ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEVELİ-YEŞİLHİSAR HAVZASI (KAYSERİ) KUZEY BÖLÜMÜ YERALTISUYU ARSENİK KİRLİLİĞİNİN HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Çiğdem YÜCEL

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Çiğdem YÜCEL tarafından hazırlanan **"Develi-Yeşilhisar Havzası (Kayseri) Kuzey Bölümü Yeraltısuları Arsenik Kirliliğinin Hidrojeokimyasal İncelenmesi"** adlı tez çalışması 07/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Ankara Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Zehra KARAKAŞ

Ankara Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki Sonucu Onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

07.06.2018



Çiğdem YÜCEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEVELİ-YEŞİLHİSAR HAVZASI (KAYSERİ) KUZEY BÖLÜMÜ YERALTISUYU ARSENİK KİRLİLİĞİNİN HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Çiğdem YÜCEL

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Develi Kapalı Havzası kuzey kesimindeki yeraltısularında tespit edilen arseniğin kökeninin belirlenmesi bu tez çalışmasının ana amacıdır. Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde, Kızılırmak Havzası'nda Kayseri iline bağlı Develi ve Yeşilhisar ilçelerine ait alanda yer almaktadır. Çalışma alanında Miyosen-Kuvaterner aralığında jeolojik birimler yer almaktadır. Miyosen yaşlı birimler bazalt, tüf, ignimbirit ve aglomera olup, çalışma sahasının temelini oluşturmaktadır. Pliyosen'de Erciyes volkanizmasına ait değişen kalınlıkta hızlı soğuma ürünleri olan andezit ve bazaltlar temeldeki kayaçları örtmektedir. Yamaç kesimlerinde volkanik ve piroklastik kayaç parçalarından oluşan yamaç molozları yer almaktadır. Tez sahasının düzlük alanlarında Kuvaterner yaşlı alüvyon yer almaktadır. Çalışma alanı batısında Miyosen yaşlı karasal çakıl-kum-çamurtaşı birimler volkanik birimler ve alüvyon ile yanal geçişli olarak yer almaktadır. Çalışma sahasındaki yeraltısularındaki arseniğin kökenini belirlemek amacıyla; 15 adet su, 10 adet kayaç ve 13 adet topraktan numuneler alınmıştır. Arazide ve laboratuvarda yapılan ölçümlerin, analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Yeraltısuyu numunelerinde arseğin türü +5 değerlikli olup, toksik değildir. Su numunelerindeki arseniğin türleri $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^-$, $HAsO_2$'tir. Yapılan su, kayaç ve toprak analizleri yeraltısularındaki yüksek arsenik değerinin jeojenik olduğunu göstermiştir.

Haziran 2018, 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Develi Kapalı Havzası, yeraltısuyu, arsenik, hidrojeokimya, istatistiksel yöntemler, jeojenik kirlenme

ABSTRACT

Master Thesis

DEVELİ-YEŞiLHiSAR BASIN (KAYSERİ) NORTHERN DEPARTMENT GROUNDWATER HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF ARSENIC POLLUTION

Çiğdem YÜCEL

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Determination of the origin of the arsenic found in the groundwaters of the northern part of the Develi Closed Basin is the main aim of this thesis work. The study area is located in the Central Anatolian Region and in the Kızılırmak Basin, the area belonging to the provinces of Develi and Yeşilhisar in the province of Kayseri. Geological units are located in Miocene-Quaternary area in the study area. The Miocene aged units are basalt, tuff, ignimbrite and aglomera and form the basis of the study area. In the Pliocene, the rapid cooling products of Erciyes volcanism vary in thickness and andesites and basalts cover the rocks. The slope cuts include slope rubble composed of volcanic and pyroclastic rock fragments. Quaternary alluvium is present in the flat areas of the thesis field. To the west of the study area, Miocene aged terrestrial pebble-sand-mudstone units are located with volcanic units and alluvial lateral passegas. In order to determine the origin of the arsenic in the groundwaters of the study area; 15 pieces of water, 10 pieces of rock and 13 pieces of soil samples were taken. The results of the measurements made in the field and in the laboratory were evaluated. In groundwater samples, arsenic is +5-valent and not toxic. The species of arsenic in the water samples are $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^{-}$, $HAsO_2$. Water, rock and soil analyzes showed that the high arsenic value in groundwater is geogenic.

June 2018, 86 pages

Key Words: Develi Closed Basin, groundwater, arsenic, statistical methods, hydrogeochemistry, geogenic pollution

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve tecrübeleriyle akademik desteğinden dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Öğretim Görevlisi Dr. Şebnem ARSLAN'a (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı),

Teze yaptıkları katkılardan dolayı Prof. Dr. Nail ÜNSAL (Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü) ve Doç. Dr. Zehra KARAKAŞ'a (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı),

Tez konusu seçiminde destekleri için DSİ 12.Bölge Müdürlüğü'ndeki mesai arkadaşlarım Nurhan Öztürk'e ve Mehmet KAHRAMAN'a,

Dokuz Eylül Üniversitesi'nden Doç. Dr. Melis SOMAY'a,

Manevi desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

Çiğdem YÜCEL
Ankara, Haziran 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
KISALTMALAR ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı **2**
1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri **3**
1.3 Konum ve Ulaşım **4**
1.4 Topografya ve Morfoloji **5**
1.5 Yerleşim **5**
1.6 İklim ve Bitki Örtüsü **5**
1.7 Tez Sahası ve Civarında Yapılmış Önceki Çalışmalar **10**
1.8 Arsenik Üzerine Yürütülmüş Önceki Çalışmalar **12**
2. ARAZİ, LABORATUVAR ve BÜRO ÇALIŞMALARI **17**
2.1 Arazi Çalışmaları **17**
2.2 Laboratuvar Çalışmaları **20**
2.2.1 Su analizleri **21**
2.2.2 Kayaç analizleri **22**
2.2.3Toprak analizleri **23**
2.3 Büro Çalışmaları **27**
3. İNCELEME ALANININ JEOLOJİ ve HİDROJEOLOJİSİ **28**
3.1 Jeoloji **28**
3.1.1 Miyosen **29**
3.1.2 Pliyosen **30**
3.1.3 Kuvaterner **31**
3.2 Çalışma Sahası Hidrojeolojisi **35**
3.3 Yapısal Jeoloji **37**
3.4 Jeofizik Çalışmalar **38**

3.5 Hidroloji 41
4. SU, TOPRAK ve KAYAÇLARDA ARSENİK ÇALIŞMALARI 46
4.1 Arseniğin Kimyası ve Mineralojisi 46
4.2 Yeraltısularında Arsenik 50
4.3 İnceleme Alanında Yeraltısularında Arsenik 50
4.4 Arseniğin İz Elementlerle İlişkisi 57
4.5 Kayaç ve Toprakta Arsenik Çalışmaları 61
5. HİDROKİMYASAL ÇALIŞMALAR 67
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 75
EKLER 79
EK 1 Çalışma Sahası Jeoloji Haritasi ve Kesitler 80
EK 2 Yağışlı Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme 81
EK 3 Kurak Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme 82
EK 4 Su Kimyasi Analiz Sonuçları 83
EK 5 Kayaç ve Toprak Analiz Sonuçlari 84
ÖZGEÇMİŞ 85

KISALTMALAR

As	Arsenik
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel iletkenlik
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
IGEO	Jeolojik Kümeleme İndeksi (Geoaccumulation Index)
ITASHY	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
R	Kayaç numune örneği
S	Toprak numune örneği
W	Kuyu numune örneği
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma Alanı ve Civarının Yer Bulduru Haritaları 4
Şekil 1.2 Çalışma sahası ve çevresindeki Meteoroloji yağış istasyonları 8
Şekil 1.3 Develi Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerine göre eklenik yağış grafiği 9
Şekil 2.1 Arazide pH, EC, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümleri 18
Şekil 2.2 Arsenik kiti 1 ve 2 numaralı karışımlar, numune kabı 18
Şekil 2.3 Pratik arsenik kiti arsenik oranları abağı 18
Şekil 2.4 Pratik arsenik kiti ve sahadaki arsenik oranlarına göre elde edilen değerler 19
Şekil 2.5 Kayaç numune alım noktası (R2) 22
Şekil 2.6 Kayaç numunelerinin öğütülerek analize hazır hale getirilmesi 23
Şekil 2.7 Toprak örnekleme yeri (S5), W3 numaralı kuyu ve dolayı 24
Şekil 2.8 Toprak numunelerinin öğütülerek analize hazır hale getirilmesi 24
Şekil 2.9 Deneyde kullanılan ultra saf su cihazı 25
Şekil 2.10 Toprak numuneleri üzerine ultra saf su eklenmesi ve ilk ölçüm yapılması 25
Şekil 2.11 Numunelerin Elektiriksel iletkenlik (EC) değerinin ölçümü 26
Şekil 3.1 Şeyhşaban'da yüzlek veren jeolojik birim a masif andezitler, b. bozunmuş andezitler 31
Şekil 3.2 Kızık Köyü üst kotlarından tüflerin görüntüsü 32
Şekil 3.3 Çayırözü mevkiinde Endürlük lavları görüntüsü 32
Şekil 3.4 Çalışma alanı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti 34
Şekil 3.5 Çalışma sahasındaki kuyu log bilgileri 36
Şekil 3.6 Çalışma Sahası Hidrojeoloji Haritası 37
Şekil 3.7 Develi Kapalı Havzası jeofizik hat ve DES ölçüm noktaları 39
Şekil 3.8 Develi Kapalı Havzasında göl, baraj ve nehirlerin konumu 41
Şekil 3.9 Develi ilçesi Soysallı kaynağı boşalım alanı 43
Şekil 3.10 Develi ilçesi Çayırözü kaynağı boşalım alanı 43
Şekil 3.11 Develi ilçe merkezi Elbiz kaynağı boşalım alanı 44
Şekil 3.12 Kızıkahmet kaynağı boşalım noktası 45
Şekil 3.13 Şeyhşabanlı kaynağı boşalım noktası 45
Şekil 4.1 Doğada arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan, 2006) 47
Şekil 4.2 Yeraltısuyu arsenik değerlerinin mevsimlik durumları 53

Şekil 4.3 Kaynak numuneleri analiz sonuçları 54
Şekil 4.4 Şeyhşabanlı kaynak ve kuyuları beslenme alanındaki volkanik kayaçlar 54
Şekil 4.5 Soysallı kaynağı beslenim alanındaki bazaltlar 55
Şekil 4.6 Sudaki arseniğin redoks Eh-pH diyagramı 56
Şekil 4.7 Yağışlı Dönem su kimyası analiz sonuçları R-mod, elementler arası ilişki 59
Şekil 4.8 Kurak Dönem su kimyası analiz sonuçları R-Mod, elementler arası ilişki 59
Şekil 4.9 Yağışlı Dönem Q-Mod, Numuneler arası kökensel ilişki 60
Şekil 4.10 Kurak Dönem Q-Mod, Numuneler arası kökensel ilişki 60
Şekil 4.11 Numunelerdeki metallerin birbiri ile ilişkisini gösteren dendogram 61
Şekil 4.12 Kayaç numunelerindeki metallerin ilişkisini gösteren dendogram 62
Şekil 4.13 Topraktaki kirliliğin belirlenmesi için yapılan kutu analiz 65
Şekil 4.14 Kayaçtaki kirliliğin belirlenmesi için yapılan kutu analiz 66
Şekil 5.1 Kurak dönem (Ekim 2013) sularının Schoeller diyagramı 68
Şekil 5.2 Kurak dönem (Ekim 2013) sularının Piper diyagramı 68
Şekil 5.3 Yağışlı dönem sularının Schoeller diyagramı 69
Şekil 5.4 Yağışlı dönem sularının Piper diyagramı 69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Develi Yağış İstasyonu değerleri 6
Çizelge 2.1 Çalışma sahası kaynaklardan alınan örneklerin laboratuvar ve arsenik kit değerleri karşılaştırılması 19
Çizelge 2.2 Çalışma sahası kuyulardan alınan örneklerin laboratuvar ve arsenik kit değerleri karşılaştırılması 20
Çizelge 2.3 DSİ tarafından yapılan su kimyası analizleri ve deney metodları 21
Çizelge 4.1 Farklı ortamlardaki arsenik derişimleri 48
Çizelge 4.2 Arsenik türü ve bulunduğu ortamlar 49
Çizelge 4.3 Hidrojeolojik etüt çalışması kapsamında alınan numunelerdeki arsenik değerleri (Öztürk 2011) 51
Çizelge 4.4 Çalışma sahası su kimyası analiz sonuçları 52
Çizelge 4.5 Arazide ölçülen Eh ve pH değerler 56
Çizelge 4.5 HPI değerlendirme sonuçları 58
Çizelge 4.6 Jeoakümülasyon değer, sınıf ve durum tablosu 63
Çizelge 4.7 Toprak analiz sonuçlarında Igeo değeri… 63
Çizelge 4.8 Zenginleşme faktörü değerine göre değerlendirme 64
Çizelge 4.9 Toprak analiz sonuçlarında Zenginleşme (EF) değerleri 65
Çizelge 5.1 Kurak ve Yağışlı dönem su tipleri 70

1. GİRİŞ

Türkiye'de içme ve kullanma suyu temininde yeraltısuları yüzey sularına oranla önemli bir yüzdeye sahiptir. Ancak artan nüfus, sanayileşme ve plansız kullanımlar nedeniyle yeraltısu kaynakları kirlenme ve benzeri olumsuzluklar açısından büyük risk altındadır. Yeraltısuyu işletmeciliği yapılan bölgelerde, akiferin mevcut kirlilik durumunun jeolojik ve/veya insan kaynaklı antropojenik olduğu belirlenerek, kirlilik açısından hassas bölgeler ortaya konularak, alınacak önlemlerle ileriye yönelik sağlıklı planlamaların yapılması gerekmektedir. Çeşitli nedenlerle kullanılamaz duruma gelmiş, kirlenmiş bir yeraltısuyunun yeniden eski durumuna getirilmesi, temizlenmesi teknik ve mali açıdan çok zordur. Öte yandan kirlenmeye başlamış bir yeraltısuyunun kirliliği akım hızının çok düşük olması nedeniyle, çok geç fark edilebilmekte ve dolayısıyla da içme suyu sağlanması açısından bu ucuz ve en önemli su kaynağı tamamen elden çıkmış olabilmektedir (Yazıcı 2012).

Yeraltısuyunda kirliliğin kökeninin tespit edilmesi, kirliliğin önlenmesi ve giderimi konusunda altyapı oluşturacak çalışmalar için önemlidir. Bu nedenle, kirlilik köken belirleme çalışmaları detaylı olarak yapılmalı, yağışlı ve kurak dönemlerde değişimleri izlenmeli, yeraltısuyunun kalitesini değiştiren doğal ya da antropojenik kirleticiler belirlenip takip edilmelidir.

Çalışma sahasının içerisinde yer aldığı, Develi kapalı havzasında Türkiye'nin en önemli kuş cennetlerinden Sultansazlığı Sulak Alanı yer almaktadır. Uluslararası Ramsar Sözleşmesi ile koruma altındaki alanda birçok çalışma yapılmıştır. Sultansazlığı, İç Anadolu step ekosistemi içerisinde kapalı bir havzada yer alan hem ulusal hem de uluslararası öneme sahiptir. Sultansazlığı'ndaki sulak alan ekosisteminin nadir olarak bir arada bulunan tatlı ve tuzlu su ekosistemini bünyesinde barındırması ise bu alanın ekolojik önemini daha da artırmaktadır. Tatlı ve tuzlu su ekosisteminin etrafında ise tuzcul çayır, sazlıklar ve meralar hakimdir.

1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma kapsamında doğal kirlilik sebeplerinden biri olan jeojenik kirlenme incelenmiştir. 2013-2014 yılları arasında Kayseri ili Develi-Yeşilhisar Kapalı Havzası kuzey kesiminden alınan yeraltısuyu numuneleri analiz sonuçları incelenerek arsenik ve iz elementlerin zenginleşmesi değerlendirilmiştir.

Çalışma sahası, Kızılırmak Havzası'nın Develi Kapalı Havzası'nın kuzey kesiminde yer almaktadır. Develi Kapalı Havzası'nda 2011 yılında tamamlanmış olan DSİ Planlama Kademesi Hidrojeolojik Etüt çalışmaları kapsamında yeraltısularından yapılan örneklemelerde özellikle bazı iz elementler ve arsenik değerlerinin standartların üzerinde olduğu tespit edilmiş, ancak bu durumun nedenini belirlemek amacıyla herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında yeraltısularındaki iz elementlerin kaynağını belirlemek için, öncelikle sahada açılan kuyuların log bilgileri incelenerek akifer birimler tespit edilmiştir. Arazide birimlerin birbiriyle dokanak ilişkisi ve tektonik yapı incelenmiştir. Daha sonra yeraltısuyu numuneleri, yeraltısuyu sistemini besleyen akifer kayaçlar ve saha içerisindeki tarımsal alanlardan toprak numuneleri alınmıştır. Analiz verileri istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir.

Sahadaki yeraltısuyunun hareketini ve akım yönünü belirlemek amacıyla sondaj kuyularından mevsimsel seviye ölçümleri yapılmıştır. Yeraltısuyu örneklemesi su yılı esasına bağlı olarak kurak ve yağış dönemde yapılmıştır. Numuneler alınırken kuyular en az 3 kuyu hacimi kadar boşaltılmış, ayrıca yerinde fiziko-kimyasal parametreler ve arsenik türünü belirlemede ihtiyaç duyulan Eh ölçümleri yaptırılmıştır. Alınan her numune temiz numune kaplarında ışığa maruz kalmadan laboratuvara teslim edilerek analizleri yapılmıştır. Arsenik varlığını arazide kısa sürede belirlemeyi sağlayan pratik arazi kiti de kullanılmıştır.

Yeraltısuyu numunelerinin yanı sıra tez sahasındaki litolojik birimlerden ve sahadaki yeraltısuyunun kullanıldığı tarımsal arazilerden toprak numuneleri de alınmıştır. Tez sahasındaki litolojik birimlerin bozunma yüzeyleri incelenmiştir. Örneklemelerde

litolojik birimlerin taze yüzeylerinden, toprak numunelerinde ise 15-20 cm derinliğinde açılan çukurlardan, sahada ürünün ekili olmadığı dönemde örnekleme yapılmıştır. Kayaç ve toprak numuneleri laboratuvar ortamında öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Numunelere, Kanada ACME Laboratuvarında ICP-MS ile AQ300 deneyi yaptırılmıştır.

Çalışma sahası ve etrafında ağır kirletici unsur bulunmaması nedeniyle suların dışında, kayaç ve toprak numuneleri alınarak arseniğin kökenini belirlemek amacıyla örnekler alınmıştır. Yapılan tüm analizlerin yorumlanmasında klasik yöntemler (Schoeller ve Piper diyagramları) ve istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Numunelerin birbirleriyle ilişkisi, elementlerin birbiriyle ilişkisi ayrı ayrı yorumlanmıştır. Arsenik ve iz elementlerin türleri, su ve kayaçta bulunma yoğunlukları, elementlerin kökeni belirlenmiştir. Çalışma sahasındaki arseniğin Erciyes Volkanizması'nın genç hızlı soğuma ürünü olan volkanik kayaçlardan ayrışması ile toprak ve yeraltısuyunda zenginleştiği tespit edilmiştir.

1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

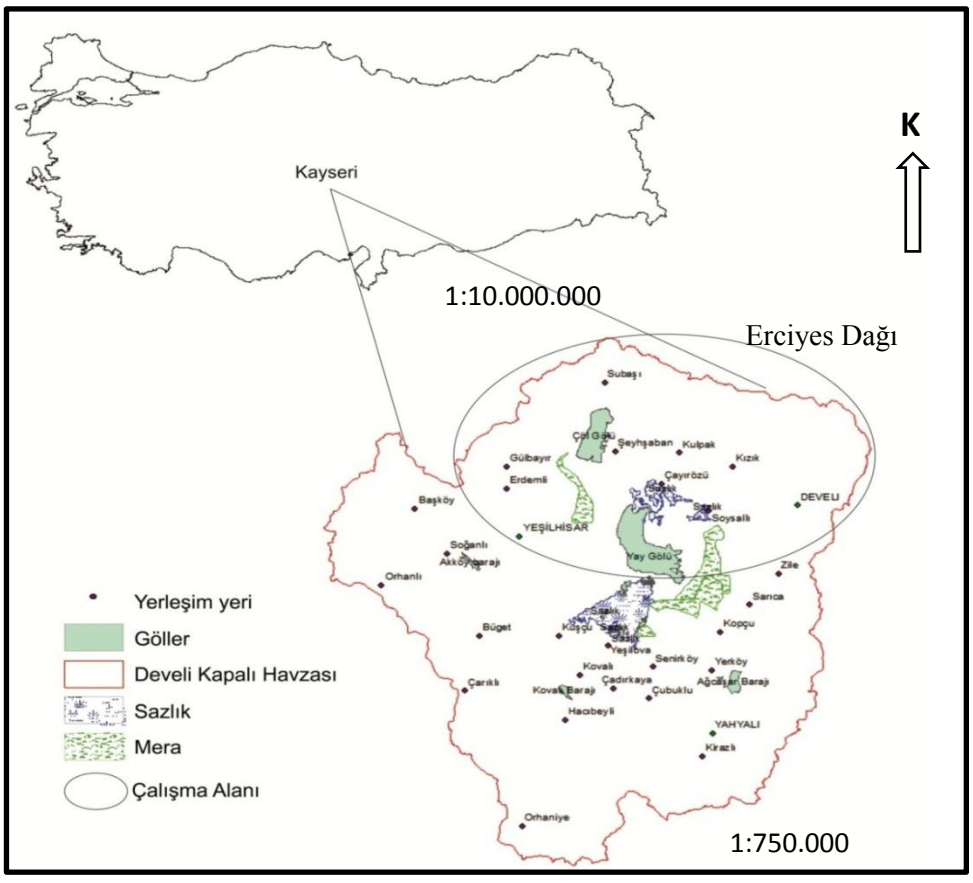
Develi Kapalı Havzası kuzeyinde yer alan tez sahasında bulunan birimlerin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini, yeraltısularındaki hidrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla öncelikle büro çalışmaları yapılmış, bölgede önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalar derlenmiş ve incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında; literatür taraması, İller Bankası ve Kayseri Su ve Kanalizasyon İşleri ile görüşmeler yapılarak bilgi toplanmıştır. Havza içerisinde endüstri, maden işletmeleri gibi kirletici unsur bulunmayışı, Erciyes volkanizmasının genç ve bozunma ürünlerinin saha civarında yaygın yüzlek vermesi nedeniyle kirletici kaynağın litolojik olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, kayaç ve toprakların arsenik içeriğini belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Sahadaki jeolojik birimlerden ve tarımsal sahalardan toprak numuneleri alınmıştır.

Büro çalışmalarının tamamlanmasıyla saha çalışmaları yapılmıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan jeoloji haritalarından yararlanılarak sahada jeoloji haritaları güncellenmiştir. Arazide formasyonların sınırları kontrol edilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında kaynaklardan ve yeraltısularından kurak (Ekim 2013) ve yağışlı dönemi (Mart 2014) örnekleme, yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır.

1.3 Konum ve Ulaşım

Tez sahası Kayseri il sınırları içerisinde, Erciyes Dağı'nın güneybatısında, Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından Develi Kapalı Alt Havzası'nın kuzey kesiminde, havza membasında yer almaktadır. Çalışma alanı içerisinde Sultansazlığı Milli Parkı'nın büyük bir kısmı, sazlıklar ve Çöl Gölü yer almaktadır. Kayseri iline bağlı İncesu, Develi ve Yeşilhisar ilçelerine ait mahalleler yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma Alanı ve Civarının Yer Bulduru Haritaları

Çalışma alanı yaklaşık 760 km^2 olup; L34 a1, L34 a2, L34 b1, L34 b2, K34 c3, K34 c4, K34 d3, K34 d4 paftaları içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanı içerisinde İç Anadolu'nun en yüksek volkanik dağı olan Erciyes Dağı yer almaktadır (Şekil 1.1). Saha yakınında 1994 yılında Uluslararası Ramsar Sözleşmesi ile koruma altına alınan, göçmen kuşlar için önemli olan Sultansazlığı Sulak Alanı bulunmaktadır. Sahaya ulaşım kara yoluyla her mevsim mümkündür.

1.4 Topografya ve Morfoloji

İnceleme alanı, tektonik yapı ve volkanizma kontrolü ile oluşan Develi Kapalı Havzasında bulunmaktadır. Kızılırmak Havzası'nın bir alt havzası olan, Develi Kapalı Havzası'nda baskın morfolojiyi ovalar oluşturmaktadır. Develi Kapalı Havzası'nın ova kısmı 800 km^2 alana sahip Develi Ovası bulunmaktadır. Ova içerisinde Sultansazlığı sulak alanını oluşturan Çöl, Söbe ve Yay Gölleri yer almaktadır. Ova ve göllerin etrafı ise dağlar ile çevrilidir. Develi Kapalı Havzası'nın alanı 3190 km^2'dir. Develi Kapalı Havzası'nın kuzey kesiminde yer alan çalışma sahası ise 760 km^2 alana sahiptir. Çalışma alanı içerisinde kuzey kesiminde 3891 m yükseklikteki, İç Anadolu Bölgesi'nin en yüksek volkanik dağı olan Erciyes Dağının güney etekleri yer almaktadır. Havzanın en düşük yükseltisi, Sultansazlığı'ndaki Çöl Gölü olup, kotu 1071 m'dir.

1.5 Yerleşim

Çalışma alanında Kayseri ilinin en büyük 2 ilçesi olan Develi ve Yeşilhisar'a ait mahalleler yer almaktadır. Subaşı, Develi, Çayırözü, Soysallı, Gülbayır, Erdemli, Şeyhşaban, Kulpak, Kısık çalışma alanı içerisinde bulunan mahallelerdir (Şekil 1.1).

1.6 İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı içerisinde tipik karasal iklim etkisi görülmektedir. Develi-Yeşilhisar Alt Havzasında yazlar sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı olan tipik kara iklimi hüküm sürmektedir. Gündüz ile gece ve yaz ile kış ayları arasında aşırı sıcaklık farkı bulunan

havzada en yüksek sıcaklıklar Temmuz ve Ağustos aylarında, 34 °C-36 °C arasında ve en düşük sıcaklıklar ise Ocak ve Şubat aylarında, -15 °C ile -18 °C arasındadır. Sıcaklık değişiminin fazla olması, doğal bitki örtüsünün zayıf olduğu kesimlerde mekanik ayrışmayı hızlandırır.

Şekil 1.2'de görülen Çöl Gölü, Sultansazlığı'nın en kuzeyindedir. Tuzlu (80 mg/l) ve sığ göl olup, yılın büyük kısmı kurudur. Çöl Gölü'nün alt kesiminde yer alan Yay Gölü yarı tuzlu (12 mg/l), derinliği 40-100 cm arasında değişmektedir. Yay Gölü ve etrafındaki sazlıklar Soysallı ve Çayırözü kaynakları tarafından beslenmektedir.

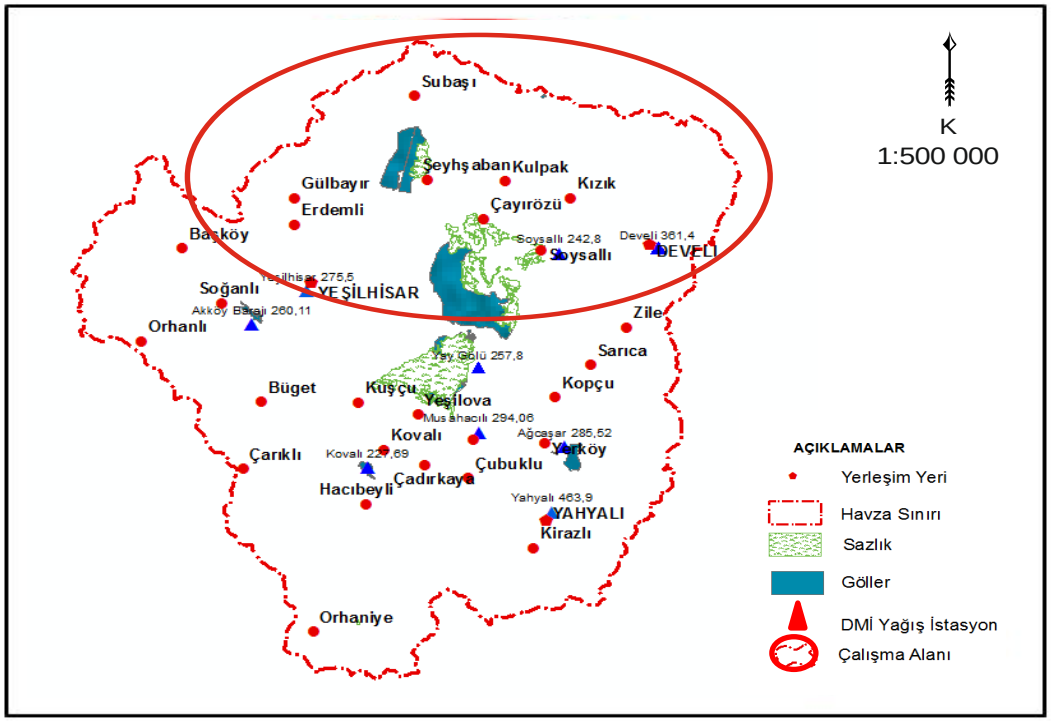
Çizelge 1.1 Develi Yağış İstasyonu yağış değerleri

İSTASYON İSMİ			**DEVELİ**					**İŞLT. İDARE**			**DMİ**	**RAKIM**	**1180**
İSTASYON NO			**17836**					**BÖLGE**			**İÇ ANADOLU**		
İL VE İLÇESİ			**KAYSERİ**					**ENLM-BYLAM**			**38° 23' - 35° 30'**		
RASAT TÜRÜ			**AYLIK TOPLAM YAĞIŞ (mm)**										
YIL	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**YILLIK**
1951	37.8	23.0	32.4	28.7	64.6	39.7	3.6	8.1	8.3	62.5	61.8	23.1	393.6
1952	24.6	51.5	60.9	34.0	27.3	24.8	0.8	0.0	0.4	2.0	29.6	18.5	274.4
1953	18.9	65.0	41.4	20.4	51.5	29.7	0.0	1.9	14.2	2.5	76.0	22.6	344.1
1954	64.2	59.7	44.7	53.0	43.7	28.2	5.7	11.5	6.7	5.1	16.3	83.3	422.1
1955	13.0	19.5	43.0	36.0	26.2	0.0	2.6	2.4	18.7	12.1	29.1	44.9	247.5
1956	33.1	110.9	63.7	9.4	42.7	4.3	0.0	6.7	2.2	5.9	11.6	44.7	335.2
1957	37.7	55.2	18.7	33.5	109.9	70.4	5.6	0.0	15.4	36.1	26.1	44.0	452.6
1958	42.4	31.2	62.5	53.0	71.5	59.0	0.5	2.7	3.2	9.7	1.4	80.2	417.3
1959	116.9	52.0	40.5	51.0	44.6	32.6	8.0	3.9	15.5	20.0	21.8	14.5	421.3
1960	48.6	39.1	49.9	120.6	19.4	14.6	2.7	0.6	11.2	3.4	38.8	18.9	367.8
1961	35.7	24.1	30.5	44.2	23.5	21.1	5.6	0.0	25.8	5.8	25.4	95.6	337.3
1962	9.7	63.5	31.8	52.9	55.1	22.8	4.1	3.6	9.5	25.4	33.3	44.5	356.3
1963	40.0	40.8	66.8	53.5	67.4	41.9	0.0	0.0	38.0	9.5	33.3	32.3	423.5
1964	13.7	36.5	105.9	2.2	69.9	27.5	0.0	0.0	20.2	0.0	36.7	36.5	349.1
1965	8.6	54.3	50.8	67.7	30.4	7.4	3.5	0.0	6.7	42.2	55.6	68.9	396.1
1966	95.7	4.3	27.6	45.6	36.3	6.5	1.0	4.6	5.2	3.5	21.8	106.8	358.9
1967	86.6	41.4	50.0	24.3	36.5	15.9	0.0	0.0	14.9	45.5	45.7	43.5	404.3
1968	64.7	42.3	55.8	7.8	54.5	37.5	0.2	4.5	17.5	46.9	47.7	52.9	432.3
1969	29.9	101.8	42.5	59.0	64.0	12.6	12.2	0.1	0.3	7.0	33.5	60.2	423.1
1970	23.4	38.9	22.5	19.4	43.5	10.6	3.9	24.5	4.2	36.1	20.3	24.1	271.4
1971	14.2	17.6	43.9	73.7	33.4	13.4	0.4	15.7	0.6	17.9	40.0	53.1	323.9
1972	20.8	37.1	11.2	57.6	50.5	70.7	3.6	1.6	24.5	19.4	7.0	9.9	313.9
1973	22.0	30.8	27.2	67.5	40.0	30.4	0.6	0.0	3.8	6.6	26.2	37.1	292.2
1974	26.2	16.6	46.5	81.4	26.0	11.4	0.0	4.0	7.9	34.1	13.1	41.5	308.7
1975	39.2	33.5	31.1	159.6	22.6	30.9	0.1	0.7	0.0	3.2	26.5	79.0	426.4
1976	35.2	31.4	17.6	56.1	56.1	27.8	1.1	9.1	10.4	52.0	23.3	28.9	349.0

Çizelge 1.1 Develi Yağış İstasyonu yağış değerleri (devam)

1977	45.4	21.8	74.7	106.4	44.2	18.2	6.5	0.0	9.5	26.8	5.6	41.2	400.3
1978	82.4	39.4	42.3	62.6	31.1	4.3	0.0	0.1	27.0	45.6	0.0	33.9	368.7
1979	68.7	35.1	28.5	62.7	39.6	35.7	4.4	0.0	0.8	14.2	41.8	44.2	375.7
1980	71.8	52.4	101.9	45.5	54.1	6.4	1.1	0.0	9.3	10.5	35.0	30.0	418.0
1981	28.8	45.0	55.7	31.9	97.6	30.3	42.5	0.0	11.8	29.3	20.6	64.8	458.3
1982	26.6	23.1	47.4	57.9	54.6	11.4	4.6	6.0	10.3	17.4	16.1	35.8	311.2
1983	78.0	49.7	42.7	75.1	33.2	9.1	6.4	4.1	4.2	26.6	87.3	35.3	451.7
1984	67.3	23.1	22.2	57.0	18.5	14.5	0.1	1.8	0.0	3.0	14.0	34.9	256.4
1985	19.4	48.3	56.7	33.1	28.9	10.0	0.0	5.5	0.0	77.4	39.8	40.2	359.3
1986	24.1	47.5	14.7	9.7	79.4	27.7	0.0	0.0	28.3	4.1	45.0	31.1	311.6
1987	48.8	18.8	88.2	44.8	30.4	23.2	19.7	0.0	0.0	72.6	66.8	81.4	494.7
1988	14.1	37.8	48.4	35.3	73.6	33.8	6.2	0.2	1.8	67.2	63.1	27.8	409.3
1989	4.3	4.3	17.5	3.7	35.3	11.3	0.1	0.3	4.7	28.7	65.7	34.2	210.1
1990	27.4	29.4	11.4	59.5	57.0	29.4	5.1	1.5	14.2	14.9	10.9	37.8	298.5
1991	18.1	39.6	13.3	67.9	76.4	11.0	1.8	0.0	1.4	51.9	43.0	98.5	422.9
1992	15.7	46.7	26.7	9.0	66.4	41.1	2.0	5.0	2.3	18.5	79.2	48.1	360.7
1993	19.1	24.4	46.7	30.4	71.0	42.1	0.0	0.3	6.4	7.9	25.6	47.9	321.8
1994	52.1	39.1	17.4	16.6	18.3	1.9	0.0	2.6	5.3	22.3	39.6	56.4	271.6
1995	23.3	4.0	62.1	69.8	34.8	28.1	5.7	11.2	2.8	19.4	59.3	9.2	329.7
1996	8.0	42.0	93.9	64.1	46.9	3.2	0.0	3.0	4.7	41.7	1.2	63.5	372.2
1997	21.6	25.7	27.4	41.3	36.1	24.4	0.5	13.4	20.2	49.9	2.2	67.8	330.5
1998	53.5	78.5	50.6	60.4	127.8	28.0	0.2	0.0	1.7	35.1	6.0	78.4	520.2
1999	10.5	49.8	99.2	110.4	17.3	19.8	7.1	1.2	5.7	17.1	7.7	16.5	362.3
2000	83.4	94.2	35.7	63.4	65.2	8.2	0.0	7.3	5.8	27.3	1.0	22.7	414.2
2001	4.2	53.5	18.9	43.3	88.6	2.7	0.0	1.0	4.5	9.8	57.5	44.6	328.6
2002	71.8	28.5	30.5	72.3	32.6	24.7	5.3	7.0	28.2	18.3	32.0	38.0	389.2
2003	38.3	78.0	34.4	61.6	46.0	22.6	0.3	0.0	1.4	31.2	44.0	33.7	391.5
2004	74.3	30.1	51.8	60.0	15.0	51.2	14.7	2.1	0.0	7.7	44.9	23.7	375.5
2005	51.8	43.4	67.9	50.4	51.8	18.1	1.2	2.0	3.2	32.2	28.9	24.5	375.4
2006	39.2	21.6	40.0	50.9	30.8	5.9	17.2	16.4	22.2	66.5	13.8	6.8	331.3
2007	37.2	26.9	59.5	51.5	20.3	26.2	0.0	19.5	0.0	20.1	109.8	48.0	419.0
2008	29.7	28.3	29.2	26.6	55.4	19.4	0	1.6	49.2	19.2	38.8	39.9	337.3
ORT	**39.81**	**40.58**	**44.29**	**50.23**	**46.51**	**22.76**	**4.03**	**3.55**	**10.16**	**25.34**	**33.41**	**44.43**	**365.09**

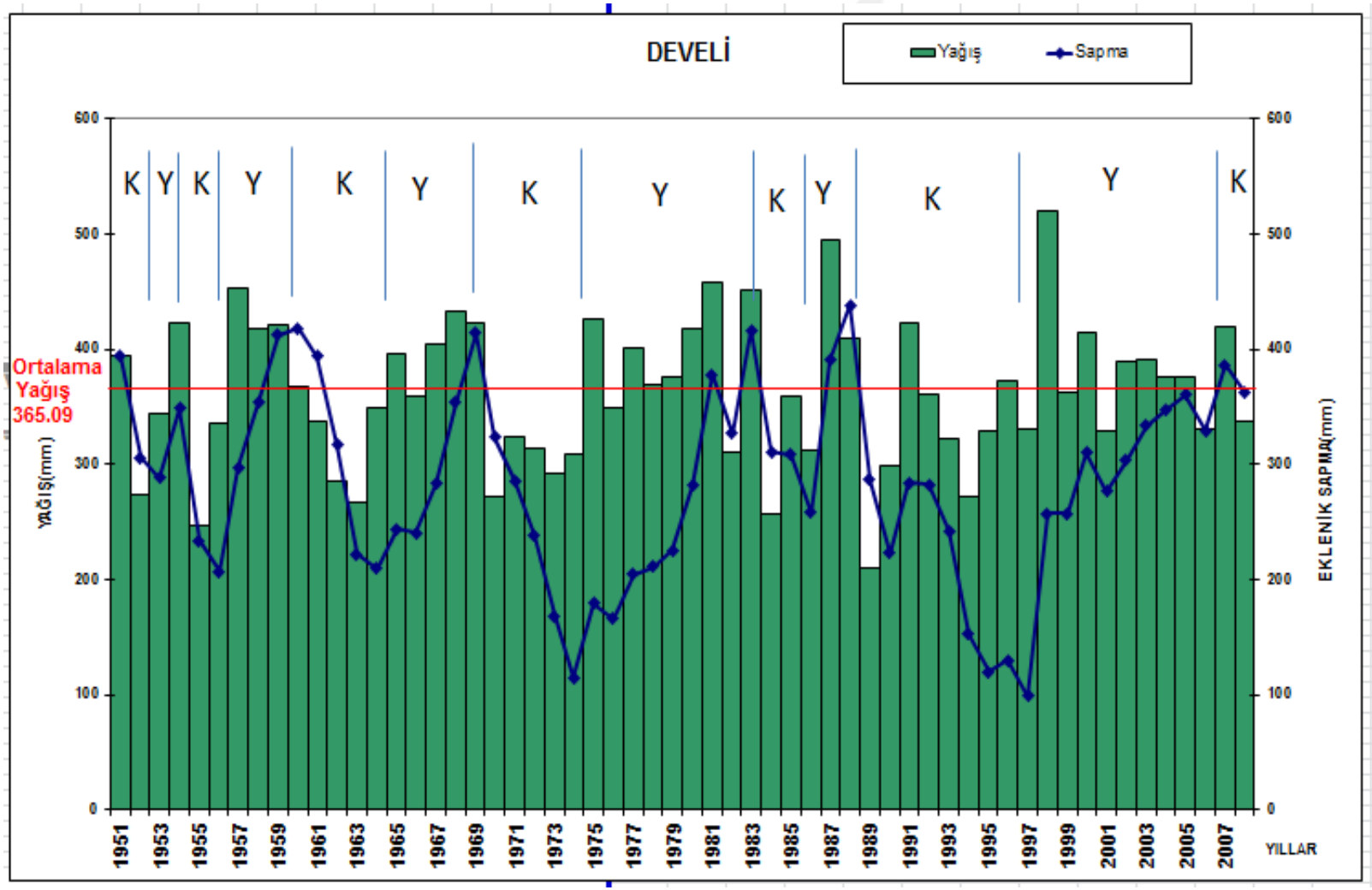
Çalışma alanı içerisinde yer alan Devlet Meteoroloji yağış istasyonları konumları şekil 1.2'de verilmiştir. İstasyon verileri incelendiğinde en çok yağış verisi olan Develi Meteoroloji istasyonu değerleri kullanılarak bir değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 1.2 Çalışma sahası ve çevresindeki Meteoroloji yağış istasyonları

Çizelge 1.1'de değerleri verilen Develi istasyonundaki yağış değerleri incelenerek alanın geçirmiş olduğu kurak ve yağışlı dönemler ortaya konulmuştur. Bunun için istasyona ait değerler kullanılarak ortalama ve eklenik sapma değerleri belirlenmiş ve grafik haline getirilmiştir.

Eklenik yağış grafiğine göre havzanın geçirmiş olduğu kurak ve yağışlı dönemler belirlenmiştir. 1951-1956 yıllarında kurak, 1956-1969 yıllarında yağışlı, 1969-1974 yıllarında kurak, 1974-1983 yıllarında yağışlı, 1983-1986 yıllarında kurak, 1986-1988 yıllarında yağışlı, 1988-1997 yıllarında kurak, 1997-2008 yıllarında kurak dönem içinde olduğu görülmüştür (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Develi Devlet Meteoroloji İstasyonu verilerine göre eklenik yağış grafiği

1.7 Tez Sahası ve Civarında Yapılmış Önceki Çalışmalar

Erciyes Dağı'nın eteklerinde Erciyes volkanizmasının ürünlerinin oluşturduğu, etrafında Ecemiş ve Tuz Gölü faylarının varlığı ile şekillenmiş havzada tektonik, jeolojik, petrografik birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalar aşağıda özetler halinde verilmiştir.

Atabey (1989a) tarafından yapılan çalışmada; Develi Yeşilhisar havzasının güneybatı kesimini de kapsayan, ayrıntılı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (H-18 paftası) yapılmıştır.

Atabey (1989b) tarafından yayınlanan 1/100.000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Kayseri İ-20 paftasında Develi Yeşilhisar havzasının güney kısmını içeren jeoloji haritası ve litolojik birimlere ait bilgiler yer almaktadır.

Türkecan vd. (1998) yaptıkları çalışmada, Kayseri (Bünyan-Develi-Tomarza) yöresinin jeolojisini ve volkanik kayaçların petrolojisini detaylı olarak çalışmışlardır.

Dönmez vd. (2003) hazırladıkları MTA raporunda Kayseri-Niğde-Nevşehir civarındaki Tersiyer yaşlı volkanik birimleri detaylı olarak çalışmış ve haritalamışlardır.

Dönmez vd. (2005) hazırladıkları 1/100.000 ölçekli Açınsama Nitelikli Jeoloji Haritaları serisinde Kayseri K-34 paftasında çalışma alanının kuzey kısmını içeren jeoloji haritası yapılmıştır. Türkecan vd. tarafından hazırlanan MTA raporunda bölgedeki jeolojik birimler detaylı olarak çalışılmış ve haritalar revize edilmiştir.

Yalçın vd.(2007) yaptıkları çalışmada, Sultansazlığı'nda yapılan çalışmada topraktaki jeojenik ve antropojenik kirlenmenin kökeni kümeleme analizi ile incelenmiştir. 80 hektarlık alandan 176 adet toprak numunesi alınmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Fe, Pb, Zn, W, Mo, Co, Cu, Hg, Ni, Cr, As, Mn, Cd jeojenik kökenli; Fe, Pb, Zn maden ve tarımsal faaliyet kökenli olduğu belirlenmiştir.

Yıldız (2007), "Kayseri-Sultansazlığı Sulak Alanında Yeraltı ve Yer Üstü Suları İlişkisinin Belirlenmesi" konusunda yaptığı çalışmasında, yeraltı ve yüzey suyu bütçelerini hazırlamıştır. Develi Kapalı Havzasında yer alan çalışma sahasında; su kimyası ve izotop analizleri, elektrik özdirenç ölçümleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda sulak alan ve yeraltısuyu arasında doğrudan bir ilişki olmadığı belirlenmiştir.

Yıldız ve Gürer (2009) yaptıkları çalışmada, Develi Kapalı Havzasında yer alan Sultansazlığı sulak alanının son dönemlerde yaşamış olduğu tuzluluk ve kuraklık tehlikesini, klasik ve dinamik yaklaşımlar ile modellemişlerdir. Daha önce yapılmış olan jeolojik, jeofizik, jeomorfolojik, hidrojeokimya ve izotop çalışmalarla sazlık ve yeraltısuyu ilişkisinin olmadığı bu çalışmada STELLA modeli ile de ortaya konulmuştur. Stella ile üretilen senaryolara göre, sazlığa gelen suyun % 27'si kaynaklardan % 73'ü yağıştan gelmektedir.

Havzada 2010 yılında DSİ tarafından havzada yapılan jeofizik etüt çalışmalarında gömülü faylar ve basınç sırtları tespit edilmiştir. Jeofizik çalışmaların verileri Develi Yeşilhisar havzası revize hidrojeolojik etüt raporunda kullanılmıştır. Revize hidrojeolojik etüt çalışması kapsamında; havza sınırı güncellenmiş, kuyu ve kaynaklardan numuneler alınmış, yeraltısuyu bütçesi hesaplanmıştır. Su kimyası analiz sonuçlarına göre arsenik ve bazı elementlerin limit değerler üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Öztürk 2011).

Yıldız vd. (2011) çalışmalarında, Develi Kapalı Havzası'nda yer alan RAMSAR Sözleşmesi ile korunan Sultansazlığı'nda yeraltısuyu kirliliği ve kalitesini belirlemek amacıyla su numuneleri analizleri yapmışlardır. Havza kuzeyinde Na^{+}-Mg^{2+}-HCO_3^{-} tipinde, güney kesimi ise Ca^{+2}- HCO_3^{-} tipinde olduğu belirlenmiştir.

Bayarı ve Yıldız (2012) çalışmalarında, Sultansazlığı'ndaki suyun etkilendiği baskı unsurlarını belirlemeye çalışmışlardır. İnsani tüketim, buharlaşma ve yüzey-yeraltısuyu etkileşimleri incelenmiştir. Sazlık sistemindeki göllerin tarihsel seviyeleri, kaynak debileri, sazlık etrafındaki su kullanımları, iklimsel sıcaklık değişimine bağlı

buharlaşma dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yüzey sularının gözller etrafındaki sazlıkları beslediği gibi akiferi de beslediğini tespit etmişlerdir. Kullanıcıların bilinçlendirilmesi ile sazlıkların kurumasının önlenmesi ve iyi tarım uygulamalarına geçilmesi önerilmiştir.

1.8 Arsenik Hakkında Yapılmış Önceki Çalışmalar

Arsenik kirliliğinin dünya gündemine girmesi Bangladeş'te yaşanan kitlesel sağlık problemleri ile olmuştur. Das vd. (1995) ve Yu Chen vd. (2004) çalışmalarında yaşanan kitlesel sağlık sorununun sebebinin içme sularındaki arsenik kirliliği olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bangladeş halkının kullandığı yüzeysel su kaynaklarının mikrobiyolojik olarak kirlenmesi ile yeraltısuları kullanılmaya başlanmıştır. Yeraltısuyundan su temini için sondaj kuyuları açılmıştır. Sedimanter formasyonda açılan kuyulardan elde edilen yeraltısuyunun insanlarda cilt bozukluklarına neden olmasıyla, sebebi araştırılmaya başlanmıştır. Araştırmalar, içme suyu olarak kullanılan kuyu sularında yüksek seviyelerde arsenik tespit edilmesi ile sonuçlanmıştır. Bölge halkının su kullanım alışkanlıklarını kökten değiştiren bu uygulama ile halk pek çok bölgede yüksek arsenik içerikli yeraltısuyu kullanmak durumunda kalmıştır. Bunun sonucu artan kanser vakaları ile arsenik kirlenmesinin insan sağlığına olan etkileri ortaya çıkmıştır.

Smedley (1996) yaptığı çalışmada sulu sistemlerdeki başlıca arsenik türlerinin arsenit, arsenat ve bunların oksi-anyonlarından olduğunu belirlemiştir. Çalışmada bu arsenik türlerinin çok geniş bir Eh ve pH aralığında çözünebildiğini, sülfit içeren indirgen ortamlarda arsenik çözünme hızının azaldığını tespit etmiştir.

Atabey (1989a, 1989b) ile Atabey ve Ünal (2008) Nevşehir ve dolaylarında yapmış oldukları ayrıntılı jeolojik çalışmalarla volkanik kuşak oluşumu hakkında bilgi verilmiştir. Nevşehir içme sularında derişiminin 30-120 µg/l arasında değiştiğini, bir lokasyonda 500 µg/l'nin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Arseniğin kaynağının jeolojik formasyona bağlı bir kirlenme olduğunu belirlemişlerdir. İnorganik olarak volkanik kayaçların bünyesinde yer alan arseniğin yeraltısuyuna geçtiğini ifade etmişlerdir.

Smedley ve Kinniburgh (2002), sulu sistemlerde arsenik türlerini denetleyen faktörleri belirlemişlerdir. Çalışmalarında redoks potansiyeli, oksidasyon-hidratasyon durumu (Eh) ve asitlik-bazlık durumunun (pH) arsenik türünü denetlediğini ortaya koymuşlardır.

Atabey ve Ünal (2008), Emet-Hisarcık havzasında yapmış oldukları çalışmalarında yeraltısularındaki arsenik konsantrasyonunun ortalama 30 µg/l, en yüksek arsenik konsantrasyonunun 7630 µg/l ile İğdeköy Pınar Çeşmesi'nde belirlendiğini ve bu kirliliğin jeolojik formasyondan kaynaklı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Birçok ülkede karşılaşılan bir sorun olmaya başlayan arsenik kirliliği için, Harvard Üniversitesi tarafından bir raporlama yapılmıştır. 2008 yılında hazırlanan Arsenik Projesi raporunda, arseniğin kimyası, doğada bulunuşu gibi özelliklerinin yanı sıra arsenik kirliliğinin yüksek olduğu ülkelerdeki sorunlar ortaya konulmuştur (Anonymous 2008, http: //users.physics.harvard.edu)

Henke (2009), yaptığı çalışmada doğadaki arseniğin antropojenik ve jeojenik olarak iki kaynaktan geldiğini belirtmiştir. Arsenik içeren ürünlerin tüketimi, kullanımı ve giderilmesindeki hatalar, arsenik içeriği olan pestisit ve gübrelerin kullanımı, maden drenajlarının antropojenik kökenli olduğunu; doygun olmayan zondaki arsenik içeren sülfit minerallerinin düşen su seviyesiyle birlikte oksidasyona uğraması, jeotermal sular ve deşarjları, arsenik içerikli demir/mangan oksihidroksitlerin indirgen ortamda çözünmesinin jeojenik olduğunu belirtmiştir.

Atakuru (2009) tez çalışmasında Emet ve Hisarcık bölgelerinden yüzey ve yeraltısularından arsenik değerleri ölçmüştür. 16 numuneden 9 tanesinde arsenik konsantrasyonu limit değer olan 10 µg/l'den yüksek olduğu saptanmıştır. Emet-Malı Deresi , Emet-İğdeköy Hacılar Çesmesi, Emet-Espey Deresi, Emet İğdeköy Cami Çeşmesi kaynaklarındaki arsenik miktarı, WHO'nun izin verdiği değerlerin 9 ile 20 katı arasında ölçülmüştür.

Jean vd. (2010) çalışmasında doğadaki arseniğin temel kaynağının kayaçlar olduğunu belirtmiştir. Volkanik, sedimanter ve metamorfik kayaçlardan oluşan toprağa geçerek ortama değişik oranlarda arseniğin karıştığını, topraktan da suya geçtiğini belirtmiştir. Suya geçen arsenik miktarının ana kaya malzemesinin geçirdiği aşınma, ayrışma, çökelme dinamikleri, fiziksel, kimyasal, biyolojik bozunma ve taşınma mekanizmasına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir.

Ünlü vd. (2011), Kütahya Emet bölgesinde yapış oldukları çalışmada yeraltısuyu kalite ve kirlilik düzeylerini belirlemek amacıyla 2010 yılında aylık periyotta su ve toprak numuneleri almışlardır. Toprakta ölçülen arsenik değeri 0-2400 ppm aralığında, içme sularındaki arsenik değeri ise ortalama 0,17 ppm olarak tespit edilmiştir. Numune noktalarındaki arsenik değerlerinin yer yer yüksek olmasının nedeninin; tektonizma, volkanizma, maden, arsenikli kayaçlar arsenopirit, realgar, orpimentin ve bu kayaçlardan oluşan toprakların olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle yağışlı mevsimlerde yağmur ve kar suyu ile birlikte yüzeyden süzülen suların arseniği de birlikte getirerek yeraltısuyunun kompozisyonunu etkilediğini belirtmişlerdir.

Gündüz vd. (2012), "Simav Ovası (Kütahya) Yeraltısuyunda Arsenik Kirliliğinin Araştırılması ve İnsan Sağlığına Olan Risklerinin Değerlendirilmesi" başlıklı Tübitak Projesi kapsamında, ovadaki yeraltısularındaki arseniğin kökenini belirlemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda yüzey ve yeraltısularındaki kirlenme mekanizmaları ortaya konulmuştur. Proje kapsamında miktar ve kalite amaçlı kuyular açılarak, 3 farklı dönemde yüzey, yeraltısuları ve jeotermal sularda örnekleme yapıldığı belirtilmiştir. Gündüz ve diğerlerinin yaptığı araştırmalar sonucu, arsenik değeri çok yüksek olan içme suyu kaynağı yerine arsenik değeri standart verilerden düşük olan yeni kaynaklar önerilmiştir. Alternatif içme suyu kaynağı bulunamayan bir kasabada ise arıtma tesisi kurulmasını sağlayarak bilimsel bir projeyi uygulamaya geçirmişlerdir.

Şener vd. (2012), Eğirdir gölü su toplama havzasında yüzey ve yeraltısularının arsenik kirliliğini araştırmak amacıyla Mayıs 2010 döneminde 80 adet numunede kimyasal analiz yaptırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, gölden alınan su örneklerinde ölçülen

As içeriğinin 0.007-0.016 µg/l arasında, Pupa çayında ölçülen As konsantrasyonunun 0.009-0.01 µg/l, Hoyran deresinde 0.007 µg/l, Yalvaç deresinde 0.006-0.013 µg/l arasında, Çay deresinde ise 0.0092 µg/l olduğu belirtilmiştir. Yeraltısuyu örneklerinde ise yüzey sularına göre daha yüksek As değerleri ölçmüş olup, Senirkent-Uluborlu ovasından alınan örneklerde 0.02-0.028 µg/l arasında, Yalvaç-Gelendost ovasından alınan örneklerde ise 0.015-0.046 µg/l arasında arsenik konsantrasyonu tespit etmişlerdir. Şener ve diğerleri, elde ettikleri verilere göre, yeraltısularının As bakımından kirlilik taşıdığını belirtmişlerdir. Bu sonucun, bölgede geniş yayılıma sahip olan Neojen çökeller ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Havzadaki 114700 hektarlık tarım alanında yoğun miktarda inorganik kökenli tarımsal mücadele ilaçları kullanıldığı için yeraltısularındaki arsenik kirliliğini tarımsal faaliyetler ile de ilişkilendirmişlerdir.

Çeliker (2015), Elazığ Uluova alüvyon akiferinden alınan yüzey sularında 0,04-31,14 µg/l ve yeraltısuyu numunelerinde 0,02-4842 µg/l arasında As bulunduğunu tespit etmiştir. Su örneklerinin yaklaşık % 20'sinden fazlasında arsenik konsantrasyonları İHATSY, WHO ve EPA tarafından tavsiye edilen 10 µg/l'den daha yüksek değerlerde bulunmuştur. Hem yeraltısularında hem de yüzey sularında başlıca çözünmüş arsenik türünün As(III) ve As(V) oksi-anyonları olduğu belirlenmiştir. CBS ortamında hazırlanan arazi kullanım haritalarında, Uluova'nın farklı bölgelerinde maden cevherleşmelerine bağlı olarak yüksek oranda arsenik ve ağır metal kirliliği tespit edilmiştir.

2. ARAZİ, LABORATUVAR ve BÜRO ÇALIŞMALARI

Çalışmanın amacı yeraltısularındaki arseniğin miktarını belirlemek ve arseniğin kökenini açıklamaktır. Sahadaki antropojenik etkinin olmayışı nedeniyle arsenik kökenini araştırmak amacıyla yeraltısuyu, kaynak, kayaç ve toprak numuneleri alınmıştır. Yapılan tüm çalışmalar 3 başlık altında toplanmıştır:

2.1 Arazi Çalışmaları

Çalışmalara, mevcut jeoloji haritalarının sahadaki kontrolü ile başlanılmıştır. Dönmez vd. (2005) tarafından hazırlanan jeoloji haritası formasyon sınırları kontrol edilmiş, DSİ (2010) jeofizik etüt çalışmalarında tespit edilen faylar arazide kontrol edilmiştir. Gerekli yerlerde sınırlarda düzeltmeler yapılmıştır. Yeraltısuyunun akım yönünü belirlemek amacıyla kuyularda kurak dönem (Ekim 2013) ve yağışlı dönem (Mart 2014)'te seviye ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Arsenik zenginleşmesinin kökenini araştırmak amacıyla sahadaki arazi kullanımları incelenmiştir. Sahada arsenik kirliliğine neden olabilecek antropojenik unsurların varlığı araştırılmıştır. Sahada kirliliğe neden olabilecek açık maden sahaları, ağır sanayi, jeotermal kirleticiler bulunmamaktadır. Tarımsal arazi olarak; meyve, kuru tarım, üzüm bağları, mera, orman, fundalık, çayırlar, sazlık alanlar yer almaktadır. Bu nedenle; çalışma sahasında arsenik değeri yüksek olan yerlerden ve yakın çevresindeki kuyulardan örnekleme yapılması dışında akifer birimler ve topraklardan da numune alınarak çalışmanın kapsamı genişletilmiştir. Bu lokasyonlar EK 1'deki haritada gösterilmiştir.

Kuyulardan alınan su numuneleri "W" simgesi ile kaynaklardan alınan numuneler "SP" ile kodlanmıştır. Yeraltısuyu numuneleri alımı sırasında fiziksel parametreler (pH, EC, Eh) HACH sensION ve HACH HQ40d cihazları ile yerinde ölçülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Arazide pH, EC, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümleri

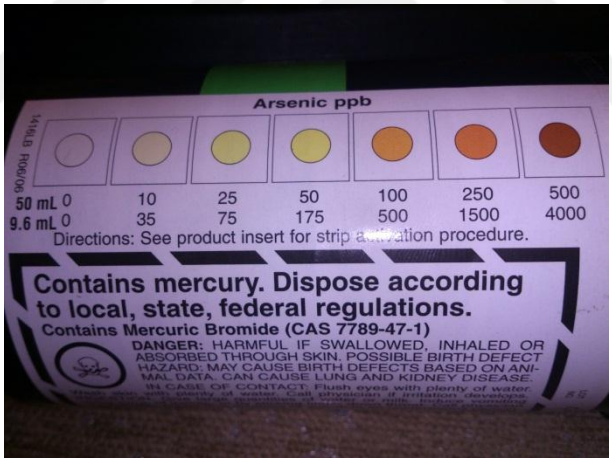
Arsenik ölçümü için yaklaşık olarak sonuç veren arazi kitleri bulunmaktadır. Arazide 20 dakika gibi kısa sürede suyun arsenik değeri 0-500 µg/l ve 0-4000 µg/l aralığında ölçülebilmektedir. Arazi kitleri kullanılarak analizi yapılacak numuneler seçilerek laboratuvara gönderilmiştir.

Pratik arsenik kiti ile kuyu/kaynak başındaki arsenik değeri ölçülmüştür. Belirlenen kaynaklar ve kuyulardan kimyasal ve ağır metal analizleri için numuneler alınmıştır. Ayrıca kit kullanılarak analiz şu şekilde yapılmaktadır: Saf su ile temizlenmiş ölçüm kabı içerisine ölçümü yapılacak su ile çalkalandıktan sonra 50 ml analizi yapılacak numune konulur ve şekil 2.2'de görülen içerisinde sülfamik asit olan (1 numara) ve ardından çinko (2 numara) sıra ile dökülür. Lastikli kapağın kağıt bölümüne arsenik ölçer kağıt yerleştirilir. Kabın ağzı kapatılarak dairesel hareket ile 5 saniye karıştırılır ve 20 dakika bekletilir.



Şekil 2.2 Arsenik kiti 1 ve 2 numaralı karışımlar, numune kabı

20 dakikanın sonunda kağıt yerinden çıkarılarak Arsenik içeriği kutu üzerindeki abak ile karşılaştırılır (Şekil 2.3). Bir sonraki analizde de aynı kap kullanılacak ise içerisi öncelikle saf su ya da ultra saf su ile temizlenmelidir.



Şekil 2.3 Pratik arsenik kiti arsenik oranları abağı

Tez sahasındaki arsenik değeri pratik arazi kiti ile ölçülmüş ve elde edilen veriler laboratuvar sonuçları ile karşılaştırılmıştır. W4 kuyusundan çalışma kapsamında alınan numunelerin laboratuvar analiz sonuçlarında arsenik 441 µg/l ve 774 µg/l olarak ölçülmüştür. Arazi kiti ile yapılan ölçümde ise 500 µg/l olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.4 Pratik arsenik kiti ve sahadaki arsenik oranlarına göre elde edilen değerler

Laboratuvar sonuçları ve arazi kiti ile elde edilen ölçüm değerleri çizelge 2.1- 2.2'de verilmiştir. Arazi ve laboratuvar ölçümlerinin ne kadar yakın değerlikte olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 2.1 Çalışma sahası kaynaklarından alınan örneklerin laboratuvar ve arsenik kit değerleri karşılaştırması

Numunenin Alındığı Yer	Yağışlı Dönem (Mart 2014) (µg/l)	Kurak Dönem (Ekim 2013) (µg/l)	Pratik Arazi Kitine Göre Analiz Rengi ve Sonucu (Ekim 2013) (µg/l)	
SP1	13	10	Sarı	10
SP5	648	593	Kahverengi	500
SP4	-	-	Renk yok	-
SP3	1,29	2,3	Renksiz	-
SP2	271	229	Turuncu	250

Çizelge 2.2 Çalışma sahası sondaj kuyularından alınan örneklerin laboratuvar ve arsenik kit değerleri karşılaştırması

Numunenin Alındığı Yer	**Yağışlı Dönem Analiz Sonucu** (Mart 2014) (µg/l)	**Kurak Dönem Analiz Sonucu** (Ekim 2013) (µg/l)	**Pratik Arazi Kitine Göre Analiz Rengi ve Sonucu** (Ekim 2013) (µg/l)	
W4	774	441	Kahverengi	500
W5	582	510	Kahverengi	500
W8	182	189	Açık turuncu	100

Çizelgelerden de görüleceği gibi laboratuvar sonuçları ile pratik arazi kiti ölçümleri arasında uyumluluk bulunmaktadır. Kit, sahada numune alınacak arsenik içeriği yüksek kuyu veya kaynakların kolay belirlenmesini sağlamaktadır.

Kayaç numuneleri, taze yüzeylerden alınmıştır. Alınan örnekler analize uygun boyuta getirilerek öğütülmüştür. Çalışma sahası içerisinde yer alan topraklardan da numune alınmıştır. Toprak örneklemesi kurak dönemde yapılmıştır. Topraktaki ürünlerinin hasadının tamamlanması ve toprağın yeni sezon için sürülerek nadasa bırakıldığı dönem tercih edilmiştir. Toprak numuneleri alınırken, 15-25 cm derinlikte çukurlar kazılmıştır. Kürek ile alınan numuneler dayanıklı poşetlerde analiz yapılıncaya kadar muhafaza edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında alınan numune adlandırmaları; "W" simgesi ile yeraltısularından, "SP" simgesi ile kaynaklar, "R" simgesi ile kayaçlar, "S" simgesi ile toprak şeklinde yapılmıştır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında örnekleme yapılan su, kayaç ve toprak üzerinde analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları Bölüm 5'te yorumlanmıştır.

2.2.1 Su analizleri

Çalışma alanındaki kuyulardan 10 adet ve kaynaklardan 5 adet olmak üzere toplam 15 adet örnek alınmıştır. Örnekleme hem kurak (Ekim 2013) hem de yağışlı (Mart 2014) dönemde yapılmıştır. Su analizleri DSİ 12. Bölge Müdürlüğü ve TAKK Daire Başkanlığı Laboratuvarlarında yapılmıştır. Çalışma alanında yapılan tüm örnekleme yerleri EK 1'de verilen jeoloji haritasında yer almaktadır.

Su analizleri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Laboratuvarı ve Devlet Su İşleri 12. Bölge Müdürlüğü Kayseri Laboratuvarlarında yapılmıştır. Kuyu ve kaynaklarda HACH sensION ve HACH HQ40d multiparametre cihazları ile yerinde ölçüm ile pH, Eh, çözünmüş oksijen ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Türk Akreditasyon Kurumunca akredite olan laboratuvardaki analizler çizelge 2.3'te belirtilen deney metoduna göre yapılmıştır. Su numuneleri pH tayini elektrometrik metot; iletkenlik tayini elektrot metodu; florür, klorür, nitrat, ortofosfat, sülfat, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum tayini iyon kromotografi metot; arsenik, bakır, civa, çinko, demir, kadmiyum, krom, kurşun, mangan tayini ICP-MS metodu ile yapılmıştır.

Çizelge 2.3 DSİ tarafından yapılan su kimyası analizleri ve deney metodları

Deneyi Yapılan Malzeme	**Analiz Adı**	**Deney Metodu**
SU	pH Tayini	TS EN ISO 10523 **Elektrometrik Metodu**
	İletkenlik Tayini	TS 9748 EN 27888 **Elektrot Metodu**
	Florür, Klorür, Nitrat, Ortofosfat, Sülfat Tayini **Analiz Adı**	TS EN ISO 10304-1 **İyon Kromotografi Metodu**
	Sodyum, Potasyum, Kalsiyum, Magnezyum Tayini	TS EN ISO 14911 **İyon Kromotografi Metodu**
	Arsenik, Bakır, Civa, Çinko, Demir, Kadmiyum, Krom, Kurşun, Mangan	EPA 200.8 **ICP-MS Metodu**

Sudaki arseniğin türünü belirlemek için Smedley ve Kinniburgh (2002) redoks Eh-pH diyagramı kullanılarak arsenik türü belirlenmiştir. Phreeqc Interactive 2.8 programı kullanılarak arsenik, bor, demir ve mangan metallerinin değerliği ve hangi minerale doygun olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre; arsenik baskın değeri +5'tir. Su numunelerindeki arseniğin türleri $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^-$, $HAsO_2$'tir. Bor, tüm örneklerde $B(OH)_3$ türünde olup, +3 değerliğindedir.

2.2.2 Kayaç analizleri

Yeraltısularındaki yüksek arsenik konsantrasyonunun nedenini belirlemek için arazi çalışmaları yapılmıştır. Antropojenik bir kirletici unsurun bölgede olmaması nedeniyle doğal arka plan kirliliği olasılığını araştırmak üzere çalışma sahasındaki litolojik birimlerden örnekleme yapılmıştır. Çalışma alanı içerisindeki kayaçların taze yüzeylerinden numune alınmıştır (Şekil 2.5). EK 1'de verilen jeoloji haritasında numune alım lokasyonları "R" simgesi ile verilmiştir.



Şekil 2.5 Kayaç numune alım noktası, Kızıkahmet Pınar memba alanı (R2)

Kayaçların taze yüzeylerinden çekiç yardımıyla alınan numuneler öğütülerek numune numaraları üzerlerine yazılarak laboratuvara gönderilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Kayaç numunelerinin öğütülerek analize hazır hale getirilmesi

Kayaç numunelerindeki arsenik miktarının belirlenmesi için alınan numuneler elekte elenmiş, öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Kayaçtan alınan 10 adet numune analiz için ACME laboratuvarına gönderilmiş ve ICP-MS ile AQ300 deneyi yaptırılmıştır. Numuneler içerisindeki 33 elementin (Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, V, W, Zn, U) konsantrasyonları belirlenmiştir.

2.2.3 Toprak analizleri

Toprak numuneleri arazide yeraltısularında arsenik değerinin yüksek olduğu tarım sahaları başta olmak üzere Ek 1'de "S" simgesi ile gösterilen mevkilerden, yüzeyden itibaren 15-20 cm derinlikten, üzerinde ürün olmayan dönemlerde alınmıştır. Toprak numunesi alınan sahalardan birine ait genel görünüm şekil 2.7'de verilmiştir. Yeşilhisar Erdemli Sulama kooperatifine ait olan sahada yeraltısuyu ile tarım yapılmaktadır.



Şekil 2.7 Yeşilhisar ilçesi Erdemli Mahallesi W3 numaralı kuyu ve kuyudansulanan S5 toprak numunesinin alındığı saha

Toprak numuneleri alındıktan sonra laboratuvarda analiz için hazırlanmıştır. Öncelikle topraklar 2 ve 10 numaralı elekten geçirilmiştir. Örnekler içerisinde organik malzeme kalmaması için etüvde kurutulmuş daha sonra öğütülerek analiz için uygun boyuta getirilmiştir. Toprak numuneleri analize hazırlanıp poşetlenmiş ve etiketlenmiştir (Şekil 2.8). Topraktan alınan 13 numune analiz için ACME laboratuvarında ICP-MS ile AQ 300 deneyi yaptırılmıştır. Numuneler içerisindeki 33 elementin (Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, V, W, Zn, U) konsantrasyonları belirlenmiştir.



Şekil 2.8 Elekten geçirilen, öğütülen, etüvde kurutulan analize hazırlanan toprak numuneleri

Toprağın karakterini belirlemek için saf su ile çözelti haline elektriksel iletkenlik ve pH ölçümleri DSİ 12. Bölge Kayseri Kalite ve Kontrol Şube Müdürlüğü Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Şekil 2.9-2.10). Her örnek 1: 2,5 oranında saf su ile karıştırılarak, ilk ölçüm, 24 saatlik ölçüm ve 48 saatlik ölçümlerle EC ve pH ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2.9 Deneyde kullanılan ultra saf su cihazı



Şekil 2.10 Toprak numuneleri üzerine ultra saf su eklenmesi ve ilk ölçümlerin yapılması

Çalışma sahasındaki toprakların geneli alüvyal karakterli olup, pH ve EC değerleri şekil 2.11'de görülen cihaz ile yapılmıştır. Her bir ölçüm öncesi kalibre elektriksel iletkenlik

sıvı değeri cihaz ile ölçülmüş, ardından numune değeri ölçülmüştür. Her bir numune değeri okutulmadan önce ölçüm cihazı kalibrasyon sıvısı ile okutulmuştur.



Şekil 2.11 Numunelerin Elektiriksel iletkenlik (EC) değerinin ölçümü

Yapılan ölçümler sonucu çizelge 2.4'teki sonuçlar elde edilmiştir. Tüm toprak numunelerinin pH değeri 7,5 üzerinde olup, alkalin karakterlidir. Sahada geçmiş yıllarda yapılan toprak çalışmalarından Karadeniz (1995) ve Somuncu (1988)'e göre; çalışma sahası civarındaki topraklar andezit ve bazalt birimler üzerinde kireçsiz ve kahverenklidir. Sazlık alan çevresinde ise organik maddece zengin, kil oranı yüksek (ağır bünyeli) koyu renkli toprak mevcuttur. Ayrıca kurak sezonda toprak nemi azaldığı dönemlerde rüzgar erozyonu görülmektedir. Bu durum, toprağın süpürülmesine ve toprak özelliğini yitiren malzemenin tarımsal arazilerin üzerine yığılmasına sebep olmaktadır. Bu taşınma ile toprak ve toprak özelliğini yitiren malzemenin, yağışlı sezon ve sulama dönemlerinde yeraltısuyuna da geçişe sebep olmaktadır.

Çizelge 2.4 Toprak numunelerindeki EC- pH ölçümleri

1 saate					24 saatte				48 saate		
Numune No	EC(µs/cm)	PH	T		EC(µs/cm	PH	T		EC(µs/cm	PH	T
S1	147	7.610	22,40		152	7.610	22,40		174,8	7,712	20
S2	2660	7.027	22,40		2640	7.027	22,40		2610	7,300	20
S3	102,6	8.383	22,40		150	8.383	22,40		199,3	7,887	20
S4	129,5	8.443	22,30		135,2	8.443	22,30		167,1	7,951	19,9
S5	206	8.238	22,20		228	8.238	22,20		263	7,869	19,9
S6	891	9.526	22,20		916	9.526	22,20		963	8,741	19,8
S7	4970	8.132	22,40		4990	8.132	22,40		5010	7,976	19,9
S8	316	8.684	22,50		378	8.684	22,50		481	8,193	19,9
S9	1801	8.531	22,40		1980	8.531	22,40		2020	8,284	20
S10	79,7	8.745	22,30		100	8.745	22,30		148,7	7,984	20
S11	419	8.729	22,20		501	8.729	22,20		585	8,091	20
S12	9330	8.540	22,40		9450	8.540	22,40		9640	8,169	20,1
S13	58,5	8.366	22,50		95	8.366	22,50		123,4	7,884	20,1

2.3 Büro Çalışmaları

İnceleme alanında önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalar için literatür taraması yapılmıştır. DSİ, MTA ve üniversitelerdeki araştırmacılar tarafından yapılmış olan makaleler ve tezler değerlendirilmiştir. MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli K-34, L-34 paftaları ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarındaki litolojik sınırlar, arazi çalışmalarında kontrol edilerek ArcGIS 10.1 programı ile çizilmiştir. Sahada bulunan DSİ araştırma kuyu logları Corel X5 programında çizilmiştir. Suların kimyasal sınıflamalarını göstermek amacıyla AqQA programında Piper ve Schoeller diyagramları çizilmiştir. Su kimyası sonuçlarının Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu (USGS) tarafından geliştirilen jeokimyasal verilerin değerlendirilmesi için geliştirilen PhreeqcI28 yazılımı ile yapılmıştır.

3. İNCELEME ALANININ JEOLOJİ ve HİDROJEOLOJİSİ

3.1 Jeoloji

Çalışma alanının içinde yer aldığı Develi Kapalı Havzasındaki jeolojik birimlerin yaş aralığı Paleozoyik'ten günümüze kadar değişmektedir. Alt Paleozoyik zamana kadar su altında kalmış olan havza, Üst Paleosen'e kadar kara halinde kalmıştır. Üst Kretase'de meydana gelmiş olan magmatik faaliyetler sonucunda granit ve gabro türü kayaçlar oluşmuştur. Üst Paleosen'de havza tekrar deniz altında kaldığında, deniz ortamı tortul kayaçlar ve deniz tabanında devam eden volkanizmaya bağlı olarak volkano-sedimanter kayaçlar ve bu kayaçlardan Paleosen yaşlı filişler oluşmuştur. Eosen sonu-Oligosen başında denizin çekilmesi ile havzada günümüzde de devam eden karasal dönem başlamıştır. Pliyosen'de meydana gelen Erziyes Volkanizmasının Yeni Erciyes safhasına ait volkanik ve piroklastik kayaçlar ile hızlı soğuma ürünü kayaçlar oluşmuştur. Havzayı şekillendiren unsurlar; havzayı gömülü ve yüzlek vererek boydan boya kat eden Ecemiş Fayı, Erciyes Dağı'nın da oluşumunu sağlayan volkanizma, akarsular, rüzgar ve buzul aşındırmalarıdır (Öztürk 2011).

Havzanın hem morfolojisini hem de jeolojisini etkileyen Develi Kapalı Havzasını boydan boya geçen GB-KD yönünde uzanan Ecemiş Fayı, D-B yönünde uzanan Kapadokya Fayı'dır. Faylanmadan dolayı çek-ayır tipi özellik kazanmış olan havzada orta kesimde kalan ova, tektonik hareketlilik nedeniyle çökmeye devam eden bir yapı sergilemektedir (Koçyiğit ve Erol 1999).

Günümüzde havzanın kuzey, kuzey batı ve doğu kesiminde ise Erciyes volkanizmasının iki safhasına ait volkanik ve piroklastik kayaçlar yüzlek vermektedir. Havza ortasında yer alan ovanın güney kesiminde Eosen yaşlı kırıntılı çökel kayaçlar, batı kesiminde Miyosen yaşlı kırıntılı kayaçlar ve orta kesiminde alüvyon yer almaktadır. Çalışma sahasında Miyosen-Kuvaterner yaş aralığında sedimanter-volkanik ve piroklastik kayaçlar yüzlek vermektedir.

3.1.1 Miyosen

Çalışma sahasında en yaşlı birimler Miyosen yaşlı olup; bazalt, andezit, tüf-ignimbirit-aglomera ve çakıltaşı-kumtaşı-kiltaşı ardalanmasından oluşan 4 farklı birimden oluşmaktadır.

Çakıltaşı-Kumtaşı-Kiltaşı: Çalışma alanının batı kesiminde çok küçük bir alanda Gülbayır, Erdemli ve Subaşı'nın batısında yüzlek veren Miyosen yaşlı birim, çakıltaşı-kumtaşı-kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Sığ göl, kıyı, akarsu özelliklerini temsil eden oluşuma sahip olan birim, yer yer kahve renkli, açık kahve renkten kızıl renge kadar değişik renklerde, az katmanlı ve katmansız, çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşından oluşmaktadır. Dönmez vd. (2005) tarafından Ürgüp Formasyonu olarak adlandırılan birim, EK 1'deki haritada UMgsm simgesi ile gösterilmiştir.

Tüf-İgnimbirit-Aglomera: Çalışma alanında yüzlek veren Miyosen yaşlı diğer birim, çalışma sahasında Subaşı batısında, Erdemli kuzeyinde, Gülbayır doğusunda ve kuzeyinde Yeşilhisar dolaylarında yüzlek vermektedir. Gri-mor yer yer pembe renkli olan birim, genellikle tüf ve ignimbritlerden oluşmaktadır. İgnimbirit, Yer yer tüf ve aglomera seviyeleri içeren birim, Dönmez vd. (2003)'e göre Gördeles İgnimbiritleri olarak adlandırılmıştır. EK 1'deki haritada Umtia simgesi ile gösterilmiştir. Pembe-bej renkli, pomza, litik ve vitrik parçalar içeren akıntı ürünüdür. Alt kesimleri ince taneli, üst kesimlerinde tane boyu giderek artmaktadır. Yer yer rüzgar, yağmur aşındırmasıyla şekilleri deforme olmuştur. Yaş tayinleri ile volkanik faaliyetin Üst Miyosen'de başladığı belirtilmiştir.

Bazalt: Çalışma alanında Subaşı'nın 6 km batısında ve Gülbayır'da yüzlek veren diğer birim Miyosen yaşlı bazalttır. Birim; bazalt, olivin bazalt, olivin toleyit bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Çataltepe bazaltı olarak adlandırılan birim, EK 1'deki haritada UMba simgesi ile gösterilmiştir. Kayaç porfirik dokulu olup plajiyoklas, olivin ve klinopiroksen fenokristallerinden oluşmaktadır (Dönmez vd. 2003).

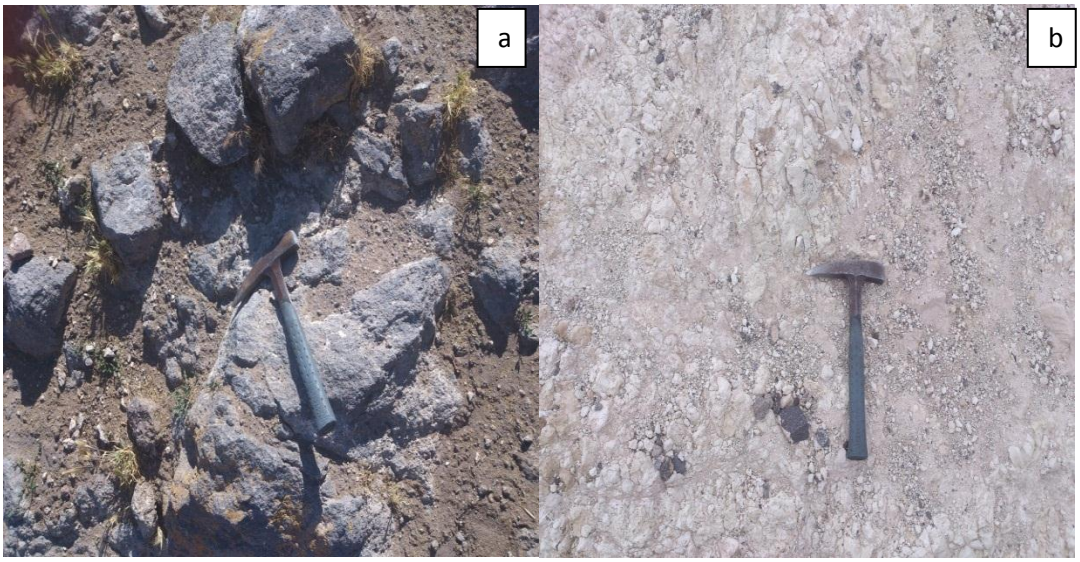
Çalışma alanının batısında, Gülbayır'ın kuzeyinde yüzlek veren diğer birim Miyosen yaşlı andezittir. Andezitleri oluşturan Erciyes volkanizmasına ait lavlar daha çok andezitik karakterde olup, porfirik dokuludurlar. Genellikle çok viskoz olduğundan pek fazla akma olanağı bulamamışlar, akanlar da üst üste yığılarak kalın örtüler oluşturmuşlardır. EK 1'deki haritada Uma simgesi ile gösterilmiştir. Arazide, kayaçlarda iri fenokristaller içermekte olup, akma ve soğuma yapıları ile yer yer de anklavlar gözlenmektedir.

3.1.2 Pliyosen

Çalışma alanında Pliyosen yaşlı andezitler ve piroklastik kayaçlar (tüf-ignimbirit-aglomera) yüzlek vermektedir.

Tüf-İgnimbirit-Aglomera: Çalışma sahasında, Subaşı'nın batı kesiminde yüzlek veren birim tüf, ignimbirit ve aglomeradan oluşmaktadır. Andezit türü lavlardan oluşan birim Koçdağ volkanitleri olarak adlandırılmış, Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır (Türkecan vd. 1998). EK 1'deki haritada Pltia simgesi ile gösterilmiştir. Birim masif, iri fenokristalli mineraller içeren lav, tüf ve aglomera ardalanmaları şeklinde yüzlek vermektedir. Birimin çalışma sahasında kalan kısmı yer yer masif, yer yer kırık çatlaklı yapıdadır. Kırıklı çatlaklı kısımları yeraltısuyu içermektedir. Az geçirimli-geçirimsiz nitelikte akifer özelliğindedir.

Andezit: Çalışma sahasının kuzeyinde Subaşı, doğusunda Şeyhşaban köylerinde yüzlek veren birim, Pliyosen yaşlı andezittir. Birim, Erciyes volkanizmasının en genç evresi olan Yeni Erciyes safhasının ürünlerindendir. Bu evrede oluşan ürünler hızlı soğuma ürünleri olup, kristalleşmesini tamamlamamış, iklimsel etkiye maruz kalıp çabuk bozunmuştur. Birim Türkecan vd. (1998)'e göre Şeyhşaban volkanitleri olarak adlandırılmıştır ve petrografik analizlere göre birim piroksen andezittir. EK 1'deki haritada Plan simgesi ile gösterilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yer yer bozunmuş yüzeyler mevcuttur.



Şekil 3.1.a.Şeyhşaban'da yüzlek veren masif andezitler, b. bozunmuş andezitler

3.1.3 Kuvaterner

Çalışma sahasının en genç birimleri Kuvaterner yaşlıdır. Kuvaterner yaşlı birimler tüf-ignimbirit-aglomera, bazalt, andezit, volkanik cam, yamaç molozu ve alüvyon olarak yüzlek vermektedir.

Tüf: Çalışma alanının doğusunda, Kızık Köyü civarından başlayıp Develi'ye kadar yüzlek veren birim, Erciyes Dağı volkanizmasının tüfleridir. Genellikle beyaz, yer yer sarımsı renklerde camsı yapının hakim olduğu pomza ve küllerden oluşmaktadır. Tüf örnekleri kuvars, feldspat, biyotit, hornblend ve az miktarda kayaç parçası içermektedir. Matriksi tamamen kil mineralleşmesine uğramış bir külden oluşan hamur tarafından çevrelenmişlerdir. Birim Türkecan vd. (1998)'ne göre Kızık tüfleri olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.2, EK1).



Şekil 3.2 Kızık Köyü üst kotlarından tüflerin görüntüsü

Andezit: Kuvaterner yaşlı diğer birim andezit olup, Endürlük lavları çalışma alanının doğusunda Subaşı, Çayırözü ve Soysallı köyleri civarında yaklaşık 180 km^2'lik alanda yüzlek vermektedir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi lavların taze yüzeyleri gri-siyah, bozunmuş yüzeyleri ise kahverenklidir. Piroklastik kayaç ve bazaltlarla birlikte dokanak halinde olan birim, çalışma alanının en genç lav akıntılarıdır. Erciyes volkanitleri olarak adlandırılan birim piroksen andezitler, bazaltik lavlar ve volkan camlarından oluşmaktadır (Türkecan vd. 1998). Andezitler Erciyes volkanitleri üyesi olup, Endürlük lavları olarak adlandırılmıştır. Petrografik çalışmalarda birim piroksen andezit olarak tanımlanmıştır. Yer yer karbonatlaşma ve bozunma gözlemlenen birimde yapılan yaş tayinlerinde birimin Kuvaterner yaşlı olduğu belirlenmiştir (EK 1).



Şekil 3.3 Çayırözü mevkiinde Endürlük lavları görüntüsü

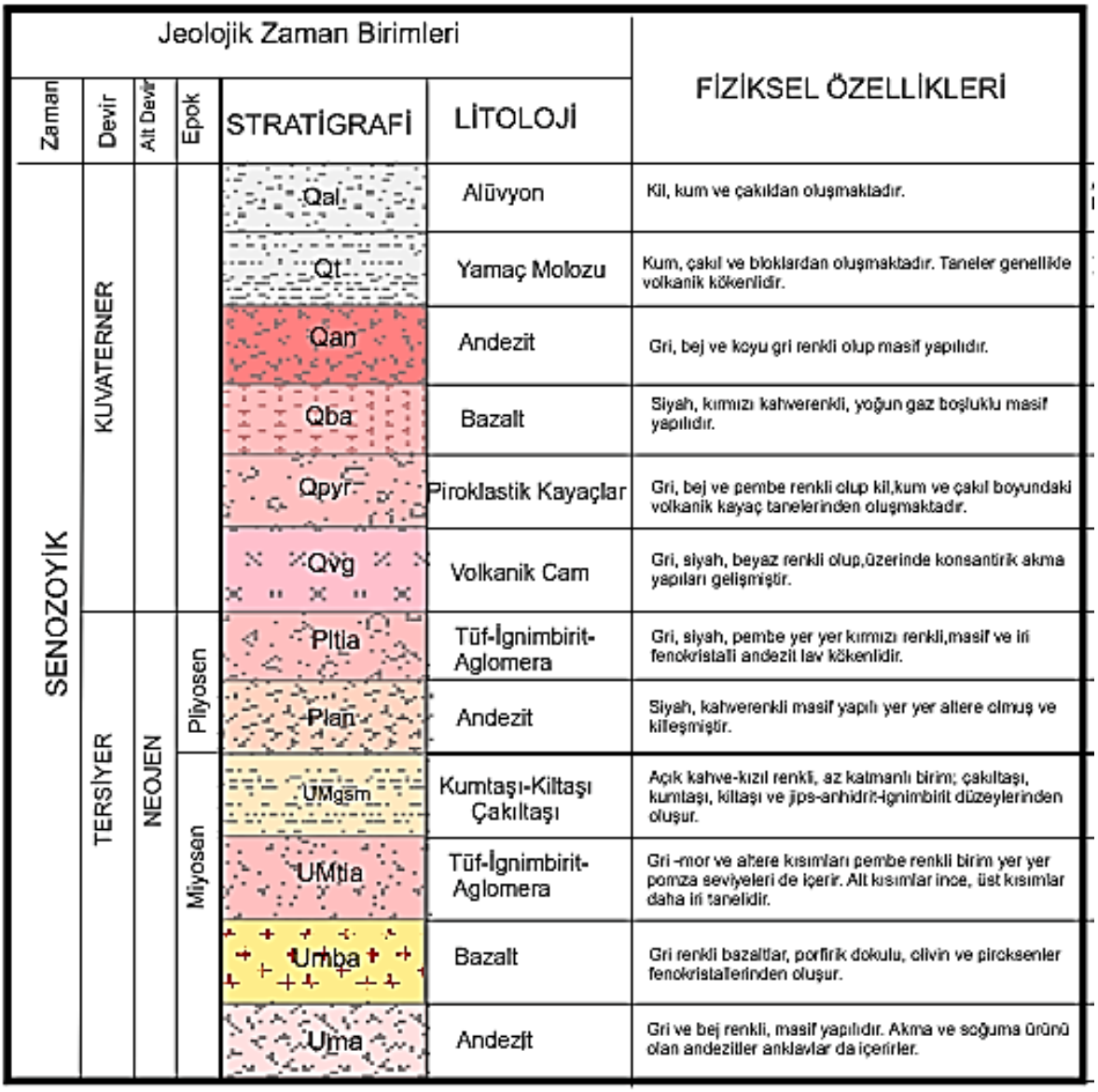
Bazalt: Çalışma sahasında Subaşı ve civarında, Kulpak'ta 2 yerde yüzlek vermektedir. Subaşı'nda andezitlerle birlikte 70 km^2'lik alanda yüzlek veren birim çalışma sahasının en genç bazaltlarıdır. Bazaltlar, andezitler üzerine akma şeklinde yerleşmiştir. Bazaltlar koyu renkli ve masif olup içerisinde cüruf seviyeleri de yer almaktadır. Dönmez vd. (2003)'e göre birim Kızıldağ bazaltları olarak adlandırılmış, petrografik analiz çalışmalarında olivin bazalt olarak tanımlanmış ve Kuvaterner olarak yaşlandırılmıştır. EK 1'deki haritada Qba simgesi ile gösterilmiştir. Bazaltların en iyi tip kesiti Kulpak civarında görülmektedir. Burada lav ve piroklastiklerinde bazalt ile çıkış yapmıştır, Yer yer cüruf konilerinin gözlendiği, kırmızı-kahverengi-siyah renklerde cüruflu, gaz boşluklu bazaltlar volkan konileri şeklindedir.

Volkanik Camlar: Çalışma sahasında yalnızca Kızık Köyü kuzeyinde 10 km^2'lik alanda yüzlek vermektedir. Çıkış yerinden güneye doğru akan lavlar yaklaşık 5 km'lik yol kat etmişlerdir. Kalınlığı yaklaşık 200 m olup, üzerinde konsantirik şekilli akma yapıları gelişmiştir. Gri-siyah-beyaz renkli, yer yer tamamen volkanik camdan oluşan hiyaloandezitik lav akıntıları Kuvaterner yaşlı olup, Türkecan vd. (1998) tarafından Kartındağ volkanik camları olarak adlandırılmıştır. EK 1'deki haritada Qvc simgesi ile gösterilmiştir. Birim masif yapıda olduğu için geçirimsiz olup, akifer özelliği göstermez.

Yamaç Molozu: Çalışma alanında özellikle yüksek eğimin azaldığı yamaçlarda oluşmuşlardır. Kalınlığı değişken olan yamaç molozları Çayırözü doğusunda, Soysallı kuzeyinde, Gülbayır kuzey doğusunda, Kısık doğusunda 25 km^2'lik alanda yüzlek vermiştir. Yamaç molozları içerisinde, Erciyes Dağı sırtlarından aşınma ile taşınmış çeşitli boyutta volkanik malzemeler görülmektedir. EK 1'deki haritada Qt simgesi ile gösterilmiştir.

Alüvyon: Alüvyon birimler çalışma alanı içerisinde özellikle ova kesiminde 270 km^2'lik bir alanda yüzlek vermektedir. Vadiler boyunca dar ve yayılımı az, pekişmemiş kil, kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Çalışma alanı boyunca farklı özellikler sergileyen alüvyonun, vadilerinde çakıllar iri, ova kısımlarda çakıl oranı düşük, kil oranı yüksektir. Çöl Gölünün uç kısımları çalışma alanı içerisinde kalmaktadır ve bu kesimler tabanında

kil oranının yüksekliği ve yağışlı dönemde yeraltısuyu seviyesi yükselmesiyle sazlık, sazlık şeklinde oluşumlar meydana gelmektedir. EK 1'deki haritada Qal simgesi ile gösterilmiştir. Jeolojik birimlerin birbiri ile stratigrafik ilişkileri şekil 3.4'te verilmiştir.



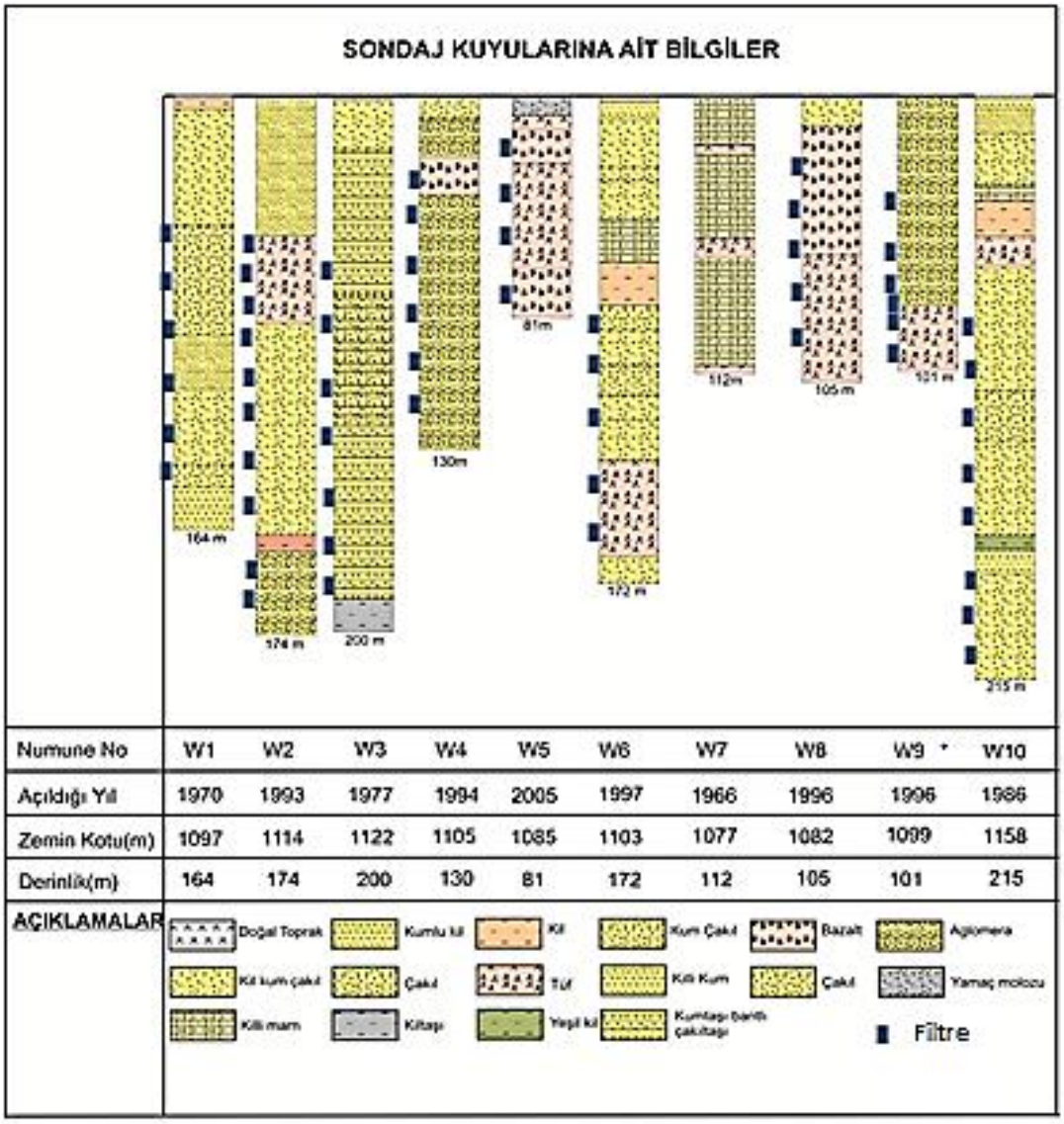
Şekil 3.4 Çalışma alanı genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Öztürk 2011'den değiştirilerek alınmıştır)

3.2 Çalışma Sahası Hidrojeolojisi

Çalışma sahasındaki akifer birimleri tanımlamak için jeolojik birimlerin litolojik ve yapısal özellikleri, jeofizik etütler, sondaj kuyu logu verileri, kaynak çıkış noktaları dikkate alınarak birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Daha önce Develi Havzası'nda şimdiye kadar yapılmış olan hidrojeolojik etüt çalışmalarına göre havzada 3 akifer belirlenmiştir (Öztürk 2010, Bayarı ve Yıldız 2012). Karstik akifer, havzanın en önemli akiferi olup, havzanın güney kesiminde Aladağlar karbonat kayaç sistemine aittir. Bu akifer tez sahasında bulunmamaktadır. Çalışma sahasında yer alan volkano-sedimanter akifer, havzanın kuzeyi, batısı ve doğusunda yüzlek vermekte olup, kırık ve çatlak sisteminin gelişmesi ile masif ve geçirimsiz olan kayaçlar suyu iletebilecek duruma gelerek akifer özelliği kazanmışlardır. Havza ortasında ova düzlüğünde ise yamaçtan göl tabanlarına doğru tane boyu değişken özellik gösteren alüvyon birim yer almaktadır. Alüvyon birim üzerinde yapılan jeofizik çalışmalar özellikle göl kesiminin altında kil olduğunu ve bu kesimlerde geçirimsiz özellikte olduğunu göstermiştir (Kutluğ 2010). Tez kapsamında incelenen kuyu logları ile incelendiğinde göl alanı dışında yer alan alüvyonda açılan W1, W2, W3, W6, W10 numaralı kuyularda 20-35 l/sn verimler elde edilmiş olup, bu kısımlar akifer olarak tanımlanmıştır. Göl ve sazlıkların altında yer alan kil tabakaları alüvyon birime geçirimsiz özellik kazandırmıştır. Bu nedenle çalışma sahasında yüzlek veren alüvyon birim, yamaç ve ovanın bir kısmında (EK 1, olası kil sınırına kadar olan kesimde) geçirimsiz, kil sınırı ve Sultansazlığı kesiminde ise geçirimsiz özellik göstermektedir.

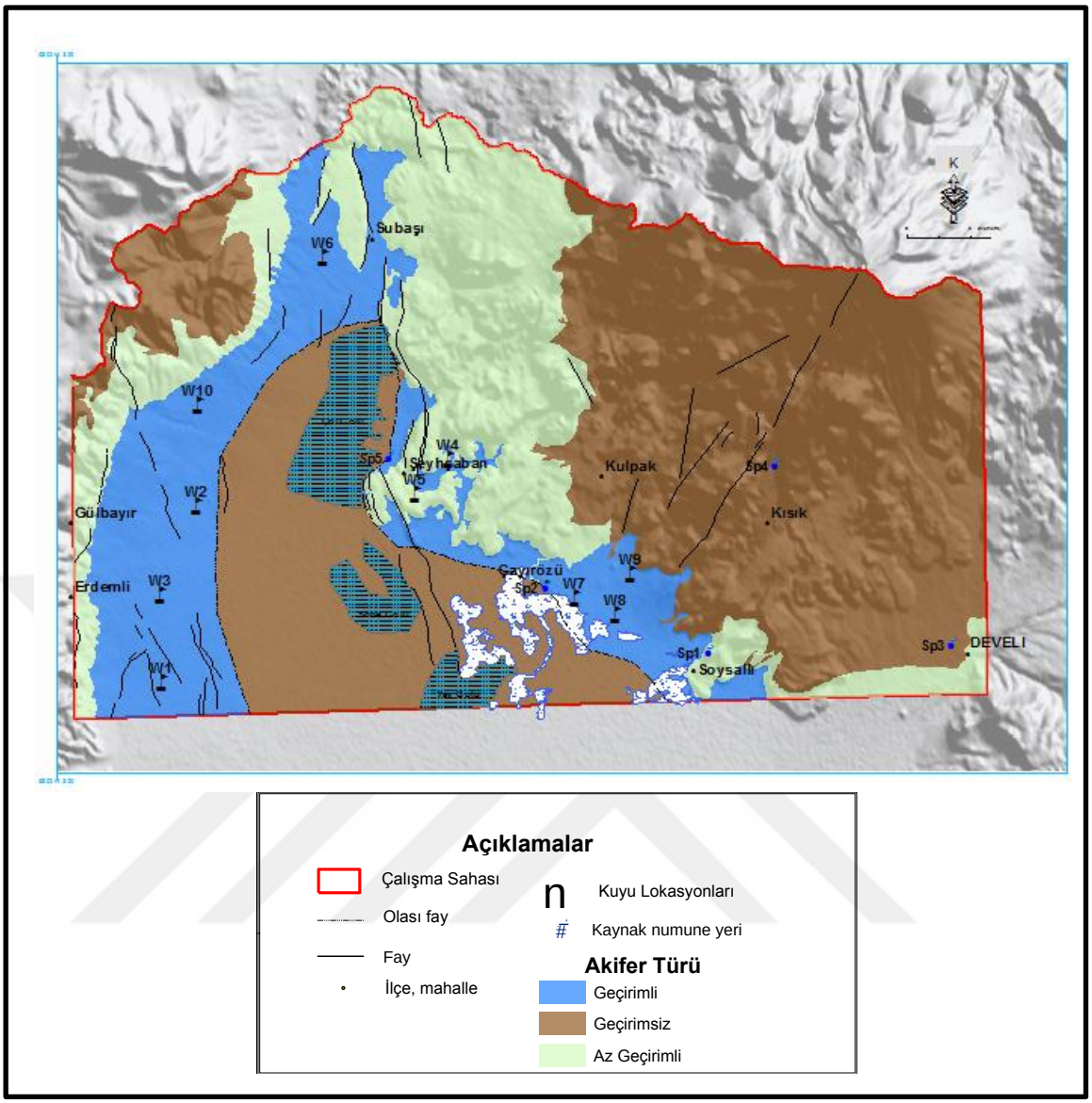
Akifer birimler ve kaynak ilişkileri incelendiğinde, volkano-sedimanter akiferlerin Çayırözü, Soysallı, Elbiz, Kızıkahmet ve Şeyhşabanlı kaynaklarını, tektonik ve volkanik etki ile oluşan kırık ve çatlak sistemlerinin etkisi ile hidrodinamik olarak beslediği ve kaynak şeklinde yüzeye çıktıkları anlaşılmaktadır.

Kuyulara ait loglar ve filtrelerin yerleştirildiği birimler (Şekil 3.5) incelendiğinde akiferlerin üzerinde geçirimsiz örtü olmadığı, serbest akifer konumunda oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3.5 Çalışma sahasındaki kuyulara ait log bilgileri

Çalışma alanı içerisindeki jeolojik birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre; geçirimli, geçirimsiz ve yarı geçirimli olmak üzere 3 grupta toplanmıştır. Jeofizik çalışmalar ve kuyu logları birlikte değerlendirildiğinde göl ve sazlıkların alt kesimlerinin geçirimsiz olduğu, kalın kil tabakaları içerdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle alüvyon birim geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere iki farklı hidrojeolojik özelliktedir. Buna göre, tez alanındaki birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren harita şekil 3.6'daki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 3.6 Çalışma sahası hidrojeoloji haritası (Öztürk 2010'dan değiştirilerek alınmıştır)

3.3 Yapısal Jeoloji

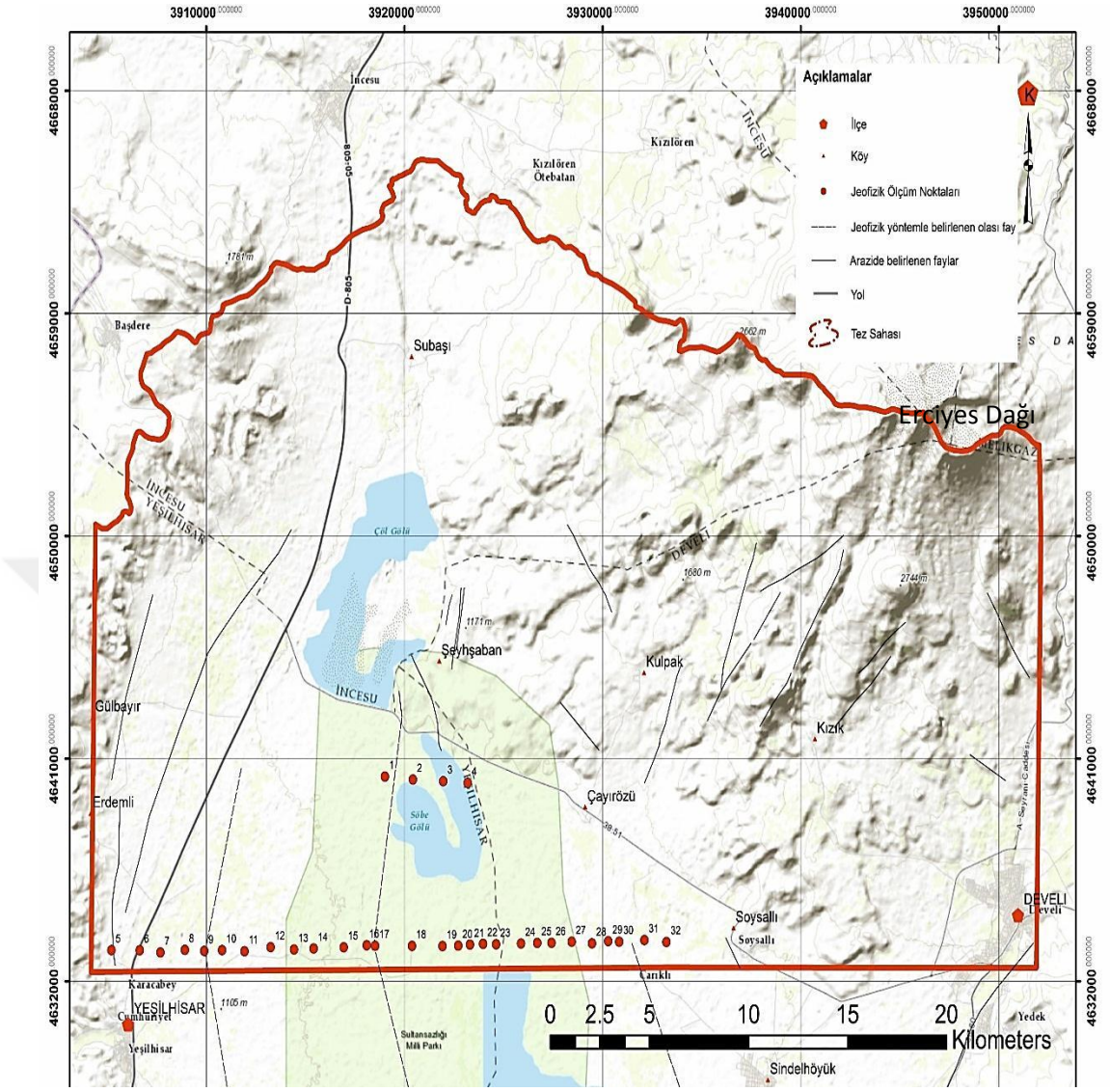
Develi kapalı havzasını oluşturan yapısal unsurlar Erciyes Volkanizması kontrolündedir. Volkanizma sırasındaki hareketlere bağlı olarak fay ve fay sistemleri oluşmuştur.

Koçyiğit ve Erol (2001)'e göre havzanın temel kayaçları Paleozoyik yaşlı olup, metamorfizma geçiren denizel ortamda çökelmiş kayaçlardır. Havzadaki orojenik hareketler Kretase döneminde başlamıştır. Bu dönemde Niğde masifinin metamorfik

kayaçları ve Toros birimleri yan yana gelmiş ve okyanusal taban birimleri yüzeye çıkmıştır. Orojenik hareketlenme sırasında meydana gelmiş ve kontak metamorfizma geliştirmişlerdir. Üst Paleosen sonunda havzanın bir kısmında deniz ortamı tortul kayaçlar oluşurken, bir kısmında deniz tabanında volkanik olaylar başlamıştır. Orojenezin sonunda havzada karasallaşma başlamış ve Eosen karasal çökelleri oluşmuştur. Miyosen sonuna kadar devam eden Ecemiş fayı hareketlenmesi ise havzada açılmaya sebep olmuştur. Açılmayla birlikte Erciyes Dağı volkanik hareketler ile yükselmeye başlamıştır. Volkanizma ve tektonizma etkisiyle topografya günümüzdeki halini almıştır.

3.4 Jeofizik Çalışmalar

Develi kapalı havzasındaki en kapsamlı jeofizik etüt çalışması Kutluğ (2010) tarafından yapılmıştır (Şekil 3.7). Çalışma, örtü tabakasının kalınlık ve yayılımının tespiti, temel kayacın tavan topografyasının ortaya konulması, tuzluluk sınırının belirlenmesi, örtülü fayların tespiti, yeraltı jeolojisinin aydınlatılması amacıyla yapılmıştır.



Şekil 3.7 Develi Kapalı Havzası jeofizik hat ve DES ölçüm noktaları (Kutluğ 2010)

Arazide 2 hatta (1-4, 5-32) toplam 32 noktada Düşey Elektrik Sondajı ölçüleri alınmıştır, ölçü derinliği 800 m'dir. Rezistivite değerlerine göre birimlerin ayrımları yapılmıştır, örtülü faylar ve basınç sırtları tespit edilerek Sultansazlığı ve etrafındaki göllerin oluşumu açıklanmıştır (Kutluğ 2010).

Havzadaki volkanik birimler faylara bağlı olarak basınç sırtları şeklinde yükselmiştir. Tuzlu birimlerden sonra gelen kil, çakıllı kumlu kil, kil-kum-çakıllı fliş ve volkanik birimlerin rezistivite değeri oldukça yükselmiştir (Kutluğ 2010).

Şekil 3.7'de görülen hatlar ve yorumları (Kutluğ 2010):

1. **Hat** 1 ile 2, 2 ile 3, 3 ve 4 nolu des ölçü noktaları arasında fay tespit edilmiştir.

3275 m uzunluğundaki hat rezistivite değerlerine göre kil, marn, kil, kum, çakıl, volkanik birim geçilmiştir. Kil, kum, çakıl seviyeleri merceklenme ve kamalanma şeklinde diğer birimler içinde yer almaktadır. Volkanik birim basınç sırtı şeklinde yükselmiştir. Taban kayanın tavan topografyası tespit edilmiştir.

2. **Hatta**: 9 nolu des ölçü noktasında 11 ile 13 nolu des ölçü noktaları arasında, 17 no lu des noktasında, 30 ile 31 nolu des ölçü noktaları arasında fay tespit edilmiştir.

22 000 m uzunluğundaki hattaki birimler: Tuzlu saha, kil-kum-çakıl, killi kumlu çakıl, volkanik birimlerdir. Volkanik birimler basınç sırtı şeklinde yükselme göstermiştir. 20 m kalınlığında ara tabaka şeklindedir.

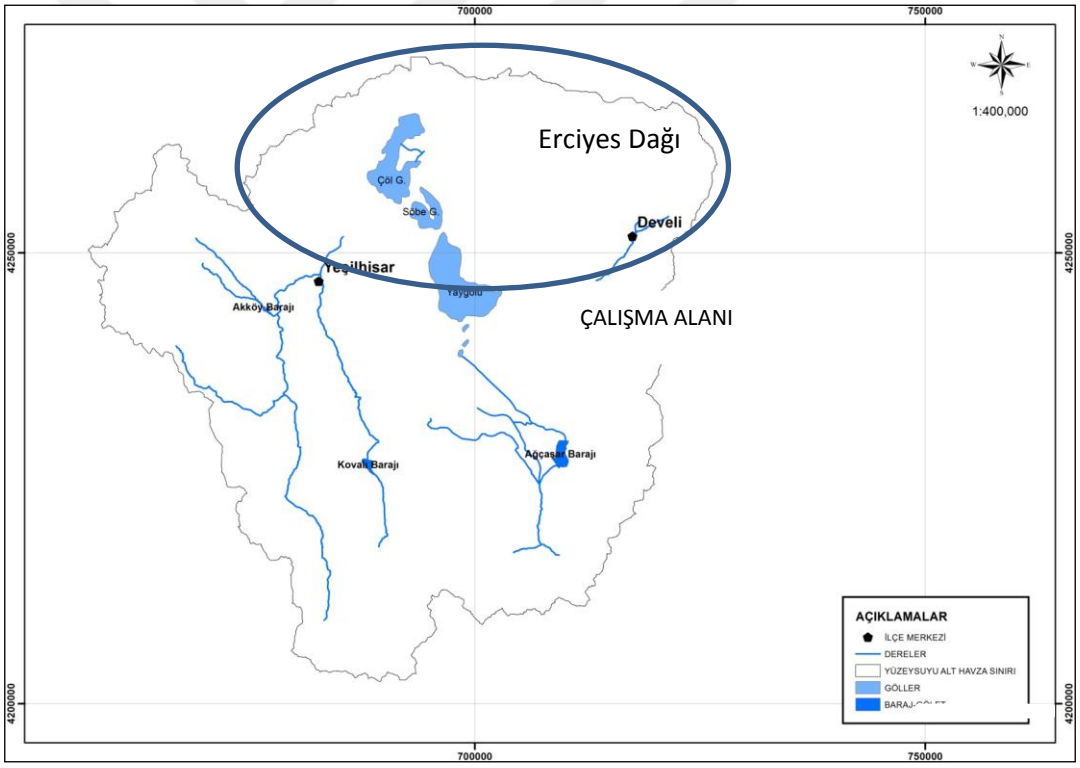
Tez sahası içerisinde yalnızca 2 hat yer almaktadır. Hat 1'de 4 noktada, Hat'2 de 27 noktada DES ölçüsü alınmıştır. Hat 1'in uzunluğu 3275 m olup, geçilen birimler kil, marn, kil-kum-çakıl, çakıl, volkanik birim olarak ayrımlanmıştır. Kil-kum-çakıl, diğer birimler içerisinde mercek ve kamalanma şeklindedir. Volkanik birim tüm birimler içinde yükselmiş olarak bulunmaktadır.Hat-2'nin uzunluğu 22 000 m olup, 27 noktada DES ölçümü yapılmıştır. Geçilen birimler tuzlu saha, kil, kil-kum-çakıl, killi kumlu çakıl ve volkanik birimdir. Birimler arasında örtülü faylar tespit edilmiştir. Volkanik birimler tüm birimler içinde yükselim şeklindedir. Yay Gölü'nün tabanı bu volkanik birimlerden oluşmaktadır.

Kutluğ (2010) jeofizik çalışmaları yanı sıra Öztürk (2011)'de yapılan hidrojeolojik etüt çalışmaları sonucunda havzanın çek-ayır (pull-apart) havza yapısı ortaya konulmuştur. Çek-ayır havzayı şekillendiren basınç sırtları ve olası fayların varlığının tespiti, göl tabanındaki geçirimsiz killi seviyenin varlığı ile göller ve sazlıkların oluşumunda etken olduğu düşünülmektedir.

Yıldız (2007) yapmış olduğu jeofizik çalışma sonuçlarına göre sulak alan ve etrafındaki sazlıkların alt kesimleri kil tabakası ile örtülü olduğunu tespit etmiştir. Göllerin ve sazlıklıkların bulunduğu orta kesimde tane boyutu giderek incelerek, kumdan kile doğru geçiş gösteren akifer kalınlığının ise azaldığı yapılan elektrik özdirenç ölçümleri ile belirlenmiştir.

3.5 Hidroloji

Kapalı havza olması nedeniyle havzada daimi ve sürekli akarsu bulunmamaktadır. Havza içerisinde doğal göller bulunmaktadır. Göller ve civarındaki sazlıklar, Sultansazlığı'nı oluşturmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Develi Kapalı Havzasında göl, baraj ve nehirlerin konumu

Sultansazlığı, Erciyes Dağı'nın güneybatısındaki Develi Ovası'nın en alçak kesimlerinde yer almaktadır. Çalışma sahası, Develi-Yahyalı-Yeşilhisar ilçelerine ait alanlar içerisindedir. Kayseri'ye 70 km uzaklıkta bulunan Sultansazlığı, Uluslararası

Ramsar Sözleşmesi ile koruma altına alınmıştır. Sulak ve koruma alanı olarak önemi anlaşılan Sultansazlığı 15 Mart 1994 tarihli ve 5434 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile Uluslararası Ramsar Sözleşmesi'nin (özellikle su kuşları yaşama ortamı olarak uluslararası öneme sahip sulak alanların korunması sözleşmesi) ikinci ve üçüncü maddeleri uyarınca A Sınıfı Sulak Alanlar listesine alınmıştır. 100 km²'lik alanı kapsayan Develi Ovasının 21.000 ha'lık kısmını ise Sultansazlığı oluşturmaktadır. Develi kapalı havzasının en çukur yerinde oluşan Sultansazlığı'nda, tatlı, tuzlu ve hafif tuzlu açık su yüzeyleri, geniş sazlıklar ve bunları çevreleyen sulak alanlar yer almaktadır. Sultansazlığı'nın suları tatlı olup, derinliği 2 m civarındadır. Su seviyesi mevsimlere göre 40 ile 60 cm kadar değişiklik göstermekte ve bu duruma bağlı olarak yüzey alanı genişlemekte veya daralmaktadır (Anonim 2016). Tatlı ve tuzlu ekosistemlerinden oluşan Sultansazlığı, birçok canlı için yaşam sahasıdır. 25 tür memeli, 25 tür yumuşakça, 40 tür zar kanatlı, 5 tür balık, 301 tür kuş ve 125 tür alg bu sistem içerisinde yaşamaktadır (Karadeniz 2000).

Çalışma alanı içerisinde fay ve volkanizma etkisiyle oluşan kaynaklar yer almaktadır. EK 1'deki haritada konumları verilen kaynakların oluşum şekli aşağıda açıklanmıştır:

Soysallı Kaynağı (SP1): Erciyes volkanizmasına ait Kuvaterner yaşlı volkanik kayaçlarda meydana gelen faylanmaya bağlı olarak gelişmiş bir fay kaynağıdır. Boşalım yaptığı yerde ufak tatlı su gölü oluşturmaktadır (Şekil 3.9). Gölün etrafı mesire alanı şeklinde değerlendirilmektedir. Çayırözü kaynağı ile birlikte, Sultansazlığı'ndaki gölleri ve sazlıkları beslemektedir. Kaynaktan alınan su numunelerinin analiz sonuçlarına göre; Kurak dönemde su tipi Na-Ca-Mg-HCO_3 Yağışlı dönemde su tipi Na-Ca-Mg-HCO_3 tür. Kaynakta ölçülen arsenik değeri 10.37 µg/l (Ekim 2013), 13.77 µg/l (Mart 2014) olup, arsenik için limit değer olan 10 µg/l'den yüksektir.



Şekil 3.9 Develi ilçesi Soysallı Kaynağı boşalım alanı

<u>Çayırözü Kaynağı</u> (SP2): Develi ilçesine bağlı Çayırözü mevkiinde yer alan kaynak, Erciyes volkanizmasına ait olan bazalt ve andezitlerin topografya ile kesiştiği yerlerden boşalım yapmaktadır (Şekil 3.10). Boşaldığı yerde ufak tatlı su gölleri oluşturmaktadır. Kaynak, Sultansazlığı sistemindeki Yay Gölü'nü beslemektedir. Kaynaktan alınan su numunelerinin analiz sonuçlarına göre; Kurak ve yağışlı dönemde su tipi Na-Ca-Mg-HCO_3 tür. Kaynakta ölçülen arsenik değeri 229.37 µg/l (Ekim 2013), 271.03 µg/l (Mart 2014) olup, arsenik için limit değeri olan10 µg/l'den yüksektir.



Şekil 3.10 Develi ilçesi Çayırözü kaynağı boşalım alanı

Elbiz Kaynağı (SP3) : Develi ilçesinde Elbiz mevkiinde yer alan kaynak, Erciyes volkanizmasına ait Pliyosen yaşlı volkanik kayaçların kırık ve çatlaklarından boşalım yapmaktadır. Kaynak, ek İçme suyu amaçlı kullanılan kaynağın etrafı mesire alanı olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.11). Kaynaktan alınan su numunelerinin analiz sonuçlarına göre; Kurak dönemde su tipi Na-Ca-Mg-HCO_3 Yağışlı dönemde su tipi Na-Ca-HCO_3-SO_4 tır. Kaynakta ölçülen arsenik değeri 2.3 µg/l (Ekim 2013), 1.29 µg/l (Mart 2014) olup, 10 µg/l'den düşük olduğu için standartlara uygun değerdedir. Kaynağın beslenme alanındaki kayaçlarının masif olması ve suyun kısa dolaşımda olması nedeniyle arsenik değerinin düşük olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.11 Develi ilçe merkezinde yer alan Elbiz kaynağı boşalım noktası

Kızıkahmet Kaynağı (SP4): Kaynak, Develi Havzası kuzeydoğusunda Kızık mahallesinde yer almaktadır. Volkanik ve piroklastik kayaçlardan beslenen kaynak, fay kaynağıdır (Şekil 3.12). Çıktığı yerden köye kadar kapalı boru sistemi ile taşınan su, içme suyu amaçlı kullanılmaktadır. Kaynaktan alınan su numunelerinin analiz sonuçlarına göre; Kurak dönemde su tipi Na-Ca-Mg-HCO_3 Yağışlı dönemde su tipi Na-Ca-HCO_3-SO_4 tür. Kaynakta ölçülen arsenik değeri Ekim 2013 ve Mart 2014'te 0 olup, arsenik için limit değeri olan 10 µg/l'den düşüktür. Kaynak kotu (1080 m) ve beslenme alanı kayaçları (1500 m) kıyaslandığında suyun kısa dolaşımlı, olduğu bu nedenle arsenik değerinin yüksek olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 3.12 Kızıkahmet kaynağı boşalım noktası

<u>Şeyhşabanlı Kaynağı</u> (SP5): Develi Kapalı havzasının kuzeybatısında Şeyhşaban Mahallesi girişinde yer almaktadır. Bazik kökenli bazalt ve piroklastik kayaçlardan beslenen kaynak, fay kaynağıdır. Kaynağın suyu, Sultansazlığı sistemindeki Çöl Gölü'nü beslemektedir. Şekil 3.13'te kaynağın çıkış noktası görülmektedir. Kaynaktan alınan su numunelerinin analiz sonuçlarına göre; Kurak ve yağışlı dönemde su tipi Na-Cl-HCO_3 tür. Kaynakta ölçülen arsenik değeri 593.35 µg/l (Ekim 2013), 648 µg/l (Mart 2014) olup, arsenik için limit değeri olan10 µg/l'den yüksektir.



Şekil 3.13 Şeyhşabanlı kaynağı boşalım noktası

4. SU, TOPRAK ve KAYAÇLARDA ARSENİK ÇALIŞMALARI

4.1 Arseniğin Kimyası ve Mineralojisi

Arsenik, metal ve ametal arası özellik gösteren metaloid olup, ağır metal grubunda yer almaktadır. Atom numarası 33, atom ağırlığı 74.92 gr, yoğunluğu 5.727 gr/cm^3, erime sıcaklığı 817 °C ve süblimleşme sıcaklığı 613 °C'dir. Arsenik, periyodik tabloda 5A grubunda yeralır ve fosforla benzer özellik gösterir. Arsenik doğada 200'ü aşkın mineral yapısında bulunmaktadır. Doğada bulunma bolluğu 20., insan vücudunda en yaygın bulunan 12. elementtir (Mandal ve Suziki 2002). Genellikle sülfür içeriği yüksek olan volkanik ve sedimanter kayaçlar içerisinde doğal olarak bulunur. Doğal elementer arseniğe ek olarak oksitler, arsenatlar, sülfitler, arsenitler gibi arsenik bileşiği olarak da bulunur. En yaygın arsenik içeren mineraller ise; arsenopirit, realgar, kobaltit, enargit, nikolit ve orpiment sayılabilir (Cullen ve Reimer 1989).

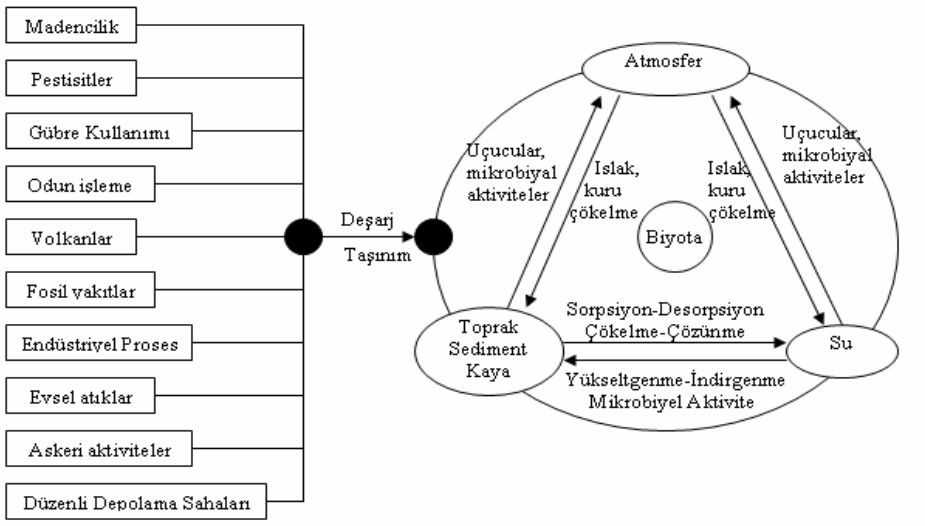
Arsenik, farklı pH seviyelerinde ve indirgen-yükseltgen kosullarda, farklı oksidasyon seviyelerinde (-3, 0, +3,+5) bulunabilir (Smedley ve Kinniburgh 2002). Arseniğin doğal kaynakları; jeotermal alanlar, volkanik kayaçlar, volkanik hareketler, deniz suyu, bazı cevherler (kurşun, bakır gibi), çökel kayaçlar, kayaç erozyonları ve orman yangınlarıdır (EPA, 2003). Arseniğin kadmiyum, kurşun, altın, gümüş, antimon, fosfor ve molibden gibi geçiş elementleri ile yakın ilişkide olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (WHO 2001, Arsenic Project 2008).

Toprak, kayaç ve minerallerin bünyesinde doğal olarak bulunan arsenik; rüzgar ve yağışa bağlı günlenme ile havaya ve suya geçebilmektedir (Chou ve Rosa, 2003).

Toksik bir element olan arsenik yüzyıllardır bilinen bir zehirdir. Akut ve kronik toksisitesi bulunan arseniğin inorganik formları çok daha toksiktir. Arsenik suda partikül ve çözünmüş halde bulunabilir (Jean vd. 2010). Özellikle sudaki arseniğin toksiklik özelliği keşfedildikçe, uygulanan standart değerler düşürülmüştür. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 50 µg/l olan arsenik standart değerini 1993 yılında 10 µg/l'ye

düşürmüştür. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), arsenik sınır değerini 2003 yılında 10 µg/l'ye düşürmüştür (EPA 2009). Dünyadaki diğer ülkelerde de standartın 50 µg/l'den 10 µg/l'ye düşürülmesinin ardından Türkiye'de 2005 yılında yapılan düzenleme ile arsenik için standart değer10 µg/l'ye düşürülmüştür (İTASHY 2005).

Jeojenik kökenli doğal arseniğe volkanik, metamorfik ve sedimanter birçok kayaç türünde rastlanılmaktadır. Taşınımı hava ve su ortamında, ortam koşullarının indirgen veya yükseltgenliğine bağlı olarak farklı oranlarda değişmektedir. Özellikle topraktaki doğal arsenik seviyeleri ana kaya malzemesinin tipi; volkanik aktivite; aşınma, ayrışma ve çökelme dinamikleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma ve tasınım mekanizmalarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Jean vd. 2010). Wang ve Mulligan (2006) tarafından önerilen doğadaki arsenik döngüsü şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Doğada arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan 2006)

Çizelge 4.1 Farklı ortamlardaki arsenik derişimleri (EPA 2000)

Ortam	**Birim**	**Arsenik Miktarı**
Hava	ng/m^3	1,5 - 53
Kirlenmemiş okyanus havasında oluşan yağmur	µg/l	0,019
Karasal havadan oluşan yağmur	µg /l	0,46
Nehirler	µg /l	0,20 – 264
Göller	µg /l	0,38 – 1000
Yeraltısuyu	µg /l	1,0 – 1000
Deniz suyu	µg /l	0,15 – 6,0
Toprak	mg /kg	0,1 – 1000
Nehir sedimanı	mg /kg	5,0 – 4000
Göl sedimanı	mg /kg	2,0 – 300
Volkanik kayalar	mg /kg	0,3 – 113
Metamorfik kayalar	mg /kg	0,0 – 143
Sedimanter kayalar	mg /kg	0,1 – 490

Smedley ve Kinniburgh (2002) tarafından yapılan çalışmada arsenik minerallerinin türleri ve bulunduğu ortamlar sınıflandırılmıştır. En sık rastlanılan arsenik mineralleri sınıflaması çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 En sık rastlanılan Arsenik türü ve bulunduğu ortamlar (Smedley ve Kinniburgh 2002)

Mineral	**Kimyasal formülü**	**Görüldügü Yapı**
Elementer arsenik	As	Hidrotermal damarlar
Orpiment	As_2S_3	Hidrotermal damarlar, sıcak sular, volkanik süblimleşme ürünleri
Realgar	As_2S_2	Damar tipi cevherleşmeler, sıcak sulardan oluşan çökeller
Arsenopirit	FeAsS	En yaygın görülen arsenik minerali, mineral damalarında görülür
Nikolit	NiAs	Hidrotermal zonlar
Kobaltit	CoAsS	Yüksek sıcaklık çökeller, metamorfik kayalar
Tennantit	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$	Hidrotermal zonlar
Enarjit	Cu_3AsS_4	Hidrotermal zonlar
Arsenolit	As_2O_3	Arsenopirit, elementer arsenik veya diğer arsenik minerallerinden oksidasyon ile oluşan ikincil mineral
Claudetite	As_2O_3	Realgar, elementer arsenik veya diğer arsenik minerallerinden oksidasyon ile oluşan ikincil mineral
Skrodit	$FeAsO_4.2H_2O$	İkincil mineral
Annaberjit	$(Ni,Co)_3\ (AsO_4)2.8H_2O$	İkincil mineral
Hoernesit	$Mg_3(AsO_4)2.8H_2O$	İkincil mineral
Haematolit	$(Mn,Mg)_4Al(AsO_4)(OH)_8$	İkincil mineral
Konikalsit	$CaCu(AsO_4)(OH)$	İkincil mineral
Farmakosiderit	$Fe_3(AsO_4)2(OH)_3.\ 8H_2O$	Arsenopiritin ve diğer arsenik minerallerinin oksidasyon ürünü

4.2 Yeraltısularında Arsenik

Yeraltısuyundaki arsenik konsantrasyon değişimi yağış, çözünme, oksidasyon, yükseltgenme, iyon alımı-salınımı süreçleriyle kontrol edilmektedir. Smedley ve Kinniburg (2002)'e göre arseniğin serbest bırakılması iki tetikleyici mekanizmaya bağlıdır; pH>8,5 olduğu kurak ve yarı kurak iklim şartlarında ayrışma ve buharlaşmanın yüksek olduğu, bir diğeri ise nötre yakın ortamlarda indirgenme koşullarında arsenik serbest hale geçmektedir. İlk durumda indirgen ortamda Fe ve Mn oksitlerden arsenik absorbsiyonu ile serbest kalır. Diğer durumda, Fe (II) ve As (III)'ün bol olduğu ve SO_4^{-2} konsantrasyonunun yüksek olduğu ortamlarda arsenik salınımı yüksektir. Bunlara ek olarak Smedley ve Kinniburgh (2002)'ye göre yüksek konsantrasyonda fosfat, bikarbonat, silikat ve organik madde ve arseniğin bulunduğu ortamdan çözünüp yeraltısuyuna karışır. Kim vd. (2000) yaptıkları çalışmada karbonat iyonları ve arsenik çözünürlüğünü araştırmışlardır. Kim vd. (2000) yaptığı çalışmada Mishagen'daki Marshall kumtaşlarındaki bikarbonatların farklı pH ve yükseltgenme koşullarındaki durumları incelenmiştir. Arseniğin akifere geçişini etkileyen en önemli faktörün bikarbonat konsantrasyonu ile ilişkili olduğu görülmüştür.

Anawar vd. (2004) yılında yaptıkları çalışmada arseniğin kayaçtan suya geçişi, yeraltısuyundaki sodyum karbonat ve bikarbonat iyonları konsantrasyonlarına bağlı olduğunu belirlemiştir.

4.3 İnceleme Alanında Yeraltısularındaki Arsenik

Çalışma sahasında 2011 yılında tamamlanılan hidrojeolojik etüt kapsamında alınmış olan numunelere ait analiz sonuçları çizelge 4.3'te verilmiştir. 2009 yılında arsenik değeri ölçümü yapılan kuyularda 3,83-750 µg/l arasında değerler ölçülmüştür. Aynı noktalardan, tez çalışması kapsamında da Ekim 2013 ve Mart 2014 numuneler alınarak analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.3 Hidrojeolojik etüt çalışması kapsamında alınan numunelerdeki arsenik değerleri (Öztürk 2011)

Örnek No	Yer	Tarih	As (µg/l)
W1	Yeşilhisar Kuyusu	10.09.2009	4,56
W2	Gülbayır Kuyusu	09.09.2009	6,44
W3	Erdemli Kuyusu	09.09.2009	3,83
W4	Şeyhşabanlı Kuyusu	01.09.2009	750
W5	Şeyhşabanlı Kuyusu	01.09.2009	632,9
W7	Çayırözü Kuyusu	01.09.2009	258,6
W8	Çayırözü Kuyusu	01.09.2009	254,6
W9	Çayırözü Kuyusu	01.09.2009	75,74
W10	Başdere Kuyusu	10.09.2009	7,82
SP1	Soysallı Kaynağı	01.09.2009	14,75
SP2	Çayırözü Kaynağı	11.09.2009	338,4
SP3	Elbiz Kaynağı	11.09.2009	4,28
SP4	Kızık Ahmet Pınarı	02.09.2009	4,23
SP5	Şeyhşabanlı Kaynağı	11.09.2009	705,8

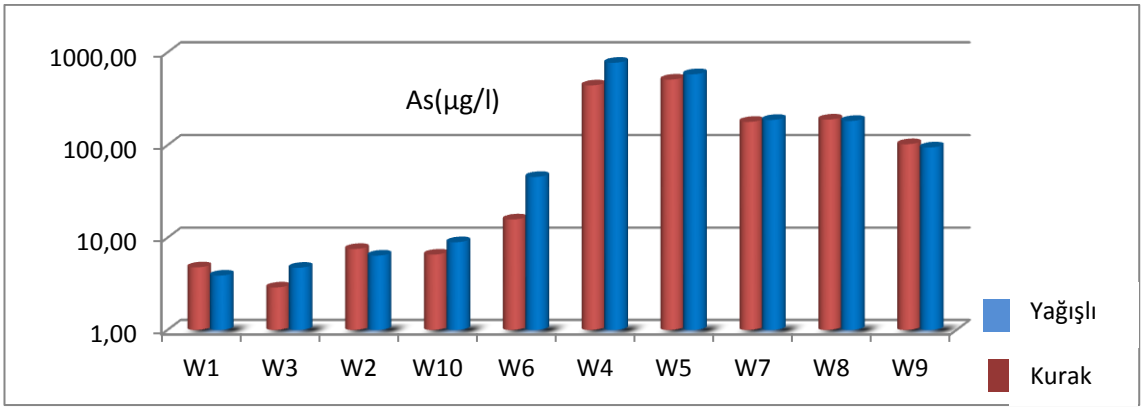
Arsenik için belirlenen ilk limit değer 1958'de Dünya Sağlık Örgütü tarafından 200 ppb olarak belirlenmiştir. Arseniğin insan sağlığına etkisi arttıkça 1963'te bu değer 50 µg/l'ye, 1999'da 10 µg/l'ye düşürülmüştür. Amerika'da ise EPA'nın belirlediği limit değer 1975'te 50 µg/l iken 2001 yılında 10 µg/l olarak değiştirilmiştir. Türkiye'de 1997'de 50 µg/l olarak kabul edilen arsenik limit değeri 17.02.2005 yılında çıkarılan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik ile 10 µg/l olarak kabul edilmiştir.

2013 su yılına göre önce kurak ardından 2014 yılı yağışlı dönemde örnekleme yapılan sahada sudaki arsenik değerleri çizelge 4.4'te verilmiştir. En son yürürlükteki İTASH yönetmeliğine göre limit değer üzerindeki arsenik değerleri kırmızı renkle yazılmıştır.

Çizelge 4.4 Çalışma sahası su kimyası analiz sonuçları

NUMUNE ADI ve NUMARASI		**Kurak Dönem (Ekim 2013) As (µg/l)**	**Yağışlı Dönem (Mart 2014) As (µg/l)**
Yeşilhisar Kuyusu	W1	4,78	3,89
Yeşilhisar Gülbayır Kuyusu	W2	7,56	6,41
Yeşilhisar Kuyusu	W3	2,89	4,73
İncesu Şehyşabanlı Kuyusu	W4	441,37	774,39
İncesu Şehyşabanlı. Kuyusu	W5	510,17	582,87
İncesu Subaşı Kuyusu	W6	15,80	45,59
Develi Çayırözü Kuyusu	W7	178,67	187,44
Develi Çayırözü Kuyusu	W8	189,10	182,94
Develi Çayırözü Kuyusu	W9	102,71	94,75
Ürgüp Başdere Kuyusu	W10	6,57	8,96
Develi Soysallı Kaynağı	SP1	10,37	13,77
Develi Çayırözü Kaynağı	SP2	229,37	271,03
Develi Elbiz Kaynağı	SP3	2,30	1,29
Develi Kızık Ahmet Pınarı	SP4	0,00	0,00
İncesu Şehyşabanlı Kaynağı	SP5	593,35	648,00

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi bazı arsenik değerleri limit değer üzerindedir. Her iki döneme ait sonuçlar şekil 4.2'te verilmiştir.

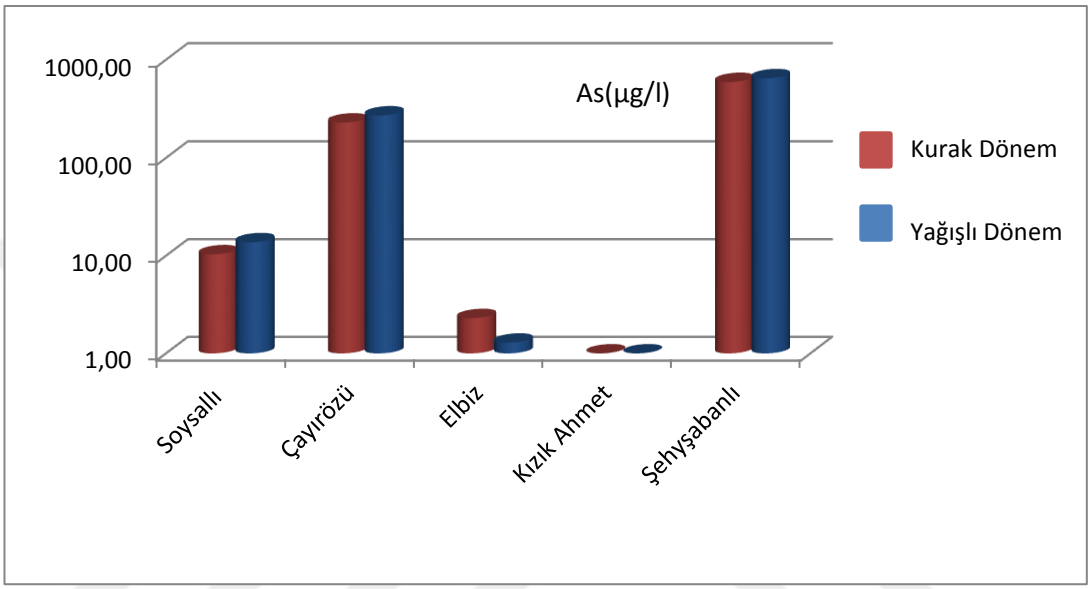


Şekil 4.2 Yeraltısuyu arsenik değerlerinin mevsimlik durumları

Kuyulardan (W3, W10, W6, W4, W5, W7) alınan örneklerde arsenik değerinin genellikle yağışlı dönemde kurak dönemden daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2). Kuyuların açıldığı lokasyonlarda bulunan jeolojik birimlerin aşırı bozunması, kayaçların arsenik içeren volkanik ve piroklastik kayaçlar olması nedeniyle arsenik konsantrasyonunun yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi kayaç yüzeyleri, doğal bitki örtüsünden yoksun ve atmosferik şartlara maruz kalarak bozunmuştur. Genç Erciyes volkanizmasına ait kayaçlar, hızlı soğuma ile oluştukları için kristalleşmesini tamamlayamadığından elementler arasındaki bağlar zayıftır. Kar ve yağmur yağışı geçirimsiz birimlerin yüzeylerinden geçerken birimler içerisine süzülmez ve günlenmiş kısımları yağış akışları ile dağdan ovaya doğru taşınmaktadır. Taşınım yolu boyunca akifer niteliğindeki birimlerden yeraltısuyuna geçiş de gerçekleşmektedir. Erciyes Dağı ve eteklerinden başlayan suyun taşınması ovadaki alüvyon birime kadar, yüzeyden ve yeraltından devam etmektedir.

Bölüm 3.3'te anlatılan çalışma alanındaki yeraltısuları seviyeleri ve arsenik miktarları birlikte değerlendirildiğinde; işletme amaçlı kullanılan kuyulardaki sulama sezonu sonu (Eylül-Ekim) su seviyeleri yükselmektedir. Yağışlı dönemler ve ardından başlayan sulama sezonundaki çekimlerle birlikte kayaçların bozunmuş yüzeylerden aşınım artmakta, fazla su çekimine bağlı olarak kuyuların etki yarı çapı genişleyerek bozunmuş arsenik içeren kuşaklardan su çekimiyle birlikte yeraltısularındaki arsenik değerinin de artabileceği tahmin edilmektedir.

Yeraltısuyu kuyularında olduğu gibi sahadaki bazı kaynaklarda da arsenik değerinin limit değer üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi; Soysallı, Çayırözü ve Şeyhşabanlı kaynaklarında arsenik değerleri yüksektir. Kirlilik nedeni kuyulardaki gibi jeojenik olup, beslenme alanındaki genç bozunmuş olmuş Erciyes volkanik kayaçlarıdır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Kaynak numuneleri analiz sonuçları



Şekil 4.4 Şeyhşabanlı kaynak ve kuyuları beslenme alanındaki volkanik kayaçlar



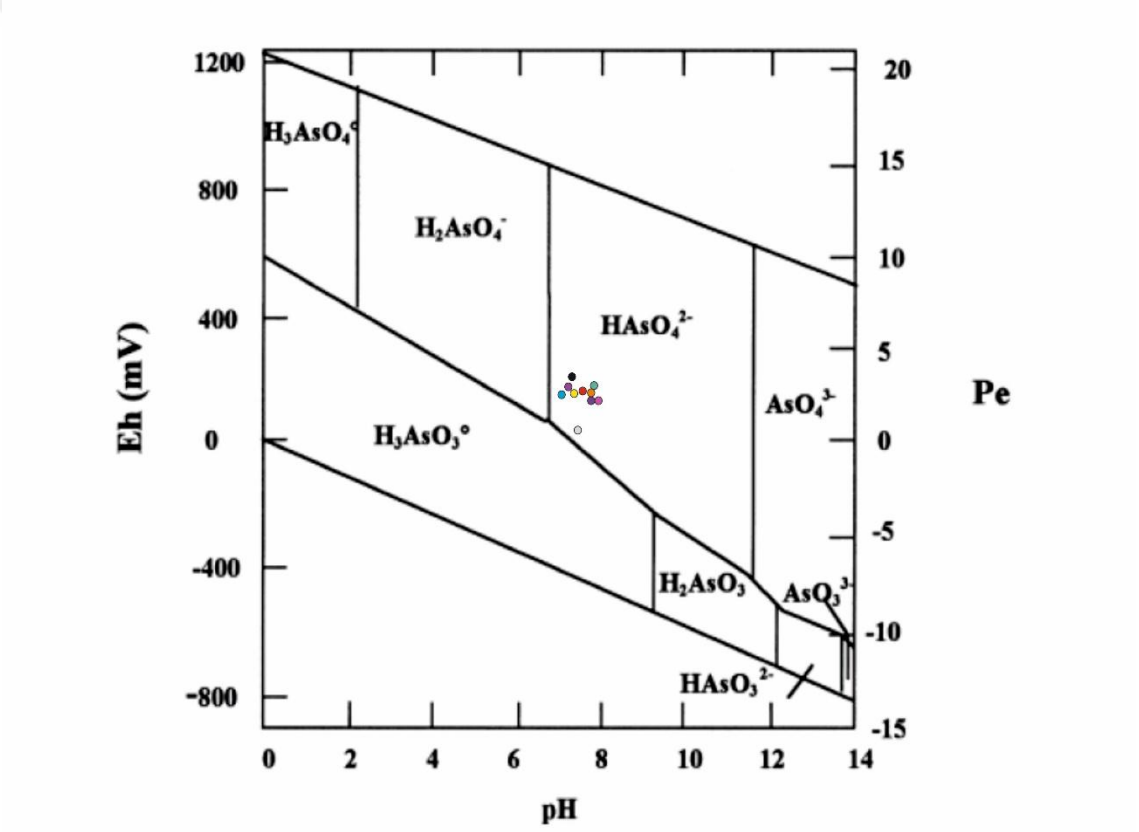
Şekil 4.5 Soysallı kaynağı beslenme alanındaki bazaltlar

Şeyhşabanlı kaynağı beslenme alanındaki kayaçlar şekil 4.4'te, Soysallı kaynağını oluşturan volkanik kayaçlar şekil 4.5'te görüldüğü gibi bozunmuştur. Çayırözü ve Şeyhşabanlı kaynakları beslenme alanlarında ise bozunmuş kayaçların yanı sıra, yüksek topografyadan yağış suları ile taşınıp gelen bozunmuş kayaç yüzeylerinden ayrışan arsenik olabileceği tahmin edilmektedir. Yüksek topografyadaki genç-kristalize olamamış, hızlı soğuma ürünü olan volkanik ve piroklastik kayaçlar yağışın etkisi ile elementer bazda çözünerek düşük topografyalara kadar geçirimsiz birimlerin yüzeyinden, akifer özelliği gösteren birimlerde ise yeraltısuyuna karışarak taşınmaktadır. Ayrıca çalışma sahasında gömülü ve yüzeyde bulunan fayların su sirkülasyonuna etkisi nedeniyle su kalitesini etkilemektedir.

Arseniğin varlığının tespiti kadar türünün de bilinmesi önem taşımaktadır. Arsenik tür tespiti için arazide Eh ölçümü yapılmış ve çizelge 4.5'te verilmiştir. Sonuçlar Eh-pH-Pe grafiği ile değerlendirildiğinde sulardaki arseniğin $HAsO_4^{2-}$ grubuna düştüğü görülmektedir (Şekil 4.6).

Çizelge 4.5 Arazide ölçülen Eh ve pH değerleri

Numune no	pH-arazi	Eh
W4	7,37	214
W5	7,47	194
W7	7,1	165
W8	7,2	168
W9	7,4	158
SP1	7,82	154
SP2	7,83	169
SP3	7,83	158
SP4	7,79	140
SP5	7,48	33



Şekil 4.6 Sudaki arseniğin redoks Eh-pH diyagramı (Smedley ve Kinniburgh 2002)

Mineral türleri Phreeqc Interactive 2.8 programı kullanılarak; arsenik, bor, demir ve mangan elementlerinin değerlikleri ve doygun olduğu mineraller belirlenmiştir. İncelenen sonuçlar EK 2 ve EK 3'te verilmiştir. Yağışlı dönem analiz sonuçlarına göre;

arsenik baskın değeri +5'tir. Türü $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^-$, $HAsO_2$ tir. Kurak dönem analiz sonuçlarına göre; arsenik baskın değeri +5'tir. Türü $HAsO_4^{-2}$, $H_2AsO_4^-$ tir.

4.4 Arseniğin İz Elementlerle İlişkisi

Kimyasal analizlerin yapılması kadar sonuçların yorumlanması da büyük öneme sahiptir. Heterojen olan verilerin kökenini belirlemek ve ana kütleyi homojen olarak ifade etmek için gruplamalar yapılmaktadır. Değişkenler arasındaki benzerlik ya da farklılıklar ortaya konulmaktadır. Genel olarak aşamalı kümeleme yöntemi ve aşamasız kümeleme yöntemi kullanılarak değerlendirme yapılmaktadır. Aşamalı kümeleme yöntemi (Hierarchical Cluster Analysis Methods) en yaygın kullanılan yöntemdir. En yakın komşu yöntemi olarak bilinen bu yöntemde, tek bağ algoritması ile iki küme arasında birbirine en yakın olanları sınıflar birbiri ile ilişkilendirilir. Kümelendirme, SPSS yazılımı ile hesaplanarak dendogramlar ile grafiklendirilir. Değerlendirme R-mod ve Q-mod olmak üzere 2 şekilde yapılmaktadır. R-modda elementler arasındaki ilişki, Q-modda ise numuneler arasındaki ilişkinin yorumlanmasında yardımcı grafikler oluşturulmaktadır (Akpolat vd. 2013).

Tez çalışması kapsamında alınan numune sonuçları Arslan vd. (2017) tarafından ağır metal indeksi (HPI) ile değerlendirmiştir.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i Q_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{|M_i - I_i|}{S_i - I_i} x100$$

$\mathbf{S_i}$ standart değer

$\mathbf{M_i}$ gözlenen değer

$\mathbf{I_i}$ maksimum gözlenmesi istenen değer

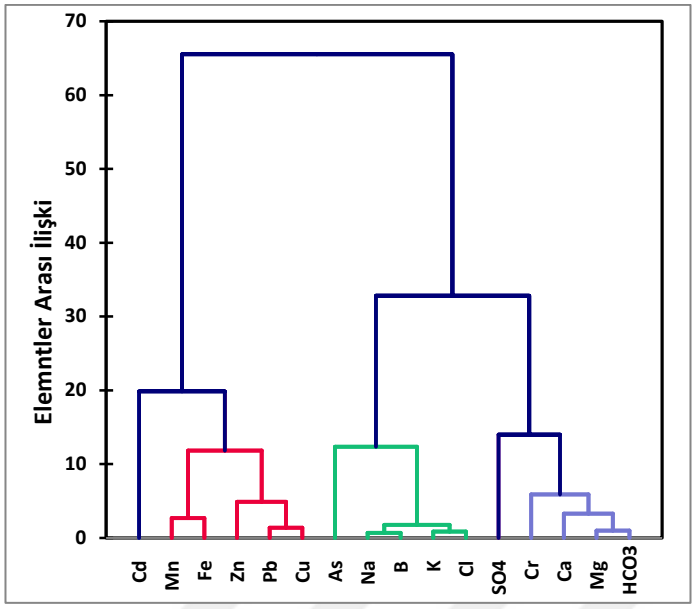
HPI yüzey suları ve yeraltısularında kirlilik değerlendirmesi için kullanılan pratik ve kolay bir araçtır. Bu indeks ile seçilen kirletici parametrelerinin bileşik etkisi belirlenebilmektedir (Prasad vd. 1999). İndeks hesabı için seçili parametrelere içme suyu standartlarına bağlı olarak bir ağırlık atanmaktadır (Wi=1/Si). Ayrıca, metalin gözlenen değeri, standart değeri ve maksimum gözlenmesi istenen değeri kullanılarak bir alt indeks hesaplanmaktadır. Öncel çalışmalara göre kritik kirlilik indeks değeri 100 olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan değerler çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 HPI değerlendirme sonuçları

Numune No	Ekim-2013			Mart-2014		
	HPI	Sapma	Sapma %	HPI	Sapma	Sapma %
W1	12.49	−332.93	−95.55	11.75	−411.43	−118.08
W2	22.52	−322.90	−92.67	52.38	−370.80	−106.42
W3	19.21	−326.21	−93.62	30.87	−392.31	−112.59
W4	1059.85	714.43	205.04	1740.29	1317.11	378.00
W5	1127.38	781.96	224.41	1307.98	884.79	253.93
W6	36.78	−308.64	−88.58	111.20	−311.98	−89.54
W7	395.54	50.13	14.39	411.13	−12.05	−3.46
W8	429.98	84.56	24.27	401.01	−22.17	−6.36
W9	234.04	−111.38	−31.97	209.07	−214.11	−61.45
W10	15.76	−329.66	−94.61	22.73	−400.45	−114.93
SP1	23.55	−321.86	−92.37	31.61	−391.57	−112.38
SP2	501.54	156.12	44.81	593.92	170.74	49.00
SP3	5.66	−339.76	−97.51	4.01	−419.18	−120.30
SP4	0.71	−344.71	−98.93	2.71	993.88	285.23
SP5	1296.27	950.85	272.88	1417.06	−420.47	−120.67

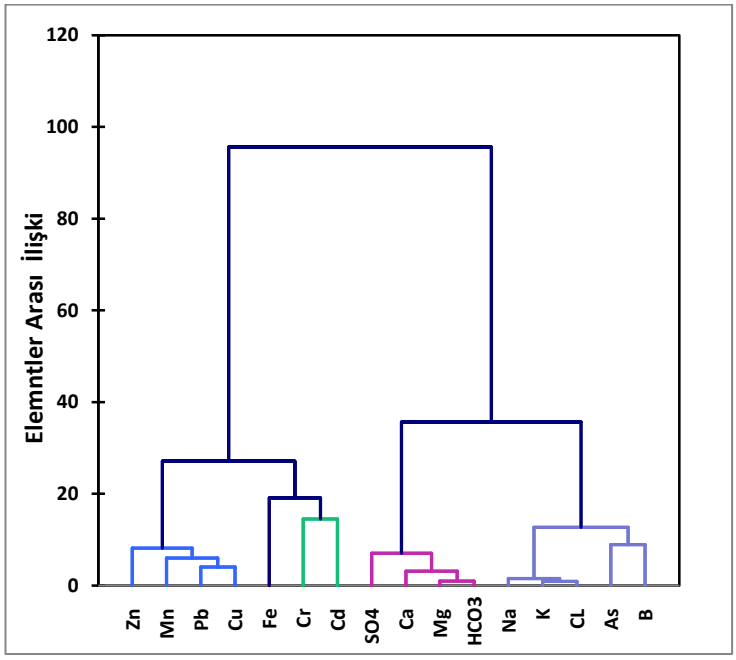
Yapılan çalışmada, yağışlı ve kurak dönemdeki tüm numuneler ve elementler arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir. Demir, mangan, bor ve arsenik değerlerinin içme suyu standartları limit değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir (EK 4).

Yağışlı dönem su kimyası analiz sonuçlarına göre arsenik, sodyum, bor, potasyum ve klorür ile pozitif ilişkili olduğunu göstermektedir. En yakın ilişkide olduğu elementler ise; sülfat, krom, kalsiyum, magnezyum ve bikarbonattır (Şekil 4.7).



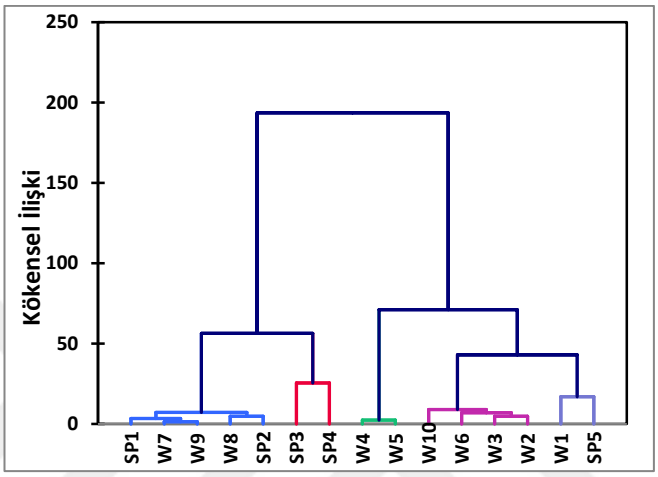
Şekil 4.7 Yağışlı Dönem su kimyası analiz sonuçları R-mod, elementler arası ilişki

Kurak dönem su kimyası analiz sonuçlarına göre arsenik, yağışlı dönemde olduğu gibi bor, klorür, potasyum ve sodyum ile pozitif ilişkili olduğunu göstermektedir. En yakın ilişkide olduğu grup elementler ise; kalsiyum, magnezyum, bikarbonat ve sülfattır (Şekil 4.8)



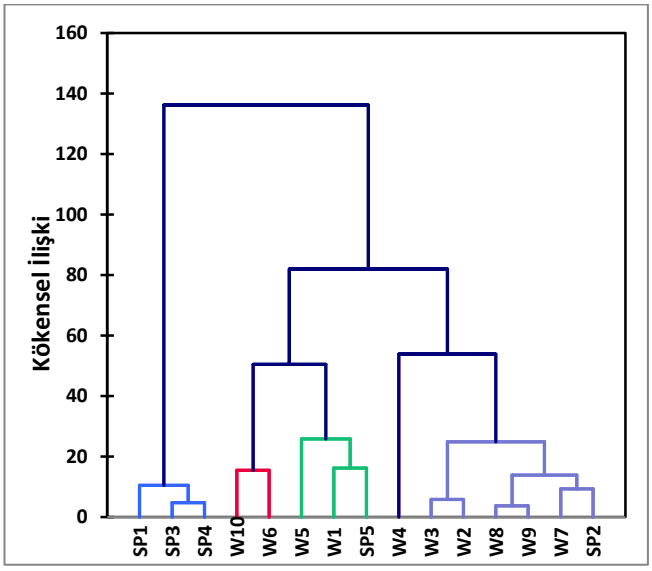
Şekil 4.8 Kurak Dönem su kimyası analiz sonuçları R-Mod, elementler arası ilişki

Elementler arasındaki ilişkinin yanı sıra numuneler arasındaki değerlendirmede kökensel yaklaşımlar yapılabilmektedir. Lokasyonları ve arsenik kirlilik dereceleri incelendiğinde Q-mod ile kökensel ilişkilendirme yapılabilmektedir. Yağışlı dönem sonuçlarına göre; SP3 ve SP4, W4 ve W5, W1 ve SP5, W2 ve W3, W7 ve W9, W8 ve SP2 kökensel olarak benzerlik göstermektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Yağışlı Dönem Q-Mod, Numuneler arası kökensel ilişki

Kurak dönem sonuçlarına göre benzerlik gösteren numuneler; SP2 ve W7, W8 ve W9, W2 ve W3, W1 ve SP5, W6 ve W10, SP3 ve SP4'tür (Şekil 4.10).

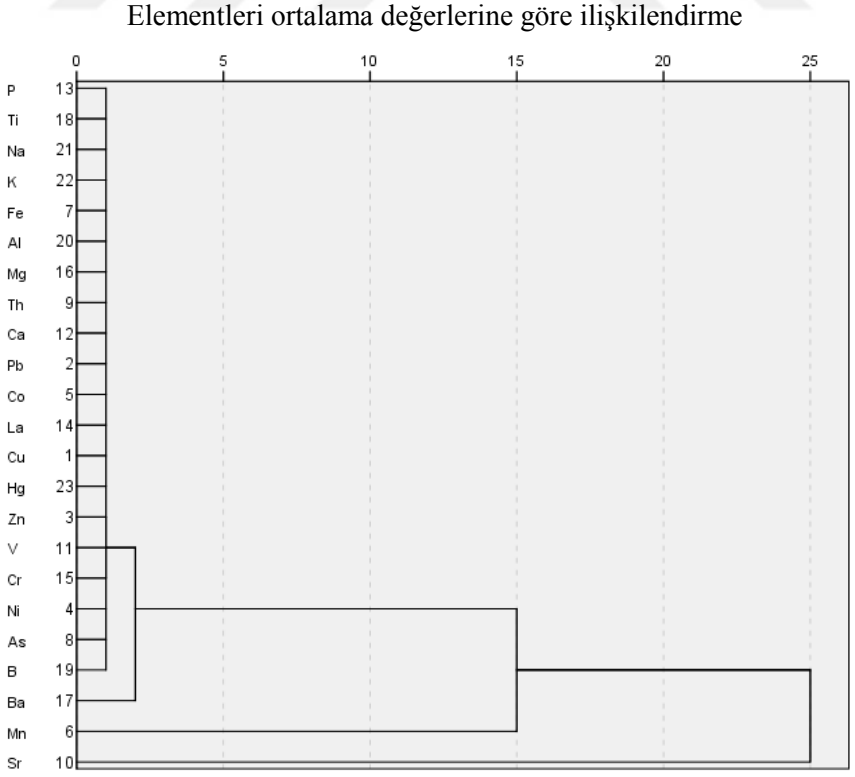


Şekil 4.10 Kurak Dönem Q-Mod, Numuneler arası kökensel ilişki

4.5 Kayaç ve Toprakta Arsenik Çalışmaları

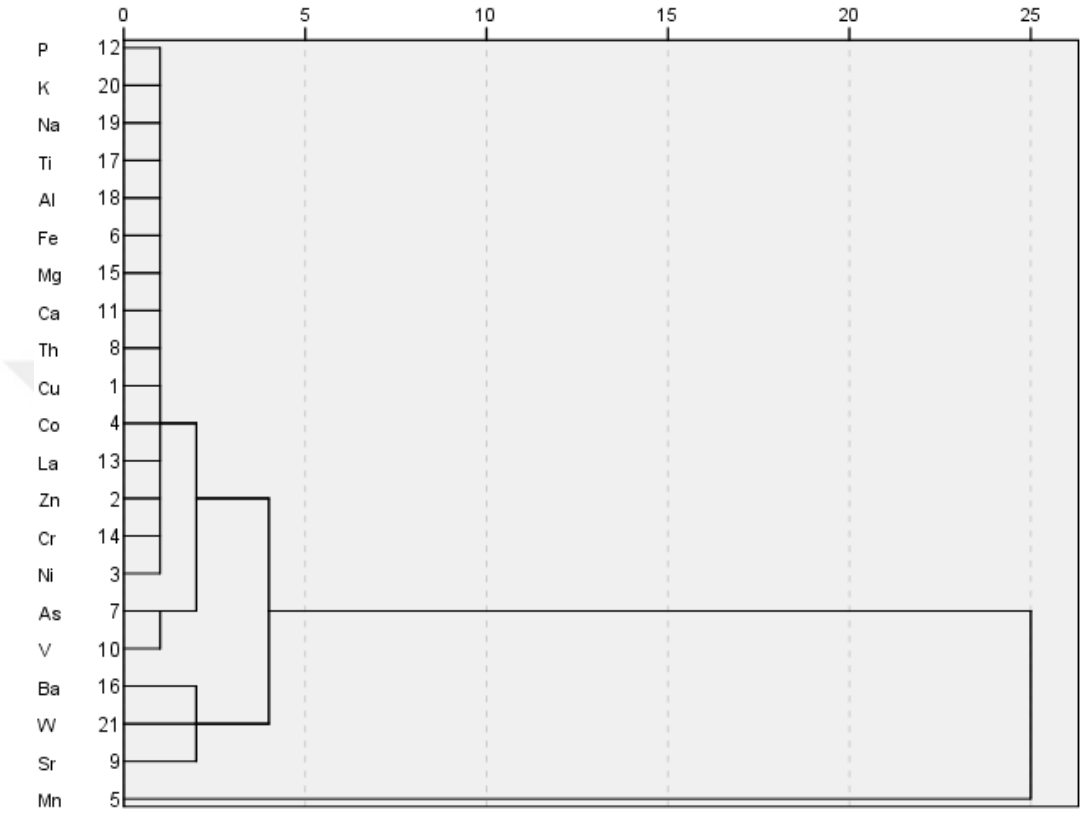
Arseniğin sudaki miktarının zenginleşme nedenini belirlemek için arazi çalışmaları, kayaç ve toprak analizleri yapılarak sonuçlar istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Acme Laboratuvarında yaptırılan deney sonuçları EK 5'te verilmiştir. Arsenik sonuçları değerlendirilirken farklı standart değerler esas alınmıştır. Atabey (2009) Arsenik ve Etkileri kitabında arseniğin toprak ve kayaçtaki standart değerini, su için standart değer olarak kabul edilen 10 µg/l kullanılırken, Turekian ve Wedepohl (1961)'de kıtasal kabukta bulunma değeri 7,2 mg/l alınmıştır. Her iki değere göre kayaç ve toprak analiz sonuçlarında S7, S8, S9, S12, R4 ve R10 numunelerinde arsenik değerleri 8-210 mg/l arasında değişmektedir.

Bölüm 4.4'te anlatıldığı gibi dendogram ile toprak içerisindeki metallerin kökensel ilişkisi incelenmiştir. Toprak içerisindeki elementlerden V, Cr, Ni, As, B, Ba birbirleri ilişkili ve bu grup da Mn ile kökensel ilişkilidir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Toprak numunelerindeki metallerin birbiri ile ilişkisini gösteren dendogram

Kayaç numunelerindeki elementlerden Ba, W, Sr ile; Co, As, Zn, Cr, Ni ile kökensel ilişki olup, her iki grup da Mn ile ilişkilidir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Kayaç numunelerindeki metallerin birbiri ile ilişkisini gösteren dendogram

Kirlilik indeksi ve zenginleşme faktörü hesaplamaları istatistiksel bir yöntem olan jeoakümülasyon (geoaccumulation index, Igeo) ile yapılmıştır. Bu yöntemde numuneler arasındaki kökensel ilişki ve elementler arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Müller (1969) tarafından geliştirilen istatistiksel yöntem elementler arasındaki ilişki (R-mod) ve numuneler arasındaki ilişki (Q-mod) hesaplamalarını yapılmaktadır.

Müller 1969'da toprak kirliliği için aşağıdaki denklemler kullanılır;

Igeo = [log2 (Cn) /1.5 (Bn)]

Burada;

Cn: Topraktaki metallerin konsantrasyonudur,

Bn: Dünya'nın yer kabuğundaki jeokimyasal arka plan değeridir.

Formülden elde edilen jeoakümülasyon indeksi, Müller 1981'e göre 7 sınıfa ayrılmaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Jeoakümülasyon değer, sınıf ve durum tablosu (Müller 1981)

Jeoakümülasyon İndeks Değeri (Igeo)	**Sınıfı**	**Durumu**
Igeo= 0	Sınıf 0	Pratik Olarak Kirlenmemiş
0 \ Igeo \ 1	Sınıf 1	Kirli Olmayan Orta Kirlilik
1 \ Igeo \ 2	Sınıf 2	Az Kirli
2 \ Igeo \ 3	Sınıf 3	Orta -Ağır Kirli
3 \ Igeo \ 4	Sınıf 4	Çok Kirli
4 \ Igeo \ 5	Sınıf 5	Ağır Derecede Kirli
Igeo >5	Sınıf 6	Son Derece Kirli

Tez sahasından alınan numunelerden S7, S8, S9 ve S12 numunelerinde arsenik değerleri 3,7-1,3-3,4-3,4'tür (Çizelge 4.7). Bu değerlerin jeoakümülasyon indeks değeri sınıflamasına göre karşılığı az kirli ve çok kirli durumdadır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7 Toprak analiz sonuçlarında Igeo değerleri

	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**S8**	**S9**	**S10**	**S11**	**S12**	**S13**
Cu	-3,6	-1,5	-1,8	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-1,1	-2,1	-2,2	-1,0	-1,9	-2,6
Pb	ND	-1,4	-1,5	ND	-2,5	ND	-2,5	-1,2	-2,5	-3,2	-1,7	-1,7	-2,8
Zn	-2,0	-1,2	-1,3	-2,8	-1,5	-2,5	-2,0	-1,1	-2,1	-2,7	-1,0	-1,2	-1,6
Ni	-1,4	0,2	0,3	-1,5	0,0	-1,7	-1,0	-0,6	-0,3	-1,8	1,8	-0,9	-0,7
Co	-2,2	-0,8	-0,8	-2,2	-1,2	-2,2	-2,2	-0,3	-1,4	-2,2	-0,1	-2,2	-1,2
Mn	-2,8	-0,8	-1,4	-2,4	-1,5	-2,9	-1,9	-1,2	-1,5	-2,6	-0,9	-2,9	-1,8
As	-2,4	-0,8	-1,1	-1,8	-1,4	-0,8	3,7	1,3	3,4	-1,8	-0,8	3,4	-1,8
Cr	-2,9	-1,9	-1,8	-3,3	-2,3	-3,5	-3,0	-2,6	-2,5	-3,8	-0,8	-3,0	-2,9

Zenginleşme faktörü de ağır metal kirliliğini açıklamak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Toprak numunelerinde referans elementlere göre yapılan bu kıyaslama Buat-Menard ve Chesselet (1979)'e göre;

$$EF = \frac{(Cn / Cref)\ \text{örnek}}{(Bn / Bref)}$$

Burada;

EF ; Zenginleşme Faktörü ,**Cn (örnek);** Toprak örneğinde incelenen metalin konsatrasyonu, **Cref (örnek);** Toprak örneğindeki referans elementin konsantrasyonu, **Bn;** Toprak örneğindeki elementin arka plan değeri, **Bref referans;** Elementin arka plan değeridir.

Zenginleşme faktörüne bağlı olarak yapılan sınıflama şu şekildedir (Çizelge 4.8):

Çizelge 4.8 Zenginleşme faktörü değerine göre zenginleşme durumları çizelgesi

Zenginleşme Faktör (EF) Aralığı	**Zenginleşme Durumu**
0<EF<1	Zenginleşme Yok
1<EF<3	Az Zenginleşme
3<EF<5	Orta Zenginleşme
5<EF<10	Zenginleşme
10<EF<25	Çok Zenginleşme
25<EF<50	Aşırı Zenginleşme
EF>50	Son Derece Ciddi Zenginleşme

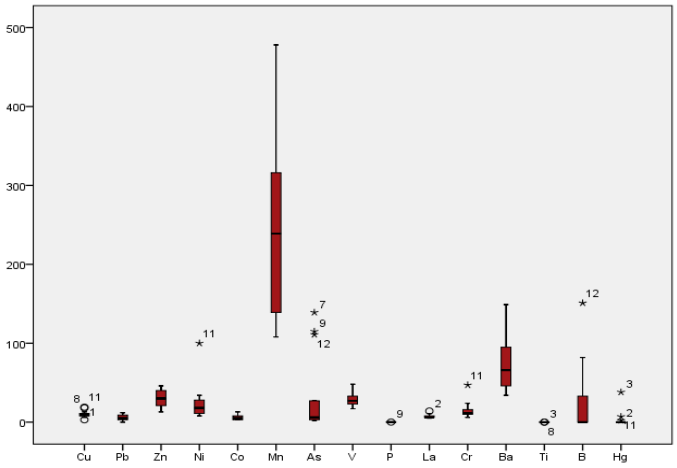
Tez sahasından alınan toprak numunelerine ait zenginleşme değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Verilen değerler, kıtasal kabuk değerleri Turekian ve Wedepohl (1961)'e göre değerlendirilmiştir. Arseniğin topraktaki zenginleşme durumu incelendiğinde; tüm numunelerde "4-196", "orta zenginleşmeden-son derece zenginleşme" arasında değişim

görülmektedir. Bu sonuçlar toprakta en çok zenginleşen elementin arsenik olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.9 Toprak analiz sonuçlarında Zenginleşme (EF) değerleri

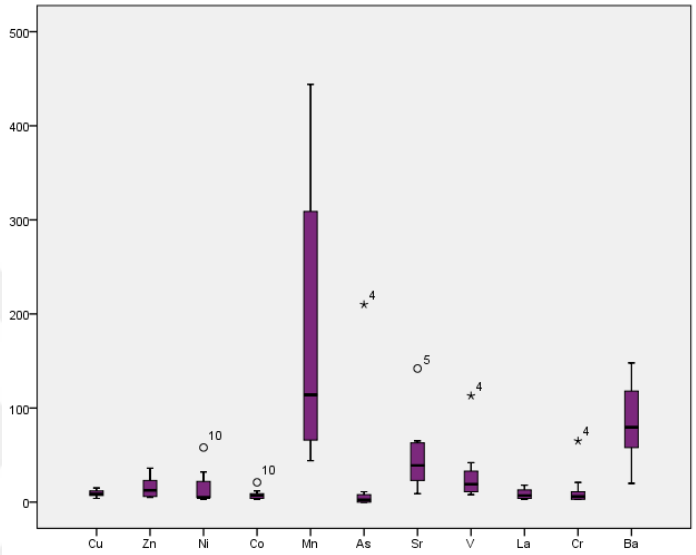
	Toprak Numuneleri													Kıtasal Kabuk Referans değer
Element	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**S8**	**S9**	**S10**	**S11**	**S12**	**S13**	
Cu	1,46	3,27	2,65	4,02	3,78	4,27	3,21	4,18	3,98	3,69	4,82	5,11	3,16	25
Pb	ND	3,64	3,17	ND	2,76	ND	2,35	3,67	2,91	1,82	3,00	6,05	2,77	19
Zn	4,48	4,19	3,71	2,72	5,60	3,16	3,27	3,97	3,87	2,69	4,86	8,51	6,59	60
Ni	7,07	10,92	10,76	6,62	15,48	5,62	6,58	5,80	13,40	4,85	33,35	10,08	12,48	19
Co	4,02	5,53	5,29	4,15	6,93	3,91	2,94	7,02	6,08	3,80	9,05	4,21	8,69	9,1
Mn	2,66	5,46	3,46	3,57	5,60	2,33	3,50	3,79	6,00	2,91	4,97	2,58	5,72	550
As	3,39	5,24	4,18	5,24	5,84	9,88	172,30	21,77	176,76	4,80	5,28	196,86	5,49	7,2
Cr	2,49	2,45	2,67	1,86	3,11	1,54	1,65	1,40	2,87	1,28	5,51	2,36	2,68	54

Topraktaki elementlerin miktarını belirlemek için kutu analiz (boxplot) yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. Söz konusu yöntemde, analiz sonuçları için elde edilen sonuçlar kümelendirme yapılır, en yüksek ve en düşük değerler ise numune numarası ile birlikte ayrı olarak yazılır. Şekil 4.13 incelendiğinde, arsenik değeri grafikte As simgesi ile gösterilmektedir. W7, W9 ve SP2 numaralı örneklerdeki arsenik değerleri kırmızı ile gösterilen küme içerisindeki örneklerden yüksek olduğu için bu şekilde gösterilmiştir. Turekian ve Wedepohl (1961)'in yapmış olduğu referans değerlere göre kıyaslanarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.13 Topraktaki kirliliğin belirlenmesi için yapılan kutu analiz (box plot)

Kayaçtaki elementlerin miktarını belirlemek için de kutu analiz (boxplot) yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır. Şekil 4.14'te verilen değerler Turekian ve Wedepohl (1961)'in yapmış olduğu referans değerlere göre kıyaslanarak yorumlanmıştır. Buna göre; 4 numaralı örnekte As, V, Cr değerleri yüksektir. 10 numaralı örnekte Ni, Co değerleri yüksektir. 5 numaralı örnekte ise Sr değeri diğer örneklere göre yüksektir.



Şekil 4. 14 Kayaçtaki kirliliğin belirlenmesi için yapılan kutu analiz (box plot)

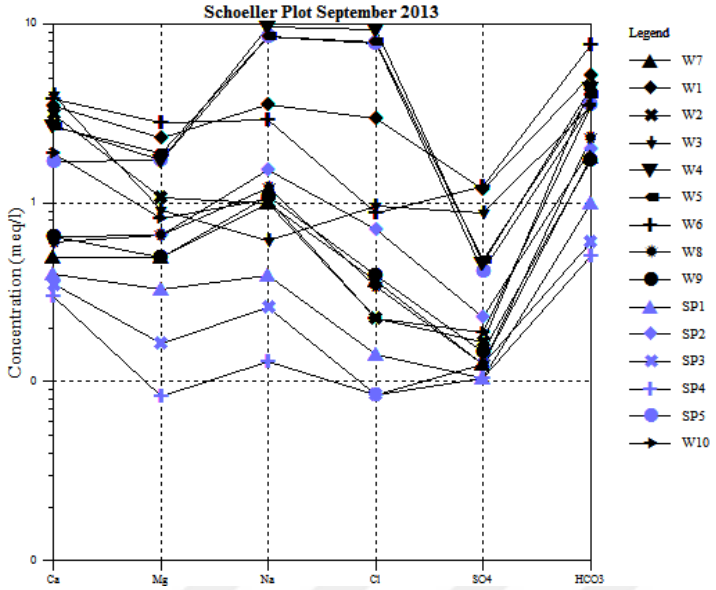
Yapılan tüm toprak ve kayaç analiz sonuçları değerlendirmelerine göre; volkano-sedimanter kayaçların yüzeysel bozunmaya açık oluşu nedeniyle kayaçtan oluşan topraklara ve suya geçtiği tespit edilmiştir. Subaşı-Şeyhşabanlı arasında KB-GD uzanan hat boyunca sudaki arsenik değerleri gibi kayaç ve topraktaki arsenik değerleri de standart değer üzerindedir.

5. HİDROKİMYASAL ÇALIŞMALAR

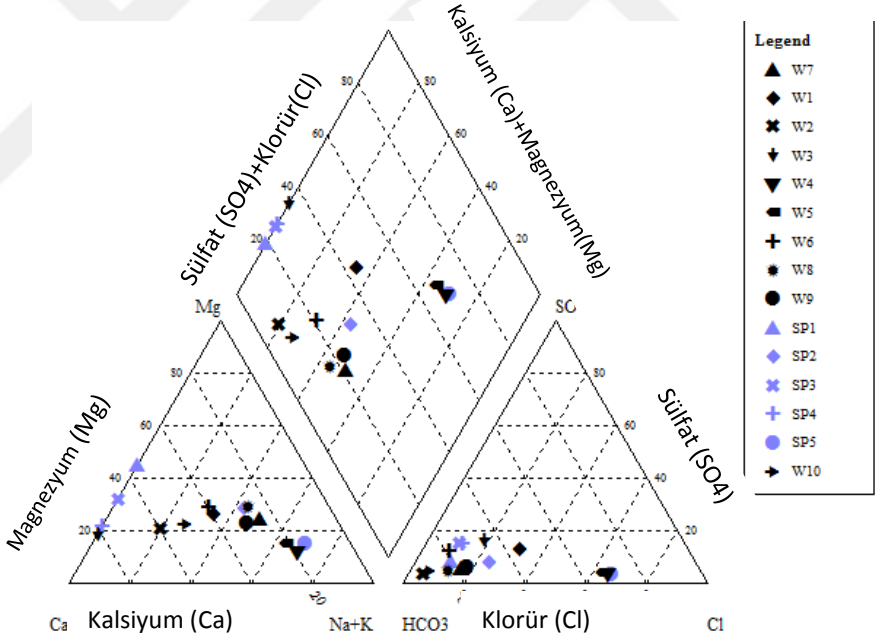
Çalışma alanındaki yeraltısuları ve kaynakların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için kurak ve yağışlı dönemde örnekleme yapılmıştır. Çalışma süresince yapılan su kimyası analizleri kurak dönem ve yağışlı dönemde yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Arsenik için tarihsel olarak uygulanan çeşitli limit değerler olmuştur.

EK 4'te verilen analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü Raporu WHO (2008) ve ITASHY (2005)'e göre yorumlanmıştır. Mangan, demir, arsenik ve bor WHO (2008) ve ITASHY (2005) limit değerlerine göre yüksektir. Tez çalışması için söz konusu olan arsenik değeri, çalışma sahasından alınan 15 adet numunenin 8 tanesinde arsenik değeri limit değer olan 10 µg/l'den yüksek olup 10,37-774,9 µg/l aralığında değişmektedir (EK 4). Mangan değeri için limit değer ITASHY'ne göre 50 µg/l ve WHO'ne göre 400 µg/l dir. Numunelerden 5 tanesinde ölçülen mangan limit değerler üzerindedir. Demir değeri için limit değer ITASHY'ne göre 200 µg/l olup, WHO'ne göre bir limit değer yoktur. Numunelerden 8 tanesinde ölçülen demir limit değerler üzerindedir. Bor değeri için limit değer ITASHY'ne göre 1000 µg/l ve WHO'ne göre 2400 µg/l'dir. Numunelerden 3 tanesinde ölçülen bor limit değerler üzerindedir.

Schoeller ve Piper diyagramları ile değerlendirmeler yapılarak şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.1'deki Schoeller diyagramı Ekim 2013 kurak dönem su kimyası analiz sonuçlarına göre sular; Na-Ca-Mg-HCO_3 tipindedir. Şekil 5.2'deki Piper diyagramı kurak dönem su kimyası analiz sonuçlarına göre SP3, SP4, W3 ve W2 kalsiyumca zengin; SP5, W4 ve W5 sodyumca zengindir. Geriye kalan örneklerde baskın katyon yoktur. W4, SP5 ve W8 örneklerinde baskın anyon klorürdür. W1 örneğinde baskın anyon yoktur, karışık su tipindedir. Geriye kalan örneklerde ise baskın anyon HCO_3 +CO_3'tur.

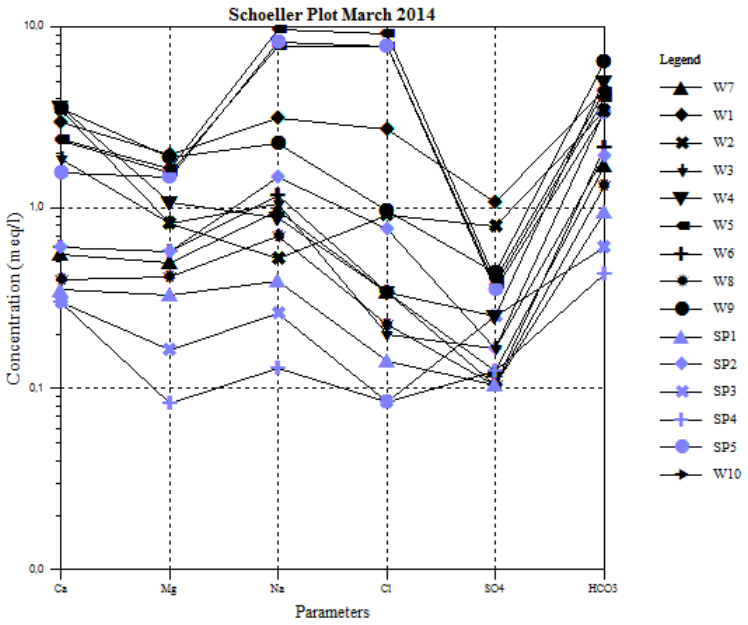


Şekil 5.1 Kurak dönem (Ekim 2013) sularının Schoeller diyagramı



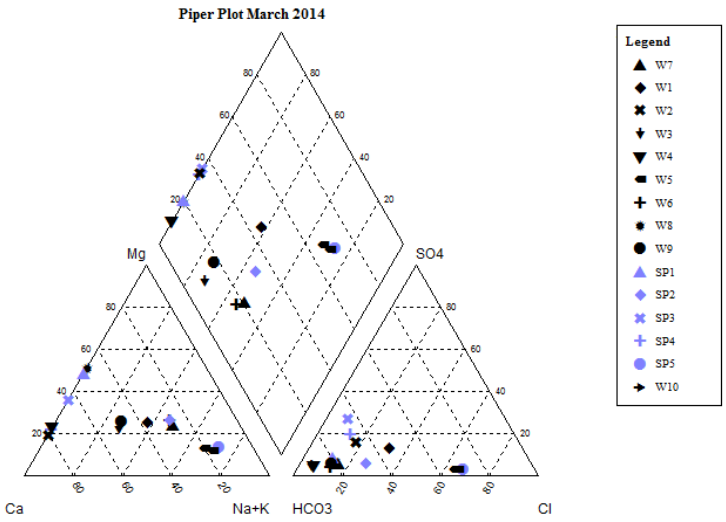
Şekil 5.2 Kurak dönem (Ekim 2013) sularının Piper diyagramı

Şekil 5.3'deki Schoeller diyagramı Mart 2013 yağışlı dönem sonuçlarına göre sular; Na-Ca-Mg-HCO_3 tipindedir.



Şekil 5.3 Yağışlı dönem sularının Schoeller diyagramı

Şekil 5.4'teki yağışlı dönem Piper diyagramı incelendiğinde SP4, W4, W2 ve SP3 numuneleri kalsiyumca zengin; W5 ve SP5 sodyumca zengin olup, geriye kalan örnekler karışık su tipindedir. W5 ve SP5 klorürce zengin, W1 karışık su ve kalan örneklerde ise baskın anyon HCO_3 +CO_3 'tır.



Şekil 5.4 Yağışlı dönem sularının Piper diyagramı

Her iki döneme ait Schoeller ve Piper diyagramları değerlendirilerek çizelge 5.1 oluşturulmuştur. Sulardaki kalsiyum, Develi Kapalı Havzası güneyinde yer alan Aladağ kireçtaşlarından gelmektedir. Sodyum ise havza batısındaki Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar ve genç volkanik kayaçlardan gelmektedir.

Çizelge 5.1 Kurak ve Yağışlı dönem su tipleri

Numune Adı	Kurak Dönem	Yağışlı Dönem
W1	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
W2	Ca-Mg-HCO_3	Ca-HCO_3
W3	Ca-HCO_3	Ca-HCO_3
W4	Na-Cl-HCO_3	Na-Cl-HCO_3
W5	Na-Ca-Cl-HCO_3	Na-Cl-HCO_3
W6	Ca-Na-Mg-HCO_3	Ca-Na-Mg-HCO_3
W7	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-Mg-HCO_3
W8	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-Mg-HCO_3
W9	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-Mg-HCO_3
W10	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-Mg-HCO_3
SP1	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-Mg-HCO_3
SP2	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
SP3	Na-Ca-Mg-HCO_3	Na-Ca-HCO_3-SO_4
SP4	Na-Ca-HCO_3	Na-Ca-HCO_3-SO_4
SP5	Na-Cl-HCO_3	Na-Cl-HCO_3

Su kökeni değerlendirmede yapılmasındaki amaç, hangi mineralin hangi kayaçtan geldiğini belirlemektir. Schoeller ve Piper yöntemleriyle belirlenebilen bu özellik, bazı programların yardımı ile daha detaylı olarak yapılmaktadır. Ek 2 ve Ek 3'te yağışlı ve kurak dönemlerde PhreeqC ile yapılan değerlendirmenin sonucu yer almaktadır. Buna göre yağışlı dönemde;

- Tüm numunelerdeki arseniğin değeri +5 olup, toksit değildir.
- Tüm numunelerdeki arsenik türü $HAsO_4^{-2}$ ve H_2AsO_4 tür.
- Tüm numunelerdeki bor +3 değerlikte olup, türü $B(OH)_3$tür.
- Tüm numunelerdeki mangan +2 değerlikli olup, Mn^2 ve $MnCO_3$ tür.
- W4, W5, W9 ve SP 4 numunelerinde demir +3 değerlikli, diğer numunelerdeki demir +2 değerliğindedir. Demir türleri ise; $FeHCO_3^+$, $Fe(OH)_3$, Fe^{+2} 'tir.
- Su numunelerinin doygun olduğu mineraller ise; dolomit, magnetit, kromit, hematit, siderit, ferrit, götit, çinko ferrit, magnezyum kromit, bakır ferrittir.

Kurak dönem değerlendirmelerine göre;

- Tüm numunelerdeki arseniğin değeri +5 olup, toksit değildir.
- Tüm numunelerdeki arsenik türü $HAsO_4^{-2}$ ve H_2AsO_4 tür.
- Tüm numunelerdeki bor +3 değerlikte olup, türü $B(OH)_3$tür.
- Tüm numunelerdeki mangan +2 değerlikli olup, Mn^2 ve $MnCO_3$ tür.
- W4, W10, SP1, SP2, SP4 numunelerinde demir +3 değerlikli, diğer numunelerdeki demir +2 değerliklidir. Demir türleri ise; $FeHCO_3^+$, $Fe(OH)_3$, Fe^{+2} 'tir.
- Su numunelerinin doygun olduğu mineraller ise; kalsit, dolomit, magnetit, kromit, kuprit, hematit, siderit, ferrit, götit, çinko ferrit, magnezyum kromit, bakır ferrittir.

Su kimyası analiz sonuçlarında ağır metallerde tespit edilen zenginleşmelerin Yahyalı ilçesinde çalışma sahasına uzaklığı 80 km olan uzaklıkta bulunan demir, kurşun, çinko, manganez maden yatağı ile ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan çalışmalar değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Arseniğin sudaki, topraktaki ve kayaçtaki varlığını belirlemek için yapılan analizler ulusal ve uluslararası limit değerlere göre kıyaslanmıştır. Yapılan analizlerle, yeraltısularında 0-750 µg/l, toprakta 2-139 mg/l, kayaçta 2-210 mg/l arasında değişen değerlerde arsenik konsantrasyonu tespit edilmiştir.

Tez alanında antropojenik kaynaklı kirletici olmadığı, arseniğin kökeninin ise jeojenik olduğu belirlenmiştir. Jeojenik kökenli arseniğin kaynakları aşağıda belirtilmiştir:

- Yeni Erciyes evresine ait kayaçların, hızlı soğuma ürünü ve bozunmaya uğraması, doğal vejetasyonun zayıf oluşu, kar ve yağmur yağışları ile yüzeyden taşınması ovada ise yeraltısuyuna geçmesi,
- Havzanın çek-ayır (pull-apart) havza olması nedeniyle geçirmiş olduğu tektonizma ve volkanizma etkisiyle oluşan basınç sırtı nedeniyle, Miyosen-Pliyosen dönemlerinde sürekli malzeme gelimi ile yeraltı suyunda iz element zenginleşmelerinin olabileceği,
- Jeofizik çalışmalarla tespit edilen gömülü faylar ve arazi çalışmalarında gözlenen fayların yoğunlaştığı kesimlerden alınan toprak, kayaç ve su kimyası numunelerinde iz element ve arseniğin daha çok zenginleşme göstermesi,
- Çalışma sahasının kapalı havzada olması, sınırlı olan suyun uzun dolaşımda kayaçlarla etkileşimiyle elementlerin zenginleşmesine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Arseniğin bazı kuyu ve kaynaklarda yağışlı dönemdeki değerleri, kurak dönemdeki değerlerinden daha yüksek bulunuştur. Bunun sebebinin, Erciyes volkanizmasına ait genç volkanik kayaçların hızlı soğuma ürünü olduğu için kristalleşmesini tamamlayamaması nedeniyle bozunmaya açık oluşu, birimlerin genellikle geçirimsiz

olması, yağışa bağlı yıkanma ile bozunmuş yüzeylerden minerallerin ayrışarak, önce yüzey daha sonra da yeraltısuyuna karışması olarak tahmin edilmiştir.

Topraktaki arsenik kirliliği için jeoakümülasyon indeksi kullanılarak kirlenme derecesi belirlenmiştir. Buna göre analiz edilen toprak numuneleri az kirliden çok kirliye geçiş göstermektedir. Zenginleşme faktörüne göre yapılan değerlendirme sonucu orta zenginleşmeden-son derece zenginleşmeye geçiş göstermektedir. Kayaçtan ve topraktan çözünen, bozunmuş yüzeylerden aşınan arsenik, fay ve basınç sırtı ile yeraltısuyu kimyasında meydana gelen değişimlerin jeojenik kökenli olduğu sonucuna varılmıştır.

Arseniğin +3 değerlikli olan türü toksik etki göstermektedir. Çalışma sahasındaki arsenikler ise +5 değerlikli olup, arsenat türündedir.

Tez sahasında Subaşı'ndan Soysallı'ya kuzeybatı-güneydoğu boyunca uzanan hatta su, kayaç ve toprak numunelerinde arsenik değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hat boyunca kayaçların bozunmuş olması, kayaç yüzeylerinde bitki örtüsünün olmayışı yağış ile birlikte çözünerek zayıf yüzeylerden ayrılıp suya geçmektedir. Subaşı'ndan Soysallı'ya kadar alınmış olan su örneklerinde W4-W5-W6-W7-W8-W9, kaynak örneklerinde SP1-SP2, toprak örneklerinde S7-S8-S9-S12, kayaç örneklerinde R4-R5-R10'da arsenik değerleri limit değer olan 10 µg/l'den daha yüksek bulunmuştur.

Çalışma sahasındaki su numunelerinin doygun olduğu mineral türlerini; götit, dolomit, ferrit, kromit, magnetit, hematit, siderit, aragonit, kalsit, kuprit, delafosit, eskolait oluşturmaktadır. Bu minerallerin, tez sahasına uzaklığı 80 km olan Yahyalı ilçesinde bulunan demir-kurşun-çinko- manganez maden yatağı ile ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir. Yapılacak detaylı çalışmalar ile bu konu daha net olarak ortaya konulabilecektir.

Tez alanı içerisinde tek bir litolojik birimi temsil eden araştırma kuyularının açılması, karotlu örnekler alınarak kayaç analizlerinin yapılması arsenik-kayaç ilişkisini net olarak ortaya konulmasını sağlayacaktır.

Tez sahasında arsenik ve iz element miktarının yüksek olduğu, yeraltısularında kirliliğin zamanla değişiminin belirlenmesi için su kalitesi ölçümleri devam ettirilmelidir. Su kalitesi ölçüm sonuçları yeraltısuyu akımı ve kirliliğinin taşınımı model programları ile modellenerek, geleceğe yönelik senaryolar üretilebilecektir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2016. Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Anonymous. 2001. WHO, Arsenic and arsenic compuunds. World Health Organization, 2nd ed., Geneva.

Anonymous. 2003. EPA, Arsenic Treatment Techology evalution Handbook for Small Sytstems. Unites States Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA Report 816-R-03-014

Anonymous. 2008. Web Sitesi: http://users.physics.harvard.edu/~wilson/arsenic/ conferences/ arsenic_project_conferences.html Erişim Tarihi: 27.05.2015

Anonymous. 2008. WHO, World Health Organization Guidelines for Drinking-water Quality (3.rd edition). Geneva, WHO Press.

Anonymous. 2009. EPA, Office of Water National Primary Drinking Water Standarts. Environmental Protection Agency.

Arslan, S., Yucel, C., Çallı, S.S. and Celik, M. 2017. Assessement of heavy metal pollution in the groundwater of the northern Develi closed basin, Kayseri, Turkey, Bull Environ Contam Toxicol, DOI 10.1007/s00128-017-2119-1

Akpolat, O., Odabaş, S.Ç., Özevci G. ve İpteş, N. 2013. Kümeleme Tekniklerinin Temel Bilimlerde Kullanımı, Akademik Bilişim 2013, Akdeniz Üniversitesi, 23-25 Ocak 2013, Antalya

Atabey, E. 2009. Arsenik ve Etkileri, Yer Bilimleri ve Kültür Serisi-3, MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, 91, Ankara

Atabey, E. 1989a. 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji haritaları serisi, H-18 paftası, MTA yayını

Atabey, E. 1989b. 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji haritaları serisi, H-19 paftası, MTA yayını

Atabey, E. ve Ünal, H. 2008. Batı Anadolu'daki Jeolojik Unsurlar ve Halk Sağlığı Projesi, Tıbbi Jeoloji Etüt Raporu. MTA Rapor No: 10067, Ankara (yayımlanmamış)

Atakuru, İ. 2009. Emet ve Hisarcık Bölgesi sularında Arsenik ve Bor Tayini, Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya

Aydar, E., Şen, E., Kürkçüoğlu, B. ve Sezginer, E. 1999. Erciyes Stratovolkanının Volkanik ve Petrolojik Gelişiminin Doğal Risk Potansiyelinin İncelenmesi, Tübitak Proje No: 87, Ankara.

Bayarı, S. and Yıldız, F.E. 2012. Effects os the North Atlantic Oscillation and groundwater use on the contraction of Sultansazliği Wetland. Hydrogeology Journal 20:369-383

Chou, H.S.J. and Rosa, C.T.D. 2003. Case studiesarsenic. J. Hyg. Env. Health. 206, 381-386.

Cullen, W.R. and Reimer, K.J. 1989. Arsenic speciation in the environment. Chemical Reviews 89 (4), 713-764.

Çeliker, M., Türkmen, S., Güler, C. ve Kurt, M.A. 2015. Elazığ Uluova Alüvyon Akiferindeki Arsenik İçeriğinin İncelenmesi, 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 06-10.04.2015, Ankara

Das, D., Chatterjee, A., Mandal, B.K., Samanta, G. and Chakraborti, D. 1995. Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: The biggest arsenic calamity in the world. Part 2. Arsenic concentration in drinking water, hair, nails, urine, skin-scale and liver tissue (biopsy) of the affected people. Analyst 120: 917-924.

Dönmez, M., Akçay, A.E. ve Türkecan A. 2005. 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 49 Kayseri K-34 paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, A.E. 2003. Kayseri-Niğde-Nevşehir Yöresi Tersiyer Volkanikleri, Rapor No: 10575, MTA Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara.

Ekmekçi, M. 2013. Yeraltısu Kaynaklarına Yönelik Ulusal Gözlem ve İzleme Ağı Semineri, 24.01.2013, Ankara

Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C., Baba, A., Bakar, C. ve Gürleyük, H. 2012. Simav Ovası(Kütahya) Yerlatı Suyunda Arsenik Kirliliğinin Araştırılması ve İnsan Sağlığına Olan Risklerinin Değerlendirilmesi, Tübitak Proje No: 109Y029, İzmir

Henke, K. 2009. Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment. ISBN: 978-0-470-02758-57. John Wiley & Sons Ltd.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik. 17/02/2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Jean, J-S., Bundschuh, J., Chen, C.-J., Guo, H.-R., Liu,C.-W,. Lin T.F and Chen, Y-H. 2010. The Taiwan crisis: A show case of global arsenic problem. Balkema: CRC Press.

Karadeniz, N. 1995. Sultansazlığı Örneğinde Islak Alanların Çevre Koruma Açısından Önemi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karadeniz, N. 2000. Sultansazlığı, Ramsar Site in Turkey, Humedales Mediterraneos, 107-114.

Kılıçdağı, R. 1999. "Kayseri Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları", MTA Genel Müdürlüğü Orta Anadolu 1.Bölge Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Sivas, 125s.

Kim, M., Nriagu, J., and Haack, S. 2000. Carbonate ions and arsenic diplacement by groundwater, Environ. Sci. Technol. 34, 3094- 3100.

Koçyiğit, A. and Erol, O., 2001, A Tectonic Escape Structure: Erciyes Pull-apart Basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey. Geodinamica Acta, 14, 133-145.

Kutluğ, H., 2010. Develi-Yeşilhisar Ovası Jeofizik Etüt Raporu, DSİ 12.Bölge Müdürlüğü, Kayseri

Mandal, B.K. and Suzuki, K.T. 2002. Arsenic round the world: a review. Talanta 58(1): 201-235.

Muller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. GeoJournal 2:108–118

Muller G. 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflusse. Chem Ztg 6:157–164

Menard, P. and Chesselet R. 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. Earth Planet Sci Lett 42:399–411

Office of Water National Primary Drinking Water Standards. Environmental Protection Agency. 2009.

Öztürk, N. 2011. Develi-Yeşilhisar Havzası Revize Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ 12.Bölge Müdürlüğü, Kayseri

Parkhurst, D.L. and Appelo CAJ. 1999. User's guide to PHREEQC (version 2)—A computer program for speciation, batch-reaction,one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations:U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, p 312

Smedley, P.L. 1996. Arsenşc in rural groundwater in Ghana. J.Afr. Earth Science 22, 459-470.

Smedley,P.L. and Kinniburgh, D.G. 2002. A rewiev of the source, behaviour and Distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17, 517-568.

Selene, C.H., Chou, J. and De Rosa, C.T. 2003. Case studies – arsenic. I nternational Journal of Hygiene and Environmental Health 206: 381-386.

Somuncu, M. 1988. Develi Ovasının Kuzey ve Batı Bölümünde Rüzgar Erozyonu Sorunu ve Alınması Gereken Önlemler Üzerine Bir Araştırma. Jeomorfoloji Dergisi, 16: 37-45.

Şener, Ş., Davraz, A., Şener, E. ve Varol, S. 2012. Eğirdir Gölü Havzası yüzey ve Yeraltısularındaki Arsenik Kirliliğinin Değerlendirilmesi, 65.Jeoloji Kurultayı, 02-06.04.2012, Ankara

Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the Elements in some majör units of the Earth's crust. Geological Society of America, Bulletin 72: 175-192.

Türkecan, A., Acarlar, M., Dönmez, M., Hepşen, N. ve Bilgin, R. 1998. Kayseri(Bünyan-Develi-Tomarza) Yöresinin jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi, MTA Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara

United States Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA Report 816-R-03-014.

Ünlü, M.İ., Bilen, M. ve Gürü, M. 2011. Kütahya-Emet Bölgesi Yeraltısularında Bor ve Arsenik Kirliliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(4), 753-760.

Wang, S. and Mulligan, C.N. 2006. Occurrence of arsenic contamination in Canada: sources behavior and distribution, Science of the Total Environment 366: 701-721.

Yalçın, G.M., Battaloğlu, R. and İlhan, S. 2007. Heavy Metal Sources in Sultan Marsh and its Neighborhood, Kayseri, Turkey. Environ Geol. 53: 399-415.

Yazıcı, M. 2012. Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinin İz Element ve Kirletici Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas

Yıldız, F.E. 2007. Kayseri-Sultansazlığı Sulak Alanında Yeraltı ve Yerüstü Suları İlişkisinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Yıldız, E. and Gürer, İ., 2009. An Integrated Water Resources Management of Develi Closed Basin in Kayseri-Turkey. G.U. Journal of Science, 22(3): 203-213.

Yıldız, F.E., Unsal, N. and Gurer, İ., 2011. Hydrogeochemical Characteristics of Develi Closed Basin Kayseri Turkey. AQUA mundi: Am04032: 103-116

Yu Chen, M.P.H. and Ahsan, H. 2004. Cancer Burden From Arsenic in Drinking Water in Bangladesh. American Journal of Public Health 94(5): 741-744.

EKLER

EK 1 Çalışma Sahası Jeoloji Haritası ve Kesitler

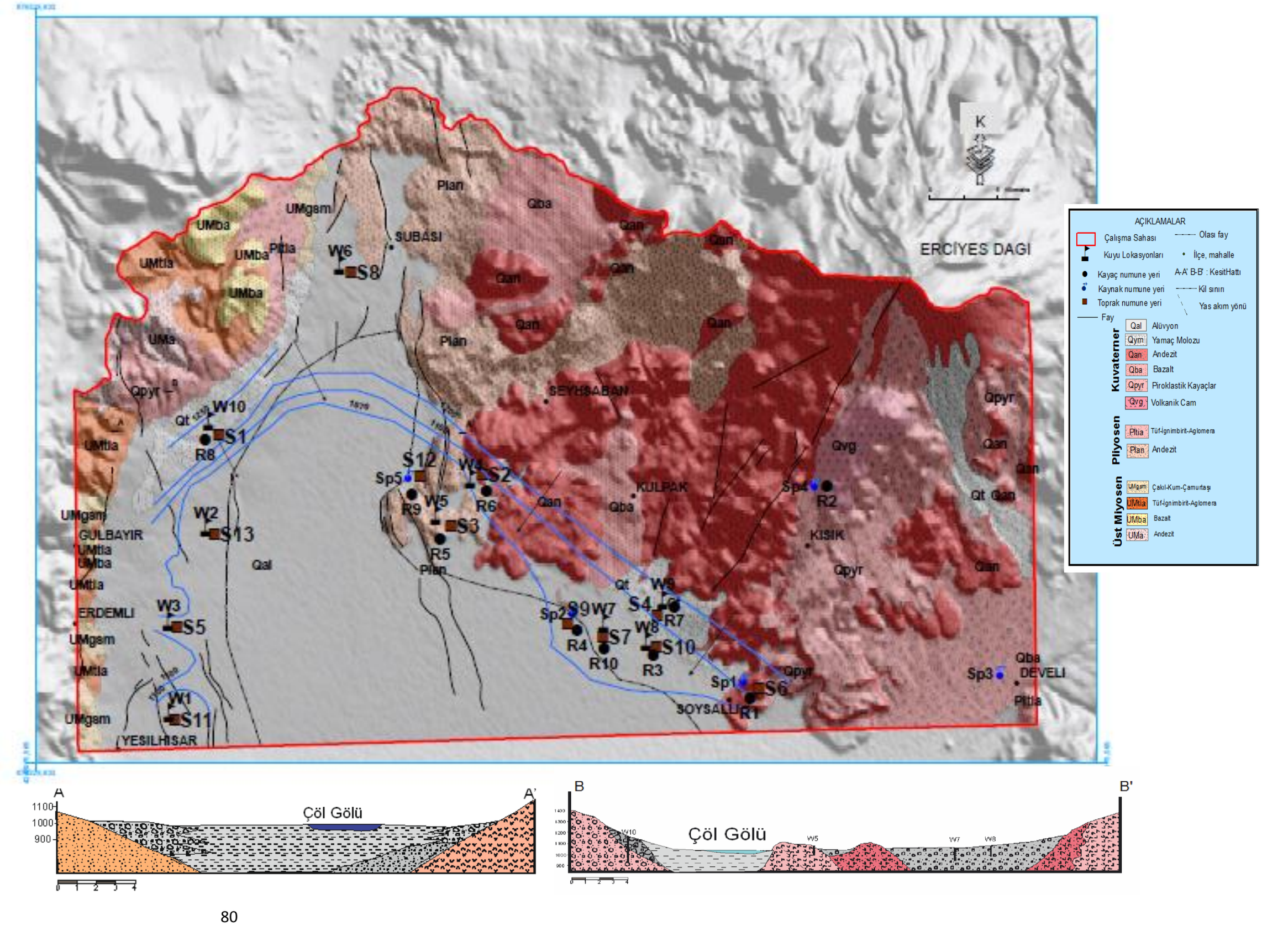
EK 2 Yağışlı Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme

EK 3 Kurak Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme

EK 4 Su Kimyası Analiz Sonuç

EK 5 Kayaç ve Toprak Analiz Sonuçları

Ek 1 Çalışma Sahası Jeoloji Haritası ve kesitler



Ek 2 Yağışlı Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme		YAĞIŞLI DÖNEM											
		Arsenik			Bor			Demir			Mangan		
	Doygun old mineral	Değer	Tür	Yüzde	Değer	Tür	Yüzde	Değer	Tür	Yüzde	Değer	Tür	Yüzde
W1	$CdCr_2O_4$, $CuCr_2O_4$, Dolomit, Ferrit-Cu ve Ferrit-Zn, Götit, Hematit	5	$HAsO_4^{-2}$	80	3	$B(OH)_3$	99	2	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	88.75 (50.53, 33.05)	2	Mn^{+2}	87,5
W2	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Dolomit, $Fe(OH)_3$, Ferrit-Ca, Ferrit-Cu, Ferrit-Mg, Ferrit-Zn, Götit, Siderite,	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	99.999 (68.29, 31.71)	3	$B(OH)_3$	99,41	2	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	97.6 (60.54, 34)	2	Mn^{+2}, $MnCO_3$	92, 4.4
W3	$Fe(OH)_3$, Ferrit-Mg, Ferrit-Ca, Götit, Ferrit-Zn, $CdCr_2O_4$, $CuCr_2O_4$, Magnetit, Kromit, Hematit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	99.999 (69.35, 30.65)	3	$B(OH)_3$	99,4	2	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	96.6 (51.23, 41.71)	2	Mn^{+2}	91,509
W4	Siderite, Kromit (Mg), Ferrit (Ca, Mg, Zn, Cu), Fe(OH)3, Dolomit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	99.999 (86.96, 12.97)	3	$B(OH)_3$	98,32	3 (%71.13) ve 2 (%28.84)	$Fe(OH)_3$ (+3 değerlikli) , $FeHCO_3$ (+2 değerlikli), Fe^{+2} , $Fe(OH)_2$	97.384 (65.02, 15.38, 11.39, 5.594)	2	Mn^{+2}, MnCO3	87.33, 8.67
W5	Kromit (Mg), Ferrit (Ca, Mg, Zn, Cu), $Fe(OH)_3$, Dolomit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	99.999 (88, 11.98)	3	$B(OH)_3$	98,157	3 (%60.35) ve 2 (%39.65)	$Fe(OH)_3$ (+3 değerlikli) , $FeHCO_3$ (+2 değerlikli), Fe^{+2}, $Fe(OH)_2$	55.59, 20.6, 15.95, 4.23	2	Mn^{+2}, MnCO3	86.96, 9.238
W6	Kromit (Mg), Ferrit (Zn, Cu), Dolomit, $CdCr_2O_4$	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (66.53, 33.47)	3	$B(OH)_3$	99,46	2	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	98.52 (65.48, 30.06)	2	Mn^{+2}	90,63
W7	$CdCrO_4$, Kromit, $CdCr_2O_4$, Delafosit, Eskolait, Ferrit-Zn, Götit, Hematit, Kromit (Mg), Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (64.06, 35.94)	3	$B(OH)_3$	99,55	2	Fe^{+2}, $FeHCO_3$	97.61 (55.79, 40.64)	2	Mn^{+2}	96,31
W8	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Götit, Kromit (Mg), Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (53.93, 46.07)	3	$B(OH)_3$	99,66	2	Fe^{+2}, $FeHCO_3$	99.22 (51.96, 45.67)	2	Mn^{+2}	96,55
W9	Magnetit, Kromit (Mg), Götit, Ferrit (Zn, Cu)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (87.67, 12.33)	3	$B(OH)_3$	98,09	3 (53.58) ve 2 (46.42)	$Fe(OH)_3$ (+3 değerlikli) , Fe+2, $FeHCO_3$ (+2 değerlikli)	96. 818 (50.103, 27.513, 15.72)	2	Mn^{+2}	92,74
W10	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Ferrit (Cu ve Zn), Götit, Hematit, Magnetit, Kromit (Mg)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (71.15, 28.85)	3	$B(OH)_3$	99,3	2 (94.99) ve 3 (4.96)	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	91.86 (52.44, 39.42)	2	Mn^{+2}	93,18
SP1	Kromit (Mg), Magnetit, Ferrit-Cu, $CuCr_2O_4$, Kromit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	99.999 (59.19, 40.78)	3	$B(OH)_3$	99,62	2 (98.72) ve 3 (1.288)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$, $Fe(OH)_3$	98.498 (68.43, 29.065, 1.003)	2	Mn^{+2}	97,66
SP2	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Ferrit (Cu ve Zn), Götit, Hematit, Magnetit, Kromit (Mg)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (93.12, 6.88)	3	$B(OH)_3$	99,58	2 (97.86) ve 3 (2.13)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$, $Fe(OH)_3$	97.43 (53.72, 41.996, 1.717)	2	Mn^{+2}	95,95
SP3	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Götit, Hematit, Kromit (Mg), $ZnCr_2O_4$	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (65.63, 32.43)	3	$B(OH)_3$	99,46	2 (95.309) ve 3 (4.655)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$, $Fe(OH)_3$	97.83 (72.808, 21.13, 3.889)	2	Mn^{+2}	96,76
SP4	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Hematit, Kromit (Mg)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (88.54, 11.42)	3	$B(OH)_3$	97,973	3 (55.09) ve 2 (44.904)	$Fe(OH)_3$ (+3 değerlikli) , Fe+2, $FeHCO_3$ (+2 değerlikli)	94.65 (51.89, 35.83, 6.93)	2	Mn^{+2}, MnCO3	89.22, 2.327
SP5	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Götit, Hematit, Kromit (Mg)	5 (61.4) ve 3 (38.6)	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$ $HAsO_2$, $As(OH)_2$	99.83 (40.69, 20.714, 20.47, 17.953)	3	$B(OH)_3$	99,484	2	$FeHCO_3$, Fe^{+2}	97.396 (51.48, 45.916)	2	Mn^{+2}	93,82

Ek 3 Kurak Dönem Su Kimyası Sonuçları Değerlendirme		KURAK DÖNEM											
		Arsenik			Bor			Demir			Mangan		
	Doygun old mineral	Değer	TÜR	Yüzde	Değer	TÜR	Yüzde	Değer	TÜR	Yüzde	Değer	TÜR	Yüzde
W1	Kalsit, $CdCr_2O_4$, $CuCr_2O_4$, Dolomit, Kromit (Mg),	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (84.38-15.62)	3	$B(OH)_3$	98,61	2 ve 3 (79.816, 20.153)	$FeHCO_3$, Fe^{+2} (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ (3dğl)	45,98-27,30-18,21	Mangan verisi eksik olduğu için hesaplama yapılmamış.		
W2	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Ferrit (Cu ve Zn), Götit, Hematit, Magnetit Kromit (Mg)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	59,85-40,15	3	$B(OH)_3$	99,81	2	$FeHCO_3$,Fe^{+2}	61,15-37,62	2	Mn^{+2}	95,51
W3	Aragonit, Kalsit, $CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Dolomit, $Fe(OH)_3$, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Hematit, Kromit (Mg), Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	87,09-10,57	3	$B(OH)_3$	98,21	2 ve 3 (57.15, 42.82)	$FeHCO_3$, Fe^{+2} (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ (3dğl)	29-23.34-39,5	2	Mn^{+2}, MnCO3	85,74-9,07
W4	$CdCr_2O_4$, Serizit, Kromit, $CuCr_2O_4$, Kuprit, Dolomit, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Hematit, Kromit (Mg), siderit, $Fe(OH)_3$	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	84,87-15,11	3	$B(OH)_3$	98,52	3 (58.99) ve 2 (41.009)	$FeHCO_3$, Fe^{+2} (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ $Fe(OH)_2$ +(3dğl)	22,33-16,45-53,13-5,5	2	Mn^{+2}, $MnCO_3$	88,41-7,3
W5	Magnetit, Hematit, Götit, Kalsit, Dolomit, Kromit (Mg), Ferrit (Cu, Mg, Zn)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	87,39 - 12,61	3	$B(OH)_3$	98,24	2, 3	$FeHCO_3$, Fe^{+2} (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ $Fe(OH)_2$ + (3dğl)	11,11-18,19-50,90-4,17	2	Mn^{+2}, $MnCO_3$	88,2-8,5
W6	Magnetit, Hematit, Götit, Kalsit, Dolomit, Kromit (Mg), Ferrit (Cu, Mg, Zn)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	76,06- 23,9	3	$B(OH)_3$	97,56	2 (95.761) ve 3 (4.234)	$FeHCO_3$, Fe^{+2}, $FeCO_3$ (2dğl)- $Fe(OH)_3$	65,18-23,03-4,5-3.595	2	Mn^{+2}, $MnCO_3$	85-8
W7	Kuprit, Ferrit (Cu, Zn), Götit, Hematit, Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	70,65-29,34	3	$B(OH)_3$	99,32	2 (94.874), 3 (5.172)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$ (2dğl)- $Fe(OH)_3$ (3dgl)	52,71-39,48-4,3	2	Mn^{+2}	95,55
W8	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Kuprit, $Fe(OH)_3$, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Hematit, Kromit (Mg), $ZnCr_2O_4$	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	75,56-24,39	3	$B(OH)_3$	99,21	2(89.896) ve 3 (10.104)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$, $FeCO_3$ (2dgl)- $Fe(OH)_3$ (3dgl)	44,67-41,81-3-8,7	2	Mn^{+2}	93,99
W9	$CdCr_2O_4$, $CuCr_2O_4$, $Fe(OH)_3$, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Kromit (Mg),	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	82,64-17,3	3	$B(OH)_3$	98,76	2 (76.357) ve 3 (23.621)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$, $FeCO_3$ (2dgl)- $Fe(OH)_3$ (3dgl)	41,8-30,28-3,5-21,7	2	Mn^{+2}	93,2
W10	Kalsit, Dolomit, $Fe(OH)_3$, Ferrit (Ca, Mg, Zn), Götit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	88,83-11,14	3	$B(OH)_3$	97	3 (59.859) ve 2 (40.116)	$FeHCO_3$, Fe^{+2}, $FeCO_3$ (2dgl)- $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ +(3dgl)	20,67-15,62-3,5-55,95-3,3	2	Mn^{+2}	94,5
SP1	$CdCr_2O_4$, Kromit, $CuCr_2O_4$, Ferrit (Cu ve Zn), Götit, Hematit, Kromit (Mg)	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	100 (92.41-7.6)	3	$B(OH)_3$	96,93	3 ve 2 (84.66, 15.31)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$ (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ $Fe(OH)_2$+ (3dğl)	9,6-4,2-80,53-2,73	2	Mn^{+2}	91,03
SP2	Dolomit, Ferrit (Ca, Cu, Mg, Zn), Götit, Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	92,97-7	3	$B(OH)_3$	96,65	3 (88.781) ve 2 (11.219)	$Fe(OH)_3$ (+3), Fe^{+2}, $FeHCO_3$+	84.43, 5.412, 4.336	2	Mn^{+2}- $MnCO_3$	84,85-12,86
SP3	Ferrit (Cu), Götit, Hematit, Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	76,68-23,31	3	$B(OH)_3$	99,13	2 (84.46) ve 3 (15.539)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$ (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ (3dğl)	64,55-17,62-13,8	2	Mn^{+2}	97,19
SP4	Ferrit (Cu), Götit, Hematit, Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	89,88-10,06	3	$B(OH)_3$	97,67	3 (63.76) ve 2 (36.24)	Fe^{+2}, $FeHCO_3$ (2 dğl)- $Fe(OH)_3$ $Fe(OH)_2$+ (3dğl)	27,63-6,5-60,31-2,66	2	Mn^{+2} $MnCO_3$	88,01-8,09
SP5	Dolomit, Götit, Magnetit	5	$HAsO_4^{-2}$ ve $H_2AsO_4^-$	87,03-12,43	3	$B(OH)_3$	98,21	2 (99.75)	$FeHCO_3$, Fe^{+2}, $FeCO_3$	49,55-42,86-6,38	2	Mn^{+2}	95,41

EK 4 Su Kimyası Analiz Sonuçları

Ölçülen Parametre	pH		EC		Pb		Zn		Cr		Mn		Fe		Cu		Cd		As		B	
Birim			µS/cm		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l		µg/l	
Ölçüm Zamanı	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14	Eki.13	Mar.14
W1	7,38	7,45	926	932	0,11	0,25	N.D.	N.D.	6,11	6,81	N.D.	0,14	7,3	64,25	1	0,91	0,03	0,09	4,78	3,89	880	950
W2	6,5	6,78	481	540	0,89	4,21	25,68	52,44	1,03	3,16	12,1	88,56	883,79	7212,6	3,22	17,83	0,05	0,11	7,56	6,41	120	110
W3	7,5	7,58	543	533	1,49	1,99	6,52	3,66	4,73	3,77	49,6	36,22	2044,2	3790,3	4,67	5,3	0,05	0,12	2,89	4,73	100	90
W4	6,91	6,95	1543	1532	28,56	6,44	403,4	524,8	10,51	6,07	720	476,42	5020,6	6906,2	216,32	175,26	0,28	0,19	441,37	774,39	3150	4570
W5	7,53	7,5	1352	1341	5,47	11,54	131,8	527,78	2,25	3,47	47,2	68,63	N.A.	1266,9	76,17	161,84	N.D.	0,39	510,17	582,87	3060	3810
W6	7,14	6,9	894	704	0,27	1,02	1,54	4,26	N.D.	2,51	4,82	84,38	423,9	1804,5	0,25	1,61	N.D.	0,12	15,8	45,59	10	380
W7	6,81	6,93	214	220	2,21	0,31	372,3	1,21	N.D.	0,92	2,57	0,7	64,29	60,81	34,55	0,54	0,05	0,1	178,67	187,44	190	190
W8	6,76	7,06	254	252	4,99	0,26	6,57	0,01	1,49	0,92	23,9	0,21	1403,8	10,8	67,68	0,57	0,06	0,1	189,1	182,94	220	190
W9	7,06	6,93	233	170	0,71	0,43	0,73	5,13	1,75	1,04	13,7	0,9	2016,6	26,99	3,98	2,52	0,04	0,11	102,71	94,75	210	130
W10	7,59	7,64	374	373	0,24	0,66	1,1	2,48	N.D.	1,19	N.D.	4,61	221,41	135,99	N.D.	5,6	N.D.	0,1	6,57	8,96	10	170
SP1	6,92	6,97	124	120	0,18	0,24	0,93	0,49	0,63	0,83	0,28	0,3	6,66	12,17	1,1	0,87	0,04	0,09	10,37	13,77	60	90
SP2	7,82	7,26	302	314	0,17	0,38	0,49	0,87	N.D.	0,84	3,37	6,64	15,53	125,37	0,89	0,92	0,04	0,08	229,37	271,03	410	490
SP3	7,26	7,03	88	91	0,12	0,22	0,01	0,01	N.D.	N.D.	0,18	0,01	5,11	0,01	0,52	0,32	0,04	0,08	2,3	1,29	30	50
SP4	7,35	7,08	63	61	0,14	0,39	0,01	4,69	N.D.	N.D.	0,43	56,6	29,14	174,23	0,45	1,08	0,03	0,04	N.D.	0,02	20	40
SP5	6,91	7	1278	1302	0,17	0,53	0,51	3,47	N.D.	1,08	0,58	2,15	8,99	61,22	0,68	1,48	N.D.	0,03	593,35	648	3260	3770
Min	6,5	6,78	63	61	0,11	0,22	0,01	0,01	0,63	0,83	0,18	0,01	5,11	0,01	0,25	0,32	0,03	0,03	2,3	0,02	10	40
Max	7,82	7,64	1543	1532	28,56	11,54	403,4	527,78	10,51	6,81	720	476,42	5020,6	7212,6	216,32	175,26	0,28	0,39	593,35	774,39	3260	4570
Mean	7,16	7,14	577,9	566	3,05	1,92	67,97	80,81	3,56	2,51	67,6	55,1	867,95	1443,49	29,39	25,11	0,06	0,12	163,93	188,41	782	1002
SD	0,37	0,29	495,525	518,046	7,27	3,2	140	189,21	3,39	2,06	197	121,21	1411,3	2503,81	59,7	58,46	0,07	0,08	207,97	264,62	1249	1603,37
WHO (2008)	6.5-8.5				10		-		50		400		-		2000		3		10		2400	
ITASHY (2005)	6.5-9.5		2500		10		-		50		50		200		2000		5		10		1000	
(N.D. Ölçüm limiti altında)																						

EK 5 Kayaç ve Toprak Analiz Sonuçları

	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P	La	Cr	Mg	Ba	Ti	B	Al	Na	K	W	S	Hg	Tl	Ga	Sc
Birim	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%	PPM	PPM	%	PPM	%	PPM	%	%	%	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM
Ölçüm alt sınırı	1	1	3	1	0,3	1	1	2	0,01	2	2	1	0,5	3	3	1	0,01	0,001	1	1	0,01	1	0,001	20	0,01	0,01	0,01	2	0,05	1	5	5	5
Numune																																	
S1	<1	3	<3	22	<0.3	11	3	120	0,98	2	3	14	<0.5	<3	<3	27	0,19	0,020	6	11	0,18	37	0,027	<20	0,68	0,03	0,14	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
S2	<1	13	11	40	<0.3	33	8	478	1,49	6	5	80	<0.5	<3	<3	30	1,14	0,039	14	21	0,57	116	0,039	33	1,32	0,10	0,40	<2	<0.05	2	<5	<5	<5
S3	<1	11	10	37	<0.3	34	8	316	1,65	5	3	44	<0.5	<3	<3	40	0,93	0,027	11	24	0,68	97	0,053	<20	1,38	0,04	0,33	<2	<0.05	38	<5	<5	<5
S4	<1	8	<3	13	<0.3	10	3	156	0,76	3	<2	40	<0.5	<3	<3	22	0,59	0,035	7	8	0,15	46	0,033	<20	0,66	0,06	0,10	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
S5	<1	9	5	32	<0.3	28	6	293	1,16	4	3	36	<0.5	<3	<3	27	0,98	0,024	8	16	0,34	66	0,016	<20	0,79	0,03	0,15	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
S6	<1	9	<3	16	<0.3	9	3	108	0,65	6	<2	76	<0.5	<3	<3	23	1,23	0,055	5	7	0,46	34	0,028	<20	0,70	0,17	0,21	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
S7	<1	9	5	22	<0.3	14	3	216	0,64	139	3	1105	<0.5	<3	<3	20	10,10	0,079	6	10	5,92	149	0,023	74	0,93	0,53	0,41	<2	0,07	<1	<5	<5	<5
S8	1	18	12	41	<0.3	19	11	359	2,40	27	3	65	<0.5	<3	<3	41	0,78	0,048	10	13	0,47	95	0,009	<20	1,43	0,07	0,33	<2	0,12	<1	<5	<5	<5
S9	2	9	5	21	<0.3	23	5	298	0,89	115	<2	586	<0.5	<3	<3	32	8,00	0,130	6	14	1,83	85	0,022	82	0,75	0,25	0,34	<2	0,11	<1	<5	<5	<5
S10	<1	8	3	14	<0.3	8	3	139	0,69	3	<2	25	<0.5	<3	<3	17	0,39	0,033	6	6	0,12	43	0,024	<20	0,72	0,05	0,13	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
S11	<1	19	9	46	<0.3	100	13	431	1,85	6	<2	98	<0.5	<3	<3	48	3,00	0,061	8	47	1,15	91	0,024	23	1,31	0,06	0,43	<2	<0.05	7	<5	<5	<5
S12	2	10	9	40	<0.3	15	3	111	0,70	111	<2	154	<0.5	<3	<3	33	1,85	0,084	6	10	0,95	48	0,032	151	0,65	0,55	0,38	<2	0,08	<1	<5	<5	<5
S13	<1	6	4	30	<0.3	18	6	239	0,97	3	3	19	<0.5	<3	<3	25	0,30	0,017	6	11	0,24	48	0,024	<20	0,63	0,03	0,15	<2	<0.05	<1	<5	<5	<5
R1	2	12	<3	18	<0.3	5	4	127	1,11	2	2	34	<0.5	<3	<3	42	0,52	0,050	13	7	0,06	20	0,108	<20	0,81	0,18	0,10	39	<0.05	<1	<5	<5	<5
R2	<1	4	<3	7	<0.3	5	4	48	0,73	<2	3	21	<0.5	<3	<3	33	0,24	0,030	4	7	0,02	87	0,074	<20	0,80	0,09	0,04	29	<0.05	<1	<5	<5	<5
R3	<1	8	<3	6	<0.3	3	6	66	0,37	3	<2	23	<0.5	<3	<3	11	0,38	0,050	3	3	0,08	41	0,013	<20	0,40	0,10	0,08	90	<0.05	<1	<5	<5	<5
R4	6	12	<3	36	<0.3	22	8	85	1,21	210	<2	63	<0.5	<3	<3	113	0,54	0,099	14	65	0,27	72	0,293	<20	0,53	0,14	0,10	28	0,14	<1	<5	7	<5
R5	<1	8	<3	5	<0.3	5	3	157	0,24	8	<2	142	<0.5	<3	<3	8	5,01	0,060	4	3	0,35	118	0,017	22	0,43	0,06	0,07	35	<0.05	<1	<5	<5	<5
R6	<1	11	<3	23	<0.3	32	12	309	1,48	<2	4	33	<0.5	<3	<3	18	0,52	0,066	8	11	1,06	134	0,098	<20	0,49	0,08	0,15	45	<0.05	<1	<5	<5	<5
R7	<1	6	<3	5	<0.3	5	6	101	0,36	<2	<2	49	<0.5	<3	<3	10	0,86	0,094	7	3	0,10	109	0,017	<20	0,89	0,16	0,07	96	<0.05	<1	<5	<5	<5
R8	1	9	<3	23	<0.3	3	8	331	1,30	2	14	9	<0.5	<3	<3	14	0,19	0,041	18	3	0,15	58	0,040	<20	0,22	0,05	0,14	89	<0.05	<1	<5	<5	<5
R9	<1	7	<3	6	<0.3	5	9	44	0,39	3	2	44	<0.5	<3	<3	20	0,89	0,060	6	5	0,13	69	0,042	<20	0,41	0,09	0,08	>100	<0.05	<1	<5	<5	<5
R10	<1	15	<3	29	<0.3	58	21	444	2,29	11	<2	65	<0.5	<3	<3	28	0,99	0,051	7	21	2,03	148	0,144	<20	0,71	0,17	0,12	91	<0.05	<1	<5	<5	<5

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çiğdem YÜCEL

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 1983

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl)

Lise : Abidinpaşa Yabancı Dil Ağırlıklı Lise (1997-2001)

Lisans : Ankara Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Jeoloji Mühendisliği (2002-2006)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2010-2017)

Çalıştığı Kurum ve Yıllar

Devlet Su İşleri 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri (2010-2015)

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2015-halen)

(SCI)

Arslan. S., Yucel. C., Çallı., S.S, Celik. M., 2017. Assessement of heavy metal pollution in the groundwater of the northern Develi closed basin, Kayseri, Turkey, Bull Environ Contam Toxicol, DOI 10.1007/s00128-017-2119-1

Ulusal Kongre Sunum

Kızılkoca Alt Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu Sunumu, 2014, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Semineri

Hidrojeolojik Etüt Şartnamesine Uygun Hidrojeolojik Etüt Hazırlama, 2015, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Semineri

Jeoloji Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Programlarının Kullanımı, 2015, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Semineri

Geocenic Arsenic and Other Trace Elements İnthe Groundwater System of Develi Closed Basin, Kayseri, 2016, 43rd IAH Congress, Montpeiller, Fransa

Sapanca Gölü Alt Havzası Özel Taslak Hükümleri ve Havza Etüt Çalışmaları, 2016, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Semineri

Havza Ölçekli Yeraltısuyu Kütle Belirleme Çalışmaları, 2018, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Faaliyetleri Genel Değerlendirme Semineri

Uluslararası Kongre Sunum

Arslan S, **Yucel C,** Celik M. Geogenic arsenic and other trace elements in the groundwater system of Develi Closed Basin, Kayseri, Turkey. 43rd International Association of Hydrogeologist Congress, Montpellier, France, 2016, Abstract number 1418 (e-poster)

Use of Geographic Information Systems Programs in Geological Engineering, 2017, 44th International Association of Hydrogeologist Congress, Dubrovnik, Hırvatistan (poster)

Avrupa Birliği Destekli Proje Görevleri:

Havza Koruma Eylem Planlarının Nehir Havza Yönetim Planlarına Dönüştürülmesi Avrupa Birliği Teknik Yardım Projesi- Çalışma Grubu Üyesi

ESEİ- Türkiye'nin Yeraltısuyu Yönetimi Kapasitesinin Geliştirilmesi Projesi- Yönlendirme ve Çalışma Grubu Üyesi

Burdur Havzası Yeraltısularının Miktar ve Kalite Özelliklerinin Ortaya Konulması ve Değerlendirilmesi Projesi, Çalışma Grubu Üyesi