

**ANAKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**KIZILCAHAMAM-ÇAMLIDERE (ANKARA) DOLAYINDAKİ SICAK VE  
MİNİRELLİ SULARIN HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELEMESİ**

**Suzan PASVANOĞLU**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2016**

**Her hakkı saklıdır**

## ETİK

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

12/07/2016

Suzan PASVANOĞLU

## ÖZET

Doktora Tezi

### KIZILCAHAMAM-ÇAMLIDERE (ANKARA) DOLAYINDAKİ SICAK VE MİNERALLİ SULARIN HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELEMESİ

Suzan PASVANOĞLU

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Kızılcahamam ve Çamlidere jeotermal alanları, dağlık bir arazide, sıcak su sisteminin baskın olduğu ve genellikle yaygın karasal volkanizma ile ilişkili jeotermal sistemlerden oluşur. Bu sistemlerdeki jeotermal sular derinlerdeki soğumamış magmatik kupol ve jeotermal gradyanla ısınarak süresizliklerden yüzeye ulaşmaktadır. Çalışma alanında Miyosen yaşlı Pazar Formasyonu ve Pliyosen yaşlı Sinap Formasyon birimleri geçirimsiz, volkanik kayaların altındaki Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, bazik plato tipindeki alt lavlar ve alüvyon birimleri geçirimli, ara lav olarak adlandırılan andezit, bazalt ve üst lavlar ise yarı geçirimlidir. Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının sıcaklıkları sondajlarda 42°C ile 81°C, Acısu Dere ve Seyhamam kaynaklarında ise 21°C ile 43°C arasında değişmektedir. Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının EC değerleri 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 5043  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olup, su tipleri  $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$  ve  $\text{Na-Ca-HCO}_3$ 'tür. Çamlidere sıcak ve mineralli suları Ahatlar ve Muzrupağacı'nda yapılan sondajlarda 27°C ile 42°C sıcaklıkta ve artezyen debileri ise 8 l/s ile 46 l/s arasındadır. Akışkanların EC değerleri 335  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 3550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında olup, Kızılcahamam jeotermal sularından daha düşük değerlerdedir. Çamlidere bölgesindeki sıcak ve mineralli sular  $\text{Ca-Na-HCO}_3$  ve  $\text{Na-HCO}_3$  tipindedir. Tüm sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal evrimlerinde egemen tepkimeyi karbonat ve silikatların çözünürlüğü ile iyon değişimi oluşturmaktadır. İzotop verilerine göre, Kızılcahamam sıcak ve mineralli suları, Çamlidere sularına göre daha derin ve daha uzun yeraltı dolaşım yoluna sahip, beslenme bölgesi 1965 m ile 2034 m kotları arasında değişen Işık Dağı ve Kızılcahamam'ın batısındaki Aluçdağı Tepesi'dir. Çamlidere sıcak ve/veya mineralli sularının beslenme alanı yüksekliği ise 1494 m ile 1833 m arasında olup, Aluçdağı Tepe, Örenköyü kuzeyindeki Pınar Tepe, Aşağıovacık köyü KB'sındaki Erenler ile Dede Tepe ve Çamlidere'nin batısındaki Pınar ve Mahya Tepesi bölgelerine karşılık gelmektedir.

**Temmuz 2016, 315 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kızılcahamam ve Çamlidere jeotermal alanları, hidrojeokimya, çevresel izotop, su-kayaç ilişkisi, beslenme alanı ve yüksekliği

## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERALIZED WATERS IN THE VICINITY OF KIZILCAHAMAM-ÇAMLIDERE (ANKARA)

Suzan PASVANOĞLU

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Kızılcahamam and Çamlidere geothermal fields are liquid-dominated system that have been developed in the rugged terrain, and usually consists of a geothermal systems that occur commonly associated with terrestrial volcanism. In these systems, geothermal waters are heating by an intrusive-cupola and geothermal gradient, followed by the waters rising to the surface along faults and fractures that act as hydrothermal conduits. In the study area, Miocene aged Pazar and Pliocene aged Sinap formation's sediment units are impermeable. Mesozoic aged limestone surfacing under the volcanic rocks, the lower lava in the basic plateau type and alluvial units are permeable. The andesite basaltic units identified as intermediate lava are evaluated as semi-permeable. The temperatures of the wells in the Kızılcahamam area varies between 42-81°C, whereas the temperature of thermal and mineralized water springs in the area between Acısu Dere and Seyhamam varies between 21-43°C. Electrical conductivity values for thermal waters are between 1000 to 5043  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Thermal waters in Kızılcahamam area are mainly Na-HCO<sub>3</sub>-Cl and Na-Ca-HCO<sub>3</sub> type. As a result of drilling artesian wells, thermal water with a discharge of 8-46 l/s and with a temperature of 27-42°C was produced in Ahatlar and Muzrupağacın area. The EC values range from 335-3550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , and are lower than Kızılcahamam geothermal waters. The Çamlidere water can be classified as Ca-Na-HCO<sub>3</sub> and Na-HCO<sub>3</sub> type. According to this, it is understood that carbonate dissolution, hydrolysis of silicates and ion exchange are the dominant water-rock interactions in the hydrogeochemical evolution of Kızılcahamam and Çamlidere thermal waters. Comparing to Çamlidere waters, isotopic composition reveals that thermal and mineralized waters of Kızılcahamam are characterized by groundwaters having long flow path which represent a deep circulation groundwaters flow system in the study area. Kızılcahamam thermal waters are recharged mainly from the highland parts of the Işık M. with elevations ranging between 1965-2034 m and from Aluçdağı M. west of Kızılcahamam. The height of recharge area of Çamlidere thermal and/or mineral waters varies between 1494 -1833 m. It was found that they could be fed by rains falling on 1849 m height Aluçdağı H. in south east of Çamlidere district center, and again from rains falling on a 1859 m height of Pınar H. north of Örenköy, Erenler and Dede H. north-west of Aşağıovacık village to the north-west of Çamlidere, and also on the Hills of Pınar and Mahya to the west of Çamlidere located outside of the study area.

**July 2016, 315 pages**

**Key Words:** Kızılcahamam and Çamlidere geothermal areas, hydrogeochemistry, environmental isotope, water-rock interaction, recharge area and height

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 2014 ve 2015 yıllarında, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Müdürlüğü tarafından desteklenen, 13L4343011 nolu projenin maddi katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Bu desteği sağlayan Ankara Üniversitesi BAP Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Tez konumun belirlenmesi ve tez çalışması süresince her türlü yardım ve desteğini gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince TİK toplantılarında yaptıkları olumlu eleştiri, katkı ve destekleri için motive olmamı sağlayan Gazi Üniversitesinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Prof. Dr. Nail ÜNSAL'a ve Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Prof. Dr. Halim MUTLU'ya teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Tez kapsamında yapmış olduğum araştırma ve incelemelerim sırasında, su kimyası ve izotop analizlerinin yapılmasında yaptıkları destekler için Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Serdar BAYARI ve Sayın Prof.Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye ve kayaç analizleri konusundaki destekleri için Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN'e minnettarım.

Arazi çalışmalarım sırasında Gayzer Yerbilimleri LTD.ŞTİ'den Sayın Dr. Servet YILMAZER ve MTA'dan Dr. Zafer ARIGÜN bilgi ve önerileriyle katkıda bulunmuşlardır. Kendilerine teşekkürlerimi sunarım.

Bilgisayar programlama konusunda yardımlarını gördüğüm Greeneco Enerji E.Ü. A.Ş.'den Jeoloji Yüksek Müh. Sayın Serkan VURAL'a çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımnda, örnekleme çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Sayın Dr. Berihu Abadi BERHE, Manisa Su ve Kanalizasyon Dairesin'den zge çAMLI ve Ankara Limit Teknik Araştırma A.ř.'den Sunay GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım. Kızılcahamam Jeotermal A.ř. Genel Müdürü Makine Mühendisi Sayın Mehmet KARABULUT'a ve çalışanlarına ilgi ve yardımları için teşekkür ederim.

Çalışmalarımnda bana en büyük manevi desteği sağlayan ve her güçlüğü yenmemde daima yanımda hissettiğim aileme her zaman minnettarım.

Suzan PASVANOğLU

Ankara, Temmuz 2016

## İÇİNDEKLER

<b>TEZ ONAY SAYIFASI</b>	
<b>ETİK</b> .....	i
<b>ÖZET</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....	iv
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xx
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>1.1 Araştırmanın Amacı</b> .....	1
<b>1.2 İnceleme Alanı Tanıtılması</b> .....	1
<b>2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ</b> .....	3
<b>3. COĞRAFYA</b> .....	6
<b>3.1 Yerleşim ve Ulaşım</b> .....	6
<b>3.2 Bitki Örtüsü ve Ekonomi</b> .....	7
<b>3.3 Morfoloji</b> .....	8
<b>3.4. Bağlı Nem</b> .....	11
<b>3.5.İklim</b> .....	12
<b>3.6 Buharlaşma-Terleme</b> .....	16
<b>4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	22
<b>4.1 Kızılcahamam Bölgesi</b> .....	22
<b>4.2 Çamlıdere Bölgesi</b> .....	28
<b>5. BÖLGESEL TEKTONİK</b> .....	32
<b>6. JEOLJİ</b> .....	35
<b>6.1 Stratigrafi</b> .....	35
<b>6.1.1 Senozoyik</b> .....	36
<b>6.1.1.1 Alt lavlar (Bazik Plato Lavları)</b> .....	36
<b>6.1.1.2 Ara lavlar</b> .....	38
<b>6.1.1.2.1 Piroklastikler (Tüf, Breş, Lahar, Aglomera)</b> .....	38
<b>6.1.1.2.2 Ayrılmamış lav, tüf, aglomera</b> .....	40

6.1.1.2.3 Andezitik bazaltik lav .....	41
6.1.1.3 Üst lavlar (Asidik lav ve domlar) .....	44
6.1.1.4 Çökel kayaçlar .....	46
6.1.1.4.1 Pazar Formasyonu .....	46
6.1.1.4.2 Sinap Formasyonu .....	48
6.1.2 Kuvaterner .....	49
6.1.2.1 Alüvyon .....	49
6.1.2.2 Traverten (Qtr) .....	50
6.1.2.3 Yamaç molozu .....	51
6.1.2.4 Birikinti konisi .....	52
6.2 Yapısal Jeoloji .....	52
6.2.1 Faylar .....	52
6.2.1.1 Kızılcahamam Kaplıca Fayları .....	53
6.2.1.2 Acısu Dere Fayı .....	53
6.2.1.3 Seyhamam Kaplıca Fayı .....	54
6.2.1.4 Çamlıdere Ahatlar Fayı .....	55
6.2.1.5 Çamlıdere Atça Fayı .....	55
6.2.1.6 Çamlıdere Muzrupağacın Fayı .....	56
6.2.2 Çatlaklar .....	57
7. SONDAJ BİLGİLERİ .....	58
7.1 Kızılcahamam Bölgesi .....	58
7.2 Çamlıdere Bölgesi .....	66
8. HİDROJEOLOJİ .....	70
8.1 Geçirimsiz Birimler .....	71
8.2 Az geçirimli Birimler .....	72
8.3 Geçirimli Birimler .....	72
8.4 Su Noktaları .....	74
8.4.1 Soğuk su kaynakları .....	75
8.4.2 Sıcak ve mineralli su kaynakları .....	95
8.4.2.1 Kızılcahamam bölgesi .....	96
8.4.2.1.1 Kızılcahamam Kaplıca kaynağı .....	96
8.4.2.1.2 Acısu Deresi sıcak ve mineralli su kaynakları .....	97



8.4.2.1.3 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynakları.....	104
8.4.2.2 Çamlıdere bölgesi.....	108
8.4.2.2.1 Ahatlar sıcak su kaynağı.....	108
8.4.2.2.2 Çamlıdere Atça mineralli su kaynağı.....	111
8.4.2.2.3 Sarıkavak Ilıca sıcak su kaynağı.....	113
8.4.2.2.4 Sarıkavak Uyuz kaynağı.....	114
8.4.2.2.5 Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağı.....	115
8.4.2.2.6 Muzrupağacın sıcak su kaynağı.....	116
8.4.2.2.7 Tatlak köyü maden suyu kaynağı.....	118
9. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI.....	119
9.1 Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri.....	120
9.2 Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi.....	125
9.2.1 Piper diyagramı.....	125
9.2.2 Schoeller diyagramı.....	129
9.3 Kızılcahamam Sularının Değerlendirilmesi.....	138
9.4 Çamlıdere Sularının Değerlendirilmesi.....	142
9.5 Kompozisyon Diyagramları.....	145
9.6 İz Elementler.....	154
9.6.1 Sıcak ve soğuk sularda iz element içeriği.....	154
9.6.2 Travertenlerde iz element içeriği.....	165
9.7 Cl- B-Li Giggenbach Diyagramı.....	172
9.8 Li- Rb-Cs Giggenbach Diyagramı.....	175
9.9 Kirlilik Çalışması.....	177
9.10 Nadir Toprak Elementleri.....	184
9.11 Suların Doygunluk İndisi (SI) Değerlendirmeleri.....	188
9.11.1 Mineral denge – sıcaklık diyagramı.....	195
10. İZOTOP HİDROLOJİSİ.....	199
10.1 Örneklem ve Analiz Çalışmaları.....	199
10.1.1 Oksijen-18 döteryum ilişkisi.....	200
10.1.2 Oksijen – 18 yükseklik ilişkisi.....	214
10.1.3 Tritiyum-klorür ilişkisi.....	220
10.1.4 Tritiyum- EC ilişkisi.....	223

10.1.5 Tritiyum-sıcaklık ilişkisi .....	224
10.1.6 Karbon ( <sup>13</sup> C) izotop çalışmaları .....	225
11. JEOTERMOMETRE ÇALIŞMALARI .....	230
11.1 K-Mg-Ca Jeoindikatörü .....	243
11.2 Karışım Modelleri.....	245
11.2.1 Klorür-entalpi karışım modeli .....	246
11.2.2 SiO <sub>2</sub> . entalpi karışım modeli .....	251
12. KIZILCAHAMAM VE ÇAMLIDERE JEOTERMAL SİSTEMLERİ .....	254
12.1 Jeotermal Sistemlerin Bileşenleri.....	254
12.2 Jeotermal Sistemlerin Kavramsal Oluşum Modelleri .....	256
12.2.1 Kızılcahamam jeotermal sahası .....	258
12.2.2 Çamlıdere jeotermal sahası .....	259
13. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	262
KAYNAKLAR .....	269
EKLER.....	281
EK 1 İnceleme Alanının Jeoloji Haritası .....	282
EK 2 İnceleme Alanının Hidrojeoloji Haritası .....	283
EK 3 Kızılcahamam Sıcak ve Mineralli Suların Kimyasal Analiz Sonuçları.....	284
EK 4 Çamlıdere Sıcak ve Mineralli Sularına ait Kimyasal Analiz Sonuçları (mg/l).....	286
EK 5 Kızılcahamam Soğuk Sularına ait Kimyasal Analizsonuçları (mg/l) .....	288
EK 6 Çamlıdere Soğuk Sularına ait Kimyasal Analiz Sonuçları (mg/l).....	290
EK 7 Kızılcahamam Sıcak ve Mineralli Sularına ait İz Element İçerikleri.....	292
EK 8 Çamlıdere Sıcak ve Mineralli Sularına ait İz Element İçerikleri .....	293
EK 9 Kızılcahamam Soğuk Sularına ait İz Element İçerikleri .....	294
EK 10 Çamlıdere Soğuk Sularına ait İz Element İçerikleri .....	295
EK 11 Kızılcahamam Sıcak ve Mineralli Suların Nadir Toprak Element Sonuçları.....	297
EK 12 Çamlıdere Sıcak ve Mineralli Suların Nadir Toprak Element Sonuçları.....	298
EK 13 Kızılcahamam Soğuk Suların Nadir Toprak Element Analiz Sonuçları ..	299
EK 14 Çamlıdere Soğuk Suların Nadir Toprak Element Analiz Sonuçları .....	300

<b>EK 15 Kayaç ve Su Örneklerine ait Nadir Toprak Elementlerin (c1 Kondrite Değerine Göre Normalize Edilmiş İçerikleri.....</b>	<b>301</b>
<b>EK 16 Kızılcahamam Sıcak Suların Mineral Doygunluk Indisi (SI) Değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014) .....</b>	<b>302</b>
<b>EK 17 Kızılcahamam Soğuk Suların Mineral Doygunluk Indisi (SI) Değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014) .....</b>	<b>303</b>
<b>EK 18 Çamlıdere Sıcak Suların Mineral Doygunluk Indisi (SI) Değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014) .....</b>	<b>304</b>
<b>EK 19 Çamlıdere Soğuk Suların Mineral Doygunluk Indisi (SI) Değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014) .....</b>	<b>305</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>306</b>

## SİMGELER DİZİNİ

Miliekivalen/Litre	mek/l
Miligram/Litre	mg/l
$\mu\text{mho}$	Mikromho
$\delta$	İzotop bileşiminin standarttan sapma miktarı (delta)
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$^{13}\text{C}$	Karbon-13
$^{18}\text{O}$	Oksejen – 18
$^2\text{H}$	Döteryum
$\text{Ca}^{+2}$	Kalsiyum
$\text{Cl}^+$	Klorür
EC	Elektriksel iletkenlik
$\text{HCO}_3^-$	Bikarbonat
$\text{K}^+$	Potasyum
$\text{Mg}^{+2}$	magnezyum
$\text{Na}^+$	Sodyum
$\text{PCO}_2$	Karbondioksit kısmi basıncı
pH	$\text{H}^+$ iyonu değişimi
$r^2$	Korelasyon katsayısı
SI	Doygunluk indisi
$\text{SO}_4^{-2}$	Sülfat
TU	Tritiyum birimi
DIC	Çözünmüş inorganik karbon
DMİGM	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICP	İndüktif Eşleşme Plazma
MS	Kütle spektrometrisi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

PDB	Amerika, Güney Karolina, Peedee formasyonun Belemnit fosilin izotop bileşimidir
SMOW	Okyanus Suyu Standart Ortalaması
TSE	Türkiye Standartları Enstitüsü
UKAM	Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama
UTM	Universeal Transerse Mercador (Ulusal koordinat sistemi) ve Araştırma Merkezi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanının yer belirleme haritası .....	2
Şekil 1.2 Çalışma alanı uydu görüntüsü .....	2
Şekil 3.1 Kızılcahamam çevresinin görünümü .....	9
Şekil 3.2 Çamlıdere havzasının görünümü (Erdoğan (2012)'den değiştirilerek alınmıştır) .....	10
Şekil 3.3 İnceleme alanının eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı.....	14
Şekil 3.4 Çalışma alanına ait 21 yıllık (1970-1990) eş yağış haritası .....	16
Şekil 3.5 Bölgedeki farklı yağış gözlem istasyonlarının 21 yıllık (1970-1990) aylık ortalama yağış grafiği.....	17
Şekil 3.6 21 yıllık yağış ve buharlaşma terlemenin ortalaması aylara göre değişim grafiği Thornthwaite'a göre) .....	19
Şekil 3.7 Yağış ve buharlaşma terlemenin (2011 Ekim - 2012 Eylül) değişim grafiği (Thornthwaite'a göre).....	21
Şekil 5.1 Türkiyenin neotektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz 1999) .....	34
Şekil 5.2 Galatya Volkanik Bölgesinin (GVB) jeoloji haritası. ....	34
Şekil 6.1 Çalışma alanının stratigrafi kolon kesiti (Ölçeksiz).....	36
Şekil 6.2 Kızılcahamam-Güvem yolunda İndere vadisindeki bazı plato lavları ve üzerine gelen tüfler .....	38
Şekil 6.3 Kızılcahamam-Acısü Dere güneyindeki Akyar Tepe'nin batısında tüflerin aşınmasıyla oluşan peri bacaları.....	39
Şekil 6.4 KızılcahamamYayla Deresi vadi yamacında tüflerde aşınmayla oluşmuş peri bacaları .....	39
Şekil 6.5 Acısübaşı Tepe mevkinde ayrılmamış lav, tuf ve aglomeralar (K'ye bakılmaktadır) .....	41
Şekil 6.6 Çamlıdere Avdan köyü yol boyunca gözlenen altere olmuş piroklastik lav akıntıları.....	41
Şekil 6.7 Kızılcahamam-Güvem kuzeyi Kadıoğlu mevkiinde görülen beşgen ve altıgen bazalt sütunları .....	42
Şekil 6.8 Çamlıdere Tatlak Çay Deresi ve üzerindeki lavda gelişen oyma yapılar.....	42
Şekil 6.9 Kızılcahamam-Ağsak köyü yolu civarında kaolinleşmiş andezitler .....	43
Şekil 6.10 Çamlıdere-Ahatlar sıcak su dolayında gözlenen andezitlerde kırık hatları boyunca oluşan ayrışma .....	43

Şekil 6.11 Güvem kuzeyinde Beşkonak köyü dolayında diyatomit ve tüflerin görünümü.....	44
Şekil 6.12 Güvem kuzeyi kilitaşlarındaki yaprak fosili oluşumları .....	44
Şekil 6.13 Kızılcahamam Acısu Dere dolayında görülen soğan kabuğu biçimli ayrışmalı asitik lav.....	45
Şekil 6.14 Kızılcahamam KD'sında alterasyona uğramış lav ve tüfler.....	45
Şekil 6.15 Çamlıdere-Sarıkavak köyü dolayındaki beyaz tüfler .....	47
Şekil 6.16 Çamlıdere –Muzrupağacın köyü dolayındaki volkano-sedimenter seri .....	47
Şekil 6.17 Çamlıdere Sarıkavak köyü Eşik Deresi vadisinde aglomeralar .....	47
Şekil 6.18 Çamlıdere alanında görülen taraçalar .....	50
Şekil 6.19 Akarsuların oluşturduğu çökeller .....	50
Şekil 6.20 Kızılcahamam, Acısubaşı Tepe kuzeyindeki travertenler.....	51
Şekil 6.21 Kızılcahamam, Seyhamam dolayındaki travertenler.....	51
Şekil 6.22 Volkanik kayaçlarda sık gözlenen küçük fayların Kızılcahamam Güvem yeni yol yarmasındaki görünümü .....	54
Şekil 6.23 Bazaltlarda çatlakların görünümü.....	54
Şekil 6.24 Acısu Dere'de bozuşmuş andezitlerin çatlak doğrultu diyagramı.....	57
Şekil 7.1 Kızılcahamam bölgesindeki kuyu lokasyonları .....	59
Şekil 7.2 Kızılcahamam bölgesindeki kuyulara ait litoloji logları .....	61
Şekil 7.3 Çamlıdere Muzrupağacın'da kuyulara ait litoloji logları .....	67
Şekil 7.4 Muzrupağacın'da açılan sondajlar.....	67
Şekil 7.5 Çamlıdere Ahatlar bölgesindeki kuyulara ait litoloji logları.....	68
Şekil 7.6 Ahatlar'da yapılan sondajlar a, c ve d) Ahatlar ÇMJ-2 kuyusu, b) Ahatlar ÇMJ-1 kuyusu, e) Ahatlar Deresi ve mineralli su kaynağı, f) ÇMj-1 ve ÇMJ-2 kuyuları .....	69
Şekil 8.1 Çalışma alanının litolojik birimlerinin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafi kolon kesiti.....	71
Şekil 8.2 Tez alanından toplanan su örneklerinin dağılımı .....	75
Şekil 8.3 Kızılcahamam soğuk su kaynakları a) Ağsak köyü meydan çeşmesi (KD'ye bakış), b) Necip Usta kaynağı (K'ye bakış), Ağsaklar soğuk su kaynağı (KB'ye bakış), d) Kızılcahamam çıkışı soğuk su kaynağı.....	81
Şekil 8.4 Kızılcahamam soğuk su kaynakları a) Ömer Çoşkun soğuk su kaynağı, b) Eğerliören kaynağı, c) Eğerliören göl suyu, d) Elviren köy yaylası göl kaynağı.....	82

Şekil 8.5 Kızılcahamam soğuk su kaynakları a) Eğerlidere Kaynağı, b. Kavaközü Kaynağı .....	84
Şekil 8.6 JAVSU tesisi (KB'ye bakış) .....	84
Şekil 8.7 Kızılcahamam soğuk su kaynakları a) Kızılcahamam Valilik pınarı (KB'ye bakış), b) Seyhamam Gavur Deresi kaynağı (KB'ye bakış), c) Ayvacık Kirazlı Deresi kaynağı (K'bakış) .....	86
Şekil 8.8 Çamlıdere soğuk su kaynakları a) Çavuşoğlu Pınarı (KB'ye bakış), b) Kösyayla pınarı (KD'ye bakış), c) Kösyayla pınarı yakından (KD'ye bakış), d) Aluç Pınar Ayağı kaynağı .....	87
Şekil 8.9 Çamlıdere soğuk su kaynakları a) Örenköy yayla kaynağı, b) Ahatlar Kaynağı, c) Sarıkavak Velibey kaynağı, d) Ulupınar Hatipler kaynağı .....	88
Şekil 8.10 Çamlıdere soğuk su kaynakları a) Muzrupağacın Kaynağı, b) İsmail Çiçekçi kaynağı, c) Çamköy pınarı (KB'ye bakış), d) Alakoç Ölü pınarı (KD'ye bakış) .....	90
Şekil 8.11 Çamlıdere soğuk su kaynakları a) Kavaklı Pınar Ayağı kaynağı, b) Ören Çörtten soğuk su kaynağı, c) Mezarlık pınarı, d) Kuşçular Gölet'i uzaktan görünümü, e) Kuşçular göl suyu .....	91
Şekil 8.12 Avdan Kaynağı'nın iki farklı görünümü (K'ye bakış).....	92
Şekil 8.13 Çamlıdere soğuk su kaynakları a) Çamkoru Tabiat Parkı, b) Çamkoru Tabiat Parkı Ölü Pınarı, c) Aşaoıvacık Kaynağı, d) Aşaoıvacık Çayır Pınarı .....	93
Şekil 8.14 Çamlıdere soğuk su kaynakları a)Yukarıovacık köy kaynağı, b) Aşaoıvacık Yaylası, c) Aşaoıvacık Yaylası dörtlü çeşmesi, d) Sait Hayrat Pınarı .....	94
Şekil 8.15 Çamkoru Göleti .....	95
Şekil 8.16 Güneyköy Ilıca kaynağı.....	95
Şekil 8.17 Kızılcahamam bölgesi III-III' jeoloji enine kesiti.....	96
Şekil 8.18 Kızılcahamam bölgesi IV-IV' jeoloji enine kesiti .....	97
Şekil 8.19 Kızılcahamam Acısu Dere a) Çamlık mineralli su şişeleme tesisi b) As-koop mineralli su şişeleme tesisi (yenilenmemiş halı 1993 yılı) .....	98
Şekil 8.20 Acısu Dere içindeki As-koop mineralli su kaynakları .....	98
Şekil 8.21 Acısu Dere içinde kaptajı yapılmayan bir mineralli su kaynağı .....	99
Şekil 8.22 Acısu Dere'deki sıcak ve mineralli su ile Çamlık mineralli suyun lokasyonu .....	99
Şekil 8.23 Çamlık mineralli su kaynağı (KT-4) .....	100
Şekil 8.24 Kızılcahamam Acısu Dere bölgesinin uzaktan görünümleri .....	100



Şekil 8.25 Acısu Dere Çamlık Mineralli suyu dolayının büyük ölçekli jeoloji haritası .....	102
Şekil 8.26 Acısu Dere Çamlık mineralli suyu dolayından geçen jeoloji kesiti .....	103
Şekil 8.27 Seyhamam kaplıcası (Kızılcahamam bölgesi) .....	104
Şekil 8.28 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynağı dolayının I-1'jeoloji enine kesiti .....	105
Şekil 8.29 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynağı dolayının II-II'jeolojienine kesiti .....	105
Şekil 8.30 a) Seyhamam kaplıcası, b) Sıcak suların oluşturduğu travertenler, c ve d) Kadınlar hamamı sıcak su kaynağı, e ve f) Erkekler hamamı sıcak su kaynağı, g) ilkel kanal ile atık suyun Hamam Deresine boşalımı, h) Hamam Deresi .....	106
Şekil 8.31 Seyhamam'daki üçgen savağın görünümü .....	107
Şekil 8.32 Seyhamam kaynağına yerleştirilen üçgen savağın planı .....	107
Şekil 8.33 Aatlar ve Tatlak sıcak sularının B-B'jeoloji enine kesiti .....	109
Şekil 8.34 Ahatlar Deresi içinden boşalan sıcak su kaynağı görüntüleri .....	110
Şekil 8.35 a) Atça mineralli sularının keson kuyu şeklindeki kaptajları, b) 2 nolu keson kuyu, c) 2 nolu keson kuyusundaki kaynak çıkışı, d) Mineralli sudaki CO <sub>2</sub> gaz çıkışı, e) 1 nolu keson kuyusu .....	112
Şekil 8.36 Atça mineralli su kaynağının A-A'jeoloji enine kesiti .....	112
Şekil 8.37 Sarıkavak Ilıca kaynak alanı .....	113
Şekil 8.38 Sarıkavak Ilıca kaynağının yakından görünümü .....	113
Şekil 8.39 Sarıkavak Ilıca ve Uyuz kaynağının enine jeoloji kesiti .....	114
Şekil 8.40 Sarıkavak Uyuz kaynağı .....	115
Şekil 8.41 Sarıkavak Kökderesi sıcak su kaynağından geçen D-D' jeoloji enine kesiti .....	116
Şekil 8.42 a) Sarıkavak Kök Deresi kaynağı, b) Sarıkavak Kök Deresi kaynak dolayında gözlenen silis çökeli .....	116
Şekil 8.43 Muzrupağacın sıcak su kaynak alanı .....	117
Şekil 8.44 Muzrupağacın sıcak sularından geçen C-C'jeoloji enine kesiti .....	117
Şekil 8.45 Tatlak köyü maden suyu kaynağı .....	118
Şekil 9.1 Kızılcahamam alanındaki tüm suların kurak ve yağışlı dönemlerdeki Piper diyagramı .....	126
Şekil 9.2 Çamlıdere alanındaki tüm suların kurak ve yağışlı dönemlerdeki Piper diyagramı .....	127

Şekil 9.3 Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait Schoeller diyagramı .....	130
Şekil 9.4 Kızılcahamam sıcak sularına ait Schoeller diyagramı.....	131
Şekil 9.5 Kızılcahamam soğuk sularına ait Schoeller diyagramı .....	131
Şekil 9.6 Çamlıdere sıcak sularına ait Schoeller diyagramı .....	132
Şekil 9.7 Çamlıdere soğuk sularına ait Schoeller diyagramı.....	133
Şekil 9.8 Kızılcahamam bölgesindeki suların kompozisyon diyagramları .....	146
Şekil 9.9 Kızılcahamam bölgesindeki suların $Cl^-$ ile $HCO_3^-$ , $SO_4^{-2}$ , B, $Na^+$ , $K^+$ , ve $Ca^{+2}$ iyonları arasındaki ilişkiler .....	147
Şekil 9.10 Kızılcahamam bölgesindeki suların sıcaklık ile $Cl^-$ , $Na^+$ , $Mg^{+2}$ , $HCO_3^-$ ve TDS arasındaki ilişkiler.....	148
Şekil 9.11 Çamlıdere bölgesindeki suların $Cl^-$ ile $HCO_3^-$ , $Na^+$ , $K^+$ , B ve $Ca^{+2}$ iyonları arasındaki ilişkiler .....	149
Şekil 9.12 Çamlıdere bölgesindeki suların kompozisyon diyagramları .....	150
Şekil 9.13 Çamlıdere bölgesindeki suların sıcaklık ile $Cl^-$ , $HCO_3^-$ , $Na^+$ , TDS ve $Cl^-$ ile $Mg^{+2}$ , $SO_4^{-2}$ arasındaki ilişkiler .....	151
Şekil 9.14 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri .....	155
Şekil 9.15 Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri .....	155
Şekil 9.16 Kızılcahamam soğuk sularının iz element içerikleri .....	157
Şekil 9.17 Çamlıdere soğuk sularının iz element içerikleri.....	157
Şekil 9.18 Kızılcahamam bölgesindeki travertenlerin iz elemen içerikleri.....	169
Şekil 9.19 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının bazı iz element içerikleri .....	170
Şekil 9.20 Çamlıdere bölgesindeki sıcak ve mineralli sularının bazı iz element içerikleri .....	170
Şekil 9.21 Volkanik kayalarda iz element içerikleri.....	172
Şekil 9.22 Cl- B-Li diyagramı .....	174
Şekil 9.23 Li-Rb-Cs üçgen diyagramı .....	176
Şekil 9.24 Cl - $NH_4$ ilişkisi a) Kızılcahamam b) Çamlıdere.....	180
Şekil 9.25 $SO_4$ - $NH_4$ ilişkisi a) Kızılcahamam b) Çamlıdere .....	181
Şekil 9.26 Çalışma alanında yer alan volkanik kayaların kondirite (McDonough ve Sun 1995) göre normalize edilmiş NTE nin dağılım diyagramı a) Dasit, b) Andezit, c)Traverten, d) Sıcak sular, e) Soğuk sular.....	186
Şekil 9.27 Kızılcahamam sıcak sularının mineral doygunluk diyagramı .....	190
Şekil 9.28 Çamlıdere sıcak sularının mineral doygunluk diyagramı.....	191

Şekil 9.29 Kızılcahamam soğuk sularının mineral doygunluk diyagramı .....	192
Şekil 9.30 Çamlıdere soğuk sularının mineral doygunluk diyagramı .....	192
Şekil 9.31 Kızılcahamam sıcak sularındaki kalsit doygunluk-sıcaklık diyagramı.....	194
Şekil 9.32 Kızılcahamam KT-8 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı .....	196
Şekil 9.33 Kızılcahamam KT-9 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı .....	196
Şekil 9.34 Çamlıdere ÇT-1 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı .....	197
Şekil 9.35 Çamlıdere ÇT-4 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı .....	197
Şekil 10.1 İnceleme alanının (Kızılcahamam ve Çamlıdere) oksijen-18 ve döteryum grafiği.....	209
Şekil 10.2 Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesindeki tüm sular için oksijen-18 ve döteryum grafiği (kurak ve yağışlı dönem) .....	210
Şekil 10.3 Çalışma alanının kurak dönemine ait $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ grafiği.....	211
Şekli 10.4 Yağışlı döneme ait tüm suların $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ grafiği .....	212
Şekil 10.5 Kızılcahamam jeotermal alanındaki su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O} - \text{yükselti}$ grafiği .....	215
Şekil 10.6 Kızılcahamam jeotermal sahası sularına ait $\delta^{18}\text{O} - \text{EC}$ grafiği .....	217
Şekil 10.7 Çamlıdere alanındaki su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O} - \text{yükselti}$ grafiği .....	218
Şekil 10.8 Çamlıdere sularına ait $\delta^{18}\text{O} - \text{EC}$ grafiği.....	219
Şekil 10.9 Çamlıdere sıcak ve mineralli su kaynakları ve beslenme alanları .....	220
Şekil 10.10 Kızılcahamam sularının trityum- Cl ilişkisi .....	221
Şekli 10.11 Çamlıdere sularına ait trityum- klorür ilişkisi .....	222
Şekli 10.12 Çamlıdere sularına ait $\delta^{18}\text{O} - \text{klorür}$ ilişkisi .....	222
Şekil 10.13 Suların trityum- EC ilişkisi.....	223
Şekil 10.14 Suların trityum-sıcaklık ilişkisi .....	224
Şekil 10.15 Farklı karbon kaynaklarının $\delta^{13}\text{C}$ aralıkları .....	227
Şekil 10.16 Suların $\text{HCO}_3 - \delta^{13}\text{C}$ diyagramı .....	228
Şekil 10.17 Kızılcahamam travertenlerine ait $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$ diyagramı .....	229

Şekil 11.1 Giggenbach üçgen diyagramı .....	238
Şekil 11.2 İnceleme alanına ait $10 \text{ Mg} / (10 \text{ Mg} + \text{Ca}) - 10\text{K} / (10\text{K} + \text{Na})$ diyagramı.....	239
Şekil 11.3 $\text{Log} (\text{SiO}_2) - \text{Log} (\text{K}^2 / \text{Mg})$ diyagramı .....	242
Şekil 11.4 Çalışma alanındaki sıcak suların K-Mg-Ca jeoindikatör diyagram .....	244
Şekil 11.5 Kızılcahamam sularına ait CL-entalpi diyagramı.....	247
Şekil 11.6 Çamlıdere sularına ait Cl- entalpi diyagram.....	247
Şekil 11.7 Kızılcahamam bölgesine ait $\text{SiO}_2$ -entalpi karışım diyagramı.....	252
Şekil 11.8 Çamlıdere bölgesine ait $\text{SiO}_2$ -entalpi karışım diyagramı .....	252
Şekil 12.1 Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularının hidrotermal modeli.....	257

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kızılcahamam'a ait 2011 ve 2012 yılları arasında aylık sıcaklık, yağış ve bağıl nem değerleri .....	12
Çizelge 3.2 Kızılcahamam'a ait 1970 ile 1990 yılları arasında aylık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri .....	13
Çizelge 3.3 İnceleme alanı ve dolayındaki istasyonların 1970 ile 1990 yılları arasında aylık ortalama ve yıllık toplam yağış verileri (mm).....	15
Çizelge 3.4 Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu (21 yıllık) .....	18
Çizelge 3.5 Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu (Ekim 2011 - Eylül 2012 ).....	20
Çizelge 7.1 1986-1987 yılları arasında MTA tarafından açılan gradyan sondajlar .....	59
Çizelge 7.2 Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinde açılmış olan kuyuların özellikleri .....	60
Çizelge 8.1 Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları .....	76
Çizelge 8.2 Çamlıdere alanındaki soğuk su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları.....	78
Çizelge 8.3 Kızılcahamam alanındaki soğuk su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları .....	80
Çizelge 9.1 İnceleme alanındaki suların radyoaktivite değerleri .....	124
Çizelge 9.2 Kızılcahamam sularının iyon sıralaması ve su tipleri.....	136
Çizelge 9.3 Çamlıdere sularının iyon sıralaması ve su tipleri .....	137
Çizelge 9.4 Çalışma alanındaki sulara ait iyon oranları .....	139
Çizelge 9.5 Çalışma alanındaki travertenlerin ana oksit değerleri .....	166
Çizelge 9.6 Çalışma alanındaki travertenlerin element analizi .....	167
Çizelge 9.7 Kızılcahamam bölgesine ait suların kirlilik analiz sonuçları.....	171
Çizelge 9.8 Çamlıdere bölgesine ait suların kirlilik analiz sonuçları .....	178
Çizelge 9.9 Lantanitler / Nadir toprak elementleri .....	179
Çizelge 10.1 Kızılcahamam bölgesi sıcak sularının izotop verileri .....	201
Çizelge 10.2 Çamlıdere bölgesi sıcak sularının izotop verileri .....	203
Çizelge 10.3 Kızılcahamam bölgesi soğuk sularına ait izotop verileri .....	204
Çizelge 10.4 Çamlıdere bölgesi soğuk su kaynaklarına ait izotop verileri .....	216

Çizelge 10.5 İnceleme alanındaki su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ ile belirlenen ortalama beslenme alanı yükselteleri .....	216
Çizelge 10.6 Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak suları ile Kızılcahamam travertenlerin izotop analiz sonuçları .....	226
Çizelge 10.7 Kızılcahamam ve Çamlıdere örneklerine ait element jeokimyası	
Çizelge 11.1 Sayısal değerlendirmede bazı kimyasal jeotermometre eşitlikleri .....	233
Çizelge 11.2 Kızılcahamam sıcak sularına ait jeotermometre sonuçları .....	234
Çizelge 11.3 Çamlıdere sıcak sularına ait jeotermometre sonuçları .....	235
Çizelge 11.4 İnceleme alanı sıcak suları için $\text{SiO}_2\text{-K-Mg}$ (Giggenbach 1988) değerleri .....	241
Çizelge 11.5 Çalışma alanındaki sıcak suların karışım modeline göre karışım oranları .....	249

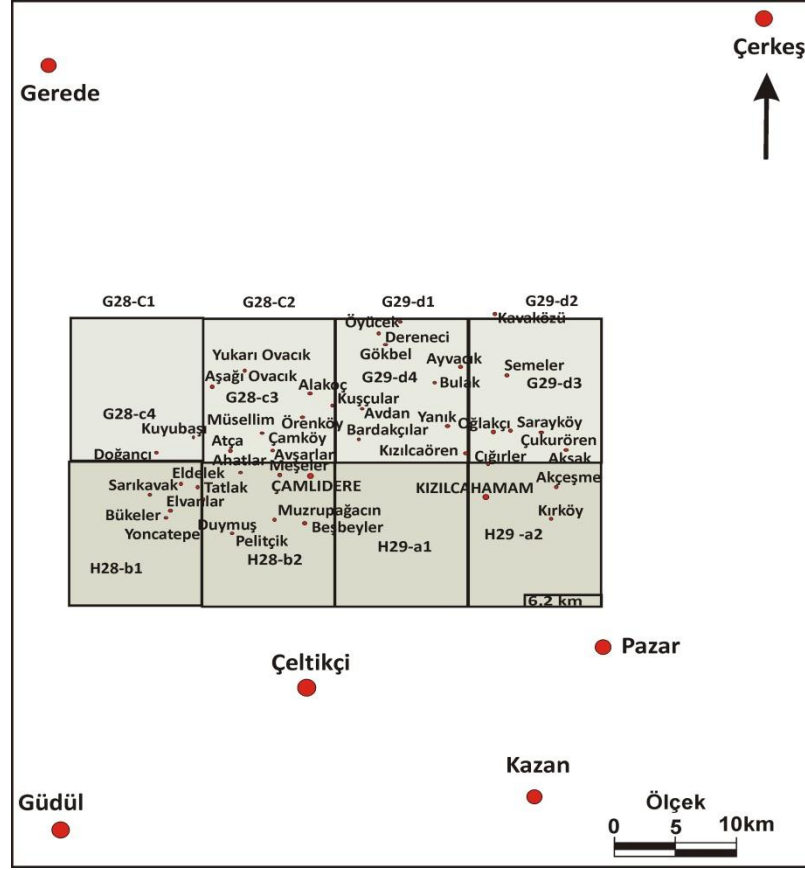
# 1. GİRİŞ

## 1.1 Araştırmanın amacı

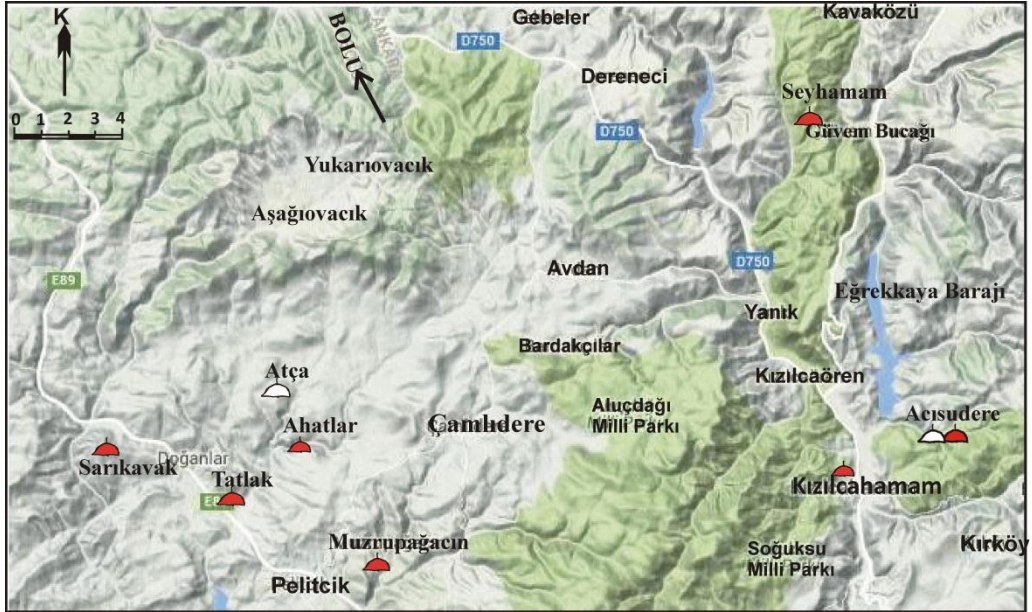
Ankara üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Doktora Tezi olarak sunulan bu çalışmada, Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgelerindeki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri araştırılarak jeotermal suların kökeni ve bağlı buldukları jeotermal sistemin kavramsal modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularının beslenme bölgeleri, bu alanlardan yeraltına sökülme ve/veya faylarla iletim, yeraltında dolaşım ve depolanması ve yeryüzüne yükselmeleri sırasında farklı koşulların etkisiyle kimyasal bileşimlerinin değişimleri, akışkan karışımı, izotopik özellikleri, ısınma şartları, birimlerin geçirimsizliği ve/veya süreksizlik düzlemleri ile akışkanların yükselme şartları araştırılarak, yeraltında depolanan jeotermal akışkandan yararlanma imkanları ve bölgedeki reenjeksiyon sorunlarına ışık tutulmuştur.

## 1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması

Doktora tezini oluşturan çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, Ankara iline bağlı Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgelerini kapsamaktadır. Çalışma alanı 40° 30' enlemleri ile 30° 33' boylanmaları arasında, 1/25,000 ölçekli Bolu G29d3-d4, H29a1-a2, H28b1-b2, ve G28C3-C4 paftalarına yayılmıştır (Şekil 1.1). Bu çalışmada belirtilen paftalar içerisinde Kızılcahamam bölgesinde, Kızılcahamam merkez, Acısu Dere sıcak/mineralli suları ve Seyhamam Kaplıcası; Çamlıdere bölgesinde ise, Ahatlar sıcak su, Atça mineralli suyu, Muzrupağacın sıcak suyu, Sarıkavak sıcak suyu ve Tatlak sıcak ve mineralli su noktaları yer almaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer belirleme haritası



Şekil 1.2 Çalışma alanının uydu görüntüsü ([www.Turkcebilgi.com/haritalar](http://www.Turkcebilgi.com/haritalar) değiştirilerek)



## 2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Tezin amacına yönelik olarak Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgelerinde yapılmış çalışma konusuyla ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Her iki jeotermal alana ait jeoloji haritalarının oluşturulmasında önceki yıllarda farklı araştırmacıların farklı amaçlar için yaptıkları ve MTA tarafından yapılan 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalarından da yararlanılmıştır. Ayrıca, jeoloji çalışmaları, mevcut sondaj kuyularına ait kuyu logları ve kuyu verimleri gözönüne alınarak akifer ve örtü kayaç litolojileri ayrılanmıştır. Arazi çalışmaları ile çalışma alanı içerisindeki soğuk ve sıcak su noktalarının (sondaj kuyuları, sıcak su kaynakları) konumları belirlenmiştir. Su kaynaklarının UTM koordinatları Garmin etrex Legend Cx marka el GPS'ine kayıt edilmiştir.

Saha çalışmalarında her iki bölgede sıcak su sondaj kuyularından (üretim yapılan), sıcak su kaynaklarından (kaplıca amaçlı olarak kullanılan), maden suyu kaynaklarından ve kaynakların çevresinde yer alan, yeraltı suyunu temsil eden soğuk kaynak sularından ve yüzey sularından olmak üzere 5 farklı su tipini temsil eden noktalardan yağışlı ve kurak dönemleri kapsayan Kasım 2013 ile Nisan 2014 tarihleri arasında hidrojeokimyasal ve izotopik amaçlı örnekleme yapılmıştır.

Ana anyon ve katyon analizleri için örneklemede 1 litrelik plastik şişeler kullanılmıştır. Oksijen-18, döteryum ve karbon-13 için 250 ml'lik, trityum analizleri için ise 1 litrelik örnekleme şişeleri kullanılmıştır. Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Sb, Cs, Ba, Pb gibi iz elementleri kapsayan ağır metal analizleri için örnekler 500 ml'lik plastik kaplara toplanmıştır. Örnekleme sırasında kaplar, örnekleme yapılacak sularla en az üç kez çalkalandıktan sonra doldurulmuştur. Örnekleme yapılırken, sular 0,45µm çaplı filtre kâğıdından süzölmüştür. Katyon ve ağır metal analizleri için örnek şişelerine pH ≤ 2 olacak şekilde 0,2 ml derişik nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ilave edilmiştir. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Şişelerin tıpası ve kapağı sıkıca kapatılarak, güneş görmeyen serin ve +4°C'lik ortamda analize gidene kadar saklanmışlardır.

Ayrıca, örnekleme yapılan noktalarda sıcaklık (T), pH, ve elektriksel iletkenlik (Eİ) ölçümleri yerinde Hanna ve YSI marka çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür. Bu fiziksel parametrelerin ölçüldüğü cihazların kalibrasyonları arazi çalışmasından önce yapılmıştır. Kullanılan prob ve elektrotlar her ölçüm öncesi ve sonrası saf su ile yıkanmıştır. Ana, iz element ve nadir toprak analizleri için çalışma alanından derlenen volkanik kayaç ve traverten örnekleri üzerinde yapılan petrografik incelemeler sonucunda elde edilen en az altere örnekler seçilmiştir.

Kayaç örneklerinin element ve oksit bazda jeokimyasal özelliklerini belirlemeden önce, tüm örnekler Karadeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Örnek Öğütme Laboratuvarında önce 110°C etüvde bir gün süre ile kurutulduktan sonra çeneli kırıcı kullanılarak 1cm ile 2 cm'lik parçalara ayrılmıştır. Bu işlemde sonra parçalanmış örnekler halkalı öğütücüde yaklaşık 200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiş ve Kanada'daki Acme Analiz Laboratuvarına gönderilmiştir. Analizlerde oksitler için ICP-ES yöntemi ve iz elementler için ICP/MS yöntemleri uygulanmıştır.

Tüm suların kimyasal, ağır metal, nadir toprak, inorganik kirlilik ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  ve  $\text{PO}_4$ ) oksijen-18, döteryum ve trityum izotop analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Trityum ( $^3\text{H}$ ) izotop analizleri, Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda, duraylı izotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ) analizleri ise H.Ü. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Traverten örneklerinin  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  izotop analizleri için örnekler hazırlanmış, Kanada "Utah Üniversitesi Stable Isotope Ratio Facility for Environmental Research Department of Biology" Laboratuvarında analizleri yaptırılmıştır. Yine, Utah Üniversitesi'nde, seçilen 11 adet kaynak ve sondaj suyunun C-13 izotop analizleri yaptırılmıştır.

Analiz sonuçları, hidrojeokimyasal çalışmalarda güncel ve yaygın olarak kullanılan diyagramlar yardımı ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki sıcak su akiferlerinin

litolojileri kuyu logları, su kimyası çalışmaları ile doğrulanmıştır. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların çökel oluşturabilecek bazı minerallerin doygunluk indisi değerleri Aquachem (Calmbach 1997) kimyasal türleştirme programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcak su kaynaklarının hazne kayaç sıcaklıkları silis ve katyon jeotermometre eşitlikleri ile tahmin edilmiştir. Sıcak suların kökensel ilişkileri ve soğuk su karışım süreçleri ise, izotop ve yeraltısularında korunumlu olarak kabul edilen elementlerin kimyasal analiz sonuçlarının üçgen ve kompozisyon diyagramı ile değerlendirilmesi sonucunda açıklanmıştır.

### 3. COĞRAFYA

#### 3.1 Yerleşim ve Ulaşım

Kızılcahamam Ankara iline bağlı, Ankara - İstanbul E-5 kara yolu üzerinde Ankara'ya 70 km uzaklıkta bir ilçe merkezidir. İlçenin 1993 sayımına göre nüfusu 12.900'dur. İlçenin imar planına göre iskan sahası 988 ile 1060 m kotları arasındadır. Fakat, mahalleler gelişmiş ve imar sahası dışına çıkmıştır. İlçe, merkez ve belde mahallelerinden oluşmaktadır. Merkez mahallesi genel görünüşü ile bir vadi ve yamaçlarında kurulmuştur. Belde mahallelerinden İsmet Paşa Mahallesi merkezin 2 km doğusunda, Kemalpaşa mahallesi ise 2 km kuzeyindedir.

Seyhamamın ve Acısu Dere sıcak ve mineralli su kaynaklarının bulunduğu yerlere asfalt yolla ulaşılmaktadır. Kızılcahamam'ın çevre belde ve köylerle bağlantısı genelde asfalt, bir kısmına da stabilize yollarıdır. Bu yollar hemen her mevsim ulaşımaya açıktır.

Kızılcahamam batısında ve 27 km uzaklığında yer alan Çamlıdere ilçe merkezi ise Ankara ilinin 108 km kuzeybatısındadır. Bir vadi içinde kurulu olan Çamlıdere ilçesi güneyden Güdül, doğu ve kuzeyden Kızılcahamam, batıdan ise Gerede ve Beypazarı ilçeleri ile çevirilmiştir (Şekil 1.2). Engebeli bir araziye sahip olan ilçe, doğu, kuzey ve batı bölgelerinde 1800 ile 2040 m rakımlı yükseltiler ile çevrelenmektedir. Bu özelliği ile Çamlıdere, vadiler ve yaylalar bölgesidir. Beldenin nüfusu 2000 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre 15.339 kişidir.

Çamlıdere ilçesine ulaşım iki farklı yoldan olmaktadır. Ulaşım, E-5 karayolu yardımıyla Kızılcahamam'dan sağlanabildiği gibi, TEM otoyolu üzerinden de olmaktadır. Muzrupağacın dışında genelde Ahatlar, Atça, Sarıkavak, Tatlak, sıcak ve mineralli su kaynaklarının bulunduğu yerlere stabilize yolla ulaşılmaktadır. Çamlıdere'nin çevre belde ve köylerle bağlantısı genelde asfalt, bir kısmına da stabilize yollarla ulaşılmaktadır. Bu yollar hemen her mevsim ulaşımaya açıktır.

### 3.2 Bitki Örtüsü ve Ekonomi

Kızılcahamam'ı çevirleyen dağlar genellikle ormanlarla kaplıdır. İlçe topraklarının %80'ini orman ve fundalıklar oluşturur. Alanın yüksek kesimlerinde genellikle çam ve meşe ağaçları hakimdir. Bölgenin en önemli geçim kaynağı hayvancılıktır. Kızılcahamam'da üretilen önemli ürünler arasında pirinç, buğdaygiller, pancar ve tütün başta gelmektedir. Bunların yanında bölgede sebze ve meyve üretimi de yapılmaktadır. Özellikle Bulak Çayı vadisinde fasulya üretimi önemlidir. Kızılcahamam'ın dağlık köylerinde arıcılık da yapılmaktadır. Bölgede sanayi daha çok su şişeleme ve orman ürünleri alanında gelişmiştir. Sey Çayı üzerindeki Eğrekkaya Barajı 1994 yılının başında su tutmaya başlamış ve bu da yörede turizm ve balıkçılık gibi yeni iş sahalarının açılmasına imkân vermiştir. Ayrıca, Kızılcahamam'ın kuzey doğu köşesi çam ormanları ile kaplı Soğuk Su Ulusal Parkı kamp ve piknik alanlarının yanısıra otel ve lokanta gibi tesisleriyle ilgi çeken bir dinlenme yeridir. Kızılcahamam kaplıcalarında konaklama tesisleri ve fizik tedavi merkezleri mevcuttur. Kızılcahamam'ın 2 km doğusunda yer alan Çamlık mineralli suyu ise Kızılcahamam Belediyesi ve özel sektör tarafından şişelenerek pazarlanmaktadır. İlçe sınırları içinde perlit yatakları da bulunmaktadır. Kızılcahamam'da 2500 konut jeotermal merkezi ısıtma, sera ısıtması, termal tesis ısıtması ve termal turizm amaçlı olarak 1994 yılından beri faaldir.

Çamlıdere bölge halkı geçimini ormancılık ve arıcılıktan sağlamaktadır. İlçede mevcut yerleşimin dışında yayla turizmi amaçlı birçok kooperatif mevcuttur. İlçe doğal güzellikleri ve meşe, göknar, karaçam ve sarıçam ormanları ile ünlü olup, Çamkoru mesire alanı ve Benli Yaylası ilçe sınırları içinde bulunmaktadır. Bölge aynı zamanda doğal, kültürel ve tarihi yapısıyla da dikkat çekmektedir.

Kızılcahamam-Çamlıdere ve yakın çevresi jeoturizm kapsamında farklı etkinlikler için yüksek potansiyel taşımaktadır. Her iki ilçe de Jeopark sahası olarak birbirini her bakımdan bütünleyen önemli yerleşim yerleridir. Yaklaşık 2000 km<sup>2</sup> alana sahip olan Kızılcahamam-Çamlıdere Jeoparkının ana kategorileri, jeolojik-jeomorfolojik yapı, doğa ve manzara varlığı, ulusal ve uluslararası düzeyde yer şekilleri, fosil alanları ve

volkanik şekilleridir (Kazancı 2010). Farklı jeosit duraklarında farklı avantajlara sahip jeolojik miras öğeleri bulunmaktadır.

Ayrıca, Çamlıdere'nin güneybatısında, 1985 yılında yapımı tamamlanan, Ankara'nın içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla Bayındır Çayı üzerine inşa edilen Çamlıdere Barajı kaya dolgu tipinde olup, büyük bir baraj niteliğindedir. Barajın toplam su hacmi  $1160 \text{ hm}^3$ , su toplama havzası  $722 \text{ km}^2$ 'dir (Yılmaz 2006).

### 3.3 Morfoloji

Kızılcahamam ve Çamlıdere alanları genel olarak kuzeyden güneye doğru daralan dağlık birer bölgedir. Düzlükler Çamlıdere dolayında alanın kuzeybatısı ve güneyde görülür. En yaygın dağlık alanı Kızılcahamam'ın hemen GB'sındaki Aluç Dağı oluşturmaktadır. Alanda ova olarak tanımlanabilecek özellikte bir düzlük bulunmamaktadır.

Kızılcahamam alanı genelde derin V şekilli vadilerle yarılmış, dike yakın yamaçlı sarp yükseltiler sunar. Çorak Çayı'nın oluşturduğu vadide Kızılcahamam doğusunda 750-875 m'ye ulaşan taban genişliği kuzeye doğru giderek azalmaktadır. Çorak Çay'ın bir kolu olan Sey Çayı vadisi de taban genişliği zaman zaman 500 m'ye ulaşabilen geniş tabanlı bir vadi görünümündedir.

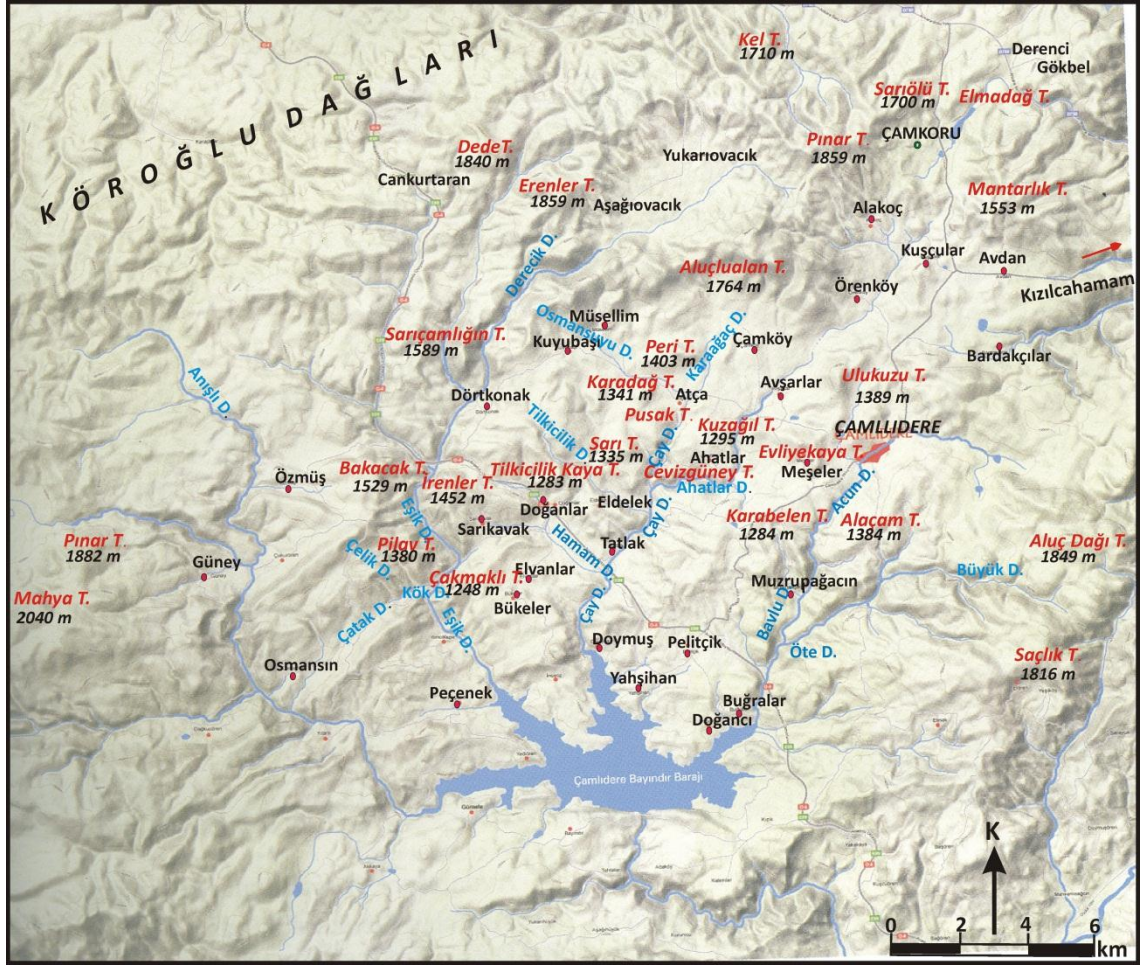
Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki yükseltiler tamamen volkanik kayalardan oluşmuştur. Bölgede andezit, bazalt ve aglomeralar genelde sarp yükseltileri oluştururlar. Tüf ve bağlayıcısı bozmuş aglomeralar olan kayaların bulunduğu alanlarda daha yumuşak bir topografya hakimdir. Aglomera ve tüfler içinde, kimi yerlerde peri bacaları oluşmuştur. Kızılcahamam alanında en yüksek noktayı Semeler Mahallesi'nin 2 km GD'sundaki 1620 m kodlu Karto Tepe ve Seyhamam yakın çevresindeki 1520 m ile Sivrigöl Tepe (Şekil 3.1). En düşük rakımlı nokta ise 945 m ile Kızılcahamam güneyinde Çorak Çayı vadi tabanıdır.



Şekil 3.1 Kızılcahamam çevresinin görünümü

Kızılcahamam alanındaki diğer yükseltiler kuzeyden güneye doğru Zurnacının Doruk (1375 m), Sivri Tepe (1371 m), Yelliset Tepe (1564 m), Kunguzubaşı Tepe (1313 m), Kara Tepe (1458 m), Gölbeşin Tepe (1226), Acısubaşı Tepe (1242 m), Çatalgelişim Tepe (1258 m), Ortadede Tepe (1371 m), Kel Tepe (1350 m), Gevrekdoruk Tepe (1319 m) ve Kavacık (1106 m)'dir.

Çamlıdere alanı ise genellikle engebeli bir yapıya sahip olup, güney kısmı büyük bir çanak şeklindedir. Burada D-B uzanımlı faylara bağlı olarak üçgen biçimli sırtlar ve yer yer de kırgıbayır şekilleri izlenir (Öngür 1976). Alandaki yükseltiler kuzeybatıya doğru artmaktadır. Başlıca yükseklikler doğudan batıya doğru Aluç Dağı Tepe (1849 m), Pınar Tepe (1859 m), Dede Tepe (1840 m), Erenler Tepe (1859 m), Ulukuzu Tepe (1389 m), Evliyakaya Tepe (1426 m), Kuzağıl Tepe (1286 m) Peri Tepe (1403 m), Karadağ Tepe (1341 m), Sarı Tepe (1335 m), Pilav Tepe (1380 m), Tilkilik Kaya Tepe (1283 m), İrenler Tepe (1452 m), Çakmaklı Tepe (1248 m), Kaya Tepe (1254 m), Karabelen Tepe (1284 m) ve Alaçam Tepe (1384 m)'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çamlıdere havzasının görünümü (Erdoğan 2012'den değiştirilerek)

Kızılcahamam Jeotermal kaynaklarının bulunduğu alan 950-1181 m yükseklik aralığında olup, Çamlıdere jeotermal alanı ise 1000-1300 m kotları arasındadır.

Kızılcahamam alanında yapısal çizgilere uygun doğu-batı yönünde akan Su Dere, Semerlerin KD'sunda ve kuzey-güney yönünde akan Gürcü Dere ile birleşerek Sabuncukaya boğazını geçtikten sonra Hamam Dere ile birleşmekte ve güneye doğru akmaktadır (Şekil 3.1). Hamam Dere ve bu derenin mansabındaki Çukurviran Dere ve Acısu Dere birleşerek Sey Çayını oluşturmaktadır.

Kızılcahamam'ın kuzeybatısında bulunan ve Bulak köyü batısından geçen Bulak Çayı güneye doğru akar. Derenin mansabına doğru Derebardakçılar Deresi, Gök Dere ve



birçok mevsimlik dere Bulak Çayı'na karışarak Çorak Çayı adını almıştır. Çorak Çayı ile Sey Çayı Kızılcahamam'ın doğusunda birleşerek Koca Çayı oluştururlar (Şekil 3.1). Koca Çayı bölgenin en önemli akarsuyudur. Alanın güneyinde, doğudan gelen Devret Dere bu çay ile karışır ve buradan alanı terk eder. Bu derelerin güneyde taban rakımları 850 m'ye kadar düşmektedir. Eİİİ' nin akım yıllığında Koca Çayı'nın maksimum debisi (Q) 67 m<sup>3</sup>/s (24-3-1974), minimum debisi de (Q) 0,10 m<sup>3</sup>/s (4-8-1984) olarak ölçülmüştür.

Çamlıdere alanında ise, en önemli akarsu Ahatlar Dere'sidir (Şekil 3.2). Meşeler, Avşarlar ve Çamköy civarında bulunan kaynak sularından beslenen Ahatlar Deresi, Ahatlar köyü doğusunda K-G, güneyinde ise yaklaşık D-B yönünde akış göstererek Çay Deresi ile birleşerek Bayındır Baraj Gölü'ne karışır. Çamlıdere ilçesini KD-GB doğrultusunda kesen Acun Deresi, ilçenin kuzeyinde geniş bir beslenme sahasına sahiptir. Çamlıdere yaylası kaynak sularından beslenen Acun Deresi Çamlıdere'den geçerek, dar bir vadi içinden Muzrupağacın köyü'ne ulaşır. Aluç Dağı'nın güneybatı yamaçlarından beslenen Öte Dere'nin de sularını toplayan Acun Deresi güneyde Bayındır Baraj gölüne boşalmaktadır.

Çalışılan jeotermal alanlardaki diğer dereler yağışların fazla olduğu zamanlarda sellenme nedeniyle oluşan kuru dereler olup, oldukça dik eğime sahip yataklılırlar. Bölgede belirgin bir erozyon söz konusudur. Alanda dendritik/saçaklı akaçlama ağı tipik olup akarsuların çoğu mevsimlidir.

### **3.4 Bağlı Nem**

Kızılcahamam Meteoroloji İstasyonu verilerine göre inceleme döneminde bağlı nem % 43,9-82,9 arasında değişmektedir. Bu süre içinde en yüksek bağlı nem %82,9 ile Ocak 2012 ve en düşük bağlı nem %43,9 ile Eylül 2012'de ölçülmüştür. İnceleme döneminde (2011–2012) Kızılcahamam Meteoroloji İstasyonunca ölçülen yağış, sıcaklık ve bağlı nem değerleri çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kızılcahamam'a ait 2011 ile 2012 yılları arasında aylık sıcaklık, yağış ve bağıl nem değerleri

Aylar/Yıllar	Sıcaklık (°C)		Yağış (mm)		Bağıl nem (%)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Ocak	0,3	-2,5	25,4	98,0	81,8	82,9
Şubat	0,7	-3,6	4,0	1,0	72,8	80,6
Mart	3,4	0,9	15,0	29,4	68,3	70,7
Nisan	7,7	11,4	60,2	11,0	71,2	57,7
Mayıs	12,9	14,2	68,8	76,0	68,2	66,2
Haziran	16,8	21,2	89,6	25,8	66,0	48,7
Temmuz	22,9	23,9	8,0	38,2	50,5	47,0
Ağustos	21,2	21,1	2,6	28,8	48,9	47,1
Eylül	17,4	19,0	2,4	12,4	49,2	43,9
Ekim	8,6	-	1,0	-	67,1	-
Kasım	0,8	-	Yok	-	66,9	-
Aralık	0,9	-	Yok	-	76,7	-

### 3.5 İklim

Tez alanının alansal yağış miktarının belirlenmesi için, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM) tarafından çalıştırılan Meteoroloji istasyonlarından Kızılcahamam, Çamlıdere, Çerkeş, Şabanözü, Pazar, Çeltikçi, Peçenek ve Güvem Meteoroloji İstasyonlarının verileri elde edilmiştir. Ancak, bu istasyonların ortak gözlem sürelerinin birbirleri ile eş zamanlı olmadığı veya bir çoğunun (Kızılcahamam dışında) kapatıldığı anlaşılmıştır. Bu nedenle Kızılcahamam ve Çamlıdere alanı için yağış rejiminin incelenmesi amacıyla Kızılcahamam Meteoroloji İstasyonunun 1970-1990 yılları arasındaki 21 yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır.

Kızılcahamam Meteoroloji İstasyonuna ait 21 yıllık (1970-1990) aylık yağış ve sıcaklık değerleri ortalama olarak verilmiştir (Çizelge 3.2). Buna göre en düşük aylık ortalama yağış 19,2 mm ile Eylül ayı, en yüksek ortalama yağış da 77,57 mm ile Aralık ayında

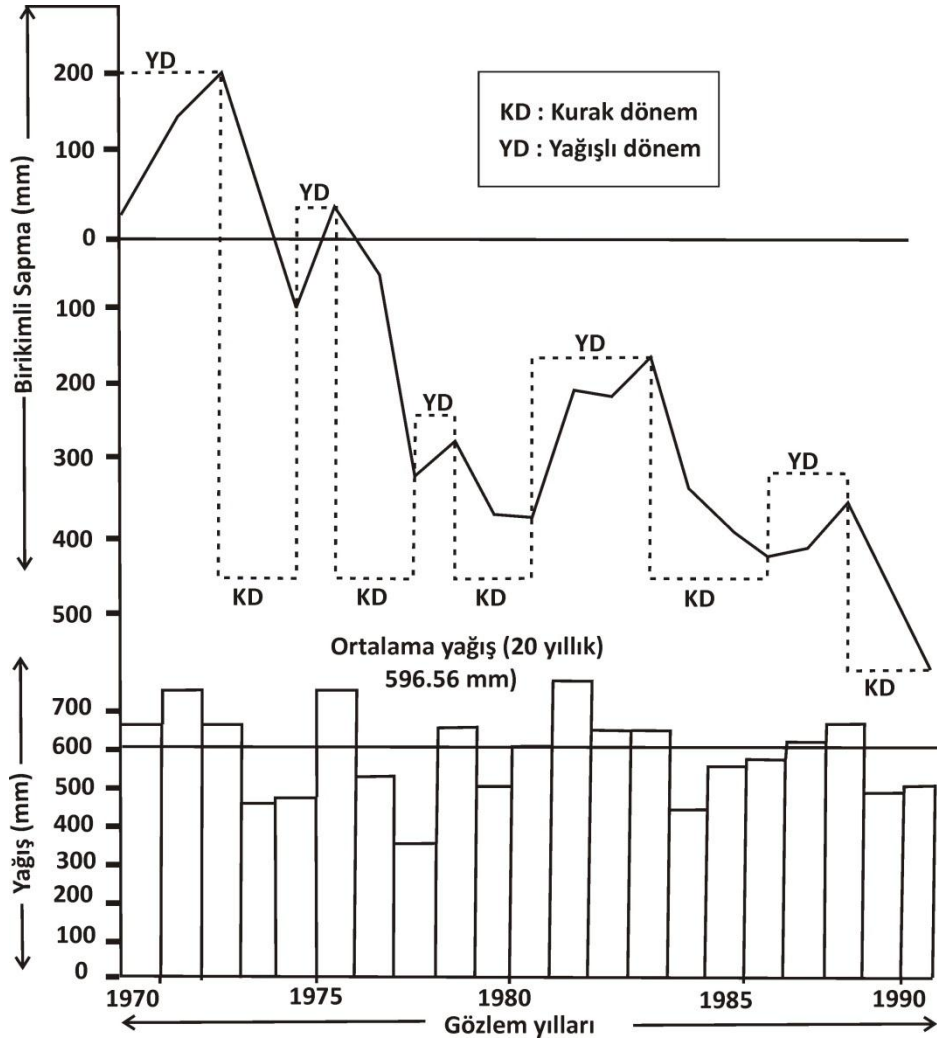
görülmüştür. En düşük aylık ortalama sıcaklık Ocak ayında  $-0,9^{\circ}\text{C}$ , en yüksek aylık ortalama sıcaklık ise Temmuz ayında  $21,8^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir.

Bölgenin yağışlı ve kurak dönemlerini belirlemek amacıyla eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı hazırlanmıştır (Şekil 3.3). Bu grafiğe göre; 1970-1972, 1974-1975, 1977-1978, 1980, ile 1986-1988 yılları arası yağışlı dönem, 1972-1974, 1975-1977, 1978-1980, 1981-1982, 1983-1986 ile 1988-1990 yılları arasında ise kurak dönemlerin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2 Kızılcahamam'a ait 1970 ile 1990 yılları arasında aylık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri

Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )		Aylık ortalama yağış (mm)	
Aylar	Ortalama	Aylar	Ortalama
Ocak	-0,91	Ocak	73,50
Şubat	0,61	Şubat	54,60
Mart	3,15	Mart	49,10
Nisan	9,93	Nisan	64,60
Mayıs	13,53	Mayıs	68,00
Haziran	17,28	Haziran	49,50
Temmuz	21,84	Temmuz	25,30
Ağustos	20,07	Ağustos	23,00
Eylül	16,99	Eylül	19,20
Ekim	11,10	Ekim	37,70
Kasım	7,01	Kasım	52,90
Aralık	0,44	Aralık	77,50
Aylık Ortalama	10,08 $^{\circ}\text{C}$	Aylık Ortalama	50 mm

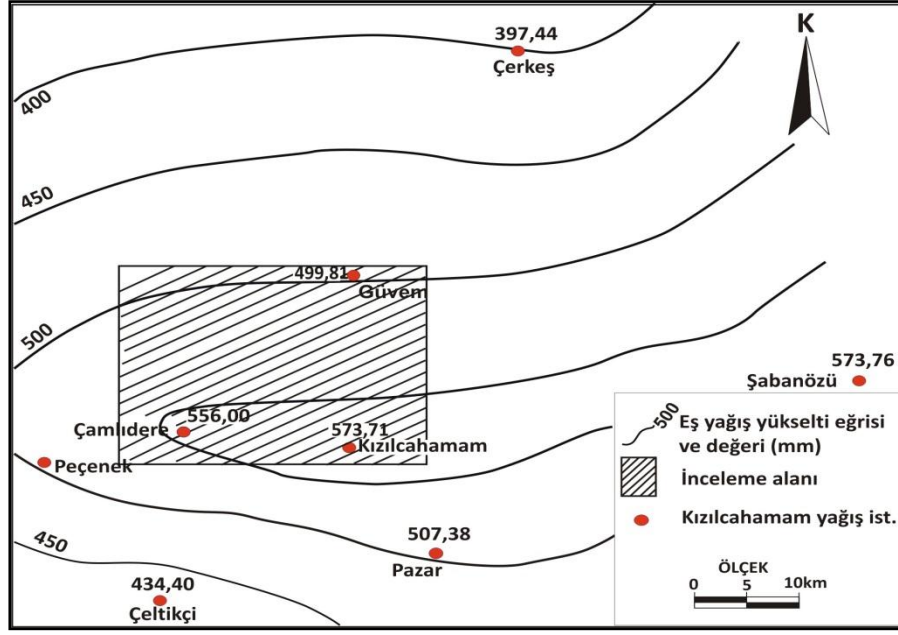
Kızılcahamam ve çevresindeki 7 adet Meteoroloji istasyonunun aylık ortalama yağış verilerinden yararlanarak 21 yıllık (1970-1990) dönem için eş yağış haritaları yapılmıştır (Çizelge 3.3, Şekil 3.4). İnceleme alanına düşen ortalama yağış değerleri bu



Şekil 3.3 İnceleme alanın eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı

Çizelge 3.3 İnceleme alanı ve dolayındaki istasyonların 1970 ile 1990 yılları arasında aylık ortalama ve yıllık toplam yağış verileri (mm)

İstasyonlar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Kızılcahamam	37,71	52,97	77,57	73,57	54,62	49,65	64,65	49,57	45,13	25,13	23,03	20,18	573,78
Güvem	35,42	44,83	64,43	68,37	46,91	42,21	57,41	35,85	22,67	37,73	21,24	22,74	499,81
Çamlıdere	37,40	50,05	65,80	88,13	50,86	53,99	58,01	48,94	45,13	21,40	19,03	17,28	556,02
Çeltikçi	28,31	41,92	56,25	59,35	37,33	33,29	47,49	46,43	36,38	19,07	14,10	14,48	434,40
Pazar	27,36	33,92	74,62	68,14	45,86	43,13	48,94	51,30	39,42	23,66	24,79	26,24	507,38
Çerkeş	19,41	28,92	28,11	31,94	20,58	26,90	48,96	72,86	52,86	26,59	20,28	20,03	397,44
Peçenek	32,10	45,34	67,17	67,79	47,82	40,15	40,42	68,45	38,15	18,94	22,14	20,70	518,17
Şabanözü	42,78	48,59	73,96	64,64	47,75	42,60	62,26	82,69	40,62	21,91	21,71	25,03	573,76

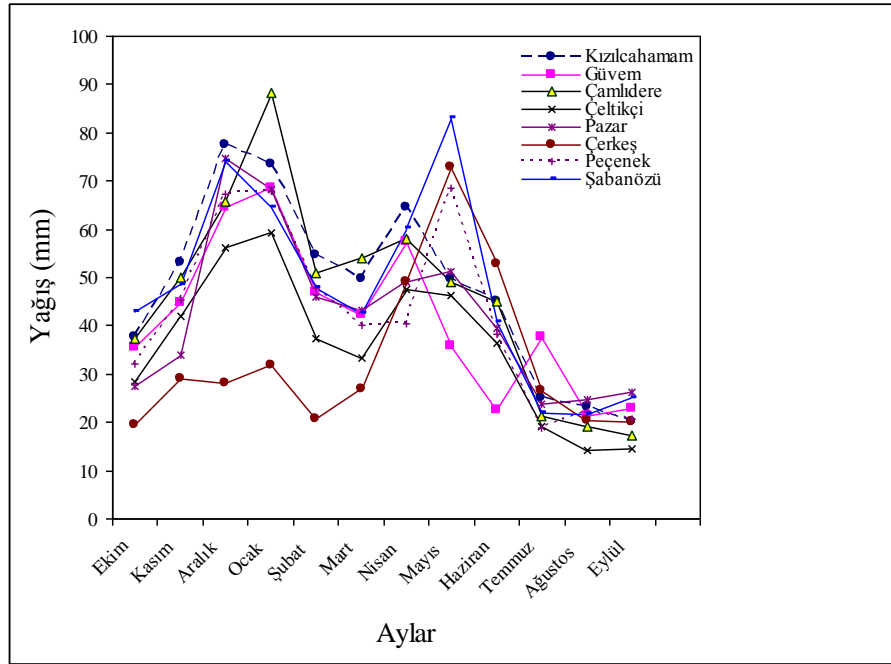


Şekil 3.4 Çalışma alanına ait 21 yıllık (1970-1990) eş yağış haritası

haritalardan hesaplanmıştır. Bölgede en düşük yıllık yağış miktarı 397,44 mm ile Çerkeş Meteoroloji İstasyonuna aittir. 1970-1990 yılı değerlerine göre çizilen eş yağış haritasında, yağış miktarları KB'dan GD'ya doğru artmaktadır. Bu istasyonların aylık ortalama yağış verileri incelendiğinde Şabanözü Meteoroloji İstasyon verilerinin en yüksek olduğu, Çerkeş'e ait yağışların ise en düşük olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.5). Yağış bakımından bölge Akdeniz iklimlerinin karakterini taşımakta olup, yağış rejimi ise Doğu Akdeniz tipindedir. Alandaki bitki örtüsü ve diğer meteoroloji verileri göz önüne alınarak Kızılcahamam ve civarında yarı kurak, çok soğuk bir Akdeniz iklim tipinin hakim olduğu söylenebilir (Akman ve Daget 1971).

### 3.6 Buharlaşma ve Terleme

İnceleme alanının son 21 yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri kullanılarak Thornthwaite (1948) yöntemi ile gerçek buharlaşma-terleme (Etr) hesaplanmıştır.



Şekil 3.5 Bölgedeki farklı yağış gözlem istasyonlarının 21 yıllık (1970-1990) aylık ortalama yağış grafiği

Çizelge 3.4 yardımı ile alan için hesaplanan düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terlemenin (Etpc) yıllık miktarı 653,573 mm, gerçek buharlaşma-terleme miktarı (Etr) 410,754 mm, su noksanı 242,77 mm, su fazlası 184 mm olup, ortalama yıllık yağış 595,286 mm'dir. Toplam yağışın %69'u buharlaşma terleme ile atmosfere geri dönmektedir (Çizelge 3.4, Şekil 3.6).

Turc yöntemine göre hesaplanan yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarı ise 627,93 mm olup, bu da yağışın %73,05'ine karşılık gelmektedir.

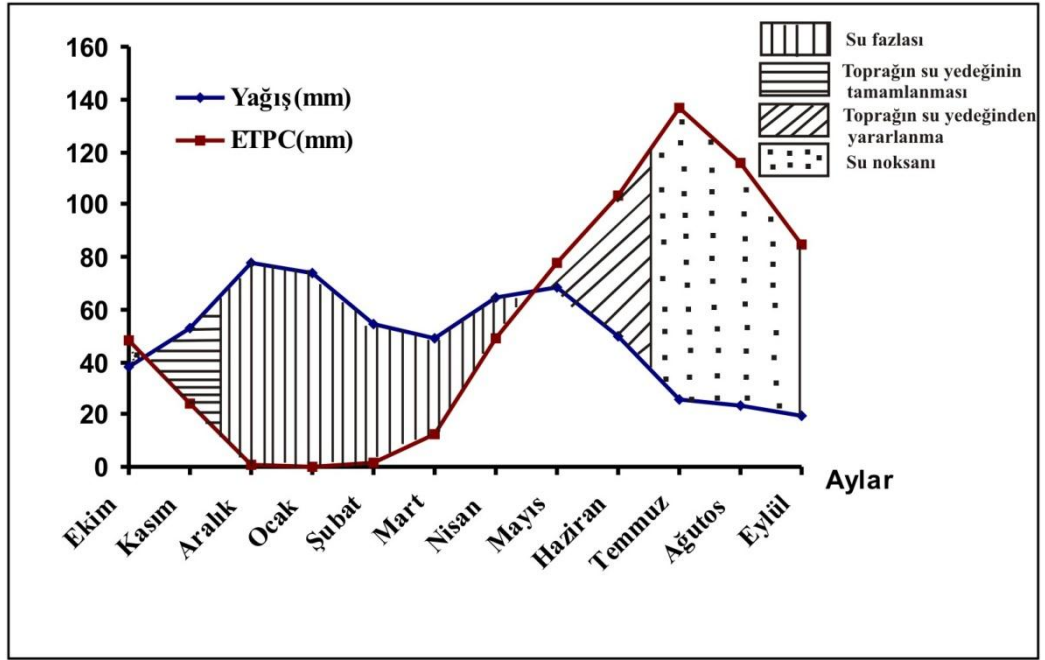
İnceleme alanı için, seçilen bilanço dönemine ait denestirmeli yağış ve buharlaşma - terleme tablosu hazırlanmış ve grafiği çizilmiştir (Çizelge 3.5, Şekil 3.7). Görüldüğü gibi toprağın su yedeği Ekim 2011'den Aralık 2011'e kadar ve Haziran 2012'den Eylül'e

Çizelge 3.4 Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu (21 yıllık)

Aylar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	11,10	7,01	0,44	-0,91	0,61	3,15	9,93	13,53	17,28	21,84	20,07	16,99	10,08
Sıcaklık indisi (I)	3,34	1,66	0,02	0	0,04	0,49	0,28	4,51	6,53	9,32	8,20	6,37	40,78
Potansiyel buharlaşma terleme (mm)(ETP)	49,85	29,54	1,27	0	1,86	11,93	43,93	62,41	82,39	107,47	97,64	80,82	
Enlem düzeltme katsayısı (40.5)	0,96	0,82	0,80	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,18	1,04	
Düzeltilmiş potansiyel buharlaşma terleme(mm)(ETP <sub>C</sub> )	47,85	24,37	1,03	0	1,55	12,28	48,76	77,70	103,39	136,48	115,70	84,45	653,57
Yağış	37,71	52,97	77,57	73,57	54,62	49,11	64,65	68,04	49,55	25,29	23,04	19,17	595,28
Faydalı su yedeği (mm)	0	28,60	100	100	100	100	100	90,34	36,50	0	0	0	
Gerçek buharlaşma - terleme(mm)(ETR)	37,71	24,37	1,03	0	1,55	12,28	48,76	77,70	103,39	61,79	23,03	19,17	410,75
Su fazlası(mm)	0	0	5,14	73,57	53,07	36,84	15,89	0	0	0	0	0	184
Su noksanı(mm)	10,14	0	0	0	0	0	0	0	0	74,69	92,66	65,28	

•Faydalı su yedeği bölgenin iklim ve bitki koşullarına göre 100 mm alınmıştır



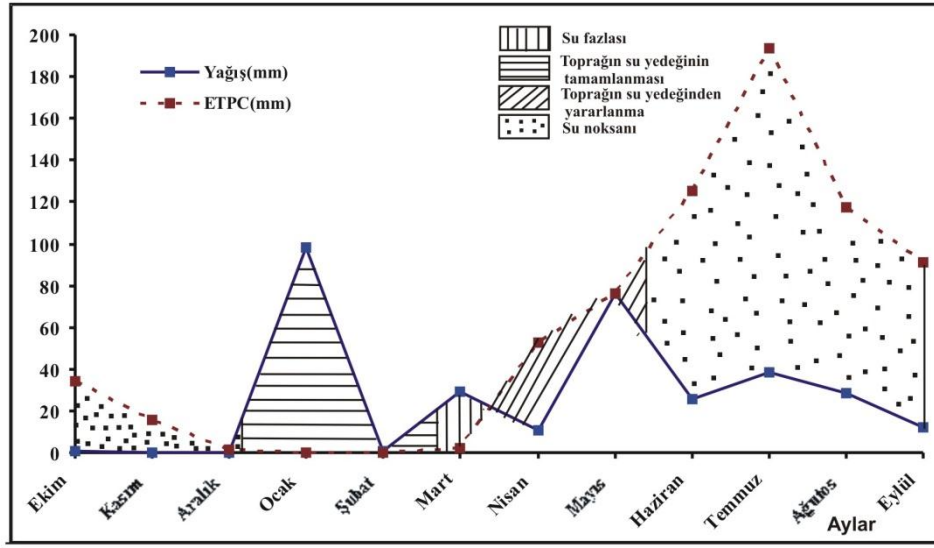


Şekil 3.6 21 yıllık yağış ve buharlaşma terlemenin ortalaması aylara göre değişim grafiği (Thornthwait'a göre)

Çizelge 3.5 Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma - terleme bilançosu (Ekim 2011-Eylül 2012)

Aylar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	8,60	0,80	0,90	-2,50	-3,60	0,90	11,40	14,20	21,20	23,90	21,10	19,00	
Sıcaklık indisi (I)	2,27	0,06	0,07	0	0	0,07	3,48	4,85	8,90	10,68	8,84	7,54	46,80
Potansiyel buharlaşma terleme (mm)	35,51	18,70	2,15	0	0	2,15	47,19	61,63	100,02	152,23	99,71	87,79	607,43
Enlem düzeltme katsayısı (mm)(40.5)	0,96	0,82	0,80	0,83	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	
Düzeltilmiş Potansiyel buharlaşma-terleme (mm)(ETP <sub>c</sub> )	34,08	15,33	1,72	0	0	2,21	52,38	76,42	125,36	193,42	117,66	91,30	709,91
Yağış	1,0	0	0	98	1,0	29,40	11,00	76,00	25,8	38,20	28,20	12,40	321,00
Faydalı su yedeği (mm)	0	0	0	98	99	100	58,62	58,20	0	0	0	0	413,82
Gerçek buharlaşma terleme (mm)(ETR)	1,0	0	0	0	0	2,21	52,38	76,42	84,00	38,20	28,20	12,40	294,81
Su fazlası (mm)	0	0	0	0	0	26,19	0	0	0	0	0	0	26,19
Su noksanı (mm)	33,08	15,33	1,72	0	0	0	0	0	41,36	155,22	89,46	78,90	415,07

•Faydalı su yedeği bölgenin iklim ve bitki koşullarına göre 100 mm alınmıştır



Şekil 3.7 Yağış ve buharlaşma terlemenin (2011 Ekim - 2012 Eylül) değişim grafiği (Thornthwait'a göre)

kadar sıfırdır. Ocak 2011'de başlayan su yedeğinin tamamlanması Mart 2012'de gerçekleşebilmiş ve Nisan 2012'den itibaren su yedeği kullanılmış, Haziran 2012'den itibaren Eylül 2012'ye kadar bu rezerv kullanılmıştır.

Ekim 2011-Eylül 2012 arasında su noksanı 415,071 mm ve gerçek buharlaşma - terleme (Etr) 294,81 mm'dir. Ocak 2012 ile Mart 2012 arası ortalama yağış değerleri düzeltilmiş potansiyel buharlaşma - terleme (Etpc) değerlerinden yüksektir.

İnceleme dönemi için toplam Etpc değeri 709,91 mm, Etr 294,81 mm, yağış 321 mm ve su fazlası 26,19 mm'dir. Bu sonuçlara göre, toplam yağışın %91,84'ü buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Aynı dönemdeki sellenme+süzülme ise yağışın %8'ine karşılık gelmektedir.

Elde edilen bu verilere göre, soğuk su kaynaklarına yağıştan olan beslenmenin oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır. Jeotermal kaynaklar için, bu kaynakların beslenme alanları yüksek kotlar olduğundan, mevcut istasyon verilerine göre sağlıklı yorum yapmak son derece zordur.

## 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez alanındaki jeotermal kaynakların yerleşim birimlerinde yer alması dolayısıyla, bu tür alanlarda özellikle jeotermal çalışmalar daha yoğun olarak yürütülmüştür. Ayrıca bölgedeki volkanizma bir çok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Önceki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

### 4.1 Kızılcahamam Bölgesi

Kızılcahamam ve çevresinde farklı zamanlarda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

İnceleme alanı ve dolayındaki ilk çalışmalar Milch (1903) ve Leonhard (1903) tarafından yapılmış ve çalışma sahasında geniş alanlar kaplayan volkanik birimler “Galatya Andezit Masifi” olarak adlandırılmıştır.

Çağlar (1947), Türkiye maden suları ve kaplıcalarına yönelik çalışmasında, Kızılcahamam dolayındaki kaplıca sıcak ve mineralli su kaynaklarının tam tahlilini yaparak ve kaplıca tesisleriyle ilgili bilgiler vermiştir. Çalışmada, Kızılcahamam Kaplıcasının 50°C sıcaklığı, CO<sub>2</sub> 389 mg/l konsantrasyonu, radyoaktivite 16 Eman ve pH’ı 6,2 olarak saptanmıştır. Acısu Dere sıcak ve mineralli suyu ise 35°C sıcaklıkta olup, debisi 1 l/s ve pH’ı 6,2 olarak ölçülmüştür. Kızılcahamam ilçe merkezinin 14 km kuzeyinde bulunan Seyhamam Kaplıcasının debisi 15 l/s, sıcaklığı 43°C, radyoaktivitesi 5,1 Eman ve pH’ı 6,2 olarak saptanmıştır.

Erol (1952), Ankara kuzeyinde Mira ve Aydos dağları bölgesinin jeolojisi hakkındaki raporunda, Kızılcahamam kuzeyi, Güvem Gürcü Dere’de Üst Miyosen yaşlı diatomlu marnlar ile Kızılcahamam GB’sındaki Karacaviran’da, içinde Miyosen-Pliyosen’e ilişkin olabilecek ağaç fosilleri bulunan beyaz tüflerden bahsetmiştir.

Serruya (1962), 1/25.000'lik bir harita yaparak Kızılcahamam dolayındaki soğuk sularla, sıcak ve mineralli su kaynaklarının bazı özelliklerini ortaya koymuştur. Rapora göre ilçe merkezine 3 km uzaklıkta Acısu Dere içindeki, eskiden Vişi suyu, Acısu veya Ankara suyu olarak bilinen mineralli suyun kaynak sıcaklığı 18°C ve toplam debisi 0,2 l/s'dir. Aynı dere içindeki kaplıca suyunun sıcaklığı ise 31°C ve debisi 1 l/s'dir.

Gümüş (1964), Kızılcahamam güneyi dolayının jeolojisi adlı araştırmasında, sahada yüzeylenen Paleozoyik-Neojen yaşlı istiflerin stratigrafisini incelemiştir. Araştırmada çalışma sahasının, Kuzey Anadolu kıvrımları ile Orta Anadolu Ara Masifleri arasında yer aldığı, tektonik bakımdan bu iki unsurun etkisinde kaldığı ve genel tektonik hatların DKD-BGB olduğu belirtilmiştir. Araştırmacıya göre, Eosen'den sonra şiddetli bir kıvrımlanma göze çarpmaktadır. Klastik kayaçlarla temsil edilen Oligosen, Miyosen yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Neojen'de deniz tamamen sığlaşırken, göller oluşmuş ve şiddetli bir volkanizma gelişmiştir.

Akyol (1969), Ankara-Kızılcahamam-Çeltikçi yöresindeki kömür zuhurları üzerine yaptığı çalışmada şiddetli bir volkanizma ile volkanik ürünlerin geniş bir alana yayıldığını, volkanizmanın duraksama döneminde 80 m kalınlığında bir marn çökelinin geliştiğini ve bu marnlar içerisinde kalınlığı 0,40 m ile 5,40 m arasında değişen kömür damarlarının oluştuğunu belirtmiştir.

Ercan (1970), Seyhamam Kaplıcasına ait çalışmasında termal kaynakları jeoloji ve hidrojeoloji yönünden incelemiş, kaplıca kaynaklarının oluşmasına neden olan fayın alüvyonla örtülü olduğunu belirtmiş ve bu nedenle sıcak su kaynaklarının iyi bir kaptaja tabi tutulması gerektiğini vurgulamıştır.

Canik (1972), Kızılcahamam civarındaki sıcak ve mineralli sular hakkındaki çalışmasında, bölgedeki sıcak suların yüzeye faylara bağlı olarak çıktığını belirtmiştir. Şehir içindeki Büyük Kaplıca kaynağının, ebatları 8,9 m x 7,60 m olan ve 4,5 m derinlikte bir kaptajı olup debisi 1,9 l/s'dir. Küçük Kaplıca ise suyunu kaynaktan ve 100 m batısındaki sıcak su kuyusundan temin etmektedir. Her ikisinin debisi 1,43 l/s'dir.

Acısu Dere'sindeki mineralli kaynakların toplam debileri 0,775 l/s olarak saptanmıştır. Seyhamam suları ise 43°C sıcaklıkta olup, debisi 50 l/s olarak ölçülmüştür.

Ünlü (1973), Kazanlar ile Peçenek arasında yaptığı araştırmada, çalışma sahasında Miyosen başından itibaren volkanik faaliyetlerin büyük bir etkinlik kazandığını ifade etmiştir.

Bayal (1974), Kızılcahamam'ın içme suyu ihtiyacını karşılamak için şehrin kuzeyinde, Koca Çay Deresi ile Sey Çayı arasında ve Güvem köprüsünün 400 m kuzeyinde keson kuyu yeri önermiştir. Açılan keson kuyuda statik seviye 0,80 m dinamik seviye 5,52 m, kuyu derinliği zeminden itibaren 8,50 m dir. Kuyunun verimi ise 100 l/s'dir.

Yenal (1975), Kızılcahamam Kaplıcaları ile Seyhamam'daki sıcak suların kimyasal tahlillerini tıbbi yönden değerlendirmiştir. Araştırmacı, bu suları alkali, toprak alkali-karbondiyoksitli ve bikarbonatlı sular olarak üç gruba ayırmıştır. Tıbbi açıdan değerlendirildiğinde, bu suların içme tarzında kullanıldıklarında karaciğer, safra kesesi, mide ve bağırsak, iç ve dış sökresyon, kolonlar üzerinde tesir gösterdikleri belirtilmiştir.

Öngür (1976), yaptığı 1/25.000 ölçekli çalışmasında bölgenin jeoloji, volkanoloji ve tektonik özelliklerini geniş bir şekilde tartışarak, hidrojeoloji ve jeotermal incelemeleri için öncelikle jeofizik çalışmaların yapılması gerektiğini savunmuştur.

Öngör (1977), Kızılcahamam güneybatısının volkanoloji ve petroloji evrimini inceleyerek levhaların tüketildiği bir zonda yüksek su içeriği ve dolayısıyla yüksek oksijen basıncında farklılaşan magmaların kalkalkali bir magmatik seriyi oluşturabileceğini belirtmiştir.

Koçak (1977), Kızılcahamam kaplıca kaynaklarını besleyen sıcak suyun ısınmasının jeotermik gradyanla olduğunu ifade etmiştir. Ancak, bölgedeki volkanik etkinliğin

derinlerdeki soğumamış ceplerinin varlığında, kaynağın ısınmasını artırdığını belirtmiştir.

Erişen ve Ünlü (1980) ye göre Kızılcahamam-Seyhamam alanındaki rezervuar kayaçlar aa tipindeki alt lav ile daha derinlerdeki Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları olarak öngörülmüştür. Örtü kayaçlarını ise Pazar Formasyonu'nun tüf ve tüfitleri oluşturmaktadır. Alanda alt lavların muhtemel derinliği 250-500 m, derindeki kireçtaşı rezervuarının muhtemel derinliğinin ise 750-800 m olabileceğini belirtmiştir.

Karakaya (1981)'nin çalışmasına göre, Kızılcahamam-Güvem bucağı Aköz-Beşkonak fosilli diyatomitli alan ve çevresi Miyosen yaşlı volkanik kayaçlar ile volkano laküstrin tortullarla örtülü olduğunu belirtmiştir. Tüfler, diyatomitler, karasal tortullar, volkanik breş ve aglomeralar yanal geçişli olarak iç içe bulunurlar. Bunların üstünde andezit-bazalt lav akıntıları bulunmaktadır. Volkanik etkinliklerin yoğun olduğu bu bölgede, karasal kırıntılı kayaçlar ve diyatom paçaları çökelmiştir. Böylece karasal ve volkanik materyalle karışmış durumdaki diyatomit katmanları düzensiz, ara tabakalı ve yatay geçişli olarak istiflenmiştir. Böylece tipik bir volkano laküstrin tortullanma oluşmuştur.

Türkover (1983), Ankara'ya su temin projesi kapsamında Kızılcahamam kuzeyinde Sey Çayı üzerinde yapılan Eğrekkaya barajının, zonlu toprak dolgu tipinde inşasını önermiştir. Baraj yeri ve göl alanı Tersiyer volkanik seriye ait, bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden oluşmuştur. Aks yerinde geniş bir alana yayılan andezitler sağ yamaçta hidrotermal bozuşmaya uğramıştır. Talvegde killi, kumlu, çakıllı ve bloklu alüvyon 32 m kalınlığa ulaşmaktadır. Geçirimsizlik  $10^{-1}$ - $10^{-3}$  m/s arasında olduğundan katof kazısının tamamen kaldırılması önerilmiştir. Ayrıca göl alanının tamamını oluşturan volkanitlerde herhangi bir kaynak ve boşluklu bir yapı görülmediğinden, su kaçaklarının olmayacağı belirtilmiştir.

Özbek ve Koçak (1983) Kızılcahamam jeotermal alanında meteorik suların bazaltik magma ile teması sonucu ısınıp fay hattı boyunca yükselerek sıcak su kaynaklarını

oluşturduğu belirtmiştir. Ayrıca, bu suların sodyum karbonatlı sular sınıfına girdiğini ve sağlık için kullanımının uygun olduğunu vurgulamıştır.

Özmutaf vd. (1984), MTA'nın yaptığı sıcak su sondajlarının kuyu tamamlama raporunda, Ankara - Kızılcahamam Kaplıcası'nın su debisini artırmak ve yeni yapılacak tesislere sıcak su sağlamak amacıyla, kaplıca sahasında 179,60 m de 2-3 l/s debide 73°C sıcaklıkta; 179 m'de ise yaklaşık 60 l/s debide 75,5°C sıcaklıkta su elde etmişlerdir.

Demirörer (1985), Kızılcahamam ve çevresinde bulunan sıcak su kaynaklarının oluşum ortamına göre bölge; yer ısısal değişimi (Jeotermal anomali) olan bir ortamdır. Isınmış ortamın büyüklüğünü, durumunu ve derinliğini belirlemek amacıyla jeolojik çalışmalar ile birlikte jeofizik (gravite, öz direnç (rezistivite) ve ısısal (termal)) çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda alınan jeofizik verilerin yorumlanması sonucunda, bir ısı ortamı olması muhtemel yerlerin belirginleşmesine yönelik sıcaklık ölçümleri için sıg mekanik sondajların yapılması önerilmiştir.

Ercan (1986), Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması ile ilgili çalışmasında bölgede yer alan Paleosen-Eosen yaşlı volkanitler, yitim zonlarında dalma-batma olayları sonucu türemiş kalkalkalen nitelikli yay volkanizmalardır. Oligosen-Miyosen-Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı diğer dört grup ise, bölgede levhalar arası yakınsama hareketinin uzun süre devamı sonucunda okyanusal kabuğun tüketilmesi ve kıtasal kabuğun çarpışmasından sonra meydana gelen ve esas olarak kıtasal kabuk kökenli ve kalkalkalen nitelikli volkanitler olduğu ifade edilmiştir.

Gevrek vd. (1986), Kızılcahamam jeotermal enerji arama sondajı kuyu bitirme raporunda D-B doğrultulu Kızılcahamam fayının jeotermal sistem bakımından önemli olduğunu belirtmiştir. Açılan KHD-1 sondaj kuyusu 1556,50 m'de tamamlanmış, jeolojik istife uygun olarak kuyuda andezit, bazalt, tüf, tüfit, riyolit ve andezit ile bazalt birimleri geçilmiştir. Kuyudan 86°C ve 32 l/s debide sıcak su elde edilmiştir.



Gevrek vd. (1987), Kızılcahamam jeotermal sahasının sınırlarını belirlemek, rezistivite anomalilerini ve aktif fay zonlarını kontrol etmek amacı ile toplam derinlikleri 2713,80 m olan 5 adet gradyan sondajı açılmıştır. Araştırmacılara göre, aa Lavları hazne kaya özelliğinde olmayıp, andezitler ve volkanik birimlerin altında yer alan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları hazne kaya özelliği taşımaktadır.

Gürer ve Çelik (1987), Kızılcahamam jeotermal sahasındaki mevcut kırık zonlarını belirlemek ve sondaj yerlerini tespit etmek amacıyla, araştırmacılar MTA-1 ile KHD-1 sondaj kuyuları arasındaki bölgeyi yüksek ayrımlı sismik yansıma yöntemi uygulanarak incelemişlerdir.

Güleç (1994), Kızılcahamam bölgesindeki suların bikarbonat bileşiminde olduğunu belirtmiş ve su-kayaç etkileşimi ile kayaçların bugünkü katyon bileşimlerini elde etmeleri için, suyu depolayan volkanik kayaçların sadece %1,3'lük bir bölümünün çözünmeye uğraması gerektiği saptamıştır. Öte yandan sulardaki karbonat zenginleşmesi derinden, olasılıkla bir magma kütesinden CO<sub>2</sub> gazı salındığını işaret etmektedir. Bu bağlamda sıcak suların bir kısım bileşenlerini bu tip bir magma kütesinden almış olabileceği belirtilmiştir.

Pasvanoğlu ve Arıgün (1998), Kızılcahamam Acısu Dere ve dolayında, yaklaşık 22 km<sup>2</sup>'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji incelemesini yaparak birimlerin hidrojeoloji ile özellikleri belirlenmiştir. Acısu Dere'deki sıcak ve mineralli sular için 3 adet koruma alanı belirlemişler ve kirliliğin önlenmesi için öneriler sunmuşlardır.

Kaya (2005), Kızılcahamam jeotermal sahasının izleme deneyi ile karakterizasyonu adlı Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, re-enjeksiyon kuyusu olarak kullanılan MTA-1 kuyusundan izleyici olarak fluoresein basımı yaptırmış ve MTA-2, Fethibey (MTA-7), İHL-1 ve İHL-3 kuyuları arasında bir etkileşim olduğunu saptamıştır. Elde edilen ölçümler matematiksel modellerle karşılaştırılmış ve sahanın homojen olmadığı sonucuna varılmıştır.

## 4.2 amlıdere Bölgesi

Ünlü (1973), Kazanlar-Peçenek bölgesi jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları hakkında yaptığı çalışmada, bölgedeki gösel çökellerin Üst Miyosen volkanizması ile eş zamanlı çökeldiklerini belirtmiştir. Aynı yaş aralığında devam eden volkanizmanın kimi yerde lav akıntıları, kimi yerde ise piroklastik kayalar ve çökeller (kızgın bulut, lahar) olarak geliştiğini ileri sürmüştür.

Öngür (1976 ve 1977), bölgede temeli Paleozoyik yaşlı şistlerin oluşturduğunu, bu temeli Üst Kretase kırıntılarından oluşan filiş fasiyesli Kınık Formasyonu'nun örttüğünü, filiş içinde ve üstünde ise Jura yaşlı kireçtaşı bloklarının olistolitler şeklinde durduğunu belirtmiştir.

Öktü (1985), Ankara-Çamlıdere ilçesinin içme suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla incelemelerde bulunmuştur. Çalışmada, yeraltı suyunun andezit ve diğer volkanik kayaların çatlakları içinde olduğu, yeraltı su tablasının düzgün bir yüzey olmayıp ani iniş ve çıkışlar gösterdiği ve kayaların geçirimsizliğinin düşük olduğu belirtilmiştir.

Türkecan vd. (1991) tarafından hazırlanan, Seben-Gerede (Bolu), Güdül-Beypazarı (Ankara) ve Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) yörelerinin (Koroğlu Dağları) jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi konulu araştırmada, inceleme alanlarının stratigrafisi ortaya konmuş ve bölgedeki volkanizmanın levha tektoniği açısından karakteri belirlenmiştir. Araştırmacılar bölgedeki volkanik birimleri "Koroğlu Volkanik Provensi" olarak adlandırmışlardır.

Toprak vd. (1996), Galatya Volkanik Karmaşığı'nın yapısı hakkında arazi ve hava fotoğrafları üzerinde yaptıkları çalışmalarda bölgede pek çok volkanik karmaşık olduğunu belirtmişlerdir.

Süzen (1996), “Neojen yaşlı Pelitçik Havzası’ndaki Gölsel Mineral Fasiyesleri (Galatya Volkanik Provensi)” adlı çalışmasında dolomit ve K-feldispat grubu minerallerin ağırlıklı olarak kil dışı mineralleri oluşturduğunu, ayrıca plajiyoklaz, analsim ve kuvars’a da az miktarda rastlanıldığını belirtmişlerdir. Detritik kökene sahip Fe ve Al’ca zengin simektitlerin kil mineralleri arasında çoğunlukta olduğunu, bunun yanı sıra illit, klorit ve kaolen minerallerine de rastlandığı vurgulanmıştır. Dolomit stokyokimyasına ve mineral parajenezine dayanarak Pelitcik havzası depolanma koşullarının mevsim değişikliklerinde kurumayan sığ, sakin bir gölsel ortam olduğunu ve havzanın açık bir sistem ile başladığını, daha sonra kapalı bir sisteme geçildiğini belirtmiştir.

Tankut vd. (1998), Galatya Volkanik Provensi içinde yer alan Güvem volkanizmasının çarpışma sonrası tektonizma ile ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Buna göre, Geç Miyosen’de sadece tek bir akış birimi olarak alkali bazaltlar gözlenmiş, bunun yanında Erken Miyosen’de ise çok kalın ve K’ca zengin bazaltik trakiandezitten riyolite kadar değişen kompozisyona sahip volkanik kayaların oluştuğu ileri sürülmüştür.

Adıyaman vd. (2001), KAF zonu boyunca gözlenen Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanik etkinliklerin açılma rejimine bağlı olarak geliştiğini ileri sürmüşlerdir.

Taka vd. (2001), Seben-Gerede-Kıbrısık (Bolu)-Beypazarı-Çamlıdere-Güvem (Ankara) alanında yüzeylenen Üst Miyosen volkanikleri altındaki birimlerin enerji hammadde potansiyeli adlı çalışmalarında, Çamlıdere yöresi ve Ovacık kalderası civarında gözlenen volkanik kayaların Alt Miyosen’de gelişmiş olduklarını ve dasitik, andezitik karakterdeki lav akıntıları ve domlar şeklinde mostra verdiklerini ileri sürmüşlerdir.

Schumacher vd. (2001), Galatya volkanik bölgesindeki Sarıkavak tefraları, Miyosen yaşlı pliniyen patlaması ürünleri olduğunu ve bu volkanik kompleksin 9 ana volkanik merkezden oluştuğunu, ayrıca Ovacık volkanik kompleksine ait olduğunu savunmuşlardır.

Telsiz (2004)'ün Güvem çevresinde gerçekleştirdiği çalışmada, bölgedeki kayaçların trakibazalt, bazaltik trakiandezit, trakiandezit, trakit, andezit, dasit ve riolit bileşiminde olduğu ve hem alkali hem de kalkalkali özellik gösterdiği belirtilmiştir. Trakibazaltik bileşimdeki kayaçlar dışında bütün kayaçların OIB benzeri eski bir dalma-batmanın izlerini taşıyan mantodan türediklerini ileri sürmüştür.

Muratçay (2006), Galatya Volkanik Bölgesi'nin, Çamlıdere tarafında volkanik kayaçların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiş, volkanizmanın kökeni ve oluşumunda etkili olan süreçlerle ilgili bilgiler vermiştir. Bölgedeki volkanik kayaçların trakibazalt, bazaltik trakiandezit, trakit, trakiandezit, andezit, dasit ve riolit bileşiminde olduklarını ve hem alkali, hem de kalkalkali özellik gösterdiklerini belirlemiştir. Çamlıdere volkanik kayaçlarının, iz ve nadir toprak elementleri ile Sr-Nd izotop çözümlenmeleri sonuçlarına dayanarak, OIB-benzeri zenginleşmiş bir litosferik kaynaktan türedikleri ve bu kayaçların oluşumunda, fraksiyonel kristalleşmenin yanında, magma karışımı, dalma-batma ve/veya kabuksal kirlenme süreçlerinin de etkili olduğunu ifade etmiştir.

Beyhan ve Toy (2006), Çamlıdere (Ankara) Belediyesi jeotermal ön etüt çalışmalarında, Ahatlar köyü civarındaki fay sistemlerini inceleyerek, bölgenin ayrıntılı jeoloji ve rezistivite çalışmalarının yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Gümüş (2008), “Yeni bir doğa koruma kavramı: UNESCO Jeoparklar çerçevesinde Çamlıdere (Ankara) fosil orman fizibilite çalışması” adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Pelitçik köyünde yer alan fosil orman sahası “Jeoparklar Ağı (EGN)” jeopark ölçütleri bakımından değerlendirilmiştir. Buna göre, Çamlıdere fosil orman sahası taşlaşmış ağaçlarının boyut, yoğunluk ve korunmuşluk bakımından dünyanın önemli fosil ormanları arasında yer aldığını, fosil ormanın oluşumuna ışık tutabilecek jeolojik, jeomorfolojik ve kültürel özelliklerinden dolayı bilimsel, eğitim ve turistik değere sahip olduğunu açıklamıştır.

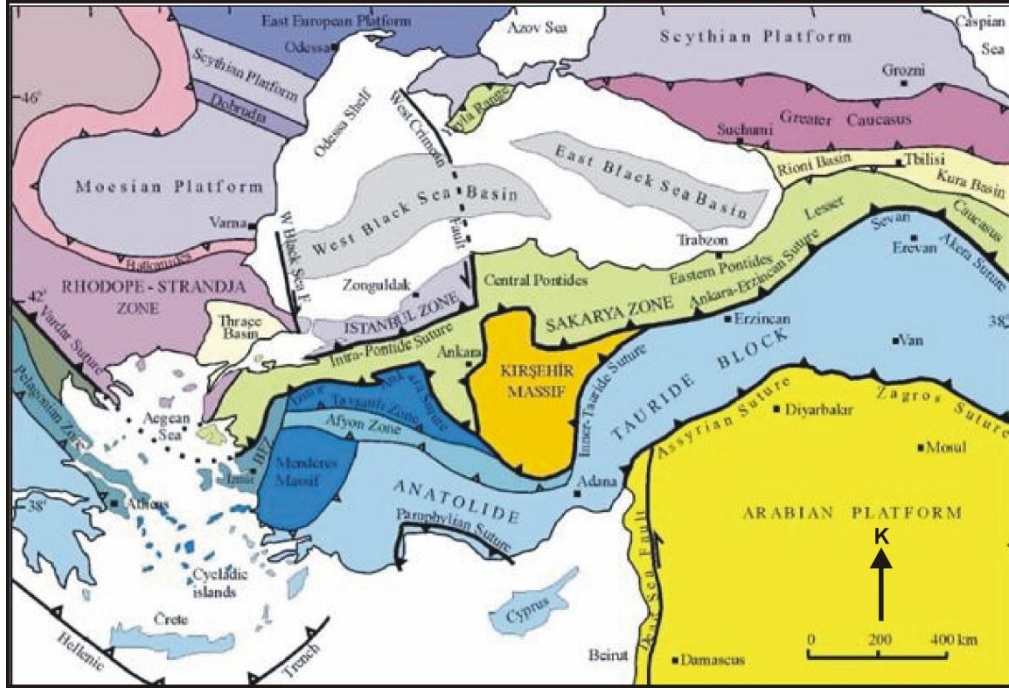
Kazancı (2010, 2012), Kızılcahamam-Çamlıdere jeopark projesi kapsamında yaklaşık 2000 km<sup>2</sup>'lik alanda, 23 ayrı jeosit tespit etmiştir. Bunlar belirli jeoyol ve jeoturlar halinde birbirine bağlı olup, ana kategorileri, jeolojik, jeomorfolojik yapı, doğa ve manzara varlığı, ulusal ve uluslararası düzeyde yer şekilleri, fosil alanları ve volkanik şekillerdir. Farklı jeosit duraklarında farklı avantajlara sahip jeolojik miras öğelerinin bulunduğu ifade edilmiştir.

## 5. BÖLGESEL TEKTONİK

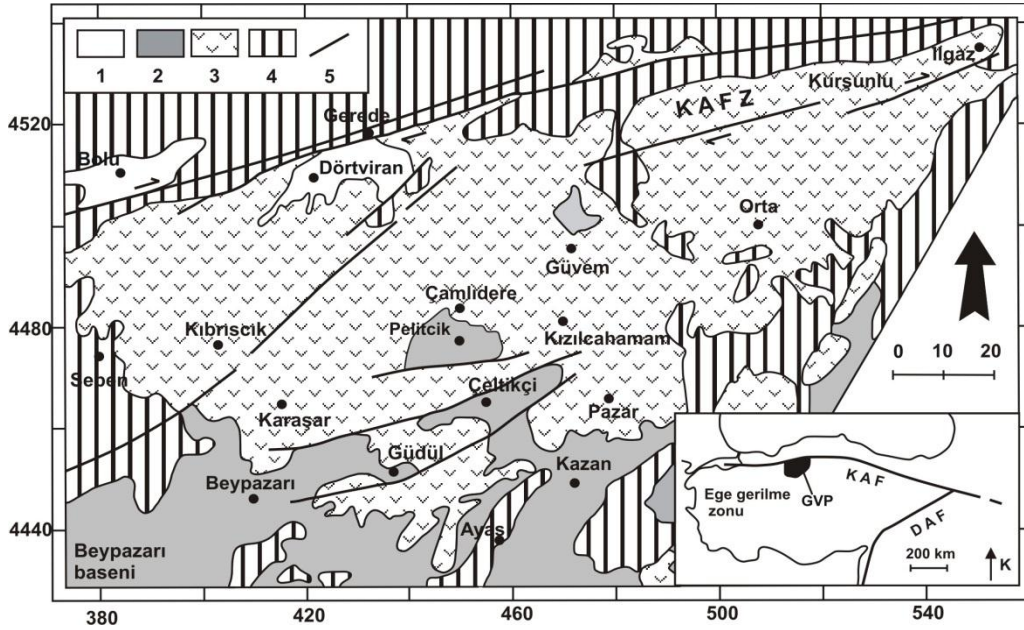
İnceleme alanı, Türkiye tektonik birliklerinden Anatolid kuşağında yer almaktadır (Ketin 1966). Anatolid-Torid platformunun kuzeye hareket etmesi ve Geç Kretase döneminde Rodop-Pontid (Istanbul-Zonguldak zonu, Şekil 5.1) platformunun altına dalmasıyla bu iki platform arasında bulunan Neotetis'in kuzey kolu kapanmaya başlamıştır (Okay ve Tüysüz 1999, Muratçay 2006). Bu kapanma sonucundaki çarpışma, Paleosen-Erken Eosen boyunca devam etmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981, Koçyiğit vd. 1995, Koçyiğit vd. 2003). Erken Miyosen'de Afrika plakasından ayrılan Arap plakası Orta-Üst Miyosen'de Avrasya plakasıyla çarpışmıştır (Şengör ve Yılmaz 1981). Bu çarpışma sonrası dönem, Anadolu'da Neotektonik dönemin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Çarpışma ile Doğu Anadolu'da kıtasal kabuk kısılp kalınlaşmış ve daha sonra Kuzey ve Doğu Anadolu faylarının oluşması ve Anadolu bloğunun batıya doğru kaçıışı gerçekleşmiştir (McKenzie 1972, Şengör ve Kidd 1979, Şengör 1980, Şengör ve Yılmaz 1981, Şengör vd. 1985, McKenzie ve O'Nions 1991). Neotektonik dönem, Miyosen boyunca yoğun volkanik olaylara maruz kalmıştır (Temel vd. 1998, Şengör ve Canitez 1982, Türkecan vd. 1991, Keller vd. 1992, Tankut vd. 1995, Wilson vd. 1997, Adıyaman vd. 2001, Schumacher vd. 2001). Orta Anadolu bölgesindeki Ankara ili kuzeybatısında bulunan çalışma bölgesi, Neotetis'in kuzey kolunun kapanması (yitmesi) ile oluşan İzmir-Ankara kenet kuşağındaki Galatya Volkanik Provensi içinde yer almaktadır (Şekil 5.2). Bu kenet kuşağı, kapanmayı izleyen evrede kuzeyde Sakarya bloğu ile güneyde Toros bloğu ve doğuda Kırşehir Masifi'nin çarpışması ile oluşmuştur. Bu çarpışma sonrası gelişen volkanizma Galatya Volkanik Provensi'ni oluşturmuştur (Türkecan vd. 1991, Muratçay 2006). Bölgedeki çarpışma sonucu oluşan sıkışmalı rejimin, açılma rejimine dönüşüp dönüşmediği tartışma konusudur. Wilson vd. (1997)'e göre, Miyosen boyunca litosferik bir incelmeye gerçekleşmiştir. Galatya Volkanik Provensi'ni oluşturan magmatizma, bu incelmeye sebep olan çarpışma sonrası, KAF zonu boyunca oluşan hareketlere bağlı gerilmeli tektonizma ile ilişkilidir. Fakat Barka (1992)'ye göre KAF'ın yaşının 5 My oluşu, burada Miyosen döneminde gerçekleşen volkanizmanın oluşumunda bu fayın hareketinin etkili olduğu fikrini çürütmekte (Muratçay 2006). Seyitoğlu vd. (1997) olup, Orta Anadolu'da Erken Miyosen'den Pliyosen'e kadar açılmalı rejimin hakim olduğunu

öne sürmektedir. Toprak vd. (1996) bölgede Erken-Orta Miyosen boyunca sıkışmalı, Üst Miyosen’de ise açılmalı tektonik rejimin hakim olduğunu düşünmektedir. Yürür vd. (2002) çalışma bölgesinin güneyinde yaptıkları çalışmada, Alt-Orta Miyosen yaşlı volkanizma ile eş yaşlı veya daha genç yaşlı normal faylar gözlemişlerdir. Buna göre bölgenin, Alt-Orta Miyosen’de KKD-GGB doğrultulu açılmalı bir tektonik rejimin etkisinde olduğunu ve bunun daha sonraki dönemlerde gelişen KAF ile uyumlu olmadığını ileri sürmüştür (Muratçay 2006).

İnceleme alanında yoğun şekilde görülen volkanik ürünler Miyosen’de başlayıp Kuzey Anadolu Fayı’nın (KAF) bölgeyi etkilemeye başladığı Pliyosen başına kadar geçen süreçte yörede meydana gelen Alp Orojenezi’nin genç evresine ait sıkışma rejiminde ortaya çıkan K-G genel doğrultulu açılma çatlaklarından yüzeye çıkmışlardır. Pliyosen sonu günümüz arasındaki süreçle aşınma, bozuşma ve örtülme nedeniyle ilksel çıkış yerleri ve lavların yayılım geometrisi bozulmuştur. Sonuç olarak, Miyosen-Pliyosen zaman aralığında sadece açılma çatlakları olmayıp kıvrım, bindirme ve doğrultu atımlı faylar da gelişmiştir. Orojenik hareketlerin geliştirdiği çatlak sistemleri aa tipinde Alt lav çıkışlarına da olanak sağlamıştır (Ünlü 1973).



Şekil 5.1 Türkiye'nin neotektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz 1999)



Şekil 5.2 Galatya Volkanik Bölgesinin (GVB) jeoloji haritası (Yürür vd. 2002'den alınmıştır).

Alt sağ kesimdeki harita GVB'nin Türkiye'deki konumunu göstermektedir. DAF: Doğu Anadolu Fayı. KAF; Kuzey Anadolu Fayı. 1) Pliyo-Kuvaterner çökeller; 2) Kıtasal Neojen çökelleri; 3) GVB'nin volkanik ve volkanoklastik kayalar; 4) Miyosen öncesi temel kayalar, 5) Faylar



## 6. JEOLOJİ

Çalışma alanı, Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal alanları olmak üzere iki bölüme ayrılmış, bu alanların jeolojisi aynı başlık altında incelenmiştir.

### 6.1 Stratigrafi

Çalışma alanının temelini Gerede güneydoğusunda yüzeyleyen Paleozoik yaşlı şist ve mermerler ile Permo-Triyas yaşlı kireçtaşları oluşturmaktadır (Erol 1954). Temel üzerine Mesozoyik (Üst Jura Alt Kretase) yaşlı kireçtaşları ile filiş fasiyesinde (Üst Kretase) çökelmiş birimler yer almaktadır. Temel kaya gruplarını oluşturan metamorfik şistler inceleme alanı dışında, Ayaş ve kuzeyindeki Bağlara vadisi ile Beypazarı ve Dutlu hamamı dolayında yüzlek vermektedir. Erişen ve Ünlü (1980)'nün yaptığı çalışmada, temel birimler Karagüney şisti olarak adlandırılmıştır. Mesozoyik yaşlı birimlerin ise çalışma alanı dışında Işık Dağı'nda ve Aktaş çevresinde olmak üzere, iki ayrı mostrada izlenmektedir (Erol 1954, Ünlü 1973). Temel kayaç grupları ile Üst Kretase filiş'i Miyosen yaşlı volkanik ürünler tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere sahasında Miyosen yaşlı volkanitler, Pliyosen yaşlı gölsel-akarsu çökelleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer almaktadır (Şekil 6.1).

Galatya Masifi olarak adlandırılan Köroğlu volkanik masifinin güneydoğu ucunda yer alan inceleme alanında derinlik kayaçları hiç görülmemesine karşın çok yaygın bir volkanik kayaç topluluğu yer almaktadır. Bu kayaçlar değişik zaman süreci boyunca oluşmuş farklı volkanizma ürünleridir. Bunların oluşum mekanizmasının farklı ve süreçlerinin değişik olması görünümünün de farklı olmasına neden olmuştur. Açılma çatlaklarından çıkan lavlarla, püskürmelerden oluşan volkanik kayaçlar inceleme alanında çok yaygındır. Kızılcahamam ve Çamlıdere çevresinde görülen volkanik kayaçlar yaşlıdan gence doğru açıklanacaktır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	ALT SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK(m)	SİMGE	LİTOLOJİK AÇIKLAMA	Fosil Topluluğu
SENOZOYİK	TERSİYER	NEOJEN	ÜST MİYOSEN	Pazar Formasyonu	600	Laa	L	Alüvyon, traverten, birikinti konisi, yamaç moloz vb.	Diskordans
								Çakıltı, kumtaşı, kıltaşı, kil, silt, marn	
								Üst lav domu veya az yayımlı asit volkanik kayalar	
								Nodüllü, çörtlü ve killi kireçtaşı	
Paleojen	EOSEN	Lüttesiye	Lüttesiye	Lüttesiye	250 - 400	Laa	L	Alt lav, yarık püskürmesi ürünü olup plato lavlarıdır	Diskordans Diskordans Tricalpoplierites densus Polyparapollerites Undalalus Planorbarius sp. Planoebis indet Diatomoa
								Kumtaşı, marn, tüf, tüfit, çakıltı, silttaşı	
								Aglomera, tüfit, lav breşi, volkanik kum, tüf	
								Ara lav, volkan patlaması ürünü olan andezitik bazaltik lavlar	
Paleojen	EOSEN	Lüttesiye	Lüttesiye	Lüttesiye	250 - 400	Laa	L	Lahar, kızgın bulut, tüfit, aglomera, volkanik elemanlı çakıltı	
								Üst lav domu veya az yayımlı asit volkanik kayalar	
								Çakıltı, kumtaşı, kıltaşı, kil, silt, marn	
								Alüvyon, traverten, birikinti konisi, yamaç moloz vb.	

Şekil 6.1 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (Ölçeksiz) (Ünlü ve Erişen 1980 yararlanarak)

## 6.1.1 Senozoyik

### 6.1.1.1 Alt lavlar (Bazik Plato Lavları)

İnceleme alanı dışında volkanik kayaların temelinde görülen en yaşlı birim, Bolu H29-a3 paftasında yer alan, Sarıkaya Formasyonu'na ait olan Oligosen yaşlı çakıltı ve kumtaşlarıdır. Volkanik etkinliğin kesin olarak başlama yaşını ortaya koyacak veriler henüz elde edilememiştir. Tez sahasının kuzeybatısında, Gerede-Bolu dolayında volkanik faaliyetlerin Eosen'de başladığı tahmin edilmektedir (Tatlı 1975). İnceleme alanına yayılan ilk volkanik akıntılar Alt lav (Laa) olarak adlandırılmıştır (EK 1).

Bunlar bazik plato lav akıntıları olarak tanımlanmıştır (Erişen ve Ünlü 1980). Lavlar, içerdikleri gazların kaçmasını önleyecek kadar çabuk katılmış ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Böylece cürufsu moloz yığınları lavların etrafına yığılmış ve breş görüntüsü kazandırmıştır (Erişen ve Ünlü 1980).

Bu lavlar Kızılcahamam dolayında ve Seyhamam'dan geçen Hamam Deresi'nin doğu yamacında kuzeyden güneye bir şerit şeklinde gözlenmektedir (EK 1). Alt lavların nitelik, kalınlık ve yayılım genişliği bir bazalt platosu ya da kalkan volkanını düşündürmektedir. Plato bazaltlar 250-400 m kalınlıkta ve soğuma çatlaklı lavlardır.

Kızılcaören köyü güneyinde, aa lavların alt düzeylerinde kirli sarı kiremit rengi, ince tabakalı ve içinde çok az cüruf bulunan tüfler izlenmektedir. Bu tüfler Kızılcahamam'a doğru kalınlaşmaktadır. Bunların kalınlığı 15 m dolayında olup, 4 cm'yi bulan lavlar tortul nitelikli volkanik bir breş olarak tanımlanabilir. Aa lavları Kızılcaören kuzeyinde ve Soğuk suyun batısında aglomeralar tarafından örtülmüştür.

Aa lavları içinde siyah renkli, sert ve kompakt, kuvarslı lavlar yer almaktadır. Aa lavların alt dokunağı tez alanında görülmemektedir. Ancak Kızılcahamam'ın hemen kuzeyinde yapılan sıcak su sondajında bu birimin altında da volkanik etkinliğin devam ettiği ve andezitik lav, aglomera ve tüflerin yer aldığı görülmüştür (Şekil 6.2). Aa lavlarının bölgesel korelasyonla, yaşlarının Paleosen-Lütesiyen arası olduğu saptanmıştır (Keskin 1974).

Kızılcahamam Özdere Mahallesi'nin güneyinden alınan kayaç örneğinde, fazla miktarda küresel ve elipsoyidal gaz boşlukları izlenmiştir. Porfirik doku içerisinde az miktarda izlenen feno ve mikro fenokristaller andezin-labrador cinsi plajiolklazdır. Hamur maddesinde demiroksitle boyanmış camsı materyal içinde az miktarda plajiolklaz mikroliti izlenmiş olup kayaç, bazalt cürufu olarak adlandırılmıştır.

Oğlakçı köyünün batısında bulunan Yukarı Olgunbaş Tepe'den alınan kayaç örneğinde halopilitik porfirik doku görülmüştür. Fenokristaller hipidiomorf oluşumlu andezin

labrador cinsi plajiolaz, daha az miktarda kısmen kırılanmış monoklinik piroksen olup, hamur maddesi mikrolitler halinde plajiolaz içeren camsı materyal ve opak mineral içermektedir. Kayaç boşluklu bir dokuya sahip olup, bazalt olarak adlandırılmıştır.



Şekil 6.2 Kızılcahamam-Güvem yolunda İndere vadisindeki bazik plato lavları ve üzerine gelen tüfler

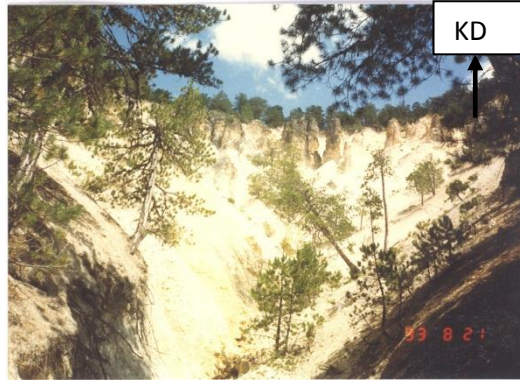
#### 6.1.1.2 Ara lavlar

Ara lavlar çatlak püskürmeleri ile oluşan Alt lavların aksine tek kökenli ve tek merkezli volkanlardan püsküren ürünlerden oluşmaktadır. Bu püskürmelerin çıkış merkezleri tez sahasının kuzey batısındaki Aluç, Binkoz, Karalar ve Tekke volkan konileridir (Öngör 1977). Bu merkezlerden çıkan ürünlerle oluşan ara lavlar volkanik süreç boyunca piroklastiklerden ve lav akıntılarından ibarettir. Bu ürünler birçok yerde birbirleriyle grift olduğundan farklı birimler olarak haritalandırılmıştır. Pazar Formasyonu ile grift durumda olan ara lavlar Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinde çok geniş bir alanı kaplamaktadır (EK 1; Şekil 6.1). Ara lavların volkanik sürece uygun olarak ayrılabilirdiği birimler aşağıda açıklanmıştır.

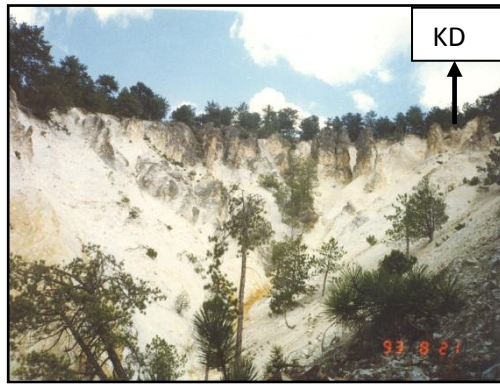
##### 6.1.1.2.1 Piroklastikler (Tüf, Breş, Lahar, Aglomera)

Köroğlu volkanizmasının ilk püskürme ürünü olan piroklastik malzemeler önce tıkalı bulunan bacanın parçalanmasıyla oluşmaya başlamıştır (Tatlı 1975). Bunun sonucu

olarak farklı boyutlardaki malzemeler ağırlığı ile orantılı olarak volkan bacasının uzak alanlarına çökelmiştir. Bunlar tüf, tüfit, lahar, volkanik breş, aglomera, kızgın çığ ve kızgın buluttan oluşmaktadır. Volkanın yakın çevresinde birikmiş olan laharlar kötü boylanmış, kum boyutuna kadar değişen taneleri içermekte ve köşelidirler. Bu birimin Kızılcahamam içinde tipik örneklerine rastlanmaktadır. Piroklastiklerin Kızılcahamam kuzeyi ve güneyinde, Kemalpaşa Mahallesi doğusunda, Çorak Çayı ile Sey Çayı arasında ve Sey Çayı'nın doğu kesiminde oldukça geniş bir alanda yer aldıkları tespit edilmiştir. Bunların patlama sonucu 32 mm'den küçük tanelerle yüklü bulutlardan oluştuğu ve karada veya suda depolanmış volkanik malzeme oldukları bilinmektedir. Piroklastikler boyutlarına göre, muhtelif tüf ürünleri (kil tüfü, süngertaşı tüfü, kum tüfü), breş ve aglomeralardır. Ayrıca, birimin yumuşak olan tüflü kesimleri fiziksel şartlarda aşınmış ve farklı aşınma sonucu peri bacaları gibi yapı şekilleri gelişmiştir (Şekil 6.3 ve 6.4).



Şekil 6.3 Kızılcahamam-Acısü Dere güneyindeki Akıyar Tepe'nin batısında tüflerin aşınmasıyla oluşan peri bacaları



Şekil 6.4 Kızılcahamam Yayla Deresi vadi yamacında tüflerde aşınmayla oluşmuş peri bacaları

Birimin kalınlığı 150-200 m arasında olup, gri, kül rengi, mor, kırmızı ve kahve renklerde. Birim yer yer bozuşmuş lav parçaları içerir ve kısa aralıklarla yanal ve dikey değişimler göstermektedir. Lav parçalarının çoğunlukla andezit, nadiren de bazalt oldukları tespit edilmiştir. Birimin farklı istiflenmeler sunması volkanizmanın şiddetinin değişmesine bağlanmıştır. Lavlar dışında, püskürme ürünü olarak volkanik kayaç parçaları da bulunmaktadır. Piroklastik breşlerde boylanma ve derecelenme gözlenmemiştir. Breşlerde 20 cm'ye kadar ulaşan lav parçaları ve bunları birleştiren toz boyutunda ufalanmış cüruf kırıntıları bulunmaktadır. Aglomeralar kısmen taşındığı için parçacıkları az da olsa yuvarlaklaşmış, hamur malzemesine volkanitler dışında sedimanlar da katılmıştır. Aglomeralar, Gürcü ve Hamam Dere doğusunda alt lavların üzerinde gözlenmektedir. Piroklastikler haritada "Pt" olarak işaretlenmiştir (EK 1; Şekil 6.1). Piroklastiklerde yapılan tanımlamalara göre; lapilli tuf, killeşmiş ve demir hidroksitle boyanmış tuf, kristal litik tuf ve killeşmiş tuf özelliklerinde oldukları anlaşılmıştır.

#### **6.1.1.2.2 Ayrılmamış lav, tuf, aglomera**

Volkanik sürecin ilerlemesi sonucu patlamalarla birlikte lav akıntıları da başlamıştır. Bunun sonucu olarak, lav ara katkılı olarak piroklastik ürünlerin karışımının meydana getirdiği depolanmalar oluşmuştur. Birim, Kızılcamaham Çorak Çayı doğusunda, Gölbeşin Tepe, Acısubaşı Tepe, Dede Tepe ve doğusu ile Erenler Tepe ve güneyinde Devret Doruğu Tepeleri ile Karatepe doğusunda kalan alanda geniş bir alana yayılmıştır. Ayrıca, birimin Derebardakçılar doğusu, Örenköy ve Çamlıdere kuzeyinde tipik yüzlekler verdiği tespit edilmiştir. Birimin, iri volkanik blok parçaları ve çakıllardan oluşan tanelerin lav ve tüfle tutturulmasından oluşmuştur (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6). Piroklastikler içindeki lav akıntıları andezitiktir. Lavlar genellikle altere olup, tüfler ise killeşmiştir. Aglomeraların derelerle aşındırılmış olduğu bazı yerlerde, oldukça dik ve sarp yamaçlar oluşmuştur. Aglomeralar tüflerin üzerinde, ara lavların üst seviyeleriyle yanal geçişli ve aynı zamanda da üzerindedir. Birim Kızılcamaham'ın doğusunda ve kuzeyinde Pazar Formasyonu ile yanal geçişlidir. Haritalamada Pt+L sembolü ile gösterilmiştir (EK 1 ve Şekil 6.1).



Şekil 6.5 Acısubaşı Tepe mevkisinde görülen ayrılmamış lav, tuf ve aglomeralar



Şekil 6.6 Çamlıdere-Avdan köyü yol boyunca gözlenen altere olmuş piroklastik lav akıntıları

### 6.1.1.2.3 Andezitik-bazaltik lav

Volkanların patlaması sonucu çıkan ilk ürünlerden sonra büyük ölçüde lav akıntıları başlamıştır. Lavlar genellikle andezitik bileşimli olup, kısmen de bazalt akıntıları şeklinde olduğu görülmüştür. Kızılcahamam doğusunda yerel bacalardan çıkan orta viskoziteli ara lavlar aa lavı oluşturacak kadar geniş yayılım göstermezler (Tatlı 1975). Kızılcahamam bölgesinde hızlı soğumadan kaynaklı altıgen prizma şeklinde soğuma

çatlakları içeren bazaltik lav akışları gözlenmektedir (Şekil 6.7). Bunlar, Çamlıdere kuzeyi ile Kızılcahamam'ın İsmetpaşa Mahallesi dolayında yaygındır. Çalışma alanının kuzey batısındaki Aluç, Binkoz, Karalar ve Teke lav akıntıları ara lav çıkış merkezlerini oluşturmaktadır (Öngör 1977). Çeşitli patlamaların ürünü olan bu ara lavlar çeşitli bazalt ve andezit lavları içermektedir (Keskin 1974). Andezitlerin süreksizlik düzlemleri boyunca hidrotermal alterasyona uğradığı, kaolinleşmiş ve limonitleşmiş oldukları tespit edilmiştir (Şekil 6.8-6.10).



Şekil 6.7 Kızılcahamam-Güvem kuzeyi Kadioğlu mevkiinde görülen beşgen ve altıgen bazalt sütunları



Şekil 6.8 Çamlıdere Tatlak Çay Deresi ve üzerindeki lavda gelişen oyma yapılar





Şekil 6.9 Kızılcamaham-Ağsak köyü yolu civarında kaolinleşmiş andezitler



Şekil 6.10 Çamlıdere-Ahatlar sıcak su dolayında gözlenen andezitlerde kırık hatları boyunca oluşan alterasyon

Bazaltlar gaz boşluklu, bazen cürufumsu özellikte olup, birçok noktadan çıkarak geniş bir alana yayılmıştır. Ara lavların, lavın çıkış merkezine göre litolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Ara lavlar Kızılcamaham ve Çamlıdere'nin her yerinde geniş bir yayılım sunarlar. Ara lavlar tez sahasının doğusundaki Pazar Formasyonu ve kuzeyindeki diatomeli killer ile ara tabakalıdır (Şekil 6.11 ve 6.12). Killerin içerisinde bulunan fosillere göre birimin yaşı Miyosen-Pliyosen olarak tespit edilmiştir (Erişen ve Ünlü 1980). Andezitik ve bazaltik lavların kalınlıkları çok değişken olup, 500 metreye kadar ulaşmaktadır (Erişen ve Ünlü 1980).



Şekil 6.11 Güvem kuzeyinde Beşkonak köyü dolayında diyatomit ve tüflerin görünümü



Şekil 6.12 Güvem kuzeyinde kiltaşlarındaki yaprak fosili oluşumları

### 6.1.1.3 Üst lavlar (Asidik lav ve domlar)

Asidik lav ve domlardan oluşan üst lav birimi Kızılcamaham'ın kuzeyindeki Acısu Dere'nin kuzeydoğu ve kuzeybatısında görülmektedir. Birim Çamlıdere güneyi ve güneybatısında da yüzeyler (Şekil 6.13-6.14). Asit lav çıkışları viskozitelerinin yüksekliğinden dolayı geniş alanlara yayılmayıp, çıktıkları çatlak ve domların etrafında konumlanmıştır. Üst lavlar çok kökenli, tek merkezli koniler, domlar ve bunlardan türeme olan son lav akıntılarıdır. Üst lavlar oldukça dağılğan olup, aşınma yüzeyleri tuf görünümündedir. Makroskopik olarak ayrılabilen birimler riyolit ve trakitlerdir.



Şekil 6.13 Kızılcahamam Acısu Dere dolayında görülen soğan kabuğu biçimli ayrışmalı asitik lav



Şekil 6.14 Kızılcahamam KD'sında alterasyona uğramış lav ve tüfler

**Riyolit:** Bunlar beyaz gri, sarımsı, kırmızı renklidirler. Çizgili yapıları ile dikkat çekerler. Riyolitler Kızılcahamam'ın kuzey doğusunda yer alan Çukurviran ve Yukarı Mahalle, Kışıkayla Boğazı güneyi, Küçük Karadağ, Akçakise ve Canluzir' de yaygınlık göstermektedir. Acısu Dere minerali suyu civarında gözlenen riyolitler çok alteredir. Üst Miyosen-Pliyosen aralığında püskürmüş olan riyolitler çok küçük mostra gösterdiğinden birçoğu haritalanmamıştır.

**Trakit:** Trakitler tez sahasında açık ve koyu gri, bazen de sarımtıraktır. Trakitler bazen riyolitlerle geçişlidir. Trakitler K-G doğrultusunu uzanan, Özbekler köyü ve güneyindeki bir fay hattı boyunca çıkmışlardır. Çalışma sahasında Alt Tersiyer'e kadar

uzan volkanik etkinliğin ilk döneminde, yüksek su içerikli ve yüksek oksijen basıncında farklılaşmış kalkalkali bir magma, olası olarak, sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay zonu'nun etkisiyle oluşan verev faylar boyunca boşalarak, küçük bir platoyu oluşturmuştur (Öngür 1976).

Bu plato çok sayıdaki aa tipindeki lav akıntılarıyla, penetlenleşmiş kristalen veya Mesozoyik bir temel üzerine yerleşmiştir (Erişen ve Ünlü 1980). Ara lavlar aynı magmanın yeni türevi olarak kurulmuş ve yapısal olarak değişkenleşmiştir. Orta Miyosen göl çökellerinin tortullaşmasını daha küçük oksijen basıncında farklılaşan fakat yine kalkalkali nitelikte bir magmanın genç lav ve piroklastiklerinin oluştuğu bir süreç izlemektedir (Erişen ve Ünlü 1980).

#### **6.1.1.4 Çökel kayaçlar**

Kızılcahamam ve Çamlıdere dolayında volkanik birimlere göre az yaygın olan Miyosen ve Pliyosen sedimenter birimleri ile Kuvaterner'in genç oluşukları yer almaktadır (EK 1 ve Şekil 6.1).

##### **6.1.1.4.1 Pazar Formasyonu**

Birim, Kızılcahamam güneyindeki Pazar bucağı çevresinde tipik görünümü nedeniyle Pazar Formasyonu adını almıştır. Birim Çamlıdere batısında, Bolu H28-b2 paftasında yaygın olarak yüzeylenir. Sarıkavak köyünün Çamlı Tepe sırtlarında, Muzrupağacın köyünün güneybatısında, Çakmacık ve Küçük Çakmacık Tepeleri dolaylarında geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 6.15-6.17). Kızılcahamam'ın güneydoğusundaki Kırköy çevresinde Miyosene yaşlı Pazar Formasyonu'na ait küçük bir mostra bulunmaktadır. Bölgesel çalışmalarda tanımı yapılmış olan Pazar Formasyonu, boz, beyaz, sarı, siyah, kahve renklerde, ince kumdan çakıla değişen kırıntı veya arenitik kireçtaşı dokulu, gevşek tutturulmuş kireç çimentolu, oldukça sert, belirgin ince, orta, kalın tabakalı, nödüllü ve killi kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, tüfit, kiltası, marn, silttaşı ve



Şekil 6.15 Çamlıdere-Sarıkavak köyü dolayındaki beyaz tüfler



Şekil 6.16 Çamlıdere –Muzrupağacın köyü dolayındaki volkano-sedimenter seri



Şekil 6.17 Çamlıdere Sarıkavak köyü Eşik Deresi vadisinde aglomeralar

aglomeradan oluşmaktadır. Bu birimler kendi içinde ve lavlarla yanal ve düşey yönde geçişler göstermektedir. Bölgesel değerlendirmeye göre, inceleme alanında yüzeylenen Pazar Formasyonu içinde lavların etkinliği artmakta, çoğu yerde hakim duruma geçmektedir. Lavlar dışında piroklastikler de Pazar Formasyonu içinde yer almaktadır. Çamlıdere, Eldelek çevresinde tüfit tabakaları arasında 1 m kalınlığına ulaşan silis tabakaları yer almaktadır (Öngör 1976).

Petrografik analizlere göre silisler volkanik cam, obsidiyen ve altere tuf olarak adlanmıştır (Erşen ve Ünlü 1980, Öngör 1976, 1977). Erişen ve Ünlü'ye göre (1980), Pazar Formasyonu'nun Pazar çevresinde volkaniklerle birlikte tahmini kalınlığı 600 m olup, Kızılcahamam çevresinde 100 m, Çamlıdere güney batısında ise biraz daha artmaktadır. Tez sahasında Pazar Formasyonu içinde bu formasyonun kesin yaşını saptayacak bir fosil topluluğuna rastlanmamıştır. Ancak, bazı yerlerde kumtaşları içinde bulunan taşınmış fosiller serinin Paleosen ve Eosen'den genç olduğunu göstermektedir (Erşen ve Ünlü 1980).

Pazar Formasyonu haritada "Tp" ile gösterilmiştir. Formasyon içinde ayrılabilen tuf, tüfit, volkanik breş, aglomera, kızgın bulut gibi piroklastik çökeller ise "Pt" ile gösterilmiştir (EK 1).

#### **6.1.1.4.2 Sinap Formasyonu**

Sinap Formasyonu Pliyosen yaşlı olup, Pazar Formasyonu'nun üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 6.1). Sinap Formasyonu Bolu H28-b2 ve b1 paftaların sınırında, Çamlıdere Pelitçik Neojen havzasında (Erişen ve Ünlü 1980), Pelitçik ve Tatlak köyleri arasında gözlenmektedir (EK 1). Sinap Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kilttaşlarından oluşmaktadır. Birim yataya yakın ve genellikle çapraz tabakalanmalıdır. Formasyon pembe, açık kırmızı-bordo ve kirli beyaz renklerde gözlenmiştir. Formasyon haritada "Ts" olarak işaretlenmiştir (EK 1). Formasyonun kalınlığı 300 m dolayındadır. Bu formasyon Özgür vd. (1999) tarafından Pelitçik Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

## 6.1.2 Kuvaterner

İnceleme alanındaki Kuvaterner birimleri eski alüvyon, traverten, yamaç molozları, birikinti konileri ve yeni alüvyon ile temsil edilmektedir (EK 1).

### 6.1.2.1 Alüvyon

Jeoloji haritasında eski ve yeni alüvyon birlikte haritalanmıştır (EK 1). Eski alüvyon Kemalpaşa ile Kızılcahamam arasında, Koca Çay'ın yükseklerde bıraktığı çakıllı, kumlu ve killi kırıntılardan oluşan taraçalar şeklindedir (Şekil 6.18). Bu taraçalar Koca Çay'ın batısında yer almaktadır. Çayın doğusunda bu taraçaların görülmemeleri, Koca Çay'ın Kemalpaşa ile Kızılcahamam arasında doğruya doğru erozyonla yer değiştirdiğinin bir göstergesidir. Taraçalar tarım için uygun alanları oluşturmaktadır.

Yeni alüvyon ise, Kızılcahamam doğusunda Koca Çay vadisini dolduran alüvyon malzeme, blok, çakıl, kum, silt, kil boyutu ve genellikle volkanik kayaç kırıntılarından oluşmaktadır. Çorak ve Sey Çay'ları ovaya malzeme getiren en önemli iki akarsudur. Eğrekkaya barajından güneybatıya doğru genişleyen, Sey Çayı'nın çakıl ve kum boyutunda taşıdığı volkanik kırıntılarla alüvyon yatağı şekillenmiştir. Kızılcahamam yöresinde 300-500 m genişliğine ulaşan Koca Çay alüvyonu, kuzeye doğru, Devret Dere'nin döküldüğü yerde ani olarak daralır ve genişliği 100-150 m'ye düşer. Çamlıdere'nin Tatlak ve Peçenek bölgesinde Bayındır/Çamlıdere barajını besleyen ana akarsuların vadi tabanlarında yeni alüvyonlar izlenmektedir (Şekil 6.19). Özellikle vadilerin baraja yaklaştıkça tabanlarının genişlemesiyle alüvyonlar ortaya çıkmaktadır. Alüvyonlar haritada "Qal" olarak işaretlenmiştir (EK 1).



Şekil 6.18 Çamlıdere alanında görülen taraçalar (K'ye bakış)



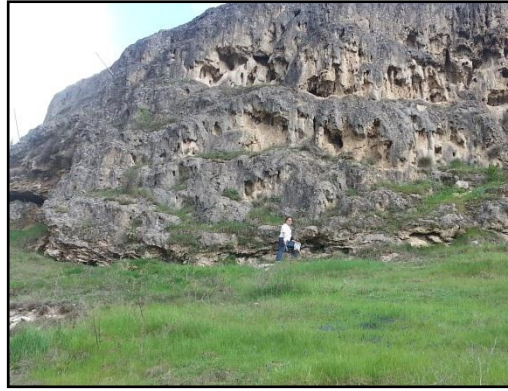
Şekil 6.19 Akarsuların oluşturduğu çökeller (K'ye bakış)

### 6.1.2.2 Traverten (Qtr)

İnceleme alanında travertenlerin en yaygın olarak gözlendiği yer Seyhamam Kaplıcası ve Acısu Dere çevresidir. Acısubaşı Tepesi'nin kuzeyindeki faydan çıkan sıcak ve mineralli sular travertenler oluşturmuştur (Şekil 6.20). Bu oluşum halen devam etmekte olup, kalınlığı 10 m, eni ve boyu 60-70 m dolayındadır. Seyhamam dolayındaki travertenleri oluşturan sıcak ve mineralli sular ise Hamam Dere vadisinden BKB-DGD doğrultulu fay boyunca yüzeye çıkmaktadır (Şekil 6.21). Kızılhamam'ın 12 km doğusunda, Işık Dağı'nda ve 30 km kuzeybatısında Kızılcahamam-Gerede yolu üzerinde Mesozoyik yaşlı kireçtaşları volkanik kayaların altında yer almaktadır.



Tektonik hareketler sonucu eklemli ve bol kırıklı bir yapı kazanmış bu kireçtaşları Acısu Dere ve Seyhamam'daki sıcak suların hazne kayacı olabilecek niteliklere sahiptirler (Erişen ve Ünlü 1980). Bu nedenle, Seyhamam'daki traverten oluşumu bu kireçtaşının aynı bölgede, volkaniklerin altında bulunabileceği ihtimalini göstermektedir. Travertenler, Seyhamam civarında yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Travertenlerin petrografik incelemesinde, boşluklu doku görülmekte ve bazı düzeylerde mikro ve mezokristalin kalsitler demir hidroksitle boyanmıştır.



Şekil 6.20 Kızılcahamam, Acısubaşı Tepe kuzeyindeki travertenler



Şekil 6.21 Kızılcahamam, Seyhamam dolayındaki travertenler

### 6.1.2.3 Yamaç moluzu

İnceleme alanında genellikle dik yamaçların eteğinde yer alan yamaç molozları, farklı boydaki volkanik kayaç kırıntılarında oluşmuştur. Yamaç molozları genellikle, bazalt,

andezit, obsidiyen (riyolit, riyodasit gibi) parçaları ve bloklarından meydana gelmektedir. Yamaç molozu haritada “Qym” ile işaretlenmiştir (EK 1).

#### **6.1.2.4 Birikinti konisi**

Birikinti konileri tez alanındaki dik meyilli yamaçlardan koparak derelerle taşınan ve dere ağzlarında silt ve kum boyutundan, köşeli bloklara kadar muhtelif büyüklükteki kırıntılardan meydana gelmektedir. Birikinti konileri haritada “Qbk” ile işaretlenmişlerdir.

### **6.2 Yapısal Jeoloji**

İnceleme alanı Türkiye'nin tektonik birliklerinden Alpin hareketlerinin yoğun etkisi altında kalmıştır. Bölgede yapısal şekillerden özellikle genç Tersiyer'e ilişkin olanlar gözlenmektedir. Yapısal unsurların gelişimi volkanik etkinliğe eşlik ettiği gibi çökme havzalarını da şekillendirmiştir. Senozoyik yaşlı birimler arasında uyumsuzluklar izlenmektedir. Büyük bir bölümünün volkanik kayalarla örtülü olması nedeniyle tektonik hatların oldukça zor belirlenebildiği çalışma alanında gözlenen başlıca yapısal öğeler aşağıda sunulmuştur.

#### **6.2.1 Faylar**

Çalışma alanı, Galatya Volkanik Provensi içinde Anadolu levhasının orta-üst kesimlerinde yer almakta olup, neotektonik rejim değişikliğinden etkilenmiş bir bölgedir.

Anadoludaki faylar, sıkışma rejiminin bir ürünüdür. Sıkışma ile alanda genel olarak KD-GB gidişli doğrultu atımlı sol yönlü, KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı sağ yönlü ve normal bileşeni olan faylar ile bu fayları K-G uzanımlı dik veya dike yakın kesen daha genç olan bir fay sistemi bulunmaktadır. İkinci fay sisteminde, fayların uzanımları daha

kısa ve küçük boyuttadır (Şekil 6.22 - 6.23). Bu normal fayların maksimum sıkışma doğrultusunda ve bu sıkışmaya dik yönde gelişen genleşmeye bağlı açılma yapıları olduğu düşünülmektedir (Burçak 1999).

Tez alanında sıcak ve mineralli suların çıkışını sağlayan fay kuşaklarında milonitleşme, hidrotermal alterasyon ve travertenlere rastlanmaktadır. Alanda gözlenen faylar Pliyosen yaşlı Sinap Formasyonu'nu da etkilemektedir. Mesozoyik'te Kimmeritik fazı ile başlayan Alpin hareketler etkinliklerini Pliyosen sonrasına kadar devam ettirmiş ve bölgeye bugünkü topografyasını ve yapısını kazandırmışlardır (Erişen ve Ünlü 1980). Alandaki jeotermal sistemden beslenen kaynaklar, genellikle jeotermal akışkanın yüzeye kolay ulaşabildiği, bu fayların makaslama zonlarında yoğunlaşmıştır (EK 1).

#### **6.2.1.1 Kızılcahamam Kaplıca Fayları**

Bölgede Alpin Orojenezi ile oluşmuş K-G, D-B, KB-GD, KD-GB doğrultulu faylar yer almaktadır. Bu faylar içinde jeotermal sistem bakımından en önemli olanı, Kızılcahamam şehir merkezinden geçen Kızılcahamam Fayıdır. Bu fay D-B doğrultusunda olup, gözlenebilen uzunluğu 2250 m'dir (Gevrek 2000). Kızılcahamam fayı jeotermal sistemin boşalım zonunu oluşturmaktadır.

#### **6.2.1.2 Acısu Dere Fayı**

Acısu Dere içindeki sıcak ve mineralli sular, faylar ve etkili çatlaklar boyunca derinlerden yükselerek yeryüzüne çıkmaktadır. Kızılcahamam Çamlık mineralli suların çıkışını Acısubaşı Tepe kuzeyindeki D-KD, B-GB doğrultulu birbirine paralel faylar ve etkili çatlaklar sağlamıştır. Bu faylardan en belirginini, Acısu Dere Çamlık mineralli su fabrikasının kuzey doğusundaki dere içinde ve fabrikaya 600 m kadar uzaklıkta tüfler içinde yer almaktadır. Deredeki kaynak boşalım suyu 4 - 5 m düşüslü bir şelale oluşturmaktadır. Şelalenin 100 m kadar güneyinde ve derenin sol yamacında boyu 25-30 m, eni 3-4 m olan ve andezitik tüfleri kesen bir bazalt daykı tespit edilmiştir. Acısu

Dere amlık mineralli su kaynağının 30 m batı-güneybatısında ise bir sıcak ve mineralli su kaynağı bulunmaktadır (EK 1).



Şekil 6.22 Volkanik kayalarda sık gözlenen tali fayların Kızılcahamam Güvem yeni yol yarmasındaki görünümü



Şekil 6.23 Bazaltlarda çatlakların görünümü

### 6.2.1.3 Seyhamam Kaplıca Fayı

Kızılcahamam'ın kuzeyinde Güvem'den başlayarak K-G doğrultulu olarak gelişmiş ve yaklaşık 13 km uzunluğunda sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay yer almaktadır. Seyhamam sıcak ve mineralli suyu, Hamam Deresi vadisinden BKB-DGD doğrultulu fay boyunca yüzeye çıkmaktadır. Ayrıca, Hamam Deresi boyunca uzanan K-G

doğrultulu düşey atımlı fay da burada bir süreksizlik kuşağı oluşturmaktadır. Kaplıca suyunun çıkmasına sebep olan fay alüvyonla örtülüdür (EK 1).

#### **6.2.1.4 Çamlıdere Ahatlar Fayı**

Neotektonik dönemin ikinci evresi sayılan Pliyosen birimlerinin giderek D-B doğrultusunda yön değiştirdiği; bu evrede Kuzey Anadolu Fayı'nın harekete geçtiği, buna bağlı olarak Çamlıdere faylarının sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu harekete eşlik ederek, yön değiştirip gençleştiğinin, fay düzlemlerinde izlenen ayna çiziklerine ait göstergeleri Özgür vd. (1999) tarafından tespit edilmiştir.

Çamlıdere havzasında tabakaların doğrultu ve eğimleri genel olarak KB ve GD doğrultulu olup, eğimleri 20°-25° civarındadır (Turgut 1978). Yürür vd. (2002) bu fayların yaşını volkanizmayla eşzamanlı olarak vermektedirler. Çamlıdere ilçe merkezinin batısında ve ilçe merkezine 10 km mesafede olan Ahatlar köyü Subaşı mevkiinde sıcak su kaynağı bulunmaktadır. İnceleme alanı tektonizma nedeniyle yoğun olarak fayların etkisiyle şekillenmiştir. Bu fayların en önemlisi Çay Deresi boyunca ve Kaya Tepe kuzey yamaçları boyunca KB-GD doğrultulu olan'dır (Beyhan ve Toy 2006). Çamlıdere Ahatlar dolaylarında yer alan diğer faylar Beyhan ve Toy (2006) tarafından uydu görüntüleri ve jeolojik kriterler kullanarak tespit edilmiştir. Sıcak su kaynağı Ahatlar köyü güneyinde ve yaklaşık K45°B doğrultulu ve eğim atımlı fay ile yaklaşık D-B doğrultulu Ahatlar Deresi içinden geçen bir fayın kesim noktasından çıkmaktadır (EK 1).

#### **6.2.1.5 Çamlıdere Atça Fayı**

Volkanik kayalarda, özellikle lavlarda çatlaklı yapı çok iyi gelişmiştir. Ancak faylı yapı volkanik arazide doğal sarplıkların varlığından, tuf ve tüfitlerde aşınımın kolay olması ve basınç izinin çabuk silinmesinden dolayı her zaman belirgin olarak gözlenmez. Çamlıdere'nin 6.5 km B-KB'sında bulunan Atça köyünün 500 m güneyinde ve Pusak Tepe'nin doğusunda bulunan bu fay, kuzey-güney doğrultusunda uzanmakta olup,

Çamlıdere Atça mineralli suyunun çıkışını sağlamaktadır. Fayın varlığı jeofizik rezistivite ölçümleri ile de kanıtlanmıştır (Canik 2004).

#### **6.2.1.6 Çamlıdere Muzrupağacın Fayı**

Çamlıdere'nin yaklaşık 8 km güneybatısında bulunan Muzrupağacın köyünde, Ahatlar kaynağı ile aynı fay sistemine bağlı ve bu fayı kesen KD-GB doğrultulu bir fay sistemi yer almaktadır (EK 1). Muzrupağacın sıcak su kaynağı bu fay sistemi ile yeryüzüne ulaşmaktadır.

Bu faylara ilave olarak, D-B yönlü sıkışmanın türevi K-G yönlü gerilmelere bağlı olarak Çamlıdere güneyinde Yılanlı köyünden Sarıkavak, Doğanlar ve Tatlak köyüne doğru uzanan sol yönlü doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır (Taka vd. 2001, Özgür vd. 1999).

Çamlıdere bölgesinin, tektonik olarak iki ayrı doğrultuda gelişmiş fay sistemlerinin makaslama zonunda yer aldığı görülmektedir. Yürür vd. (2002)'e göre bu faylar volkanizmayla eş zamanlı olarak oluşmuştur. Ayrıca, Çamlıdere güney çevresi büyük bir çanak şeklinde olup, buradan D-B uzanımlı fayların eğimlerine bağlı olarak monoklinal sırtlar ve yer yer de kırgıbayır şekilleri izlenmektedir (Öngür 1976).

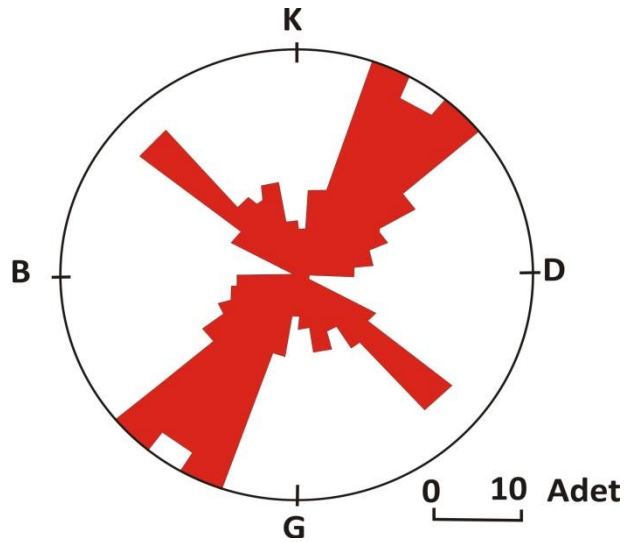
Çamlıdere'nin kuzeyinde Bolu G28-C3 ve C4 paftalarında; Yukarıovacık ve Aşağıovacık yerleşim merkezleri içinde bulunan ve volkano-tektonik süreçlere bağlı olarak oluşmuş Ovacık kalderesi yer almaktadır. Ovacık kalderesi çökme türünde bir kalderadır (Özgür vd. 1999). Oval şekilli olan bu kaldera kısmen aşınmaya uğramış olmasına rağmen, kaldera duvarlarında çökme yapıları ve çökme izleri görülmüştür. Ovacık kalderasının kuzey ve doğu duvarlarında, çembersel çökmelerin göstergesi olan fay düzlemleri bulunmaktadır (Özgür vd. 1999, Taka vd. 2001). Çamkoru'nun 10 km batısında bulunan kalderanın, kısa eksenini 4-4,5 km, uzun eksenini ise 5,5-6 km'dir (Özgür vd. 1999).

Sonuç itibarıyla, Çamlıdere'nin çok sayıda süreksizlik düzlemi (çatlak, kırık ve fay) üzerinde bulunması ve çok sayıda volkanik çıkışa sahne olan genç volkanik bir kuşak üzerinde yer almasına da bağlı olarak yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip bir bölgedir.

## 6.2.2 Çatlaklar

İnceleme alanındaki kayaçlar çeşitli tektonik kuvvetlerin etkisi altında çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Volkanik kayaçlarda gözlenen çatlakların bir kısmının soğuma çatlakları olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle bazaltlar, soğumaları sırasında düşey soğuma çatlakları ile yatay kesit alanı beş veya altıgen olan sütunlar oluşturmuştur. Eğrekkaya Barajı ile göl alanında andezit ve aglomeraların düzenli bir istiflenme göstermemesi bu formasyonların Miyosen ve sonrası hareketlerden Neotektonik etkilendiğine işaret etmektedir. Bu hareketler sonucu andezitlerde düzensiz çatlaklar oluşmuştur. Çatlakların doğrultu ve eğimleri K50D-62GB, K38D-70GD ve K43B-47GB olarak ölçülmüştür. Andezit ve tüflerin çatlaklı yapısı Acısu Dere içinde ve Çamlıdere bölgesinde çok iyi gözlenmektedir. Ayrıca tabakaların doğrultu ve eğimleri genel olarak KD ve GD'ya doğru olup, eğimler 20-30° civarındadır.

Ayrıca, andezit ve tüflerin çatlaklı yapısı Kızılcahamam Acısu Dere içinde iyi gözlenmektedir. Acısu Dere içinde ölçülen 200 adet çatlığa ait gül diyagramında, çatlakların doğrultusunun K30°-60°D, eğimlerinin ise 70-90° arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 Acısu Dere'de bozmuş andezitlerin çatlak doğrultu diyagramı

## 7. SONDAJ BİLGİLERİ

### 7.1 Kızılcahamam Bölgesi

Ankara - Kızılcahamam jeotermal sahasının sınırlarını, rezistivite anomalilerini, aktif fay kuşaklarını belirlemek, jeotermal alan içindeki yanal ve dikey ısı dağılımlarını tespit etmek amacı ile MTA tarafından 1984 yılında MTA-1 ve KHD-1 işletme kuyuları açılmıştır (Şekil 7.1). Kızılcahamam'daki kuyular daha çok merkezde ve İstanbul-Ankara yolu üzerinde yer almaktadır. Bu kuyulardan elde edilen akışkanlar başta konut ısıtmacılığı olmak üzere, seracılık, otel ve kaplıca işletmeciliği gibi alanlarda kullanılmaktadır.

MTA tarafından 1986-1987 yılları arasında MTA-2, MTA-3, MTA-4, MTA-5 ve MTA-6 gradyan sondajları açılmıştır (Çizelge 7.1). Bu çalışma ile Kızılcahamam jeotermal alanının yanal ve dikey ısı dağılımları belirlenmiş ve MTA-3 ve MTA-6 gradyan sondajları çevresinde jeotermal yönden önemli sayılabilecek anomaliler tespit edilmiştir. MTA-3 sondajında kuyu taban sıcaklığının 80,5°C, MTA-6 sondajının kuyu taban sıcaklığının 86°C olduğu gözlenmiştir. MTA-1 kuyusundan 13 l/s debi ve 73°C sıcaklıkta, KHD-1 kuyusundan da 32 l/s debide ve 86°C sıcaklıkta artezyen suyu elde edilmiştir (Çizelge 7.2). Alanda bulunan kuyuların sıcaklık değerlerine bağlı olarak eş sıcaklık haritası yapılarak sıcaklık eğrileri MTA-3 ve MTA-6 kuyuları etrafında yoğunlaşmıştır.

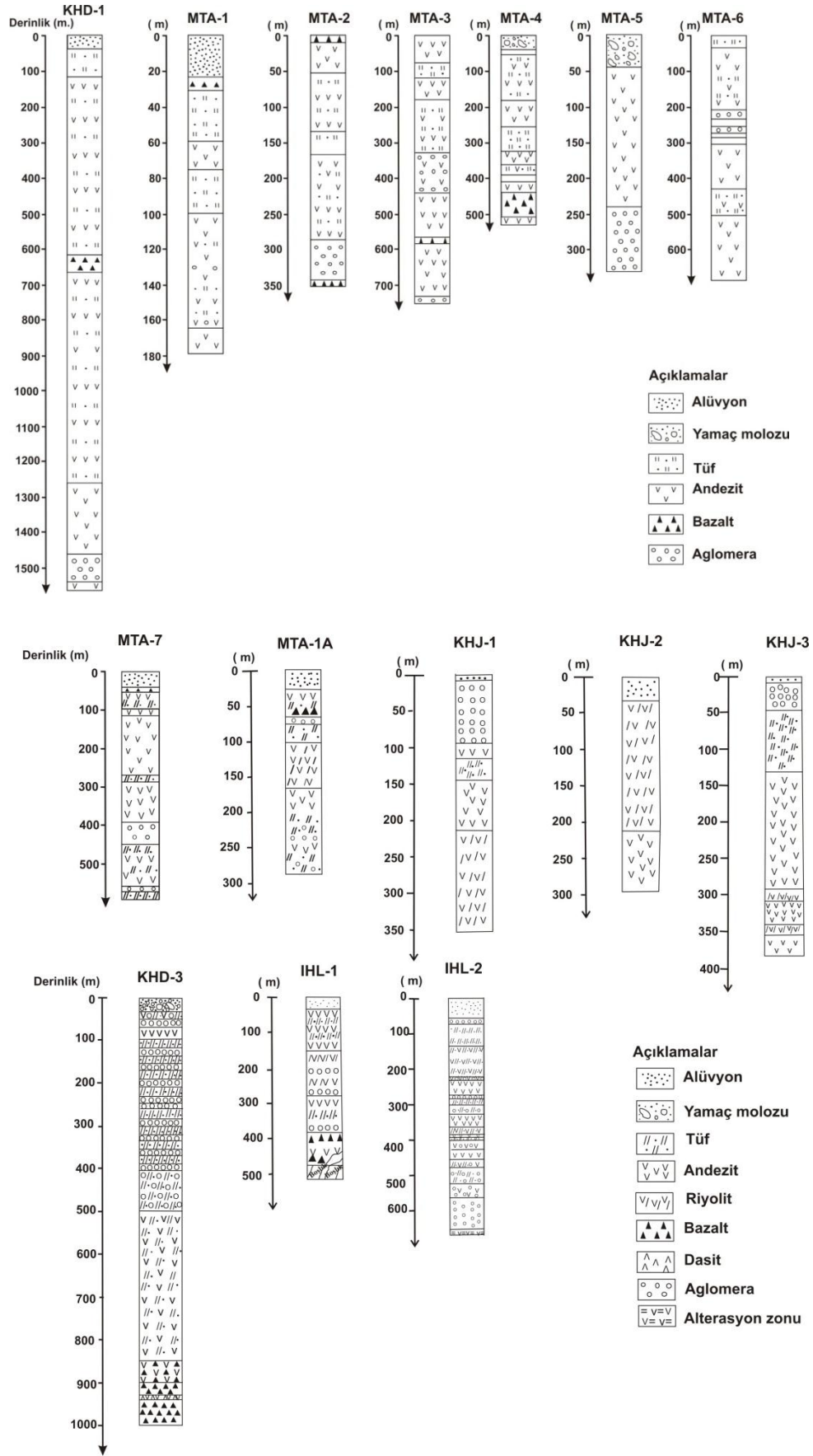
Ayrıca, Kızılcahamam'da açılan KHD-1 jeotermal kuyusunun üretime açılmasından iki ay sonra, üretim yapılan MTA-1 kuyusunda üretim tamamen durmuştur. KHD-1 kuyusu kapatıldıktan 5 saat sonra MTA-1 kuyusu yeniden artezyen suyu vermeye başlamıştır. Yapılan test çalışmaları sonucuna göre, MTA-1 kuyusundan devamlı 13 l/s fişkıran artezyen suyu alabilmek için KHD-1 kuyusundan en fazla 7 l/s'lik debi ile boşalım olması gerektiği ortaya konmuştur (Toker ve Durak 1990).





Çizelge 7.2 Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinde açılmış olan kuyuların özellikleri (veriler MTA ve İller Bankasından)

Kuyu adı	Pafta 1/25000	Koordinatlar			Tarih	Kuyuyu açan	Derinlik (m)	Kuyu başı sıcaklık (C)	Debi l/s	Üretim Şekli	Açıklama
		X(yukarı)	Y(sağa)	Z (m)							
MTA-1	H28a2	0469836	4480090	950	1984	MTA	180	42	13	Pompa	Re-enjeksiyon-kullanılmıyor
MTA-1 A	H28a2	0469863	4480101	990	1998	MTA	310	70	30	Pompa	Isıtma ve K.kaplıca
KHD-1	H28a2	0470774	4480694	950	1986	MTA	1556,56	78	10	Pompa	Isıtma ve termal
IHL-1	H28a2	0470757	4480846	960	1999	Özel sektör	510	40	30	Pompa	Kullanılmıyor
IHL-2	H28a2	0470772	4480774	961	2000	Özel sektör	670	70	15	Pompa	Isıtma ve termal
IHL-3	H28a2	0470758	4480698	961	2001	Özel sektör	673	76	12	Pompa	Isıtma ve termal
Fetih bey (MTA-7)	H28a2	0470077	4480263	1181	1995	MTA	590	78	15	Pompa	Isıtma ve termal
AL-1	H28a2	0470905	4480619	961	2003	Özel sektör	750	81	5	Pompa	Isıtma ve termal
KHJ-1	H28a2	0470519	4480500	990	2006	İller Bankası	350	70	12.5	Pompa	Isıtma ve termal
KHJ-2	H28a2	0469485	4480070	1000	2006	İller Bankası	295	72	10	Pompa	Kullanılmıyor
KHJ-3	H28a2	0470517	4480568	990	2007	İller Bankası	385	76	20	Pompa	Isıtma ve termal
KHD-2	H28a2	0470369	4479521		2005	Özel sektör	1200	78.4	0.2	-	Kullanılmıyor
KHD-3 veya (KKD-1)	H28a2	0470984	4481722		2010	İller Bankası	1000	47.6	10	Pompa	Kullanılmıyor
ÇMJ-1	H28b2	0449245	4482034	1029	2009	İller Bankası	103	27	46	Artezyen	Henüz kullanılmamakta
ÇMJ-2	H28b2	0449240	4482029	1029	2009	İller Bankası	274	42	9	Artezyen	Henüz kullanılmamakta
AÇT-1	H28b2	0453318	4478358	1078	2012	MTA	1020	40	8	Artezyen	Henüz kullanılmamakta
AÇT-2	H28b2	0453048	4478165	1062	2012	MTA	1367,50	37	11	Artezyen	Henüz kullanılmamakta



Şekil 7.2 Kızılcahamam bölgesindeki kuyulara ait litoloji logları (veriler Gevrek vd. 1986, Gevrek vd. 1987 ve Doğdu vd. 2014'ten)

1995 yılının Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında Kızılcahamam'daki sıcak su üretimini artırmak amacıyla MTA tarafından MTA-7 sıcak su sondajı açılmıştır. Sondaj 75°C sıcaklıkta ve saniyede yaklaşık 25 litre artezyen suyu üretmiştir. Bu sırada daha önceki yıllarda yapılan ve kaplıcaya su veren MTA-1 sondajında su seviyesi alçalması olmuştur. Yani bu iki kuyu birbirini etkilemektedir.

MTA-1 sıcak su sondajı 180 m derinlikte, sondajın 75. metresinde 2-3 l/s debide, 73°C sıcaklıkta, 179. metresinde ise yaklaşık 60 l/s debide 75,5°C sıcaklıkta su altere olmuş andezitlerdeki çatlak ve fay kuşağından, alttaki sıcak su ise altere andezit ve aglomeralardaki çatlak ve fay kuşağından gelmektedir (Özmutaf vd. 1984, Özbek 1989). Kuyu taban sıcaklığı 80°C'dir. 180 m derinlikte olan MTA-1 nolu kuyunun çapı küçük olduğundan pompa indirilememiş, bu nedenle kuyu üretimde kullanılamamaktadır.

KHD-1 sondajı 1556,50 m derinlikte olup, jeolojik istife uygun olarak kuyuda andezit, bazalt, tüf, tüfit ve riyolit birimleri geçilmiştir (Demir vd. 1986). Kuyudaki rezervuar seviyeleri: 736,25–998,37 m, 1085,25–1197,65 m ve 1279,83–1480,56 m'ler arasındadır (Şekil 7.1-7.3 ve Çizelge 7.2).

Yeraltında sıcak ve mineralli su depolayan seviyeler yoğun kırık, çatlak ve faylı olup, farklı derinliklerde çamur kaçakları tespit edilmiştir. Çamur kaçakları: 736,25. m'de 50 m<sup>3</sup>, 777. m'de 2 m<sup>3</sup>, 796. m'de 20 m<sup>3</sup>, 807. m'de 50 m<sup>3</sup>, 825. m'de 35 m<sup>3</sup>, 945. m'de 24 m<sup>3</sup>, 977. m'de 40 m<sup>3</sup> ve 1102. m'de 60 m<sup>3</sup> tur. KHD-1 nolu sondajın kuyu taban sıcaklığı 106°C olup, debisi ve sıcaklığı sırasıyla 10 l/s ile 78°C'dir. KHD-1 kuyusu re-enjeksiyon kuyusu olarak 2004-2005 yıllarının kış aylarında faaliyete geçmiştir. Bu kuyu 2013 yılında 260. metresinde göçmüş ve buradan akan su halen toplama havuzuna gelmektedir (Mehmet Karabulut 2014 sözlü görüşme).

MTA-2 nolu sondaj 350 m derinlikte olup, kuyu dibi sıcaklığı 38°C'dir. Sondaj çamurunda ve kuyu içinde yapılan ölçümlerde sıcaklık artışı olmamıştır (Gevrek vd. 1987). Kuyuda 250 - 300 m'ler arasında aglomeralar içinde fay kuşağından jeotermal

akışkan alınacağı düşünülmüş, ancak aglomeralara 284. metrede girilmiş olup, 320 metrede alınan karot sonucu aglomeraların yoğun çatlaklı, fakat çatlakların kalsit dolgulu olduğu, bu nedenle ikincil porozite ve geçirimsizliğinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 7.1 - 7.2).

MTA-3 nolu sondaj 750 m derinlikte olup, 340-450 metreler arasında aglomera geçilmiştir. Kuyunun 350-450 m'ler arasında çamur çıkış sıcaklığı 45°C'dir. Kuyuda 450. metreden sonra andezitler geçilmiş olup, 667. metrede sıcaklık 80,5°C olarak ölçülmüştür (Gevrek vd. 1987). Ayrıca 525-640 metreler arasında hematit, klorit gibi hidrotermal alterasyon mineralleri gözlenmiştir. Bu metredeki çamur çıkış sıcaklığı 54°C'dir (Gevrek vd. 1987).

MTA-4 nolu gradyan sondajı 524 m derinlikte olup, kuyuda ölçülen kuyu taban sıcaklığı 53°C'dir (Gevrek vd. 1987). Kuyuda geçilen seviyeler andezit, bazalt, tuf ve aglomeradır (Şekil 7.1-7.2) (Gevrek vd. 1987).

MTA-5 nolu gradyan sondajı 325 m derinlikte olup, kuyu dibi sıcaklığı 53°C olarak ölçülmüştür (Gevrek vd. 1987). Kuyuda geçilen birimler andezit ve aglomeradır (Şekil 7.1 - 7.2) (Gevrek vd. 1987).

MTA-6 sondajında derinlik 686 m, kuyu taban sıcaklığı 85°C'dir (Gevrek vd. 1987). Kuyuda geçilen birimler andezit, tuf ve aglomeradır (Şekil 7.1 - 7.2) (Gevrek vd. 1987).

MTA-7 (Fethibey kuyusu); 15 l/s debi ve 78°C sıcaklıkta üretim yapan kuyuda derinlik 590 m olup, pompa derinliği 68 m'dir. Kuyuda geçilen birimler andezit, tuf ve aglomeradır (Yücel ve Hamut 1996). Kuyu Kızılcahamam yerleşim merkezi içindedir (Şekil 7.1 - 7.2).

1998'de MTA tarafından yoğun bir jeofizik çalışması başlatılarak ilçe merkezinin doğusunda yaklaşık 500 m uzunluğunda ve 800 m genişliğinde, kuzeyden güneye doğru

jeofizik anomali tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucu Kızılcahamam'da 1999-2001 yılları arasında Özel sektör tarafından IHL-1, IHL-2, IHL-3 seri kuyuları açılmıştır (Şekil 7.1).

İHL-1 kuyusu; KHD-1 kuyusunun 200 m batısında olup, düşük sıcaklık (40°C üretim sıcaklığı) nedeniyle konut ısıtmacılığında kullanılamayan kuyu 30 l/s ile üretim yapmaktadır. İHL-1 kuyusu 510 m derinliğinde, pompa derinliği 70. m'de olup, bu sondajda donanım hatası nedeniyle soğuk su karışımı bulunmaktadır. Kuyu üretimde kullanılmamaktadır.

İHL-2 kuyusu; İHL-1 kuyusuna 70 m güneyinde olup, bölgede açılan sıcaksu sondajları içinde en yüksek gaz orana sahip olanıdır. Derinliği 670 m olup, pompa derinliği 70 m olan kuyuda sıcaklık 70°C ve debi ise 15 l/s'dir (Şekil 7.1).

İHL-3 kuyusu; KHD-1 kuyusunda üretim sırasında kuyu içi sorunların çıkması nedeniyle 12 m mesafede ve 673 m derinlikte açılmıştır. Kuyunun debisi 12 l/s, su sıcaklığı 76°C ve pompa derinliği 70 m'dir.

Ayrıca MTA-1 kuyusuna 40 m mesafede 2008'de açılan MTA-1A kuyusunun derinliği 310 m olup, sıcaklık 70°C'dir. Bu kuyuda yapılan debi testi nedeniyle İHL-1, İHL-3 ve MTA-7 nolu kuyularda etkileşim olduğu anlaşılmıştır (Kaya 2005).

Bunlara ilave olarak jeotermal merkezi ısıtma sistemi ve buna entegre termal balneolojik kullanım için sıcak su üretimi amacıyla Kızılcahamam'da 2006 yılında İller Bankası tarafından KHJ-1, KHJ-2 ve KHJ-3 nolu 3 adet sıcak su kuyusu açılmıştır.

KHJ-1 kuyusu; MTA-1 kuyusuna 12 m mesafede ve 350 m derinliktedir. Kuyudaki suyun debisi 12,5 l/s, sıcaklığı 70°C, pompa derinliği 90 m'dir. Kuyudan çıkan jeotermal akışkan ısıtmacılık ve Özel İdare otelinde kaplıcalıkta kullanılmaktadır. Özel idare oteline bu kuyudan 65°C sıcaklık ve 7 l/s debide termal su verilmektedir.

KHJ-2 kuyusu; derinliği 295 m olup, basınç düşmesinden dolayı kuyuda üretim debisi çok az olduğu için üretimde kullanılmamaktadır.

KHJ-3 kuyusu 385 m derinlikte olup, hatalı üretim borusu ile teçhiz edildiğinden ve esas üretim yapılacak zona inilmediğinden 2006 yılındaki üretim miktarı 35 l/s den 20 l/s' ye düşmüştür. Kuyuda üretim debisi çok azaldığı için kullanılmamaktadır.

AL-1 kuyusu; 2003 yılında Özel sektör tarafından açılmış olup, derinliği 750 m ve 5 l/s'lik debi ile üretim yapmaktadır. Kuyuda ölçülen sıcaklık 81°C olup, Asya termal otelinde kullanılmaktadır (Şekil 7.1).

Sonuç olarak, 1984 yılından beri Kızılcahamam jeotermal alanı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Kızılcahamam Belediyesi tarafından 2013 yılına kadar toplam 14 adet arama ve üretim kuyusu açtırılmıştır. Açılan kuyuların derinliği 180-1556 m arasında değişmektedir. Kızılcahamam'da halen MTA-1A, MTA-7, KHJ-1, KHJ-3, İHL-2, İHL-3, AL-1 ve KHD-1 olmak üzere toplam 8 kuyu ısıtma ve kaplıca amaçlı olarak üretimde kullanılmaktadır (Çizelge 7.2). Bunların dışında Kızılcahamam sahasında bir zamanlar üretim yapan, fakat açılan üretim sondajları sonucu kuruyan kaynaklar, kuru kuyular ve reenjeksiyon amaçlı kuyular bulunmaktadır. Halen üretim kuyusu olarak kullanılan farklı derinlikteki 8 adet kuyudan uygun şartlarda toplam 95 l/s debide ve ortalama 76°C sıcaklığında jeotermal akışkan üretilebilmekte iken, basınç düşmesi nedeniyle 2012 yılında üretim kuyularından toplam 70 l /s akışkan üretilebilmiştir.

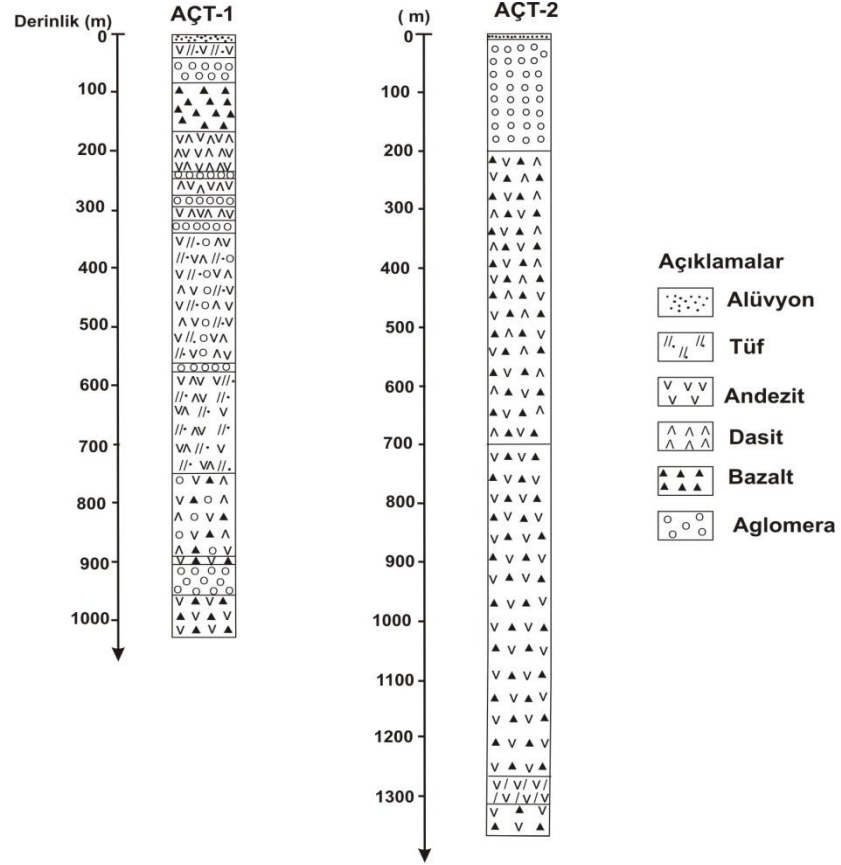
Kızılcahamam Belediyesi tarafından MTA'ya açtırılan 1200 m derinlikteki KHD-2 sondajından akışkan elde edilememiştir (Şekil 7.1 ve Çizelge 7.2). Daha sonra yine Belediye tarafından 2010 yılında İller Bankası'na açtırılan KHD-3 kuyusu 1000 m derinliğinde olup, kuyu ilk açıldığında kuyu içi pompa ile 47,6°C sıcaklıkta 10 l/s debide sıcak su üretilmiştir (Özbek 2013). Daha sonra üretim debisinin 5 l/s'ye düştüğü ve kesintili üretim yapılabildiği için kuyu kullanılmamaktadır. Bu kuyular düşük

geçirimlilikteki ince kırık ve çatlaklardan yanal yöndeki yayılımlardan beslendiğinden dolayı sıcaklıklarının ve debilerinin düşük olduğu tahmin edilmektedir.

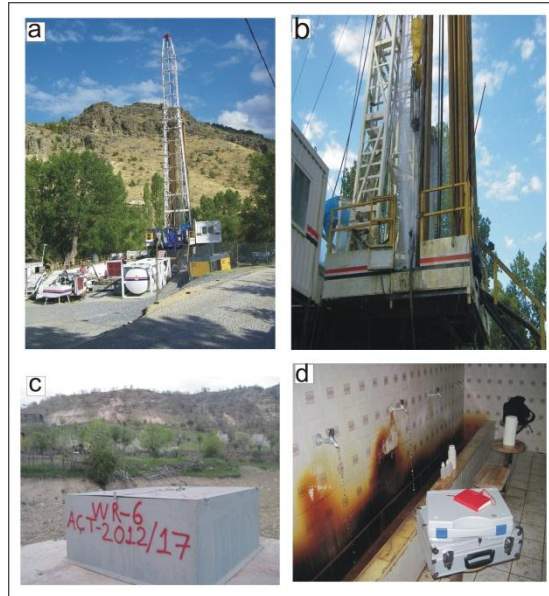
## **7.2 Çamlıdere Bölgesi**

Çamlıdere’de 2012 yılında Ankara-Çamlıdere-Tatlık ve jeotermal enerji aramaları adlı proje kapsamında MTA tarafından AÇT-1 ve AÇT-2 nolu olmak üzere 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Çizelge 7.2; Şekil 7.3 - 7.4). Muzrupağacın bölgesinde yer alan kuyulardan AÇT-1 nolu sondaj 1020 m derinlikte olup, termik loglarla ölçülen kuyu taban sıcaklığı 80,5°C’dir (Bülbül vd. 2012). Ayrıca kuyuda muhtemel çatlaklı ve akifer olabilecek seviyeler ile hematitleşme, limonitleşme, klorit ve pirit gibi alterasyon mineralleri gözlenmiştir. Farklı seviyelerde yapılan kompresör çalışmaları sonucunda kuyunun artezyen debisi 8 l/s, kompresör debisinin ise 90-100 l/s arasında olduğu tespit edilmiştir (Bülbül vd. 2012). Kuyuda ölçülen maksimum sıcaklık ise 40°C’dir. AÇT-2 nolu sondajda ise, kuyu derinliği 1367,5 m olup, taban sıcaklığı 97°C’dir (Bülbül vd. 2013). Suyun debisi 11 l/s, 200. ve 300. m’deki kompresörle olan debisi sırasıyla 17 ile 26 l/s’dir (Hüseyin OKUR sözlü görüşme 2013). Kuyu başında ölçülen sıcaklık 37°C’dir. MTA tarafından Çamlıdere Muzrupağacın bölgesinde yapılan bu kuyular Ankara Büyükşehir Belediyesine 56 Milyar TL’ye satılmıştır.





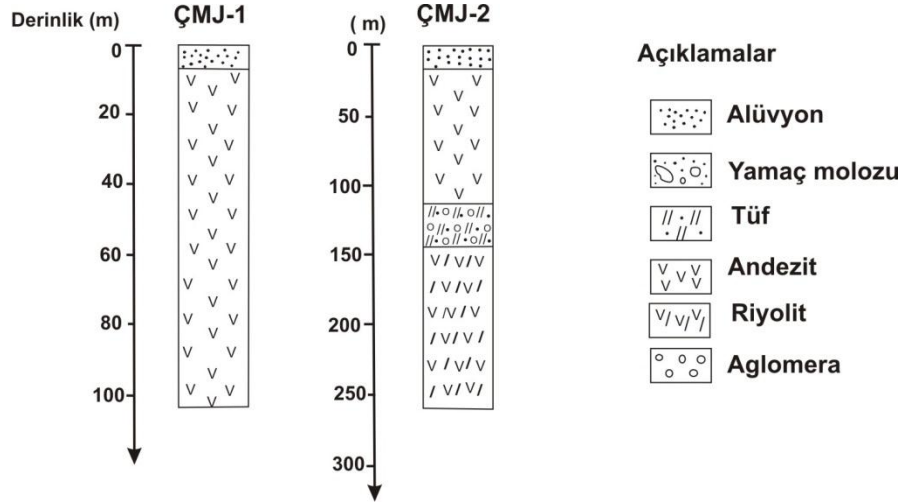
Şekil 7.3 Çamlıdere Muzrupağacın bölgesindeki kuyulara ait litoloji logları (veriler Bülbül vd. 2012 ve 2013'ten)



Şekil 7.4 Muzrupağacın'da açılan sondajlar

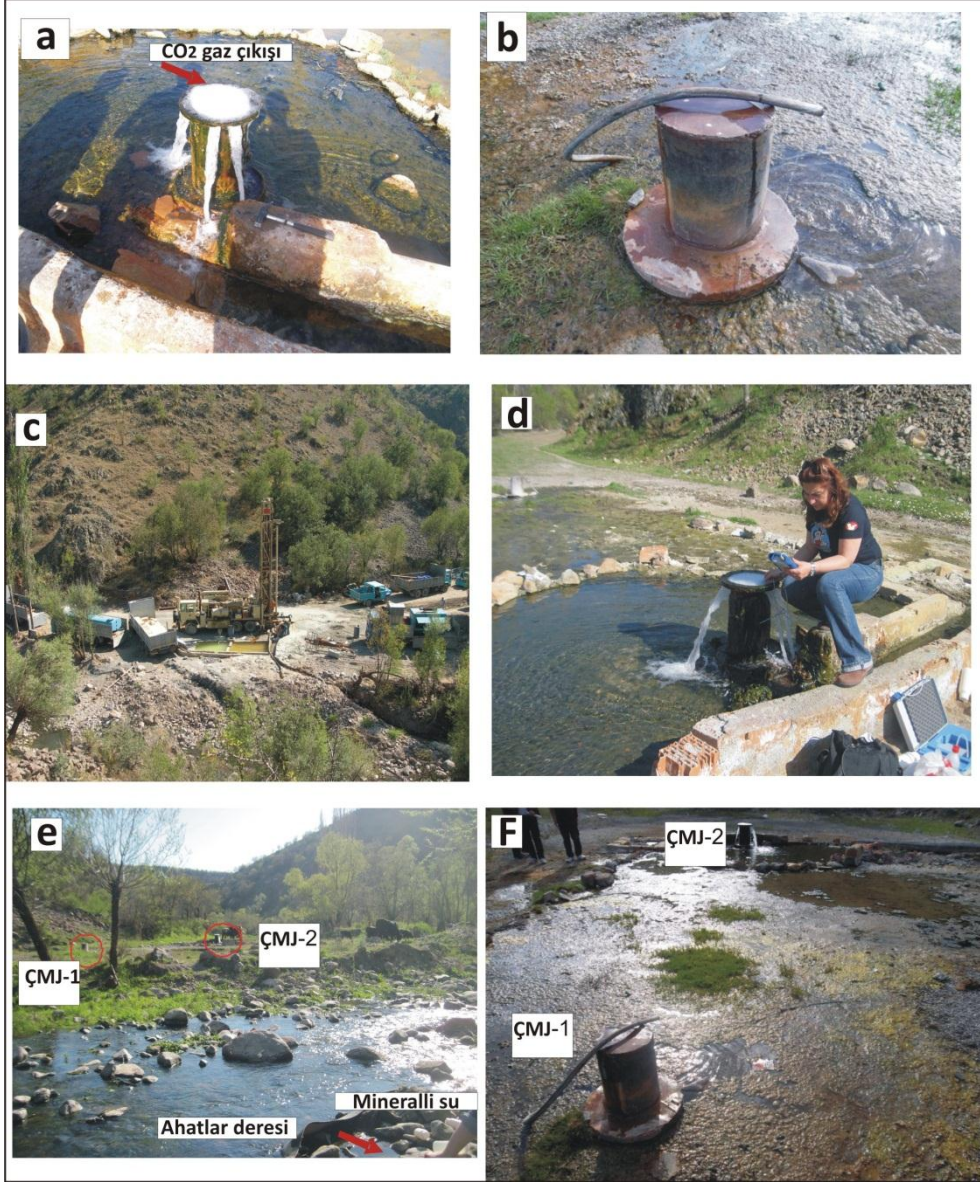
a. AÇT-1 sondajı, b. AÇT-1 sondaj suyunun artezyeni c. AÇT-2 sondajı, d. AÇT-2 nolu sondaj suyunun Camide akması

Ayrıca Çamlıdere Belediyesi tarafından Ahatlar bölgesinde 2009 tarihinde İller Bankası'na açtırılan jeotermal su sondaj çalışmaları sonucu ÇMJ-1 ve ÇMJ-2 nolu 2 adet sondaj kuyusu açılarak 1.nci kuyudan 103. metrede 27 °C ve 46 l/s debide, 2.nci kuyudan ise 274. metrede 42°C sıcaklıkta ve 9 l/s artezyen debili sıcak ve mineralli su elde edilmiştir (Çizelge 7.2; Şekil 7.5- 7.6). Her iki kuyu arasındaki mesafe 5 m'dir.



Şekil 7.5 Çamlıdere Ahatlar bölgesindeki kuyulara ait litoloji logları (veriler Reçber vd. 2009'dan)

Çamlıdere jeotermal alanının birçok sayıda kırık ve fay hattı üzerinde bulunması ve çok sayıda volkanik çıkışa sahne olan genç volkanik bir kuşak üzerinde yer alması nedeniyle jeotermal enerji potansiyeli açısından önemli bir bölgedir. Ancak hidrojeolojik yapısı nedeniyle Kızılcahamam bölgesine göre daha düşük entalpili bir saha olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 7.6 Ahatlar'da yapılan sondajlar

a, c ve d ) Ahatlar ÇMJ-2 kuyusu, b. Ahatlar ÇMJ-1 kuyusu, e. Ahatlar Deresi ve mineralli su kaynağı, f. ÇMJ-1 ve ÇMJ-2 kuyuları (K'ye bakılmaktadır)

## 8. HİDROJEOLOJİ

Jeoloji bölümünde özellikleri verilmiş olan litolojik birimler, hidrojeolojik özellikleri bakımından bazı farklılıklar göstermektedir. İnceleme alanındaki volkanik ve sedimenter kayalar hidrojeolojik özelliklerine göre ayırabilmek için, mevcut jeolojik verilerden, kuyu loglarından, su kaynaklarından, kuyuların veriminden, dokusal özelliklerinden ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır.

Kızılcahamam, Koca Çay yatağındaki alüvyonun oluşturduğu akifer, daha ziyade gözenek porozitesine sahip olup, kalınlığı en fazla 30 m'ye ulaşmaktadır. Su tablasının Koca Çay alüvyonunda çok fazla değişmediği belirtilmiş olup (Demir vd. 1986, Gevrek vd. 1987), bunun sebebi, akifer sistem ile dere yatağının hidrolik olarak ilişkili olmasına bağlanmıştır.

Koca Çay alüvyonunda İller Bankası ve Köy Hizmetleri tarafından keson kuyular açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri 7 m ile 11 m arasında, kuyu çapları 4 m ve debileri ise 38 l/s ile 150 l/s arasında değişmektedir (Bayal 1974).

Ayrıca, Kızılcahamam ve Çamlıdere'de volkanik kayaların yarık ve çatlaklarında dolaşan yeraltı suyu da bazı alanlarda serbest bir akifer oluşturabilmektedir. Alanda yapılan sıcak su sondajlarının tamamı basınçlı özellikte olup, arteziyen suyu üretmektedir. Bölgede, sondajlar açılmadan önce, jeotermal sular kaynak şeklinde, fay kuşakları boyunca yeryüzüne ulaşmaktaydı. Sondaj kuyularında yapılan çekimlerden sonra bu kaynakların debileri çok azalmış ve daha sonra da kurumuştur.

Tez sahasında kendine özgü stratigrafi özelliklerine göre ayrılmış olan litolojik birimler hidrojeolojik özellikleri bakımından da farklılıklar göstermektedir. Birimler nitelik bakımından geçirimsiz, az geçirimli ve geçirimli olarak ayırtlanmıştır (Şekil 8.1; EK 2).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	ALT SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK (m)	SİMGE	LİTOLOJİK AÇIKLAMA
SENOZOYİK	TERSİYER	NEOJEN	ÜST MİYOSEN	Pazar Formasyonu	Sinap Formasyonu	600		Alüvyon, traverten, birikinti konisi, yamaç molozu vb. -GEÇİRİMLİ
								Çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, kil, silt, marn-GEÇİRİMSİZ
								Üst lav- GEÇİRİMLİ
								Nodüllü, çörtlü ve killi kireçtaşı-GEÇİRİMSİZ
								Kumtaşı, marn, tuf, tüfit, çakıltası, silttaşı AZ GEÇİRİMLİ
								Aglomera, tüfit, lav breşi, volkanik kum, tuf AZ GEÇİRİMLİ
								Ara lav, volkan patlaması ürünü olan andezitik bazaltik lavlar-AZ GEÇİRİMLİ
								Lahar, kızgın bulut, tüfit, aglomera, volkanik elemanlı çakıltası- AZ GEÇİRİMLİ
								Alt lav, yarık püskürmesi ürünü olup plato lavlarıdır -GEÇİRİMLİ
								250 - 400
Üst Lav	La							
600	600							
600	600							
600	600							

Şekil 8.1 Çalışma alanının litolojik birimlerinin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafi kesiti (litoloji Eişen ve Ünlü 1980'den)

### 8.1 Geçirimsiz Birimler

Tez alanında Tersiyer yaşlı volkanik kayalar geniş alanlarda yüzlek vermektedir. Bu volkanik kayalar başlıca andezit, trakiandezit, riyolit, bazalt, aglomera, tuf ve tüfitlerden oluşmaktadır. Volkanik birimler bölgede yer yer Miyosen yaşlı kıltaşı, marn ve marnlı kireçtaşı tabakaları arasında sokulumlar oluşturmuştur.

Miyosen yaşı Pazar Formasyonu ve Pliyosen yaşı Sinap Formasyonu'nun sedimenter kayaçları iyi örtü kaya özelliğindedir. Tüf, tüfit, kıltaşı, marn ve marn katkılı birimler geçirimsiz özellikleri nedeniyle su potansiyeli içermezler (EK 2). Geçirimsiz birimler çoğunlukla bozuşmuş tüfler ve çatlaklı olmayan lavlar ve tüflerden oluşmaktadır. Tüfler gri, kırmızımsı renkli dağılgan ve yer yer bazalt akıntıları içermektedir.

## **8.2 Az Geçirimli Birimler**

Az geçirimli birimler az çatlaklı veya çatlakları kille veya kalsitle dolmuş olanlar ile bozuşmamış az çatlaklı lavlar ve tüflerdir. Çeşitli patlamaların ürünü olan ve bölgede geniş alan kaplayan, ara lav olarak adlandırılan andezit ve bazaltik lavların da bazı yerlerde kompakt, sert, gözeneksiz, ancak kırık zonları bir miktar su içerdiğinden az geçirimli olarak tanımlanmışlardır (EK 2). Bu birimler akifer oluşturmamaktadır.

Kızılcahamam doğusunda yerel bacalardan yüzeye çıkan, orta viskoziteli ara lavlar aa lavı oluşturacak kadar geniş yayılımlar göstermezler. Bu ara lavlar bazı yerlerde bazik karakterde olup, blok lavı ve dilim lavı şeklinde yayılımlar gösterirler. Hızlı soğumadan kaynaklanan altıgen prizma şeklinde soğuma çatlakları içeren bazaltik lav akıntıları gözlenmektedir. Bu tip çatlakları Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinde değişik yerlerde izlemek mümkündür.

## **8.3 Geçirimli Birimler**

Tez alanında yer alan yoğun çatlaklı lavlar ve alüvyon başlıca geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Bunlardan; andezitler oldukça bozuşmuş, özellikle de fay zonlarında kırıklı ve çatlaklı özellik göstermektedir. İyi poroziteye sahip aglomeralar ile andezit ve bazaltların kırıklı-çatlaklı seviyeleri yeraltı suyunu depolar ve başka noktalara iletebilirler. Sözü edilen kırık-çatlak zonları, tektonizmanın etkisiyle ikincil olarak oluşmuştur. Bu nedenle iyi bir hazne kayaç olarak tanımlanabilir. Özmutaf vd. (1984)'nin yaptığı çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu birimde açılan

Kızılcahamam MTA-1 sıcak su sondaj kuyusundan 76°C sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilmektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere'de oluşan fay sistemleri çok iyi yeraltı suyu depolama özelliğine sahiptir (EK 2).

Senozoyik birimler içerisinde yer alan ve çatlak erüpsiyonları ile orta viskoziteli lavlarda oluşan aa tipindeki alt lavların öncelikle soğuyan ve gazların serbest kalışına fırsat bulmadan oluşan üst kabuğun, altta henüz soğumamış lav kesiminin hareketi sonucu kırılmaktadır. Süreksizlik düzlemlerinin oluştuğu bu alt lavlar ideal bir hazne kayacı durumuna gelmişlerdir (Erişen ve Ünlü 1980).

Tüflerin altındaki plato tipi bu lavlar, gaz kabarcığı gözeneği içeren kırıklı ve sert bir yapıya sahiptir. Tez sahasının kuzey bölümündeki aa lavları yüksek geçirimsizlikleriyle Kızılcahamam ve Çamlıdere çevresindeki sıcak su sisteminin dolaşımına elverişli bir ortam oluşturmuştur. Alt lavların muhtemel kalınlığı 250 m ile 500 m dolayındadır. Bu tip çatlaklı lavları Kızılcahamam bölgesinde değişik yerlerde gözlemek mümkündür. İnceleme alanında görülmeyen, fakat yaklaşık 800 m ile 1200 m derinlikte bulunan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarının da alt rezervuar olduğu varsayılmaktadır (Erişen ve Ünlü 1980).

Kızılcahamam'ın doğusunda Işık Dağı'nda ve Kızılcahamam-Gerede yolu üzerinde Mesozoyik yaşlı kireçtaşları volkanik kayaların altında yer almaktadır. Tektonik hareketler sonucu eklemli ve bol kırıklı olan bu kireçtaşları Kızılcahamam ve Seyhamam'daki sıcak suların hazne kayacı olabilecek niteliklere sahiptir. Kireçtaşları sondajlarla kesilmemesine rağmen, jeotermal kaynaklarla ilişkisi olabileceği anlaşılmaktadır.

Ayrıca çakıl, kum ve kilden meydana gelen alüvyon çökelleri ile yamaç molozları inceleme alanında çok yaygın olmasa da, akifer özelliğindedir. Bu birimlerin kalınlıkları en fazla 30 m civarındadır (EK 2).

Sonuç olarak, jeotermal akışkanın depolanabildiği ve üretildiği rezervuar kayalar, jeotermal akışkanın mevcut ısı birikiminin korunmasını ve akışkanın boşalmasını önleyici örtü kayası ve ısıtıcı olabilecek volkanik etkinlikler çalışma alanında mevcuttur. Verimi düşük olan ve formasyonun her yerinden üretim yapılamayan litolojiler de yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır.

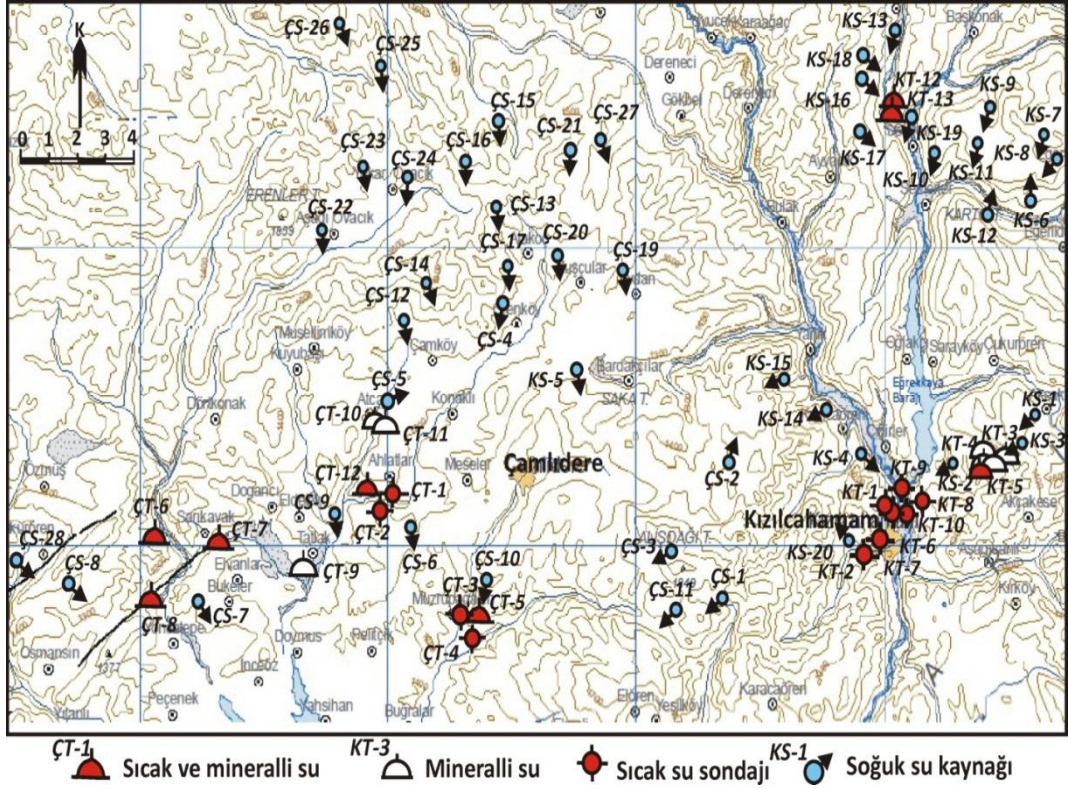
#### **8.4 Su Noktaları**

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, birbirleri ile olan ilişkileri, potansiyellerinin incelenmesi amacıyla sondaj, kaynak ve dere sularından örnekler alınmıştır.

Tez sahasında pek çok sıcak ve mineralli kaynak bulunmaktadır. Bunların bir kısmının kaptajı yapılmış olup, halen kaptajı yapılmayan, farklı amaçla kullanılan ve boşa akan kaynaklar da yer almaktadır. Sondaj şeklinde yapılan kaptajların bir kısmı bazı kaynakların kurumasına yol açmıştır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinden alınan suların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla, Kızılcahamam'dan 13 adet sıcak ve mineralli su (5 adet kaynak ve 8 adet sıcak su sondajından), 20 adet soğuk su kaynağı, birer tanesi dere ve göl suyu olmak üzere toplam 33 adet su örnekleme yapılmıştır. Çamlıdere bölgesinde ise 12 adet sıcak su (8 adet kaynak ve 4 adet sıcak su sondajı), 25 adet soğuk su kaynağı ve 2 adet göl suyu olmak üzere toplam 39 adet su örneği alınmıştır (Şekil 8.2). Belirlenen sıcak ve soğuk su kaynaklarının isimleri coğrafik olarak seçilmiş ve ona göre adlandırılmıştır. Örnek isimlerinde kullanılan ikinci harften "T" harfi sıcak ve/veya derin dolaşimli suları, "S" harfi ise soğuk suları temsil etmektedir. İncelenen su örneklerine ait lokasyon bilgileri ve boşalım yükselteleri çizelge 8.1-8.3'te yer almaktadır.





Şekil 8.2 Tez alanından toplanan su örneklerinin dağılımı

#### 8.4.1 Soğuk su kaynakları

İnceleme alanında debileri düşük olan çok sayıda soğuk su kaynağı yer almaktadır. Bu kaynaklar, tabakalanma yüzeyleri, kırık, çatlak ve faylardan ve farklı oluşukların dokanaklarından çıkmaktadır. Bu kaynakların bir kısmı kaptajla alınarak içme suyu olarak, bir kısmı da kaptaj yapılmadan sulama amacıyla kullanılmaktadır.

Çizelge 8.1 Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları

No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)	Örnek No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)
		X	Y				X	Y	
KT-1	KHD-1 sıcak su sondajı	0470774	4480694	950	KT-9	IHL-2 sıcak su sondajı	0470772	4480774	961
KT-2	MTA-1 sıcak su sondajı	0469836	4480090	950	KT-10	KHJ-1 sıcak su sondajı	0470519	4480500	990
KT-3	As-Koop mineralli su kaynağı	0473956	4482337	1100	KT-11	KHJ-3 sıcak su sondajı	0470517	4480568	990
KT-4	Çamlık mineralli su kaynağı	0473153	4482126	1032	KT-12	Seyhamam kadınlar sıcak su kaynağı	0469947	4494566	1030
KT-5	Acısu Dere sıcak ve mineralli su kaynağı	0473500	4481935	1100	KT-13	Seyhamam erkekler sıcak su kaynağı	0469875	4494587	1030
KT-6	MTA-7 sıcak su sondajı	0470077	4480263	1181	ÇT-1	ÇMJ-1 sıcak su sondajı	0449241	4482021	1029
KT-7	MTA-1A sıcak su sondajı	0469863	448010	990	ÇT-2	ÇMJ-2 sıcak su sondajı	0449240	4482029	1029
KT-8	AL-1 sıcak su sondajı	0470905	4480619	961	ÇT-3	AÇT-1 sıcak su sondajı	0453318	4478353	1078

Çizelge 8.1 Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları (devam)

No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)	Örnek No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)
		X	Y				X	Y	
ÇT-4	AÇT-2 sıcak su sondajı	0453013	4477976	1039	ÇT-9	Tatlak maden suyu kaynağı	4478815	0446741	1035
ÇT-5	Muzrupağacın sıcak su kaynağı	4478090	0453254	1150	ÇT-10	Atça mineralli su kaynağı	4483967	0449234	1122
ÇT-6	Sarıkavak Uyuz hamamı kaynağı	4480534	0440915	1016	ÇT-11	Atça mineralli su kaptajı	4483944	0449231	1096
ÇT-7	Sarıkavak köyü Ilıca kaynağı	4480597	0444013	1100	ÇT-12	Ahatlar mineralli su kaynağı	4482038	0449270	1032
ÇT-8	Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağı	4478902	0440747	1077					

Çizelge 8.2 Çamlıdere alanındaki soğuk su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları

No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)	Örnek No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)
		X	Y				X	Y	
ÇS-1	Çavuşoğlu pınarı	4478685	0463611	1664	ÇS-8	Ulupınar Hatipler kaynağı	4479625	0438211	1400
ÇS-2	Kösyayla pınarı	4481410	046251	1453	ÇS-9	Çevizdibi Tepe kaynağı	4481571	0448197	979
ÇS-3	Aluç Pınarı Ayağı kaynağı	4479341	0461106	1696	ÇS-10	Muzrupağacın Kaynağı	4478203	0453341	1090
ÇS-4	Örenköy Yaylası Kaynağı	4488348	0455097	1368	ÇS-11	İsmail Çiçekçi kaynağı	4478250	0462450	1674
ÇS-5	Atça pınarı	4484576	0449359	1112	CS-12	Çamköy Pınarı	4486750	451500	1339
ÇS-6	Ahatlar Kaynağı	4481650	0450301	1054	CS-13	Alakoç Ölü Pınarı	4491125	456250	1342
ÇS-7	Sarıkavak Velibey kaynağı	4479181	0442273	1048	CS-14	Kavaklı Pınar Ayağı	4488300	452200	1593

Çizelge 8.2 Çamlıdere alanındaki soğuk su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları (devam)

No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)	Örnek No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)
		X	Y				X	Y	
ÇS-15	Alakoç Yaylası Ören Çörten pınarı	4494168	453498	1527	ÇS-22	Aşağıovacık Kaynağı	4490490	447756	1481
ÇS-16	Yaylabaşı pınarı	4491937	454455	1669	ÇS-23	Aşağıovacık Çayır pınarı	4492050	448962	1501
ÇS-17	Mezarlık pınarı	4489206	456553	1313	ÇS-24	Yukarıovacık köyü kaynağı	4491989	450264	1503
ÇS-18	Kuşçular Göleti	4488246	442244	1122	ÇS-25	Aşağıovacık Yaylası dörtlü çeşme	4494805	449553	1620
ÇS-19	Avdan Kaynağı	4489129	459763	1446	ÇS-26	Sait Hayrat Pınarı	4496527	448676	1623
ÇS-20	Kayalar Erenler sırt kaynağı	4489716	458257	1395	ÇS-27	Çamkoru Göleti	4492763	458570	1374
ÇS-21	Çamkoru Tabiat Parkı Ölü Pınarı	4492053	457374	1422	ÇS-28	Güneyköy Ilıca kaynağı	4480030	438380	-

Çizelge 8.3 Kızılcahamam alanındaki soğuk su noktalarının lokasyonları, koordinatları ve boşalım kotları

No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)	Örnek No	Adı	Koordinatı (UTM)		Boşalım Kotu (m)
		X	Y				X	Y	
KS-1	Ağsak köyü meydan çeşmesi	4484485	0476632	1364	KS-12	Eğerlidere Kaynağı	4490875	475375	1136
KS-2	Acısu Dere Necip Usta kaynağı	4482529	0472541	1000	KS-13	Kavaközü Kaynağı	4497288	470729	1198
KS-3	Ağsaklar yolu pınarı	4482263	475088	1265	KS-14	JAVSA	4484416	468007	1023
KS-4	Kızılcahamam çıkışı pınarı	4082319	470053	964	KS-15	Kızılcahamam Valilik Pınarı	4485669	466961	1005
KS-5	Bardakçılar Ömer Çoşkun kaynağı	4485541	458693	1300	KS-16	Seyhamam Gavur Deresi Kaynağı	4494462	0469680	1250
KS-6	Eğerliören Kaynağı	4477425	477425	1421	KS-17	Seyhamam Ayvacık Kirazlı Deresi Kaynağı	4492518	0469783	1231
KS-7	Ağaçlı Pınar Kaynağı	4493625	478500	1566	KS-18	Fırın Dere kaynağı	4495200	0470000	1120
KS-8	Eğerliören göl suyu	4493275	478575	1634	KS-19	Seyhamam Kaynağı	4494462	0469680	1040
KS-9	Elviran Köy Yaylası göl kaynağı	4494500	477600	1677	KS-20	Millipark Soğuk Su	4479750	0468850	1060
KS-10	Karaoluk köy pınarı	4493875	474450	1473	KS-21	Koca Dere	4480558	0470900	920
KS-11	Eğerliören Kaynağı	4492675	474125	1252					

Mayıs 2013 ölçümlerine göre soğuk su kaynaklarının debileri 0.005 l/s (0,3 l/dak) ile 1 l/s arasında değişmektedir. Kaynak sıcaklıkları 8°-16°C arasındadır. Debi ve sıcaklığın değişimine neden olan faktörler atmosferik iklim şartları, yağış, beslenme alanının genişliği, litoloji ve geçirimsizliktir. Kaynakların bulunduğu oluşuklar Üst Miyosen yaşlı volkanik kayalar, Pliyosen yaşlı birimler ve Kuvaterner yaşlı gevşek, çakıllı ve kumlu sedimanlardır (EK 1).

Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı oluşuklar içerisinde genellikle çöküntü kaynakları şeklinde boşalım noktaları oluşmaktadır. Bu kaynaklar mevsimlik olup, yağışlı dönemde aktif, kurak dönemde ise kurudur. Soğuk su kaynakları Kızılcahamam bölgesi (K) ve Çamlıdere bölgesi (Ç) soğuk su kaynakları olarak iki grup altında açıklanmıştır.

**Ağsak köyü meydan çeşmesi (KS-1):** Kızılcahamam'ın kuzey doğusunda, Ağsak köyü girişinde yer alan bu kaynak, kaptajı yapılarak çeşme haline getirilmiştir (Şekil 8.2-8.3). Kaynağın boşalım kotu 1364 m olup, Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 14°C, debisi ise 0,15 l/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 8.3 Kızılcahamam soğuk su kaynakları

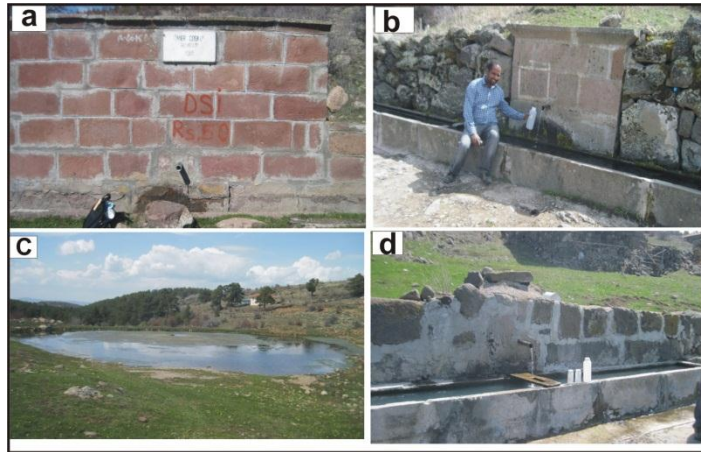
a. Ağsak köyü meydan çeşmesi (KD'ye bakış), b. Necip Usta kaynağı (K'ye bakış), c. Ağsaklar soğuk su kaynağı (KB'ye bakış) d. Kızılcahamam çıkışı soğuk su kaynağı

**Necip Usta kaynağı (KS-2):** Necip Usta kaynağı Kızılcahamam'ın kuzeydoğusunda, Acısu Dere mevkiinde, Kızılcahamam maden suyu işletmesi yolu girişindedir (Şekil 8.2 - 8.3 ve EK 1). Kaynak suyu halkı tarafından içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1000 m olup, Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 13°C, debisi ise 1 l/s'dir.

**Kızılcahamam Ağsaklar pınarı (KS-3):** Kızılcahamam'ın KD'sunda ve Ağsak köyü yolunda bulunan bu kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.2-8.3). Kaynağın boşalım kotu 1265 m olup, Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 13°C ve debisi 0,04 l/s (2,40 l/dak)'dir.

**Kızılcahamam çıkışı pınarı (KS-4):** Kızılcahamam-İstanbul yolu üzerinde ve Kemal Paşa Mahallesi'nin kuzeydoğusunda yer alan bu kaynağın boşalım kotu 964 m olup, sıcaklık ve debisi ise sırasıyla 10°C ve 0,2 l/s (12 l/dak)'dir (Şekil 8.3).

**Bardakçılar Ömer Coşkun kaynağı (KS-5):** Kızılcahamam KB'sında bulunan diğer bir kaynak Bardakçılar Ömer Coşkun kaynağıdır (Şekil 8.4, EK-1). Kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır. Boşalım kotu 1300 m olan kaynağın, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 9,5°C, debisi ise 0,03 l/s (1,8 l/dak)'dir.



Şekil 8.4 Kızılcahamam soğuk su kaynakları

a. Ömer Coşkun kaynağı, b. Egerliören Kaynağı, c. Egerliören göl suyu, d. Elviren köy yaylası göl kaynağı



**Eğerliören Kaynağı (KS-6):** Kızılcahamam'ın kuzeydoğusunda ve Eğerliören köyü içinde yer alan bu kaynağın boşalım kotu 1421 m olup, Nisan 2014 tarihindeki sıcaklığı 10,9°C, debisi ise 0,05 l/s (3 l/dak)'dır (Şekil 8.4). Kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır.

**Ağaçlı Pınar Kaynağı (KS-7):** Kızılcahamam'ın kuzeydoğusunda ve Eğerliören köyü kuzeyinde yer alan Ağaçlı Pınar Kaynağı bölgede kırıklı ve çatlaklı olan lavlara ait çatlaklardan beslenmekte ve bu kuşağın tabanından, yine aynı birimlerden boşalmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1566 m, sıcaklığı 11,6°C ve debisi 0,033 l/s (1,98 l/dak)'dır.

**Eğerliören göl suyu (KS-8):** Kızılcahamam'ın KD'sunda ve 1634 m kotunda olup, sıcaklığı 12,8°C, EC değeri ise 196 µS/cm'dir (Şekil 8.4).

**Elviren Köy Yaylası göl kaynağı (KS-9):** Kızılcahamam Elviren Köyü Yaylası kuzeyinde yer alan göl kaynağı içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1677 m olup, sıcaklığı 8,6°C ve debisi 0,066 l/s (3,96 l/dak)'dır (Şekil 8.4).

**Karaoluk köy pınarı (KS-10):** Dereköy yaylasının kuzeybatısında yer alan Karaoluk köy pınarı içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1473 m olup, sıcaklık ve debisi sırasıyla 11°C ve 0,029 l/s (1,74 l/s)'dir.

**Eğerliören Kaynağı (KS-11):** Eğerliören Kaynağı Eğerliören köyünün doğusunda ve Alinin Öldüğü Sırtın güneyinde yer alan bu kaynağın boşalım kotu 1252 m, sıcaklığı 10,9°C ve debisi ise 0,05 l/s (3 l/dak)'dır.

**Eğerlidere Kaynağı (KS-12):** Eğerlidere Kaynağı Kızılcahamam'ın kuzeyindeki Semerler köyünün doğusunda, boşalım kotu 1136 m olup, sıcaklığı 14,2°C, debisi ise 0,025 l/s (1,5 l/dak)'dır (Şekil 8.5).

**Kavaközü Kaynağı (KS-13):** Kavaközü Kaynağı Kızılcahamam'ın kuzeyinde, Kavaközü köyü mevkiinde bulunmakta olup, boşalım kotu 1198 m, andezit ve bazaltların kırık ve çatlaklarından boşalmaktadır (Şekil 8.5). Nisan 2014 tarihindeki ölçümlerde sıcaklığı 10°C, debisi ise 0,033 l/s (1,98 l/dak)'dır.



Şekil 8.5 Kızılcahamam soğuk su kaynakları

a. Eğerlidere Kaynağı, b. Kavaközü Kaynağı

**JAVSU (KS-14):** Kızılcahamam'ın Kızılcaören ve Çengeller köyü mevkiinde yer alan JAVSU'nun boşalım kotu 1023 m olup, andezit ve bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülerek boşalmaktadır. Jandarma Asayiş Vakfına ait JAVDES İç ve Dış Ticaret A.Ş.'nin markası olan Kızılcahamam JAVSU olarak, 2003 yılından itibaren işletilmektedir (Şekil 8.6). Kaynak, Kasım 2013 ölçümlerine göre 15°C sıcaklığında, pH'ı 8,0 ve elektriksel iletkenlik değeri 186 µS/cm dir.



Şekil 8.6 JAVSU tesisi (KB'ye bakış)

**Kızılcahamam Valilik Pınarı (KS-15):** Kızılcahamam Valilik Pınarı Kızılcahamam'ın kuzeyinde ve amlıdere yolu güzergâhında yer almaktadır. Kaynağın kaptajı yapılarak eşme haline getirilmiştir (Şekil 8.7). Kaynağın boşalım kotu 1005 m olup, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 10,2°C, debisi ise 0,155 l/s (9,3 l/dak)'dir.

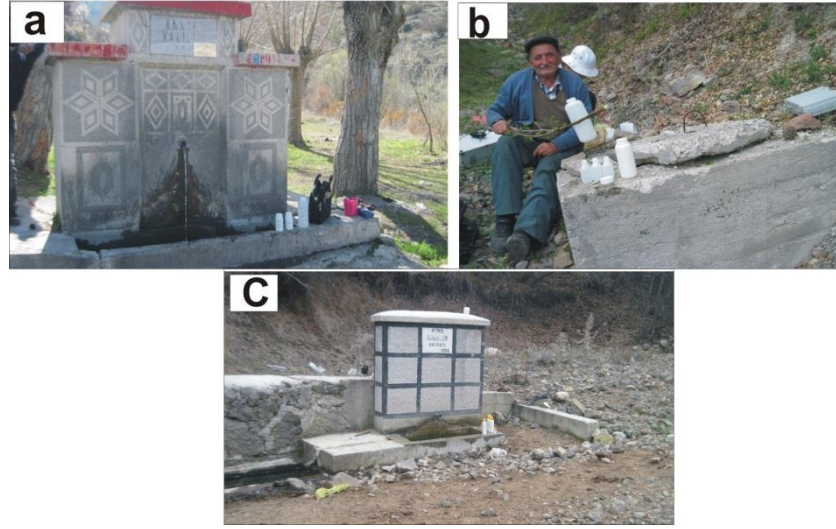
**Seyhamam Gavur Deresi kaynağı (KS-16):** Seyhamam Gavur Deresi kaynağı Seyhamam mevkiinde yer almakta olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın st kapalı olması nedeniyle sağlıklı bir debi ölçümü yapılamamış, yaklaşık olarak 0,5 l/s olarak tahmin edilmiştir. Kaynağın boşalım kotu 1250 m olup, Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 16°C ölçülmüştür (Şekil 8.7).

**Ayvacık Kirazlı Deresi kaynağı (KS-17):** Ayvacık Kirazlı Deresi kaynağı Seyhamam'ın güneyinde, Ayvacık köy yolundaki andezit ve bazaltların süreksizliklerinden boşalmaktadır. Kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.7). Kaynağın boşalım kotu 1231 m olup, Kasım 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 10°C, debisi ise 0,016 l/s (0,96 l/dak)'dır.

**Fırın Dere kaynağı (KS-18):** Seyhamam mevkiinde yörenin içme suyu ihtiyacının bir bölümünü karşılayan Fırın Dere kaynağının debisi ölçülememiştir. Kaynağın boşalım kotu 1120 m olup, sıcaklık, pH ve EC değerleri sırasıyla 15°C, 7,5 ve 180 µS/cm'dir.

**Seyhamam Kaynağı (KS-19):** Seyhamam Kaynağı Seyhamam mevkiinde yer almakta ve içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1040 m, sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırasıyla 10°C, 7,71 ve 175 µS/cm'dir.

**Millipark Soğuk Su (KS-20):** Kızılcahamam ilçe merkezinin doğusunda bulunan Millipark Soğuk Suyu'nun boşalım kotu 1060 m olup, sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırasıyla 10°C, 8,0 ve 119 µS/cm'dir. Türkiye'nin ikinci büyük Soğuk Su Milli Parkı içinde yer alan bir kaynak olup, tesislerde şişelenmektedir.

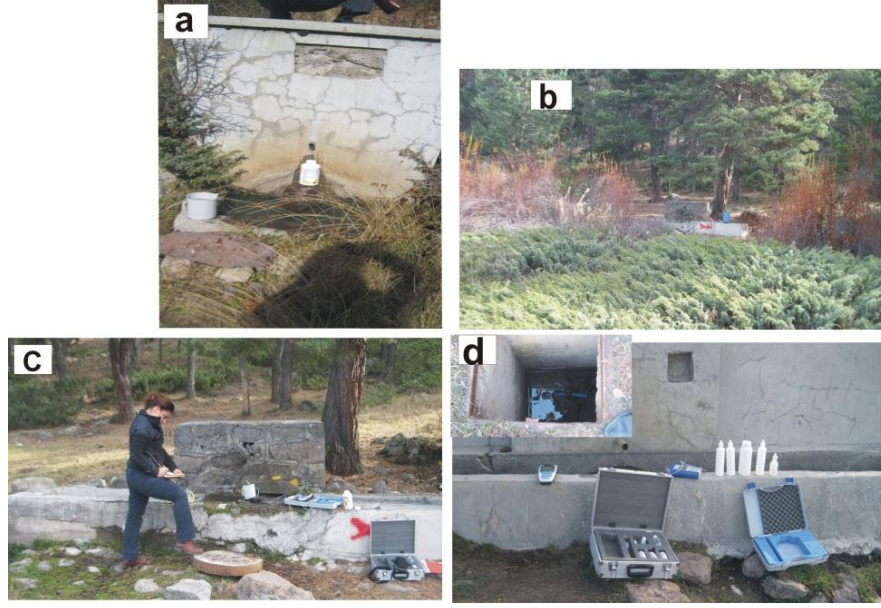


Şekil 8.7 Kızılcahamam soğuk su kaynakları

a.Kızılcahamam Valilik pınarı (KB'ye bakış), b.Seyhamam Gavur Deresi kaynağı (KB'ye bakış), c. Ayvacık Kirazlı Deresi kaynağı (K'bakış)

**Çavuşoğlu pınarı (ÇS-1):** Çamlıdere batısında Göllü mevkiinde yer alan Çavuşoğlu pınarı, lavların kırık ve çatlaklarından beslenmekte ve yine aynı birimlerden boşalmaktadır. İçme suyu olarak kullanılan ve çeşme haline getirilmiş olan Çavuşoğlu pınarı, Kasım 2013 ölçümlerine göre 11°C sıcaklıkta ve 0,0036 l/s'lik (0,216 l/dak) debiye sahiptir (Şekil 8.8).

**Kösyayla pınarı (ÇS-2):** Çamlıdere Yaylası'nın batısında Kösyayla mevkiinde yer alan Kösyayla pınarı andezit ve bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülerek aynı birimin tabanından boşalmaktadır. Kaynak noktası çeşme şeklinde olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kasım 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 7,5°C ve debisi 0,014 l/s (0,84 l/dak)'dır (Şekil 8.8).



Şekil 8.8 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a. Çavuşoğlu pınarı (KB'ye bakış), b ve c. Kösyayla pınarı (KD'ye bakış), d. Aluç Pınar Ayağı kaynağı

**Aluç Pınar Ayağı kaynağı (ÇS-3):** Çamlıdere yaylasının güneydoğusunda Aluç Dağı Pınar Ayağı mevkiinde bulunan kaynağın 1 m<sup>2</sup> lik bir alanda kaptajı yapılmış ve andezit ile bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülen sularla beslendiği görülmüştür. Kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1696 m olup, Kasım 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 9°C, debisi 0,0357 l/s (2,1 l/dak)'dir (Şekil 8.8).

**Örenköy Yayla kaynağı (ÇS-4):** Çamlıdere'nin kuzeyinde ve Örenköyü'nün yaklaşık KB'sında yer alan Örenköy Yayla kaynağı volkanik birimlerin kırıklı ve çatlaklı seviyelerinden ve bunların geçirimsiz birimlerle olan dokunaklarından boşalım yapmaktadır (EK 1). Çeşme haline getirilen kaynağın (Şekil 8.9) Kasım 2013 tarihinde yapılan sıcaklık ve debi ölçümleri sırasıyla 11°C ve 0,15 l/s'dir. Kaynak içme suyu olarak kullanılmaktadır.

**Atça pınarı (ÇS-5):** Atça köyü girişinde çeşme haline getirilmiş olan Atça pınarı, Mayıs 2013 tarihinde yapılan ölçümlerle sıcaklığının 16°C olduğu tespit edilmiş, debi ölçümü ise yapılamamıştır (EK 1). Bazaltların kırık ve çatlaklarından boşalan bu kaynağın boşalım kotu 1112 m olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır.

**Ahatlar Kaynağı (ÇS-6):** Ahatlar kaynağı Ahatlar sıcak su kaynakları dolayında yer almakta olup, borularla taşınan sular çeşmeden boşalım yapmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1054 m olup, Mayıs 2013 ölçümlerine göre debisi 0,5 l/s ve sıcaklığı 16°C'dir (Şekil 8.9). Ahatlar kaynağı, lavların kırık ve çatlaklarından süzülen sularla beslenmekte ve aynı birimlerden boşalmaktadır.

**Sarıkavak Velibey kaynağı (ÇS-7):** Sarıkavak Velibey kaynağının kaptajı kuyu şeklinde yapılmış, çapı 1,20 m, derinliği ise 7 m'dir. Kaptaj suyunun yüzeyden derinliği ise 0,5 m'dir. Kaynak lavların kırık ve çatlaklarından süzülen meteorik suyun, geçirimsiz tuf dokunaklarından boşalmasıyla oluşmuştur. İçme suyu olarak kullanılan kaynağın Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 13°C olup, debisi 0,2 l/s'dir (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a. Örenköy Yayla kaynağı, b. Ahatlar Kaynağı, c. Sarıkavak Velibey kaynağı, d. Ulupınar Hatipler kaynağı

**Ulupınar Hatipler kaynağı (ÇS-8):** Sarıkavak Köyü'nün GB'sında ve Çukurören Köyü'nün doğusundaki Hatipler Mahallesi'nde yer alan Ulupınar Hatipler kaynağı boşalım kotu 1400 m olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.9). Kaynağın Kasım 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 13°C, debisi ise 0,1 l/s'dir.

**Cevzidibi Tepe kaynağı (ÇS-9):** Cevzidibi Tepe kaynağı Cevzidibi Tepesi'nin güneybatısında ve Ahatlardan gelen Ahatlar Deresi ile Atça Köyü'nden gelen Çay

Deresi'nin birleştiği yerde bulunmaktadır (Şekil 8.2; EK 1). Kaynak, boşalım noktasında çok sayıdaki noktadan kaynak alanı şeklinde boşalmaktadır. Dereye akan bu kaynağın Nisan 2013 ölçümlerindeki sıcaklığı 15°C'dir.

**Muzrupağacın Kaynağı (ÇS-10):** Çamlıdere'nin GB'sında ve Muzrupağacın Köyü'nün girişinde yer alan Muzrupağacın Kaynağı (Şekil 8.10) bölgedeki andezitlerin kırık ve çatlaklarından beslenmekte ve aynı birimden boşalmaktadır. Çeşme haline getirilmiş olan kaynağın Nisan 2013 ölçümlerine göre sıcaklığı 16°C, debisi ise 0,3 l/s'dir.

**İsmail Çiçekçi kaynağı (ÇS-11):** Kızılcahamam batısı Kirazlı yaylası mevkinde yer alan İsmail Çiçekçi Kaynağı (Şekil 8.10) andezitik kayaların kırık ve çatlaklarından beslenmektedir. Çeşme olarak kullanıma sunulmuş olan kaynağın boşalım kotu 1674 m, debisi ise Nisan 2013 ölçümlerine göre 0,1 l/s'dir.

**Çamköy Pınarı (ÇS-12):** Çamlıdere kuzeybatısında yer alan Çamköy Pınarı bölgedeki lavların kırık ve çatlaklarından beslenmekte olup, aynı kuşağı oluşturan birimlerden boşalmaktadır. Boşalım kotu 1339 m olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 10°C, debisi ise 1 l/s'dir (Şekil 8.10).

**Alakoç Ölü Pınarı (ÇS-13):** Çamlıdere'nin kuzeyinde ve Alakoç Mahallesi'nin yaklaşık 1 km kuzeyinde bulunan Alakoç Ölü pınarı andezit ve bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülerek aynı birimin tabanından boşalmaktadır. Kaynağın ~ 1 m<sup>2</sup>'lik bir alanda kaptajı yapılarak içme suyu amaçlı kullanılmaktadır. Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 9,6°C, debisi ise 0,4 l/s'dir (Şekil 8.10).

**Kavaklı Pınar Ayağı (ÇS-14):** Çamlıdere'nin kuzeyinde Kötüpınar Dere mevkinin güneyinde yer alan bu kaynak andezit ve bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülerek boşalmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1593 m olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır.

Nisan 2014 ölçümlerine göre kaynağın sıcaklığı 4,8°C, debisi ise 0,09 l/s (5,4 l/dak)'dir (Şekil 8.11).

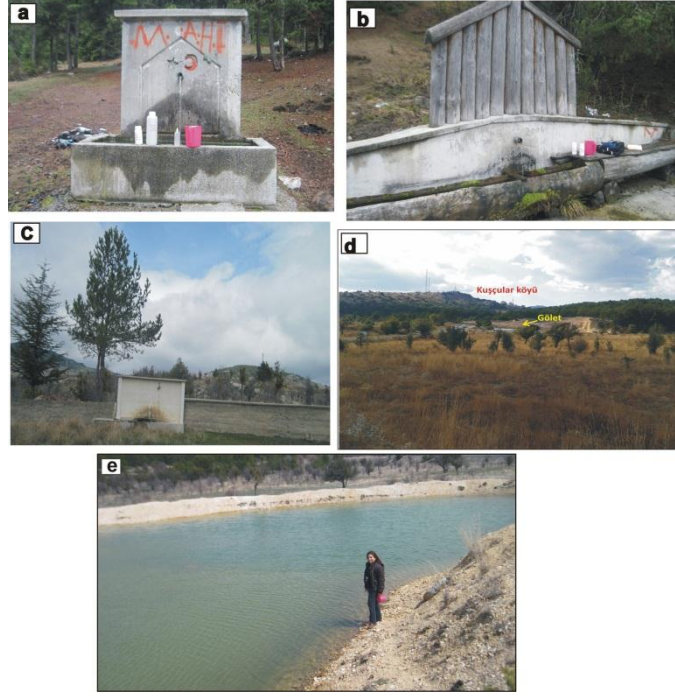


Şekil 8.10 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a. Muzrupağacın Kaynağı, b. İsmail Çiçekçi kaynağı, c. Çamköy pınarı (KB'ye bakış), d. Alakoç Ölü pınarı (KD'ye bakış)

**Alakoç Yaylası Ören Çörtten pınarı (ÇS-15):** Çamlıdere'nin kuzeydoğusunda ve Alakoç'un yaklaşık KB'sında yer alan Alakoç Yaylası Ören Çörtten pınarı volkanik birimlerin içindeki kırıklı çatlaklı seviyeler ve bunların geçirimsiz birimlerle olan dokunaklarından boşalım yapmaktadır (EK 1; Şekil 8.2). Kaynak noktası 1527 m kotunda yer almakta olup (Şekil 8.11), Nisan 2014 tarihinde yapılan sıcaklık ve debi ölçümleri sırasıyla 9,8°C ve 0,073 l/s (4,38 l/dak)'dir. Kaynak suyu içme suyu amaçlı değerlendirilmektedir.





Şekil 8.11 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a. Kavaklı Pınar Ayağı kaynağı, b. Ören Çörten soğuk su kaynağı, c. Mezarlık pınarı, d) Kuşçular Göletinin uzaktan görünümü, e. Kuşçular gölü

**Yaylabası pınarı (ÇS-16):** Alakoç Mahallesi'nin kuzeyinde ve Pınar Tepe'sinin güneyinde yer alan bu kaynak, Nisan 2014 tarihindeki ölçümlerde sıcaklığı 10°C, debisi ise 0,014 l/s (0,84 l/dak)'dir (EK 1; Şekil 8.2). Kaynak bazaltların kırık ve çatlaklarından süzülmemektedir. Kaynağın boşalım kotu 1669 m'dir. Yöre halkı kaynak suyunu içme amaçlı kullanmaktadır.

**Mezarlık pınarı (ÇS-17):** Kuşçular Köyü'nün kuzeybatısında ve mezarlık yanında yer alan kaynak, borularla taşınarak çeşme haline getirilmiş ve içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kaynağın Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 8,9°C'dir (Şekil 8.11). Kaynağın boşalım kotu 1313 m olup, lavların kırık ve çatlaklarından beslenmekte ve aynı birimlerden boşalmaktadır.

**Kuşçular Göleti (ÇS-18):** Göller, volkanizmanın durduğu zamanlarda ve/veya volkan faaliyetlerinin ulaşmadığı yerlerde gelişebilmektedir. Bu ortamlarda kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı, çört ve diyatomit gibi çökel kayalar ile birlikte volkanik malzemenin göl

ortamına taşınması veya gölde birikimi ile volkano sedimanter birimler oluşmaktadır. Bunlar alacalı renkleri ile sahada kolayca tanınırlar. Çamlıdere'nin kuzeyinde yer alan Kuşçular köyü'ne 1 km uzaklıkta ve çam ağaçlarının içinde oluşan Kuşçular Göleti yaklaşık olarak daireseldir. Gölün çapı 100 m, yarıçapı ise 60 m'dir. Göl suyu hayvanların tarafından kullanılmaktadır. Göletin boşalım kotu 1122 m olup, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 13°C'dir (Şekil 8.11).

**Avdan Kaynağı (ÇS-19):** Çamlıdere ilçe merkezinin KD'sunda ve 8 km uzaklığında bulunan Avdan köyü içinde yer alan bu kaynak, kaptajı yapılmış ve içme suyu olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.12). Kaynağın boşalım kotu 1398 m, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 15,6°C olup, debisi ise ölçülememiştir. Kaynak volkanik birimlerin içindeki çatlaklı ve kırıklı seviyeler ve bunların geçirimsiz birimlerle olan dokunaklarından boşalmaktadır.



Şekil 8.12 Avdan Kaynağı'nın iki farklı görünümü (K'ye bakış)

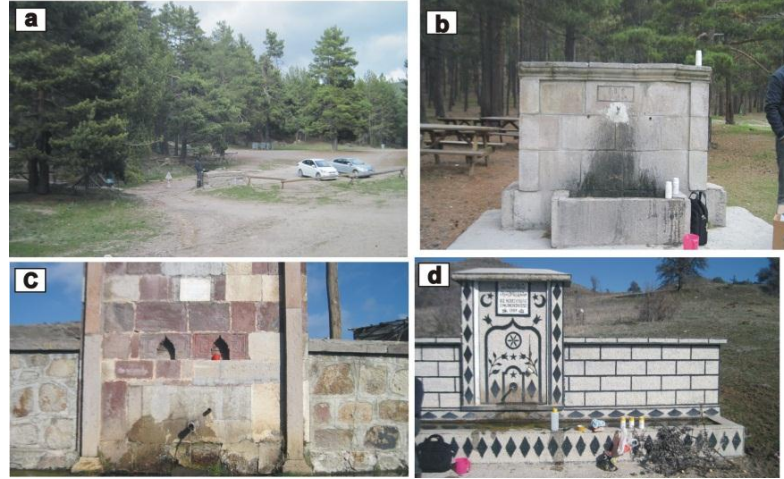
**Kayalar Erenler Sırtı kaynağı (ÇS-20):** Çamlıdere ilçe merkezinin kuzeyinde ve Kayalar Mahallesi Erenler Sırtı'nda bulunan bu kaynağın boşalım kotu 1395 m olup, sıcaklık, pH ve debisi sırasıyla 9,3°C, 7,60 ve 0,01 l/s (0,6 l/dak)'dir (Şekil 8.2).

**Çamkoru Tabiat Parkı Ölü Pınarı (ÇS-21):** Çamlıdere ilçe merkezinin KB'sında ve 15 km uzaklığında bulunan Çamkoru Tabiat Parkı içinde yer alan bu kaynak, bölgedeki andezitlerin kırık ve çatlaklarından boşalmaktadır (Şekil 8.13). Ölü pınar kaynağı olarak

bilinen bu kaynak, boşalım noktasında kaynak alanı şeklinde olup, birçok noktadan boşalmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1422 m, Nisan 2014 ölçümlerindeki sıcaklığı 7,9°C, debisi ise 0,05 l/s (3,0 l/dak)'dir.

**Aşağıovacık Kaynağı (ÇS-22):** Çamlıdere'nin KB'sında ve Aşağıovacık köyünün girişinde yer alan Aşağıovacık Kaynağı (Şekil 8.13) bölgedeki andezitlerin kırık ve çatlaklarından boşalmaktadır. Çeşme haline getirilmiş olan bu kaynağın boşalım kotu 1481 m, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 7,6°C, debisi ise 0,2 l/s'dir.

**Aşağıovacık Çayır Pınarı (ÇS-23):** Çamlıdere'nin KB'sında ve Aşağıovacık Köyü girişinde yer alan Aşağıovacık Çayır Pınarı (Şekil 8.13) bölgedeki andezitlerin kırık ve çatlaklarından süzülerek beslenmekte ve aynı birimden boşalmaktadır. Kaynağın boşalım kotu 1501 m olup, Nisan 2014 ölçümlerine göre sıcaklığı 9,1°C, debisi ise 0,033 l/s (1,98 l/dak)'dir.



Şekil 8.13 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a. Çamkoru Tabiat Parkı, b. Çamkoru Tabiat Parkı Ölü Pınarı, c. Aşağıovacık Kaynağı, d. Aşağıovacık Çayır Pınarı

**Yukarıovacık köy kaynağı (ÇS-24):** Çamlıdere'nin KB'sında ve Yukarıovacık köyü içinde yer alan Yukarıovacık köy kaynağının boşalım kotu 1505 m olup, içme suyu

olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.14). Nisan 2014 tarihindeki ölçümlerde sıcaklığı 6,1°C, debisi ise 0,2 l/s'dir.

**Aşağıovacık Yaylası dörtlü çeşme (ÇS-25):** Çamlıdere Aşağıovacık Yaylası içinde yer alan kaynağın boşalım kotu 1620 m olup, içme suyu olarak kullanılmaktadır. Nisan 2014 tarihindeki ölçümlerde sıcaklığı 7,4°C'dir (Şekil 8.14).

**Sait Hayrat Pınarı (ÇS-26):** Aşağıovacık Yaylasının yaklaşık 1 km KB'sında yer alan Sait Hayrat Pınarı içme suyu olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.14). Kaynağın boşalım kotu 1623 m olup, sıcaklığı 6,7°C ve debisi ise 0,05 l/s (3 l /dak)'dir.



Şekil 8.14 Çamlıdere soğuk su kaynakları

a.Yukarıovacık köy kaynağı, b. Aşağıovacık Yaylası, c. Aşağıovacık Yaylası dörtlü çeşme, d. Sait Hayrat Pınarı

**Çamkoru Göleti (ÇS-27):** Çamlıdere'nin KB'sında Çamkoru Tabiat Parkı içinde yer alan ve yağmur-kar sularının biriktiği krater tabanlı olan Çamkoru Göleti, bölgenin tepe yamaçlarındaki kaynak sularının vadi tabanında toplanması sonucu meydana gelmiştir. Göletin boşalım kotu 1374 m olup, pH'ı 7,49 ve EC değeri 83,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Şekil 8.15).



Şekil 8.15 Çamkoru Göleti

**Güneyköy Ilıca kaynağı (ÇS-28):** Çamlıdere'nin GB'sında ve 38 km uzaklıkta yer alan Güney köyü Bolu il sınırına yakın, Çamlıdere-Peçenek karayoluna 18 km uzaklıktadır. Kaynak üzeri betonla kaplı, yaklaşık 15 m<sup>2</sup>'lik bir alandan boşalmaktadır (Şekil 8.16). Güneyköy Ilıca kaynak suyu, 8 m uzunluğundaki boru vasıtasıyla depoya verilmiş olup, debisi yaklaşık 10 l/s'dir. Kaynağın pH ve EC değeri sırasıyla 7,86 ve 115,3 µS/cm'dir.



Şekil 8.16 Güneyköy Ilıca kaynağı

#### 8.4.2 Sıcak ve mineralli su kaynakları

Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgelerinde aktif tektonik ve genç volkanların etkin olması, çok sayıda sıcak ve mineralli kaynağın oluşmasına neden olmuştur. Bunların bir kısmının kaptajı yapılmış ve farklı amaçlarla kullanılırken, bir kısmı boşa akmaktadır.

Sondaj şeklinde yapılan kaptajların bir kısmı bazı kaynakların kurumasına neden olmuştur. Bu çalışma kapsamında kaynakların bazı fizikokimyasal ve izotopik özellikleri incelenmiştir.

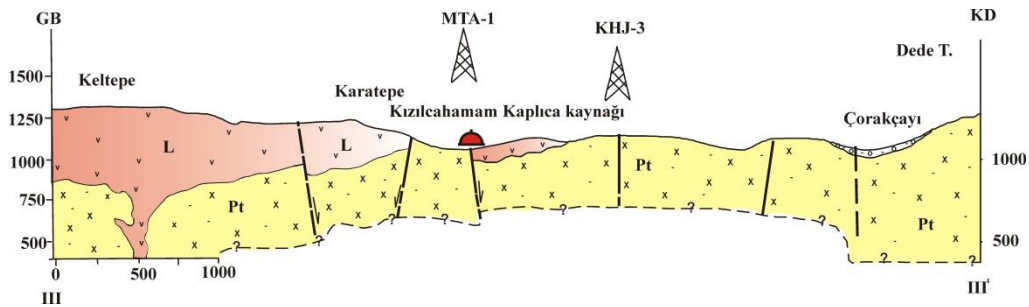
#### 8.4.2.1 Kızılcahamam bölgesi

##### 8.4.2.1.1 Kızılcahamam Kaplıca kaynağı

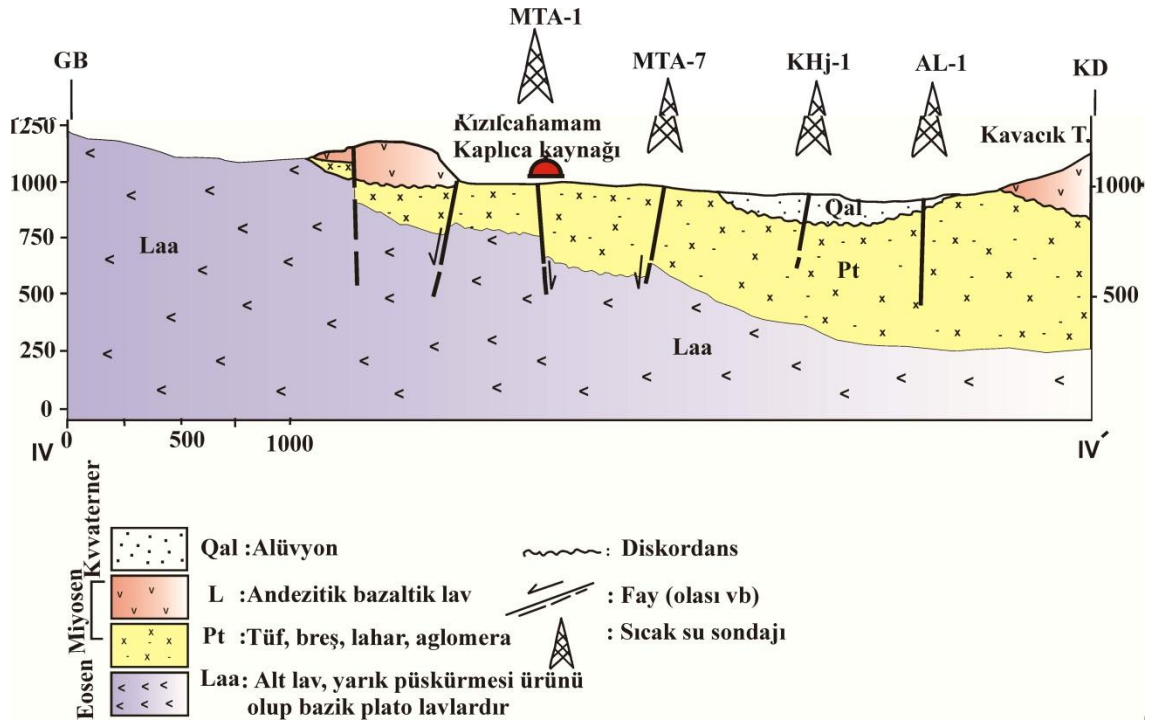
Kızılcahamam içinde D-B doğrultulu fay hattı boyunca, 250 m aralıklarla farklı debi ve sıcaklıkta oluşan 2 adet sıcak ve mineralli su kaynağı yer almaktadır. Bu kaynaklar normal faydan çıkmaktadır (Şekil 8.17 - 8.18). Bunlara Büyük ve Küçük Kaplıca isimleri verilmiştir. Büyük Kaplıca kaynağı (BK) suyu iki ayrı kaptajdan temin edilmektedir (Canik 1972). Biri, Büyük Kaplıca'nın 50 m G'indeki Romalılardan kalma bir kaptaj olup, debisi yaklaşık olarak 1,25 l/s'dir. Diğeri ise 4,5 m derinde, muhtemel ebatları 8,90x7,60 m olan bir kaptaj olup, üzeri kapalıdır. Bunun debisi de yaklaşık olarak 1,9 l/s olarak ölçülmüştür. Kaplıcanın sıcaklığı 51°C'dir. Küçük Kaplıca (KK) kaynağının debisi ise 0,8 l/s olup, sıcaklığı 50°C'dir (Canik 1972).

Küçük Kaplıca yakınına açılan MTA-1 sıcak su sondajından su alınmaya başlandığında her iki kaynak da kurumuştur (Özmutaf vd. 1984).

Bu sıcak su kaynaklarının hazne kayacı, üst lav, andezit ve tüf altındaki Plato tipi lav akıntılarıdır (Keskin 1974, Özmutaf vd. 1984, Koçak 1977). Kaynakların çıktığı alanda tüfler örtü kaya özelliğindedir.



Şekil 8.17 Kızılcahamam bölgesi III-III' jeoloji enine kesiti



Şekil 8.18 Kızılcahamam bölgesi IV-IV' jeoloji enine kesiti

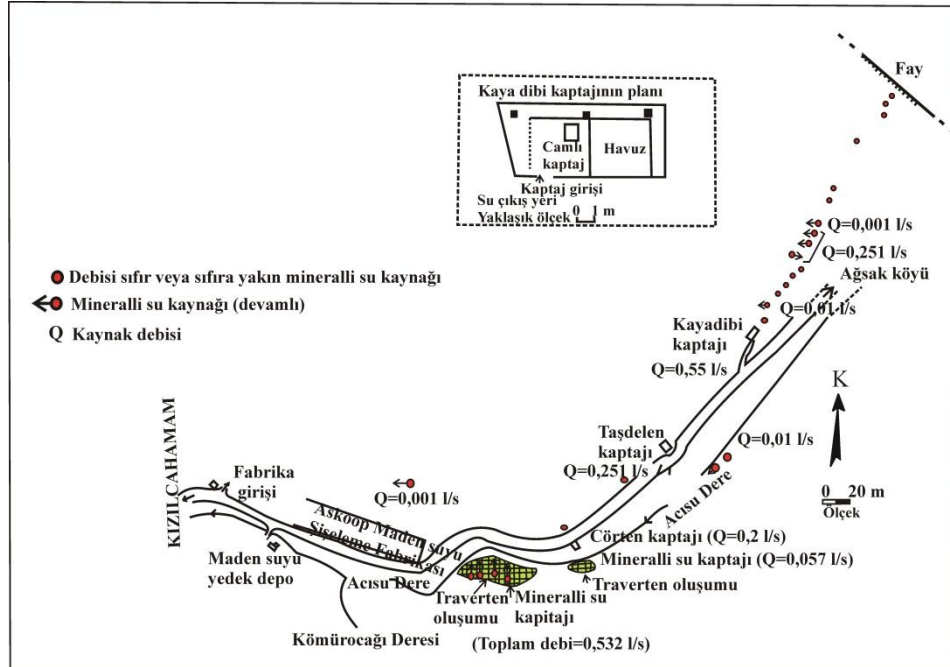
#### 8.4.2.1.2 Acısu Deresi sıcak ve mineralli su kaynakları

Kızılcahamam'ın KD'sunda ve yaklaşık Kızılcahamam'a 3 km mesafede bulunan Acısu Dere içinden faylar ve etkili çatlaklar boyunca oluşan, farklı debi ve sıcaklıkta 3 adet şişelenebilir mineralli su kaynağı (KT-3, KT-4 ve KT-5) tespit edilmiştir (EK-1). Bunlardan 1 tanesi Kızılcahamam Belediyesi'ne ait Kızılcahamam Çamlık mineralli suyu (KT-4), diğerleri ise (KT-3) As-koop'a ait mineralli su kaynaklarıdır (Şekil 8.19).



Şekil 8.19 a. Çamlık mineralli su şişeleme tesisi, b. As-koop mineralli su şişeleme tesisi (yenilenmemiş hali, 1993 yılı)

Acısu Dere içinde yer alan kaynaklar doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 8.20). Şekil 8.20’de Pasvanoğlu ve Arıgün (1998)’ün çizdiği kroki yer almaktadır. As-koop tesislerinin batısında ve Acısu Dere’nin mansabına doğru çıkan mineralli kaynakların bir kısmı boşa akarken bir tanesi kaptate edilmiş ve Kızılcahamam Çamlık mineralli suyu olarak Kızılcahamam Belediyesi tarafından şişelenmektedir (Şekil 8.21).



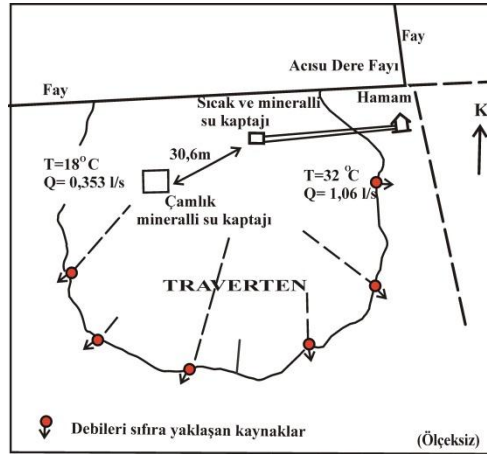
Şekil 8.20 Acısu Dere içindeki As-koop mineralli su kaynakları (Pasvanoğlu ve Arıgün 1998)





Şekil 8.21 Acısu Dere içinde kaptajı yapılmamış bir mineralli su kaynağı

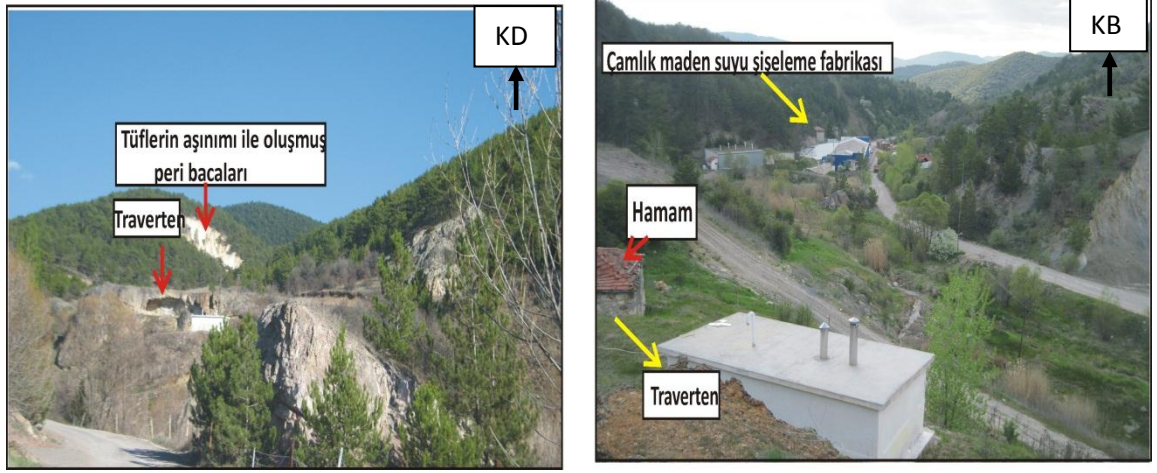
Kızılcahamam Çamlık mineralli sularının çıkışını, Acısubaşı Tepe kuzeyindeki doğu-batı doğrultulu normal fay ve etkili çatlakların sağladığı tahmin edilmektedir. Bu kaynağın 30 m batı-güney batısında ise bir sıcak ve mineralli su kaynağı (KT-5) yer almaktadır (Şekil 8.20-8.22). Kaynak Acısubaşı Tepenin kuzeyindeki normal faydan çıkmakta ve sıcak suyun oluşturduğu ve oluşumu hala devam eden travertenlerin içinden boşalmaktadır. Su çıkışı gazlı olup, kaynak çıkışında kırmızımsı ve kahve renkli bir çökelti bırakmaktadır (Şekil 8.23 - 8.24) .



Şekil 8.22 Acısu Dere'deki sıcak ve mineralli su ile Çamlık mineralli suyun lokasyonu



Şekil 8.23 Çamlık mineralli su kaynağı (KT-4)



Şekil 8.24 Kızılcahamam Acısu Dere bölgesinin uzaktan görünüşleri

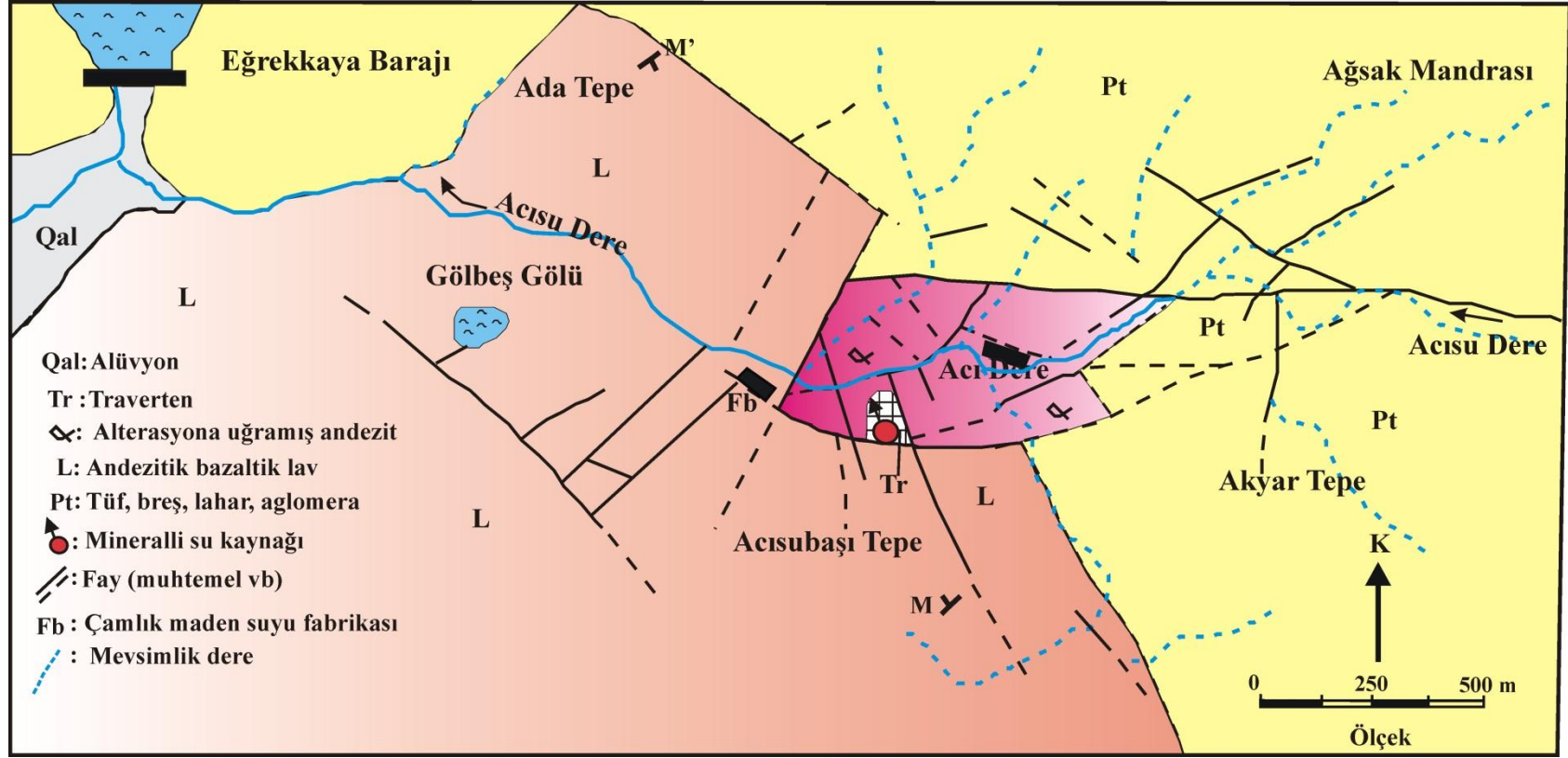
Kaynakların bulunduğu alan volkanik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 8.25-8.26). Bunlar genellikle andezit, tuf ve aglomeradan oluşmaktadır. Birimler kendi arasında ardalanmalı ve/veya yanal geçişlidir. Andezitler Acısu Dere’de, Çamlık ve As-koop maden suyu şişeleme fabrikalarının dolayında oldukça alterasyona uğramışlardır. Kayalar çekiçle vurulduğunda çok kolay dağılmaktadır. Giggenbach (1991)’a göre volkanizmaya bağlı olarak çıkan sulu asidik çözeltiler, buharlar ve gazların etkisiyle alterasyon artmaktadır. Tez sahasında da tektonizma sonucu oluşan, hidrotermal oluk ödevi gören pek çok etkili çatlak ve fayların bulunduğu bölgedeki sıcak ve mineralli suların çevresinde alterasyon tespit edilmiştir.

Çamlık Mineralli Su Kaynağı'nın 2,20x2,20x2,40 m (derinlik) boyutlarında kaptajı yapılmıştır. Kaptajın tabanından itibaren 1,20 m'lik alt kısmı mermer kaplama, 1,20 m'lik üst kısmı da fayans kaplamalıdır. Burada, 0,90x0,65 m boyutunda bir pencere bulunmaktadır (Pasvanoğlu ve Arıgün 1998).

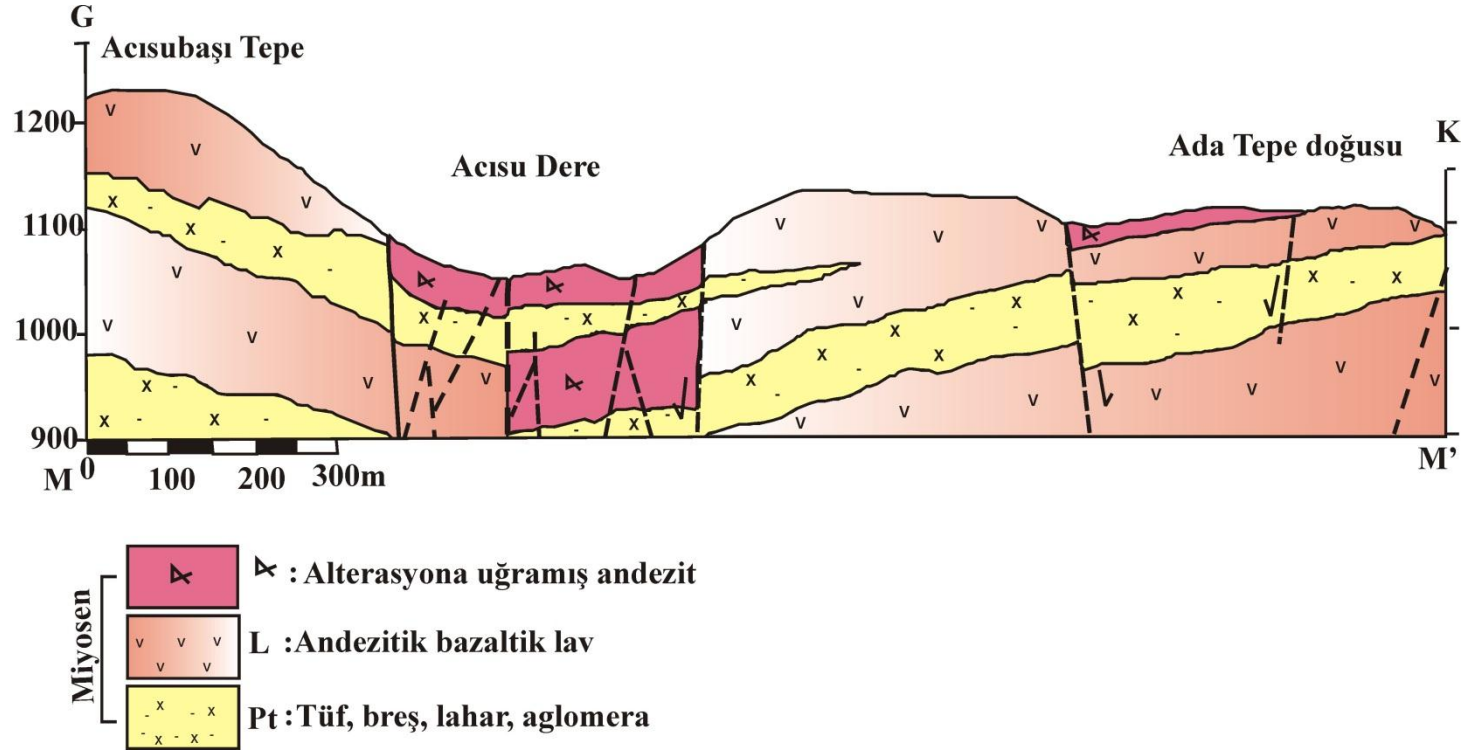
Acısu Deresi'nin doğusunda, yine D-B doğrultusunda uzanan normal fay boyunca çıkan mineralli su kaynaklarından 3 tanesinin As-koop şirketi tarafından kaptajı yapılmış olup, dolun tesislerinde şişelenmektedir. Kaynakların çıkış yerindeki litostratigrafik dizilim Çamlık maden suyu kaynağı ile benzerlik göstermektedir.

Acısu Deresi'nde bulunan Kızılcahamam Çamlık maden suyunun sıcaklığı 35°C olup, debisi 0,353 l/s (30,5 m<sup>3</sup>/gün)'dir. Bu kaynağın 30 m BGB'sındaki sıcak ve mineralli su kaynağının (KT-5) debisi 1,06 l/s (92 m<sup>3</sup>/gün) olup, sıcaklığı 32°C'dir (Pasvanoğlu ve Arıgün 1998). Acısu Dere içindeki tüm sıcak ve mineralli su kaynaklarının toplam debisi 3,0 l/s olarak ölçülmüştür (Kızılcahamam Çamlık işletme Müdürü ile sözlü görüşme, Nisan 2013). Kaynakların debileri belirli hacim yöntemi ile farklı mevsimlerde ölçülmüş, bunların debisinde değişiklik olmadığı gözlenmiştir.

Acısu Dere içindeki mineralli sular kaptajlardan borularla depoya aktarıldıktan sonra, burada bir gün bekletilmektedir. Su dinlendikten sonra filitrelerden geçilerek şişelenmektedir. Suyun dinlenmesi esnasında sıcaklığı bir miktar azalmakta ve bir miktar CO<sub>2</sub> gazının suda çözünmesine olanak sağlanmaktadır. Su kaynaktan boşalırken ve depoda bekleme sürecinde içerdiği CO<sub>2</sub> gazının bir kısmını kaybetmektedir.



Şekil 8.25 Acısü Dere Çamlık mineralli suyu dolayının büyük ölçekli jeoloji haritası



Şekil 8.26 Acısu Dere Çamlık mineralli suyu dolayından geçen jeoloji kesiti

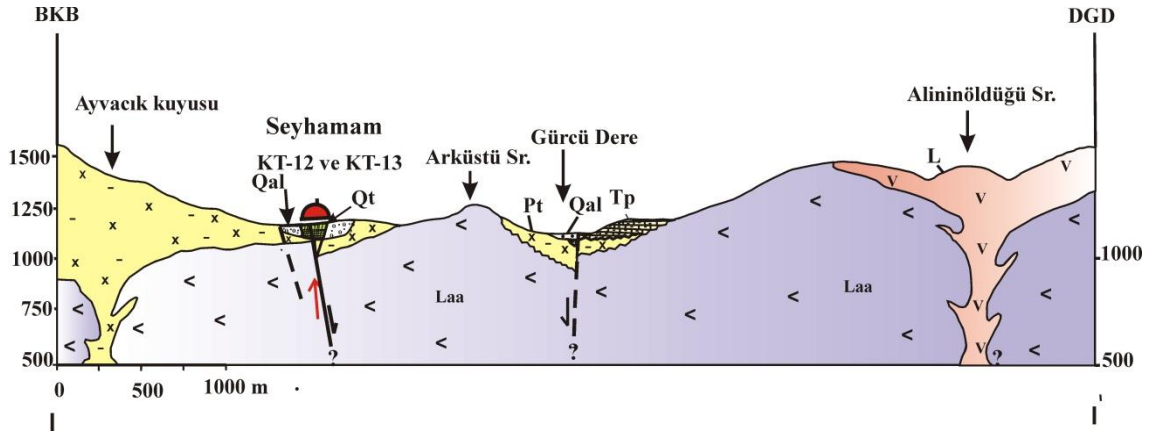
#### 8.4.2.1.3 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynakları

Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynakları Kızılcahamam ilçesinin 14 km kuzeyindeki Güvem bucağında olup, Hamam Deresi vadisi boyunca boşalmaktadır. Hamam Deresi boyunca K-G doğrultusunda bir normal fay bulunmaktadır (Şekil 8.27; EK 1). Normal fay kısmen alüvyonla örtülüdür. Bu nedenle Seyhamam kaplıcasında kaptaj yapılmış ve 36 m<sup>2</sup>'lik bir alanda 15 adet su çıkış noktası-tali kaynak tespit edilmiştir. Kaptaj alanı kaynak gurubu olarak ele alınmıştır. Kaynakların boşalım kotu ortalama 1030 m'dir.

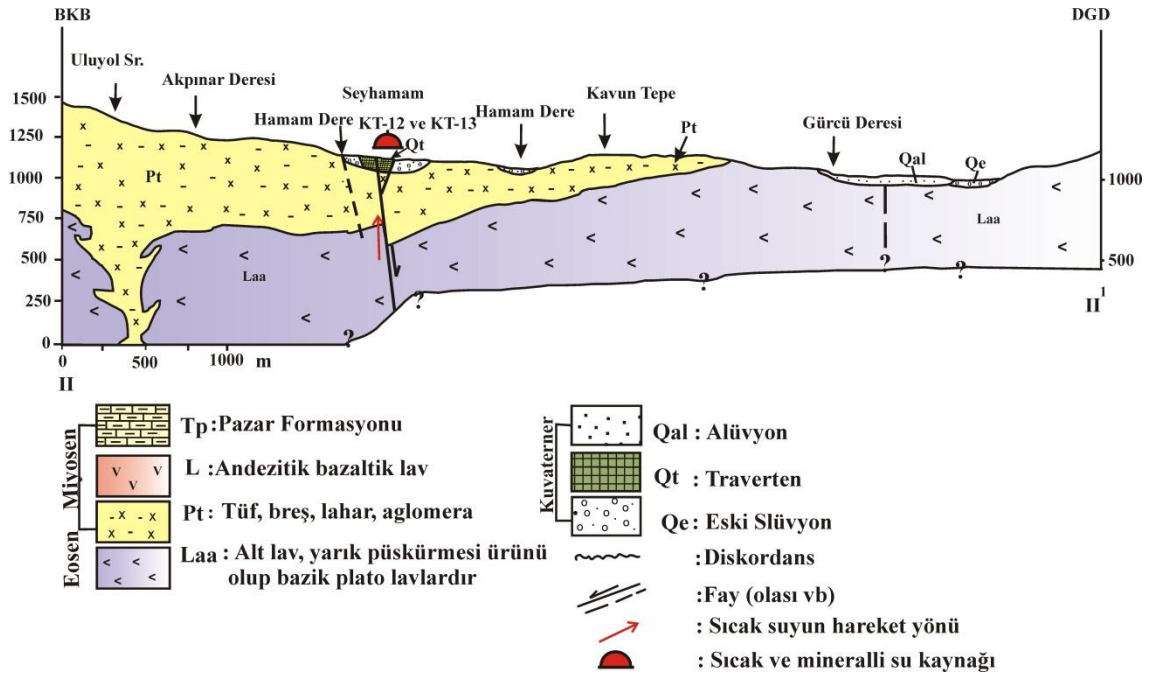
Keskin (1974) tarafından sıcak su kaynağının hazne kayacı Alt lavlar olarak belirtilmesine rağmen, MTA'nın (2002) bölgesel jeoloji haritasında Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının yer alması, kaynağın oluşturduğu travertenler de dikkate alındığında, kireçtaşlarının Seyhamam dolayında rezervuar kayacı oluşturabileceğini göstermektedir. Kaynak suyunun ısınma nedeninin jeotermal gradyan ve bölgede geniş etkinlik gösteren volkanizma olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 8.27 Seyhamam kaplıcası (Kızılcahamam bölgesi)



Şekil 8.28 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynağı dolayının I-I' jeoloji enine kesiti



Şekil 8.29 Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynağı dolayının II-II' jeoloji enine kesiti

Sıcak ve mineralli su kaynağının üzerine, biri erkeklere diğeri kadınlara ait olmak üzere iki kaplıca yapılmıştır. Kaynaklar çıktıkları yerde çok basit bir havuz şeklinde kaptaj edilmiştir. Kaptaj havuzunun boyutu 6,10 (En) x 6,10 (boy) x 1,53 (derinlik) m'dir. Kaplıcanın suyu kullanımdan sonra Hamam Deresi'ne ilkel bir kanalla boşaltılmaktadır (Şekil 8.30).



Şekil 8.30 a. Seyhamam Kaplıcası, b. Sıcak suların oluşturduğu travertenler, c ve d. Kadınlar hamamı sıcak su kaynağı, e ve f. Erkekler hamamı sıcak su kaynağı, g. ilkel kanal ile atık suyun Hamam Deresi'ne boşalımı, h. Hamam Deresi

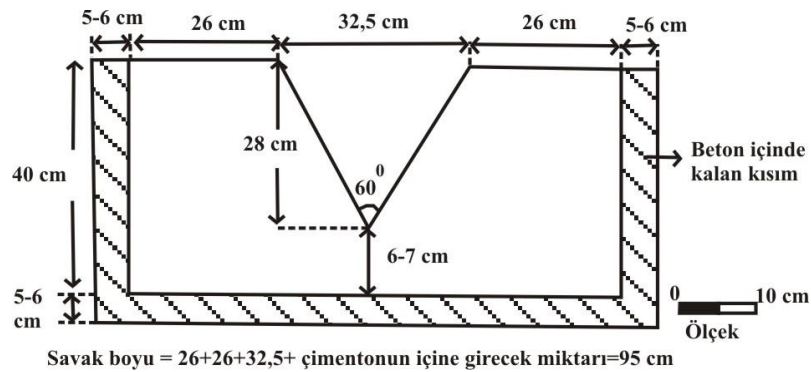


Kaptaj yerinde suyun sıcaklığı 43°C'dir. Bu kaynaktan, yöre halkı yıkanma ve tedavi amaçlı yararlanmaktadır. Kaynaklarda sıcak su çıkışı ile birlikte CO<sub>2</sub> gazı da çıkmaktadır. Kaynağın toplam debisi erkekler ve kadınlar hamamı çıkışında ve Hamam Deresi'ne karışmadan önce olmak üzere 2 tane üçgen savak yerleştirilerek ölçülmüştür. Üçgen savağın taban açısı 60° olup, boyu 95 cm, eni ise 40 cm'dir (Şekil 8.31 -8.32).

Her iki savakta da kaynağın 2 ayda bir debisi ölçülmüştür. Kaynağın debisi erkekler hamamında 10 l/s ile 12,60 l/s arasında, kadınlar hamamında ise 10 l/s ile 12,44 l/s arasında değişmektedir.



Şekil 8.31 Seyhamam'daki üçgen savağın görünümü



Şekil 8.32 Seyhamam kaynağına yerleştirilen üçgen savağın planı

#### **8.4.2.2 amlıdere B6lgesi**

amlıdere jeotermal alanı birbirini kesen çok sayıda açılma fayının bulunduğu bir alan ve genç volkanik bir kuşak üzerinde yer alması nedeniyle jeotermal kaynaklar için 6nemli bir b6lgedir.

amlıdere b6lgesindeki jeotermal kaynaklar Ahatlar, Atça, Muzrupağacın, Tatlak ve Sarıkavak b6lgesinde yer almaktadır (EK 1). İncelenen sıcak sulara ait lokasyon bilgileri B6l6m 8.2 ve izelge 8.1’de verilmiştir.

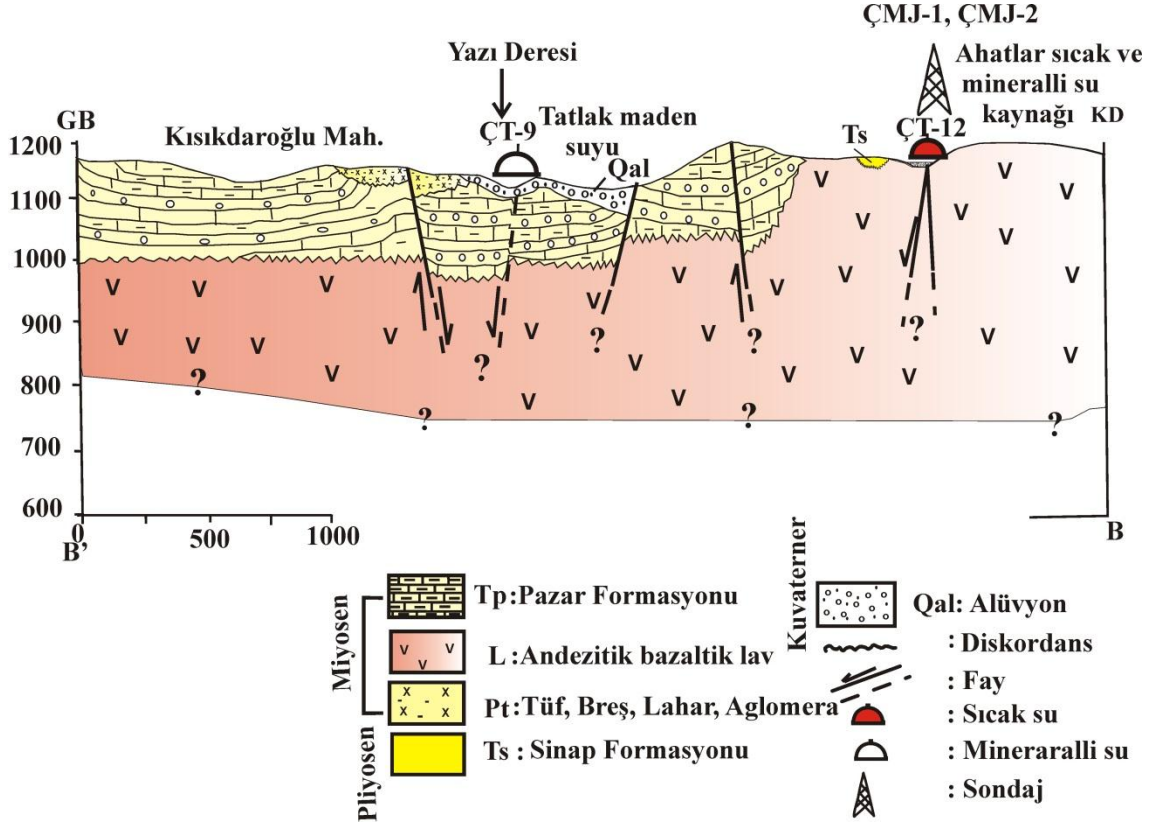
##### **8.4.2.2.1 Ahatlar sıcak su kaynakları**

amlıdere ilçe merkezinin batısında ve ilçe merkezine 10 km mesafede olan Ahatlar k6y6 Subaşı mevkiinde sıcak su kaynakları yer almaktadır (EK 1). Sıcak su kaynakları Ahatlar k6y6 g6neybatısında, yaklaşık doğu-batı doğrultusunda akışı olan Ahatlar Deresi boyunca g6zlenmektedir. Sıcak su kaynağı dere boyunca kaynak alanı şeklinde birçok noktadan boşalmaktadır (şekil 8.33-8.34). Sıcak su kaynakları K45°B doğrultulu, eğim atımlı normal fayın yaklaşık D-B doğrultulu Ahatlar Dersi içinden geçen diğer bir fayın kesim noktasından boşalmaktadır. Bu b6lgede yapılan rezistivite et6tleri sonucunda sıcak su alanlarının rezistivitelerinin d6ř6k olduğu saptanmıştır (İller Bankası 2009).

Ahatlar jeotermal kaynağının oluşumunu sağlayan jeotermal sistemde 6rt6 kaya bulunmamaktadır. Bu durumu, b6lgede İller Bankası tarafından yapılan MJ-1 ve MJ-2 sondaj logları da doğrulamıştır. Bu nedenle, inceleme alanında jeotermal akışkanın y6zeye çıkışı sırasında bir miktar ısı ve akışkan kaybı s6z konusu olması muhtemeldir.

Sıcak sular 1045 m ile 1064 m kotları arasında boşalmakta olup, bazı kaynak noktalarında kırmızı ve kahve renkli, demir oksit tortusuna benzer hidrotermal alterasyon 6kelimleri g6r6lmektedir. Ahatlar Deresi’ne akan bu sıcak su kaynağının

Mayıs 2013 ölçümlerindeki sıcaklığı 23°C ile 27°C arasında olup, debisi ise yaklaşık 0,01 l/s ile 0,1 l/s arasındadır.



Şekil 8.33 Ahatlar ve Tatlak sıcak sularının B-B' jeoloji enine kesiti



Şekil 8.34 Ahatlar Deresi içinden boşalan sıcak su kaynağı görüntüleri (K'ye bakılmaktadır).

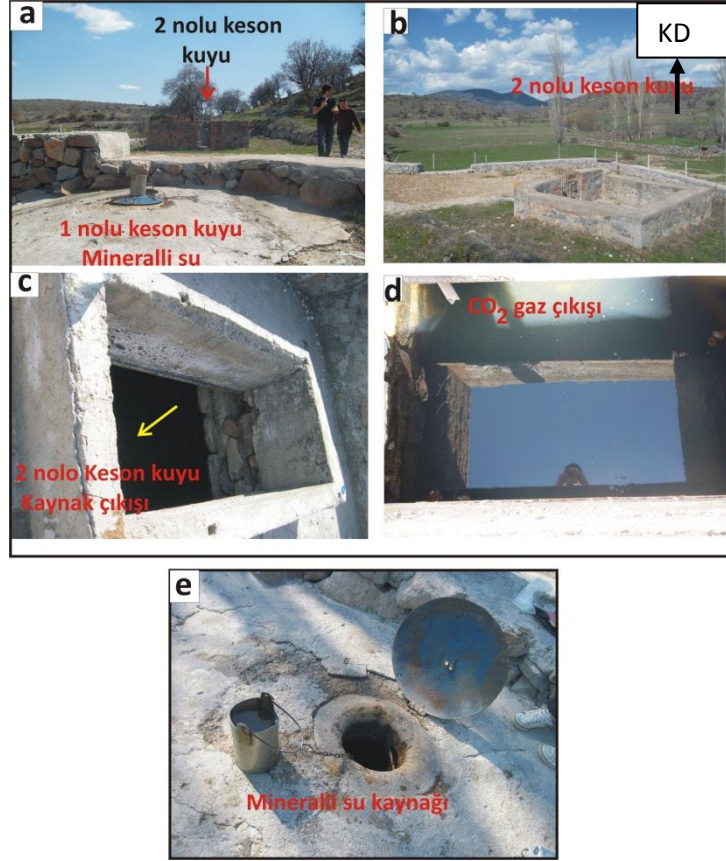
#### 8.4.2.2.2 amlıdere Atça mineralli su kaynağı

amlıdere Atça mineralli su kaynağı amlıdere'nin 6,5 km B-KB'sında bulunan Atça köyünün 500 m güneyinde ve Pusak Tepesi'nin doğu eteğinde yer almaktadır (EK-1). Eskiden kaynak boşalıını olarak kullanılan bu su noktası köy halkı tarafından kaptaj amacıyla kuyu haline getirilmiştir (şekil 8.35). Halk, halen birbirine 20 m mesafedeki iki kuyudan yararlanmaktadır. Güneydeki geniş çaplı büyük kuyunun yapım tarihi bilinmemektedir. Taş rme şeklindeki kuyu, daha sonra kagir bir duvarla çevrilmiştir. Kuzeydeki kuyu dar çaplı olup 1994 yılında yapılmıştır. Her iki kuyudan aynı anda su çekimi yapıldığında kuyular birbirini etkilemektedir (Canik 2004).

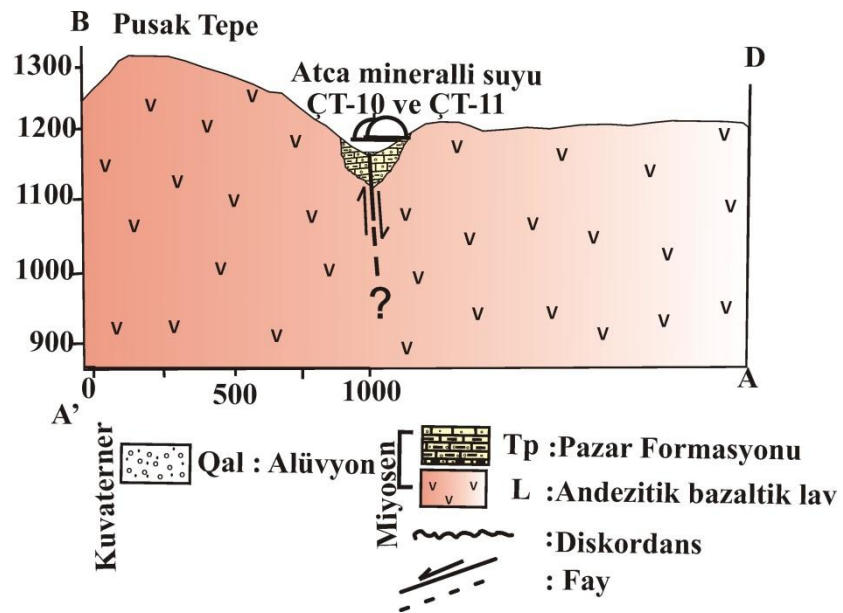
Atça mineralli su kaynağı G-K yönünde uzanan, jeofizik resistivite ölçümleri ile de kanıtlanan bir fay sistemi üzerindedir (Canik 2004, şekil 8.36).

Atça bölgesindeki volkanik birimler yer yer Miyosen yaşlı kıltaşı, marn, marnlı kireçtaşı tabakaları arasında sokulumlar göstermektedir. Tf, kıltaşı ve marnlı birimler geçirimsiz özellikleri nedeniyle yeraltısu potansiyeli oluşturmazlar. Aglomera, andezit ve bazaltların kırıklı ve çatlaklı seviyeleri suyu depolama ve iletme özelliğindedir. Atça mineralli suyu, derinliği 7 m ile 8 m olan iki adet keson kuyudan elde edilmektedir.

Mayıs 2013 ölçümlerine göre 1 ve 2 nolu keson kuyularındaki mineralli suyun sıcaklığı sırasıyla 10 ile 13°C'dir. Mineralli suyun debisi 2004 tarihinde geniş çaplı 2 nolu keson kuyusunda yapılan pompa testinde 3,5 l/s olarak ölçülmüş ve pompaj testi esnasında kuyular arasında etkileşim olduğu saptanmıştır (Canik 2004).



Şekil 8.35 a. Atca mineralli sularının keson kuyu şeklindeki kaptajları, b. 2 nolu keson kuyu; c. 2 nolu keson kuyudaki kaynak çıkışı, d. Mineralli sudaki CO<sub>2</sub> gaz çıkışı, e. 1 nolu keson kuyu



Şekil 8.36 Atça mineralli su kaynağının A-A' jeoloji enine kesiti

#### 8.4.2.2.3 Sarıkavak Ilıca sıcak su kaynağı

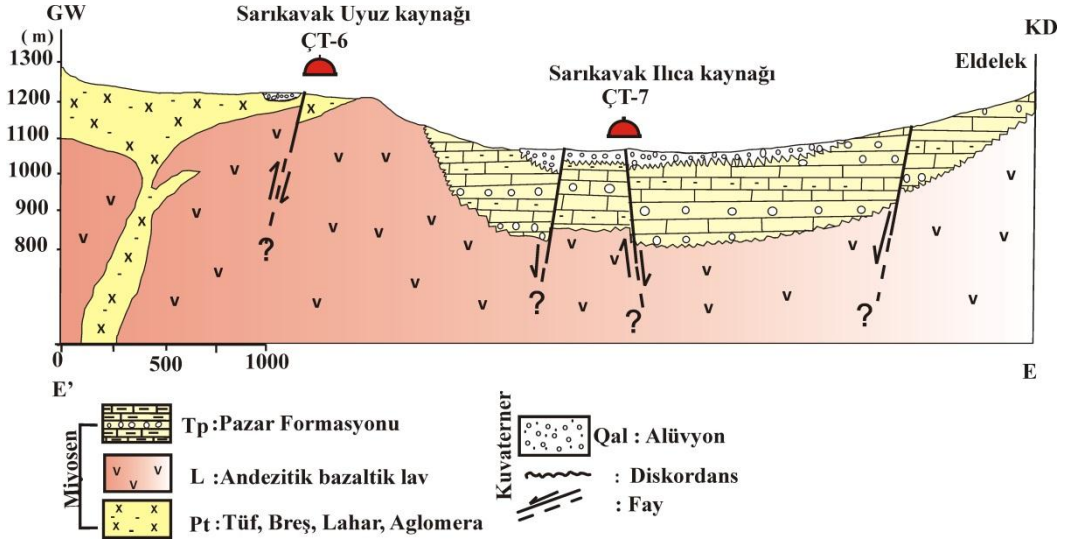
Sarıkavak Ilıca sıcak su kaynağı, Çamlıdere'nin 17 km batısında yer alan Sarıkavak köyünün yaklaşık 1 km doğusundadır (EK 1). Kaynağın bulunduğu yer eski bir Roma hamamı kalıntısıdır (Şekil 8.37 - 8.38). Sıcak su eğim atımlı normal bir fay boyunca yüzeye çıkmakta olup, boşalım kotu 1050 m'dir (Şekil 8.39). Sıcak su, CO<sub>2</sub> gaz çıkışlı olup, kaynak alanı şeklinde birçok noktadan boşalmaktadır. Tez kapsamında sıcak su kaynağında yapılan yerinde ölçümlerde, Mayıs 2013'te sıcaklık 25,5°C ve pH 7,40, Kasım 2013 ölçümlerinde ise sıcaklık 25°C ve pH 7,57 olup, debisi yaklaşık 0.05 l/s (3,0 l/dak)'dir. Kaynak suyu yöre halkı tarafından tarım ve hayvancılıkta kullanılmaktadır.



Şekil 8.37 Sarıkavak Ilıca kaynak alanı



Şekil 8.38 Sarıkavak Ilıca kaynağının yakından görünümü



Şekil 8.39 Sarıkavak Ilıca ve Uyuz kaynağının enine jeoloji kesiti

#### 8.4.2.2.4 Sarıkavak Uyuz kaynağı

Sarıkavak Uyuz kaynağı, Sarıkavak köyünün yaklaşık 2,5 km batısında, Pilav Tepe'nin kuzeydoğusunda ve Eşik Deresi'ne yaklaşık 150 m mesafede yer almaktadır (EK 1). Kaynak K38°D doğrultulu normal fay boyunca yüzeye çıkmaktadır (Şekil 8.39 - 8.40). Ana fay yaklaşık K-G doğrultulu bir başka fayla birlikte bir süreksizlik kuşağı oluşturmaktadır. Sıcak suyun boşalım kotu 1016 m'dir. Kaynağın hazne kayasını gözenekliği iyi gelişmiş aglomeralar ile andezit ve bazaltların kırıklı-çatlaklı seviyeleri oluşturmaktadır. Örtü kaya olarak Pazar Formasyonu tüfleri yer almaktadır.

Kaynaktan su çıkışı ile birlikte CO<sub>2</sub> gaz çıkışları da olmakta ve kaynak çevresinde kırmızı, kahve renkli demir oksit tortusu görülmektedir (Şekil 8.40). Kaynağın doğal içiminin maden suyu tadında olması nedeniyle kaynağın adı ilk defa bu çalışmada verilmiştir. Kaynağın sıcaklığı 28°C ve pH'ı 7,23 olarak ölçülmüş (Nisan 2013), Kasım 2013 ölçümlerinde ise sıcaklık 27,5°C ve pH 7,80'dir. Kaynağın debisi konumu nedeniyle ölçülemediği olup, 1,0 l/s olarak tahmin edilmiştir.

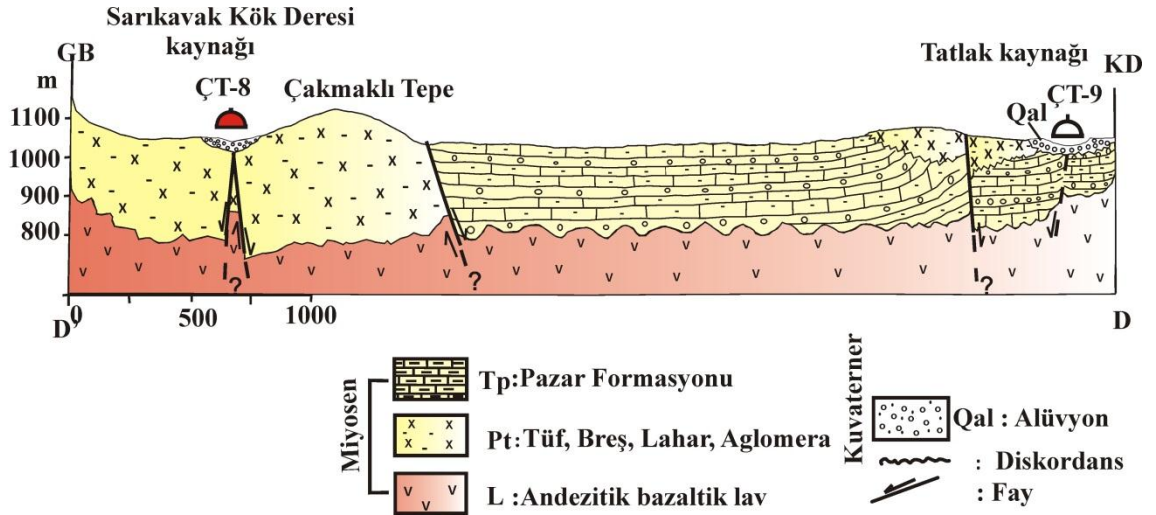




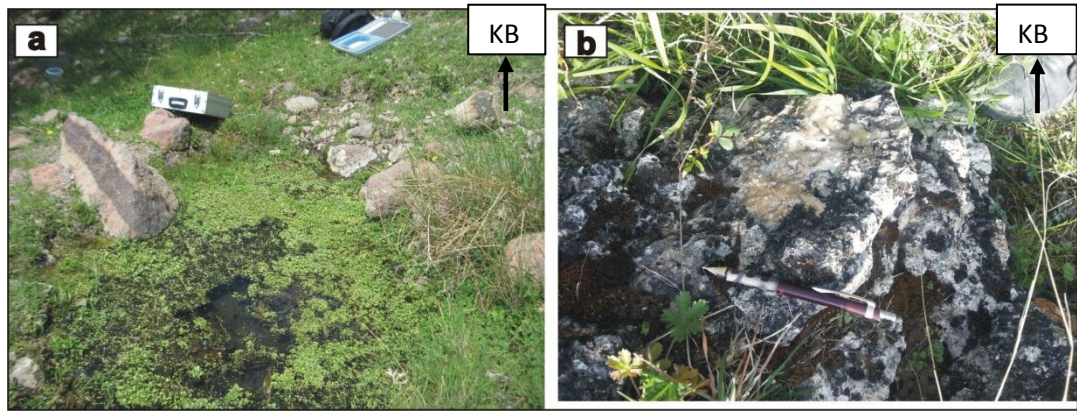
Şekil 8.40 Sarıkavak Uyuz kaynağı

#### 8.4.2.2.5 Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağı

Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağı, Sarıkavak köyünün güneybatısında ve yaklaşık D-B doğrultulu uzanan Kök Deresinde oluşan kaynak, Sarıkavak köyünün bir diğer sıcak su kaynağını oluşturmaktadır (EK 1; Şekil 8.41). Kaynağın boşalım kotu 978 m yüksekliktedir. Kök Deresi sıcak su kaynağı, Sarıkavak Uyuz kaynağını oluşturan fay ile onu kesen, yaklaşık K-G doğrultulu bir başka normal fayın dokanağından boşalmaktadır (EK 1). Kaynak yaklaşık 1,5 m<sup>2</sup>'lik iki ayrı kaynak alanından boşalmaktadır (Şekil 8.42). Kaynakta, su çıkışı ile birlikte CO<sub>2</sub> gaz çıkışları da görülmektedir. Ayrıca, kaynak dolayında hidrotermal faaliyetlerin etkinliği sonucunda kayaç yüzeylerinde yer yer silis çökellerinin de olduğu gözlenmiştir (Şekil 8.42). Bu kaynak da tez kapsamında Kök Deresi kaynağı olarak isimlendirilmiştir. Kaynakta yapılan ölçümlerde sıcaklığı 21,5°C, pH 7,86 ve EC 372 µS/cm (Nisan 2013) bulunmuştur. Kaynağın debisi konumu nedeniyle ölçülememiş ancak, yaklaşık olarak 0,1 l/s ile 1 l/s arasında olabileceği tahmin edilmiştir.



Şekil 8.41 Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağından geçen D-D'jeoloji enine kesiti



Şekil 8.42 a.Sarıkavak Kök Deresi kaynağı, b.Sarıkavak Kök Deresi kaynak dolayında gözlenen silis çökeli

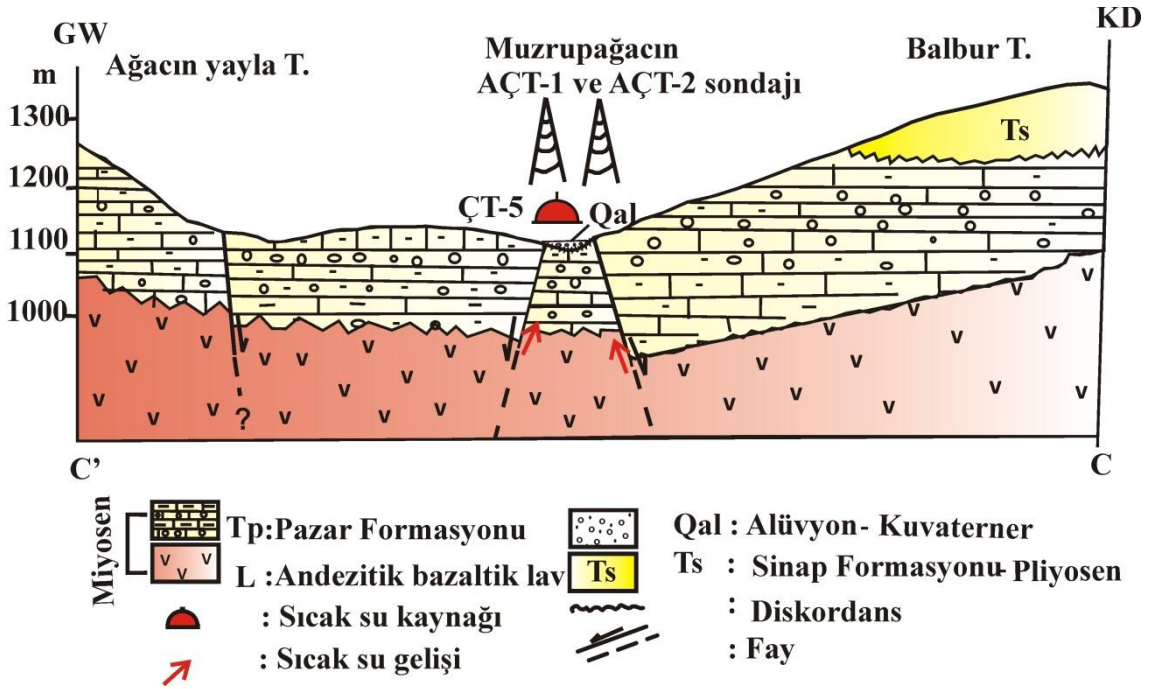
#### 8.4.2.2.6 Muzrupağacın sıcak su kaynağı

Muzrupağacın sıcak su kaynağı, Çamlıdere'nin yaklaşık 8 km güneybatısında yer almaktadır (EK 1). Sıcak su kaynağı 5 m<sup>2</sup>'lik bir kaynak alanından CO<sub>2</sub> gaz çıkışlı olarak boşalmaktadır (Şekil 8.43 - 8.44). Volkanik lavların ikincil gözenekliliği yüksek, kırık ve çatlaklı olan kuşaklarında derinlerden fay hattı boyunca yükselen Muzrupağacın sıcak su kaynak sularının depolanması doğaldır. Kaynağın boşalım kotu 1150 m'dir. Sulama amaçlı olarak kullanılan kaynağın Nisan 2013 ölçümlerindeki sıcaklığı 24,5°C,

pH 7,28 ve EC 373  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Kaynağın Kasım 2013 ölçümlerindeki sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$  ve pH'7.20 olup, debisi ise yaklaşık 1 l/s olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 8.43 Muzrupağacın sıcak su kaynak alanı



Şekil 8.44 Muzrupağacın sıcak sularından geçen C-C'jeoloji enine kesiti

Bölgede bulunan ve sıcak su bakımından doymun olan kayaçlar kırıklı ve faylı olmakla birlikte, buradaki sıcak su sisteminde klasik bir hazne-örtü kaya yerleşimi olmadığı, süreksizlik sistemlerinin rezervuar görevi gördüğü anlaşılmıştır. Muzrupağacın

bölgesinde MTA tarafından yapılan AÇT-1 ve AÇT-2 sıcak su sondajlarında da benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 7.4).

#### 8.4.2.2.7 Tatlak köyü maden suyu kaynağı

Tatlak köyü maden suyu kaynağı, Çamlıdere'ye 17 km uzaklıkta olan Tatlak köyünün güneyinde, Çay Deresi'nin yakınında, Ankara-İstanbul Otoyolu üzerindeki Tatlak köyü viyadüğünün altındaki dere alüvyonları içerisinde boşalan yaklaşık 1 l/s debiye sahip bir kaynaktır (EK 1, Şekil 8.45, Şekil 8.33 ve Şekil 8.41). Maden suyu kaynağı eğim atımlı normal fay zonundan çıkmakta olup, kaynak dolayında  $Fe^{+2/+3}$  oksit çökelimine benzer bir tortu oluşmuştur. Kaynak işletilmemektedir.



Şekil 8.45 Tatlak köyü maden suyu kaynağı

Kaynağın boşalım kotu 1035 m yüksekliktedir. Bu kaynaktaki iki farklı dönemde yerinde ölçümler yapılmıştır. Nisan 2013 ölçümlerinde, kaynağın sıcaklığı 22,5°C ve pH'ı 6,74, Kasım 2013'te yapılan ölçümlerde ise sıcaklığı 21°C ve pH'ı 6,70'dir.

## 9. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında yer alan su noktalarından seçilen soğuk, sıcak ve mineralli su kaynakları ile birlikte, sondaj kuyuları ve yüzey sularından alınan su numunelerinin tam analizleri iki farklı dönemde yapılmıştır.

Çalışma alanı ve yakın dolayında bulunan su noktalarının tümünden bir defaya özgü olmak üzere yerinde ölçüm yapılmış ve analiz için örnekler alınmıştır. Alınan ilk verilerden yararlanarak örnek sayısı amaca uygun şekilde azaltılmıştır. Bu çalışmanın ana amacına katkıda bulunmayacak su noktaları örnekleme açısından çıkarılmıştır. Örnekleme ve ölçüm yapılan noktalarda, suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin zaman içindeki değişimlerinin belirlenebilmesi için örnekler, yılın farklı mevsimlerini temsil eden Kasım 2013 (kurak) ve Nisan 2014 (yağışlı) ayları olmak üzere toplanmıştır. Örnek toplama ve ölçüm işlemleri uluslararası standartlara (APHA vd. 1989) uygun bir şekilde yapılmıştır. Suların pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T°C) gibi özellikleri yerinde ölçülmüştür.

İnceleme alanındaki tüm suların hidrojeokimyasal analiz sonuçları ve fizikokimyasal özellikleri EK 3- 6'da verilmiştir. Ayrıca, daha önceki yıllarda (Ekim 1992 ve Mayıs 1993) yapılan analiz verileri de değerlendirilmiştir.

Su kimyası çalışmaları kapsamında, suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak hidrojeokimyasal ortam ve bu ortamın evrimi konusunda değerlendirmelere gidilmiştir. Suların analiz sonuçları çeşitli grafik ve şekillerle gösterilerek içerdiği iyonların kayaçlarla ilişkileri yorumlanmıştır.

## 9.1 Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri

**Sodyum (Na<sup>+</sup>):** Yeraltı sularındaki sodyumun kökeni inceleme alanındaki volkanik kayaların içerdiği sodyumlu plajiyoklazların bozunması sonucu olabileceği belirtilmiştir (Canik 1980). Sodyum iyonu sodik plajiyoklazlarca zengin bir andezitik magmayla ilişkili olabilir. Ayrıca, sodyum ve kalsiyumun iyon yarıçaplarının birbirine yakın olması nedeniyle kil mineralleri kalsiyum iyonlarının sodyumla yer değiştirmesini sağlamaktadır (Udluft 1976). Yani, çözültide iki sodyum iyonu bir kalsiyum iyonuyla yer değiştirmektedir.

Su noktalarından, Kızılcahamam sıcak sularında sodyum (Na<sup>+</sup>) 218 mg/l ile 1205 mg/l, Çamlıdere sıcak sularında ise 29,15 mg/l ile 770,60 mg/l olarak ölçülmüştür. Soğuk sulardaki sodyum derişimi ise, Kızılcahamam'da 3,10 mg/l ile 33 mg/l, Çamlıdere'de ise 3,25 mg/l ile 64,5 mg/l olarak belirlenmiştir.

**Kalsiyum (Ca<sup>+2</sup>):** Yeraltı suyunda kalsiyumun kaynağı genellikle karbonatlı kayalardır. Bölgede stratigrafik istifte volkanik kayaların altında Mesozoyik yaşlı kireçtaşları mevcuttur. Bu durumda yeraltı suyundaki kalsiyum olasılıkla kireçtaşı, volkano sedimenter kayaların karbonat çimentosu ve kalsiyum içeren silikatlı minerallerin (plajiyoklaz, amfibol) bünyesinde bulunan Ca<sup>+2</sup>'un çözünmesinden türemiştir. Ayrıca inceleme alanının dışında veya derinlerde kireçtaşlarının CO<sub>2</sub>'li sularla yıkanmasından kaynaklanması muhtemeldir. Böylece kalsiyumun suya geçişi, beslenme bölgesindeki suların, derinlere süzülme, akiferde dolaşma ve yeryüzüne yükselmeleri sırasında olmuştur.

Kızılcahamam sıcak su alanına ait noktalarda elde edilen kalsiyum derişimleri 31,6 mg/l ile 190,87 mg/l arasında iken, Çamlıdere sıcak sularında 19 mg/l ile 119,49 mg/l arasındadır. Kızılcahamam soğuk sularındaki kalsiyum derişimi <2,5 mg/l ile 38,04 mg/l arasında olup, Çamlıdere sularında 8,99 mg/l ile 27,22 mg/l olarak belirlenmiştir.

**Magnezyum ( $Mg^{+2}$ ):** Yeraltı suyunda magnezyumun başlıca kaynağı dolomitler ve volkanik kayalardaki magnezyum içeren silikat mineralleri olup, bunların bozuşması ile sulara geçmiş olması beklenmektedir.

Kızılcahamam ve Çamlıdere kaynak ve sondaj sularından alınan örneklerde yapılan analizler sonucu sırasıyla 10,00-46,90 mg/l ve 6,51-28,25 mg/l magnezyum saptanmıştır. Kızılcahamam bölgesinde örneklenen soğuk sular ise 1,16-11,64 mg/l magnezyum derişimine sahiptir. Çamlıdere örneklerine ait analiz sonuçlarında belirlenen magnezyum miktarı 1,00-8,83 mg/l aralığındadır.

**Potasyum ( $K^+$ ):** Potasyum, potasyumlu feldispatların bozuşması ile yeraltı suyuna geçmektedir. Sudaki Na/K oranının düşük olması, özellikle killi ortamlardaki iyon alışverişi ile yakından ilgili olup, potasyumun bir kısmı kil mineralleri tarafından tutulmaktadır.

Çalışma alanında, Kızılcahamam sıcak suları için elde edilen potasyum derişimi 21,06-96,25 mg/l arasında değişmekte iken, Çamlıdere sıcak sularında 10,90-93,06 mg/l arasındadır. Tüm Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularındaki potasyum derişimi sırasıyla 0,97-7,80 mg/l ve 0,59-11,67 mg/l aralığındadır.

**Silika ( $SiO_2$ ):** Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki soğuk sularda silika miktarı sırasıyla 25-81 mg/l ve 21-74 mg/l olup, Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularında ise 16–117 ile 39-141 mg/l arasında değişmektedir.

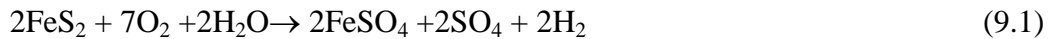
Sulardaki silisin kökeni alanda yer alan tuf, riyolit, andezit, bazalt gibi volkanik kayalar ve killere bağlanabilir. Çünkü bu kayaların analizlerinde  $SiO_2$  miktarı %46,75 ile %84,90 arasındadır. Doğal sularda çözülmüş silisin büyük bir bölümü silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan meydana gelmektedir (Şahinci 1991). Silis, asit ortamda çok az bulunur ve pH'ın yükselmesi ile silisin çözünmesi artmaktadır.

İnceleme alanında yer alan soğuk suların silis konsantrasyonunun düşük olması yağışlarla seyreltilmelerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Sıcak ve mineralli sulardaki silis miktarının yüksek olmasının nedeni, sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak silis çözünürlüğünün de artmasıdır. Bu nedenle sıcak ve mineralli sular silisçe doygunluğa erişerek soğuduklarında travertenlerdeki dolaşım yollarında silis ve opal şeklinde kabuklaşmalar oluşturmaktadır (Şahinci 1991).

**Klorür (Cl):** Tez alanındaki suların klorür içeriği yağmur sularından kaynaklanmaktadır. Klorür konsantrasyonu, suyun beslenme bölgesinden kaynak bölgesine doğru yeraltındaki akımı sırasında da bir miktar artmaktadır (Canik 1980). Mayıs (1993) örneklerinde tespit edilen düşük klorür konsantrasyonu, sonbahardaki ilk yağmur sularının içerdiği klorürlerle açıklanabilir (Schoeller 1962). Kızılcahamam Meteoroloji istasyonundan alınan, sonbahardaki ilk yağmur suyu numunelerinin içerdiği klorür miktarı 5-8 mg/l arasında değişmektedir. İlk baharda bu miktar 0,34 mg/l'ye kadar düşmektedir. Kızılcahamam'da kar suyunun içerdiği klorür ise 3,00-4,61 mg/l arasındadır (Canik ve Pasvanoğlu 1990). Klorürün bir başka kaynağı, volkanlar yoluyla HCl'ün yeraltı suyuna karışmasıyla olabilir (Erguvanlı ve Yüzer 1984).

Kızılcahamam kaynak ve sondaj sıcak suları için elde edilen klorür derişimleri 13,97-1.158 mg/l arasında değişmekte iken soğuk sularında 0,46 ile 14,91 mg/l arasındadır. Çamlıdere sıcak ve soğuk sularındaki klorür derişimi sırasıyla 3,01-45,73 mg/l ve 0,80-15,00 mg/l arasındadır.

**Sülfat (SO<sup>-2</sup><sub>4</sub>):** Sülfat iyonunun kökenlerinden biri pirit olup, aşağıdaki reaksiyona göre piritin oksidasyonu ile yeraltı suyuna geçmektedir.

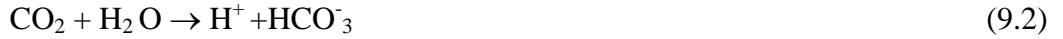


Ayrıca, volkan gazlarındaki H<sub>2</sub>S ve SO<sub>2</sub> oksitlenerek SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> şekline dönüşür. Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesinde açılan sondaj loglarında pirit mineraline rastlanmıştır. Bununla birlikte suyun SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> içeriği çalışma alanındaki volkanik



kayaçlar üzerinde killi ve tuzlu Pliyosen yaşlı evaporitik örtü birimlerle ilişkilidir. Kızılcahamam sıcak sularına ait örneklerde yapılan analizlerde sülfat derişimleri 26,50-336,00 mg/l arasında değişmektedir. Kızılcahamam soğuk su örneklerinde elde edilen sülfat derişimi 0,37-65,00 mg/l arasındadır. amlıdere sıcak ve soğuk sularına ait örneklerde sülfat derişimi sırasıyla 3,28-19,95 mg/l ve 1,38-174,02 mg/l arasında saptanmıştır.

**Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>):** İnceleme alanındaki sularda en fazla sodyum bulunmaktadır. Sodyumdan sonra ikinci sırada yer alan iyon bikarbonattır. Bikarbonatın kökeni derinlerdeki karbonatlı kayaçların varlığı veya;



denklemine göre iç kökenli karbondioksitin su ile temasında HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> şekline dönüşmesidir.

Kızılcahamam ve amlıdere alanındaki soğuk sularda bikarbonat miktarı sırasıyla 31,61-230,00 mg/l ve 31,61-574,29 mg/l olup, Kızılcahamam ve amlıdere sıcak ve mineralli sularında ise 885,00-4.790,00 ile 210,30-2.172,00 mg/l dolayındadır.

**Florür (F<sup>-</sup>):** İnceleme alanında yer alan soğuk sularda 0,15-1,40 mg/l, sıcak ve mineralli sularda ise 0,45-5,50 mg/l arasındadır. Florürün kökeni alandaki trakiandezit ve tüflerdeki biyotitlerden kaynaklanmaktadır. Florür miktarı sodyum miktarına bağlı olarak artmakta, Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup>,un azalmasıyla da azalmaktadır. Sıcak ve mineralli suların volkanik kayaçlarla ilişkili olduğu görüşü, bu sulardaki Na<sup>+</sup> ve F<sup>-</sup> miktarının yüksek olmasıyla da desteklenmiştir.

Hem (1985)'e göre; düşük pH'lı ortamlarda, HF açığa çıkmakta, asit çözeltilerdeki florür ile silis birleşebilmektedir. Volkanik patlamalarda florür SiF<sub>6</sub><sup>-2</sup> şeklinde oluşmaktadır. Andezitik mağmadan türeyen HF, silikatlar içersinde kolay çözünmektedir (Hem 1985). Silisce zengin magmada florür, SiF<sub>4</sub> şeklindedir. Yükselme

ile birlikte çok etkin olan HF kuvarsitlerle tepkimeye girmekte ve sıcaklık düştükçe florür zenginleşmesi artmaktadır (Barnes 1979). Böylece SiF<sub>4</sub> kabuk içinde (9.3) yerin derinliklerinde yeraltı suları ile etkileşime geçerek (9.4) hidrotermal sıvıların HF ve SiO<sub>2</sub> bakımından zenginleşmesine yol açmaktadır (Hem 1985).



**Karbondioksit (CO<sub>2</sub>):** İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarında kabarcıklar şeklinde CO<sub>2</sub> gaz çıkışı görülmüştür. Yeraltı sularındaki CO<sub>2</sub>'in kökeni çok çeşitlidir. Fay, kırık, çatlak vb gibi süreksizlikler boyunca yeryüzüne çıkan CO<sub>2</sub>, alanda yer alan genç volkanizmaya bağlanabilir. Volkanizmanın türlü safhalarında CO<sub>2</sub> çıkışları mümkün olup, bu tür volkanik alanlarda en çok rastlanan gazların başında gelmektedir.

**Radyoaktivlik:** Kızılcahamam alanındaki suların radyoaktivite özellikleri (Canik ve Pasvanoğlu 1990) kaynak çıkış noktalarından su numuneleri alınarak yerinde analizleri yapılarak radon-222 değerleri litrede pikoküri (pCi/l) olarak saptanmıştır (Çizelge 9.1).

Çizelge 9.1 İnceleme alanındaki suların radyoaktivite değerleri (Canik ve Pasvanoğlu 1990)

Örnek Adı	Örnek Numarası	pCi /l	Eman
KHD-1 sondajı	KT-1	100	1,0
MTA-1 sondajı	KT-2	138	1,38
Acısudere As-koop mineralli su kaynağı	KT-3	750	7,5
Acısudere Çamlık mineralli su kanağı	KT-4	292	2,92
Acısudere sıcak ve mineralli su kaynağı	KT-5	295	2,95
Seyhamam kadınlar sıcak su kaynağı	KT-12	243	2,43
Seyhamam erkekler sıcak su kaynağı	KT-13	252	2,52
Millipark soğuk su kaynağı	KS-20	84	0,84
Seyhamam soğuk su pınarı	KS-19	361	3,6
Acısudere Necip Usta soğuk su kaynağı	KS-2	531	5,31

Bilindiği gibi radon asal bir gaz olup, sudaki çözünürlüğü fazla olan radyoaktif bir maddedir.  $U^{238}$  serisinden oluşan  $Rn^{222}$  yarılanma süresi 3,8 gün olup, diğer birçok gaz gibi radon da suda çabuk çözünen bir gazdır. Yeraltı suyunun yeryüzüne doğru bir akımı varsa yüzeydeki  $Rn^{222}$  konsantrasyonu artar. Bu yüzden  $Rn^{222}$  derin dolaşımli sularda inceleme alanında görüldüğü gibi sığ dolaşımli sulara nazaran daha fakirdir. Bunun nedeni ise  $Rn^{222}$ 'nin yarılanma süresinin kısa oluşudur.

Yenal (1975) tarafından Kızılcahamam'da yapılan çalışmalarda kaplıca sularının Radyum-226 değerleri 1,69 ile 11,84 pCi/l arasında bulunmuştur. Diğer taraftan aynı suların toplam  $\alpha$  aktiviteleri 1,29-51,47 pCi/l ve toplam  $\beta$  aktiviteleri ise 20,70-85,00 pCi/l arasında saptanmıştır. Sulardaki  $\alpha$  ve  $\beta$  aktivitesi ile Radon-222 silisce zengin asit özellikli ve çok derinlerde bulunmayan granit cinsi bir derinlik kayacından veya volkanitlerden kaynaklanabilir (Canik 1980).

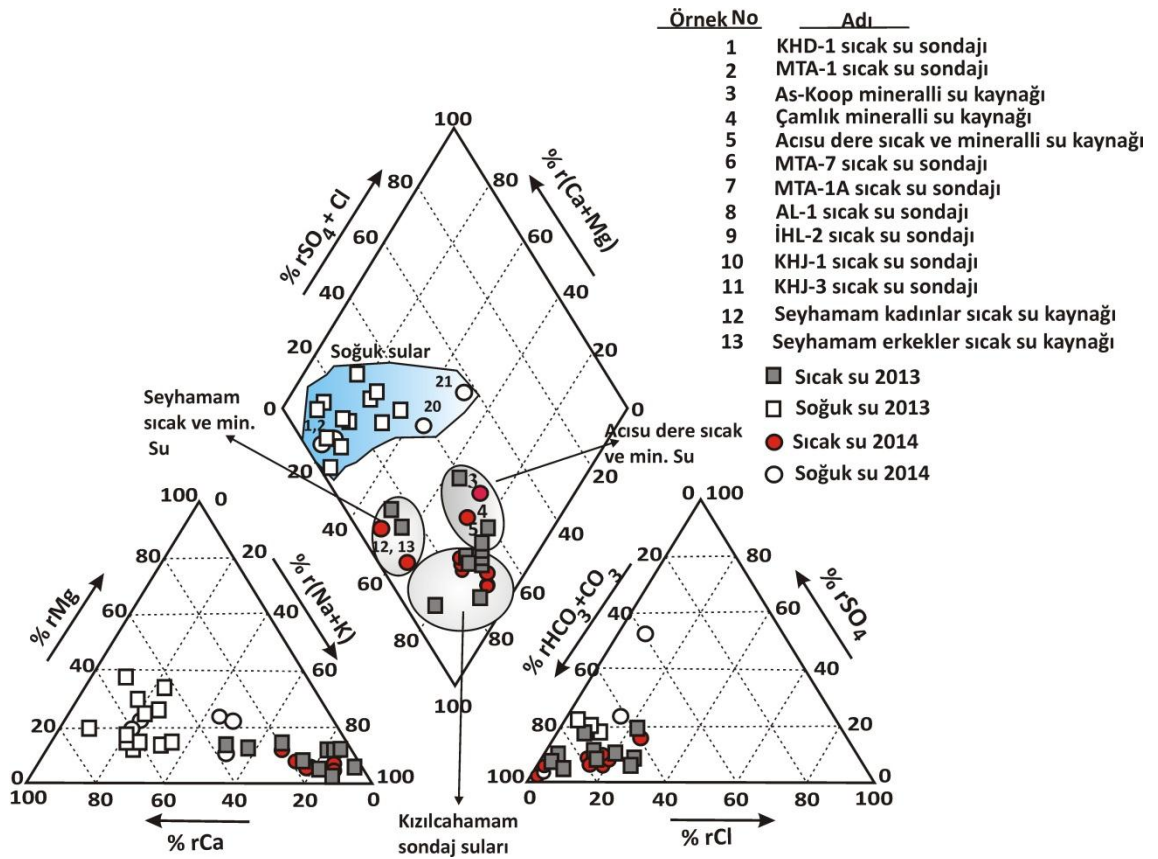
## **9.2 Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi**

### **9.2.1 Piper diyagramı**

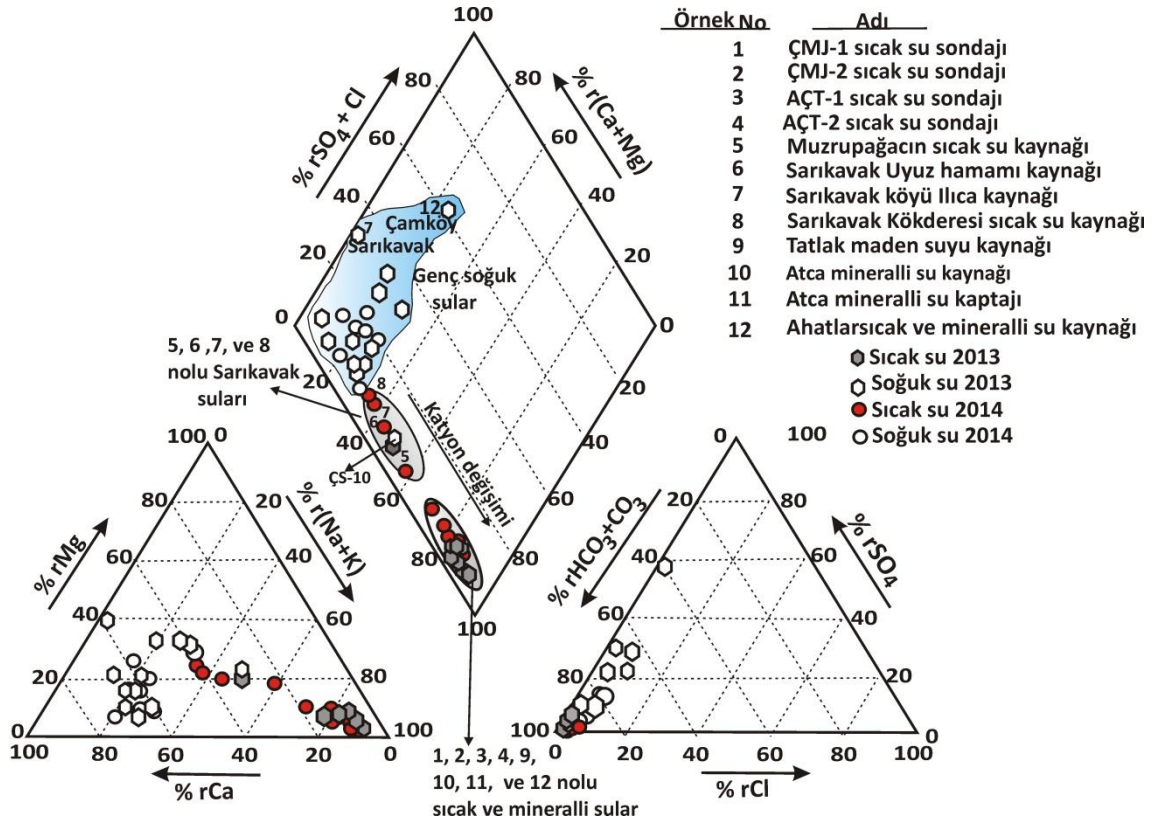
Bu çalışmada Piper diyagramı (Piper 1944) kullanılarak, çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynakları sınıflandırılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte karışım, dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçleri ve dönemsel farklılıklar da ortaya konulmuştur (Şekil 9.1 - 9.2).

Piper diyagramında, anyon üçgeni üzerinde bulunan bütün yeraltısuyu örnekleri, kation üçgenine oranla daha belirgin bir şekilde  $HCO_3+CO_3$  köşesinde toplanmıştır. Kation üçgenindeki örnekler, anyonlara göre daha fazla saçılmış durumdadır. Kızılcahamam sıcak ve soğuk su kaynaklarında kurak ve yağışlı dönemlerde büyük ölçekte bir farklılık görülmemiştir (Şekil 9.1).

Kızılcahamam ve Çamlıdere'deki sığ dolaşimli suları temsil eden soğuk su kaynakları genel olarak Ca-HCO<sub>3</sub> tipi sular sınıfına girmekle beraber yeraltı suyu dolaşım sistemi boyunca yağış suyundan kaynaklanan iyonik katkı oranının azalması ile Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyonlarınca zenginleştikleri görülmektedir. Piper diyagramında 5. bölgede yer alan soğuk suların karbonat sertlikleri, karbonat olmayan sertliklerinden fazla ve karbonat sertlikleri %50'nin üzerindedir (Şekil 9.1-9.2).



Şekil 9.1 Kızılcahamam alanındaki tüm suların kurak ve yağışlı dönemlerdeki Piper diyagramı



Şekil 9.2 Çamlıdere alanındaki tüm suların kurak ve yağışlı dönemlerdeki Piper diyagramı

Her iki diyagramda da düşük sıcaklık ve düşük iyon içeriğine sahip soğuk su kaynakları ile temsil edilen sığ dolaşimli yeraltısuyu sisteminden, yüksek sıcaklık ve yüksek iyon içeriğine sahip sıcak su kaynakları ile temsil edilen derin dolaşimli yeraltısuyu sistemine geçildikçe iyon içeriklerinde belirgin bir artış ile birlikte bileşimlerinde de bir değişim meydana gelmiştir. Su-kayaç ve su-mineral etkileşimi gibi süreçlerin bir sonucu olarak  $Ca^{+2}$  ve/veya  $Mg^{+2}$  iyonlarındaki azalma ile  $Na^{+}$  ve  $HCO_3^{-}$  iyonlarında zenginleşme görülmektedir.

Na- $HCO_3$ -Cl tipindeki sular Kızılcıcahamam jeotermal alanında açılmış derin sondajlara ait su bileşimini yansıtır. Sondajdan elde edilen sıcak sular aynı bölgede kümelenmeleri nedeniyle bunların aynı kökene sahip sular oldukları söylenebilir. Na-Ca- $HCO_3$  tipindeki Seyhamam KT-12 ve KT-13 nolu sıcak ve mineralli kaynak sularının diğer sıcak sondaj sularına göre farklı bölgede kümelenmeleri, bu kaynakların

diğerlerine göre farklı litolojiye sahip kayalar ile etkileşimde bulunması ile açıklanabilir.

Benzer şekilde KT-3, KT-4 ve KT-5 nolu Acısu Dere sıcak ve mineralli suları Na-HCO<sub>3</sub>-Cl tipinde olup, diyagramda olduğu gibi diğer sıcak sulardan farklı bölgede bulunmaktadır. Sıcak suların hemen yakınındaki KT-3 ve KT-4 nolu mineralli suların daha fazla CO<sub>2</sub> içermekle birlikte, sıcak sulara benzer bir kimyasal bileşime sahiptirler.

Çamlıdere Muzrupağacın ve Sarıkavak bölgesindeki ÇT-5, ÇT-6, ÇT-7 ve ÇT-8 nolu Murupağacın, Uyuz, Ilıca ve Kökderesi sıcak ve mineralli su kaynakları (özellikle Nisan 2014 dönemine ait olanlar) soğuk sular ile derin dolaşımli sıcak suların arasında yer almaktadırlar (Şekil 9.2). Bu durum sıcak su sistemindeki baskın hidrojeokimyasal süreçlerin su-kayaç etkileşimi ve yüzeye erişinceye kadar soğuk sularla farklı oranlardaki karışım süreci ile açıklanabilir. ÇT-5, ÇT-6, ÇT-7 ve ÇT-8 nolu sular Ca-Na-HCO<sub>3</sub> tipindeki sulardır.

Çamlıdere bölgesindeki diğer ÇT-1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, ve 12 nolu sıcak ve mineralli sular NaHCO<sub>3</sub> su tipinde olup, doğada ender bulunan yumuşak su özelliğindedirler (Şekil 9.2).

Çamlıdere'deki ÇS-10 nolu kaynak Piper diyagramında ÇT-5 nolu Muzrupağacın sıcak su kaynağı ile aynı bölgede yer almaktadır (Şekil 9.2). Muzrupağacın soğuk su kaynağı (ÇS-10) diğer su kaynaklarına göre daha fazla iyon derişimine sahiptir. Bu da kaynağın diğer soğuk su kaynaklarına göre, trityum içeriğinden de görülebileceği gibi daha derin dolaşımli olduğu ve daha fazla su-kayaç etkileşiminde bulunduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Bölüm 10). Çamlıdere'de kurak ve yağışlı dönemlerde örneklenen tüm sıcak ve soğuk su kaynaklarında büyük ölçekte bir farklılık görülmemiştir.

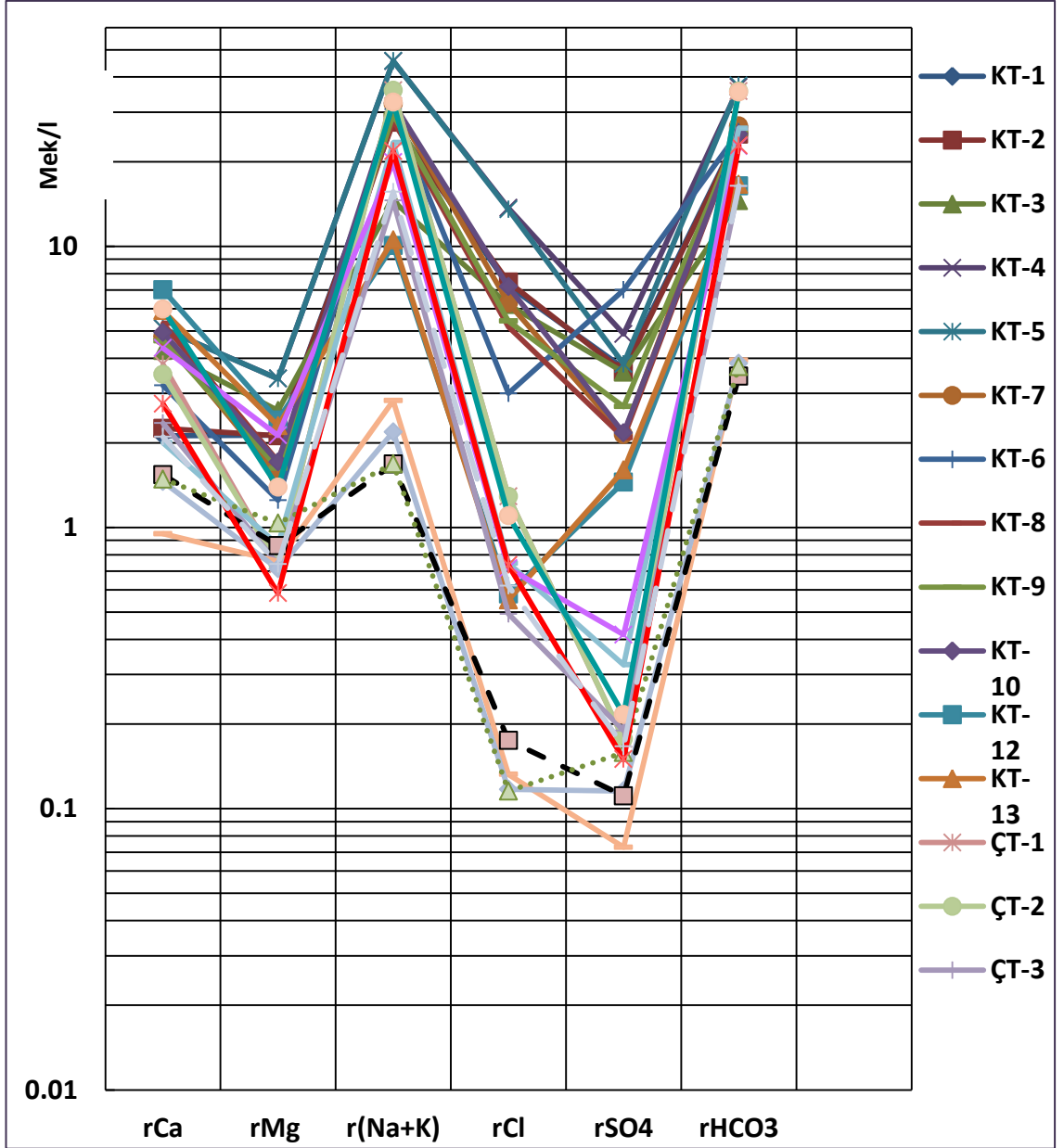
### 9.2.2 Schoeller diyagramı

Kızılcahamam ve amlıdere sahalarının kökensel benzerlik ve farklılıkların gösterilmesi amacıyla major iyon değerleri kullanılarak yarı logaritmik Schoeller diyagramı zlenmiştir (Şekil 9.3-9.7). Bu diyagramda alandaki tüm suların hidrojeokimyasal analizlerinin yapıldığı kurak dönem sonuçları kullanılmıştır.

Schoeller diyagramlarında aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmektedir. İnceleme alanındaki suların iyon sıralanması ve su tipleri izelge 9.2 - 9.3'te özetlenmiştir.

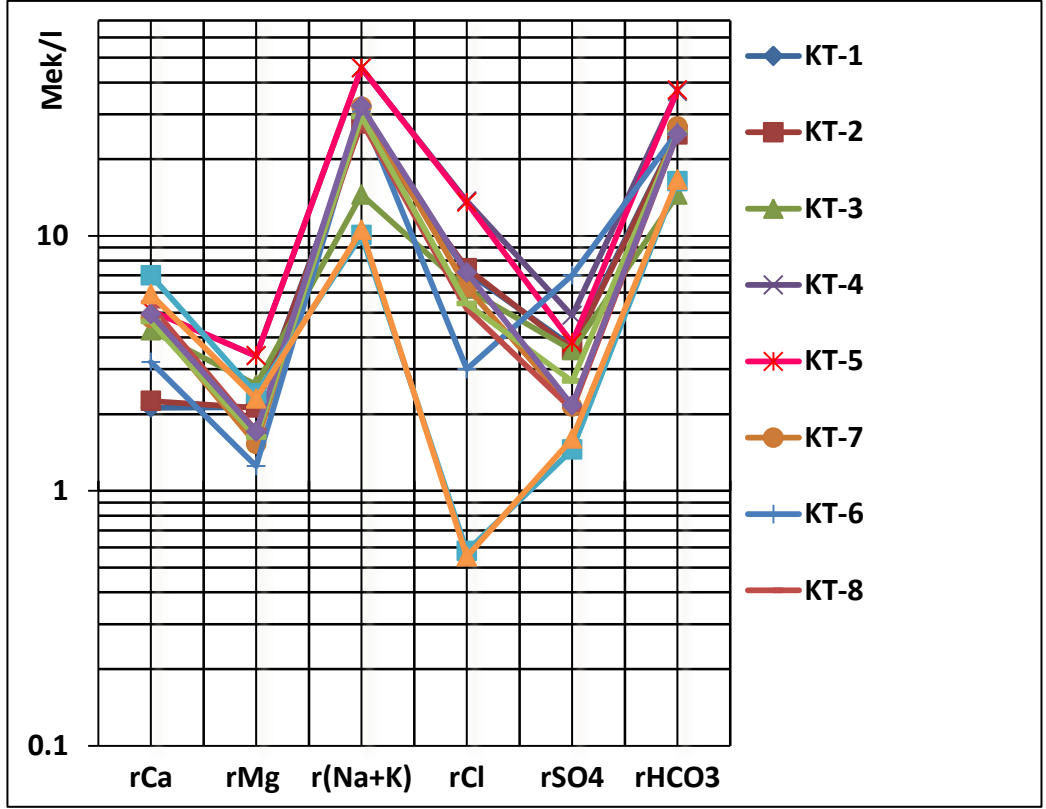
Schoeller diyagramında Kızılcahamam ve amlıdere sularının kökensel benzerlik gösterdikleri anlaşılmaktadır (Şekil 9.3). Ayrıca, amlıdere sıcak ve mineralli suları Kızılcahamam sularına göre daha düşük iyon içeriğine sahip sulardır. Kızılcahamam sıcak kaynak ve sondaj suları, amlıdere sıcak sularına göre daha yüksek  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$  ve  $SO_4^{-2}$  içeriklerine sahiptir.

Kızılcahamam soğuk sularında, katyonlarda  $Ca^{+2}$  ve  $Na^+$ 'un, anyonlarda da bikarbonatın en baskın iyon olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.5). amlıdere soğuk sularında da benzer özellikler gözlenmesine rağmen, bazı sularda  $Na+K$  miktarı  $Ca^{+2}$ 'a göre daha fazladır (Şekil 9.7). amlıdere soğuk sularından S-7 rneği  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $HCO_3^-$  ve  $SO_4^{-2}$  bakımından baskın olmasıyla diğer sulardan ayrılır (Şekil 9.7).

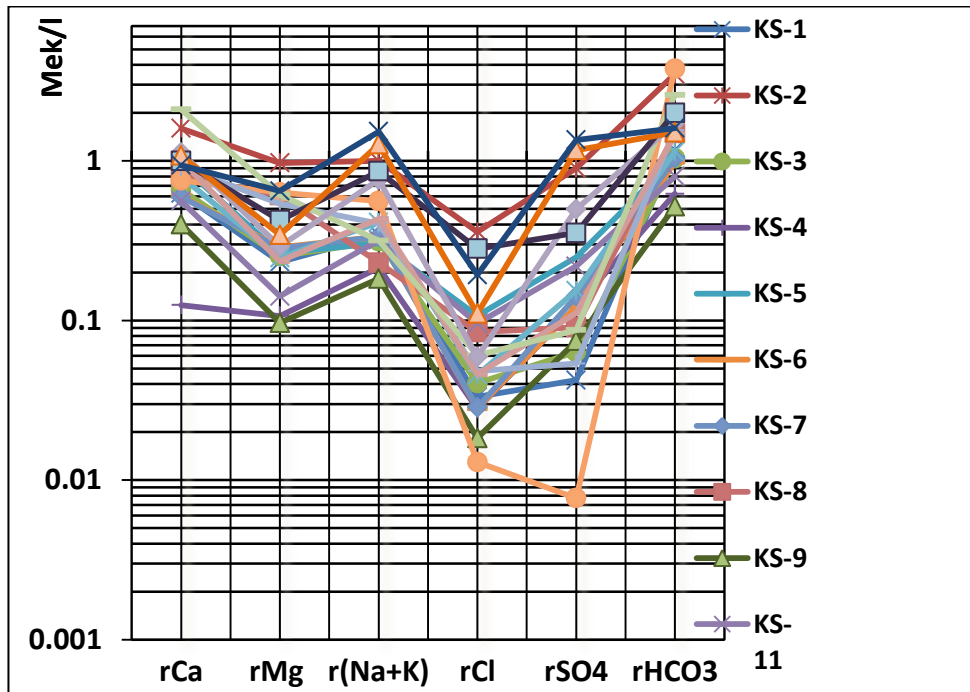


Şekil 9.3 Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait Schoeller diyagramı

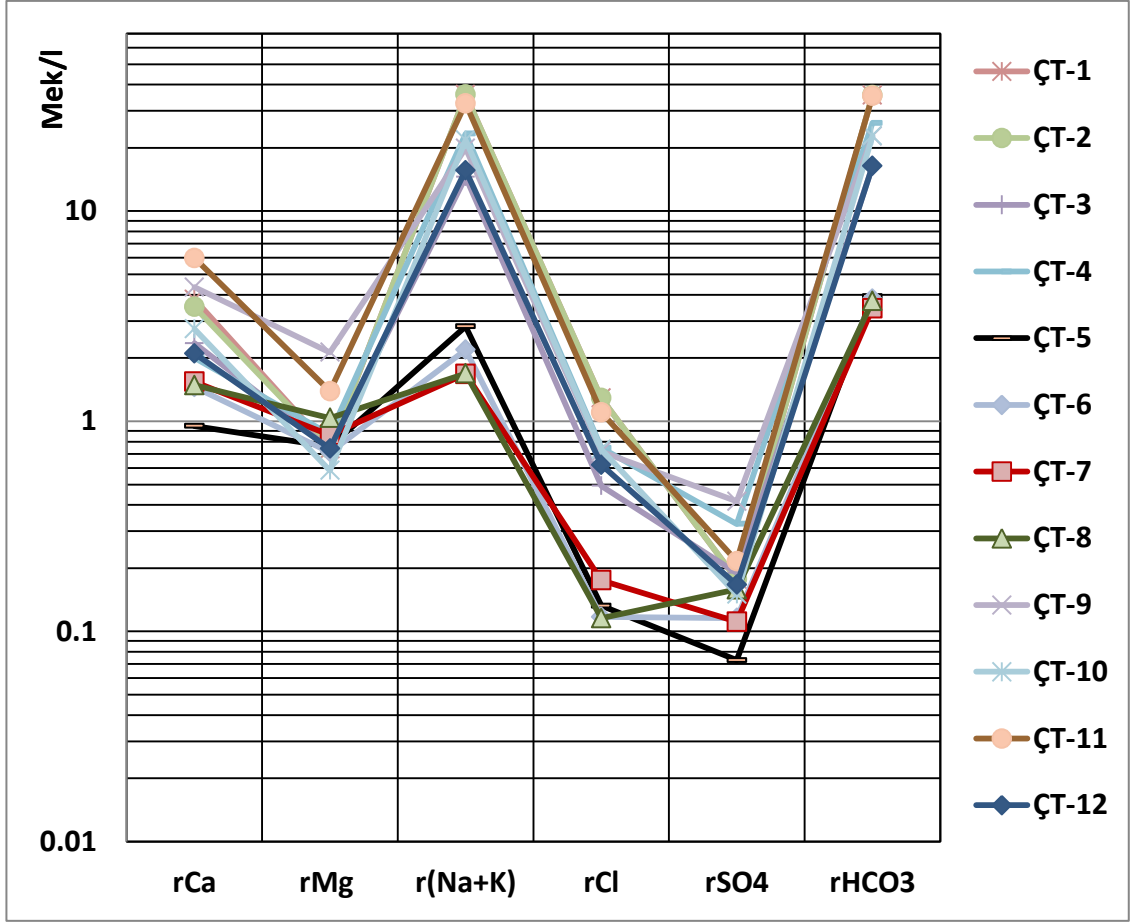




Şekil 9.4 Kızılcahamam sıcak sularına ait Schoeller diyagramı



Şekil 9.5 Kızılcahamam soğuk sularına ait Schoeller diyagramı



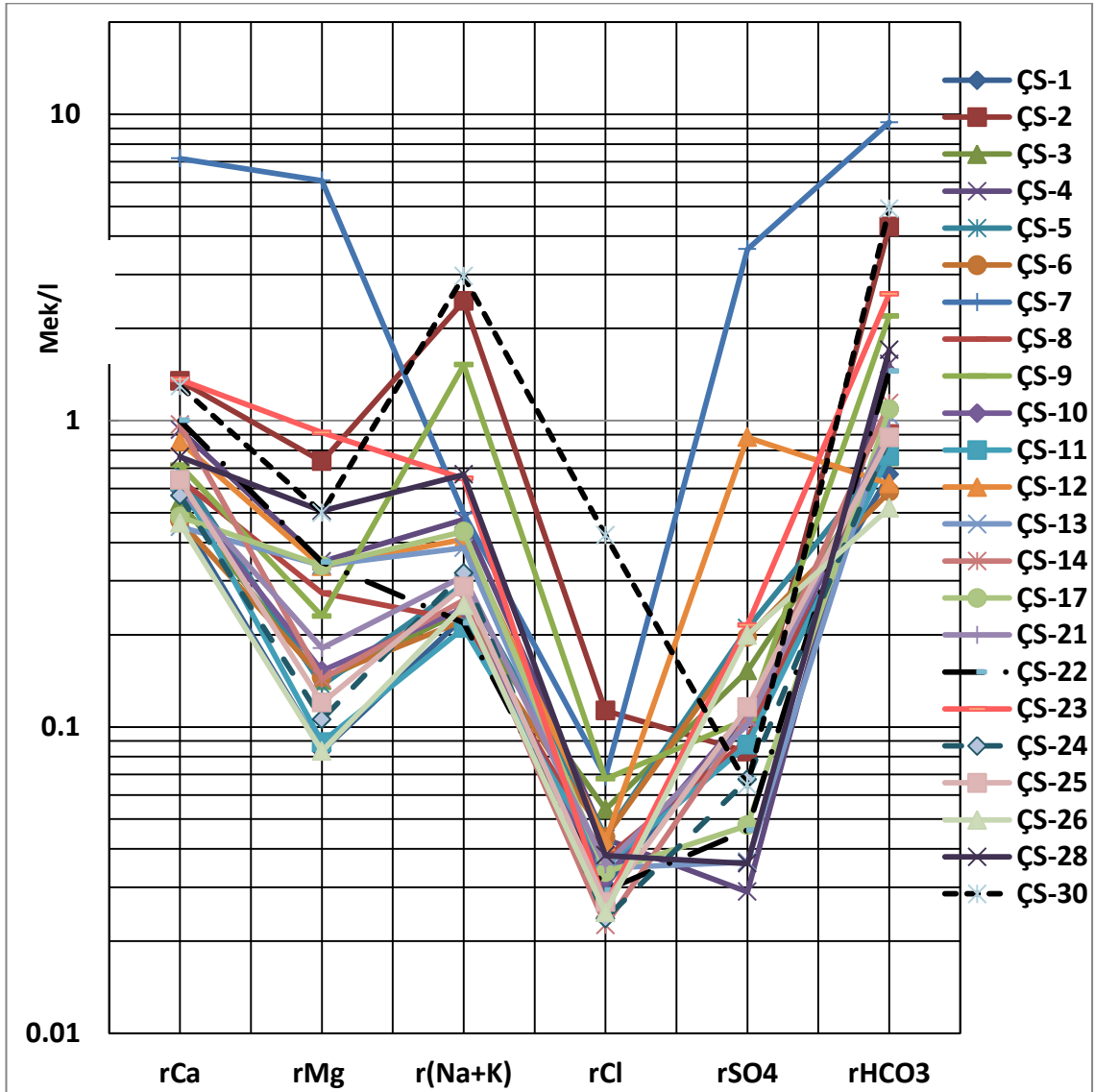
Şekil 9.6 Çamlıdere sıcak sularına ait Schoeller diyagramı

Her iki bölgedeki sıcak ve mineralli sular, bölgedeki  $Ca^{+2}$ ,  $Na^{+}$  ve  $K^{+}$  bakımından zengin soğuk sularla beslenmekte, bu suların derinlere süzülerek ısınması ve jeotermal sistemlerde depolanması aşamasında sıcaklık ve katyon değişimi gibi etkenlere de bağlı olarak  $Na^{+}$  ve  $K^{+}$  konsantrasyonları artmaktadır.

Kızılcahamam alanında yer alan sularda katyonlar ve anyonlar kendi aralarında, ekivalen (r) değerler dikkate alındığında  $r(Na+K) > rCa > rMg$ ,  $rHCO_3 > rCl > rSO_4$  şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 9.3).

Kızılcahamam Acısu Dere içinde şişelenen iki mineralli su kaynağı (KT-3 ve KT-4) ile kaplıca olarak kullanılan KT-5 nolu sıcak su kaynağının kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması sonucunda, Acısu Dere Çamlık mineralli suyu ile kaplıca kaynağının

aynı kökenli olduğu anlaşılmıştır. Acısu Dere As-koop mineralli su kaynağı ise Ekim ayı analiz verilerine göre daha az iyon içermektedir. İyonları birleştiren doğruların paralellik göstermesi, bu üç suyun benzer kökenli olduğuna işaret etmektedir (Şekil 9.3).



Şekil 9.7 Çamlıdere soğuk sularına ait Schoeller diyagramı

Kızılcahamam'daki Seyhamam erkekler (KT-12) ve kadınlar hamamı kaynağında (KT-13) iyonların ekivalene göre sıralanması,

$rNa + K > Ca > Mg$        $rHCO_3 > SO_4 > rCl$  şeklindedir.

Seyhamam erkekler ve kadınlar hamamı kaynak sularında, alandaki diğer sulara göre özellikle  $Cl^-$  ve  $SO_4^{-2}$  iyonlarında azalma,  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyonlarında ise artma söz konusudur. Sülfat iyonunun andezitlerin kırık ve çatlaklarında hidrotermal olarak oluşan kükürlü minerallerin çözünmesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Kızılcahamam soğuk suları birbirine benzer olup, Ca-Mg- $HCO_3$  su tipindedir. Kaynakları besleyen akifer sistem benzer litolojide olup, iyonları birleştiren doğrular birbirine paralellik göstermektedir. Kızılcahamam soğuk su kaynağı (KS-4) ile Millipark soğuk su kaynağı (KS-20) kimyasal olarak sıcak sular ile aynı bileşime sahiptir.

Göl suyu (KS-8) ve Koca Dere suyunun (KS-21) kation sıralaması  $rCa > rMg > r(Na + K)$  ve  $r(Na + K) > rCa > rMg$  şeklinde, anyon sıralaması ise  $rHCO_3 > rSO_4 > rCl$  şeklindedir. Javsu kaynak suyu (KS-4) ise Ca-Mg- $HCO_3$  su tipinde (hidrokimyasal fasiyesinde) yer almaktadır.

Çamlıdere bölgesindeki suların temas ettiği kayaç türleri andezit, bazalt, volkanik malzeme ve çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşıdır. Bölgeye ait tüm sıcak su kaynağı ve kuyu sularının grafikleri şekil 9.5'te verilmiştir. Burada, Ahatlar bölgesindeki ÇT-1 (ÇM-1), ÇT-2 (ÇM-2) ve Muzrupağacın bölgesindeki ÇT-3 (AÇT-1), ÇT-4 (AÇT-2) nolu sondaj suları ile tüm sıcak ve mineralli su kaynakları kökensel olarak aynı akiferden-benzer litolojilerden gelen sulardır. Bu sular;

Kasyonlar;  $rNa + K > rCa > rMg$ , anyonlar;  $rHCO_3 > rCl > rSO_4$  şeklinde oransal iyon içeriği ile sıralanmaktadır.

Muzrupağacın ve Sarıkavak bölgelerindeki ÇT-5, 6, 7 ve ÇT-8 nolu sıcak su kaynakları Schoeller diyagramında birbirine çok yakın ve benzer pikler gösterdiklerinden benzer kökene sahip sular oldukları söylenebilir (Şekil 9.5). Bölgedeki soğuk su kaynakları genellikle Ca-Na- $HCO_3$  ve Ca-Mg- $HCO_3$  fasiyesinde yer alırlar. Ancak, ÇS-7 nolu Sarıkavak Velibey soğuk su kaynağı kuyu şeklinde olup EC değeri  $982 \mu S/cm$ 'dir. Bu

su örneğinde  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonu oldukça yüksektir ( $\text{SO}_4^{-2}$ , 174,2 mg/l;  $\text{HCO}_3^-$ , 574,29 mg/l). Sülfat iyonunun, andezitlerin kırık ve çatlaklarında hidrotermal olarak oluşan kükürtlü minerallerin çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanındaki volkanik kayalar üzerinde Pliyosen yaşlı killi ve tuzlu evaporitik birimlerin bulunması nedeniyle bu birimlerden geçen ve iyonlarca az yüklenmiş olan sular sülfat ve bikarbonat iyonunca da yüklenmektedir. Buna ilave olarak, bu sulara akifer özellikteki Pliyosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı gibi seviyelerin suları da karıştığında, kimyasal kompozisyonunun değişmesi mümkündür. ÇS-7 nolu soğuk suyun  $\text{Ca}^{+2}$  değeri 143,39 mg/l olup, oransal olarak diğer sularınkinden yüksektir.

Çamköy soğuk su kaynağında (ÇS-12)  $\text{HCO}_3^-$  iyonunun azlığı ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonu fazlalığı göze çarpmaktadır. Bunun nedeni, yeraltısularının genç çökeller içindeki hareketi sonucunda kayalarda,  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonu içeren çözünürlüğü yüksek olan mineralleri (jips, anhidrit) çözmesi ile içerdiği iyon yüzdesi ve EC (144,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) değeri artmıştır.

Soğuk suların (ÇS-7 ve ÇS-12) EC değerleri nisbeten yüksek olup, buharlaşmaya da uğramışlardır. Bu durumu izotop sonuçları da doğrulamaktadır (BKZ. Bölüm 10). Her iki su da yeraltında farklı kayalarla temas etmişlerdir. Bu nedenle iyon sıralamaları da farklılık göstermiştir.

ÇS-7;  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{rNa} + \text{K}$ ,  $\text{rHCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{rCl}$ ,

ÇS-12;  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{rNa} + \text{K}$ ,  $\text{rHCO}_3 > \text{rCl} > \text{SO}_4$  su tipindedir.

Çizelge 9.2 Kızılcahamam sularının iyon sıralaması ve su tipleri

	<b>Su noktaları</b>	<b>Katyonlar</b>	<b>Anyonlar</b>	<b>Su Tipi</b>
<b>Sıcak ve mineralli sular</b>	KT-1	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
	KT-2	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
	KT-3	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
	KT-4	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
	KT-5	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
	KT-6	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	KT-7	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	KT-8	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	KT-9	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	KT-10	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	KT-12	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	KT-13	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	<b>Soğuk sular</b>	KS-1	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl
KS-2		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KS-3		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
KS-4		rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KS-5		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
KS-6		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-7		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-8		rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-9		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
KS-11		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KS-13		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
KS-14		rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-15		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-16		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
KS-17		rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KS-18		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KS-19		rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
KS-20		rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-HCO <sub>3</sub>
KS-21	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	

Çizelge 9.3 Çamlıdere sularının iyon sıralaması ve su tipleri

	<b>Su noktaları</b>	<b>Katyonlar</b>	<b>Anyonlar</b>	<b>Su tipi</b>
<b>Sıcak ve mineralli sular</b>	ÇT-1	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-2	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-3	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-4	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-5	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-6	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-7	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-8	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-9	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-10	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-11	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇT-12	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
<b>Soğuk sular</b>	ÇS-1	rCa>rNa+K>rCa	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-2	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-3	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-4	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-5	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-6	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-7	rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	ÇS-8	rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-9	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Na-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-10	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-11	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	CaHCO <sub>3</sub>
	ÇS-12	rCa>rNa+K>rMg	rSO <sub>4</sub> >rHCO <sub>3</sub> >rCl	Ca-Na-SO <sub>4</sub>
	ÇS-13	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-
	ÇS-14	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-17	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-
	ÇS-21	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-
	ÇS-22	rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-23	rCa>rMg>rNa+K	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	ÇS-24	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-
	ÇS-25	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-
ÇS-26	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
ÇS-28	rCa>rNa+K>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rSO <sub>4</sub> >rCl	-	
ÇS-30	rNa+K>rCa>rMg	rHCO <sub>3</sub> >rCl>rSO <sub>4</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	

### 9.3 Kızılcahamam Sularının Değerlendirilmesi

Kızılcahamam soğuk sularının elektriksel iletkenlik değerleri 58,1-348  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH değeri ise 6,47 ile 8,68 arasındadır. Kızılcahamam ilçesindeki sıcak sondaj sularının elektriksel iletkenlik değerleri 2.000-3.520  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH değerleri ise 6,40-7,8 arasında değişmektedir.

Kızılcahamam alanındaki sondaj sularında (KT-1, 2, 6, 7, 8, 9 ve 10) baskın olan  $\text{HCO}_3^-$  iyonunun  $\text{CO}_2$ 'ce zengin sularla yeraltı suyundan ve bir miktar da magmatik faaliyet ürünlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Arazide gözlenen,  $\text{CO}_2$  olduğu düşünülen gaz kabarcıkları da bu görüşü desteklemektedir.

Suların  $\text{Cl}^-$  bakımından göreceli zengin olmaları, klorürün bu sahalardaki rezervuar kayaç birimlerinin çözünmesi ya da suların uzun süre sirkülasyonu ile korunumlu olarak zenginleşmesiyle açıklanabilir. Jeotermal sularda yüksek klorür konsantrasyonları doğrudan derin bir rezervuar kayaçtan beslenmeyi işaret eder ve bu durumda, soğuma veya soğuk su ile karışım en düşük düzeydedir (Nicholson 1993). Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının sabit  $\text{Na}^+$  değerlerine karşılık  $\text{K}^+$  iyonundaki değişim akışkanın boşalım kuşağından uzaklaştıkça litolojik birimlerle iyon değişimi içinde olması ile açıklanabilir. Bu nedenle Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularını besleyen meteorik kökenli yağış suları, sığ derinlikte toprak alkali karakterli olup, derinlere süzülükçe sıcaklık artışına bağlı olarak  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$ , un  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$ 'la,  $\text{HCO}_3^-$ 'in ise  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  ile baz değişimine uğradığını göstermektedir.

Kızılcahamam sıcak sondaj sularının  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  oranı (Çizelge 9.4) düşük (0,09-0,17) olup, derin dolaşım ve akifer ile diğer yan kayaçlarla uzun süre temas eden suları işaret etmektedir. Bu sular, yeryüzüne yükselmekte olan sıcak suların iletkenlik yolu ile veya kondüktif olarak soğumaları sonucu oluşmuşlardır.



Çizelge 9.4 Çalışma alanındaki sulara ait iyon oranları

Kızılcahamam jeotermal sahası							
Sıcak ve mineralli sular	Kod	Ca/Mg	Na/Cl	Cl/HCO <sub>3</sub>	B/Cl	Cl/B	Li/Cs
	KT-1	1,660	2,37	0,17	0,04	28,56	6,748
	KT-2	1,771	2,26	0,17	0,05	20,70	6,060
	KT-3	2,720	1,41	0,25	0,03	31,43	10,365
	KT-4	2,512	2,06	0,22	0,04	27,00	7,940
	KT-5	2,512	2,08	0,21	0,05	0,05	-
	KT-6	4,267	3,14	0,14	0,05	21,42	-
	KT-7	5,202	6,31	0,09	0,06	15,73	75,483
	KT-8	5,148	3,32	0,11	0,04	24,79	7,327
	KT-9	4,729	3,32	0,13	0,04	26,10	7,6343
	KT-10	4,820	2,77	0,17	0,03	30,15	7,958
	KT-12	4,841	10,63	0,02	0,13	7,92	87,929
	KT-13	4,275	11,73	0,01	0,14	7,40	87,232
	Soğuk sular	KS-1	4,484	4,75	0,01	0,01	118,00
KS-2		2,749	1,44	0,06	0,01	127,80	1,470
Çamlıdere jeotermal sahası							
Sıcak ve mineralli sular	ÇT-1	8,576	16,85	0,02	0,14	7,17	7,867
	ÇT-2	7,901	16,85	0,02	0,13	7,88	377,551
	ÇT-3	5,299	17,71	0,02	0,08	12,50	10,893
	ÇT-4	3,850	19,36	0,02	0,12	8,08	23,492
	ÇT-5	2,088	11,70	0,02	0,04	23,50	10,683
	ÇT-6	3,404	8,99	0,02	0,18	5,47	30,257
	ÇT-7	2,985	5,18	0,03	0,11	9,27	28,818
	ÇT-9	2,389	7,43	0,02	0,61	1,64	47,685
	ÇT-10	3,405	16,08	0,02	0,16	6,36	12,272
	ÇT-11	7,857	18,01	0,02	0,16	6,37	9,241
	ÇT-12	7,168	18,00	0,02	0,18	5,65	184,842
	Soğuk sular	ÇS-1	4,719	15,00	0,02	0,14	7,33
ÇS-2		9,770	4,51	0,03	0,44	2,25	1000
ÇS-3		3,053	12,37	0,02	0,00	401,00	3,706
ÇS-4		6,388	2,14	0,04	0,53	1,87	10

Kızılcahamam ilçesinin 4 km kuzeydoğusunda yer alan KT-3, KT-4 ve KT-5 nolu Acısudere'deki sıcak ve mineralli suların sıcaklığı düşük (21-35°C) olup, Kızılcahamam sondaj suları ile Seyhamam sıcak su kaynakları gibi hakim iyon  $\text{HCO}_3^-$ 'dir. Ancak, kationlar bakımından  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  veya bu iyonların karışımı söz konusudur. Bu sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Cl}^-$  iyon konsantrasyonları diğer Kızılcahamam sondaj sularına göre daha yüksektir. Kızılcahamam sularındaki maksimum klorür konsantrasyonu 486 mg/l ile Acısu Dere'deki 4 nolu Çamlık mineralli kaynak suyunda kaydedilmiştir. Beslenme alanında, evaporit içeren seviyelerden süzülen yağmur sularının rezervuara inerek tekrar kaynak şeklinde yüzeye çıkması sırasında klorür iyonu konsantrasyonu 13,86 mek/l (486 mg/l)'ye ulaşmıştır. Bu suların sıcaklığı düşük olup, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri sırasıyla 6,00-6,86 ile 1.550-5.043  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasındadır. Acısu Dere'deki sıcak ve mineralli suların  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  oranı yüksek (0,21-0,25) olup, Kızılcahamam sondaj sularına benzerdir (Çizelge 9.4).

Ayrıca, yüksek bikarbonat ve çözülmüş  $\text{CO}_2$  içeren Acısu Dere sıcak ve mineralli suları yüksek sıcaklıklı jeotermal alanların kenar kısımlarında veya bu suların yükselmeleri sırasında yeryüzüne yakın kısımlarda soğuk su ile karıştıkları yerlerde, sistemin üst bölgesinde-kaynama sıcaklıklarının çok altındaki sıcaklıklarda bulunurlar. Bu tür sulara kalsit, çökelen ana mineraldir (Browne 1991).

Acısudere'deki sıcak ve mineralli suların oluşumları, bu akışkanların derinde kaynamaya uğrayan bir jeotermal akışkanın ve kaynamadan sonra iki faza ayrılan (sıvı ve buhar) akışkandan geriye kalan sıvının/artık suyun,  $\text{Cl}^-$  içeriğinin yüksek ( $\text{Cl}^-$  zenginleşmesi ancak buhar kaybı ile zenginleşebilir) olması ve bu suların kimyasal kompozisyonu Kızılcahamam sondaj sularına benzer, ancak soğuk sularla seyrelmiş olabileceği düşünülmektedir. Kaynama sonrası oluşan bu sular akiferden yüzeye çıkarken soğuk sularla karışması nedeniyle ısı kaybına uğrayacaktır. Güleç (1994)'in Kızılcahamam dolayında yapmış olduğu çalışma bu görüşü desteklemektedir.  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  oranının biraz yüksek olması da bu suların Kızılcahamam sondaj suları ile aynı kökene sahip, derin dolaşım ve su-kayaç ilişkisine bağlı olarak akiferle uzun süre temas eden sular olmalarını göstermektedir. Su-kayaç etkileşimi önemli bir etken olup, iyon

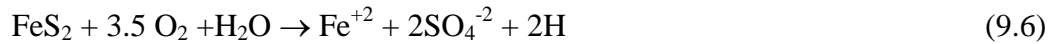
değişim sürecini de beraberinde getirmektedir. Son süreç ise soğuk ve sığ yeraltı sularıyla karışım sürecidir.

Seyhamam KT-12 ve KT-13 nolu sıcak ve mineralli suları ise yüksek  $\text{HCO}_3^-$  içeriklerine sahip olup, pH değerleri 6,0-7,2 arasındadır. Bu suların  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyon konsantrasyonu ve EC değeri yüksek,  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SiO}_2$  iyon içeriği diğer Kızılcahamam sondaj ve Acısu Dere'deki sıcak sulara nazaran daha düşüktür. Seyhamam sıcak sularının  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  oranı (0,01-0,02) Kızılcahamam sondaj suları ile Acısu Dere'deki sıcak ve mineralli sularından daha düşüktür (Güleç 1994). Seyhamam sıcak ve mineralli suları, derinde kaynamaya uğrayan bir jeotermal akışkandan ayrılan buharla birlikte gelen  $\text{H}_2\text{S}$  gazının sığ derinlikteki meteorik kökenli soğuk yeraltı sularının ısınması ile oluşmuştur.

Seyhamam sularında  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonunun düşük olmasının nedeni, derinde kaynamaya (adyabatik soğuma) uğrayan bir jeotermal akışkandan gaz ile birlikte ayrılan buharın  $\text{Cl}^-$  içeriğinin düşük, soğuma sonrası kalan artık suyun  $\text{Cl}^-$  içeriğinin ise yüksek olmasıdır. Sulardaki  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonunun oluşum şekli 2 farklı süreç ile açıklanabilir: Miyosen volkanizmasına ait soğumakta olan bir mağmadan ayrılan  $\text{H}_2\text{S}$  gazının oksitlenmesi sonucu oluşabileceği,



Suların içinde çözünen  $\text{SO}_4^{-2}$  iyon konsantrasyonu, magmatik ve alanda yaygın olarak bulunan kayaçların içerisindeki sülfür minerallerinden kaynaklanabilir. Piritin oksidasyon eşitliği aşağıdaki gibidir.



Seyhamam sıcak ve mineralli suları yüksek  $\text{SO}_4^{-2}$  içeriği ile birlikte yüksek Fe (237,8  $\mu\text{g/l}$ ) konsantrasyonuna da sahiptir. Bu nedenle Seyhamam KT-12 ve KT-13 nolu sular yüksek sıcaklığı absorbe etmiş, buharla ısıtılmış sular olarak yorumlanmaktadır. Tektonik hareketler sonucu eklemler ve bol kırıklı olan Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının Acısu Dere ve Seyhamam'daki sıcak suların hazne kayacını oluşturması nedeniyle sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyon konsantrasyonlarının yükselmesine neden olmuştur.

#### 9.4 Çamlıdere Sularının Değerlendirilmesi

Çamlıdere bölgesinden örneklenen soğuk suların sıcaklıkları  $9^\circ\text{C}$  ile  $16^\circ\text{C}$  arasında değişirken, kaynak ve sıcak sondaj sularının sıcaklıkları ise  $24,0-42,4^\circ\text{C}$  arasındadır. Soğuk suların pH değeri 6,1-9,8 arasında, sıcak ve mineralli suların ise 6,20-7,80 arasında değişmektedir. Çamlıdere alanında soğuk suların elektriksel iletkenlik değeri 73,3-982  $\mu\text{S/cm}$ , sıcak ve mineralli suların ise 335-3.550  $\mu\text{S/cm}$  arasında değişmektedir.

Çamlıdere yöresindeki sıcak su kaynak ve sıcak sondaj sularının EC değerleri Kızılcahamam sıcak sularından daha düşük olup, Kızılcahamam suları gibi baskın iyon çifti  $\text{Na}^+$  ve  $\text{HCO}_3^-$ 'dir. Soğuk sular ise iyonların hiçbiri diğerini geçmeyen karışık bileşimli suları yansıtmaktadır. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının toplam mineralizasyonu (TDS) 214,4-2.272  $\text{mg/l}$  arasında iken, soğuk sularda 46,912-628,48  $\text{mg/l}$  arasındadır.

Çamlıdere alanında Ahatlar (ÇT-1, ÇT-2) ve Muzrupağacın (ÇT-3 ve ÇT-4) bölgesindeki sıcak sondaj sularında sıcaklık  $27,3^\circ\text{C}$  ile  $42,4^\circ\text{C}$  arasında olup, bu suların  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonları Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularına nazaran daha düşüktür. Bu tip sularda kalsiyumun yüksek sıcaklıklarda az çözünmesi, potasyum ve magnezyumun da killer tarafından bağlanması nedeniyle, sodyum genellikle ana katyon durumundadır.

Çamlıdere sıcak sondaj sularının klorür konsantrasyonu soğuk sularla seyreltilmiş olup, maksimum klorür derişimi Ahatlar bölgesindeki kuyularda 45,73 mg/l ile Kızılcahamam sondaj sularından (183-265 mg/l) çok düşüktür.

Çamlıdere sıcak sondaj sularının Cl/HCO<sub>3</sub> oranı Kızılcahamam sularına göre daha düşüktür. Bu durum Kızılcahamam sularına göre daha az derin dolaşım ve akiferde daha az süre kalan suları ifade etmektedir (Çizelge 9.4). Sondajla elde edilen sıcak sular, rezervuardan yükselirken iletkenlik yolu ile veya kondüktif olarak soğumaları sonucu oluşmuşlardır.

Çamlıdere sıcak ve mineralli sularındaki Na<sup>+</sup>un sabit değerlerine karşılık K<sup>+</sup> iyonundaki değişim akışkanın çıkış kuşağından uzaklaştıkça litolojik birimlerle iyon alış verişinde olduğunu göstermektedir.

Karbonat ve silikatların çözünürlüğü ile iyon değişim tepkimesi alandaki sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal evrimlerinde egemen süreci temsil etmektedir. Silikatların bozunma tepkimesi ile sıcak su alanlarında yaygın silis çökellerinin bulunmasına Sarıkavak Kökderesi sıcak su kaynağı (ÇT-8) örnek olarak verilebilir.

Karbonat minerallerinin çözünmesi ile bu sulardaki Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonları artmaktadır. Sıcak suların dolaşımı sırasında Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> iyonları Neojen yaşlı tortulların bünyesindeki killerde bulunan Na<sup>+</sup> ile yer değiştirebilecektir. Bunun sonucunda bölgede Na-HCO<sub>3</sub> su tipini yansıtan sular ortaya çıkmıştır. Çamlıdere ve Kızılcahamam alanlarına ait örneklerde yapılan kil difraktometre analizlerinde katyon değişim kapasitesi yüksek olan montmorillonit ve kaolen türü kil mineralleri tespit edilmiştir (Gevrek 2000).

Çamlıdere jeotermal sahasındaki suların Na/Cl, Ca/Mg ve HCO<sub>3</sub>/Cl oranı “1” in üzerindedir (Çizelge 9.4). Suların Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, B ve SiO<sub>2</sub> değerleri de yüksektir. Ayrıca, akışkan yükselirken soğuk su ile yüksek oranda karışmıştır. Akışkanın yükselimi

sırasında  $K^+$  kazanması, burada yaygın olan kalk-alkalen volkanizması ile ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Çamlıdere Muzrupağacın (ÇT-5) ve Sarıkavak bölgesindeki ÇT-6, ÇT-7 ve ÇT-8 nolu sıcak ve mineralli su kaynaklarının klorür konsantrasyonu düşük (3,01-6,21 mg/l) olup, soğuk suların klorür içeriği ile aynıdır. Düşük sıcaklığa sahip (20-28°C) olan bu suların pH değeri 6,61-7,80 arasında, EC değeri ise 335-410  $\mu$ S/cm olup, soğuk suların EC değerlerine benzerdir. Klorür konsantrasyonu ile birlikte bu suların  $Ca^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$ , B ve Li değerleri de düşüktür. Ayrıca, hazne kaya üzerinde geçirimsizliği yüksek olan göl çökellerin de bulunması yüzey sularının sıcak su akiferine karışmasına neden olmaktadır. Sıcak su kaynaklarında  $HCO_3^-$  baskın anyonu oluşturmakta ve anyon sıralaması  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  şeklindedir. Bu durumda, Muzrupağacın ve Sarıkavak sıcak su kaynakları derin bir rezervuardan değil de yanal akışın yüksek olduğu daha sığ bir zondan beslenmektedir. Bu kaynak sularının düşük EC değerleri ve dolayısı ile TDS değerinin de (214,4-262,4 mg/l) düşük olması su-kayaç ilişkisinin çok etkili olmadığını veya sıcak su kaynaklarının TDS değeri düşük sularca (yüzey suları) seyreltiğini göstermektedir.

Çamlıdere Tatlak maden suyu (ÇT-9), Atça mineralli su kaptajı (ÇT-11) ve hemen yanında yer alan ve içmece olarak kullanılan Atça mineralli su kaynağının (ÇT-10)  $K^+$  ve  $Ca^{+2}$  konsantrasyonları, Çamlıdere'nin diğer sıcak sularına göre oldukça yüksek olup, Kızılcahamam Acısu Dere'deki mineralli suları (KT-3, KT-4, ve KT-5) ile benzerdir. Ancak, Atça mineralli su (ÇT-11) kaptajında ise, muhtemel soğuk su karışımından dolayı oransal olarak  $Ca^{+2}$  fazlalığı (119,49 mg/l) mevcuttur. Bu sulardaki maksimum  $Cl^-$  (40,10 mg/l) ve EC (3.550 mg/l) konsantrasyonu Atça mineralli suyunda (ÇT-11) görülmüştür. ÇT-9, ÇT-10 ve ÇT-11 nolu suların  $SiO_2$  derişimi de yüksek olup, maksimum 100 mg/l değerine ulaşmaktadır (ÇT-9). Na-Ca-bikarbonat bileşimi gösteren bu suların,  $Cl^-$  içeriğinin Kızılcahamam sularına nazaran daha düşük olması, yüzey sularından büyük ölçüde bir karışımı akla getirmektedir. Bu suların jeokimyasal bileşimi, Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının hazne kayacı oluşturması veya karışan suların  $Ca^{+2}$  iyonunca zengin olmasından kaynaklanmaktadır.

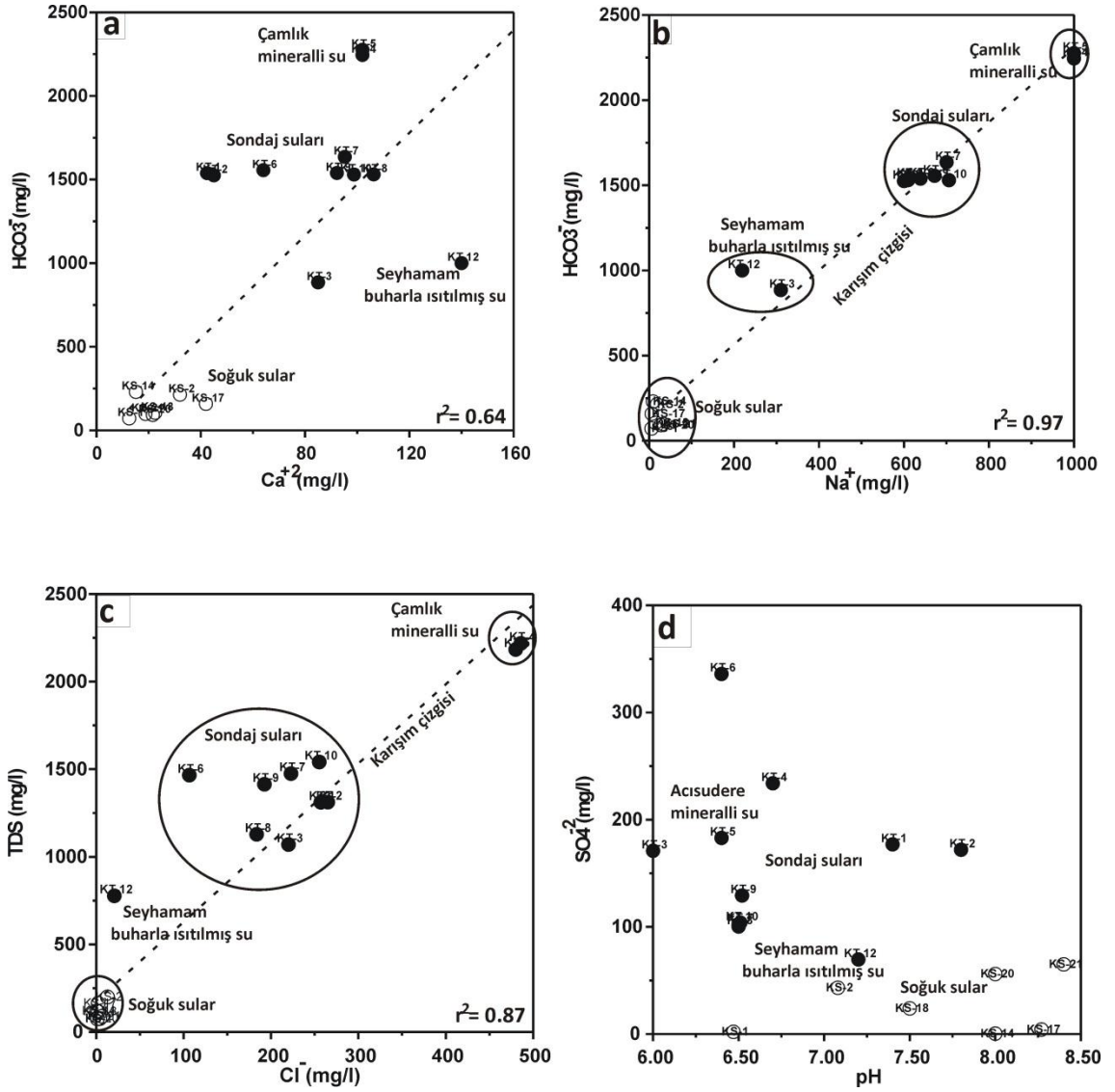
Ahatlar bölgesindeki ÇMJ-1 ve ÇMJ-2 nolu sondaj suları ile Atça mineralli suları yüksek  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , B ve TDS değerine sahiptir. ÇT-11 nolu su ise daha yüksek  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve TDS değerine sahiptir. Ahatlar ÇMJ-1 sondaj suyunun sıcaklığı  $42,4^\circ\text{C}$  olup, ÇMJ-2 sondaj suyu sıcaklığından ( $27^\circ\text{C}$ ) daha yüksektir.

### 9.5 Kompozisyon Diyagramları

Suların sınıflandırılmasına katkıda bulunmak, karışım ve buharla ısıtılmış yeraltı sularının konumunu ortaya koyabilmek için korunumlu iyonlardan olan klorür ve diğer iyonlar esas alınarak ikili diyagramlar hazırlanmıştır (Şekil 9.8-9.13).

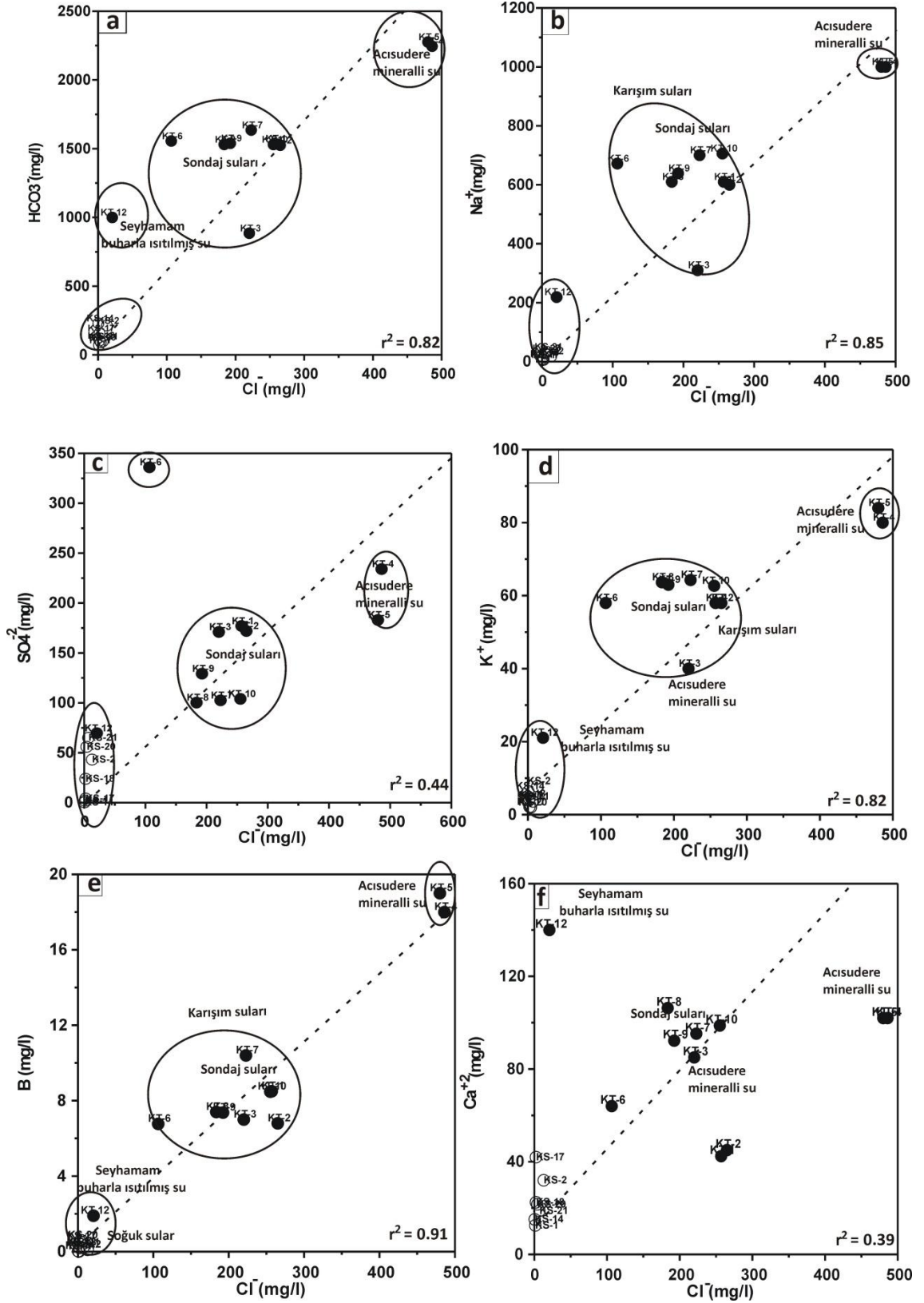
Bu diyagramlarda, Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki sularda  $\text{Na}^+$  ile  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Ca}^{+2}$  ile  $\text{HCO}_3^-$  iyonları arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır (Şekil 9.8.a.b, ve 9.12.a.b).

Kızılcahamam ve Çamlıdere sularında  $\text{Cl}^-$  iyonu ile toplam çözülmüş katı miktarı (TDS) arasında pozitif bir ilişki görülmektedir (Şekil 9.8.c ve 9.12.c). Kızılcahamam sıcak sularında EC ve  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonları arasında da pozitif ilişki bulunmaktadır. Buradan da, sulardaki tuzluluğun sebebinin klorür olduğu anlaşılmaktadır. Buna ilave olarak, yeraltı sularının akım yolu boyunca TDS değeri arttığından, Seyhamam sularının beslenme alanına yakın ve su-kayaç etkileşim sürelerinin kısıtlı olması nedeniyle, bu kaynak sularının toplam iyon içerikleri Kızılcahamam Acısu Dere kaynaklarına oranla daha düşüktür.

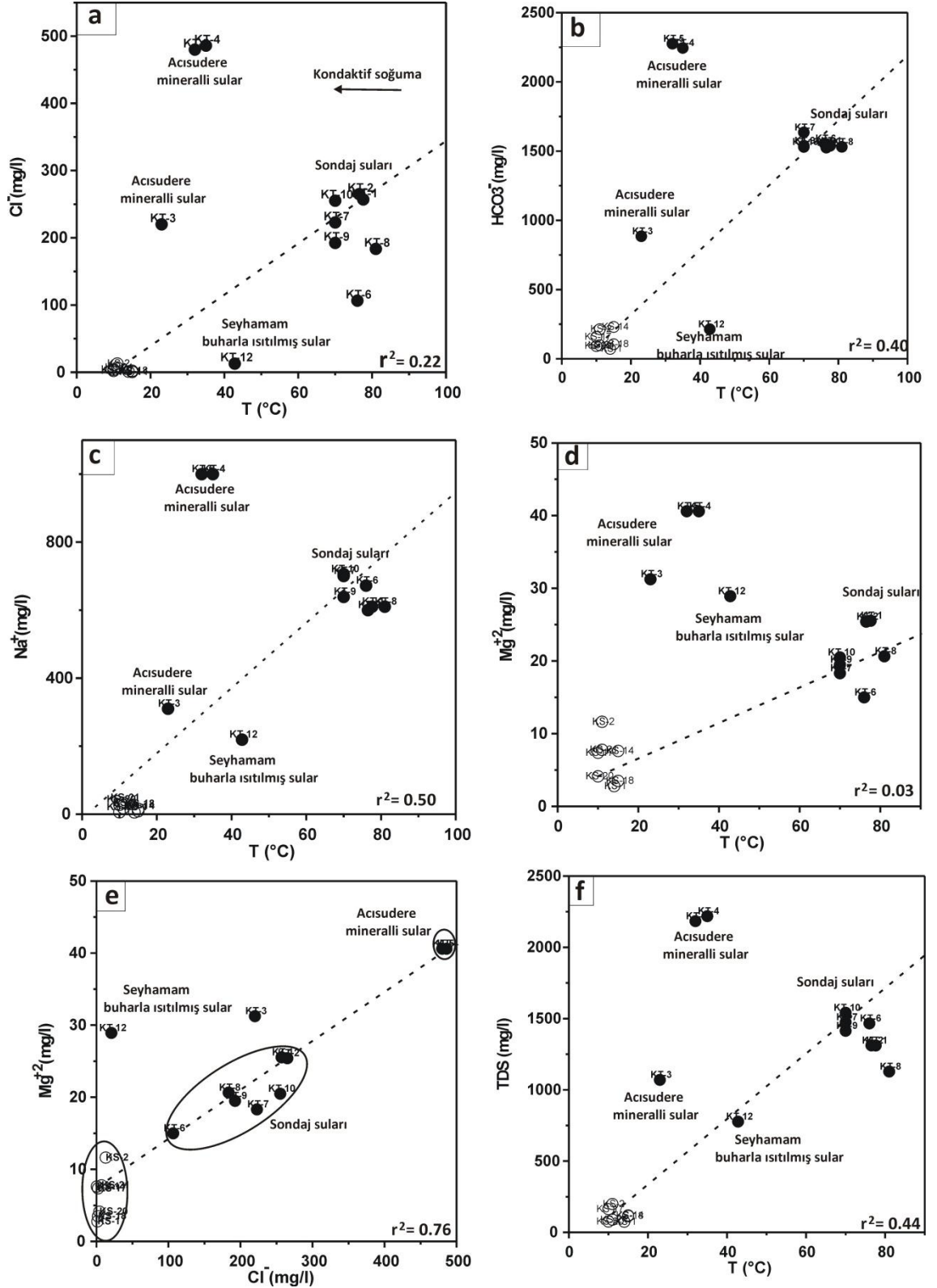


Şekil 9.8 Kızılcahamam bölgesindeki suların kompozisyon diyagramları

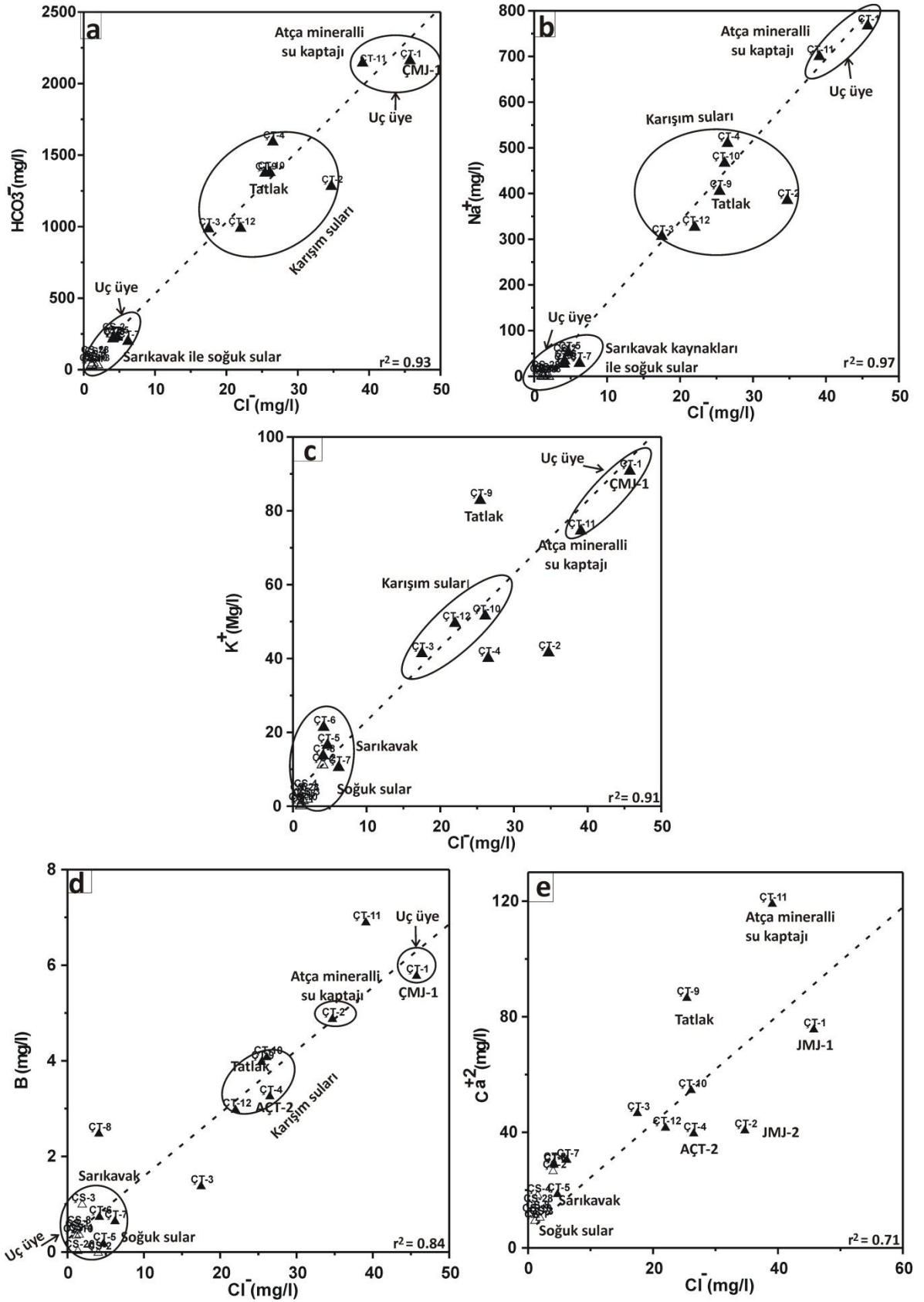




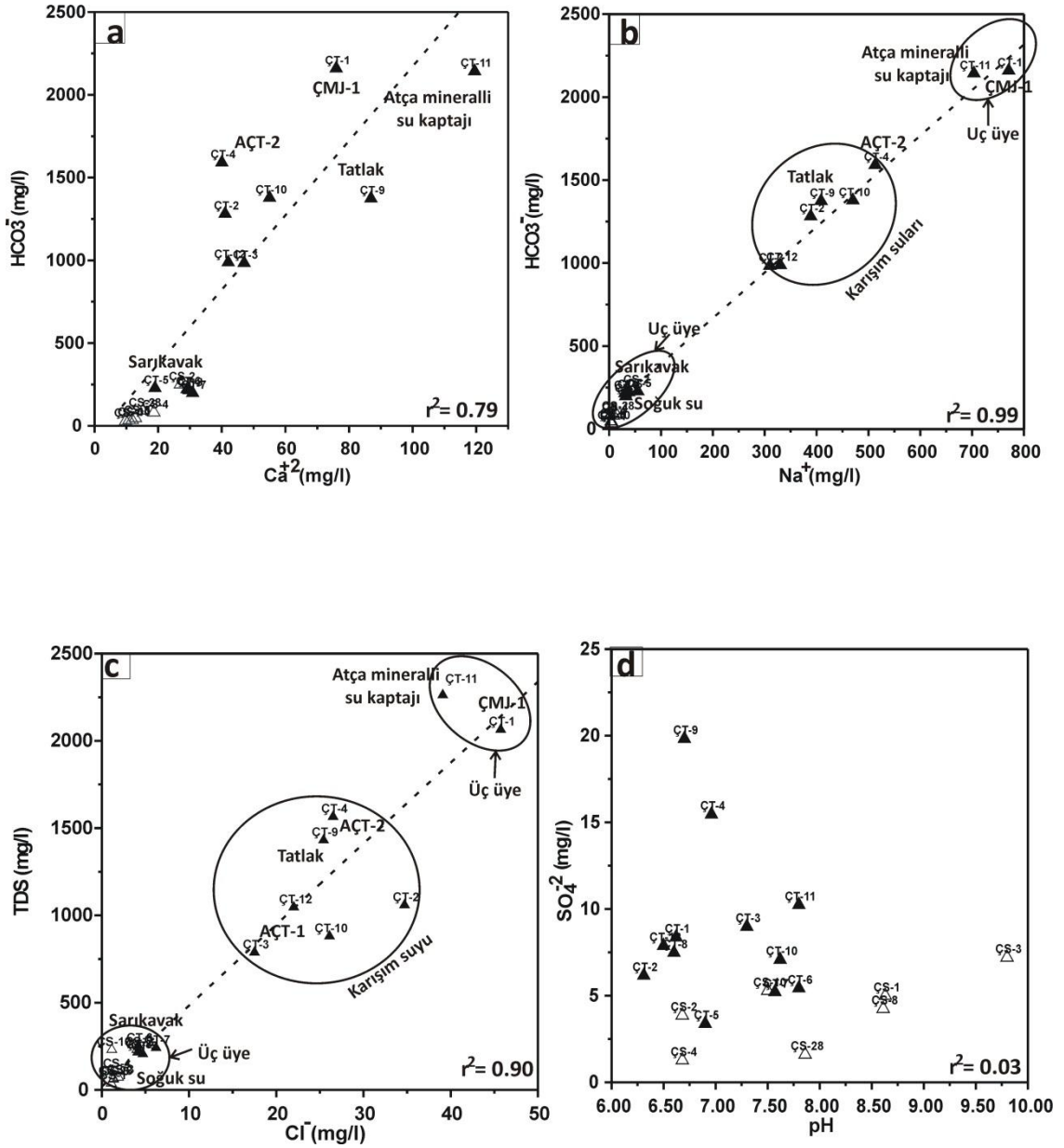
Şekil 9.9 Kızılcahamam bölgesindeki suların Cl<sup>-</sup> ile HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, ve Ca<sup>2+</sup> iyonları arasındaki ilişkiler



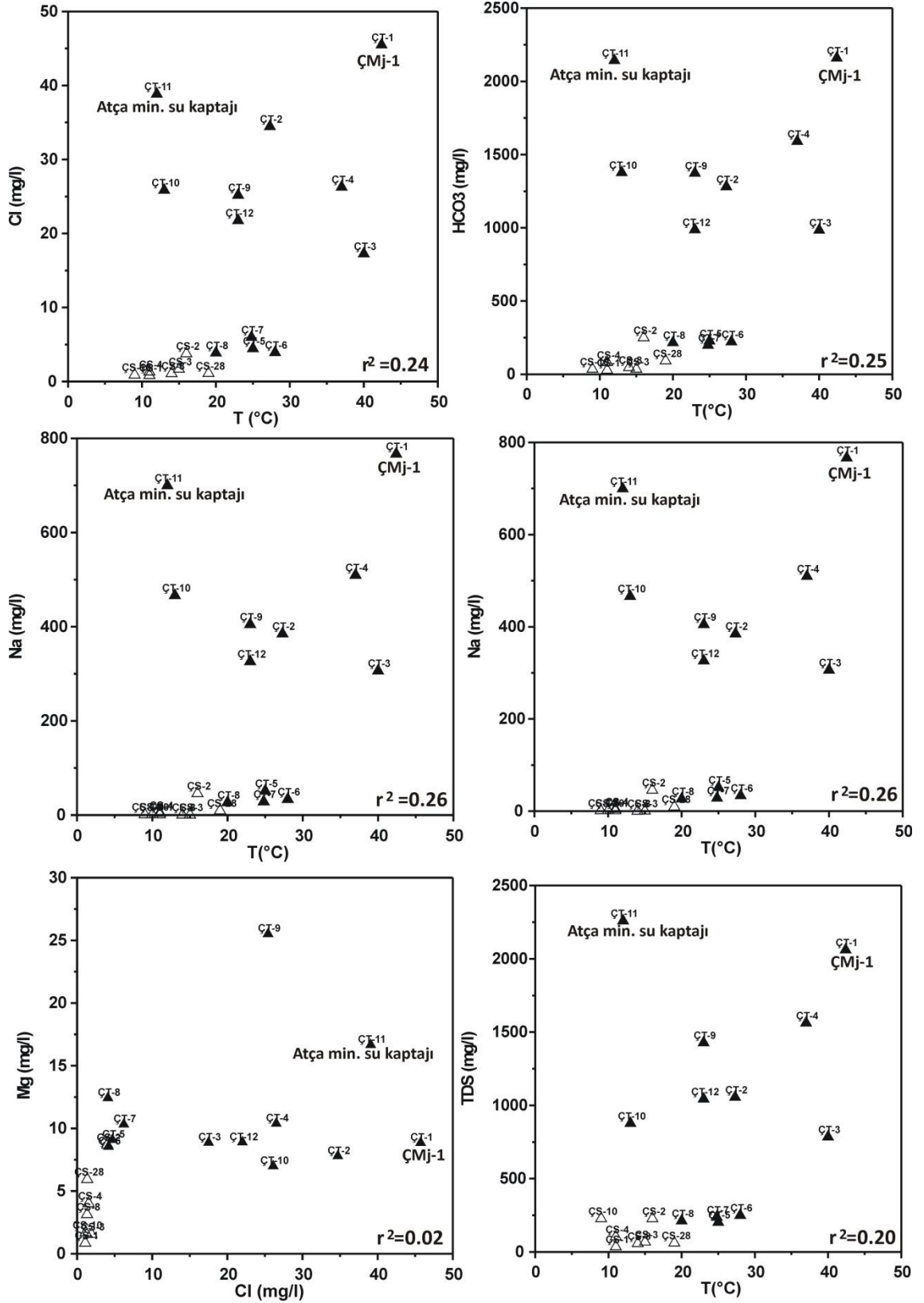
Şekil 9.10 Kızılcahamam bölgesindeki suların sıcaklık ile Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve TDS arasındaki ilişkiler



Şekil 9.11 Çamlıdere bölgesindeki suların Cl<sup>-</sup> ile HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, B ve Ca<sup>+2</sup> iyonları arasındaki ilişkiler



Şekil 9.12 Çamlidere bölgesindeki suların kompozisyon diyagramları



Şekil 9.13 Çamlıdere bölgesindeki suların sıcaklık ile Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, TDS ve Cl<sup>-</sup> ile Mg<sup>+2</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> arasındaki ilişkiler

Kızılcahamam ve Çamlıdere sularında incelenen Na-Cl iyonları arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Ancak iyon miktarlarına göre en düşük konsantrasyonlar doğal olarak soğuk sularda, en yüksek konsantrasyonlar ise Kızılcahamam sıcak sularında görülmektedir (Şekil 9.9.b ve Şekil 9.11.b). Bu durum aynı zamanda Chebotarev sıralamasına (Domenico 1972) da uymaktadır. Bilindiği gibi bu sıralama, yeraltı suyunun aktif ve hızlı aktığı ve  $\text{HCO}_3^-$ 'in egemen, toplam çözünmüş madde miktarının az olduğu zondan yeraltısuyu akımının yavaş ve  $\text{Cl}^-$ 'ün egemen olduğu, toplam çözünmüş madde miktarının fazla olduğu zona doğru olan sıralamadır. Ara zondaki egemen anyon ise  $\text{SO}_4^{-2}$ 'dir.

Bikarbonat-klorür ( $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Cl}^-$ ) diyagramında, Kızılcahamam bölgesi için karışım doğrusu net değildir. Çamlıdere sularında ise uç üyeler oluşmakta ve sığ derinlikte akışkana karışım söz konusudur (Şekil 9.9.a ve 9.11.a).

Kızılcahamam bölgesi için,  $\text{Cl}^-$ - $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Cl}^-$ - $\text{SO}_4^{-2}$  arasında lineer bir ilişki bulunmamaktadır (Şekil 9.9.c ve Şekil 9.9.f). Çünkü,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonları jeotermal suların karakteristik iyonları değildir. Sıcak sularda bu iyonların varlığı birçok farklı köken ile açıklanabilir (Şekil 9.9.c, 9.9.f, 9.11.e, ve 9.13.d). Bunlar, soğuk sularla karışım,  $\text{H}_2\text{S}$  gazının jeotermal akışkanda oksidasyonu ve bazı hidrotermal alterasyon minerallerin çözünlülüğü ile ilişkilidir. Özellikle  $\text{Ca}^{+2}$  derişimi kalsit ve  $\text{Ca-AlSiO}_3$  mineralleri ile ilişkilidir (Guo ve Wang 2012).

Sıcaklık ( $T, ^\circ\text{C}$ )- $\text{Cl}^-$  ilişkisine bakıldığında,  $\text{Cl}^-$  miktarı sıcaklık artıkça az da olsa artmaktadır (Şekil 9.10.a ve Şekil 9.13.a). Artıştaki bu azlığın nedeni, eşite yakın  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonuna sahip jeotermal akışkan kaynaklarının, kondaktif soğuma ile ısılarının değişmiş, fakat  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonlarının sabit kalmasından kaynaklanmaktadır (Koçak 1997). Acısu Dere sularında sıcaklıkla klorür arasında pozitif bir ilişki bulunmamaktadır. Derinden gelen kaynaklar tek bir akışkandan oluşmakta ve dolayısı ile  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonları eşite yakın, ancak değişik noktalardan azalan debilerde çıkmaları nedeniyle kondaktif soğumaya uğramakta ve buna karşılık  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonları fazla değişmemektedir (Koçak 1997).

Bikarbonat-sıcaklık ( $\text{HCO}_3^-$ -T, °C) diyagramında, özellikle ana çıkış noktasından uzakta olan kaynaklarda bikarbonatın çokluğu, yeraltı suyu karışımı ile açıklanabilir (Şekil 9.10.b ve 9.13.b).

Bor-klorür (B-Cl) ilişkisinde ise, genellikle statik koşullarda su-kayaç arasında, çok yavaş, kısmen bazı kimyasal tepkimeler gelişmektedir (Arnorsson 2000). Sıcak suların sahip oldukları mineralleşme büyük ihtimalle bu ilişkiye bağlı olarak gerçekleşmektedir. Suyun sıcaklığına ve gaz basıncına bağlı olarak gelişen mineralizasyonda  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{B}^+$  gibi elementler birincil olarak çok hızlı bir şekilde kayaç minerallerinden çözünerek suya geçmektedir. Bu nedenle bor ve klorür arasında pozitif bir ilişki tespit edilmiştir.

Bor ( $\text{B}^+$ ) iyon konsantrasyonu Kızılcahamam sıcak sularında 1,9-20,0 mg/l (KT-5 nolu Acısu Dere sıcak ve mineralli suyunda maksimum) arasında; Çamlıdere sıcak sularında ise 1,40 ile 6,92 mg/l (ÇT-11 nolu Atça mineralli su kaynağında maksimum) arasındadır. Bu kaynak suları dengeye ulaşmamış olup, kayaçtan iyon çözme eğilimi, özellikle Kızılcahamam Acısu Dere sularında kuvvetli olup (pH'ı düşük (6,5),  $\text{SO}_4^{2-}$  yüksek), suyun asit karakterinin baskın olduğu görülmektedir (Şekil 9.8.f,- 9.9.e ve Şekil 9.12.f).

Ahatlar Deresi sıcak su kaynağı (ÇT-12), derenin sıcak su boşalım alanından geçtikten sonraki bir noktasından örneklenmiş olup, dere suyu ile sıcak su kaynaklarının bir karışımıdır. Sarıkavak kaynaklarının (ÇT-5, 6, 7 ve ÇT-8)  $\text{B}^+$  iyon konsantrasyonu diğer sıcak sulara göre daha düşük olup, yüzey sularına yakın bir bileşim sunması, yüzey suyu karışımını doğrulamaktadır (Şekil 9.11.d).

Çamlıdere Tatlak maden suyu (ÇT-9), Atça mineralli suyu (ÇT-10) ve Muzrupağacın sondaj suları (ÇT-4) ile Kızılcahamam-Seyhamam suları (KT-12) göreceli olarak, yüksek klorür konsantrasyonuna sahip olmasına karşın düşük B içermektedir. Bu da kaynakların daha çok volkanik kökenli kayaçlar içinde dolaştığını, fakat sedimenter kayaçlar içerisinde diğer sulara olduğu gibi B elementini çözecek kadar dolaşmadığını

açıklamaktadır. Bu nedenle, B-Cl ilişkisi Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve soğuk suları arasında bir hidrolik bağlantı olduğunu göstermektedir (Arnórsson ve Andresdottir 1995).

Şekil 9.13'te sıcaklık ile  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$ , TDS ve  $Cl^-$  ile  $Mg^{+2}$  ve  $SO_4^{-2}$  saçılmış bir görüntü vererek birbirleri ile doğrusal bir ilişki sunmamaktadırlar. Bu durum, iyonların farklı kayaç ortamlarından (farklı termodinamik koşullar altında) değişik oranlarda çözünmeye uğradıklarını göstermektedir. Çamlıdere ve Kızılcahamam sıcak suları kimyasal bileşim açısından benzerlik göstermektedir. Ancak, her iki bölgedeki sıcak ve mineralli suların  $Cl^-$  içeriğinin farklı oluşu Kızılcahamam bölgesinde beslenme bölgesine düşen yağış sularının Çamlıdere bölgesine göre daha uzun yol kat ederek kaynağa ulaştığını göstermektedir.

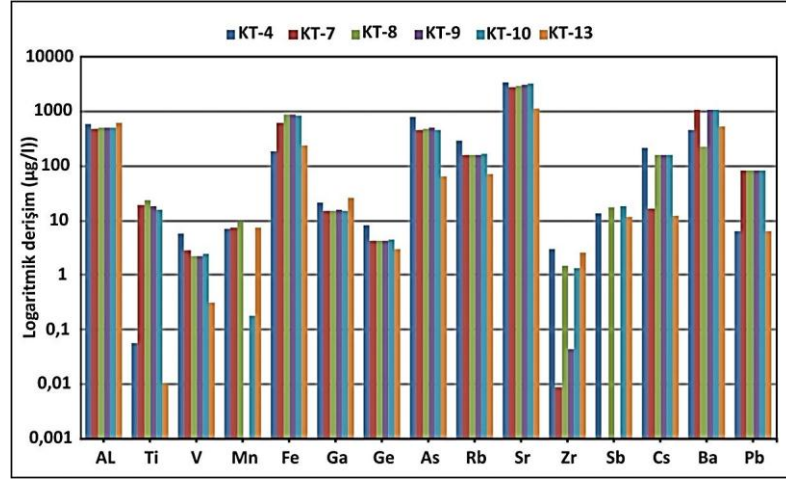
## 9.6 İz Elementler

### 9.6.1 Sıcak ve soğuk sularda iz element içerikleri

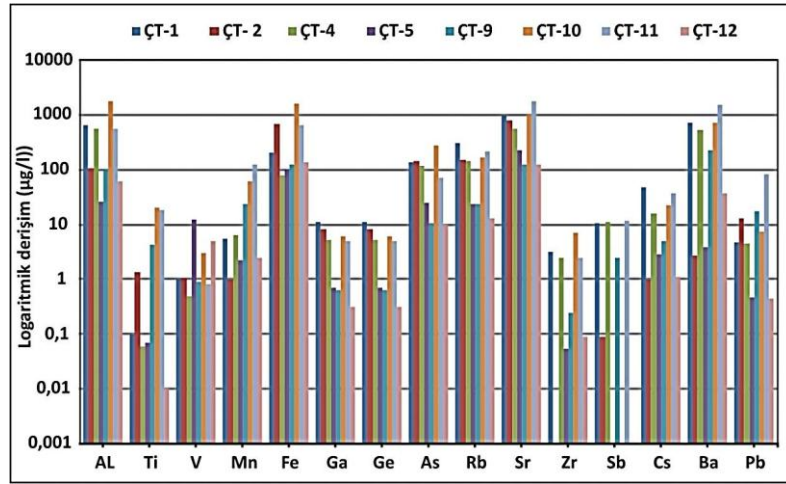
Son yıllarda, yeraltı sularında bulunan iz elementlerin insan sağlığı ve ekoloji üzerindeki etkileri ortaya çıktıkça, düşük konsantrasyonlarda olmalarına rağmen sulardaki konsantrasyonları daha fazla önem kazanmıştır. Bu elementlerin yer altı suyuna geçmeleri doğal jeolojik ortamlardan ve insan kaynaklı olmaktadır. Kızılcahamam ve Çamlıdere yöresi sıcak ve soğuk su kaynaklarında iz elementlerin (Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Sb, Cs, Ba, Pb) analiz sonuçları EK 7-10'da verilmiştir.

Elde edilen verilerden, Kızılcahamam ve Çamlıdere sularının benzer iz element içeriğine sahip oldukları, ancak Kızılcahamam sıcak sularının iz element içeriğinin Çamlıdere alanına göre kısmen daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 9.14 - 9.15).





Şekil 9.14 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri



Şekil 9.15 Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri

### Demir (Fe) ve Manganez (Mn)

Minör bileşen olarak adlandırılan ağır metallere, Fe dışındakiler doğal sularda 1 mg/l'den daha düşük konsantrasyonda bulunmaktadır (Freeze ve Cherry 1979). Fe ve Mn magmatik, metamorfik ve sedimenter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunmaktadır. İnsani Amaçlı Tüketim Suları standartlarına (TSE-266 2005) göre, Fe için izin verilen en yüksek değer 0,2 mg/l olmasına rağmen, Kızılcahamam bölgesindeki sondaj sularından KT-7, KT-8, KT-9, KT-10 ve KT-13 nolu Seyhan kaynak suyu bu sınırın üzerinde bulunmaktadır (EK 7; Şekil 9.14).

Çamlıdere sıcak sularındaki Fe konsantrasyonu genellikle AÇT-2 sondaj suyu (ÇT-4) ve Sarıkavak Ilıca Kaynağı (ÇT-7) dışındaki sularda sınır değerin üzerinde olup, Atça mineralli suyunda (ÇT-10) 1,58 mg/l değerine ulaşmaktadır (EK 8; Şekil 9.15).

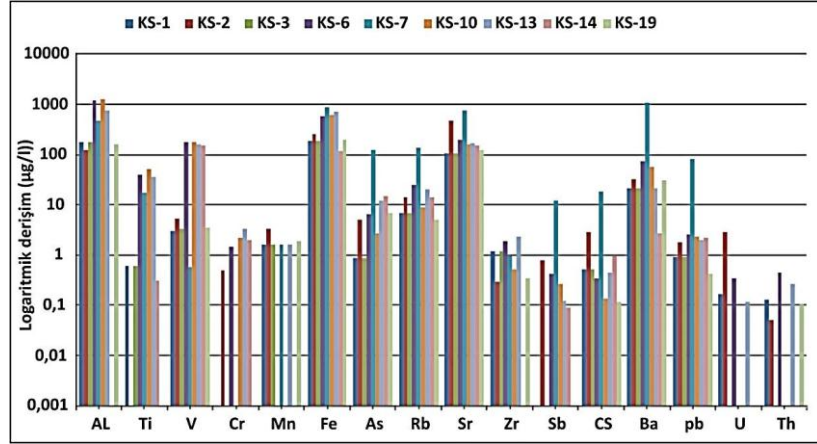
Kızılcahamam ve Çamlıdere kaynak ve sondaj sularında 0,237- 1,588 mg/l arasında saptanan demir konsantrasyonunun derindeki sular için gerçek değerinin çok altında olduğu tahmin edilmektedir. Çünkü sudaki demirin önemli bir bölümünün hava ile temas noktasında demir bakterileri tarafından oksitlenerek, Fe(OH)<sub>3</sub> şeklinde çökelmiş olduğu sondaj borularındaki çökellerden anlaşılmaktadır.

Demir (Fe) yeraltı suyunun olivin gibi minerallerce zengin magmatik kayalarla teması sonucu suya geçmektedir. Hidrotermal alterasyona uğramış magmatik kayalar, çeşitli ağır metallere zenginleşebilmekte ve bu zenginleşme çözünürlüğe bağlı olarak sulara geçebilmektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularındaki Fe'in en fazla bulunduğu kaynaklar, KS-13 nolu (0,707 mg/l) Kavaközü ve ÇS-5 nolu (0,908 mg/l) Atça kaynağıdır (Şekil 9.16).

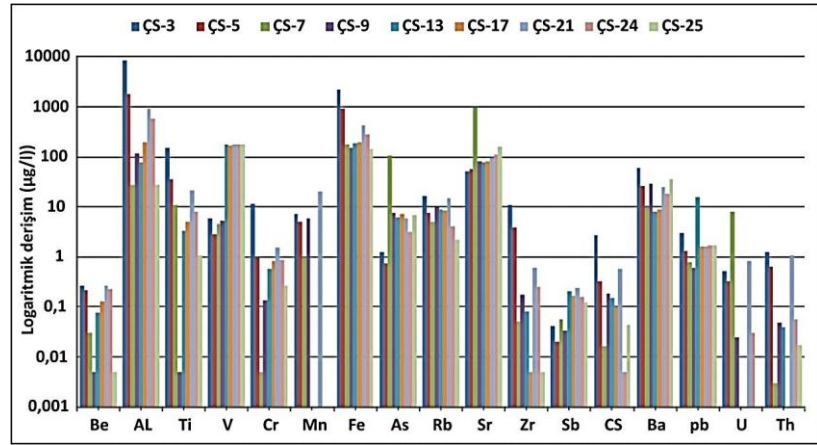
Mangan (Mn) ise, genel olarak metamorfik ve magmatik kayalardaki olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunmaktadır (Hem 1985). Yeraltı sularında bulunan Mn miktarı su içerisinde çözülmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir. Mangan çözülmüş oksijene doymuş yeraltı sularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda demir ile birlikte bol miktarda bulunmaktadır.

Mangan için müsaade edilebilir en yüksek değer TSE-266 (2005)'de 0,05 mg/l olmakla beraber, Kızılcahamam Çamlık mineralli su kaynağı (KT-4), KT-7, KT-8 nolu sondaj suları ve KT-13 nolu Seyhamam kaynaklarında bu değer aşılmaktadır. Çamlıdere bölgesinde ise Mn konsantrasyonu ÇT-1 nolu Ahatlar (ÇMJ-1) ve ÇT-4 nolu Muzrupağacın (AÇT-2) sondajları dışındaki sularda belirlenme sınırlarının altındaki derişimlere sahip olduklarından analizlerde elde edilememiştir.

Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularındaki Mn değeri ÇS-3 (0,0721 mg/l) nolu Aluç Pınar Ayağı ve ÇS-9 (0,0594 mg/l) nolu Ceviz Dibi soğuk su kaynağı dışındaki sularda belirlenme limitinden daha düşük miktarlardadır (EK10; Şekil 9.17).



Şekil 9.16 Kızılcahamam soğuk sularının iz element içerikleri



Şekil 9.17 Çamlıdere soğuk sularının iz element içerikleri

## Bakır (Cu)

Bakır tipik bir kalkofil element olup, yer kabuğundaki kayalarda doğal Cu veya Cu içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Ayrıca Cu en yaygın olarak, volkanik kayalardan bazaltlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte, Cu minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal

kökenlidir (Hem 1985). Çalışma alanından derlenen numunelerde bakırın varlığına rastlansa da, bu değer en fazla 0,062 mg/l'dir (ÇT-4 nolu örnek) (Çizelge 9.13).

Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularındaki maksimum Cu içeriği KS-17 nolu Seyhamam Ayvacık Kirazlı Deresi kaynağı (0,046 mg/l) ve ÇS-5 nolu Atça Kaynağı'nda (0,0059 mg/l) tespit edilmiştir (EK 9-10).

TSE-266 (2005)'ya göre insani tüketim amaçlı sularda bulunabilecek en üst sınır 2 mg/l'dir. İncelenen su noktalarında bu değer aşılmamıştır.

### **Krom (Cr)**

Bakır elementi gibi çözünürlüğü düşük olan Cr, hidrotermal alterasyona uğramış kayalardan, endüstriyel atıklardan ve tarım ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Suyun temasta olduğu kayacın bileşimine göre 0,2 mg/l'ye kadar artabilen Cr (Hem 1985), TSE-266 (2005)'ya göre 0,05 mg/l'yi geçmemelidir. Çalışma alanından toplanan numunelerde Cr varlığına rastlansa da, bunların konsantrasyonları belirlenen sınır değerlerin altındadır. Bakır ve Cr elementi pirit ve diğer sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu suya geçmiş olabilir.

### **Arsenik (As)**

Arsenik kalkofil bir element olup, kayaç oluşturan minerallerde  $As^{+3}$  ve  $As^{+5}$  şeklinde bulunmakta ve  $Si^{+4}$ ,  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$  ve  $Ti^{+4}$  ile yer değiştirebilmektedir. Bu yer değiştirme bazaltik kayalarda kısmen daha fazladır. Kanserojen etkisi olan ve düşük miktarları bile tehlikeli olabilen As'in TSE-266 (2005)'ya göre 0,05 mg/l'den düşük olması gerekir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyunda As için izin verdiği değeri 50  $\mu$ g/l den 10  $\mu$ g/l'ye indirmiştir. Metal ve sülfid formu olarak bulunabilen As, mobil bir element olmasına rağmen çözünürlüğü düşüktür. Sıcak sulardaki arsenik miktarı 12,4 mg/l'ye ulaşabilmektedir (Hitchon vd. 1999).

Arsenik, Kızılcahamam sıcak sularında belirlenen sınır değerin üzerindedir. Çamlıdere bölgesinde ise Muzrupağacın (ÇT-5), Sarıkavak Uyuz (ÇT-6), Sarıkavak köyü Ilıca (ÇT-7), Tatlak maden suyu (ÇT-9) ve Ahatlar mineralli su (ÇT-12) kaynak suları dışında As konsantrasyonu sınır değerlerini aşmaktadır (EK 7 - 8; Şekil 9.14 -10.15).

Soğuk sulardaki As içeriği Kızılcahamam kuzeyindeki KS-7 nolu örnek ile Çamlıdere'deki ÇS-7 nolu Sarıkavak Velibey örneğinde içme suları için izin verilen üst sınır değerinin üzerindedir (EK11; Şekil 9.16 - 9.17). Arsenik zehirli bir element olup, TSE-266 (2005)'de içme sularında izin verilen üst sınırdan yüksek olan noktalardaki suların içilmesi halinde çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir.

### **Stronsiyum (Sr)**

Stronsiyum, yerkabuğunda kayaç oluşturan ve ikincil mineraller içinde dağılmış olarak bulunan bir iz elementtir. Bu minerallerin en yaygınları K-feldispatlar ve plajiyoklazlardır. Stronsiyum, hidrosfere ayrışma sırasında  $Sr^{+2}$  iyonu olarak girer ve derişimi büyük oranda ya stronsianit ( $SrCO_3$ ) ya da selestit ( $SrSO_4$ ) çözünürlüğü ile kontrol edilmektedir.

Stronsiyum sıcak su kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılan önemli iz elementlerden biridir. Stronsiyum termal sularda geniş bir aralıkta ( $<0,1-12,8$  mg/l) bulunabilir (Hitchon vd. 1999). Kızılcahamam sıcak sularında 1,173-3,378 mg/l, Çamlıdere sıcak sularında ise 0,124-1,756 mg/l arasında bulunan, derinde bulunan magmatik bir ısı kaynağı ile birlikte hidrotermal akışkanların sirkülasyonu ve volkanotektonik aktivitenin varlığını işaret eden bir elementtir (Brower 1973). Stronsiyumun en yüksek değeri KT-4 nolu Çamlık mineralli su kaynağı ve ÇT-11 nolu Atça mineralli su kaptajı ile ÇT-1 nolu Ahatlar ÇMJ-1 nolu sondaj sularında gözlenmiştir (EK 7- 8; Şekil 9.14 - 9.15).

Stronsiyum elementi Ba ve  $Ca^{+2}$  ile benzer atomik yapıya sahip olması nedeniyle karışım sularında kolayca  $Ca^{+2}$  ile yer değiştirebilmektedir (Hem 1985). Fay ve kırık

hatları boyunca derine doğru süzülen meteorik kökenli sular ısınarak tekrar faylar boyunca yükselerek, kireçtaşlarının kırık ve çatlaklarında, andezit, bazalt gibi volkanik birimlerde depolanabilmektedir. Ayrıca, derinden yükselen suların daha üstte yer alan Pliyosen yaşlı kumtaşı ve çakıltaşlarındaki yerel soğuk yeraltı sularıyla seyrelmesi de söz konusu olabilir. Kızılcahamam soğuk sularındaki Sr konsantrasyonu (0,10-0,47 mg/l) Çamlıdere bölgesindeki soğuk (0,04-0,22 mg/l) sularından daha yüksek değerlerdedir (EK 9-10; Şekil 9.16 - 9.17).

### **Nikel (Ni), Çinko (Zn) ve Kadmiyum (Cd)**

Nikel (Ni) bölgede temeli oluşturan metamorfik ve magmatik kayalarda bulunan birçok mineralin yapısında yer almaktadır. Kızılcahamam sıcak sularında Ni derişimi <0,001-0,0047 arasında değişirken, Çamlıdere sıcak sularında ise <0,001-0,019 mg/l arasındadır (EK 7- 8). Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularında ise <0,001-0,0039 mg/l arasındadır (EK 9-10).

Çinko ve kadmiyumun kimyasal özellikleri benzer olmasına rağmen kadmiyum çinkoya göre yer kabuğunda daha az miktarda bulunmaktadır. Volkanik ve magmatik kayalarda başlıca silikatlar, oksitler ve sfaleritin yapısında yer almaktadır (Drever 1997).

Kirlenmemiş yeraltı sularının Cd içerikleri genellikle 0,001 mg/l'den daha küçük olmakla beraber, bazen 0,1 mg/l'ye kadar ulaşan derişimler de bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979). Çinko genellikle suyun temasta olduğu kayalardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve atmosferden kaynaklanabilir. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk sularda Cd varlığına rastlanmazken, Zn miktarı da Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak sularında genellikle belirlenen limit değerlerin altındadır. Çinkonun en fazla tespit edildiği kaynaklar, KT-13 nolu Seyhamam kadınlar kaynağı (0,023 mg/l) ve ÇT-10 nolu Atça mineralli su kaynağıdır (0,064 mg/l) (EK 7-8).

## **Alüminyum (Al)**

Alüminyum yer kabuğunda en bol bulunan (ortalama %8,6) elementlerden biridir. Başta mika ve feldispat içeren birçok kayacı oluşturan mineraller ve bunların ikincil ürünleri olmak üzere pek çok ana kayaç yapıcı mineralin Al içeriği yüksek olup, yeraltı sularındaki Al iyonunun ana kaynakları da bu minerallerdir. Ancak, alüminyumun çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle yeraltı sularında 5-300 µg/l gibi çok düşük miktarlarda bulunmaktadır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularında iz element olarak bulunan Al'un kayaçlardaki dağılımı dikkate alındığında Seyhamam sıcak su kaynakları (KT-13: 0,638 mg/l), Çamlık mineralli su (KT-4: 0,583 mg/l) ve Çamlıdere Atca mineralli sularında (ÇT-10: 1,779 mg/l; ÇT-11: 0,563 mg/l) en fazla değere ulaşmıştır (EK 7 - 8; Şekil 9.14 - 9.15).

Bu değerler yukarıda bahsedilen en yüksek Fe ve Mn değerinin de görüldüğü örneklerdir. Çalışma alanı soğuk su kaynaklarında en fazla Al değeri Kızılcahamam kuzeyindeki örneklerde (KS-11: 1,282 mg/l; KS-6: 1,193 mg/l) ve Çamlıdere doğusu ve batısındaki (ÇS-3: 8,705 mg/l; ÇS-1: 1,856 mg/l; ÇS-5: 1,782 mg/l) örneklerde gözlenmiştir. Alüminyum elementi metamorfik temeli oluşturan kayaçlarda ve kısmen de karbonatlı kayaçlarda bulunmaktadır (Çelik vd. 2013).

## **Baryum (Ba)**

Kalsiyum ve alkali oranı yüksek kayaçlarda zenginleşme eğiliminde olan Baryum'un en önemli minerali barittir (BaSO<sub>4</sub>). Baryum ayrıca, feldispat ve mikalarda Ca<sup>+2</sup> ve K<sup>+</sup>'un yerini almaktadır. Bu nedenle, bu minerallerin bozunması, sudaki baryumun önemli kaynakları arasındadır.

Sülfat ve Ba'ca zengin suların karışması, kuyularda BaSO<sub>4</sub> çökelimine neden olabilmektedir (Hitchon vd. 1999).

İçme suyu standartlarına göre Ba açısından, TSE-266 (300 µg/l) ile WHO (1996) limitleri (700 µg/l) arasında ciddi bir fark bulunmaktadır. Bu durum, elementlerin sınır değerlerinin belirlenmesi sırasında, ülkelerin içme suyu potansiyeli ve jeolojik özelliklerinin göz önünde bulundurulmasının bir sonucu olarak açıklanabilir.

Kızılcahamam (KT-9 nolu İHL-2 sondajı: 1,108 mg/l; KT-10 nolu KHJ-1 sondajı: 1,090 mg/l; KT-7 nolu MTA-1A sondajı: 1,089 mg/l) ve Çamlıdere (ÇT-1 nolu Ahatlar ÇMJ-1 sondajı: 0,732 mg/l; ÇT-10 (0,723 mg/l) ile ÇT-11 (1,562 mg/l) nolu Atça mineralli kaynak ve kaptajından alınan su örneklerinde elde edilen Ba değerleri WHO'nun limit değerinden yüksektir. Diğerlerinin ((KT-4 nolu Çamlık mineralli suyu (470,6 µg/l), KT-13 nolu Seyhamam (529,9 µg/l) ve ÇT-4 nolu (550,8 µg/l) Muzrupağacın AÇT-2 sondaj suları)) Ba değerleri ise TSE-266 maksimum izin verilen değer üzerinde kaldığı görülecektir (EK 7-8; Şekil 9.14 - 9.15). Diğer yandan, EK10'dan görüleceği gibi, KS-7 nolu soğuk su örneğinin Ba değeri WHO'nun limit değerinden daha yüksektir. Dolayısıyla, değinilen suların Ba içeriğinin son derece yüksek olduğu, bunların içilmesi halinde çeşitli sağlık sorunlarına neden olabileceği söylenebilir.

### **Kurşun (Pb)**

Yer kabuğunda göreceli olarak yaygın olarak bulunan kurşunun kabuktaki ortalama bulluğu 16 mg/kg'dır. Kurşun ile potasyum arasında güçlü bir ilişki bulunmakta olup, kurşun özellikle K-feldispatlarda ve mikalarda zenginleşmektedir. İnsan sağlığını birinci derecede tehdit eden metallerin başında gelen kurşun için TSE-266 tarafından içme suyu kapsamında verilen sınır değeri 50 µg/l, WHO tarafından ise 10 µg/l Pb içeriğine izin verilebileceği belirtilmiştir.

Kızılcahamam sondaj suları (KT-7 nolu MTA-1A, KT-8 nolu AL-1, KT-9 nolu İHL-2, ve KT-10 nolu KHJ-1) ile Çamlıdere ÇT-11 nolu Atça mineralli su örneklerinden elde



edilen Pb değerleri WHO'nun limit değerinden yüksektir. T-2 nolu Ahatlar MJ-2 sondaj sularının TSE-266 maksimum izin verilen değerin üstünde kaldığı gözlenmiştir (EK 7-8; Şekil 9.14-9.15).

Soğuk su örneklerinde ise sırasıyla Kızılcahamam (KS-7) ve amlıdere (S-13) sularında WHO'nin ve TSE-266'nın belirlediği üst sınırı açan değerler tespit edilmiştir (Şekil 9.16 - 9.17).

### **Uranyum (U) ve Toryum (Th)**

Kayaçların radyoaktivite düzeyleri, onların mineralojik ve kimyasal bileşimlerinin bir fonksiyonu olup, kayaçların maruz kaldıkları hidrotermal alterasyon, yüzey bozunması ve faylar gibi jeolojik olaylarla artabilmektedir (rgn vd. 2007). Örneğin, iklim koşulları nedeniyle alterasyona maruz kalan bir kayaç, yağmur suyunun kayacı yıkayarak getirdiği radyonüklidleri toprakta keltmekte ve süzülme ile toprak taneciklerine yapışarak radyoaktivite yoğunluğunu yükseltmektedir.

Volkanik kayaçlar ve granitler genel olarak yüksek miktarda uranyum içermektedir. Uranyum gibi toryum da yaygın olarak kabuğa ait, özellikle asidik kayaçlarda bulunmaktadır.

Kızılcahamam ve amlıdere bölgesindeki volkanik kayaçlardaki U derişimi 2,0-4,2 mg/l, Th ise 6,0-16,4 mg/l arasında değişmektedir. Uranyum ve Th içeriğinin bu Şekilde geniş bir aralıktaki değişmesi kayaçların ve dolayısıyla suların doğal radyoaktivite seviyelerinin de geniş bir aralıktaki değişmesi sonucunu doğurmuştur (EK 7 - 8).

Kızılcahamam sularında U ve Th konsantrasyonu amlıdere sıcak sularına göre daha düşük değerdedir. Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularında yüksek U ve Th konsantrasyonu Acısudere'deki amlık mineralli su (KT-4) ile Seyhamam erkekler kaynağında (KT-13) olup, sırasıyla 0,572 µg/l ve 0,103 µg/l'dir (EK 7-8).

Kızılcahamam amlık mineralli su ile Seyhamam sıcak sularında ölçülen ve daha önce Çizelge 9,1’de verilen  $Rn^{222}$  değerleri 292 ve 242 pCi/l’dir.

Çamlıdere sıcak ve mineralli sularındaki U <0,001- 3,404 µg/l arasında olup, en yüksek derişim Muzrupağacın AÇT-2 sondaj sıcak suyunda (ÇT-4 ) görülmektedir. Çamlıdere sıcak sularındaki Th derişimi ise <0,001-0,483 arasında olup, ÇT-10 nolu Atça mineralli suyu en yüksek derişime sahip olanıdır (EK 7 - 8).

Soğuk suların U içeriği Kızılcahamam bölgesinde <0,001-2,908 µg/l arasında olup, en yüksek KS-2 nolu Necip Usta kaynağında çıkmıştır. Çamlıdere bölgesinde ise U <0,001-7,879 µg/l arasında olup, yüksek değerlere ÇS-7 nolu Sarıkavak Velibey kaynağı ile ÇS-10 nolu Muzrupağacın kaynağında saptanmıştır (EK 9-10; Şekil 9.16 - 9.17).

KS-2 nolu Necip Usta kaynağı içme ve sulamada kullanılmakla beraber Acısu Dere amlık mineralli sularının olduğu bölgeden alınmıştır. Bu kaynakta ölçülen ve daha önce çizelge 9,1’de verilen  $Rn^{222}$  değeri 531 pCi/l ile örtüşmektedir. ÇS-10 nolu Muzrupağacın kaynağı AÇT-1 nolu sondajın yakın dolayındaki kaynak suyu olup, içme ve sulamada kullanılmaktadır.

Toryum içeriği ise, Kızılcahamam bölgesindeki soğuk sulara >0,001-0,441 µg/l arasında olup, en yüksek değeri Kızılcahamam kuzeyindeki KS-6 nolu Eğerliöğren kaynağında, Çamlıdere bölgesinde ise <0,001-1,245 µg/l arasında olup, en yüksek değeri Çamlıdere batısında bulunan ÇS-3 nolu Aluç kaynağında tespit edilmiştir (EK 9-10; Şekil 9.16 - 9.17).

Magmatik kayaçlarda doğal olarak oluşmuş radyonüklidler ancak alterasyon işlemleriyle akifer kayacın minerallerinden serbestleşerek suya geçerler (Frengstad vd. 2000). Toryum bu süreçlerde kolayca mobilize olamaz ve çoğunlukla alterasyon zonlarından fazla uzağa taşınamaz, uranyum ise çok daha kolay serbestleşerek çok uzaklara taşınabilir (Chabaux vd. 2003, Örgün vd. 2007). Diğer taraftan, Th pH>3-4

aralığındaki sulara çözünmez ve taşınmaz, dolayısıyla bu tür sulardaki Th içeriği genellikle düşüktür.

Bu nedenle, yeraltı suyunun yeryüzüne doğru bir akımın olduğu yerde derin dolaşimli sıcak ve mineralli suların Rn<sup>222</sup> ve uranyum içeriği sığ dolaşimli soğuk sulara nazaran daha düşük değerdedir. Bu görüşü izotop verileri de desteklemektedir (Bkz. Bölüm 10). Literatürde yayınlanan yüksek U değerleri de benzer litolojilerle (magmatik) ilişkili sulara ölçülmüştür (Frengstad vd. 2000).

Bu alanlar aynı zamanda alterasyonun da yaygın olduğu yerlerdir. Bu nedenle, iz element içerikleri yüksek olan suların da U ve Th seviyesi yüksek silisce zengin asit özellikli ve çok derinlerde bulunmayan granit cinsi bir derinlik kayacından veya volkanitlerden kaynaklanabilir (Örgün vd.2007).

### **9.6.2 Travertenlerde iz element içeriği**

Kızılcahamam'ın Acısu Dere ve Seyhamam kaplıca alanında yoğun bir traverten çökelişi olmuş ve günümüzde de halen devam etmektedir. Ayrıca Çamlıdere Sarıkavak Uyuz kaynağı dolayında küçük bir alanda mostra veren bej, sarımsı, kahve ve kırmızı renkli traverten çökelişleri görülmektedir.

Çalışma alanındaki travertenlere ait jeokimyasal özellikleri ortaya koyabilmek için ana oksit ve iz elementler açısından değerlendirme ve irdelemeler yapılmıştır. Bu nedenle Kızılcahamam Acısu Dere sıcak su kaynağı dolayındaki travertenlerden 3 adet, Seyhamam Kaplıcası dolaylarındaki güncel oluşmuş açık ve koyu renkli olarak 2 adet olmak üzere toplam 5 adet traverten örneği alınmıştır. Travertenlerin ana oksit değerleri, iz ve nadir toprak element içerikleri çizelge 9.5-9.6'da verilmiştir.

Çizelge 9.5 Çalışma alanındaki travertenlerin ana oksit değerleri (%)

Örnek No	Tr1 Açık renkli	Acısu Dere (Tr2) Açık renkli	Acısu Dere (Tr3) koyu renkli	Seyhamam (Tr4) koyu renkli	Sarıkavak (Tr5)
SiO <sub>2</sub>	0,50	0,88	5,55	2,69	2,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,36	0,78	0,21	0,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,44	0,60	1,61	0,45	0,85
MgO	0,70	0,49	3,81	3,24	1,34
CaO	53,68	53,32	43,47	46,71	52,48
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,46	0,22	<0,01
K <sub>2</sub> O	0,02	0,01	0,22	0,08	0,18
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,02	0,03	<0,01	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,03	0,06	0,04	<0,01
MnO	0,01	0,01	0,02	0,02	0,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
LOI	43,94	43,5	42,3	43,3	41,6
Toplam	99,64	99,76	98,31	96,97	99,93

Çizelge 9.6 Çalışma alanındaki travertenlerin element analiz sonuçları (ppm)

Element	Tr-1 Açık renkli	Tr-2 Açık renkli	Tr-3 Koyu renkli	Tr-4 Koyu renkli	Tr-5 Sarıkavak
Sc	<1	<1	<1	<1	<1
Co	0,5	0,5	0,6	<0,2	0,5
Ni	0,29	0,3	34	<0,1	0,5
Cu	0,8	0,8	1,2	0,4	0,7
Zn	6	6	9	3	<1
Sr	1499	1498	22114	24556	250
As	132	134,6	252,7	343,2	2,5
Zr	4,8	4,9	15,3	4,5	9,6
Rb	1,1	1,0	13,0	7,0	6,7
Nb	0,5	0,5	1,9	3,2	0,6
Mo	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ga	<0,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ba	355	352	446	562	16
Be	<1	<1	1	4	2
Hf	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,2
Sn	<1	<1	<1	<1	<1
Y	0,7	0,6	1,1	0,3	2,6
Ta	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Pb	0,5	0,4	0,9	0,3	0,5
Cs	0,7	0,6	22,8	18,7	0,5
Sb	0,5	0,5	0,3	0,2	0,51
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Au (ppb)	-	1,7	3,5	1,4	6,7
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
La	1,5	1,4	4,0	1	10,3
Ce	1,8	1,7	6	1,4	10,5
Th	-	0,3	1,5	<0,2	0,4
U	<0,1	<0,1	0,6	0,3	0,6
V	<8	<8	<8	<8	18
W	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Nd	<0,5	0,7	1,7	<0,5	3,1
Eu	<0,02	<0,02	0,06	<0,02	0,06
Sm	<0,05	<0,05	0,33	<0,05	0,32
Pr	0,14	0,15	0,55	0,14	0,97
Gd	0,09	0,08	0,20	<0,05	0,39
Tb	<0,01	0,02	0,03	<0,01	0,05
Dy	0,10	0,10	0,12	0,10	0,26
Ho	0,02	0,02	0,02	<0,02	0,04
Lu	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,01
Tm	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02
Yb	<0,05	<0,05	0,10	<0,05	0,10
Er	0,04	0,04	0,09	0,04	0,11

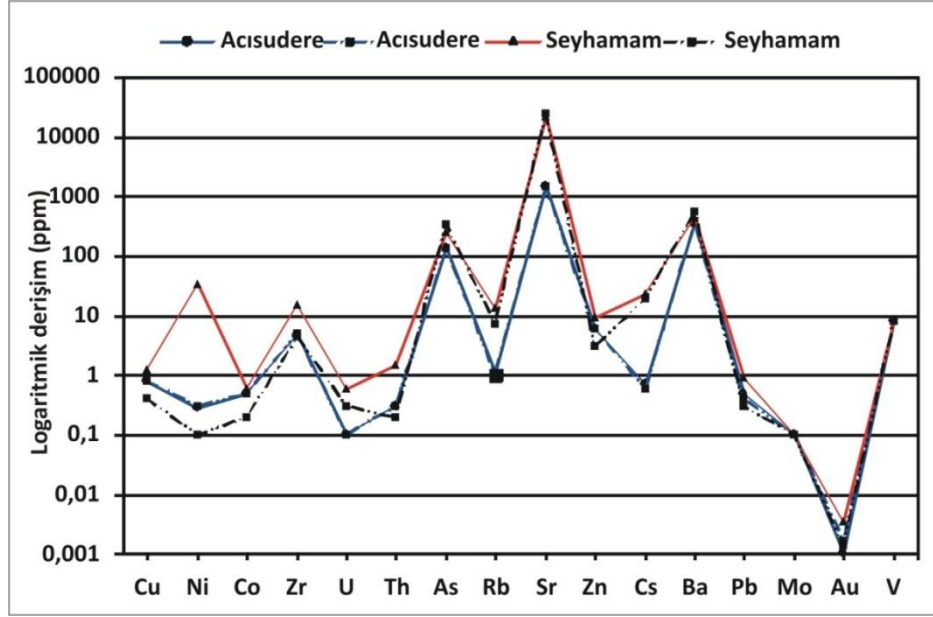
Elde edilen verilerden de anlaşılacağı gibi traverten örneklerindeki CaO içerikleri yüksek (%43,47-53,68) olup, kalsit bileşiminde oldukları tespit edilmiştir. Sıcak su kaynakları dolaylarında görülen kırmızı renkli güncel çökeller, akışkanın demir içermesi ve bunu kalsit minerali içinde ve yüzeyinde FeOH şeklinde çökeltmesi ile oluşmaktadır.

Sıcak akışkanın yükselmesi sırasında uğradığı basınç kaybı sonucu, içinde çözülmüş halde bulunan CO<sub>2</sub>, gaz haline geçerek ortamdan uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak, açıkta kalan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> iyonu akışkan içinde bulunan Ca<sup>2+</sup> iyonu ile birleşerek sığ derinlikte ve/veya yüzeyde traverten (CaCO<sub>3</sub>) çökellerini oluşturmaktadır.

Jeotermal akışkanın derinlerdeki kayalarda bulunan sülfür veya diğer demirli bileşiklerden çözülmüş olduğu Fe<sup>+</sup> iyonunu da yüzeydeki CaCO<sub>3</sub> mineral çökeltisi üzerine oksitler şeklinde bıraktığı görülmektedir (Koçak 1997).

Kızılcahamam Acısu Dere ve Seyhamam sahasından alınan traverten örneklerinde CaO miktarı en yüksek değere sahiptir. Kalsiyumkarbonat oranı (CaO+LOI) en düşük Tr3 örneğinde (%86), en yüksek ise Tr1 örneğinde (%97) ölçülmüştür.

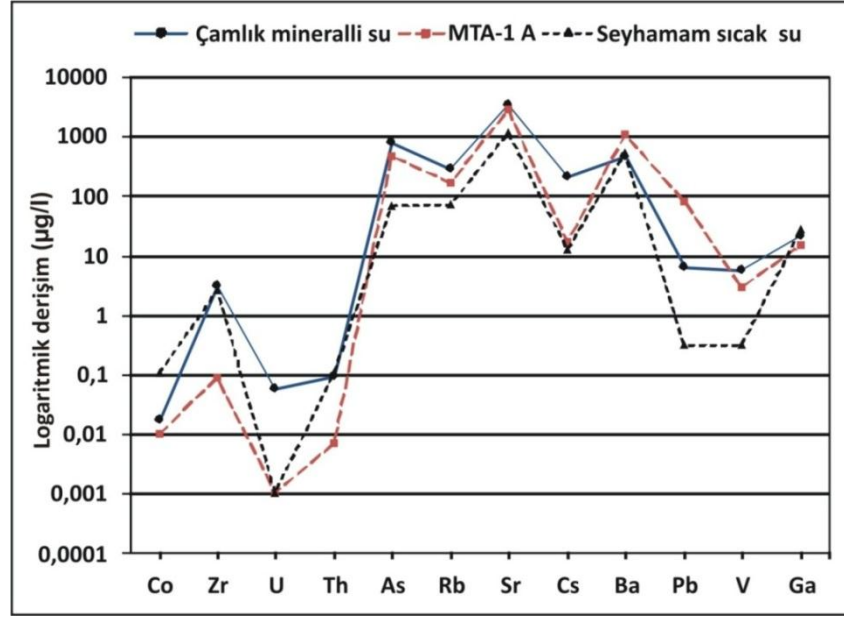
Çalışma alanındaki koyu renkli traverten örneklerinde SiO<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarları açık renklilere göre daha yüksektir. Travertenlerdeki LOI (%) değeri koyu renkli Seyhamam örneğinde diğerlerinden daha düşüktür. Travertenler genel olarak değerlendirildiğinde, Kızılcahamam sahasından alınan koyu renkli Seyhamam traverten örnekleri Acısu Dere'deki mineralli suların oluşturduğu travertenlere göre daha fazla iz element içermektedir (Çizelge 9.6, Şekil 9.18). Bu durum, koyu renkli Seyhamam travertenlerinin daha sıcak (43°C) sular tarafından çökeltmesi, bu suların bünyesine daha fazla iyon bulundurmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, Şekil 9.18'de görülen travertenlerin bazı iz element (As, Sr, Ba, Zr, ve V) konsantrasyonu yüksek olup, ısıtıcı kaynağın sığ derinlikte yerleşmiş olabileceğine işaret etmektedir. Stronsiyum (Sr) ve Ba elementleri derinde bulunan magmatik bir ısı kaynağı ile birlikte hidrotermal akışkanların sirkülasyonu ve volkano-tektonik aktivitenin varlığını işaret eden elementlerdir (Brower 1973).



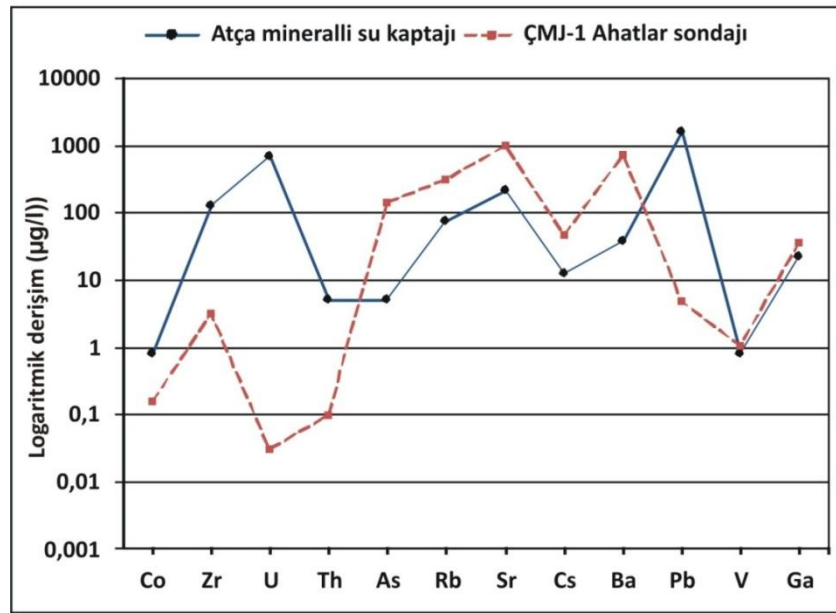
Şekil 9.18 Kızılcahamam bölgesindeki travertenlerin iz element içerikleri

Ayrıca, travertenlerde iz element (Ni, Zr, As, Sr, Ba ve V) konsantrasyonu sıcak sulardakinden daha yüksektir (Şekil 9.18-9.19). Volkanik kayalardan süzülen sığ dolaşımli sularla derin dolaşımli suların karışması ile çökelimler hızlı olacaktır. Sıcak su ile kayaç arasındaki iz element içeriğini karşılaştırmak için sıcak su kaynaklarında ölçülmüş ve analizi yapılan sınırlı sayıdaki kayaç jeokimyası ile kıyaslanabilecek elementler seçilmiştir. Bu kapsamda Co, Zr, U, Th, As, Rb, Sr, Cs, Ba, Pb, V ve Ga elementleri ortak elementler olarak belirlenmiştir.

Alandaki suların iz element içerikleri ile kayaçlardaki iz element içerikleri karşılaştırıldığında, kayaç kimyasının yeraltısuyu kimyasını etkilediği görülmektedir (Şekil 9.20 -9.21 ve Çizelge 9.7). Şekil 9.21’de volkanik kayalardaki (andezit, bazalt, dasit, riyolit ve riyolitik tüf) Zr, Th, Rb, Sr, Ba, V gibi iz element içeriğinin yüksek; Co, As, Cs, Pb ve Ga gibi iz elementlerin düşük olduğu gözlenmektedir. Suların iz element içerikleri ile kayaçların iz element içerikleri karşılaştırıldığında; Sr, Ba, Rb ve Zr elementleri, kayaçlarda olduğu gibi sulara da yüksek değerlerdedir. Bu durum Zr, Rb, Ba ve Sr elementlerinin sulara volkanik kayalardan geçtiğini göstermektedir.



Şekil 9.19 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının bazı iz element içerikleri

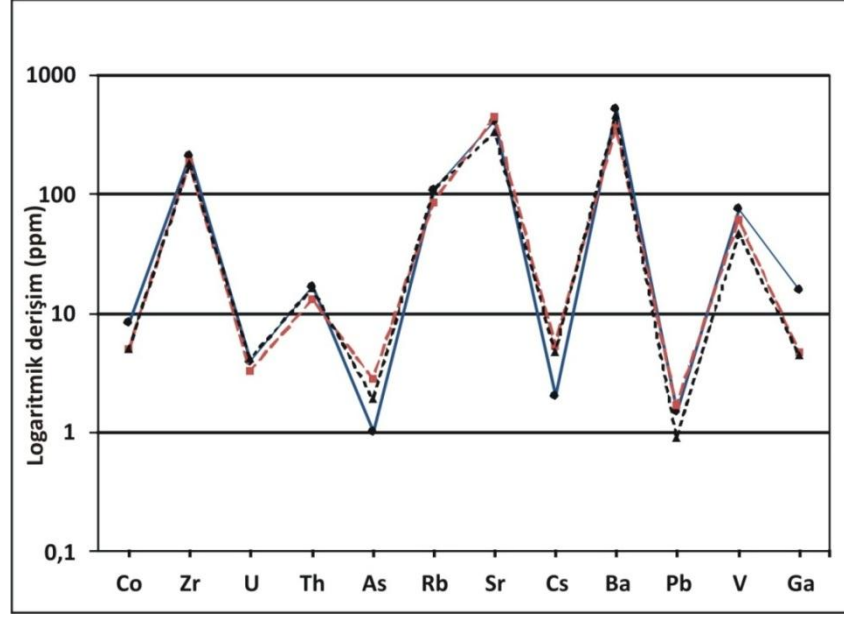


Şekil 9.20 Çamlıdere bölgesindeki sıcak ve mineralli bazı suların iz element içerikleri



Çizelge 9.7 Kızılcıhamam ve Çamlıdere örneklerine ait element jeokimyası

Element	1	2	3	4	5	Element	1	2	3	4	5
Co	8,3	5,0	5,0	0,8	4,2	Ho	0,49	0,33	0,35	<0,02	<0,02
Ni	27,3	18,1	15,0	7,9	8,6	Lu	0,23	0,13	0,18	<0,01	<0,01
Cu	15,1	14,1	4,9	3,8	6,1	Tm	0,20	0,13	0,15	<0,01	<0,01
Zn	33	45	20	5	13	Er	1,43	1,02	1,01	<0,03	<0,03
Sr	399,6	444,1	325,3	29	541,1	T b	0,48	0,39	0,37	<0,01	
As	1	2,8	1,9	9,5	165,2	Yb	1,47	0,78	1,05	<0,05	
Zr	210	184,1	182,1	3,1	11						
Rb	108,1	84,7	106,8	1,4	0,5						
Nb	18,9	14,1	16,3	2,7	1,1						
Mo	2,3	1,4	0,9	3,3	12,8						
Ga	15,6	4,6	4,4	<0,1	<0,5						
Ba	522	368	456	147	60						
Hf	4,8	4,6	4,4	<0,1	<0,1						
Sn	2	2	2	<1	<1						
Y	14,7	10,6	11,4	0,3	0,3						
Ta	1	0,9	1,1	0,2	0,1						
La	39,3	28	34,9	0,7	0,8						
Pb	1,5	1,7	0,9	0,2	0,1						
Cs	2,0	5,2	4,6	0,3	0,4						
Au	3,3	1,5	4,1	2,2	5,2						
Ce	63,6	47,0	57,9	1,0	0,5						
Th	16,4	13	16,1	<0,2	<0,2						
U	3,9	3,3	4,2	2,7	2						
V	75	61	46	25	<8						
W	0,8	1,1	0,9	<0,5	<0,5						
Nd	22,3	18,1	18,5	0,4	<0,3						
Eu	0,97	0,90	0,74	0,03	<0,02						
Sm	3,89	3,12	3,21	<0,05	<0,05						
Pr	6,48	5,39	5,56	0,08	0,05						
Gd	3,51	2,68	2,75	0,09	0,02						
Dy	2,54	2,01	1,80	0,13	0,07						



Şekil 9.21 Volkanik kayalarda iz element içerikleri

Çamlıdere bölgesindeki Atca mineralli suyunun (ÇT-11) Pb konsantrasyonu Ahatlar bölgesindeki ÇMJ-1 sondaj suyundakinden (ÇT-1) daha fazladır (Şekil 9.20). Kurşun düşük pH değerlerinde adsorbe olmaktadır. Kurşunun çözünürlüğü genelde  $PbCO_3$ 'la kontrol edilmekte olup, düşük pH'lı sularda Pb konsantrasyonu çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir (Hem 1985). Bu element düşük pH değerlerinde oksidasyon koşulları altında tümüyle çözünebilir ve taşınabilir özelliktedir (Drever 1997). İndirgenme şartlarında sülfürün bulunması halinde sülfidler halinde ortamda kalmaktadır. ÇT-1 nolu suyun pH değeri 6,62 olup, ÇT-11 nolu Atca mineralli suyunun pH'ından (7,80) daha düşüktür. ÇT-1 nolu örneğin nadir toprak element içeriği de ÇT-11 nolu örneğinkinden daha yüksektir.

### 9.7 Cl-B-Li Giggenbach Diyagramı

Giggenbach (1991) tarafından geliştirilen Cl-B-Li üçgen diyagramında, ikincil süreçlerden belki de en az etkilenen alkali metal olan Li, sıcak sularda korunumlu diğer iki önemli bileşenle birlikte (B ve Cl) derin kayalardaki başlangıç çözünürlük süreçlerinin ve kökenlerinin değerlendirilmesinde izleyici olarak kullanılmaktadır.

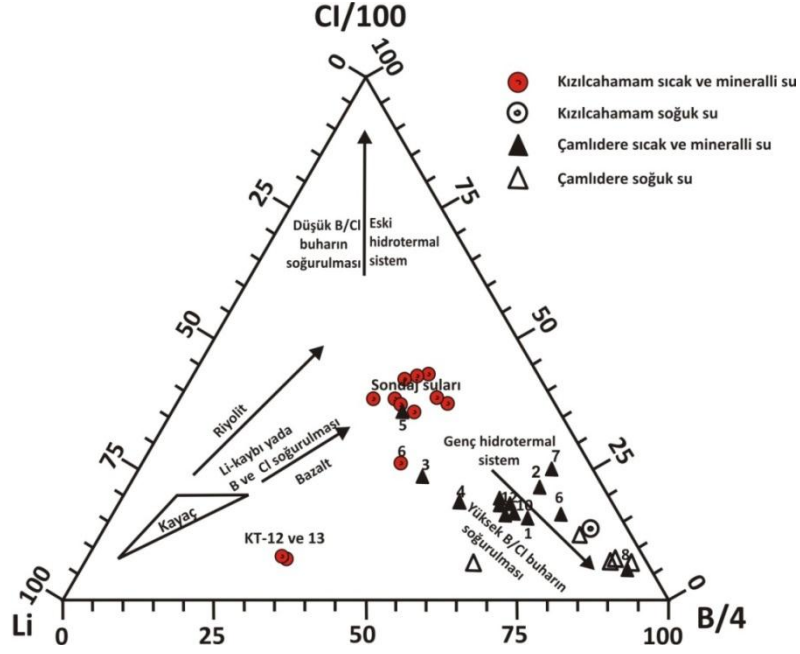
Bor, kimyasal olarak hareketli ve kolay çözünme özelliğine sahiptir. Yüksek çözünürlüğü ve yüksek sıcaklık altında uçucu olması nedeniyle, kıtasal kabuğun üst kısmı bor bakımından zengindir. Kıtasal kayaçlardaki ayrışma ve erozyon biyosferdeki borun ana kaynağıdır (Smith 2002).

Lityum ( $\text{Li}^+$ ) iyonu çözeltiliye bir kez ilave olduğunda büyük oranda çözeltide kalmaktadır. Lityum içeren bir akışkana B ve  $\text{Cl}^-$  eklendiğinde, bunların akışkandaki oranları kabuksal kayacinkine benzer. Uçucu özelliği nedeniyle B, ısınma sürecinin ilk evrelerinde atıldığından, termal akışkanın B miktarı jeotermal sistemin olgunluğunun göstergesidir (Giggenbach 1991).

Jeotermal sistemlerde  $\text{B}^{+3}$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonları genellikle suların kökeni ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Truesdell 1975, Arnorssón 1985, Arnorssón ve Andrésdóttir 1995). Her iki elementin de mutlak ve göreceli oranları çok değişkendir. Bu nedenle, farklı rezervuarlar karakteristik  $\text{Cl}/\text{B}$  oranlarına sahiptir. Deniz suları, yüksek  $\text{Cl}/\text{B}$ ; magmatik uçucular düşük  $\text{Cl}/\text{B}$ ; bazaltların yıkanması (leaching) ile oluşan sular orta  $\text{Cl}/\text{B}$  ve yüzey suları değişken olup, genellikle yüksek  $\text{Cl}/\text{B}$  olarak tanımlanır (Aggarwal vd. 2000).

Kızılcahamam bölgesindeki sularda B konsantrasyonu yüksek olup, sıcak sularda 1,9-20,0 mg/l, Çamlıdere sıcak sularında ise <0,01–6,92 mg/l'dir. Yüksek Bor konsantrasyonu suların derin bir sirkülasyon içinde olmaları veya diğer sahalarda olduğu gibi rezervuar kayaçlardaki suyu ısıtan magma haznesinin derinlerde bulunması ile açıklanabilir. Her iki bölgedeki soğuk suların Bor içerikleri <0,01-1,02 mg/l arasında değişmekte olup, sıcak sulara oranla oldukça düşüktür.

Giggenbach (1991) tarafından geliştirilen Li-Cl-B üçgen diyagramında, Kızılcahamam suları çoğunlukla bu diyagramın ortasında, Çamlıdere suları ise daha çok B köşesine yakın konumda yer almaktadır (Şekil 9.22).



Şekil 9.22 Cl- B-Li diyagramı

Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak sularının B/Cl oranları 0,03 ile 0,61 arasında değişen iki farklı çözünme yolu göstermektedir. Düşük Cl ve Li içeriğine ve yüksek B/Cl oranına sahip Çamlıdere suları, Kızılcahamam jeotermal sisteminden tamamen farklıdır. Kızılcahamam suları Çamlıdere sularına göre daha yüksek Cl<sup>-</sup> ve Li değerine ve düşük B/Cl oranına sahiptirler.

Şekil 9.22’de görüleceği üzere, Seyhamam sıcak su kaynakları (KT-12 ve KT-13), Acısu Dere’deki sıcak ve mineralli su kaynakları ile Kızılcahamam sondaj sularından daha farklı bir akifer sistemini temsil etmektedir. Mutlu’nun (2007) Balıkesir ve dolaylarında yapmış olduğu çalışmada, travertenlerde ortalama B/Cl oranı 0,08-0,12 arasında olup, Seyhamam sularından biraz daha düşüktür. Seyhamam sıcak ve mineralli sularında 0,13 olan B/Cl oranı kireçtaşı akiferinden kaynaklanmaktadır. Bu iki bölgeye ait bir graben sistemindeki sıcak ve mineralli suların derin dolaşım (Bkz. Bölüm 9), yüksek CO<sub>2</sub> ve yüksek B içeriği gibi benzerlikleri, benzer kayaçlar ile etkileşim ve benzer ısı kaynağına sahip olmaları ile açıklanabilir.

Çalışma alanındaki sıcak suların, yüksek B içeriği su-kayaç etkileşimine bağlı olduğu gibi magmatik uçuculardan da kaynaklanmaktadır. Sıcak suların düşük lityum içeriği ise, bunların volkanik kayalarındaki kil minerallerinden gelmiş olabileceğini göstermektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere sahasında hidrotermal alterasyon emarelerine rastlanmıştır.

### **9.8 Li-Rb-Cs Giggenbach diyagramı**

Bu diyagramda, ikincil süreçlerden en az etkilenen alkali metal olan Li ile beraber Cs ve Rb element içeriklerinden yola çıkarak su-kayaç etkileşimi irdelenmeye çalışılmıştır (Şekil 9.23). Görüldüğü gibi Kızılcahamam sularında Rb konsantrasyonu Çamlıdere sıcak sularından daha yüksek olup, diğer elementler farklı bir durum sergilemektedir.

Sulardaki Li, Rb ve Cs değerleri toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) ile ilişkili olup, Kızılcahamam sıcak sularındaki maximum değerleri sırasıyla 2,24 mg/l (KT-4), 0,29 mg/l (KT-4) ve 0,21 mg/l (KT-4)'dir.

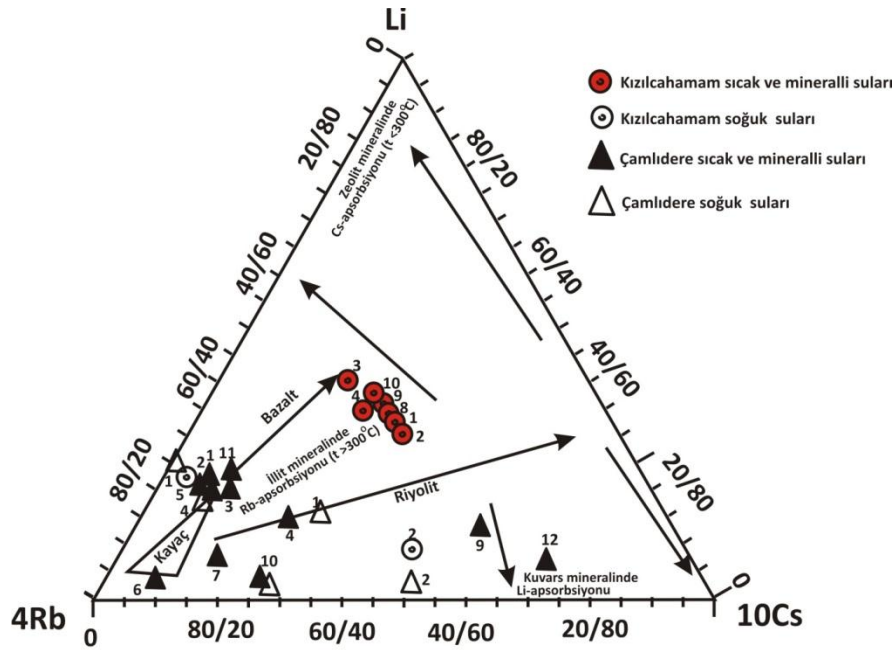
Çamlıdere sıcak ve mineralli sularındaki Li değeri diğer sıcak su kaynaklarına göre nispeten daha yüksektir (<0,1-2,24). Sondaj sularındaki Li değeri de yüzey ve kaynak sularına oranla kısmen daha yüksektir. Sulardaki Li, Rb ve Cs maksimum değerleri ise sırasıyla 0,37 mg/l (ÇT-1, ÇT-2 ve ÇT-4), 0,31 mg/l (ÇT-1) ve 0,04 mg/l (ÇT-1)'dir.

Sıcak sulardaki Li, Rb ve Cs element konsantrasyonları soğuk su kaynaklarına göre daha yüksektir. Bu elementlerin tipik konsantrasyon seviyeleri; Li<20 mg/l, Rb<2 mg/l, Cs<2 mg/l'dir (Nicholson 1993). Bu derişimler riyolitik ve andezitik karakterli rezervuar kayalardan veya benzer bileşime sahip sedimanter kayalardan gelen sularda 1-10 ppm arasında değişirken, bazaltik ortamdan gelen sularda 0,1 ppm'den daha küçüktür. Bazı piroksen ve mika gibi Li içeren minerallerde lityum, magnezyumun yerine geçebilmektedir. Lityum bazı tuzlu sularda ve evaporitik kayalarda da oluşabilir (Hounslow 1995). Sıcak sularda, sıcaklık artışı ile Li konsantrasyonu da artmaktadır.

Benzer koşullar altında, Li varlığında da  $Mg^{+2}$  azalmaktadır. Bu nedenle Li/Mg oranı kimyasal jeotermometre olarak kullanılmaktadır (Kharaka ve Mariner 1989).

Rubidyum (Rb) genellikle yüksek sıcaklıkta ( $>300^{\circ}C$ )  $K^{+}$  iyonu gibi davranmakta ve su-kayaç etkileşim sürecinde hidrotermal alterasyon sonucu oluşan ikincil illit gibi kil mineralleri ve K-feldispat suyun bünyesindeki Rb elementini yapısına almaktadır. Aynı şekilde, su-kayaç etkileşimi sürecinde ve suların yüzeye çıkış sırasında ikincil kuvarsın oluşumunda, Li elementi kuvarsın bünyesine geçecektir. Kuvars sulardaki Li elementinin azalması ya da kaybolması ile oluşmaktadır (Giggenbach 1991).

Giggenbach (1991) tarafından geliştirilen Li-Rb-Cs üçgen diyagramında, Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak suları çoğunlukla Rb köşesine ve Rb-Cs kenarına yakın konumda yer almakta olup, bazalt ile riyolit bileşim aralığındadır (Şekil 9.23).



Şekil 9.23 Li-Rb-Cs üçgen diyagramı

Ayrıca, diyagramda Kızılcahamam suları yukarı akış zonunda yer almakta olup, bu zonda geçirirliğin daha yüksek ve faylanmanın daha dik olması muhtemeldir (Giggenbach 1991, Reyes 2010).

### 10.9 Kirlilik Çalışmaları

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su kaynakları geçmişte yapılan çalışmalarda çoğunlukla jeotermal açıdan incelenmiş, su kalitesini etkileyen kirleticiler açısından çok fazla irdelenmemiştir. Çalışma alanında yer alan sıcak sulara kirlilik tespitine yönelik örnekler alınarak  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  ve  $\text{PO}_4$  analizleri yapılmıştır (Çizelge 9.8 - 9.9).

**Amonyum ( $\text{NH}_4$ ):** Amonyak formu, sulara bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşimidir. Çözünmüş azot, amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve amonyum ( $\text{NH}_4$ ) iyonları şeklinde oluşmaktadır. Yeraltı sularında amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerin adsorplanması nedeniyle düşüktür (Doğan 1981).

Jeotermal bölgelerde, yeraltı sularındaki yüksek amonyum değeri genellikle derinlerdeki jeotermal rezervuarda oluşan buharlaşmayı göstermektedir. Buharlaşma sonucu akışkandan ayrılan uçucu maddelerden  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ve  $\text{CO}_2$  yükselmeleri sırasında sığ yeraltı suyunda çözünerek asit karakterli suları oluşturur ve yüksek  $\text{NH}_4$  değeri ile karşılaşır (Koçak 1997) (Şekil 9.24-9.25).

Kızılcahamam sıcak sularında  $\text{NH}_4$  derişimi 0,86-21,78 mg/l arasında olup, maksimum değer Acısu Deresi'ndeki Çamlık minerali su kaynağında (KT-4) görülmüştür. Çamlık bölgesinde ise  $\text{NH}_4$  derişimi >0,01- 9,49 mg/l'dir. Amonyumun maksimum içeriği ÇT-1 nolu Ahatlar (ÇMJ-1 nolu) sondaj suyundadır. Bu sular yüksek  $\text{NH}_4$  içermesine bağlı olarak klorür derişimi de yüksektir (Şekil 9.25). Çamlıdere Sarıkavak sıcak sularında ise  $\text{NH}_4^+$  iyon derişimi soğuk sularla karışımı nedeniyle düşük seviyededir.

Çizelge 9.8 Kızılcahamam bölgesine ait suların kirlilik analiz sonuçları (değerler mg/l'dir) (\*Doğdu vd. 2014'den).

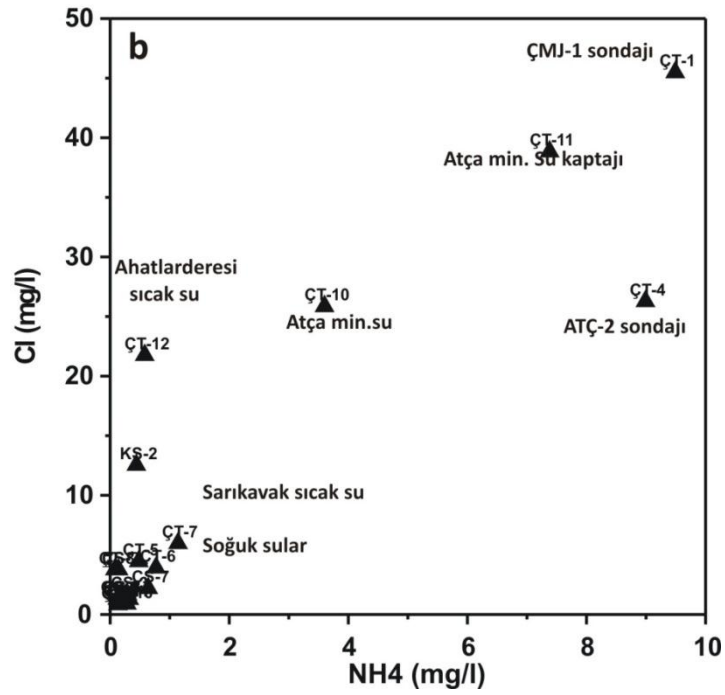
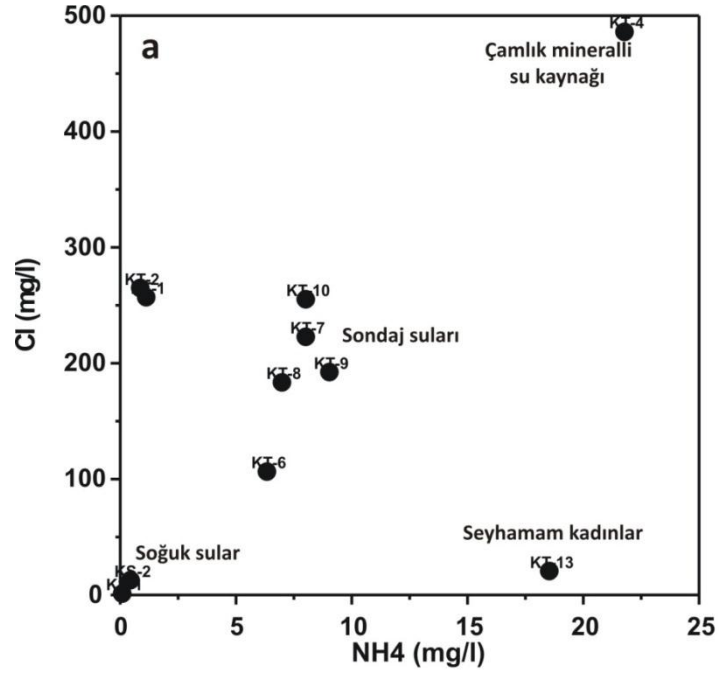
Kod	Adı	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>
KT-1	KHD-1	*<0,07	*18,4	*0,9	*1,12
KT-2	MTA-1	*0,15	*6,1	*0,6	*0,86
KT-4	Çamlık mineralli su	<0,01	3,47	<0,01	21,78
KT-6	MTA-7	<0,01	5,1	<0,01	6,33
KT-7	MTA-1A	0,89	0,31	<0,01	8,01
KT-8	AL-1	0,55	1,07	5,62	6,98
KT-9	İHL-2	0,33	1,09	<0,01	9,03
KT-10	KHJ-1	0,89	1,09	<0,01	8,01
KT-13	Seyhamam kadınlar	<0,01	0,56	<0,01	18,53
KS-1	Ağsak köyu meydan çeşmesi	<0,01	0,63	0,34	0,08
KS-2	Necip Usta	<0,01	6,68	0,64	0,44
KS-3	Ağsaklar yolu	<0,01	<0,01	<0,01	3,29
KS-4	Kızılcahamam çıkışı pınarı	<0,01	0,63	0,34	0,08
KS-5	Bardakçılar Ömer Çoşkun	<0,01	8,68	0,64	0,44
KS-7	Ağaçlı pınarı	<0,01	<0,01	0,19	<0,01
KS-8	Göl suyu	<0,01	<0,01	0,15	<0,01
KS-11	Köy pınarı	<0,01	0,87	0,30	<0,01
KS-13	Kavaközü	<0,01	0,50	<0,01	<0,01
KS-14	Javsu	<0,01	0,45	0,50	<0,01
KS-16	Seyhamam Gavur Deresi	0,01	3,19	1,58	<0,01
KS-18	Fırındere	0,03	2,07	0,11	<0,01
KS-19	Seyhamam	<0,01	0,58	<0,01	0,31
KS-20	Millipark soğuk su	0,14	0,18	0,48	0,09
KS-21	*Koca Dere	*0,12	*5,4	*1,3	*0,19

Sülfat-amonyum grafiğinde Kızılcahamam'dan 13 km uzaklıktaki Seyhamam suları yüksek NH<sub>4</sub> içermesine bağlı olarak düşük SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyon içeriğine sahiptirler. Kızılcahamam KT-4, ve KT-13 nolu sular ile Çamlıdere'nin ÇT-1 ve ÇT-4 nolu (pH'ları sırasıyla 6,7, 6,09, 6,62, ve 6,96) örneklerinde NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iyonu da dahil olmak üzere uçucu maddeler, suların asit karakterli olmasına katkıda bulunmuştur (Şekil 9.25).



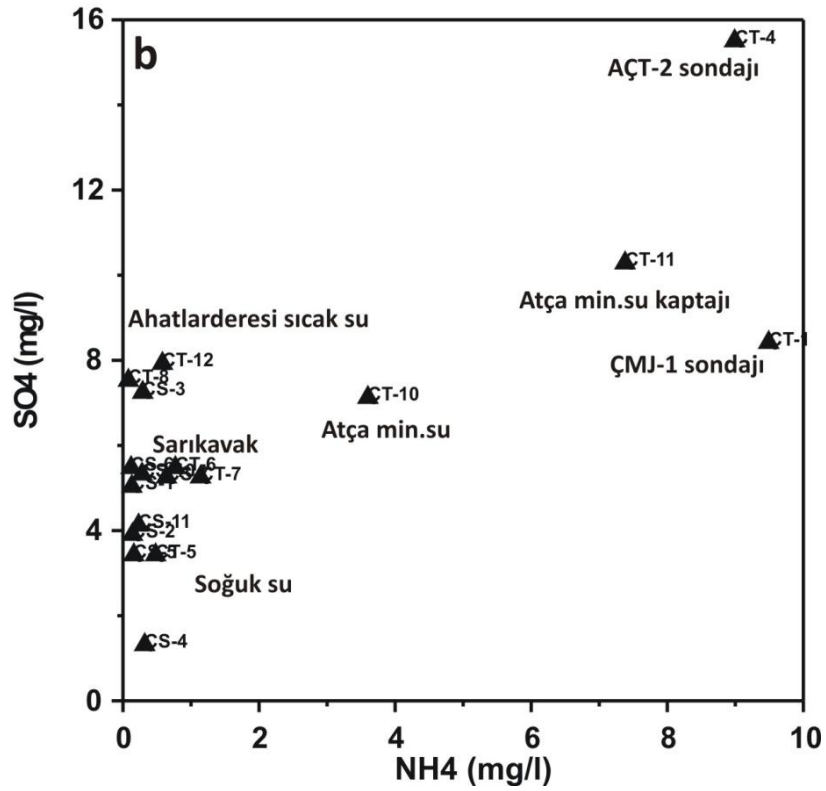
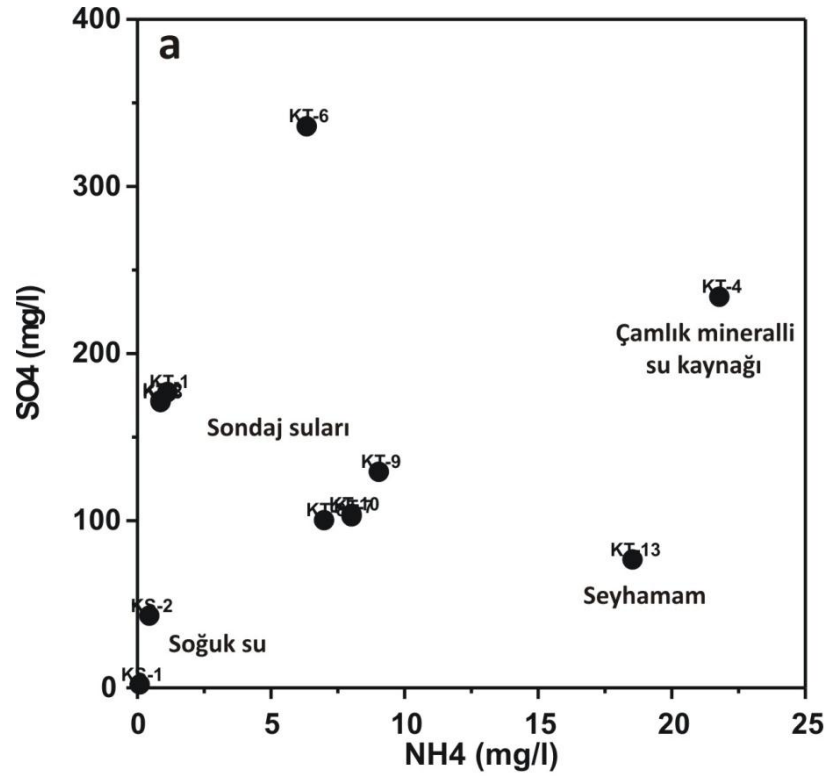
Çizelge 9.9 Çamlıdere bölgesine ait suların kirlilik analiz sonuçları (değerler mg/l'dir)

Kod	Adı	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>
ÇT-1	ÇMJ-1	<0,01	<0,01	7,0	9,49
ÇT-2	ÇMJ-2	0,09	1,82	0,09	<0,01
ÇT-4	AÇT-2	0,80	0,50	<0,01	8,99
ÇT-5	Muzrupağacın	<0,01	3,85	<0,01	0,48
ÇT-6	Sarıkavak Uyuz	0,12	0,12	<0,01	0,77
ÇT-7	Sarıkavak Ilıca	0,13	2,13	<0,01	1,14
ÇT-8	Sarıkavak Kökderesi	<0,01	0,19	<0,01	0,08
ÇT-9	Tatlak maden suyu	0,38	1,00	<0,01	<0,01
ÇT-10	Atça minerallis su kay.	<0,01	1,31	<0,01	3,60
ÇT-11	Atça mineralli su kaptajı	0,49	0,25	<0,01	7,38
ÇT-12	Ahatlar Deresi sıcak su	<0,01	<0,01	<0,01	0,58
ÇS-1	Çavuşoğlu	0,04	0,03	<0,01	0,13
ÇS-2	Kösyayla	0,03	0,25	0,04	0,14
ÇS-3	Aluç pınarı	0,02	0,07	<0,01	0,29
ÇS-4	Örenköy yaylası	0,12	0,85	<0,01	0,32
ÇS-5	Atça pınarı	<0,01	0,35	<0,01	0,16
ÇS-6	Ahatlar soğuk su	<0,01	1,64	0,45	0,12
ÇS-7	Sarıkavak Velibey	<0,01	<0,01	<0,01	0,64
ÇS-10	Muzrupağacın	<0,01	4,30	<0,01	0,28
ÇS-11	İsmail Çiçekçi	0,02	0,58	<0,01	0,23
ÇS-12	Çamköy pınarı	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
ÇS-13	Alakoç Ölü pınarı	<0,01	1,71	0,16	0,04
ÇS-14	Kavaklı pınar ayağı	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
ÇS-17	Mezarlık pınarı	0,01	0,60	0,13	0,01
ÇS-21	Çamkuru Tabita Parkı ölü pınarı	<0,01	0,20	<0,01	0,07
ÇS-22	Aşağıovacık çeşme	0,02	<0,01	<0,01	0,07
ÇS-23	Aşağıovacık çayır pınarı	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
ÇS-24	Yukarıovacık köy pınarı	0,03	0,58	0,03	0,05
ÇS-25	Aşağıovacık yaylası dörtlü çeşme	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
ÇS-26	Sait Hayrat pınarı	<0,01	0,10	<0,01	0,01



Şekil 9.24 Cl- NH<sub>4</sub> ilişkisi

a. Kızılcahamam b. Çamlıdere



Şekil 9.25  $\text{SO}_4$ - $\text{NH}_4$  ilişkisi

a. Kızılcahamam b. Çamlıdere

Bu sonuçlara bağı olarak buharlaşma sonucu akışkandan ayrılan  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ve  $\text{CO}_2$  gibi uçucu maddeler yükselmeleri sırasında akışkan içerisinde çözünerek asit karakterli suları oluşturmuştur.

Her iki bölgedeki soğuk sularda  $\text{NH}_4$  içeriği sıcak sulardan çok daha düşük değerlerdedir. Kızılcahamam soğuk sularında (KS-3)  $\text{NH}_4$  içeriği  $<0,01-3,29$  mg/l'dir. Çamlıdere soğuk sularında  $\text{NH}_4^+$  iyon derişimi ise  $<0,01-0,64$  mg/l arasında olup, maksimum değeri ÇS-7 nolu Ahatlar Velibey kaynağında tespit edilmiştir. İçme ve kullanma suları standartlarında  $\text{NH}_4$  0,5 ppm'i aşmamalıdır (TSE-266, 2005). KS-3 ve ÇS-7 nolu sulardaki kirliliğin kaynağı muhtemelen hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

**Fosfat ( $\text{PO}_4$ ):** Fosfat magmatik ve sedimenter kayalarda bulunan en yaygın bileşiklerden biridir. Doğal sulardaki  $\text{PO}_4$  derişimi 1 mg/l'nin altındadır (Hem 1985). Yüzey ve yeraltı sularındaki fosfat, kayalardan ve topraktan, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0,1 ppm üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını olumsuz etkilemektedir (McNeely vd. 1979). TSE standartlarında fosfat için herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularında maksimum  $\text{PO}_4$  değerleri KT-8 nolu AL-1 (5,62 mg/l) ve ÇT-1 nolu ÇMJ-1 (7 mg/l) sondaj sularında görülmüştür (Çizelge 9.8 - 9.9).

**Nitrat ( $\text{NO}_3$ ):** Suda bulunan azot bileşiklerinin en önemlisi olan nitratın ana kaynağı tarımda kullanılan gübreler, evsel ve endüstriyel atık suları iken, volkanik faaliyetler sonucu oluşan buhar ve gazlar da nitrat kaynağı olabilmektedir (Hem 1985). Nitratın insan sağlığı üzerindeki etkileri göz önünde tutularak Dünya sağlık Örgütü (WHO) ve Türk standartları Enstitüsü (TSE), içme suyunda  $\text{NO}_3^-$  iyonunun 45 mg/l'den daha az olması gerektiğini önermişlerdir.

Kızılcahamam sondajı sıcak sularında  $\text{NO}_3^-$  iyon derişimi 0,31- 18,41 mg/l arasında olup, maksimum değeri 1 nolu KHD-1 sondaj suyundadır. Bunlar kuyu başındaki yuzeysel kirlenmeler olarak tahmin edilmiştir. Acısu Dere mineralli su kaynağında  $\text{NO}_3^-$  iyon derişimi 3,4 mg/l olup, sondaj sularından daha dūřuk değerlerdedir (Çizelge 9.7). Çamlıdere sıcak sulardaki  $\text{NO}_3^-$  iyon derişimi <0,01-3,85 mg/l arasında olup, maksimum değere ÇT-5 nolu Muzrupağacın sıcak su kaynağında ulaşmıştır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere alanlarından toplanan soğuk su örneklerindeki maksimum  $\text{NO}_3^-$  değeri KS-5 nolu Bardakçılar Ömer Coşkun ve ÇS-5 nolu Muzrupağacın kaynaklarında görülmüştür (Çizelge 9.7 - 9.8). Ölçülen değerler sırasıyla 8,68 ve 4,30 mg/l olup, içme ve kullanma standartlarının altında kalmakla birlikte suyun kirlenmiş olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni tarımda kullanılan gübreleme, hayvan ve/veya kanalizasyon sistemlerinden yeraltı suyuna karışımın olmasıdır.

Kızılcahamam soğuk su kaynaklarında maksimum  $\text{PO}_4$  değeri KS-18 nolu Seyhamam Gavur Deresi (1,58 mg/l) ve KS-21 nolu Koca Dere (1,3 mg/l) sularında olup, diğer Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk sularının  $\text{PO}_4$  içeriği sınır değerin altındadır (Çizelge 9.7-9.8).

**Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ):**  $\text{NO}_2^-$  sularda dūřük miktarlarda bulunan bir azot bileřięidir. Oksijenin bulunduęu ortamlarda kararsız durumda olduęundan,  $\text{NH}_3$  ve  $\text{NO}_3^-$  arasında (nitritfikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitritfikasyon) geçiř formu olarak bulunmaktadır. Suda nitritin bulunması organik maddeler tarafından etkilenmiř aktif biyolojik sūrelerin varlıęını gōsterir. İnsani Tūketim Amaçlı Sular standartlarında  $\text{NO}_2^-$  için önerilen en yūksək deęer 0,5 ppm'dir (TSE-266 2005). Nitrit insanlar ve hayvanlar için  $\text{NO}_3^-$ 'tan daha fazla zehirleyicidir (Doęan 1981).

Kızılcahamam sondaj sularından MTA-1 (0,15 mg/l), MTA-1A (0,89 mg/l), AL-1 (0,55 mg/l), İHL-2 (0,33 mg/l) ve KHJ-1 (0,89 mg/l) nolu kuyularda  $\text{NO}_2^-$  içeriğine rastlanmıştır. Çamlıdere sularında ise sadece AT-2 nolu Muzrupağacın sondaj (0,80 mg/l) suyunda  $\text{NO}_2^-$  derişimi yūksək olup, diğer sulara ise dūřüktür. Dolayısıyla  $\text{NO}_2^-$

açısından bir kirlenme saptanmış olup, bunun nedeni muhtemelen kanalizasyon ve gübre atıklarının yeraltı suyuna karışmasıdır. Çalışma alanındaki soğuk sularda  $\text{NO}_2^-$  değeri 0,5 mg/l değerinin altında tespit edilmiştir.

### 9.10 Nadir Toprak Elementleri

Periyodik tablonun en altında yer alan nadir toprak elementlerinin atom numaraları 57’den 71’e kadar değişmektedir. Bu elementler çizelge 9.9’da yer almaktadır. Atomik yarıçapı “Ho” elementine yakın olduğu için “Y” elementi de nadir toprak elementi (NTE) serisine ilave edilmektedir. Lantanyumdan-öropyuma (La-Eu) kadar olan küçük atom numaralı nadir toprak elementleri, hafif nadir toprak elementleri (HNTE); samaryumdan-holmiyuma (Sm-Ho) kadar orta değerli atom numarasına sahip olan nadir toprak elementleri orta nadir toprak elementleri (ONTE); gadolinyumdan- lütesyuma (Gd-Lu) kadar yüksek atom numaralı nadir toprak elementleri ise ağır nadir toprak elementleri (ANTE) olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 9.9 Lantanitler / Nadir Toprak Elementleri (NTE)

Atom	Adı	Simge	8’li koordinasyonda iyonik yarıçapı
57	Lantanyum	La	$\text{La}^{3+}$ 1,160
58	Seryum	Ce	$\text{Ce}^{3+}$ 1,143
59	Presodimyum	Pr	$\text{Pr}^{3+}$ 1,126
60	Neodimyum	Nd	$\text{Nd}^{3+}$ 1,109
61	Prometyum	Pm	Doğal olarak bulunmaz
62	Samaryum	Sm	$\text{Sm}^{3+}$ 1,079
63	Öropyum	Eu	$\text{Eu}^{3+}$ 1,066
64	Gadolinyum	Gd	$\text{Gd}^{3+}$ 1,053
65	Terbiyum	Tb	$\text{Tb}^{3+}$ 1,040
66	Disprosiyum	Dy	$\text{Dy}^{3+}$ 1,027
67	Holmiyum	Ho	$\text{Ho}^{3+}$ 1,015
68	Erbium	Er	$\text{Er}^{3+}$ 1,004
69	Tulyum	Tm	$\text{Tm}^{3+}$ 0,994
70	Yiterbiyum	Yb	$\text{Yb}^{3+}$ 0,985
71	Lütesyum	Lu	$\text{Lu}^{3+}$ 0,977
72	Yitriyum	Y	$\text{Y}^{3+}$ 1,019

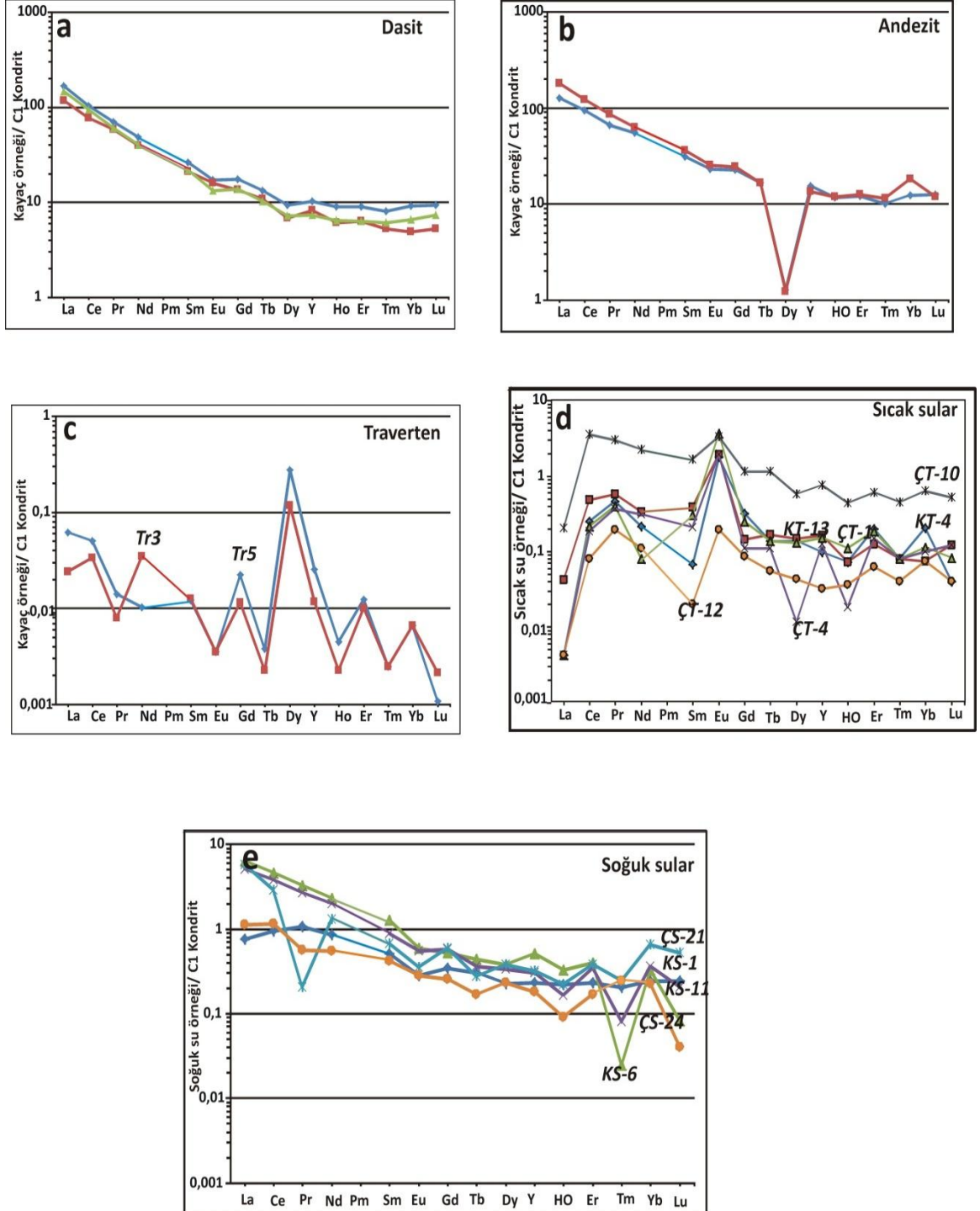
İyonik yük ve çaplarındaki büyük benzerlikler nedeniyle, nadir toprak elementleri (NTE) çevresel ve jeolojik süreçlerin irdelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Termodinamik özelliklerindeki büyük benzerlikler nedeniyle NTE'nin hidrojeokimyasal çalışmalarda, su-kayaç ilişkisi ve kökene ait önemli ipuçları sağladıkları bilinmektedir (Wood 1990, Baba ve Özcan 2008, Möller vd. 2004, Möller 2005).

Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesindeki tüm sıcak ve soğuk sularında nadir toprak elementleri düşük konsantrasyonda bulunmakla beraber her iki bölgedeki suların NTE içerikleri birbirlerine yakın değerdedir (EK11-14). Analiz edilen birçok elementin konsantrasyonu saptama sınırlarının altında ( $<0,001 \mu\text{g/l}$ ) kalmıştır. Fakat, genellikle sıcak sular EK 11-12'de görüldüğü gibi soğuk sulara göre daha fazla NTE konsantrasyonu içermektedir.

Bu çalışmada McDonough ve Sun (1995) tarafından belirlenmiş Cl kondirit ortalaması değerlerine göre analiz sonuçları normalize edilmiş (normalize NTE değerleri için EK 15'e bakınız) ve bunların logaritmik dağılım diyagramları Şekil 10.26'da gösterilmiştir. Böylece Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgelerindeki su ve kayaç örneklerine ait NTE dağılımları yorumlanmıştır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere su örneklerinin kondirite göre normalize edilmiş NTE dağılım diyagramlarında, hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre nispeten daha zenginleşmiştir. Bu durum kayaç (andezit ve dasit) örneklerinde de görülmektedir. Özellikle dasit bileşimindeki kayaç örneklerinde HNTE nispeten bir zenginleşme görülürken, orta nadir toprak elementleri (ONTE) ve ağır nadir toprak elementleri (ANTE) değerlerinde üç örnekte de birbirine yakın, paralel düz bir çizgisellik göstermektedir (Şekil 9.26.a). Volkanik kayaçlarda gözlenen bu durum, magmatik farklılaşma süreçleri veya kısmi ergime sırasında HNTE'lerin sıvı fazı tercih etmeleri şeklinde yorumlanmıştır. Kayaç örneklerinde gözlenen yüksek HNTE/ANTE oranı, magmanın zenginleşmiş bir manto kaynağından veya düşük dereceli kısmi ergimeler sonucu oluşmuş ergiyiklerden türediğini vurgulamaktadır

(Muratçay 2006). Çalışma alanında andezit ve dasit bileşimindeki kayaların nadir toprak elementlerinde soldan sağa gidildikçe uyumsuzluk derecesi azalmaktadır.



Şekil 9.26 Çalışma alanında yer alan volkanik kayaların kondirite (McDonough ve Sun, 1995) göre normalize edilmiş NTE'nin dağılım diyagramı

a. dasit, b. andezit, c. traverten, d. sıcak sular, e. soğuk sular



Andezit örneğindeki “Y” elementinde gözlenen negatif anomali dikkat çekicidir (Şekil 9.26.b). Ayrıca Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementlerinde örnek/kondirit oranı 1 çizgisinin üstünde, yaklaşık olarak yatay şekilde dizilmektedir. İnceleme alanındaki tüm suların dağılım eğrileri diyagramında ise uyumsuzluk görülmektedir.

Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak sularında (KT-4, KT-13, ÇT-1, ÇT-4, ÇT-10 ve ÇT-12) pozitif “Eu” ve pozitif “Ce” anomali izlenmektedir (Şekil 9.26.d). Sıcak su örneklerinde gözlenen pozitif “Ce” anomalileri hidrotermal sıvıların kaynağında oksijen fugasitesinin düşük olduğu (oksijence fakir) ortamları işaret etmektedir (Rollinson 1993).

Kızılcahamam Acısudere’deki KT-4 nolu mineralli su, KT-13 nolu Seyhamam sıcak suyu, ÇT-1 nolu ÇMJ-1 Ahatlar sondaj suyu ve ÇT-10 nolu Atca mineralli suları nadir toprak element açısından yüksek değerler göstermektedir. Bu durum, KT-4, KT-13 ve ÇT-1 nolu sıcak ve mineralli su dolaylarında gözlenen hidrotermal alterasyon ve FeOH çökeli ile açıklanmaktadır (Bau 1999 ve Kawabe vd.1999). Möller (2005)’in Pamukkale sıcak sularında yapmış olduğu çalışmada ortaya çıkan yüksek “Ce” negatif anomali ile birlikte +400 değerindeki yüksek redox potansiyelinin nedeni, suların uzun yeraltı geçiş süresine sahip olması olarak yorumlanmıştır. Buna karşılık mağmatik ve metamorfik kayalardan gelen sular düşük Eh değerine sahip olduğu için negatif “Ce” anomali gelişmeyebilir (Möller 2005). Bu nedenle, çalışma alanındaki sıcak suların magmatik kayaç katkısı olması nedeniyle düşük Eh değerine sahip olup, negatif “Ce” anomalisinin gelişmediği tahmin edilmektedir.

Yine, Kızılcahamam ve Çamlıdere sularındaki NTE“nin dağılım diyagramında su-kayaç ilişkisine bağlı olarak pozitif “Y” anomali durum sergilemekte ve su-kayaç ilişkisine bağlı olarak denge durumunda olmayan sular olduğunu göstermektedir. Çamlıdere bölgesindeki ÇT-4 nolu AÇT-2 sıcak sondaj suyu hariç, ÇT-1, ÇT-10 ve Kızılcahamam bölgesindeki Acısu Dere KT-4 nolu mineralli su ile KT-13 nolu Seyhamam suları NTE dağılım diyagramında birbirlerine paralel durum sergilemektedir. ÇT-4 nolu sondaj

suyu ile ÇT-10 nolu Atca mineralli suyu “Dy” açısından negatif anomali sergilemektedir.

Sıcak ve mineralli sular farklı kayaçları çözdükleri için farklı kimyasal bileşime sahiptirler. Farklı sıcaklık, basınç ve farklı CO<sub>2</sub> gazı kısmi basınç koşulları altında su-kayaç etkileşim sistemine uğrayan akışkanların NTE bolluğu, bu elementlerin birlikte bulunduğu yıkanabilir mineraller tarafından kontrol edilmesi, kayaç oluşturan mineral topluluğu ile değişimi, alterasyona uğrayan mineraller ile çökmesi gibi olaylarla kontrol edilmektedir (Wood 1990).

Soğuk suların dağılım eğrilerinde çok belirgin olmayan negatif “Ce” anomali izlenmekle birlikte alandaki kayaçlarla uyumludur (Şekil 9.26e). Negatif “Ce” anomalileri oksijence zengin yüzey sularının tamamında görülür. Örneğin, deniz suyu, oksijence zengin nehir ve karst suları dünya genelinde negatif “Ce” anomalileri ile karakterize edilmektedir (Möller 2005).

Kızılcahamam Acısu Dere ve Seyhamam bölgesindeki sıcak suların etrafında oluşan travertenlerin NTE değerleri EK 15’te verilmiştir. Şekil 9.26.c’deki grafiğe göre hafif, orta ve ağır nadir toprak elementlerinde bir azalma söz konusudur. Travertenlerin NTE içerikleri 0,01-10,3 mg/l arasında olup, sıcak sulara göre daha fazla zenginleşme göstermektedir (Şekil 9.26.c). Element dağılım diyagramlarında, Seyhamam sıcak suları (KT-13) travertenler ile benzer desenler sergilemekte, ancak sıcak suların tersine travertenler NTE açısından negatif “Eu” anomalisi göstermektedir.

### **9.11 Suların Doygunluk İndisi (SI) Değerlendirmeleri**

Yeraltı suyu dolaşımı sırasında, sistemde oluşan kimyasal tepkimeler, hidrojeokimyasal ortam hakkında yorum yapabilme olanağı sağlamaktadır. Bu amaçla, yeraltı suyunda çeşitli minerallerin doygunluk durumlarının da araştırılması gerekmektedir.

Doygunluk İndisi (SI), Log (Q/K) veya log (IAP/K) şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur. Yeraltı sularının minerallere ait doygunluk indisi özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır:

SI (LogQ/K)= 0 ise su ilgili mineral ile dengededir (doygundur)

SI (LogQ/K)>0 ise su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir)

SI (LogQ/K)<0 ise su ilgili minerale doygun değildir (minerali çözüdürücü özelliktedir).

Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması, suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir (Tarcan 2003). Burada sıcak suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini için en çok rastlanılan çökel minerallerinin doygunluk hesaplarının yapılması örnek olarak verilmiştir. CO<sub>2</sub> kısmi basıncının da atmosfer kısmi basıncından (10<sup>-3.5</sup> atm.) daha yüksek olması durumunda su çökeltici ve gaz çıkartıcı özelliğe sahip olarak yorumlanmıştır (Giggenbach 1988).

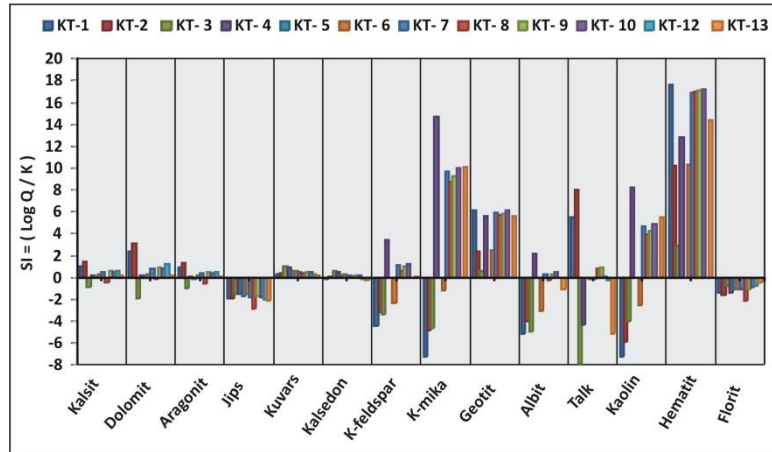
Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların çökel oluşturabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksi değerleri Aquachem (Calmbach 1997) kimyasal türleştirme programı kullanılarak hesaplanmıştır (EK16-19). Bu hesaplamalarda sıcak sular için kaynak/sondaj çıkış sıcaklıkları Kızılcahamam için 22-81°C, Çamlıdere sıcak ve mineralli suları için ise 12-42°C aralığında sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Bu programı kullanarak yapılan hesaplamalar, birçok çökelme ortamlarında bulunabilecek minerallere göre yapılmıştır.

Jeotermal sistemlerde çökel ürünü olarak bulunabilecek başlıca mineraller; kalsit (CaCO<sub>3</sub>), dolomit (Ca(Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), aragonit (CaCO<sub>3</sub>), jips (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), kuvars

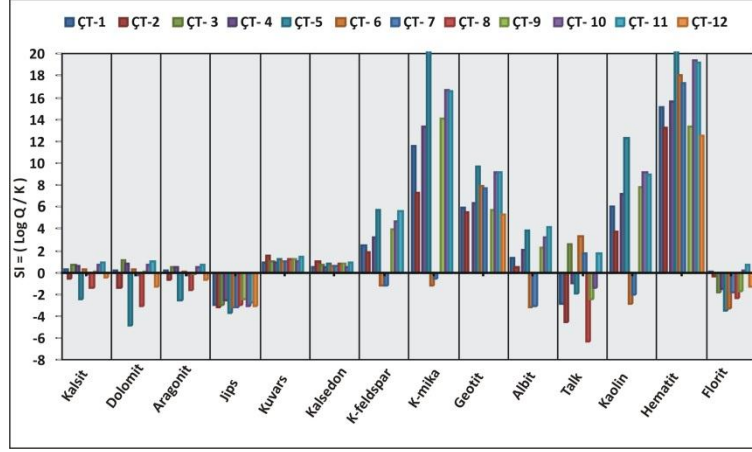
(SiO<sub>2</sub>), kalsedon (SiO<sub>2</sub>), K-feldispat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), albit (NaAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), götit, kaolen (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>), hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve florit (CaF<sub>2</sub>)'tir.

İnceleme alanında yer alan ve jeotermal sistemi karakterize eden Kızılcahamam 1 nolu KHD-1, MTA-1, MTA-7, MTA-1A, İHL-2, KHJ-1 sondajları, 4 ve 5 nolu Çamlık sıcak ve mineralli su kaynakları ve 12 ile 13 nolu Seyhamam kaynakları genel olarak kalsit, dolomit, aragonit, kuvars, kalsedon (1, 12 ve 13 nolu su hariç), götit, kaolen (1, 2, 3 ve 6 nolu su hariç) ve hematite göre doygun, ancak jips ve florite göre doygun değildir (EK 16, Şekil 9.27). Suların florite doygun olmaması, bu jeotermal sistemdeki suların çok derin dolaşıma sahip olmadığını gösterebilir. Çünkü florür iyonu olgun sulara açığa çıkmaktadır (Albu vd. 1997).

Çamlıdere bölgesinde ise; 1, 3 ve 4 nolu ÇMJ-1, AÇT-1 ve AÇT-2 sondajları, 6 nolu Sarıkakavak Uyuz hamamı ve 10 ile 11 nolu Atca mineralli suları, genel olarak kalsit, dolomit, aragonit, kuvars, kalsedon, K-feldispat, K-mika, götit, kaolen (6 ve 7 nolu sular hariç) ve hematite doygun, ancak jips ve florite doygun değildir (EK 18; Şekil 9.28).



Şekil 9.27 Kızılcahamam sıcak sularının mineral doygunluk diyagramı



Şekil 9.28 Çamlıdere sıcak sularının mineral doygunluk diyagramı

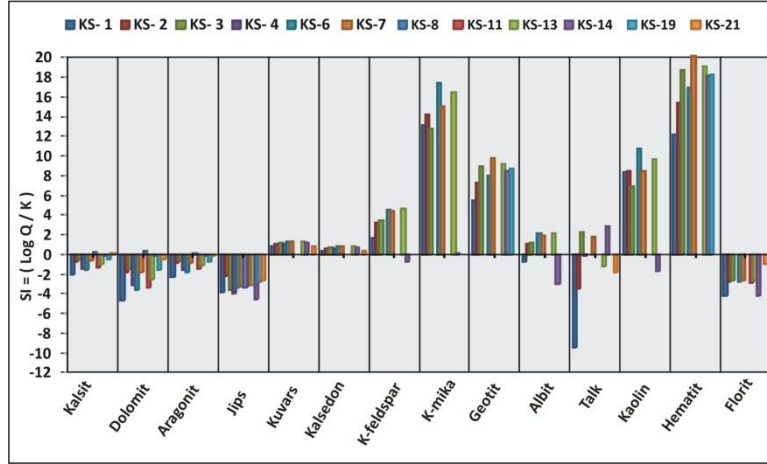
Seyhamam'daki erkekler hamamı sıcak su kaynağındaki kalsit, dolomit ve aragonite doygunluk, Seyhamam kadınlar hamamı sıcak su kaynağına göre daha yüksektir (EK 16). Ayrıca, Kızılcahamam Acısu Dere'deki 3 nolu As-koop mineralli su kaynağı ile 8 nolu AL-1 sondaj suları kalsit, aragonit, dolomit ve jipse doygun değildir (EK 16; Şekil 9.27).

Çamlıdere ÇT-2 nolu ÇMJ-2 Ahatlar kuyusu 274 m derinlikte açıldığından jeotermal sistemin hazne kayasına ulaşmadığı, geçirimsiz örtünün olmayışı ve sığ soğuk su akiferlerindeki soğuk suların karışmasıyla ve (kalsit, aragonit ve dolomit) karbonat mineral dengesi açısından olgunlaşmadığı anlaşılmaktadır (EK 18; Şekil 9.28).

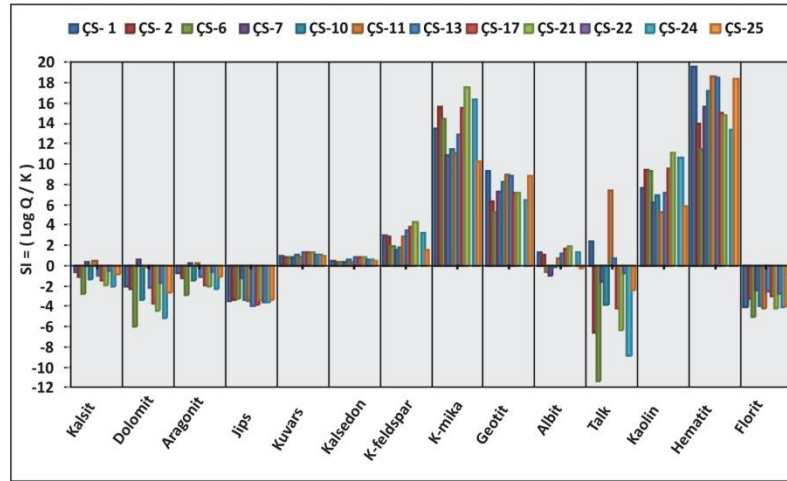
Çamlıdere bölgesindeki Muzrupağacın (ÇT-5), Sarıkavak suları (ÇT-6, ÇT-7 ve ÇT-8), Tatlak maden suyu (ÇT-9), Atça mineralli suları (ÇT-10 ve ÇT-11) ve Ahatlar sıcak su kaynağı (ÇT-12) karışım sularıdır (Şekil 9.28, Şekil 9.11 - 9.12). Bu da, yeraltında farklı sıcaklıklardaki akışkanların yüzeyleyinceye kadar soğuk sularla karışmış olabileceğini gösterir. Tez sahasındaki bu sıcak suların kabuklaşma sorunu yaratabileceği anlaşılmaktadır.

Tez sahasındaki KS-8 nolu göl suyu ve ÇS-7 nolu Sarıkavak Velibey kaynağı ile ÇS-11 nolu İsmail Çiçekçi kaynağı dışındaki tüm soğuk su kaynakları karbonat minerallerine

doğun değildir (EK 17- 19; Şekil 9.29 - 9.30). Bunun nedeni, kaynak sularının yeraltı dolaşımının kısa olması ve özellikle karbonatlı kayalarla yeterli ölçüde etkileşime girmemiş olmalarıdır.



Şekil 9.29 Kızılcahamam soğuk sularının mineral doygunluk diyagramı



Şekil 9.30 Çamlıdere soğuk sularının mineral doygunluk diyagramı

Soğuk su kaynakları Kızılcahamam bölgesinde albit (KS-1 ve KS-4 hariç), kuvars, kalsedon, K-feldspat (KS-14 nolu su hariç), K-mika, kaolen (KS-14 nolu su hariç), götüt ve hematite göre doygun durumdadırlar (EK 17; Şekil 9.29). Çamlıdere soğuk su kaynaklarında ise, genelde albit (ÇS-6, ÇS-7 ve ÇS-10 hariç), kuvars, kalsedon, K-feldspat, K-mika, kaolen (ÇS-6 ve ÇS-7 nolu su hariç), götüt ve hematit gibi alterasyon

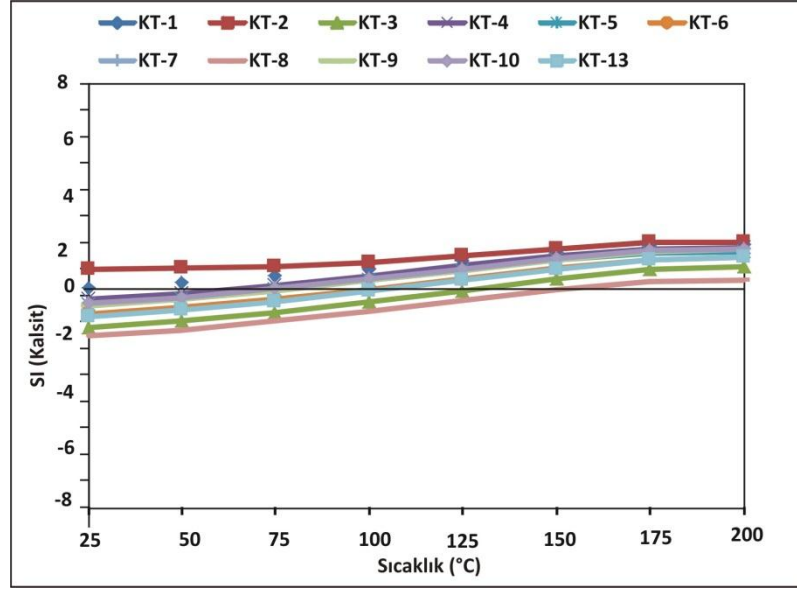
minerallerine doygun, ancak florit mineraline göre doygun olmayan durumdadırlar (EK 19; Şekil 9.30).

Bölüm 12’de çalışma alanındaki sıcak su kaynak ve sondaj sularının CO<sub>2</sub> kısmi basıncının atmosferik pCO<sub>2</sub> değerine göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Karbondioksit kısmi basıncının artmasıyla suyun, kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doygunluğunun soğuk sulara göre oldukça yüksek olması doğaldır (Şekil 9.31).

Derin dolaşım sistemini temsil eden sıcak su sondaj sularındaki pCO<sub>2</sub>’nin yüksek oluşu, bu suların akiferde kalış sürelerinin görel olarak sıcak su kaynaklarına göre daha uzun olduğunu göstermektedir.

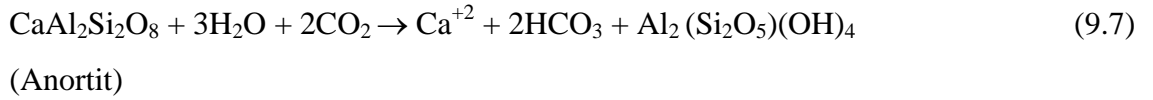
Sığ dolaşımı temsil eden soğuk su kaynaklarının normal olarak pCO<sub>2</sub> bakımından içerikleri atmosfere açık olduğundan atmosferik kısmi basıncına (pCO<sub>2</sub> = 10<sup>-3.5</sup> atm) yakın değerdedir.

Kızılcahamam bölgesindeki sıcak ve mineralli suların volkanik kayalarla birlikte kireçtaşlarından da beslenerek traverten çökeltmesi nedeniyle jips mineraline doygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bölüm 10’da su ve travertenlerdeki CO<sub>2</sub>’in kökeni karbon izotop verilerine dayanarak değerlendirilecektir.



Şekil 9.31 Kızılcahamam sıcak sularındaki kalsit doygunluk-sıcaklık diyagramı

Albit ve anortit gibi  $Ca^{+2}$  içeren plajiyoklazların silikat hidrolizi ile aşağıdaki reaksiyona uygun olarak  $CO_2$  tüketmektedir (Andrews vd.1994).



Denge/doygunluk durumunda, anortit mineralinin hidrolizi ile  $Ca^{+2}$  iyonu kalsit formunda çözeltilerden aşağıdaki reaksiyona uygun olarak ayrılır:



Her iki durumda da (iyon değişimi ve silikat hidrolizi) bir çok sıcak su kaynağında  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  un sudan ayrılmasıyla  $Na^+$  konsantrasyonu artacaktır.



Kızılcahamam ve amlıdere sıcak ve mineralli sularının kaynak çıkış sıcaklığına göre albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), K-feldispat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), mika gibi silikat mineralleri ile kuvars ve kalsedon formundaki silis minerallerine doğgun olduğu belirlenmiştir.

### 9.11.1 Mineral denge - sıcaklık diyagramı

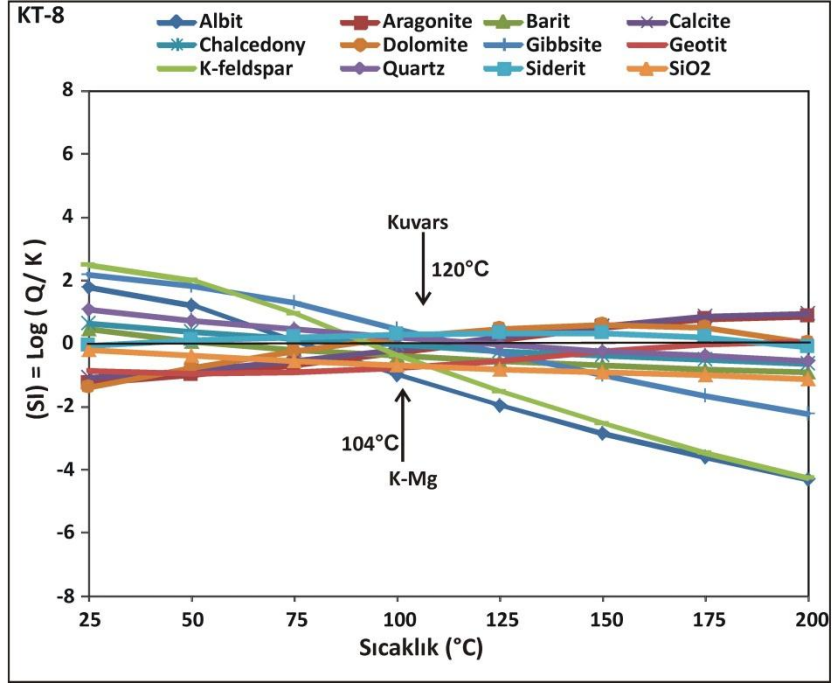
Alterasyon minerallerinin çözünürlükleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla farklı sıcaklıklardaki sistemlerde farklı mineraller denge halinde bulunurlar.

Mineral doğgunluk durumu ile sıcaklık ilişkisinden yola çıkılarak hazırlanan diyagramlar jeotermal alanlardaki hazne sıcaklığının tahmin edilmesi için oldukça faydalıdır (Reed ve Spycher 1984). Bu yöntem, farklı sıcaklıklarda belli bir su kompozisyonundan kelebilecek çeşitli saf minerallerin denge durumu ile ilişkilidir. Eğer bir mineral gurubu belli sıcaklıkta denge durumuna yakınlık gösteriyorsa (SI) söz konusu su kompozisyonunun bu minerallerle denge halinde olduğu ve seçilen sıcaklığın hazne kaya sıcaklığı olduğu sonucuna varılmaktadır (Reed ve Spycher 1984).

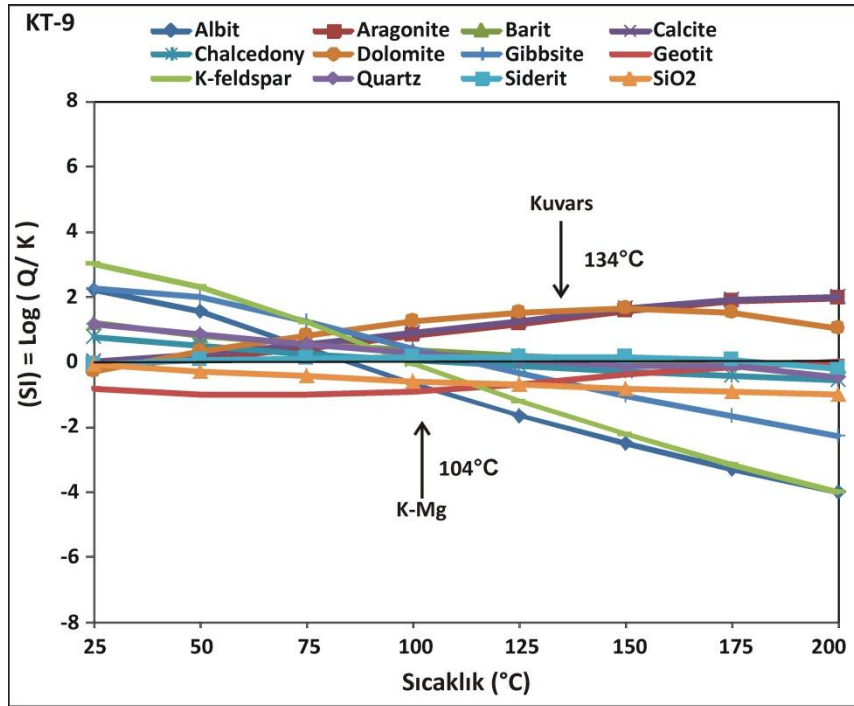
Diğer taraftan Tole vd. (1993)'nin de belirttiği gzere, bu tür sıcaklık tahmini, esas olarak katı eriyik minerallerinin saf fazlarına yönelik bir denge durumunu yansıttığından, elde edilen sonuçlar sadece bir yaklaşımdır. Karışıma uğramış sular (sığ kökeni sular) herhangi bir sıcaklıkta hidrotermal minerallere göre denge durumu göstermeyebilirler (Mutlu 1998).

Doğgunluk indisi hesaplamalarında örnekleme-analiz sürecinde meydana gelebilecek  $\text{CO}_2$  kaybı düşünülerek arazide ölçülen pH değerleri esas alınmıştır. Sıcaklığa bağlı pH değerini ise her sıcaklık değerine için Aquachem bilgisayar yazılım programı yardımıyla hesaplanmıştır.

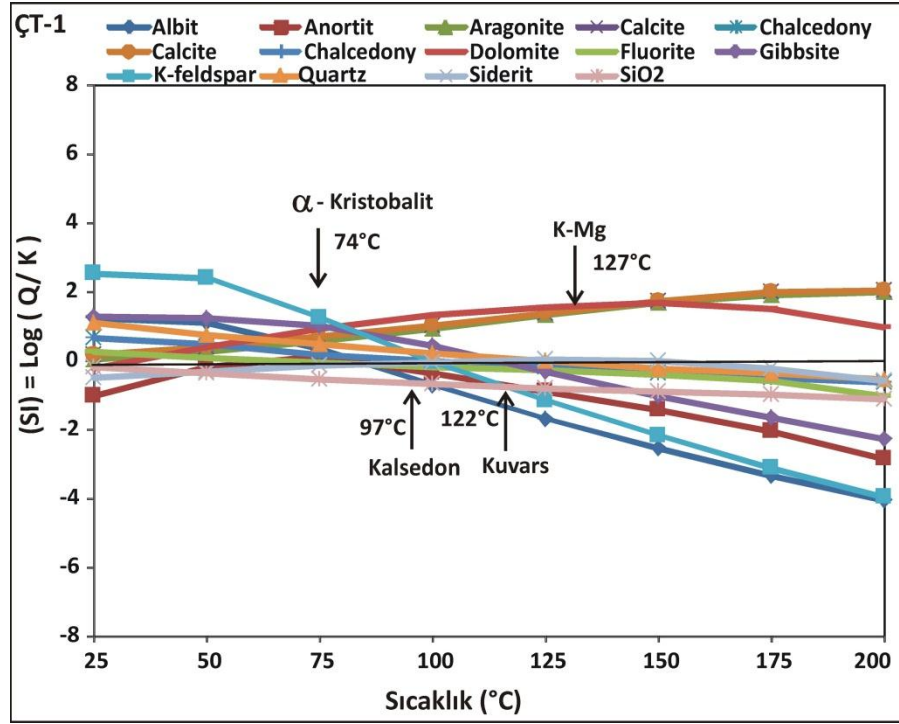
Mineral-akışkan denge metodunun uygulanmasıyla çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suları için elde edilen sıcaklık-doğgunluk indisi diyagramları Şekil 9.32 - 9.35'te verilmiştir.



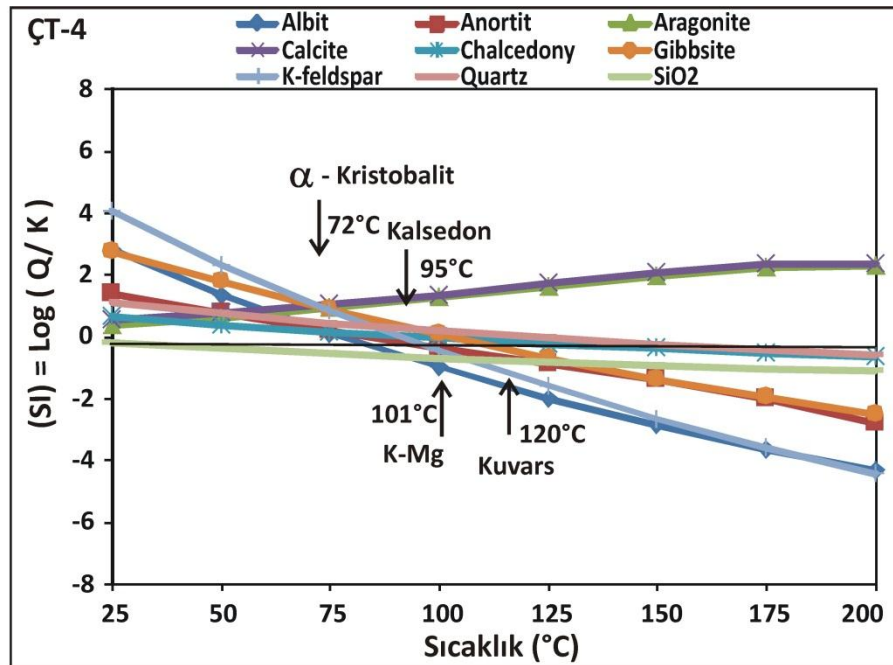
Şekil 9.32 Kızılcıhamam KT-8 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı



Şekil 9.33 Kızılcıhamam KT-9 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı



Şekil 9.34 Çamlıdere ÇT-1 nolu sondaj suyunun sıcaklık – mineral doygunluk indisi diyagramı



Şekil 9.35 Çamlıdere ÇT-4 nolu sondaj suyunun sıcaklık–mineral doygunluk indisi diyagramı

Grafiklerde (Şekil 9.32 - 9.33) minerallerin işaret ettiği tahmini denge sıcaklığı doygunluk indisi eğrisinin  $\text{Log}Q/K=0$  çizgisini kestiği yerdir. Doygunluk indisi (SI) denge doğrusunun altında olabilecek kesişmeler farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun üstünde gerçekleşen kesişimler ise sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gösterebilir (Reed ve Spycher 1984).

Şekil 9.31-9.33'te Kızılcahamam sıcak su kaynaklarına ait karbonat, silis ve feldispat grubu mineralleri ve bunların alterasyon minerallerinin denge durumunu belirlemek için doygunluk indisi değerleri 25-200°C sıcaklık aralığında hesaplanmıştır.

Kızılcahamam sıcak suları kalsit bakımından genellikle aşırı doygun olup,  $\text{CO}_2$  gazının ayrılması nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Kalsit minerallerinin doygunluğu düşük sıcaklıktadır. Bu durum, suların yükselmeleri sonucu soğuması ile yeniden kalsit minerali bakımından dengeye gelmesi sonucu olabilmektedir. Şekil 9.31'de Kızılcahamam sıcak ve mineralli suları kalsit minerali denge sıcaklığı yaklaşık 150°C de görülmektedir.

Şekil 9.32-9.33'te Kızılcahamam bölgesindeki KT-8 ve KT-9 nolu sondaj sularının silis denge sıcaklıkları 75-175°C arasındadır. Şekil 9.34 - 9.35'te ise, Çamlıdere bölgesinde ÇT-1 nolu Ahatlar ÇMJ-1 ve ÇT-4 nolu AÇT-2 Muzrupağacın sondaj sularına uygulanan bu yöntemde mineral denge sıcaklıkları 75-100°C arasındadır.

Sıcak su kaynaklarının özellikle silikat minerallerinin ve silis formlarının bu yöntemde uygunluk göstermeleri, Kızılcahamam ve Çamlıdere sularının akifer litolojisinin silikatlı kayalardan oluşmasından kaynaklandığını açıklamaktadır. Ayrıca, volkanik kayaların altında yer alan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları da derin dolaşımli sıcak suların hazne kayacını oluşturmaktadır.

## 10. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Su kaynaklarının etkin ve faydalı kullanımı, bu kaynakların beslenme bölgelerinin belirlenmesi ve çalışma prensiplerinin anlaşılması ile mümkündür. Hidrojeoloji alanında yapılan çalışmaların en önemlilerden birisi de yeraltı suyu dolaşım yaşının belirlenmesidir.

Çevresel izotoplar doğada doğal olarak oluşan izotoplardır. Çevresel izotoplardan su moleküllerini oluşturan hidrojen ve oksijen izotopları, hidrojeolojik sistemde su ile birlikte hareket ettiklerinden ve kimyasal süreçlerden çoğunlukla etkilenmediklerinden, ideal birer izleyici durumundadır.

Tez kapsamında kullanılan çevresel izotoplar  $^{16}\text{O}$  (Oksijen-16) ve  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  (Döteryum),  $^{12}\text{C}$  ve  $^{13}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  (Tritiyum) ve  $^{14}\text{C}$ 'dür. İzotoplar kaynakların beslenme kotu ve alanı, farklı suların karışımlarının belirlenmesi ve sıcak suların akifer içerisindeki sıcaklığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hidrojeolojik sistemin davranışlarının araştırılmasında izotopik verilerden de yararlanılmıştır.

Çalışma alanında izotop analizi yapmak amacıyla yağış örnekleri alınamamıştır. Ancak, alanda belirli kotlardan boşalan ve güncel yağıştan beslenen, debisi düşük (çoğunlukla 1 l/s'nin altında), kurak mevsimlerde ise debisi oldukça düşen ve yağışların artmasıyla tekrar akışa geçen soğuk su kaynaklarından yararlanılmıştır. Clark ve Fritz (1997)'e göre, kaynakların bulunduğu kot/alan ortalama yıllık yağışları temsil etmektedir.

### 10.1 Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanındaki su noktalarından seçilen sıcak ve mineralli su kaynakları ile birlikte soğuk su kaynakları ve yüzey sularından örnekleme çalışmaları IAEA tarafından belirlenen örnekleme kurallarına uygun olarak Kasım 2013, Nisan 2014 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, daha önceki yıllarda yapılan Kasım 1992 ve Mayıs 1993 tarihlerindeki analizlerden de faydalanılmıştır (Canik ve Pasvanoğlu 1990). İzotop

analiz sonuçları ile örneklerin yerinde ölçülen fizikokimyasal analiz sonuçları çizelge 10.1-10.4'te verilmiştir.

### 10.1.1 Oksijen-18 - döteryum ilişkisi

Yağışların kararlı izotop değişimlerine neden olan etkiler; mevsimsel, karasal, enlem, miktar ve yüksekliktir. Suyun yeryüzündeki döngüsüne bağlı olarak gelişen buharlaşma, yağış, erime ve yüzey akış olaylarının her biri oksijen-18 ve hidrojen izotoplarını etkilemektedir. Bu nedenle hidrojeolojik döngünün karmaşıklığına karşın  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerlerindeki değişim takip edilebilmektedir (Clark ve Fritz 1997).

Jeotermal suların  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  oranı soğuk sulara oranla daha yüksektir. Bu durum, jeotermal su içeren hazne kayaç ile jeotermal su arasındaki izotopik değişim sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu tür ortamlarda hazne kaya ile jeotermal su arasında izotopik denge bulunmaz. Bu nedenle de kayaç ile su arasında ortamın sıcaklığına da bağlı olarak izotop alışverişi olmaktadır. Bu süreç genellikle oksijen izotopları için etkili olurken, hidrojen izotopları için daha çok etkilidir. Çünkü rezervuar kayaçların H içeriği jeotermal suların H izotoplarını değiştirmeyecek kadar azdır (Clark ve Fritz 1997).

Oksijen izotopları için alışveriş derecesi oksijenin kaya ve sudaki görelî miktarlarına, başlangıçtaki  $\delta^{18}\text{O}$  miktarına ve sıcaklığa bağlı su ile mineral arasındaki farklılaşma faktörü ve suyun minerale temas yüzeyi ve süresine bağlıdır. Bu alışveriş olayı düşük sıcaklıklarda önemsenmeyecek kadar yavaş ve az olurken, yüksek sıcaklıklarda hızlanmakta ve  $\delta^{18}\text{O}$ 'in sulara yükselmesine, kayaçlarda ise düşmesine neden olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, su noktalarından toplanan toplam 51 örnekte trityum ve 60 örnekte ise  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotop analizleri yapılmıştır (Çizelge 10.1-10.4).

Çizelge 10.1 Kızılcahamam bölgesi sıcak sularının izotop verileri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/ örnekleme yükseltisi (m)
KT-1	K.Hamama KHD-1 sıcak su sondajı	06.11.1992	77,6	2550	-11,89	-88,00	1,30	•	7,12	950
		24.05.1993	75	2000	-11,93	-90,45	3,38	0,69	•	•
KT-2	K.Hamam MTA-1 sıcak su sondajı	06.11.1992	76,5	2500	-11,86	-90,03	1,20	•	4,85	1000
		24.05.1993	76,5	2200	-11,97	-92,86	4,12	1,02	•	•
KT-3	Acısu Dere As-koop mineralli su kaynağı	06.11.1992	23,9	1700	-11,15	-81,45	1,30	•	7,75	1100
		24.05.1993	21	1800	-11,26	-86,31	7,88	1,07	•	•
KT-4	Acısu Dere Çamlık mineralli su kaynağı	06.11.1992	21,6	3700	-11,09	-86,36	1,00	•	2,36	1030
		24.05.1993	21,5	3000	-11,28	-86,22	3,63	0,64	•	•
		8.4.2014	35	5043	•	•	0,55	0,29	•	•
KT-5	Acısu Dere Sıcak ve mineralli su kaynağı	06.11.1992	32	3650	-11,09	-86,84	0,60	•	1,88	1100
		24.05.1993	31	3500	-11,11	-86,84	2,26	0,63	•	•
KT-71	MTA-1A sıcak su sondajı	5.11.2013	70	3460	-11,37	-81,62	0,08	0,35	9,34	990
		8.4.2014		3300	-11,40	-83,45	•	•	•	•
KT-8	AL-1 sıcak su sondajı	5.11.2013	81	3030	-11,35	-82,56	0,14	0,29	8,24	961
		8.4.2014		2560	-12,26	-90,66	•	•	•	•
KT-9	IHL-2 sıcak su sondajı	5.11.2013	70	3240	-11,37	-81,23	0,67	0,38	9,73	961
		8.4.2014		2980	-11,26	-84,32	•	•	•	•
KT-10	KHJ-1 sıcak su sondajı	5.11.2013	70	3520	-11,19	-84,38	0,17	0,36	5,14	990
		8.4.2014		3310	-11,30	-84,40	•	•		•

Çizelge 10.1 Kızılcahamam bölgesi sıcak sularının izotop verileri (devam)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/ örnekleme yükseltisi (m)
KT-11	KHJ-3 sıcak su sondajı	5.11.2013	70	3000	-11,88	-88,20	0,18	0,36	6,84	990
		8.4.2014		2900	-11,92	-90,43	•	•	•	•
KT-12	Seyhamam kadınlar sıcak su kaynağı	06.11.1992	42,8	1029	-12,11	-89,63	1,30	•	7,25	1030
		24.05.1993		1200	-12,27	-90,38	5,17	1,03	•	•
En yüksek					-11,09	-81,23	7,88	1,07	9,73	
En düşük					-12,27	-92,86	0,08	0,29	1,88	
Ortalama					-11,55	-86,66	2,05	0,59	6,40	



Çizelge 10.2 Çamlıdere bölgesi sıcak sularının izotop verileri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/Örnekleme Yükseltisi (m)
ÇT-1	ÇMJ-1 sıcak su sondajı	5.11.2013	42,4	3240	-11,26	-74,42	0,62	0,27	15,66	1029
		9.4.2014		3016	-11,67	-82,74	-0,29	0,27	•	•
ÇT-2	ÇMJ-2 sıcak su sondajı	5.11.2013	27,3	1405	-11,32	-84,52	-1,28	0,28	6,04	1029
		9.4.2014		1669	-12,21	-86,13	-1,28	0,28	•	•
ÇT-4	AÇT-2 sıcak su sondajı	5.11.2013	37,4	2460	-12,34	-86,43	0,40	0,34	12,29	1062
		9.4.2014		2090	-12,50	-87,40	0,16	0,34	•	•
ÇT-5	Muzrupağacın sıcak su kaynağı	5.11.2013	24,5	373	-11,50	-85,27	0,16	0,31	6,73	1150
ÇT-6	Sarıkavak Uyuz hamamı kaynağı	5.11.2013	28	330	-11,45	-77,73	0,21	0,32	13,87	1016
		1.4.2014		410	-11,80	-78,50	0,85	0,33	•	•
ÇT-7	Sarıkavak köyü Ilıca kaynağı	5.11.2013	24,8	390	-11,30	-77,27	0,05	0,34	13,13	1100
		9.4.2014		385	-11,80	-79,20	0,05	0,34	•	•
ÇT-8	Sarıkavak Kökderesi sıcak su kaynağı	5.11.2013	21,5	372	-11,30	-74,30	0,11	0,27	16,1	1077
		9.4.2014	20	398	-11,32	-78,11	0,11	0,27	•	•
ÇT-9	Tatlık maden suyu kaynağı	5.11.2013	21	2250	-12,22	-86,52	0,32	0,33	11,24	1035
		9.4.2014		1816	-12,80	-88,20	0,32	0,33	•	•
ÇT-10	Atça mineralli su				•	•	5,17	•	•	
ÇT-11	Atça mineralli su kaptajı	5.11.2013	10	3550	-11,88	-85,43	0,63	0,33	9,61	1122
				3520	•	•	•	•	•	•
ÇT-12	Ahatlar Deresi sıcak su kaynağı	9.4.2014	23	1650	•	•	5,70	0,39	•	1032
En yüksek					-11,26	-74,30	5,70	0,34	16,1	
En düşük					-12,80	-88,20	0,05	0,27	6,04	
Oralama					-11,79	-82,01	0,39	0,30	11,63	

Çizelge 10.3 Kızılcahamam bölgesi soğuk sularına ait izotop verileri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/ örnekleme yükseltisi (m)
KS-1	Ağsak köyü meydan çeşmesi	9.4.2014	14	108.2	-11,19	-74,70	0,90	0,32	14,82	1364
KS-2	Acısu Dere Necip Usta kaynağı	06.11.1992	11	311	-10,24	-74,13	10,20	•	7,79	1000
KS-3	Ağsaklar yolu pınarı	9.4.2014	8,6	586	-10,56	-70,43	0,90	0,37	14,05	1265
KS-4	Kızılcahamam çıkışı pınarı	9.4.2014	10	107	-10,05	-67,74	2,28	0,35	12,66	964
KS-5	Bardakçılar-Ömer Coşkun kaynağı	9.4.2014	9,5	135,4	-10,29	-70,62	6,79	0,48	11,70	1300
KS-6	Eğriliören kaynağı	8.4.2014	10,9	237	-11,16	-74,41	5,80	0,44	14,87	1421
KS-7	Ağaçlı pınar kaynağı	8.4.2014	11,6	109,4	-11,76	-76,26	•	•	17,82	1566
KS-8	Eğerliören göl suyu	8.4.2014	12,8	196	-8,71	-64,44	•	•	5,24	1634
KS-9	Köy pınarı göl suyu	8.4.2014	8,6	58,1	-11,60	-76,80	•	•	•	1677
KS-10	Karaoluk köy pınarı	8.4.2014	11,1	111,6	-11,49	-76,85	•	•	15,07	1473
KS-11	Köy pınarı	8.4.2014	10,9	134,5	-10,87	-73,38	2,28	0,36	•	1252
KS-13	Kavaközü kaynağı	9.4.2014	13	123,9	-10,95	-74,75	2,47	0,40	13,58	1198
KS-14	Javsu suyu	9.4.2014	10,2	186	-11,29	-74,42	0,93	0,29	15,9	1023
KS-15	Kızılcahamam yolu Valilik pınarı	9.4.2014	9,5	154,8	-10,53	-69,70	6,50	•	14,54	1005
KS-17	Seyhamam Ayvacık Kirazlı Deresi	5.11.2013	10	145,4	-10,54	-71,58	8,20	0,48	12,74	1231

Çizelge 10.3 Kızılcahamam bölgesi soğuk sularına ait izotop verileri (devam)

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/ örnekleme yükseltisi (m)
KS-19	Seyhamam soğuk su kaynağı	06.11.1992	13,7	175	-11,43	-83,68	4	•	7,76	1250
		24.5.1993		175	-11,45	-81,71	12,69	1,12	•	•
KS-20	Millipark soğuk su kaynağı	06.11.1992	9	119	-11,37	-84,12	8,20	•	6,84	•
		24.5.1993		110	-11,21	-81,89	15,39	1,15	•	•
KS-21	Koca Dere	06.11.1992	10,8	139	-11,10	-79,70	6,60	•	9,10	920
		24.5.1993		200	-11,32	-80,61	17,48	0,77	•	•
	En yüksek				-8,71	-64,44	17,48	1,15	17,82	
	En düşük				-11,76	-84,12	0,90	0,32	5,24	
	Ortalama				-10,91	-75,32	6,56	0,54	12,15	

Çizelge 10.4 Çamlıdere bölgesi soğuk su kaynaklarına ait izotop verileri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰SMOW)	$\delta\text{D}$ (‰SMOW)	T(TU)	T(Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/Örnekleme yükseltisi (m)
ÇS-1	Çavuşoğlu pınarı	6.11.2013	11	73,30	-11,13	-73,61	7,79	0,50	15,43	1664
ÇS-2	Kösyayla pınarı	5.11.2013	8	374	-10,56	-69,56	6,43	0,48	14,92	1453
ÇS-3	Aluç Pınar Ayağı kaynağı	6.11.2013	9	125	-11,27	-73,67	5,68	0,46	16,49	1696
ÇS-4	Örenköy yaylası kaynağı	5.11.2013	11	180	-11,23	-73,34	1,34	0,36	16,50	1363
ÇS-6	Ahatlar soğuk su kaynağı	9.4.2014	12	86	-10,69	-69,10	6,27	0,42	16,42	1102
ÇS-7	Sarıkavak Velibey kaynağı	8.4.2014	13	733	-9,49	-66,94	4,71	0,37	8,98	1122
ÇS-8	Ulupınar Hatipler kaynağı	4.11.2013	13,6	109	-11,77	-79,24	5,85	0,44	14,92	1400
ÇS-10	Muzrupağacın soğuk su kaynağı	5.11.2013	9	364	•	•	0,95	0,28	•	1090
ÇS-11	İsmail Çiçekçi kaynağı	6.11.2013	8	93,50	-11,37	-74,90	7,28	0,50	16,06	1676
ÇS-13	Alakoç ölü pınarı	8.4.2014	9,6	101,80	-11,65	-76,86	7,36	0,47	16,34	1342
ÇS-14	Kavaklı Pınarı Ayağı	8.4.2014	4,8	111,30	-11,68	-75,99	5,67	0,44	17,45	1593
ÇS-15	Alakoç yaylası Ören Çörtlen pınarı	8.4.2014	9,8	95,90	-11,76	-76,85	•	•	17,07	1527
ÇS-16	Yaylabaşı pınarı	8.4.2014	5,9	71	-11,90	-78,46	•	•	16,74	1669
ÇS-17	Mezarlık pınarı	8.4.2014	8,9	106,40	-11,98	-78,35	•	•	17,49	1313
ÇS-18	Göl suyu	8.4.2014	13	58,10	-8,21	-64,38	•	•	1,30	1353

Çizelge 10.4 Çamlıdere bölgesi soğuk su kaynaklarına ait izotop verileri (devam)

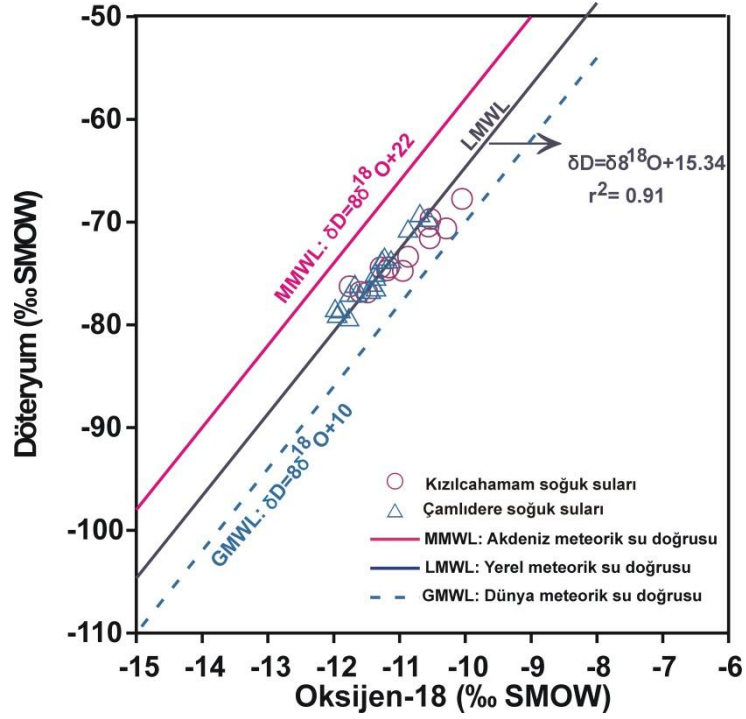
Örnek No	Örnek Adı	Tarih	T(°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	δD (‰SMOW)	T(TU)	T (Hata)	Döteryum fazlası	Boşalım/örnekleme yükseltisi (m)
ÇS-19	Avdan köyü kaynağı	8.4.2014	15,6	509	-10,93	-76,08	•	•	11,36	1446
ÇS-20	Kayalar Erenler sırt kaynağı	8.4.2014	9,3	50,40	-10,87	-70,61	•	•	16,35	1395
ÇS-21	Çamkoru Tabiat Parkı kaynağı	8.4.2014	7,9	97,20	-11,36	-76,34	•	•	14,54	1422
ÇS-22	Aşağıovacık çeşme kaynağı	9.4.2014	7,6	139,70	-11,36	-75,28	4,63	0,42	15,6	1481
ÇS-23	Aşağıovacık çayır pınarı	9.4.2014	9,1	267	-11,41	-75,88	4,50	0,41	15,4	1501
ÇS-26	S.Hayrat pınarı	9.4.2014	6,7	69,80	-11,44	-76,58	4,70	0,41	14,94	1623
ÇS-27	Çamkoru Göleti	9.4.2014	12,6	89,90	-7,21	-57,38	•		0,30	1374
ÇS-28	Güneyköy İlca	4.11.2013	22	180	-11,95	-78,91	0,28	0,32	16,69	
En yüksek					-7,21	-57,38	7,79	0,50	17,49	
En düşük					-11,98	-78,91	0,28	0,28	1,30	
Ortalama					-10,96	-73,55	4,89	0,41	14,14	

İnceleme alanı ve dolayında yerel meteorik su doğrusu bugüne kadar belirlenmemiştir. Bu çalışmada inceleme alanındaki soğuk su kaynaklarından buharlaşmaya maruz kalmayan örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  içeriğinden yararlanarak yerel meteorik su doğrusu elde edilmiştir. İnceleme alanında elde edilen yerel meteorik su doğrusu (LMWL);

$$\delta\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 15,34 \quad (10.1)$$

denklemini ve 0.91 korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir (Şekil 10.1).

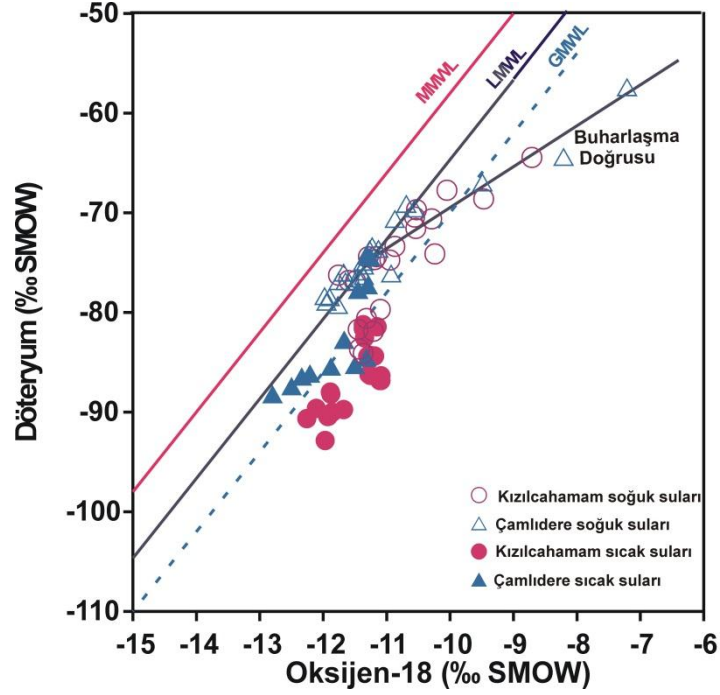
Şekil 10.1’de görüldüğü gibi, inceleme alanının yerel meteorik su doğrusu, Gat ve Carmi (1970) tarafından oluşturulmuş olan Akdeniz meteorik su doğrusuna (MMWL) ( $\delta\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22$ ) yakın konumda yer almaktadır. Bu durum, bölgede yüksek buharlaşma etkisine sahip atmosferik su buharınca oluşan yağışların baskın olduğunu göstermektedir. Başka bir ifade ile, bölgenin güneyinden gelen yağmur bulutları, inceleme alanında meydana gelen yağış rejimini oluşturmaktadır. Bu demektir ki, bu bölgedeki yağışların kaynaklandığı denizel ortamdaki buharlaşma dünya ortalamasına göre daha düşük nem içeriğine sahip olan bir ortamdan geldiğini göstermektedir (Clark ve Fritz 1997). Çamlıdere bölgesinin İç Anadolu Bölgesi’ne (Kızılcahamam) komşu olması ve Karadeniz’e uzaklığı nedeniyle Karadeniz Bölgesi’nin nemli karakterini almasını engellemiştir. Çalışma alanı, yarı kurak ve az nemli bir iklim tipine girmektedir.



Şekil 10.1 İnceleme alanının (Kızılcahamam ve Çamlıdere) oksijen-18 ve döteryum grafiği

Kurak ve yağışlı döneme ait suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve döteryum ilişkisi grafiğinde buharlaşma ve yağışın miktar etkilerinin mevsimsel olarak değiştiği görülmektedir. Sulardaki buharlaşma, yağışın süzülme kuşağından geçişi sırasında da gerçekleşmektedir.

Kızılcahamam ve Çamlıdere'ye ait sıcak suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  içeriklerine (Şekil 10.2) bakıldığında bunların yaklaşık aynı kotlardaki beslenme alanlarına sahip oldukları anlaşılmaktadır. Sıcak suların izotop içerikleri hemen hemen birbirine yakın değerler olarak grafta aynı bölgede toplanmaktadır. Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularının Çamlıdere sularına oranla yeraltında daha uzun yol katetmeleri nedeniyle izotopik olarak daha fazla zenginleştikleri (exchange) görülmektedir (Şekil 10.2).



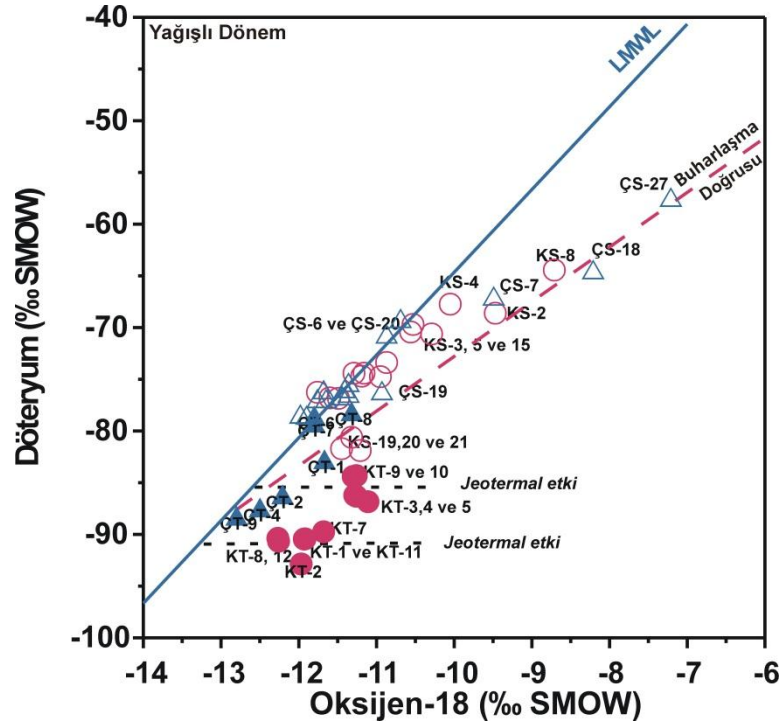
Şekil 10.2 Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgesindeki tüm sular için oksijen-18 ve döteryum grafiği (kurak ve yağışlı dönem)

Çalışma alanına ait bütün örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$ -döteryum ilişkisi Şekil 10.3'te gösterilmiştir. Tez kapsamındaki sıcak sular soğuk sulara nazaran daha yüksek kotlardan beslenen, ancak Kızılcahamam bölgesindeki sıcak sular Çamlıdere sıcak sularına nazaran meteorik doğrunun sağında yer almakta olup, beslenme kotları kendi içinde değişmektedir. Nitekim çalışma alanının ortalama yüksekliği, Ankara'nın topoğrafik kotundan yaklaşık olarak 500 m daha fazladır.

Kızılcahamam (KT-1, KT-11, KT-10) sondaj suları, Çamlıdere (ÇT-2) sıcak sondaj suları, Kızılcahamam Acısu Dere'deki (KT-4 ve KT-5) kaynaklar ve Çamlıdere Muzrupağacın ve Sarıkavak sıcak ve mineralli su (ÇT- 5, 6, 7 ve 8) kaynakları yüzey altı (sıcak sular yükselirken kırık-çatlak vastasıyla yüzeye yakın yerde atmosfere doğru ısı kaybı nedeniyle) buharlaşma, Kızılcahamam soğuk suları ise daha çok yüzeydeki buharlaşma etkisini göstermektedir.







Şekli 10.4 Yağışlı döneme ait tüm suların  $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$  grafiği

Yine bu grafikte, Kızılcahamam Acısu Dere'deki KT-3 ve KT-4 nolu mineralli suları ve bu kaynağın batısındaki KT-5 nolu sıcak suları ve Kızılcahamam sondaj suları Çamlıdere sularından farklı bir alanda ve  $\delta^{18}\text{O}$  izotopu bakımından zenginleştikleri görülmektedir. Sıcak suların  $\delta^{18}\text{O}$  içeriğindeki zenginleşme, sıcaklığın etkisiyle su-kayaç etkileşimi sonucunda kayaç ve yeraltı sularındaki izotopik yer değiştirme sürecidir. Ancak, kayaçlarda çok düşük oranlarda hidrojen bulunduğundan,  $\delta^2\text{H}$  izotopu yönünden önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Çamlıdere'de Ahatlar ve Muzrupağacın (ÇT-1, ÇT-2 ve ÇT-4) sıcak sondaj suları ile Sarıkavak Kök Deresi sıcak su kaynağı (ÇT-8) ve Tatlak maden suyu kaynakları (ÇT-9) buharlaşma doğrusu üzerine düşmektedir. Sarıkavak Kök Deresi sıcak suyunun (ÇT-8) boşalım noktasında yaklaşık  $1,5 \text{ m}^2$  lik kaynak alanı oluşması, buharlaşma için uygun bir ortam oluşturmuştur. Tatlak maden suyu (ÇT-9) ile Ahatlar sondaj sularında  $\text{NO}_3$  değeri sırasıyla 1,0 ve 1,82 mg/l olduğundan hem buharlaşma hem de yüzey sularından kirlenmeye maruz kaldığı anlaşılmıştır.

Çamlıdere Sarıkavak Velibey kaynağı (ÇS-7), Avdan köyü kaynağı (ÇS-19) soğuk su kaynakları ile ÇS-18 ve ÇS-27 nolu göl sularında buharlaşma etkisi daha yüksektir. ÇS-7 nolu kaynağın kuyu şeklinde kaptajı yapılarak işletilmektedir. Bu bakımdan, ÇS-7'nin buharlaşma doğrusu üzerine düşmesi olağandır.

Diğer meteorik soğuk sular Lokal Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer almakta olup, bunlarda buharlaşma etkisi görülmemektedir. Bu durum, yağış sularının yüzeyde buharlaşmaya fırsat bulamadan kısa sürede süzülerek kaynaklara ulaştığını göstermektedir.

Duraylı izotoplardan döteryum ile oksijen-18 arasındaki ilişkiyi tahmin edilmektedir. Örneklerdeki döteryum fazlası (Dangard 1964) kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi ve beslenme alanları belirlenebilmektedir (Ekmekçi 1992). Döteryum fazlası, meteorik su doğrusu denkleminde ( $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$ ) hesaplanabilmektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki tüm örnekler için hesaplanan döteryum fazlası (Df), Çizelge 10.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, Kızılcahamam Acısu Dere sıcak ve mineralli su kaynağı ile Çamlıdere'deki Çamkoru Tabiat Parkı göl suyunda Df sırasıyla 1,88 ve 0,3 olup, çok düşük değerlerdedir. Diğer sulara döteryum fazlası daha yüksek değerler almaktadır. Aynı yağış rejiminden etkilenen suların  $\delta Df$  oranları da birbirine yakın olacaktır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak sularındaki Df ise, iki yağış tipinin ara değerini temsil etmektedir. Bu da, sıcak suların iki farklı yağış rejiminin birleştiği alanlardaki yağışlardan beslendiklerini göstermektedir.

Çamlıdere jeotermal sahası için beslenme yükseltisi 995-2040 m arasında olup, yükseltisi az olan alanlar baraj çevresinde yoğunlaşmıştır. En yüksek nokta ise Yaylalar Krateri güneybatısındaki Mahye Tepesidir (2040 m). Kızılcahamam jeotermal sahası kaynaklarının beslenme yükseltisi ise 945 m ile çalışma alanı dışında kalan ve yaklaşık 2000 m yüksekliğe sahip olan Işık Dağı arasındadır. Çamlıdere'den kuzeye ve batıya gidildikçe artan topoğrafik yükseklik güneye doğru azalmaktadır (Şekil 3.2).

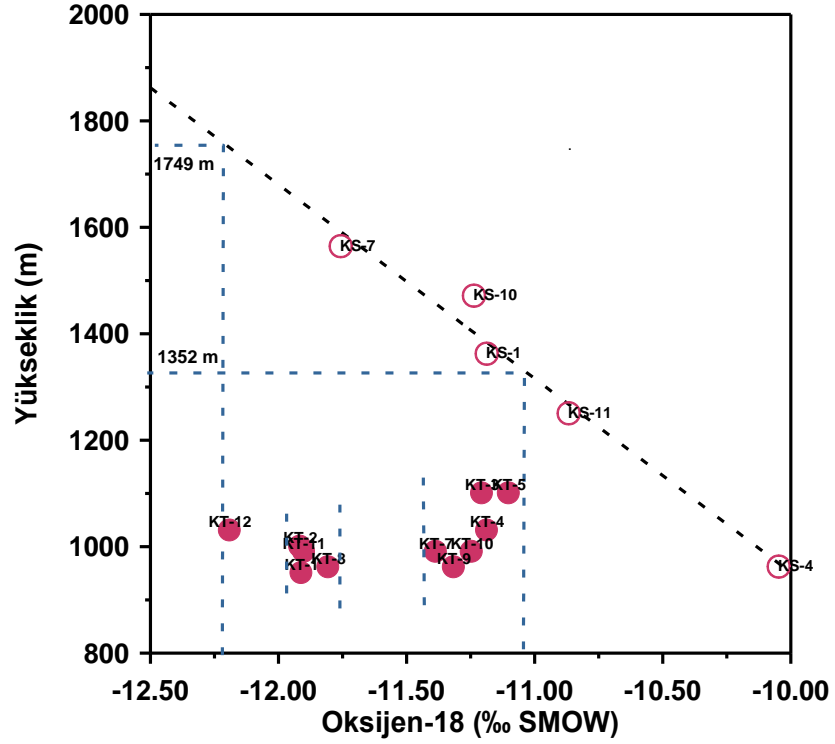
Ayrıca, çalışma alanında sıcaklık ve yağış dağılımı açısından da, doğusu ile batısı arasında aylık ortalama toplam yağış ve sıcaklık açısından farklılıklar görülmektedir. 1970-1990 yılı (21 yıllık) değerlerine göre çizilen eş yağış haritasında, yağış miktarları KB'dan GD'ya doğru artmaktadır (Şekil 3.4). Bunda yükseltinin de etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla, Çamlıdere'den Kızılcahamam'a doğru yükselti ve yağış miktarı artmaktadır.

### 10.1.2 Oksijen 18-yükseklik ilişkisi

Oksijen 18'in yeraltısuyundaki bileşimi beslenme anından boşalım noktasına kadar izotopik farklılaşmaya neden olacak bir süreç (buharlaşma, karışım vb.) gerçekleşmediği sürece beslenme anındaki değerini korumaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalarla, Oksijen-18 içeriğinin coğrafi konum, enlem, yağış miktarı, denize olan uzaklık ve topografik yükseklik ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir (Payne ve Dinçer 1965).

Genel olarak her 100 m'lik yükseklik artışına karşılık  $^{18}\text{O}$  içeriğindeki azalma hesaplanabilmektedir (Clark ve Fritz 1997). Literatürde her 100 m için  $\delta^{18}\text{O}$  değişimini, Karakuş vd. (2005) Efteni (Düzce) sahası için yapılan çalışmada % 0,27, Demiroğlu (2007) Eskişehir-Sivrihisar Günyüzü havzası için yapmış olduğu çalışmada ise % 0,32 olarak belirlemiştir. Yine, Apaydın (2002) tarafından Beypazarı trona sahası için yaptığı çalışmada bu azalmanın % 0,44/100 m olduğunu belirlemiştir. Oksijen-18 izotopunun bu özelliğinden yararlanılarak sıcak su kaynaklarının beslenme alanı yükseklikleri tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, yer altı suyunun  $\delta^{18}\text{O}$  içeriğinin topografik kot ile değişiminden hareketle beslenme alanı yükseltileri bulunabilmektedir.

Kızılcahamam bölgesinde  $\delta^{18}\text{O}$ 'un yükselti ile değişimi için, buharlaşmadan fazla etkilenmeyen KS-1, KS-4, KS-7, KS-10 ve KS-11 örnekleri dikkate alınmıştır (Şekil 10.5).



Şekil 10.5 Kızılcahamam jeotermal alanındaki su kaynaklarının  $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik grafiği

Kızılcahamam çalışması için oluşturulan  $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ilişkisinde;

$$h(\text{m}) = -364.333 \times \delta^{18}\text{O} - 2691.871 \quad (10.2)$$

( $r^2=0.970$ ) olarak hesaplanmıştır.

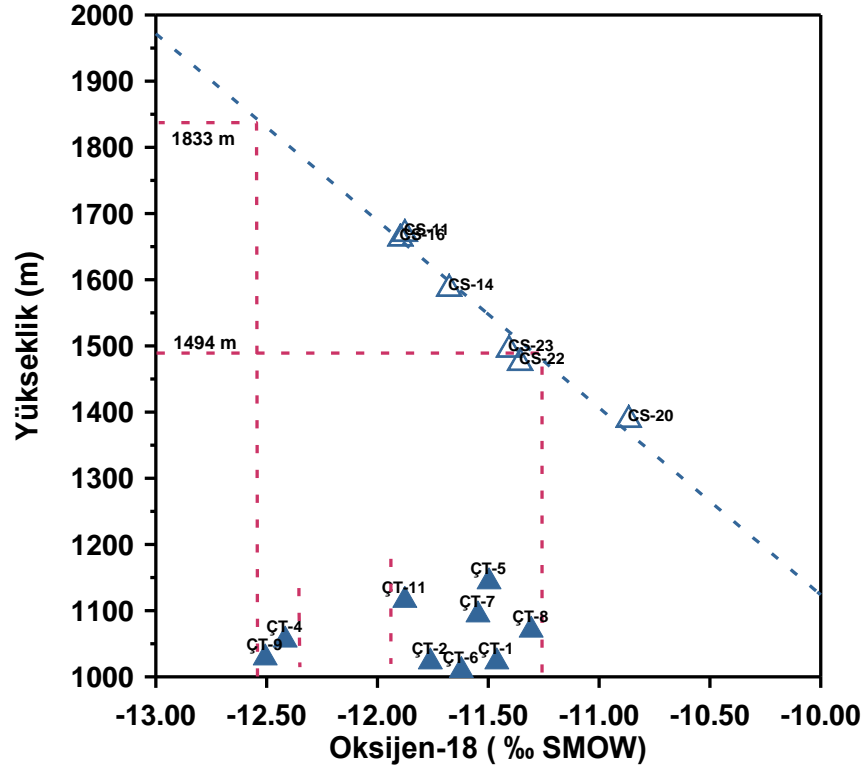
Böylece, Kızılcahamam yöresinde her 100 m topografik kot artışında  $\delta^{18}\text{O}$  izotopu ‰ 0.27 civarında azalmaktadır. Bu değer Karakuş vd. (2005)'nin bulduğu sonuçlarla benzerdir. Kızılcahamam ve dolayında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının iki dönemlik izotop analiz sonuçları ortalamasına göre 11.2 nolu bağıntı ile hesaplanan beslenme alanı yükseltisi 1353-1749 m kotları arasındadır (Çizelge 10.5).

Çizelge 10.5 İnceleme alanındaki su kaynaklarının  $\delta^{18}\text{O}$  ile belirlenen ortalama beslenme alanı yükseltileri

No	Ort. $\delta^{18}\text{O}$ (‰SMOW)	Boşalım Yükseltisi (m)	Ort. $\delta^{18}\text{O}$ Beslenme Yükseltisi (m)	Fark (m)
<b>Kızılcahamam</b>				
KT-1	-11,91	950	1647 - 1650	697
KT-2	-11,91	1000	1649 - 1650	649
KT-3	-11,20	1100	1390 -1400	290
KT-4	-11,18	1030	1384 -1400	353
KT-5	-11,10	1100	1352 -1350	252
KT-6	-	-	-	-
KT-7	-11,38	990	1456 -1460	466
KT-8	-11,80	961	1609 -1610	648
KT-9	-11,31	961	1430 -	469
KT-10	-11,24	990	1405 -1400	415
KT-11	-11,90	990	1644 -1640	653
KT-12	-12,19	1030	1749 - 1750	719
<b>Çamlıdere</b>				
ÇT-1	-11,46	1029	1538 -1540	508,9
ÇT-2	-11,76	1029	1623 - 1600	593,7
ÇT-4	-12,42	1062	1808 - 1810	745,8
ÇT-5	-11,50	1150	1548 - 1550	397,7
ÇT-6	-11,62	1016	1583 - 1590	567,1
ÇT-7	-11,50	1100	1562 - 1560	461,9
ÇT-8	-11,31	1077	1494 -1500	417,1
ÇT-9	-12,51	1035	1833 -1830	798,2
ÇT-11	-11,88	1122	1655 - 1660	533,2

Elde edilen verilere göre, sıcak su kaynaklarının bölgedeki yüksek kesimlere düşen yağışlardan beslendiği görülmektedir. Kızılcahamam jeotermal kaynaklarının çalışma alanı dışında ve Kızılcahamam'ın KD'sunda yer alan yaklaşık 1965-2034 m arasında değişen ve Ankara'nın en yüksek dağı olan Işık Dağı'ndan ve Kızılcahamam'ın batısındaki Aluç Dağı T. (1849 m)'sinden beslenebilecekleri anlaşılmıştır. Bununla birlikte, Işık Dağı'nda yüzeyleyen Miyosen yaşlı volkanitlerin ve Kretase yaşlı (kumtaşı, şeyl, kireçtaşı, tuf) birimlerin olması nedeniyle yağıştan süzülmelerin alansal olarak farklı litolojileri katettiği anlaşılmaktadır.



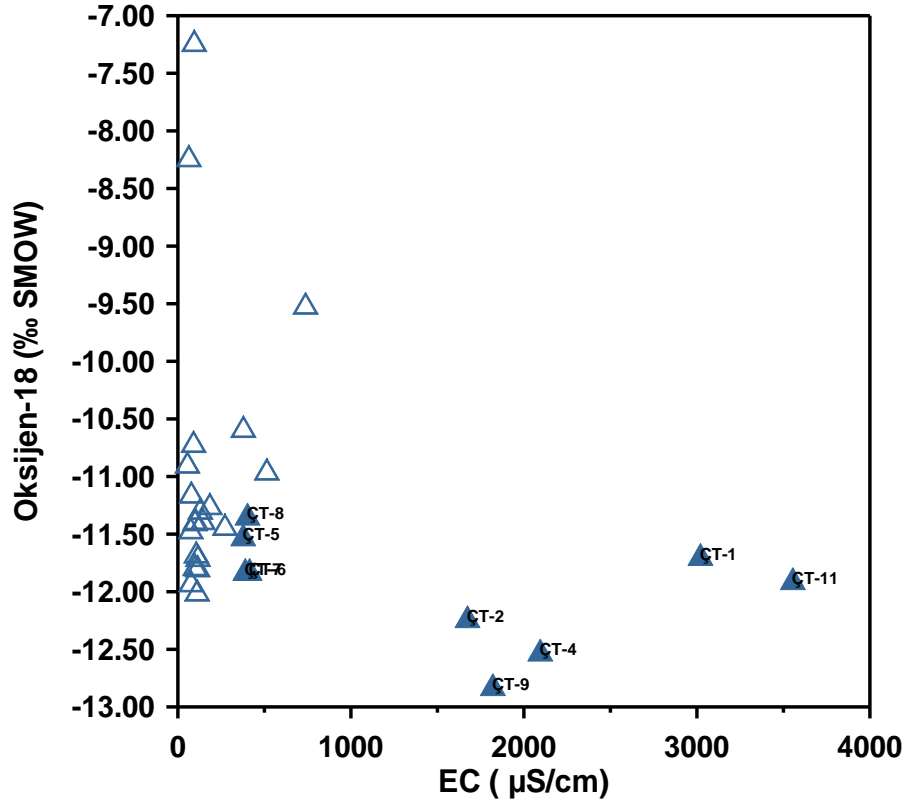


Şekil 10.7 Çamlıdere alanındaki su kaynaklarının  $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik grafiği

Denkleme göre, Çamlıdere sahasında her 100 m kot artışına karşılık  $\delta^{18}\text{O}$  izotopu ‰ 0.34 olarak azalmıştır. Bu değer Demiroğlu (2007)'nin bulduğu sonuçla hemen hemen aynıdır. 11.3 nolu bağıntı ile genel olarak, Çamlıdere'de yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının iki dönemlik izotop analiz sonuçları ortalamasına göre hesaplanan beslenme alanı yükseltisi 1494-1833 m kotları arasındadır (Çizelge 10.5).

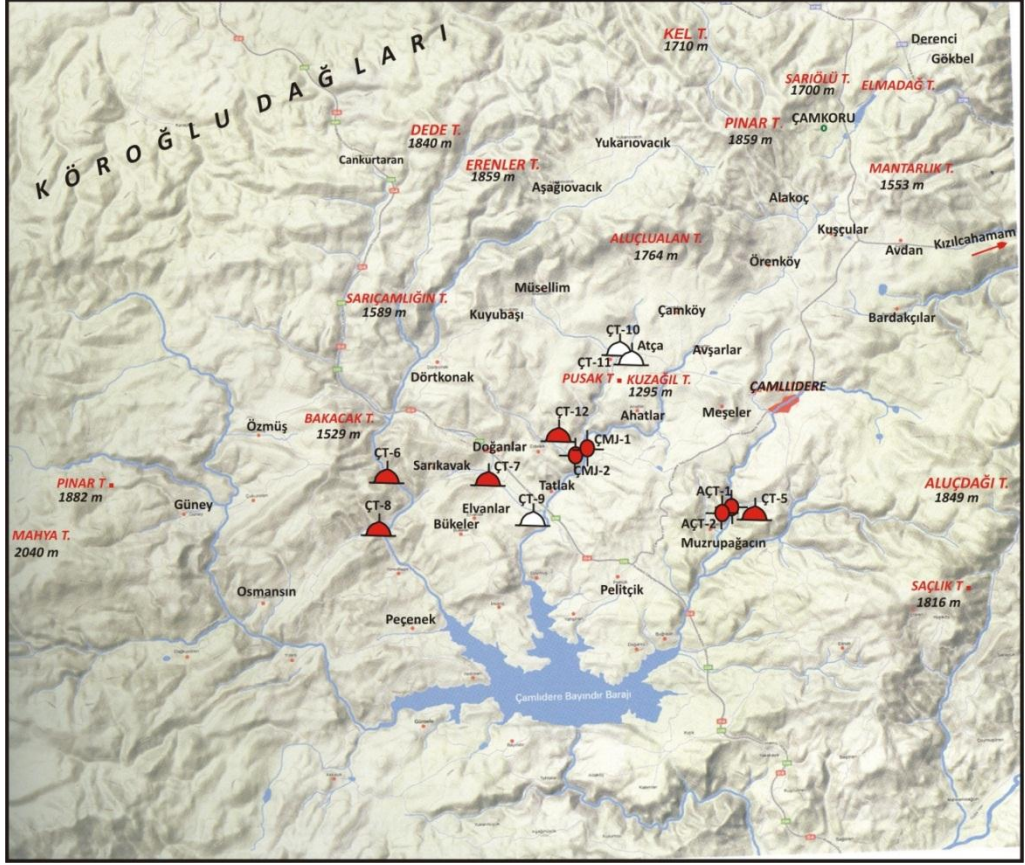
Çizelgede görüldüğü gibi Muzrupağacın'da yer alan ÇT-4 nolu AÇT-2 sondaj kuyu suları ile ÇT-9 nolu Tatlak maden suyu kaynağı gerek EC değeri, gerekse beslenme yüksekliği göz önüne alındığında, aynı beslenme alanı yükseltisine sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 10.8).





Şekil 10.8 Çamlıdere sularına ait  $\delta^{18}\text{O}$  - EC grafiği

Çamlıdere'deki sıcak ve mineralli suları Çamlıdere ilçe merkezinin güneydoğusunda yer alan ve 1849 m yüksekliğindeki Aluçdağı T., ve yine 1859 m yükseklikte bulunan Örenköy'in kuzeyindeki Pınar T. ve Çamlıdere'nin KB'sındaki Aşağıovacık köyünün yaklaşık KB'sındaki Erenler (1859 m) ve Dede (1840 m) T., ayrıca çalışma alanı dışında kalan Çamlıdere'nin batısındaki Pınar (1882 m) ve Mahya (2040 m) T. sinden beslenebilecekleri tahmin edilmektedir (Şekil 10.9). Bununla birlikte, adı geçen tepelerde yüzeylenen Miyosen yaşlı andezitik ve bazaltik birimlerin olması nedeniyle yağıştan süzülmelerin farklı litolojik ortamlarda gerçekleştiği anlaşılmaktadır.



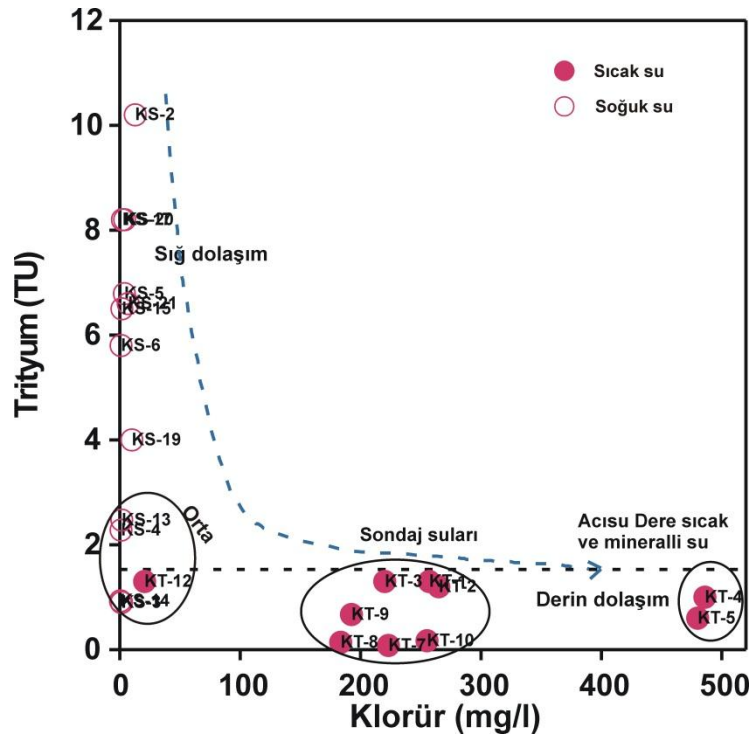
Şekil 10.9 Çamlıdere sıcak ve mineralli su kaynakları ve beslenme alanları (Erdoğan 2012'den değiştirilerek)

### 10.1.3 Trityum-klorür ilişkisi

Trityum ( $^3\text{H}$ ), yarılanma ömrü 12,33 yıl olan hidrojenin radyoaktif bir izotopudur (Clark ve Fritz 1997). Trityum hidrodinamik sisteme yağış ile girmektedir. Bu nedenle yeraltı suyunu besleyen yağışın trityum içeriklerinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun akifer içinde ne kadar süre kaldığı belirlenebilmektedir (Mazor 1991).

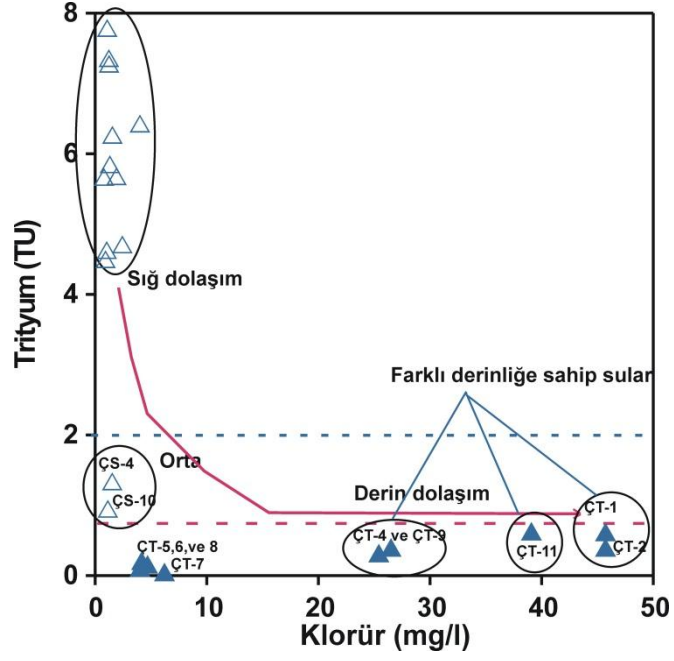
Trityum içeriği yağışın katıldığı dolaşımı ifade etmektedir. Trityumun azalması ile yeraltı suyunda bulunan klörür de artış göstermektedir. Bu nedenle suların mg/l cinsinden klorür değerleri ve trityum içerikleri baz alınarak grafikler çizilmiştir (Şekil 10.10 - 10.11).

Şekil 10.11 yeraltı sularının görelî dolaşım sistemleri konusunda bilgi vermektedir. Derin dolaşımli sıcak suların düşük trityum ve yüksek klorür içeriği ile sığ soğuk sulardan ayrıldığı görölmektedir. KT- 4 ve 5 nolu sular derin dolaşıma işaret ederken, sondaj suları (KT-1, 2, 6, 7, 8, 9 ve 10) orta - derin arasındır. KS-14 nolu Kızılcahamam Javsu ve KS-13, KS-3, KS-4 nolu sular diğer soğuk su kaynaklarına göre daha derin dolaşıma sahiptir (Şekil 10.11).

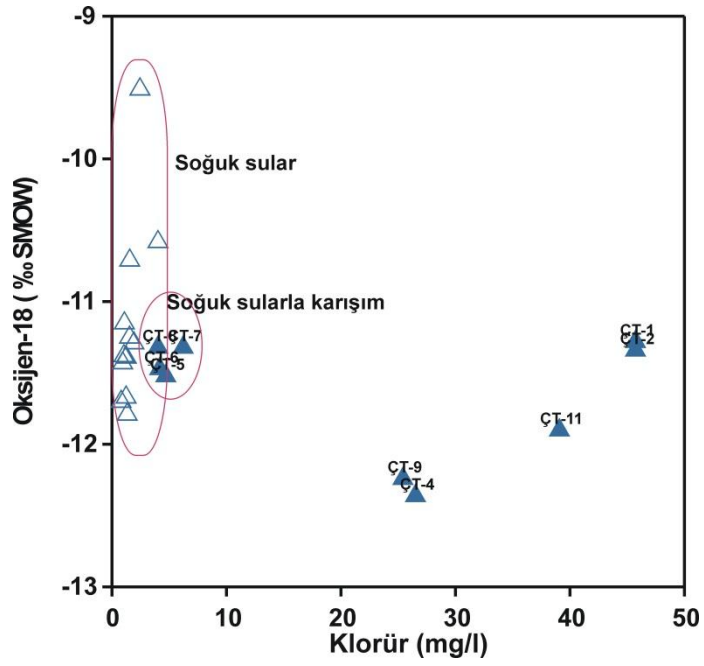


Şekil 10.10 Kızılcahamam sularının trityum- Cl ilişkisi

Çamlıdere'deki ÇT-1, 2, 4, 9 ve 11 nolu sıcak sular görelî olarak alanın daha yaşlı ve derin dolaşımli yeraltısuyu sistemini yansıtırken, ÇT- 5, 6, 7 ve ÇT-8 nolu Çamlıdere kaynak suları ise düşük trityum içerikleri ile derin dolaşıma, klörür bakımından ise sığ dolaşıma işaret etmektedir. Oksijen-18 - klorür grafiğinde, bu suların soğuk sularla karıştığı anlaşılmaktadır (Şekil 10.11 - 10.12). ÇS-4 ve ÇS-10 nolu sular dışındaki tüm soğuk sular yüksek trityum ve düşük klorür içerikleri ile sığ dolaşımli genç suları temsil etmektedir. ÇS-4 ve ÇS-10 nolu soğuk kaynak suları ise orta dolaşımli sulardır (Şekil 10.10).



Şekil 10.11 Çamlıdere sularına ait trityum- klorür ilişkisi

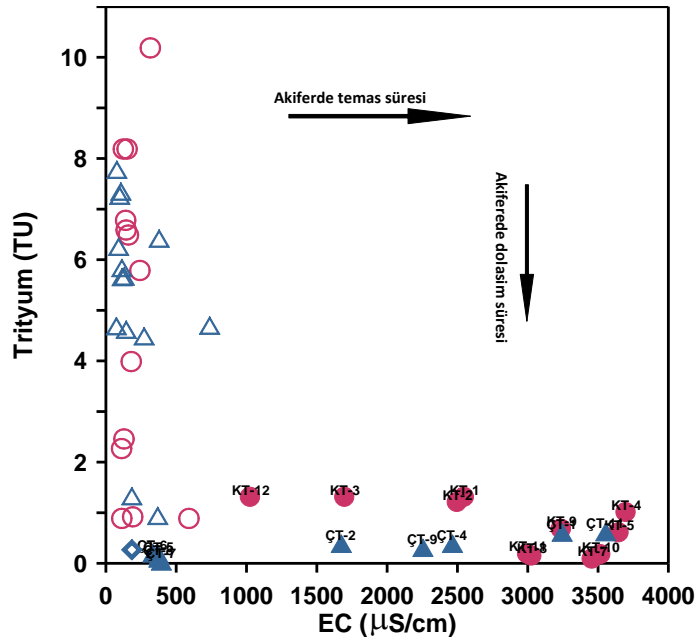


Şekli 10.12 Çamlıdere sularına ait  $\delta^{18}\text{O}$ - klorür ilişkisi

#### 10.1.4 Trityum - EC ilişkisi

Yeraltı suları akım yolu boyunca akiferi oluşturan kayalarla kimyasal reaksiyona girerek iyonlarca zenginleşmektedir. İyon içeriği suların akiferde kalış süresine ve litolojiye bağlı olarak artmaktadır. Diğer taraftan, trityum izotopu radyoaktif izotop olması nedeniyle, yeraltı suyunun dolaşım sisteminin ve bağlı yaşlarının ortaya konmasında önemli bir parametredir. Şekil 10.13’de inceleme alanındaki sular için Trityum-EC grafiği çizilmiştir.

Kızılcahamam sıcak ve mineralli suları Çamlıdere sıcak suları gibi düşük TU değerine, ancak daha yüksek Cl<sup>-</sup> ve EC değerlerine sahip sulardır.



Şekil 10.13 Suların trityum- EC ilişkisi

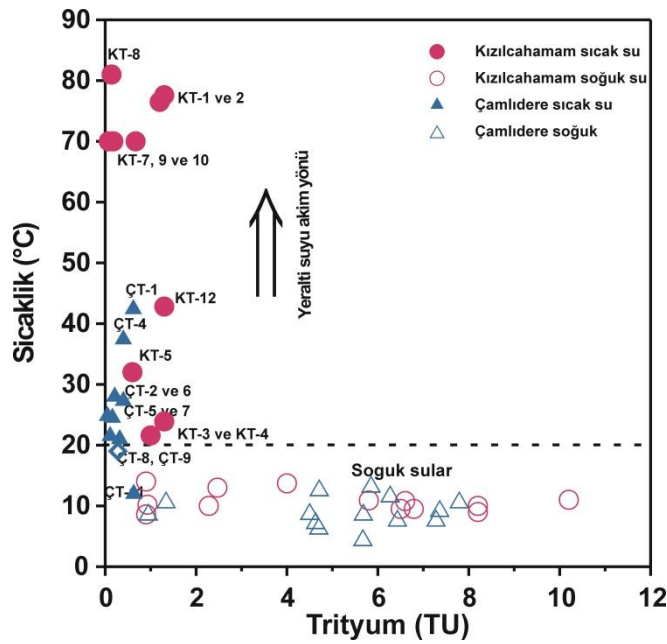
Ayrıca, Kızılcahamam suları daha yüksek kotlardan beslenen,  $\delta^{18}\text{O}$ 'i düşük, boşalma kadar çok daha uzun bir yol kat etmelerinden dolayı klorür değerleri daha yüksektir. Çamlıdere sıcak ve mineralli suları ise, yüksek kotlardan beslenen, trityum değerine göre derin dolaşım, ancak EC, Cl<sup>-</sup> ve izotopik değerlerine göre Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularıyla kıyaslanırsa, yeryüzüne yükselmeleri sırasında sistemin ısını

koruyacak geçirimsiz örtü olmaması nedeniyle soğuk sularla daha fazla karışan, yeraltı geçiş süresi daha kısa olan sulardır. Ahatlar ve Muzrupağacı'nda yapılan ÇT-1, ÇT-2 ve ÇT-4 nolu sondaj verileri de sığ ve derin suların karışabileceğini doğrulamaktadır. Kızılcahamam ve Çamlıdere soğuk suları yüksek  $\delta^{18}\text{O}$ , yüksek trityum, düşük klorür ve düşük EC değerlerine sahip olan, daha kısa sürede kaynak olarak yeryüzüne döndükleri anlaşılmıştır.

### 10.1.5 Trityum-sıcaklık ilişkisi

Tez sahasına ait tüm su örneklerinin trityum ve sıcaklık ilişkisi Şekil 10.14'te verilmiştir. Şekil 10.14'te Kızılcahamam sıcak ve mineralli su sondaj kuyularının yüksek sıcaklığa ve düşük trityum içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Çamlıdere'de yer alan sıcak ve mineralli su kaynak ve sondaj suları Kızılcahamam sondaj sularına oranla daha düşük sıcaklığa ve benzer trityum içeriğine sahiptirler.

Çalışma alanındaki tüm soğuk su kaynakları ise yüksek trityum içeriğine sahip sığ dolaşımli sulardır. Soğuk su kaynaklarının ortalama trityum içeriği 5,77 T.U'dur.



Şekil 10.14 Suların trityum-sıcaklık ilişkisi

### 10.1.6 Karbon ( $^{13}\text{C}$ ) izotopu çalışmaları

Son yıllarda  $\delta^{13}\text{C}$  izotopu bölgesel sistemler, beslenme bölgesi-köken, jeokimyasal reaksiyon modelleri ve yeraltı suyunun yaşının belirlenmesi gibi problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Yeraltına süzülen su topraktaki  $\text{CO}_2$ 'yi çözerken  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{CO}_3^{2-}$  iyonlarına ayrışır. Çözünmüş inorganik karbon bileşikleri (DIC)'nin dağılımı pH'a bağlı olarak değişmektedir. Suyun asitliğine (pH) bağlı olarak DIC ve  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB) değişimi de farklılık göstermektedir (Clark ve Fritz 1997). Yeraltı suyundaki DIC ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  akiferlerde ayrışma reaksiyonları sırasında yüksek değerlere ulaşmaktadır. Kapalı ya da açık sistem şartlarına ve akifer malzemesinin silikat veya karbonat oluşuna bağlı olarak reaksiyonlar gelişmektedir. Tamamen silikatlı akiferlerde DIC oluşmaz, ancak karbonatlı akiferlerde kalsit veya dolomit çözünerek DIC gelişir. Bu tür karbonatlar genellikle  $\delta^{13}\text{C}$  bakımından zengindir ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 'in gelişiminde etkilidir (Clark ve Fritz 1997). Yeraltı sularında çözünmüş inorganik karbon  $\text{C}_{\text{DIC}}$  ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  akiferdeki veya topraktaki ayrışma reaksiyonları sonucu gelişmektedir.

Sulardaki karbonun kökenini belirlemek için Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal bölgesinden seçilen 11 adet örneğin  $\delta^{13}\text{C}$  içerikleri analiz edilmiştir.  $\delta^{13}\text{C}$  analizleri çözünmüş inorganik karbon (DIC) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki  $\delta^{13}\text{C}$ 'ün kökeninin sulardaki karbonun kökenine benzer olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 10.6). Bölgedeki kuyu ve sıcak su kaynağı örneklerinde  $\delta^{13}\text{C}$  izotop değerleri PDB'ye göre -10.8 ile 10.9 arasındadır (Şekil 10.15). Kızılcahamam bölgesi sularında  $\delta^{13}\text{C}$  değeri Acısu Dere Çamlık (KT-5) ve Çamlıdere bölgesindeki Tatlak (ÇT-9) dışındaki sıcak sularda pozitif değerlerdedir.

Çizelge 10.6 Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak suları ile Kızılcahamam travertenlerinin izotop analiz sonuçları (KT ve ÇT: Su örneği, Tr: Traverten örneği)

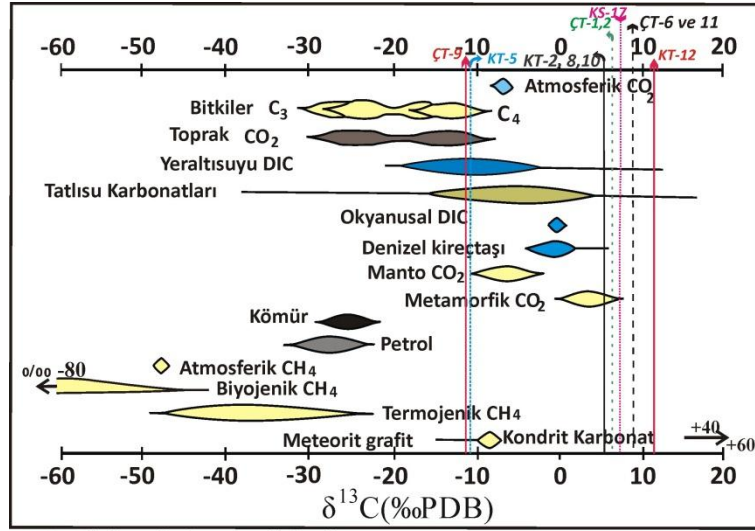
Su Örneği	Örnek kodu	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} (\text{‰})$	$\text{HCO}_3 (\text{mg/l})$
	KT-2	4,8	1525
	KT-5	-10,5	2276
	KT-8	4,9	1531
	KT-10	4,9	1644
	KT-12	10,9	1000
	KS-17	6,2	158,02
	ÇT-1	5,6	2172
	ÇT-2	5,6	2150
	ÇT-4	7,3	1603
	ÇT-5	5,3	240
	ÇT-6	8,2	233,54
	ÇT-7	6,1	210,30
	ÇT-9	-10,8	1385,57
	ÇT-10	9,9	1390
ÇT-11	8,3	2155	
Traverten	Seyhamam	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} (\text{‰})$
	Tr-1	6,8	-11,0
	Tr-2	6,3	-10,0
	Acısudere	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} (\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} (\text{‰})$
	Tr-3	8,7	-11,6
Tr-4	7,2	-10,2	

Bu değerler denizel karbonat ve bir miktar metamorfik kayaç kökenlerine ait değerlerle kabuksal CO<sub>2</sub> değerlerinin sınırları içinde kalmaktadır (Şekil 10.15). Bu demektir ki, belli aralıklarla tekrarlanan volkanizmanın etkisiyle kabuksal kökenli CO<sub>2</sub> gaz ve/veya volkanik kökenli CO<sub>2</sub> asidik çözeltinin de getirmiş olmuştur. Kızılcahamam Acısu Dere sıcak ve mineralli su (KT-5: -10,5 ‰) ve Çamlıdere Tatlak maden suyu (ÇT-9: -10,8‰) örneklerinin karbon izotop bileşimleri oldukça negatif değerler göstermekte ve organik kökeni yansıtmaktadır.

Soğuk su kaynaklarında tatlı su karbonatları ve yeraltı suyunda çözünen inorganik karbon etkilidir. Düşük mineral içerikli bu sulardaki karbon inceleme alanındaki Pliyosen yaşlı karbonatlı göl çökellerinin çözünmesi ve/veya yeraltındaki gözeneklerde birikmiş olan CO<sub>2</sub> gazının çözünmesi sonucu sulara geçmiş olabileceği



düşünülmektedir. Sıcak suların karbon-13 içeriği, derinlerdeki denizel karbonatlarla ve çalışma alanının temelini oluşturan metamorfik kayalarla temas halinde olduğuna işaret etmektedir.



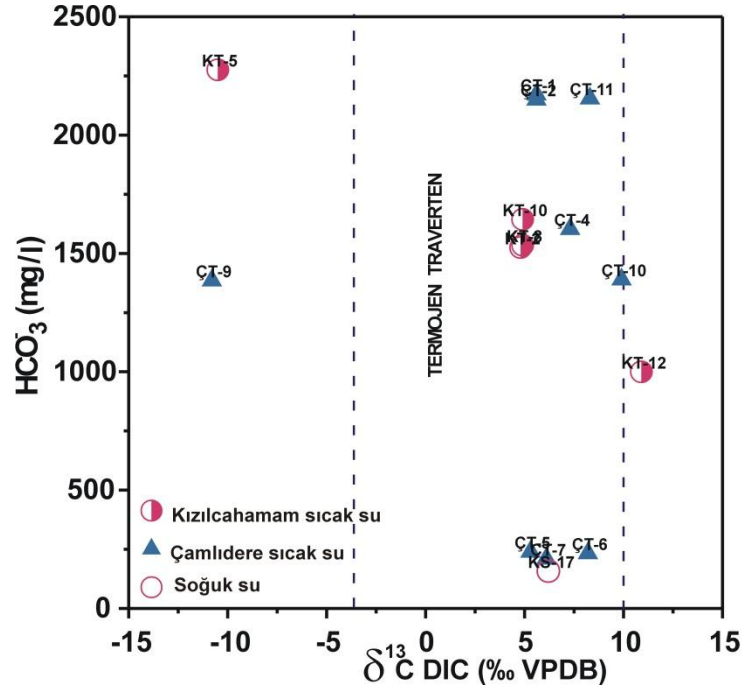
DIC: Çözünmüş inorganik karbon

PDB : Amerika, Güney Karolina, Peedee Formasyonun Belemniti

Şekil 10.15 Farklı karbon kaynaklarının  $\delta^{13}\text{C}$  aralıkları (Clak ve Fritz 1997)

Çalışma alanındaki sulara  $\text{HCO}_3^- - \delta^{13}\text{C}_{\text{vpdb}}$  ilişkisi incelenmiştir (Şekil 10.16).  $\text{Na}^+$  ve  $\text{HCO}_3^-$ 'ca zengin Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularında  $\delta^{13}\text{C}_{\text{vpdb}}$  değerlerinin yüksek olması  $\text{HCO}_3^-$ 'in ortamdan ayrılmasıyla  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  değerlerinin artmış olduğu söylenebilir.

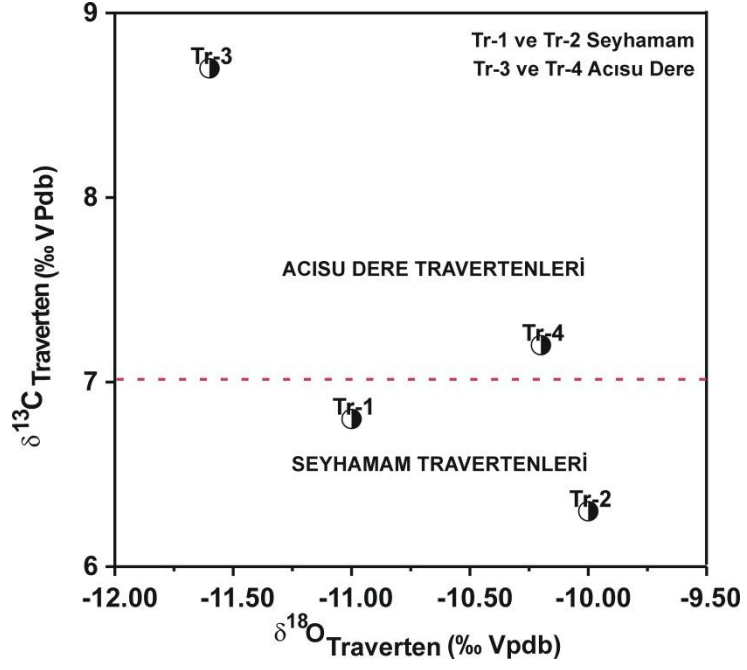
Kızılcahamam Acısu Dere ve Seyhamam bölgesi özellikle sıcak ve mineralli su kaynakları ile traverten oluşumları nedeniyle önemli bölgelerdir. İnceleme alanındaki travertenlerden alınmış örneklerin  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  izotop analizleri Çizelge 10.6'da gösterilmiştir. Kızılcahamam traverteninin  $\delta^{13}\text{C}$  değeri 6,8‰ ile 8,7‰ arasında olup, Pentecost (2005) sınıflamasına göre termojen tipi traverten türündedir. Termojen traverten, nispeten yüksek sıcaklıktaki kaynaklardan çökelen ve yüksek sedimentasyon oranına sahip, organik madde içeriği az olan masif yapıyla tanımlanmaktadır (Pentecost 1995).



Şekil 10.16 Suların  $HCO_3^-$  -  $\delta^{13}C$  diyagramı

Genel olarak termojen travertenleri tektonizma ve volkanik aktivite ile ilişkilidir. Bunlar yüksek inorganik karbon içeriğine sahip olup,  $\delta^{13}C$  izotop değeri -3 ile +10 ‰ arasındadır (Pentecost 2005).

Derin dolaşıma sahip olan Acısu Dere sıcak su dolayındaki traverten örnekleri yüksek  $\delta^{13}C$  içeriği, sığ dolaşıma sahip Seyhamam traverten örneği ise düşük  $\delta^{13}C$  içeriğine sahiptir. Buna göre, sıcak suların akım yolu boyunca akiferdeki karbonatlı kayaçların çözünmesine bağlı olarak  $\delta^{13}C$  içeriği artmaktadır. Derin dolaşıma sahip Acısu Dere sıcak suyunun yüksek karbon-13 içeriğine sahip olması, temelde yer alan mermerlerle bağlantılı olabileceğine işaret etmektedir. Seyhamam sıcak su travertenlerinde  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^{13}C$  değerleri daha düşük olup, sığ dolaşıma işaret etmektedir (Şekil 10.17).



Şekil 10.17 Kızılcahamam travertenlerine ait  $\delta^{13}\text{C}$ -  $\delta^{18}\text{O}$  diyagramı

## 11. JEOTERMOMETRE ÇALIŞMALARI

Rezervuarda yeraltı suyu sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan jeotermometreler yeni jeotermal sahaların araştırılmasında ve mevcut jeotermal sahaların potansiyellerinin tahmininde oldukça faydalıdır.

Jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi de kimyasal jeotermometreler ile jeotermal kaynakların yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayanır ve su-kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir. Bu jeotermometrelerden sayısal kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe ve iyon değişimine dayalı olarak geliştirilmiştir (Giggenbach 1988).

Sıcak suların yeraltındaki dolaşımı sırasında, dokanakta bulunduğu kayaçlarla baz değişimine uğraması, ısı alış veriş, soğuk yeraltı suları ile karışması ve akiferi örten ve atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtünün olup olmaması akiferin sıcaklığını etkileyen en önemli faktörlerdir. Suların temas ettiği kayaçlarla temas süresi, temas yüzeyi, akım hızının az veya çok olması, bunun yanında debisinin az ya da çok olması da yeraltı sularının sıcaklığı ve kimyasal bileşimini etkilemektedir (Şahinci 1991).

Fournier (1979a), sıcak suların yeryüzüne doğru düşük bir hızla yükselmesi ve yüzeye ulaşmadan önce sığ derinliklerde bir bölümünün hareket yönünü değiştirmesi veya yatay yönde akış kazanmasının termal suyun ısınıcı kondüktif olarak kaybetmesine ve yan kayaçlar tarafından soğutulması ile sonuçlanacağını belirtmiştir. Kondüktif soğuma sonucunda, suyun bileşimi büyük oranda aynı kalır. Bu tür soğuma çeşitli derinliklerde meydana gelebilmektedir. Sıcak sular derinlerde veya yeryüzüne yükselmesi sırasında ani basınç değişimi nedeniyle kaynama veya soğuk yeraltı sularının karışması sonucu da soğuyabilmektedir. Soğuk yeraltı suları ile karışan sıcak sular seyrelmenin etkisiyle ilksel bileşimini kaybeder ve sıcaklığı azalır (Fournier 1979b, Truesdell 1991). Truesdell (1991) kondüktif soğuma etkisinin sığ rezervuarlardan yükselen veya sığ derinliklerde yatay akış gösteren sular için daha fazla olduğuna dikkat çekmiştir. Sıcak suların yeryüzüne yükselmesi görel olarak hızlı olduğunda su kimyasının değişimi çok

daha yavaş olacak ve bu nedenle yavaş gelişen tepkimelerle (Na-K ve Na-K-Ca gibi) yeniden denge durumunu yansıtmayacak, ancak K-Mg gibi sadece hızlı tepkimelere dayalı olanlar göreceli bir değişim göstereceklerdir.

Katyon jeotermometrelerin temeli iyon alış-veriş reaksiyonlarına dayanmaktadır. Kimyasal tepkimelere ait denge sabitinden yararlanarak reaksiyonun oluşum sıcaklığı hesaplanabilir. Katyonlar ( $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ - $\text{Ca}^{+2}$ - $\text{Mg}^{+2}$ ) arasında meydana gelen bu tür iyon değişimi reaksiyonlarına bağlı olarak bir çok araştırmacı tarafından, bir çok ampirik jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir. Söz konusu eşitliklerden bazıları çizelge 11.1'de verilmiştir.

Silis jeotermometresi ise, kuvars çözünürlüğüne bağlı olup  $150^\circ\text{C}$  ile  $225^\circ\text{C}$  sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedir. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak sulara hızlı silis çökelişi (silisin çözünürlüğü sıcaklıkla artmaktadır) gözlemlendiğinden  $225^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda iyi sonuç vermemektedir. Silis jeotermometreleri, kimyasal reaksiyonu etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Bu nedenle çeşitli sıcaklıklar için silis jeotermometreleri geliştirilmiştir (Çizelge 11.1). Bu çalışmada kullanılan silis jeotermometre bağıntıları ise çizelge 11.2 - 11.3'de sunulmuştur.

Sıcak ve mineralli suların rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi için kullanılan kimyasal jeotermometreler birbirleri ile uyumlu olmayan sonuçlar vermiştir. Kızılcahamam bölgesi için elde edilen jeotermometre sonuçlarının bir kısmı kaynak sıcaklığından daha düşük, diğer kısmı da çok yüksek değerler vermiştir. Fournier (1973) kuvars (buhar kaybı ve buhar kaybı olmadan) jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları kalsedon jeotermometreleri ile elde edilen sonuçlardan daha yüksektir (Çizelge 11.2).

Fournier (1973)'in belirttiği gibi  $180^\circ\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda silika çözünürlüğü kuvarstan ziyade kalsedon ve bazı durumlarda her iki mineral tarafından kontrol edilmektedir. Her iki kuvars jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklıklar ( $70,74^\circ\text{C}$  ile

129,98°C) ve (65,44°C ile 133,9°C) aynı aralıkta olup, aralarındaki fark  $\pm 4^\circ\text{C}$ 'dir. Kızılcahamam sıcak ve mineralli suları için kalsedon jeotermometreleri kullanarak hesaplanan, rezervuar sıcaklıkları ölçülen sıcaklıktan daha düşük veya bu sıcaklıktan çok az yüksek (KT-1 nolu sondaj suyu ve KT-12 ile KT-13 nolu Seyhamam sıcak su kaynakları) değerler vermektedir. Bu durum akışkanın rezervuarda kalsedonla denge halinde olmadığını açıklamaktadır. Buna ek olarak, suların yüzeye çıkışları sırasında, silika çökelmeleri veya soğuk sularla karışmaları da söz konusu olabilir.

Çamlıdere sıcak sularına uygulanan  $\alpha$ -Kristobalit (Fournier 1977) jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık değerleri  $70,35^\circ\text{C}$  ile  $106,67^\circ\text{C}$  arasında olup, kalsedon jeotermometre değerlerine yakındır (Çizelge 11.2). Kuvars buhar kaybı ve buhar kaybı olmadan (Fournier 1977) hesaplanan jeotermometre değerleri sırasıyla  $119,02^\circ\text{C}$  ile  $141,62^\circ\text{C}$  ve  $120,98^\circ\text{C}$  ile  $147,79^\circ\text{C}$  arasında değişen sıcaklık değerleri vermiştir. Her iki kalsedon (Fournier 1977) jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık değerleri ise sırasıyla  $93,80^\circ\text{C}$  ile  $128,51^\circ\text{C}$  ve  $92,64^\circ\text{C}$  ile  $132,68^\circ\text{C}$  arasında olup, kuvars jeotermometresi ile  $\pm 15^\circ\text{C}$ 'lik farkla daha düşük değerler vermektedir.

Çizelge 11.1 Sayısal değerlendirmede bazı kimyasal jeotermometre eşitlikleri

Jeotermometreler	Bağıntılar	Değinen Belgeler
1. SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)	$t = 731 / (4,52 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
2. SiO <sub>2</sub> ( $\alpha$ Kristobalit)	$t = 1000 / (4,78 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
3. SiO <sub>2</sub> ( $\beta$ Kristobalit)	$t = 781 / (4,51 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
4. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon buhar kaybı yok)	$t = 1032 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
5. SiO <sub>2</sub> (Kuars)	$t = 1309 / (5,19 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
6. SiO <sub>2</sub> (Kuars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5,75 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
7. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon buhar kaybı)	$t = 1182 / (5,09 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977
8. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, cond. soğ.)	$t = 1112 / (4,91 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
9. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon 100°C adyabatik buhar kaybı)	$t = 1264 / (5,31 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
10. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon buhar kaybı)	$t = 1021 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
11. SiO <sub>2</sub> (Kuars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4,9 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
12. SiO <sub>2</sub> (Kuars 100°C adyabatik buhar kaybı)	$t = 1498 / (5,7 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
<b>(t &lt; 250°C ve SiO<sub>2</sub> derişimi mg/l'dır)</b>		
13. Na/K	$t = 933 / (0,933 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983b
14. Na/K	$t = 1319 / (1,699 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorsson vd. 1983a
15. Na/K	$t = 777 / (0,70 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier ve Truesdell 1974
16. Na/K	$t = 856 / (0,857 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Truesdell 1976
17. Na/K	$t = 1217 / (1,483 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier 1979b
18. Na/K	$t = 1178 / (1,470 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Nieva ve Nieva 1987
19. Na/K	$t = 1390 / (1,750 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Giggenbach vd. 1983
20. Na/K	$t = 833 / (0,780 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Tonani 1980
21. Na/K	$t = 908 / (0,692 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier 1979a
<b>Na/K derişimleri mg/l, son eşitlikte ise mol/l</b>		
22. K/Mg (mg/l)	$t = 4410 / (13,95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273,15$	Giggenbach 1988
23. Na-K-Ca (mol/l)	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{Ca/Na} + 2,47}) - 273,15$	Fournier ve Truesdell 1973
24. Na-K-Ca (R) (mek/l) (Magnezyum düzeltmeli)	$R = (\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier ve Potter 1979
25. Li/Mg (mg/l)	$t = 2200 / (5,470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}^{0,5})) - 273,15$	Kharaka ve Mariner 1989
26. Na/Li (mg/l)	$t = 1590 / (0,779 + \log (\text{Na/Li})) - 273,15$	Kharaka vd. 1982

Çizelge 11.2 Kızılcahamam sıcak sularına ait jeotermometre sonuçları

Jeotermometre (°C)	KT-1	KT-2	KT-4	KT-5	KT-6	KT-7	KT-8	KT-9	KT-10	KT-12	KT-13
<b>T</b> Ölçülen sıcaklık	77,6	76,5	35	32	76	72	81	70	70	42,8	41,5
<b>T</b> Kuvars buhar kaybı yok (Fournier 1973)	106,46	113,84	91,83	101,02	123,25	123,25	121,19	133,92	125,25	68,93	65,44
<b>T</b> 100°C' de Kuvars buhar kaybı (Fournier 1973)	106,59	112,92	93,93	101,89	120,94	120,94	119,19	129,98	122,64	73,83	70,74
<b>T</b> Kalsedon, buhar kaybı yok (Fournier 1973)	76,87	84,86	61,20	71,02	95,11	95,11	92,86	106,85	97,30	37,07	33,43
<b>T</b> 100°C'de Kalsedon buhar kaybı ( Fournier 1973)	79,87	86,95	65,88	74,67	95,97	95,97	93,99	106,23	97,89	44,04	40,71
<b>T</b> Li/Mg (Kharaka ve Mariner 1989)	85,76	83,42	91,01	77,64	93,40	92,65	90,52	91,92	93,15	81,80	96,13
<b>T</b> K-Mg (Giggenbach 1988)	98,20	98,27	100,65	102,00	105,65	102,51	103,69	104,19	103,37	71,12	74,59
<b>T</b> Na-K-Ca (Fournier ve Truesdell 1973)	147,02	147,90	157,38	157,38	140,98	138,15	161,17	140,28	136,82	140,93	101,41
<b>T</b> Na/Li (Kharaka vd. 1982)	178,33	173,99	175,07	147,75	177,76	173,01	182,75	181,54	179,93	243,89	240,01



Çizelge 11.3 Çamlıdere sıcak sularına ait jeotermometre sonuçları

Jeotermometre (°C)	ÇT-1	ÇT-2	ÇT-3	ÇT-4	ÇT-5	ÇT-6	ÇT-7	ÇT-8	ÇT-9	ÇT-11	ÇT-12
<b>T</b> Ölçülen sıcaklık	41,7	27,3	40	37,4	25	28	25	20	23	12	23
<b><math>\alpha</math></b> Kristobalit (Fournier 1977)	74,31	106,67	95,76	72,02	86,71	71,11	70,35	82,09	86,37	79,79	97,26
<b>T</b> Kuvars buhar kaybı yok (Fournier 1973)	124,96	157,04	146,31	122,66	137,34	121,75	120,98	132,74	137,00	130,44	147,79
<b>T</b> 100°C'de Kuvars buhar kaybı (Fournier 1973)	122,40	149,32	140,38	120,45	132,87	119,67	119,02	128,98	132,58	127,04	141,62
<b>T</b> Kalsedon buhar kaybı yok (Fournier 1973)	96,99	132,68	120,62	94,47	110,64	93,47	92,64	105,55	110,26	103,01	122,28
<b>T</b> 100°C'de Kalsedon buhar kaybı (Fournier 1973)	97,62	128,51	118,16	95,41	109,52	94,53	93,80	105,09	109,20	102,88	119,58
<b>T</b> K-Mg (Giggenbach 1988)	126,93	105,72	103,74	100,69	79,85	86,90	67,97	71,64	108,30	111,44	108,77
<b>T</b> Na/Li (Kharaka vd. 1982)	115,03	121,53	127,57	132,49	103,93	119,50	125,95	146,96	50,61	116,70	124,85

Çamlıdere sıcak sularının sığ derinlikte dolaşmaları nedeniyle dengeye ulaşmadan yüzeye çıkışları sırasında, silika çökelmeleri veya seyreltik soğuk sularla karışmaları da söz konusu olabilir.

Na-K-Ca jeotermometrelerinin uygulanabilmesi için suların kimyasal yapısında yeni dengelerin kurulmamış olması gerekmektedir. Ancak, Kızılcahamam Acısu Dere ve Seyhamam sıcak sularının yüzeye doğru yükselirken karbonat çökelimleri sonucu kalsiyum miktarı azalmıştır. Ayrıca CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncı özellikle Mg<sup>+2</sup> gibi diğer bazı iyonlarla değişimin engellenmesi ve kaynama sırasında CO<sub>2</sub> kaybına bağlı olarak kalsit çökelişi gibi nedenler Na-K-Ca jeotermometresinin güvenilirliğini azaltmaktadır.

K-Mg (Giggenbach 1988) ve Li-Mg (Kharaka ve Mariner 1989) jeotermometresi ile elde edilen sıcaklık değerleri Kızılcahamam bölgesi için kuvars jeotermometre sıcaklık değerinden biraz daha düşük olup, sırasıyla 71,12°C ile 105,65°C ve 77,64°C ile 96,13°C arasındadır. K-Mg jeotermometresi (Çizelge 11.1, 22 no'lu eşitlik) ile Çamlıdere bölgesi kaynak suları için 67,97°C ile 111,44°C ve sıcak su kuyuları için ise 100,69°C ile 126,93°C aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 11.3).

Li-Mg jeotermometresi Kızılcahamam bölgesi için düşük sıcaklık değerleri vermektedir. Bunun nedeni, muhtemelen suların yükselmesi sırasında, kayaçları yıkayarak yüzeye çıkması ve Mg<sup>+2</sup>'un çözünürlüğünün azalan sıcaklık ile artmasıdır. Diğer bir deyişle, Mg<sup>+2</sup> sığ derinlikteki sularla denge koşulunu yansıtmaktadır. Bu nedenle, K-Mg jeotermometresi derin dolaşımli suların hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında iyi bir gösterge değildir.

Kharaka vd. (1982) jeotermal alanlarda Na ve Li içeriklerinin sıcaklıkla değişimi ve su-kayaç reaksiyonlarını inceleyerek sıcak sulardaki Cl<sup>-</sup> içeriğine bağlı olarak Na/Li jeotermometresini geliştirmişlerdir. Lityum minerallerinin doğada az rastlanır olmasından dolayı lityumun denge reaksiyonu sonucu sıcak akışkana girmesi genelde beklenemez. Ancak, sıcak akışkandaki lityum zenginleşmesi iyon değişimi ile açıklanabilir. Kharaka vd. (1982) tarafından önerilen ve Na/Li oranına dayalı

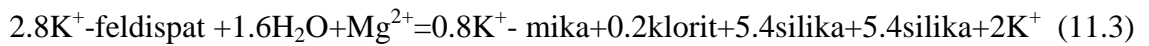
jeotermometre eşitliği (Çizelge 11.1, eşitlik 26) ile hesaplanan sıcaklık değerleri Çamlıdere sıcak suları için uygun sonuçlar vermiştir.

Kasyon jeotermometrelerinin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından grafiksel modeller geliştirilmiştir.

Giggenbach (1988) tarafından geliştirilmiş olan Na-K-Mg üçgen diyagramı, sıcak suların akifer sıcaklıklarının saptanması ve suların temasta olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiştir. Fournier (1990), bu diyagram üzerinde bazı yenilemeler yaparak, en güvenilir sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre uygulaması ile alınabileceğini öne sürmüştür. Diyagram su-kayaç ilişkisinin dengede olduğu, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular) ve su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu sular olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri “olgunlaşma indeksi”nin (MI-maturity Index),  $MI=2.0$  olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların bileşimiyle oluşmuştur.

$$\text{Olgunlaşma indeksi; } MI=0.315\text{Log}((K^2/Mg)-\text{Log}(K/Na)) \quad (11.1)$$

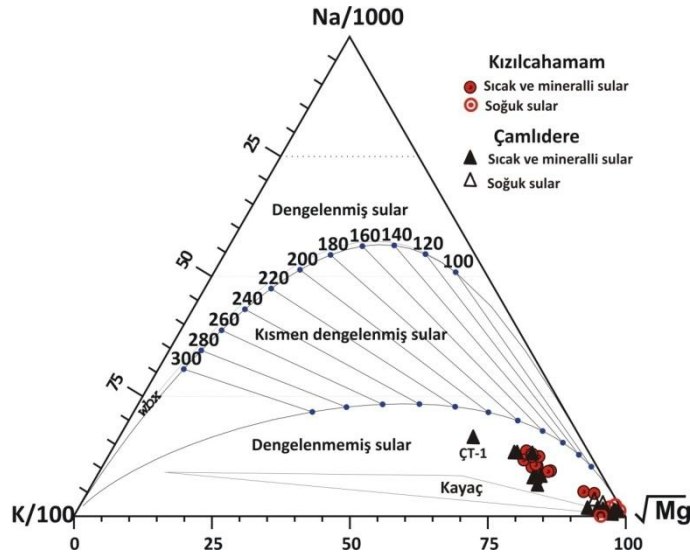
Na-K-Mg bileşimlerine göre çizilen bu diyagram, temel olarak sıcaklık bağımlı iki reaksiyona dayanır. Bunlar, K-feldispat, K-mika, silika, albit ve klorit mineralleri ile su arasındaki sıcaklığa bağlı denge reaksiyonlarıdır. Bu mineral parajenezleri ile suyun denge haline “tam denge” adı verilmiştir (Giggenbach 1988).



Bu denklemlerin denge sabitlerinden ilgili kasyonların sıcaklık bağımlı oranları bulunur, bunlardan  $t_{Kn}$ ; K-Na ve  $t_{Km}$ ; K-Mg kimyasal jeotermometrelerinin elde edilmesinde kullanılırlar. Diyagramda dengelenmiş sular su-kayaç ilişkisinin kısmen ve tamamen

dengede olduğu sınırları belirten eş kimyasal özellikteki noktaların oluşturduğu bir eğri ile ikiye ayrılmaktadır. Diyagramdaki bu bölümler K-Mg (Çizelge 11.1, eşitlik 22) ve K-Na (Çizelge 11.1, eşitlik 19) jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık (izoterm) değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğriyle birbirinden ayrılmıştır. Dolayısıyla diyagram su-kayaç ilişkisinin denge durumunu ve jeotermometre sonucunu göstermektedir.

Na-K-Mg Giggenbach üçgen diyagramına göre Kızılcahamam ve Çamlıdere’de yer alan sıcak ve mineralli sular, denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir (Şekil 11.1). Bu sular yüzeye çıkarken soğuk yeraltı suları ile karışımlarından dolayı yöredeki soğuk yeraltı sularının diyagramda düştükleri alanın çok yakınlarında yer alırlar. Bu nedenle katyon jeotermometre eşitlikleri ile belirlenen rezervuar sıcaklıklarının büyük bir kısmı güvenilir sonuçlar vermeyeceğinden (Giggenbach 1988) örnekleme alanlarında yer alan sıcak sular için katyon jeotermometrelerinin kullanılması yanıltıcı sonuçlar verecek, akiferin gerçek sıcaklığını yansıtmayacaktır.



Şekil 11.1 Giggenbach üçgen diyagramı

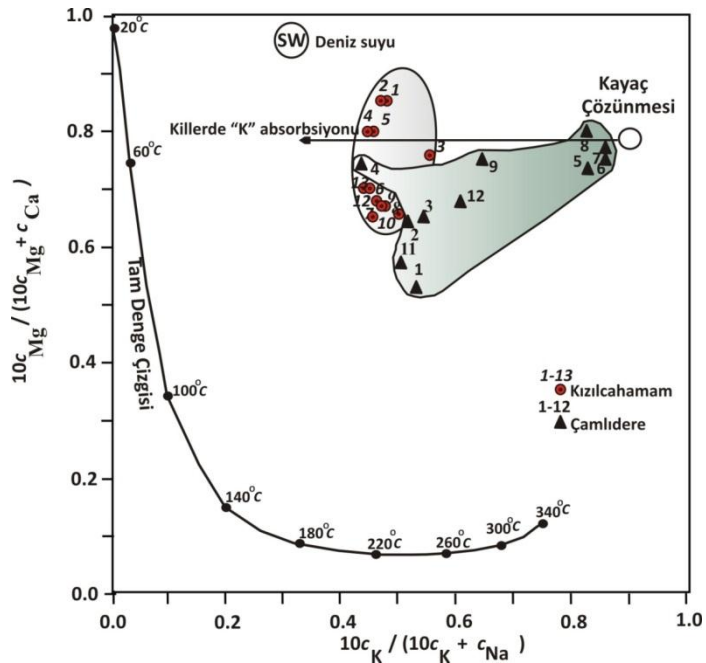
Giggenbach (1988)'in major katyonlara bağlı dörtgen diyagramı ise, temel katyonların aynı kimyasal re-kristalizasyona uğramış kayaçlardan sıcaklığa bağlı çözünmesi olayı,

suların yükselme sırasındaki buharlaşma, kondüktif soğuma, farklı kimyasal bileşime sahip farklı sıcak sularla karışması, baz değişimi (iyon alış veriş), çökelme ve farklı kalitede soğuk yer altı suları ile karışma-seyrelme gibi olaylar ile karmaşık bir durum gösteren  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$  ve  $K^{+}$  gibi katyonların birbirlerine göre ilişkilerini ele alarak değerlendiren bir yöntemdir. Bu diyagram sıcak ve mineralli sulardaki  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$  ve  $K^{+}$  iyon konsantrasyonlarının termodinamik açıdan tam denge halinde oldukları bir eğri ile ifade edilmektedir.

Na-K-Mg ve Ca diyagramının oluşturulmasında kullanılan formül;

$$10 \text{ Mg} / (10 \text{ Mg} + \text{Ca}) - 10 \text{ K} / (10 \text{ K} + \text{Na}) \quad (\text{Giggenbach 1988}) \quad (11.3)$$

Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal su bileşikleri bu diyagramda tam denge çizgisinden uzakta işaretlenmiştir, bu durum düşük sıcaklıkta oluşan kısmi su-kayaç dengesine işaret eder (Şekil 11.2). Aşağıdan yükselen jeotermal akışkan, içinden geçtiği kabuksal kayaca ait mineralleri tam anlamıyla çözemediğinden grafikte kayaç çözümü çizgisi yakınında yer almaktadır (Giggenbach ve Glover 1992).



Şekil 11.2 İnceleme alanına ait  $10\text{Mg}/(10\text{Mg}+\text{Ca})-10\text{K}/(10\text{K}+\text{Na})$  diyagramı (Giggenbach 1988)

Su örneklerinin dizilimindeki dağılıma bakılırsa  $(10 \cdot \text{Mg}) / ((10 \cdot \text{Mg}) + \text{Ca})$  oranındaki değişim miktarı  $10 \cdot \text{K} / (10 \cdot \text{K} + \text{Na})$  oranındaki değişim miktarından daha fazladır. Bu durum K/Na oranının çözünme-çökeltme işleminden veya yeniden dengelenme durumundan fazla etkilenmediğini, yani akışkanın orijinal K/Na oranını oldukça muhafaza ettiğini göstermektedir. Diğer taraftan tüm sulardaki Ca/Mg oranı oldukça geniş aralık göstermektedir. Bu durum  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  içeren minerallerin (muhtemelen karbonatlar) çökeltme ve çözünme olayları ile açıklamasını mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, şekil 11.1 - 11.2'deki iki grafik birlikte ele alınarak, jeotermometrelerle elde edilen sıcaklık verilerini Kızılcahamam ve Çamlıdere'de yapılan derin sondajlarla elde edilen sıcaklıklarla karşılaştırıldıklarında, Kızılcahamam sıcak suları için silis (kuvars), Çamlıdere bölgesinde K-Mg ve silis ( $\alpha$ -Cristobalite kuvars ve kalsedon) jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık değerleri uyumluluk göstermektedir. Ancak, MTA tarafından Çamlıdere Muzrupağacın bölgesinde yapılan 1367 m'lik AÇT-2 sondajında (ÇT-4) kuyu taban sıcaklığı  $97,5^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıkla kıyaslandığında Çamlıdere bölgesinde olası rezervuar sıcaklığının  $100^\circ\text{C}$ 'nin üstünde olabileceği düşünülmektedir.

Silis jeotermometresinden elde edilen verilerin geçerliliğinin desteklenmesi için, bu jeotermometrelerde kullanılan uygun silis türünün ve hazne kayadaki varlığının araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle uygun silis jeotermometresinin kullanımı için, K, Mg ve  $\text{SiO}_2$  konsantrasyon verileri ile amorf silis, kalsedon ve kuvars çözünürlük eğrilerinin olduğu Giggenbach diyagramı (Çizelge 11.4; Şekil 11.3) kullanılmıştır (Giggenbach ve Glover 1992). Diyagramdaki çizgiler silis ve K-Mg içeren sistemler için denge ulaşım çizgileridir. Bu diyagramda silis jeotermometresine ait kuvars, kalsedon ve amorf denge çizgilerinin oluşturulmasında kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir (Henley ve Ellis 1983).

$$\text{Log}(C_{\text{SiO}_2}) = 4,52 - (731 / (t^\circ\text{C} + 273,15)) \quad (\text{Amorf silika}) \quad (11.4)$$

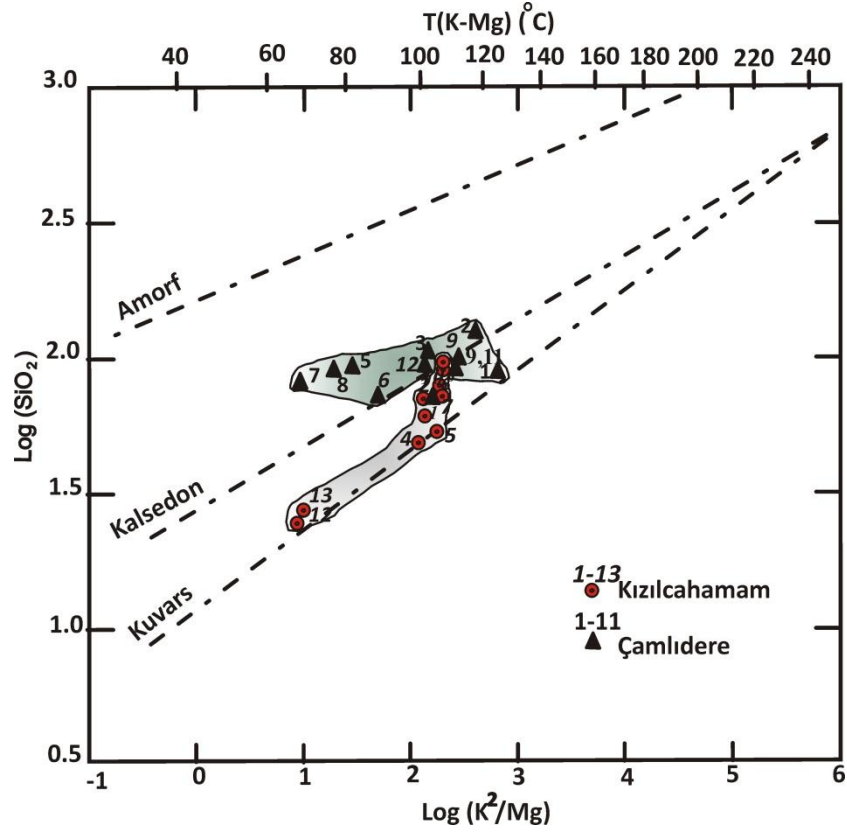
$$\text{Log}(C_{\text{SiO}_2}) = 4,69 - (1,032 / (t^\circ\text{C} + 273,15)) \quad (\text{Kalsedon}) \quad (11.5)$$

$$\text{Log}(C_{\text{SiO}_2}) = 5,19 - (1,309 / (t^\circ\text{C} + 273,15)) \quad (\text{Kuvars}) \quad (11.6)$$

$$\text{Log}(CK^2 / C_{\text{Mg}}) = 14 - (4,410 / (t^\circ\text{C} + 273,15)) \quad (\text{Giggenbach 1991}) \quad (11.7)$$

Çizelge 11.4 İnceleme alanı sıcak suları için SiO<sub>2</sub>-K-Mg (Giggenbach 1988) değerleri

Örnek No	Log SiO <sub>2</sub>	Lkm = log (C <sup>2</sup> <sub>K</sub> /C <sub>Mg</sub> )
Kızılcahamam		
KT-1	1,740	2,12
KT-2	1,806	2,12
KT-3	1,740	1,71
KT-4	1,6021	2,20
KT-5	1,690	2,24
KT-6	1,886	2,35
KT-7	1,886	2,35
KT-8	1,869	2,29
KT-9	1,973	2,31
KT-10	1,903	2,28
KT-12	1,342	1,19
KT-13	1,361	1,21
Çamlıdere		
ÇT-1	1,900	2,97
ÇT-2	2,146	2,36
ÇT-3	2,068	2,29
ÇT-4	1,881	2,20
ÇT-5	2,00	1,50
ÇT-6	1,873	1,75
ÇT-7	1,867	1,07
ÇT-8	1,963	1,20
ÇT-9	1,997	2,43
ÇT-11	1,945	2,53
ÇT-12	2,079	2,45



Şekil 11.3 Log (SiO<sub>2</sub>) - Log (K<sup>2</sup>/Mg) diyagramı (Giggenbach ve Glover 1992)

Şekil 11.3'te görüldüğü gibi Kızılcahamam sıcak suları kuvars, Çamlıdere sıcak suları ise kuvars ve kalsedon doğruları üzerinde yer aldıklarından, bu sular adı geçen minerallerle hazne kaya sıcaklığında denge durumundadır. Noktalar düşey olarak uzatıldığında karşılık gelen sıcaklık sınırları rezervuar sıcaklığını gösterir. Böylece derinlerde ısınan jeotermal akışkanın yükselme sırasında soğuduğu, derinlerde iki faza ayrılarak yükselen akışkanın aynı zamanda kayaçlarla temas ederek de ısı kaybettiği anlaşılmaktadır.

Jeotermometre sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanında açılan derin kuyuların taban ve akifer sıcaklıkları da dikkate alındığında, Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli sularının akışkan-mineral ilişkisi yönünden dengeye ulaşmamış sular olduğu, 100°C'nin üzerinde rezervuar sıcaklığına sahip akiferler oldukları sonucuna varılmıştır.



## 11.1 K-Mg-Ca Jeoindikatörü

Kızılcahamam alanında traverten oluşumları yer almaktadır. Hidrotermal alterasyon minerali olan kalsitin oluşumu suların  $pCO_2$  (kısmi basıncı) içeriği ile ilişkilidir. Suyun  $CO_2$  gazı erişimi,  $CaCO_3$  derişimini denetlemekle birlikte, kısmı  $CO_2$  basınçları (suyun ve atmosferin) arasındaki farkın büyüklüğü çökme hızını denetlemektedir. Bu süreçlerin temelinde suyun kalsite göre doygunluğu veya denge durumu yatmaktadır.

Jeotermal sistemlerde kalsit oluşumuna yol açan en önemli reaksiyon Ca-Al silikat minerallerinin muhtemelen derin kökenli  $CO_2$  ile kalsite olan dönüşümüdür (Giggenbach 1988). Çalışma alanındaki sıcak suların kalsit ile denge durumunda olduğunu varsayarak  $CO_2$  kısmi basıncı değerleri K-Mg-Ca jeoindikatör Giggenbach diyagramında değerlendirilebilir (Şekil 11.4).

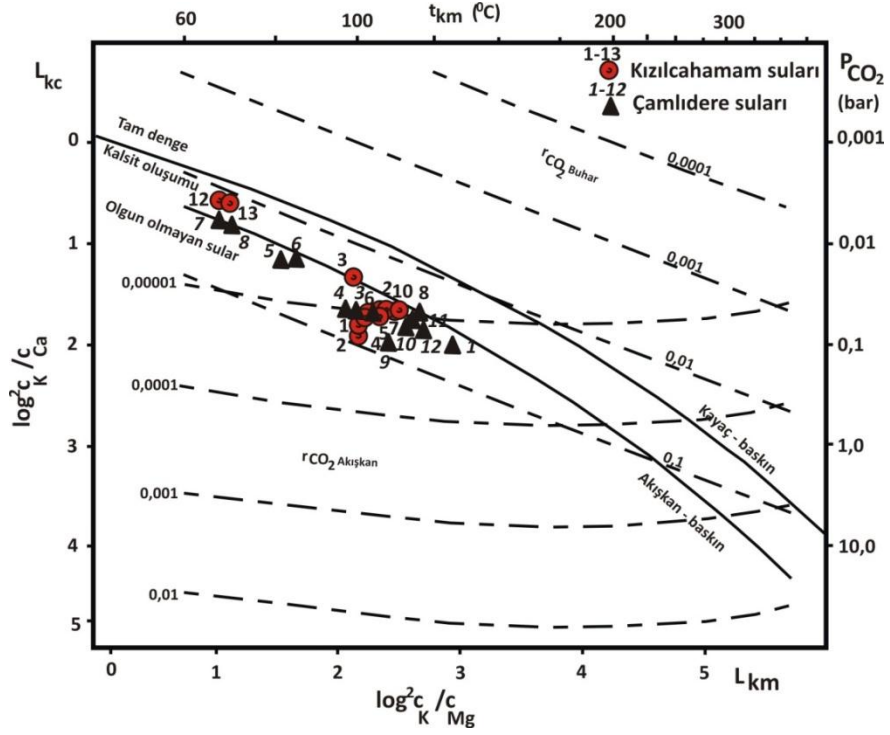
Diyagramın oluşturulmasında kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

$$L_{kc} = \log(C_k^2 / C_{ca}) \quad (11.11)$$

$$L_{kc} = \log P_{CO_2} + 3 \quad (11.12)$$

$$L_{km} = \log(C_K^2 / C_{Mg}) \quad (11.13)$$

$L_{kc}$ 'nin analitik değerleri, sıcaklık ve  $pCO_2$ 'nin de gösterildiği,  $L_{km}$  değerlerine karşılık gösterilmiştir (Şekil 11.4).



Şekil 11.4 Çalışma alanındaki sıcak suların K-Mg-Ca jeoindikatör diyagramı (Giggenbach 1988)

Kızılcahamam ve Çamlıdere sularının diyagramdaki konumlarına bakılırsa, bütün sular tam denge çizgisinin altında yer almaktadır (Şekil 11.4). Göstermiş oldukları dizilim ise Seyhamam ve Sarıkavak sıcak su örnekleri başlangıç kabul edilerek akışkan çözünme doğrusuna paralel bir şekildedir. Bu demektir ki, suların son denge sıcaklığındaki (L<sub>km</sub>) kimyasal kompozisyonu sadece CO<sub>2</sub> gaz basıncı ile kontrol edilmektedir (Giggenbach 1981, 1988).

Suların pCO<sub>2</sub> değerleri karşılaştırıldığında, sıg dolaşım sistemini temsil eden Seyhamam kadınlar ve erkekler kaynağı (KT-12 ile KT-13) ve Çamlıdere Sarıkavak sıcak suları (ÇT-7 ile ÇT-8) CO<sub>2</sub> kısmi basınç değerleri en düşük değere sahip sulardır. Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak su kaynaklarındaki CO<sub>2</sub> kısmi basınç değerleri (0,04-0,1 bar) atmosferin ortalama kısmi karbondioksit (pCO<sub>2</sub>=10<sup>-3.5</sup>) basıncına göre oldukça yüksektir. Bu değerler diyagramda genellikle kümelenme ve saçılma gösterip birbirine yakın görünmektedir. Sıcak ve mineralli su kaynaklarında gözlenen yüksek pCO<sub>2</sub>'nin

nedeni bunun volkanik kökenli olmasıdır. Ayrıca derinlerden magmatik CO<sub>2</sub> katılımı ile birlikte, sisteme belirli noktalardan CO<sub>2</sub> katkısı da olabilir.

Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak su sondaj kuyularındaki kısmi CO<sub>2</sub> basıncının yüksek oluşu, bu suların akiferde kalış sürelerinin uzun olduğunu da göstermektedir. Bu nedenle, yüksek CO<sub>2</sub> basınç değerine sahip, olgun olmayan bu sıcak sular hidrojen metasomatizması açısından da aktif olacaktır. Yani, bunların kimyasal tepkimeye girebilme özellikleri fazladır.

Giggenbach tarafından geliştirilen bu diyagramda, soğuk su kaynaklarının pCO<sub>2</sub> içerikleri gösterilmemiştir. Çünkü, havza yüzey boşalmalarını temsil eden bu suların pCO<sub>2</sub> içerikleri atmosfere açık olduklarından dolayı atmosferik kısmi basıncına (pCO<sub>2</sub>= 10<sup>-3.5</sup> atmosfer içeriğine) yakın değerdedir.

## 11.2 Karışım Modelleri

Sıcak sular yüzeye doğru hareketleri sırasında değişik oranlarda soğuk yeraltısuları ile karışabilir. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikleri kullanarak sıcak suların hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada inceleme alanındaki sıcak sular klorür-entalpi ve entalpi-silis karışım modellerinde (Fournier ve Truesdell 1974, Fournier 1977, Truesdell ve Fournier 1977) irdelenmiştir. Bu yöntemler iki varsayım üzerine kurulmuştur. Birinci varsayıma göre sıcak-soğuk su karışımı derindedir ve karışım öncesi veya sonrası buhar kaybı yoktur. İkinci varsayımda ise, buharın derinde sıcak akışkandan ayrılarak ortamdan uzaklaştığı, daha sonra sıcak-soğuk su karışımının gerçekleştiği göz önüne alınır. En düşük hazne kaya sıcaklık değerleri bu varsayımla hesaplanmaktadır.

Karışım modelleri hazırlanırken kullanılan kaynama noktası sıcaklığı, atmosferik basınca göre değişmektedir. Bir alanın kot olarak yüksekliği, basınç değişimi, dolayısı ile kaynama noktası sıcaklığında da bir değişim yaratacaktır (Koçak 1997). Bu nedenle

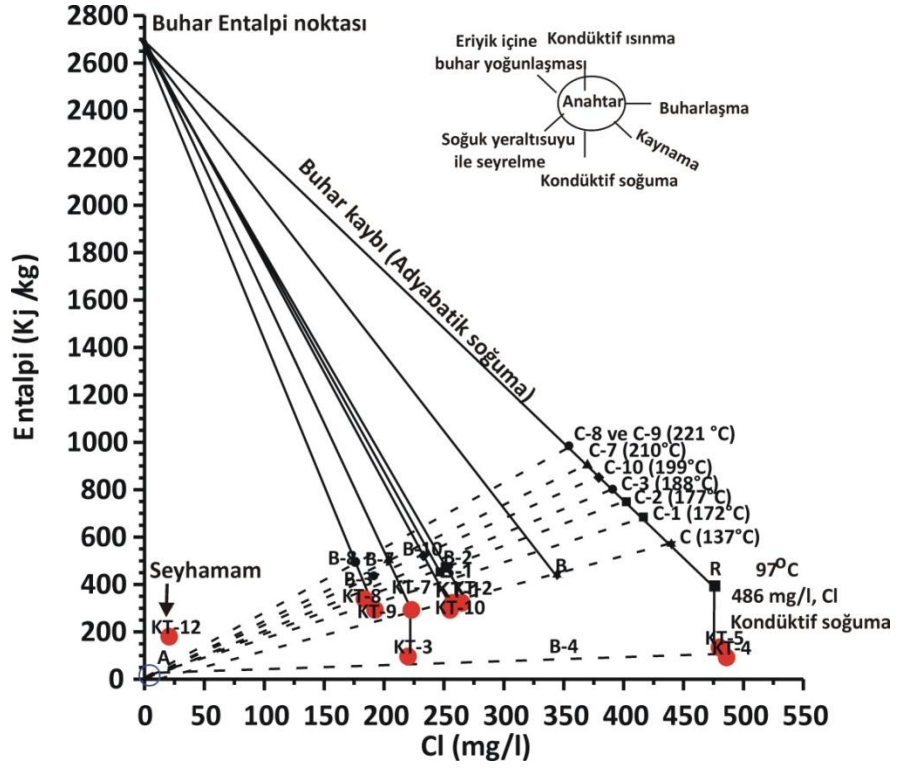
kot olarak yüksekliğe göre kaynama noktası sıcaklık değerinin bulunması gerekmektedir.

Bilindiği gibi suyun kaynama noktası basınçla ters, sıcaklıkla doğru orantılıdır. Akışkanın tuzluluk oranı yükseldikçe kaynama sıcaklığı da yükselmektedir. Sıfır metre kotunda 760 mm Hg basıncı 1 atmosfer basınca eşit olup, bu basınç altında saf su 100°C'de kaynar. Kot olarak yükseklik arttıkça kaynama sıcaklığı düşmektedir. Her 25 mm'lik Hg basınç düşümü 1°C'lik sıcaklık düşümüne ve 305 m'lik (1000 ft) kotta yüksekliğe karşılık gelmektedir (Perry vd. 1982).

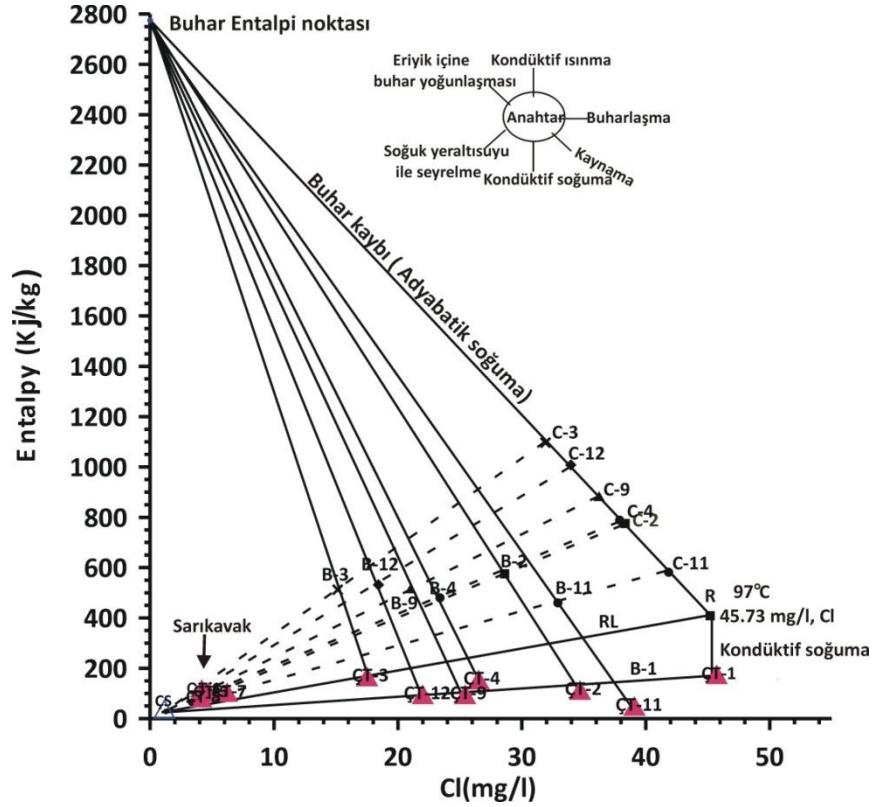
Kızılcahamam ve Çamlıdere alanlarının topografik yükseltisi ortalama 1043 m'dir. Kaynakların kaynama noktası sıcaklığı aşağıda oluşturulan basit bir eşitlikten hesaplanabilir (Koçak 1997). Kaynama noktası sıcaklığı=  $100 - \text{Kot} / 305 = 100 - 1043 / 305 \text{ m} = 97^\circ\text{C}$ 'dir.

### 12.2.1 Klorür - entalpi karışım modeli

Fournier (1977), klorüre dayalı karışım modeli için bir diyagram önermiştir (Şekil 11.5, 11.6). Diyagramda düşey ekseninde entalpi (KJ/kg), yatay ekseninde ise klorür (mg/l) değerleri yer almaktadır. Sıcak suların entalpi değerleri doymuş buhar ve su tablosundan alınmıştır (Zarrouk ve Watson 2001). Buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 2775 KJ/kg değeri de düşey ekseninde buhar noktası olarak işaretlenmiştir. Buharlaşma entalpisi 150-300°C arasında çok az değişir; dolayısı ile yukarıdaki değeri almak büyük bir hataya neden olmaz. Diyagramda suların kökenini ve hazne kaya sıcaklığını tespit etmek için, en yüksek Cl derişimine sahip olan ve Kızılcahamam jeotermal alanı için KT-4 veya KT-5 ve Çamlıdere jeotermal alanı için ise ÇT-1 nolu suların kondüktif soğumaya uğradığı varsayımından hareketle, bu suların Kızılcahamam ve Çamlıdere alanları için kaynama noktası sıcaklığı olan 97°C'ye izdüşümü alınarak kaynama noktasındaki akışkanın pozisyonu belirlenmiştir. Daha sonra oluşturulan bu 97°C'deki yeni nokta, kaynama noktasındaki buhar entalpi noktası (0 mg/Cl ve 2775 KJ/kg entalpi) ile birleştirilerek kaynama doğrusu elde edilmiştir.



Şekil 11.5 Kızılcahamam sularına ait Cl- entalpi diyagramı



Şekil 11.6 Çamlıdere sularına ait Cl-entalpi diyagramı

Çalışma alanındaki sıcak suların Cl-entalpi değerlerine göre grafiğe yerleştirilerek elde edilen noktalar buhar noktası ile birleştirilir. Bu doğru üzerinde her bir sıcak su örneğinin kuvars buhar kaybı jeotermometresi (Çizelge 11.5) ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları işaretlenir (B-noktası). B noktası bölgedeki soğuk suların ortalama değerini gösteren A noktası ile birleştirilerek karışım çizgisi (A-C) elde edilir. Bu çizginin, kaynama hattını kestiği nokta (R) akışkanın sıcaklığını vermektedir. R noktasındaki suyun orijinal suyu temsil ettiği varsayılarak, diğer suların referans alınan bu suya göre konumları incelenir. A-C hattı, yüzey suları ile orijinal suyun karışım hattıdır. A noktası %100 yüzey suları, C noktası %100 jeotermal suyu temsil etmek üzere, bu hat üzerine düşen bir noktanın, A-B uzunluğunun A-C'ye göre oranı soğuk ve sıcak suların karışım oranlarını verecektir (Şahinci 1991).

Kızılcahamam sahasında en fazla klorür içeren su olan KT-4 ve KT-5'in, R ile gösterilen ve 97°C'lik rezervuar sıcaklığı gösteren bir sıcak suyun, kondüktif olarak soğuması sonucu oluştuğu ve daha sonra A ile karıştığı varsayılarak, karışım (B-4) çizgisini kesmektedir (Şekil 11.5). Burada, KT-3 nolu As-koop mineralli su kaynağı KT-7 nolu suyun kondüktif olarak soğumuş ve daha sonra yeraltısuyu ile karışımına uğramış halidir (Şekil 11.5).

Kızılcahamam sondaj suları (KT-1, KT-2, KT-7, KT-8, KT-9, ve KT-10) diyagramda benzer ve eşit entalpiye sahip olup, bu suların rezervuar akışkanın kaynaması (Adyabatik soğuma), yani buhar kaybı ile başlaması daha sonra kondüktif soğumaya uğraması ve yeraltısuyu ile karışması ile içeriğindeki klorür-entalpi oranı entalpi aleyhinde değişerek oluşmuştur. Rezervuara göre, Cl<sup>-</sup> zenginleşmesi ancak buhar kaybı ile gerçekleşebilir. Bu durumda, KT-4 ve KT-5 nolu mineralli su örnekleri kaynamaya bağlı olarak oluşan buhar kaybı sonunda geriye kalan artık suyu temsil etmektedir. Bu sular buhar kaybı nedeniyle önce adyabatik olarak 97°C'ye kadar soğumakta, daha sonra kondüktif olarak 23,2-21,6°C'ye kadar soğumaktadır. Ayrıca, düşük klorür ve nispeten yüksek entalpi değerine sahip olan Seyhamam (KT-12) suları yüksek sıcaklığı absorbe etmiş buharla ısıtılmış sığ soğuk sular ile uyumludur.

Bu yöntemle elde edilen sıcak su karışım oranları çizelge 11.5'te verilmiştir. Kızılcahamam alanının Cl-entalpi diyagramından elde edilen rezervuar sıcaklığı 137°C ile 221°C arasındadır. Ancak, soğuk su karışım oranlarının yüksek olması nedeniyle diyagramda elde edilen 221°C'lik değer şüpheli sonuç olup, maksimum hazne kaya sıcaklığını yansıtmaktan uzak olacaktır. Bu durumda ikinci yüksek değer alındığında, Kızılcahamam jeotermal sisteminin Cl-entalpi diyagramına göre 137°C ile 210°C rezervuar sıcaklıklarına karşılık gelirler ve bu değerler kuvars jeotermometresi sonuçları ile de uyumludur.

Çizelge 11.5 Çalışma alanındaki sıcak suların karışım modeline göre karışım oranları

Kod	Adı	T (°C)	Cl (mg/l)	Entalpi (KJ/Kg)	Kuvars buhar kaybı T(°C)	Karışım oranı Cl-Entalpi	Karışım oranı SiO <sub>2</sub> -Entalpi
KT-1	KHD-1	77,6	257	322,4	106,59	0,59	0,61
KT-2	MTA-1	76,5	265	322,4	112,92	0,63	0,54
KT-3	As-koop mineralli su	23	220	96,5	106,46	0,55	-
KT-4	Çamlık mineralli su	21,6	486	92,3	93,93	-	-
KT-5	Acısu Dere sıcak ve mineralli su	32	480	134,1	101,89	-	-
KT-7	MTA-1A	70	222,79	293	120,94	0,56	0,44
KT-8	AL-1	81	183,46	339,1	119,19	0,53	0,50
KT-9	İHL-2	70	192,39	293	129,98	0,57	0,39
KT-10	KHJ-1	70	255,17	293	122,64	0,60	0,51
KT-12	Seyhamam erkekler	42,8	20,59	180,1	73,83	-	-
KT-13	Seyhamam kadınlar	43	-	180,1	70,74	-	-
ÇT-1	ÇT-1	42	45,73	175,9	122,40	-	0,23
ÇT-2	ÇT-2	27,3	34,7	113,2	149,32	0,81	0,34
ÇT-3	AÇT-1	40	17,5	167,5	140,38	0,53	0,39
ÇT-4	AÇT-2	37,4	26,51	155	120,45	0,62	0,19
ÇT-5	Muzrupağacın	25	4,7	104,8	132,87	-	0,28
ÇT-6	Sarıkavak Uyuz	28	4,16	117,4	119,67	-	0,29
ÇT-7	Sarıkavak Ilıca	25	6,21	104,8	119,02	-	0,25
ÇT-8	Sarıkavak Kökderesi	20	4,1	83,9	128,98	-	0,25
ÇT-9	Tatlık maden suyu	23	25,42	96,5	132,58	0,63	0,21
ÇT-11	Atça mineralli su kaptajı	12	39,09	50,4	127,04	0,92	0,23
ÇT-12	Ahatlar Deresi sıcak su	23	22	96,5	141,62	0,59	0,29

Sonuç olarak, Kızılcahamam jeotermal sularından oluşan kaynakların karışım suyu olduğu ve önce adyabatik soğuma geçirdiği, daha sonra da kaynak boşalım sıcaklığına kadar kondüktif olarak soğudukları varsayılmıştır.

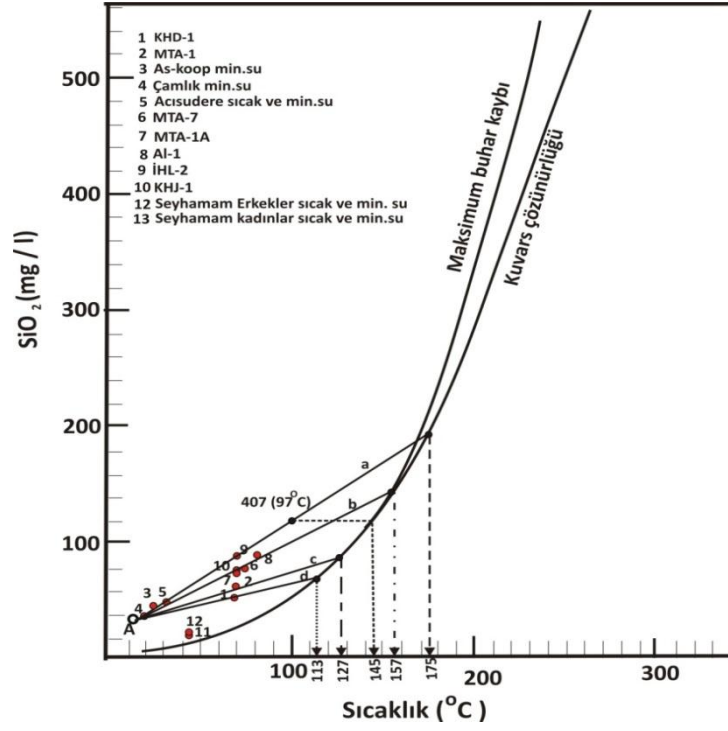
Çamlıdere sahasında ise, en fazla klorür içeren su olan ÇT-1'nin, R ile gösterilen ve 97°'lik rezervuar sıcaklığı gösteren bir sıcak suyun, kondüktif olarak soğuması sonucu oluştuğu ve daha sonra A ile karıştığı varsayıldığında, ÇT-2, ÇT-4, ÇT-9 ve ÇT-12 nolu örnekler (B-1) karışım çizgisini kesmektedir (Şekil 11.6). Burada kaynakların tümü değişik oranlarda kondüktif soğumaya ve yeraltısuyu karışımına uğramıştır. En yüksek entalpi değerine sahip olan kaynak ÇT-11 nolu Atça mineralli su kaptajı olup, Cl<sup>-</sup> içeriği de yüksek olan bu kaynak jeotermal akışkanın en son üyelerinden biri kabul edilebilir. ÇT-3 nolu Muzrupağacın sondaj (AÇT-1) suyu A ile R arasında çizilen bir başka karışım çizgisini (R-L) kesmektedir. Diğer bir deyişle, bu su rezervuar suyu (R) ile soğuk suyun (A) karışımından oluşmuştur. Sarıkavak kaynaklarının (ÇT-5, ÇT-6, ÇT-7 ve ÇT-8) zaten karışım örnekleri olduğu bilinmektedir (Şekil 11.6). Şekil 11.6'da diğer ilginç bir özellik, ÇT-11 nolu Atça mineralli kaptaj suyunun bir evaporasyon çizgisi boyunca oluştuğudur.

Çamlıdere rezervuar suyunun R kimyasını en iyi temsil eden ÇT-1 nolu örneğinin kuvars jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklığı 122°C'dir. Bu sıcaklık Entalpi-Cl diyagramından elde edilen 97°C'lik rezervuar sıcaklığı ile bir ölçüde uyumaktadır. Yine aynı örneğe ait K-Mg (Giggenbach 1988) ve Na-Li (Kharaka vd. 1982) kullanılarak bulunan sıcaklıklar sırasıyla 126 ve 115°C olup, entalpi-klorür diyagramından elde edilen sıcaklık olan, 97°C ile büyük bir uyum içindedir. Bu yöntemle Çamlıdere bölgesi için elde edilen sıcak su karışım oranları çizelge 11.5'te verilmiştir. Sarıkavak sıcak ve soğuk sularının Cl<sup>-</sup> içerikleri çok düşük ve aralarında bir fark bulunmamaktadır. Bu durumda ilgili suların entalpilerinden gelen farklar suların karışım oranlarını belirlemede yeterli değildir.

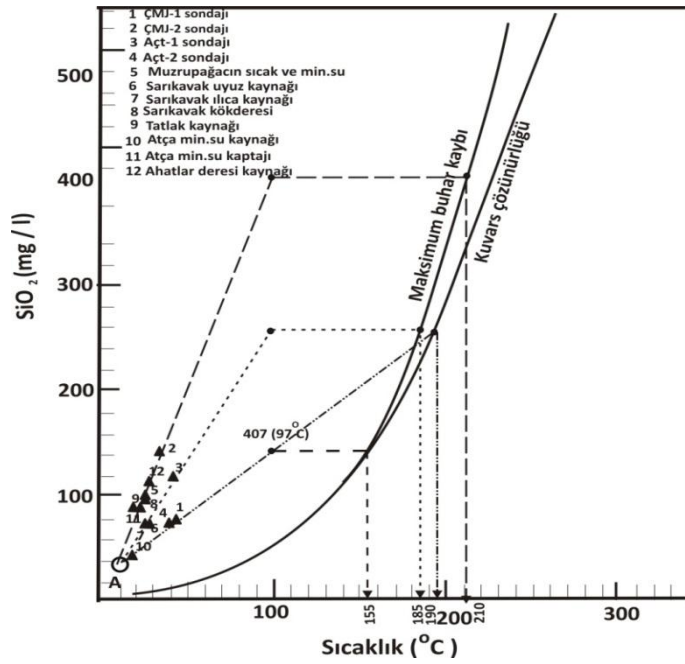


### 11.2.2 SiO<sub>2</sub> - entalpi karışım modeli

Çalışma alanındaki suların rezervuar sıcaklığının bir başka tahmini Fournier (1977)'in geliştirdiği SiO<sub>2</sub> - entalpi karışım modelidir (Şekil 11.7 -11.8). Sıcaklık ve silis dengesine dayanan bu model karışım öncesi buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir. Yeraltı suyunu temsil eden A noktası ile sıcak akışkanların yer aldığı noktaların birleştirilmesiyle oluşturulan karışım hattı, kuvars çözünlülük eğrisini 662,5 KJ/kg (buhar tablosundan, Zarrouk ve Watson, 2001) entalpi değerinde kesmekte ve bu değer 157°C (buhar çizgisinden) rezervuar sıcaklığına karşılık gelmektedir. Bu sıcaklık tahmini, kaynama sırasında oluşan buharın, arta kalan sudan, soğuk su ile karışım olmadan önce ayrılmadığı varsayımına dayanır. Eğer buharın, soğuk su karışımından önce ayrılıp yok olduğu varsayılırsa, akışkanın Kızılcahamam bölgesinin kaynama noktası sıcaklığı olan ve 97°C'ye karşılık gelen 407 KJ/kg'lık suyun buhar oluşum entalpisi gözönüne alınarak eğri kestirilir ve 145°C'lik rezervuar sıcaklığına karşılık gelen 611 KJ/kg'lık entalpi değeri elde edilir. Şekil 11.7'de Kızılcahamam'da yer alan diğer suların rezervuar sıcaklıkları ayrıca verilmiştir. Sonuç olarak, bu diyagramda en güvenilir sıcaklık tahmini, kaynaklar gurubunun oluşturduğu 157°C veya 175°C sıcaklığın bölge akışkanının maksimum rezervuar sıcaklığını oluşturduğu minimum sıcaklığı ise 1 nolu KHD-1 sondaj suyu tarafından oluşturulan 113°C'dir. Bu yolla elde edilen sıcak su karışım oranları çizelge 11.5'te verilmiştir.



Şekil 11.7 Kızılcahamam bölgesine ait SiO<sub>2</sub>-entalpi karışım diyagramı (Fournier 1977)



Şekil 11.8 Çamlıdere bölgesine ait SiO<sub>2</sub> - entalpi karışım diyagramı (Fournier 1977)

Çamlıdere alanından örneklenen sulardan ÇMJ-1 ve AÇT-2 nolu sondaj suları ile 10 nolu Atça mineralli suları kuvars çözünürlük eğrisini kesmektedir (Şekil 11.8). Diğer sıcak sular ise, diyagram işaretlendiğinde kuvars çözünürlük eğrisini kesmediğinden bu sıcak suların karışımdan önce buhar kaybına uğradıkları kabul edilmektedir. Buna göre, buharın soğuk su karışımından önce ayrılıp yok olduğu varsayılırsa, akışkanın Çamlıdere bölgesinin kaynama noktası sıcaklığı olan ve  $97^{\circ}\text{C}$ 'ye karşılık gelen  $407 \text{ KJ/kg}$ 'lık suyun buhar oluşum entalpisi gözönüne alınarak elde edilen rezvuar sıcaklığı  $155^{\circ}\text{C}$  olup, bu sıcaklığa karşılık gelen entalpi değeri  $654 \text{ KJ/kg}$ 'dır. ÇMJ-1 ve AÇT-2 sondaj sularının kuvars çözünürlük eğrisine göre elde edilen rezervuar sıcaklığı  $190^{\circ}\text{C}$ 'dir. Diyagramdaki verilere göre sıcak su karışım oranları çizelge 11.5'te verilmiştir.

## 12. KIZILCAHAMAM ve ÇAMLIDERE JEOTERMAL SİSTEMLERİ

### 12.1 Jeotermal Sistemlerin Bileşenleri

Meteorik kökenli akışkan sistemine sahip Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak ve mineralli suları Hochstein vd. (1990)'nin Çin-Fuzhou jeotermal sahasında ve Hochstein vd. (2013)'nin jeotermal sistemleri tanımlamalarına uygun olarak düşük entalpi/sıcaklıktaki, çatlak sistemine sahip jeotermal kaynaklar olarak tanımlanabilir. Tez alanında jeotermal akışkanın mevcut sıcaklığının korunmasını sağlayan örtü kayaç, rezervuar kayacı (akifer), ısıtıcı faktörler (ısı kaynağı) ve beslenme durumları aşağıda özetlenmiştir.

**Jeotermal rezervuarlar-Akiferler:** Tez sahasında Mesozoyik yaşlı birimler içerisinde en yaşlı olan Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşı birimleri tabakalı ve süreksizlik düzlemleri içermesi nedeniyle ikincil geçirimsizliğe sahip, rezervuar özelliğindeki birimlerdir. Kireçtaşlarının kalınlığı 125-500 m olarak tahmin edilmektedir (Ünlü 1973, Erişen ve Ünlü 1980). Bu birimler bölgesel jeoloji özellikleri de dikkate alındığında, şistlerin üzerinde bulunan ve sıcak sular için muhtemel hazne kayacı olarak görülmektedir. Alandaki kireçtaşları bu çalışmada en derin-birinci jeotermal rezervuar olarak tanımlanmıştır. Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının Kızılcahamam'ın 12 km doğusunda, 22 km KKD'da (Işık Dağı'nda) ve 30 km KB' sındaki Kızılcahamam-Gerede yolu üzerinde volkanik kayaçların altında ve şistlerin üzerinde yer aldığı gözlenmiştir. Kızılcahamam ve Çamlıdere sahalarında bu kireçtaşlarını kesen herhangi bir sondaj yer almamaktadır.

Senozoyik birimler içerisinde hazne kayacı olabilecek en önemli kayaçları lavlar oluşturmaktadır. Aa-lavları yüksek geçirimsizlikleri ve gözenekleriyle sıcak su sistemlerinin dolaşımına elverişli olup, alandaki 2. hazne kayaç durumundadır. Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal alanında açılan KHD-1, MTA-1, MTA-7, ÇMJ-1 ve ÇMJ-2 sondaj kuyularında jeotermal akışkan andezitlerden alınmaktadır.

Pazar Formasyonu ile yanal geçişli olarak bulunan ara lavlarda soğuma eklemlerinin gelişmiş olması ve kırıklı yapısı ile 3. hazne kayaç olabilecek niteliktedir (Erişen ve Ünlü 1980). Andezitler, bazaltlar ve piroklastikler içindeki lav akıntılarının süreksizlik düzlemleri rezervuar özelliğine sahiptir. Fay kuşakları ve bunların etkili olduğu alanda gelişen çatlak sistemleri aynı zamanda iyi bir depolama olanağı da sağlamaktadır.

**Örtü kayaçlar:** Hazne kayanın-rezervuarın üzerinde yer alan geçirimsiz birimler örtü kayaç niteliğindedir. Örtü kayaç, hazne kayadaki akışkanın yüzeye çıkarak sistemin su kaybetmesini, sıcaklığının ve basıncının düşmesini önleyen birimlerdir. Örtü kayaçta kondüktif ısı iletimiyle bir miktar ısı kaybı olabilecektir. Ancak, kondüksiyonla kaybedilen ısı, konveksiyon ile kazanılan ısı yanında önemsiz görülmektedir.

Bölgedeki volkanizmaya bağlı oluşan piroklastik materyaller (Miyosen yaşlı Pazar Formasyonu'nun çökel kayaları ve Pliyosen yaşlı Sinap Formasyonu) geçirimsiz özellikler taşımaktadır. Genellikle tuf ve tüffit katkılı olan Pazar Formasyonu çok farklı kayaç türlerinin ardalanmasından oluşmakla birlikte, bazı yerlerde tuf ve tüffitlere marnlar da katılarak ideal bir örtü kayaç oluşturmaktadırlar. Kilden blok boyutuna kadar değişen taneler içeren Sinap Formasyonu da altındaki rezervuar için örtü oluşturabilecek, düşük geçirimliliğe sahip birimlerdir (Erişen ve Ünlü 1980).

**Isı kaynağı:** Bölgede, Paleosen sonrasında başlayan volkanik etkinlik Miyosen sonuna kadar devam etmiştir. Bu süre boyunca, rezervuar kayacın üzerinde volkanizmanın ısı etkisini koruyabilecek örtü birimleri de gelişmiş, ancak jeotermal enerji açısından volkanizma etkinliği oldukça uzun bir zaman öncesinde sona ermiştir (Öngür 1976, Erişen ve Ünlü 1980).

Çalışma alanında yüzeylenen volkaniklerin geniş alanlarda ve büyük hacimlerde yayılım gösterdiği, bölgede kalderaların, lav domlarının ve kraterli konilerin bulunduğu belirtilmiştir (Özgür vd. 1999). Söz konusu volkanik yapı şekillerinden kalderaları besleyen magma odalarının sığ derinliklerde bulunmasına bağlı olarak iyi birer ısıtıcı özellik sunmaktadırlar (Özgür vd. 1999). Bu süreç kondüksiyonla akiferdeki suyu

ısıtmakta ve buraya kadar uzanan fay veya etkili çatlaklardan da sıcak akışkanlar hidrodinamik yapıya bağlı olarak kaynak şeklinde yeryüzüne ulaşmaktadır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere su kaynaklarında yapılan  $\delta^{13}\text{C}$  (-10.8‰ ile 10.9‰) izotoplarından, kaynaktan yayılan  $\text{CO}_2$  gazının magma kökenli olduğu ortaya koymuştur. Güleç vd. (2002), Türkiye'deki tektonik zonlar boyunca helyum izotop oranlarının dağılımını araştırmış ve R/Ra değerlerinin (R= Örnek  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ve Ra=hava  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) Orta ve Doğu Anadolu bölgesinde yüksek değerler alması nedeniyle kabuksal kökenli helyum sızıntısının oluştuğunu açıklamıştır. Elde edilen bu sonuç, bölgede yakın geçmişte aktif olan volkanlarla ilişkilendirilmiştir. Dolayısıyla, çalışma alanı sıcak sularının ısı kaynağının jeotermal gradyanla beraber bir magma yükselimi olduğu düşünülmektedir.

## 12.2 Jeotermal Sistemlerin Kavramsal Oluşum Modelleri

Hochstein (1988, 1990) ve Hochstein ve Browne (2000)'in jeotermal sistemlerde yaptığı sınıflamaya göre, Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal alanı bu çalışmada "dağlık arazide oluşan sıcak su sistemlerinin baskın olduğu ve genellikle yaygın karasal volkanizma ile ilişkili olan alanlar" olarak tanımlanmıştır (Şekil 12.1). İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) güney bölümünde, yaklaşık 40 km uzaklıkta yer aldığından, volkanik aktivite nedeniyle aktif neotektonik hatlar ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, bölgede birçok sıcak ve mineralli su kaynağı içeren jeotermal sistemler bulunmaktadır. Jeotermal sistem için gerekli olan süreksizlik düzlemleri-ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik bölgedeki tektonik aktivite nedeniyle artmıştır.

Tez alanında yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalarla elde edilen veriler değerlendirilerek Kızılcahamam ve Çamlıdere bölgeleri için hidrotermal oluşum modeli oluşturulmuştur.



### 12.2.1 Kızılcahamam jeotermal sahası

Bu modele göre, beslenme bölgelerinden geçirimli kayaçlar, fay, kırık ve çatlak gibi süreksizlik düzlemlerinden derinlere doğru süzülen meteorik kökenli sular jeotermal gradyan, volkanik kayaçlar ve derinlerdeki magmatik sokulumlarla ısınarak aktif faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır (Şekil 12.1).

Kızılcahamam bölgesinde volkanik etkinlik sürecinde, hazne kayaç üzerinde volkanizmanın ısı etkisini koruyabilecek tüf, tüffit ve marnlar örtü birimler olarak yer almaktadır. Bu nedenle kapalı bir jeotermal sistem konumunda olan Kızılcahamam bölgesindeki jeotermal etkinlik günümüzde de devam etmektedir.

Kızılcahamam bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli su kaynakları toplam üç adet su tipi ile temsil edilmektedir. Bunlar;  $\text{NaHCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Ca-NaHCO}_3$  ve  $\text{Ca-MgHCO}_3$ 'tır. Beslenme alanındaki yağış sularının derinlere doğru süzülmesiyle Pazar Formasyonu'ndan ve andezitlerin bozuşma kuşağından geçen sular  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  baskın soğuk su kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu formasyonlardaki sular derinlere çatlak ve faylar boyunca süzülerek yeraltında geçirimli kuşak oluşturan süreksizlik düzlemlerinde toplanmaktadır. Derinlerdeki sular volkanik kayaçlarda ve metamorfik şistlerin üzerindeki kireçtaşlarında depolanmaktadır. Acısu Dere ve Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynak alanında travertenlerin oluşmasında kireçtaşlarının katkısı olduğu düşünülmektedir.

Kızılcahamam jeotermal alanında yer alan tüm sıcak ve mineralli su kaynaklarının meteorik su doğrusu üzerinde yer almaları bölgedeki jeotermal sistemin meteorik kökenli sular tarafından beslediğini göstermektedir. Yine, izotop çalışmalarıyla sıcak su kaynakları için belirlenen ortalama beslenme alanı yükseltisine göre Kızılcahamam jeotermal kaynaklarının çalışma alanı dışında ve Kızılcahamam'ın KD'sunda yer alan yaklaşık 1965-2034 m arasında değişen ve Ankara'nın en yüksek dağı olan Işık Dağı'ndan ve Kızılcahamam'ın batısındaki Aluç Dağı T. (1849 m)'sinden beslendikleri saptanmıştır (Şekil 12.1).



Kızılcahamam ve dolayında yer alan sıcak ve mineralli su kaynakları için belirlenen beslenme alanı yükseltisi dikkate alındığında Kızılcahamam sularının büyük oranda Miyosen yaşlı volkanitlerin ve Kretase yaşlı (kumtaşı, şeyl, kireçtaşı, tuf) birimlerin üzerine düşen yağışlardan beslendiği ortaya çıkmaktadır. Aluç Dağı Tepesi 1849 m kotunda olup, Kızılcahamam ve Çamlıdere'nin hidrojeolojik su bölüm hattı ile sınırlandırılmıştır. Kızılcahamam sularının bikarbonatça zengin olması bu suların beslenmesinde Işık Dağı'nda yüzeyleyen karbonatlı kayaların önemli katkısı olabileceğini göstermektedir.

Yüksek kotlardan beslenen ve  $\delta^{18}\text{O}$ 'i düşük olan meteorik suların boşalına kadar uzun bir yeraltı dolaşım yolu izlemeleri nedeniyle klorür değerleri de görel olarak Çamlıdere sularına göre daha yüksektir. Kızılcahamam sıcak suları Çamlıdere sıcak su kaynaklarına göre beslenme alanına daha uzaktadır. Bu nedenle, Kızılcahamam suları yeraltında daha uzun süre kalmışlar ve Çamlıdere sularına göre daha olgun sulardır.

### **12.2.2 Çamlıdere jeotermal sahası**

Çamlıdere bölgesinde Ahatlar, Muzrupağacın, Sarıkavak, Tatlak ve Atca sıcak ve mineralli su kaynakları yer almaktadır. Bu kaynaklar Miyosen yaşlı andezitik ve bazaltik birimler üzerine düşen yağıştan beslenmektedir. Bu birimlerdeki sular derinlere, çatlak sistemlerinden ve faylardan süzülerek yeraltında geçirimsiz kuşak oluşturan süreksizlik düzlemlerinde toplanmaktadır. Bu sular jeotermal gradyan ve derinlerdeki magmatik ve volkanik kütlelerin etkisiyle ısınmaktadır.

Çamlıdere jeotermal sahası, ısınıp koruyabilecek geçirimsiz bir örtünün olmaması nedeniyle açık bir sistem olarak tanımlanmıştır (Şekil 12.1). Çamlıdere jeotermal sahası kaynak noktalarında herhangi bir traverten oluşumuna da rastlanmamaktadır.

Oksijen-18 ve döteryum izotop bileşimlerine göre, Çamlıdere jeotermal alanında yer alan tüm sıcak ve mineralli su kaynakları meteorik kökenlidir. Yine aynı izotop verileriyle Çamlıdere sıcak ve mineralli su kaynaklarının beslenme alanı yükseltisi

1494-1833 m olarak belirlenmiştir. Bu jeotermal kaynakların olası beslenme alanları Çamlıdere'nin güneydoğusunda, 1849 m yüksekliğindeki Aluç Dağı T., 1849 m yüksekliğindeki Pınar T., Çamlıdere'nin KB'sındaki Aşağıovacık köyünün yaklaşık KB'sındaki Erenler T. (1859 m), Dede T. (1840 m), ayrıca çalışma alanı dışında kalan, Çamlıdere'nin batısındaki Pınar T. (1882 m) ve Mahya T. (2040 m)'dir (Şekil 12.1). Bu kaynakların söz konusu beslenme alanlarında Miyosen yaşlı andezitik ve bazaltik birimler yer almaktadır.

Çamlıdere sıcak ve mineralli suları derin dolaşimli olmasına rağmen, Kızılcahamam sahası sularına göre daha düşük kotlardan beslenen, örtü kayacı olmadığı için de daha yüksek rezervuar sıcaklığının beklenmediği bir sahadır. Geçirimsiz örtünün bulunmaması nedeniyle sığ dolaşimli soğuk sularla da karışım söz konusudur. Kalsiyum baskın su tipi (Su tipleri: Na-HCO<sub>3</sub> ve Ca-NaHCO<sub>3</sub>) de bu karışımı doğrulamaktadır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal suları derinlerde ısındıktan sonra, yeraltında kaldığı süre içerisinde kayaçlarda bulunan minerallerle denge durumunda olup, Na, K, Cl ve SiO<sub>2</sub> baskın akışkan içermektedirler. Akışkanın yukarı çıkışı sırasında ortamın sıcaklığına ve pH'ına bağlı olarak değişen termodinamik ve fiziksel koşullar nedeniyle, özellikle de Çamlıdere sahasında karışım nedeniyle suların denge durumu bozulmaktadır. Jeotermal sular derinlerde ayrılan su buharı, CO<sub>2</sub> ile H<sub>2</sub>S gibi gazlarla karışarak belli miktarda HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> bileşeni de kazanmaktadır. Bunun yanında akışkanın magmatik ve volkanik kayaçların çatlakları boyunca oluşturduğu sülfid minerallerini de çözerek bünyesine bir miktar Fe ve S iyonu alması ile SO<sub>4</sub> bileşimi de kazanmış olabilir. Ayrıca, akışkanın yükselimi sırasında karbonatlı kayaçlardan/dolgu zonlardan geçerken su-kayaç reaksiyonu nedeniyle kayaçlardan HCO<sub>3</sub> çözer ve bu arada seyrelmiş alkali klorürlü-bikarbonatlı suyu oluşturur. Jeotermal akışkanın yükselimine olanak sağlayan fay, kırık gibi süreksizlik kuşakları-hidrotermal oluk oldukça fazladır. Karışıma uğrayan yüksek sıcaklığa sahip akışkanın sıcaklığı ile kimyasal bileşimi de değişmektedir. Bu olaylarda özellikle, yükselen derin kökenli alkali klorürlü suların CO<sub>2</sub>'ce zengin soğuk sular ile kısmen karışması ve uzun süreli yatay hareketi nedeniyle seyrelmiş alkali klorürlü-bikarbonatlı ve sülfatlı sular oluşmaktadır. Alandaki sıcak suların Li, B, F ve Cs değerleri normal sulara göre daha yüksektir. Bu tip bir sistemdeki

su, içerdiği özünmüş CO<sub>2</sub>'in mineral ve dolayısıyla silikat çözme kabiliyetini kaybetmesi sonucu alanda yaygın kalsiyum karbonat-traverten çökeltme olayları olmaktadır.

Kızılcahamam bölgesinde 1556 m derinlikte açılan KHD-1 kuyusunda sıcak su üretimi ara lavlara ait andezit, bazalt ve aglomeratik seviyelerden yapılmaktadır. amlıdere bölgesinde 1300 m derinlikte açılan Muzrupağacın AT-1 ve AT-2 kuyuları ile ara lavlara ait andezit, bazalt ve aglomeratik seviyelerden jeotermal akışkan elde edilmektedir. Alanda henüz Mesozoyik kireçtaşlarına inen sondaj yer almamaktadır.

### 13. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında Kızılcahamam-Çamlıdere dolayındaki sıcak ve mineralli su kaynakları hidrokimyasal ve izotopik özellikleri bakımından incelenmiştir. Bu özelliklerin aydınlatılmasında, hidrojeokimya, su ve traverten örneklerinin izotopik özellikleri birlikte ele alınarak kaynak oluşumları tartışılmıştır. Bütün bu çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tez sahasının (684 km<sup>2</sup>) 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası önceki çalışmalardan da yararlanılarak çizilmiş ve birimlerin hidrojeolojik özellikleri esas alınarak hidrojeoloji haritasına dönüştürülmüştür.

İnceleme alanında yer alan Miyosen yaşlı Pazar Formasyonu ve Pliyosen yaşlı Sinap Formasyonu'nun çökel birimleri (tuf, tüfit, kıltaşı, marn ve marn katkılı kireçtaşı) geçirimsiz, volkanik kayaçların altında yüzeylenen Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, bazik plato tipindeki alt lavlar ve alüvyon birimleri geçirimli, ara lav olarak adlandırılan andezit ve bazaltik birimler ise yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır.

Kızılcahamam jeotermal sahası sondaj sularının sıcaklıkları 42-81°C arasında olup, debileri 5-30 l/s arasındadır. Kızılcahamam ilçesindeki sıcak sondaj sularının elektriksel iletkenlik değerleri 2000-3520 µS/cm, pH değerleri ise 6,40-7,8 arasında değişmektedir. Sondaj suları Na-HCO<sub>3</sub>-Cl su tipindedir.

Kızılcahamam'da Acısu Dere içinden boşalan şişlenebilir mineralli su kaynağının toplam debileri, As-Koop'a ait olanlar 1 l/s, sıcaklığı 21°C; Acısu Dere Çamlık mineralli su kaynağının debisi 3 l/s, sıcaklığı 35°C'dir. Bu suların sıcaklığı Seyhamam'a göre düşük olup, pH ve EC değerleri sırasıyla 6-6,86 ile 1550-5043 µS/cm arasındadır. Kaynak sularının tipi Na-HCO<sub>3</sub>-Cl'dür. Kızılcahamam sondaj sularına göre daha yüksek klorür değerine sahip Acısu Dere sıcak ve mineralli

suları kaynamaya bağlı olarak buhar kaybı sonunda geriye kalan artık suyu temsil etmektedir.

Kızılcahamam bölgesinde, Seyhamam sıcak ve mineralli su kaynakları Hamam Deresi vadisinde fayların birbirini kestiği noktalarda yüzeye çıkmaktadırlar. Sıcaklıkları 43°C olup, toplam debileri 20-25 l/s arasında değişmektedir. Bu suların EC değeri yüksek (1000-1855 µS/cm) olup, pH değerleri 6,0-7,2 arasındadır.

Seyhamam sıcak suları Na-Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Seyhamam sularının Cl<sup>-</sup> konsantrasyonunun az olmasının nedeni, derinde kaynamaya (adyabatik soğuma) uğrayan bir jeotermal akışkandan gaz ile birlikte ayrılan buharın Cl<sup>-</sup> içeriğinin az, soğuma sonrası kalan artık suyun Cl<sup>-</sup> içeriğinin fazla olmasıdır. Düşük klorür ve nispeten yüksek entalpi değerine sahip olan Seyhamam sıcak suları, yüksek sıcaklığı absorbe etmiş olan buharla ısıtılmış sular olarak değerlendirilmiştir.

Sondaj ve jeofizik verisi olmamasına rağmen, Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının Acısu Dere ve Seyhamam'daki sıcak suların hazne kayacını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu sıcak su kaynaklarının Ca<sup>2+</sup> ve HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonlarınca baskın olması ve traverten çökeltmesi bu görüşü desteklemektedir.

Çamlıdere bölgesindeki Ahatlar ve Muzrupağacı'nda yapılan sondajlardan 27-42°C sıcaklıkta ve artezyen debisi 8-46 l/s olan jeotermal akışkan elde edilmektedir. Akışkanların sıcaklığı ve EC değerleri sırasıyla 20-25°C ve 335-3550 µS/cm arasında olup, Kızılcahamam jeotermal sularından daha düşük değerlerdedir. Çamlıdere bölgesindeki sıcak ve mineralli sular Ca-Na-HCO<sub>3</sub> ve Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Çamlıdere'nin Muzrupağacın (ÇT-5) ve Sarıkavak bölgesindeki ÇT-6, ÇT-7, ve ÇT-8 nolu sıcak ve mineralli su kaynaklarının klorür konsantrasyonu düşük (3,01-6,21 mg/l) olup, soğuk suların klorür içeriği ile aynıdır. Bu suların sıcaklığı düşük (20-28°C) olup, pH değeri 6,61-7,80, EC değeri ise 335-410 µS/cm arasında olup, soğuk suların EC

değerlerine benzerdir. Klorür konsantrasyonu ile birlikte, bu suların  $Ca^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$ , B ve Li değerleri de düşüktür. Bu sular karışım suları olarak tanımlanmıştır.

Çamlıdere jeotermal alanında rezervuar kayaç derinliklerinin sığ olması ve aktif fay zonunda bulunması, soğuk yeraltısuyu karışımına uygun, dolayısıyla jeotermal suların sıcaklığı, akışkanın elektriksel iletkenlik değeri, bor ve lityum gibi yüksek sıcaklıkta çözünen elemanların konsantrasyonları ve  $Cl/HCO_3$  oranının Kızılcahamam'a göre daha düşük olması su-kayaç etkileşiminin daha az olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanında yer alan soğuk su kaynaklarının debileri 0,005-1 l/s, sıcaklıkları ise  $8^{\circ}C$  - $16^{\circ}C$  arasında değişmektedir. Kızılcahamam soğuk sularının EC değeri 58,1-348  $\mu S/cm$ , pH değeri ise 6,40 ile 7,8 arasındadır. Çamlıdere soğuk sularının, pH değeri 6,1 - 9,8, EC değeri ise 73,3 - 982  $\mu S/cm$  arasında değişmektedir.

Her iki bölge sularındaki Sr, Ba, Rb, ve Zr elementleri, kayalarda olduğu gibi yüksek değerlerdedir. Bu durum Zr, Rb Ba ve Sr elementlerinin sulara volkanik kayalardan geçtiğine işaret etmektedir.

Travertenlerde iz element konsantrasyonu (Ni, Zr, As, Sr, Ba, ve V) sıcak suların iz element konsantrasyonundan daha yüksek olup, ısı kaynağının sığ derinlikte yerleşmiş olabileceğinin kanıtıdır. Ayrıca volkanik kayalardan süzülen sular ile derinden gelen jeotermal suların karışmasıyla, ısı ve basınç düşmekte ve böylece taşıdıkları metal iyonları travertenlerin bünyesine geçmektedir. Kızılcahamam sahasından alınan koyu renkli Seyhamam traverten örneklerinin iz element konsantrasyonu Acısu Dere'deki mineralli suların oluşturduğu travertenlerdekinden daha yüksektir. Bu durum, Seyhamam travertenlerini oluşturan suların daha sıcak ( $43^{\circ}C$ ) olması nedeniyle daha fazla iyonu çözmekten kaynaklanmıştır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere su örneklerinin kondirite göre normalize edilmiş NTE dağılım diyagramlarında hafif nadir toprak elementleri (HNTE), ağır nadir toprak elementlerine (ANTE) göre nispeten daha yüksek değerler göstermektedir. Bu durum,

kayaç (andezit ve dasit) örneklerinde de görülmektedir. Volkanik kayalarda gözlenen bu durum, magmatik farklılaşma süreçleri veya kısmi ergime sırasında HNTe'lerin sıvı fazı tercih ettiklerini göstermektedir.

Sıcak su örneklerinde izlenen pozitif "Eu" ve "Ce" anomalileri hidrotermal sıvıların kaynağında oksijen fugasitesinin (oksijence fakir) düşük olduğu ortamları işaret etmektedir.

Derin dolaşım sistemini temsil edilen Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal sularında CO<sub>2</sub> kısmi basınç değerleri 0,04-0,1 bar arasında olup, atmosferdeki ortalama kısmi karbondioksit basıncına (pCO<sub>2</sub>= 10<sup>-3.5</sup>) göre oldukça yüksek değerlerdedir. Yüksek CO<sub>2</sub> basıncına sahip, olgun olmayan bu sıcak suların hidrojen metasomatizması oldukça etkili olup, kimyasal tepkimeye girebilme özellikleri fazladır. Sığ dolaşım sistemini temsil eden Seyhamam (KT-12 ile KT-13) ve Çamlıdere Sarıkavak sıcak sularının (ÇT-7 ile ÇT-8) CO<sub>2</sub> kısmi basınç değerleri en düşük değere sahip sular olup, bu suların beslenme alanına yakın ve su-kayaç etkileşim sürelerinin kısa olduğunu göstermektedir.

Bölgedeki sıcak ve mineralli sular genel olarak silis formundaki kuvars, kalsedon gibi mineraller ile kalsit, dolomit ve aragonite doymuş, ancak jips ve florit minerallerine doymuş değildir. Bunun nedeni, sıcak ve mineralli suların muhtemel rezervuar kayacını oluşturan Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının derinde mostra vermeleridir. Tez sahasında yer alan soğuk su kaynaklarının hiçbiri kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doymuş değildir. Bu durum, kaynak sularının yeraltı dolaşımının kısa ve sığ, alandaki volkanik kayaların yaygın olması ile açıklanmıştır.

Kızılcahamam ve Çamlıdere alanındaki tüm sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal evrimlerinde egemen tepkimeyi karbonat ve silikatların çözünürlüğü ile iyon değişim tepkimesi oluşturmaktadır. Bunun nedeni sıcak ve mineralli suların kalsit, aragonit ve dolomite doymuş olmalarıdır. Bununla birlikte Kızılcahamam bölgesindeki sıcak ve mineralli suların volkanik kayalarla birlikte kireçtaşlarından da

beslenerek traverten çökeltmesidir. Ayrıca, derin kökenli CO<sub>2</sub> gazına bağlı olarak oluşan kalsit ve Ca<sup>+2</sup> iyonu arasındaki denge tepkimesi ile albit ve anortit gibi Ca<sup>+2</sup> içeren plajiyoklazların silikat hidrolizi ile Ca<sup>+2</sup> iyonunun kalsit formunda çözültiden ayrılmasından kaynaklanmaktadır.

Sıcak ve mineralli sular akışkan-mineral ilişkisi yönünden dengeye ulaşmamış, kimyasal jeotermometre ve SiO<sub>2</sub> entalpi karışım modeli hesaplamaları ile maksimum rezervuar sıcaklıkları Kızılcahamam bölgesinde 175°C, Çamlıdere bölgesinde ise 100°C'nin üzerinde hesaplanmıştır. Ayrıca, Kızılcahamam ve Çamlıdere sıcak sularının silis minerali denge-sıcaklık yöntemi ile elde edilen sıcaklıkları sırasıyla 75-175°C ve 75-100°C arasındadır.

Kızılcahamam-Çamlıdere bölgesinin meteorik su doğrusu denklemi  $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 15.34$  olarak belirlenmiştir. Kızılcahamam ve Çamlıdere jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynakları meteorik kökenli sularla beslenmektedir. Kızılcahamam sıcak sularının ortalama beslenme alanı yükseltisi, inceleme alanının dışında ve kuzeyinde yer alan Işık Dağı'nın 1350-1750 m kotları arasında ve Kızılcahamam'ın batısındaki Aluç Dağı Tepe'sine karşılık gelmektedir. Çamlıdere sıcak ve/veya mineralli sularının beslenme alanı yüksekliği ise 1494-1833 m arasında olup, bu yükselti Aluç Dağı Tepe, Örenköyü kuzeyindeki Pınar Tepe, Aşağıovacık köyü KB'sındaki Erenler ile Dede Tepesi ve çalışma alanı dışında kalan-Çamlıdere'nin batısındaki Pınar ve Mahya Tepesi bölgelerine karşılık gelmektedir. Kızılcahamam ve Çamlıdere'de bölgelerinde yüksekliğe bağlı  $\delta^{18}O$  değişimi sırasıyla ‰0,27 ve ‰0,34 (VSMOW/100 m) olarak hesaplanmıştır.

Çamlıdere ve Kızılcahamam sıcak suları kimyasal bileşim açısından benzerlik göstermektedir. Ancak, Kızılcahamam sıcak ve mineralli suları daha düşük trityum ve yüksek klorür derişimi ile Çamlıdere sularına göre daha derin dolaşımolu olup, daha uzun yeraltısuyu dolaşım sistemine sahiptir.



Kızılcahamam ve amlıdere soğuk suları yüksek  $\delta^{18}\text{O}$ , yüksek trityum, düşük klorür ve düşük EC değerlerine sahip sığ dolaşımı ve kısa sürede (bir su yılı içinde) kaynak olarak yeryüzüne dönen suları temsil etmektedir.

Kızılcahamam ve amlıdere jeotermal sularının  $\delta^{13}\text{C}$  izotop içeriğinin, derinlerdeki denizel karbonatlarla ve metamorfik temel kayaç minerallerinin çözünmesi ile kabuksal kökenli  $\text{CO}_2$  gazı çözeltileriyle ilişkili olabileceği görülmüştür. Dolayısıyla, sıcak suların ısı kaynağının magma ile ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

Kızılcahamam Acısu Dere ve Seyhamam bölgesinden alınan travertenlerin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri 6,8‰ ile 8,7‰ arasında olup, tektonizma ve volkanik aktivite ile ilişkili olan termojen tipinde oldukları belirlenmiştir.

Jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalarla oluşturulan kavramsal hidrotermal modele göre, sıcak ve mineralli suların, yağmur ve kar yağışından yeraltına süzülen meteorik kökenli suların derinlerdeki soğumamış magmatik kupoldan ve/veya jeotermal gradyanla ısınarak kendisine hidrotermal kanal devi gören süreksizlikler boyunca yükselerek boşaldıkları anlaşılmıştır.

Meteorik kökenli akışkan sistemine sahip Kızılcahamam ve amlıdere sıcak ve mineralli suları düşük entalpi/sıcaklıktaki çatlak sistemine sahip jeotermal kaynaklardır. Kızılcahamam ve amlıdere jeotermal alanları dağlık arazide oluşmuş, sıcak su sisteminin baskın olduğu ve genellikle yaygın karasal volkanizma ile ilişkili olarak oluşan jeotermal sistemleri temsil etmektedir.

Kızılcahamam ve amlıdere jeotermal sahaları birbirinden bağımsız, yeraltı dolaşım yolu uzunluğu ve derinliği, beslenme yükselteleri farklı olan, ancak benzer jeolojik yapıya sahip iki ayrı jeotermal saha olarak değerlendirilmiştir.

Çamlıdere-Atça mineralli suları Uluslararası Hidrojeologlar Birliğinin sınıflamasına göre “Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub>, F, CO<sub>2</sub>’li ve mineralli su” dur. Mineral içeriği yüksek olan bu suların maden suyu olma potansiyeli bulunmaktadır. Suyun kaptajı tamamlandıca, Sağlık Bakanlığı’nın belirlediği maden suyu kriterlerine uygun olarak şişelenerek tüketilmesi uygun olacaktır. Bu girişim, Çamlıdere yöresindeki şişelemeye uygun diğer mineralli kaynakların da ülke ekonomisine kazandırılmasını teşvik edecektir.

Çamlıdere sıcak sularının kaplıca, sağlık, sportif ve turistik tesisler açısından geliştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, bu sıcak su kaynaklarının bölgede yer alan orman işletmeciliği nedeniyle kâğıtçılık endüstrisinde kullanılması olanağı da araştırılmalıdır.

Termal turizm açısından önemli bir merkez haline gelen Kızılcahamam kenti gibi, Çamlıdere bölgesi de, elde edilecek daha yüksek kuyu verimleriyle ülkemizde sayılı sağlık ve turizm merkezlerinden biri haline gelebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Adiyaman, Ö., Chorowicz, J., Arnaud, O.N., Gündoğdu, M.N. and Gourgaud, A. 2001. Late Cenozoic tectonics and volcanism along the North Anatolian Fault: new structural and geochemical data. *Tectonophysics*, 338; 135-165.
- Aggarwal, J.K., Palmer, M.R., Bullen, T.D., Arnorsson, S. and Gnarsdóttir, K.V. 2000. The boron isotope systematics of Icelandic geothermal waters 1. Meteoric water charged systems *Geochimica Cosmochimica Acta*, 64 (4); 579- 585.
- Akman, Y. and Daget, P.H. 1971. Quelques aspects synoptiques des climats de la Turquie *Bull. Soc. Long. Georg. Tome 5, Fasc 3*, 269-300.
- Akyol, E. 1969. Ankara-Kızılcahamam, Çeltikçi civarında bulunan kömür zuhurlarının 1/25000 ölçekli detay jeolojik etüdü hakkında rapor, M.T.A. Raporu No: 4405.
- Albu, M. Banks, D. and Nash, H. 1997. *Mineral and Thermal Groundwater Resources*. Chapman and Hall, 447p; London.
- Altun, İ. E., Kadıncıkız, G. ve Aksay, A, 2002, 1:100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Bolu H28 paftası, No: 42, Jeoloji Etutleri Dairesi, 25 s.
- Andrews, N., Fontes, J.C., Aranyossy, J.F., Dodu, A., Edmunds, M.W., Joseph, A. and Travi, Y. 1994. The evolution of alkaline groundwaters in the continental intercalaire aquifer of the Irhazer Plain, Niger. *Water Resources*, 30(1); 45-61.
- Anonim. 2005. TSE-(266). İnsani Amaçlı Tüketim Suları Standartları, TS 266, Ankara.
- Anonymous. 1996. *Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations*, Vol. 1, 2nd Edition. World Health Organization, Geneva.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H. 1983a. The chemistry of geothermal waters In Iceland. II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47; 547-566.
- Arnórsson, S. Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H. 1983b. The chemistry of geothermal waters In Iceland. III. Chemical geothermometry investigations. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47; 567-577.
- Arnorsson, S. 1985. The use of mixing models and chemical geothermometers for estimating underground temperatures in geothermal systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23; 299-335.
- Arnorsson, S. and Andresdottir, A. 1995. Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 20 (59); 4125-4146.
- Arnorsson, S. 2000. *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use*, IAEA Publication, 351p., Vienna.
- Apaydın, A. 2002, Beypazarı trona (doğal soda) sahası akifer sisteminin beslenme koşullarının araştırılmasında izotop hidrolojisi çalışmaları, *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*. 21-25 Ekim 2002. D.S.İ. yayınları. (195-212), Adana.

- Apha, 1989. Standard methods for examination of water and wastewater. In: Clesceri, L. Greenberg, A.E. Trussell, R.R. (Eds), American Public Health Association American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, 17<sup>th</sup> ed. APHA Publication Washington, D.C., 1134 p. USA.
- Baba, A. ve Özcan, D. 2008. Biga yarımadası'ndaki jeotermal kaynakların potansiyeli, kullanım alanlarının belirlenmesi ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. Tübitak Proje No: Çaydag-104Y082. 324 s.
- Barka, A.A. 1992. The Noth Anatolian Fault, Ann. Tectonicae, VI, 164-195.
- Batum, İ. 1978. Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisi. Yerbilimleri Dergisi, (4); 50-69.
- Barnes, H.L. 1979. Geochemistry of hidrothermal ore deposits. John Wiley - Sons Inc., 798, New York- Chichester-Brisbane Toronto.
- Bau, M. 1999. Scavenging of dissolved yttrium and rare earths by precipitating iron oxyhydroxides: Experimental evidence for Ce oxidation, Y-Ho fractionation, and lanthanide tetrad effect. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63; 67-77.
- Bayal, A. 1974. Kızılcahamam (Ankara) içme suyu etüd raporu. İller Bankası Su ve Kanalizasyon Dairesi Reisliği, No: 1391, 4 s., Ankara.
- Beyhan, A. ve Toy, E. 2006. Çamlıdere (Ankara) Belediyesi jeotermal ön etüd raporu, İller Bankası 7. Bölge Müdürlüğü Raporu, Ankara,
- Bilginer, E., Pehlivan, Ş. ve Aksay, A., 2002, 1:100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Bolu H28 paftası, No: 42, Jeoloji Etutleri Dairesi.
- Brower, E. 1973. Syntesis of barite, celestite, and barium strontium sulfate solit solution crystals. Geoc et Cosmos Acta. 37;155-158, Ireland.
- Burçak, M., Önder, İ., Duman, Ö., Hökelekli, E., Gümüş, N., Üçer, A.ve Keleş, S. 1999. Kızılcahamam (Ankara) sahası jeotermal-jeofizik etüd raporu. M.T.A. Derleme Raporu No: 10221, Ankara.
- Bülbül, E., Kuzuca, M., Arıgün, Z., Toprak, M., Toy, E., Kar, H. ve Mavi, İ. 2012. Ankara ve civarı jeotermal enerji aramaları kapsamında, Ankara-Çamlıdere Tatlak, Muzrupağacın AÇT-2012/8 sondajı ve su analizi sonucu, M.T.A. Proje No: 2012-33-13-05-7, 3 s., Ankara.
- Bülbül, E., Purtul, E., Toy, E., Yolal, A. ve Bal, E. 2013. Ankara ve civarı jeotermal enerji aramaları kapsamında, Ankara-Çamlıdere Muzrupağacın AÇT-2012/17 nolu kuyu bitirme logu. M.T.A. Proje No: 2012-33-13-05-7, 1 s., Ankara.
- Calmbach, L. 1997. AquaChem computer code-version 3.7.42, Waterloo hydrgeologic Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3.
- Canik, B. 1972. Kızılcahamam dolayındaki sıcak ve maden su hakkında not, M.T.A. Ankara.
- Canik, B. 1980. Bolu sıcak su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi, 74s; Selcuk Üniversitesi Fen Fakültesi Yayın No: 1, Doçantlık Tezi, Konya.

- Canik, B. ve Pasvanoğlu, S. 1990. Kızılcahamam dolayındaki sıcak ve mineralli su kaynakların hidrojeoloji incelemesi, Ankara Üniversitesi projesi, Proje No: 91-25-00-94, Ankara.
- Canik, B. 2004. Çamlıdere maden suyunun jeoloji, hidrojeoloji ve jeofizik incelemesi. 10 s., Ankara.
- Chabaux, F. Riotte, J. Dequincey, O. 2003. U-Th-Ra Fractionation during weathering and river transport. In: Uranium-Series Geochemistry. Bourdon, B., Henderson, G. M., Lundstrom, C. C., Turner, S.P., Eds., Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 52; 533-576.
- Clark, I.D. and Fritz, P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, Boca Raton New York, 328p.
- Craig, H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science 133; 1702-1703.
- Çağlar, K.Ö. 1947. Türkiye maden suları ve kaplıcaları. Seri B, fasikül 1, No: 11, Ankara.
- Çelik, M., Dokuz, U.E., Türköz, P.E., Güllü, Ö. ve Arslan, Ş. 2013. Nasrettin Hoca kaynağının (Sivrihisar, Eskişehir) hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, M.T.A. No: 146; 93-104.
- Dansgard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. Tellus, 16; 436-468.
- Demirörer, M. 1985. Ankara Kızılcahamam rezistivite etüd raporu, M.T.A. Raporu No: 7781, Ankara.
- Demir, A. İhsan, A. ve Tekin, Z. 1986. Ankara Kızılcahamam jeotermal enerji arama sondajı (KHD-1) kuyu bitirme raporu. M.T.A. Raporu No: 8760, Ankara.
- Demiroğlu, M. 2007. Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzası hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Maslak, İstanbul, 180 s.
- Doğdu, N., Ortakçı, A. Akar, M. ve Duran, Y. 2014. Kızılcahamam jeotermal alanı kurumsal danışmanlık çalışması Temmuz-Ekim 2013 dönemleri teknik inceleme raporu, M.T.A., 46 s., Ankara.
- Doğan, L. 1981. Hidrojeolojide su kimyası, DS-Yayınları, 178s., Ankara.
- Dominco, P.A. 1972. Concepts and Models in Groundwater Hydrology. McGraw Hill, New York.
- Drever, J.I. 1997. The Geochemistry of Natural Waters Surface and Groundwater Environments. Third Edition, Prentice hall, 436p.
- Ekmekçi, M. 1992. Ceyhan-Berke barajı ve yakın dolayının karst hidrojeolojisi incelemesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 116 s.
- Ercan, T. 1970. Seyhamam (Kızılcahamam) Ankara. M.T. A. Raporu No: 557, 4s., Ankara.
- Ercan, T. 1986. Orta Anadoludaki Senozoyik Volkanizması. M.T.A. Dergisi No: 107;119-140, Ankara.

- Erdoğan, A. 2012. Çamlıdere Tarih ve Kültür Atlası. Çamlıdere Belediye Başkanlığı Kültür Yayınları:1, ISBN:978-605-62761-0-1,639s.
- Erişen, B. and Ünlü, M.R. 1980. Ankara, Çubuk, Kızılcahamam ve Kazan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, M.T.A. Raporu No: 9949, 71 s. Ankara.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. 1984. Yeraltı Suları Jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, s. 917, İstanbul.
- Erol, O. 1954. Ankara ve civarının jeolojisi hakkında rapor, Kızılcahamam güneyi Ankara Bala, Haymana Kırıkkale Çubuk. M.T.A. Derleme Raporu, No:2491, s102-104, Ankara.
- Erol, O. 1955. Köroğlu-Işık dağları volkanik kütlelerinin orta bölümleri ile Beypazarı-Ayaş arasındaki Neojen havzasının jeolojisi, M.T.A. Raporu No: 2279, Ankara.
- Erol, O. 1952. Ankara kuzeyinde Mira ve Aydos dağları bölgesinin jeolojisi hakkındaki ön rapor, M.T. A. Raporu No: 2457, Ankara.
- Freeze, R. A. and Cherry, J.A. 1979. Groundwater, Prentice-Hall, USA, 604p.
- Frengstad, B., Skrede, A.K.M., Banks, D., Krog, J.R. and Siewers, U. 2000. The chemistry of Norwegian groundwaters: III. The distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques. Science of the Total Environment, 31; 21-40.
- Fournier, R.O. 1973. Silica in thermal waters. Laboratory and field investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry. Tokyo, I. Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- Fournier, R.O. and Truesdell, A.H. 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. Geochimica Cosmochimica Acta. 37;1255-1275.
- Fournier, R.O. and Truesdell, A.H. 1974. Geochemical indicators of subsurface temperature-part, estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water J.Res. U.S. Geol. Survey. 2; 263-270.
- Fournier, R. O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics, 5; 41-50.
- Fournier, R.O. 1979a. A revised equation for the Na-K geothermometer. Transactions Geothermal Resources Council, 3; 221-224.
- Fournier, R.O. 1979b. Geochemical and hydrologic considerations and the use of enthalpy chloride diagrams in the predication of underground conditions in hot spring systems. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 5; 1-16.
- Fournier R.O. and Potter, R.W. 1979. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, Geochimica et Cosmochimica Acta, 43; 1543-1550.
- Fournier, R.O. 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geothermal Research Council Transactions, 14; 1421-1425.
- Gat, J.R. and Carmi, I. 1970. Evolution in the isotopic composition of atmospheric 749 waters in the Mediterranean Sea area. Journal of Geophysical Research, 75; 3039-3048.

- Gevrek, A. I., Demir, A. Tekin, Z. 1986. Ankara-Kızılcahamam jeotermal enerji arama sondajı (KHD- 1 ) kuyu bitirme raporu, M.T. A. Raporu No: 2760, Ankara.
- Gevrek, A. I. Tekin, Z. Tuncay, M.N. 1987. Ankara Kızılcahamam jeotermal alanı gradyan sondajlarının (MTA-2, MTA-3, MTA- 4), kuyu bitirme raporu, M.T.A. Raporu No: 8749, Ankara.
- Gevrek, A. I. 2000. Water rock interaction in the Kızılcahamam geothermal field ,Galatian Volcanic Province Turkey, a modelling study of a geothermal system for reinjection well locations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (96); 207–213.
- Giggenbach, W. F. 1981. Geothermal mineral equilibria, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45; 393-410.
- Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal solute equilibrium. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749 - 765. NITAR/UNDP Publication, Rome, 119-142.
- Giggenbach, W.F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In. D'Amore, F. (co-ordinator). *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. UNITAR, USA, 119-144.
- Giggenbach, W. F. and Glover, R. B. 1992. Tectonic regime and major processes governing the chemistry of water and gas discharges from the Rotorua geothermal field, NewZealand. *Geothermics*, 21; 121-140.
- Güleç, N. 1994. Geochemistry of geothermal water and its relation to the volcanism in the Kızılcahamam Ankara area, (Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59; 295-312.
- Güleç, N., Hilton, D.R., Hilton and Mutlu, H. 2002. Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Elsevier Science, Chemical Geology*, 187; 129-142.
- Gümüş, Ö. 1964. Kızılcahamam güney dolaylarının jeolojisi. *Petrol Dairesi Yayınları*, No: 9, Ankara.
- Gümüş, E. 2008. Yeni bir doğa koruma kavramı: UNESCO jeoparklar çerçevesinde Çamlıdere (Ankara) Fosil Ormanı fizibilite çalışması. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuzmayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Samsun, 129s.
- Gürer, A. and Çelik, I. 1987. Kızılcahamam sahası jeotermal aramaları yüksek ayrımlı sismik etüd raporu M.T.A. Raporu, No: 8255, Ankara.
- Guo, Q. and Wang, Y. 2012. Geochemistry of hot springs in the Tengchong hydrothermal area, southwestern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 215/216; 61-73.
- Hem, J.D. 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.
- Henley, R.W. and Ellis, A.J. 1983. Geothermal systems ancient and modern: A Geochemical review. *Earth Science Reviews*, 19; 1-50.

- Hitchon, B., Perkins, E. H. Gunter, W. D. 1999. Introduction to Groundwater Geochemistry. Canada: Geoscience Publication.
- Hochstein, M. P. 1988. Assessment and modelling of geothermal reservoirs (small utilisation schemes). *Geothermics*, 17; 15-49.
- Hochstein, M.P. 1990. Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson MH and Fanelli M (eds) Small geothermal resources, UNITAEW NDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 31-59.
- Hochstein, M.P., Zhongke Y. Ehara S. 1990. The Fuzhou geothermal system (People's Republic of China): modeling study of a low temperature fracture-zone system. *Geothermics*, 19; 43-60.
- Hochstein, M.P. and Browne, P.L. 2000. Surface manifestations of geothermal systems with volcanic heat sources. *Encyclopedia of volcanoes*, Geothermal Institute, The University of Auckland, New Zealand, 835-854.
- Hochstein, M.P., Zheng, Y., Pasvanoğlu S. Neal, P.V. 2013. Advective (Heat Sweep) geothermal systems, Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California.
- İller Bankası, 2009. Çamlıdere-Ahatlar (Ankara) bölgesi jeotermal sular kuyu bitirme raporu, Ankara.
- Karakaya, E. 1981. Güvem bucağı-Aköz-Beşkonak fosilli diatomit sahasının etüt raporu, M.T.A. Raporu No: 6528, Ankara.
- Karakuş, H. Şimşek, Ş. İnan, S. 2005. Efteni (Düzce) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. 26-30 Eylül. D.S.İ. yayınları. (45-58); Gümüşdüz-İzmir.
- Kawabe, I. Ohta, A. Miura, N. 1999. Distribution coefficients of REE between Fe oxyhydroxide precipitates and NaCl solutions affected by REE- carbonate complexation. *Geochemical Journal*, 33; 181-197.
- Kaya, T. 2005. Characterization of Kızılcahamam geothermal field by tracer testing, Msc Thesis, Middle East Technical University, Ankara..
- Kazancı, N. 2010. Guidebook for the Kızılcahamam volcanics and petrified forest in central Anatolia, Turkey. In; GSA Midcongress Field Excursions Guide Book, Tectonic Crossroads; Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, Ankara, Turkey, 4- 8 October 2010, p 35-48
- Kazancı, N. 2012. Geological background and three vulnerable geosites of the Kızılcahamam Çamlıdere Geopark Project in Ankara, Turkey. *Geoheritage*, DOI 10,1007/s12371-012 0064-2.
- Keller, J. And Jung, D. 1992. Eckhardt, F.J. Kreuzer, H. Radiometric ages and chemical characterization of the Galatian andesite massif, Pontus, Turkey, *Acta Vulcanologica*, 2, 267-276.
- Keskin, B. 1974. Ankara bölgesi Kızılcahamam Kaplıcası hidrojeoloji, M.T.A. Raporu, Ankara.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, M.T.A. Dergisi, Ankara, sayı 66; 20-35.



- Kharaka, Y.K. Lico, M.S. Law, L.M. 1982. Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. American Association of Petroleum Geology Bulletin, 66; 558.
- Kharaka, Y.K. and Mariner, R.H. 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins.38 In: Naeser, N.D., McCulloh, T.(Eds), Thermal History of Sedimentary Basins. Springer Verlag, New York, 99-117.
- Koçak, A. 1977. Kızılcahamam Kaplıcası hidrojeoloji etüdü. M.T.A. Raporu No: 5669, Ankara.
- Koçak, A. 1997. Kozaklı (Nevşehir) Jeotermal alanının su kimyası ve rezervuar sıcaklığının İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara
- Koçyiğit, A. Türkmenoğlu, A. Beyhan, A. Kaymakçı, N. ve Akyol, E. 1995. Post-collisional tectonics of Eskişehir-Ankara-Çankırı segment of İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone (İAESZ): Ankara Orogenic Phase. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 6; 69-86.
- Koçyiğit, A., Winchester, J. A., Bozkurt, E. and Holland, G. 2003. Saraçköy Volcanic Suite: implications for subductional phase of arc evolution in Galatean Arc Complex, Ankara, Turkey, Geological Journal, 38 (1); 1-14.
- Leonhard, R. 1903. Geologische Skizze des Galatischen Andesitgebietes nördlich von Angoras, Neues Jahrb. Mineral., Beil. Bd. 16; 99-109 Stuttgart.
- Mazor, E. 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. Open University Press, First publish, pp 264, buckingham.
- McNeely, R. N. Neimanis, V. P. Dwyer, L. 1979. Water Quality Sourcebook, a Guide to Water Quality Parameters, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, 88p.
- McKenzie, D.P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30; 109-185.
- McKenzie, D.P. and O’Nions, R.K. 1991. Partial melt distributions from inversion of rare earth element concentration. J. Petrol, 32; 1021-1091.
- McDonough W. F. and Sun S. 1995. The composition of the Earth, Chemical Geology 120; 223-253.
- Milch, L. 1903. Die Ergabgesteine des Galatischen Andesitgebietes nördlich von Angora. Neues Jahrb. Mineral., Beil. Bd. 16;110–165.
- Möller, P. 2005 Rare earth elements and yttrium in geothermal fluids. Geothermal geochemistry and some new geothermal approaches page 107.
- Möller, P., Dulski, P., Savaşcı, Y. and Conrad, M. 2004. Rare earth elements and Yttrium and Pb isotope ratios in thermal spring and well waters of West Anatolia, Turkey: a hydrochemical study of their origin. Chemical Geology. 206; 97-118.
- Moret, L. 1946. Les sources thermominerales. Hydrogeologie, Geochimie, Biologie. Masson et Cie, Paris.

- Muratçay, E.V. 2006. Çamlıdere (Ankara Kuzebatısı) Yöresi volkanik kayaçların petrolojisi ve jeokimyası. Hacettepe Üniversitesi Doktora tezi, 152 s., Ankara.
- Mutlu, H. 1998. Gazlıgöl (Afyon) termal ve maden sularının jeokimyasal özellikleri ve jeotermometre uygulamaları. Jeoloji Mühendisliği Bülteni, Sayı 50; 1-7.
- Mutlu, H. 2007. Constraints on the origin of the Balıkesir thermal waters (Turkey) stable isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ) and major-trace element compositions, Turkish Journal of Earth Sciences, 16; 13-32.
- MTA, 2002. Türkiye 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası, Zonguldak paftası, M.T.A. Ankara.
- Nicholson, K. 1993. Geothermal Fluids; Chemistry and Exploration Techniques. Springer, Berlin.
- Nieva, D. and Nieva, R. 1987. Development in geothermal energy in Mexico, Part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP, 7; 243-258.
- Öktü G. 1985. Ankara-Çamlıdere ilçesinin su ihtiyacı ile ilgili olarak mahallinde yapılan ön incelemeye ait rapor, M.T.A. Raporu No: 7683, 20s.
- Okay, A. and Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society of London. Special Publications V. 156; 475-515
- Öngür, T. 1976. Kızılcahamam-Çamlıdere-Çeltikçi-Kazan dolayının jeoloji durumu ve jeotermal enerji olanakları, M.T.A. Raporu No: 5669, Ankara.
- Öngür, T. 1977. Kızılcahamam GB'sının volkanolojisi-petroloji incelemesi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20; 1-12, Ağustos, Ankara.
- Örgün, Y., Şahin, S.Y., Gültekin, A H., Güngör, Y., Altınsoy, N., Çelebi, N., Karacık, Z. and Göker, F.A. 2007. Geyikli Güneyindeki (Ezine-Çanakkale) Magmatik Kaya Akiferlerinden Sağlanan İçme ve Kullanma Sularının Hidrojeokimyasal Karakteristikleri, Radyoaktivite Seviyeleri ve Bunların Sağlık Üzerine Etkileri. TÜBİTAK Projesi No: 104Y031, 168s., Ankara.
- Özbek, T. ve Koçak, A. 1983. Seyhamam Kaplıcası korunma alanları raporu, M.T.A. Raporu No: 7381, Ankara.
- Özbek, T. 1989. Interpretation of Ankara- Kızılcahamam geothermal area, U.N. Seminar on New Developments in Geothermal Energy, United Nations Economic Commission for Europe, 22-25 May Ankara.
- Özbek, T. 2013. Ankara-Kızılcahamam jeotermal sahasındaki jeotermal kuyularının işletme ruhsatına ilişkin 01.01.2012-31.12.2012 dönemi işletme faaliyet raporu. Ankara (Yayınlanmamış).
- Özgür, R., Yurtsever, D., Uğur, H., Yıldırım, T., Yıldırım, N. Güner, N. ve Aydoğdu, Ö. 1999. Aktaş-Salur Dereköy (Gerede, Bolu) ve Peçenek (Çamlıdere, Ankara) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları raporu, M.T. A. Raporu No: 962; 45, Ankara.
- Öziçli, F. 2011. Ankara ili Çamlıdere Meşeler (Ruhsat No: 154) Çamlıdere Tatlık (Ruhsat No: 155) ruhsat alanlarının jeoloji haritası. M.T.A. (Yayınlanmamış).

- Özmutaf, M., Özçelik, S. ve Ölmez, E. 1984. Ankara Kızılcahamam Kaplıcası 1 Nolu sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, M.T.A. Raporu No: 7723, Ankara.
- Pasvanoğlu, S. and Arıgün, Z. 1998. Hydrogeological investigation of the mineral waters of Kızılcahamam Acısudere Greek, Geological Symposium of Fırat (Elazığ) University. 12-16 October, 2001, Elazığ/Turkey.
- Payne, B. and Dinçer, T. 1965. Isotope Survey of Karst Region of Southern Turkey, Procceeding of Sixth International Conference of Radiocarbon and Tritium Dating, IAEA, Publication.
- Pentecost, A. 1995. The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. Quaternary Science Reviews 14; 1005-1028.
- Pentecost, A. 2005. Travertine. Springer - Verlag, Berlin Heidelberg.
- Perry, E.C., Grundl, T. Gilkeson, R.H. 1982. H, O, and S isotopic study of the ground water in the Cambrian-Ordovician aquifer system of northern Illinois, In: Isotope studies of hydrologic processe, Northern Illinois University Presses, DeKalb, Illinois, p. 35-45.
- Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions 25; 914-923.
- Reçber, A. Yurtsever, G. Arıcan, H. T. 2009. Çamlıdere (Ankara) Belediyesi JTE-06/026 (ÇMDJ-1) ve JTE-06/28 (ÇMJD-2) nolu jeotermal kuyu logu. İller Bankası, Ankara.
- Reed, M. and Spycher, N. 1984. Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, Geochimica Cosm. Acta. 48; 1479-1492.
- Reyes, A.G. 2010. Assessing the flow of thermal waters in low-temperature mineral spring systems in the South Island, New Zealand. Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia.
- Rollinson, H. 1993. Using geochemical Data. Library of Congreso Catalog-in puplication
- Schoeller, H. 1962. Les eauv souterailnes. Mason, Paris.
- Schumacher, R., Schumacher, U.M. Toprak, V. 2001. The Sarikavak Tephra, Galatea, Nnorth central Turkey: a case study of a Miocene complex plinian eruption deposit. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 112; 231-245.
- Serruya, S. 1962. Kızılcahamam Seyhamam kaplıcası. M.T.A. Raporu No: 3299, Ankara
- Sevin, M. ve Aksay, A. 2002. 1:100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Bolu H28 paftası, No: 42, Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Karakuş, K., Fodor, L., Araz, H. and Karadenizli, L. 1997. Does continuous compressive tectonic regime exist during Late Palaeogene to Late Neogene in NW Central Anatolia, Turkey? Preliminary observations: Turkish Journal of Earth Sciences, 6; 77 - 83.
- Smith, R.A. 2002. Basic geology and chemistry of borate. American Ceramic Society Bulletin, 81 (8); 240-255.

- Süzen, M.L. 1996. Neojen Yaşlı Pelitçik havzasındaki gösel mineral fasiyesleri (Galatya Volkanik Provensi), ODTÜ, Jeoloji Müh. Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 121 s., Ankara.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Akdeniz Üniversitesi, Isparta.
- Şengör, A.M.C. Kidd, W.S.S. 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and comparison with Tibet, *Tectonophysics*, 55; 361-376.
- Şengör, A.M.C. 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, T.J.K. Konferans serisi, 2, 40 s.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey; Plate tectonic approach, *Tectonophysics*. 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C. and Canitez, N. 1982. The North Anatolian Fault. In: Berckhemer, H., Hsu, K.(Eds.), *Alpine-Mediterranean Geodynamics*, Am. Geophys. Union, *Geodynamic Series*, 7; 205-216.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: turkey as a case study, in: Biddle, K.T., Christie-Blick, N.(Eds.), *Strike-slip faulting and basin formation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37, 227-264.
- Taka, M. Şener, ve M. Gevrek, A. İ. 2001. Seben-Gerede-Kırıscık (Bolu)-Beypazarı-Çamlıdere - Güvem (Ankara) alanında yüzeylenen Üst Miyosen volkanikleri altındaki birimlerin enerji hammadde potansiyeli, M.T.A. Raporu No: 10440, 74 s.
- Tankut, A., Satır, M., Güleç, N. and Torak, V. 1995. Galatya Volkaniklerinin Petrojenezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi-TÜBİTAK Projesi Raporu (Yayınlanmamış).
- Tankut, A. Wilson, M. Yihunie, T. 1998. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85; 285-301.
- Tarcan, G. (Eds.) 2003. Jeotermal Su Kimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamaları 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı Savaşçın, M.Y. Güleç, N. Şimşek, Ş. Parlaktuna, M. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No: 306; 198-247.
- Tatlı, S. 1975. Kızılcahamam doğu alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları M.T.A. Raporu No: 5749, Ankara.
- Telsiz, S. 2004. Güvem (Ankara K'yi) volkanitlerinin mineralojisi, petrografisi ve jeokimyası, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99 s.
- Temel, A. Gündoğdu, M.N. Gourgaud, A. 1998. Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (85)1-4; 327-354.
- Thornwaite, C. W. 1948. A new and improved classification of climates. *Geographical Review*, 38-1; 55-94. New York.

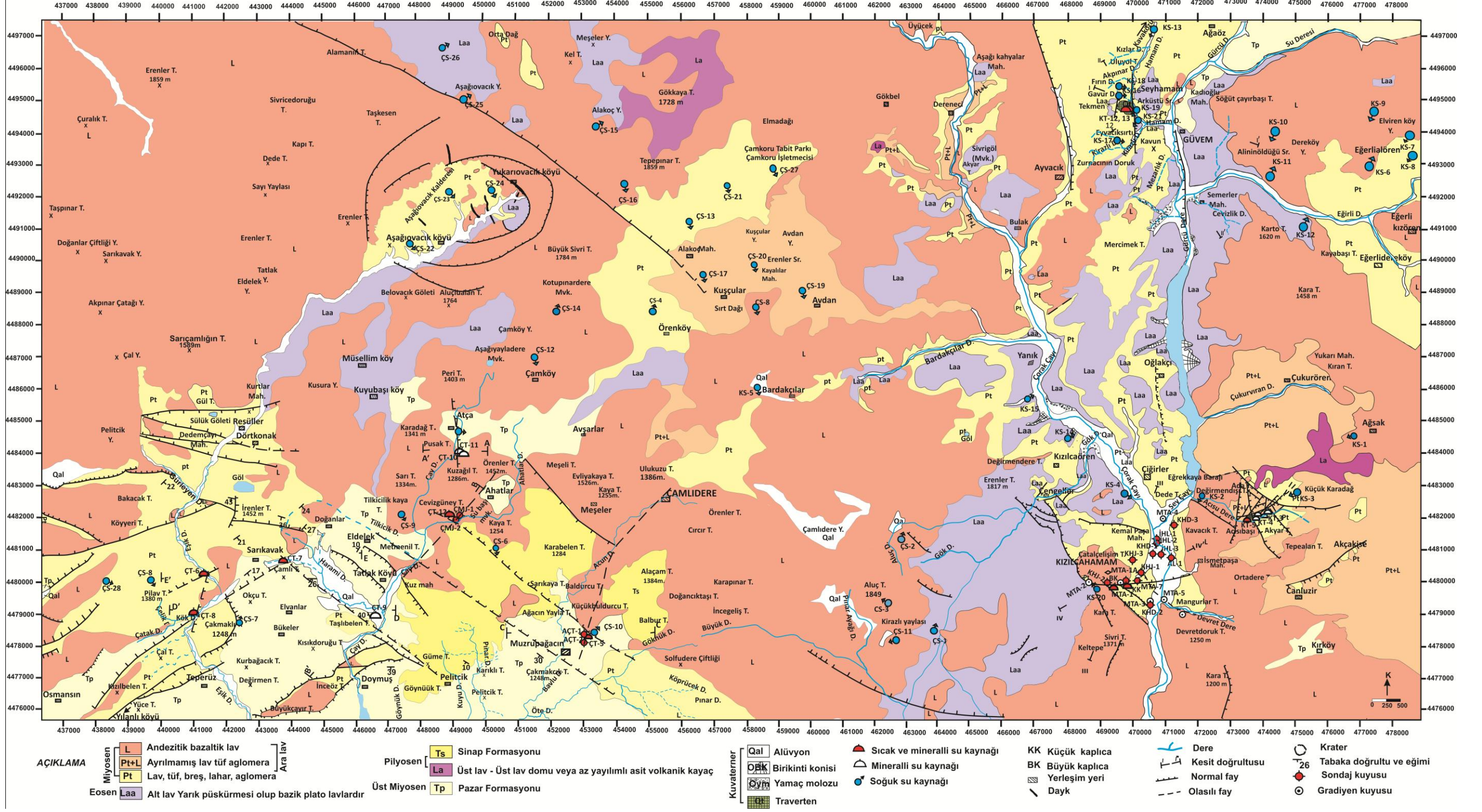
- Tôle, M. P. Arnannsson, H. 2iong-He, P. Arnârsson, S. 1993. Fluid-mineral equilibrium calculations for geothennal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics*, 22; 17-37.
- Toker, M. ve Durak, S. 1990. Kızılcahamam KHD-1 ve MTA-1 kuyuları test raporu, M.T.A. Raporu Ankara.
- Tonani, F. 1980 Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., 2 nd Symposium, Strasbourg*, 428-443,(1980).
- Toprak, V., Savaşçın, Y., Güleç, N. and Tankut, A. 1996. Structure of the Galatean Volcanic Province, Turkey, *International Geology Review*, 38; 747-758.
- Turgut, A.T. 1978. Kızılcahamam (Ankara) Çeltikçi ve Çamlıdere Neojen havzalarının linyit olanakları, M.T.A. Raporu No: 6173 Ankara.
- Türkover, M. 1983. Eğrekkaya barajı mühendislik jeolojisi planlama raporu, Ankara Su Temin Projesi. D.S.İ. Ankara 22 s.
- Türkecan, A., Hepşen, N., Papak, İ., Akbaş, B., Dinçel, A., Karataş, S., Özgür, İ., Akay, E., Bedi, Y., Sevin, M., Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E. ve Saraç, G. 1991. Seben-Gerede (Bolu)-Güdül-Beypazarı (Ankara) ve Çerkeş-Orta-Kurşunlu (Çankırı) yörelerinin (Köroğlu Dağları) jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (M.T.A.) Raporu No: 9193 (Yayınlanmamış).
- Truesdell, AH. 1975. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration In: *Proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, 25-50, San Francisco.
- Truesdell A. H. 1976. Summary of section III geochemical trchniques in exploration. In: *Proceedings of the 2nd United Nations Symposium on the Development and use of Geothermal Resources*, San Francico, U.S. Gov. Printing Office, Pp.53-79.
- Truesdell, A.H. and Fournier, R.O. 1977. Procedure for estimating the temperature of a hot water component in mixed water using a plot of dissolved silica vs. enthalpy. *U.S. Geological Survey Journal Research* 5; 49-52.
- Truesdell, A. H. 1991. Effects of physical processes on geothermal fluids. *Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, F. D'Amore (ed.),71-92.
- Ünlü, M.R. 1973. Kazanlar (Bolu) Peçenek (Ankara) alanının jeotermal enerji olanakları hakkında rapor. M.T.A. Genel Müdürlüğü, Derleme Raporu No: 5436, Ankara.
- Wilson, M. Tankut, A. Güleç, N. 1997. Tertiary volcanism of the Galatian province, north-west Central Anatolia, Turkey, *Lithos* 42; 105-121.
- Wood, S. A. 1990. The aqueous geochemistry of the rare earth elements and yttrium I. Review of available low- temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciattion of natural waters. *Chemical Geology*, 82; 159-186.

- Udluft, P. 1976. The deeper groundwater in Germany. Mono., Hydrol. of Great Sediment. Basins, 75-77.
- Yenel, O. 1975. Türkiye Maden Suları, İç Anadolu Bölgesi, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hidro - Klimatoloji Kürsüsü, sayı 2, İstanbul.
- Yılmaz, E. 2006. Çamlıdere Barajı havzasında erozyon problemi ve risk analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversite Sosyal Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 118 s.
- Yücel, B. Hamut, M.N. 1996. Kızılcahamam kaplıcası sıcak su sondajı (MTA-7) kuyu bitirme raporu, M.T.A. Raporu No: 10093.
- Yürür, M.T. Temel, A. Köse, O. 2002. Galatya volkanik bölgesinin sınırındaki kabuk açılmasına ait veriler, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 45, Sayı:1, Ankara
- Zarrouk, S.J. and Watson, A. 2001. Thermodynamic and transport properties of saturated steam and water. Geothermal Institute, University of Auckland. 23s

## EKLER

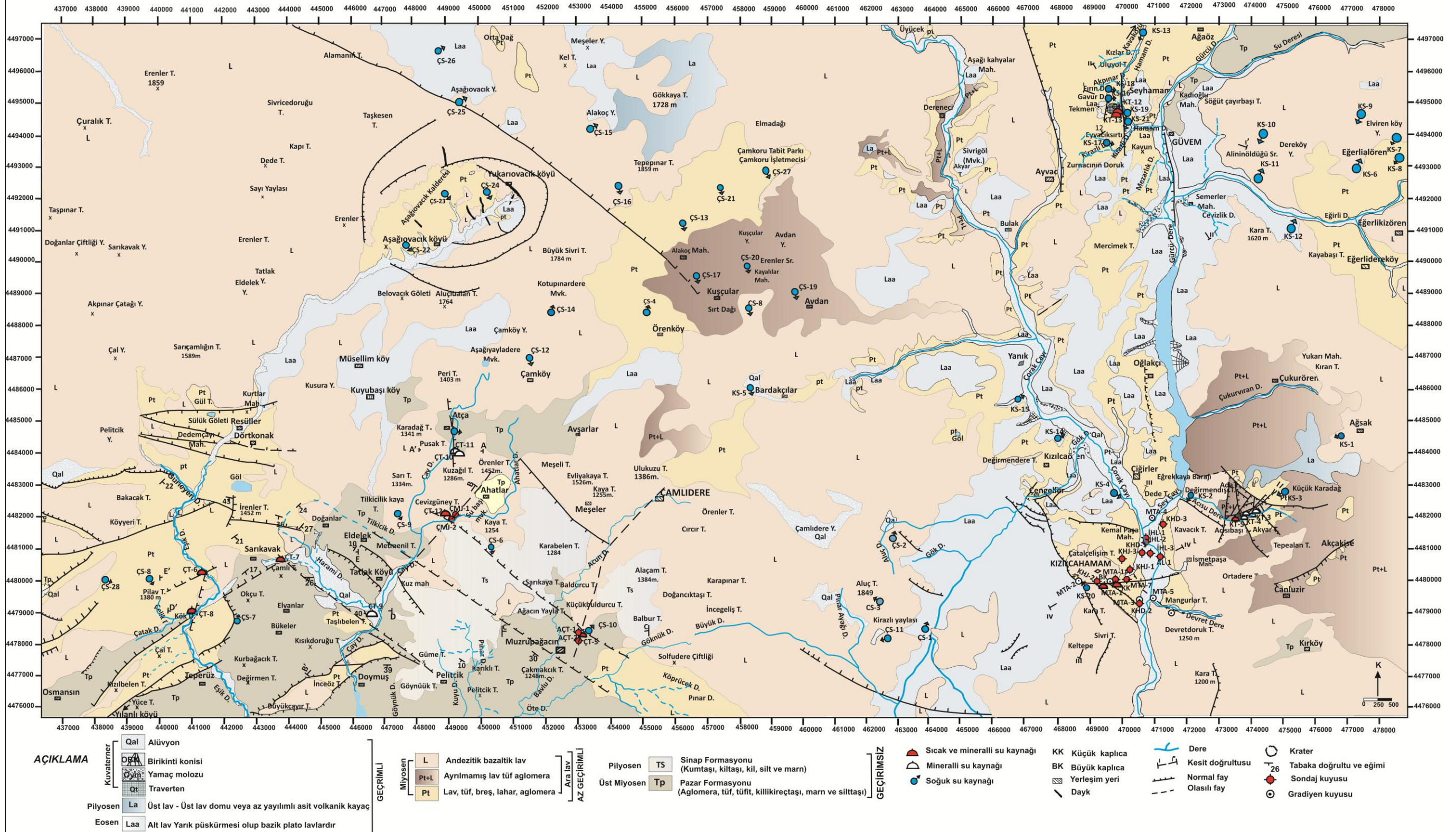
EK 1 İnceleme alanının jeoloji haritası.....	294
EK 2 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası .....	295
EK 3 Kızılcahamam sıcak ve mineralli suların kimyasal analiz sonuçları.....	296
EK 4 Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l) .....	298
EK 5 Kızılcahamam soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l).....	300
EK 6 Çamlıdere soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l) .....	302
EK 7 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri .....	304
EK 8 Çamlıdere sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri .....	305
EK 9 Kızılcahamam soğuk sularına ait iz element içerikleri.....	306
EK 10 Çamlıdere soğuk sularına ait iz element içerikleri .....	307
EK 11 Kızılcahamam sıcak ve mineralli suların nadir toprak element sonuçları .....	309
EK 12 Çamlıdere sıcak ve mineralli suların nadir toprak element sonuçları .....	309
EK 13 Kızılcahamam soğuk suların nadir toprak element analiz sonuçları.....	310
EK 14 Çamlıdere soğuk suların nadir toprak element analiz sonuçları .....	310
EK 15 Kayaç ve su örneklerine ait nadir toprak elementlerin (C1 kondrite değerine göre normalize edilmiş içerikleri .....	311
EK 16 Kızılcahamam sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014).....	312
EK 17 Kızılcahamam soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014).....	313
EK 18 Çamlıdere sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014).....	314
EK 19 Çamlıdere soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014).....	315

EK 1 İnceleme alanının jeoloji haritası (Altun vd 2002, Sevin ve Aksoy 2002, Bilginer vd. 2002, Özgür vd. 1999, Canik ve Pasvanoğlu 1990, Erişen ve Ünlü 1980 Özicli 2011'den değiştirilmiştir)





EK 2 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası (kaynak açıklamaları EK 1'deki gibi)



EK 3 Kızılcahamam sıcak ve mineralli suların kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

Kod	Tarih	T°C	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
*KT-1	6.11.1992	77,6	7,40	2550	42,40	25,54	610	58	257	177	1538	55	2	8,50	1,10	1311
	24.5.1993	75	7,50	2000	31,60	11,67	665	56	266	154	1525		2	9	•	
*KT-2	6.11.1992	76,5	7,80	2500	45	25,41	600	58	265	172	1525	64	1,70	6,80	1	1312
	24.5.1993	76	6,79	2200	34,80	10	775	58	229	172	1544	59	2	12,80	•	
KT-3	6.11.1992	23	6,00	1700	85	31,25	310	40	220	171	885	55	1,40	7	1,70	1070
	24.5.1993	21	6,10	1800	91,4	15,68	375	43	224	182	909	51	1,40	6,70		
	5.11.2013	23	6,50	1550	79,80	30,96	372	40	247	130	939	55	1,50	7	1,70	
KT-4	6.11.1992	21,6	6,70	3700	102	40,61	1000	80	486	234	2245	40	1,40	18	1,70	2219
	24.5.1993	21,5	6,83	3000	57,40	26,63	990	72	486	161	2240	40	1,40	18	•	
	◆2.10.2013	-	6,50	4790	100	36	1205	34	1158	114	4790	54	1,28	15,92	<0,1	
	8.4.2014	35	6,86	5043	190,87	46,90	975	96,25	466,23	117,08	2500	40	1,88	14,73	2,24	
KT-5	6.11.1992	32	6,40	3650	102	40,61	1000	84	480	183	2276	49	2,30	19	1	2184
	24.5.1993	31	6,50	3500	46,80	32,10	1100	76	487	151	2276	40	2,40	20	1	
*KT-6	1995	76	6,40	2860	64	15	672	58	106,5	336	1555	117	1,30	10,40	1,10	1475
*KT-7	5.11.2013	70	6,50	3460	95,25	18,31	700,27	64,27	223	103	1635	77	1,90	6,77	1,25	1466
	8.4.2014	70	6,50	3450	90	18	699	65	222	101	1630	76	1,92	7,45	1,20	
*KT-8	5.11.2013	81	6,50	3030	106,31	20,65	609,97	63,66	183,46	100,27	1531	74	2,06	7,40	1,19	1128
	8.4.2014	81	7,51	3000	107	20,5	611	65	184	101	1530	73	2,15	6,90	1,1	
*KT-9	5.11.2013	70	6,52	3240	92,22	19,50	638,89	62,98	192,39	129,24	1539	94,08	2,01	7,37	1,22	1414
	8.4.2014	70	7,50	2800	93	19,20	635	62,20	191	130	1535	94	2,14	6,73	1,20	
*KT-10	5.11.2013	70	6,51	3520	98,76	20,49	705,97	62,69	255,17	103,09	1644	80	2,41	8,48	1,31	1541
	8.4.2014	70	7,00	3200	90	19	700	61,20	254	102	1639	78	2,21	7,30	1,20	

\*Kuyu; ◆MTA

EK 3 Kızılcahamam sıcak ve mineralli suların kimyasal analiz sonuçları (devam)

Kod	Tarih	T °C	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
KT-12	06.11.1992	42,8	7,20	1200	140	28,92	218,96	21,06	20,59	69,6	1000	22	1,60	1,90	1,1	777
	24.5.1993	42,8	7,13	1000	77,60	24,56	280	22	19,96	50,61	1007	23	2	2,60	•	
KT-13	06.11.1992	43	6,09	1029	118	27,6	230	21,06	19,60	76,80	1013	21	1,30	1,90	1,1	728
	24.5.1993	42,5	7,00	1200	93,60	16,78	270	22	18,96	39,50	1007	19	3,00	2,65	•	
	8.04.2014	41,5	6,40	1855	139,75	28,98	226,21	24,59	13,97	26,50	1055	16,29	2,92	1,61	0,24	
					<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>HCO<sub>3</sub></b>					
En yüksek					190,87	46,90	1100	96,25	1158	336	4790					
En düşük					31,60	10	218,96	21,06	13,97	26,50	885					
Ortalama					89,42	28,94	632,88	58,74	270,43	137,03	1614,69					

EK 4 amlıdere sıcak ve mineralli sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

Kod	Tarih	T°C	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
*ÇT-1	5.11.2013	41,7	6,62	3240	75,98	8,86	770,60	91,24	45,73	8,49	2172	79,57	7,06	5,80	0,37	2074
	8.4.2014	42,4	6,60	3016	60,23	7,27	701,46	93,06	44,10	10,48	1960	88,10	7,31	6,38	<0,01	
*ÇT-2	5.11.2013	27,3	6,31	1405	41,02	7,80	388,70	42,05	34,70	6,28	1293	140	3,70	4,90	0,19	1068
	8.4.2014	27,3	6,20	1669	43,03	10,32	325,32	50,36	23,71	7,35	1011	141,0	1,30	2,82	0,20	
*ÇT-3	•4.10.2012	40	7,30	1245	47	8,87	310	41,80	17,5	9,10	996	117	0,70	1,40	0,20	796,8
*ÇT-4	5.11.2013	37,4	6,96	2460	40	10,39	513,32	40,52	26,51	15,58	1603	76,14	0,76	3,28	0,37	1574,4
	8.4.2014	37	6,94	2090	41,79	6,51	527,01	37,46	28,25	8,51	1458	70	0,27	2,09	0,33	
ÇT-5	5.11.2013	25	6,90	335	19	9,10	55,00	17	4,70	3,50	240	100	0,20	0,20	0,03	214,4
	8.4.2014	24,5	7,00	377	26,71	9,73	49,66	11,12	3,85	3,28	249,95	50	0,18	<0,01	0,03	
ÇT-6	5.11.2013	28	7,80	410	29,10	8,55	37,41	21,84	4,16	5,55	233,54	74,81	0,12	0,76	0,02	262,4
	8.4.2014	28	7,60	370	21,28	8,14	37,04	24,68	3,01	5,71	214,24	70	0,06	0,01	0,02	
ÇT-7	5.11.2013	25	7,57	390	30,83	10,33	32,17	10,97	6,21	5,33	210,30	73,71	0,58	0,67	0,02	249,6
	8.4.2014	24	7,50	385	30,75	10,10	30,15	10,90	5,5	6,60	215,30	75,20	0,58	0,60	0,02	
ÇT-8	5.11.2013	20	6,60	350	29,70	12,43	30,49	14,10	4,01	7,60	227,57	92	0,31	<2,5	0,03	224
	8.4.2014	20	6,61	398	31,46	14,06	29,15	13,98	3,83	7,36	233,89	95,11	0,16	<2,5	0,03	
ÇT-9	5.11.2013	23	6,70	2250	86,90	25,52	408,69	83,30	25,42	19,95	1385,57	99,39	0,53	4,00	0,24	1440
	8.4.2014	23	6,70	1816	83,50	28,25	400,0	78,20	25,50	18,00	1390	100	0,50	4,10	0,25	
ÇT-10	5.11.2013	13	7,62	1390	55	7,00	470,10	52,00	26,10	7,20	1390	39,10	4,80	4,10	0,27	889,9
	8.4.2014	12	6,20	2200	50,01	7,74	471,52	53,24	26,28	7,45	1393	38,48	4,79	3,58	0,22	
ÇT-11	5.11.2013	10	7,80	3550	119,49	16,67	703,48	75,06	39,09	10,36	2155	88,19	6,17	6,92	0,34	2272
	8.4.2014	12	7,50	3520	110	16,20	700	74,05	40,10	10,40	2160	80,20	6,10	6,91	0,35	

\*Kuyu; •MTA Analizleri

EK 4 amlıdere sıcak ve mineralli sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)(devam)

Kod	Tarih	T °C	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
T-12	5.11.2013	23	6,50	1650	42,00	8.90	330	50,0	22,00	8,00	1000	120	1,14	3,00	0,20	1056
	8.4.2014	23	6,23	1658	39,37	9,76	326,36	47,87	21,99	7,32	998.79	137,77	1,14	2,92	0,19	
					Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>					
En yüksek					119,49	28,25	770,60	93,06	45,73	19,95	2172					
En düşük					19	7,28	29,15	11,12	3,01	3,28	240					
Ortalama					50,18	11,41	332,50	44,99	20,96	8,66	1051,74					

EK 5 Kızılcahamam soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

Kod	Tarih	T(°C)	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
KS-1	8.4.2014	14	6,47	117	12,51	2,79	5,61	3,88	1,18	2,03	71,41	25,35	0,07	0,01	0,01	74,88
KS-2	6.11.1992	11	7,08	311	32	11,64	18,40	7,80	12,78	43,20	213,50	47	0,15	0,1	0,01	199,04
	24.5.1993	10	7,40	280	36	11,16	17,94	4,29	12,07	34,08	201,30	45	0,15	<0,1	<0,01	
	8.4.2014	11	6,74	348	38,04	7,09	15,86	4,21	4,85	6,10	178,54	23,96	0,06	<0,01	0,03	
KS-3	8.4.2014	13	8,20	586	13,22	3,04	5,41	3,61	1,44	3,05	63,21	62,86	0,22	<2,5	<0,01	71,42
KS-4	8.4.2014	11	8,10	63,50	<2,5	1,28	4,36	0,97	0,99	5,88	37,93	44,04	0,09	<2,5	<0,01	40,64
KS-5	8.4.2014	9,5	8,09	135,40	18,66	3,18	6,21	1,41	3,81	11,99	63,21	34,46	0,12	<2,5	<0,01	86,65
KS-6	8.4.2014	11	7,16	237	12	3,45	5,22	4,24	1,00	5,88	60	72	0,24	<2,5	0,01	151,68
KS-7	8.4.2014	11,6	8,10	109,40	11,89	3,41	5,21	4,24	1,01	6,79	63,21	74,54	0,24	<2,5	<0,01	70,016
KS-8	8.4.2014	12,8	8,68	196	16	7,30	4	2,2	3	4,36	91	•	•	•	•	125,44
KS-9	8.4.2014	8,6	7,80	58,10	8,01	1,16	3,10	1,87	0,65	3,57	31,61	38,38	0,12	<2,5	<0,01	37,184
KS-10	8.4.2014	11	7,77	111,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KS-11	8.4.2014	10,9	7,50	134,50	11,20	1,70	5,50	3,10	3,40	10,50	48,80	81	0,20	<2,5	<0,01	71,07
KS-13	8.4.2014	10	7,60	123,90	15,94	2,96	6,02	5,87	1,62	7,38	69,54	78,03	0,20	<2,5	0,01	79,296
KS-14	8.4.2014	15	8,00	186	15,1	7,62	9,12	6,40	0,46	0,37	230	70	0,04	0,03	<0,01	119,04
KS-15	8.4.2014	10,2	7,91	154,8	18,34	6,48	7,55	3,01	1,71	2,58	94,82	66	7,91	<2,50	0	99,07
KS-16	8.4.2014	16	8,50	161	20,16	2,82	8,43	2,60	1,63	5,37	89,42	24,50	0,05	<0,01	<0,01	103,04
KS-17	5.11.2013	10	8,27	255	41,95	7,37	6,03	2,44	2,14	4,18	158,02	52,18	0,13	0,54	<0,01	163,20
KS-18	5.11.2013	15	7,50	180	22,50	3,50	15	4,30	2,10	23,90	105	70	0,13	0,20	<0,01	115,70
KS-19	6.11.1992	10	7,71	175	20	5,10	16,80	5,10	10	17	122	•	•	•	•	112

EK 5 Kızılcahamam soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)(devam)

Kod	Tarih	T (°C)	pH	EC μS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
KS-20	6.11.1992	10	8	119	21,60	4,13	28	2	3,92	56	92	36	1,70	0,60	<0,01	76,16
	24.5.1993	13	7,19	100	10	4,56	17,25	1,95	14,91	28,32	97,60	35,30	0,14	0,10	<0,01	
KS-21	6.11.1992	11	8,40	139	18,80	7,78	33	3,60	6,86	65	98	25	0,20	0,20	<0,01	88,96
	24.5.1993	13	7,84	200	12	5,84	28	3	7,98	60,49	67,12	30	1,40	0,70	<0,01	
					<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>HCO<sub>3</sub></b>					
En yüksek					41,95	11,64	33	7,80	14,91	65	213,50					
En düşük					10	1,16	3,10	1,41	0,46	0,37	31,61					
Ortalama					18,62	5,01	11,82	3,47	4,32	17,74	102,05					

EK 6 Çamlıdere soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

Kod	Tarih	T°C	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
ÇS-1	5.11.2013	11	8,63	73,3	9,77	1,00	4,87	0,64	1,08	5,11	40,67	36,03	0,05	0,48	0,01	46,91
ÇS-2	5.11.2013	16	6,68	374	26,96	8,83	49,60	11,67	4,01	3,98	261,85	26,08	0,20	0,01	0,01	239,36
ÇS-3	5.11.2013	15	9,8	125	10,86	1,70	4,09	2,43	1,91	7,32	46,48	51,39	0,05	1,02	0,01	80
ÇS-4	5.11.2013	11	6,68	180	18,63	4,16	8,19	4,66	1,53	1,39	93,24	65,95	0,18	0,39	0,01	115,20
ÇS-5	8.4.2014	16	8,68	129	13,53	1,64	4,98	2,96	1,57	10,00	47,61	21,98	0	<0,01	<0,01	82,56
ÇS-6	8.4.2014	12	6,30	86	9,43	1,73	3,25	3,18	1,55	9,43	35,71	25,08	0,10	<0,01	<0,01	55,05
ÇS-7	8.4.2014	13	7,19	982	143,39	72,87	6,78	7,91	2,44	174,02	574,29	25,54	0,14	<0,01	0,18	628,48
ÇS-8	5.11.2013	14	8,61	109	12,87	3,28	3,91	2,04	1,32	4,36	58,10	42,92	0,03	0,55	0,01	69,76
ÇS-9	8.4.2014	15	8	139	14,30	2,76	30,96	6,83	2,40	5,09	133,90	23,26	0,26	<0,01	0,02	88,96
ÇS-10	5.11.2013	9	7,50	374	11,82	1,83	4,98	1,06	1,14	5,40	46,48	36,74	0,05	0,37	0,04	239,36
ÇS-11	5.11.2013	8	9,62	93,5	12,66	1,07	3,98	1,45	1,25	4,20	46,77	31,36	0,04	<0,25	<0,01	59,84
ÇS-12	8.4.2014	10	8,02	144,6	17,08	4,01	8,63	1,37	1,50	42,34	37,93	45,09	0,25	<2,50	<0,01	92,54
ÇS-13	8.4.2014	10	7,85	101,8	8,99	4,04	6,51	3,95	1,23	1,74	63,21	73,23	0,30	<2,50	<0,01	65,15
ÇS-14	8.4.2014	5	8,90	111,3	19,38	1,72	5,16	1,38	0,80	5,14	69,54	38,46	0,11	<2,50	<0,01	71,23
ÇS-16	8.4.2014	5,9	8,04	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ÇS-17	8.4.2014	9	7,04	106,40	9,71	4,03	7,75	3,80	1,19	2,29	66,38	76,37	0,19	<2,5	<0,01	68,09
ÇS-20	8.4.2014	9,3	7,60	50,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ÇS-21	8.4.2014	8	6,92	97,20	12,02	2,17	5,05	3,55	1,26	4,88	56,89	59,73	0,06	<2,5	<0,01	62,09
ÇS-22	8.4.2014	7,6	7,87	139,70	20,03	4,14	4,19	1,42	1,04	2,21	88,50	37,94	0,16	<2,5	<0,01	89,40
ÇS-23	8.4.2014	9	7,68	267	27,22	10,97	12,49	4,05	0,93	10,32	158,04	55,11	0,17	<2,5	<0,01	170,88
ÇS-24	8.4.2014	6,1	6,77	86,90	11,38	1,27	6,35	1,63	0,84	3,23	53,73	40,99	0,11	<2,5	<0,01	55,62



EK 6 amlıdere soğuk sularına ait kimyasal analiz sonuçları (mg/l)(devam)

Kod	Tarih	T (°C)	pH	EC µS/cm	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	B	Li	TDS mg/l
ÇS-25	8.4.2014	7	7,87	139,70	12,81	1,44	5,98	1,06	0,95	5,56	53,73	31,67	0,05	<2,5	<0,01	89,40
ÇS-26	8.4.2014	7	6,10	75	9,25	1,00	5,38	0,59	0,88	9,56	31,61	27,92	0,06	<2,5	<0,01	48
ÇS-28	5.11.2013	19	7,86	115	15,23	6,08	13,14	3,71	1,35	1,72	103,64	74,26	0,41	0,05	<0,01	73,60
ÇS-30	8.4.2014	12	7,60	580	25,9	6,0	64,5	6,20	15	3,10	300	45	0,21	<2,5	•	371,20
					<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>HCO<sub>3</sub></b>					
En yüksek					27,22	72,87	64,5	7,91	4,01	42,34	300					
En düşük					8,99	1,00	3,25	0,59	0,80	1,39	31,61					
Ortalama					19,72	6,42	11,77	3,37	2,05	14,02	107,32					

EK 7 Kızılcahamam sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri

Element (µg/l)	KT-1	KT-2	KT-3	KT-4	KT-6	KT-7	KT-8	KT-9	KT-10	KT-13
Be	•	•	•	0,21	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Al	*<0,10	*<0,10	*<0,10	583,8	*<0,10	497,4	514,3	508,6	501,7	638,2
Ti	•	•	•	0,057	•	19,4	23,86	18,07	16,17	0,01
V	•	•	•	5,745	•	2,88	2,199	2,256	2,511	0,312
Cr	*<0,05	*<0,05	*<0,05	<0,001	*<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,068
Mn	0,48	0,10	*0,38	6,982	*0,18	7,311	9,762	<0,001	<0,001	7,555
Fe	*1,24	0,27	*1,24	188,1	*0,42	617,9	890,9	870	834,1	237,8
Co	•	•	•	0,017	•	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	0,106
Ni	*0,47	*0,10	*0,44	<0,001	*0,10	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cu	*<0,10	*<0,10	*<0,10	<0,001	<0,10	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zn	*0,20	*0,20	*0,11	<0,001	*0,27	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	23,73
Ga	•	•	•	21,57	•	14,96	15,26	15,57	14,97	26,49
Ge	•	•	•	8,381	•	4,205	4,287	4,263	4,503	3,058
As	•	•	•	789	•	452,2	494,9	520,9	465,1	66,57
Se	•	•	•	2,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,375
Rb	162	161	150	290,4	160	161,3	163	163	169,9	70,7
Sr	•	•	•	3378	•	2854	2912	3125	3216	1173
Zr	•	•	•	3,044	•	0,009	1,483	0,044	1,328	2,632
Nb	•	•	•	<0,001	•	1,415	<0,001	1,322	<0,001	<0,001
Mo	*<0,02	*<0,02	*<0,02	1,554	*<0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,869
Ag	•	•	•	<0,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	*<0,010	*<0,010	*<0,010	<0,001	*<0,010	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	•	•	•	<0,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sb	•	•	•	13,35	•	<0,001	17,55	<0,001	18,49	11,63
Cs	163	165	164	214,1	•	16,56	162,4	159,8	164,6	12,51
Ba	*<0,10	*<0,10	*<0,10	470,6	*<0,10	1089	228,5	1108	1090	529,9
W	•	•	•	<0,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pt	•	•	•	<0,001	•	0,027	0,021	0,023	0,018	0,016
Au	•	•	•	<0,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	0,084	<0,001
Hg	•	•	•	•	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•
Pb	*0,35	*<0,10	*0,25	6,268	*0,24	82,89	84,51	82,81	83,36	6,587
Th				0,093	•	0,007	0,007	0,025	0,012	0,103
U				0,572	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

EK 8 amlıdere sıcak ve mineralli sularına ait iz element içerikleri

Element (µg/l)	T-1	T-2	T-4	T-5	T-6	T-7	T-9	T-10	T-11	T-12
Be	0,414	0,78	0,438	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	1,382	0,158	<0,00 1
Al	649,6	107,3	575,1	25,72	<0,00 1	<0,00 1	101,6	1779	563,9	62,95
Ti	<0,00 1	1,331	0,071	0,06	0,898	0,521	4,23	20,91	18,7	0,01
V	1,021	1,050	0,495	12,48	0,197	6,017	0,889	3,057	0,798	5,062
Cr	3,286	7,672	<0,00 1	0,038	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	0,999 5	<0,00 1	0,017
Mn	5,65	<0,00 1	6,347	2,184	<0,00 1	<0,00 1	23,33	62,57	122,4	2,419
Fe	205,6	691,5	79,4	104,7	225	98,42	123,9	1588	669,5	141,5
Co	0,158	<0,00 1	0,955	0,022	<0,00 1	<0,00 1	0,01	0,775	<0,00 1	0,056
Ni	<0,00 1	19,24	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Cu	<0,00 1	<0,00 1	62,78	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	8,35	<0,00 1	0,527
Zn	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	64,17	<0,00 1	<0,00 1
Ga	34,77	8,97	26,74	0,133	0,732	0,255	3,309	35,78	22,28	1,767
Ge	11,39	8,3	5,198	0,716	0,682	0,324	0,622	6,015	4,998	0,308
As	136,2	147,5	121,4	25,18	13,41	10,75	10,45	284,9	72,93	10,21
Se	1,175	41,65	<0,00 1	0,268	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	0,299
Rb	311,3	154,8	145,8	23,24	39,07	16,08	24,15	166,2	217,7	13,07
Sr	981,8	795,1	577,3	229,7	156,3	204	124	1021	1756	126,5
Zr	3,152	<0,00 1	2,472	0,054	<0,00 1	<0,00 1	0,239	7,02	2,485	0,09
Nb	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Mo	<0,00 1	58,7	174,8	2,506	3,558	<0,00 1	<0,00 1	0,438	<0,00 1	0,285
Ag	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Cd	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Sn	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Sb	10,45	0,09	11,4	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	2,45	<0,00 1	11,99	<0,00 1
Cs	47,03	0,98	15,75	2,808	0,661	0,694	5,033	22,66	36,79	1,082
Ba	732,8	2,748	550,8	3,833	51,52	20,98	228,5	723,6	1562	36,82
W	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1
Pt	<0,00 1	0,061	<0,00 1	<0,00 1	0,001	0,004	0,004	<0,00 1	0,049	<0,00 1
Au	<0,00 1	1,227	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	0,01	<0,00 1	<0,00 1	0,037	<0,00 1
Hg	•	<0,00 1	•	•	<0,00 1	<0,00 1	<0,00 1	•	<0,00 1	•
Pb	4,793	13,2	4,566	0,479	0,851	0,922	17,4	7,315	82,33	0,453
Th	0,095	<0,00 1	0,074	0,002	0,001	<0,00 1	0,002	0,483	0,013	0,034
U	0,03	1,339	3,404	1,286	<0,00 1	1,429	0,041	0,03	<0,00 1	0,113

EK 9 Kızılcahamam soğuk sularına ait iz element içerikleri

Element (µg/l)	KS-1	KS-2	KS-3	KS-6	KS-7	KS-11	KS-13	KS-14	KS-17	KS-19	KS-20
Be	0,053	0,032	0,052	0,172	<0,001	0,036	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	•
Al	180,2	125,4	180,2	1193	475,8	1282	763,5	<0,001	18,78	158	*<0,10
Ti	0,607	<0,001	0,610	39,38	17,58	51,26	34,92	0,311	1,17	<0,001	•
V	3,034	5,353	3,310	178,2	0,565	182	156,9	154,2	5,08	3,54	•
Cr	<0,001	0,501	<0,001	1,479	<0,001	2,156	3,267	2,033	<0,001	<0,001	*<0,05
Mn	1,623	3,355	1,625	<0,001	1,637	<0,001	1,647	<0,001	<0,001	1,872	*<0,05
Fe	183,5	249,8	184,20	592,2	879,9	622,8	707,4	119,4	177,1	192,5	*<0,05
Co	0,067	0,11	0,065	<0,001	<0,001	<0,001	0,042	<0,001	<0,001	0,063	•
Ni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,944	1,596	<0,001	<0,001	*<0,10
Cu	16,95	12,19	17,25	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	46,03	<0,001	*<0,10
Zn	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	*<0,05
Ga	1,041	1,475	1,043	1,173	15,61	1,042	0,493	0,102	0,418	1,499	•
Ge	0,115	0,128	0,121	0,695	3,825	0,539	0,661	0,605	<0,001	0,159	•
As	0,858	5,073	0,890	6,383	124,6	2,763	12,02	14,74	1,365	6,844	•
Se	<0,001	0,029	<0,001	2,85	<0,001	4,254	3,331	2,431	<0,001	<0,001	•
Rb	6,792	14,29	6,800	24,71	137,6	8,664	20,49	14,04	3,305	5,051	•
Sr	103,7	473,3	105,5	191,8	749,4	158,9	169,5	150	279,6	120,7	•
Zr	1,195	0,291	1,197	1,844	0,968	0,521	2,27	<0,001	<0,001	0,342	•
Nb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,87	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•
Mo	<0,001	0,765	<0,001	<0,001	122,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,599	*<0,02
Ag	<0,001	<0,001	<0,001	0,161	<0,001	<0,001	0,291	<0,001	0,004	<0,001	•
Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,036	<0,001	0,305	<0,001	*<0,010
Sn	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•
Sb	<0,001	0,773	<0,001	0,418	11,96	0,26	0,121	0,09	<0,001	<0,001	•
Cs	0,508	2,82	0,518	0,344	18,36	0,138	0,448	0,98	0,001	0,115	•
Ba	21,16	31,55	21,10	72,35	1078	57,9	20,86	2,748	30,03	30,47	*<0,10
W	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•
Pt	<0,001	<0,001	<0,001	0,014	0,029	0,008	0,012	0,013	0	<0,001	•
Au	<0,001	<0,001	<0,001	0,187	<0,001	0,2	0,245	0,255	<0,001	<0,001	•
Hg	•	<0,001	•	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•	•
Pb	0,912	1,749	0,922	2,574	81,82	2,269	1,988	2,241	0,853	0,426	<0,10
Th	0,128	0,05	•	0,441	•	0,438	0,269	<0,001	<0,001	0,103	•
U	0,164	2,908	•	0,344	•	0,235	0,118	<0,001	0,35	<0,001	•

EK 10 amlıdere soğuk sularına ait iz element içerikleri

Element (µg/l)	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10
Be	<0,001	<0,001	0,262	<0,001	0,214	0,032	0,031	<0,001	<0,001	<0,001
Al	1856	863,9	8705	<0,001	1782	595	27,3	227	117,1	45,3
Ti	23,92	14	149,7	0,327	35,25	10,83	<0,001	5,012	<0,001	<0,001
V	1,639	0,982	5,954	2,029	2,809	2,391	4,594	1,192	5,393	13,12
Cr	<0,001	<0,001	11,33	<0,001	0,942	0,834	<0,001	<0,001	0,139	<0,001
Mn	<0,001	<0,001	7,215	<0,001	5,061	2,903	0,953	<0,001	5,949	0,962
Fe	524	346,1	2221	115,1	908	343,2	181,8	199,5	148,2	140,2
Co	<0,001	<0,001	0,381	<0,001	0,182	0,078	0,111	<0,001	0,082	0,014
Ni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cu	5,14	<0,001	<0,001	<0,001	5,979	<0,001	2,194	<0,001	<0,001	<0,001
Zn	<0,001	<0,001	5,473	<0,001	245,9	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ga	1,079	0,574	2,593	0,338	1,79	0,963	0,4	0,301	1,469	0,183
Ge	0,01	<0,001	0,248	<0,001	0,251	0,119	0,051	<0,001	0,316	0,807
As	0,332	<0,001	1,224	0,217	0,731	0,679	105	0,633	7,727	23,12
Se	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,791	<0,001	<0,001	0,642
Rb	3,149	2,435	16,57	9,331	7,676	4,55	5,028	0,63	10,43	23,85
Sr	50,14	71,96	51,9	93,07	58,24	44,16	954,6	65,51	81,14	224
Zr	2,283	0,794	10,89	<0,001	3,863	1,481	0,05	0,089	0,175	0,096
Nb	<0,001	<0,001	0,31	<0,001	0,447	0,041	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	24,37	<0,001	<0,001	2,44
Ag	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sb	0,039	<0,001	0,042	<0,001	0,02	<0,001	0,057	<0,001	0,034	<0,001
Cs	0,407	0,001	2,698	0,001	0,322	0,111	0,016	0,001	0,181	0,001
Ba	53	31,43	58,61	26,93	25,64	17,22	9,721	14,71	29,45	2,808
W	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,263
Pt	0,002	0,006	0,005	0,007	0,004	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001
Au	0,025	0,011	0,032	0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Hg	0,001	<0,001	<0,001	0,001	•	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	•
Pb	0,983	0,948	2,98	0,673	1,31	0,55	0,791	0,888	0,619	0,522
Th	0,28	0,149	1,245	<0,001	0,649	0,155	0,003	0,022	0,048	0,015
U	0,024	<0,001	0,518	0,052	0,323	0,075	7,879	<0,001	0,025	1,118

EK 10 amlıdere soğuk sularına ait iz element içerikleri (devam)

Element (μg/l)	S-11	S-13	S-17	S-21	S-24	S-25	S-28
Be	<0,001	0,078	0,128	0,271	0,224	<0,001	<0,001
Al	1038	79,36	192,1	935,1	595,6	28,22	<0,001
Ti	12,99	3,412	5,049	21,14	8,186	1,06	0,247
V	1,175	179,8	171,7	178,9	177,9	173,5	9,017
Cr	<0,001	0,579	0,811	1,535	0,884	0,272	<0,001
Mn	<0,001	<0,001	<0,001	20,7	<0,001	<0,001	<0,001
Fe	351,5	190,2	198,8	428,5	283,4	144,1	124,3
Co	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ni	<0,001	0,929	0,325	2,033	0,861	1,362	<0,001
Cu	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zn	74,55	24,35	<0,001	0,941	42,51	<0,001	<0,001
Ga	0,665	0,203	0,243	0,592	0,466	0,484	<0,001
Ge	<0,001	0,603	0,449	0,565	0,539	0,392	0,073
As	<0,001	6,172	7,308	5,764	3,161	6,938	1,033
Se	<0,001	3,534	2,533	2,898	3,424	6,736	<0,001
Rb	3,439	9,096	8,38	14,85	4,143	2,178	4,632
Sr	60,22	78,13	81,69	94,21	110,8	161,9	53,76
Zr	0,919	0,08	<0,001	0,599	0,256	<0,001	<0,001
Nb	<0,001	<0,001	<0,001	2,538	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ag	<0,001	<0,001	0,048	<0,001	0,068	0,055	<0,001
Cd	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	<0,001	0,051	<0,001
Sn	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sb	0,025	0,202	0,163	0,243	0,157	0,122	0,011
Cs	0,053	0,15	0,097	0,577	<0,001	0,043	<0,001
Ba	36,35	7,876	8,695	25,37	17,85	35,59	0,222
W	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pt	<0,001	0,006	0,014	0,014	0,013	0,006	0,005
Au	0,028	0,189	0,169	0,169	0,208	0,208	<0,001
Hg	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Pb	2,8	15,87	1,633	1,633	1,692	1,692	0,639
Th	0,141	0,039	•	1,085	0,056	0,017	<0,001
U	<0,001	<0,001	•	0,845	0,03	<0,001	0,063

EK 11 Kızılcahamam sıcak ve mineralli suların nadir toprak element sonuçları

Kod	Örnek adı	Nadir Toprak Elementleri( $\mu\text{g/l}$ )														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
KT-4	Çamlık	0,001	0,152	0,043	0,099	0,009	0,102	0,063	0,005	0,024	0,219	0,004	0,032	0,002	0,033	<0,001
KT-7	MTA-1A	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,03	0,078	0,033	<0,001	0,007	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
KT-8	AL-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01	0,087	0,022	<0,001	<0,001	0,08	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
KT-9	İHL-2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,021	0,058	0,005	<0,001	<0,001	0,044	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
KT-10	KHJ-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,046	0,059	0,024	<0,001	<0,001	0,059	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001
KT-13	Seyhamam kadınlar	0,01	0,297	0,054	0,153	0,057	0,108	0,029	0,006	0,04	0,235	0,004	0,02	0,002	0,012	0,003

EK 12 Çamlıdere sıcak ve mineralli suların nadir toprak element sonuçları

Kod	Örnek adı	Nadir Toprak Elementleri (µg/l)														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ÇT-1	ÇM-1	0,001	0,133	0,037	0,037	0,045	0,205	0,049	0,005	0,037	0,205	0,006	0,03	0,002	0,018	0,002
ÇT-2	ÇM-2	0,153	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
ÇT-3	AÇT-1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	0,055	0,015	<0,001	0,01	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇT-4	AÇT-2	0,001	0,113	0,034	0,141	0,031	0,109	0,022	0,004	0,031	0,0184	0,001	0,024	0,002	0,016	0,003
ÇT-5	Muzrupağacın	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,015	<0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,001
ÇT-6	Sarıkavak Uyuz H.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	0,002	0,01	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001
ÇT-7	Sarıkavak Ilica	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇT-9	Tatlık maden suyu	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,013	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇT-10	Atça mineralli su	0,048	2,195	0,28	1,032	0,248	0,186	0,229	0,041	0,185	0,9	0,024	0,097	0,011	0,102	0,013
ÇT-11	Atça mineralli su kaptajı	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,03	0,098	0,025	<0,001	<0,001	0,033	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
ÇT-12	Ahatlar D. sıcak su	0,001	0,049	0,018	0,05	0,003	0,011	0,017	0,002	0,008	0,068	0,002	0,01	0,001	0,012	0,001



EK 13 Kızılcahamam soğuk suların nadir toprak element analiz sonuçları

Kod	Örnek adı	Nadir Toprak Elementler (µg/l)														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
KS-1	Ağsak köyü	0,18	0,58	0,1	0,387	0,076	0,016	0,069	0,011	0,057	0,354	0,012	0,037	0,005	0,039	0,006
KS-2	Necip Usta	0,001	0,167	0,02	0,092	0,012	0,008	0,018	0,002	0,008	0,086	0,002	0,009	0,002	0,003	0,001
KS-6	Eğerliören	1,497	2,826	0,303	1,043	0,188	0,033	0,103	0,016	0,125	0,588	0,018	0,064	0,006	0,052	0,002
KS-11	Karaoluk P.	1,201	2,327	0,247	0,894	0,129	0,031	0,116	0,013	0,074	0,521	0,009	0,055	0,002	0,058	0,005
KS-13	Kavaközü	0,869	1,487	0,155	0,523	0,127	0,012	0,085	0,005	0,055	0,283	<0,001	0,034	<0,001	0,034	0
KS-14	Javsı suyu	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
KS-17	Ayvacık K.D	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0	0,008	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
KS-19	Seyhamam	<0,001	0,297	0,054	0,153	0,057	0,108	0,29	0,006	0,04	0,201	0,004	0,02	0,002	0,012	0,003

EK 14 amlıdere soğuk suların nadir toprak element analiz sonuçları

Kod	Örnek adı	Nadir Toprak Elementler (µg/l)														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ÇS-1	Çavuşoğlu	0,56	1,682	0,173	0,599	0,127	0,035	0,139	0,01	0,105	0,65	0,012	0,007	0,007	0,059	0,006
ÇS-2	Kösyayla	0,256	0,828	0,078	0,358	0,087	0,017	0,064	0,004	0,05	0,333	0,002	0,025	0,001	0,028	0,001
ÇS-3	Aluç pınarı ayağı	2,911	7,622	0,702	2,585	0,496	0,089	0,469	0,057	0,351	1,997	0,06	0,225	0,026	0,184	0,026
ÇS-4	Örenköy yaylası	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇS-5	Atça Pınarı	1,363	2,86	0,352	1,265	0,231	0,05	0,24	0,032	0,191	1,211	0,038	0,119	0,021	0,148	0,024
ÇS-6	Ahatlar	0,066	0,727	0,079	0,324	0,064	0,016	0,064	0,007	0,067	0,323	0,009	0,038	0,004	0,034	0,005
ÇS-7	Sarıkavak Veli bey	<0,001	0,016	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,013	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇS-8	Ulupınar Hatipler	<0,001	0,099	0,006	0,03	0,005	0,001	0,008	<0,001	0,011	0,085	<0,001	0,009	<0,001	0,009	<0,001
ÇS-9	eviz dibi tepe kay.	<0,001	0,273	0,034	0,128	0,023	0,009	0,037	0,004	0,02	0,131	0,004	0,012	0,001	0,013	0,001
ÇS-10	Muzrupağacım	<0,001	<0,001	0,008	0,014	0,009	0,001	0,014	0,001	0,01	0,077	0,001	0,007	0,001	0,005	0,001
ÇS-11	İsmail ieki	0,228	1,274	0,075	0,333	0,065	0,014	0,061	0,002	0,033	0,26	0,003	0,021	0	0,027	<0,001
ÇS-13	Alakoç Ölü pınarı	0,157	0,135	0,011	0,063	0,014	0,002	0,012	<0,001	0,002	0,033	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ÇS-21	amkuru tabiat parkı ölü pınarı	1,358	1,754	0,188	0,593	0,098	0,02	0,118	0,01	0,079	0,599	0,012	0,06	0,006	0,105	0,013
ÇS-24	Yukarıovacık Köy	0,265	0,705	0,052	0,25	0,062	0,016	0,051	0,006	0,045	0,367	0,005	0,027	0	0,036	<0,001
ÇS-25	Aşaaııovacık yaylası dörtlü eşmesi	0,166	0,187	0,028	0,111	0,011	0,008	0,027	0,001	0,028	0,222	<0,001	0,027	<0,001	0,03	<0,001
ÇS-28	Güneyköy İla	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

EK 15 Kayaç ve su örneklerine ait nadir toprak (NTE) elementlerin C<sub>1</sub> kondirite değerine göre normalize edilmiş içerikleri (C<sub>1</sub> kondiritler McDonough and Sun, 1995' den alınmıştır)

Kod	Adı	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Kayaç örnekleri																
26	Dasit	165,82	103,75	69,82	48,79	26,28	17,22	17,63	13,29	9,36	10,32	8,97	8,93	8,09	9,13	9,34
27	Dasit	118,14	76,67	58,08	39,60	21,08	15,98	13,46	10,802	6,75	8,17	6,04	6,37	5,26	4,84	5,28
28	Dasit	147,25	94,45	59,91	40,48	21,68	13,14	13,81	10,24	7,26	7,31	6,41	6,31	6,07	6,52	7,31
-	Andezit	126,58	94,61	66,81	54,70	31,08	23,26	22,61	16,62	1,27	15,24	11,72	12	10,12	12,42	12,60
-	andezit	179,32	122,34	86,20	63,01	35,81	25,22	24,62	16,62	1,21	13,41	11,90	12,5	11,33	18,01	11,78
Tr3	Traverten	16,87	5,70	5,92	3,71	2,22	1,06	1,00	0,83	0,70	0,48	0,36	0,56	0,80	0,37	0,81
Tr5	Traverten	43,45	8,48	10,45	1,09	2,16	1,06	1,95	1,38	1,65	1,05	0,73	0,68	0,80	0,37	0,40
Su örnekleri																
Kod	Adı	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
KT-4	Çamlık min.	0,004	0,25	0,46	0,21	0,06	1,81	0,31	0,13	0,13	0,09	0,07	0,2	0,08	0,20	0,04
KT-13	Seyhamam	0,04	0,48	0,58	0,33	0,38	1,91	0,14	0,16	0,14	0,16	0,07	0,12	0,08	0,07	0,12
ÇT-1	ÇMJ-1	0,004	0,21	0,39	0,08	0,30	3,64	0,24	0,13	0,13	0,15	0,10	0,18	0,08	0,11	0,81
ÇT-4	AÇT-2	0,004	0,18	0,36	0,30	0,20	1,93	0,11	0,11	0,01	0,12	0,01	0,15	0,08	0,09	0,12
ÇT-10	Atca min.su	0,20	3,58	3,01	2,25	1,67	3,30	1,15	1,13	0,57	0,75	0,43	0,60	0,44	0,63	0,52
ÇT-12	A. D.sıcak su	0,004	0,079	0,19	0,10	0,02	0,19	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,07	0,04
KS-1	Ağsak soğuk	0,75	0,94	1,07	0,84	0,08	0,14	0,09	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08	0,01	0,04
KS-2	Necip usta	0,004	0,27	0,21	0,20	1,27	0,58	0,51	0,44	0,37	0,50	0,32	0,4	0,02	0,32	0,08
KS-6	Eğerliören	6,31	4,61	3,26	2,28	0,87	0,55	0,58	0,36	0,33	0,30	0,16	0,34	0,08	0,36	0,20
KS-11	Karaoluk	5,06	3,79	2,66	1,95	0,66	0,35	0,59	0,27	0,38	0,32	0,21	0,37	0,24	0,65	0,52
ÇS-21	Çamkuru	5,72	2,86	0,20	1,29	0,41	0,28	0,25	0,16	0,23	0,18	0,09	0,16	0,24	0,22	0,04
ÇS-24	Yukarıovacık	1,11	1,15	0,56	0,54	0,08	0,14	0,09	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08	0,01	0,04
C <sub>1</sub> Kondirite değerleri		0,237	0,613	0,092	0,457	0,148	0,056	0,199	0,0361	1,57	0,246	0,054	0,16	0,024	0,161	0,024

EK 16 Kızılcahamam sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014)

Örnek Adı	No	SI Kalsit	SI Dolomit	SI Aragonit	SI Jips	SI Kuars	SI Kalsedon	SI K-feldis.	SI K-mika	SI Götüt	SI Albit	SI Talk	SI Kaolen	SI Hematit	SI Florit
KHD-1 sondajı	KT-1	1,07	2,34	0,96	-1,89	0,28	-0,01	-4,37	-7,27	6,10	-5,15	5,52	-7,27	17,60	-1,42
MTA-1 sondajı	KT-2	1,42	3,06	1,31	-1,92	0,35	0,06	-3,14	-4,78	2,42	-3,94	8,02	-5,87	10,17	-1,58
Askoop mineralli su	KT-3	-0,85	-1,86	-1,00	-1,51	1,04	0,59	-3,39	-4,63	0,65	-4,91	-7,88	-3,95	2,85	-0,77
Çamlık mineralli su	KT-4	0,18	0,22	0,03	-1,51	0,92	0,47	3,45	14,66	5,65	2,12	-4,32	8,27	12,77	-1,33
Acı Dere sıcak su	KT-5	0,07	0,17	-0,07	-1,65	0,64	0,23	•	•	•	•	•	•	•	-1,04
MTA-7 sondajı	KT-6	0,25	0,25	0,14	-1,44	0,63	0,34	-2,31	-1,17	2,52	-3,05	-0,12	-2,53	10,35	-1,10
MTA-1A sondajı	KT-7	0,53	0,81	0,42	-1,78	0,50	0,19	1,12	9,69	5,89	0,31	-0,03	4,65	16,87	-1,05
AL-1 sondajı	KT-8	-0,48	-0,13	-0,59	-2,81	0,38	0,10	0,59	8,70	5,73	-0,19	0,78	3,92	17,04	-2,10
İHL-2 sondajı	KT-9	0,59	0,90	0,47	-1,67	0,52	0,23	1,05	9,27	5,84	0,27	0,97	4,31	17,09	-1,05
KHJ-1 sondajı	KT-10	0,54	0,86	0,42	-1,78	0,53	0,23	1,27	9,96	6,09	0,46	0,07	4,84	17,16	-0,83
Seyhamam erkekler	KT-12	0,64	1,28	0,51	-2,05	0,32	-0,06	•	•	•	•	-0,28	•	•	-0,74
Seyhamam kadınlar	KT-13	0,16	0,14	0,03	-2,13	0,19	-0,19	0,13	10,06	5,60	-1,06	-5,16	5,49	14,40	-0,43
En yüksek		1,42	3,06	1,31	-1,44	1,04	0,59	3,45	14,66	6,1	2,12	8,02	8,27	17,16	-0,43
En düşük		-0,58	-1,86	-1	-2,1	0,19	-0,19	-4,37	-7,27	0,65	-5,15	-7,88	-7,27	2,85	-1,58
Ortalama		0,34	0,67	0,22	-1,85	0,53	0,18	-0,47	3,71	3,87	-1,26	-0,20	0,99	11,36	-1,12

EK 17 Kızılcahamam soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014)

Adı	No	SI Kalsit	SI Dolomit	SI Aragonit	SI Jips	SI Kuars	SI Kalsedon	SI K- feldis.	SI K- mika	SI Götüt	SI Albit	SI Talk	SI Kaolen	SI Hematit	SI Florit
Ağsak köyü çeşmesi	KS-1	-2,09	-4,64	-2,24	- 3,78	0,77	0,31	1,64	13,15	5,52	-0,68	- 9,45	8,29	12,17	-4,19
Necip Usta	KS-2	-0,74	-1,77	-0,89	- 2,20	1,09	0,62	3,20	14,24	7,26	1,05	- 3,45	8,45	15,41	-2,79
Ağsaklar yolu	KS-3	-0,47	-1,44	-0,62	- 3,58	1,21	0,74	3,48	12,75	8,89	1,13	2,22	6,92	18,68	-2,70
Kızılcahamam çıkışı p.	KS-4	-1,47	-3,09	-1,62	- 3,95	1,06	0,58	•	•	•	•	- 0,05	•	•	•
Eğerliören	KS-6	-1,62	-3,64	-1,77	- 3,33	1,28	0,80	4,52	17,43	7,99	2,09		10,69	16,87	-2,79
Ağaçlı pınarı	KS-7	-0,67	-1,79	-0,83	- 3,27	1,33	0,84	4,40	14,96	9,71	1,93	1,77	8,45	20,11	-2,69
Göl suyu	KS-8	0,26	0,36	0,11	- 3,38	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Köy pınarı	KS- 11	-1,32	-3,31	-1,47	- 3,10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-2,85
Kavaközü	KS- 13	-0,99	-2,58	-1,14	- 3,12	1,33	0,85	4,68	16,50	9,12	2,16	- 1,16	9,69	19,05	-2,70
Javsu suyu	KS- 14	-0,01	-0,11	-0,16	- 4,52	1,19	0,73	-0,73	0,01	8,42	-3,04	2,79	-1,64	18,07	-4,25
Seyhamam	KS- 19	-0,52	-1,52	-0,68	- 2,72	•	•	•	•	8,70	•	•	•	18,22	•
Koca Dere	KS- 21	0,08	-0,48	-0,07	- 2,68	0,81	0,33	•	•	•	•	- 1,84	•	•	-0,96
En yüksek		-0,01	0,36	0,11	- 2,20	1,33	0,85	4,68	17,43	9,71	2,16	2,79	10,69	20,11	-0,96
En düşük		-2,09	-4,64	-2,24	- 4,52	0,77	0,31	-0,73	0,01	5,52	-3,04	- 9,05	-1,64	12,17	-4,25
Ortalama		-0,80	-2,00	-0,95	- 3,30	0,84	0,48	1,77	7,42	5,47	0,39	- 0,76	4,24	11,55	-2,16

EK 18 Çamlıdere sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014)

Örnek Adı	No	SI Kalsit	SI Dolomit	SI Aragonit	SI Jips	SI Kuars	SI Kalsedon	SI K-feldis.	SI K-mika	SI Götüt	SI Albit	SI Talk	SI Kaolen	SI Hematit	SI Florit
ÇMJ-1 sondajı	ÇT-1	0,33	0,23	0,19	-2,99	0,88	0,50	2,53	11,60	5,96	1,31	-2,87	5,99	15,13	0,10
ÇMJ-2 sondajı	ÇT-2	-0,54	-1,43	-0,69	-3,20	1,50	1,07	1,82	7,32	5,47	0,47	-4,46	3,71	13,20	-0,34
AÇT-1 sondajı	ÇT-3	0,67	1,12	0,54	-2,96	1,06	0,68	•	•	•	•	2,63	•	•	-1,80
AÇT-2 sondajı	ÇT-4	0,64	0,79	0,51	-2,54	0,91	0,52	3,17	13,37	6,39	2,07	-1,00	7,22	15,69	-1,48
Muzrupağacın kay.	ÇT-5	-2,43	-4,83	-2,57	-3,72	1,20	0,77	5,71	20,39	9,69	3,88	-1,95	12,30	21,39	-3,43
Sarıkavak Uyuz ham.	ÇT-6	0,24	0,33	0,09	-3,14	1,03	0,61	-1,13	-1,22	7,90	-3,20	3,29	-2,82	18,04	-3,22
Sarıkavak Ilıca kay.	ÇT-7	-0,05	-0,22	-0,19	-3,12	1,07	0,64	-1,21	-0,55	7,67	-3,08	1,79	-1,99	17,33	-1,78
Sarıkavak Kök Deresi	ÇT-8	-1,42	-3,01	-1,60	-2,98	1,26	0,81	•	•	•	•	-6,29	•	•	-2,30
Tatlık maden suyu	ÇT-9	0,11	0,02	-0,03	-2,45	1,23	0,80	3,95	14,04	5,75	2,27	-2,43	7,78	13,36	-1,71
Atca mineralli su	ÇT-10	0,70	0,67	0,54	-3,02	0,98	0,51	4,71	16,70	9,15	3,17	-1,39	9,18	19,37	0,14
Atca mineralli su kap.	ÇT-11	0,89	1,06	0,74	-2,75	1,39	0,91	5,66	16,60	9,18	4,18	1,75	8,94	19,17	0,69
Ahatlar Deresi sıcak su	ÇT-12	-0,48	-1,31	-0,63	-3,04	•	•	•	•	5,31	•	•	•	12,47	-1,32
En yüksek		0,89	1,12	0,74	-2,45	1,50	1,07	5,71	20,39	9,69	4,18	3,29	12,30	21,39	0,69
En düşük		-2,43	-4,83	-2,57	-3,72	0,88	0,50	-1,21	-1,22	5,31	-3,88	-4,46	-1,99	13,20	-3,43
Ortalama		-0,11	-0,55	-0,26	-2,99	1,04	0,65	2,10	8,19	6,04	0,92	-0,91	4,19	13,76	-1,37

**EK 19** Çamlıdere soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri (Ekim 2013 ve Nisan 2014)

Adı	No	SI Kalsit	SI Dolomit	SI Aragonit	SI Jips	SI Kuvars	SI Kalsedon	SI K-feldis.	SI K-mika	SI Götüt	SI Albit	SI Talk	SI Kaolen	SI Hematit	SI Florit
Çavuşoğlu	ÇS-1	-0,60	-2,05	-0,76	-3,44	0,96	0,48	2,99	13,44	9,33	1,35	2,40	7,60	19,55	-4,09
Kösyayla	ÇS-2	-1,04	-2,34	-1,19	-3,30	0,76	0,30	2,89	15,61	6,34	1,06	-6,58	9,46	13,97	-3,20
Ahatlar	ÇS-6	-2,73	-6,04	-2,88	-3,21	0,80	0,33	1,91	14,37	5,26	-0,59	-11,33	9,30	11,49	-5,06
Sarıkavak Veli bey	ÇS-7	0,33	0,55	0,18	-1,24	0,79	0,33	1,57	10,88	7,29	-0,99	-1,56	6,13	15,65	-2,44
Muzrupağacın	ÇS-10	-1,34	-3,40	-1,50	-3,35	1,01	0,53	1,82	11,48	8,23	-0,06	-3,78	6,92	17,19	-3,99
İsmail Çiçekçi	ÇS-11	0,41	-0,17	0,25	-3,44	0,84	0,35	2,84	11,12	8,99	0,72	7,33	5,19	18,63	-4,15
Alakoçölü pınarı	ÇS-13	-0,98	-2,18	-1,13	-3,97	1,30	0,82	3,45	12,81	8,86	1,14	0,66	7,18	18,52	-2,58
Mezarlık pınarı	ÇS-17	-1,47	-3,77	-1,90	-3,82	1,33	0,85	3,86	15,52	7,12	1,63	-4,25	9,55	14,97	-3,01
Çamkuru Tabiat Parkı	ÇS-21	-1,90	-4,46	-2,06	-3,39	1,24	0,76	4,26	17,57	7,09	1,85	-6,32	11,09	14,81	-4,16
Aşağıovacık çeşme	ÇS-22	-0,51	-1,63	-0,67	-3,55	1,05	0,56	•	•	•	•	-0,68	•	•	-2,76
Yukarıovacık köy pınarı	ÇS-24	-2,10	-5,10	-2,25	-3,58	1,11	0,62	3,23	16,33	6,41	1,24	-8,81	10,55	13,30	-4,07
Aşağıovacık yaylası	ÇS-25	-0,91	-2,69	-1,07	-3,30	0,97	0,49	1,55	10,25	8,87	-0,26	-2,35	5,87	18,33	-3,94
En yüksek		0,41	0,55	0,25	-1,24	1,33	0,82	4,26	17,57	8,99	1,85	7,33	11,09	19,55	-2,44
En düşük		-2,73	-6,04	-2,88	-3,97	0,76	0,30	1,55	10,25	5,26	-0,99	-11,33	5,19	11,49	-5,06
Ortalama		-1,07	-2,77	-1,25	-3,30	1,01	0,54	2,53	12,45	6,98	0,59	-2,94	7,40	14,70	-3,62

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Suzan PASVANOĞLU  
**Doğum Yeri** : Irak-Kerkük  
**Medeni Hali** : Bekâr  
**Yabancı Dili** : İngilizce, Arapça

### Eğitim Durumu

**Lise** : Kerkük Lisesi  
**Lisans** : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
**Yüksek Lisans** : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (1990)

### Çalıştığı Kurumlar

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Enerji Hammaddeleri Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Jeoloji Yüksek Mühendisi (1992-1993).

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma ve Öğretim Görevlisi (1993-2014).

### Yayımlar (SCI)

**Pasvanoğlu, S.** 2015. The Seben - Kesenözü low temperature geothermal prospect, (NW Turkey) (Study of a geothermal fracture zone reservoir) Environmental Earth Sciences 10,1007/s12665-015-4041-3.

**Pasvanoğlu, S.** 2013. Hydrogeochemistry of thermal and mineralized waters in the Diyadin (Ağrı) Area, Eastern Turkey, Applied Geochemistry 38; 70-81.



**Pasvanoğlu, S.** 2012. Hydrogeochemical study of the thermal and mineralized waters of Banaz (Hamambogazi) area, Western Anatolia, Turkey. Environmental Earth Sciences, Vol. 65; 741-752.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2012. Hydrogeochemical study of the Terme and Karakurt thermal and mineralized waters from Kirşehir Area, Central Turkey. Environmental Earth Sciences, DOI 10,1007/s12665-011-1217-3, Vol.66;169-182.

**Pasvanoğlu, S.** Güner, A. Gültekin, F. 2012. Environmental Problems at the Nevşehir (Kozakli) geothermal field, Central Turkey. Environmental Earth Sciences, DOI 10,1007/s12665-011-1264-9, Vol. 66; 549-560.

**Pasvanoğlu, S.** 2011. Hydrogeochemical and isotopic investigation of the Bursa-Oylat thermal waters, Turkey, Environmental Earth Sciences, Vol. 64, No: 4, DOI 10,1007/s12665-011-0932-0.

**Pasvanoğlu, S.** Chandrasekharam, D. 2011. Hydrogeochemical and Isotopic study of thermal and mineralized waters from the Nevşehir (Kozakli) area, Central Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 202; 241-250.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. Rosen, M. 2004. Hydrogeological and possible effects of the MW., 7.4 Marmara Earthquak (17 August 1999) on the spring waters in the Orhangazi Bursa Area in“ Turkey. Journal of Geological Society of India, Vol 63; 313-322.

#### **Uluslararası Hakemli Yayınlar**

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. Göçmez, G. 2004. Hydrogeological and geophysical investigation of the Ömerler Mineral water, Bolu-Turkey. Chemistry, University of Oradea.

Canik, B. Çelik, M. **Pasvanoğlu, S.** 1999. The formation and features of Ballica Cave Pazar, Tokat. Cave and Karst Science. Transaction of the Birtish Cave Research Association, Vol. 26; 35-40.

#### **Ulusal Hakemli Yayınlar**

Yılmaz, S. **Pasvanoğlu, S.** Vural, S. 2010. Geven (Kütahya) alanın jeolojisi ve jeotermal olanaklarının değerlendirilmesi İstanbul Yer Bilimleri Dergisi, C.23, Sayı 2;73-85.

Çetindağ, B. Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 1998. Hydrogeological investigation of Yedigöz (Elazığ) spring. Bulltein of Earth Sciences. Application And Research Centre of Hacettepe University, No. 20; 31- 41.

**Pasvanoğlu, S.** Göçmez, G. Şen, O. 1998. The hydrogeological study on thermal and mineralized waters of Ilıcıpınar (Polatlı). Journal of Engineering Sciences of University of Pamukkale, Turkey, ISSN 1300-7009, Vol 4, No 1-2, Pp 557-562.

Şen, O. Göçmez, G. **Pasvanoğlu, S.**1998. Geological - hidrogeological investigation and the study of Spas of Çavuşçugöl thermal water spring in Ilgın, Konya, GeoSound, University of Cukurova, Vol. 31, Pp 93-101 Adana, Turkey.

#### **Uluslararası Kitapta Bölüm Yazarlığı Bilgileri**

**Pasvanoğlu, S.** 2014. Geochemistry of thermal waters in Eastern Anatolia: A case study of Diyardin (Ağrı) and Erciş-Zilan (Van) Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece (Editors: A. Baba, J. Bundschuh and D. Chandrasekharam), Sustainable Energy Development Series, CRC Press, Taylor & Francis Group (ISBN 9.781.138.001.091, ISBN (Yayın) No:

[http://www.crcpress.com/product/isbn/9781138001091,\(2014\)](http://www.crcpress.com/product/isbn/9781138001091,(2014))

**Pasvanoğlu, S.** 2001. Hydrogeochemistry and Utilization study of Seben Kesenözü (Bolu) Geothermal Field in Turkey. University of Auckland, Geothermal Institute, New Zealand, ISBN (Yayın) No: 0-86869-093-7.

**Pasvanoğlu, S.** 1998. Geochemical study of the Geysir geothermal field in Haukadalur, S-Iceland", Reports of the United Nations University Geothermal Training Programme, Iceland, ISBN (Yayın) No: ISBN 9979-68-040-7.

## **Uluslararası Sempozyumda Tam Metni Yayınlanan Bildiriler**

**Pasvanoğlu, S.** elik, M. Arıgün, Göçmez, G. 2015. A comparison of hydrothermal characteristics of newly discovered Çamlıdere geothermal field and the Kızılcahamam geothermal field, Central Anatolia, Turkey. World Geothermal Conference WGC2015

Hochstein, M. P. Zheng, K. **Pasvanoğlu, S.** Neal, P.V. 2013. Advective (heat sweep) Geothermal Systems", Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford California.

Ylmazer, S. **Pasvanoğlu, S.** Vural, S. 2010. The relation of geothermal resources with young tectonics in the Gediz Graben (West Anatolia, Turkey) and their hydrogeochemical analyses. Proceedings of World Geothermal Congress WGC2010, 24-29 April, Bali-Indonesia

**Pasvanoğlu, S.** Güler, S. 2010. Hydrogeological and geothermal features of hot and mineralized waters of the Agri-Diyadin (Turkey) WGC2010 World Geothermal Congress WGC2010, 24-30 April Indonesia-Bali.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. 2007. Formation of the spring cones in the vicinity of the Cihanbeyli Bolluk Lake, Turkey, Cairo 10th International Conference on Energy and Environment, Cairo Luxor, Egypt, March 11-15, pp1-13.

**Pasvanoğlu, S.** 2007. Geothermal energy possibilities of the Banaz Hamamboğazı area, Turkey. Twelfth International Symposium on Water-Rock Interaction July 31–August 5, 2007 Chine, Twelfth International Symposium on Water-Rock Interaction July 31-August 5, 2007,Chine.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2007. Hydrogeochemical and isotopic evaluation of thermal and mineralized waters of Terme-(Kırşehir) and Kozaklı (Nevşehir), areas, Turkey. IAEA, Vienna, IAEA-CN-151/120, IAEA, 2007, Vienna.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. Arıgün, Z. 2005. Geothermal Potential of the Banaz Hamamboğazı thermal and mineral waters. WGC2005-Turkey.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 2003. Hydrogeological and geothermal Investigation of the Sarot Spa (Bolu-Mudurnu) and surroundings. 8 th International Conference of SITH in Collaboration with Omth, Joint Conferense with the 56th Meeting of The Balneological Sociaty of Japan September 25 -October 1. B-con Plaza, Beppu, Japan, Pp 156-165.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 2003. Geothermal investigation of the Kesenözü thermal springs (Bolu-Turkey). EGC 2003, 25-30 May Szeged-Hungary.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. 2003. Hydrogeochemical study of the Resadiye (Tokat) geothermal f ield. International Geothermal Conference in Iceland Multiple Integrated Use of Geothermal Resources. Reykavi, IGC-2003, International Geothermal Conference in Iceland. Pp 21-28.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. Hydrogeological investigation of Tokat Resadiye thermal Spaand its environs. New Zealand International Workshop. November 21 Auckland New Zealand.

**Pasvanoğlu, S.** Kristmansdötter, H. Björnsson, S. Torfason, H. 2000. The Great Geysir Geothermal Field in S- Iceland. A geochemical study. (WGC 2000) World Geothermal Congress 2000-Japan.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 1993. Hydrogeological investigation of the mineralized and thermal water of the karstic aquifers arround Kırşehir and the possibility of utilization in thermal Spas. International Symposium on Water Resources in Karst With Special Emphasis on Arid and Semiarid Zones, Vol. 1; 153-16, Shiraz-Iran.

### **Ulusal Sempozyumda Tam Metni Basılan Bildiriler**

**Pasvanoğlu, S.** Güner, A. Gültekin, F. 2008. Nevşehir (Kozaklı) jeotermal kaynaklarının kullanılmasıyla oluşabilecek çevresel sorunlar. Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli 2008, Kocaeli Üniversitesi, 38-49.

Yılmaz, S. **Pasvanoğlu, S.** Yakabağ, A. Vural, S. 2008. Urganlı jeotermal alanının (Turgutlu-Manisa) Jeolojisi ve sondaj verileri ışığında yeniden değerlendirilmesi.

Termal ve Maden Suları Konferansı, 24-25 Nisan 2008, Afyon Kocatepe Üniversitesi, ISBN:978-975-7150-87-9, Yayın No.68, 151-163.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2008. Nevşehir (Kozaklı) sıcak ve mineralli suların kökeninin izotoplarla incelenmesi. III. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, 3-17 Ekim 2008, 133-149, Orhantepe-Istanbul.

Vural, S. **Pasvanoğlu, S.** Yılmaz, S. Yakabağ, A. 2008. Urganlı (Turgutlu) sıcak ve mineralli sularının izotoplarla incelenmesi. III. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, 3-17 Ekim 255-269, Orhan tepe-Istanbul

**Pasvanoğlu, S.** Vural, S. Önen, İ. 2008. Balıkesir Ilıcaoğazı (Kepekler) kaplıca sularının izotoplarla ( $O^{18}$ ,  $H^2$ , ve  $H^3$ ) incelenmesi. III. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, 3-17 Ekim 229-240, Orhan tepe-Istanbul.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 2005. Seben (Bolu) – Pavlu Kaplıca kaynaklarının hidrojeolojisi ve izotopik incelenmesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyum, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı 26-28 Eylül, Vol.1, 241-256, Gümüldür, İzmir

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 2005. Sarot (Bolu-Mudurnu) kaplıca suların hidrojeokimyasal incelemesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyum, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı 26-28 Eylül, Vol.1, 227-240, Gümüldür, İzmir.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** Arıgün, Z. 2005. Banaz-Hamamboğazı sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal incelemesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyum, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı 26-28 Eylül, Vol.1, 209-225, Gümüldür, İzmir.

**Pasvanoğlu, S.** Arıgün, Z. 1998. Hydrogeological investigation of the mineral waters of Kızılcahamam AcısuDere Greek. Geological Symposium of Fırat (ELAZIĞ) University, 12-16 October, Elazığ-Turkey.

Canik, B. Çelik, M. **Pasvanoğlu, S.** 1998. Tokat-Pazar Ballica mağarasının oluşumu ve fiziksel özellikleri. Geological Symposium of Fırat (Elazığ) University, 12-16 October, Elazığ-Turkey.

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 1994. The potential characteristic and usage of the Karahayıt - Develi village. Denizli Symposium 94, Application of Geothermal Pamukkale-Denizli-Turkey, Pb.187-201

**Pasvanoğlu, S.** 1991. Hydrogeological investigation of Milas (Muğla) plain. Geological Symposium of Suat Erk, University of Ankara, Page 427- 435. Ankara-Turkey.

#### **Uluslararası Sempozyumda Özeti yayınlanan Bildiriler**

**Pasvanoğlu, S.** 2014. Hydrogeological and possible effects of the 2011 Van Earthquake on the Zilan-Erçiş geothermal field in Turkey. International Environmental Sciences Symposium of Van (IESSV).

**Pasvanoğlu, S.** Güler, S. 2009. Environmental problems arising from Ağrı (Diyadin) geothermal waters. International Earthquake Symposium 17-19 August 2009, Kocaeli University.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2008. Evaluation of origin of the (Kozaklı) Nevşehir geothermal waters with environmental isotopes. IAHR Ground Water Symposium, Istanbul.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. Gültekin, F. 2006. A hydrogeochemical comparison of thermal and mineralized waters of Terme (Kırşehir) and Kozaklı (Nevşehir), Turkey. First International Conference on the East African Rift Geothermal Resources (ArGeo-C1, Geological survey of Ethiopia, 24-29 November 2006, Addis Ababa, Ethiopia.

Göçmez, G. Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 2005. Ilgin Kaplıcası sıcak ve mineralli sularının, su kimyasi ve izotopik incelemesi. Proceedings of the 1st International Symposium And Exhibition on Environment-Friendly Energy Sources And Technologies,1,81-86.

**Pasvanoğlu, S.** Canik, B. 2002. Orhangazi ovasının hidrojeokimyasal yöndenincelenmesi. I. Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu 21-25 Ekim, Sayfa 173-188, Adana-Türkiye.

### **Ulusal Sempozyumlarda Özeti yayınlanan Bildiriler**

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** Arıgün, Z. 2013. Orhangazi(Bursa) karstik su kaynaklarının Hidrojeokimyası. Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu, 7-9 Ekim 2013, Aksaray.

**Pasvanoğlu, S.** Vural, S. 2012. Diyadin (Ağrı) ve Erciş (Zilan-Van) sıcak ve mineralli Sularının karşılaştırmalı incelenmesi. Uluslararası katılım V. Jeokimya Sempozyumu.

**Pasvanoğlu, S.** Güler, S. 2010. Zilan(Van-Erciş) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal incelemesi. IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu 26-28 Mayıs, 2010, Elazığ, Fırat Üniversitesi Müh. Fakültesi Jeoloji Müh. Böl.

**Pasvanoğlu, S.** Güler, S. 2010. Diyadin (Ağrı) ve çevresinin jeotermal enerji yönünden incelenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Böl. IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, 26-28 Mayıs, 2010 Elazığ,

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2010. Kırşehir ili termal sularının hidrojeokimyasal özellikleri. Proceeding of 45 th Annversary Geology Sempozyumu, Trabzon, 45.Yıl Jeoloji Sempozyumu, 13-16 Ekim 2010, Trabzon, 59.

**Pasvanoğlu, S.** Güler, S. 2009. Diyadin(Ağrı) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal incelemesi. Türkiyenin Jeotermal Potansiyeli ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, İstanbul Üniversitesi, Türkiyenin Jeotermal Potansiyeli ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, ISBN:978-9944-89-803-4.

**Önen, İ. Pasvanoğlu, S.** Vural, S. 2008. Balıkesir Ilıcaboğazı (Kepekler) kaplıca sularının hidrojeokimyasal incelemesi Su-Enerji-Sağlık (SES08) Sempozyumu Bildiri Özleri, Aksaray Üniversitesi, 20-23 Ekim 41-42.

Vural, S. **Pasvanoğlu, S.** Yilmazer, S. Yakabağ, A. 2008. Urganlı (Turgutlu) jeotermal sularının hidrojeokimyasal incelenmesi, III. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, Bursa.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2008. Terme, Karakurt (Kırşehir) ve Kozaklı (Nevşehir) sıcak ve mineralli sularının iz element içerikleri, Su-Enerji-Sağlık (SES08) Sempozyumu, Aksaray Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Aksaray.

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin, F. 2008. Kozaklı (Nevşehir) Sıcak ve mineralli sularının hidrojeokimyası", Su-Enerji-Sağlık (SES08) Sempozyumu, Aksaray Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Aksaray.

**Pasvanoğlu, S.** Ataş, Ö. 2005. Orhangazi dolayındaki önemli karstik kaynakların incelenmesi ve 1999 Gölcük Depreminin bunlara etkisi Kocaeli Deprem Sempozyumu 3-25 Mart, Kocaeli.

#### **Poster Yayınları**

**Pasvanoğlu, S.** 2008. Evaluation of hydrochemical and reservoir temperature of Bursa-Oylat Resort. IAHR-Ground Water Symposium, Istanbul.

**Pasvanoğlu, S.** Esentürk, Y. Çakır, Ş. 2003. Kuşadası- Davutlar Kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi ve bölgenin depremselliği ile ilgili verilerinin derlenmesi. Kocaeli Deprem Sempozyumu 23-25 Mart, 2005, Kocaeli.

#### **Proje Bilgileri**

Çelik, M. **Pasvanoğlu, S.** 2013. Kızılcahamam-Çamlıdere (Ankara) dolayındaki sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi. Proje No. 13 L 4343011, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi

**Pasvanoğlu, S.** Gültekin F. 2005. Kırşehir (Terme) ve Nevşehir (Kozaklı) sıcak ve mineralli sularının karşılaştırmalı incelenmesi 104Y167 Tübitak



**Pasvanoğlu, S.** 2005. Bursa-Oylat sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik yönden incelenmesi Proje No. 2005/19, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

**Pasvanoğlu, S.** Arıgün, Z. 2005. Orhangazi ovasının hidrojeoloji incelemesi. Proje No. 1999/46, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

**Pasvanoğlu, S.** 2002. Bolu-Mudurnu Taşkesti Sarot Kaplıca kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri Proje No. 2002/34, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

**Pasvanoğlu, S.** 2002. Seben (Kesenözü) Köyü Pavlu Kaplıca kaynaklarının hidrojeoloji özellikleri ve jeotermal olanakları Proje No. 2000/21, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi

Canik, B. **Pasvanoğlu, S.** 1991. Kızılcahamam dolayındaki sıcak ve mineralli kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

### **Kazanılan Burslar**

“Diploma in Geothermal Energy Technology, süre 1 Yıl, University of Auckland. . (2001), süre 1 Yıl, New Zealand.

United Nation University Geothermal Training Programme in Iceland “Chemistry on thermal fluid” (1998), süre 6 Ay, Reykavik.

ICTP, ICS-UNIDO University of Trieste, Italy, School on Geothermics (2009), The AbdusSalam International Centre for Theoretical Physics and ICS-UNIDO International Centre for Science and High Technology, October 26-November 7, 2009.