

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALAŞEHİR(MANİSA) OVASINDA
JEOTERMAL SULARIN YERALTI SUYUNA
OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Rita Sandrine RABET

Mayıs, 2015

İZMİR

**ALAŞEHİR(MANİSA) OVASINDA JEOTERMAL
SULARIN YERALTI SUYUNA OLAN
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Çevresel Yerbilimleri Anabilim Dalı

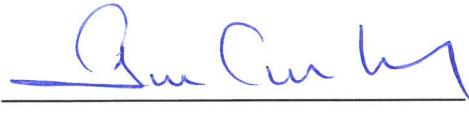
Rita Sandrine RABET

Mayıs, 2015

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

RİTA SANDRİNE RABET, tarafından **DOÇ. DR. CELALETTİN ŞİMŞEK** yönteminde hazırlanan **ALAŞEHİR OVASINDA JEOTERMAL SULARIN YERALTI SUYUNA OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç.Dr. Celalettin ŞİMŞEK

Yönetici



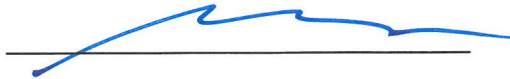
Prof. Dr. Niyazi AKSOY

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Orhan GÜNDÜZ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleşmesinde bana sağlık, güç ve bilgelik veren Allah’a sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın finansal desteklenmesinde büyük katkı sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi değerli yöneticilerine, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi yöneticilerine ve çalışanlarına içten teşekkür ederim. Tez danışmanım olan Doç. Dr. Celalettin ŞİMŞEK, gerek fikirleri gerekse bilimsel ve kişisel kaliteleri ile her konuda destek vermiş olup, çalışmam süresince maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgememiştir. Bu nedenle kendilerine çok teşekkür ederim.

Çevresel Yerbilimleri Bölüm Başkanı Prof.Dr. Doğan YAŞAR, bu çalışmanın gerçekleşmesi önemli fikirleri ve desteklerinden dolayı kendisine teşekkür ederim. İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi’nden Prof. Dr. Alper BABA ise gerek arazi çalışması gerekse akademik yardımları ile maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgememiştir. Kendisine de çok teşekkür ederim. Torbalı Meslek Yüksekokulu yönetimi, akademik kadrosundaki öğretim üyeleri ve çalışanlarına, Çevresel Yerbilimleri’nde meslektaşlarıma yardımlarından dolayı kendilerine teşekkürü bir borç bilirim. Yurtdışı Türkler ve Akrabalar Topluluklar Başkanlığına, Türkiye’de beni her konuda destekledikleri için kendilerine teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca ailem Helene, Diane, Prima, Romain, Christelle RABET; Johnny ve Chinemi MANİNGUERE; Mesmin Guy Saturmin SAMBOLİ PALABRE; Marcelline MOKONGO maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyip her zaman yanımda olmuşlar ve desteklemişlerdir. Kendilerine teşekkür ederim.

Rita Sandrine RABET

ALAŞEHİR OVASINDA JEOTERMAL SULARIN YERALTI SUYUNA OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Batı Anadolu'daki Gediz Ovası Türkiye'nin en büyük graben alanlarından biridir. Alaşehir Ovası Gediz Grabeninin güneyinde yer alan önemli bir jeotermal sahasıdır. Birçok jeotermal kuyu açılmakta ve bu uygulamalar bölgede jeotermal atıkların oluşmasına ve/veya sondajda patlamalar gibi birçok olaylara neden olmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı; Türkiye'nin batısında yer alan en büyük havzası olan Gediz Havzasının doğusundaki Alaşehir Ovasında yapılan jeotermal sondajda meydana gelen patlamanın yeraltı suyuna olan kimyasal ve termal etkisinin araştırılmasıdır.

Alaşehir ovasının temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfitlelerinden oluşturmakta olup Menderes Metamorfitleleri ovanın D-B yönlü kesimlerinde gözlenmektedir. Menderes Metamorfitleleri mika ve klorit şistlerden ve üst kesimlerde ise mermer mercceklerinden oluşmaktadır. Alaşehir ovasında mermerler jeotermal sistemin rezervuar kayasını olmaktadır. Çalışma alanındaki Neojen tortul birimler, kumtaşları, kilitaşları, kireçtaşlarından oluşmakta ve temel kayasını örtmektedir. En son olarak, Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler çalışma alanındaki tüm birimleri örtmektedir. Alaşehir Ovasında alüvyon biriminin kalınlığı 30 ile 120 m arasında değişmektedir. Çalışma alanının da en önemli yeraltı suyu akiferi alüvyon olup bölgenin içme ve sulama suyu ihtiyacını sağlamaktadır.

Arazi örneklemenin alınmasında yeraltı suyu durumunu temsil edecek toplamda 16 örnekleme amaçlı kuyu seçilmiştir. Çalışma alanında 2014 yılında yağış ve kurak dönemlerde jeotermal sulardan ve yeraltı sularından kirletici parametrelerin izlemesi için majör anyon ve katyon, ağır metaller analiz edilmiştir. Sonuç olarak jeotermal sularda bor ve arsenik miktarları yüksek olup çevre ve yeraltı sularına kirletici kaynaklarıdır.

Çalışma alanında uzun dönem yapılan su sıcaklığı, elektriksel iletkenlik ve su seviye verilerine göre bölgede jeotermal patlamanın çevredeki kuyuları etkilediği belirlenmiştir. Bu etkilenme yeraltı suyunda bor ve arsenik konsantrasyonu arttırmakta ve suların içme ve sulama suyu kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, bor, jeotermal su girişimi, yeraltı suyu kirliliği.

INVESTIGATION OF GEOTHERMAL WATERS EFFECT ON GROUNDWATER QUALITY IN ALASEHIR PLAIN

ABSTRACT

Gediz Basin is one of big graben system in Aegean region in Turkey. Alasehir basin is very important geothermal site which is located in the southern part of the Gediz Graben. Many geothermal wells are drilled and this application causes some problems associated with not only waste geothermal fluid disposal but also uncontrolled surface eruptions during drilling operations. A main objective of this study is to investigate the geothermal fluid effects on groundwater chemistry where geothermal drill was collapsed and to cause significant thermal and chemical contamination.

The Paleozoic-aged Menderes metamorphic rocks form the basement of the Alasehir plain and are observed outcropping in the eastern and western parts of the plain. The Menderes metamorphic rocks consist of mica and chlorite schist in their lower levels and marble in their upper sections. This marble is geothermal water reservoir rock in the study area. The Neogene sedimentary Formation, formed of limestone, claystone and sandstone, overlies basement rock. This formation is widely observed along the Alasehir plain. Finally, Quaternary alluvial layers overlie the basement and the Neogene Formation in the study area. The thickness of the alluvial layer ranges from 30 to 120 m in the Alasehir plain. This alluvial layer is very important groundwater aquifer and big portion of drinking and irrigation water demand are supplied this aquifer.

During the sampling study, a total of 16 groundwater sampling points were selected among the drilling data to represent the conditions of groundwater. As monitoring procedure, field parameters, major anion and cation and heavy metal concentration were analyzed in water samples taken from geothermal fluid and observation groundwater wells during dry and wet season in 2014. As a result, the

chemical composition of the geothermal water contains highly level of arsenic and boron contaminants contend to the environment and the water sources. Based on the long term groundwater level, temperature and electrical conductivity values show that the groundwater is effected geothermal intrusion which is came from near geothermal activities. This geothermal intrusion cause the groundwater contamination with respect to arsenic and boron and this contamination deteriorate the groundwater drinking and irrigation water quality.

Keywords: Arsenic, boron, geothermal water intrusion, groundwater contamination.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZ SINAVI SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xv

BÖLÜM BİR – GİRİŞ..... 1

1.1 Amaç	1
1.2. Coğrafiik Özellikler i.....	1
1.2.1 Ekonomik Durumu	2
1.2.2 İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
1.3 Yöntemler	7
1.4 Önceki Çalışmalar	9

BÖLÜM İKİ – ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ12

2.1 Giriş	12
2.2 Stratigrafi.....	13
2.2.1 Menderes Metamorfitleri.....	16
2.2.1.1 Şişt ve Gnayslar.....	16
2.2.1.2 Mermerler	16
2.2.2 Neojen Tortul Kayalar	17
2.2.3 Kuvaterner Alüvyonlar	17
2.3 Yapısal Jeoloji	17

BÖLÜM ÜÇ- ALAŞEHİR JEOTERMAL FAALİYETLERİ..... 20

3.1 Jeotermal Tanımı	20
----------------------------	----

3.2 Kullanım Alanları.....	20
3.3 Jeotermal Sistem	21
3.4 Alaşehir Ovasında Jeotermal Aktiviteler	23
BÖLÜM DÖRT- ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLOJİSİ	28
4.1 Su Noktaları	28
4.1.1 Akarsular ve Dereler	28
4.1.2 Su kuyuları	28
4.1.3 Sıcak Su Kuyuları	29
4.2 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri	30
4.2.1 Menderes Metamorfikleri	30
4.2.2 Neojen Birimleri	31
4.2.3 Kuvaterner Alüvyon	31
4.3 Yeraltı Suyu Seviye Değişimi ve Akım Yönleri	35
4.4 Yeraltı Suyu Seviyesinin Zamansal Değişimi	36
BÖLÜM BEŞ- HİDROJEOKİMYA.....	38
5.1 Suların Fiziksel Özellikleri.....	38
5.1.1 Sıcaklık	38
5.1.2 pH	39
5.1.3 Elektriksel İletkenlik (EC)	39
5.2 Suların Kimyasal Özellikleri.....	40
5.2.1 Majör İyonlar	40
5.2.1.1 Kalsiyum (Ca ⁺⁺).....	40
5.2.1.2 Magnezyum (Mg ⁺⁺)	41
5.2.1.3 Sodyum (Na ⁺)	41
5.2.1.4 Potasyum(K ⁺)	42
5.2.1.5 Karbonat, Bikarbonat (CO ₃ ⁻ ,HCO ₃ ⁻)	42
5.2.1.6 Klor(Cl ⁻)	43
5.2.1.7 Sülfat(SO ₄ ⁻)	43

5.2.2 Yeraltı Sularında Bulunan Eser Elementler	44
5.2.2.1 Arsenik(As)	44
5.2.2.2 Bor(B)	45
5.2.2.3 Demir(Fe) ve Manganez(Mn)	46
5.2.2.4 Diğer Metaller	46
5.3 Suların Sınıflandırılması.....	47
5.3.1 Su Fasiyesi.....	47
5.3.1.1 Piper Diyagramı	47
5.3.1.2 Schoeller Diyagramı	49
5.3.2 Sulama Suyu Sınıflaması	51
5.3.2.1 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	51
5.3.2.2 Sulama Sularının Bor Sınıflandırılması	55
5.3.3 İçme Suyu Sınıflaması	56

BÖLÜM ALTI – JEOTERMAL SULARIN YERALTI SUYU KİMYASI ÜZERİNE ETKİSİ..... 63

6.1 Kirlilik Parametreleri	63
6.2 Kirlilik Parametrelerinin Alansal Dağılımı	65
6.2.1 Su Sıcaklık Dağılımı	65
6.2.2 Elektriksel İletkenlik Dağılımı	65
6.2.3 Klorür Dağılımı	69
6.2.4 Arsenik Dağılımı	69
6.2.5 Bor Dağılımı.....	69
6.3 Su Kimyasının Zamana Bağlı Değişimi.....	72
6.4 Su Sıcaklığı ve Elektriksel İletkenliğin Zamana Bağlı Değişimi	78
6.4.1 Seviye Değişimi	78
6.4.2 Sıcaklık Değişimi	78
6.4.3 Elektriksel İletkenlik Değişimi	79
6.5 Karışım Oranı	82

BÖLÜM YEDİ- SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2 2007 Yılı dünya üzüm üretim oranları	3
Şekil 1.3 Aylık ortalama sıcaklık	5
Şekil 1.4 Aylık ortalama yağış Grafiği	5
Şekil 1.5 Yıllık ortalama yağış	6
Şekil 1.6 Alaşehir ve çevresinin Google Earth haritası	6
Şekil 1.7 Arazi örneklemenin alınması ve fiziksel ölçümlerin yapılması	8
Şekil 1.8 Kuyuya otomatik kaydedicinin (CTD Diver) montajı	9
Şekil 2.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası	12
Şekil 2.2 Çalışma alanına ait stratigrafik kolon kesit	14
Şekil 2.3 Çalışma alanına ait jeoloji haritası	15
Şekil 2.4 Neojen kırıntılı birimlerin görünümü	18
Şekil 2.5 Alkan Köyü'nden Alaşehir Ovası'nın görünümü	19
Şekil 3.1 Bir jeotermal sistemin bileşenleri	22
Şekil 3.2 Alaşehir jeotermal sistemini yansıtan basitleştirilmiş jeolojik kesit	22
Şekil 3.3 Alhan Köyü yakınında meydana gelen jeotermal patlama lokasyonu	24
Şekil 3.4 Kuyu etrafında meydana gelen çökme.....	24
Şekil 3.5 Jeotermal kuyuda meydana gelen patlamanın etkilediği alan	25
Şekil 3.6 Bağlarda meydana gelen hasar	25
Şekil 3.7 Jeotermal patlama meydana gelen kuyunun son durumu	26
Şekil 3.8 Jeotermal patlama modeli	27
Şekil 3.9 Bölgede yeni kurulan enerji santralleri	27
Şekil 4.1 Çalışma alanı ve çevresinin akaçlama ağı	29
Şekil 4.2 Çalışma alanında yer alan soğuk ve sıcak su kuyuları	30
Şekil 4.3 Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeolojisi haritası	33
Şekil 4.4 Çalışma alanı ve çevresinin transmisibilite dağılım haritası	33
Şekil 4.5 Çalışma alanı ve çevresinin 3D boyutlu jeolojik modeli.....	34
Şekil 4.6 Çalışma alanı ve çevresinin 3D boyutlu transmissibilite dağılım modeli ..	35
Şekil 4.7 Çalışma alanı ve çevresindeki yeraltı suyu kotu ve akım yönleri	36
Şekil 4.8 Yeraltı suyu seviyesinin zamana bağlı değişimi	37

Şekil 5.1 1995 DSİ verilerine göre oluşturulan Piper diyagramı	48
Şekil 5.2 Mayıs 2014 dönemine ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.....	49
Şekil 5.3 Eylül 2014 dönemine ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.....	49
Şekil 5.4 Mayıs 2014 dönemine ait Schoeller diyagramı	50
Şekil 5.5 Eylül 2014 dönemine ait Schoeller diyagramı	51
Şekil 5.6 1995 DSİ verilerine göre oluşturulan ABD tuzluluk diyagramı	52
Şekil 5.7 Mayıs 2014 verilerine ait ABD tuzluluk diyagramı	53
Şekil 5.8 Eylül 2014 verilerine ait ABD tuzluluk diyagramı	54
Şekil 6.1 Arsenik ve Bor korelasyon grafiği	64
Şekil 6.2 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu sıcaklık dağılımı	66
Şekil 6.3 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu sıcaklık dağılımı.....	66
Şekil 6.4 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dağılımı	67
Şekil 6.5 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dağılımı.....	67
Şekil 6.6 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu klorür dağılımı	68
Şekil 6.7 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu klorür dağılımı	68
Şekil 6.8 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu arsenik dağılımı	70
Şekil 6.9 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu arsenik dağılımı	70
Şekil 6.10 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu bor dağılımı	71
Şekil 6.11 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu bor dağılımı	71
Şekil 6.12 RT7 örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi.....	74
Şekil 6.13 RT6 örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi.....	75
Şekil 6.14 RT8 örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi.....	76
Şekil 6.15 RT9 örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi.....	77
Şekil 6.16 RT8 örnekleme noktasında zamana bağlı seviye, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık parametrelerinin değişimi	80
Şekil 6.17 RT8 örnekleme noktasında anlık seviye, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık parametrelerinin değişimi.....	81

Şekil 6.18 RT8 nolu Kuyuda rastlanan su sıcaklığına bağlı jeotermal karışım oranı	83
Şekil 6.19 RT8 nolu kuyuda rastlanan bor'a bağlı jeotermal karışım oranı	83

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Alüvyon akiferde açılan DSİ kuyu bilgileri.....	32
Tablo 4.2 Yeraltı suyu seviye ölçüm sonuçları.....	36
Tablo 5.1 Suların EC ve % Na'ya göre sulama sularının sınıflandırılması.....	40
Tablo 5.2 Suların SAR' a göre sınıflanması.....	54
Tablo 5.3 Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması.....	55
Tablo 5.4 İçme suyu kalite kriterleri.....	57
Tablo 5.5 1995 Yılına Ait DSİ analiz sonuçları.....	58
Tablo 5.6 Mayıs 2014 yağışlı döneme ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları.....	59
Tablo 5.7 Eylül 2014 kurak döneme ait hidrojeokimyasal analiz sonuçlar.....	60
Tablo 5.8 Mayıs 2014 yağışlı döneme ait ağır metal analiz sonuçları.....	61
Tablo 5.9 Eylül 2014 kurak döneme ait ağır metal analiz sonuçları.....	62
Tablo 6.1 Bazı parametrelerin korelasyon matriks tablosu.....	64
Tablo 6.2 Ele alınan iki farklı su tipinin karışım oranları.....	82

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

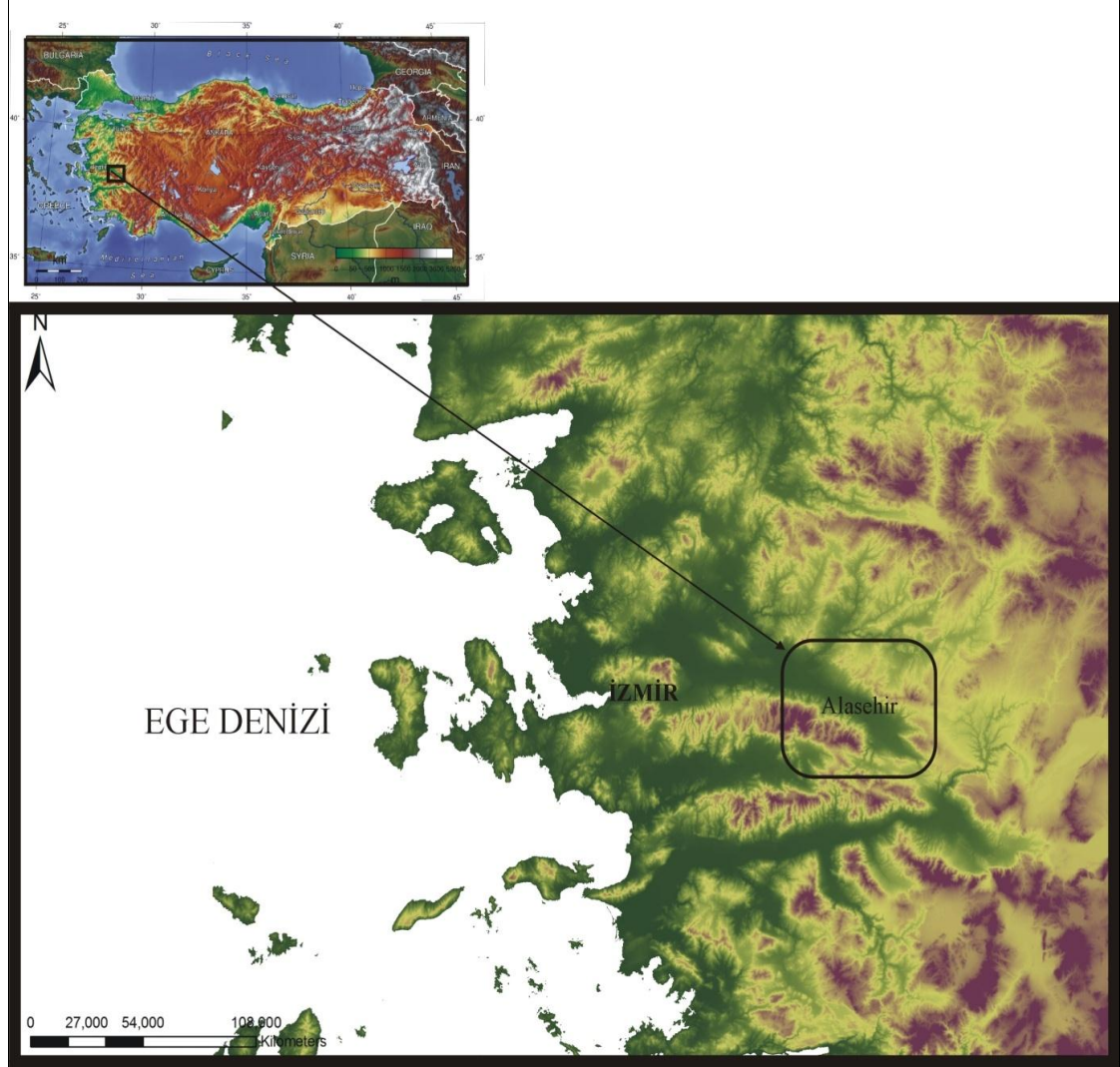
1.1 Amaç

Son yıllarda Türkiye jeotermal araştırma ve üretim faaliyetlerinin yapıldığı önemli bir merkez konumundadır. Özellikle Türkiye'nin batı kesimlerini oluşturan graben alanları yoğun jeotermal araştırma ve üretim alanlarını oluşturur. Bu bölgelerde jeotermal üretimi ancak derin sondajlarla yapılmaktadır. Bu bağlamda, yapılan sondajların yüzey soğuk akifer sistemlerine zarar vermeyecek ve kirliletmeyecek özelliklerde açılması ve ayrıca üretilen jeotermal suların dikkatli bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Ancak, tarımsal üretim açısından Türkiye ekonomisine önemli katkısı olan Alaşehir Ovasında yoğun yapılan jeotermal sondajların ve 2012 yılında meydana gelen jeotermal patlamanın bölgedeki yeraltı suyuna olan etkisi büyük önem taşımaktadır. Bu sorunlardan yola çıkarak, Türkiye'nin batısında yer alan en büyük havzalarından biri olan Gediz Havzasının doğusundaki Alaşehir Ovasında son yıllarda yapılan jeotermal araştırma ve üretim faaliyetlerinin yeraltı suyuna etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

1.2 Coğrafi Özellikleri

Batı Anadolu'daki doğu-batı yönlü ovalardan biri olan Gediz Ovası Türkiye'nin en büyük graben alanlarından biridir. Özellikle kuzey ve güney kesimleri oldukça yüksek dağlarla çevrili olan Gediz Ovası, genel olarak D-B yönlü bir uzanım sunmaktadır (Şekil 1.1). Gediz grabeninin doğu bölümünü oluşturan Alaşehir Ovası İZMİR- L20-B3 ve UŞAK –L21-A4 paftalarındaki 28-30 boylamları ile 38-39 enlemleri arasında yer alır. İzmir'e 131 km uzunlukta bir karayolu ile bağlanan Alaşehir'e yakın ilçeler Sarıgöl ve Salihli'dir. Çalışma alanı içinde yer alan köyler Alaşehir'in yaklaşık 5 km güneyinde bulunan Kozluca ve 7 km güneyindeki Evrenli'dir. Gediz Ovasının doğu kesimlerinde yer alan Alaşehir havzasının drenaj alanı 977 km²'dir. Alaşehir İlçe merkezinin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği

189 m’dir. Alaşehir Ovası düz bir alan olup, ovanın GB ve KD kesimleri dağlıktır. Ovada, Alaşehir Çayının da içinden aktığı bir graben alanından oluşmaktadır.

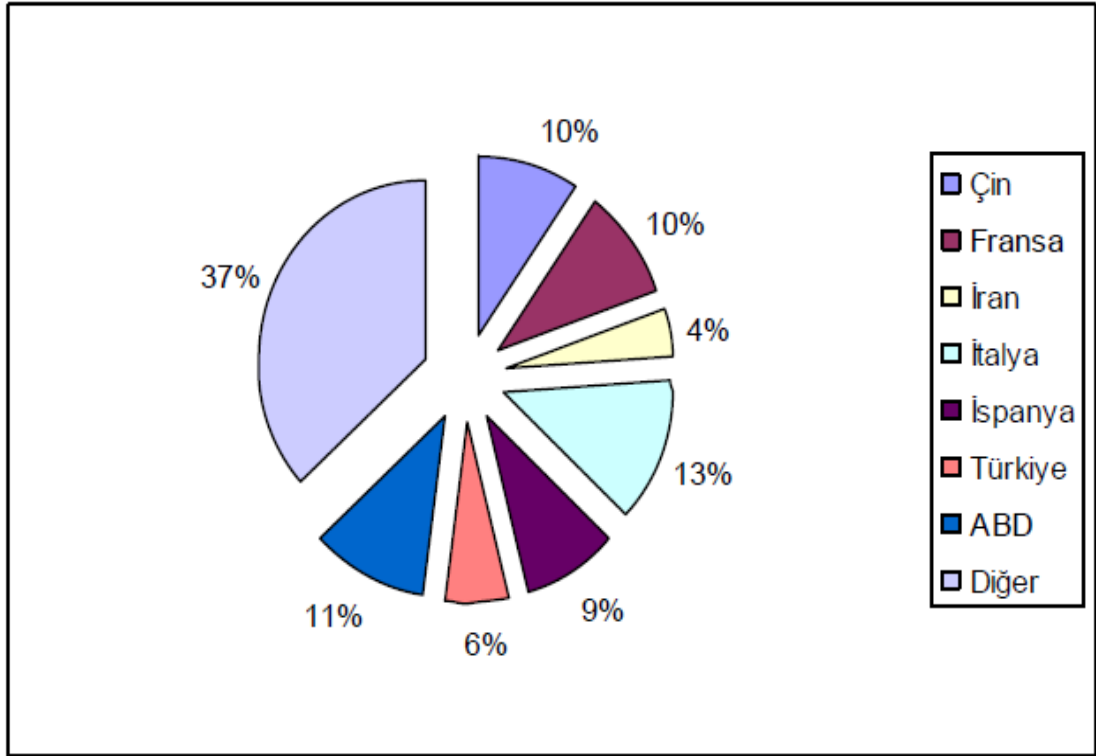


Şekil 1.1 Çalışma alanının yerbulduru haritası

1.2.1 Ekonomik Durum

Kuru üzüm potansiyeli bakımından dünya üretiminin %40’ını sağlayan ülkemiz, çekirdeksiz kuru üzüm üretiminde Çin’den sonra altıncı sıradadır (Şekil 1.2). Üzüm yetiştiriciliği açısından bakıldığında en verimli bölge ise Ege bölgesidir (Karakuyu, 2008). Manisa ili ise Ege Bölgesi bağ sahasının 1/3 ‘ünü kapsayarak en büyük üzüm

yetiştirme alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Manisa il sınırlarında en önemli üzüm yetiştirme alanları olarak Alaşehir, Salihli ve Turgutlu alanlarını oluşturmaktadır. Çalışma alanını oluşturan Alaşehir ise en önemli üzüm yetiştiriciliği sahalarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.



şekil 1.2 Dünya üzüm üretim oranları (Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2007)

Alařehir ekonomisi, hemen hemen bütünüyle tarıma dayalıdır ve tarım alanlarının yarıya yakını baę alanlarından oluşmaktadır. Alařehir ve yöresinde yıllara göre değişmekle birlikte yılda ortalama 55-75 bin ton çekirdeksiz kuru üzüm, 60,000 ton sofralık sultani yař üzüm yetiştirilmektedir. Bağcılığın yani sıra hububat, tütün, meyvecilik (kestane, ceviz, kiraz, nar, elma) ayrıca az sayıda küçükbáš hayvancılık, arıcılık, Alařehir ekonomisinde etkin rol oynar. Bunlara ek olarak aynı şekilde üzüm yetiştiriciliği yanında üzüm sanayisi de önemli yer tutar.

Bunlardan biri Tariş Üzüm Entegre Üzüm Tesisi olup 44,250 m² toplam alan içinde 23,900 m² kapalı alanı da 530 kişiye istihdam sağlamaktadır. Yaklaşık olarak 65,000 ton kuru üzüm alma kapasitesindedir. İşlenen üzümler İngiltere, Hollanda, Almanya, Japonya, Hong-Kong, Tayvan ve diğer ülkelere ihraç edilmektedir. Çekirdeksiz kuru üzüm ihraç ürünü olmakla birlikte iç piyasada da tüketilmektedir (Karakuyu, 2008).

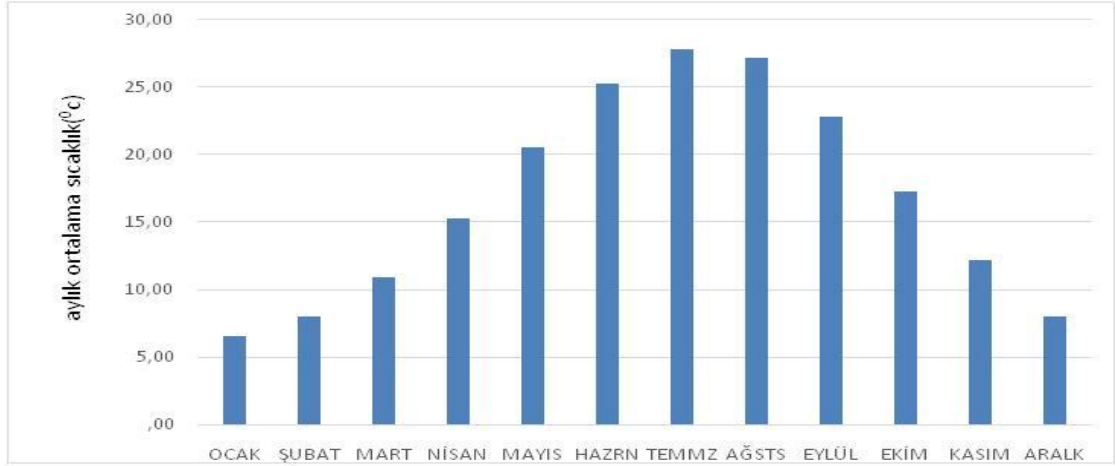
Bu denli yoğun tarımsal faaliyetin en önemli girdisi ise sulama sularının sağlandığı yeraltı sularıdır. Özellikle Buldan barajından yüzeysel sulama suyu ve ovalara açılmış olan DSİ ve özel şahıs kuyuları ile sağlanan yeraltı suyu bölgede en önemli sulama su kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu bağlamda yeraltı suyu kalitesi tarımsal faaliyetleri etkilemesi açısından önem taşımakta ve mevcut durumun ortaya konulması gereklidir.

1.2.2 İklim ve Bitki Örtüsü

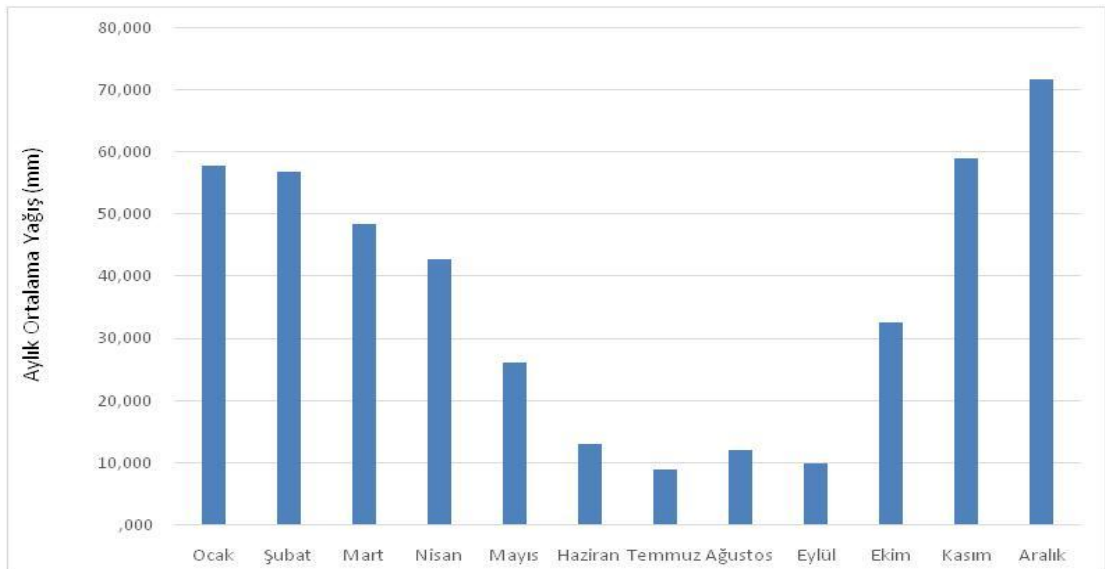
Çalışma alanını oluşturan Alaşehir Ovası, iç Ege ve Akdeniz ikliminden karasal iklime geçiş yeri olarak bilinir. Genel olarak ılıman bir iklimin geçtiği Alaşehir'de yaz ayları oldukça sıcak ve kurak kış ayları ise kısmen kar yağışlı ve yağışlı geçer. Yazı aylarında bölgenin sıcaklığı 40 dereceye kadar yükselmektedir. Çalışma alanındaki DSİ meteorolojik verilerine göre ortalama sıcaklık ve yağış değerleri saptanmıştır. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması 16,8 °C olup, en yüksek sıcaklık 29°C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık 5,8 °C ile Ocak ayındadır. Çalışma alanı yıllık yağış ortalaması 439,93 mm'dir. En fazla yağış 71,72 mm ile Aralık ayında, en düşük yağış 8,98 mm ile Temmuz ayında düşmektedir. Çalışma alanına ait ortalama sıcaklık ve yağış grafikleri Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'de sunulmuştur. Alaşehir civarında 1980-2010 yılları arasındaki yağış verilerine göre yıl bazında değişiklik sunmaktadır. Özellikle 1995 yılından sonra kademeli bir yükseliş görülmektedir (Şekil 1.5).

Alaşehir ve çevresi genel olarak düz alanlarla kaplı olup, düz alanlarda üzüm bağcılığı yapılmaktadır. Yüksek kesimler makilik ve orman alanları olup, Alaşehir'de ve çevresinde 21,785 hektar orman alanları bulunmaktadır. Bunun

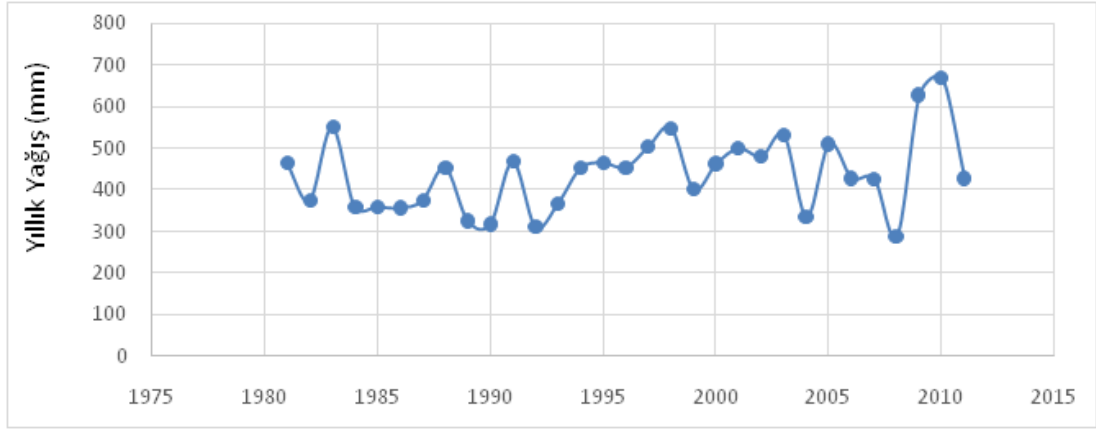
12,664 hektarı verimli koru ormanı, 9,127 hektarı bozuk ormanlıktır. Diğer arazi çayır-mera, bağ-bahçe, tarla bitkileri ve kullanılmayan alanlardan meydana gelmektedir (Şekil 1.6). Bu bağlamda çalışma alanının en önemli kesimlerini ovalar oluşturmaktadır.



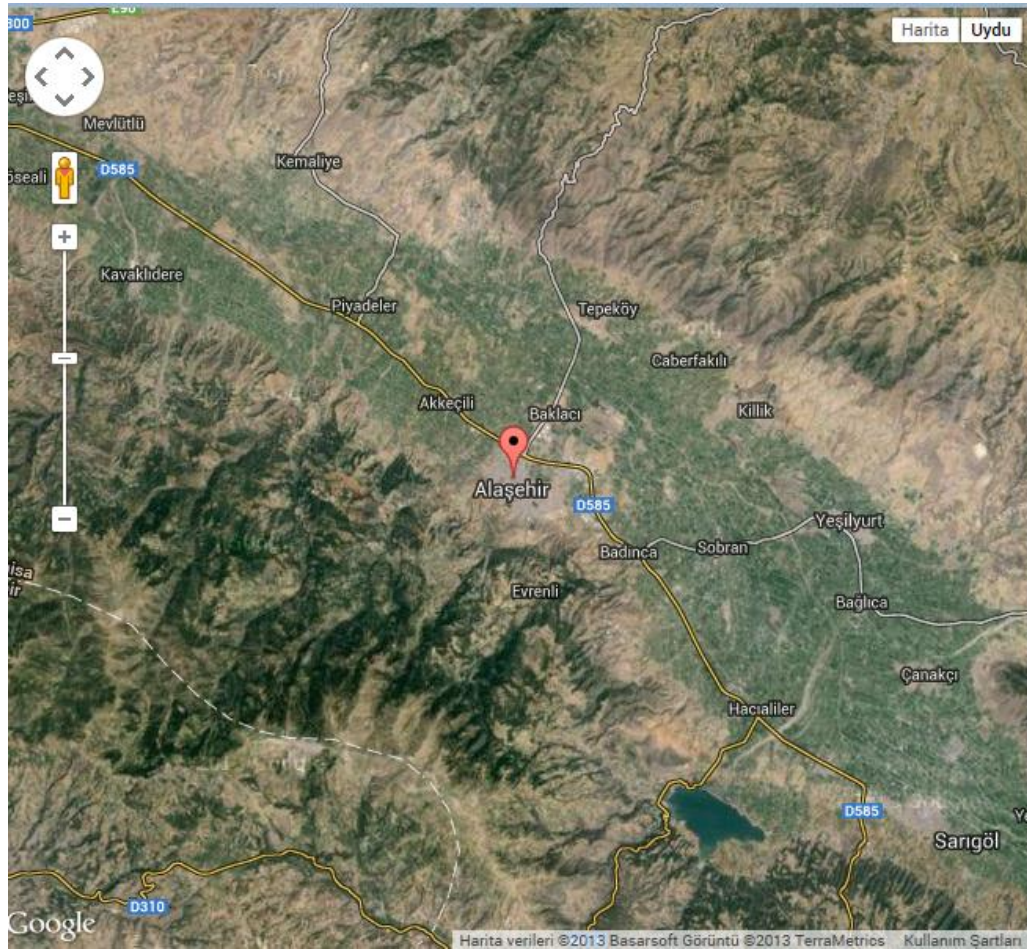
Şekil 1.3 Aylık ortalama sıcaklık



Şekil 1.4 Aylık ortalama yağış grafiği



Şekil 1.5 Yıllık toplam yağışın zamana göre değişimi (mm)



Şekil 1.6 Alaşehir ve çevresinin Google Earth haritası

1.3 Yöntemler

Bu çalışma Alaşehir Ovasında özellikle jeotermal patlamanın meydana geldiği kuyu ve çevresinde yeraltı suyu üzerindeki jeotermal sularının etkisinin araştırıldığı bir projedir. Bu kapsamda, arazi çalışmaları, belirlenen noktalarda su örneklemeleri, major anyon ve katyon analizleri, bölgede jeotermal akışkandan etkilenen kuyuya yerleştirilen kaydedici ile su seviyesinin, sıcaklığının, elektriksel iletkenliğin zamana bağlı izlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi şeklinde neticelendirilmiştir. Yürütülen çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından 2014.KB.FEN.012 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu bağlamda, proje bütçesinden arazi çalışmalarında araç kiralama yolu ile arazi çalışmaları yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında, nokta koordinat belirlemek için GPS, kayaçların süreksizlik düzlemlerinin belirlenmesi için pusula, 1/25000 ölçekli topoğrafik harita kullanılarak, genel veriler oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra, önceden belirlenen su noktalarından yağışlı ve kurak dönemde su örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örneklemelerde, katyon analizleri için 50 ml anyon analizleri için 500 ml örnek alınmıştır. Majör katyonlarda çökelme yoluyla oluşabilecek değişimleri engellemek için arazide su örneği alımı işlemleri sırasında örneğin pH değeri 2'nin altına düşürülecek şekilde %5'lik HNO₃ eklenmiştir. Örneklemeler proje bütçesinden alınan polietilen şişelerde muhafaza edilmiştir. Ayrıca, arazide suların pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık değerleri portatif kitlerle ölçülmüş ve arazi tipi buzdolabında muhafaza edilmiştir (Şekil 1.7).

Hidrojeokimyasal çalışmalarda amaç, suyun doğal koşullardaki kimyasal yapısını belirlemek olduğundan, örneklenen suda çevresel koşullara bağlı olası değişimlerin analiz yapılana kadar engellenmesi gerekir. Bu nedenle portatif buzluk kullanılarak laboratuara taşınana kadar 4 derecede muhafaza edilmiştir. Anyonlar Yüksekokul laboratuvarlarında bulunan Merck marka SP12 spektrofotometre ile analiz edilmiştir.



Şekil 1.7 Arazi örneklemenin alınması ve fiziksel ölçümlerin yapılması

Kasyon ve ağır metal analizleri ise bütçede var olan hizmet alımları kaleminde yer alan ACME Kanada laboratuvarlarında ICP-MS ile analiz edilmiştir. Kimyasal parametrelerin izlenmesi için 2014 yılında yağışlı (Mayıs) ve (Eylül) dönemlerde iki dönem örnekleme yapılmıştır. Proje kapsamında alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları, suların bağlı iyon içerikleri ve hidrojeokimyasal evrimleri konusunda bilgi veren Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hidrojeokimyasal değerlendirmeler için uygun bir program olan Aquachem programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Haritalama ve diğer su kalite haritalarının hazırlanmasında ArcGIS 10.1 programları kullanılmıştır.

Yeraltı suyu seviyesinin ölçülmesi için seviye ölçer ve otomatik seviye kaydedicisi kullanılmıştır. Otomatik kaydedici Şekil 1.8’de görüleceği üzerine atmosferik basıncı ölçer Baro diver ve su seviyesini, sıcaklığını ve elektriksel

iletkenliğini ölçen CTD diver montajı yapılmıştır. Ölçüm aralığı olarak birer saat ara olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1.8 Kuyuya otomatik kaydedicinin (CTD Diver) montajı

1.4 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı son yıllarda jeotermal potansiyeline bağlı olarak jeolojik ve çevresel jeoloji konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda jeolojik ve tektonik çalışmalar çalışma alanın jeotermal sistemin çözömlenmesinde ışık tutmaktadır.

Purvis ve Robertson (2002)'e göre yaptıkları çalışmada, Alaşehir ve çevresi temelde Menderes Metamorfik birimlerin oluşturduğu bir graben sistemi içerisinde kaldığı belirtilmektedir. Yapılan çalışmada Alaşehir bölgesi için iki alternatif tektonik model önerilmiştir. Önerilen birinci modelde, Geç Miyosen dönemine kadar yüksek açılı D-B yönlü aktif fayların sınırlandırdığı, bununla birlikte K-G yönlü sıkıştırma tektoniği sedimanları etkilemiştir. İkinci model olarak ise Erken Miyosen dönemine kadar bölge tektoniğinin kesintili veya devamlı olarak aktif olduğunu ileri sürmektedirler. Flüvyol malzemelerin oluşan çöküntü alanları doldurması ile Pliyo-Kuvaterner çökellerin oluşturduğu belirtilmektedir.

Gemici ve diğer (2005) tarafından Gediz havzasında jeotermal sistemler ve çevresel etkileri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, Gediz havzası içerisindeki

jeotermal suların sıcaklıklarının 25-95 °C arasında değiştiğini, elektriksel iletkenliklerinin 875-6020 µS/cm olduğunu, su tiplerinin Na-HCO₃ tipi sular olduğunu belirlemişlerdir. Özellikle su kalitesi açısından önemli olan yüksek oranda bor kirliliği tespit etmişlerdir. Gediz havzası içerisindeki jeotermal sularda belirlenen bor miktarı 86,6 mg/L seviyesine kadar ulaşmakta olup belirlenen bu değer Türkiye’de belirlenen en yüksek bor miktarı olarak belirtilmiştir.

Yılmaz (1997) ise Türkiye ve Ege Bölgesi jeotermal potansiyelini ele almıştır. Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli oldukça yüksek olup gün geçtikçe artmaktadır. Jeotermal enerji konut ısıtmasını ve elektrik üretimini kullanıldığı belirtilmektedir. Çalışma alanı Türkiye'nin en önemli jeotermal sahalarındadır. Alanda derinliği 3000 m'yi aşan ve sıcaklığı 270 °C'nin üzerinde olan kuyular delinmiştir. 2007 yılında yürürlüğe giren; jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular kanunundan sonra, MTA elindeki jeotermal sahaları ihale ile devretmiştir. Ayrıca özel ve tüzel kişilerin bölgede aldığı jeotermal ruhsat sayısı 1000'i aşmaktadır. Yörede Türkerler AŞ'ye ait bir adet 24 MW gücünde jeotermal elektrik santrali çalışmakta ve 100 MW'a yakın üretebilecek kapasitede jeotermal elektrik santralinin kurulmasına devam etmektedir.

Aksoy ve diğer (2009) ise Ege Bölgesinin en önemli jeotermal sahalarından biri olan Balçova jeotermal sahasında yapmış oldukları çalışmalarda, jeotermal suların yeraltı suyuna olan etkilerini ortaya koymuşlardır. Özellikle açılan jeotermal sulardan kaynaklanan, kaçaklar, kuyu problemleri ve yanlış re-enjeksiyon uygulamalarının yeraltı suyu kalitesi gerek fiziksel gerekse kimyasal açıdan etkilediklerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca jeotermal sularda içme suyu standartlarının üzerinden arsenik ve bor değeri belirlenmiştir.

Serpen ve diğer (2008) tarafından 2008 yılından yayınlanan çalışmada, Türkiye jeotermal potansiyeli ele alınmıştır. Türkiye’de en önemli jeotermal sahaların büyük bölümünün Ege Bölgesinde yer aldığı belirtilmektedir. Ege Bölgesindeki jeotermal suların sıcaklıklarının 120-240 °C arasında değiştiği ve orta ve yüksek entalpili jeotermal sahalar olarak tanımlanmıştır.

Toka ve diğ er (2012) tarafından yapılan patlamanın değerlendirildiği rapora göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. Kuyuda kesilen litolojiye göre 0-40 metre arası alüvyon olup 40-1080 metre arası Neojen birimler ve 1080 metreden sonra metamorfik kayaçlar kesilmiştir. Muhafaza borusu 220 metreye indirilip boru arkasının yüzeye kadar çimentolanmış olduğu belirtilmiştir. Kuyu 1080 m'ye kadar ilerlenmiş ve bu metreden sonra gaz akışı başladığı kuyu çamur ile kuyu kontrol alınmıştır. Daha sonra kuyu kontrol altına almak için preventler kapatıldığında 150 metre mesafede bir noktadan jeotermal akışkan yüzeye p sk rm şt r. En son püskürme 06.06.2012 tarihinde olmuştur. Daha sonra kuyuyu temizlemek ve p sk rmelerini önlemek için  imentolama sırasında jeotermal patlama noktalarında 22 günde kuyunun etrafında 5 kez yer değiştirmiştir. Jeotermal patlama olduğundan çevredeki üzüm bağlarına zarar vermiştir.

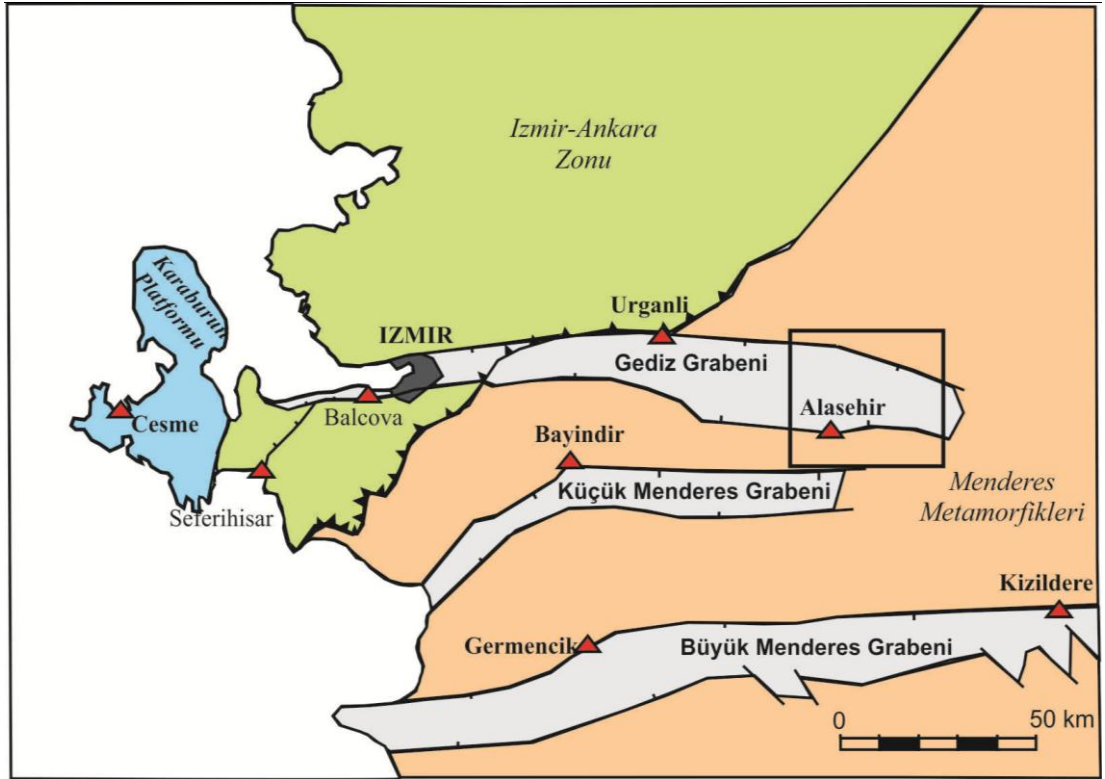
Yukarıda yapılan çalışmalara göre ülkemizde jeotermal potansiyelin yüksek olduğu özellikle Ege bölgesinde ise Alaşehir ovasının oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğu g r lmektedir. Ayrıca jeotermal suların çevreye ve su kalitesi üzerine olumsuz etkileri üzerine de çalışmalar yer almaktadır. Ancak  alışma alanı olan Alaşehir ve çevresinde jeolojik çalışmalar ağırlıklı olmasına karşın jeotermal suların ve aktivitelerin Alaşehir ovasındaki yeraltı suyu kalitesine olan etkileri üzerine bir çalışma yoktur. Özellikle son zamanda meydana gelen jeotermal patlamanın olası yeraltı suyu kimyası ve kalitesi üzerine etkisi konusunda bir araştırma bulunmamaktadır. Bu bağlamda bu çalışmadan elde edilecek sonuçlar ile bu açığı kapatması beklenmektedir.

BÖLÜM İKİ

ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ

2.1 Giriş

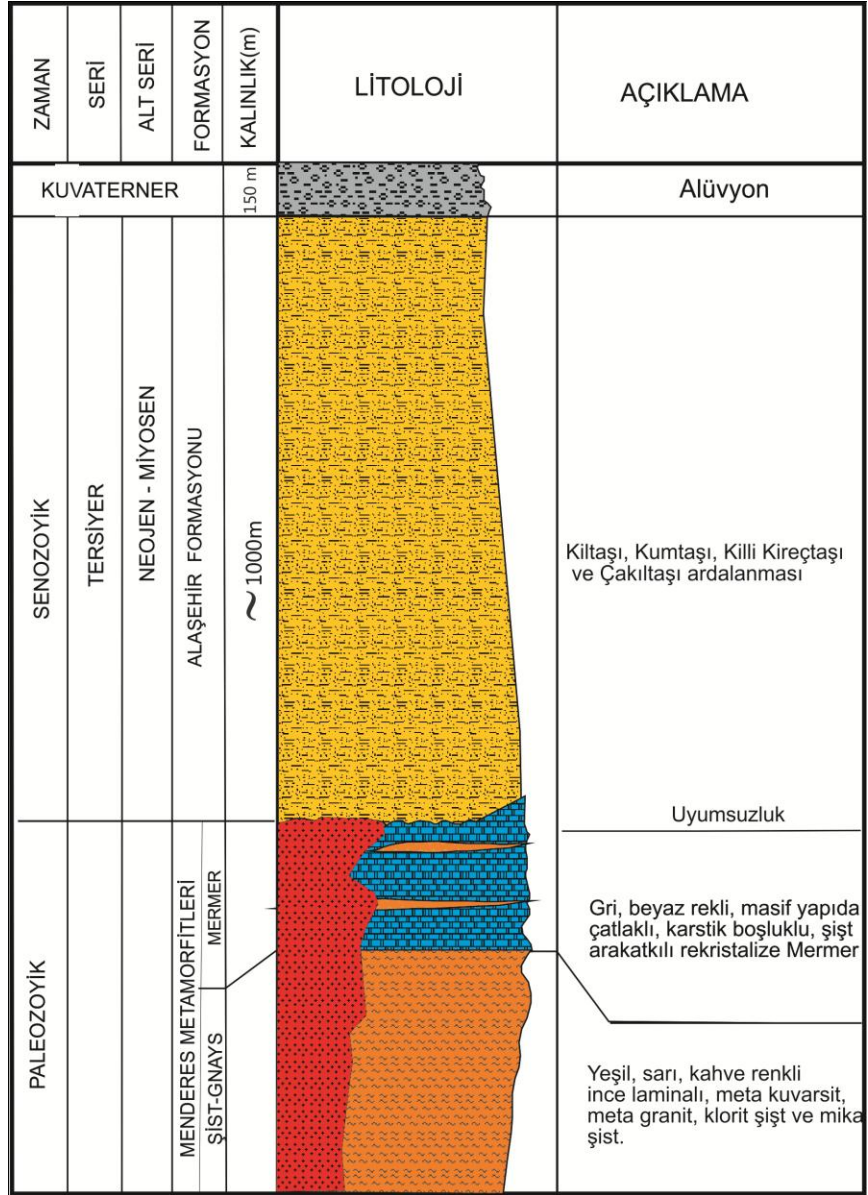
Çalışma alanı Türkiye'nin batısında önemli bir çöküntü havzası olan Gediz grabeni içerisinde kalır (Şekil 2.1). Gediz grabeni yaklaşık olarak D-B yönlü bir çöküntü havzasını oluşturur. Ege bölgesi genel olarak açılma tektoniği etkisinde kalmakta ve buna bağlı olarak birbirine paralel birçok graben sistemleri gelişmiştir (Şengör, 1987). Özellikle, Ege bölgesinde Küçük Menderes, Büyük Menderes, Bakırçay ve Gediz graben alanları jeolojik yapısı itibarı ile gerek su potansiyeli gerekse jeotermal potansiyeli açısından son yıllarda önem kazanmış graben alanlarını oluşturur. Gediz graben alanı özellikle Menderes Masifi kayalar ve meta granitler ile sınırlandırıldığı için jeotermal açısından önem kazanmıştır.



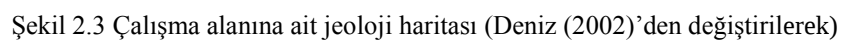
Şekil 2.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (Aksoy ve diğer., 2009)

2.2 Stratigrafi

Çalışma alanını oluşturan Alaşehir Ovası, Gediz grabeninin en doğu kesimi oluşturmakta ve KB-GD yönlü bir uzanım sunmaktadır (Şekil 2.1). Alaşehir Ovası önemli bir çöküntü alanı olup, oldukça derin jeotermal sondajlar yapılmaktadır. Stratigrafik birimler olarak temelde Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfitlelerine ait şist, mermerler ve meta granitler yer almaktadır. Bu birimler üzerine açısal uyumsuzlukla Tersiyer yaşlı tortul birimler gelmektedir. Tüm birimleri açısal uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı Alüvyonel birimler örtmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Çalışma alanına ait stratigrafik kolon kesit (Deniz (2002)'den değiştirilerek)



2.2.1 Menderes Metamorfikleri

2.2.1.1 Şistler ve Gnayslar

Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturur. Birimler daha önceki çalışmalarda Paleozoyik yaşlı Metamorfik birimler olarak isimlendirilmiştir (Erdoğan ve Güngör, 1992; Deniz, 2002). Bu birimler çalışma alanında şist, gnays, meta granitler ve mermerlerle temsil edilir. Şistler genelde kuvars şist, kalk şist, mika şist aralanmalı olarak kendini göstermektedir. Birimlerin şistozite eğimleri oldukça farklı olmalarına rağmen genel olarak güneye doğru bir eğim göstermektedir. Şistler içerisinde farklı tabakalar şeklinde mermer mercekleri yer almaktadır. Kalk şistler genelde kahverengi ve gri tonlarda olup ana bileşen olarak kalsit egemendir. Mikaşistlerin taze yüzey rengi yeşilimsi açık gri, ayrışma yüzey rengi ise grimsi sarı, gri ve kahverengidir. Çalışma alanının yüksek kesimlerinde yaygın olarak gözlenen şistler özellikle alanının KD ve GB yönünde yüksek kesimlerde yüzeyleşmektedir. Graben alanı olan Alaşehir ovasının temelinde ise yaklaşık 1000 m'lerden sonra metamorfik birimlere rastlanmaktadır. Birimin üzerine geçişli dokanakla mermer birimler gelmektedir. Birim içerisinde özellikle uyumsuzlukla meta granitler yer almaktadır. Bu birimler genelde çalışma alanının yüksek kesimlerinde şistlerle birlikte görülmektedir.

2.2.1.2 Mermerler

Temel kayası olan şistler ve gnayslar içinde geçişli dokanakla gri renkli re-kristalize mermerler yer almaktadır. Mermerler genel olarak bol eklem takımına sahip olup karstik boşluklar içermekte, yer yer bu karstik dolgu malzemesi olarak kalsit egemendir. Mermerler çalışma alanında çok küçük alanlarda gözlenmekte, özellikle çalışma alanının kuzey kesimlerinde ve güney kesimlerinde yüksek rakımlı tepelerde mostra vermektedir. Temel kayası kuvars, kuvars şist, kalk şist, şist ve mermerden oluşmaktadır. Jeotermal akışkan temel kayasında yer alan fay ve çatlaklar da hareket etmektedir. Ayrıca temel üzerinde yer alan sıyrılma fayı ve Neojen birimler içerisindeki çatlak ve boşluklar da jeotermal rezervuarın bir parçasıdır.

2.2.2 Neojen Tortul Kayalar

Neojen yaşlı tortul birimler çalışma alanında Alaşehir formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Deniz, 2002). Alaşehir formasyonu Menderes Metamorfikleri üzerine açısız uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 2.2). Birim tabandan itibaren sarı renkli kumtaşı, çakıltası, kömür arakatkılı kiltaşları, kırmızı çamurtaşları ve gölsel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Neojen tortul birimler çalışma alanı içerisinde yaklaşık olarak 1300 m'lik bir kalınlığa sahiptir (Deniz, 2002). Neojen Tortul birimler çalışma alanın düşük topografya kesimlerinde alüvyon yelpazesine paralel olarak graben alanını çevrelemektedir (Şekil 2.2 ve Şekil 2.5). Özellikle graben alanı içerisinde oldukça kalın bir istif sunmaktadır. Sarı ve kahve renkli çakıltaları orta kötü yuvarlaklaşmış, kötü boylanmış, çakıllar köşeli ve yarı köşeli taneler içeren kuvarsit, şist ve gnays çakılları bulundurur (Şekil 2.4). Birim içerisindeki kumtaşları kırmızımsı, kahve ve sarımsı renklere olup genellikle metamorfik birimlere ait taneler içermektedir. Birim içerisindeki kiltaşları kömür tabakaları içermekte olup organik malzemelerce zengin bir tabakayı oluşturur. Neojen Tortul birimler üst dokanağı Kuvaterner alüvyon birimi ile uyumsuzdur (Şekil 2.2).

2.2.3 Kuvaterner Alüvyon

Kuvaterner yaşlı alüvyonel birimler çalışma alanının çöküntü ovası olan Alaşehir ovasında tüm birimleri üstlenmektedir (Şekil 2.2 ve 2.3). Alüvyonlar genelde akarsular tarafından taşınan kıl, kum, çakıl gibi kütle parçalarının, suyun akış hızının azalması sonucu elverişli yerlere birikmesiyle meydana gelen tortulardır. Alaşehir ovasında alüvyonel malzemeler genelde kum ve çakıllardan oluşmaktadır. Alüvyon dağılımı Şekil 2.5'de görülmektedir.

2.3 Yapısal jeoloji

Çalışma alanında yapısal unsurlar olarak faylar, tabakalanma ve şistozite olarak karışımıza çıkmaktadır. En önemli yapısal unsurlar ise çalışma alanında graben sistemini

oluşturan KB-GD yönlü graben faylarıdır. Bu faylar Alaşehir çöküntü ovasının şekillenmesine ve çevresindeki yükseltilerin ise horst yapısının oluşmasına neden olmuşlardır (Deniz, 2002). Bu faylar çalışma alanında jeotermal suların oluşmasında etkin rol oynayan fay sistemleridir (Yılmaz ve diğer., 2000 ve Sözbilir, 2001). Çalışma alanında gözlenen graben fayları genelde düşük açılı faylar olup doğu ve batı kesimlerde topografik yapıya paralel olarak uzanmaktadır. Diğer fay sistemleri ise graben faylarına paralel olarak gelişen tali faylardır.



Şekil 2.4 Neojen kırıntılı birimlerin görünümü



Şekil 2.5 Alkan Köy'ünden Alaşehir Ovasının görünümü

BÖLÜM ÜÇ

ALAŞEHİR OVASINDA JEOTERMAL FAALİYETLER

3.1 Jeotermalin Tanımı

Jeotermal, kelime olarak jeo (yer), termal ise ısı anlamında olup, jeolojik kökenli ısı kaynağı anlamı taşımaktadır. Bu ısı kaynağı ise yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasal içeren sıcak su, buhar ve gazlardan oluşmaktadır (JMSHK, 2007). Bu akışkanlar günümüzde evsel ve sera ısıtması ve elektrik üretimi gibi amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2 Kullanım Alanları

Dünyada jeotermal zenginliği önde gelen bir ülke Türkiye, jeotermal potansiyeli ile toplam elektrik enerjisi ihtiyacının % 5'i kadarını karşılayabilecektir. Türkiye'nin elektrikte jeotermal kaynaklı kurulu gücü 2015 yılı için 430 MW'dır. Bu rakamın 2020'ye kadar 1000 MW olması beklenmektedir. Nihai hedef 2,000 MW'dır(Aksoy, 2014).

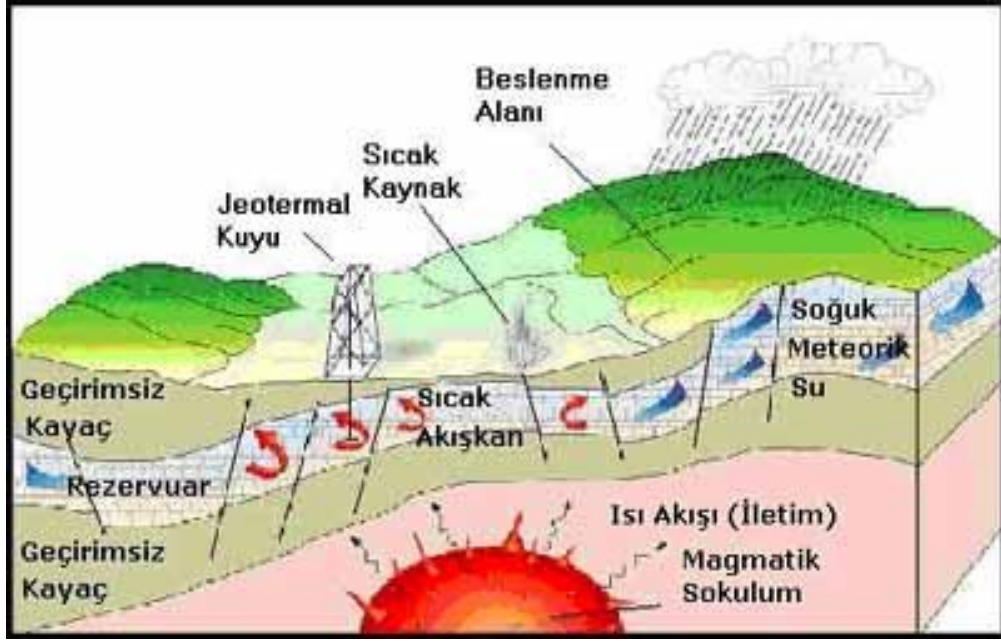
Doğrudan kullanımda sera ve konut ısıtmasında yaygın olarak kullanılmakta olup 80,000 konut eşdeğeri kapalı alan ısıtması ve 3,000 dönüm sera ısıtması yapılmaktadır. Doğrudan kullanımda kurulu güç 800 MW kadardır. Bir yan ürün olarak Kızıldere ve Salavatlı sahalarında CO₂ üretimi yapılmaktadır. Jeotermal kaynaklardan üretilen CO₂, tesiste ayrıştırılıp depolanmaktadır. Yıllık kapasite 200,000 ton'dur. Kaplıca amaçlı kullanım 2,000,000 kişi/yıl'dır(Aksoy, 2014).

3.3 Jeotermal Sistem

Bir jeotermal alanın oluşumunu sağlayan ve beslenme alanı, akışkan, ısı kaynağı, rezervuar, örtü kaya ve boşalım alanının tümünü kapsayan, akışkanın kaynak veya üretildiği, kendine özgü jeolojik yapısı, hidrojeolojik ve kimyasal özellikleri olan sistem olarak tanımlanır (JMSHK, 2007). Bir jeotermal sistem Şekil 3.1’de görüleceği üzere, ısıtıcı kaya, rezervuar, geçirimsiz örtü ve akışkanın yukarı çıkmasını sağlayan faylar veya sondajlar görülmektedir.

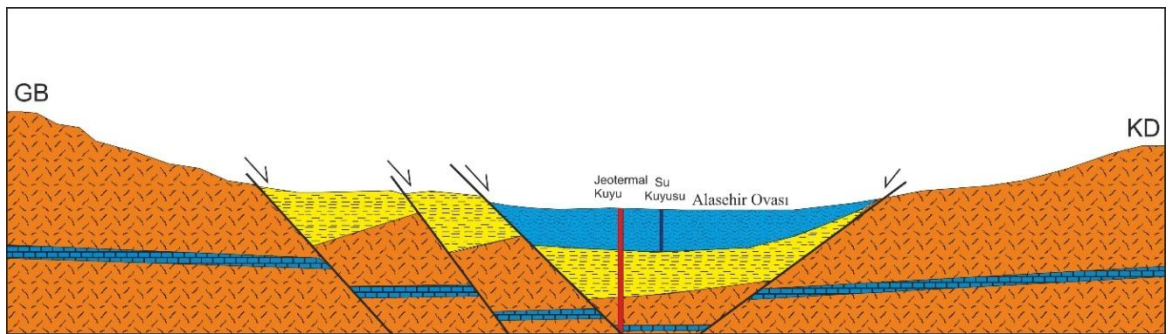
Bir jeotermal sistemde dolaşan akışkanın yerin derinliklerinde dolaşırken ısınmasını sağlayan, sıcak kaya kütleleri veya gradyana bağlı olarak yerin derinliklerine doğru 33 m’de 1 °C ısınmasıdır. Çalışma alanı graben alanı olup gerek kabuk incilmesi gerekse yakın çevrede yer alan meta granitlerin varlığı ısıtıcı kayalar olarak düşünülmektedir. Bölgede hesaplanan ısı akısı değeri (100-200MW/m²)’dir (Serpen ve diğer, 2008).

Sıcaklık ve jeokimyasal açıdan doğal bir denge içinde bulunup bir bütünlük ifade eden, değişik şekillerde dışarıdan beslenen yarı açık veya kapalı sıcak su ve/veya buhar üretim ortamını ifade etmektedir (JMSHK, 2007). Çalışma alanında yer alan Paleozoyik temel içindeki mermerler ve şistlerdeki kırık ve çatlaklar jeotermal akışkanın dolaşımına imkan sağlayan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.1 Bir jeotermal sistemin bileşenleri

Jeotermal sistemlerde rezervuar kayasının üzerinde yer alan geçirimsiz özellikteki kaya kütlelerine örtü kayası denilmektedir. Bu bağlamda çalışma alanında Paleozoyik birimleri üstleyen Neojen Tortul kayalar örtü kayası niteliğindedir. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi jeotermal rezervuar kayası olan Menderes Metamorfitlelerine ait mermerlerin üzerinde kalın bir Neojen örtü tabakası yer almaktadır.

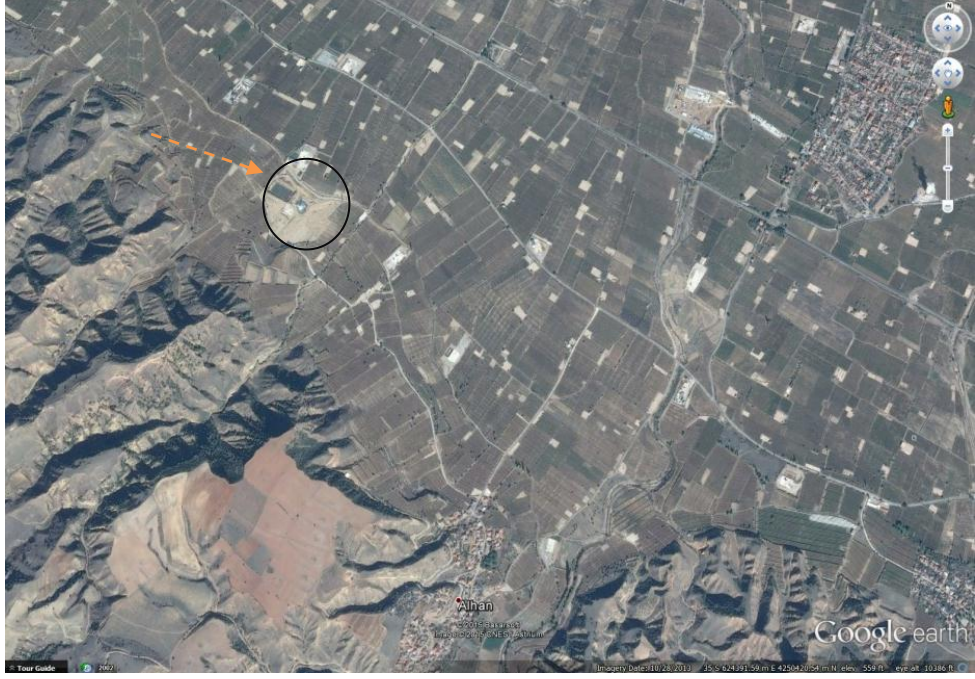


Şekil 3.2 Alacchir jeotermal sistemini yansıtan basitleştirilmiş jeolojik kesiti

3.4 Alaşehir Jeotermal Aktiviteler

Çalışma alanında son yıllarda önemli oranda jeotermal sondajlar yapılmıştır. Yapılan sondajlar derinlikleri genelde 1500-4000m arasında değişmektedir. Jeotermal sondajlar özellikle kendiliğinden çıkmayan jeotermal suları veya sıcak su buharını yüzeye çıkarmak için rezervuar kayasını delerek içerisindeki akışkanın üretilmesi için açılan derin sondajlardır. Bu bağlamda açılan jeotermal sondajların yüzeyde yer alan soğuk su akiferlerini etkilememesi gereklidir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda jeotermal sondajlarda yapılan hatalara bağlı olarak (teçhiz hatası veya kuyularda delinme) soğuk yeraltı suyu kaynaklarında kirlenmelerden bahsedilmektedir (Dogdu ve Bayari, 2005; Aksoy ve diğer., 2009). Özellikle, jeotermal su kaynaklı bor ve arsenik kirliliği Ege bölgesinin en önemli su havzalarında biri olan Gediz havzasında belirlenmiştir (Gemici ve Tarcan, 2002).

Çalışma alanı olan Alaşehir Ovasında bir jeotermal sondajda 2012 yılında bir patlama meydana gelmiş ve 200 hektarlık bir alanda etkili olmuştur (Şekil 3.3 ve 3.4). Kuyu uzun süre kendi kendine fışkırmıştır (Şekil 3.4). Meydana gelen patlama geniş bir alanda etkili olmuş ve çevredeki üzüm bağları etkilenmiştir (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7). Bu bağlamda, bu jeotermal patlamanın yüzeysel tahribatı görülmesine karşın, özellikle yeraltı suyu üzerine olası etkileri bilinmemektedir. Bu çalışmada bu etkiler ortaya konulmaya çalışılacaktır.



Şekil 3.3 Alhan Köyü yakınında meydana gelen jeotermal patlama lokasyonu



Şekil 3.4 Kuyu etrafında meydana gelen    me



Şekil 3.5 Jeotermal kuyuda meydana gelen patlamanın etkilediği alan



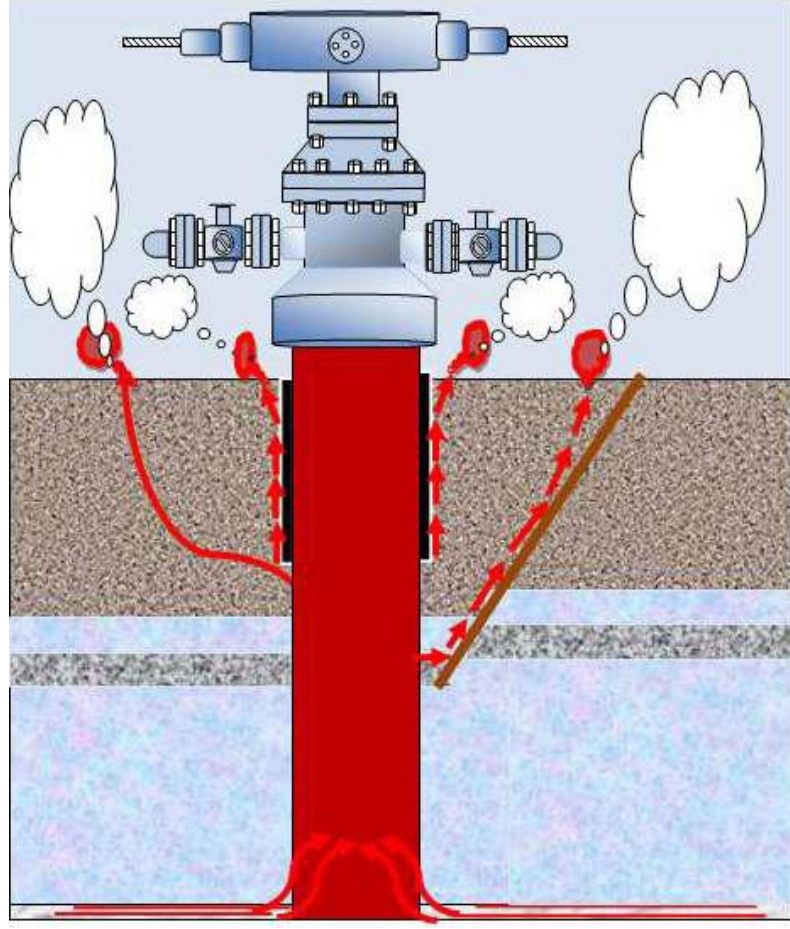
Şekil 3.6 Bağlarda meydana gelen hasar



Şekil 3.7 Jeotermal patlama meydana gelen kuyunun son durumu

Yüzeysel olarak gözlenen etki yanında yeraltında meydana gelen etkiler tam olarak bilinmemektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında çalışma alanında yer alan yeraltı suyuna jeotermal suların etkisinin araştırılması önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda jeotermal kuyuya patlama nedeni olarak teçhiz hatasının olduğu vurgulanmaktadır (Toka ve diğer., 2012). Ayrıca kuyu tipik kesiti ve patlama modeli Şekil 3.8’de sunulmuştur. Bu veriler ışığında yeraltında jeotermal sızıntının olabileceği ve yeraltı suyunu etkileyeceği düşünülmektedir. Bunlara ek olarak, bölgede enerji üretimine yönelik olarak sondaj faaliyetlerinin hızlı bir şekilde arttığı ve yeni santrallerin kurulduğu görülmektedir (Şekil 3.9).

Kuyu delinmesi sırasında yaklaşık 200 m alüvyon kesilmiş, 1000 m kalınlığa ulaşan Neojen kırıntılı birimlerden sonra Metamorfik birimlere girmiştir. Kuyu 200 m muhafaza borusu ile teçhiz edilmiş olup, jeotermal akışkanın Metamorfik birimleri kesilmeye başladığında gelmeye başladığı bu esnada preventerin kapatılması ile 150 m’lik bir daire şeklinde kuyu çevresinden akışkanın çıkmaya başlaması ile saha terk edilmiştir. Kuyu şeması Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8 Jeotermal patlama modeli (Toka ve diğer., 2012)



Şekil 3.9 Bölgede yeni kurulan enerji santralleri

BÖLÜM DÖRT

ÇALIŞMA ALANIN HİDROJEOLJİSİ

4.1 Su Noktaları

Çalışma alanında su noktalarını yüzeysel dereler ve sondaj kuyuları oluşturmaktadır. Çalışma alanının güneyinde Avşar ve Buldan Barajı yer almakta olup, çalışma alanı sınırları dışındadır.

4.1.1 Akarsular ve Dereler

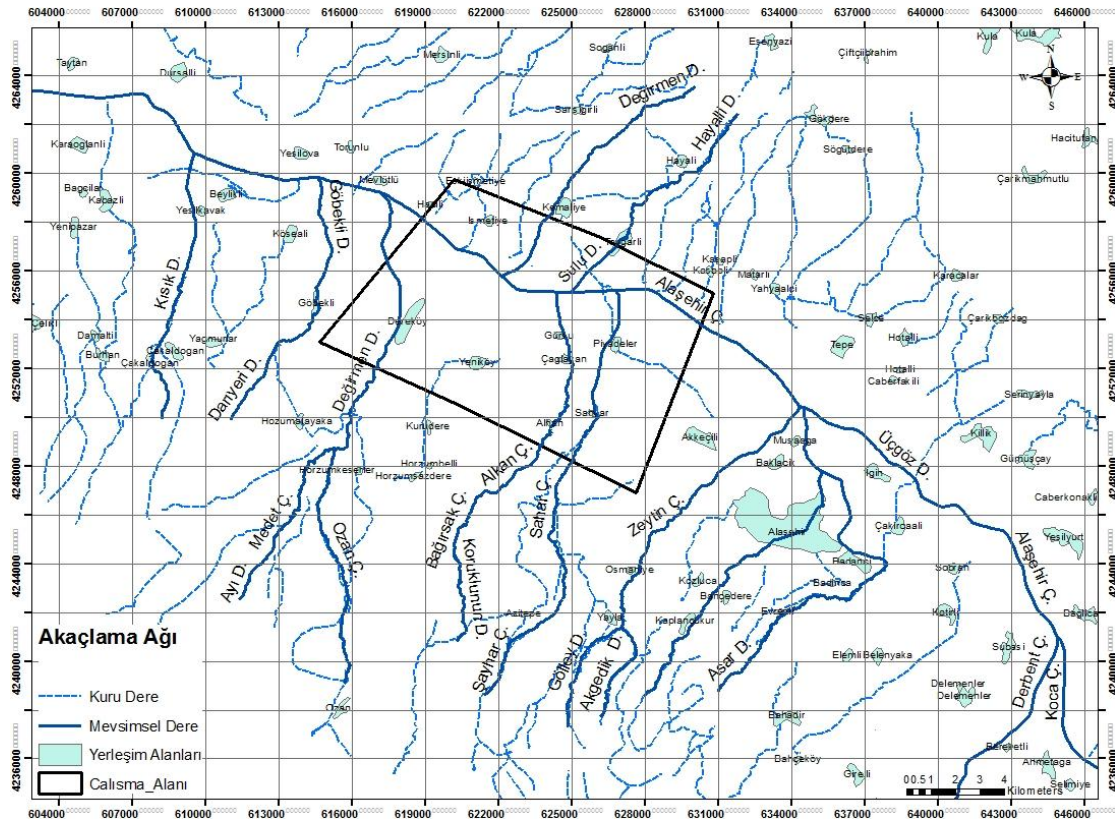
Çalışma alanında akarsu niteliğindeki yüzeysel suları Alaşehir Çayı oluşturmaktadır. Alaşehir Çayı Alaşehir havzasında yer alan Koca Çay ve Derbent Çayı'nın birleşimi ile meydana gelmekte ve Bozdağlar'dan gelen irili ufaklı derelerin katılımı ile genişlemekte ve alanın kuzey kesimlerinde Gediz Nehri'ne katılmaktadır. Bölgenin ana drenaj ağı haritası Şekil 4.1'de verilmiştir. Genel olarak GD-KB yönlü bir akış sunan ana drenaj ağına KD-GB yönlü yan derelerin katılımı ile oluşan bir sisteme sahiptir.

4.1.2 Su Kuyuları

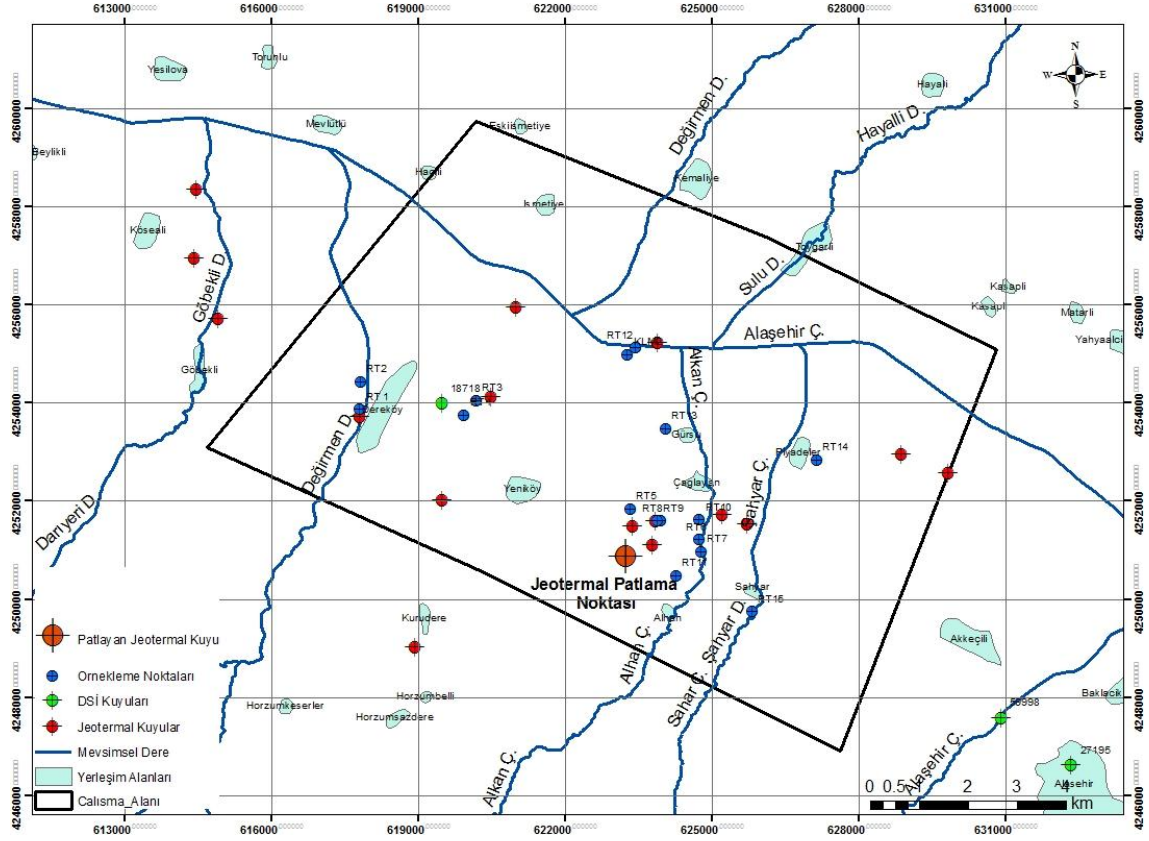
Çalışma alanında DSİ, Özel İdare, belediyeler, köy muhtarlıkları, sanayi tesisleri ve özel kişiler tarafından pek çok kuyu açılmıştır. Bu kuyular içme-kullanma, tarımsal sulama ve endüstriyel su temini amaçlarıyla kullanılmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde tespit edilen kuyuların yerleri Şekil 4.2'de sunulmuştur. Bu kuyuların derinlikleri genelde 60-120 m arasında değişmekte ve alüvyon akiferde yeraltı suyu üretimi yapılmaktadır.

4.1.3 Sıcak Su Kuyuları

Diğer kuyuları ise jeotermal amaçlı açılmış sıcak su kuyuları oluşturmaktadır. Bu kuyu derinlikleri 800 ile 3000 m arasında değişmektedir. Bu kuyular Menderes Masifi içerisindeki mermerlerden sıcak su üretimi yapmaktadır. İnceleme alanı ve çevresinde yer alan jeotermal kuyuların dağılımı verilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Çalışma alanı ve çevresinin akaçlama ağı



Şekil 4.2 Çalışma alanında yer alan soğuk ve sıcak su kuyuları

4.2 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

4.2.1 Menderes Metamorfizleri

Çalışma alanının temelini oluşturan şist birimi, genellikle ince orta yapraklanmalı, bol kıvrımlı ve yersel ayrışma gösteren az geçirimli-geçirimsiz bir özelliğe sahiptir. Şist birimi bu özelliğinden dolayı yeraltı suyunun daha derinlere süzülmesini önleyerek geçirimsiz tabaka özelliği göstermektedir. Şist birimi içerisinde kalkşit ve kuvars şist seviyeleri çatlaklı olmaları durumunda yersel yeraltı suyu sağlamaktadır. Şistlerle geçişli olan mermer birimi düzgün ve orta katmanlanmalı, bol çatlaklı ve bol karstik boşluk olup geçirgen ve bünyesinde su bulundurabilme özellikleriyle inceleme alanında en iyi akifer kaya birimini oluşturur. Yüksek kesimlerde gözlenen mermerler, ayrıca ova kesimde jeotermal sistemin rezervuar kayasını oluşturur (Tarcan ve diğer., 2000).

Alaşehir ovasında yayılım gösteren Paleozoik Menderes Masifi Metamorfikleri'nde DSİ tarafından yapılan 36843 numaralı sondaj kuyusunda 132 m'de, 49884 numaralı kuyuda ise 150 m'de şistler kesilmiştir. Kesilen şistler kalk şist olup, kısmen yeraltı suyu sağlayan birimi oluşturur. Paleozoyik temel stratigrafik olarak tabanda yer alırlar ve çalışma alanının dağlık bölümlerinde yani doğu ve batı kesimlerinde ayrıca, ovada ise 2000 m derinlerde rastlanmaktadır.

4.2.2 Neojen Kırıntılı Birimleri

Çalışma alanındaki Neojene ait birimler, tabandan itibaren çakıltaşları, kumtaşları kil taşları ve üst kesimlerde killi kireçtaşlarından oluşan kırıntılı birimleri oluşmaktadır. Çalışma alanında Neojen birimler Alaşehir Ovası'nın doğu ve batı kesimlerinde graben faylarına paralel olarak gözlenmektedir. Ayrıca, yapılan sondajlarda alüvyon altında yer almaktadır. Killi kireçtaşları, geçirimli özelliği ve çatlak sistemlerinin geliştiği bölümlerde kısıtlı da olsa yeraltı suyu bulundurmaktadır. Kireçtaşları ise genel olarak alanın güney doğusunda gözlenmektedir. Birim içerisinde farklı derinliklerde yer alan çakıltaşları ve kumtaşları akifer özelliğindedir. Bölgede yapılan çalışmada birim Alaşehir Formasyonu olarak tanımlanmış ve içerisinde farklı derinliklerde çakıltaşları ve kumtaşları ayırt edilmiştir. Bölgede Neojen serilerin kalınlığı 2000 m'ye kadar ulaşmaktadır (Seyitoğlu ve diğer., 2002).

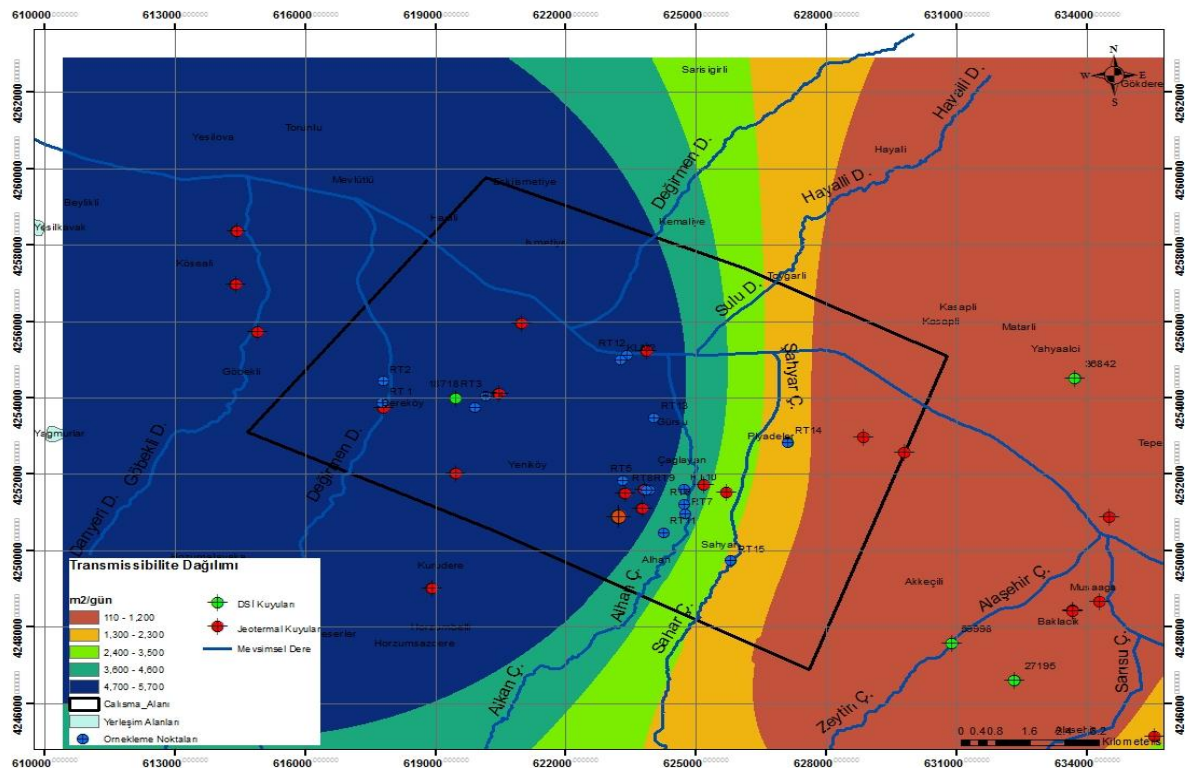
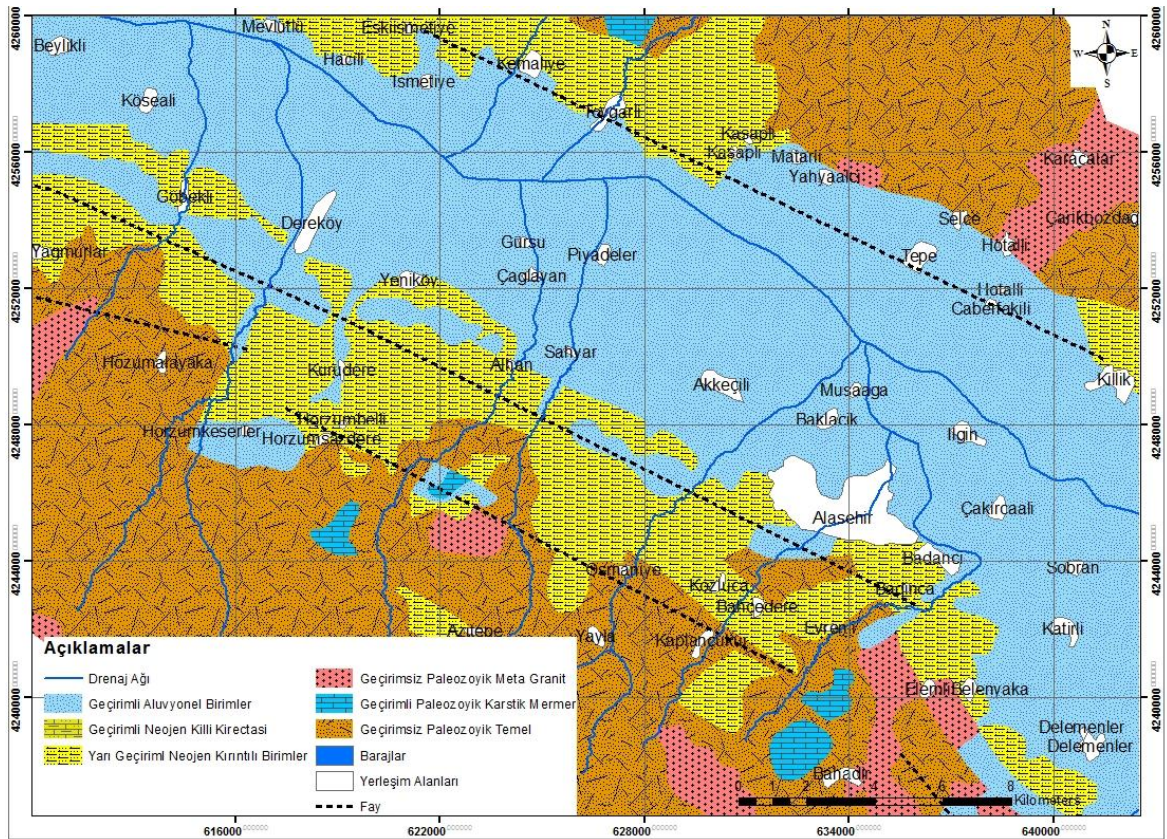
4.2.3 Kuvaterner Alüvyon

Çalışma alanında en önemli yeraltı suyu akiferini Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturur (Şekil 4.3). Genel olarak çakıl, kum, kil ve siltlerden oluşan birim, çakıl ve kum ağırlıklı olduğu takdirde önemli yeraltı suyu sağlamaktadır. Bölgede açılan su sondaj verilerine göre birimin kalınlığı kıyı kesimlerinde 83 m, ova orta kesimlerinde ise 227 m'ye kadar ulaşmaktadır. Ova'da açılan DSİ kuyu verilerine göre alüvyon akiferde açılan kuyuların özgül verimleri 0,41 ile 22,56 lt/s/m arasında değişmektedir. Transmissibilite değeri 9,8 ile 15800 m²/gün arasında değişmektedir. Transmissibilite değerinin yüksek olduğu kesimleri alüvyon yelpazelerinin yer aldığı yan dereler ve çevresi oluşturmaktadır.

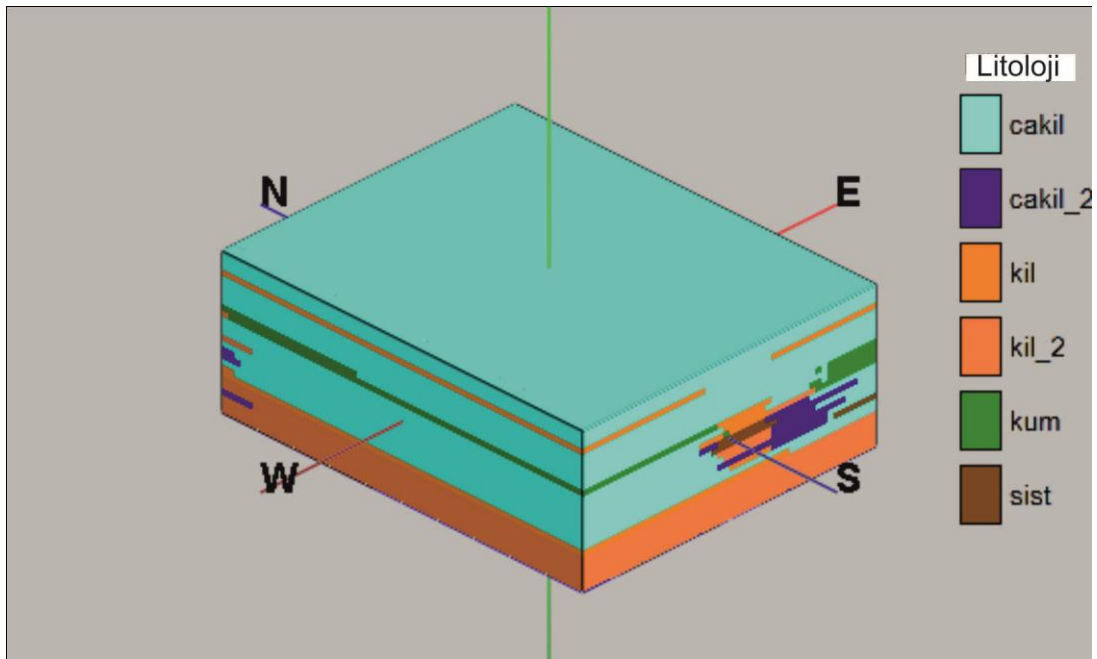
Tablo 4.1 Alüvyon akiferde açılan DSİ kuyu bilgileri

Kuyu No	X	Y	Açıldığı Yıl	Kuyu Derinlik	Statik seviye	Dinamik Seviye	Debi	Ozgül Debi	T (m2/gün)
18718	619475	4253980	1974	165,20	19,09	21,34	50,46	22,43	5694
18719	648600	4237600	1973	187,00	2,4	12,59	56,52	5,55	640
22040	640500	4239700	1977	177,00	2,29	7,65	60,62	11,31	3646
26675	642300	4247400	1979	99,00	14,9	22,73	60,24	7,69	2257
27195	632350	4246600	1980	83,00	23,15	34,15	22,14	2,01	139
22043	638766	4244110	1977	151,00	2,12	22,04	14,76	0,74	70
25002	642650	4238125	1979	85,00	5,28	7,95	60,24	22,56	15800
25001	638800	4241600	1979	90,00	4,48	9,07	60,24	13,12	19155
49709	648428	4242950	1995	108,00	41,00	44,15	32,00	8,00	
36842	633750	4254500	1988	150,00	9,16	31,93	20,00	0,88	112
36843	636400	4252800	1988	144,00	21,57	45,88	10,00	0,41	112
36844	639250	4251100	1988	142,50	44,00	55,77	20,00	1,70	451
49712	648625	43550	1995	100,00	42,70	80,00	71,00	4,00	
47608	640800	4246900	1994	150,00	18,74	33,16	25,00	1,73	123
49884	638950	4240020	1995	155,00	46,2	49,62	30,00	8,77	256
49885	638425	4239175	1996	148,00	16,45	71,95	1,00	0,02	9,8
49886	637800	4240000	1996	227,00	61,25	71,35	15,00	1,49	182
49887	638475	4240350	1996	156,00	36,15	38,87	30,00	11,03	4740
49888	638750	4239650	1996	160,00	41,63	48,96	30,00	4,09	2633
56852	637200	4242625	2002	152,00	48,07	59,93	25	2,11	344,9
59998	630904	4247567		150,00	38,42	44,95	25	3,83	372,6

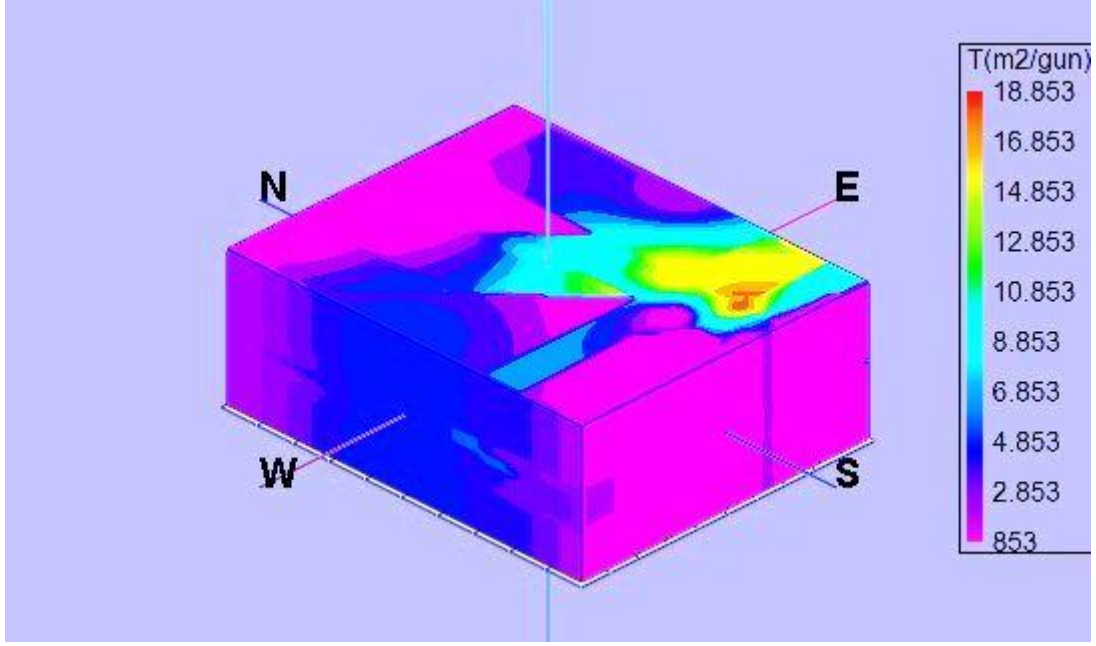
Alüvyonu oluşturan malzemeler ova kıyı kesimlerinde ve yan derelerin ova kesimlerinde birleşme alanlarında kaba taneli çakıl ve kum egemen iken, orta kesimlerde kil ve silt egemenliği söz konusudur. Tablo 4.1’de verilen bilgiler ışığında Şekil 4.4’da yapılan transmissibilite dağılım haritasına göre alüvyon akiferin transmissibilite değeri alanın batı kesimlerine doğru artmaktadır. Özellikle Alhan çayının batı kesimleri transmissibilite değeri yüksek çakıl ve kumların egemenliğini ifade etmektedir.



Aynı veri tabanı kullanılarak Rockware programı ile üç boyutlu olarak jeolojik modeli ve transmissibilite dağılım modeli Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da sunulmuştur. Modelde görüleceği üzere alüvyon malzemesinin yatay ve düşey olarak dağılımının değiştiği ve geçirgenliği fazla olan çakıl tabakasının alanın güneyinde ve batı kesimlerinde dağılım sunduğu görülmektedir. Bu geçirimli malzemelerin transmissibilite değerlerinde benzer şekilde batı kesimlerinde ve güneyde ise lokal bir alanda yüksek değerler verdiği görülmektedir. Alüvyonun farklı seviyelerde kil tabakası ile sınırlandırılarak serbest ve basınçlı akifer özellikleri kazandırdığı görülmektedir.



Şekil 4.5 Çalışma alanını ve çevresinin 3D boyutlu jeolojik modeli



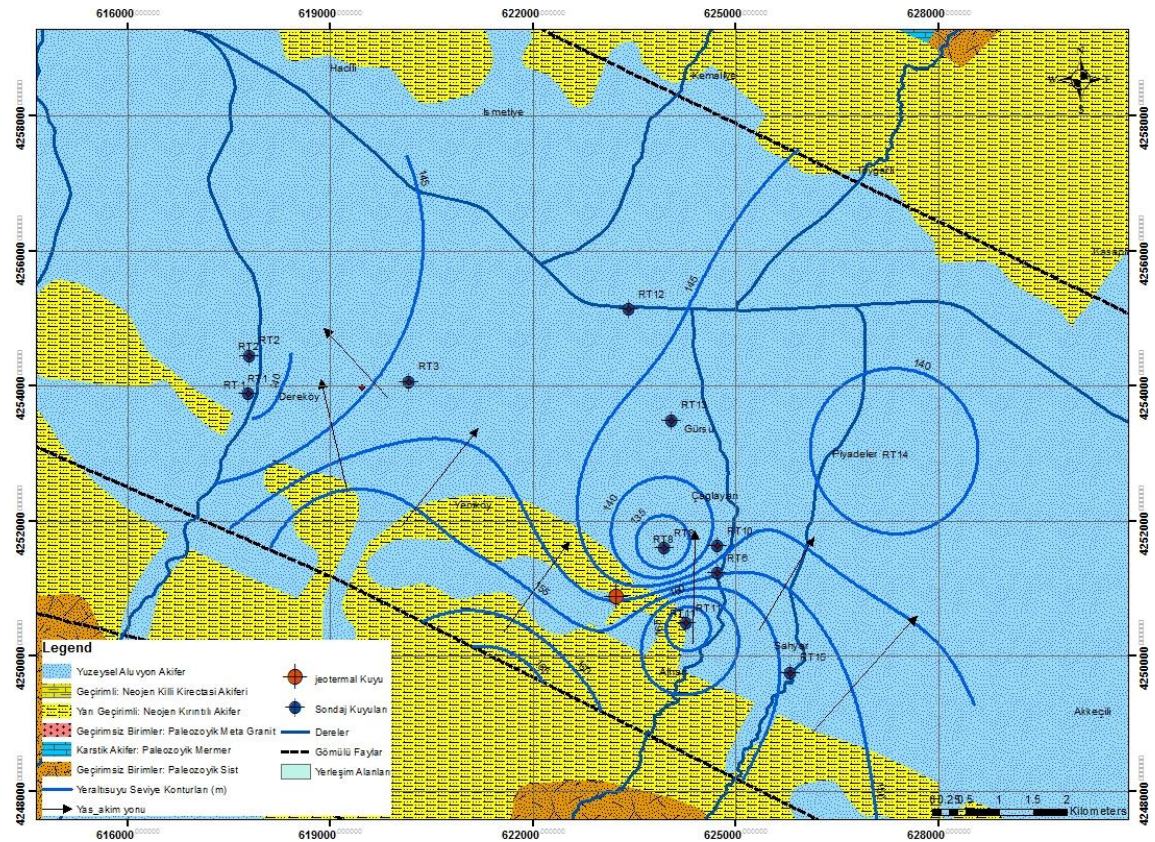
Şekil 4.6 Çalışma alanını ve çevresinin 3D boyutlu transmisibilite dağılım modeli

4.3 Yeraltı Suyu Seviye Değişimi ve Akım Yönleri

Arazi çalışması kapsamında belirlenen seviye ölçüm noktalarından Mayıs ve Eylül döneminde seviye ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mayıs döneminde yapılan seviye ölçüm değerleri Tablo 4.2’de sunulmuştur. Ölçülen seviyeler göre Mayıs ayında statik seviye 5,0 ile 39,9 m arasında değişmektedir. Eylül ayında ise 19,6 ile 39,82 m arasında değişmekte olup, bazı kuyularda sulama suyu çekimlerine bağlı olarak düşümler gözlenmektedir. Bölgede jeotermal patlamanın meydana geldiği bölgede yer alan RT-8 numaralı sondaj kuyusu içerisine elektriksel iletkenliği, su sıcaklığı ve seviye değerlerini sürekli kaydeden CTD diver yerleştirilmiştir. Mayıs ayından itibaren kuyuya yerleştirilen CTD diver ile her saat başı kuyudaki seviye, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değişim verileri okumakta ve kaydetmektedir. Mayıs ayında yapılan statik seviye ölçümlerine göre yeraltı suyu seviye haritası yapılmıştır (Şekil 4.7). Yeraltı suyu kontur haritasına göre akım yönü topografyanın yüksek olduğu güneyden ovaya doğru, ovaya indikten sonra ise batı kesime doğru bir akış söz konusudur.

Tablo 4.2 Yeraltı suyu seviye ölçüm sonuçları

GPS No	Örnek No	X	Y	Z (m)	Mayıs Statik Seviye (m)	Eylül Statik Seviye (m)	Mayıs Ayı Su Kotu (m)	Eylül Ayı Su Kotu (m)
148	RT-1	617760.00	4253961.00	162	21,5	24,05	140,5	137,9
152	NKT-152	620467.00	4253742.00	162	19,8		142,1	
157	RT-8	623944.00	4251594.00	171	39,9	39,82	131,1	131,1
161	RT-11	624279.00	4250484.00	186	18,2	19,60	167,7	166,4
167	RT-14	627142.00	4252843.00	157	20,0		137	
168	RT- 15	625823.00	4249745.00	200	5,0	20,80	195	195
169	RT-16	631065.00	4250195.00	153	12,1		140,8	



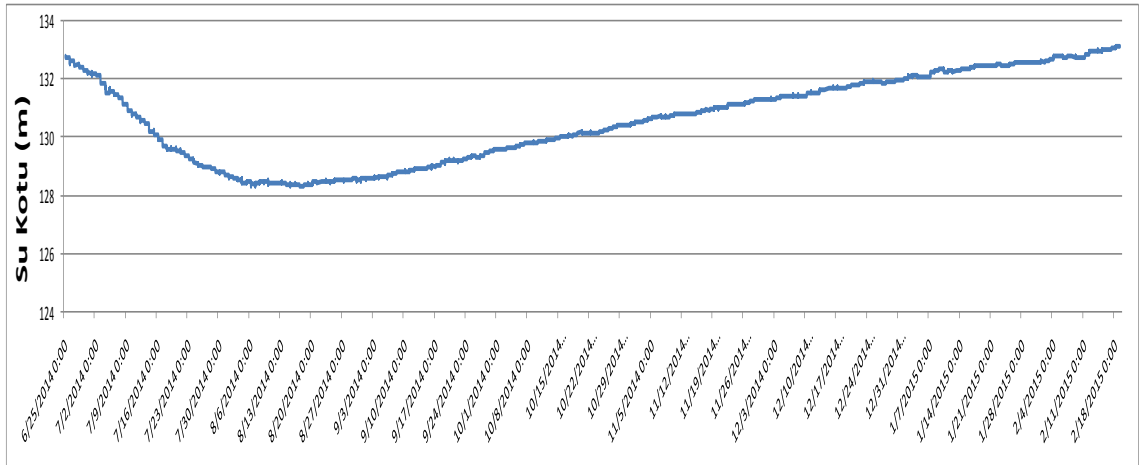
Şekil 4.7 Çalışma alanı ve çevresindeki yeraltı suyu kotu ve akım yönleri

4.4 Yeraltı Suyu Seviyesinin Zamansal Değişimi

Çalışma alanındaki yeraltı suyu seviyesinin zamansal değişimi izlemek için yukarıda da belirtildiği üzere RT-8 numaralı kuyuya CTD diver montajı yapılmıştır. Diver ile su seviyesine ilave olarak elektriksel iletkenlik ve su sıcaklığını da ölçmektedir. Bu

bölümde yeraltı suyu seviyesinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.8’de sunulmuştur. Şekil 4.8’de görüleceği üzere Haziran 2014 tarihinden itibaren Ağustos 2014 ortalarına kadar sulama suyu çekimlerine bağlı olarak düşüş eğilimindedir. Ağustos 2014 ayı sonundan sonra ise çekimlerin azalmasına bağlı olarak yükselmekte ve bu yükselim yağışlı dönem etkisi ile Şubat 2015 ayı başlarına kadar devam etmektedir. Bu yükselimin yağışlı dönem sonu olan Mayıs 2015 ayı sonuna kadar yükselim devam etmesi beklenmektedir. Bu veriler ışığında çalışma alanında yeraltı suyu seviyesinin mevsimsel olarak yağış ve kurak dönemlerden etkilendiği, özellikle kurak dönemde sulama suyu ihtiyacının başlaması ile birlikte düşüş eğiliminde ve kurak dönemi sonunda ise sulama suyunun çekiminin azalması ve yağışlı dönemin başlaması ile birlikte yükselim eğilimindedir. Haziran 2014 ile Şubat 2015 tarihleri arasında alınan verilere göre en düşük yeraltı suyu seviyesi 128,32 m, en yüksek seviye 132,8 m ve ortalama olarak ise 130,4 m olarak ölçülmüştür.

En düşük seviye kurak dönem sonu olan Ağustos 2014 ortalarında, en yüksek ise Şubat 2015 ayında kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre kurak ve yağışlı dönem arasında 4,48 m’lik bir seviye değişimi belirlenmiştir. Ancak, yağışlı dönem olan Mayıs ayı sonuna kadar yükselim devam edeceği dikkate alındığında bu seviye değişimi elde edilen veriden daha fazla olacağı dikkate alınmalıdır. Eylül ayında yeraltı suyu derinliği 39,82 m, Şubat 2015 tarihinde ise 36,2 m olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyundaki bu zamansal değişim ileriki bölümlerde su kimyası ve kirlenme açısından değerlendirilecektir.



Şekil 4.8 Yeraltı suyu seviyesinin zamana bağlı değişimi

BÖLÜM BEŞ

HİDROJEOKİMYA

Yeraltı suları farklı özellikteki jeolojik birimler içerisinde hareket etmekte ve su kayaç etkileşimine bağlı olarak kimyasal özellikleri de bulunduğu jeolojik birimlere göre değişmektedir. Kayaç içerisindeki bazı mineraller çözünerek suya geçerler. Diğer taraftan atmosferden aşağı inerken içerisine erimiş halde kimyasal maddeleri alan yağmur suları, süzülme sırasında bunların önemli kısmını, beraberlerinde yeraltı sularına taşırlar. Böylelikle yeraltı sularında farklı kaynaklardan gelen kimyasal maddeler bulunur (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Su kayaç etkileşimine bağlı olarak yeraltı sularındaki erimiş madde miktarı genellikle yüzey sularındakinden fazladır. Belli oranlarda olması gereken majör iyonlar ve elementler yüksek olması durumunda suyun kirlenmesine ve kullanılamaz durumuna gelmesine neden olabilir. Bu bağlamda suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenip, içme ve sulama özelliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 5.6 ve 5.7’de sunulmuştur.

5.1 Suların Fiziksel Özellikleri

5.1.1 Sıcaklık

Sıcaklık, yüzey ve yeraltı sularının biçim (katı, sıvı, gaz) ve yer değiştirmesine, çeşitli yerlere göç edip birikmesine ve kullanılmasına etki yapan bir faktördür. İçme ve kullanma sularında sıcaklık önemli bir faktördür. Genel olarak içme sularının sıcaklığı 25⁰C altında olması gerekir (ITHASY, 2005). 25 ⁰C ve üzerindeki sular mineralli sular sınıfında girer ve içme için uygun olmayan suları oluşturur. Bu bağlamda su sıcaklığı içme ve sulama su kalitesi açısından bilinmesi gereken bir parametredir. Çalışma alanında jeotermal sular ve yeraltı suları olmak üzere sıcaklıkları farklı iki su grubu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi olan jeotermal suların bölgedeki sıcaklıkları 100 ile 150 ⁰C arasında değişmektedir. Yeraltı suyu sıcaklıkları ise Mayıs 2014 döneminde 21,41 ile 29,5 ⁰C arasında değişmekte olup, en yüksek sıcaklık jeotermal kuyu bölgelerinde yer alan RT-2, RT-8 ve RT-9 numaralı kuyularda kaydedilmiştir. Eylül

döneminde ise 13,80 ile 30,7 °C arasında değişmekte olup en yüksek değerler RT-2 ve RT-8 ve NKT-22 de kaydedilmiştir.

5.1.2 pH

pH değerleri 0-14 arasında değişir. Suyun pH değeri hidrojen iyonu (H^+) ile hidroksil iyonunun (OH^-) derişimlerinin negatif logaritması olarak tanımlanmıştır. Genel olarak $pH < 7$ olan sular asidik $pH > 8$ olan sular ise bazik sular olarak sınıflandırılır. Asit ve bazik suların esas sınır değerleri 6,5 (asit su) ve 9,5 (bazik su) kabul edilmektedir (ITHASY, 2005). Özellikle, yeraltı suyu pH değeri, çözünmüş karbon dioksit ve diğer karbonat ve bikarbonat bileşikleri arasında dengeye bağlı olarak değişmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Bu denge sıcaklık ve basınç değişimlerine göre kolayca değişmektedir. Çalışma alanından alınan jeotermal ve yeraltı suyu Mayıs-2014 dönemi pH değerleri minimum 6,68 maksimum 8,37 ve ortalaması 6,77 olarak ölçülmüştür. Bu dönemde alınan RT-7 nolu jeotermal patlama kuyusundan çıkan sıcak suyun pH değeri 8,37 olarak kaydedilmiştir. Eylül 2014 döneminde alınan su örneklerinin pH değeri minimum 6,17, maksimum 8,23 ve ortalaması 7,14 olarak ölçülmüştür (Tablo 5.6 ve 5.7). Bu dönemde Alaşehir yolu üzerinde yeni açılan sıcak su kuyusundan alınan (NKT-21) pH değeri 8,23 olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu pH değeri 6,17 ile 7,83 arasında değişmekte olup, sulama ve içme suyu için aranan pH aralığını RT-8 ve RT-9 hariç diğerleri İTHASY (2005) standartlarını sağlamaktadır. RT-8 ve RT-9 sıcaklıklarına bakıldığında jeotermal akışkanlardan etkilenen kuyulardır. Bu bağlamda pH değerinin standartları sağlamadığı düşünülmektedir.

5.1.3 Elektriksel İletkenliği (E.C)

Elektriksel iletkenlik değeri suyun elektriği iletme özelliği olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak bütün sular elektriği iletir. Suda çözünmüş iyon konsantrasyonu ve sıcaklığı ile bu iletkenlik değeri artar. Sıcaklığın elektriksel iletkenliğe etkisi olduğu için genelde 25°C' ye indirilerek verilir. Tablo 5.1'de suların elektriksel iletkenliğine göre sınıflaması verilmektedir. Özellikle elektriksel iletkenlik değeri 2500 $\mu S/cm$ üzerinde olması durumunda içme suyu olarak kullanılamazlar (ITHASY, 2005). Sulama suları açısından da 3000 $\mu S/cm$ üzerindeki sular bazı bitkiler için zararlı olabilmektedir.

Çalışma alanından alınan jeotermal ve yeraltı suyu Mayıs-2014 dönemi EC değerleri minimum 1155,56 maksimum 2860,00 ve ortalaması 1250,25 $\mu\text{s/cm}$ olarak ölçülmüştür. Bu dönemde alınan RT-7 nolu jeotermal patlama kuyusundan çıkan sıcak suyun EC değeri 2860 $\mu\text{s/cm}$ olarak kaydedilmiştir. Eylül 2014 döneminde alınan su örneklerinin EC değeri minimum 501 maksimum 2740 ve ortalaması 1349,76 $\mu\text{s/cm}$ olarak ölçülmüştür (Tablo 5.6 ve 5.7). Bu dönemde çalışma alanında patlama bölgesine yakın yeni açılan sıcak su kuyusundan alınan (NKT- 21) EC değeri 2740 $\mu\text{s/cm}$ olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu EC değerine göre jeotermal sular hariç sulamada kullanılabilir özelliktedir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Suların EC ve % Na' ya göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

EC ($\mu\text{s/cm}$)	%Na	Suyun Sınıfı
<250	<20	Çok iyi
250 - 750	20-40	İyi
750 -2000	40-60	Kullanılabilir
2000 - 3000	60-70	Şüpheli
>3000	>80	Kullanılamaz

5.2.1 Major İyonlar

5.2.1.1 Kalsiyum (Ca^{++})

Kalsiyum, genel olarak karbonatlı kayalar (jips, dolomit, kalsit, aragonit ve anhidrit) ile bazı metamorfik ve magmatik kayalardaki minerallerin çözünmesi ile suya geçer. Sudaki kalsiyum miktarı atmosfer basıncı ve sıcaklık ile artmaktadır. Genel olarak içilen yeraltı sularındaki kalsiyum miktarı 200 mg/L'nin altında olması gerekir (ITHASY, 2005). Sularda yüksek kalsiyumun bulunması suyun tadını değiştirir ve sabunun köpürmesini azaltır. Kalsiyumun insan ve diğer canlıların sağlığı üzerinde zararlı bir etkisi yoktur. Kalsiyum sulama sularında bitkilerin gelişmesine de önemli rol oynamaktadır, bol miktarda bulunuşu sodyum yüzdesinin artışını azaltır ve zararları

önler (Şahinci, 1991). Mayıs 2014 dönemi sonuçlarına göre çalışma alanındaki suların kalsiyum konsantrasyonu minimum 95,30 maksimum 263,30 ve ortalaması ise 104,65 mg/L'dir. Eylül 2014 döneminde ise kısmen azalarak minimum 12,84, maksimum 239,9 ve ortalama olarak 99,55 mg/L olarak ölçülmüştür. Çalışma alanında Eylül örnekleme döneminde NKT-21 ve RT-8, Mayıs örnekleme döneminde ise jeotermal akışkandan etkilenen RT-9 İTHASY (2005) sınırını aşmaktadır.

5.2.1.2 Magnezyum(Mg^{++})

Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en fazla katyondur. Yeraltı sularına çoğunlukla magnezyumlu kalker, dolomit, serpantinlerden açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesi ile karışır. Suda erimiş CO_2 bulunması ile Eşitlik 5.1'de sunulan denkleme göre $Mg(HCO_3)_2$ ' a dönüşür (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).



İçme suyu olarak kullanılan yeraltı sularında 50mg/L değerinin altında olması gerekir. Yeraltı sularında 100 mg/L'den fazla magnezyum bulunması halinde, sular acılaşmakta ve içilememektedir. Magnezyumun artışı insan sağlığına, özellikle barsak rahatsızlıklarını doğurması nedeni ile önemlidir. Bitkilerin gelişmesinde, klorofilin önemli bir maddesi olması ve sodyum artışından doğacak zararları önlemesi bakımından da yararlıdır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Çalışma alanında magnezyum konsantrasyonu jeotermal sularda 1 mg/L civarında olup, yeraltı sularında ise Mayıs 2014 döneminde 51,95 ile 129,6 mg/L arasında değişmekte ve ortalaması ise 56,27 mg/L'dir. Eylül 2014 döneminde ise 2,84 ile 126,9 mg/L arasında değişmektedir. Bu bağlamda, NKT-20, RT-3 ve RT-4 örnekleme noktaları 100 mg/L seviyesinin üzerindedir.

5.2.1.3 Sodyum(Na^+)

Sodyum genellikle silikat minerallerinden, plajiyoklaslar, magmatik kayalardan ve evaporitlerden suya geçer. Genellikle içilen yer altı sularındaki sodyum miktarı 200 mg/L'nin altında olması gerekmektedir (İTHASY, 2005). Sodyum doğada en fazla

deniz suyunda bulunur. Deniz suyunda bu miktar 10.000 mg/L kadardır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Yeraltı suları sulama işlerinde kullanıldığında, özellikle killi topraklar için, sodyum miktarı çok önemlidir. Killi topraklar, sodyumca zengin yeraltı suları ile sulandıklarına, baz değişimi sonucu, toprakta gittikçe sodyum miktarı artar. Sodyum miktarı sularda 200 mg/L fazla olması durumunda zararlı etkisi vardır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973; Şahinci, 1991). Çalışma alanında sodyum Mayıs 2014 örnekleme döneminde 171,35 ile 1006 mg/L arasında değişmekte olup en yüksek sodyum konsantrasyonu KLM-2 nolu jeotermal kuyuda tespit edilmiştir. Eylül döneminde ise benzer şekilde jeotermal sularda 601 ile 618,44 mg/L ölçülmüştür. Diğer örnekleme noktalarında RT-2 hariç genel olarak 200 mg/L değerinin altındadır. Bölgede jeotermal sulardaki sodyumun Neojen kırıntılı birimlerden geldiği düşünülmektedir.

5.2.1.4 Potasyum (K^+)

Potasyum kil minerallerinden, ortoklaz ve feldispatlardan suya geçer. Potasyum yerkabuğunun % 2,5'ini oluşturur (Barış, 2008). Genellikle potasyumun içme sularında 12 mg/L seviyesini aşmaması gerekir (ITHASY, 2005). İnsanların sağlığı açısından potasyum gereklidir ancak standartların üzerinde potasyum alımı ise sağlığa zararlıdır. Potasyum Mayıs örnekleme döneminde 3,27 ile 54,58 mg/L arasında değişmektedir. Yüksek potasyum sodyuma benzer şekilde jeotermal sularda yüksek olup standart değer olan 12 mg/L'nin oldukça üzerindedir. Bununla birlikte, jeotermal akışkandan etkilenen RT-7 nolu kuyuda potasyum 54,58 mg/L olarak ölçülmüştür. Yüksek potasyum ve sodyumlu suların içme ve sulama suyu olarak kullanılması sakıncalı görülmektedir.

5.2.1.5 Karbonat ve Bikarbonat (CO_3^{2-}, HCO_3^-)

Hidrojeolojik araştırmalarda, doğal su ile dokanak halinde yüzey ve yeraltı suyunun kalsiyum karbonat dengesi en önemli jeokimyasal reaksiyonlardan birisidir. Atmosferdeki CO_2 ile karşılaşan nötr su kısmı basınçla orantılı olarak CO_2 çözecektir. Buradaki CO_2 bir zayıf asit olan H_2CO_3 oluşturacak şekilde H_2O ile reaksiyona girecek ve açığa çıkan çözeltinin pH'sı 5,7 civarında olacaktır. Organik ayrışma ile açığa çıkan zemindeki CO_2 , yeraltı suyu incelemelerinde daha da önemli bir başka doğal kaynaktır. Kalsit ve dolomit asit çözeltide çözünebilirken, yağmur suyu bile karbonat kayalarını

çözebilmektedir. Benzer şekilde, pH'daki bir değişim, bu değişimden önce denge halinde bulunan bir çözeltiden CaCO_3 ' in çökelimine yol açabilir (Fetter, 2001).

Karbonat ve bikarbonat CO_2 miktarına ve suyun pH'ına bağlı kalmaktadır. Yeraltı sularındaki bikarbonat miktarı genel olarak 10-800 mg/L arasında değişirse de, pek ender olarak 400 mg/L'yi aşmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Fazla miktarda bulunması toprakta kireç birikebilir. Bu da toprakta sodyum yüzdesinin artışı doğurur. Bikarbonat Mayıs örnekleme döneminde 26,84 ile 1450 mg/L arasında değişmekte olup en yüksek bikarbonat konsantrasyonu RT-7 ve KLM-2 nolu jeotermal kuyuda tespit edilmiştir. Eylül döneminde ise benzer şekilde jeotermal sularda 908,53 ile 1043,34 mg/L ölçülmüştür. Diğer örnekleme noktalarında RT-2, RT-8, NKT-20 ve NKT-21 hariç 800 mg/L değerinin altındadır. Jeotermal sularda ve jeotermal sulardan etkilenen kuyularda bikarbonat yüksekliği, sıcak su rezervuar kayasının mermerlerden oluşması nedeniyle bikarbonatın kaynağını oluşturmaktadır. Karbonat ise genel olarak jeotermal sularda 56,52 ile 78,48 arasında değişmektedir.

5.2.1.6 Klorür (Cl^-)

Yeraltı sularındaki klorür, deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyundan ya da atmosferden gelebilir. Yeraltı sularına en fazla klorür verecek olan kaynak deniz suyudur. Yağmur suyunda 1,0 mg/L bulunan klorür, deniz suyunda 20,000 mg/L'ye kadar yükselebilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Genel olarak yeraltı sularındaki klorür miktarı yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. İçeresin de 250 mg/L'den az klorür bulunan sular içilebilir (ITHASY, 2005). Çalışma alanında klorür Mayıs 2014 örnekleme döneminde 0 ile 200 mg/L arasında değişmekte olup en yüksek klorür konsantrasyonu RT-7 nolu jeotermal kuyuda tespit edilmiştir. Eylül döneminde ise benzer şekilde klorür konsantrasyonu sularda 6 ile 184 mg/L ölçülmüştür. Çalışma alanındaki klorür genel olarak standartların altındadır.

5.2.1.7 Sülfat (SO_4^{--})

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidrit 'den ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum

ve sodyum sülfattan da gelebilir. İçme sularındaki sülfat miktarı 250 mg/L'nin altında olması gerekir (ITHASY, 2005). Sülfatın, tarımda toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/L'ye kadar olan miktarlar, bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/L'nin üzerine çıktığında zararlı olmaya başlar (Erguvanli ve Yüzer, 1973). Çalışma alanında Mayıs 2014 dönemde sülfat konsantrasyonu 26 ile 205 mg/L değişmekte, Eylül döneminde ise sülfat konsantrasyonu 18 ile 150 mg/L arasındadır. Sülfat değerleri iki dönem arasında standart değerleri aşmadığı görülmektedir.

5.2.2 Yeraltı Sularında Bulunan Eser Elementler

5.2.2.1 Arsenik(As)

Arsenik kalkofil bir element olmaktadır; pirit, arsenopirit, demir, bakırlı şeyllerden ve fosfatlı kayaların oksidasyonundan sıcak sulara kolaylıkla geçer (Matschullat 2000; Bissel ve Frimmel 2003; Wang ve Mulligan 2006). Jeotermal sularda As çevresel sorunlara ve kirlenmeye neden olan önemli kirleticidir (Aksoy ve diğer., 2005; Gunduz ve diğer., 2010; Bundschuh ve diğer., 2013). Arsenik içme suyunda standart miktarı 10µg/L'dir (ITHASY, 2005). Arsenik içeriğinin, içme ve kullanma sularında standartların üzerinde olması ekosistemde yaşıyan canlılar için zehirleyici etki yapar. Çok zehirli olan arsenik elementi içme ve kullanma sularında bulunması istenmez ancak 50 µg/L'ye kadar müsaade edilebilir değer düşürülerek 10 µg/L'ye indirilmiştir. EPA 2003 ve WHO 2004 arsenik miktarı suda belli oranı 10 µg/L'yi belirlenmiştir. Dünyada birçok yeraltı sularına As kirliliği bilinmektedir (Smith ve diğer., 2000, Çolak ve diğer., 2004). Arsenik sulama suyunda 10µg/L' den yüksek olması durumunda bitki bünyesine geçer ve inorganik arsenik olarak depolanır, bitkinin kurumasına neden olur. Arsenik içeriği yüksek olan içme suyundan uzun süre tüketilmesi neticesinde, insanlarda deri ve iç organlarda tahribatlar görülür (Mazumder ve diğer., 2000). Çalışma alanında iki dönem yapılan eser elementlerin sonuçları Tablo 5.8 ve 5.9'da sunulmuştur. Sonuçlar ise Tablo 5.4'de verilen ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında arsenik kaynağı jeojeniktir. Bu bağlamda jeolojik birimler içerisinde dolaşan sıcak sularda yüksek arsenik belirlenmiştir. Mayıs 2014 döneminde jeotermal sulardan alınan RT-7 ve KLM-2 nolu sıcak sularda sırasıyla 1,2 ve 3,0 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu değerler standartların oldukça üzerindedir. Yeraltı sularında arsenik değeri 0,001 ile 0,178 mg/L arasında değişmekte olup RT-9, RT-12, ve NKT-25 standart değerleri aşmaktadır. Arsenik dağılım haritası ileriki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

5.2.2.2 Bor(B)

Bor, yeraltı sularında borik asit (H_3BO_3), borat(BO_4) ya da tetraborat (B_4O_7) şeklinde ender olarak, çok az miktarda bulunur. Genellikle bu miktar 1,0 mg/L'den azdır. Ancak bu miktarın bile bitkilere çok zarar vermektedir. Diğer taraftan sulama sularında 0,1-0,2 mg/L bor bulunması yararlıdır. İçme ve kullanma sularında 30 mg/L' ye kadar olan miktar zararlı değildir. Jeotermal sularda bor çevresel sorunlara ve kirlenmeye neden en önemli kirlenici olmaktadır (Demirel ve Yildirim, 2002; Şimşek, 2005). Özellikle sulama suyunda yüksek oranda bulunmaktadır (Aksoy ve diğer., 2005). Sıcak sularda en çok bulunan kirlenicilerden biridir. Bor suyun pH'ine bağlı olarak farklı formlarda yer almaktadır. Asitli sularda $B(OH)_3$, bazik sularda $B(OH)_4$ şeklinde bulunur. İçme sularında yüksek bor konsantrasyonu, bitkilerde ve insan üzerinde zarar etmektedir. Özellikle sulama sularında, toprağın gözenekliliğini düşmüş olmaktadır ve bitki köklerine engelleyip kurumalarına neden olmaktadır. Sulama suyunda bor içeriği dayanıklı bitkiler için 3mg/l, içme suyunda 2 mg/l üst limit olması kabul edilir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). İçme sularında yüksek miktarı insanlara mide ve bağırsak rahatsızlıkları etmektedir. Bor özellikle Ege Bölgesi jeotermal sularda önemli bir çevresel problemi oluşturmaktadır (Gemici ve Tarcan, 2002).

Çalışma alanında jeotermal fışkırmanın olduğu ve dereye akan sıcak sulardan alınan örnekte bor değeri 118,86 mg/L olarak ölçülmüştür (Tablo 5.9). Diğer bir jeotermal kuyu ise KLM-2 nolu kuyuda ise 127,62 mg/L olarak kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında jeotermal sularda yer alan bor çevresel açıdan toksitesi oldukça yüksek olan bir elementi oluşturmaktadır. Bu bağlamda bölgede Mayıs dönemi yeraltı suyu bor

değerlerine bakıldığında ise 0,198 ile 4,341 mg/L arasında değişmektedir. Eylül döneminde ise 0,302 ile 6,944 mg/L arasında değişmekte olup yüksek oranda bor içermektedir. Özellikle, jeotermal sulardan etkilenen RT-8, RT-2, Neojen kırıntılı birimlerde açılan RT-11 ve RT-10 nolu kuyularda yüksek bor belirlenmiştir. Yüksek bor içeren yeraltı sularının sulamada kullanılması sakıncalı görülmektedir.

5.2.2.3 *Demir(Fe) ve Manganez(Mn)*

Demir'in +2 ve +3 değerli olan türleri vardır. Sularda bulunan demir, çoğunlukla +2 değerlikli demirin oksidasyonu ile +3 değerli hale gelmektedir. Demirin içme ve kullanma sularında 200 µg/L'den fazla olmaması istenir. Yeraltı sularında 500µg/L'den fazla demir bulunması, sondaj kuyularındaki filtrelerin ve su borularının tıkanmasına sebep olduğu belirtilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Yeraltı sularında çoğunlukla hidroksit şeklinde bulunan mangan etkisi demire çok benzer. 100 µg/L'den fazla bulunması suya siyah-kahverengi bir renk verir. Asidik özellikteki yeraltı sularında daha çok bulunur. İçme ve kullanma sularında 100 µg/L'den fazla olmaması istenir. Çalışma alanında Mayıs döneminde demir ve manganez oranları 0,0120 ile 10 mg/L ve 0,0006 ile 1,2712 mg/L arasında değişmektedir. Yüksek demir ve mangan jeotermal sularda yüksek olarak ölçülmüştür. Demir açısından RT-4, RT-7, RT-9, RT-11 ve RT-12 nolu kuyularda ise İTHASY sınırlarını aşmıştır. Benzer şekilde mangan oranları RT-2, RT-3, RT-4, RT-5, RT-8 ve RT-9 örneklerde standartlardan yüksek çıkmıştır. Eylül döneminde demir konsantrasyonu 0,0110 ile 0,0870 mg/L arasında değişmekte olup NKT-21 ve NKT-24 nolu kuyularda standartları aşmıştır. Mangan ise 0,0001 ile 0,3821 mg/L olup RT-3, RT-6 ve RT-8 standart verilerine göre standartların üzerindedir (Tablo 5.8 ve 5.9.).

5.2.2.4 *Diğer Metaller*

Yukarıda belirtilen eser elementlerden başka yeraltı sularında nadir bulunan ortalama alüminyum (Al), krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb), bakır (Cu), çinko (Zn) gibi toksitesi bulunan metallerde önemli yer tutmaktadır. Bu bağlamda her iki örnekleme döneminde yukarıda bahsedilen metallerin analizi yapılmıştır (Tablo 5.8 ve 5.9). İçme

ve kullanma sularında, alüminyum (200 µg/L), krom (50 µg/L), nikel (20 µg/L), kurşun (10 µg/L), bakır (2000 µg/L) ve çinko (5000 µg/L) üst sınır olarak kabul edilir (İTHSAY,2005).

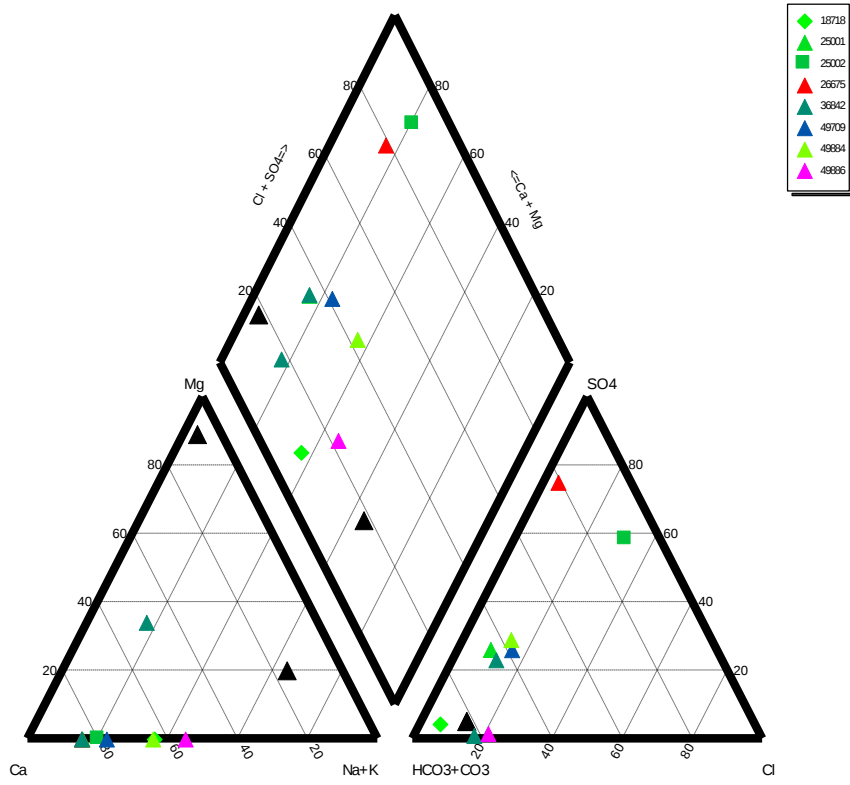
Çalışma alanında iki dönemde ağır metaller analiz sonuçlarına göre standartların altında bulunmuştur. Mayıs döneminde alüminyum ve kurşun oranları KLM-2 nolu jeotermal su örneğinde standartlarını aşmıştır. Eylül döneminde ise sadece krom oranı NKT-20 nolu örnekte standartlardan yüksektir. Genel olarak bakıldığında çalışma alanında arsenik, bor demir ve mangane dışında ağır metal açısından önemli bir risk belirlenmemiştir.

5.3 Suların Sınıflandırılması

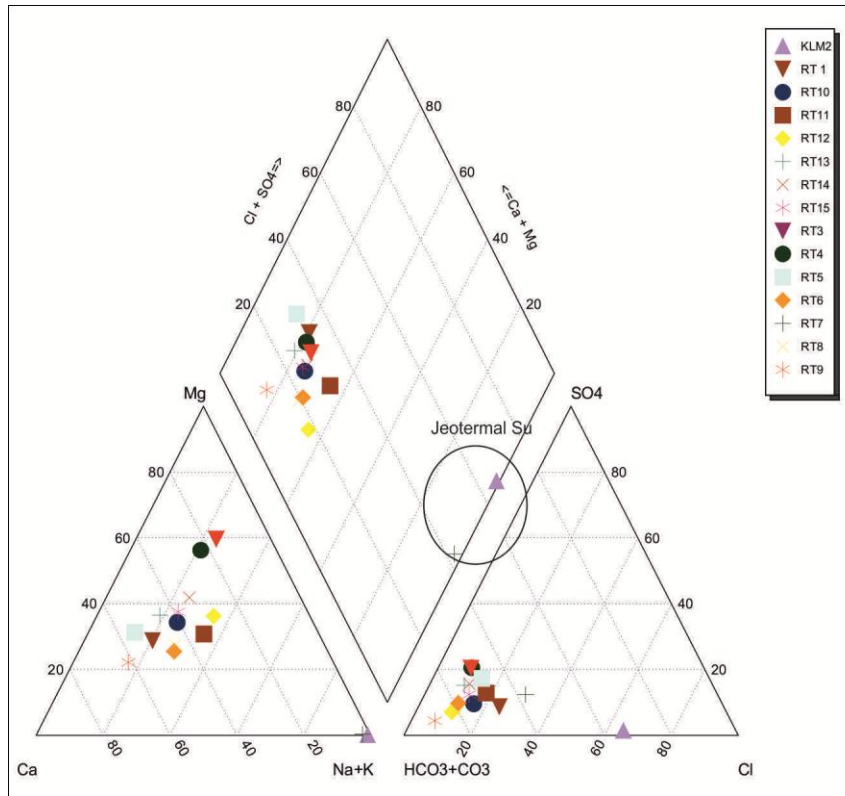
5.3.1 Su Fasiyesi

5.3.1.1 Piper Diyagramı

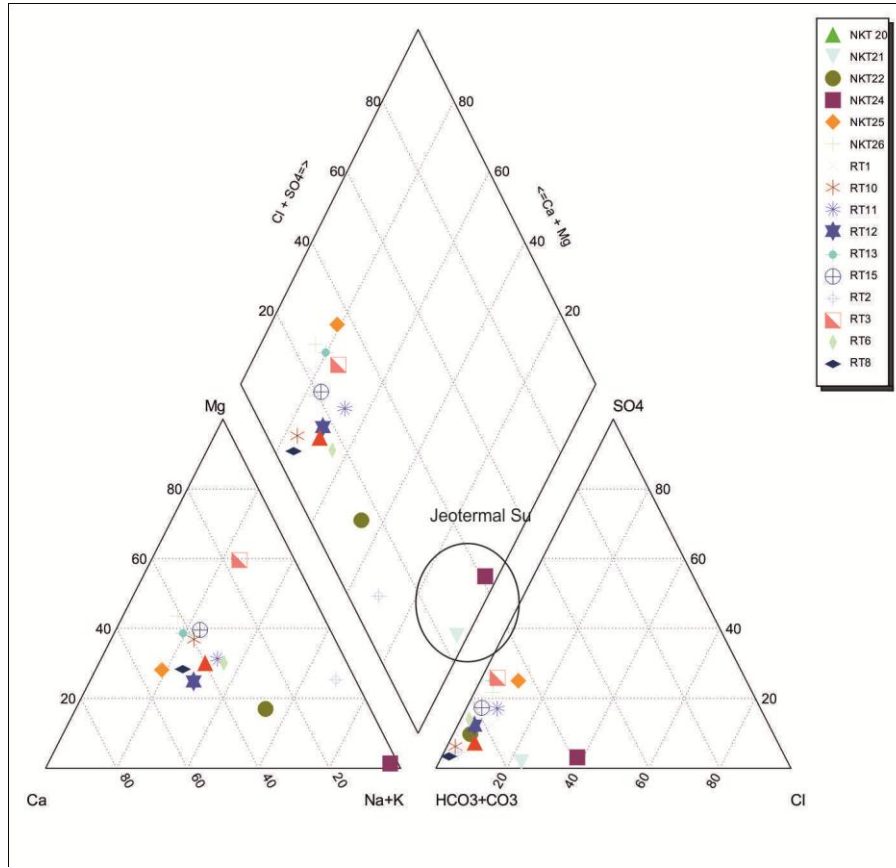
Çalışma alanında örnekleme yapılan farklı dönemlerdeki analizler ve 1995 yılında DSİ tarafından yapılan analizlere göre Piper diyagramı çizilmiştir. Piper diyagramı yeraltı sularının fasiyeslerini belirlemekte kullanılmaktadır. Piper diyagramı iki üçgen (katyon ve anyon) ve eşkenar dörtgenden oluşur. Yan yana bulunmuş olan eşkenar katyon ve anyon üçgenine, iyonların litrede % mek değerleri işaretlendikten sonra, iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgen suyun sınıfını belirlenir. Bu eşkenar dörtgen dokuz bölüme ayrılmıştır. Diyagram üzerinde su noktalarında yoğunlaşmakta ve suların sınıfı belirlenmektedir. DSİ tarafından 1995 yılından yapılan su analizlerine göre bölgedeki yeraltı sularının Ca-HCO₃, Ca-Cl ve Na-HCO₃ tipi suları oluşturmaktadır (Şekil 5.1). Proje dönemi olan 2014 yılındaki yağışlı dönem analizlere göre ise yeraltı suları baskın olarak Ca-HCO₃, jeotermal sular ise Na+K-Cl su tipindedir (Şekil 5.2). Kurak dönemde önemli bir değişim gözlemlenmemekte ve baskın olarak Ca-HCO₃ su tipini oluşturmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.1 1995 DSİ verilerine göre oluşturulan Piper diyagramı



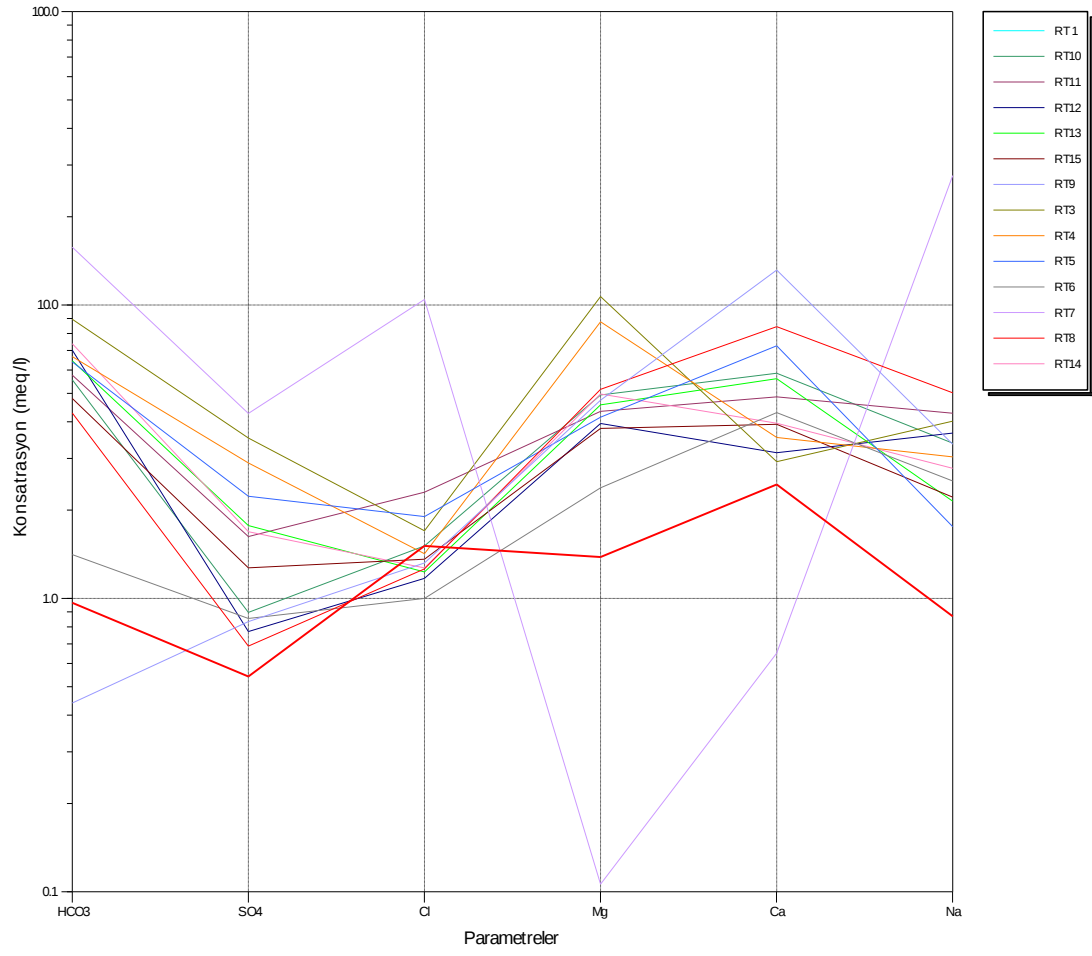
Şekil 5.2 Mayıs 2014 Dönemine ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımı



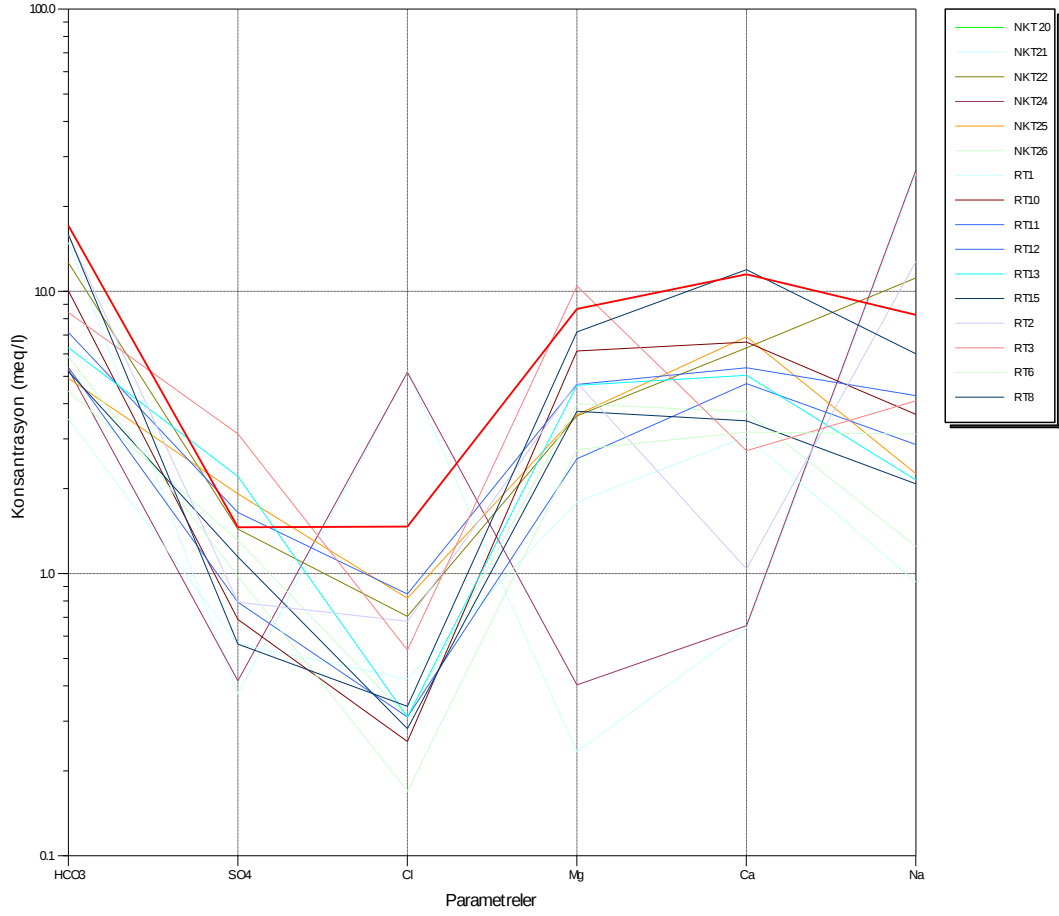
Şekil 5.3 Eylül 2014 Dönemine ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımı

5.3.1.2 Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramında logaritmik ordinat eksenine üzerine % mek/L değerleri, apsis eksenine üzerinde eşit aralıklarla soldan sağa doğru major iyonlar ve iyonların sırası değiştirilmeden işaretlenir. Benzer ve farklı gruptaki sular grafik üzerinde karşılaştırılmış olur. Mayıs 2014 yılı analiz sonuçlarına göre jeotermal sular hariç diğer suların benzer kökenli sular olduğu görülmektedir. Eylül 2014 yılında da benzer şekilde jeotermal suları dışında yer alan yeraltı sularını benzer kökenli sular olduğu görülmektedir (Şekil 5.4 ve 5.5)



Şekil 5.4 Mayıs 2014 Dönemine ait Schoeller diyagramı

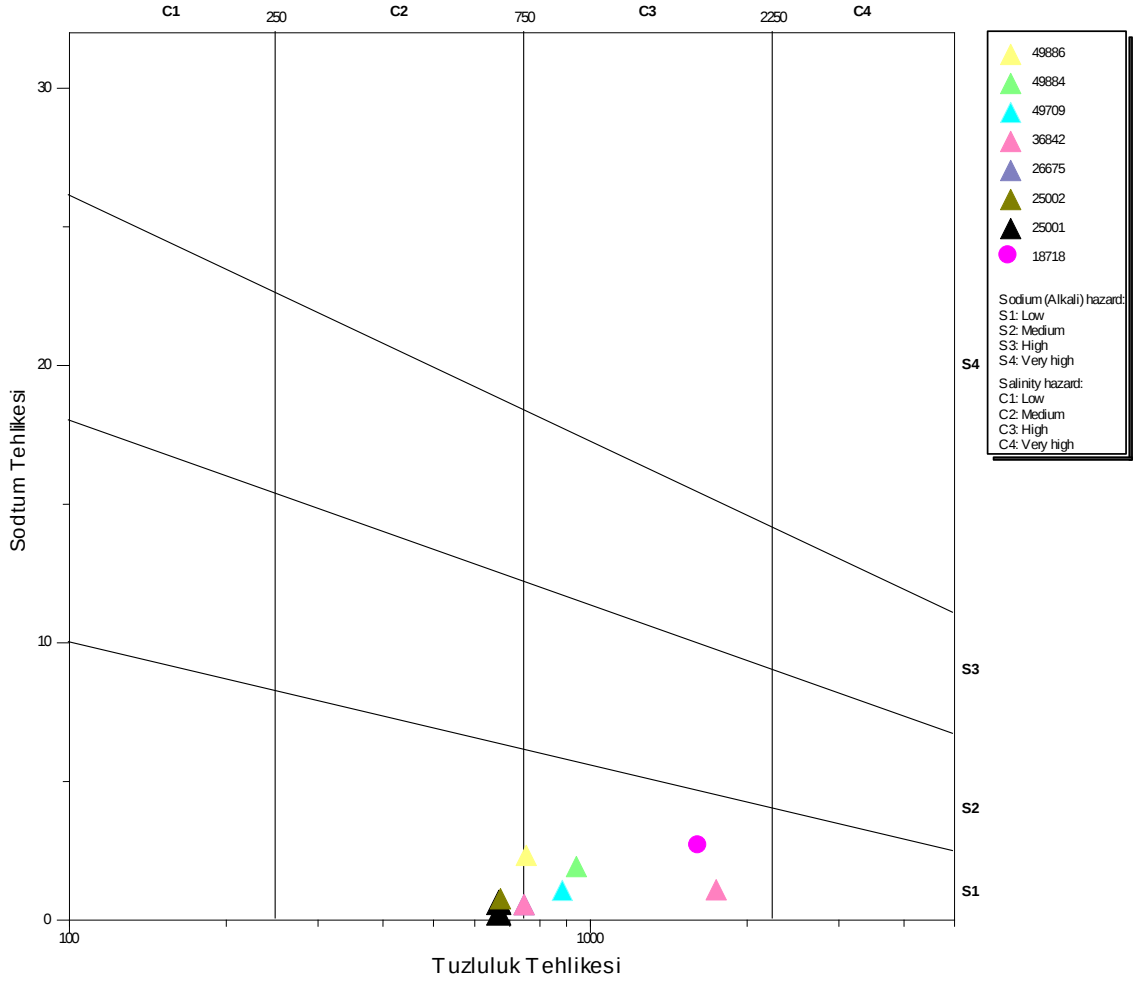


Şekil 5.5 Eylül 2014 Dönemine ait Schoeller diyagramı

5.3.2 Sulama Suyu Sınıflaması

5.3.2.1 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Sulama suyu sınıflamasında yaygın olarak kullanılan ABD tuzluluk diyagramı bu çalışma için oluşturulmuştur. Bölgede yeraltı suları yaygın olarak sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu diyagramda düşey eksene % Na miktarı, yatay eksene de elektriksel iletkenlik değeri işaretlenir. Suyun % Na değeri düşey eksene işaretlenir ve yatay eksene çizilen paralele düşey doğrultuda çizilen elektriksel iletkenlik doğrultusu çakıştırılarak suyun özelliği belirlenir (Şahinci, 1991). Bu diyagramda sular 16 sınıfa ayrılmıştır. 1995 yılında DSİ tarafından yapılan analizlere göre suların C2-S1 ve C3-S1 sınıfında yer almaktadır. Düşük sodyumlu ve orta yüksek tuzlulukta suları oluşturmaktadır (Şekil 5.6).

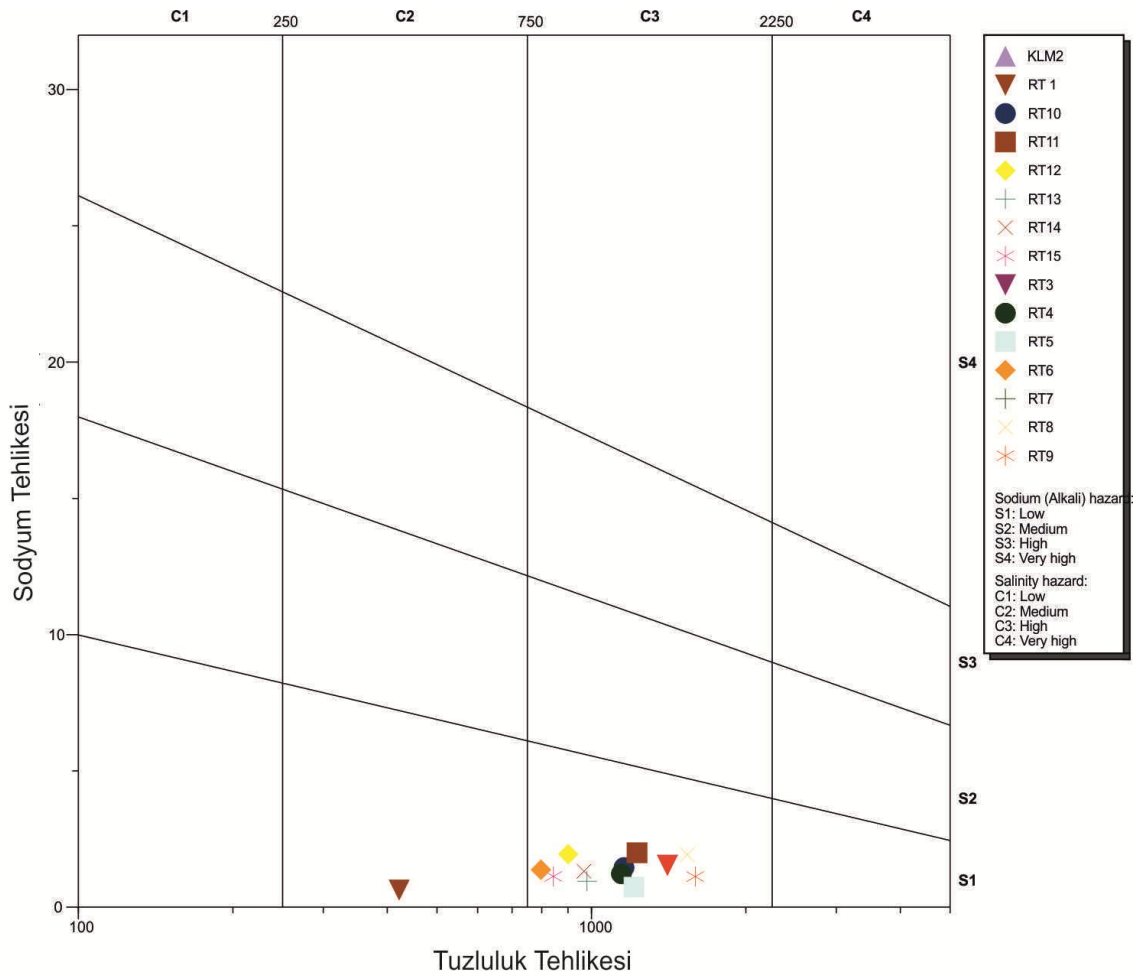


Şekil 5.6 1995 DSİ verilerine göre oluşturulan ABD Tuzluluk diyagramı

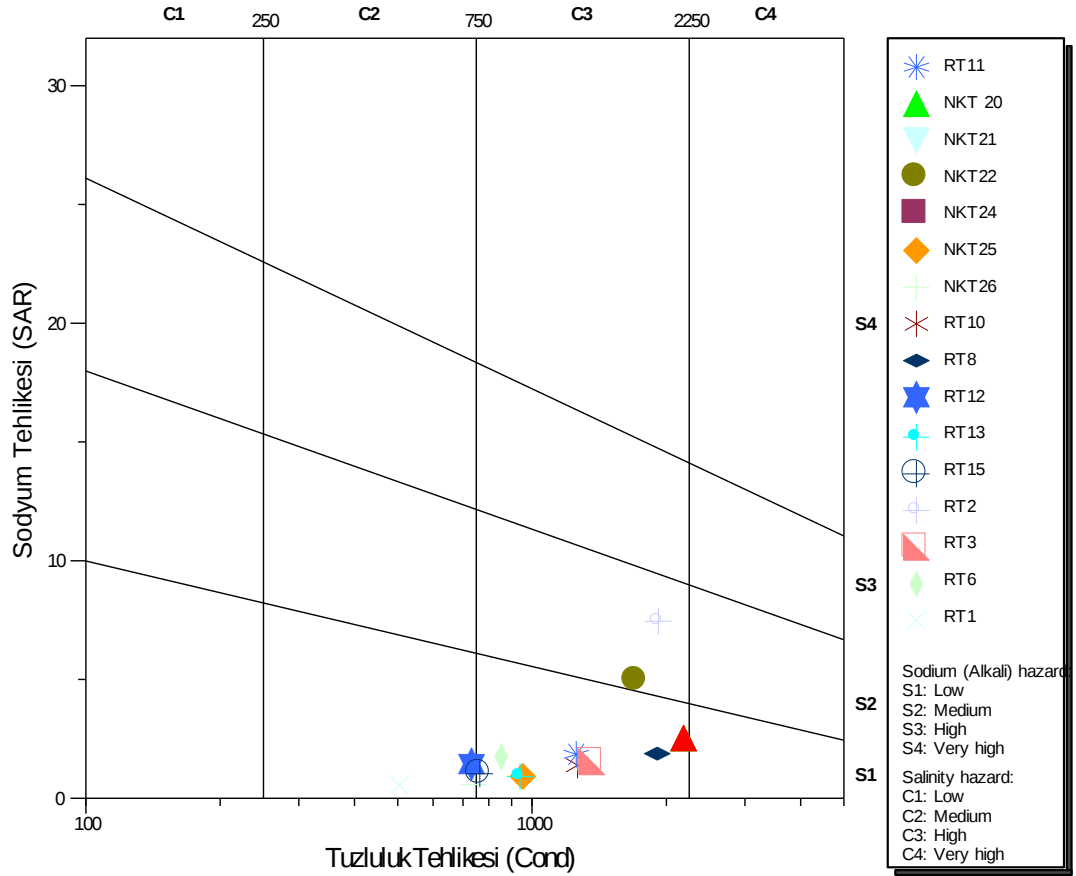
2014 Mayıs ve Eylül ayında yapılan analizlere göre suların kısmen tuzlanma nedeniyle diyagramda sağa doğru bir kayma gözlenmektedir. Özellikle Mayıs ayında analiz sonuçlarına göre suların sodyum bakımından düşük olmasına karşın tuzluluk açısından fazla tuzlu sular sınıfında yer almaktadır. Bu bağlamda suların sınıfı C2-S1, C3-S1 sınıfındadır (Şekil 5.7). Eylül döneminde analizlerde suların C3-S1 ve C3-S2 sınıfında yer aldıkları ve orta derecede sodyumlu ve fazla tuzlu suları oluşturdukları görülmektedir (Şekil 5.8).

Sulama sularının sınıflandırılmasında gereken parametrelerden biri sodyum oranıdır ve önemli bir parametre bu oran, sodyum yapı olarak kalsiyuma benzemesi ve

topraktaki sodyum kalsiyumla yer değiştirme potansiyelinin bulunması, yüksek sodyum oranlı suların toprağın yapısı bozması sonucunu olabilir. Toprağın geçirgenliği dūřuk olabilmektedir. Yūksək sodyumlu sular ile toprak yūzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşmaktadır. Bu bakımdan bitkilerin kōkleri yeterli derecede hava almamaktadır. Sulama sularının sınıflandırılmasında Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) olarak ve sudaki sodyum, magnezyum ve kalsiyum derişimleri kullanarak hesaplanan bir değer baz alınır. SAR değeri, doğrudan sodyum toprak tarafından absorbe edilmektedir ve ilgilidir. Çalışma alanında suların SAR değerleri %10'un altında olması dikkate alındığında “ok iyi/iyi” ۆzellikte sulama sular sınıfındadır (Tablo 5.2).



şekil 5.7 Mayıs 2014 verilerine ait ABD Tuzluluk diyagramı



Şekil 5.8 Eylül 2014 verilerine ait ABD Tuzluluk diyagramı

Tablo 5.2 Suların SAR'a göre sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer,1973)

Suyun Niteliği	SAR(%)
Çok iyi özellikte sulama suları	<10
İyi özellikte sulama suları	10- 18
Orta özellikte sulama suları	18-26
Çok kötü özellikte sulama suları	> 26

5.3.2.2 Sulama Sularının Bor Sınıflandırması

Sulama sularında bor'un yüksek olması bazı bitkilere zehirli etki yapması nedeniyle araştırılması gereken önemli parametrelerden biridir. Bitki türlerinin bor'a karşı duyarlılıkları farklı olup, buna göre sınıflandırma Tablo 5.3 de sunulmuştur. Sulama sınıflamasında 0,33 ile 1,00 mg/L arasında bor'un olması iyi kaliteli sulama suları ifade ederken, 3,75 mg/L üzerindeki bor bitkiler için oldukça zararlıdır ve sulama suyu olarak kullanılamaz. Çalışma alanında yapılan analizlerde 0,2 ile 4,3 mg/l arasında değişmekte olup, özellikle jeotermal faaliyetlerden etkilenen RT-2 ve RT-8 veya formasyondan kaynaklı RT-11 nolu kuyularda yüksek borlu suların sulama amaçlı kullanılmayan veya dayanıklı bitkilerde kullanılması gerekmektedir. Bölgedeki jeotermal suları da bor oldukça yüksek olup 100 mg/L'nin üzerinde bor açısından olup potansiyel kirletici özelliğindedir. Sulama mevsimi olan Eylül ayında ise jeotermal sulardan etkilenen RT-2 ve RT-8 nolu kuyularda bor konsantrasyonu artışlar görülmektedir. RT-2 nolu kuyu 4,8, RT-8 nolu kuyuda ise 3,8 mg/L değeri ile dayanıklı bitkilerde de kullanılamayan su sınıfında yer almaktadır.

Tablo 5.3 Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması

Kalite sınıflandırması		I. Sınıf (çok iyi)	II. Sınıf (iyi)	III. Sınıf (orta)	IV. Sınıf (şüpheli)	V. sınıf (kullanılmaz)
B (mg/l)	Hassas Bitkiler	< 0.33	0.33-0.67	0.67-1.00	1.00-1.25	>1.25
	Az Dayanıklı Bitkiler	<0.67	0.67-1.33	1.33-2.00	2.00-2.50	>2.50
	Dayanıklı Bitkiler	1.00	1.00-2.00	2.00-3.00	3.00-3.75	>3.75

5.3.3 İçme Suyu Sınıflaması

Bbölgedeki yer altı sularını arıtılmadan sonra içme suyu olarak kullanıldıkları veya lokal olarak tarla veya bahçede açılan kuyulardan doğrudan içme suyu olarak kullanan köyler bulunmaları nedeniyle içme suyu amaçlı olarak kullanılan ulusal ve uluslar arası standartlar olan İTHASY (2005), EPA (2003) ve WHO (2004) göre bazı içme suyu parametreleri karşılaştırılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının pH değeri içme suyu standartlarını sağlamaktadır. Sıcaklık açısından ise özellikle jeotermal sulardan etkilenen kuyuların RT-2, RT-3, RT-7 ve RT-8 nolu kuyuların içme suyu standartlarını aştığı görölmektedir.

Tablo 5.4 İçme suyu kalite kriterleri

Su Kalite Parametreleri	ITASHY (2005)	EPA (2003)	WHO (2004)
A) Fiziksel Parametreler			
Sıcaklık (°C)	25	-	-
pH	6,5-9,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Çözülmüş Oksijen (mg/L)	-	-	-
Oksijen Yüzdesi (%)	-	-	-
ORP (mV)	-	-	-
Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	2500	-	-
TDS (mg/L)	-	-	-
Tuzluluk (‰)	-	-	-
B)Anyonlar and Katyonlar			
F ⁻ (mg/L)	1,5	2,0	1,5
Cl ⁻ (mg/L)	250	250	250
SO ₄ ⁼ (mg/L)	250	250	250
Li ⁺ (mg/L)	-	-	-
Na ⁺ (mg/L)	200	-	200
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0,5	-	-
K ⁺ (mg/L)	12	-	-
Mg ⁺⁺ (mg/L)	50	-	-
Ca ⁺⁺ (mg/L)	200	-	-
C) Ağır metaller ve Eser elementler			
Al (µg /L)	200	200	200
As (µg /L)	10	10	10
Cd (µg /L)	5	5	3
Co (µg /L)	-	-	-
Cr (µg /L)	50	100	50
Cu (µg /L)	2000	1000	2000
Fe (µg /L)	200	300	200
Mn (µg /L)	50	50	400
Ni (µg /L)	20	-	20
Pb (µg /L)	10	15	10
Zn (µg /L)	5000	5000	5000

Tablo 5.5 1995 Yılına ait DSI analiz sonuçları (DSİ, 1984)

Nokta İsmi	X	Y	Z	pH	EC (uS/cm)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO3 (mg/L)	SO4 (mg/L)	SAR	%Na
18718	619475	4253980	150	7,16	1626	232	0	144,9	8,58	35,38	997,35	38,5	2,6	34,8
22043	638766	4244110	150	7,4	667	40	30,4	22,08	2,73	24,766	277,55	14	0,6	17,3
25001	638800	4241600	150	7	6,72	110	0	23	0	21,228	262,3	83,5	0,6	15,5
25002	638766	4244110	150	7,3	672	114	0	29,9	5,07	42,456	231,8	106,5	0,8	18,2
26675	642300	4247400	150		746	128	0	23	5,85	31,842	292,8	82,5	0,6	13,2
36842	633750	4254500	150	7,19	1744	180,4	76	69,46	1,56	109,678	918,05	9	1,1	16,5
36843	636400	4252800	160	7,04	780	40,2	36,72	65,09	1,17	382,104	373,32	34,5	1,8	35,9
49709	648428	4242950	150	6,9	883	144	0	46,69	1,56	502,396	335,5	117,5	1,07	21,9
49884	638950	4240020	212	7,4	940	127,2	0	79,12	2,73	474,092	350,14	139,5	1,93	34,85
49886	637800	4240000	227	7,3	753	86,4	0	78,89	3,12	573,156	371,49	6	2,3	43,8

Tablo 5.6 Mayıs -2014 Yağışlı döneme ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	Sondaj Tipi	X	Y	Z	pH	EC(µS/cm)	Sıcaklık(°C)	Ca(mg/L)	Mg(mg/L)	Na(mg/L)	K(mg/L)	Cl(mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₃ ²⁻ (mg/L)
RT 1	Su Kuyusu	617795	4253874	161	7,75	422	17,1	48,97	16,81	19,98	4,46	8	26	155,526	
RT2	Su Kuyusu	617814	4254438	151	6,64	1444	25,8	114,12	53,31	203,67	7,68	24	37	677,916	
RT3	Su Kuyusu	620176	4254057	170	7,01	1406	23,6	58,61	129,86	92,41	11,03	23	169	637,864	
RT4	Su Kuyusu	619931	4253764	165	7,33	1144	20,7	70,82	106,51	69,77	9,65	21	139	50,07	
RT5	Su Kuyusu	623327	4251848	164	6,97	1210	23,4	145,47	50,37	40,37	3,27	26	107	462,88	
RT6	Su Kuyusu	624741	4251221	165	7,00	797	22,9	86,12	28,95	57,77	5,64	9	41	673,612	
RT7	Jeotermal Kuyu	624773	4250976	172	8,37	2860	25,5	13,04	1,29	635,02	54,58	200	205	960,506	123,84
RT8	Su Kuyusu	623944	4251594	171	6,27	1538	29,5	169,03	62,70	115,38	7,35	13	33	377,724	
RT9	Su Kuyusu	623884	4251603	172	6,20	1593	26,5	263,6	57,57	77,09	7,15	16	40	512,24	
RT10	Su Kuyusu	624745	4251624	158	6,81	1157	23,8	117,31	59,96	77,74	8,48	10	43	381,402	
RT11	Su Kuyusu	624279	4250484	186	7,10	1227	20,2	97,44	52,75	98,3	24,76	34	78	440,768	
RT12	Su Kuyusu	623431	4255131	128	7,40	901	22,5	62,88	47,97	84,14	5,91	10	37	485,58	
RT13	Su Kuyusu	624057	4253483	142	7,19	980	18,7	112,39	55,50	49,3	7,97	13	85	461,014	
RT14	Su Kuyusu	627142	4252843	157	7,24	967	20,6	79,19	60,46	63,82	7,25	15	81	463,498	
RT15	Su Kuyusu	625823	4249745	200	7,54	843	21,8	78,58	46,12	50,86	7,54	13	61	377,404	
KLM2	Jeotermal Kuyu	623274	4255000	133	8,72	3640	19,4	7,2	1,00	1006	53	184	52	1450	54,12
				Minimum	6,20	422,00	17,10	7,20	1,00	19,98	3,27	8,00	26,00	155,53	54,12
				Maksimum	8,37	2860,00	29,50	263,60	129,86	1006,00	54,58	200,00	205,00	1450,46	123,84
				Ortalama	7,12	1232	22,84	95,30	51,95	171,35	14,11	29,00	77,13	563,72	88,98

Tablo 5.7 Eylül -2014 Yağışlı döneme ait hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	Sondaj Tipi	X	Y	Z	pH	EC(µS/cm)	Sıcaklık(OC)	Ca(mg/L)	Mg(mg/L)	Na(mg/L)	K(mg/L)	Cl(mg/L)	SO42-(mg/L)	HCO3-(mg/L)	CO3-(mg/L)
RT1	Su Kuyusu	617795	4253874	161	7,83	501	13,8	61,21	21,8	21,45	4,85	15	27	215,208	
RT2	Su Kuyusu	617814	4254438	151	6,51	1904	30,70	20,8	57,69	293,53	8,31	24	38	965,264	
RT3	Su Kuyusu	620176	4254057	170	7,08	1351	23,50	54,62	126,9	94,07	10	19	150	513,132	
RT6	Su Kuyusu	624741	4251221	165	7,29	847	22,6	63,54	33,41	71,67	4,19	6	47	357,826	
RT8	Su Kuyusu	623944	4251594	171	6,17	1894	27,80	239,05	87,25	138,06	8,06	12	27	970,754	
RT10	Su Kuyusu	624745	4251624	158	6,57	1255	23,30	132,48	74,69	84,23	8,85	9	33	613,05	
RT11	Su Kuyusu	624279	4250484	186	7,13	1247	20,10	107,4	56,83	98,22	24,84	30	79	436,272	
RT12	Su Kuyusu	623431	4255131	128	7,53	726	23,80	94,36	31	65,8	5,75	11	38	328,058	
RT13	Su Kuyusu	624057	4253483	142	7,34	933	18,40	100,92	56,45	49,27	7,81	11	106	385,276	
RT15	Su Kuyusu	625823	4249745	200	7,62	758	22,60	69,64	45,65	47,77	6,96	10	55	317,322	
NKT 20	Su Kuyusu	624169	4251364	172	6,23	2170	26,30	230,34	105,25	189,61	14,71	52	70	1,043,344	
NKT21	Jeotermal Kuyu	726185	4250546	182	8,23	2740		12,84	2,84	601,85	71,63	184	18	908,534	56,52
NKT22	Su Kuyusu	625865	4250427	178	6,73	1698		126,35	43,99	256,49	11,09	25	69	769,942	
NKT24	Jeotermal Kuyu	624843	422785	148	8,93	2670		13,1	4,9	618,44	68,61	183	20	322,568	78,48
NKT25	Su Kuyusu	624512	4252543	153	7,24	946	21,40	138,35	44,42	51,9	6,65	29	92	299,998	
NKT26	Su Kuyusu	625603	4253875	149	7,51	735	20,50	74,97	48,5	28,66	6,54	11	63	270,23	
				Minimum	6,17	501,00	13,80	12,84	2,84	21,45	4,19	6,00	18,00	215,21	56,52
				Maksimum	8,23	2740	30,70	239,05	126,90	618,44	71,63	184,00	150,00	1043,34	78,48
				Ortalama	7,13	1313	22,94	96,24	52,59	169,43	16,80	39,43	58,25	544,80	67,50

Tablo 5.8 Mayıs -2014 Yağışlı döneme ait ağır metal analiz sonuçları(mg/L)

Örnek No	Al	As	B	Br	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Li	Se	Si	U
RT1	0,005	0,006	0,195	0,021	0,0009	0,0022	70,01	0,00073	0,0005	0,0004	0,059	0,0002	0,0102	0,0005	8,59	0,0017
RT2	0,001	0,003	4,816	0,12	0,0222	0,0006	70,01	0,00005	0,0009	0,0005	0,01	0,0001	0,1493	0,0009	34,942	0,00597
RT3	0,002	0,0006	1,606	0,093	0,0179	0,0016	70,01	0,38214	0,004	0,0011	0,01	0,0001	0,1505	0,0033	10,624	0,00985
RT6	0,014	0,042	0,586	0,032	0,0153	0,0013	70,01	0,1085	0,0094	0,0023	0,03	0,0001	0,0314	0,0005	13,064	0,00064
RT8	0,002	0,0015	3,457	0,054	0,0755	0,0015	0,025	0,35947	0,0007	0,0049	0,036	0,0001	0,198	0,0008	28,717	0,00718
RT10	0,013	0,0007	2,271	0,039	0,0365	0,0047	70,01	0,02122	0,0007	0,0017	0,01	0,0001	0,1146	0,0005	15,983	0,00423
RT11	0,001	0,0012	3,872	0,084	0,0201	0,0012	70,01	0,00637	0,0009	0,0004	0,01	0,0001	0,2155	0,0024	12,983	0,00354
RT12	0,001	0,0005	1,288	0,035	0,0126	0,0006	70,01	0,00308	0,0012	0,0008	0,01	0,0001	0,0739	0,0009	13,089	0,00203
RT13	0,003	0,0012	1,256	0,048	0,0156	0,0014	70,01	0,01365	0,0017	0,0005	0,01	0,0001	0,0586	0,0005	15,031	0,00409
RT15	0,016	0,001	0,787	0,031	0,0032	0,0078	70,01	0,00142	0,0004	0,0018	0,023	0,0021	0,0339	0,0003	10,211	0,00267
NKT 20	0,005	0,0016	6,944	0,253	0,069	0,001	0,025	0,01002	0,0002	0,0046	0,016	0,0001	0,2414	0,0005	23,605	0,00837
NKT21	0,161	0,1137	103,431	0,775	0,0411	0,0015	0,059	0,00327	0,0002	0,0007	0,06	0,0001	70,388	0,0025	16,209	0,00007
NKT22	0,001	0,001	3,564	0,071	0,0338	0,001	0,011	0,00127	0,0014	0,0009	0,01	0,0001	0,1629	0,006	19,687	0,00393
KT24	0,163	0,04	106,128	0,841	0,038	0,001	0,087	0,00408	0,0016	0,0007	0,02	0,0001	66,949	0,0066	145,878	0,00004
NKT25	0,001	0,0524	1,219	0,076	0,0167	0,0016	70,01	0,00303	0,0005	0,0015	0,026	0,0001	0,0621	0,0027	10,671	0,0034
NKT26	0,002	0,0032	0,302	0,036	0,0019	0,001	70,01	0,02366	0,0028	0,0005	0,007	0,0002	0,0182	0,0003	10,68	0,00077
Minimum	0,0010	0,0005	0,1950	0,0210	0,0009	0,0006	0,0110	0,0001	0,0002	0,0004	0,0070	0,0001	0,0102	0,0003	85,900	0,00004
Maksimum	0,1630	0,1137	1,061,280	0,8410	0,0755	0,0078	0,0870	0,3821	0,0094	0,0049	0,0600	0,0021	70,388	0,0066	1,458,780	0,00985
Ortalama	0,0308	0,0213	193,358	0,1928	0,0276	0,0021	0,0436	0,0736	0,0020	0,0016	0,0230	0,0003	12,391	0,0020	302,462	0,00380

Tablo 5.9 Eylül-2014 Kurak döneme ait ağır metal analiz sonuçları (mg/L)

Örnek No	Al	As	B	Br	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Li	Se	Si	U
RT1	0,007	0,0061	0,198	0,016	0,007	0,2577	0,057	0,00154	0,0007	0,0028	0,068	0,0095	0,0092	0,0003	8,53	0,00118
RT2	0,002	0,0023	3,713	0,1	0,0097	0,0033	0,01	127,121	0,001	0,0026	0,017	0,0002	0,1065	0,0008	27,125	0,00695
RT3	0,023	0,001	1,767	0,1	0,0016	0,0017	0,012	0,52455	0,0027	0,0017	0,056	0,0003	0,1618	0,0021	10,854	0,00842
RT4	0,404	0,0017	1,336	0,085	0,0021	0,0036	0,594	0,23945	0,0006	0,0026	0,956	0,0014	0,1157	0,003	10,094	0,00681
RT5	0,004	0,0009	0,864	0,054	0,0006	0,0017	0,01	0,73054	0,0008	0,001	0,06	0,0006	0,0362	0,0017	20,116	0,00272
RT6	0,014	0,0006	1,26	0,026	0,0016	0,0033	0,01	0,00252	0,0012	0,001	0,044	0,0007	0,0739	0,0006	13,102	0,00159
RT7	0,165	1,249	118,856	0,914	0,0236	0,0025	1,212	0,01285	0,0284	0,0024	0,082	0,0004	59,673	0,0037	178,03	0,00041
RT8	0,002	0,0008	2,964	0,055	0,0113	0,0009	0,01	0,15575	0,001	0,001	0,01	0,001	0,1407	0,0003	27,076	0,00416
RT9	0,023	0,178	1,74	0,051	0,0027	0,0054	1,464	0,23658	0,0003	0,003	0,109	0,0013	0,0958	0,0003	25,744	0,0038
RT10	0,131	0,0005	2,133	0,068	0,0022	0,0018	0,196	0,02613	0,001	0,0009	0,072	0,0006	0,0843	0,0003	14,605	0,00333
RT11	0,06	0,0016	4,341	0,09	0,002	0,0034	0,543	0,01831	0,0005	0,0003	0,067	0,0007	0,1915	0,0016	12,523	0,00297
RT12	0,028	0,0217	1,594	0,044	0,0007	0,0027	0,383	0,19942	0,0026	0,0011	0,081	0,0006	0,0626	0,0003	12,3	0,00071
RT13	0,016	0,0017	1,486	0,049	0,0006	0,0034	0,097	0,01406	0,0006	0,001	0,039	0,0009	0,0644	0,0003	13,887	0,00861
RT14	0,001	0,0013	0,404	0,065	0,0023	0,0016	0,01	0,08898	0,0022	0,0242	0,01	0,001	0,0115	0,0003	12,628	0,00208
RT15	0,005	0,0006	0,869	0,031	0,0014	0,0028	0,01	0,00062	0,0004	0,0004	0,032	0,001	0,0307	0,0007	10,764	0,00298
KLM2	0,60	3,00	127,62	0,1	0,30	0,08	10,00	0,05	0,30	0,30	4,00	4,00	6,29	0,0003		3,00
Minimum	0,0010	0,0005	0,1980	0,0160	0,0006	0,0009	0,0120	0,0006	0,0003	0,0003	0,0100	0,0002	0,0092	0,0003	8,53	0,0004
Maksimum	0,6000	30,000	1,276,220	0,9140	0,3000	0,2577	100,000	12,712	0,3000	0,3000	40,000	40,000	62,860	0,0037	178,03	30,000
Ortalama	0,1159	0,4149	221,648	0,1527	0,0372	0,0355	20,475	0,2691	0,0358	0,0359	0,5385	0,4456	10,963	0,0011	34,35	0,3361

BÖLÜM ALTI

JEOTERMAL SULARIN YERALTISUYU KİMYASI ÜZERİNE ETKİSİ

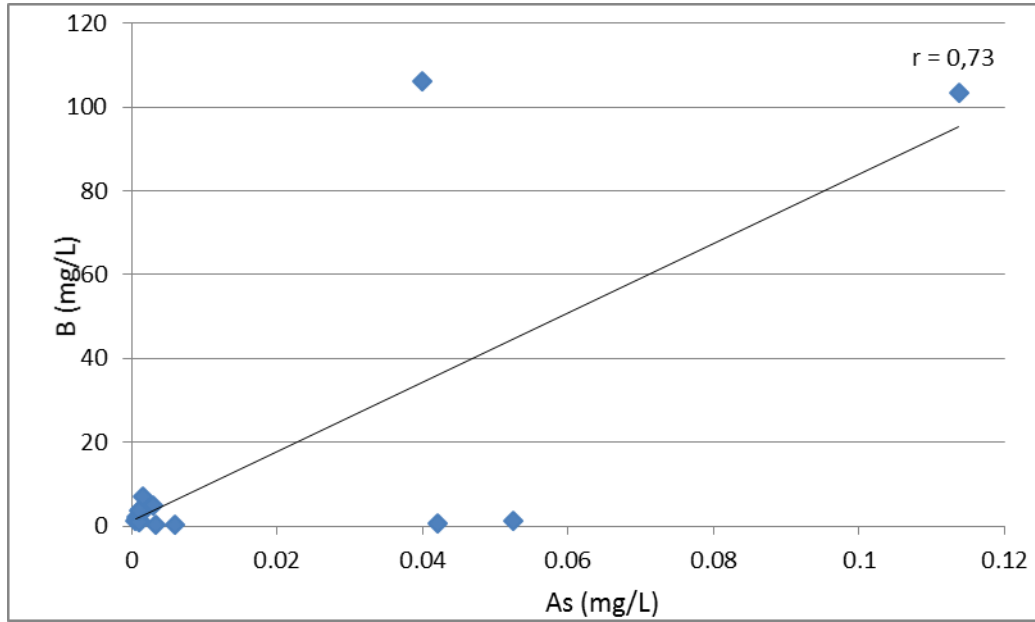
6.1 Kirlilik Parametreleri

Çalışma alanında jeotermal kaynaklı bir kirlenmenin ortaya konulması için öncelikle jeotermal suların içerisinde yer alan yüksek derişime sahip fiziksel ve kimyasal parametreler seçilmiştir. Özellikle jeotermal sularda önemli bir termal indikatör olan sıcaklık, mineral içeriğine bağılı olarak yüksek elektriksel iletkenlik, klorür, bölgede karakteristik parametrelerden arsenik ve bor kirletici parametre olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin majör iyonlar ile korelasyonu yapılmış ve bölgedeki jeoloji ve su kayaç etkileşimine bağılı olarak su kimyası değerlendirilmiştir. Kirletici parametre olarak seçilen klorür'ün sodyum potasyum, elektriksel iletkenlik ve bor ile yüksek bir korelasyon verdiği görölmektedir (Tablo 6.1). Bölgede jeotermal sistemin rezervuar kayası olan metamorfik birimlerin ve Neojen birimlerin içerisindeki kayaç yapan minerallerden olan mika, amfibol gibi minerallerin sodyum ve potasyum konsantrasyonunda etkili olduğı düşünölmektedir. Yüksek korelasyon veren parametreler tablo üzerinde sarı ile gösterilmiştir.

Bunların yanında karasal ve gölssel ortamda oluşan Neojen birimlerin içerisindeki evaporitlere bağılı olarak Na-Cl veya K-Cl gibi tuzlarda konsantrasyon artışlarında önemli etkileri bulunmaktadır. Özellikle sulardaki bor konsantrasyonu ile klorür, sodyum ve potasyum ile yüksek korelasyonu sıcak suların jeolojik olarak kil içerikli birimler ile etkileşimde olduğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak, bor ile arsenik arasında yüksek bir korelasyon mevcuttur (Şekil 6.1). Elde edilen korelasyon tablosuna göre sıcak sularda kayaç etkileşimine bağılı olarak su kimyasının kontrol edildiğı ve yeraltı suyu açısından risk yaratacak yüksek arsenik ve bor içerdiği görölmektedir.

Tablo 6.1 Bazı parametrelerin korelasyon matriks tablosu

		pH	Ca	Cl	SO4	Mg	Na	K	HCO3	SO4	EC	B
pH		1										
Ca	mg/l		1	-0,4	0,115	0,563	-0,386	-0,419	0,386	0,115	0,129	-0,461
Cl	mg/l			1	-0,373	-0,493	0,933	0,981	0,189	-0,373	0,588	0,987
Mg	mg/l					1	-0,425	-0,489	0,378	0,616	0,131	-0,546
Na	mg/l						1	0,912	0,407	-0,427	0,725	0,926
K	mg/l							1	0,164	-0,361	0,573	0,979
HCO3	mg/l								1	-0,169	0,891	0,133
SO4	mg/l									1	-0,198	-0,43
EC	uS/cm										1	0,531
B	mg/l											1



Şekil 6.1 Arsenik ve Bor korelasyon grafiği

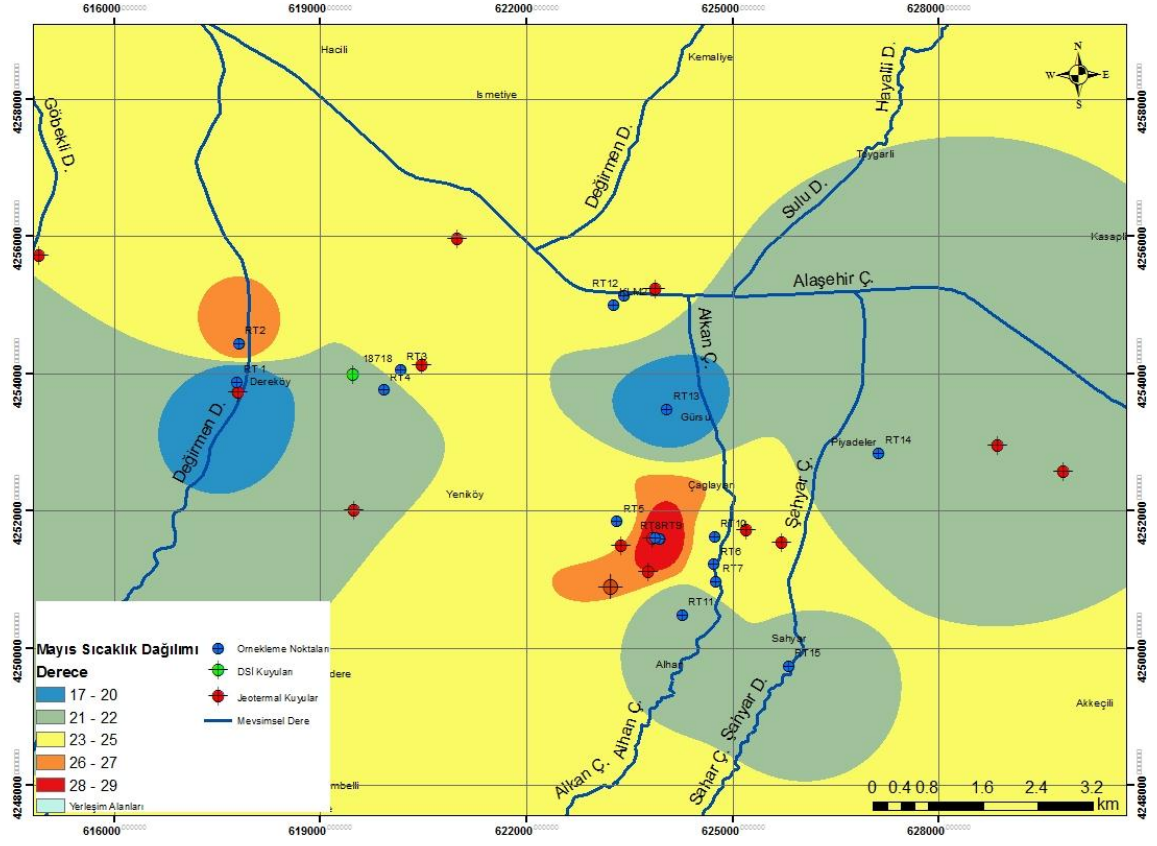
6.2 Kirlilik Parametrelerinin Alansal Dağılımı

6.2.1 Su Sıcaklık Dağılımı

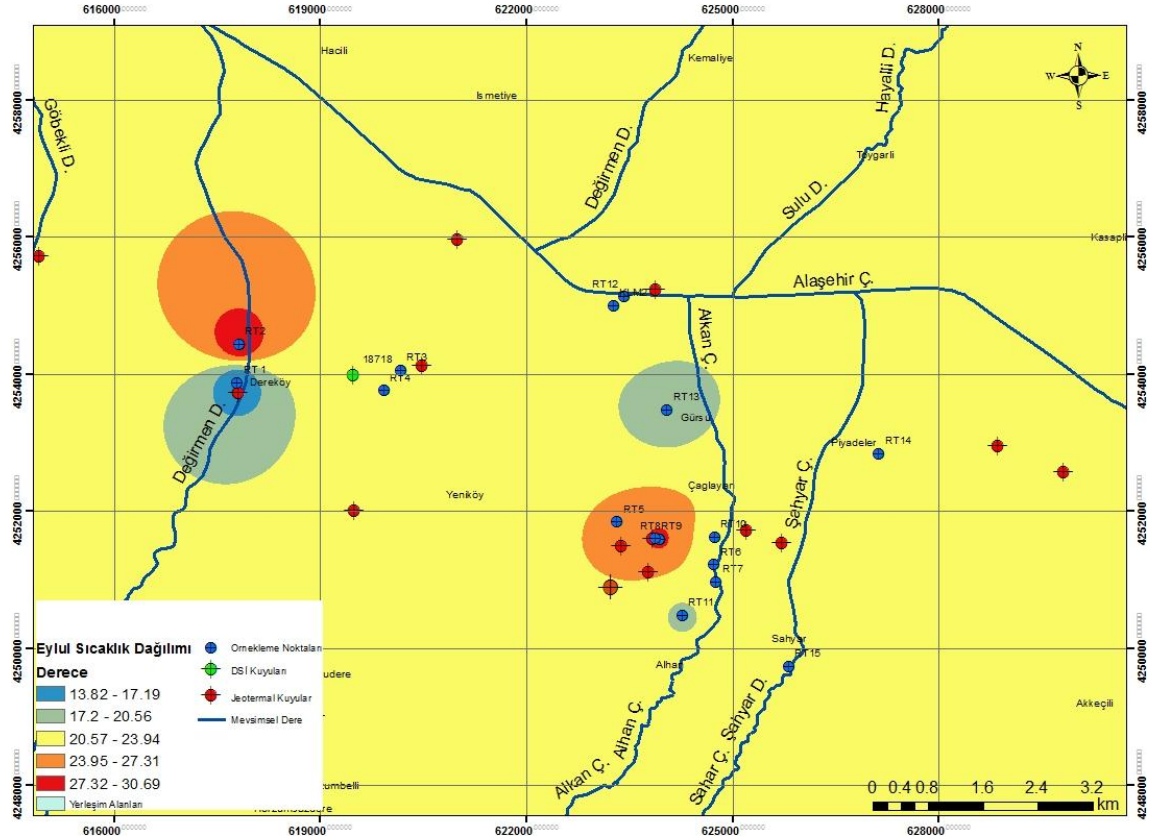
Çalışma alanında jeotermal faaliyetlerin etkisinin belirlenmesinde ve dağılımının ortaya konulmasında en önemli parametrelerden bir yeraltı suyu sıcaklık dağılım haritasıdır. Bu harita oluşturulurken jeotermal kuyu sıcaklıkları alansal dağılım haritaları üretilirken interpolasyona dahil edilmemiştir. Mayıs dönemi ve Eylül dönemi su sıcaklık dağılım haritaları Şekil 6.2 ve 6.3’de verilmiştir. Her iki örnekleme döneminde RT-2 ve RT-8 numaralı sondaj kuyu sıcaklıkları yüksek olup, jeotermal suların etkisinde olan kuyuları ifade etmektedir. RT-1 ve RT-13 numaralı kuyuların sıcaklıkları ise ova geneline göre düşüktür. Ova genelinde yeraltı suyu sıcaklık dağılımı genel olarak 23-25 derece arasında değişmektedir.

6.2.2 Elektriksel İletkenlik Dağılımı

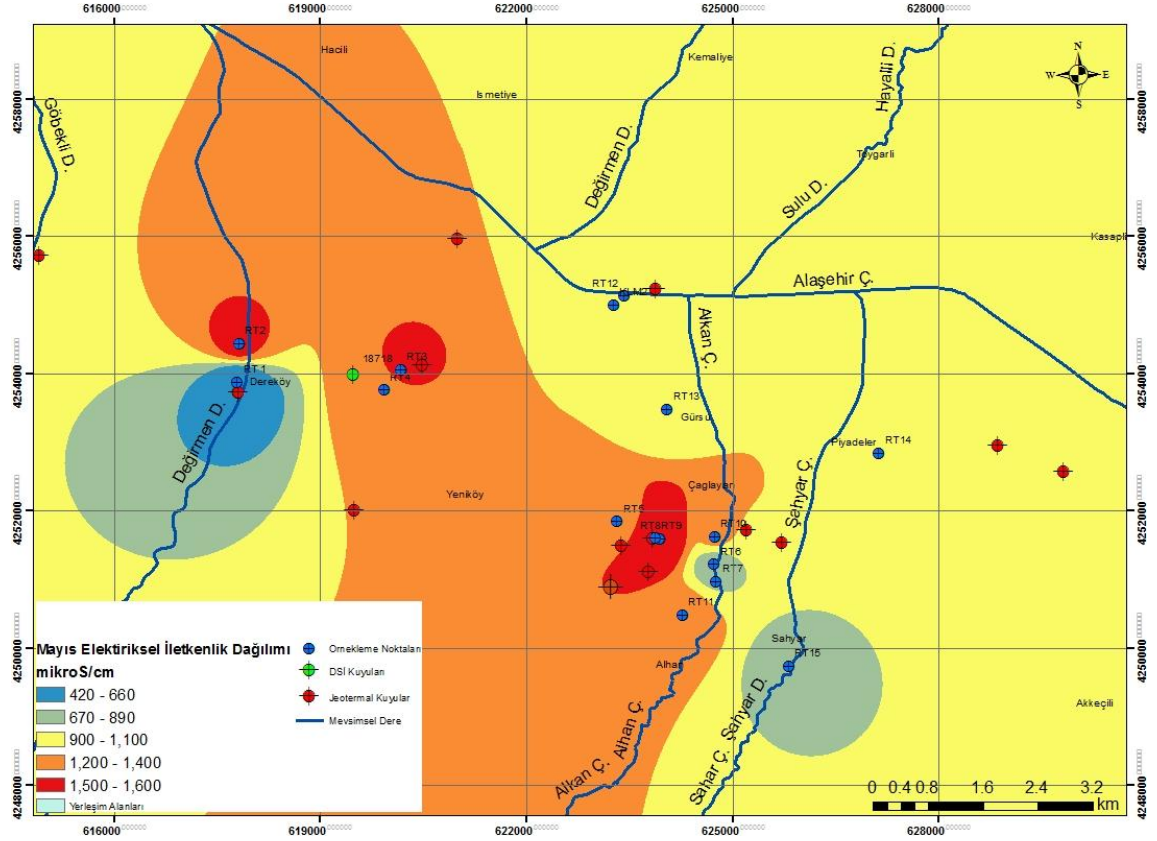
Yeraltı suyu kirlilik parametresi olarak ele alınan diğer parametrelerden biri ise elektriksel iletkenliktir. Örnekleme yapılan her iki dönem için yapılan yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dağılım haritası Şekil 6.4 ve 6.5’te sunulmuştur. Mayıs 2014 dönemi ölçümlerine göre RT-2, RT-3 ve RT-8 numaralı kuyuların elektriksel iletkenlik değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Eylül 2014 dönemi ölçümleri ile oluşturulan dağılım haritasına göre aynı kuyular yüksek elektriksel iletkenlik değeri sunmaktadır. Burada, jeotermal sulardan etkilenen ve sıcaklık dağılım haritasında da görüleceği üzerine RT-2 nolu kuyunun jeotermal kaynaklı olmayan bir kaynaktan etkilendiği düşünülmektedir.



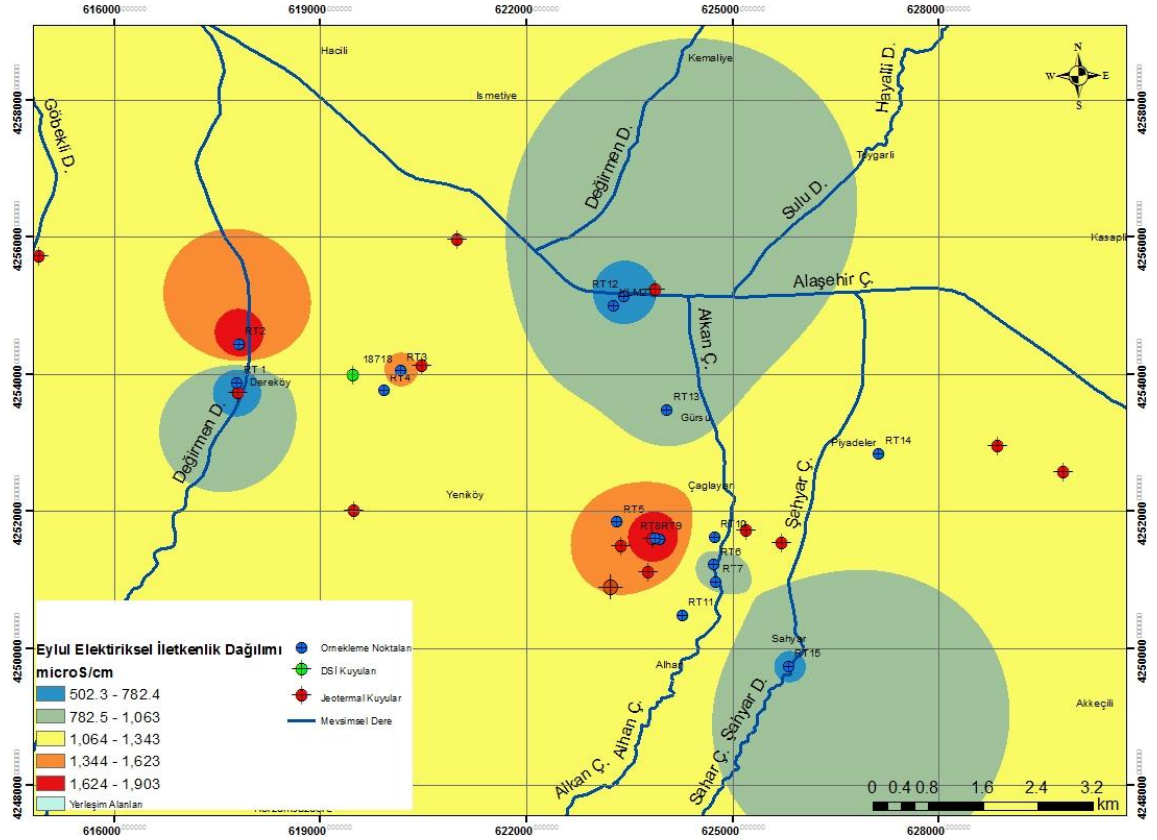
Şekil 6.2 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu sıcaklık dağılımı



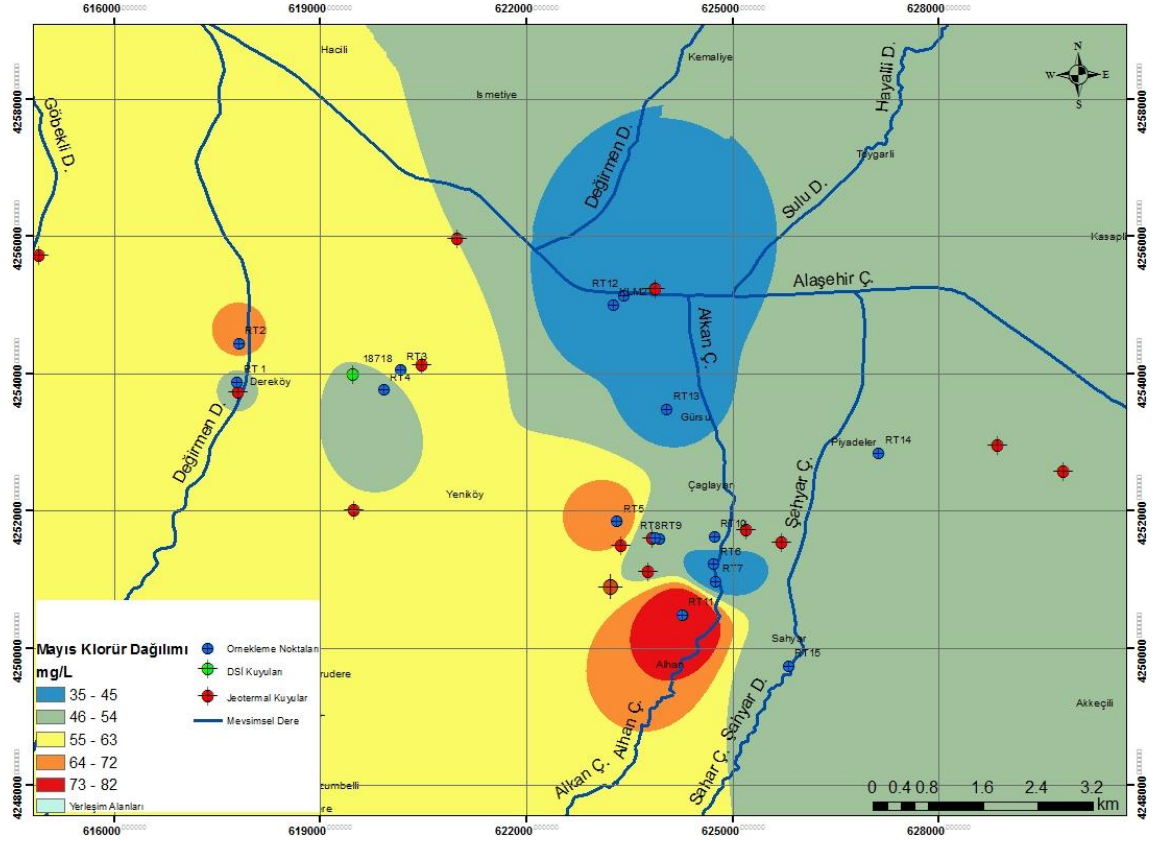
Şekil 6.3 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu sıcaklık dağılımı



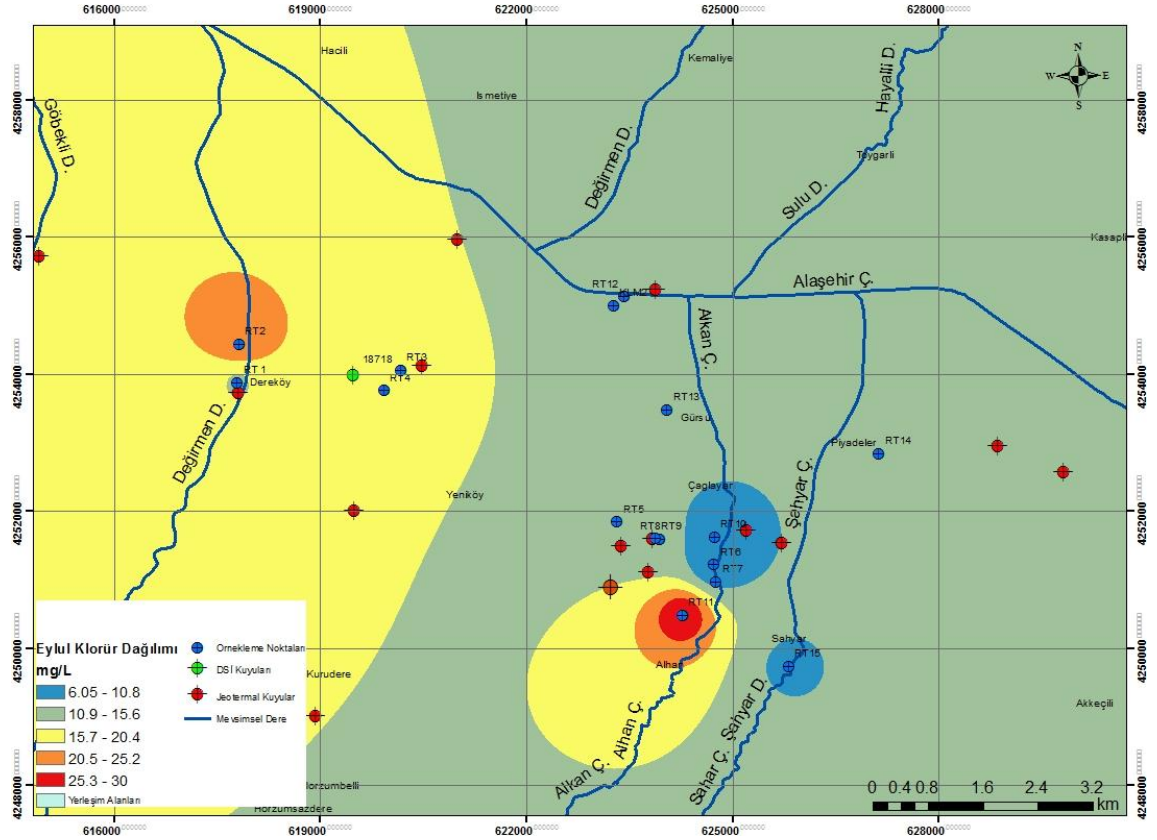
Şekil 6.4 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dağılımı



Şekil 6.5 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu elektriksel iletkenlik dağılımı



Şekil 6.6 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu klorür dağılımı



Şekil 6.7 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu klorür dağılımı

6.2.3 Klorür Dağılımı

Suların kirliliğinin araştırılmasında önemli parametrelerden biri olan klorür hem içme hem de sulama suyunda yüksek olması durumunda suyun kullanılabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bölgede yeraltı suyu klorür dağılımı haritasına göre jeotermal sulardan etkilenen RT-2 ve RT-8 numaralı kuyuların bulunduğu bölgelerde, diğer kesimlere göre yüksek konsantrasyon vermektedir (Şekil 6.6 ve 6.7). Eylül 2014 dönemi sonuçlarına göre ovadaki yeraltı suyu klorür konsantrasyonunda alanın batı kesimlerinde daha yüksek bir dağılım sunmaktadır.

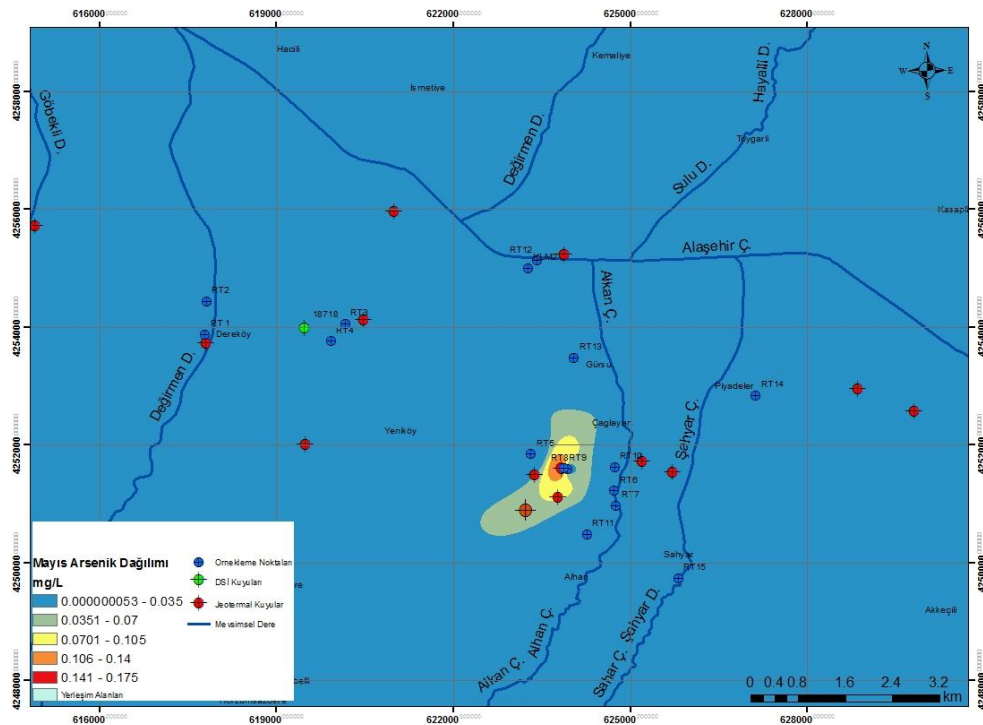
6.2.4 Arsenik Dağılımı

Çalışma alanında jeotermal suların yeraltı suyuna olan etkilerinin belirlenmesi ele alınan diğer bir kirletici indikatör ise arseniktir. Arsenik jeotermal sularda Mayıs 2014 dönemi analizlerinde 3 mg/L olarak belirlenmiştir. İçme suyu açısından üst sınır olarak 10 µg/L kabul edildiğine göre, jeotermal sularda önemli oranda arsenik bulunmaktadır. Bu bağlamda, arsenik konsantrasyon dağılımı bölgede jeotermal suların etkisini gösterebilecek indikatörlerden birisi olarak düşünülmelidir. Çalışma alanında yapılan analiz sonuçlarına göre jeotermal patlamanın gerçekleştiği alana yakın olan RT-8 numaralı kuyuda her iki dönem analiz sonuçlarına göre yüksek bir konsantrasyon sunmaktadır (Şekil 6.8 ve 6.9). Ovanın diğer kesimlerinde genel olarak düşük arsenik dağılımı söz konusudur. Bu kuyunun jeotermal sulardan etkilendiğini daha önceki bölümlerde sunulan sıcaklık ve elektriksel iletkenlik dağılım haritaları da doğrulamaktadır.

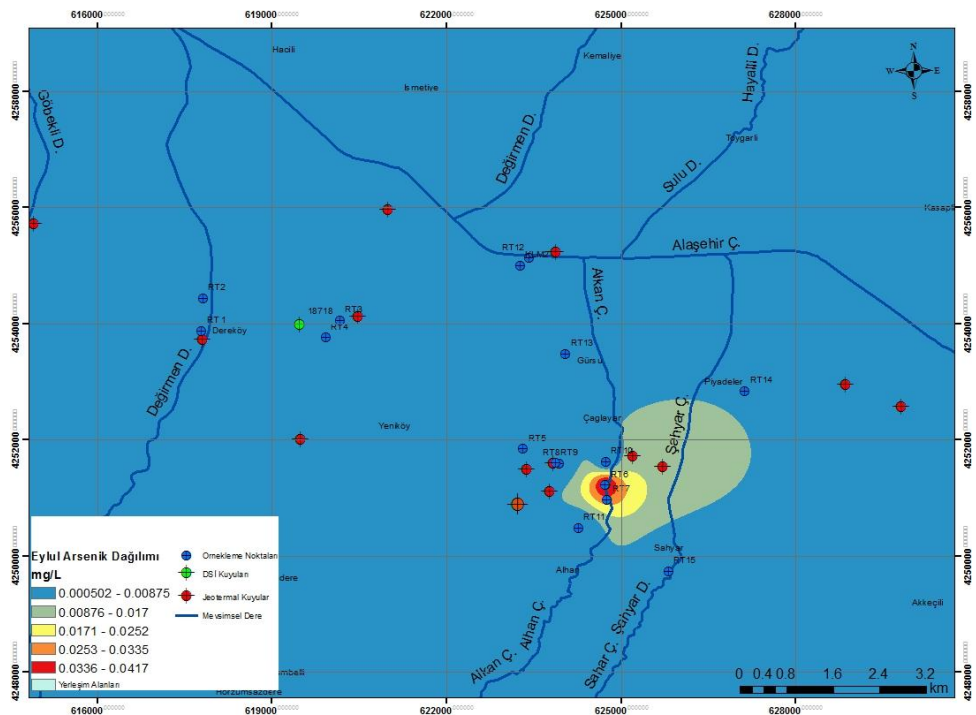
6.2.5 Bor Dağılımı

Alaşehir bölgesinde yer alan jeotermal sularda bor önemli bir indikatördür. Özellikle bor konsantrasyonu 120 mg/L mertebesinin üzerinde olması dikkate alındığından yeraltı suları için önemli bir kirletici parametre özelliği taşımaktadır. İzmir çevresinde yapılan

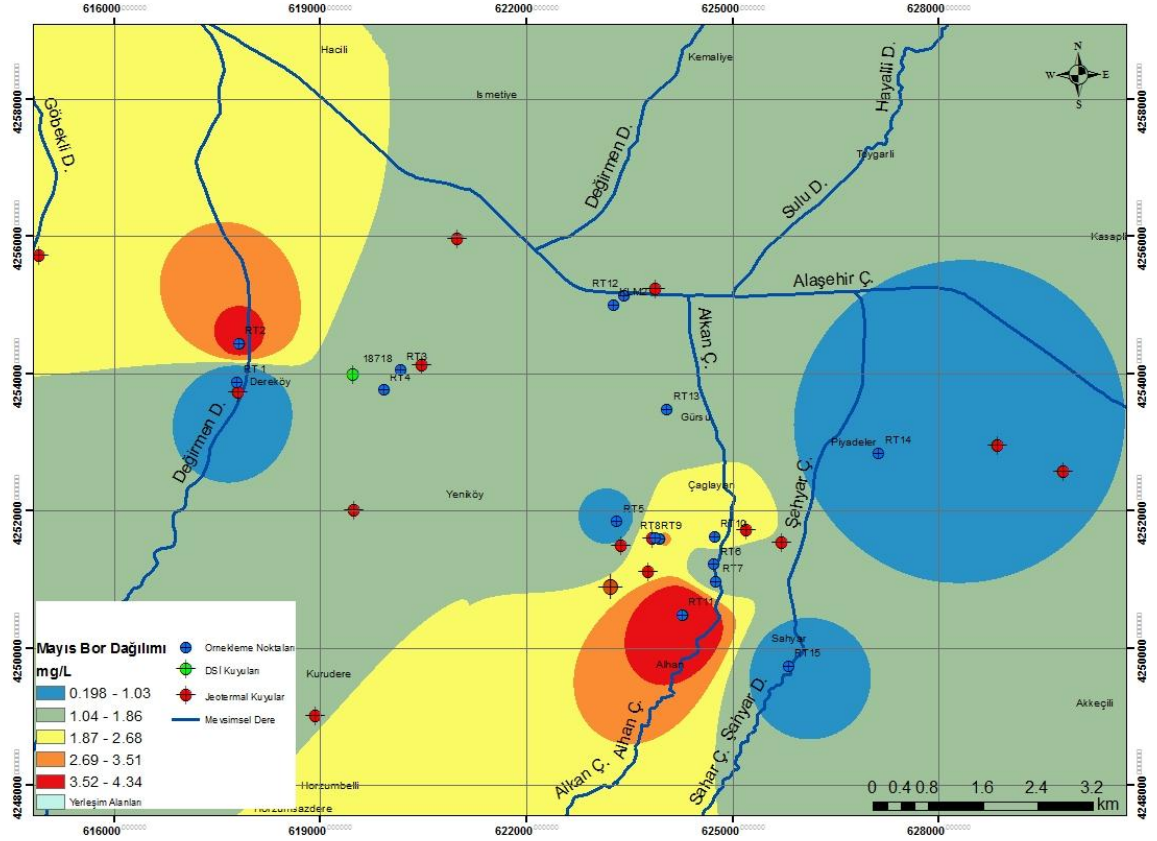
diğer çalışmalarda, Balçova bölgesinde yer alan jeotermal sularda bor konsantrasyonu 20 mg/L (Aksoy ve diğer., 2009), bölgede yapılan çalışmalarda ise 1-63 mg/L arasında değişen bor konsantrasyonları saptanmıştır (Gemici ve Tarcan, 2002).



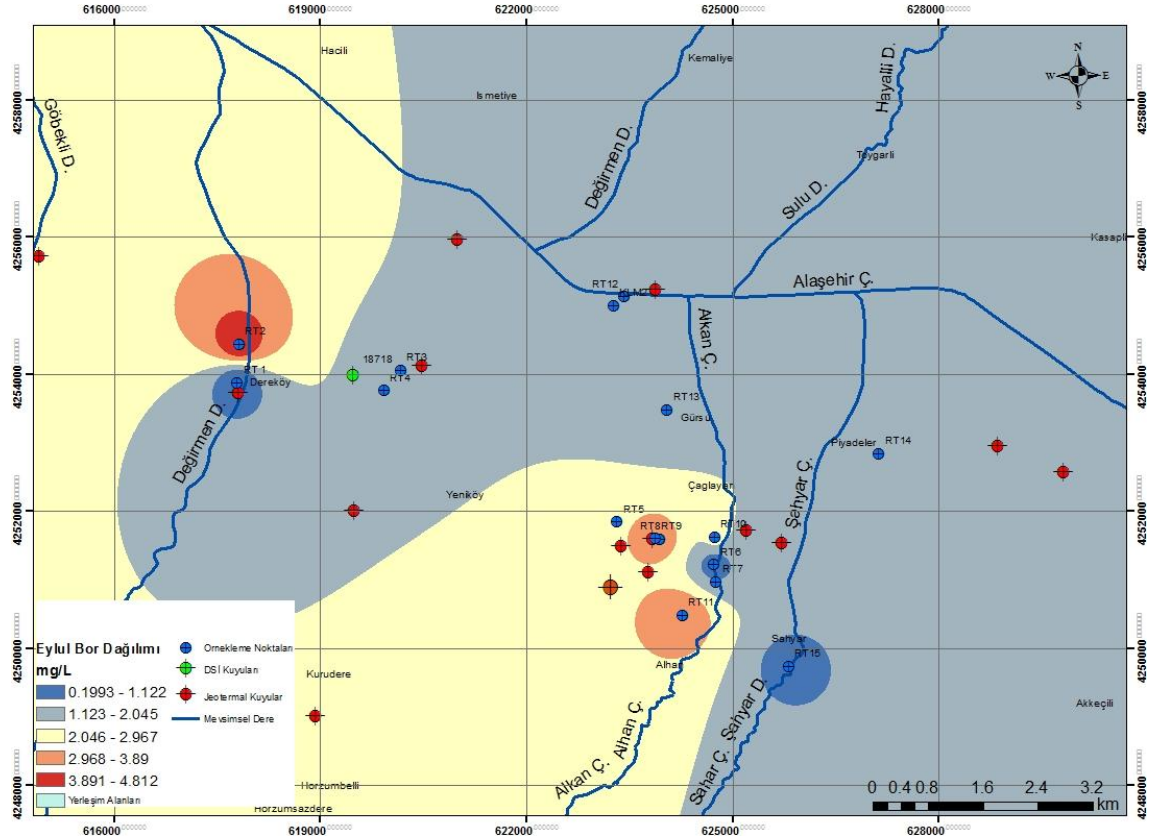
Şekil 6.8 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu arsenik dağılımı



Şekil 6.9 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu arsenik dağılımı



Şekil 6.10 Mayıs örnekleme dönemine ait yeraltı suyu bor dağılımı



Şekil 6.11 Eylül örnekleme dönemine ait yeraltı suyu bor dağılımı

Ancak elde edilen 120 mg/L değerindeki bor önemli oranda yüksek bir konsantrasyonu oluşturmaktadır. Çalışma alanında yapılan bor dağılım haritasına göre benzer şekilde jeotermal sulardan etkilenen RT-2 ve RT-8 numaralı sondaj kuyularında ve genel olarak ise alanın batı kesimleri yüksek bor konsantrasyonun gözlemlendiği alanları ifade etmektedir (Şekil 6.10 ve 6.11).

6.3 Su Kimyasının Zamana Bağlı Değişimi

Çalışma alanına yeraltı suyu kimyasının zamana bağli olarak değişiminin incelenmesi için jeotermal patlamanın meydana geldiği kuyunun yeraltı suyu akışı önünde 2012 ile 2014 yılları arasında her altı ayda bir arsenik, bor, kurşun, sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değeri ölçülmüş ve grafiklendirilmiştir. Örnekleme noktalarının lokasyon haritası Şekil 6.12 ile Şekil 6.15 arasında görölmektedir.

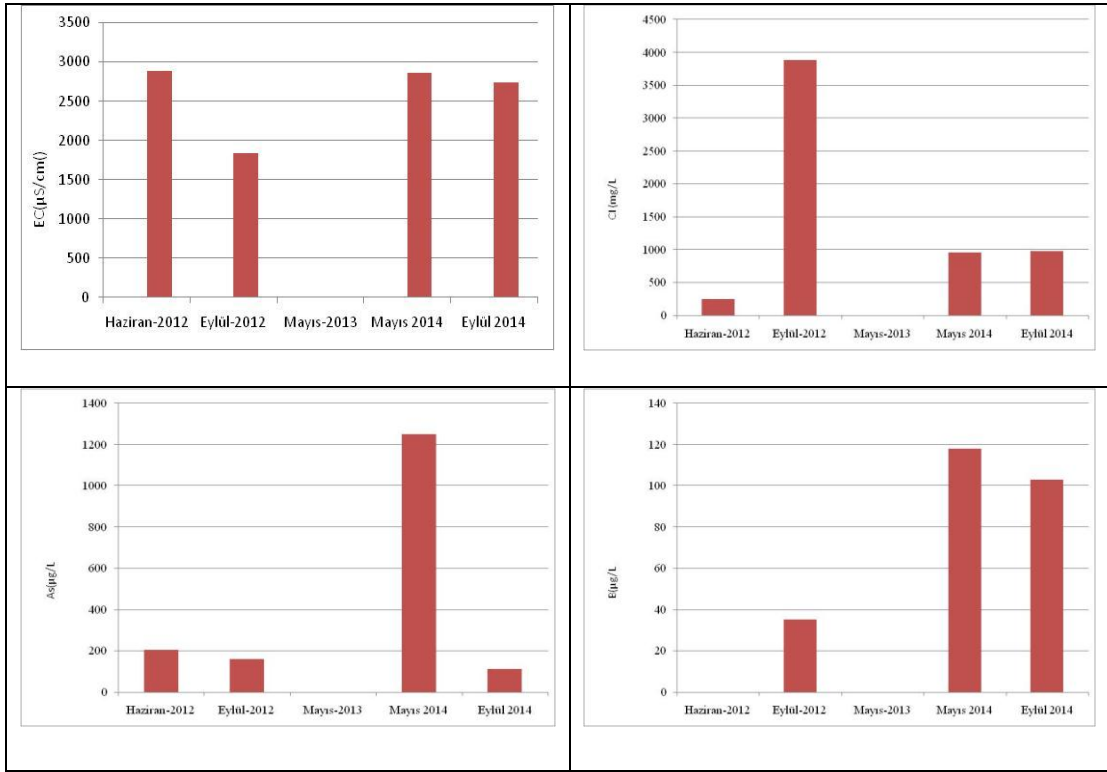
Çalışma alanındaki RT-7 nolu jeotermal sudan alınan örneklerde yapılan elektriksel iletkenlik, klorür, arsenik ve bor konsantrasyon dağılımı Şekil 6.12’de sunulmaktadır. RT-7 örnekleme noktasında EC değerinin 2012 yılından 2014 yılları arasında farklılıklar sunmuştur. Özellikle 1842 ile 2889 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup, yağışlı dönemlerde kısmen yükseldiği, kurak dönemlerde ise kısmen azalma gözlenmiştir. Klorür ise 184 ile 3888 mg/L arasında değişmektedir. En yüksek konsantrasyon Eylül 2012 yılında belirlenmiştir. Haziran 2012 yılına göre 2014 yılında artış gözlenmiştir. Bölgede patlamanın meydana geldiği jeotermal kuyudan zaman bağli olarak alınan bor ve arsenik konsantrasyonu 2014 yılında artış gösterdiği görölmektedir. Arsenik ve bor’un özellikle Mayıs 2014 yılında diğer dönemlere göre yüksek konsantrasyon vermektedir.

Diğer bir örnekleme noktası ise RT-6 nolu sulama su kuyusunda ise alınan örneklerde yapılan elektriksel iletkenlik, klorür, arsenik ve bor konsantrasyon dağılımı Şekil 6.13’de sunulmaktadır. Jeotermal patlamanın meydana geldiği kesimde yer alan kuyuda elektriksel iletkenlik değerinin 797 ile 1006 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği ve en yüksek değerini Mayıs 2013’de verdiği görölmektedir. Klorür konsantrasyonunda genel olarak 2012 yılından itibaren bir azalma eğilimde olmasına karşın Mayıs 2013 yılında

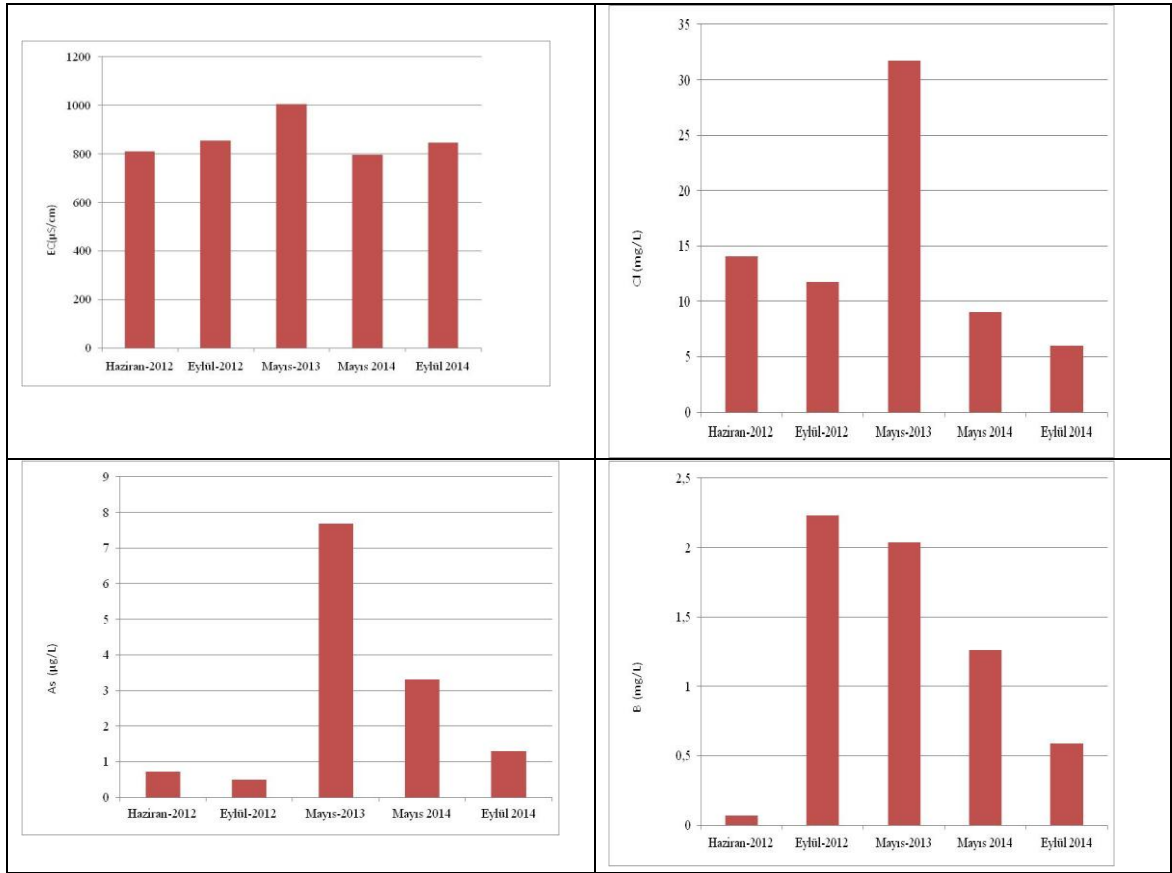
en yüksek değer ölçölmüştür. Arsenik konsantrasyonu da Mayıs 2013 yılında ani olarak yükselmekte ve Eylül 2014 dönemine kadar kademeli bir azalma görölmektedir. Bor ise Eylül 2012 yılından itibaren Eylül 2014 dönemine kadar kademeli olarak bir azalma göstermektedir. Bu kuyunun özellikle Mayıs 2012 döneminde önemli oranda bir jeotermal su ile etkileşimde olduğu söylemek gerekir.

Jeotermal patlama bölgesinde yeraltı suyu akım yönü üzerinde yer alan RT-8 nolu kuyuda zamana bağlı olarak ölçölen elektriksel iletkenlik, klörür, arsenik ve bor konsantrasyon dağılımı Şekil 6.14’de sunulmaktadır. Elektriksel iletkenlik değerinin genel olarak 2012 yılı ile 2014 yılı sonuna kadar artış eğilimindedir. Klorür oranı Mayıs 2014 dönemi hariç fazla bir değişiklik görölmemektedir. Ancak, jeotermal suda bir kirletici parametre olarak ele alınan arsenik ve bor konsantrasyonunda zamana bağlı bir artış gösterdiği görölmektedir. Ancak Mayıs 2012 döneminde de bu kuyuda önemli oranda bor konsantrasyonun arttığı tespit edilmiştir. Bu artışın diğer kuyularda da görölmesi, bu örnekleme döneminde önemli oranda jeotermal su girişiminin varlığına işaret etmektedir.

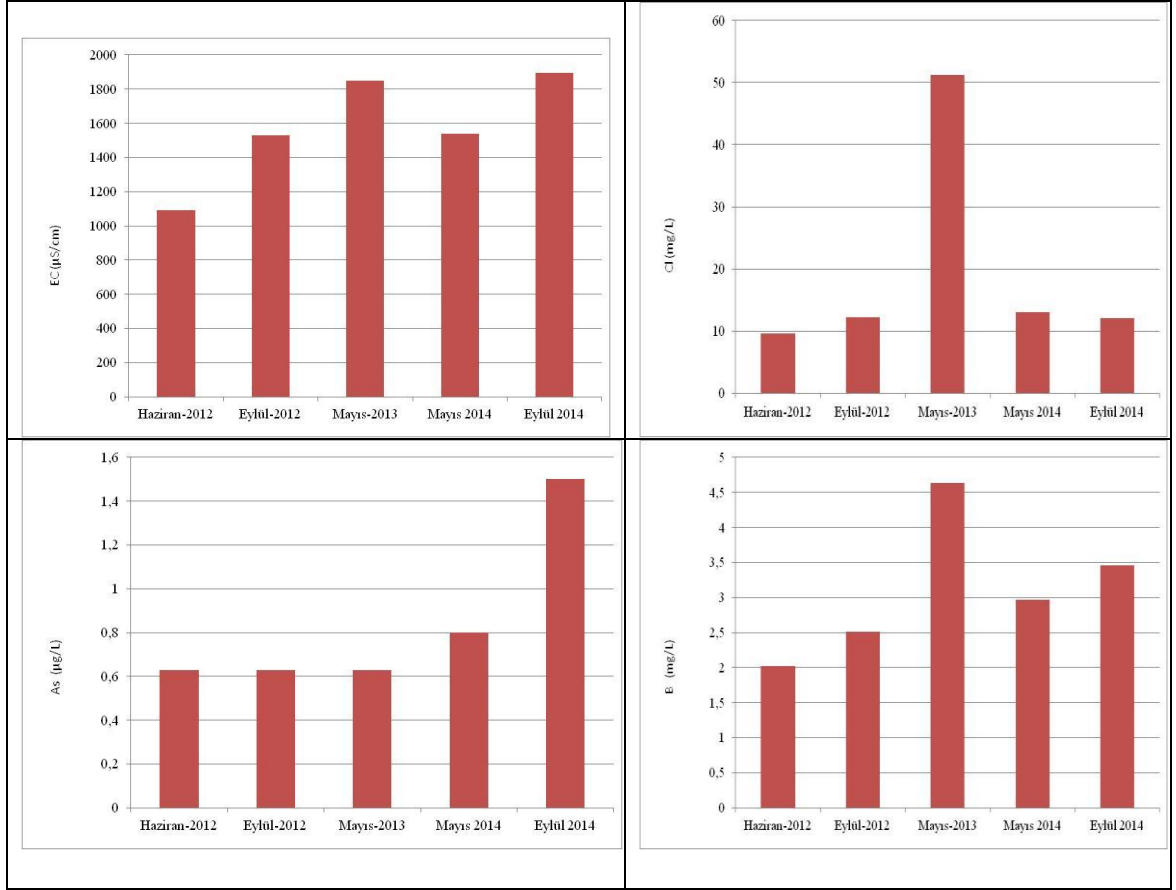
Yeraltı suyu akım yönü üzerinde olan ve sulama suyu sağlamak amaçlı kullanılan RT-9 ise RT-8 nolu kuyuya yakındır. RT-9 nolu kuyuda zamana bağlı olarak ölçölen elektriksel iletkenlik, klorür, arsenik ve bor konsantrasyon dağılımı Şekil 6.15’de sunulmaktadır. Kuyuda ölçölen elektriksel iletkenlik değeri RT-9’da olduğu gibi bir artış eğilimindedir. Klörür miktarı ise Eylül 2014 yılında yüksek olarak belirlenmiştir. Bu kuyu dere yatağına yakın olması nedeniyle yüzeysel kirleticilerle de etkilendiği düşünölmektedir. Ancak arsenik konsantrasyonu 178 µg/L oranında yükselmiştir. Bor konsantrasyonunda ise 2012 yılından sonra kısmen bir azalma eğilimi göstermektedir. Eylül 2014 yılında bu kuyuya yakın başka bir kuyudan (NKT-20) alınan bor konsantrasyonu 6,94 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu kuyuda kısmen jeotermal sulardan etkilenme söz konusu olup, jeolojik birimlerden gelen borun önemli katkının olduğunu vurgulamak gerekir.



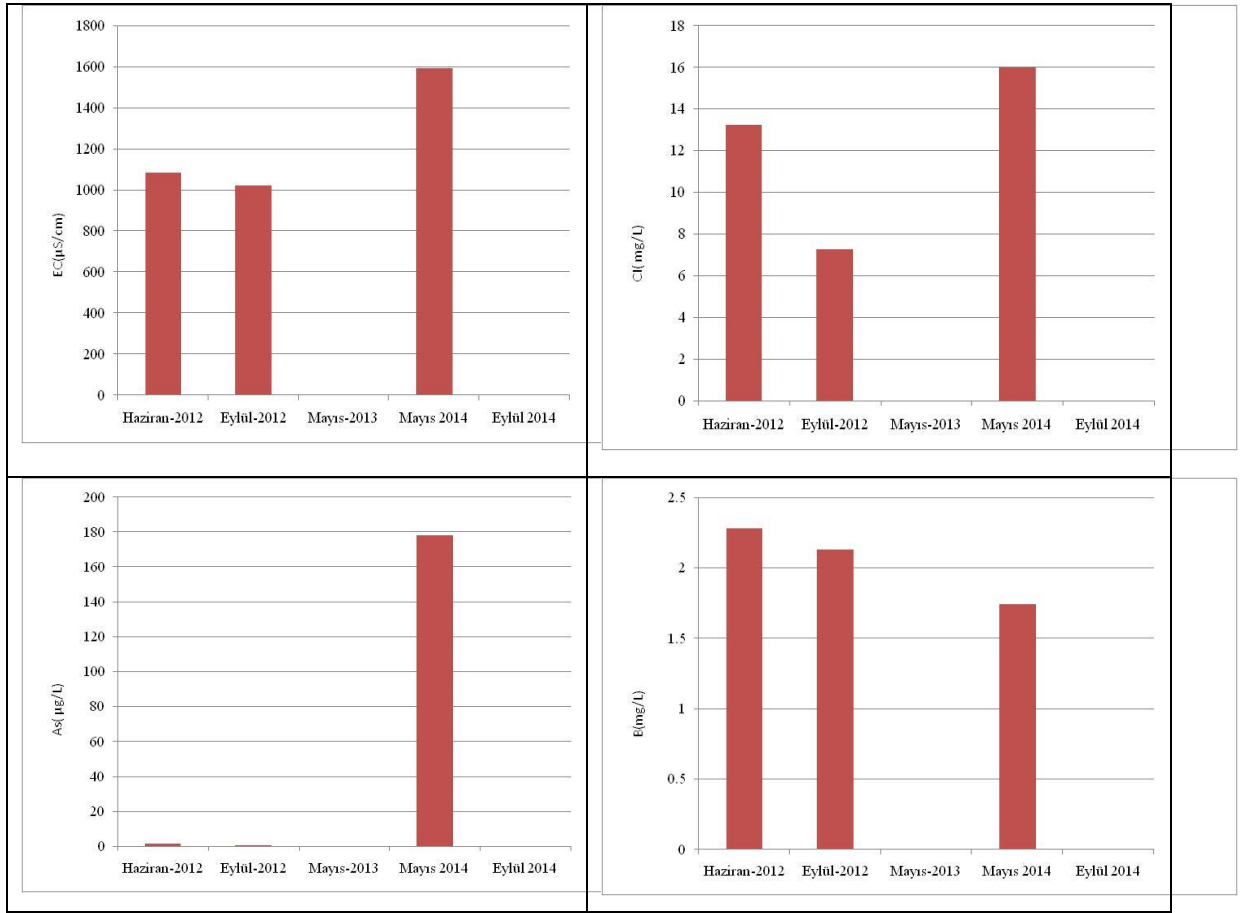
Şekil 6.12 RT7 Örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi



Şekil 6.13 RT6 Örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi



Şekil 6.14 RT8 Örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi



Şekil 6.15 RT9 Örnekleme noktasında zamana bağlı parametrelerin değişimi

6.4 Su Sıcaklığı ve Elektriksel İletkenliğin Zamana Bağlı Değişimi

Alaşehir ovasında jeotermal kuyuda meydana gelen patlama sonrası yeraltı suyuna karışımın olup olmadığının belirlenmesine yönelik olarak RT-8 nolu kuyuya CTD diver yerleştirilmiştir. Kuyuya yerleştirilen diver Haziran 2014 tarihinden itibaren her saat su seviyesi, sıcaklığı ve elektriksel iletkenliği otomatik olarak ölçmekte ve kaydetmektedir. Bu verilere göre yeraltı suyundaki anlık su seviye değişimi, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri izlenmekte ve jeotermal akışkanın yeraltı suyu ile etkileşiminin olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

6.4.1 Seviye Değişimi

RT8 nolu kuyudan alınan anlık seviye değişimi 6.14’de sunulmuştur. Yeraltı suyu seviyesi mevsimsel etki altında olup, özellikle kurak dönemde yağışın olmadığı fakat sulama suyu ihtiyacının arttığı haziran ayından itibaren düşüş eğilimindedir. Ağustos ayının ortalarından itibaren ise yeraltı suyu seviyesinin yükselmeye başladığı görülmektedir. Bu yükselim trendi ölçüm sonu olan Şubat ayı itibari ile yükselimde olduğu görülmektedir. Ancak Ağustos ayında kuyuda meydana gelen aşırı ve ani ısı yükselimi, bu kuyuda bir jeotermal girişiminin olduğunu ve seviyeyi de etkilemeye başladığı düşünülmektedir.

6.4.2 Sıcaklık Değişimi

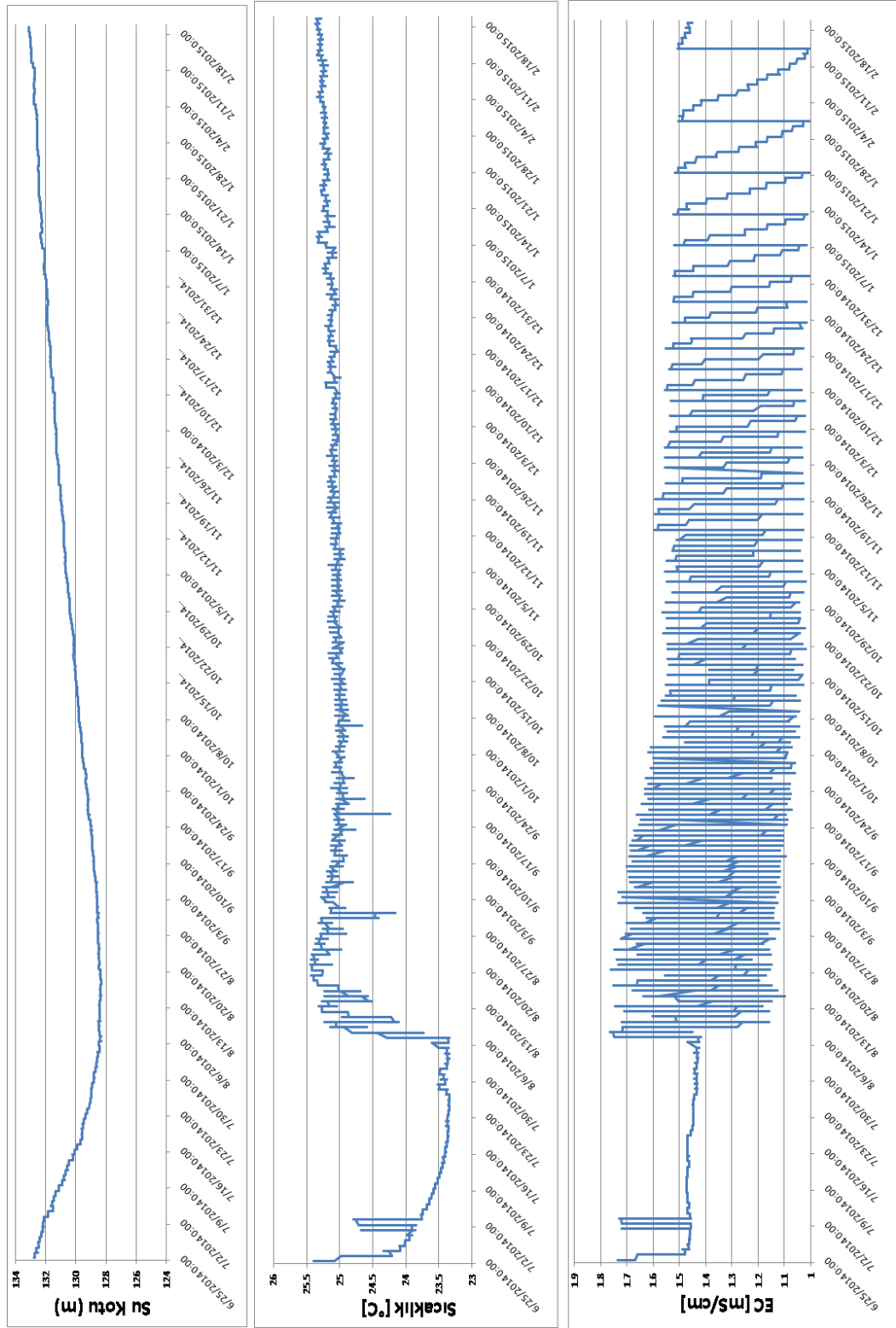
RT-8 nolu kuyudan alınan anlık sıcaklık değişimi 6.14’de sunulmuştur. Yeraltı suyu sıcaklık değişimi ölçüm başlangıcı olan Haziran ayından itibaren Ağustos ayına kadar azalma eğilimi göstermektedir. Bunlara ek olarak Temmuz ayında ise bir dönemde ani bir yükseliş gözlenmiş ve daha sonra tekrar düşmüştür. Ağustos ayının ortalarından itibaren ortalama olarak 23,4 °C olan su sıcaklığı ani olarak yükselmiş ve 25,5 °C mertebesine kadar yükselmiştir. Daha sonra sıcaklık 25 °C seviyesinde seyretmiş ve zaman bağlı olarak ise yükselme eğilimi göstermiştir. Ancak sıcaklık artışlarında ve seviye değişimlerinde anlık farklılıklar göstermektedir. Bu değişimi daha net görmek için bir zaman dilimine ait değişimler Şekil 6.16’da sunulmuştur. Sıcaklığın artış gösterdiği zamanda yeraltı suyu seviyesinde de artış meydana gelmektedir. Seviye ile sıcaklık değişimi birbirine oldukça benzer olup doğrusal artan bir eğilim sunmaktadır.

6.4.3 Elektriksel İletkenlik Değişimi

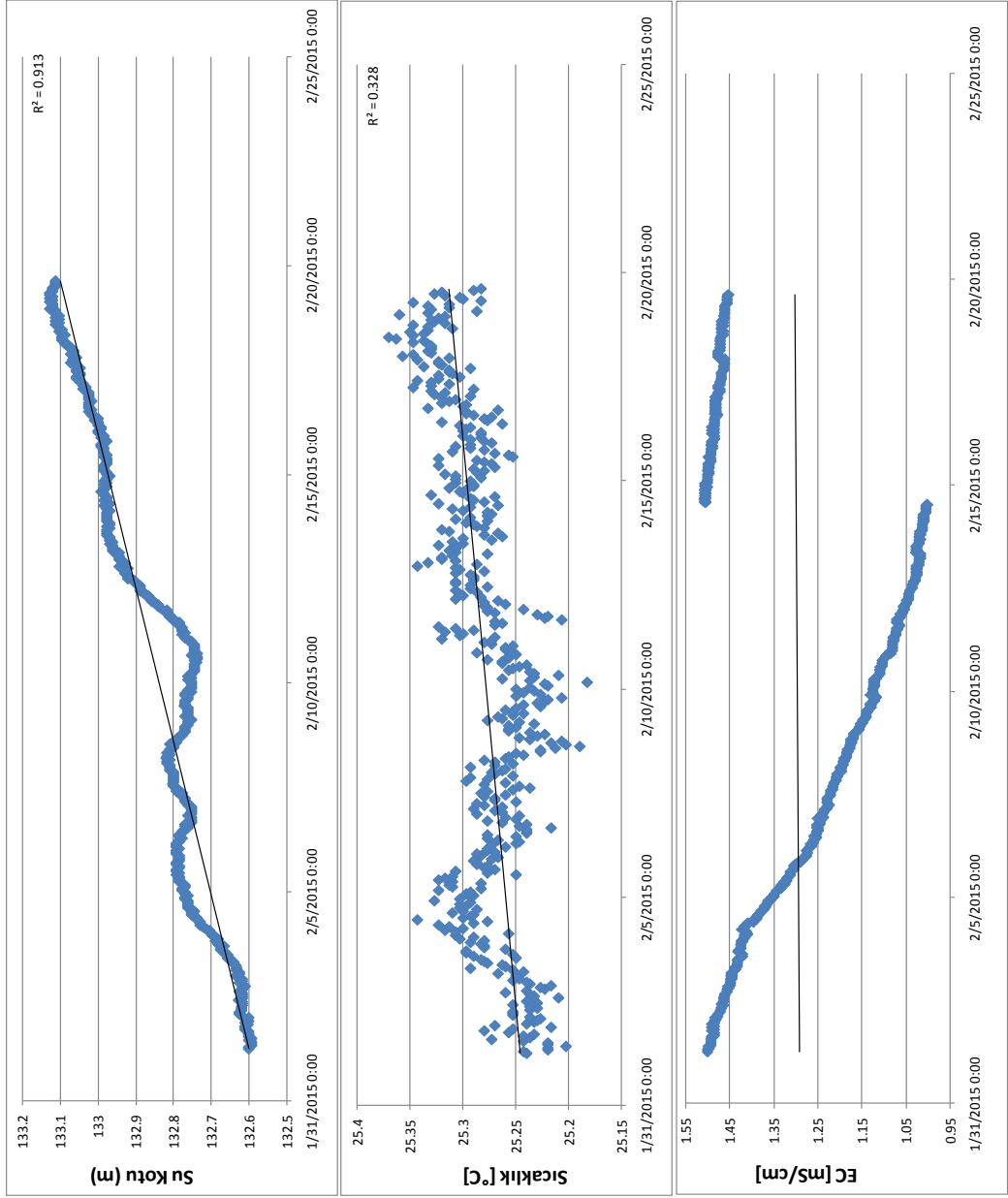
RT-8 nolu kuyudan alınan anlık elektriksel iletkenlik değişimi 6.14’de sunulmuştur. Elektriksel iletkenlik değişimi yeraltı suyu ısı değişimi ile önemli oranda benzerdir. Yeraltı suyunda sıcaklık değişimin olduğu Ağustos ayı ortalarından itibaren elektriksel iletkenlik değerlerinde de artış başlamış ve sıcaklık değişime bağlı olarak dalgalanma sunmuştur. Ancak genel olarak bakıldığında elektriksel iletkenliğinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Ancak, elektriksel iletkenlik değerinin öncelikle sık olmak üzere zamana bağlı olarak bu sıklık azalmakta olup, önce azalmakta, sonra ani bir yükseliş ile 1500 $\mu\text{S/cm}$ mertebesine çıkmakta ve tekrar azalarak 1000 $\mu\text{S/cm}$ seviyesine düşmekte ve tekrar sıçrayarak 1500 $\mu\text{S/cm}$ seviyesine çıkmaktadır. Bahsedilen değişim Şekil 6.16’da daha net olarak görülmektedir. Bu değişimi sıcaklık ve seviye değişimi ile beraber değerlendirdiğimizde, sıcaklığın azalmasına bağlı olarak elektriksel iletkenliğin azalmaya bağladığını, sıcaklığın artışına başlanmasından sonra ise elektriksel iletkenliğin aniden arttığını ve zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

Bu verilerden yola çıkarak kuyuda jeotermal etkilenmenin ancak bir re-enjeksiyon varlığı ile açıklanmaktadır. Bölgede jeotermal re-enjeksiyon’un yapıldığı bilinmektedir. Bu durumda belli aralıklarla re-enjeksiyon uygulaması yapıldığından yapılan dönemlerde kuyuda bu enjeksiyon’un tepkisi hızlı olmakta, ve yapılan enjeksiyon hem kuyu seviyesinde artışa, buna bağlı olarak ısı artışı ve elektriksel iletkenlik değerinde artışa neden olmaktadır. Daha sonra kuyuya ulaşan jeotermal su zaman bağlı olarak seyreilmekte ve buna bağlı olarak ta seviye, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri azalmaktadır.



Şekil 6.16 RT8 Örneklem noktasında zamana bağlı seviye, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık parametrelerinin değişimi



Şekil 6.17 RT8 Örnekleme noktasında anlık seviye, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık parametrelerinin değişimi

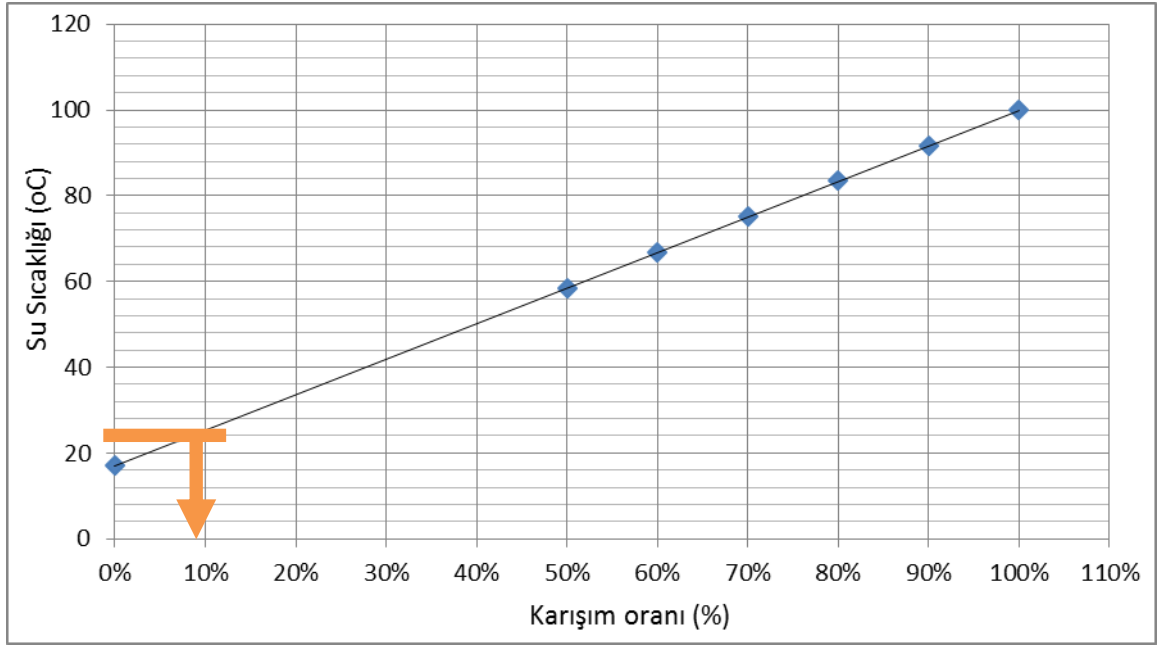
6.5 Karışım Oranı

Jeotermal suların bölgedeki kuyularda saptanan etkilenmenin boyutunu irdelenmesi için Aquachem programında jeotermal su ile bölgenin arka planını yansıtan ve jeotermal sudan etkilenmeyen sular belli oranlarda karıştırılarak bir karışım modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan karışım oranları Tablo 6.2’de sunulmuştur. Oluşturulan karışım modelinde ele alınan jeotermal su yeraltı suyu ile %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında karıştırılmış ve ortaya çıkan karışım kimyası Tablo 6.20’de sunulmuştur. Oluşturulan karışım oranlarına göre özellikle bor ve sıcaklık değişim modelini yansıtacak grafikler Şekil 6.18 ve 6.19’da sunulmuştur. Bu grafikler üzerinde özellikle jeotermal sudan etkilenen RT-8 nolu kuyunun kimyası baz alınarak ısı ve bor değerlerine göre karışım oranı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

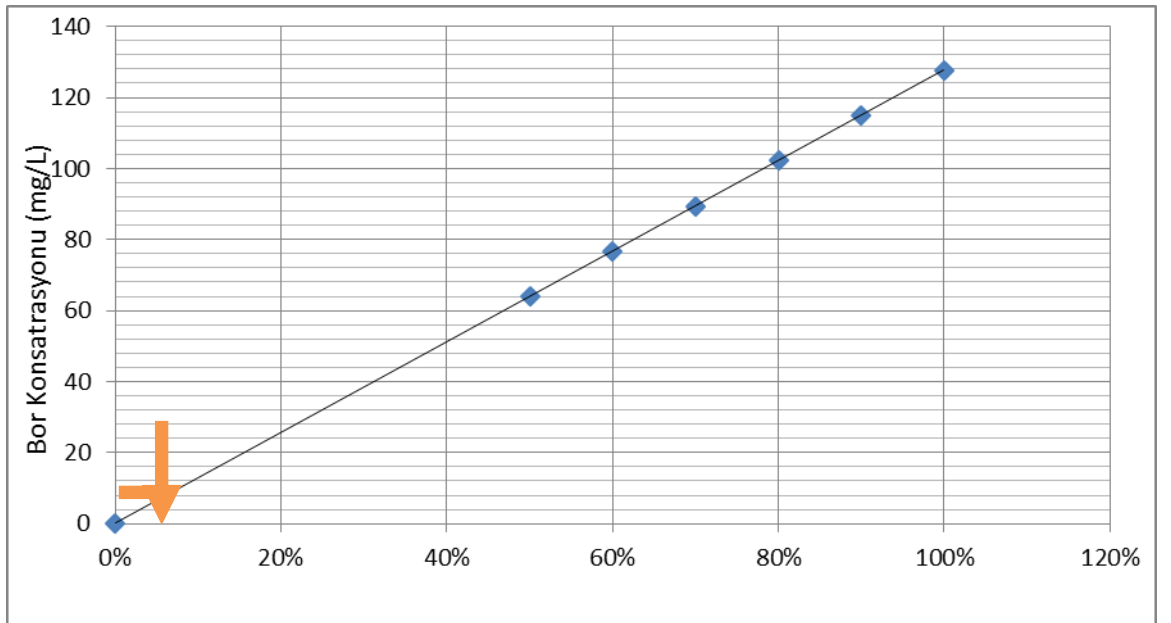
Buradan kuyudan etkilenen kuyuların sıcaklıkları ve bor konsantrasyonları model eğrisi ile karşılaştırıldığında % 5-10 arasında bir karışım olduğu görülmektedir. Su sıcaklığının arka planı olan doğal sıcaklık değerleri de dikkate alındığında bu karışım ortalama olarak % 5 olarak öngörülmektedir.

Tablo 6.2 Ele alınan iki farklı su tipinin karışım oranları

Solusyon 1	RT 1						
Solusyon 2	KLM2						
Karışma Oranları 10%-50%							
Solusyon 1	1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0
Solusyon 2	0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	1
Na (mg/l)	19,98	907,40	808,80	710,19	611,59	512,99	1006,00
K(mg/l)	4,46	48,15	43,29	38,44	33,58	28,73	53,00
Ca(mg/l)	48,97	11,38	15,55	19,73	23,91	28,09	7,20
Mg(mg/l)	16,81	2,58	4,16	5,74	7,32	8,91	1,00
Cl(mg/l)	53,54	1578,40	1408,97	1239,54	1070,11	900,68	1747,82
HCO3(mg/l)	58,93	1311,31	1172,15	1033,00	893,85	754,69	1450,46
SO4(mg/l)	26,00	49,40	46,80	44,20	41,60	39,00	52,00
Sıcaklık (°C)	17,10	91,71	83,42	75,13	66,84	58,55	100,00
EC (µS/cm)	422,00	2616,20	2372,40	2128,60	1884,80	1641,00	2860,00
B(mg/l)	0,20	114,88	102,14	89,39	76,65	63,91	127,62



Şekil 6.18 RT8 nolu kuyuda rastlanan su sıcaklığına bağlı jeotermal karışım oranı



Şekil 6.19 RT8 nolu kuyuda rastlanan bor'a bağlı jeotermal karışım oranı

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanı, Batı Anadolu'daki doğu-batı yönlü ovalardan biri olan Gediz Ovası Gediz grabeninin doğu bölümünü oluşturan Alaşehir Ovası ve çevresini kapsamaktadır. Alaşehir Ovası düz bir alan olup, ovanın GB ve KD kesimleri dağlıktır. Ova, Alaşehir Çayının da içinden aktığı bir graben alanından oluşmaktadır. Ege Bölgesi önemli bir kuru üzüm yetiştirilen alanlardan biri olup, özellikle Manisa ili ise Ege Bölgesi bağ sahasının 1/3 'ünü kapsayarak en büyük üzüm yetiştirme alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Manisa il sınırlarında en önemli üzüm yetiştirme alanları olarak Alaşehir, Salihli ve Turgutlu alanlarını ön plana çıkarmaktadır.

Çalışma alanını oluşturan Alaşehir Ovası, İç Ege ve Akdeniz ikliminden karasal iklime geçiş yeridir. Genel olarak ılıman bir iklimin geçtiği Alaşehir'de yaz ayları oldukça sıcak ve kurak kış ayları ise kısmen kar yağışlı ve yağışlı geçer. Yaz aylarında bölgenin sıcaklığı 40 dereceye kadar yükselmektedir. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması 16,8 °C olup, en yüksek sıcaklık 29°C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık 5,8 °C ile Ocak ayındadır. Çalışma alanı yıllık yağış ortalaması 439,93 mm'dir. En fazla yağış 71,72 mm ile Aralık ayında, en düşük yağış 8,98 mm ile Temmuz ayında düşmektedir.

Çalışma alanı Türkiye'nin batısında önemli bir çöküntü havzası olan Gediz grabeni içerisinde kalır. Gediz graben alanı özellikle Menderes Masifi kayalar ve meta granitler ile sınırlandırıldığı için jeotermal açısından önem kazanmıştır. Alaşehir ovası önemli bir çöküntü alanı olup, oldukça derin jeotermal sondajlar yapılmaktadır. Stratigrafik olarak temelde Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfitlerine ait şist, mermerler ve meta granitler yer almaktadır. Bu birimler üzerine açısız uyumsuzlukla Tersiyer yaşlı tortul birimler gelmektedir. Tüm birimleri açısız uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı Alüvyonel birimler örtmektedir. Bölgede yer alan Paleozoyik yaşlı Mermerler jeotermal sistemin rezervuar kayasını oluşturmaktadır. Yeraltı suyu üretimi ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan

sağlanmaktadır. Bu bağlamda bölgede en önemli yeraltı suyu akiferini alüvyonlar oluşturmaktadır.

Çalışma alanında akarsu niteliğindeki yüzeysel suları Alaşehir çayı oluşturmaktadır. Alaşehir Çayı Alaşehir havzasında yer alan Koca Çay ve Derbent Çayı'nın birleşimi ile meydana gelmekte ve Bozdağlar'dan gelen irili ufaklı derelerin katılımı ile genişlemekte ve alanın kuzey kesimlerinde Gediz Nehri'ne katılmaktadır. Çalışma alanında DSİ, Özel İdare, belediyeler, köy muhtarlıkları, sanayi tesisleri ve özel kişiler tarafından pek çok kuyu açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri genelde 60-120 m arasında değişmekte ve alüvyon akiferde yeraltı suyu üretimi yapılmaktadır. Jeotermal kuyuların derinlikleri ise 800-3000 m arasında değişmektedir.

Ölçülen seviyeler göre Mayıs ayında statik seviye 5,0 ile 39,9 m arasında değişmektedir. Eylül ayında ise 19,6 ile 39,82 m arasında değişmekte olup, bazı kuyularda sulama suyu çekimlerine bağlı olarak düşümler gözlenmektedir.

Çalışma alanında jeotermal faaliyetlerin etkisinin araştırılması amacıyla yürütülen bu çalışmada Mayıs ve Eylül 2014 döneminde jeotermal ve yeraltı sularından örneklemeler yapılmıştır. Bu bağlamda çalışma alanında her iki dönemde 16 noktada örneklemeler yapılmıştır. Yapılan örneklemeler üzerinde majör ve minör element analizleri yapılarak sular sınıflandırılmış ve hidrojeokimyasal olarak değerlendirilmiştir. Suların Piper diyagramına göre sınıflandırılmasında, yeraltı suları baskın olarak Ca-HCO_3 , jeotermal sular ise Na+K-Cl su tipinde olduğu belirlenmiştir. Yeraltı sularının kurak ve yağışlı dönemlerde önemli bir değişim gözlemlenmemekte ve baskın olarak Ca-HCO_3 su tipini oluşturmaktadır. Schoeller sınıflamasında göre ise yeraltı sularının benzer bir dolaşım sistemine sahip olduğu görülmektedir. Jeotermal sular yeraltı sularından oldukça farklı bir dolaşım sistemine sahip olup, kimyasal açıdan oldukça farklıdır. Diğer bir su sınıflama yöntemi ise ABD tuzluluk laboratuvarı sınıflamasıdır. Bu sınıflamada ise 2014 Mayıs ve Eylül ayında yapılan analizlere göre suların kısmen tuzlanma nedeniyle diyagramda sağa doğru bir kayma gözlenmektedir. Özellikle Mayıs ayında analiz

sonuçlarına göre suların sodyum bakımından düşük olmasına karşın tuzluluk açısından fazla tuzlu sular sınıfında yer almaktadır. Bu bağlamda suların sınıfı C2-S1, C3-S1 sınıfında yer almaktadır. Eylül döneminde analizlerde suların C3-S1 ve C3-S2 sınıfında yer aldıkları ve orta derecede sodyumlu ve fazla tuzlu suları oluşturdukları görülmektedir. Sulama sınıflamasında 0,33 ile 1,00 mg/L arasında borun olması iyi kaliteli sulama suları ifade ederken, 3,75 mg/L üzerindeki bor bitkiler için oldukça zararlıdır ve sulama suyu olarak kullanılamaz. Çalışma alanında yapılan analizlerde 0.2 ile 4,3 mg/l arasında değişmekte olup, özellikle jeotermal faaliyetlerden etkilenen RT-2 ve RT-8 veya formasyondan kaynaklı RT-11 nolu kuyularda yüksek borlu suların sulama amaçlı kullanılmayan veya dayanıklı bitkilerde kullanılması gerekmektedir.

İçme suyu açısından ise özellikle jeotermal sulardan etkilenen kuyuların RT-2, RT-3, RT-7 ve RT-8 nolu kuyuların içme suyu standartlarını aştığı görülmektedir. Bu bağlamda bu kuyuların içme suyu amaçlı kullanılmaması gerekmektedir.

Çalışma alanında jeotermal sularda önemli bir termal indikatör olan sıcaklık, mineral içeriğine bağlı olarak yüksek elektriksel iletkenlik, klorür, bölgede karakteristik parametrelerden arsenik ve bor kirletici parametre olarak seçilmiştir. Bu parametrelerin dağılım haritaları oluşturulmuş olup özellikle, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, arsenik ve bor dağılım haritalarında göre RT-2 ve RT-8 nolu kuyuların jeotermal sulardan etkilendiği görülmektedir. Ayrıca, kirlilik parametrelerinin kendi aralarında yüksek korelasyon verdiği ve kirleticilerin jeojenik kökenli olduğu belirlenmiştir.

Alaşehir Ovasında jeotermal kuyuda meydana gelen patlama sonrası yeraltı suyuna karışımın olup olmadığının belirlenmesine yönelik olarak RT-8 nolu kuyuya CTD driver yerleştirilmiştir. Kuyuya yerleştirilen driver Haziran 2014 tarihinden itibaren her saat su seviyesi, sıcaklığı ve elektriksel iletkenliği otomatik olarak ölçmekte ve kaydetmektedir. Bu verilere göre yeraltı suyundaki anlık su seviye değişimi, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri izlenmiş ve jeotermal akışkanın yeraltı suyu ile etkileşimi ortaya konulmuştur. Yeraltı suyu ısı değişimi ölçüm

başlangıcı olan Haziran ayından itibaren Ağustos ayına kadar azalma eğilimi göstermiştir. Temmuz ayında ise bir dönemde ani bir yükseliş gözlenmiş ve daha sonra tekrar düşmüştür. Ağustos ayının ortalarından itibaren ortalama olarak 23,4 °C olan su ısısı ani olarak yükselmiş ve 25,5 °C mertebesine kadar yükselmiştir. Daha sonra ısı 25 °C seviyesinde seyretmiş ve zaman bağlı olarak ise yükselme eğilimi göstermiştir. Aynı dönemde elektiriksel iletkenlik önce azalmakta olup, sonra ani bir yükseliş ile 1500 µS/cm mertebesine çıkmakta ve tekrar azalarak 1000 µS/cm seviyesine düşmekte ve tekrar sıçrayarak 1500 µS/cm seviyesine çıkmaktadır. Bu değişimi ısı ve seviye değişimi ile beraber değerlendirdiğimizde, ısıнын azalmasına bağlı olarak elektriksel iletkenliğin azalmaya bağladığını, ısı artışına başlanmasından sonra ise elektriksel iletkenliğin aniden arttığını ve zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

Bölgede jeotermal re-enjeksiyon'un yapıldığı bilinmektedir. Bu durumda belli aralıklarla re-enjeksiyon uygulaması yapıldığından yapılan dönemlerde kuyuda bu enjeksiyon'un tepkisi hızlı olmakta, ve yapılan enjeksiyon hem kuyu seviyesinde artışa, buna bağlı olarak ısı artışı ve elektriksel iletkenlik değerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir.

Jeotermal suların bölgedeki kuyularda saptanan etkilenmenin boyutunu irdelenmesi için Aquacham programında jeotermal su ile bölgenin arka planını yansıtan ve jeotermal sudan etkilenmeyen sular belli oranlarda karıştırılarak bir karışım modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan karışım modelinde ele alınan jeotermal su yeraltı suyu ile %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında karıştırılmış sıcaklıkları ve bor konsantrasyonları model eğrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan karışım eğrisinden jeotermal suların RT-8 nolu kuyuda % 5-10 arasında bir karışım olduğu görülmektedir. Su sıcaklığının arka planı olan doğal sıcaklık değerleri de dikkate alındığında bu karışım ortalama olarak % 5 olarak öngörülmektedir.

Yapılan çalışmalar ışığında Alaşehir Ovası yoğun bir jeotermal faaliyet etkisinde olup, derin jeotermal kuyular açılmaktadır. Kuyuların belli bir plan dahilinde açılması, uygun teçhiz planının yapılması oldukça önemlidir. Aksi takdirde jeotermal

kuyularda meydana gelecek kaçak, patlama veya sızıntı bölgede en önemli yeraltı suyu akiferini kirletmekte ve suların kimyasal özelliklerini değiştirerek sulama ve içme suyu özelliklerini bozmaktadır.

Alaşehir havzasında yapılan çalışma ışığında özellikle patlamanın meydana geldiği kuyu ve çevresinde yer alan diğer kuyuların etkilendiği tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak uzun dönem fiziksel parametreler re-enjeksiyon uygulamasının derinlere yapılmadığını ve yüzeysel akiferin etkilendiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda jeotermal re-enjeksiyon kuyuların itinalı açılması gerektiğini ve re-enjeksiyon kuyu çevrelerine gözlem kuyuları açılarak fiziksel parametrelerin anlık izlenmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bölge bir üzüm üretim yeri olup özellikle borlu suların kullanılmaması gereken bir yerdir. Bölgede jeojenik kaynaklı borun kaynağı ise Neojen birimler ve jeotermal sulardır. Bu bağlamda, bor açısından riskli bölgelerin tespit edilmesi ve bu kesimlere su kuyusu açılmaması gerekmektedir.

Bor açısından oldukça zengin olan jeotermal suların (>100 mg/L) özellikle jeotermal atık suların çevreye bırakılmaması, yüzeysel derelere boşaltılmaması gerekmektedir. Bor açısından zengin olan bu sular yeraltı suyu ve sulamada kullanılan yüzey sularını kirletmekte ve sulama suyu açısından zararlı hale getirmektedir.

Alaşehir ovasında jeotermal faaliyetlerin yeraltı suyuna olan etkisinin zamana bağlı izlenmesi açısından gözlem kuyuların açılması ve izlenmesi önem taşımaktadır. Bu izleme Valilik tarafından yapılması ve sonuçların firmalar ile paylaşılması, riskli yerlerde önlemlerin arttırılması, su kaynaklarının korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksoy, N.,Tarcın, G., ve Gemici,U.(2005). Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, Western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47,523-534.
- Aksoy, N., Şimşek, C., ve Gündüz, O. (2009). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balçova, Turkey. *Journal of Contaminant Hydrology*, 103 13–28.
- Aksoy, N. (2014). Power generation from geothermal resources in Turkey. *Renewable Energy*, 68 595–601.
- Barış, N. (2008). *Tahtalı Baraj havzasının hidrojeolojik incelenmesi ve yeraltı suyu kirlenebilirliğinin AHS-DRASTİC yöntemi ile değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Bissel, M., ve Frimmel, F.H. (2003). Arsenic—a review. Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. *Acta Hydrochim Hydrobiol*, 31–1:9–18.
- Bundschuh, J. Prakash Maity,J., Nath, B., Baba, A., Gündüz,O., Kulpg,R ., ve diğer.,(2003). Naturally occurring arsenic in terrestrial geothermal systems of western Anatolia, Turkey: Potential role in contamination of freshwater resources. *Journal of Hazardous Materials*, 262;951– 959.
- Demirel, Z., ve Yildirim, N. (2002). Boron pollution due to geothermal wastewater dis-charge into the Büyük Menderes River, Turkey.*International Journal Environmental Pollution*, 18 ,602–608.
- Dogdu, M.S., ve Bayari, C.S. (2005). Environmental impact of geothermal fluids on surfacewater, groundwater and stream bed sediments in the Akarcay Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 325–340.

- Deniz, O. (2002). *Alaşehir ilçesi ve çevresinin jeolojisi ve genç tektoniği*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- EPA, (2003). Environmental protection agency office of water national primary Drinking Water Standards.
- Erdoğan, B., ve Güngör, T. (1992). Menderes Masifinin güney kanadının stratigrafisi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 4/1-9-34.
- Ergüvanlı, K., ve Erdoğan, Y. (1973) . *Yeraltı suları jeolojisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Eyidoğan, H., ve Jackson, J.A. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in Western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Journal geophysic Research*, 81, 569–607.
- Fetter, C.W. (2001) . Geology of grounwater occurrence. *Applied Hydrology* 4th Edition.
- FAO, (2007). *Üzüm potansiyeli bakımından dünya üretimi*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gemici, U., ve Tarcan, G. (2002). Distribution of boron in thermalwaters of western Anatolia, Turkey, andexamples of their environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 87–98.
- Gemici, U., Tarcan, G., ve Aksoy, N. (2005). Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 523–534.

Gündüz, O., Şimşek, C., ve Hasözbeek, A. (2010) Arsenic pollution in the groundwater of Simav Plain, Turkey: its impact on water quality and human health. *Water Air Soil Pollution*, 205:43–62.

İTASHY, (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*. 25580 Sayılı Resmi Gazete. 7 Mart 2013, Ankara.

JMSHK, (2007). *Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular kanunu uygulama yönetmeliği*. 26727 Sayılı Resmi Gazete. 11 Aralık 2007, Ankara.

Karakuyu, M. (2008). Alaşehir ilçesinde kır yerleşmelerinin I.dereceden gelir kaynakları bakımından sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, *Fırat University Journal of Social Science*, 18, 1, 29-42.

Matschullat, J. (2000). Arsenic in the geosphere—a review. *Science Total Environment*, 249, 297–312 .

Mazumder, D. N. G., Haque, R., Ghosh, N., De, B. K., Santra, A., Chakraborti, D., ve Smith, A.H.(2000). Arsenic in drinking water and the prevalence of respiratory effects in West Bengal, India. *International Journal of Epidemiology*, 29, 1047–1052.

Purvis, M., ve Robertson, A. (2005). Miocene sedimentary evolution of the NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, West Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 1–2, 31–62.

Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., ve Korkmaz, E.D. (2008). Geothermal energy in Turkey: 2008 update. *Geothermics*, 38 ; 227–237.

Seyitoğlu, G., Çemen, İ., ve Tekeli, O. (2002). Discussion on the extensional folding in the Alaşehir (Gediz) graben, western Turkey (reply). *Journal of the Geological Society*, 159, 105-109.

Sözbilir, H. (2001). Extensional tectonics and geometry of related macroscopic structure; field evidence from the Gediz detachment; Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 14; 71-93.

Şahinci, A. (1991). *Doğal suların jeokimyası*, İzmir : Reform Matbaası.

Şimşek, C. (2005). Balçova jeotermal sahasında bor ve arsenik kirliliği. *VII Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Jeotermal Enerji Semineri*, 361-368, İzmir.

Toka, B. ve Tugran, M., Yıldız, M., Durak, S., ve Karadeniz, N. (2012). *Manisa ili Alaşehir ilçesi Alkan Köyü Muratlar mevkiindeki jeotermal sahada akışkan püskürmesiyle ilgili teknik rapor*. İzmir: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

Yılmaz, S. (1997). Batı Anadolu'nun görünür jeotermal enerji potansiyeli ve değerlendirilmesi. *Türkiye 7. Enerji Kongresi*, 219-231.

Yılmaz, Y., Genc, S., C., Gurer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacik, Z., ve diğer(2000). When did Western Anatolian grabens begin to develop? In:Bozkurt, E., Winchester, J.A., Piper, J.D.A. (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special*, 353–384.

Wang, S., ve Mulligan, C.N. (2006). Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. *Science of The Total Environment*, 366: 701–721.

WHO, (2004). World health organization. Guidelines for drinking water quality. Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC.