelinin ortaya konması büyük önem arz etmektedir.

Su kimyası modelleme yazılımı olan phreeqc bir sistem içinde suların karışımı gibi çeşitli jeokimyasal reaksiyonların taklidini gerçekleştirilebilmektedir. Karışıma katılan farklı kuyulara (Tablo 6.1) ait sular, reaksiyona giren maddelerle dengeye getirilerek ve Wateqf4 veri tabanı kullanılarak yapılan model çalışması sonucunda aşağıdaki arsenik değerleri elde edilmiştir (Tablo 6.2).

Tablo 6.1 Karışımında kullanılan kuyuların arsenik değerleri

Bölge	Arsenik Değerleri (ppb)				
	Kuyu	ort.	min.	mak.	s.s
Karasazlık	KS1_K8	16.69	14.00	21.00	1.62
	KS2_K3	22.13	19.00	25.00	1.92
	KS3_K7	24.43	22.00	27.00	1.90
	KS3_K3	17.14	16.00	19.00	1.07
	HCKU_K1	33.00	27.00	58.00	11.25
Beştepeler	KY22	3.61	3.51	3.71	0.10
	KY27	4.70	4.32	5.38	0.59

Çekilen debiler dikkate alınarak, iki bölgenin sularının karışım modeli yapıldığında arsenik değerinde ciddi anlamda düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 6.1 ve Tablo 6.2).

Tablo 6.2 Karışım modelinde kuyulara denenen karışım debileri ve oluşması beklenen arsenik değerleri.

	Karasazlık Kuyuları	Beştepeler Kuyuları	Toplam Debi (L/s)	Karasazlık Debi (L/s)	Arsenik (Mol Değeri)	Arsenik (ppb)
mix1	KS1_K8 / KS2_K3 / KS3_K7 / KS3_K3 / HCKU_K1	KY22 / KY27	626	349	1.895E-07	14.195
mix2	KS1_K8 / KS2_K3 / KS3_K7 / KS3_K3	KY22 / KY27	566	289	1.626E-07	12.180
mix3	KS1_K8 / KS2_K3 / KS3_K7	KY22 / KY27	496	219	1.532E-07	11.476
mix4	KS2_K3 / KS3_K7	KY22 / KY27	422	145	1.41E-07	10.562
mix5	KS2_K3 / KS3_K7	KY22 / KY27 / KY27	499	145	1.269E-07	9.506

Mix 5 ele alındığında ilgili kurum arıtma maliyetinden kurtularak yaklaşık 83500 kişiye Karasazlık bölgesinden su sağlayabilecektir. Söz konusu çalışma su kimyası bilinen kuyularda uygulandığı için Beştepeler bölgesindeki veri elde edilemeyen diğer kuyular karışım modeline eklenmemiştir. Ayrıca aynı karışım işlemi Keykubat ve Karpuzatan bölgelerindeki sularla da yapılarak kapasite artırılabilir. Bunun için Beştepeler, Keykubat ve Karpuzatan bölgelerine Karasazlık bölgesindeki sularla birleştirilecek depoların yapılması gerekmektedir.

6.2 Tutunma Modeli

6.2.1 Tutunma

Tutunma, çoğunlukla bir fazdan diğer bir faza kirletici konsantrasyonunu ya da hareketini tanımlamak için kullanılır (Sawyer vd., 2003). Tutunma terimi matrix sorpsiyonu (soğurma) ile yüzey sorpsiyonunun (yüzeye tutunma) birleşimidir. Matrix sorpsiyon bir kayanın gözeneklerinde tutulan su içindeki bileşenlerin göreceli olarak belirsiz değişimini ifade eder. Yüzey tutunma ise bir faz sınırında gaz, buhar ya da çözünmüş madde molekülleri veya atomlarının yığılması/toplanması olduğu anlaşılmaktadır (Merkel ve Friedrich, 2008). Yüzeye tutunma van de Walls kuvvetleri gibi fiziksel bağlar, Coulomb kuvvetleri gibi kimyasal bağ ya da kimyasal yüzeye tutunma gibi hidrojen bağları tarafından meydana gelir. Fiziksel yüzeye tutunma çoğu durumda geri dönüşümlü iken (desorbsiyon), kimyasal yüzeye tutunma ile bağlı bileşenlerin geri dönüşümü zordur. İyon değişim farklı yüklü moleküller arasındaki elektrostatik etkileşimlere dayanmaktadır (Merkel ve Friedrich, 2008). Kimyasal yüzeye tutunma (kemisorpsiyon) kimyasal bileşiği oluşturan kuvvetler gibi güçlü

bağlar sonucu oluşur. Genellikle, adsorplanan maddenin adsorban yüzeyinde bir molekül kalınlığında tek tabaka oluşur ve moleküllerin adsorban yüzeyinde bir bölgeden diğer bir bölgeye hareketinin serbest olmadığı kabul edilir (Sawyer vd., 2003). Kayaçlar hidrofobik ya da hidrofilik olabilir ve bu özellik tutunma ile sıkı ölçüde ilişkilidir. Hidrofilik maddelerin aksine, hidrofobik maddeler serbest değerliklerini veya yüzeylerindeki elektrostatik yükleri göstermezler (Merkel ve Friedrich, 2008).

Minarellerin yüzey yükleri suyun pH'ına bağlı olarak değişebilir. Düşük pH değerleri (yani yüksek H iyonu derişimi) H yüksek aktivitesi nedeni ile yüzeylerin geri salımla temizlenerek H kaplanmasına, negatif yüklü anyon ve molekülleri tutabilen pozitif yüklü bir yüzeyin oluşmasına neden olur. Bu durum minerallerin yüzeyindeki fonksiyonel grupların protonation ve deprotonation dan kaynaklanmaktadır. Asidik koşullar altında, genel olarak yüzey üzerinde pozitif yükün sebep olduğu fonksiyonel grupların üzerinde proton sorplanır. Böylece mineral veya parçaları anyon değıştirici olarak davranır. Yüksek pH'larda fonksiyonel grupların oksijen atomu deprotonize olarak kalır ve genelde mineral ya da parçaları negatif yük taşır. Böylece katyonlar sorplanır (Merkel ve Friedrich, 2008).

6.2.2 Yüzeye tutunma izotermi

Yüzeye tutunma izotermi, çözelti içerisindeki adsorbant konsantrasyonu (kütle/hacim) ile adsorplanan adsorbat konsantrasyonu (adsorbat kütlesi/adsorban kütlesi) arasındaki dengeyi tanımlayan kantitatif bir ilişkidir. İzoterm ise, belirli bir sıcaklık için elde edilen ilişkiyi ifade etmek için kullanılır (Sawyer vd., 2003).

Linear-regression izotermi (Henry izotermi), Freundlich izotermi ve Langmuir izotermi yaygın olarak kullanılan izoterm türleridir.

Linear regression izotermi en basit şekliyle doğrusal regrasyon denklemidir.

$$C^* = K_d \times C \quad [6.1]$$

C*: Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/kg)

K_d: Lineer denge sabiti

C: Su içindeki maddenin konsantrasyonu (mg/L)

Linear tutunma terimi sadeliğin avantajına sahiptir ve düzeltme terimi kullanılarak kolayca genel taşınım denklemine dönüşerek gecikme faktörü R_f'e çevrilebilir.

$$Rf = 1 + \frac{B_d}{q} \frac{C^*}{C} = 1 + \frac{B_d}{q} K_d \quad [6.2]$$

B_d : birim hacim ağırlığı

q : su içeriği

Ciddi bir dezavantajı lineer bir ilişki olmasından dolayı sorpsiyon için üst sınır yoktur (Merkel ve Friedrich, 2008).

Freundlich izotermi

Freundlich izotermi kullanılarak sorplanan ve çözünen moleküller arasında üstel bir ilişki tanımlanabilir.

$$C^* = K_d \cdot C^n \quad [6.3]$$

$$Rf = 1 + \frac{B_d}{q} \cdot n \cdot K_d \cdot C^{n-1} \quad [6.4]$$

Freundlich izoterminin, Linear izoterme kıyasla avantajı sorpsiyon için bir üst sınırının olmasıdır (125).

Langmuir izotermi

Langmuir izotermi tutunma alanlarının yüzeyinde sınırlı sayıda sorbenti tanımlamak için geliştirilmiştir.

$$C^* = \frac{a \cdot b \cdot C}{1 + a \cdot C} \quad [6.5]$$

a : tutunma sabiti

b : maddenin maksimum sorplanabilir kütlesi (mg/kg)

$$Rf = 1 + \frac{B_d}{q} \left[\frac{a \cdot b}{(1 + a \cdot C)^2} \right] \quad [6.6]$$

6.2.3 Kütle hareket kanunu temelli iyon değişimi tanımı

Tutunmanın tersine çevrilebilir olduğu kabul edilerek, İyon değişimi kütle hareket kanunu ile tanımlanabilir. Bu yaklaşımın avantajı, herhangi bir sayıdaki türlerin, bir mineral yüzeyinde etkileşimi olabilir (Merkel ve Friedrich, 2008).



$$K_B^A = \frac{\{A^+ R^-\} \cdot \{B^+\}}{\{A^+\} \cdot \{B^+ R^-\}} = \frac{\{A^+ R^-\} / \{A^+\}}{\{B^+ R^-\} / \{B^+\}} \quad [6.8]$$

A^* : B^* monovalent iyon

R : değiştirici

K_x seçicilik katsayısı ve bir denge sabiti olarak kabul edilir. Kompleksleşme ya da ayrışma sabitlerinin aksine, sadece basınç, sıcaklık ve iyonik güce bağlı değildir. Aynı zamanda iç ve dış yüzeyindeki spesifik özellikleri ile katı faza bağlıdır (Merkel ve Friedrich, 2008).



$$K_{Ca}^{Na} = \frac{\{NaX\} \cdot \{Ca^{2+}\}^{0.5}}{\{CaX_2\} \cdot \{Na^+\}} \quad [6.10]$$

Bu ifadeye Gaines-Thomas kuralı denir.

Genelleştirilmiş iki seviyeli model

Genelleştirilmiş iki seviyeli modeli (GTLM) (CaCO₃, CaSO₄, FeOH vb.) mineraller üzerinde tutunma reaksiyonlarının değerlendirilmesi için bir yüzeysel kompleksleşme (iyonların bir yüzeye nasıl tutunduğunu açıklamaya çalışan) modeli içeren sulu sistemlere uygun bir kimyasal denge modelidir. GTLM, Dzombak ve Morel (1990) tarafından geliştirilmiştir.

Dzombak ve Morel (1990), sayısız laboratuvar çalışmaları sonucunda sulu demir oksit üzerinde yüzey kompleksi için tutarlı bir veri tabanı elde etmiştir. Bu veri tabanı, aynı zamanda Phreeqc'de mevcuttur. Gouy- Chapman double layer eşitliği iyonik güç ve yüzey yüklerinin fonksiyonu olarak yüzey potansiyelini tanımlanmasında kullanılırken, Dzombak ve Morel modeli biri güçlü bölge Hfo_sOH diğeri zayıf bölge Hfo_wOH olan sulu demir oksitin iki bölgesi için kompleks reaksiyonları tanımlar (Apello ve Postman, 2007).

6.2.4 Yüzey kompleksleşme modeli

Bu çalışmada yüzey kompleksleşme modeli kullanılarak sularda fazla miktarda bulunan arseniğin nasıl uzaklaştığının anlaşılması amaçlanmıştır. Bunun için, model kapsamında Karasazlıkta bulunan kuyu sularının debi değerlerinin eşit olması kabulüyle, sular bir havuzda karıştırılmıştır. Modelde seçilen örneklerin çözünmüş demir miktarını artırmak için suya FeCl₂ eklenmiştir. Ortam şartlarının atmosfere açık ve dengede olması için CO₂ (-3) ve O₂ (-7) doygunluk değerleri (SI; doygunluk indeksi= log (ürünlerin aktivitesi (IAP)/girenlerin aktivitesi (K_{sp})) sisteme girilmiştir. Ayrıca arseniğin tutunma ile giderimini sağlayacak olan Fe(OH)₃ mineralinin doygunluğa ulaştığında çökmesine izin verilmiştir (SI=0). Model sonucunda Fe(OH)₃'ün çökmesine bağlı oluşan katı yüzeye arseniğin tutunması incelenmiştir.

Fe(OH)₃ için Phreeqc (Interactive 2.18.5570 versiyonu) programında, Dzombak ve Morel (1990) tarafından geliştirilen double layer teorisi kullanılmıştır. Fe(OH)₃ tutunma kapasitesinde güçlü bölge (Hfo_sOH) için 0,005 alan/mol kabulü yapılırken, zayıf bölge (Hfo_wOH) için ise 0,2 alan/mol değeri alınmıştır. Fe(OH)₃ in toplam

yüzey alanı $5,33 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{mol}$ olarak kabul edilmiştir (Merkel ve Friedrich, 2008). Katı yüzeyin difuze edilebilir seviye barındırmadığı ve tanımlanan yüzeylerde denge şartlarının sağlandığı kabul edilmiştir.

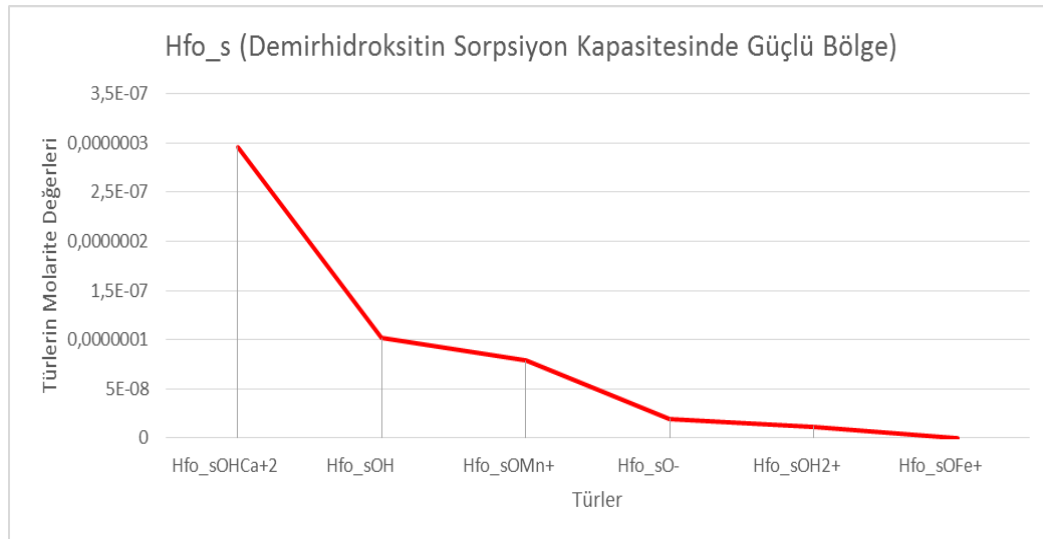
6.2.4.1 Tutunma model uygulaması verilerinin değerlendirilmesi

Karasazlık ve Kuyucak bölgelerinde fazla miktarda bulunan arsenik konsantrasyonunun düşürülmesi için Phreeqc programında tasarlanan tutunma modeline ait elde edilen sonuçlar grafikleştirilmiştir (Şekil 6.1). $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ile yapılan tutunma sonucunda arseniğin %99 oranında giderildiği gözlemlenmiştir.



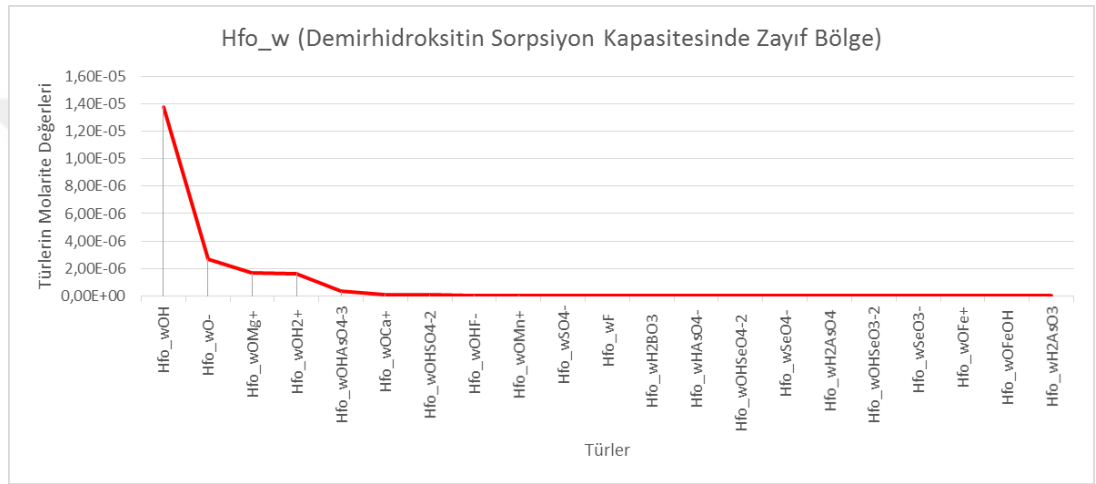
Şekil 6.1 Tutunma modeli öncesi ve sonrasındaki arsenik miktarı.

Dzombak ve Morel (1990) tarafından geliştirilen double layer teorisinde, demir hidroksitin ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) tutunma kapasitesi için kabul edilen güçlü ve zayıf bölgelere ait arsenik ile rekabet içinde bulunan diğer elementler de incelenmiştir.



Şekil 6.2 Tutunma modelinde $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 'ün güçlü bölgesinde tutulan türler.

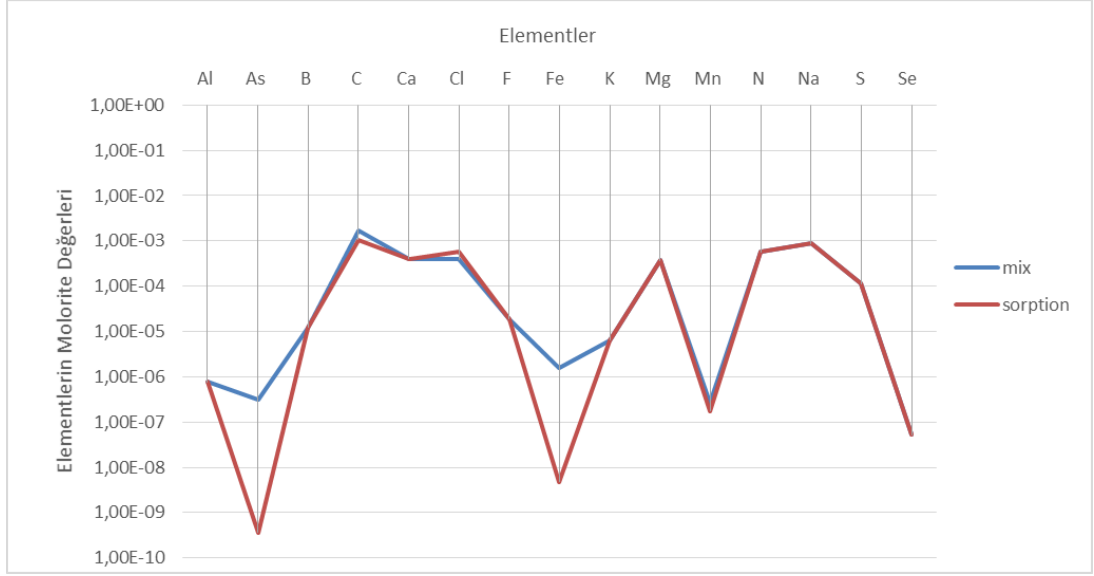
Dzombak ve Morel'e (1990) göre, demir hidroksit için tanımlanan güçlü bölge kabulleri sonucunda, modelde elde edilen değerler Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Karasazlık I, II ve III bölgelerindeki birer kuyu suyu ile Kuyucak bölgesindeki bir kuyu suyunun karışımı sonucunda oluşan karışım suyun, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ in güçlü bölgesinde tutulan türleri sırasıyla Ca^{+2} , OH , Mn^{+} , O^- , OH_2^{+} ve Fe^{+3} dır. Görüleceği üzere demir hidroksit üzerine en başta kalsiyum en sonda demir tutunmaktadır. Arsenik demir hidroksitin güçlü bölgesi için yukarıda sayılan türler ile rekabet edememektedir. Bunun sonucunda da demir hidroksitin güçlü bölgesinde karışım suyu açısından arsenik tutunması gerçekleşmemektedir.



Şekil 6.3 Tutunma modelinde $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 'in zayıf bölgesinde tutulan türler.

Dzombak ve Morel'e (1990) göre, demir hidroksit için tanımlanan zayıf bölge kabulleri sonucunda, modelde elde edilen değerler Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Şekil 6.3'den görüleceği üzere demir hidroksitin zayıf bölgesi üzerinde sorplanan türler soldan sağa doğru sırasıyla azalmaktadır. Bu türler arasında arsenik türleri başta olmasa da, arseniğin sudan uzaklaşmasında zayıf bölgenin etkin olduğu görülmektedir. Alanımızdaki arsenik $\text{Fe}(\text{OH})_3$ in üzerinde sorplanarak giderilmektedir.

Şekil 6.4'de Karasazlık I, II ve III bölgelerindeki birer kuyu suyu ile Kuyucak bölgesindeki bir kuyu suyunun karışımı sonucunda oluşan mix diye isimlendirdiğimiz su ile tutunma sonrası oluşan suyun element miktarlarındaki değişim gösterilmiştir. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ile tutunma sonrasında suyumuzda en çok etkilenen elementlerin As, Fe, C, Cl ve Mn olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.4 Tutunma'dan önce ve sonraki element miktarlarındaki değişim.

6.2.5 Model uygulamalarının değerlendirilmesi

Arseniğin demir hidroksit üzerinde sorplanmasına dayalı yapılan phreeqc modeli çalışmaları sonucunda arsenik değeri 23,998 ppb değerinden 0,027 ppb değerine düşürülmüştür. Tutunma sürecinde arsenik ile rekabet için de olan elementler de belirlenmiştir. Yapılan tutunma çalışmasıyla arsenik miktarı %99 oranında giderildiği için uygulanabilirliği görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

“KAYSERİ KENTİ İÇME SUYU AKİFERLERİNDE ARSENİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı doktora tez çalışması, yapılan deneysel veriler ile model çalışmalarımın ışığında sonuçlanmıştır. Bu sonuçlara göre;

- Kayseri kenti içme ve kullanma suyunun karşılandığı akifere ait arsenik değerlerinin ortalaması 3.64 ppb’dir. Mevcut içme suyunun karşılandığı alanda derin akiferin çoğunluğunda arsenik problemi bulunmazken, sığ akiferde arseniğin problem oluşturabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca Kayseri kentinin geleceğe yönelik su ihtiyacının karşılanması amacıyla, çalışmaların yapıldığı Karasazlık bölgesinde arsenik değerlerinin de ortalama 23 ppb civarında olduğu tespit edilmiştir.
- Alandan alınan su örneklerinin kimyasal analizlerinin modelleme çalışmaları sonucunda bu sulara baskın arsenik türünün her iki alan için de As (V) olduğu belirlenmiştir. Alanda arsenatın baskın olması da, arseniğin ortamdaki uzaklaştırılmasında avantaj sağlayabilecektir.
- As (V) türünün baskın olması suların karışımı sonrasında diğer elementlerle arseniğin bir araya gelerek çökeldiğini veya sorplandığını da göstermiştir.
- Hem “Mevcut İçme Suyu” bölgesinde hem de “Karasazlık” bölgesinde yüksek arsenik içeren kuyu sularının jeolojisinin genelde benzer olduğu ve bunun yanında yükseltgen koşulların su-kayaç etkileşimini arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Yapılan karışım modeli ile arsenik değerini sınır değer altına düşürülebileceği görülmüştür. Bu kapsamda Mevcut içme suyu bölgesi ile Karasazlık bölgesinin arsenik konsantrasyonlarının zıt olması, arazi şartlarının uygun ve her iki alandaki arsenik türünün de As (V) olmasının sağladığı avantaj ile alandaki bu iki su grubunun bir depoda model çalışmaları sonucunda elde edilen debi oranlarında karıştırılarak kente verilmesinin uygun olabileceği belirlenmiştir. Böylece hem arıtma maliyeti hem de yüksek arsenik sorunu çözülecektir.
- Karasazlık bölgesinde bulunan sulara yönelik yapılan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ile sorpsiyon modeli sonucunda (23.998ppb’den 0.027 ppb değerine) arseniğin %99 oranında arıtılabilirliği ortaya konulmuştur.

- Tutunma modeli çalışmasında $\text{Fe}(\text{OH})_3$ in güçlü bölgesinde tutulan türlerin sırasıyla Ca^{+2} , OH , Mn^+ , O^- , OH_2^+ ve Fe^+ olduğu ve arseniğin demirhidroksitin güçlü bölgesi için yukarıda sayılan türlerle rekabet edemediği belirlenmiştir. Ancak demirhidroksitin zayıf bölgesi üzerinde arseniğin sorplanarak uzaklaştığı, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 'in zayıf bölgesi üzerinde sorplanan türlerin sırasıyla Al, As, B, C, Ca, Cl, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, S ve Se olduğu belirlenmiştir.
- Manganın indirgenme veya yükseltgenmesi sonucunda ortamdaki arsenik türlerinin etkilendiği gözlemlenmiş, buna bağlı olarak mangan konsantrasyonu artıkça, arsenik konsantrasyonunun düştüğü tespit edilmiştir. Mineral doygunluk analizlerinde manganite'nin Arsenik III türünün tutunmasında ve As V'e yükseltgenmesinde etkisi olduğu belirlenmiştir.
- Su ortamında bulunan klorürün ilk olarak çinko, sonrasında ise demir ile reaksiyona girme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun dolaylı olarak arsenik konsantrasyonunu etkilediği ortaya konulmuştur. Yüksek arsenik içeren suların çinko değerleri düşük olduğu için klorürün demir ile reaksiyona girerek bileşik oluşturduğu ve demirin değerliğinin değişmesiyle de arsenik konsantrasyonunun değiştiği belirlenmiştir. Tam tersi durumda da klorürün demir yerine çinko ile reaksiyona girdiği ve demirin sistemi çok etkilemediği görülmüştür.
- Mevcut içme suyu bölgesinde içme ve kullanma suyu için çekilen sığ ve derin kuyuların genelinin indirgen şartlar taşıdığı ve pH değerlerinin de asidik olduğu ve pozitif Orp değerlerini taşıyan örneklerin piroklastikler, bazaltik ve andezitik lav akıntılarından oluşan bir ortamda yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca arsenik değerleri fazla olan Karasazlık bölgesinde ölçülen Oksidasyon redüksiyon potansiyellerinin pozitif olduğu ve akifer ortamının egemen kayalar türlerinin piroklastik, bazaltik ve andezitik lav akıntılarından oluştuğu belirlenmiştir. Alandaki volkanik yapının ve yükseltgen şartların arseniği önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.
- Arsenik konsantrasyonu yüksek olan kuyuların her iki bölgede de yükseltgen şartlara sahip olduğu bulunmuştur.
- Sülfat açısından kısmen zengin sayılabilecek mevcut içme suyu bölgesinde; alunit bünyesindeki sülfat ile sudaki (As V türü olan) AsO_4^{-3} yer değiştirdiği ve ayrıca sığ kuyulardaki sülfatın stronsiyum ile bileşik oluşturduğu da

görülmüştür. Karasazlık bölgesinde ise sülfat değerinin düşük olduğu ve sülfatın az da olsa diğer minerallerle reaksiyona girdiği ve basaluminit ile çökerek uzaklaşabildiği tespit edilmiştir.

- Alanda yapılan su kimyası ile mineral doygunluk analiz sonuçları; As (V) türü olan AsO_4^{-3} 'ün alunite ile çökeldiğini ve böylece bu türün alanda çok gözlemlenmediğini göstermektedir.
- Baryum miktarındaki artış ile arseniğin ilişkili olduğu, mineral doygunluk analizinde de yaygın olarak baryumun arsenik ile birleşerek çökeltme eğiliminde olduğu da tespit edilmiştir. Ayrıca As V türü olan AsO_4^{-3} 'ün ortamdan uzaklaşmasında baryum arsenatın katkısının olduğu ve AsO_4^{-3} ortamdan uzaklaşırken ilk olarak aluniti sonrada baryum arsenatı tercih ettiği saptanmıştır.
- Basaluminite mineralinin çökelerken OH iyonlarını uzaklaştırarak su ortamının asidik olmasına ve böylece pH değişimi sonucunda arsenik konsantrasyonunun artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca basaluminit'in sudaki alüminyumun hareketliliğini kontrol eden mineral olduğu da tespit edilmiştir.
- Çalışma alanında karbondioksitin suda harcanması ya da kaçışıyla birlikte pH değerlerinde artış olduğu görülmektedir. pH değerinin CO_2 tarafından denetlenmesi arseniğin yüzeye tutunmasında en önemli etkenlerden birisi olduğunu kanıtlamaktadır.
- Kuyu sularının pH aralığı; Karasazlık bölgesinde min: 6.37, ort: 6.926, mak: 7.49 ve ss: 0.24 seviyelerinde iken, mevcut içme suyu bölgesinde min: 5.73, ort: 6.94, mak: 9.33 ve ss: 0.79 olarak bulunmuştur.
- Genel itibarıyla derin kuyu örneklerinde pH artışıyla birlikte HCO_3 miktarında da artış olduğu ve derin kuyu gruplarına ait bikarbonat arsenik değerlerine bakıldığında da çoğunlukla bikarbonat miktarındaki artışın arsenik değerlerini de arttırdığı saptanmıştır.
- Derin kuyularda elektriksel iletkenlik miktarındaki artışla birlikte arsenik miktarının da arttığı gözlenmektedir. Su-kaya etkileşimine bağlı çözünmüş içerik artışı hemen hemen tüm örneklerde doğrusal olarak gözlenmektedir. Ancak bazı düşük çözünmüş mineral içerikli örneklerin çok yüksek As içerdikleri de tespit edilmiştir.

- Stronsiyum derin kuyularda ilk olarak HCO_3^+ ile bileşik oluştururken, sığ kuyularda SO_4 ile bileşik oluşturduğu tespit edilmiştir. Derin kuyularda genellikle stronsiyum artışıyla birlikte arsenik miktarıda artmaktadır. Bu artışın ana sebebi arsenik ile reaksiyona girebilecek (HCO_3^+ , SO_4 ve CO_3) türlerini kullanarak, sistemi etkilemesidir. Çalışılan alanda stronsiyum ile bikarbonat arasında doğrusal bir ilişkisinin olduğu, dolayısıyla karbonatların çözünmesi sonucunda arsenik konsantrasyonun da arttığı saptanmıştır.
- Kuyularda su sıcaklığının artışına paralel olarak arsenik miktarında da artış olduğu belirlenmiştir.
- Silikat minerallerinin en temel bileşenlerinden birisi olan alüminyumun ortamdaki artışının yine ortamdaki arsenik varlığı ile doğru orantılı olmasına bağlı olarak, yapılmış olan model analizi sonucunda Boğazköprü ile Boyacı dışındaki tüm su örneklerinin gipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) açısından doymuş ve çökme eğiliminde olduğu belirlenmiştir.
- Sığ ve derin kuyularda, genellikle demir konsantrasyonunun artışıyla birlikte arsenik konsantrasyonunda düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak ortamdaki arsenik konsantrasyonunun değişimine demir tek başına etki etmemektedir. Ortamın taşıdığı indirgen veya yükseltgen (Orp) şartların katalizör etki yaptığı gözlemlenmiştir. Demirhidroksit minerali ile pH arasında manidar bir ilişkinin var olduğu da görülmüştür. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ile pH arasındaki denge değişimi sayesinde alandaki demirin dengeye gelme isteği ve sisteme etkisi tespit edilmiştir. Çalışma alanında demirhidroksit mineraline doymuş sularda, arsenik konsantrasyonlarının hem düşük hemde yüksek olduğu örnekler de mevcuttur. Bu durumun sebeplerinden biri arseniğin demirhidroksit üzerinde sorplanmasında onunla rekabet halinde olan (Ca , Mn , OH , Fe , Mg , O ve SO_4) iyonların var olması, bir diğeri de pH'dır. Arsenik konsantrasyonunun azalması için demirhidroksitlerin doymuşluğa ulaşmasının tek başına yeterli olmadığı, demirhidroksitlerin yüzey yükünün de tutunma olayının gerçekleşmesi için önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Karasazlık bölgesinde analizi yapılan bütün kuyuların demir ortalaması 84 ppb iken, mevcut içme suyu bölgesindeki kuyuların ortalaması ise 298 ppb çıkmıştır. Ancak demirhidroksit mineralinin doymuşluğu açısından Karasazlık bölgesindeki sular daha doymuştur. Yüksek

pH ve pozitif Orp'nin, demirhidroksit mineralinin doygunluğa ulaşmasındaki etkisi tespit edilmiştir.

- Mevcut içme suyu bölgesinde derin akifere nazaran sığ akiferde daha fazla arsenik sorununa rastlanmıştır. Sığ akiferden altındaki derin akifere olabilecek sızma sorunlarına karşılık gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bunun için ilgili bölgelerdeki derin akiferden çekilecek suların kontrollü çekilmesi gerekmektedir.
- Her iki alanda da alterasyona uğramış jeolojik yapılardan kaçınılmalı.
- Resmi kurumlar tarafından açılacak yeni kuyularda karotlu sondaj tekniğinin kesinlikle kullanılması ve hatta bugüne kadar yapılmayan ve mutlaka yapılması gereken minerolojik analizlerin de yapılması sistemin daha iyi anlaşılması için gerekmektedir.
- Karasazlık bölgesinde farklı debilerde su çekimi yapılmış ve arsenik değerlerinde değişim görülmüştür. Söz konusu alanda antropojenik kaynaklı bir kirlilik gözlenmediği için, arseniğin bölgedeki litolojik birimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle arseniğe kaynaklık eden birimlerin yayılımlarının ve hidrojeolojik yapıdaki rollerinin belirlenmesi için Karasazlık bölgesi ile bu bölgenin yakınında yer alan bataklık alanda dar çaplı ve sürekli karotlu şekilde araştırma kuyularının açılarak daha detaylı bir araştırmanın yapılması önerilmektedir.
- İçme ve kullanma suyunun sağlandığı kuyular yerleşim sınırları içinde kaldığı ve söz konusu sınırlar içinde gerek bahçe gerekse tarlalarda tarım yapıldığı görülmüştür. Bu alanlarda kullanılan gübrelerin ve sulamaların kontrolünün iyi yapılması gerekir.

KAYNAKLAR

- Aksoy N., Şimşek C. ve Gunduz O.** (2009). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balcova, Turkey, *Journal of Contaminant Hydrology*, 103, 13-28.
- Appelo, C.A.J., Postma, D.** (2007). Geochemistry, groundwater and pollution, 2ND edition. 635p, A.A. *Balkema Publishers*, Rotterdam.
- Appelo, C.A.J.** (2008). Geochemical experimentation and modeling are tools for understanding the origin of As in groundwater in Bangladesh and elsewhere. In: Arsenic in groundwater - A world problem, 33-50p, *Utrecht*, Netherlands.
- Arehart, G.B., Chrysoulis, S.L. and Kesler, S.E.** (1993). Gold and arsenic in iron sulfides from sediment-hosted disseminated gold deposits: Implications for depositional processes. *Economic Geology*, 88, 171-185.
- Belzile, N., Tessier, A.** (1990). Interactions between arsenic and iron oxyhydroxides in lacustrine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta volume*, 54, 103-109.
- Bissen, M., Frimmel, F.H.** (2003). Arsenic-a review part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. *Acta Hydrochim Hydrobiology*, 31, 9-18.
- Bissen, M., Frimmel, H.F.** (2003). Arsenic – a review. part II: oxidation of arsenic and its removal in water treatment. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 31, 97–107.
- Bose, P., Sharma, A.** (2002). Role of iron in controlling speciation and mobilization of arsenic in subsurface environment. *Water Research*, 36, 4916-4926.
- Bowell, R. J.** (1994). Sorption of arsenic by iron oxides and oxyhydroxides in soils. *Applied Geochemistry*, 9, 279-286.
- Bowell R.J., Parshley J.** (2001). Arsenic cycling in the mining environment. Characterization of waste, chemistry, and treatment and disposal, proceedings and summary report on U.S. EPA workshop on managing arsenic risks to the environment, 1-3 May, Colorado, USA.
- Bundschuh, J., Zilberbrand, M.** (2012). Geochemical modeling of groundwater. *Vadose and Geothermal Systems*, 5, 321.
- Carbonell, B. A.** (2000). Arsenic chemistry in municipal sewage sludge as affected by redox potential and pH. *Water Research*, 2000, 34, 216-224.
- Clayton, T.** (1980). Hydrobasaluminite and basaluminite from Chickerell. *Mineralogical Magazine*, 43, 93(1-7).
- Claesson, M., Fagerberg, J.** (2003). Arsenic in groundwater of Santiago Del Estero, Argentina (A Minor Field Study). *Royal Institute of Technology International Office*, 62p, Stockholm.
- Cheng, R.C., Liang, S., Wang, H.C. and Beuhler, M.D.** (1994). Enhanced coagulation for arsenic removal. In: *Journal AWWA*, 86, 79-90.
- Chou, H.S.J. , Rosa, C.T.D.** (2003). Case studies-arsenic. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206, 381-386.
- Çolak M., Gemici Ü. ve 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, 127–143.
- Çöl, M., Çöl, C.** (2004). Arsenic concentrations in the surface, well, and drinking waters of the Hisarcik, Turkey. Area, *Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal*, 10, 461–465.

- Craw, D., Falconer, D. and Youngson, J.H.** (2003). Environmental arsenopyrite stability and dissolution: theory, experiment and field observations. *Chemical Geology*, 199, 71-82.
- Cummings, D.E.** (1999). Arsenic mobilization by the dissimilatory Fe(III)-reducing bacterium *Shewanella Alga Bry.* *Environ. Sci. Technol.*, 33, 723-729.
- Davis, A., Ruby, V.M., Bloom, M., Schoof, R., Freeman, G. and Bergstrom, P.D.** (1996). Mineralogic constraints on the bioavailability of arsenic in smelter-impacted soils. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 392-399.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Altın, A. ve Atmaca, E.** (2006). Kayseri kent içme suyu havzasında yer alan eski çöp deponi alanları sızıntı sularının kent içme suyu akiferlerine olan etkilerinin ve havza koruma alanlarının belirlenmesi. *D.P.T. Bilimsel Araştırma Sonuç Raporu*, 245s, Sivas.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Tezcan L., Namkhai, O., Yazıcı, M., Altın, A. Atmaca, E., Sözüdoğru O., Aykar, E. ve Akpınar, H.** (2011). Kayseri kent içme suyu akiferlerinin özellikleri, kirlenme riskleri ve havza koruma alanlarının belirlenmesi (Sonuç Raporu). *TÜBİTAK-ÇAYDAG*, 195s., Sivas.
- Dip, A.** (2001). Arsenik toksisitesinde serbest radikaller ve antidot çalışmaları. *Ankara Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Adli Kimya ve Adli Toksikoloji* (Yüksek Lisans Tezi), 63s, Ankara.
- Dixit, S., Hering, J.G.** (2003). Comparison of arsenic(V) and arsenic(III) sorption onto iron oxide minerals: implications for arsenic mobility. *Environmental Science&Technology*, 37, 4182-4189.
- Doğan, M., Doğan, A.U.** (2007). Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya Region of the Western Anatolia, Turkey. *Env. Geochem. Health.*, 29, 119-129.
- Driehaus, W., Seith, R. and Jekel, M.** (1995). Oxidation of arsenic(III) with manganese oxides in water treatment. *Water Research*, 29, 297-305.
- Edwards, M.** (1998). Considerations in As analysis and speciation3. In: *Journal AWWA*, 90, 103-113.
- Ekmekçi, M., Değirmenci, M., Tezcan, L., Kurttaş, T., Namkhai, O. ve Yazıcı, M.** (2014). KASKİ Dokuzpınarlar mevkiinde su kuyularında rastlanan arsenik sorununun hidrojeolojik yapıyla ilişkilerinin incelenmesi ve kuyu tasarımıyla çözüm olanaklarının araştırılması projesi. *Hacettepe Üniv, Uluslar. Karst Su Kayn. Uyg. Ve Araş. Merk. Raporu*, 105s, Ankara.
- Erdol, S., Ceylan, S.** (1997). Bursa yöresinde içme ve kullanma sularında arsenikle kirlenmenin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*. 16, 119-127s, Bursa.
- Erdoğan, Y. A.** (2005). Atıksulardan çeşitli adsorbanlarla arsenik giderimi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi), 135s, İstanbul.
- Ferguson, J. F., Gavis, J.** (1972). A review of the arsenic cycle in natural waters. In: *Water research*, 6, 1259-1274.
- Flora, S.J.S.,** (2015). Handbook of arsenic toxicology. *University of Arizona*, 701p, USA.
- Foster, A.L.** (1998). X-ray absorption fine-structure spectroscopy study of photocatalyzed, heterogeneous As(III) oxidation on kaolin and anatase. *Environ. Sci. Technol.*, 32, 1444-1452.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C. and Somay, A.M.** (2008). High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç Borate Deposits (Western Turkey). *App. Geochemistry*, 23, 2462-2476.

- Gitari, M.W., Petrik, L.F., Key, D., Etchebers, O. and Okujeni, C.** (2005). Mineralogy and trace element partitioning in coal fly ash/acid mine drainage co-disposed solid residues. *World of Coal Ash (WOCA)*, April 11-15, Kentucky, USA.
- Gündüz, O., Simsek, C., Elci, A., Baba, A., Bakar, C., Gurleyuk, H., Cakir, A. ve Mutlu, M.** (2012). An integrated assessment of water quality in an arsenic containing aquifer: milestones from hydrogeology to public health, 5th *International Perspective on on water resorces and the environment*. Ocak 2012, Fas.
- Güneş, T. S., Güneş, C.** (2009). Jeotermal kaynaklı arseniğin yeraltısuyu ve yüzey sularındaki jeokimyasal davranışı: birlikte çökelme, adsorbsiyon, pH-eh. *TMMOB Jeo. Kong.*, 183-203s, Ankara.
- Gürtunca S., Ceylan S. ve Şanlı, Y.** (1973). Ankara ve yöresindeki bazı içme ve kullanma suları örneklerinin arsenik yönünden araştırılması. *A.Ü. Vet. Fak. Derg* 22(1) : 84-95.
- Henden, E. , Celik, A.** (1990). The analysis of arsenic in Turkish coals and ashes by photometric methods and meca in metal speciation in the enviroment. *Ecological Sciences*, 23, 461-467.
- Henke, K.** (2009). Arsenic; environmental chemistry, health threats and waste treatment. *University of Kentucky Center for Applied Energy Research*, 588p, ABD.
- Hering, J.G., Chiu, V.Q.** (2000). Arsenic occurrence and speciation in municipal groundwater based supply system. In: *Journal of environmental engineering*, 126, 471-474.
- Hung, D. Q. , Nekrassova, O. and Compton, R. G.** (2004). Analytical Methods for Inorganic Arsenic in Water: A Rewiew. *Talanta*, 64, 269-277.
- Huaming, G., Yan, R., Qiong, L., Kai, Z. and Yuan, L.** (2013). Enhancement of arsenic adsorption during mineral transformation from Siderite to Goethite: mechanism and application. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 1009–1016.
- Jain, A. , Raven, K.P., Loeppert, R.H.** (1999). Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: surface charge reduction and net oh-release stoichiometry. *Environmental Science and Technology*, 33 (8), 1179-1184.
- Juillot, F.** (1999). Remobilization of arsenic from buried wastes at an industrial site: mineralogical and chemical control. *Applied Geochemistry*, 14, 1031-1048.
- Kartinen, E.O., Martin, C.J.** (1995). An overview of arsenic removal processes. *Desalination* 103, 79–88.
- KASKİ** (2015). Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su Ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. Kayseri.
- Kashi, B. , Robert, P.H., Satish G.** (2001). A treatment process for removal of mixed inorganic and organic arsenic species from groundwater. *Environmental Progress*, 18, 280-284.
- Kılıçdağı, R., Sariaslan, M., Ak, S., Sanver, S., Akbulut, I. ve Nisan, E.,** (1999). Kayseri Kentinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları. *MTA Genel Mudurlugu Orta Anadolu I. Bolge Mudurlugu Jeoloji Etutleri Dairesi Baskanligi*, Ankara.
- Kim, J.M., Nriagu, J. and Haack, S.** (2000). Carbonate Ions and Arsenic Dissolution by Groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, 34, 3094-3100.
- Krishna, M.V. B.** (2001). A combined treatment approach using Fenton's reagent and zero iron for the removal of arsenic from drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 229-240.

- Korte, N. E., Fernando, Q.** (1991). A review of arsenic(III) in groundwater. In: *Critical reviews in environmental control*, 21, 1-39.
- Kocourkova, E., Sracek, O., Houzor, S., Cempirek, J., Losos, Z., Filip, J. and Hrselova, P.** (2011). Geochemical and minerological control on the mobility of arsenic in a water rock Pile At Dlouha Ves, Czech Republic. *Journal of Geochemical exploration*, 110, 61-73.
- Kumar, P.R., Chaudhari, S., Khilar, K.C. and Mahajan, S.P.** (2004). Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere*, 55,1245-1252.
- Kürkçüoğlu, B.,** (2000). Erciyes stratovolkanı'nın jeokimyasal evrimi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı* (Doktora Tezi), 143s, Ankara.
- Lindback, K., Sjölin, M.A.** (2006). Arsenic in groundwater in the south western part of he Rio Dulce alluvial cone, Santiago Del Estero Province, *Argentina. TRITA-LWR* (Master's Thesis), ISSN 1651-064X LWR-EX-06-26.
- Maes, D., Pate, D.B.** (1977). The absorbtion of arsenic into single human head hairs. *J.Foren.Sci.*, 22, 89-94.
- Mahoney, J., Slaughter, M., Langmuir, D. and Rowson, J.** (2007). Control of As and Ni releases from a uranium mill tailings neutralization circuit: Solution chemistry, mineralogy and geochemical modeling of laboratory study results. *Applied Geochemistry*, 22, 2758–2776.
- Mandal, K.B., Suzuki, T.K.** (2002). Arsenic round the World: a review. *Talanta*, 58, 201-235.
- Manning, B. A., Goldberg, S.** (1997a). Adsorption and stability of arsenic(III) at the clay mineral-water interface. *Environmental Science & Technology*, 31, 2005-2011.
- Manning, B.A., S. Goldberg.** (1997b). Arsenic (III) and arsenic (V) adsorption on three California soils. *Soil Science*, 162, 886-895.
- Massacheleyn, P.H.** (1991). Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. *Environ. Sci. Technol.*, 25, 1414-1419.
- Matschullat, J.** (2000). Arsenic in the geosphere-a review. *Science of the total environment*, 249, 297 -312.
- Mengqiangzhu, Z., Kristianw, P., James, D.K. and Donald, L.S.** (2009). Quantum chemical study of arsenic (III, V) adsorption on Mn-Oxides: Implications for Arsenic(III) Oxidation., *Environ. Sci. Technol.*, 43, 6655–6661.
- Merkel, J.B., Friedrich, B.P.** (2008). Groundwater Geochemistry. *Germany*, 221p.
- McGeehan, S.L., Naylor, D.V.** (1994). Sorption and redox transformation of arsenite and arsenate in two flooded soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 58, 337-342.
- Mohan, D. , Pittman, C.U.** (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents – A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142, 1-53.
- Neff, J. F.** (1997). Ecotoxicology of arsenic in the marine enviroment. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16, 917-927.
- Nordstrom, D.K.** (2000). Thermodynamic properties of environmental arsenic species: Limitations and needs., In: Minor elements 2000: Processing and environmental aspects of As, Sb, Se, Te, and Bi. Young C (ed) *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO*, 325-331p.
- Nriagu, J.O.** (1994). Arsenic in the Environment: Part I: Cycling and characterization. *John Wiley Sons*, 448p, Newyork.
- Oruç, N.** (2004). Emet-Kütahya içme sularında arsenik düzeyi, önemi ve bor yatakları ile ilişkisi. *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, 23-25 Eylül, Eskişehir.

- Oscarson, D.W.** (1981a). The oxidative power of Mn(IV) and Fe(III) oxides with respect to As(III) in terrestrial and aquatic environments. *Nature*, 291, 50-51.
- Oscarson, D.W.** (1983). Kinetics of oxidation of arsenite by various Manganese dioxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 644-648.
- Öztürk, R.** (2009). Manisa ve bazı ilçelerin yeraltı ve içme sularında arsenik miktarının tayini. *Celal Bayar Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi), 49s, Manisa.
- Robins, R.G.** (1981). The solubility of metal arsenates. *Metallurgical transactions B.*, 12B, 101-109.
- Robins, R.G.**, (1985). The solubility of barium arsenate: Sherritt's barium arsenate process. *Metall Trans*, 16B, 404-406.
- Roman, R.G., Cuello, G.J., Martinez, F.A. and Charlet, L.** (2006). Arsenite sorption and co-precipitation with calcite. *Chemical Geology*, 233, 328-336.
- Sadiq, M.** (1997). Arsenic chemistry in soils: An overview of thermodynamic predictions and field observations. *Water, Air and Soil Pollution*, 93, 117-136.
- Sadiq, M. and Alam, I.** (1996). Arsenic chemistry in a groundwater aquifer from the eEastern province of Saudi Arabia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 89, 67-76.
- Sadiq, M., Locke, A., Spiers, G. and Pearson, D.A.B.** (2002). Geochemical behavior of arsenic in Kelly Lake, Ontario. *Water Air and Soil Poll.*, 141, 299- 312.
- Savage, K.S., Tingle, T.N., O'Day, P.A., Waychunas, G.A. and Bird, D.K.** (2000). Arsenic speciation in pyrite and secondary weathering phases, Mother Lode Gold District, Tuolumne County. *Applied Geochemistry*, 15, 1219-1244.
- Sawyer, C.N., Mccarty, P.L. and Parkin, G.F.** (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. 742p, Newyork.
- Shih, M.C.** (2005). An overview of arsenic removal by pressure-driven membrane processes. *Desalination.*, 172, 85-97.
- Smedley, L.P.** (2006). Sources and distribution of arsenic in groundwater and aquifer, Arsenic in groundwater, *proceedings seminar*, 29 Nowember, Utrecht.
- Smith, L.B.** (2004). Arsenic treatment by ozonation and cartridge filtration. *University of Alaska Anchorage* (PhD thesis). 164p, ABD.
- Stollenwerk, K. G.** (2003). Geochemical processes controlling transport of arsenic in groundwater: A Review of Adsorption. *Arsenic in groundwater*, 67-100p, ABD.
- Sun, X.** (1999). Spectroscopy study of arsenite [As(III)] oxidation on Mn-substituted Goethite. *Clays and Clay Minerals*, 47, 474-480.
- Sunyer, A., Currubí, M. and Vinals, J.** (2013). Arsenic immobilization as alunite-type phases: The arsenate substitution in alunite and hydronium alunite. *Journal of Hazardous Materials* 261, 559- 569.
- Sracek, O., Bhattacharya, P., Jacks, G., Gustafsson, J.P. and Von Brömssen, M.** (2004). Behavior Of arsenic and geochemical modeling of arsenic enrichment In aqueous environments. *Applied Geochemistry*, 19, 169-180.
- Swartz, C.H., Blute, N.K., Badruzzman, B., Ali, A., Brander, D., Jay. J., Besancon, J., Islam, S., Hemond, H.F. and Harvey, C.F.** (2004). Mobility of arsenic in a Bangladesh aquifer: Inferences from geochemical profiles, leaching data, and mineralogical characterization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68, 4539-4557.
- Şahinci, A.** (1970). Maden Tetkik Arama Rapor Genel Müdürlüğü. Rapor No: 4372, Ankara.
- Şimşek, C.** (2012). Sarkışla (Sivas) ovasında arsenik kirliliği ve insan sağlığı açısından değerlendirilmesi. 65. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 2-6 Nisan, Ankara.

- Tretner, A.** (2002). Sorption- und redoxprozesse von arsen an oxidischen Oberflächen – Experimentelle Untersuchungen. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (PHD-Thesis), Germany.
- TS266** (2005). Sular- İnsani tüketim amaçlı sular, Türk Standardı. TS 266, Ankara.
- USEPA** (2002). Arsenic treatment technologies for soil, waste, and water. U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- Üzeltürk B.** (2009). Nevşehir ili belediyeleri, içme suyunda arsenik sorunu, *1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp/ Nevşehir.
- Vaclavikova, M., Gallios, G.P., Hredzak, S. and Jakabsky, S.** (2008). Removal of arsenic from water streams: an overview of available techniques. *Clean Techn Environ Policy*, 10, 89-95.
- Van, Q.C., Andjanet, G.H.** (2000). Arsenic adsorption and Oxidation at Manganite Surfaces. Method for Simultaneous Determination of Adsorbed and Dissolved Arsenic Species. *Environ. Sci. Technol.*, 34, 2029-2034.
- Vance, G.F., Zhao, H.T., and Yu, W.Y.** (2001). Removal of arsenite from aqueous solutions by anionic clays. *Environmental Technology*, 22:12, 1447-1457.
- Viraraghavan, T., Subramanian, K.S., Aruldoss, J.A.** (1999). Arsenic in drinking water problems and solutions. *Water Sci. Technol.*, 40, 69-76.
- Walker, F.P., Schrelber, M.E. and Rimstidt, J.D.** (2006). Kinetics of arsenopyrite oxidative dissolution by oxygen. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 1668-1676.
- Winkel, H.E.L., Casentini, B., Bardelli, F., Voegelin, A., Nikolaidis, P.N. and Charlet, L.** (2012). Speciation of arsenic in Greek travertines: Co-precipitation of arsenate with calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 106, 99–110.
- WHO** (1981). Environmental Health Criteria 18. Arsenic International Programme on Chemical Safety, *World Health Organisation*, Geneva, ISBN 92.4.154078.8, 174p
- WHO** (2001). Arsenic Compounds, Environmental Health Criteria 224, 2nd ed., *World Health Organisation*, Geneva, 66 p.
- XU, H., Allard, B. and Grimwall, A.** (1991). Effects of Acidification and Natural Organic Materials on the Mobility of Arsenic in the Environment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 57-58, 269-278.
- Yazıcı, M., Değirmenci, M., Sözüdoğru, O., Ekemkçi, M., Atmaca, E., Tezcan, L. ve Namkhai, O.B.** (2015). Kayseri Kenti Yeraltısularının Arsenik Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi. *Karaelmas Science and Eng. Journal*, 5(1), 16-25.
- Yıldız, M.Ş.** (2010). Jeofizik mühendisleri odası tarafından düzenlenen söyleşi. Kayseri.
- Yılmaz O., Ekici K.** (2004). Van yöresinde içme sularında arsenikle kirlenme düzeyleri, *YYÜ Veteriner Fakültesi Dergisi*, 15 (1-2), 47-51.
- Zhu, C., Anderson, G.** (2002). Environmental Applications of Geochemical Modelling. *Published by Cambridge University Press*, 281p, Australia.
- Zhu, Y., Zhang, X., Xie, Q., Chen, Y., Wang, D., Liang, Y. and Lu, J.** (2005). Solubility and stability of barium arsenate and barium hydrogen arsenate at 25 °C. *Journal of Hazardous Materials*, A120, 37–44.





EK-I Phreeqc Kodu

Similasyon 1

TITLE: Tutunma Modeli

SOLUTION_SPREAD

	-units	mg/l
Number	Description	
1	KS1-K8	
2	KS2-K3	
3	KS3-K7	
4	HCKU-K1	

MIX 1 mix

1	0.25
2	0.25
3	0.25
4	0.25

END

USE mix 1

REACTION 1

FeCl2 1
0.1 millimoles in 1 steps

SAVE solution 1

END

USE solution 1

EQUILIBRIUM_PHASES 1

CO2(g)	-3	10
Fe(OH)3(a)	0	0
O2(g)	-7	10

SURFACE 1

-equilibrate with solution 100

Hfo_sOH	Fe(OH)3(a)	equilibrium_phase	0.005	53400
Hfo_wOH	Fe(OH)3(a)	equilibrium_phase	0.2	

END

Similasyon 2

TITLE: Karışım Modeli

SOLUTION_SPREAD

	-units	mg/l
Number	Description	
1	KS1-K8	
2	KS2-K3	
3	KS3-K7	
4	KS3-K3	
5	HCKU-K1	

SOLUTION_SPREAD

	-units	mg/l
Number	Description	
6	KY22	
7	KY27	

MIX 1 mix

1	0.1182109
2	0.115016
3	0.1166134
4	0.118211
5	0.09584665
6	0.3194888
7	0.1230032

END

MIX 2 mix2

1	0.130742
2	0.1272085
3	0.1289753
4	0.1236749
6	0.3533569
7	0.1360424

END

MIX 3

1	0.1491935
2	0.1451613
3	0.1471774
6	0.4032258
7	0.1552419

END

MIX 4 mix4

2	0.1706161
3	0.1729858
6	0.4739336
7	0.1824645

END

EK-II Kayaç Toplulukları ve Litolojik Özellikleri

Kayaç Toplulukları ve Litolojik Özellikleri

Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında eski vadi, vadi ve akarsu yatakları ile ova düzlüklerini oluşturan çakıl, kum, kil depolarıdır.

Yamaç Molozu (Qym)

Büyük dağ-eteklerinde ve yarlarda gözlenen çakıl, blok boyutunda tutturulmamış kayaç parçalarından oluşan birimlerdir.

Eski Alüvyon (Qeal)

Türkecan vd., (1998), Eski dere yataklarında, güncel dere yataklarının kenar kısımlarında şekiller oluşturan, tutturulmamış, az sıkı kum, çakıl ve kil depolanmalarından oluşmuştur. Kendisinden yaşlı birimleri uyumsuzlukla üzerler. Kalınlıkları 30 m'ye kadar çıkabilir. Bu oluşukların yaşı muhtemelen geç Pleyistosen'dir (MTA'dan 1999).

Piroksen Andezitik Domlar (Qep)

Erciyes ana konisi ile piroksen, andezitik domlardan oluşan volkanik merkezleri kapsayan kayaçlar piroksen andezitik domlar adı altında toplanmıştır. Birim ince taneli, pembe, gri renkli, dasit, hiyaloandezit ve piroksen-hornblend andezit büşimli lavlardan oluşur. Erciyes dağının etrafında izlenen bu volkanitlerin çalışma alanı içersinde kalanları, Erciyes dağı ana konisi ile Bozdağ, Göğdağ, Yılanlıdağ ve Kolonludağ domlarıdır (MTA'dan 1999).

Hisarcık Lavları (Qeh)

Bloklu, cürüflu lavlardan oluşan birim, Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır. Birim alt seviyelerde yer yer gri, şarabi kırmızımsı renkli cürüflu, bloklu lavlardan, üst seviyelerde gri, siyah renkli, masif ve bloklu ince plajiyoklas çubuklu bazaltlardan oluşmuştur. Hisarcık lavları, alttan Namlıtarla volkanitleri ve Çatakdere türlerini uyumsuz, Alıdağ domunu ve Endürlük lavlarını uyumlu olarak üzerler (MTA'dan 1999).

Ercan vd., (1994) tarafından saptanan $0.171.000 \pm 0.012$ my'yaş bulgusu yeri tam saptanmamış olmakla birlikte bu lavlara ait olmalıdır (Türkecan vd., 1998). Buna göre Hisarcık lavlarının yaşı geç Pleyistosen olmalıdır. Karasal ortamda depolanmıştır.

Piroklastikler (Qepr)

Erciyes dağının özellikle güney ve kuzeyinde, Hacılar ilçesi civarında geniş alanlarda yayılım gösteren, gevşek, tutturulmamış, beyaz, sarı renkli, camsı yapının hâkim olduğu pomzalardan oluşan birim, piroklastikler olarak adlandırılmıştır. Erciyes volkanitlerinin çeşitli evrelerinde etkinlik göstermesine karşın bunları birbirlerinden ayırmak oldukça zordur. Birim, Türkecan vd., (1998) tarafından Kızık tüfleri olarak tanımlanmıştır (MTA'dan 1999).

Cüruf Konileri (Qec)

Erciyes dağının çevresinde gözlenen olivin bazalt karakterli, çoğunlukla bazaltik lav akıntıları ile birlikte gözlenen stromboliyen tipte oluşmuş koyu gri, siyah, kırmızı renkli cüruf konileridir. Bunlar harita üzerinde Kızıltepeler olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanı içerisinde Kızılören köyü etrafında yoğun olmakla birlikte Küçük-kızıltepe, Kırmızıtepede ve Kolanlıdağ ve Bozdağ etrafında yaygın olarak gözlenmektedir (MTA'dan 1999).

Bazaltik Lav Akıntıları (Qeb)

Erciyes dağının çevresinde gözlenen parazit konilerin oluşturduğu koyu gri, siyah renkli bazalt, olivin bazalt ve piroksen andezit türü lav ve piroklastik kayaçların oluşturduğu volkanitler bazaltik lav akıntıları adı altında toplanmıştır (MTA'dan 1999). Çalışma alanı içerisinde Karpuzseki, Hacılar, Kanlıçardak, Avşar, Sürme, Eski Şeyhşaban köylerinde yaydım gösterir.

Andezitik Lav Akıntıları (Qea)

Erciyes dağının çevresinde gözlenen bazaltik andezit ve piroksen andezit bileşimli lav ve piroklastik kayaçların oluşturduğu volkanitler andezitik lav akıntıları adı altında toplanmıştır. Vesiküler bir yapının hâkim olduğu örnekler genel olarak porfirik dokulu ve boşluklu yapıda olup plajiyoklas ve piroksen fenokristalleri ile hamurdan oluşur. Hamur intersertal dokulu olup plajiyoklas çubuklarının ve piroksen mikrokristallerinin arası volkan camı tarafından doldurulmuştur. Birim Kızılören, Sakarçiftliği, Sarıkürklü, İmamlı, Kocaoğlan, köyleri civarında yaydım göstermektedir (MTA'dan 1999).

İnciliköy Lav Akıntısı (Qei)

Andezitik lavlardan oluşan birim Türkecan vd., tarafından (1998) adlanmıştır. Altan Adacatepe lavları ve Namlılarla volkanitleri ile uyumsuz ilişkili olup üstüne gelen bir birim yoktur (MTA'dan 1999).

İnciliköy lavlarından elde edilmiş bir yaş verisi yoktur. Stratigrafik konumu itibariyle geç Pleyistosen yaşı uygulanmıştır. Karasal ortam ürünüdür.

Alıdağ Domu (Qead)

Domsal yapı gösteren andezitik ve dasitik bileşimli volkanitler, Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır. Birim gri, mavimsi gri, eflatun renkli, petrografik olarak; porûrik dokulu, amfibol, piroksen ve iri plajiyoklas fenokristalleri içeren andezitlerden oluşmuştur (MTA'dan 1999).

Bu volkanitler kendinden önce oluşan Reşadiye volkanitleri, İncesu ve Valibaba ignimbiritlerini kesmiştir. Üstünde hiçbir birim bulunmamaktadır. Alıdağ domu andezitlerinden elde edilmiş bir yaş bulgusu yoktur. Stratigrafik konumu itibariyle Geç Pleyistosen yaşı uygulanmıştır.

Sekiyurt Domu (Qes)

Andezitik lavlardan oluşan volkanitler, Türkecan vd., (1998) tarafından adlandırılmıştır. Birim; dom ve lav akıntıları şeklinde bulunan gri, pembe renkli iri feldispat kristalli, eklemlili bir yapıya sahip horablend-piroksen andezit ve biyotit-piroksen-hornblend andezitlerden oluşur. Bu volkanitler, daha önce anlatılan Pliyosen yaşlı volkanitleri kesmiş durumdadır (MTA'dan 1999).

Birimin yaşı hakkında bir veri yoktur. Stratigrafik konumu itibarıyla geç Pleyistosen yaşı konağı uygulanmıştır.

Endürlük Lavları (Qee)

Andezitik lavlardan oluşan birim, Türkecan vd., (1996) tarafından adlanmıştır. Birim taze yüzeyi grimsi, siyah, alterasyon rengi kahverenkli, alt seviyeleri levhamsı yapıda, üst kesimleri ise masif ve bloklu yapıda piroksen andezitlerle temsil edilmiştir. Endürlük lavı, Alakuşak ignimbiriti ve Adacatepe lavlarını uyumsuz olarak üzerler (MTA'dan 1999).

Bu lavlardan Innocenti vd., (1975) tarafından yapılan radyometrik yaş tayininde 0.9 my yaş elde edilmiştir, bu da geç Pleyistosen yaş konağına denk gelmektedir (MTA'dan 1999).

Kışladağ Formasyonu (pik)

Sarı, beyaz renkli, yer yer alt kesimlerinde kıltaşı, killi kireçtaşlarının yer aldığı ve egemen olarak gölsel kireçtaşlarından oluşan birim, Kışladağ formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim, Pasquare (1968) tarafından tanımlanan Kışladağ üyesi ile eşdeğerdir (MTA'dan 1999). Özellikle Himmetdede kasabası kuzeyinde ve Erkilet

kuzeyinde yaygındır ve burada geniş düzlükleri oluşturur. Çoğu yerlerde ince tabakalanma olup tabaka kalınlıkları bir kaç cm kalınlığa kadar düşer. Bu kesimlerde tarla toprağı şeklinde izlenir. Kendinden önceki tüm birimleri uyumsuzlukla örter.

Birimin stratigrafik konumu dikkate alındığında, Üst Pliyosen yaşlı olduğu düşünülmektedir.

Reşadiye Volkanitleri (Tplr)

Bazik lav, volkanik kül, pomza ve volkanik cürüflardan oluşan birim Türkecan vd. (1998) tarafından adlandırılmıştır. Birim alt seviyelerde kırmızı-kahve renkli cüruf, siyah renkli volkanik kül ve pomzalardan, üst seviyelerde siyah renkli, olivin bazaltlardan oluşmuştur. Volkanitler alttan Namlılarla volkanitleri ve Çatakdere tüfleri ile uyumlu, üstten Kuvatemer yaşlı volkanik kayalar ile uyumsuz ilişkilidir.

Bu volkanitlerden Dönmez vd., (2003) tarafından K/Ar yöntemiyle yaptırılan yaş tayininden 3.1 ± 0.2 my elde edilmiştir (MTA'dan 1999). Bu değer erken Geç Pliyosen yaşına denk gelir. Bu volkanitler karasal ortamda depolanmıştır.

Adacatepe Lavları (Tplad)

Bazaltik ve andezitik volkanitlerden oluşan birim Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). Birim koyu gri, siyah renkli, laminalı akma yapılı, masif görümlü, yer yer albit, kuvars, zeolit ve kalsit dolgulu gaz boşluklu yapıda, bazen ufak pirit içerikli andezitik ve bazaltik lavlardan oluşur. Birkaç korunmuş volkan konisi içerisinde volkan bombalan saç burgusu, tutturulmamış tüf-volkanik kum-aglomera ile serbest halde kirli beyaz pomza oluşukları bu volkanitlere eşlik eder.

Adacatepe lavları alttan Başakpınar tüfü ve Alakuşak ignimbiriti ile üstten Namlılarla volkanitleri ile uyumlu, Endürlük lavları ile uyumsuzdur. Kısmen bu lavlara karşılık gelen Şahindik volkanitinden, Dönmez vd., (2003) tarafından K/Ar yöntemiyle yaptırılan yaş tayininde 3.89 ± 0.5 my elde edilmiş olup bu yaş geç Erken Pliyosen'e denk gelir (MTA'dan 1999).

Alakuşak İgnimbiriti (Tpla)

Genelde kaynaklı tüllerden oluşan birim Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). Birim kızıl renkli pomza, kırmızı-mor renkli andezit ve siyah renkli bazalt parçalarını içeren, yer yer alev yapılı, sıkı sert, iyi kaynaklanmış pembe, gri, kiremit kırmızısı ve mor renkli ignimbiritlerden meydana gelmiştir. Alakuşak kuzeyinde bir andezit daykı tarafından kesilmiştir.

İstif altındaki Başakpınar tufu ve üstündeki Adacatepe lavları ile uyumlu ilişkili olup 10 m kadar bir kalınlık sunar. Alakuşak ignimbiriti stratigrafik konumu ve inceleme alanı dışında bu ignimbirit seviyesinden Dönmez vd., (2003) tarafından 4.9 ± 0.1 my yaş edilmiş olduğundan dolayı erken Pliyosen yaşı kabul edilmiştir (MTA'dan 1999).

Başakpınar Tufu (Tplb)

Genelde tüflerden oluşan birim Türkecan vd., (1998) tarafından adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Birim içinde yer yer boyutları 2 ila 30 cm arasında değişen pomza ve volkanik materyal içeren sarı, beyaz, gri, pembe, kahverengi ve kırmızı renklerde, bazen çapraz katmanlı tüflerden oluşur.

İstif, altındaki Valibaba ignimbiriti ve üstündeki Alakuşak ignimbiriti ile uyumlu ilişkili olup kalınlığı 20 m civarındadır. Başakpınar türlerinden elde edilmiş bir yaş bulgusu yoktur. Stratigrafik konumu itibariyle Erken Pliyosen yaşı uygulanmıştır.

Valibaba İgnimbiriti (Tplv)

Kaynaklı türlerden oluşan birim Pasquare (1968) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). Birim, yer yer küçük pomza parçaları içeren, siyah ya da kırmızımsı alev yapıları bulunduran, gri, koyu gri, siyah, kiremit kırmızısı ve pembe renklerde, masif, sıkı, sert, yer yer yumuşak iyi kanaklanmış ignimbirittir.

İstif altındaki Çatakdere tufu ve üstündeki Başakpınar tufu ve Kışladağ kireçtaşı ile uyumlu ilişkilidir. Birim yaklaşık 5 ila 20 metre arasında değişen kalınlıktadır. Stratigrafik konumu itibariyle erken Pliyosen yaşı uygulanmıştır.

İncesu ignimbiriti, Çatakdere tufu, Kızılkaya ignimbiriti Beekman (1966) ile denestirilebilir (MTA'dan 1999).

Çatakdere Tufu (Tplç)

Tuf ve pomza ardalanımından oluşan volkanitler Türkecan vd. (1998) tarafından adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Birim altta cüruf, pomza ve volkanik çakıl içeren gri renkli tuf ile üstte gri, sarı, pembe renkli ince pomza taneli türlerden oluşur. Arada pomza seviyeleri olağandır.

İstif altındaki İncesu ignimbiriti ve üstündeki Valibaba ignimbiriti ve Yücekayalar formasyonu ile uyumlu ilişkili olup, 2-15 m arasında kalınlık değişimi sunar. Çatakdere tufüne yaş verebilecek bir bulgu yoktur. Stratigrafik konumu itibariyle erken Pliyosen yaşı uygulanmıştır. Karasal ortam ürünüdür.

İncesu İgnimbiriti (Tpli)

Genelde kaynaklı tüferden oluşan birim Pasquare (1968) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). İstif, beyaz, gri renkli, pomza ve cüruf parçaları içeren koyu gri, siyah, seyrek pembe renkli, iyi kaynaklanmış, camsı, alev yapılı, sıkı, sert, masif görünümlü ignimbiritten oluşmuştur.

Birim altındaki Göbü tüfü ve üstündeki Çatakdere tüfü ile uyumlu ilişkili olup 30 cm ile 10 m arasında kalınlık sunar. Bu ignimbiritlerden Innocenti vd., (1975) tarafından yapılan radyometrik yaş tayinlerinden 3.0 ± 0.1 my yaş elde edilmiştir (MTA'dan 1999). Fakat son yapılan yaş tayinlerinde daha üst seviyedeki volkanitlerden Erken Pliyosen yaşı elde edildiğinden erken Pliyosen yaşı uygun görülmüştür.

Namlılarla Volkaniti (pln)

Koçdağ ve yakın çevresinde, masif, iri fenokristalli, gri ve kahve renkli, yer yer levhamsı ayrışmış lav ve piroklastiklerden oluşan kayaçlar, Namlılarla volkaniti adı altında toplanmıştır. Bunlar özellikle Erciyes dağı doğu ve batısında yayılım gösterir. Petrografik çalışmalarda piroksen andezit olarak tanımlanan kayaçlar hipokristalen-porfirik dokulu olup fenokristal olarak pilajiyoklas ve piroksen içerir. Dönmez vd., (2003), Andezitik lavlardan (K35-d4, 23.500-72.240) K/Ar yöntemi ile yaptırılan yaş tayininde 3.3 ± 0.1 my yaşı elde edilmiştir (MTA'dan 1999).

Namlılarla volkanitleri Türkecan vd., (1998) tarafından tanımlanan Koçdağ volkanitlerine karşılık gelir (MTA'dan 1999).

Tekiryayla Tüfü (Tplt)

Tüf ve aglomeralardan oluşan birim Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). Birim beyaz, sarı ve kırmızı renkli, cam matriksli, trakitik dokulu tüf ve aglomeralardan oluşmuştur.

Alt dokanağı gözlenemeyen tüfler üstten Namlılarla volkanitleri ile uyumlu, Endürlük lavları ile uyumsuz ilişkilidir. Tekiryayla tüflerinden elde edilmiş bir yaş verisi yoktur. Stratigrafik konumu itibarıyla erken Pliyosen yaşı uygulanmıştır.

Sarımsaklı Formasyonu (Tpls)

Çakıltası, kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşan birim Türkecan vd., (1998) tarafından adlanmıştır (MTA'dan 1999). İstif, kızılkahve-kahve renkli, orta-kalın katmanlı, az yuvarlak, yer yer köşeli, kötü boylanmalı, kötü tutturulmuş, paralel katmanlanmalı polijenik çakıltası; kızılkahve-kirli beyaz renkli, ince-orta tabakalı, koşut katmanlı, tüf ve kıltaşı ara düzeyli, karbonat çimentolu kumtaşı; kirli beyaz

renkli, ince katmanlı marn ara seviyeli krem-bej renkli, ince-orta katmanlı kireçtaşlardan oluşur.

Formasyon alttan Ürgüp formasyonu ile uyumsuz, üstten İncesu ve/veya Valibaba ignimbiritleriyle uyumlu ilişkilidir. Yaklaşık 50-60 m kalınlıktadır. İnceleme alanında birime yaş verebilecek bir bulgu yoktur. Stratigrafik konumu ve bölgesel denestirme ile Erken Pliyosen yaşı uygulanmıştır.

Sarımsaklı formasyonu; Köprübaşı grubu Türkecan vd., (1998), Köprübaşı formasyonu Erkan vd., (1978) ile denestirilebilir(MTA'dan 1999).

Fotulca Bazaltı (Tmbf)

Egemen kaya türünü siyah, koyu gri renkli, akma yapılı bazaltik bileşimli lavların oluşturduğu volkanitler, Türkecan vd., (1998) tarafından Fotulca bazaltı olarak adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Kayaçlar, porfirik dokulu olup, fenokristal olarak olivin ve piroksen içerir. Hamur subofitik dokuludur. Erkilet kuzeyinde, Erkilet, Emmiler ve Çevril köyleri civarında yayılım gösterir. Topografyada kornişler oluşturur. Birim, Ürgüp formasyonu üzerinde yer alır ve İncesu ignimbiriti tarafından üzerlenir. Volkanizmanın genel stratigrafik konumu dikkate alındığında, Üst Miyosen'de etkin olduğu düşünülmektedir.

Üveztepe Domu (Tmdü)

Saraycı köyü kuzeydoğusunda yer alan, aşınma etkisi diğer domlara göre daha belirgin gri, pembe renkli, ince taneli lavlardan oluşan volkanitler, Dönmez vd., (2003) tarafından Üveztepe domu olarak adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Birim adını volkanizmanın çıkış yeri olan Üvez tepeden almıştır. Çıplak gözle fenokristalleri tanımak oldukça güçtür. İnce kesitlerinde andezit olarak tanımlanmalarına karşın, SiO₂ oranlarının yüksekliğinden dolayı kimyasal analizlerinin kullanıldığı diyagramlarda, dasitik bölgelere düşerler. Porfirik dokuludur. Fenokristal olarak, plajiyoklas piroksen ve amfibol kapsar. Hamur intersertal dokuda olup feldispat mikrolitleri arasında yer yer cam izlenir. Ürgüp formasyonu üzerinde yer alan volkanikleri, İncesu ignimbiriti uyumsuz olarak üzerler. Genel stratigrafik konumu dikkate alındığında volkanizmanın Üst Miyosen'de etkin olduğu düşünülmektedir.

Erkilet Volkanitleri (Tmae)

Erkilet ilçesi kuzeyinde, çok sayıda çıkış merkezli, andezit, bazaltik andezit, piroksen andezit bişimli lav ve piroklastiklerden oluşan volkanitler, Dönmez vd., (2003) tarafından Erkilet volkaniti olarak adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Kayaçlar porfirik dokulu olup plajiyoklas, piroksen ve bazen olivin fenokristalleri içerir. Hamur

intergranüler doku da olup plajiyoklas mikrolitleri arası, granüle piroksen ve granüle opak minerallerce doldurulmuştur. Volkanizma Ürgüp formasyonunu üzerlerken, İncesu ignimbiriti tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Volkanizmanın stratigrafik konumu dikkate alındığında Üst Miyosen'de etkin olduğu düşünülmektedir.

Ürgüp Formasyonu (Tmü)

Ürgüp formasyonu, 1/100.000 ölçekli Kayseri-K34 paftasında geniş bir alanda yüzeylenir. Birim, eş yaşlı volkaniklerle yanal ve düşey yönde giriklik gösterir. Volkanik ara seviyeli, çoğunlukla kırıntılı kayalardan oluşan formasyon, Pasquare (1968) tarafından adlandırılmıştır (MTA'dan 1999). Ürgüp formasyonu, Birgili'nin vd., (1975) Kızılırmak formasyonunun bir bölümüne karşılık gelir, Kızıl-kahve renkli, katmansız veya az belirgin katmanlı, çakıltası, kumlası, çamurtaşı, jips ve anhidrit ile kireçtaşı ve ignimbirit ara düzeylerinden oluşur (MTA'dan 1999). Karasal koşullarda çökelen birimin içerdiği malzeme, üzerinde yer aldığı birime göre değişir. Yamaç moluzu ile temsil edilen kesimleri kırmızı renkli, tane desteksiz çakıltası daha az oranda kumtaşı ve bunların içinde yer aldığı çamurtaşlarından oluşur. Kanal fasiyeslerini oluşturan birimler ise gene kızıl, kahve renkli, çapraz katmanlı, çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı bant ve mercekleri şeklindedir. Göreceli olarak birimin üst kesimlerini oluşturan ve havza ortası gölsel fasiyeslerle temsil edilen kesimler, tutturulmamış kumtaşı, çamurtaşı, jips ve anhidritlerden oluşur. Yer yer kireçtaşı ve ignimbirit bant ve mercekleri içerir. Ürgüp formasyonu, çalışma alanında sırasıyla Sarıca volkanit üyesi, Tahar ignimbirit üyesi, Gördeles ignimbirit üyesi ve Salur çakıltası üyesini kapsar.

Tekgözköprü Volkanitleri (Tmte)

Olivin bazalttan-piroksen andezite kadar değişen bileşimde, gri, siyah, kahve renklerde lav ve piroklastiklerin aralanmasından oluşan ve Kızılırmak vadisi içerisinde yaklaşık doğu-batı yönde yayılım gösteren volkanitler, Tekgözköprü volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Bu volkanizma, Dönmez vd., (2003) tarafından tanımlanan Kızılırmak volkanitleri, Pasquare (1968) tarafından tanımlanan Kuşçu andeziti, Yemliha aglomerası, Tekgözköprü bazaltı ile yine aynı araştırmacı tarafından tanımlanan Topuzdağ bazaltının bir kısmına karşılık gelir (MTA'dan 1999). Dağılım alanı çok geniştir. Kuşçu köyünde yüzeylenen birim, buradan batıya doğru, Kızılırmak vadisi boyunca sırasıyla Hırka köyü, Çokgözköprü, Yemliha kasabası, Tekgözköprü, Küllü köyü ve Yuvalı köyünü katederek Bayramhacılı kasabasına kadar uzanır. Volkanizma çok evreli olup her evrenin lavlarında kimyasal/petrografik bazı

farklılıklar gözlenir. Kayaç porfirik dokulu olup fenokristal olarak başlıca plajiyoklas, piroksen ve zaman zaman da olivin içermektedir.

Dönmez vd. (2003) Tekgözköprü'den alınan (K34-a3, 00.950-89.200) bazalt örneğinden K/Ar yöntemiyle $12.3 \pm 0,3$ my yaş bulmuşlardır. Ancak bölge dışında bu volkanitlerden $14.1 \pm 0,3$ my yaş bulguları da vardır (Dönmez vd., 2003). Bu yaş verilerine göre Tekgözköprü volkanitlerini oluşturan volkanizma Orta Miyosen'de etkin olmuştur. Birim üzerinde Ürgüp formasyonunun kayaçları gözlenmektedir. Dokanak yer yer geçişlidir.





ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Mustafa YAZICI
Doğum Yeri ve Tarihi	Eminönü, 24.08.1984
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	m_yazici@outlook.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Bahçelievler Lisesi, 2002
Lisans	Atatürk Üniversitesi, 2007
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2011

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Görevlisi, 2010

Yayınlar

Degirmenci, M., Yazıcı, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Sozudogru, O., Namkhai, O.B. and Atmaca, E., 2015. Hydrogeological Properties Of The Drinking Water Aquifers In Kayseri City, International Refereed Journal of Engineering And Sciences, Doi: 10.17364/IIB.2015412622.

Yazıcı, M., Degirmenci, M., Sozudogru, O., Ekmekci, M., Atmaca, E., Tezcan, L. And Namkhai, O.B., 2015. Groundwater of Kayseri Evaluation in Term of Arsenic Contamination, Karaelmas Science and Engineering Journal 5(1), 16-25.

Kongreler ve Bildiriler

Degirmenci, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Atmaca, E., Altın, A., Namkhai, O.B., M., Yazıcı And Batukan, E. 2011. Planning Of Water Supply İnfrastructure On The Basis Of Sustainable Water Resources Management İn Kayseri Metropolitan City, Central Turkey: A Plan For The Year 2050, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, EGU2011-2903-2.

Degirmenci, M., Ekmekci, M., Tezcan, L., Atmaca, E., Yazıcı, M., Namkhai, O., And Sozudogru, O., 2013. Hydrogeological Characterization And Pollution Risk Of The Aquifers Utilised For Water Suply For Kayseri Metropolitan City, Central Turkey. Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu.

Ekmekci, M., Degirmenci, M., Namkhai, O., Tezcan, L., Yazıcı, M. And Atmaca, E., 2013. Occurences of PAH and Arsenic in Kayseri City Groundwater System: A Hydrogeological and Paleogeographical Assessment, 2.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, Antalya.

Pehlivan, E and Yazıcı, M., 2014. Katı Atıklar Konusunda Ülkemizde Yapılan Akademik Düzeyde Çalışmalar Ve Katı Atık Sorununa Çözüm Önerileri. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, UKAY2014, Van.

Pehlivan. E., Yazıcı, M. And Güner, G., 2014. Endüstriyel Katı Atıklar ve Geri Kazanım, 2ND International Symposium On Environment And Morality, Adıyaman.

Yazıcı, M., Degirmenci, M. And Sozudogru, O., 2014. Yeraltısuyu Kirliliği Çalışmalarında Drastic Yönteminin Kullanımı, 2ND International Symposium On Environment And Morality, Adıyaman.

Yazıcı, M. And Degirmenci, M., 2014. Yeraltısularında Arsenik Problemi. Ekoloji 2014 Sempozyumu, Gazimagusa.

Projeler

Kayseri Kent İçme Suyu Akiferlerinin Özellikleri, Kirlenme Riskleri Ve Havza Koruma Alanlarının Belirlenmesi, TUBİTAK, Proje No: 107Y170, 2011.