

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BEYLERLİ JEOTERMAL SAHASININ (ÇARDAK-DENİZLİ)  
HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Taylan AKIN**

**Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği**

**Programı : Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Ali GÖKGÖZ**

**TEMMUZ 2012**

## YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081149002 nolu öğrencisi Taylan AKIN tarafından hazırlanan “BEYLERLİ JEOTERMAL SAHASININ (ÇARDAK-DENİZLİ) HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr Ali GÖKGÖZ (PAÜ)  
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Halim MUTLU (OGÜ)

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr Ali BÜLBÜL (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
15/08/2012 tarih ve .../14... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Taylan AKIN

## ÖNSÖZ

Sürekli artan enerji talebi ve buna bağlı olarak küresel ısınma dikkatleri alternatif enerjiye yöneltmiştir. Alternatif enerjilerden biri olan jeotermal enerji dünyanın bazı bölgelerinde yararlanılacak kadar potansiyele sahiptir. Ülkemiz de sahip olduğu jeolojik özelliklerden dolayı dünyadaki bu yerlerden biridir. Isı potansiyeline bağlı olarak birçok alanda kullanılan jeotermal enerji ülkemizde özellikle elektrik üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizm uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Beylerli kasabası (Denizli-Çardak) ve civarındaki sıcak suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve Denizlinin yaklaşık 60 km kuzeydoğusunda olan Acıgöl grabeninin jeotermal potansiyeli ve bu bölgede jeotermal enerjinin hangi kullanım alanlarının olabileceği konusunda katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Tez kapsamında yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları için gerekli olan bütün maddi kaynak Pamukkale Üniversitesi, 2010FBE039 nolu BAP projesi tarafından sağlanmıştır.

Tez kapsamında yapılan bütün çalışmalar boyunca beni yönlendiren, sorularımı cevaplayan ve tez projesini koordine eden, mezun olduğum yıldan beri beraber çalışma fırsatı bulduğum Yrd.Doç.Dr. Ali Gökgöz hocama, tez sahasının tektonizması için benimle sahaya çıkan ve çok değerli zamanını bana ayırarak bölgenin tektonizmasıyla ilgili bana ışık tutan Yrd. Doç. Dr. Ali Kaya hocama, tez için benimle beraber literatür tarayan, tecrübelerini paylaşan, tezime yön veren ve yılmadan bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ali Bülbül'e, tez yazımında sağladığı teknik desteği ve tanıdığım günden beri bütün yardımları için Araş. Gör. Sefer Beran Çelik'e, numunelerin analizinden paketlenip kargoyla götürülmesine kadar laboratuvarında yapılan bütün işlerde yardımını esirgemeyen kimyager Sanem Kılınçarslan'a, Arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan Gökhan Çelik'e, bu tezin hazırlanması sırasında büyük desteğini gördüğüm eşim Yasemin Akın'a ve bugün bu noktada olmama vesile olan çok değerli aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Temmuz 2012

Taylan AKIN  
Jeoloji Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>xi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	2
1.3 Önceki Çalışmalar .....	3
1.4 Araştırma Materyal ve Yöntemleri.....	5
1.4.1 Literatür çalışması .....	5
1.4.2 Saha çalışmaları.....	5
1.4.2.1 Jeolojik çalışmalar .....	5
1.4.2.2 Yerde ölçüm ve örnekleme çalışmaları.....	6
Karbonat türlerinin analizi.....	6
1.4.2.3 Laboratuvar çalışmaları.....	11
<b>2. GENEL JEOLJİ</b> .....	<b>12</b>
2.1 Stratigrafi .....	12
2.1.1 Allohton birimler .....	12
2.1.1.1 Bodrum napı .....	12
2.1.1.2 Marmaris ofiyolit napı .....	16
2.1.1.3 Gülbahar napı .....	18
2.1.1.4 Domuzdağ napı.....	18
2.1.2 Paraallohton birimler .....	18
2.1.2.1 Varsakyayla formasyonu.....	18
2.1.2.2 Acıgöl formasyonu .....	19
2.1.3 Otokton birimler .....	19
2.1.3.1 Çameli formasyonu.....	19
2.1.3.2 Alüvyon.....	20
2.2 Tektonizma .....	20
<b>3. HİDROJEOLJİ</b> .....	<b>23</b>
3.1 Hidroloji .....	23
3.2 Kayaçların Hidrojeoloji Özellikleri.....	27
3.2.1 Geçirimli birimler.....	27
3.2.2 Yersel öneme sahip akiferler.....	28
3.2.3 Geçirimsiz birimler.....	28
3.3 Hidrotermal Sistem Oluşumu.....	28
3.4 Su Örnekleme Noktaları Tanıtımı ve Analiz Sonuçları.....	31
3.5 Hidrojeokimya.....	54
3.5.1 Temel kimyasal hesaplamalar .....	54
3.5.2 Suların sınıflandırılması.....	57
3.5.3 Suların doygunluk indeksleri .....	65
3.5.4 Doğal izotoplarla suyun kökeninin ve yaşının araştırılması.....	66
3.5.4.1 Döteryum ve <sup>18</sup> O izotopları.....	66

3.5.4.2 Yeraltı suyunun yaşlandırılması .....	70
<b>4. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI.....</b>	<b>75</b>
4.1 Su Jeotermometreleri .....	77
4.1.1 Silika jeotermometreleri .....	78
4.1.2 İyon değişimine bağlı katyon jeotermometreleri .....	79
4.2 Çoklu Mineral Denge Yaklaşımı.....	83
4.3 Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi .....	87
4.4 Karışım Modelleri .....	88
4.4.1 Klorür-entalpi karışım modeli.....	89
4.4.2 Silika-entalpi karışım modeli .....	89
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>97</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>103</b>

## KISALTMALAR

<b>MTA</b>	: Maden Tetkit ve Arama Genel Müdürlüğü
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
<b>TPAO</b>	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
<b>GMWL</b>	: Global Meteoric Water Line
<b>EMMWL</b>	: East Mediterranean Meteoric Water Line
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>EC</b>	: Electrical Conductivity (Elektriksel iletkenlik)
<b><math>\mu</math>S</b>	: MikroSiemens
<b>ED 50</b>	: 1950 Avrupa merkezli projeksiyon (UTM datumu)
<b>Etp</b>	: Potansiyel Buharlaşma-terleme (mm)
<b>Etr</b>	: Gerçek Buharlaşma-terleme (mm)
<b>SI</b>	: Saturation Index (Doygunluk İndeksi)
<b>mek</b>	: Miliekivalan (Mili Eşdeğer)
<b>TU</b>	: Tritium Unit (Tritiyum birimi)

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

1.1 : 1 atmosfer basınçta ve 25 °C de karbonat denge sabitleri.....	9
1.2 : 25 °C'da karbonat türlerinin pH'ın fonksiyonu olarak dağılımı.....	9
3.1 : Thornthwait yöntemine göre gerçek buharlaşma-terleme hesabı.....	25
3.2 : İnceleme alanındaki bazı DSİ kuyularına ait bilgiler .....	27
3.3 : Çalışma alanında örneklenen sulara ait coğrafi koordinatlar .....	32
3.4 : Beylerli Efem kaplıcası suyunun analiz sonuçları.....	34
3.5 : Cumalı ılıca keson kuyusundan alınan suyun analiz sonuçları.....	36
3.6 : Karagöl kaynak suyu analiz sonuçları .....	37
3.7 : Beylerli DSİ sondaj suyu analiz sonuçları .....	38
3.8 : Beylerli içme suyu-I'in analiz sonuçları.....	39
3.9 : Beylerli içme suyu-II'nin analiz sonuçları.....	40
3.10 : Çaltı DSİ sulama suyu analiz sonuçları.....	42
3.11 : Çaltı kullanma suyu analiz sonuçları.....	43
3.12 : Gölcük kullanma suyu analiz sonuçları.....	44
3.13 : Gölcük DSİ sulama suyu analiz sonuçları .....	45
3.14 : Çaltı erenardıç mevkisi kaynak suyu analiz sonuçları .....	46
3.15 : Hayriye köyü kaynak suyu analiz sonuçları.....	47
3.16 : Ayvaz köyü içme suyu analiz sonuçları.....	49
3.17 : Dereköy su sarnıcından alınan suyun analiz sonuçları .....	50
3.18 : Gemiş pınarı analiz sonuçları.....	51
3.19 : Bayramalan kaynağından alınan suyun analiz sonuçları.....	52
3.20 : Akpınar köyü kaynak suyunun analiz sonuçları.....	53
3.21 : Beylerli jeotermal sahasından alınan suların fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları .....	58
3.22 : Beylerli jeotermal sahasındaki suların iz element dağılımları .....	59
3.23 : Çalışma alanındaki sıcak ve ılık suların mineral doygunluk indeksleri.....	66
3.24 : Tez kapsamında toplanan suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri .....	70
3.25 : Çalışma alanından toplanan suların trityum dağılımları.....	73
4.1 : Silika jeotermometre sonuçları.....	81
4.2 : Rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan silika jeotermometre formülleri ve referansları .....	82
4.3 : İnceleme alanındaki bazı suların $\delta^{18}\text{O}$ ( $\text{SO}_4$ ) - $\delta^{18}\text{O}$ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sonuçları ve hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.....	87
4.4 : Beylerli Efem kaplıcasının, farklı rezervuar sıcaklıkları varsayımlarıyla hesaplanan rezervuar silika miktarları ve soğuk su karışım oranları.....	91
4.5 : Sıcak ve ılık sulara bulunan soğuk su karışım oranları ve rezervuar sıcaklıkları.....	93

## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekiller

1.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	2
1.2 : Sahadan örnek alınması ve yerinde analiz çalışmaları.....	7
1.3 : 25 °C'de çözülmüş inorganik karbonun majör türlerinin dağılımı. ....	9
2.1 : Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası.....	13
2.2 : Acıgöl grabeninin güneyindeki stratigrafik kolon kesit.....	14
2.3 : Kayaköy dolomit biriminden bir görünüm.....	15
2.4 : Yandağ kireçtaşı birimi ve Beylerli jeotermal sondajının lokasyonu. ....	15
2.5 : Çengel Dere'nin batısında görülen kireçtaşı-ofiyolit arasındaki tektonik dokanak. ....	16
2.6 : Çengel Dere yatağında, kireçtaşı ve ofiyolit arasında görülen normal faylı sınır.....	17
2.7 : Çatlakları dolgulu gabro (Hayriye köyü).. ....	17
2.8: Beylerli göleti civarında gözlemlenen mika şist ardalımalı amfibolitler ..	18
2.9 : Çameli formasyonunun çamurtaşı-marn üyesinden görünüm.....	19
2.10 : Türkiye'deki aktif faylar ve levhalardaki hareket yönlerinin genel görünümü .....	20
2.11 : Arazide gözlemlenen bazı jeolojik yapılar.....	21
2.12 : Gözlemlenen bazı yapısal unsurlar.....	22
3.1 : Çalışma alanının 1964 ve 1991 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) dağılımları. ....	24
3.2 : Denizli Çardak bölgesinin 1964-1991 yılları arasındaki aylık bazda ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değişimleri. ....	24
3.3 : Yağış ve potansiyel buharlaşma-terlemenin aylık değişim grafiği.....	26
3.4 : Çameli formasyonunun geçirimli çakıltaşlarından bir görünüm.....	28
3.5 : Beylerli sahasının hazne ve örtü kayalarının görünümü.....	29
3.6 : Beylerli jeotermal sahasının kavramsal modeli.....	30
3.7 : Örneklenen suların lokasyonları .....	31
3.8 : Beylerli Efem kaplıcasının yeri .....	32
3.9 : Beylerli jeotermal sahası .....	33
3.10 : Cumalı ılıca keson kuyusunun yeri.....	35
3.11 : Numune alınan DSİ kuyularının jeolojik logları .....	41
3.12 : Acıgöl'ü güneyden besleyen kaynaklar .....	48
3.13 : İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramında gösterimi.....	63
3.14 : Çalışma alanındaki suların Piper diyagramında gösterimi.....	64
3.15 : Çeşitli prosesler sonucunda orijini meteorik olan suyun izotop kompozisyonunun meteorik su doğrusundan sapmaları .....	69
3.16 : Global su doğrusu üzerinde sahadan toplanan sulardaki 18O ve 2H dağılımları .....	70
3.17 : Ottawa yağmur suyundaki trityum miktarlarının zamanla değişimi.....	72
3.18 : Suların trityum değerleri ile elektriksel iletkenliği arasındaki ilişki.....	74
3.19 : Suların trityum değerleri ile çözdüğü klor değerleri arasındaki ilişki .....	74

4.1 : Fournier ve Potter'ın geliştirdiği farklı sıcaklıklardaki kuvars türlerinin çözünlükleri.....	78
4.2 : Su örneklerinin Gigenbach diyagramı üzerinde gösterimi.....	80
4.3 : Beylerli Efem kaplıca suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	84
4.4 : Çaltı DSİ sulama suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	84
4.5 : Çaltı kullanma suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	85
4.6 : Cumalı ılıca suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	85
4.7 : Gölcük DSİ sulama suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	86
4.8 : Gölcük kullanma suyunda çözünmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	86
4.9 : Karışım modeli.....	88
4.10 : Beylerli jeotermal sahası sularına uygulanan klor-entalpi karışım modeli.....	89
4.11 : Alfa Kristobalit ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı.....	92
4.12 : Kalsedon ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı.....	92
4.13 : Kuvars ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı.....	93
4.14 : Silika-entalpi karışım modeli.....	94

## SEMBOL LİSTESİ

<b>pH</b>	: Hidrojen Aktivitesinin Eksi Logaritması
<b>eH</b>	: Yüseltenme Potansiyeli
<b>T pH</b>	: pH Ölçüm Sıcaklığı
<b>c</b>	: Konsantrasyon (mol/l)
<b>V</b>	: Hacim (ml)
<b>K</b>	: Teorik veya Deneysel Bulunmuş Denge Sabiti
<b>g</b>	: Gaz Fazı
<b>aq</b>	: Suda Çözünmüş Tür
<b>δ</b>	: Del Notasyonu
<b>γ</b>	: İyon Aktivite Katsayısı
<b>e</b>	: Majör Anyon ve Katyon mek/l Değerleri Arasındaki % Hata
<b>I</b>	: İyon Şiddeti
<b>z<sub>i</sub></b>	: İyon Yüğü
<b>a<sub>i</sub></b>	: İyon Etkin Yarıçapı
<b>ΔH</b>	: Standart Entalpi
<b>Q</b>	: Analiz Sonçlarıyla Hesaplanan Denge Sabiti
<b>R</b>	: İdela Gaz Sabiti
<b>ΔG°</b>	: Standart Gibbs Serbest Enerjisi
<b>t</b>	: Suyun Sisteme Giriş ve Çıkışı arasındaki Radyoaktif Yaş (yıl)
<b>t<sub>1/2</sub></b>	: Radyoaktif Yarılanma Ömrü (yıl)
<b>A<sub>0</sub></b>	: Başlangıç Radyoaktif Miktarı
<b>A<sub>ölç</sub></b>	: Ölçülen Radyoaktif Miktarı
<b>T</b>	: Sıcaklık

## ÖZET

### BEYLERLİ JEOTERMAL SAHASININ (ÇARDAK-DENİZLİ) HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Beylerli jeotermal sahası (Çardak) Denizli il merkezinin 60 km kuzeydoğusunda bulunur. Sıcak suların rezervuar kayaçları Jura-Kretase yaşlı Yandağ kireçtaşları ve olasılıkla Apsiyen-Albiyen yaşlı peridotitlerdir. Neojen yaşlı geçirimsiz birimler örtü kayayı oluşturur. Sahadaki sıcak ve mineralli sular, 27.8 °C sıcaklığındaki Cumalı ılıcası ve sondajdan alınan 38.1°C sıcaklığındaki Efem kaplıca suyudur. Ayrıca, Denizli İl Özel İdaresi, DSI ve şahıslar tarafından açılan sondajlardan da 20.2-28.2°C sıcaklıklarda yeraltısuyu alınmıştır. Beylerli ve Cumalı sıcak ve mineralli sularının elektriksel iletkenlik ve pH değerleri sırasıyla 6.90-7.04 ve 1886-1407µS/cm arasındadır. Egemen iyonlar Ca, Na, Mg, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> olup su tipleri Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> ve Na-Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl dur. Sıcak sulardaki Sr değeri maksimum 6.32 mg/l, B değeri ise maksimum 0.464 mg/l'dir. Diğer minör ve iz elementlerin derişimi 1 mg/l'den azdır. Termal suların kararlı izotop değerleri δ<sup>18</sup>O için ‰ -7.93 ile -8.82 arasında ve δ<sup>2</sup>H için ‰ -54 ile -57.3 (VSMOW) arasındadır. Bu değerler termal suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. İnceleme alanındaki termal sulara uygulanan silis jeotermometreleri ile 44-94°C, sülfat-su oksijen izotop jeotermometresi ile 81-96°C, karışım modelleri (klorür-entalpi ve silika-entalpi) ile 50-140°C değerleri arasında hazne kaya sıcaklıkları hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beylerli, jeotermal, hidrojeokimya

## SUMMARY

### THE HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF BEYLERLI (ÇARDAK-DENIZLI) GEOTHERMAL FIELD

Beylerli geothermal field (Çardak) is located at 60 km northeast of Denizli city center. The reservoir rocks of the thermal waters are Jura-Cretaceous Yandağ limestone and probably Cretaceous peridotite. The caprock is impermeable layers of Neogene units. Hot and mineralized waters in the study area are Cumalı spring (27.8°C) and Efem geothermal well water (38.1°C). In addition, temperatures of waters discharged from wells drilled by Denizli Governorship, State Hydraulics Work of Turkey and people vary between 20.2 and 28.2 °C. The electrical conductivity and pH values of Beylerli and Cumalı hot and mineralized waters range between 1886 and 1407  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , and 6.90 and 7.04, respectively. Dominant ions in thermal waters are Ca, Na, Mg,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  and the waters are Ca-Mg- $\text{SO}_4$ - $\text{HCO}_3$  and Na-Ca-Mg- $\text{SO}_4$ -Cl types. Maximum Sr value in the waters is 6.32 mg/l and B 0.464 mg/l, while concentrations of other minor and trace elements are lower than 1 mg/l. The  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  isotope compositions of the thermal waters are between -7.93; -8.82‰ and -54.0; -57.3‰ (VSMOW), respectively. These compositions indicate that all the waters from Beylerli geothermal field are meteoric origin. Silica geothermometers, sulfate-water oxygen isotope geothermometer and mixing models (chloride-enthalpy and silica-enthalpy) which were applied to the thermal waters in the study area gave a reservoir temperatures ranges from 44°C to 94°C, 81°C to 96°C and 50°C to 140°C respectively.

**Key Words:** Beylerli, geothermal, hydrogeochemistry

## 1. GİRİŞ

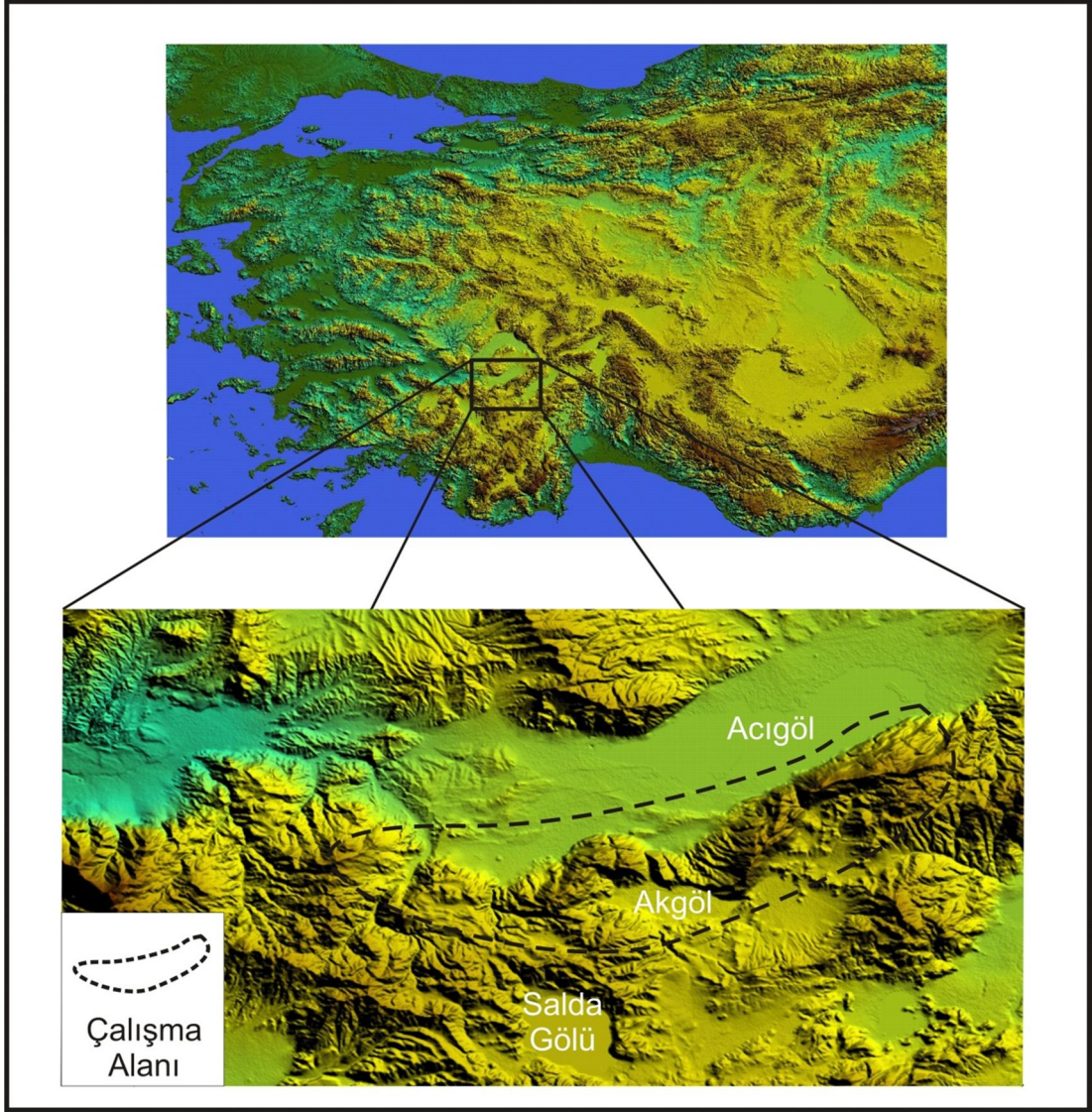
Bu çalışmada, yüksek lisans tezi kapsamında Beylerli (Çardak-Denizli) jeotermal sahası araştırılmış ve bütün çalışmalar Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Ali Gökğöz'ün yürütücülüğündeki 2010FBE039 proje numaralı ve "Beylerli Jeotermal Sahasının (Çardak-Denizli) Hidrojeokimyasal İncelemesi" başlıklı BAP projesi kapsamında yapılmıştır. Bu bölümde, çalışma alanının yeri, çalışmanın amacı, bölgede yapılmış önceki çalışmalar ve çalışmada izlenen yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

### 1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

Çalışma alanı, Denizli il merkezinin 60 km kuzeydoğusundaki Acıgöl grabeninin güneyinde bulunan Beylerli jeotermal sahası ve civarında 1/25000 ölçekli DENİZLİ M23-a3, a4, b3, b4, c1, c2, d1 ve d2 paftalarını kapsar (Şekil 1.1).

Yörenin topoğrafyası başlıca tektonik yapı ve litoloji ile şekillenmiştir. Sahanın güney kesimi faylanmayla ilişkili olarak yükseltilerden oluşurken kuzey kesimde hemen hemen düzgün bir topoğrafya izlenir. Önemli yükseltiler Efeklisivrisi Tepe (2033 m), Taraklı Tepe (1996 m), Nişantaş Tepe (1873 m), Deliiskan Tepe (1857 m), Çengel Tepe (1730 m) ve Azitepe (1693 m)'dir. İnceleme alanındaki geniş düzlüklerde görülen en düşük kotlar 840 m civarındadır. Buna göre en yüksek ve en düşük kotlar arasında 1200 metrelik önemli bir fark vardır.

Sahadaki en önemli akarsu yaz-kış akışlı olan Değirmendere'dir. Bu dere üzerinde DSİ tarafından inşa edilen sulama amaçlı Beylerli göleti bulunmaktadır. İnceleme alanında bulunan Acıgöl hem göçmen kuşların uğrak yeri olan bir sulak alan olması, hem de NaSO<sub>4</sub> üretimi yapılması nedeniyle ekonomiye katkı sağlaması açısından önemli bir göldür. Diğer göl olan Akgöl ise genelde kuru olup ancak bahar aylarında kısmen suludur.



Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.

İnceleme alanındaki yerleşim birimleri Beylerli, Cumalı, Çambaşı, Yenibağlar, İnceler, İncelertekkesi, Çaltı, Ayvaz, Gölcük, Kırılı, Dereköy, Hayriye, Gemiş, Akpınar, Sazköy belde ve köyleridir. Alanda ulaşım sorunu yoktur ve köylerle beldeler birbirine asfalt yollarla bağlıdır.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma ile Beylerli jeotermal sahasında, termal suların beslenmesi, hazne ve örtü kayalar, ısı kaynağı, suların geçirdiği kimyasal değişimler ve olası rezervuar sıcaklıklarını belirten kavramsal bir hidrojeokimyasal modelleme yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca, geniş düzlüklere sahip olmasına rağmen tarım toprağı olarak verimsiz olan arazide, jeotermometre uygulamaları ile özellikle sera ısıtması için

yeterli rezervuar sıcaklıklarına yaklaşım sağlanabilirse, bu yolla bölge ve ülke ekonomisine olabilecek katkı bu çalışmanın çıktılarında biri olarak öngörülmüştür.

### 1.3 Önceki Çalışmalar

Beylerli jeotermal alanı ve civarında bugüne değin jeotermal araştırma amaçlı detaylı çalışma yapılmadığı için saha bakir sayılabilir. Acıgöl ve çevresi daha önce değişik araştırmacılar tarafından değişik amaçlarla çalışılmıştır (Holzer, 1953; Nebert, 1956; Bering, 1968; Lebküchner, 1970; Sarp, 1976; Öztürk, 1981). Sonraki dönemde MTA tarafından bölgenin 1/25 00 ölçekli haritalama çalışmaları yürütülmüştür (Yalçinkaya ve diğ., 1986; Konak ve diğ., 1986, 1987; Gökteş ve diğ., 1989; Şenel ve diğ., 1989; Bilgin ve diğ., 1990). Bunun dışında TPAO Genel Müdürlüğü tarafından bölgede petrol aramalarına yönelik jeolojik çalışmalar yapılmıştır (Bölükbaşı, 1987). Değişik araştırmacılar tarafından yapılan 1/25 000 ölçekli jeolojik haritalarda gözlenen eksiklik ve uyumsuzluklar kısa süreli arazi çalışmalarıyla giderilmeye çalışılmış ve Denizli-J9 paftası için jeolojik harita ve raporu hazırlanmıştır (Şenel, 1997).

Ercan ve diğ. (1983), Denizli ilinde yüzlekler veren volkanik kayalardaki petrokimyasal incelemelerin yanı sıra, bölgesel yayılımlarını, plaka tektoniği açısından oluşumlarını ve kökenlerini araştırmışlardır. Üst Pliyosen yaşlı volkanitlerin, şoşonitik bazalt, latit ve trakit türünde ve tümünün şoşonitik nitelikte olduğunu, volkanizmanın bölgede etkin olan tansiyon rejimi sonucu oluşan kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Erzenoğlu (1987), Beylerli kaplıcalarının hidrojeolojik, Öztürk ve Karlı (1998) ise jeofizik etüdünü yapmışlardır. Sıcak su rezervuar kayalarının ofiyolitler ve ikincil olarak kireçtaşları olduğunu, sıcak suların KD-GB uzanımlı faylarla ilişkili olarak yüzeye çıktığını, sıcak kaynak sularının sıcaklıklarının 31-40°C arasında değişmesinin sıcak suların göl suyu ve soğuk yeraltısularından etkilenmeleri sonucu meydana geldiğini belirtmişler ve rezervuar sıcaklığını 83-127°C olarak öngörmüşlerdir. Burçak (1998), Beylerli sahasının jeotermal etüdünü yapmış ve hazne kayanın Yandağ kireçtaşları, örtü kayanın ise Pliyosen yaşlı gölsel marn ve kil seviyeleri olduğunu ifade etmiş, ısı kaynağı olarak jeotermal gradyan artışını öngörmüştür.

Mutlu ve diğ. (1999), Acıgöl'ün mineralojisi ve su kimyası üzerine yaptıkları çalışmada, Na-Cl-SO<sub>4</sub> bileşimindeki göl suyunun, biri Mg-HCO<sub>3</sub> tipindeki yeraltısuyu, diğeri Na-SO<sub>4</sub> tipindeki kaynak suları olmak üzere iki su kaynağı tarafından beslendiğini ve gölü besleyen bu su kaynaklarının kimyasal bileşimindeki farklılığın su döngüsünün farklı yollardan olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Göl civarındaki geçici çamur düzlüklerinde kırıntılı minerallerle birlikte jips, kalsit, dolomit ve huntit, tuzlu su tabanındaki çamurlarda ise halit, bloedit, tenardit ve/veya artezyen yeraltısuyundan çökelen mirabilit saptayan araştırmacılar göl tortullarında aragonitin varlığı ve yüksek toplam organik karbon değerlerinin göldeki bakteriyel aktivitenin göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar, göl suyundaki yüksek miktardaki sodyumun kaynağının volkanik aktivite, sülfatın kaynağının ise kükürt çökelleri olduğunu öne sürmüşlerdir.

MTA (2005), jeotermal sahada sondaj çalışması yapmış, 1998 yılında açılan 53 m derinlikteki sondajdan 39,5°C sıcaklık ve 28 l/s pompaj debisinde jeotermal su alınmıştır.

Kazancı vd. (2006), Acıgöl grabeni kuzey kenarındaki faylı Oligosen temele yaslanan tortulların, kolüvyon konileri ile küçük ölçekli alüvyon yelpazeleri şeklinde depolandığını, bunların yan yana birleşerek ortalama 12° yüzey eğimi olan “etek düzlüğü” meydana getirdiklerini ve bazılarının halen aktif olduğunu belirtmektedirler. Araştırmacılar, grabenin güney kenarındaki birikintilerin çoğunluğunun etek döküntüleri (talus) şeklinde olduğunu, konilerin çoğunluğunun göl içine kadar uzanmış “kolüvyal yelpaze deltaları” meydana getirdiklerini ifade etmişler ve deltaların görünen kısımlarının güncel göl seviyesinden yaklaşık 6 m kadar daha yukarıda olmasının Geç Kuvaterner'de göl su seviyesinin değişmesi sonucu mu, yoksa göl tabanının tektonik olarak yükselmesi sonucu mu olduğunun çözülmesi gereken bir sorun olduğunu vurgulamışlardır.

Toker (2009), doktora çalışmasında Çardak-Dazkırı havzasında yüzeyleyen karasal ve sığ denizel çökellerin sedimantolojik özellikleri ve bu çökellerin havzanın tektonik gelişimiyle ilişkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, Eosen-Oligosen ve Pliyosen yaşlı çökellerin detaylı sedimantolojik incelemeleri sonucunda fasiyesler ayırt edilmiş ve çeşitli formasyonların çökeltme ortamları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; Çardak formasyonunun depolanma ortamı, akarsu, delta-yelpaze deltası ve sığ denizel olduğu, Çardak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Hayrettin

formasyonunun elde edilen bentik foraminiferlerle yaşının Orta-Üst Oligosen ve çökme ortamının sığ denizel, yelpaze deltası olduğu, Tokça formasyonunun bataklık, kıyı ve sığ deniz gibi ortamlarda çökelmiş olabileceği ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca Eosen yaşlı kireçtaşları ile Oligosen yaşlı kumtaşlarından alınan çatlak ölçümleri ve Anizotropik Magnetik ölçüm sonucunda egemen çatlak sistemlerinin KB-GD yönünde olduğu buna bağlı olarak çalışma alanında KD-KB yönünde çekmenin olduğunu belirtmiştir.

Helvacı ve diğ. (baskıda), Likya ofiyolitleri altında bulunan ve Denizli'nin 20 km doğusundaki Kızılyer ve Menteşe köyleri arasında mostra veren jipsli karbonat sekansını (evaporit taşıyan dolomitik karbonatları) Acıgöl havzasındaki evaporitik sedimantasyonun kaynak kayacı olarak düşünmüşlerdir. Acıgöl içinde gerçekleştirilen sondajda ilk 30 m egemen olarak Ca-Na sülfat minerallerinin çökeldiğini, daha derinlerde ise gölün, derin şartları temsil ettiğini ifade etmişlerdir.

#### **1.4 Araştırma Materyal ve Yöntemleri**

Tez çalışması, literatür taraması, saha ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

##### **1.4.1 Literatür çalışması**

Çalışma alanı ve yakın çevresinde jeoloji, hidrojeoloji ve jeokimya konularında yapılmış çalışmalara ilişkin makale ve raporlar, Devlet Su İşleri 21. Bölge Müdürlüğü ve Denizli İl Özel İdaresi tarafından açılan bazı kuyular ile kaynaklara ait veriler ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün meteorolojik verileri derlenerek değerlendirilmiştir.

##### **1.4.2 Saha çalışmaları**

Saha çalışmaları, jeolojik çalışmalar ile su noktalarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması şeklinde iki safhadan oluşmuştur.

###### **1.4.2.1 Jeolojik çalışmalar**

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve çevresinde, Şenel ve diğ. (1997) tarafından yapılmış jeolojik harita yardımıyla kaya birimleri ve faylar yerinde gözlenmiş,

Hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş ve katman ile çatlaklardan ölçüler alınmıştır. Bölgenin genel jeolojisi ayrıntılı olarak ikinci bölümde anlatılmıştır.

#### **1.4.2.2 Yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları**

İnceleme alanında örnekleme için seçilen 17 su noktasında (1 sıcak su sondajı, 1 keson kuyu, 6 soğuk su kaynağı, 9 soğuk su sondajı) sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH ve Eh ölçümleri yapılmıştır. Su sıcaklıkları ile pH, Eh ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri HACH-LANGE portatif HQ40D multi ölçüm cihazı ile iletkenlik ve pH elektrotları kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerden önce, cihaz EC ve pH standart çözeltileriyle kalibre edilmiştir. Suların H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> miktarı 0,1M NaOH titrasyonu, CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> miktarları da 0,1M HCl titrasyonu ile arazide belirlenmiştir. Majör anyon analizleri için örnekler 2 adet 250 ml'lik polipropilen şişeye alınmış ve bu örnekler analiz başlangıcına kadar +4°C altındaki sıcaklıklarda korunmuştur. Katyon ve iz element analizleri için örnekler 100 ml'lik polipropilen şişelere filtre edilerek alınmış, daha sonra numunelere ultra saf HNO<sub>3</sub> eklenerek pH değerinin 2 ve altına inmesi sağlanmıştır. Tritiyum analizleri için su örnekleri 500 ml'lik polipropilen şişelere doğrudan alınmıştır. <sup>18</sup>O ve <sup>2</sup>H analizleri için örnekleme 100 ml'lik polipropilen şişelere doğrudan yapılmıştır. Bu çalışmalarla ilgili bazı fotoğraflar Şekil 1.2'de verilmiştir.

#### **Karbonat türlerinin analizi**

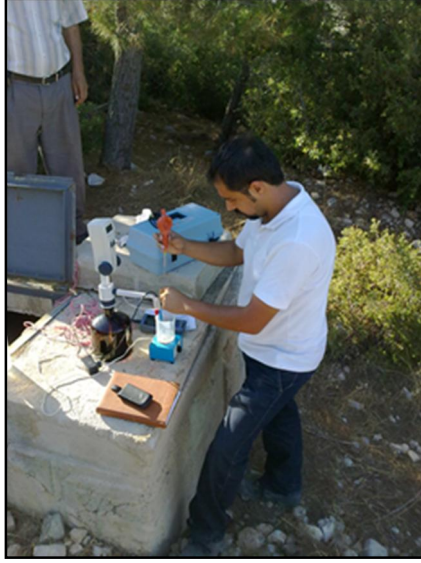
Hidrolojik döngüde yağışla yeraltına süzülen yağmur sularında bir takım gazların çözünmesiyle kayaçlarla reaksiyona girme eğilimi artmaktadır. Suda çözülmüş gazların her birisinin çözünürlüğü o gazın kısmi basıncıyla ilişkilidir. Yeraltı suyu bünyesindeki çözülmüş gazlar, suyun atmosferik gazların kısmi basınçlarıyla doğru orantılı olacak şekilde maruz kaldığı etkileşimle olabileceği gibi yer altına süzülürken doygun olmayan zondaki zemin gazları veya yeraltı dolaşımı esnasında kayaçlarla girdiği reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gazlardan da kaynaklanabilmektedir. Sudaki karbonat türlerinin varlığı, çözülmüş CO<sub>2</sub> gazı ve CaCO<sub>3</sub> minerallerinden (kalsit, aragonit) kaynaklanmaktadır. pH'ı nötre yakın saf su özelliğindeki sularda kalsitin çözünürlüğü çok azdır ancak; yağmur sularının atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazıyla reaksiyona girerek pH'ının düşmesi sonucunda temas



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 1.2: Sahadan örnek alınması ve yerinde analiz çalışmaları. (a), (b) ve (c) suyun pH, eH, EC ve sıcaklık ölçümleri, (e) Örnek alımı, (c) ve (d) alkalinite analizi, (f) vakum ile süzme işlemi.

ettiği kalsitin çözünürlüğü artmaktadır. Bütün oluşan bu tepkimeler aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.



Denklemlerde (g) gaz fazını, (aq) suda çözülmüş türleri ifade etmektedir. Karbondioksitin tamamı suyla reaksiyona girerek karbonik asiti oluşturamaz. “CO<sub>2(aq)</sub>/H<sub>2</sub>CO<sub>3(aq)</sub> oranı 1’den çok büyüktür; ancak, sudaki tüm çözülmüş CO<sub>2</sub>’ler geleneksel olarak H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (karbonik asit) olarak adlandırılmaktadır. Çözülmüş moleküler bileşiklerin kullanımı konusunda başka yerlerde de uyum korunduğu sürece ortaya konan bu genel kural korunmuş olacaktır” (Freeze ve Cherry, 1973).

(1.5) ve (1.6) nolu denge tepkimelerinde görüldüğü üzere karbonat bileşiklerinin belirlenmesinde hidrojen aktifliği oldukça önemlidir. Karbonat bileşiklerinin farklı sıcaklıklardaki denge katsayılarından yararlanarak (1.8, 1.9, 1.10, 1.11) nolu denklemlerde yerine koyup, belirli bir sıcaklıkta pH’a bağlı karbonat bileşiklerinin yüzde dağılımı belirlenebilmektedir. Tablo 1.1’ de Plummer ve Busenberh (1982)’nin geliştirdiği 25 °C için denge sabitleri verilmiştir

$$K_{\text{CO}_2} = \frac{\alpha_{\text{H}_2\text{CO}_3}}{P_{\text{CO}_2}} \quad (1.8)$$

$$K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{\alpha_{\text{H}^+} \alpha_{\text{HCO}_3^-}}{\alpha_{\text{H}_2\text{CO}_3}} \quad (1.9)$$

$$K_{\text{HCO}_3^-} = \frac{\alpha_{\text{H}^+} \alpha_{\text{CO}_3^{--2}}}{\alpha_{\text{HCO}_3^-}} \quad (1.10)$$

$$K_{\text{CaCO}_3} = \frac{\alpha_{\text{Ca}^{+2}} \alpha_{\text{CO}_3^{--2}}}{\alpha_{\text{CaCO}_3}} \quad (1.11)$$

Yukarıdaki eşitliklerde “α” türlerin aktivitelerini belirtmektedir. Çözülmüş madde miktarı yüksek olmayan sular için 1 kabul edilebilir.

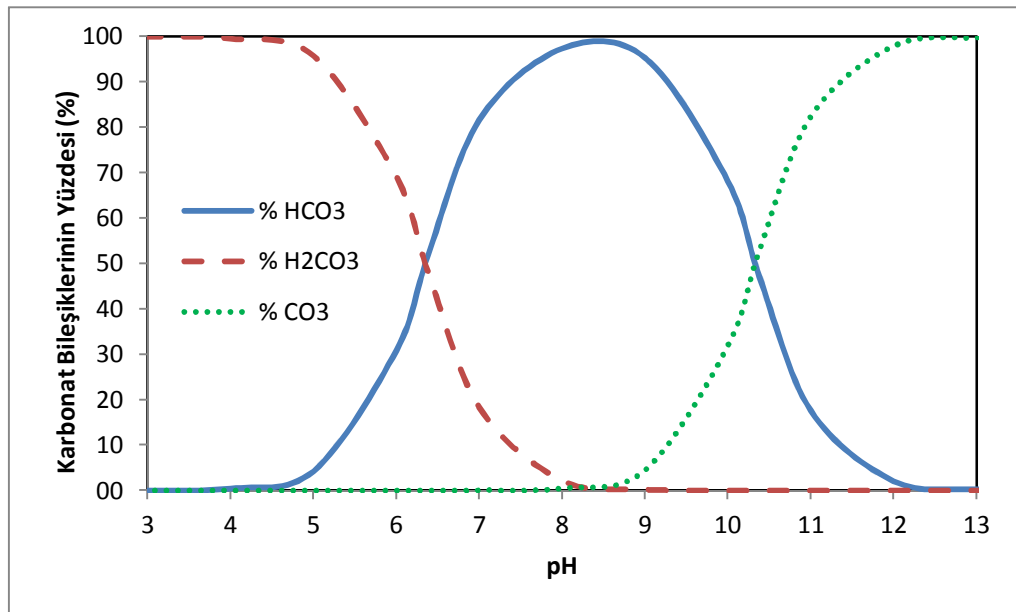
Tablo 1.1: 1 atmosfer basınçta ve 25 °C de karbonat denge sabitleri.

Sıcaklık	$K_{CO_2}$	$K_{H_2CO_3}$	$K_{HCO_3}$	$K_{kalsit}$	$K_{karakonit}$
25	$10^{-1.45}$	$10^{-6.35}$	$10^{-10.33}$	$10^{-8.48}$	$10^{-8.34}$

Tablo 1.1'deki veriler denge denklemlerinde yerine koyularak Tablo 1.2'deki karbonat bileşiklerinin yüzde dağılımları belirlenmiş ve Şekil 1.3'teki grafik oluşturulmuştur.

Tablo 1.2: 25 °C'da karbonat türlerinin pH'ın fonksiyonu olarak dağılımı.

pH	% $H_2CO_3$	% $HCO_3$	% $CO_3$
2	99.99	0.0	0.0
3	99.96	0.0	0.0
4	99.6	0.4	0.0
5	95.7	4.3	0.0
6	69.1	30.9	0.0
7	18.3	81.7	0.0
8	2.2	97.3	0.5
9	0.2	95.3	4.5
10	0.0	68.1	31.9
11	0.0	17.6	82.4
12	0.0	2.1	97.9
13	0.0	0.2	99.8



Şekil 1.3: 25 °C'de çözülmüş inorganik karbonun majör türlerinin dağılımı.

Şekil 1.3 incelendiğinde, pH 4.3'den küçük olduğu zaman sadece karbonik asitin bulunacağı, pH 8.2 olduğunda (1.5) denkleminde gösterildiği gibi bütün karbonik asitlerin bikarbonata dönüşeceği ve hemen hemen sadece bikarbonat iyonunun ortamda olacağı, pH 8.2'nin üstüne çıkmaya başladığında ise (1.6) denkleminde gösterildiği gibi azalan hidrojen konsantrasyonuna bağlı olarak la Shatalier kuralı gereği dengenin sağa kayacağı ve buna bağlı olarak bikarbonatın karbonata dönüşmeye başlayacağı görülmektedir.

Yeraltı suları yüzeye çıktıklarında bünyesinde çözülmüş gazların kısmi basınçları genellikle atmosferdeki kısmi basınçtan fazla olduğu için denge sağlanıncaya kadar çözdüğü gazlar atmosfere karışmaktadır. Genelde jeotermal sularda çözülmüş yoğunlaşmayan gazların % 95- % 99'u CO<sub>2</sub> gazından oluşmaktadır. Atmosfer ortamında termal sudan gaz çıkışı olmakta ve buna bağlı olarak pH'ı yükselmektedir. Şekil 1.3'den de görüldüğü gibi, pH artışı karbonat miktarının artışına yol açmakta ve (1.7) denkleminde gösterilen reaksiyon, dengenin sağlanması amacıyla sola kaymakta ve kalsit çökelmektedir. Mağara sarkıt ve dikitlerinin oluşumu da benzer şekilde gerçekleşmektedir. Karbondioksit kaçıışı suyun, pH, eH ve karbonat türlerini değiştirdiği için sudaki karbonat türlerinin hemen analiz edilmesi gerekmektedir.

Tez kapsamında toplanan suların karbonat türleri sahada yerinde yapılan titrasyon analizleriyle belirlenmiştir (Şekil 1.2 c,d). Bu analiz için titrant olarak 0,1M HCl ve 0,1M NaOH çözeltileri, pH indikatörü olarak pH metre kullanılmıştır. Bikarbonat miktarını belirlemek için pH 4.3 oluncaya kadar 0,1M HCl ile titre edilerek sarf edilen hacim miktarı ml cinsinden (1.12) deki denklemde yerine koyulur ve sonuç mg/l cinsinden bulunur. Eğer suyun pH'ı 8.2 den büyükse, 8.2 değerine düşene kadar 0,1M HCl ile titre edilir ve (1.13) deki denklemde sarf edilen titrant hacmi ml cinsinden yerine koyulduğunda karbonat miktarı mg/l cinsinden bulunur. pH'ı 8.2'den az olan sularda karbonik asiti tayin etmek için 0.1M NaOH ile pH 8.2 oluncaya kadar titre edilir ve (1.14) nolu denklem kullanılarak H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> miktarı mg/l cinsinden bulunur. Sonuçlar üçüncü bölümde verilmiştir.

$$\text{HCO}_3^-(\text{mg/l}) = \frac{C_{\text{HCl}}(\text{mmol/l}) \times (V_{4.3}(\text{ml}) - 2 \times V_{8.2}(\text{ml}))}{50\text{ml}} \times 61.016_{(\text{mg}/\text{mmol})} \quad (1.12)$$

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{mg/l}) = \frac{C_{\text{HCl}}(\text{mmol/l}) \times V_{8.2}(\text{ml})}{50\text{ml}} \times 60.008_{(\text{mg}/\text{mmol})} \quad (1.13)$$

$$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{mg/l}) = \frac{C_{\text{NaOH}}(\text{mmol/l}) \times V_{8.2}(\text{ml})}{50\text{ml}} \times 62.024_{(\text{mg}/\text{mmol})} \quad (1.14)$$

### 1.4.2.3 Laboratuvar alışmaları

Majör iyon analizleri İyon Kromatografi cihazı (Dionex ICS 1000), bazı element analizleri ICP-OES (PerkinElmer DV 2100), SiO<sub>2</sub> analizleri UV/VIS Spektrofotometre (HACH DR/4000) cihazları ile Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. İz element analizleri Kanada'da ACMELAB'a yaptırılmıştır. Sudaki çözünmüş sülfattan  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  analizleri Waterloo Üniversitesi, Yer ve Çevre Bilimleri Bölümüne (Kanada) yaptırılmıştır. Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  analizleri, Utah Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nde (ABD) gerçekleştirilmiştir. Trityum analizleri ise Hacettepe Üniversitesi'nde yaptırılmıştır. Sudaki çözünmüş sülfatın <sup>34</sup>S ve <sup>18</sup>O izotop değerlerini tayin için örnekleme ve laboratuvar aşamasında; örneklenecek su noktalarının seçimi, bu suların daha önce yapılmış analizlerinden sülfat miktarlarının kaydedilmesi, düşük (10 mg/l) sülfat değerlerine sahip sulardan 2000ml, yüksek (200 mg/l) sülfat değerine sahip sulardan ise 100 ml hacminde numunenin filtrelenerek alınması, seyreltik ultra saf HCl ilavesiyle örnek pH'larının 4-5'e getirilmesi, suya örnek hacmi ve sülfat derişimine göre değişen miktarlarda (100–150 mg) BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O ilave edilerek 3-6 saat beklemeyle BaSO<sub>4</sub> çöktürülmesi, laboratuvar saf su ilaveleriyle çözelti pH'larının 7'ye getirilmesi, etüvde kurutmaya (80°C) katı örnek elde edilmesi işlemleri sırayla gerçekleştirilmiştir.

## **2. GENEL JEOLJİ**

### **2.1 Stratigrafi**

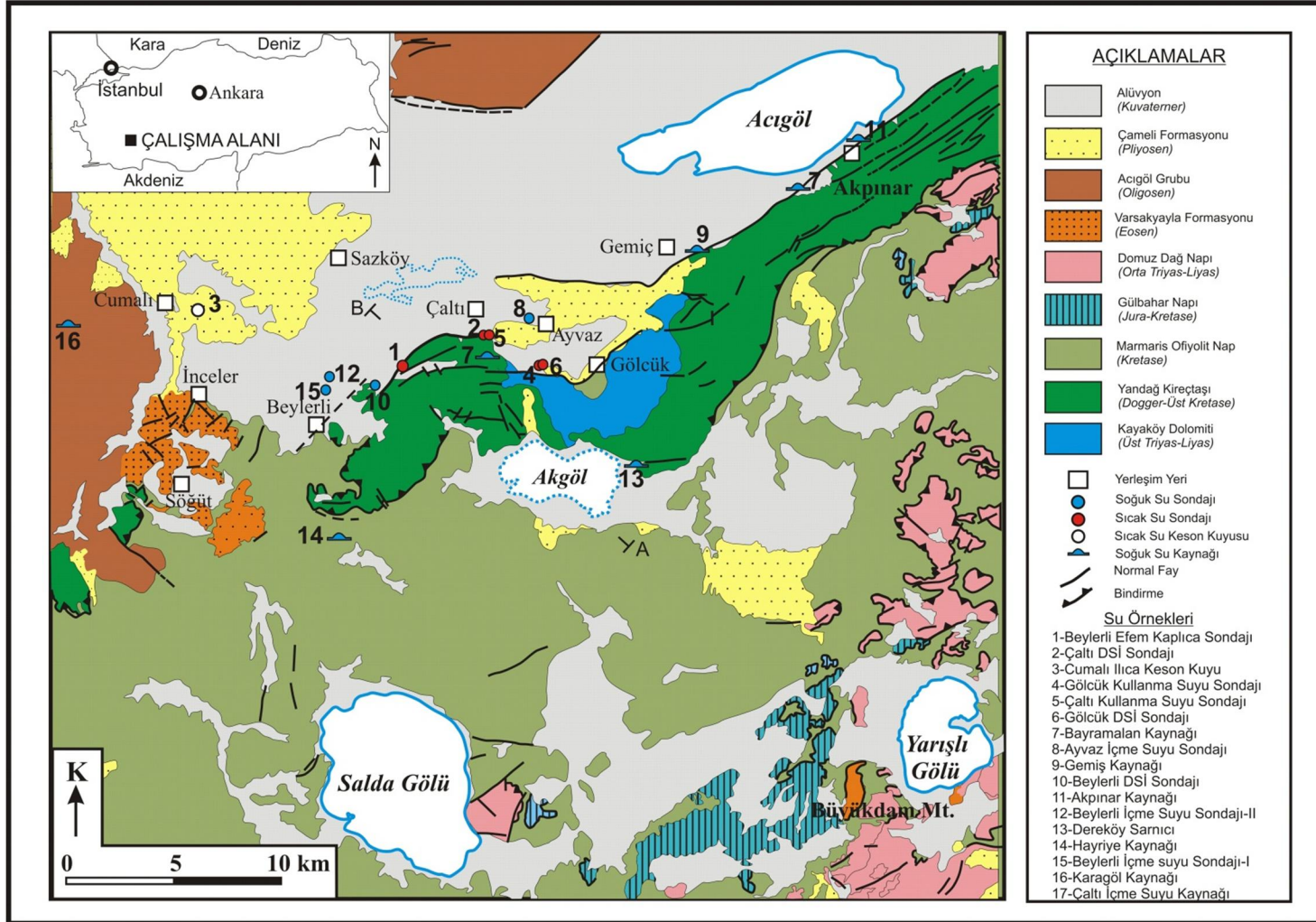
İnceleme alanında alttan üste doğru allokton konumlu kaya birimleri (Likya napları) ile paraallokton ve neotokton konumlu kaya birimleri yüzeyletir (Şekil 2.1 ve 2.2).

#### **2.1.1 Allokton birimler**

Kuzey-kuzeybatı yönden Alt Langiyen'de, güneyde yer alan Beydağları otoktonu üzerine yerleşen Likya napları (Şenel, 1997), çalışma alanında alttan üste Bodrum napı, Marmaris ofiyolit napı, Gülbahar napı ve Domuzdağ napı ile temsil edilir.

##### **2.1.1.1 Bodrum napı**

Bodrum napı çalışma alanında başlıca Kayaköy dolomiti ve Yandağ kireçtaşı birimleri ile temsil edilir. Kayaköy dolomiti masif ve/veya orta-kalın tabakalı, koyu gri, siyahımsı gri, yersel açık gri renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur (Şenel, 1997). Birim çatlaklı ve karstiktir (Şekil 2.3). Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Orta?~Üst Triyas-Liyas kabul edilmiştir (Şenel, 1997). Kayaköy dolomiti üzerinde uyumlu dokanakla yer alan Yandağ kireçtaşı birimi (Şekil 2.4), alttan üste, pembemsi gri renkli, kalın-orta tabakalı kireçtaşları, orta-kalın tabakalı, gri, koyu gri, kirli beyaz renkli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları, ince-orta-kalın tabakalı, gri, bej, krem, koyu gri yersel oolitle, genelde mikritik dokulu, üstte doğru çört yumruları artan kireçtaşları ve kızıl renkli, tabakalı çörtler şeklinde bir istif sunar (Şenel, 1997). Yaklaşık 450 metre kalınlığında olan birimin yaşı Üst Liyas-Koniasiyen yaşlı kabul edilmiş ve alt kesimlerde resif önü-yamaç, üst kesimlerde ise yamaç-havza kenarı ortamında çökeldiği öngörülmüştür (Şenel, 1997). Bodrum napına dahil olup, harita alanında yayılımı fazla olmayan ve kahverengimsi sarı, kirli sarı, bej, siyahımsı gri, bordo, yeşil, yeşilimsi gri vb. renklerde metakonglomera, metakumtaşı, metasilttaşı, kuvarsit, rekristalize kireçtaşı, dolomit, kalkşist, kuvarsşist ve şistlerden oluşan Karaova Formasyonu ile ince-orta-kalın tabakalı, gri, siyahımsı gri, yeşilimsi gri, siyah, açık kahve, kirli sarı vb. renklerde kumtaşı, kiltası ve



Şekil 2.1: Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Şenel ve diğ. (1997)'den değiştirilerek).

SİSTEM	SERİ	FORMASYON ADI	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	KUVATERNER				Yamaç Molozu
	TERSİYER NEOJEN	PLİYÖSEN	Çameli Formasyonu	500-900	Kiltaş, kumtaş, çakıltaş, marn
MESOZOYİK	JURA-KRETASE	Orta JURA - Üst KRETASE	Yandağ Kireçtaşı Formasyonu	450-500	Mikritik Kireçtaşı Çört Çörtlü Kireçtaşları Amonit izli Pembe kireçtaşı
		KRETASE	Kızılcaadağ melanji ve olistostromu		Melanj; serpantin, serpantinleşmiş harzburgit, kçt blokları, bozuk volkanitler
	Marmaris Peridoditi			Dünit, serpantinit, harzburgit	

Şekil 2.2: Acıgöl grabeninin güneyindeki stratigrafik kolon kesit (Burçak (1998)'den değiştirilerek).

Karaböğürtlen Formasyonu (Şenel, 1997), jeolojik haritada Yandağ kireçtaşlarına dahil edilmiştir. Karaova ve Karaböğürtlen formasyonları Phillipson (1915), Kayaköy dolomiti Şenel ve diğ. (1994) ve Yandağ kireçtaşı Bilgin ve diğ. (1990) tarafından adlandırılmıştır.



Şekil 2.3: Kayaköy dolomit biriminden bir görünüm.

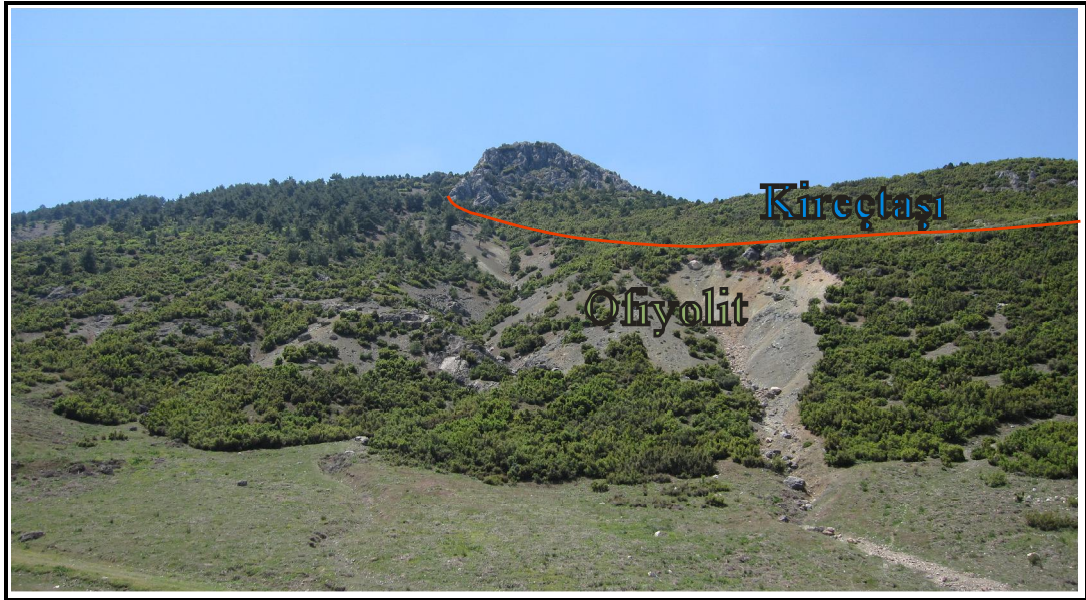


Şekil 2.4: Yandağ kireçtaşı birimi ve Beylerli jeotermal sondajının lokasyonu.

### 2.1.1.2 Marmaris ofiyolit napı

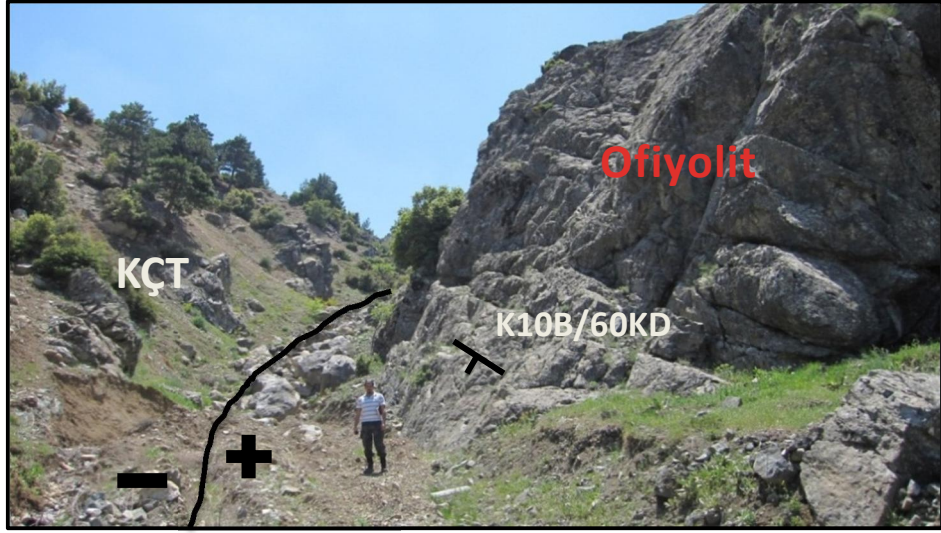
Marmaris ofiyolit napı, çalışma alanında Marmaris peridotiti, İğdir metamorfileri ve Kızılcadağ melanj ve olistostromu ile temsil edilir. Jeolojik haritada bu birimlerin tamamı tek birim olarak gösterilmiştir.

Marmaris peridotiti siyahımsı yeşil, yeşilimsi gri, koyu gri, koyu yeşil renkli, yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşur ve birim içinde dünit, gabro, diyabaz, piroksenit vb. kaya türlerine sıkça rastlanır (Şenel, 1997). Beylerli kasabası güneyindeki Çengel Dere'nin batısında ofiyolitlerle kireçtaşının tektonik dokanağı çok açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 2.5). Bu derenin doğusunda mikritik kireçtaşları ve batısında ofiyolitler yer almaktadır. Derenin içlerinde bu iki birimin normal fayla sınırlı olduğunu kanıtlayan K10B/60KD duruşlu fay düzlemi gözlemlenmiştir (Şekil 2.6). Bu birim içinde Hayriye Köyü civarında gabrolara da rastlanır (Şekil 2.7). Kalınlığı 0-1000 metre arasında değişen Marmaris peridotitinin oluşum yaşı Thuizat ve diğ. (1981) tarafından K-Ar yaş tayinleri sonucunda Apsiyen-Albiyen (Erken Kretase) olarak belirlenmiştir (Şenel, 1997).



Şekil 2.5: Çengel Dere'nin batısında görülen kireçtaşı-ofiyolit arasındaki tektonik dokanak.

İğdir metamorfileri koyu yeşil, açık yeşil, yeşilimsi gri, kırmızımsı, gri vb. renklere amfibolit, amfibol- gnays, amfibol-şist, kuvarsit, metabazalt, metaçört, bantlı mermer, mermer vb. kaya türlerinden oluşur ve kalınlığı İğdir köyünde 500 metreye yaklaşmaktadır (Şenel, 1997).



Şekil 2.6: Çengel Dere yatağında, kireçtaşı ve ofiyolit arasında görülen normal faylı sınır.



Şekil 2.7: Çatlakları dolgulu gabro (Hayriye köyü).

Beylerli kasabası ile Hayriye köyü arasında, Beylerli göleti civarındaki yol yarmalarında kuvarsit mercekli amfibolitler ve mika şistler gözlemlenmiştir (Şekil 2.8).

Kızılcadağ melanj ve olistostromu, serpantin, serpantinleşmiş harzburgit, dunit vb. kayatürlerinden oluşur ve bazik volkanit, neritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, radyolarit, çört, dolomit vb. blokludur (Şenel, 1997).

Marmaris peridotiti Çapan (1980), İğdir metamorfileri Bilgin ve diğ. (1990) ve Kızılcadağ melanj ve olistostromu Poisson (1977) tarafından adlandırılmıştır.



Şekil 2.8: Beylerli göleti civarında gözlemlenen mika şist ar dalanmalı amfibolitler.

### **2.1.1.3 Gülbahar napı**

Gülbahar napı çalışma alanında Orhaniye formasyonu ile temsil edilir. Meşhur ve diğ. (1989) tarafından adlandırılan Orhaniye formasyonu, ince-orta tabakalı, gri, yeşilimsi gri, bej, krem, kirlili sarı renkli, yer yer bazik volkanit ve radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli çörtlü mikritlerden oluşur (Şenel, 1997). Yaklaşık 400 metre kalınlığı olan birimin yaşı Jura-Kretase yaşı kabul edilmiştir (Şenel, 1997).

### **2.1.1.4 Domuzdağ napı**

Domuzdağ napı, inceleme alanında Dutdere kireçtaşı ile temsil edilir. Ersoy (1989, 1990) tarafından adlandırılan Dutdere Kireçtaşı birimi orta-kalın tabakalı, beyaz, kirlili beyaz, krem, bej, açık gri, gri renkli rekristalize kireçtaşlarından oluşur (Şenel, 1997). Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birimin yaşı Orta Triyas-Liyas'dır (Şenel, 1997).

## **2.1.2 Paraallokton birimler**

İnceleme alanında gözlenen paraallokton birimler Eosen yaşı Varsakyayla formasyonu ile Oligosen yaşı Acıgöl grubudur

### **2.1.2.1 Varsakyayla formasyonu**

Likya napları üzerinde açısız uyumsuz olarak bulunan formasyon başlıca kireçtaşından oluşur. Kireçtaşları orta-kalın tabakalı bej, kirlili sarı, açık kahve renklerde ve bol fosillidir (mercan, alg ve nummulit) ve yaklaşık kalınlığı 140

metredir (Şenel, 1997). Üst Lütésiyen?-Priaboniyen yaşlı (Şenel, 1997) olan birimin adlanması Poisson (1977) tarafından yapılmıştır.

### 2.1.2.2 Acıgöl formasyonu

Acıgöl güneyinde, altta masif ve çok kalın tabakalı, koyu renkli genelde ofiyolit bileşenli çakıl ve bloktan oluşan, orta-kötü boylanmalı, yer yer kumtaşı düzeyleri içeren konglomeralarla başlayan istife üst düzeylerde artan seviyede kumtaşı ve çamurtaşları katılır (Şenel, 1997).

### 2.1.3 Otokton birimler

#### 2.1.3.1 Çameli Formasyonu

Altlayan birimleri açısız uyumsuzlukla örten Çameli Formasyonu kilitaşı, marn, kumtaşı, konglomera vb. kaya türlerinden oluşur (Şenel, 1997). Acıgöl kuzeyinde, 4 üyeye (Kızılören üyesi, konglomera üyesi, çamurtaşı-marn üyesi ve kireçtaşı üyesi) ayrılmıştır. İnceleme alanında genellikle çamurtaşı-marn üyesi gözlenir. İnce-orta-kalın tabakalı, kırmızı, beyaz, kirli sarı, bej, krem, yeşil, gri renklerde, çamurtaşı ve marnlardan oluşan üye, yer yer killi kireçtaşı ara düzeyleri ve yersel kumtaşı ve çakıllı seviyeler içerir (Şekil 2.9), (Şenel, 1997). Çalışma alanında Ayvaz ve Cumalı köyleri civarında yaygın düzlükler oluşturmaktadır. Bu birimin kalınlığı havza ortasında yaklaşık 900 m'yi bulmaktadır (Burçak, 1998). Formasyon Erakman ve diğ. (1982) tarafından adlandırılmıştır.



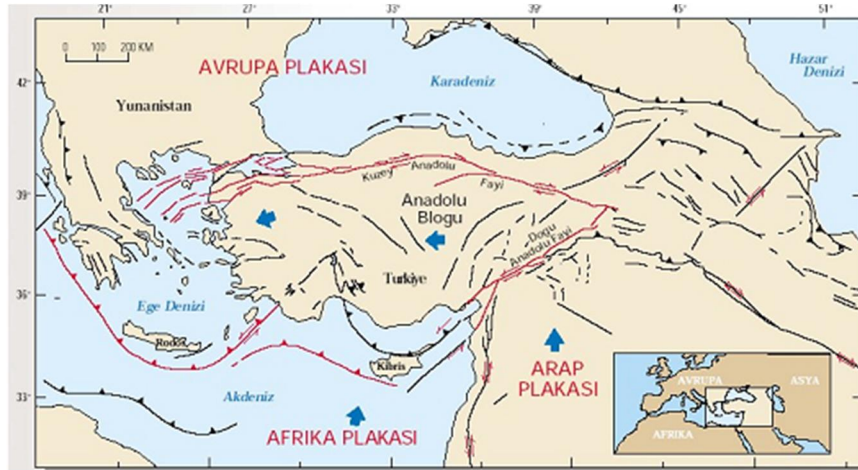
Şekil 2.9: Çameli formasyonunun çamurtaşı-marn üyesinden görünüm (sağdaki resim yakın planı göstermektedir).

### 2.1.3.2 Alüvyon

Kum, çakıl, çamur ve blok boyutundaki malzemedan oluşan alüvyon akarsu yatakları ile Acıgöl ve Çorak Göl çevresinde yaygın olarak izlenir. Sondaj verilerine göre kalınlığı azdır.

## 2.2 Tektonizma

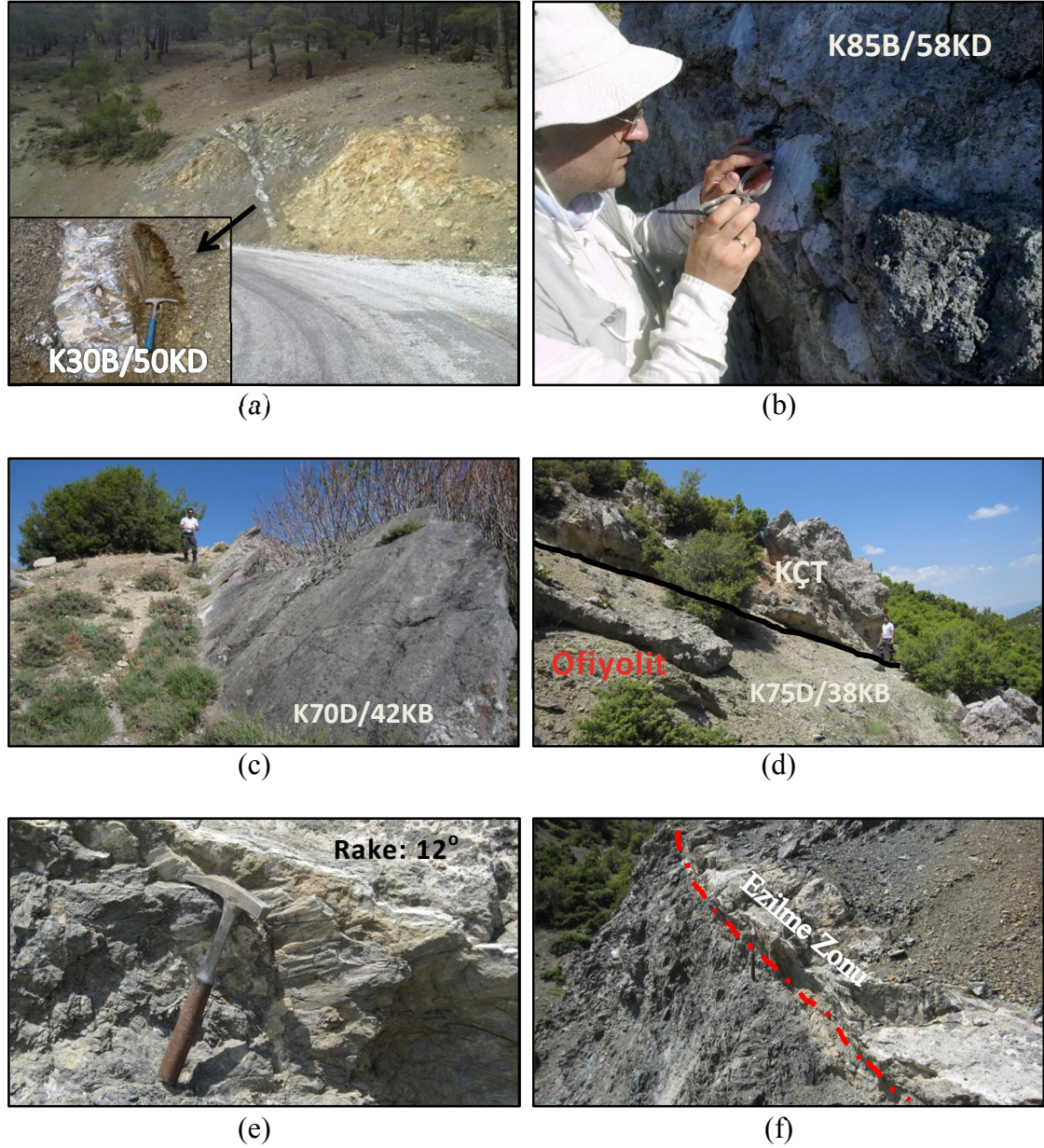
Çalışma alanının yer aldığı batı Anadolu tektonik açıdan dünyanın en aktif bölgelerinden birisidir. Mağmadaki konveksiyon hareketlerinin dinamiklerine bağlı olarak levhaların hareket etmesi sonucunda Serravaliyen’de (12my) Arap Levhası Anadolu Levhasına çarpmaya başlamış ve oluşan doğrultu atımlı sağ yönlü kuzey Anadolu Fayı ile sol yönlü Doğu Anadolu Fayı’nın arasında Anadolu Levhası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Türkiye’deki aktif faylar ve levhalardaki hareket yönlerinin genel görünümü (Barka, 1992).

Anadolu levhasının batıya kaçışına bağlı olarak Ege denizinde Afrika kıtasıyla Anadolu levhası çarpışmış ve Afrika kıtası, Anadolu levhasının altına dalmaya başlamıştır. Bu tektonik hareketler sonucunda batı Anadolu’da zaman içerisinde farklı yönlerde tansiyon gerilmeleri oluşmuş ve K-G, KD-GB, KB-GD, D-B uzanımlı grabenler farklı zamanlarda gelişmişlerdir. Bu grabenlerin oluşum sebepleri ve zamanlarıyla ilgili birçok araştırma yapılmış ve teori ortaya atılmıştır (Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1994, 1996; Yılmaz ve diğ, 2000; Zanchi, 1990; Bozkurt, 2003, 2005). Batı Anadolu’daki açılmalarla ve Ege denizindeki dalma batmayla Benioff zonundaki anateksiler sonucunda Batı Anadolu’da volkanik aktiviteler ve derin magmatik sokulumlar meydana gelerek bölgenin jeotermal potansiyelini

oluşturmuştur. Acıgöl grabeni de bu süreçte, Geç Miyosende başlayan KB-GD yönlü çekme gerilmeleri sonucunda, yaklaşık KD-GB doğrultusunda gelişmiştir. Grabeni güneyden sınırlandıran bazı normal faylar Çaltı ve Gölcük köyleri civarında sahada gözlemlenmiş ve duruşları ölçülmüştür. Bu faylarla beraber sahada gözlemlenen diğer bazı tektonik yapılar ve duruşları Şekil 2.11 ve 2.12’de verilmiştir.

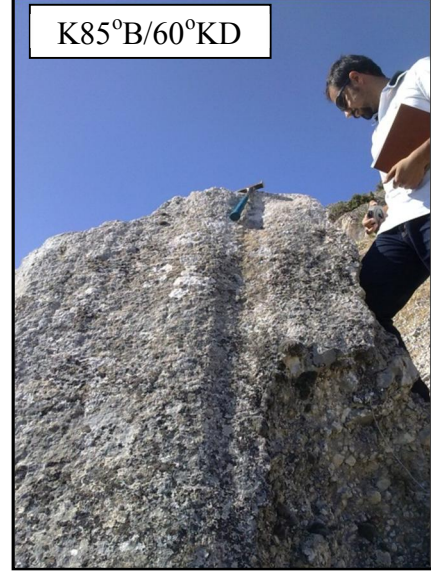


Şekil 2.11: Arazide gözlemlenen bazı jeolojik yapılar. (a) Hayriye köyü ile Beylerli kasabası arasındaki yol yarmasında gözlemlenen, ofiyolitler içerisindeki diyabaz dayk. (b) ve (c) Gölcük köyü girişinde grabenin güney sınırından itibaren yüzlek veren kireçtaşlarında gözlemlenen normal faylar. (d) Beylerli kasabası güneyindeki çengel dere içlerinde kireçtaşı ve ofiyolitler arasında görülen bindirme dokanağı. (e) ve (f) Hayriye köyü yolunda görülen sol yönlü doğrultu bileşenli oblik fay ve ezilme zonu.

İnceleme alanında, Yandağ kireçtaşları ofiyolitlerin üzerinde tektonik dokanakla durmaktadır ve ofiyolitlerle birlikte bölgeye likya naplarıyla taşınmıştır. Likya napları, bir nap paketi şeklinde olup, içerisinde Toros metamorfik temeline ait dilimler ve üzerleyen Mesozoyik platform karbonatları ile birlikte, napın en üst kısmını oluşturan ofiyolitlerden oluşmaktadır. Bu nap paketi, Erken Miyosen'de güneye doğru hareket etmiş ve Geç Miyosen'den önce Antalya havzasının Alt Miyosen havza dolgusu olarak yerleşmiştir (Toker, 2008).



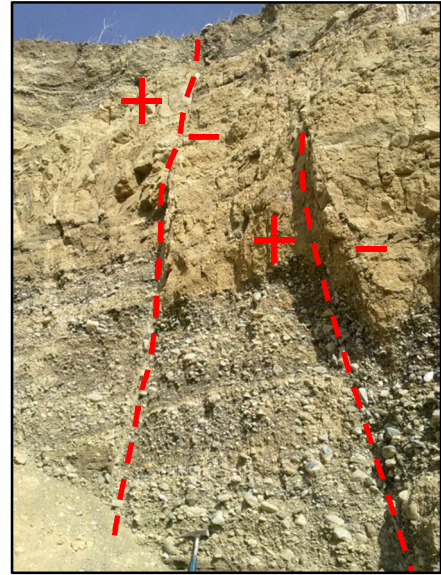
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.12: Gözlemlenen bazı yapısal unsurlar. (a) ve (b) Çaltı köyünden Akgöl'e giden yolun sol tarafında, Yandağ kireçtaşında görülen normal fay. (c) Akpınar kaynağının olduğu bölgedeki Yandağ kireçtaşlarının tabaka duruşları. (d) Cumalı civarında, çameli formasyonunda gözlemlenen  $K20^{\circ}B/80^{\circ}KD$  duruşlu normal faylar.

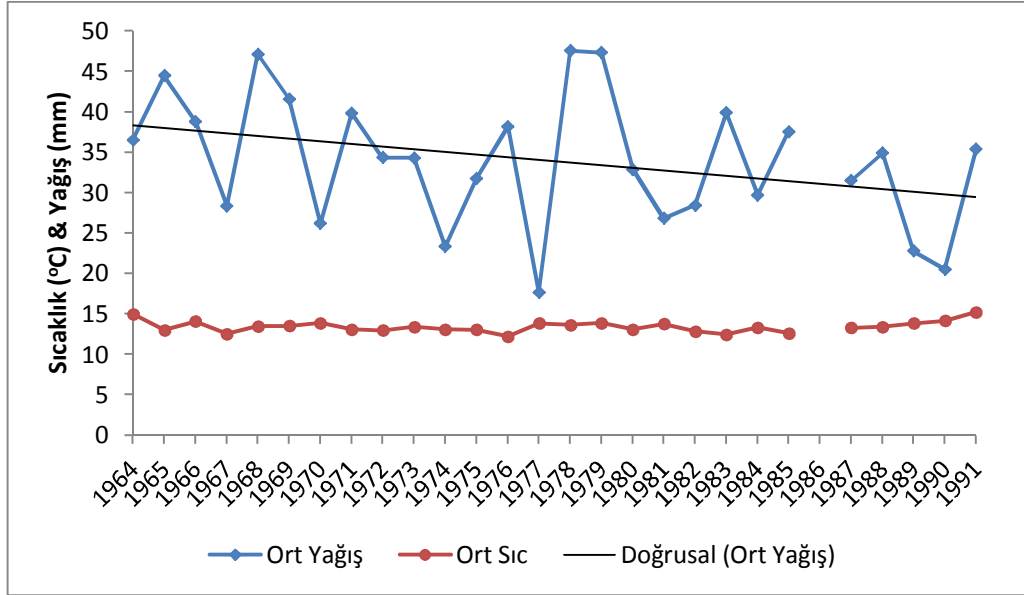
### 3. HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde çalışma alanının su bütçesi, tez kapsamında toplanan suların kimyasal özellikleri, hidrojeokimyasal hesaplamaları ve sınıflandırılmaları verilmiştir.

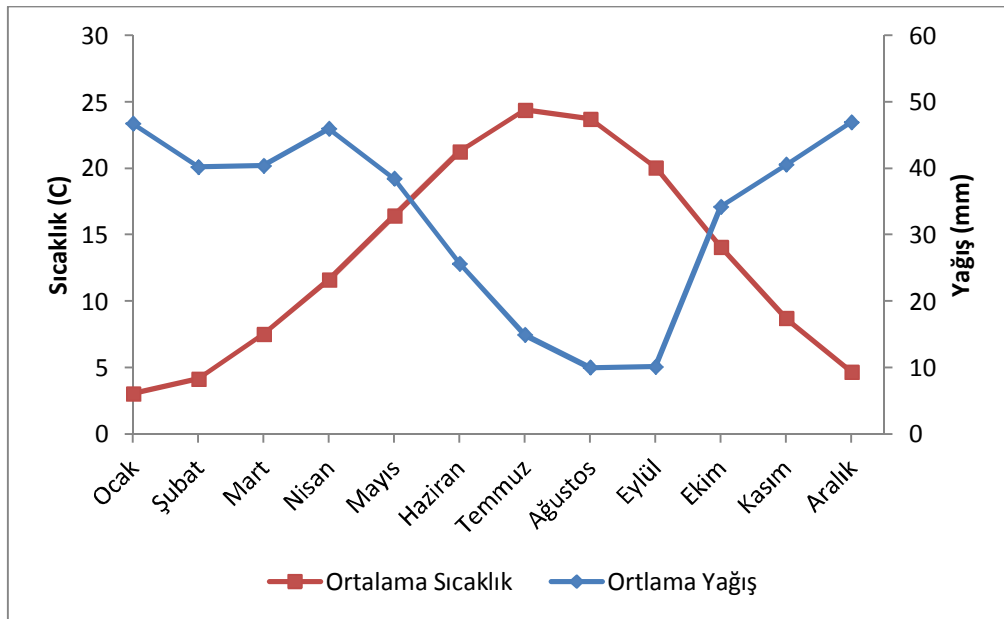
#### 3.1 Hidroloji

Bu bölümde, Çardak meteoroloji istasyonundan alınan 1964-1991 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanarak su bütçesi yapılmış, buharlaşma-terleme hesaplamalarında Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır. Bölgenin 1964 ile 1991 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklık dağılımlarına bakıldığında sıcaklığın ortalama 15 °C olduğu görülmektedir (Şekil 3.1). Yıllık ortalama yağışlar ise tam bir periyod göstermese de genel eğilimi azalma yönünde görülmekte ve ortalama 34 mm yıllık yağışa denk gelmektedir (Şekil 3.1). Çardak meteoroloji istasyonunun ölçüm periyodundaki aylık bazda ortalama sıcaklık ve ortalama yağış değerlerine bakıldığında, Temmuz ayının ortalama 24.4 °C ile en sıcak ay olduğu, en soğuk ayın ortalama 3 °C ile ocak ayı olduğu, en çok ortalama yağış alan ayların Ocak, Nisan ve Aralık olduğu, en düşük ortalama yağış alan ayların ise Ağustos ve Eylül olduğu görülmektedir (Şekil 3.2). Çardak bölgesine ait su bütçesi Tablo 3.1’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda yıllık potansiyel buharlaşma ve terleme (Etp) 753.71 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme 348.41 mm olarak bulunmuştur. Tablo 3.1’den görüleceği gibi Nisan ayına kadar yağış Etp’den fazladır ve Etp, Etr’ye eşittir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçer bir kısmı yer altına süzülür. Nisan ayından Haziran ayının yaklaşık ortalarına kadar, teorik olarak 100 mm kabul edilen zemin rezervi kullanılır. Haziran ayı ortasından Ekim ayının ortasına kadar tarım su açığı vardır. Etp’nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde su noksanı 405.3 mm’dir. Yaklaşık Kasım ayı ortalarından sonra yağış, Etp’den daha fazladır ancak; Aralık ayında zemin rezervinin sadece %54.91’i tamamlanmaktadır. Bu tablo bir döngü olarak düşünüldüğünde, ilk döngüde zemin rezervinin Ocak ayında 100 mm olduğu varsayılırsa yıllık yağış fazlası 93.13 mm olmaktadır. Bu döngünün sonu olan Aralık ayında zemin rezervi 100 mm olmadan 54.91 mm’de kalmaktadır. Bundan sonraki

döngünün ilk ayı olan Ocak ayında yağışın buharlaşmaya giden miktarından geriye kalanın zemin rezervini beslemesi gerekmektedir. Dolayısıyla Ocak ayındaki yağışla zemin rezervine 41.49 mm su girmekte ve bu ay su fazlası oluşmamaktadır. Şubat ayında da su fazlasından, 96.81 mm olan zemin rezervine 3.19 mm su girmekte ve bu ay 28.97 mm su fazlası oluşmaktadır. Bu nedenden dolayı ikinci döngü ve daha sonraki döngülerde yıllık su fazlası 46.45 mm olmaktadır. Birinci döngüye ait yağış ve Etp grafiği Şekil 3.3'te verilmiştir.



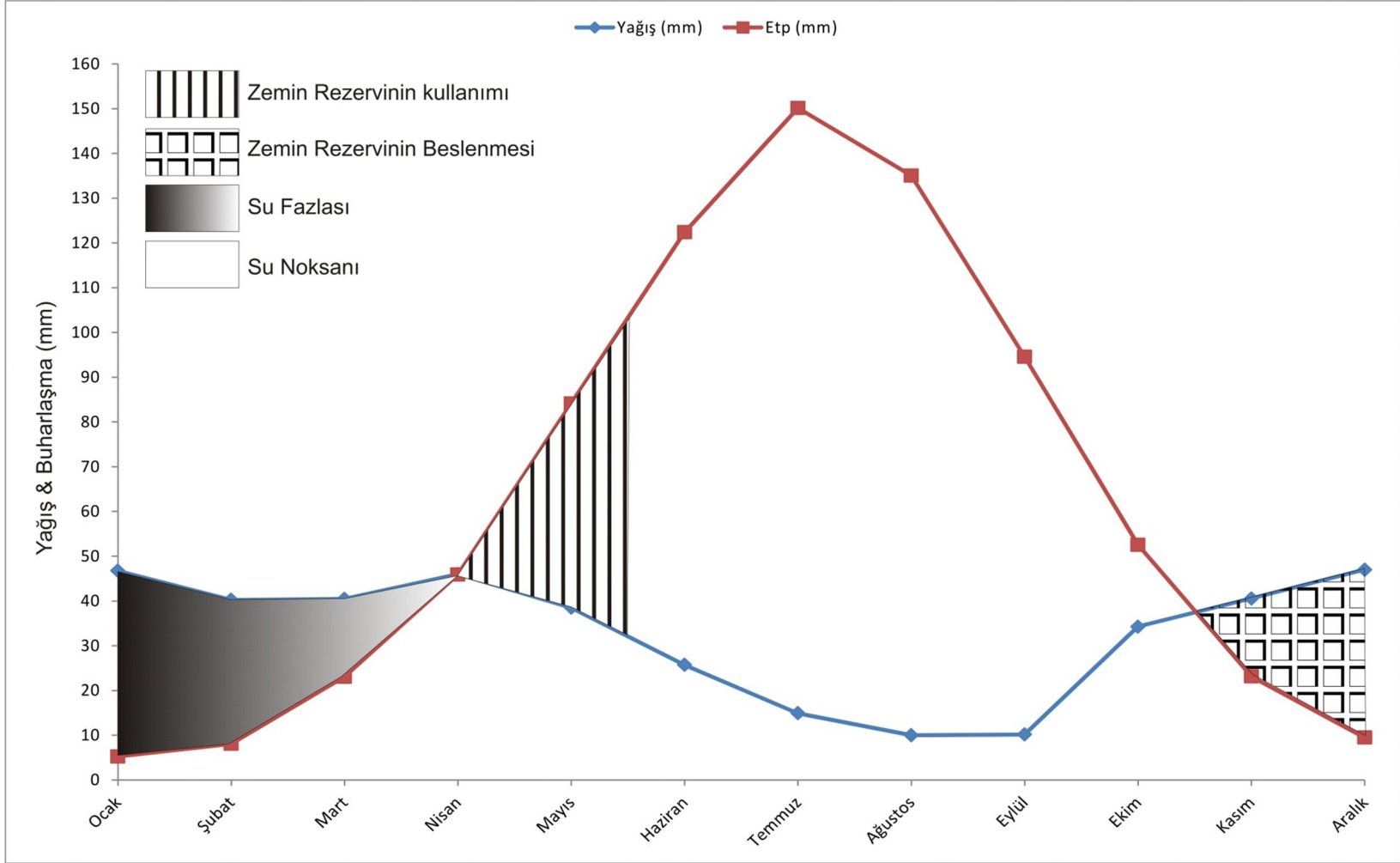
Şekil 3.1: Çalışma alanının 1964 ve 1991 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) dağılımları.



Şekil 3.2: Denizli Çardak bölgesinin 1964-1991 yılları arasındaki aylık bazda ortalama yağış (mm) ve sıcaklık (°C) değişimleri.

Tablo 3.1: Thornthwait yöntemine göre gerçek buharlaşma-terleme hesabı.

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
<b>Ortalama Sıcaklık</b>	3.05	4.17	7.53	11.64	16.45	21.27	24.40	23.73	20.08	14.08	8.71	4.70	13.3
<b>Aylık Endeks</b>	0.47	0.76	1.86	3.59	6.07	8.95	11.02	10.57	8.21	4.79	2.32	0.91	59.53
<b>Enlem Katsayısı</b>	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83	
<b>ETp (mm)</b>	5.24	8.08	23.07	45.89	84.12	122.41	150.13	135.04	94.56	52.54	23.14	9.49	753.71
<b>Yağış (mm)</b>	46.73	40.24	40.44	46.00	38.48	25.70	14.91	9.99	10.16	34.26	40.55	46.98	394.44
<b>Zem. Rez. Değiş. (mm)</b>	41.49	3.19	0.00	0.00	-45.64	-54.36	0.00	0.00	0.00	0.00	17.41	37.50	
<b>Zemin Rezervi (mm)</b>	96.81	100.00	100.00	100.00	54.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.41	54.91	
<b>Etr (mm)</b>	5.24	8.08	23.07	45.89	84.12	80.06	14.91	9.99	10.16	34.26	23.14	9.49	348.41
<b>Su Fazlası (mm)</b>	0	28.97	17.37	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.45
<b>Tarım Su açığı (mm)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.35	135.22	125.05	84.40	18.28	0.00	0.00	405.30



Şekil 3.3: Tablo 3.1'e göre ilk döngü için yağış ve potansiyel buharlaşma-terlemenin aylık değişim grafiği.

## 3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanındaki birimler geçirimli, kısmen geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır.

### 3.2.1 Geçirimli birimler

İnceleme alanında Bodrum napına ait Kayaköy dolomiti ve Yandağ kireçtaşları maruz kaldıkları tektonizma nedeniyle yüksek derecede ikincil gözeneklik ve geçirgenliğe sahiptirler. Ayrıca, bu birimler karstik özelliğe de sahiptir. Bu nedenle hem soğuk yeraltı suları için önemli bir akifer, hem de sıcak sular için bir rezervuar özelliğindedirler. Yörede açılan ve Yandağ kireçtaşlarından su alan, derinlikleri 80-118 m arasında değişen DSİ sondajlarına ait bazı veriler Tablo 3.2’de verilmiştir. Bu sondajlardan Gölcük 33281-B dışındakiler aynı zamanda örnekleme noktasıdır. Tablodan anlaşıldığı gibi kuyulardaki statik seviyeler yüzeye oldukça yakın ve dinamik ve statik seviyeler arasındaki fark da çok azdır. Kuyuların pompa debileri de oldukça yüksektir (80-101 l/s). Buna göre Yandağ kireçtaşlarının hidrolik iletkenlik katsayısı yüksek ve verimli bir akifer olduğu söylenebilir.

Tablo 3.2: İnceleme alanındaki bazı DSİ kuyularına ait bilgiler (DSİ verilerinden derlenmiştir).

Kuyu Adı	Çaltı-47215 (Çaltı DSİ Sondajı-(2))	Gölcük 33281-A (Gölcük DSİ Sondajı-(6))	Gölcük 33281- B	Beylerli 33282 (Beylerli DSİ Sondajı-(10))
Açılma yılı	18.01.1994	25.04.1987	31.08.1986	17.07.1986
Kuyu Derinliği	80 m	118 m	95 m	91 m
Statik seviye	9,98 m	5,5 m	5,5 m	8,56 m
Dinamik Seviye	10,06 m	8,3 m	8,37 m	8,95 m
Pompa Debisi	101 l/s	89,38 l/s	88,13 l/s	80,64 l/s
Suyun Alındığı Birim	Kireçtaşı	Mikrokristalli sert kireçtaşı	Mikrokristalli sert kireçtaşı	Karstik Kireçtaşı

Aynı şekilde Gülbahar napına Orhaniye formasyonuna ait çörtlü mikritlerden ve Domuzdağ napına ait Dutedere kireçtaşları ikincil geçirgenliklerinin yüksek olması nedeniyle akifer niteliğindedir. Varsakyayla formasyonunun kireçtaşları çatlaklıdır ve bu çatlaklardan düşük debili kaynak suları boşalır.

Alüvyon, kalın ve iri taneli malzemenin yoğun olduğu kesimlerde iyi bir akifer özelliğinde olmakla birlikte özellikle inceleme alanının güney kesiminde içerdiği yeraltısuyu kalitesi içme suyu açısından kötüdür.

### 3.2.2 Yersel öneme sahip akiferler

Marmaris ofiyolit napının ayrışmamış, serpantinleşmemiş kesimlerinde çatlaklı peridotitler yerel olarak köylerin içme suyunu karşılayabilecek verimde yeraltısuyu taşır. Hayriye köyü içme suyu kaynağı buna bir örnektir. Acıgöl formasyonunun yer yer kumtaşı düzeyleri içeren çakıltaşları iyi bir akifer özelliğinde olup 90-100 m derinliğindeki sahip sondajlardan yeraltısuyu alınmaktadır. Çameli formasyonunun kumtaşı ve çakıltaşı düzeyleri genellikle kötü kaliteli yeraltısuyu içerir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Çameli formasyonunun geçirimli çakıltaşlarından bir görünüm (Cumalı köyü kuzeybatısı)

### 3.2.3 Geçirimsiz birimler

Marmaris ofiyolitinin serpantinleşmiş kesimleri, amfibolitler ile Acıgöl ve Çameli formasyonlarının kıltaşı-çamurtaşı düzeyleri geçirimsiz birimleri oluşturur.

## 3.3 Hidrotermal Sistem Oluşumu

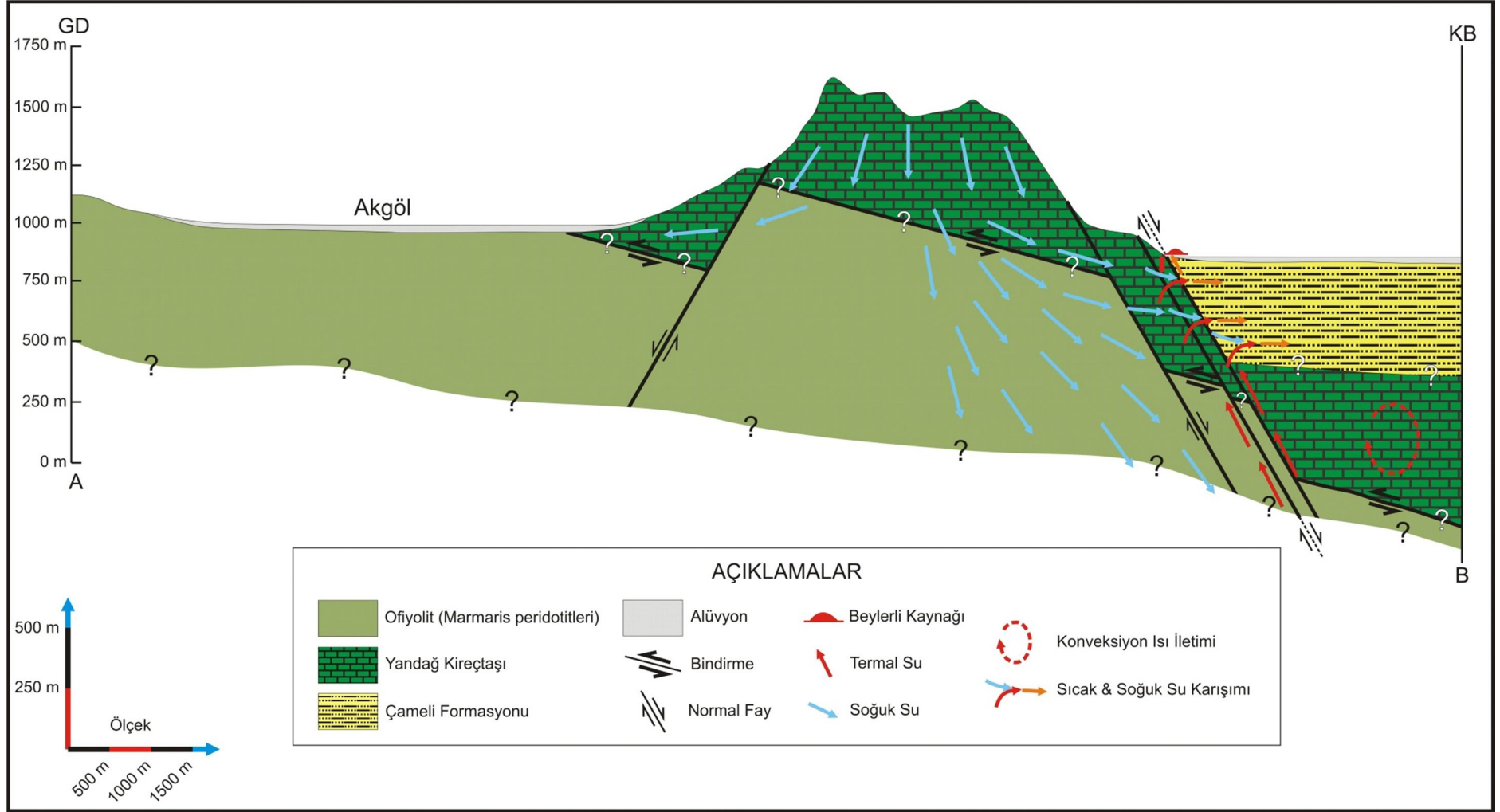
Beylerli jeotermal sahası devirli bir hidrotermal sistemin ürünü olarak oluşmuştur. Sistemin hazne kayasını Yandağ kireçtaşları ve olasılıkla alttaki peridotitler

oluşturur. Yandağ kireçtaşları geçirdikleri yoğun tektonizma sonucu çok kırıklı, çatlaklı ve karstik bir yapı kazanmışlardır. Bu nedenle ikincil gözeneklik ve geçirgenlikleri yüksektir. Peridotitlerin serpantinleşmeye uğramamış kesimleri de çatlaklı yapıları nedeniyle geçirimli özelliktedir. Çameli formasyonunun çamurtaşımarn üyesi geçirimsizdir ve örtü kaya özelliğindedir (Şekil 3.5). Her ne kadar bu birimin kalınlığı havza ortasında yaklaşık 900 m'yi bulmakta ise de (Burçak, 1998) havza kenarında incedir ve Beylerli Efem sondajının bulunduğu alan, örtü kayadan yoksundur. Bölgede genç volkanik aktivite yoktur. Ancak Acıgöl'ü sınırlayan ve çöküntü alanını (graben) oluşturan KD-GB doğrultulu faylar aktiftir. Genç tektonik aktivite nedeniyle yörede olası kabuk incilmesi sonucu, zayıflık zonları aracılığıyla yüzeye yaklaşan mağmatik etkinlikler jeotermal gradyanın olağandan daha yüksek olmasını sağlamakta ve sistemin ısı kaynağını oluşturmaktadır.



Şekil 3.5: Beylerli sahasının hazne ve örtü kayalarının görünümü (Gemiş GB'sı)

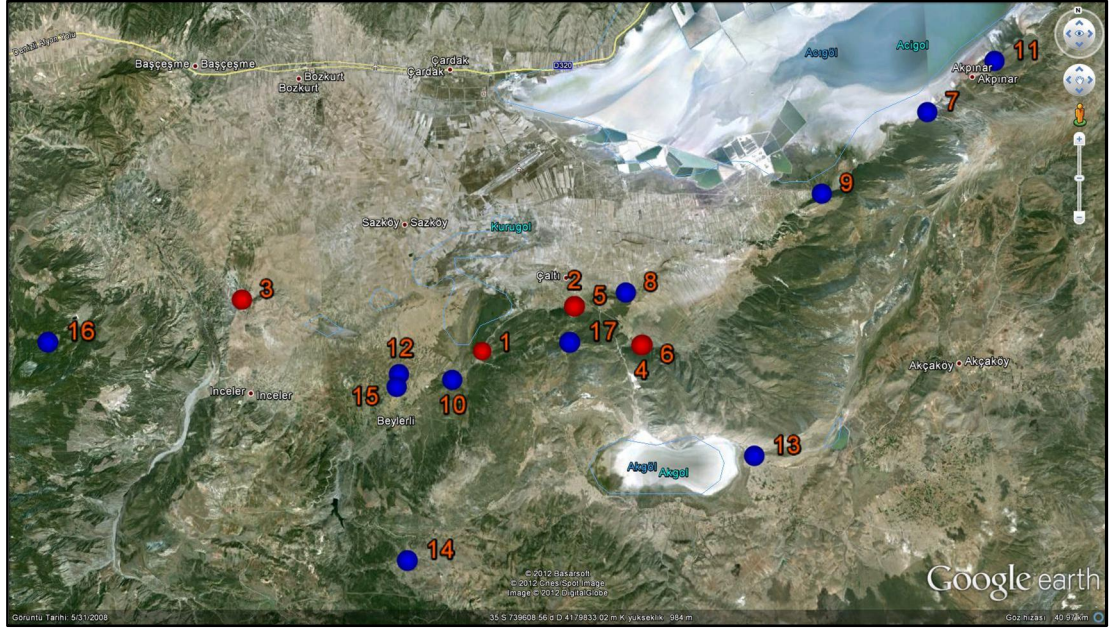
Beylerli sahası jeotermal suları, beslenme alanına (Yandağ kireçtaşı ve Kayaköy dolomiti) düşen yağmur sularının derinlere süzülerek burada olağandan daha yüksek jeotermal gradyan ile ısınması, yeraltında kaldığı süre ile hazne kaya litolojisi, ortamın sıcaklık ve basıncına bağlı olarak mineral madde ve gazlarca zenginleşmesi ve basınç altındaki jeotermal akışkanın normal faylarla yüzeye yükselmesi ile oluşur. Jeotermal akışkan yüzeye yükselirken değişen oranlarda soğuk yeraltısuları ile karışmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Beylerli jeotermal sahasının kavramsal modeli. Kesit, Şekil 2.1'deki jeoloji haritasında gösterilen A ve B noktalarından alınmıştır.

### 3.4 Su Örnekleme Noktaları Tanıtımı ve Analiz Sonuçları

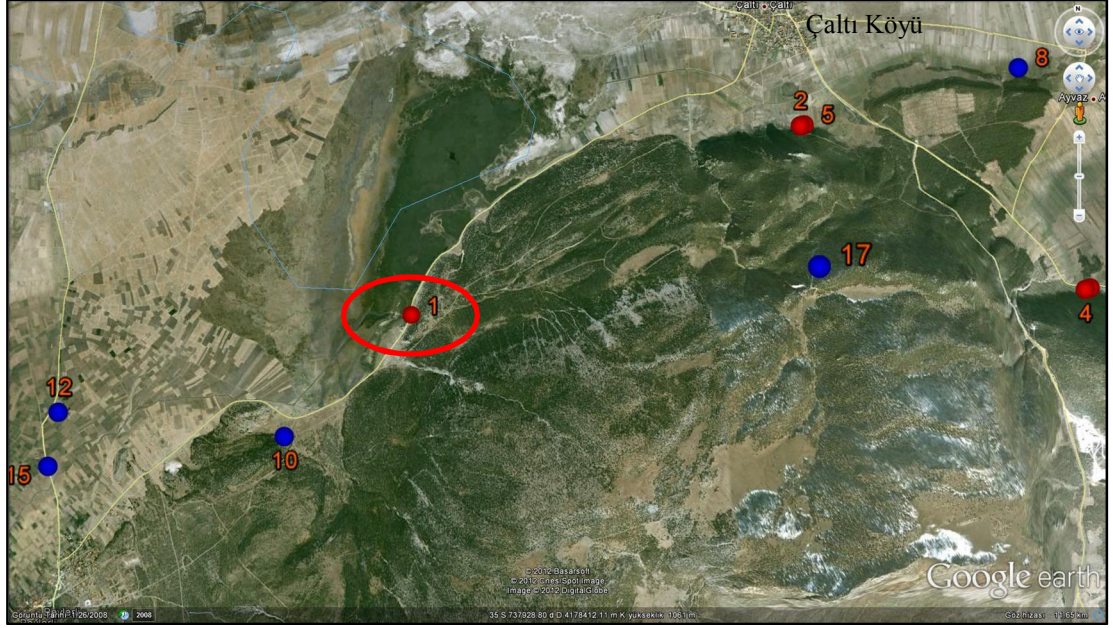
İnceleme alanının hidrojeokimyasal özelliklerinin anlaşılması için Acıgöl grabeninin güney sınırı boyunca, sahanın hidrokimyasal yapısını temsil edebileceği öngörülen 17 adet su noktası seçilmiştir (Şekil 2.1 ve 3.7). Bu çalışma kapsamında örneklenen suların türleri ve coğrafi koordinatlarıyla ilgili bilgiler Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.7: Örneklenen suların lokasyonları (görüntü Google Earth’den alınmıştır).

Bölgedeki jeotermal akışkan varlığıyla ilgili emareler, Beylerli kasabasının doğusunda yer alan Beylerli Efem jeotermal kuyusu ve kaynağı, Cumalı Köyü’ndeki Cumalı ılıcası ve sıcaklığı 20°C’nin üzerinde olan içme ve sulama amaçlı açılan sondaj kuyularıdır. Beylerli Efem jeotermal kuyusunun derinliği 53 metredir ve bu kuyudan 24 metre derinlikte bulunan dalgıç pompayla 38.5°C lik termal su sağlanmaktadır (Şekil 3.8 ve 3.9-a). Jeotermal su, banyo kullanımı için kaplıcaya iletilmektedir. Kaplıcanın hemen yanında yeraltı su seviyesine bağlı olarak mevsimsel kaynak oluşmaktadır (Şekil 3.9-b). Karstik Yandağ kireçtaşından (Şekil 3.9-c) boşalan bu kaynağın sıcaklığı 37.5 °C olarak ölçülmüştür. Kaynak bölgesinde sular çekildiğinde betonla yapılmış ilkel küvetler gözlemlenmektedir (Şekil 3.9-d). Beylerli sıcak su kaynağı, yıl genelinde kuru olan Akgöl’ün sulu olduğu bahar aylarında ortaya çıkmakta, gölün kurumasıyla da ortadan kaybolmaktadır (Şekil 3.9-e ve 3.9.f). Kaplıcanın arkasındaki yükselti kireçtaşlarından oluşmaktadır ve neotektonik dönemde gelişmiş olan normal faylarla yükselmiştir. Sahada

gözlemlenen jeomorfoloji ve kataklastik yapılar normal fayın varlığını ispat etmektedir. Tablo 3.4’de Beylerli Efem kaplıcasından alınan suların analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.8: Beylerli Efem kaplıcasının yeri (görüntü Google earth’den alınmıştır).

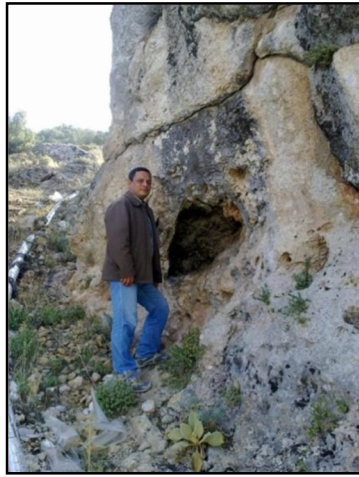
Tablo 3.3: Çalışma alanında örneklenen sulara ait coğrafi koordinatlar.

No	Suyun Adı	Türü	Koordinatlar (UTM, Datum: ED 50)		
			Doğu	Kuzey	Kot
1	Beylerli Efem Kaplıcası	Sondaj	736588	4178600	853
2	Çaltı DSİ Sulama Suyu	Sondaj	740344	4180292	865
3	Cumalı Ilıca	Keson kuyu	726971	4180925	887
4	Gölcük Kullanma Suyu	Sondaj	743015	4178668	861
5	Çaltı Kullanma Suyu	Sondaj	740380	4180300	860
6	Gölcük DSİ Sulama Suyu	Sondaj	743068	4178681	852
7	Bayramalan kaynağı	Kaynak	754847	4187717	840
8	Ayvaz İçme suyu sondajı	Sondaj	742451	4180794	854
9	Gemiş kaynağı	Kaynak	750485	4184555	848
10	Beylerli DSİ Sondajı	Sondaj	735347	4177480	849
11	Akpınar kaynağı	Kaynak	757615	4189698	839
12	Beylerli İçme Suyu-II	Sondaj	733202	4177768	863
13	Dereköy	Sarnıç	747374	4174168	991
14	Hayriye köyü içme suyu	Kaynak	733513	4170555	1221
15	Beylerli İçme Suyu-I	Sondaj	733099	4177261	866
16	Karagöl kaynağı	Kaynak	719708	4179450	1261
17	Çaltı İçme Suyu	Kaynak	741063	4179516	1052



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 3.9: Beylerli jeotermal sahası. (a); Beylerli Efem termal sondajından kaplıcanın görünümü. Yükseltler Yandağ kireçtaşlarından, düzlükler ise alüvyon ve Neojen çökellerinden oluşmaktadır. (b); Mevsimsel yağışlara bağlı olarak oluşan Beylerli Efem kaplıcası yanında oluşan Beylerli jeotermal kaynağı. (c); Beylerli kaynağının arkasındaki tepede, kireçtaşı birimlerinde görülen karstik çözünme yapıları. (d); Beylerli kaynağı kurduğunda ortaya çıkan betondan yapılmış küvetler, eskiden de buranın termal amaçla kullanıldığını göstermektedir. (e) Mayıs ayında Beylerli kaynağıyla beraber Akgöl'ünde sulak olması benzer yeraltı suyu dinamiklerinden etkilendiklerini göstermektedir. (f) Ağustos ayında Beylerli jeotermal kaynağıyla beraber kuruyan Akgöl.

Tablo 3.4: Beylerli Efem kaplıcası jeotermal suyunun analiz sonuçları.

<b>BEYLERLİ EFEM KAPLICASI</b>				<b>Fiziksel Parametreler</b>			
<b>Örnek No: 1</b>				T pH	pH	Eh	EC
Koordinatlar				(°C)		(mv)	(µS/cm)
UTM European 1950	Doğu	Kuzey	Kot	38.5	6.904	-7.8	1886
	736588	4178600	853				


<b>Majör Çözünenler</b>	
Çözünen	mg/l
Na <sup>+</sup>	94.39
K <sup>+</sup>	6.36
Ca <sup>++</sup>	285.90
Mg <sup>++</sup>	86.94
Sr <sup>++</sup>	5.61
F <sup>-</sup>	2.91
Cl <sup>-</sup>	82.86
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	897.70
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	384.30
SiO <sub>2</sub>	39.36

<b>İZELENTLER (ppb)</b>													
Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co	Cr	Cs
<0.05	6	2.2	<0.05	464	41.42	0.12	<0.05	198	<0.05	0.04	<0.02	<0.5	3.38
Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Li
4.8	<0.01	<0.01	<0.01	68	<0.05	<0.01	0.52	<0.02	<0.1	<0.01	<0.01	0.04	63.6
Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh
0.02	11.88	0.6	<0.01	<0.01	<0.2	30	0.6	<0.2	<0.01	<0.01	11.26	<0.01	0.14
Ru	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U
0.36	<0.05	4	1.2	<0.02	0.34	<0.02	<0.01	<0.05	1	<10	<0.01	<0.01	0.36
V	W	Y	Yb	Zn	Zr								
0.6	0.22	0.04	0.02	14.60	0.12								

<b>% mek/l</b>	
Mg	14%
Ca	28%
Na	8%
K	0%
Sr	0%
Cl	4%
SO <sub>4</sub>	34%
F	0%
HCO <sub>3</sub>	0%

Cumalı köyünün Ilica Mahallesi'nde bulunan çeşmeden bir zamanlar ılık su aktığı ancak daha sonra kurduğu köylüler tarafından belirtilmiştir. Ilica Mahallesi'nin biraz güneyinde yeraltısuyu eldesi amacıyla açılan keson kuyudan 27.8°C sıcaklıkta su elde edilmiştir (Şekil 3.10). Bu kuyudaki su derinliği 10.5 metredir. Bu suyun Çameli formasyonunun geçirimli çakıllı seviyelerinde, Beylerli-İnceler ve Karagöl bölgesinden beslenen sular ile faylara bağlı olarak yükselen sıcak suyun karışımı olduğu düşünülmektedir. Cumalı ılıca suyunun analiz sonuçları Tablo 3.5'te verilmiştir.

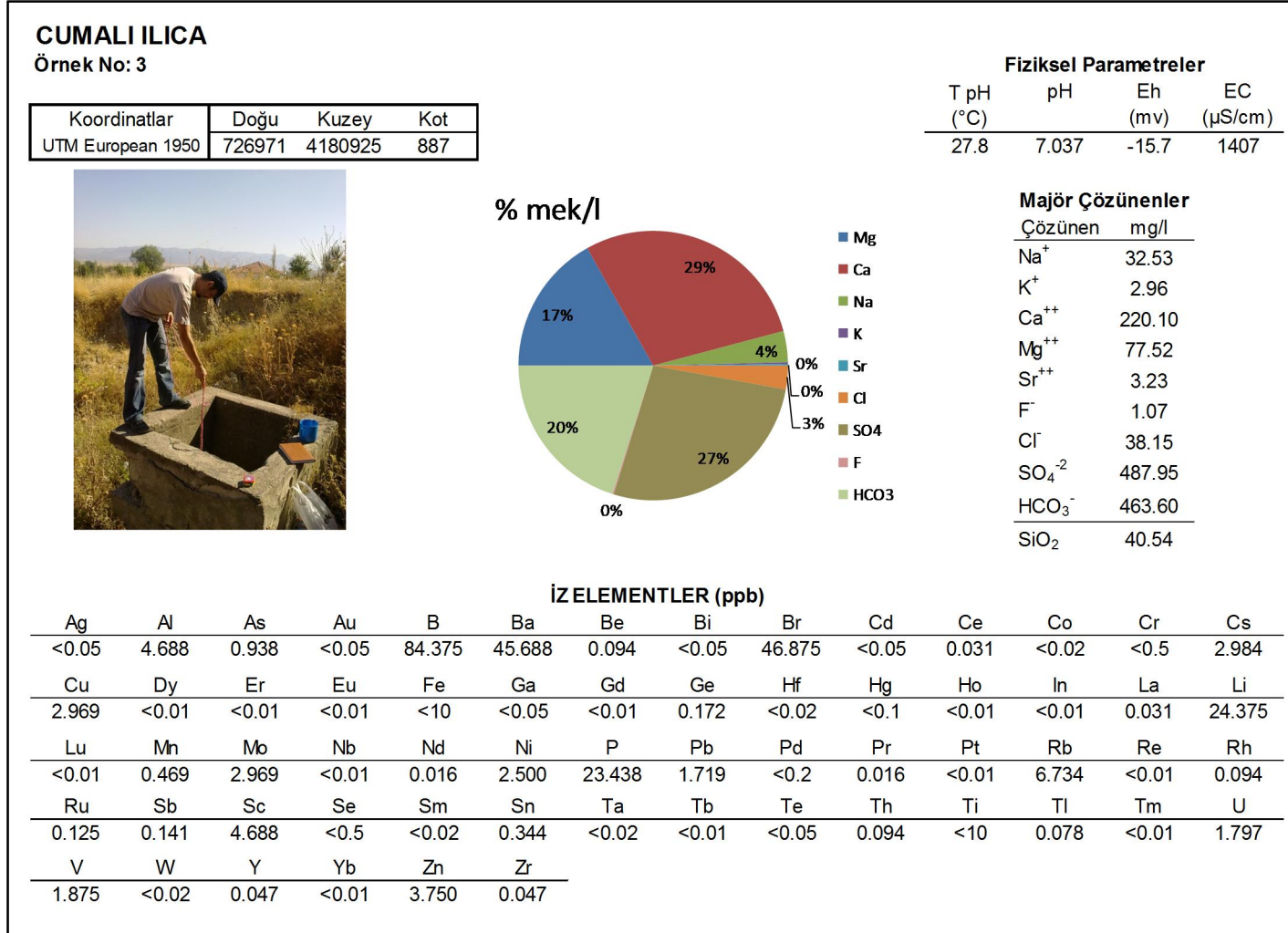


Şekil 3.10: Cumalı ılıca keson kuyusunun yeri (görüntü Google Earth'den alınmıştır).

Çambaşı Köyü'nün güneybatısındaki tepelerden Cumalı köyüne beslenme ihtimali sebebiyle bu bölgede bulunan Karagöl kaynağından örnek alınmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Kaynağın güneybatısındaki tepeler ve bulunduğu alan yer yer dolomitik kireçtaşıdan oluşmaktadır. Daha alt kotlarda kumtaşı hakimdir ve Karagöl kaynağının kuzeydoğusunda, kumtaşı içerisinde kükürt gazı çıkışları görülmektedir.

Beylerli Efem kaplıcası ve Cumalı ılıca arasındaki havzada yeraltı suyunun kimyasını anlamak için Beylerli kasabasına içme suyu sağlayan iki kuyudan ve DSİ'nin Beylerli kasabasının hemen doğusunda kolüvyon yelpazesinde açtığı sulama suyundan örnekler alınmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

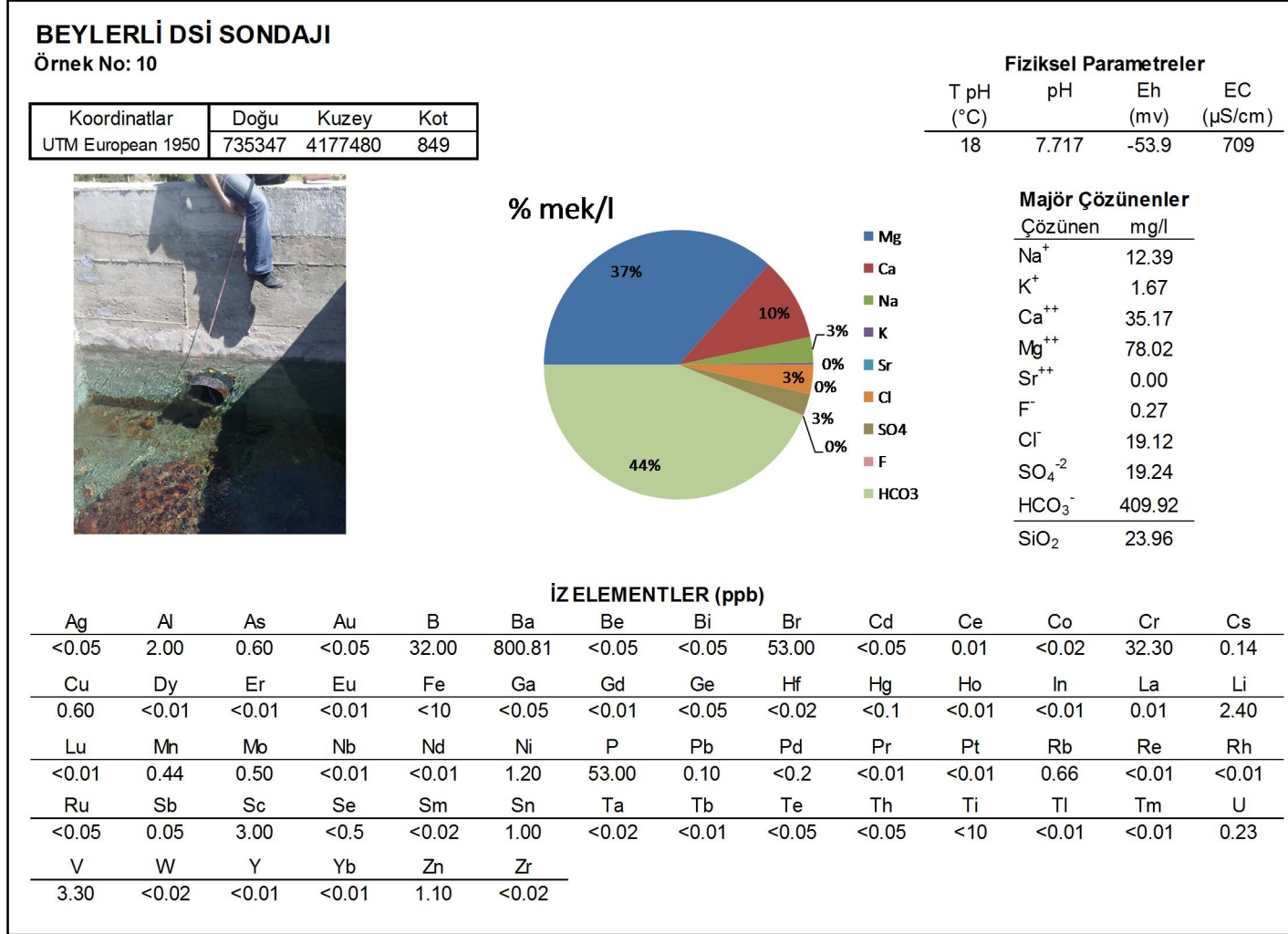
Tablo 3.5: Cumalı ılıca keson kuyusundan alınan suyun analiz sonuçları.



Tablo 3.6: Karagöl kaynak suyu analiz sonuçları.

<b>KARAGÖL KAYNAĞI</b>													
Örnek No: 16													
Koordinatlar		Doğu	Kuzey	Kot									
UTM European 1950		719708	4179450	1261									
<b>Fiziksel Parametreler</b>													
T pH	pH	Eh	EC										
(°C)		(mv)	(µS/cm)										
13.4	7.935	-65.4	552										
<b>Majör Çözünenler</b>													
Çözünen		mg/l											
Na <sup>+</sup>	3.58												
K <sup>+</sup>	0.94												
Ca <sup>++</sup>	51.14												
Mg <sup>++</sup>	53.52												
Sr <sup>++</sup>	0.11												
F <sup>-</sup>	0.30												
Cl <sup>-</sup>	5.19												
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	61.69												
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	295.24												
SiO <sub>2</sub>	38.49												
<b>% mek/l</b>													
<b>İZELENTLER (ppb)</b>													
Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co	Cr	Cs
<0.05	4.00	3.70	<0.05	40.00	18.10	<0.05	<0.05	20.00	<0.05	<0.01	<0.02	5.00	1.95
Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Li
1.30	<0.01	<0.01	<0.01	<10	<0.05	<0.01	0.07	<0.02	<0.1	<0.01	<0.01	0.01	14.60
Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh
<0.01	0.36	2.00	<0.01	<0.01	38.30	27.00	<0.1	<0.2	<0.01	<0.01	1.21	<0.01	<0.01
Ru	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U
<0.05	0.17	4.00	<0.5	<0.02	0.26	<0.02	<0.01	<0.05	<0.05	<10	0.02	<0.01	0.72
V	W	Y	Yb	Zn	Zr								
3.50	0.16	0.02	<0.01	1.50	<0.02								

Tablo 3.7: Beylerli DSİ sondaj suyu analiz sonuçları.



Tablo 3.8: Beylerli içme suyu-I'in analiz sonuçları.

<b>BEYLERLİ İÇME SUYU-I</b>				
Örnek No: 15				
Koordinatlar		Doğu	Kuzey	Kot
UTM European 1950		733099	4177261	866

Fiziksel Parametreler			
T pH	pH	Eh	EC
(°C)		(mv)	(µS/cm)
14.2	7.94	-52	652

Majör Çözünenler	
Çözünen	mg/l
Na <sup>+</sup>	7.24
K <sup>+</sup>	1.08
Ca <sup>++</sup>	37.96
Mg <sup>++</sup>	80.16
Sr <sup>++</sup>	0.00
F <sup>-</sup>	0.25
Cl <sup>-</sup>	11.80
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	14.17
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	466.04
SiO <sub>2</sub>	22.78

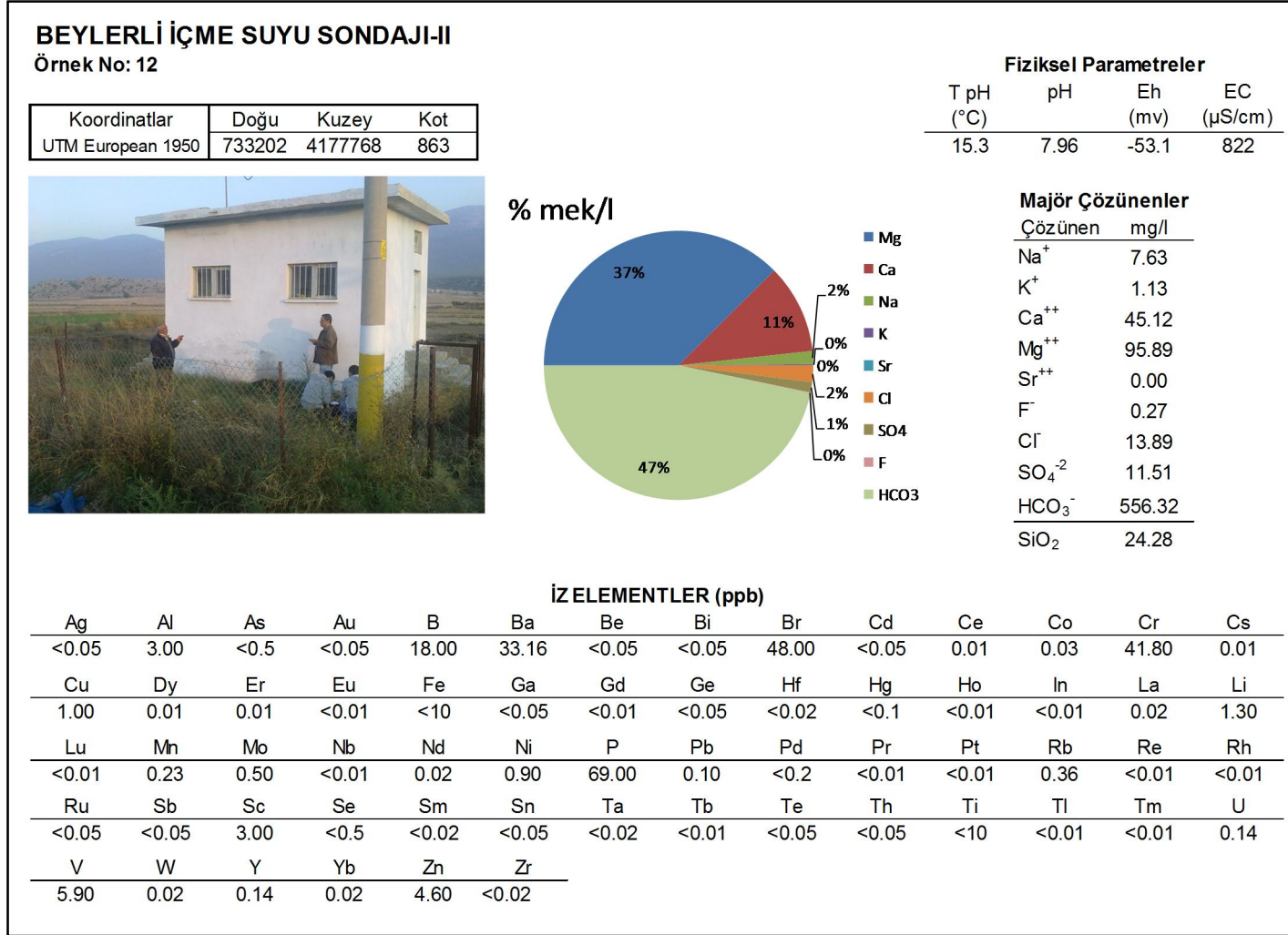
**% mek/l**

- Mg: 37%
- Ca: 11%
- Na: 2%
- K: 0%
- Sr: 0%
- Cl: 2%
- SO<sub>4</sub>: 2%
- F: 0%
- HCO<sub>3</sub>: 46%

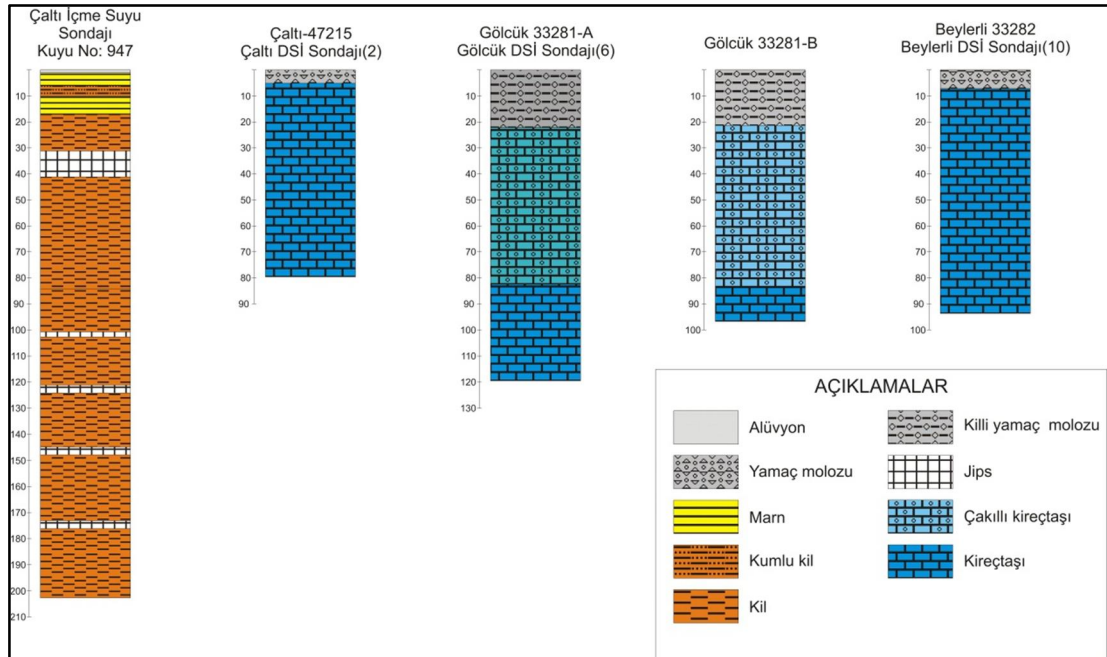
  

İZ ELEMENTLER (ppb)													
Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co	Cr	Cs
<0.05	3.00	<0.5	<0.05	22.00	30.30	<0.05	<0.05	39.00	<0.05	<0.01	<0.02	30.00	0.01
Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Li
1.10	<0.01	<0.01	<0.01	<10	<0.05	<0.01	<0.05	<0.02	<0.1	<0.01	<0.01	0.01	1.10
Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh
<0.01	0.17	0.40	<0.01	<0.01	0.20	58.00	0.10	<0.2	<0.01	<0.01	0.60	<0.01	<0.01
Ru	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U
0.07	<0.05	2.00	<0.5	<0.02	<0.05	<0.02	<0.01	<0.05	<0.05	<10	<0.01	<0.01	0.08
V	W	Y	Yb	Zn	Zr								
5.50	<0.02	0.05	<0.01	8.80	<0.02								

Tablo 3.9: Beylerli içme suyu-II'nin analiz sonuçları.

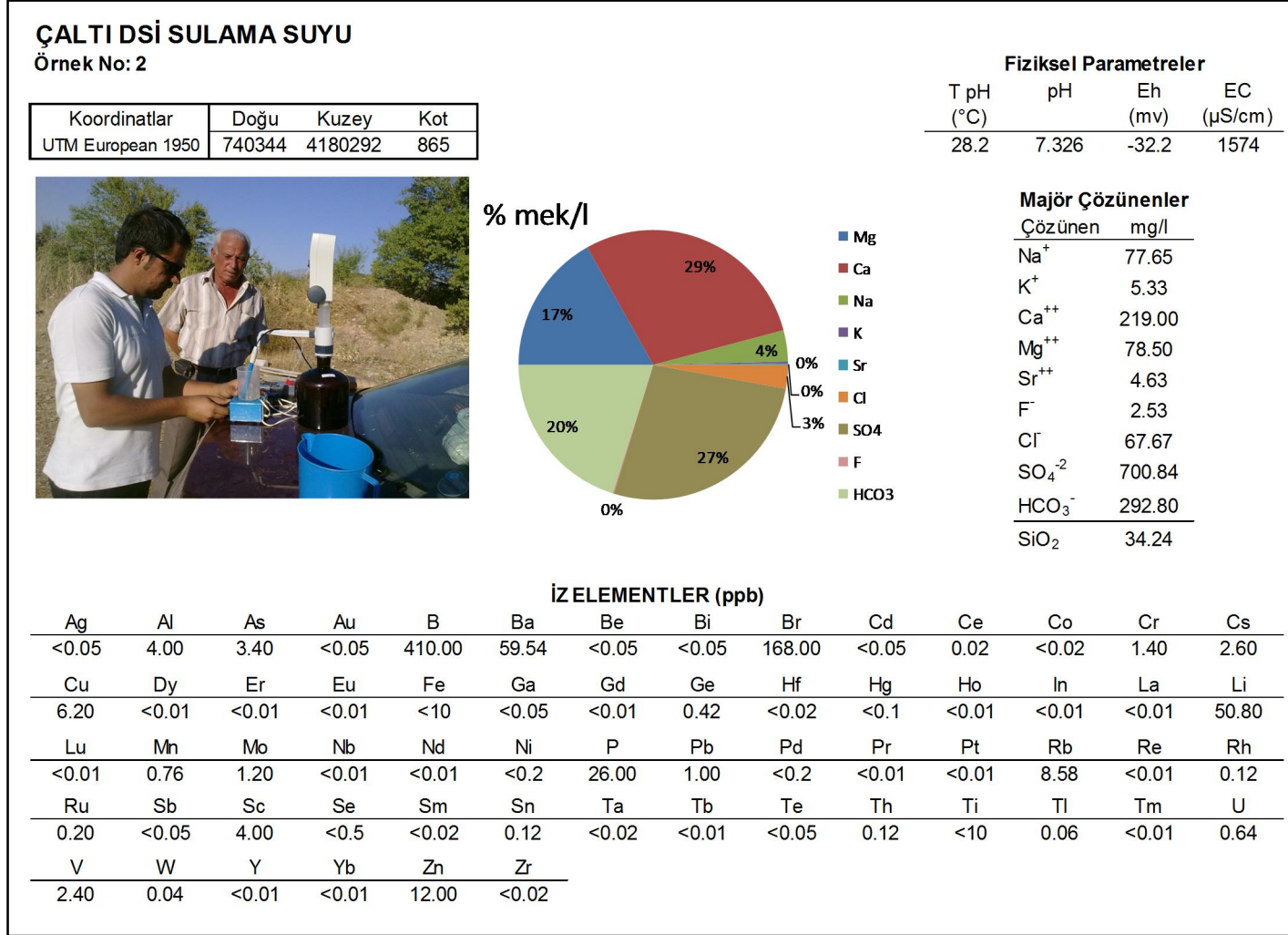


Beylerli sahasındaki hidrojeolojik ve hidrokimyasal yapıyı anlamak ve benzer suların varlığını araştırmak amacıyla, graben kenarı boyunca kuzeydoğu yönündeki sondajlar araştırılmış ve Çaltı ile Gölcük köylerindeki kullanma ve DSİ sulama suyu sondajlarında sıcaklığı bölgedeki yıllık ortalama sıcaklıktan 10-13°C fazla olan sular gözlemlenmiştir (Şekil 3.8; 2, 4, 5 ve 6 nolu kuyular). Bu suların analiz sonuçları Tablo 3.10, 3.11, 3.12, 3.13’de verilmiştir. Çaltı ve Gölcük köylerinde kullanma suyu amacıyla açılan sondajlara ait log bilgisi olmadığı için yanlarındaki DSİ kuyularından da numuneler alınıp analiz edilmiş ve bu kuyuların benzer oldukları gözlemlenmiştir. DSİ kuyularına ait loglar Şekil 3.11’de verilmiştir. Çaltı köyüne içme suyu, güneyindeki yükseltinin üst kotlarında yer alan Erenardıç mevkesindeki bir kaynaktan sağlanmaktadır (Şekil 3.8, 17 nolu kaynak). Bu alan yeraltısuyu beslenme bölgesinde olduğu için bu noktadan da numune alınmış ve analiz sonuçları Tablo 3.14’de verilmiştir. Acıgöl grabeninin güneyindeki litolojiler genellikle kireçtaşı, yer yer dolomit ve ofiyolitlerden oluşmaktadır. Ofiyolitik kayalardan gelen suların fiziko-kimyasal özelliklerini öğrenmek amacıyla Hayriye köyünde bulunan Hayriye kaynağından numune alınmıştır (Şekil 3.8; 14 nolu kaynak). Bu kaynağa ait analiz sonuçları Tablo 3.15’te verilmiştir.

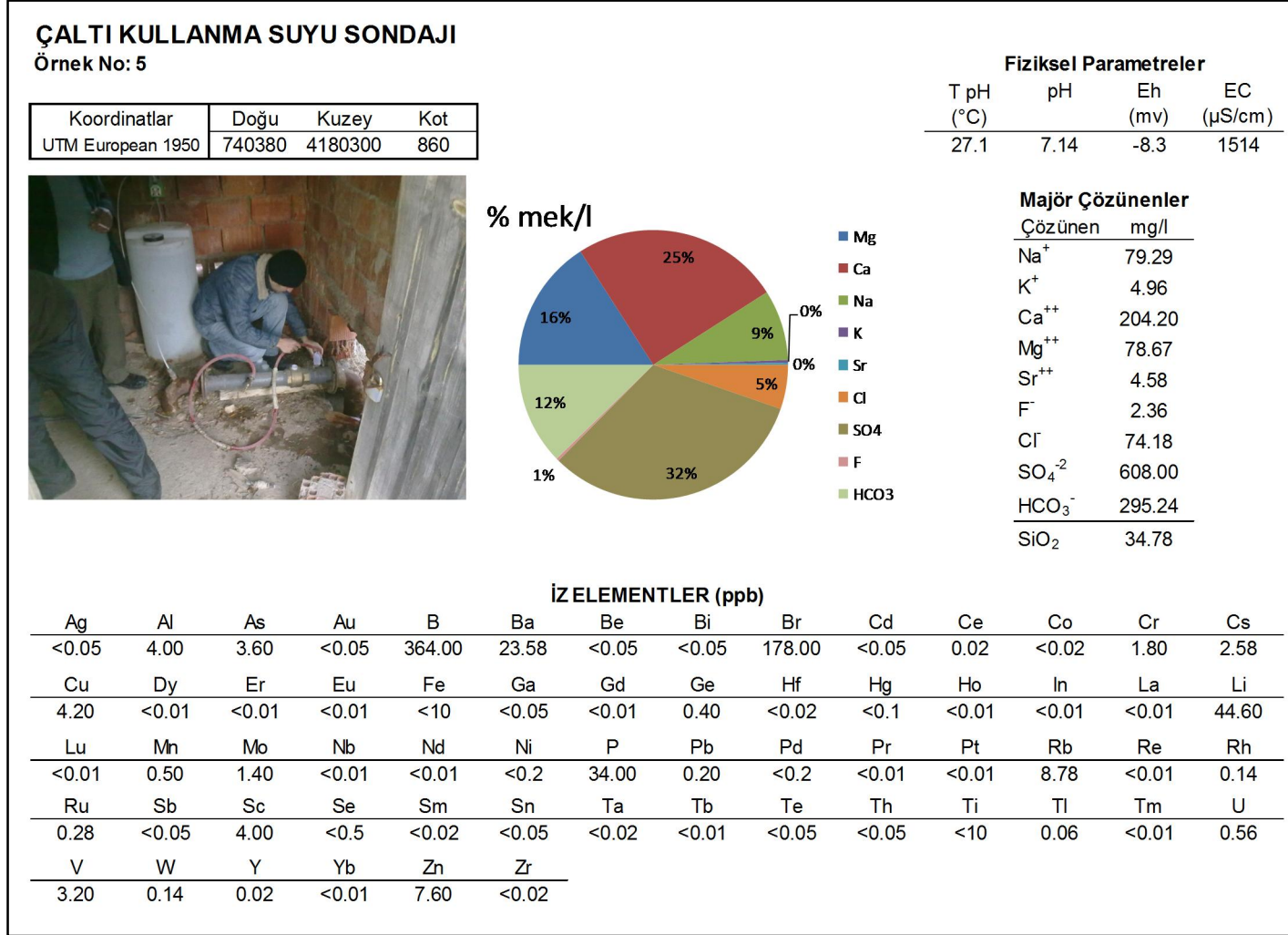


Şekil 3.11: Numune alınan DSİ kuyularının jeolojik logları. Çaltı içme suyu sondajı çaltı köyü içinde, çameli formasyonunda açılmış ve verimsiz olduğu için kille doldurularak kapatılmıştır. Çizim DSİ verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

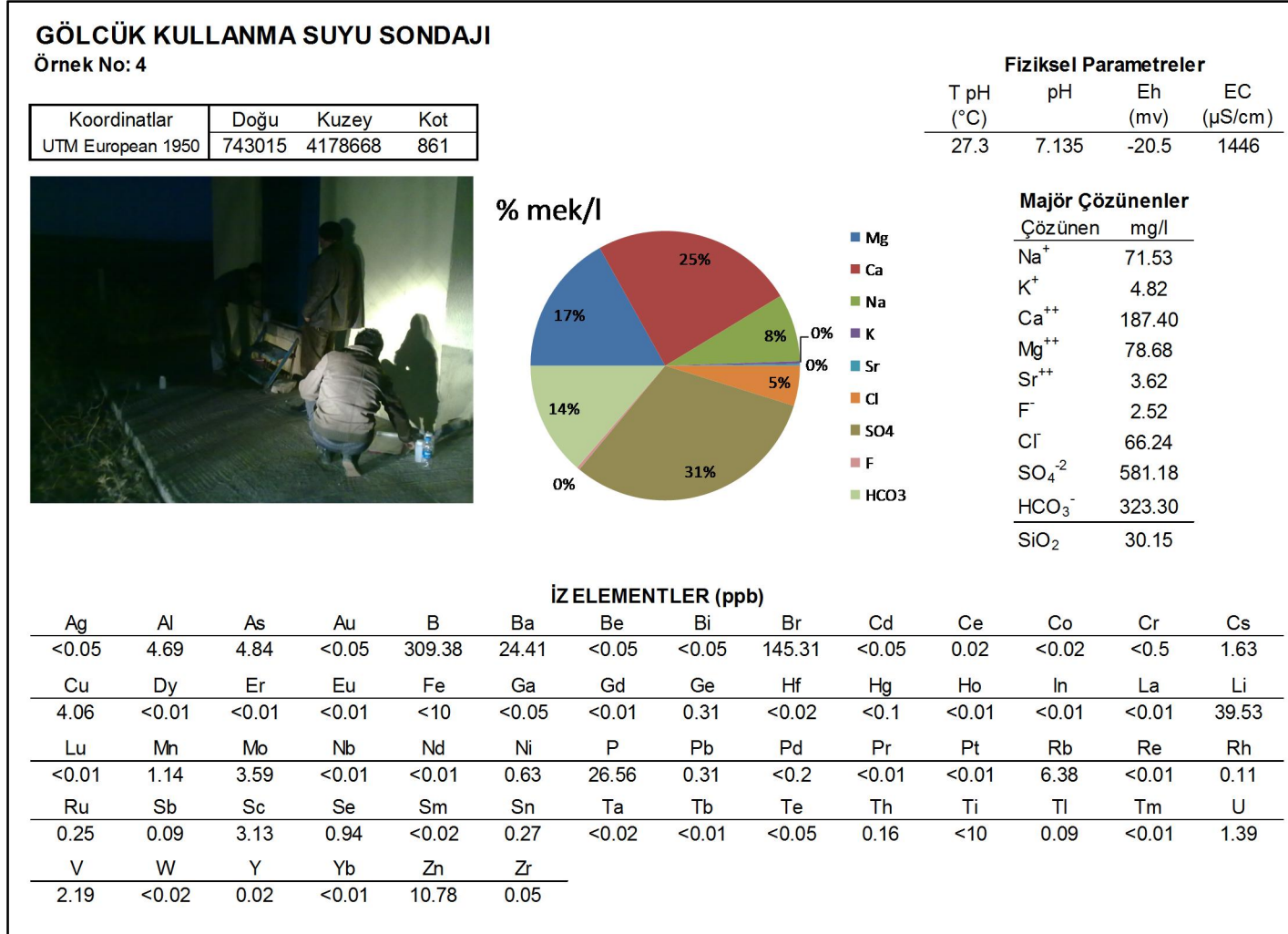
Tablo 3.10: Çaltı DSİ sulama suyu analiz sonuçları.



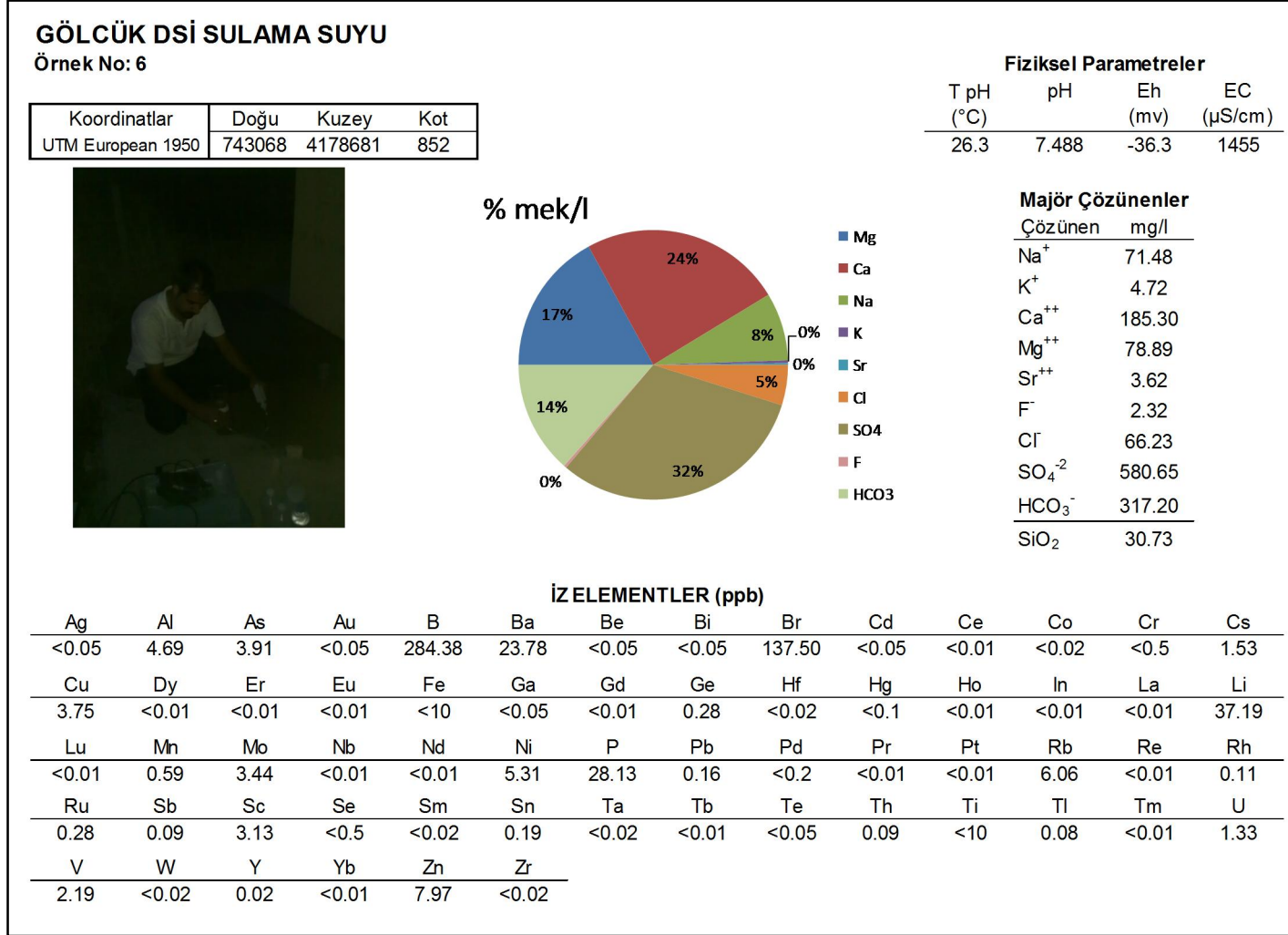
Tablo 3.11: Çaltı kullanma suyu analiz sonuçları.



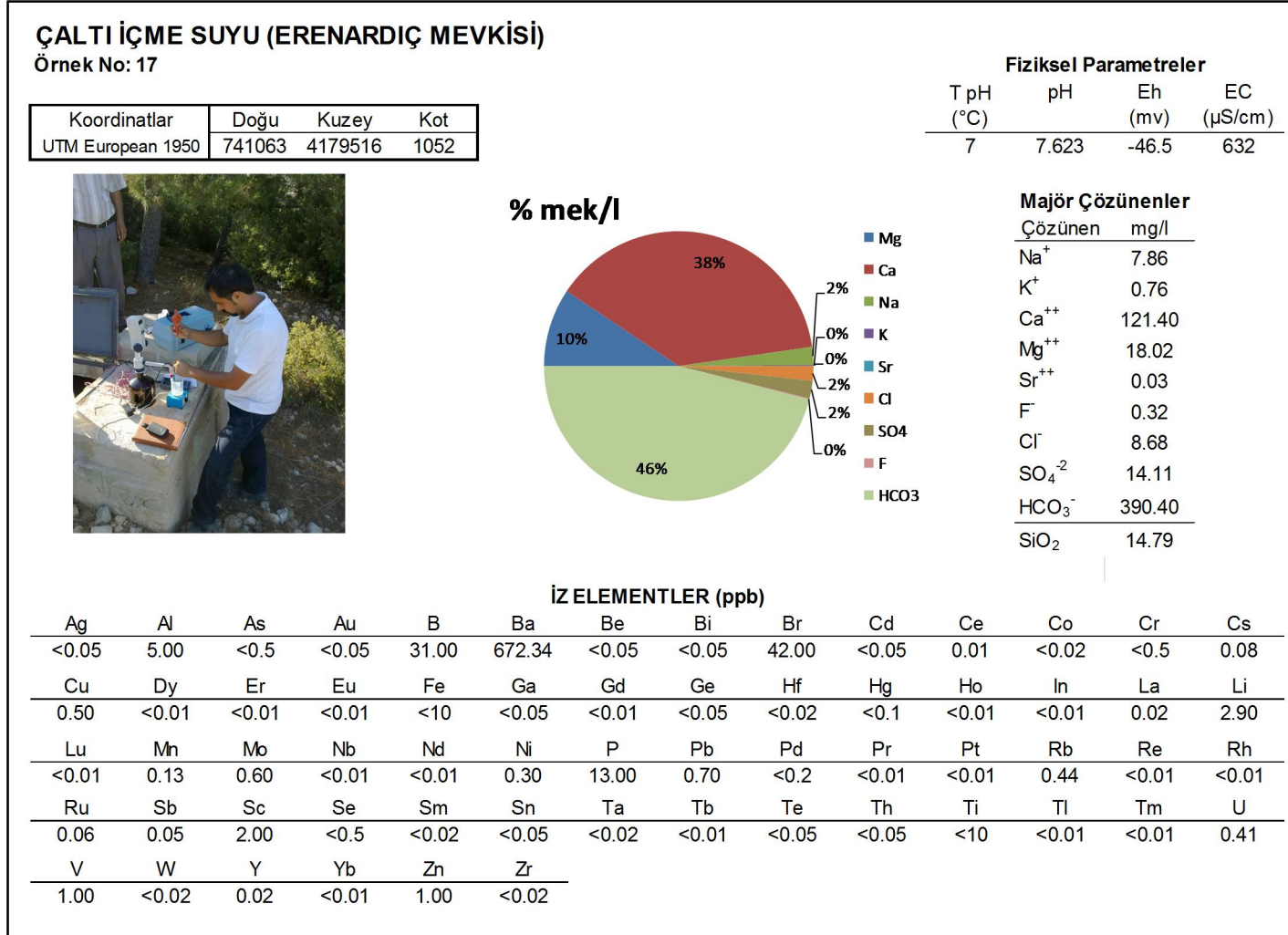
Tablo 3.12: Gölcük kullanma suyu analiz sonuçları.



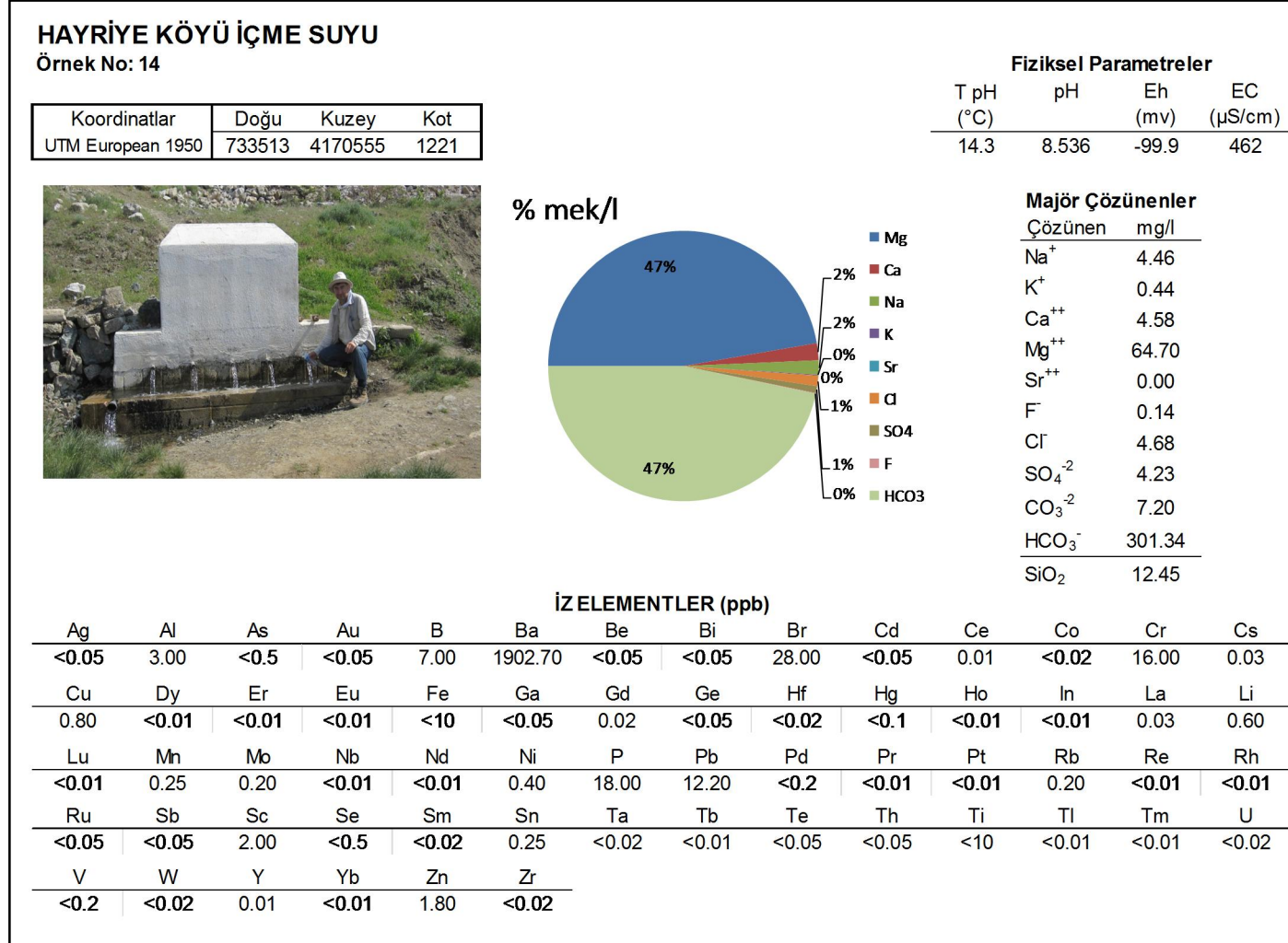
Tablo 3.13: Gölcük DSİ sulama suyu analiz sonuçları.



Tablo 3.14: Çaltı içme suyu kaynağı analiz sonuçları.



Tablo 3.15: Hayriye köyü kaynak suyu analiz sonuçları.



Bir diğerk örneklem noktası Ayvaz köyü içme suyu sondajdır. Buradaki suyun elektriksel iletkenliği 1593  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüş ve analiz sonuçları Tablo 3.16’da verilmiştir. Gölcük Köyü ile Akgöl arasında yer alan litolojiler genellikle kireçtaşı ve dolomitten oluşmaktadır. Gölcük köyünün hemen güneyinde dar bir alanda ofiyolitik melanj görülmektedir. Gölcük köyü güneyindeki kireçtaşlarından süzülerek Akgöl bölgesindeki yeraltı sularını besleyen suların kimyasal özelliğini anlamak için Dereköy yolu üzerindeki su sarnıcından örnek alınmış ve analiz sonuçları Tablo 3.17’de verilmiştir.

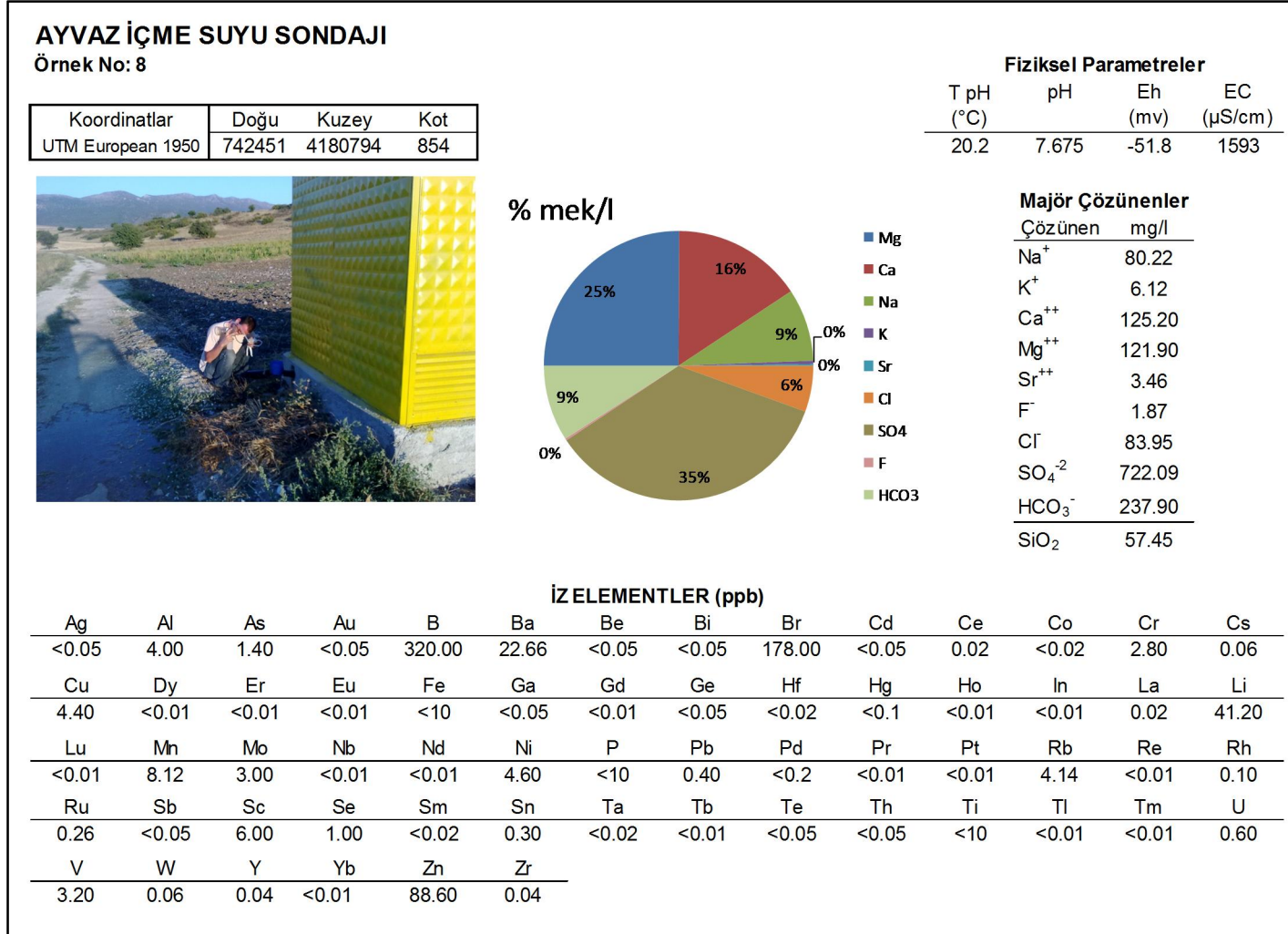
Bölgenin genel graben yapısına baktığımızda, var olduğundan şüphelenilen derin dolaşimli suların gerçekten olması durumunda, çalışma alanının kuzeydoğusunda olan ve Acıgöl’ü güneyden besleyen kaynaklarda belirtilerin görülebileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla bu bölgedeki Gemiş pınarından, Akpınar köyündeki Akpınar kaynağından ve Akpınar köyü ile Gemiş kasabası arasında yol kenarında gözlenen Bayramalan kaynağından numuneler alınmıştır (Şekil 3.12). Bu bölgedeki kaynaklardan alınan suların analiz sonuçları Tablo 3.18, 3.19 ve 3.20’da verilmiştir.

Lokasyon bazında ayrıntılı olarak verilen majör iyon ve iz element dağılımları, bütün numunelerin sonuçlarını kapsayacak şekilde Tablo 20 ve Tablo 21’de verilmiştir.

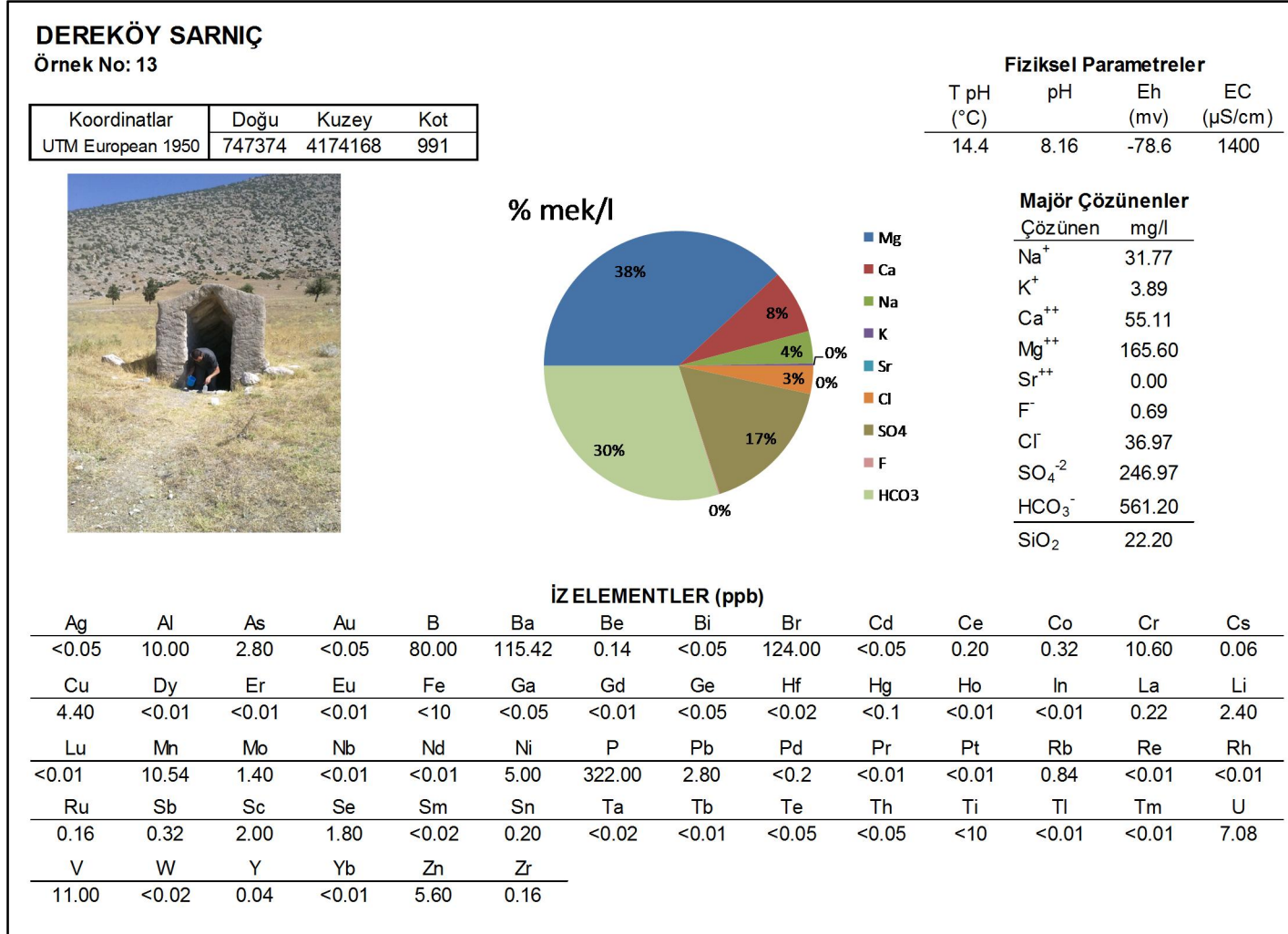


Şekil 3.12: Acıgöl’ü güneyden besleyen kaynaklar. 9-Gemiş kaynağı, 7- Bayramalan kaynağı, 11-Akpınar kaynağını göstermektedir.

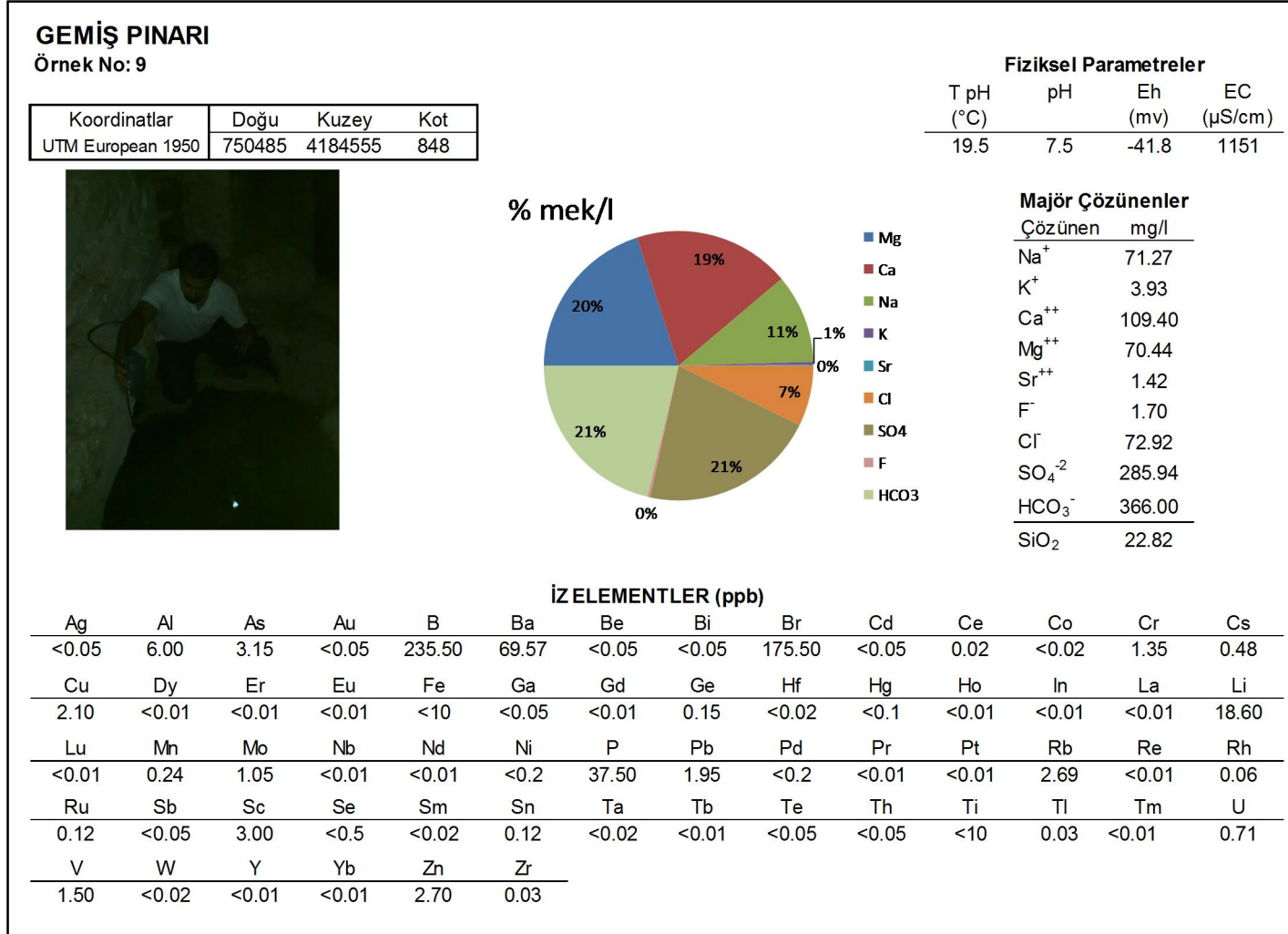
Tablo 3.16: Ayvaz köyü içme suyu analiz sonuçları.



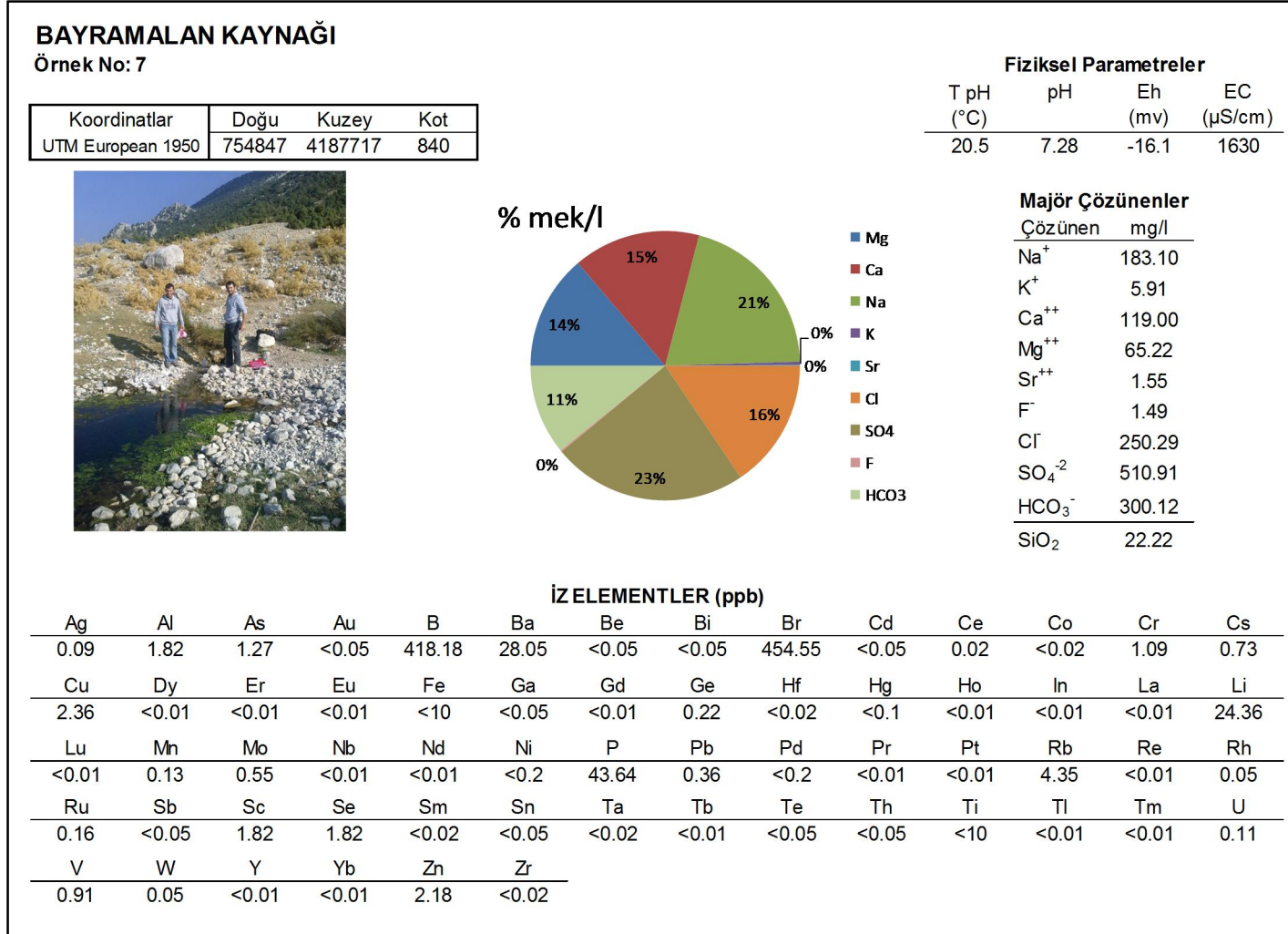
Tablo 3.17: Dereköy sarnıcından alınan suyun analiz sonuçları.



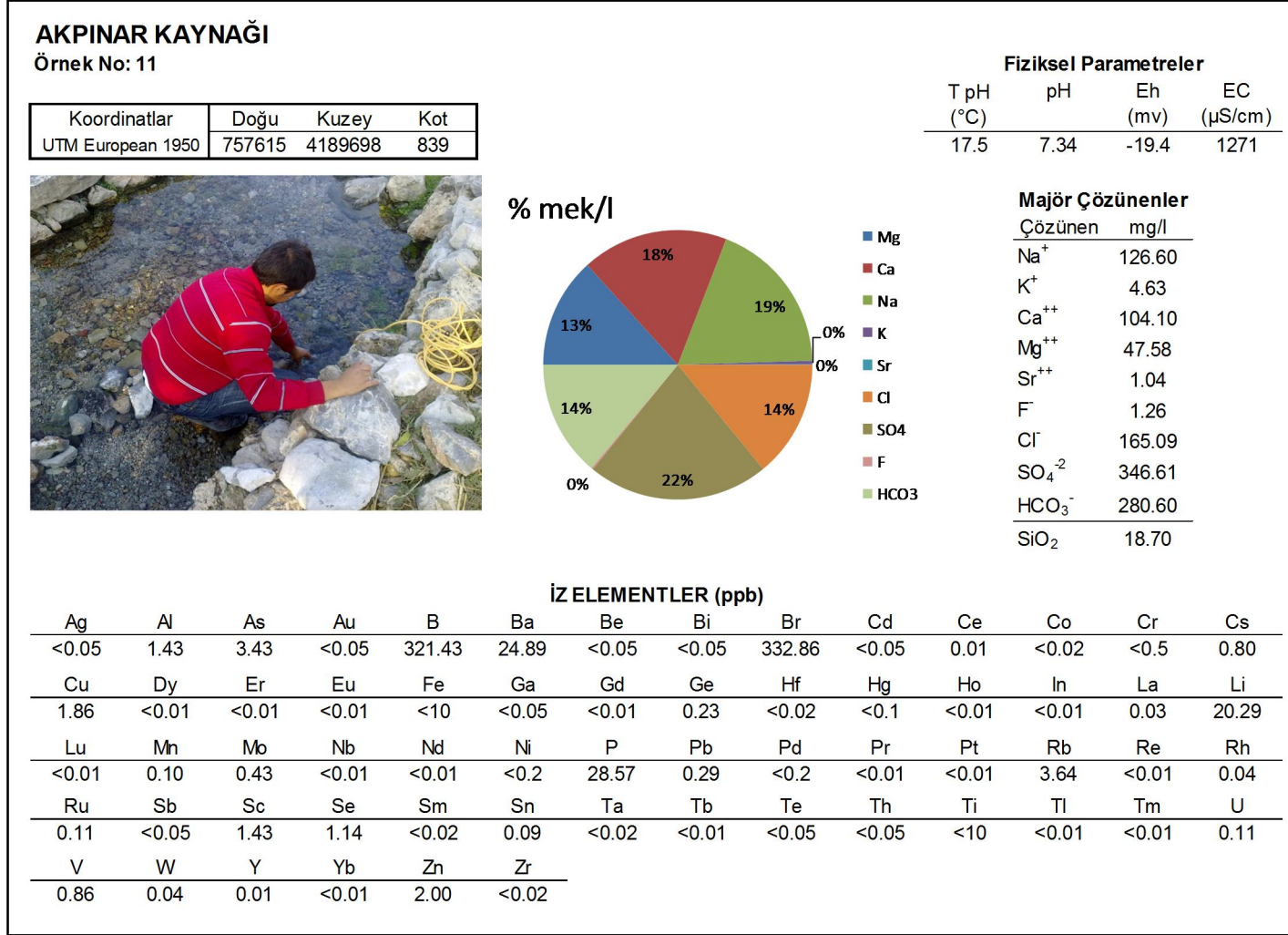
Tablo 3.18: Gemiş kaynağı analiz sonuçları.



Tablo 3.19: Bayramalan kaynağından alınan suyun analiz sonuçları.



Tablo 3.20: Akpınar köyü kaynak suyunun analiz sonuçları.



### 3.5 Hidrojeokimya

Sahadan örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları hidrojeokimyasal yöntemlerle değerlendirilmiştir. Burada, hidrojeokimyasal değerlendirme kapsamında yapılan temel bazı kimyasal hesaplamalar, suların örnekleme sıcaklıklarındaki mineral çözme ve çökeltme özellikleri, çeşitli yöntemler kullanılarak suların sınıflandırılması, suyun kökenini belirleme ve yaşlandırma çalışmaları sunulmuştur.

#### 3.5.1 Temel kimyasal hesaplamalar

Yeraltı suyunun kimyasal özelliklerini değerlendirmek için çözünen ve çözücünün görelî miktarları bilinmelidir. Bunun için bileşenlerin konsantrasyonlarına bakılmaktadır. Analiz sonuçları molarite, molalite veya kütle birimi cinsinden olabilmektedir. Laboratuvarında en kolay ölçülen birim hacim olduğu için analiz sonuçları genelde mg/l cinsinden verilir. Yeraltı suyu literatüründe daha çok kullanılan birim litrede eş değer miktardır. 1 litre çözeltide çözünenin mol sayısı ile çözünen türün değeri çarpılarak bulunmektedir. Analiz sonuçları mg/l cinsinden ise iyon türleri mol ağırlıklarına bölünüp değeriyle çarpılarak miliekivalan değeri (mek/l) bulunur. Litrede miliekivalan değeri ile analiz sonuçlarının doğruluğu kontrol edilebilmektedir. Suda çözülmüş anyon ve katyonların mek/l'leri eşit olmalıdır. Eğer eşit değilse, ya analiz hatalıdır ya da çözeltide analiz edilmeyen fazla miktarda çözülmüş bileşen mevcuttur. Analiz sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için (3.1) nolu denklem kullanılmaktadır. Analiz hatalarının kabul edilebilir olması için hata yüzdesinin (e) % 5-6'dan küçük olması önerilmektedir.

$$e = \frac{\text{Toplam katyon miktarı (mek/l)} - \text{Toplam anyon miktarı (mek/l)}}{\text{toplam iyon miktarı(mek/l)}} \times 100 \quad (3.1)$$

Bir mineralin suda çözünmesi veya sudan çökmesi (3.2) denkleminde gösterildiği şekilde tersinir olarak gerçekleşmektedir. Burada önemli olan tepkimenin hangi yönde gerçekleşeceği. Kütle hareketi yasasına göre reaksiyon kendini dengeye ulaştıracağı yönde ilerler ve denge sağlandığında çözünenin hızı çökmenin hızına eşit olur.



Bu eşitlikte büyük harfler kimyasal bileşenleri, küçük harfler ise stokiyometrik katsayıları temsil etmektedir. Her bileşenin mol konsantrasyonu [A] şeklinde

yazılmakta ve herhangi bir reaksiyon için denge tepkimesi (3.3) nolu denklemdeki gibi gösterilmektedir.

$$K = \frac{[A]^a[B]^b}{[C]^c[D]^d} \quad (3.3)$$

Denge sabitleri belirli kimyasal tepkimeler için ya termodinamik bağıntılarla ya da deneysel olarak belirlenmektedir. Denge denklemlerinde saf sıvı veya katıların konsantrasyonları 1 (bir) birim kabul edilmektedir.

Çok derişik olmayan çözeltilerde bileşenlerin mol konsantrasyonları, dengeyi ve çözünürlüğü tanımlamada kullanılabilir. Ancak, fazla derişik çözeltilerde, ideal olmayan çözünenlerin davranışını elektrostatik kuvvetler etkilemektedir. Bu sebepten dolayı çözünen iyonlar mol konsantrasyonlarıyla değil, bazı araştırmacılar tarafından önerilmiş bağıntılarla hesaplanan aktiflikleriyle reaksiyona girmekte veya denge oluşturmaktadır. Bir iyonun kimyasal aktifliği ( $\alpha$ ), mol konsantrasyonlarının ( $m$ ) aktiflik katsayısı ( $\gamma$ ) ile çarpılmasıyla bulunur (3.4). Türlerin tek tek aktiflik katsayılarını hesaplamak için çözeltinin iyon şiddetinin hesaplanması gerekmektedir (3.5).

$$\alpha = \gamma m \quad (3.4)$$

$$I = 0,5 \sum m_i z_i^2 \quad (3.5)$$

(3.5) denkleminde I, iyon şiddetini,  $m_i$ , i'ninci iyonun molalitesini,  $z_i$ , i'ninci iyonun yükünü belirtmektedir.

İyon şiddetinin belirlenmesiyle aktiflik katsayıları hesaplanabilmektedir. İyon şiddeti 0,1 veya daha düşük ise, (3.6) nolu denklemde görülen Debye-Hückel bağıntısı kullanılmaktadır.

$$-\log \gamma_i = \frac{A z_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_i B \sqrt{I}} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte  $\gamma_i$  iyonik türün aktiflik katsayısı,  $z_i$ , i'ninci iyonik türün yükü, I çözeltinin iyon şiddeti, A ve B sıcaklığa bağlı sabitler,  $a_i$  iyonun etkin çapıdır. İyon şiddeti daha yüksek olan çözeltilerde (3.6) nolu denklemin biraz değiştirilmiş hali olan Davies bağıntısı kullanılır (3.7).

$$-\log \gamma_i = \frac{A z_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_i B \sqrt{I}} + 0,3 \sqrt{I} \quad (3.7)$$

(3.3) nolu denklemde kullanılan molar konsantrasyonlar  $\gamma \approx 1$  olan seyreltilmiş çözeltilerde geçerliken, herhangi bir iyon şiddeti verecek kadar derişik olan çözeltilerde ise, molar konsantrasyonlar ile aktiflik katsayılarının çarpımıyla belirlenen, kimyasal aktifliklerin kullanılması gerekmektedir. Bu durumda,  $\alpha$  iyon aktifliğini gösterecek şekilde (3.3) nolu denklem tekrar düzenlendiğinde (3.8) nolu denklemdeki gibi olacaktır.

$$K = \frac{(\alpha_X)^a(\alpha_Y)^b}{(\alpha_C)^c(\alpha_D)^d} \quad (3.8)$$

(3.2) nolu denklemde reaktiflerin bulunduğu ortam şartlarında (sıcaklık ve basınç) tepkimenin hangi yöne doğru olacağı Gibbs serbest enerjisiyle belirlenebilmektedir. Doğal olaylar her zaman dengeye ulaşma eğilimindedir ve kimyasal denge, reaksiyon ürünlerinin serbest enerjileri toplamları ile reaksiyona girenlerin serbest enerji toplamları arasındaki farkın sıfır olmasıyla sağlanır (3.9). Oluşum standart serbest enerjisi,  $\Delta G^\circ$ , standart şartlarda ( $25^\circ\text{C}$  ve 1 atm basınçta) kararlı elementlerden 1 mol bileşik üretmek için gerekli reaksiyon serbest enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Elementlerin kimyasal olarak saf ve en kararlı durumlarında standart serbest enerjileri sıfırdır.

$$\text{Denge} = \sum \Delta G^\circ \text{ ürünler} - \sum \Delta G^\circ \text{ reaksiyona girenler} = 0 \quad (3.9)$$

(3.2) denklemdeki genel tepkime için reaksiyonun serbest enerjisindeki değişimin, standart serbest enerji değişimi ve her bir reaksiyona giriş maddesi ile ürün için aynı sıcaklıkta ölçülen aktivitelerle olan ilişkisi (3.10) nolu denklemde verilmiştir.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{(\alpha_X)^a(\alpha_Y)^b}{(\alpha_C)^c(\alpha_D)^d} \quad (3.10)$$

Bağıntıda, R: evrensel gaz sabiti ve T: kelvin cinsinde sıcaklıktır. Bir kimyasal reaksiyonun kendiliğinden ilerleyebilmesi için  $\Delta G$ 'nin sıfırdan küçük olması gerekmekte, buda serbest enerjide net bir azalımın olmaması gerektiği anlamına gelmektedir.  $\Delta G > 0$  ise reaksiyon sağdan sola doğru gerçekleşir.  $\Delta G = 0$  olursa reaksiyon hiçbir yöne gerçekleşmez ve denge sağlanmış olur. Denge durumunda standart haller için (3.10) nolu denklem tekrar düzenlenirse (3.11) nolu denklem elde edilir.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (3.11)$$

25<sup>0</sup>C ve 1 bar'daki  $\Delta G^0$  verileri oldukça bol olmasına rağmen farklı sıcaklıklardaki değerleriyle ilgili veri sıkıntısı vardır. Denge sabiti üzerine ve dolayısıyla  $\Delta G^0$  değerine basıncın etkisi oldukça azdır. Özellikle jeolojide sığ sular üzerindeki (birkaç yüz metre) basıncın çok fazla olmaması sebebiyle denge sabitine basınç etkisi göz ardı edilebilir. Ancak, bir iki derecelik sıcaklık artışı denge sabitini oldukça etkilemektedir. Farklı sıcaklıklardaki denge sabitini bulmak için, 1800'lü yıllarda denge sabiti üzerine yaptığı çalışmalardan dolayı Hollandalı fizikokimyacı van't Hoff adına atfen, (3.12) nolu van't Hoff denklemi önerilmektedir.

$$\text{Log}K_{T_2} = \text{Log}K_{T_1} - \frac{\Delta H_{T_2}}{2,3R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (3.12)$$

Buradaki T2 referans sıcaklığı, değeri genelde standart haldeki değeri olan 298.15 kelvin'dir. T1 çözelti sıcaklığı,  $\Delta H_{T_2}$  de T2 sıcaklığındaki entalpidir. Van't Hoff denklemi sadece iki sıcaklığı dikkate aldığı ve iki sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki sunduğu için yaklaşık değerler vermektedir. Daha doğru sonuçlar elde etmek için laboratuvarında elde edilmiş farklı sıcaklıklardaki veriler arasında interpolasyon yapılmalıdır.

### 3.5.2 Suların sınıflandırılması

İnceleme alanı sularının analiz sonuçları Tablo 3.21 ve 3.22'de verilmiştir. Birçok su tipi tanımlama yöntemi vardır. Uluslararası hidrojeologlar birliğinin (AIH) önerdiği sınıflamaya göre, suda çözülmüş başlıca katyonların ve anyonların % mek/l değerleri ayrı ayrı hesaplanmakta ve %20'den fazla olanlar su tipini belirlemektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada su tipleri AIH sınıflamasına göre yapılmıştır. Çalışma alanındaki Beylerli Efem kaplıcası, Cumalı ılıca, Çaltı DSİ ve Çaltı kullanma suları, Gölcük DSİ ve Gölcük kullanma suları Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> su tipindedir. Hayriye kaynağı ofiyolitlerden boşaldığı için baskın katyon magnezyumdur ve su tipi de Mg-HCO<sub>3</sub>'tür. Çaltı içme suyu beslenme bölgesindeki Yandağ kireçtaşlarından geldiği ve yüksek kotta sığ dolaşımında olduğu için Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Akpınar köyü ve Bayramalan kaynaklarında Na içeriği diğer soğuk sularınkinden oldukça fazladır ve su tipi diğerlerinden farklı olarak Na-Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-Cl-HCO<sub>3</sub> tipindedir.

Tablo 3.21: Beylerli jeotermal sahasından alınan suların fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

No	Numune Lokasyonları	T °C	pH	eH mV	EC µS/cm	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	Sr <sup>++</sup> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	F <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Su Tipi
1	Beylerli Efem Kaplıcası Son.	38.5	6.90	-7.8	1886	94.4	6.36	285.9	86.9	5.61	39.36	2.91	82.9	897.7	384.3	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
2	Çaltı DSİ Sondajı	28.2	7.33	-32.2	1574	77.7	5.33	219.0	78.5	4.63	34.24	2.53	67.7	700.8	292.8	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
3	Cumalı Ilıca Keson Kuyu	27.8	7.04	-15.7	1407	32.5	2.96	220.1	77.5	3.23	40.54	1.07	38.2	487.9	463.6	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
4	Gölcük Kullanma Suyu Son.	27.3	7.14	-20.5	1446	71.5	4.82	187.4	78.7	3.62	30.15	2.52	66.2	581.2	323.3	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
5	Çaltı Kullanma Suyu Sondajı	27.1	7.14	-8.3	1514	79.3	4.96	204.2	78.7	4.58	34.78	2.36	74.2	608.0	295.2	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
6	Gölcük DSİ Sondajı	26.3	7.49	-36.3	1455	71.5	4.72	185.3	78.9	3.62	30.73	2.32	66.2	580.6	317.2	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
7	Bayramalan Kaynağı	20.5	7.28	-16.1	1630	183.1	5.91	119.0	65.2	1.55	22.22	1.49	250.3	510.9	300.1	Na-Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-HCO <sub>3</sub>
8	Ayvaz İçme suyu sondajı	20.2	7.68	-51.8	1593	80.2	6.12	125.2	121.9	3.46	57.45	1.87	83.9	722.1	237.9	Mg-Ca-SO <sub>4</sub>
9	Gemiş Kaynağı	19.5	7.50	-41.8	1151	71.3	3.93	109.4	70.4	1.42	22.82	1.70	72.9	285.9	366.0	Mg-Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
10	Beylerli DSİ Sondajı	18.0	7.72	-53.9	709	12.4	1.67	35.2	78.0	0.14	23.96	0.27	19.1	19.2	409.9	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
11	Akpınar Kaynağı	17.5	7.34	-19.4	1271	126.6	4.63	104.1	47.6	1.04	18.70	1.26	165.1	346.6	280.6	Na-Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl-HCO <sub>3</sub>
12	Beylerli İçme Suyu Son.-II	15.3	7.96	-53.1	822	7.6	1.13	45.1	95.9	0.15	24.28	0.27	13.9	11.5	556.3	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
13	Dereköy Sarnıcı	14.4	8.16	-78.6	1400	31.8	3.89	55.1	165.6	0.27	22.20	0.69	37.0	247.0	561.2	Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
14	Hayriye Kaynağı	14.3	8.54	-99.9	462	4.5	0.44	4.6	64.7	0.06	12.45	0.14	4.7	4.2	301.3	Mg-HCO <sub>3</sub>
15	Beylerli İçme Suyu Son.-I	14.2	7.94	-52.0	652	7.2	1.08	38.0	80.2	0.14	22.78	0.25	11.8	14.2	466.0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
16	Karagöl Kaynağı	13.4	7.94	-65.4	552	3.58	0.94	51.1	53.5	0.11	38.49	0.30	5.2	61.7	295.2	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
17	Çaltı İçme Suyu Kaynağı	7.0	7.62	-46.5	632	7.9	0.76	121.4	18.0	0.03	14.79	0.32	8.7	14.1	390.4	Ca-HCO <sub>3</sub>

Tablo 3.22: Beylerli jeotermal sahasındaki suların iz element dağılımları. Lokasyonlar 1-17 arası numaralarla gösterilmektedir.

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ag	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Al	6.00	4.00	4.69	4.69	4.00	4.69	1.82	4.00	6.00	2.00	1.43	3.00	10.00	3.00	3.00	4.00	5.00
As	2.20	3.40	0.94	4.84	3.60	3.91	1.27	1.40	3.15	0.60	3.43	<0.5	2.80	<0.5	<0.5	3.70	<0.5
Au	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
B	464.0	410.0	84.38	309.38	364.0	284.38	418.18	320.0	235.5	32.00	321.43	18.00	80.00	7.00	22.00	40.00	31.00
Ba	41.42	59.54	45.69	24.41	23.58	23.78	28.05	22.66	69.57	800.81	24.89	33.16	115.42	1902.7	30.30	18.10	672.34
Be	0.12	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Bi	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Br	198.00	168.00	46.88	145.31	178.00	137.50	454.55	178.00	175.50	53.00	332.86	48.00	124.00	28.00	39.00	20.00	42.00
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ce	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	<0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.20	0.01	<0.01	<0.01	0.01
Co	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.32	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cr	<0.05	1.40	<0.05	<0.05	1.80	<0.05	1.09	2.80	1.35	32.30	<0.05	41.80	10.60	16.00	30.00	5.00	<0.05
Cs	<0.02	2.60	2.98	1.63	2.58	1.53	0.73	0.06	0.48	0.14	0.80	0.01	0.06	0.03	0.01	1.95	0.08
Cu	<0.03	6.20	2.97	4.06	4.20	3.75	2.36	4.40	2.10	0.60	1.86	1.00	4.40	0.80	1.10	1.30	0.50
Dy	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Er	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Eu	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fe	68.00	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Gd	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Ge	0.52	0.42	0.17	0.31	0.40	0.28	0.22	<0.05	0.15	<0.05	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05
Hf	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ho	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
In	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Tablo 3.22 (devam): Beylerli jeotermal sahasındaki suların iz element dağılımları. Lokasyonlar 1-17 arası numaralarla gösterilmektedir.

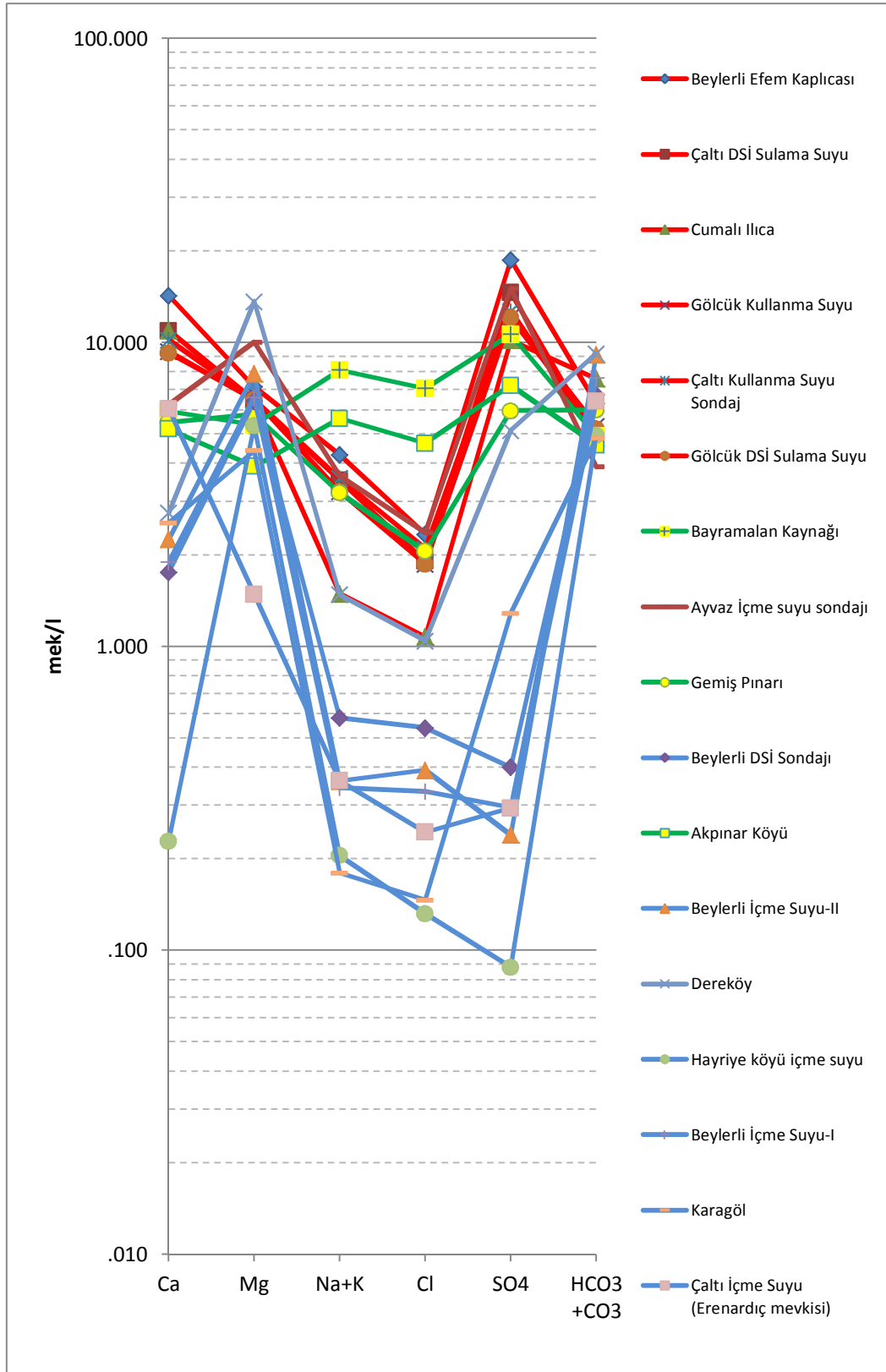
Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
La	0.04	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.01	0.03	0.02	0.22	0.03	0.01	0.01	0.02
Li	63.60	50.80	24.38	39.53	44.60	37.19	24.36	41.20	18.60	2.40	20.29	1.30	2.40	0.60	1.10	14.60	2.90
Lu	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Mn	11.88	0.76	0.47	1.14	0.50	0.59	0.13	8.12	0.24	0.44	0.10	0.23	10.54	0.25	0.17	0.36	0.13
Mo	0.60	1.20	2.97	3.59	1.40	3.44	0.55	3.00	1.05	0.50	0.43	0.50	1.40	0.20	0.40	2.00	0.60
Nb	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nd	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ni	<0.2	<0.2	2.50	0.63	<0.2	5.31	<0.2	4.60	<0.2	1.20	<0.2	0.90	5.00	0.40	0.20	38.30	0.30
P	30.00	26.00	23.44	26.56	34.00	28.13	43.64	<10	37.50	53.00	28.57	69.00	322.00	18.00	58.00	27.00	13.00
Pb	0.60	1.00	1.72	0.31	0.20	0.16	0.36	0.40	1.95	0.10	0.29	0.10	2.80	12.20	0.10	<0.1	0.70
Pd	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Pr	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pt	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Rb	11.26	8.58	6.73	6.38	8.78	6.06	4.35	4.14	2.69	0.66	3.64	0.36	0.84	0.20	0.60	1.21	0.44
Re	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Rh	0.14	0.12	0.09	0.11	0.14	0.11	0.05	0.10	0.06	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ru	0.36	0.20	0.13	0.25	0.28	0.28	0.16	0.26	0.12	<0.05	0.11	<0.05	0.16	<0.05	0.07	<0.05	0.06
Sb	<0.05	<0.05	0.14	0.09	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	0.32	<0.05	<0.05	0.17	0.05
Sc	4.00	4.00	4.69	3.13	4.00	3.13	1.82	6.00	3.00	3.00	1.43	3.00	2.00	2.00	2.00	4.00	2.00
Se	1.20	<0.5	<0.5	0.94	<0.5	<0.5	1.82	1.00	<0.5	<0.5	1.14	<0.5	1.80	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Sn	0.34	0.12	0.34	0.27	<0.05	0.19	<0.05	0.30	0.12	1.00	0.09	<0.05	0.20	0.25	<0.05	0.26	<0.05
Ta	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Tb	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Te	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Th	1.00	0.12	0.09	0.16	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ti	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tablo 3.22 (devam): Beylerli jeotermal sahasındaki suların iz element dağılımları. Lokasyonlar 1-17 arası numaralarla gösterilmektedir.

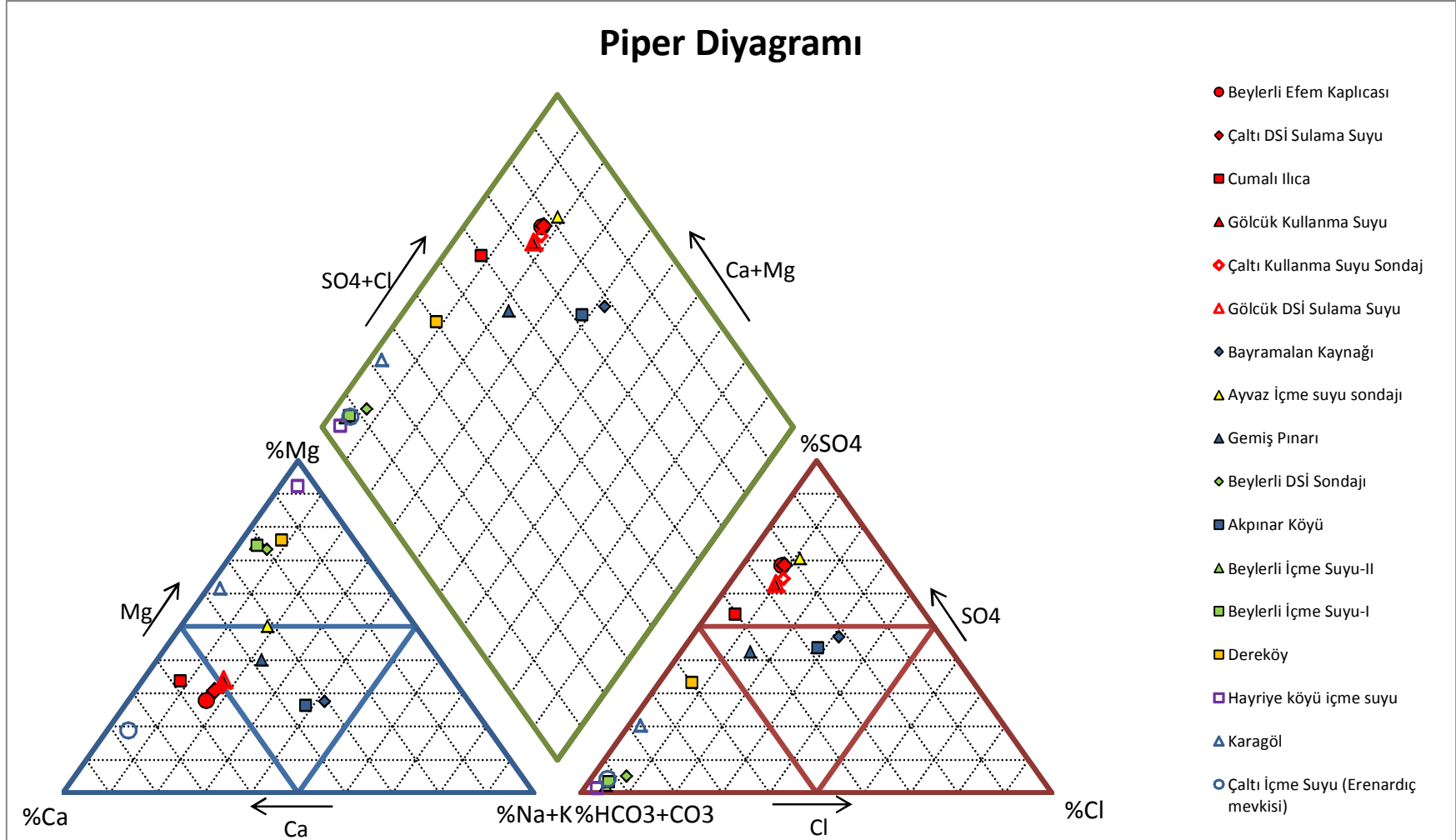
<b>Element</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
Tm	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
U	0.36	0.64	1.80	1.39	0.56	1.33	0.11	0.60	0.71	0.23	0.11	0.14	7.08	<0.02	0.08	0.72	0.41
V	0.60	2.40	1.88	2.19	3.20	2.19	0.91	3.20	1.50	3.30	0.86	5.90	11.00	<0.2	5.50	3.50	1.00
W	0.22	0.04	<0.02	<0.02	0.14	<0.02	0.05	0.06	<0.02	<0.02	0.04	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.16	<0.02
Y	0.04	<0.01	0.05	0.02	0.02	0.02	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.01	0.14	0.04	0.01	0.05	0.02	0.02
Yb	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	14.60	12.00	3.75	10.78	7.60	7.97	2.18	88.60	2.70	1.10	2.00	4.60	5.60	1.80	8.80	1.50	1.00
Zr	0.12	<0.02	0.05	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	0.16	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

Schoeller (1955) anyon ve katyon konsantrasyonlarını göstermek için yarılogaritmik diyagram kullanmayı önermiştir. Bu diyagramda y ekseninde majör iyonların logaritmik mek/l değerleri x ekseninde de majör iyon türleri yer almaktadır. Çalışma bölgesinden toplanan sular Schoeller diyagramına koyulmuş ve Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Schoeller diyagramı incelendiğinde, Beylerli, Çaltı ve Gölcük sularının benzer olduğu, Cumalı ılıcasının ise bu sulara göre Na ve Cl derişiminin az olduğu, Bayramalan ve Akpınar kaynaklarının birbiriyle benzer, diğerleri ile özellikle Na ve Cl içeriği bakımından oldukça farklı, Gölcük içme suyunun diğer soğuk sulardan özellikle Na içeriği açısından farklı olduğu görülmektedir. Diğer soğuk sulardaki majör iyon dağılımı yaklaşık olarak genelde birbirine paraleldir. Bu suların beslenme bölgesindeki litolojilerin kireçtaşı ve/veya dolomit olmasına ya da beslenme bölgesinde ofiyolit-kireçtaşı sınırı olmasına bağlı olarak Ca ve Mg içeriklerinde değişimler görülmektedir. Ayrıca benzer litolojilerde dolaşım mesafeleri ve sürelerindeki farklılıklar, diyagramda birbirlerine paralel olmalarına; ancak farklı konsantrasyonda iyon içermelerine sebep olmaktadır.

Suların hidrojeokimyasal sınıflandırma yöntemlerinden biri de Piper diyagramıdır (Piper, 1944). Bu diyagramda, biri katyon ve biri anyon için iki adet eşkenar üçgen ve bir adet her kenarı eşit uzunlukta paralelkenardan oluşur. Diyagramda katyonlar ve anyonlar kendi içlerinde mek/l yüzdeleri hesaplanarak çizilmektedir. Katyon üçgeninde Ca, Mg, Na+K, anyon üçgeninde SO<sub>4</sub>, Cl, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> iyonlarının yüzdeleri gösterilmektedir. Şekil 3.14'de çalışma alanındaki suların Piper diyagramındaki yerleri görülmektedir. Piper diyagramı incelendiğinde, Akpınar, Bayramalan ve Gemiş pınarı sularının katyon ve anyon üçgenlerinde baskın tür olmayan benzer alana düştükleri, sıcak ve ılık suların Cumalı ılıcasının biraz sapması haricinde genelde benzer oldukları, Gölcük içme suyunun tamamen farklı litolojilerden geldiği, Beylerli içme suyu I-II ve Beylerli DSİ sulama suyunun aynı akiferden geldiği, Karagöl suyunun diğer soğuk sulara göre Cl ve SO<sub>4</sub> deriminin fazla olduğu, Ayvaz içme suyunun sıcak sularla benzer ancak kondüktif soğumuş olabileceği görülmektedir.



Şekil 3.13: İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramında gösterimi.



Şekil 3.14: Çalışma alanındaki suların Piper diyagramında gösterimi.

### 3.5.3 Suların doygunluk indeksleri

Denge sabitleri kullanılarak hesaplanan doygunluk indeksleri (SI), mineral çözünme ve çökeltme ilişkilerini anlamada faydalı bir yöntemdir. Doymuluk indeksi; çözelti sıcaklık ve basıncında, çözülmüş bileşenlerin analiz edilmesiyle hesaplanan denge sabitleri (Q) ile termodinamik yollarla hesaplanan (Gibbs enerjisi) veya laboratuvarında belirlenmiş denge sabitlerinin (K) logaritmalarının oranlanması ile hesaplanır (3.13).

$$SI = \frac{\log Q}{\log K} \quad (3.13)$$

SI > 0 ise çözeltinin o mineralce doymuk ve çökeltme eğiliminde olduğu, SI < 0 ise çözeltinin o minerali çözme eğiliminde olduğu, SI = 0 veya sıfıra yakın bir değerse o mineralle dengede olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada inceleme alanındaki sıcak ve ılık suların örnekleme sıcaklığındaki doymuluk indeksleri WATCH 2.1 (Bjarnason, 1994) yazılımıyla belirlenmiş, sonuçları Tablo 3.23'de verilmiştir.

Tablo 3.23 incelendiğinde, her lokasyonda benzer minerallerin çökeltme ve çözünme eğiliminde olduğu görülmektedir. Çökeltme eğiliminde olan mineraller; pirit, markasit, pirotit, epidot, manyetit, götit, muskovit, Ca-, Mg-, Na- ve K-montmorillonit, laumontit, mikroklin ve talktır. Kalsit, kuvars, florit, albit, kalsedon ve adularya mineralleri çökeltme eğiliminde gözükse de değerleri sıfıra oldukça yakındır ve dolayısıyla denge halinde olabilirler. Benzer durum, çözünme eğiliminde görülen anhidrit, analsim ve amorf silis içinde geçerlidir. Çözünme eğiliminde olan mineraller, prehnit, krizotil, wairakit, zeosit, vollastonit ve Mg-klorittir.

Tablo 3.23: Çalışma alanındaki sıcak ve ılık suların mineral doygunluk indeksleri

Lokasyon	Efem Kaplıcası (38.5°C)	Çaltı DSİ (28.2°C)	Çaltı Kullanma (27.1°C)	Gölcük DSİ (26.3°C)	Gölcük Kullanma (27.3°C)	Cumalı ılıca (27.8°C)
Adularya	0.04	0.38	0.41	0.42	0.27	0.39
Anhidrit	-0.17	-0.41	-0.49	-0.55	-0.53	-0.53
Mg-Klorit	-4.85	-3.03	-4.46	-1.96	-4.50	-4.79
Laumontit	2.04	2.41	2.43	2.52	2.27	2.78
Ca-Montmor.	12.99	12.83	15.14	12.78	14.60	17.96
Na-Montmor.	4.69	4.67	5.86	4.66	5.56	6.86
Pirotit	231.03	236.52	237.11	237.54	237.00	236.73
Wairakit	-1.96	-1.89	-1.91	-1.84	-2.07	-1.54
Epidot	148.80	149.88	150.01	150.10	149.99	149.93
Krizotil	-1.60	-0.30	-1.34	0.32	-1.45	-1.67
Albit, (low)	0.44	0.72	0.77	0.76	0.60	0.59
Kalsit	0.64	0.78	0.58	0.89	0.58	0.72
Florit	0.50	0.42	0.36	0.32	0.38	-0.29
Mikroklin	1.93	2.38	2.41	2.43	2.27	2.39
K-Montmor.	3.54	3.60	4.75	3.58	4.48	5.91
Muskovit	4.69	4.94	5.30	5.05	5.28	5.51
Pirit	295.32	304.44	305.43	306.16	305.25	304.80
Vollastonit	-4.38	-4.10	-4.49	-4.01	-4.58	-4.54
Markasit	267.31	275.47	276.36	277.01	276.20	275.79
Sil. amorf.	-0.58	-0.56	-0.55	-0.60	-0.61	-0.49
Analsim	-0.36	-0.17	-0.14	-0.12	-0.25	-0.38
Kalsedon	0.24	0.30	0.32	0.27	0.25	0.38
Götit	106.82	107.17	107.21	107.24	107.20	107.19
Magnetit	134.49	135.38	135.48	135.55	135.46	135.41
Mg-Montmor.	13.39	13.24	15.58	13.26	15.08	18.37
Prehmit	-1.05	-0.48	-0.89	-0.21	-1.02	-0.71
Kuvars	0.58	0.65	0.67	0.62	0.60	0.73
Zeosit	-3.05	-2.81	-3.08	-2.56	-3.14	-2.77
Talk	1.53	3.04	2.06	3.63	1.81	1.84

### 3.5.4 Doğal izotoplarla suyun kökeninin ve yaşının araştırılması

Yeraltı suyunun geçtiği ortamlar, yeraltında kalma süresi ve bünyesinde çözdüğü bileşenlerin kökeni hakkında bilgiler, doğada izotopları olan oksijen, hidrojen ve kükürt gibi elementlerin izotop oranlarının standartlardaki değerleriyle karşılaştırılması sonucu elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu bölümde izotop tekniklerinden faydalanma yöntemleri, çalışma alanından toplanan suların doğal izotop içerikleri ve sonuçlardan elde edilen yorumlarla ilgili bilgiler verilmiştir.

#### 3.5.4.1 Döteryum ve <sup>18</sup>O izotopları

Suların döteryum ve oksijen-18 kompozisyonları genelde SMOW (Standart Mean Ocean Water) standardına göre ölçülmektedir (Fritz ve Fontes, 1980). Yeraltı suyunu besleyen yağış sularının büyük bir kısmı denizlerden buharlaşarak yoğunlaştığı için özellikle bu standardın seçimi amaca oldukça uygundur (Domenico ve Schwartz, 1990). Buharlaşma ve sonraki aşama olan yoğunlaşma atmosferdeki su buharının izotop

kompozisyonunu önemli miktarda değiştirdiği için birçok bölgedeki yağmur ve kar sularının izotop bileşimi deniz suyundan farklı olur. Suyla dengede olan su buharının  $\delta^2\text{H}$  değeri 80‰ oranında,  $\delta^{18}\text{O}$  değeri 10‰ oranında azalır (Wallick ve diğ., 1984). Dolayısıyla, deniz suyuyla ( $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O} \sim 0\%$ ) dengede olan su buharının izotop değerleri  $\delta^2\text{H} = -80\%$  ve  $\delta^{18}\text{O} = -10\%$  olmalıdır. Bu su buharından yağış olarak düşecek ilk su damlalarının izotop kompozisyonu teorik olarak su buharıyla benzer olmalıdır. Bu yağış damlalarının izotop içerikleri kimyasal reaksiyon nedeniyle su buharıyla aynı olmayabilir. Su ve su buharının izotop farklılaşması ( $\alpha$ ) (Fritz ve Fontes, 1980) matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\alpha = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Su}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Buhar}}} \quad (3.14)$$

veya del notasyonu olarak;

$$\alpha = \frac{1000 + \delta^{18}\text{O}_{\text{Su}}}{1000 + \delta^{18}\text{O}_{\text{Buhar}}} \quad (3.15)$$

Ancak hava ktellerindeki okyanus kökenli su buharı genelde suyla dengede değildir. Buhardaki oranlar beklenenden daha azdır. Bu azalımın miktarı sıcaklıkla karşılaştırılmıştır (Gat, 1980). Ekvator bölgesindeki kıyı bölgelerinden örneklenen yağmur sularının izotop bileşimi çok az farklı olsa da deniz suyununkine yakındır (Domenico ve Schwartz, 1990). Ekvatordan yüksek enlemlere doğru gittikçe yağmur sularının izotop oranları deniz suyuna göre daha da azalmaktadır. Örneğin, Amerika ve Kanada'nın batı şeridi boyunca alınan örneklerdeki  $\delta^2\text{H}$  değeri -22 ile -101‰ arasında değişirken  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri -4 ile -14‰ arasında değişmektedir (Gat, 1980). Bu durum ‘‘enlem etkisi’’ olarak tanımlanır ve sıcaklık değişimi kontrolünde gerçekleşerek su buharının yoğuşup yağmur olmasıyla ağır izotoplar tercihli olarak yağışa geçeceği için atmosferdeki su buharı bu izotoplarca fakirleşir (Domenico ve Schwartz, 1990). Bu şekilde devam eden sürece Rayleigh prosesi denir. Düşük sıcaklıklarda izotop ayrımılaşması (atmosferdeki su ve su buharı arasındaki) daha belirgin olduğu için kıta ilerine ve yüksek, soğuk bölgelere doğru hareket eden su buharının ağır izotoplarca fakirleşmesi de daha belirginleşmektedir. Sıcaklığın izotop ayrımılaşması üzerine etkisi, karın neden yağmur sularına göre  $^2\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$ 'ce azaldığını açıklamaktadır (Domenico ve Schwartz, 1990).

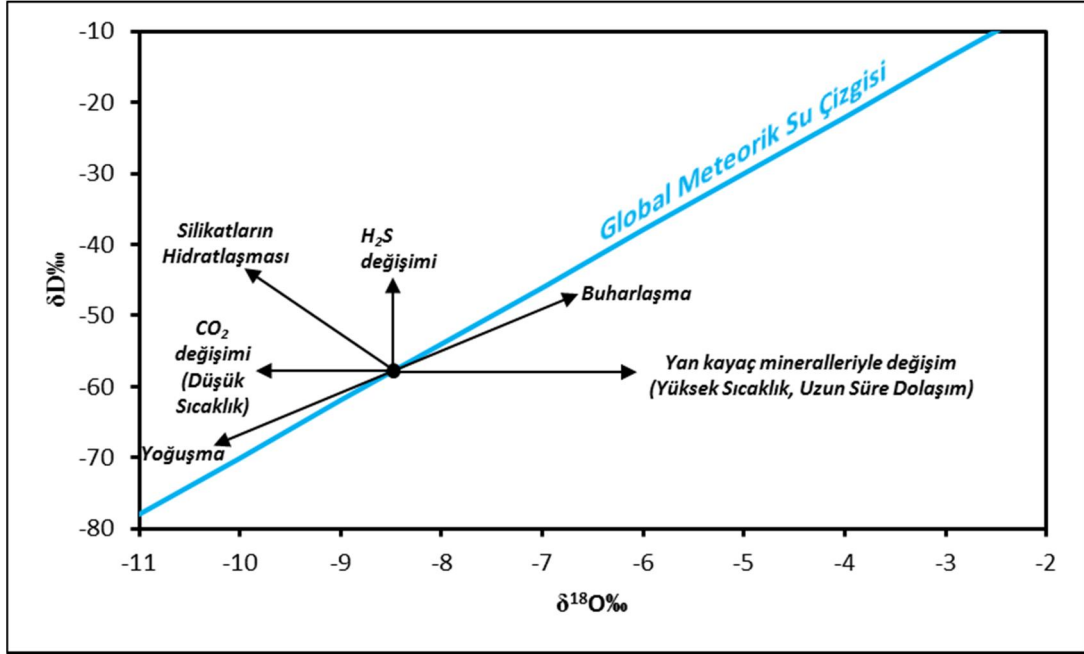
Yağmur suyunun izotop bileşimindeki farklılıkların, atmosferdeki su buharının hareketi esnasında farklı zamanlarda ve sıcaklıklarda geçirmiş olduğu yoğuşma süreçleriyle ilgili olduğunu düşünürsek, farklı yerlerden toplanan yağmur suyu örnekleri arasında bir bağıntı olması gerekliliği ortaya çıkar. Nitekim dünyanın farklı bölgelerindeki yağmur sularının  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinden bir grafik oluşturulduğunda değerlerin, meteorik su doğrusu olarak bilinen (Craig, 1961), yaklaşık düz bir çizgi boyunca dizildiği görülür. Bu çizginin denklemi yaklaşık olarak  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10\%$  dur.

Meteorik su doğrusu,  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  verilerinin yorumlanmasında çok büyük önem arz eder ve kolaylık sağlar. Eğer bir suyun izotop kompozisyonu bu doğru üzerine düşerse, suyun kökeninin atmosferik olduğu ve izotop içeriğini değiştirecek diğer proseslerden etkilenmediği anlaşılır. Meteorik su doğrusundan sapmalar diğer izotop proseslerinin gerçekleştiğini işaret eder. Birçok durumda bu prosesler  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin değişimini özgün bir şekilde etkiler ve prosesi anlamamızda kolaylık sağlar. Şekil 3.15’de çeşitli proseslerin suyun izotop bileşimini grafik üzerinde nasıl etkilediği ve orijini meteorik olan suların meteorik su doğrusundan ne yöne saptmaya uğradıklarını göstermektedir.

Yaygın olarak izotop bileşimindeki saptmaya etki eden iki proses görülür. Bunlar suyun buharlaşması ve yan kayaç mineralleriyle değişim şeklindedir (Fontes, 1980). Herhangi bir doğal su birikintisinden, örneğin göl, buharlaşma olursa, su ağır izotoplarca zenginleşir. Buharlaşma doğrusu (Şekil 3.15) uzatılarak meteorik su çizgisiyle kesiştirilen noktadaki değerler, suyun değişime uğramadan önceki ilksel kompozisyonu olarak düşünülür. Buharlaşma doğrusu boyunca meteorik doğrudan uzaklaştıkça buharlaşma miktarı artar.

Yeraltı suyu ve mineraller arasındaki izotop değişimleri, havza bazındaki yeraltı dolaşimleri ve jeotermal sistemlerle ilgili bilgiler verir. Göreli olarak yüksek sıcaklık, hidrojen ve oksijenin fazlar arasında dengeye gelinceye kadar değişmesine neden olur (Domenico ve Schwartz, 1990). Bu denge durumu minerallerin fraksiyonlanma faktörleriyle tanımlanır. Savin (1980), çeşitli minerallerin fraksiyonlanma faktörlerini özetlemiş ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiklerini tanımlamıştır. Minerallerin genel bileşimini silikatların oluşturması ve yapılarındaki hidrojen miktarının az olmasına bağlı olarak, su-mineral etkileşiminde  $\delta^{18}\text{O}$ , sıcaklığa ve dolaşım süresine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.15). Bu değişimin yatay bir

şekilde doğru orantılı olarak değişmesi, sıcaklık artışı ve akışkanın temas süresiyle, ters orantılı olarak değişmesi su-kayaç oranıyla ilgilidir (Truesdell ve Hulston, 1980). Yellowstone doğal parkı, Steamboat kaynakları, Wairaki ve Salton denizi,  $\delta^{18}\text{O}$  değişimine en bariz örneklerdir (Domenico ve Schwartz, 1990).

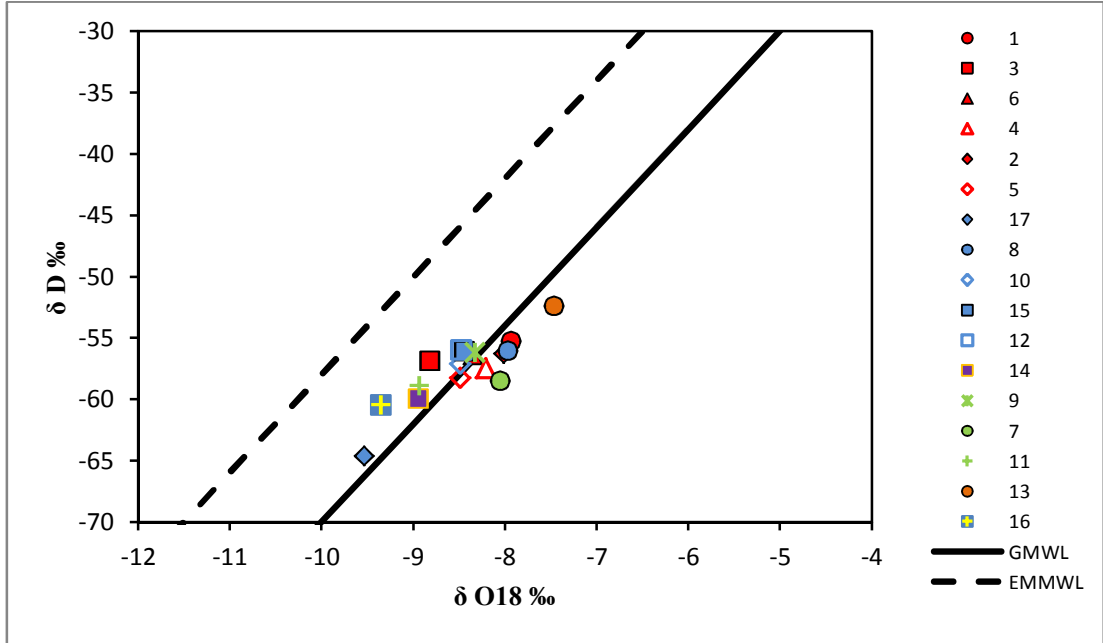


Şekil 3.15: Çeşitli prosesler sonucunda orijini meteorik olan suyun izotop kompozisyonunun meteorik su doğrusundan sapmaları (IAEA Rapor No. 288, 1983'den düzenlenmiştir).

İnceleme alanı sularının kökenlerinin belirlenmesi ve rezervuar sıcaklıklarına kalitatif bir yaklaşım sağlanması amacıyla sulardan  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  duraylı izotop analizleri yaptırılmış ve sonuçları Tablo 3.24'de verilmiştir. Döteryum değerleriyle kotlar arasında yüksekliğe bağlı olarak değişen bir ilişki görülememiştir. Analiz sonuçları  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  diyagramına yerleştirildiğinde, suların genel olarak Dünya Meteorik Su Çizgisi-GMWL ( $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ ) ile Doğu Akdeniz Meteorik Su Çizgisi-EMMWL ( $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22$ ) arasında kaldığı gözlenmektedir (Şekil 3.16). Bu diyagrama göre inceleme alanı soğuk ve sıcak sularının meteorik kökene sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sıcak suların su-kayaç etkileşimine bağlı olarak GMWL doğrusundan sapma göstermemesi, bu suların yeraltında kalış zamanının az olmasının (su-kaya etkileşiminin olmaması), rezervuar sıcaklığının düşük olmasının (<100 °C) ya da sıcak suların yüzeye yükselirken soğuk yeraltı suları ile karıştığının bir göstergesidir.

Tablo 3.24:Çalışma bölgesinden toplanan suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri.

No	Lokasyon	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$
1	Beylerli Efem Kaplıcası	-55.25	-7.93
3	Cumalı ılıca Keson kuyu	-56.89	-8.82
6	Gölcük DSİ sulama suyu	-56.34	-8.35
4	Gölcük kullanma suyu	-57.47	-8.21
2	Çaltı DSİ sulama suyu	-56.25	-8.01
5	Çaltı kullanma suyu	-58.23	-8.49
17	Çaltı içme suyu (Erenardıç)	-64.58	-9.54
8	Ayvaz içme suyu	-56.06	-7.96
10	Beylerli DSİ sondajı	-57.12	-8.49
15	Beylerli içme suyu-I	-56.12	-8.44
12	Beylerli içme suyu-II	-56.01	-8.48
14	Hayriye kaynağı	-59.98	-8.95
9	Gemiş kaynağı	-56.13	-8.33
7	Bayramalan Kaynağı	-58.50	-8.05
11	Akpınar kaynağı	-58.87	-8.94
13	Dereköy sarnıç	-52.39	-7.46
16	Karagöl kaynağı	-60.44	-9.36



Şekil 3.16: Global su doğrusu üzerinde sahadan toplanan sulardaki  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  dağılımları.

### 3.5.4.2 Yeraltı suyunun yaşlandırılması

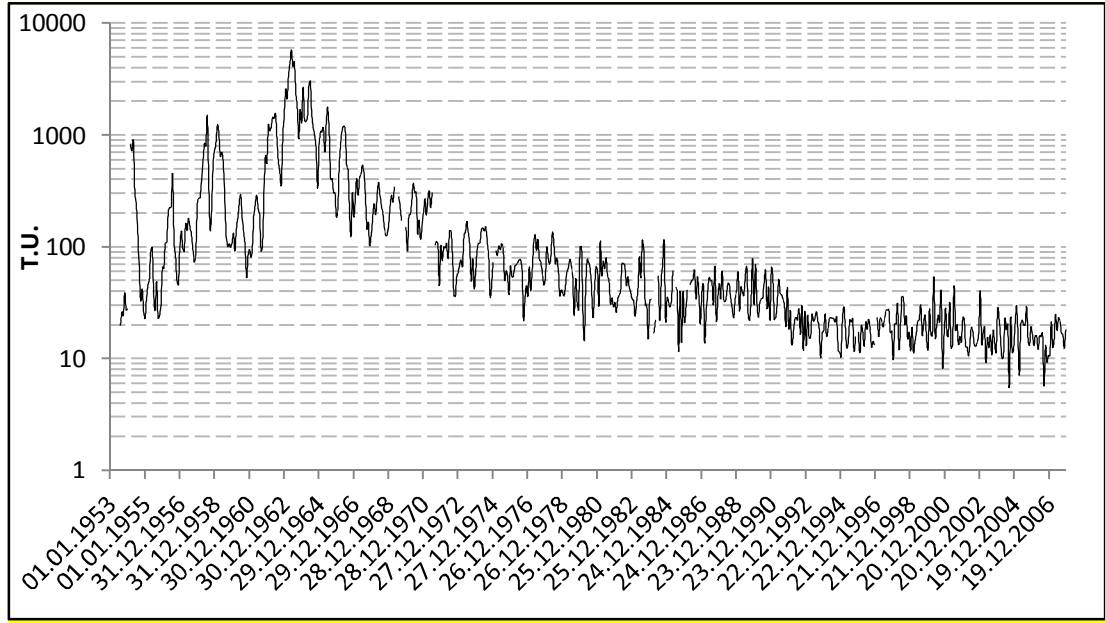
Bütün yer altı suyu yaşlandırmaları, radyoaktif bileşiklerin yarılanma ömürlerinin kinetik özelliklerini kullanarak ve bunların dağılımlarının yorumlanmasıyla yapılır

(Domenico ve Schwartz, 1990). Kütlenin bir sistem içerisinde veya yer altı suyunda kaldığı zaman (t) matematiksel olarak (3.16) nolu denklemde gösterilmiştir.

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \left( \frac{A_0}{A_{ölç}} \right) \quad (3.16)$$

Bu denklemde,  $t_{1/2}$  radyoaktif elementin yarılanma ömrünü,  $A_0$  kütlenin yeraltı suyuna ilk girdiği miktarı,  $A_{ölç}$  örneklenen numunenin içindeki radyoaktif element miktarını göstermektedir. Yeraltı suyu çalışmalarında trityum ( $^3\text{H}$ ,  $t_{1/2} = 12.26$  yıl) ve karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ,  $t_{1/2} = 5730$  yıl) yaygın olarak kullanılmaktadır; ancak her ikisi için de yaşlandırmada bazı sınırlar vardır. Trityumun göreceli olarak az olan yarılanma ömründen dolayı kullanımı 50 yıldan genç olan sularda anlamlıdır (Domenico ve Schwartz, 1990). Yarılanma ömrü daha uzun olan  $^{14}\text{C}$  ile 40000 yıla kadar yaşlandırmalar yapılabilmektedir. Ancak ölçülen karbon-14 miktarına radyoaktif bozunmadan başka proseslerin de etki edebilir olması karbon-14 değerlendirmelerini zorlaştırmaktadır (Domenico ve Schwartz, 1990). Sudaki trityum konsantrasyonları trityum birimi (TU) olarak gösterilmektedir ve 1 TU,  $10^{18}$  hidrojen atomunda 1 atom  $^3\text{H}$  miktarına denk gelmektedir (Fontes, 1980). Atmosferde trityum doğal olarak oluşmaktadır ve yağış suyundaki miktarı genelde 20 TU'dan azdır (Domenico ve Schwartz, 1990). Ancak, 1952 ve 1963 yılları arasında yapılan termonükleer testler atmosferdeki doğal oluşmuş trityum miktarını değiştirmiştir. Kanada-Ottawa'da uzun bir dönem boyunca yapılan yağmur suyundaki trityum gözlemleri, nükleer testler boyunca trityum değerlerinin sıklıkla 1000 TU'dan büyük olduğunu göstermiştir (Şekil 3.17). 1963 yılındaki son nükleer denemeden sonra trityum değerlerinde azalma başlamıştır. İdeal olarak, yağış suyundaki trityum miktarı ve örneklenen yer altı suyundaki trityum miktarı bilinirse, suyun yaşı hesaplanabilir. Ancak, birçok durumda trityumdan yaşlandırma bu şekilde yapılamamaktadır. Bu konuda temel sorun atmosferdeki trityum miktarının belirsiz ve kompleks olmasıdır (Domenico ve Schwartz, 1990). Ayrıca birçok bölgede trityum miktarlarının zamansal değişimleriyle ilgili ya yetersiz sayıda veri vardır ya da hiçbir veri bulunmamaktadır. Bir bölgede trityum geçmişiyile ilgili veri bulunmadığında Ottawa, Kanada'daki gibi bazı lokal bölgelerde uzun süre yapılan ölçümler referans alınarak yaşlandırma yapılabilir. Yağmur sularındaki trityum miktarlarının zaman içerisindeki kompleks değişimleri ve bölgesel verinin olmaması trityum değerlendirmelerinde varsayımları zorlaştırmaktadır. Örneğin yer altı suyundaki trityum miktarının zaman içerisindeki

dağılımının bilinmemesi ve bu sudaki trityum miktarının 30 TU çıkması, bu suyun üç kez yarılanmaya uğramış 1950'lerin sonuna mı ait olduğunu yoksa bir kez yarılanmış 1970'lerdeki suya mı ait olduğunu tam olarak kesinleştirmemektedir (Domenico ve Schwartz, 1990).



Şekil 3.17: Ottawa yağmur suyundaki trityum miktarlarının zamanla değişimi. Ölçümler aylık alınan örneklerden yapılmıştır (IAEA (2006), İzotop hidrolojisi bilgilendirme sistemi . Grafik çiziminde kullanılan veriler <http://www.iaea.org/water> adresinden alınmıştır.)

Trityum esas olarak, 1952 öncesindeki yaşlı sularla sonrasındaki genç suları ayırmada kullanılır. Bu kullanım şekli şu varsayıma dayanmaktadır; 1952 öncesindeki bir suyun trityum değeri 5 TU olduğu varsayılırsa 1988'de bu değer maksimum 0,6 TU olur ve bu değer zenginleştirme yöntemlerine rağmen ölçülebilir minimum değerlere yakın olur. Böylece içinde trityum bulunan su, 1952 sonrasındaki bir zamanda yağışla akifere girmiş olacak ve yaşı 50 yıldan genç olacaktır. Analizlerde trityuma rastlanmayan numunelerin yaşı ise 50 yıldan fazla olacaktır (Fontes, 1980).

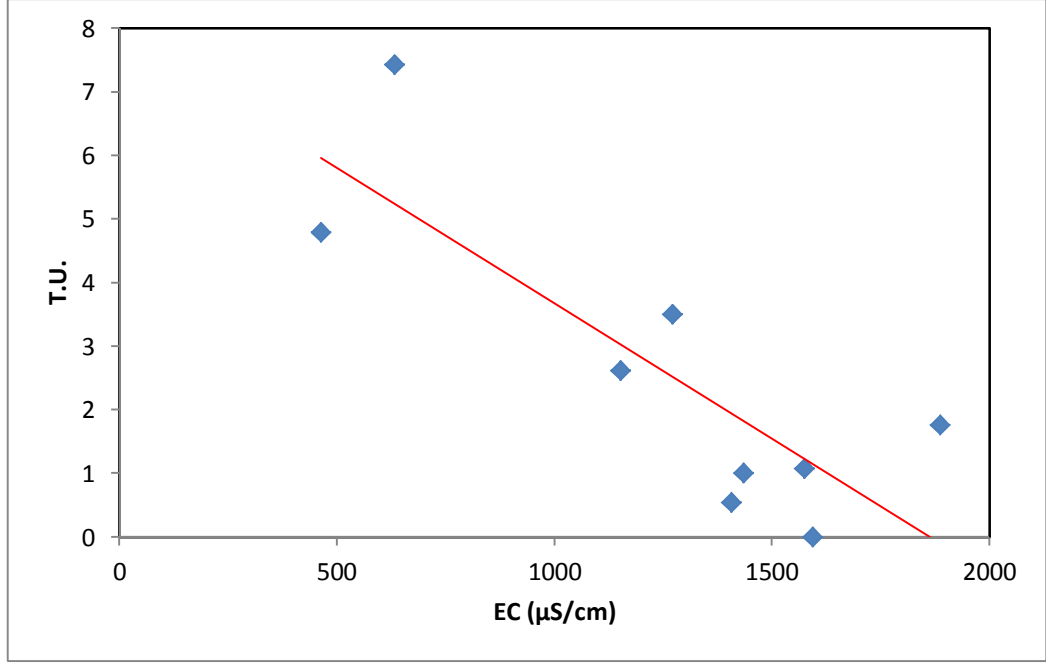
İnceleme alanından alınan numunelerin trityum analiz sonuçları Tablo 3.25'de verilmiştir. Bölgede yağın yağmur sularının geçmiş yıllara ait trityum değerlerinin bilinmemesi sulara tam olarak yaş vermemizi engellemektedir. Tam yaş vermek yerine, Cumalı keson kuyu suyunun ve ayvaz içme suyunun trityum değerlerinin sıfır ve sıfıra yakın çıkması bize bu suların 50 yıldan yaşlı olduğunu göstermektedir. Diğer suların ilk trityum değerlerinin benzer olduğu varsayılırsa rölatif olarak en

genç suyun Erenardıç mevkisinden gelen çaltı içme suyu olduğu görülür. Aynı varsayım ile sıcak sular arasında Beylerli Efem kaplıcası diğerlerinden daha genç, Çaltı ve Gölcük sularının yaşları benzer ve Cumalı ılıca suyu ise en yaşlı olanıdır.

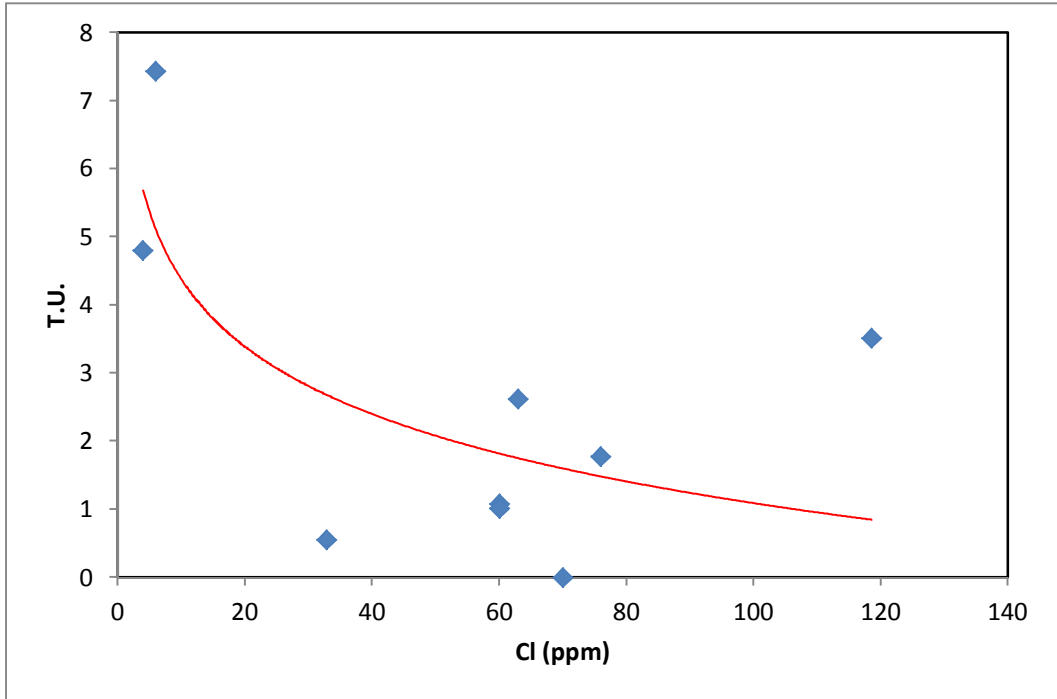
Tablo 3.25:Çalışma alanından toplanan suların trityum dağılımları.

No	Lokasyon	T.U.
1	Beylerli Efem Kaplıcası	1.77
2	Çaltı DSİ Sulama Suyu Sondajı	1.08
3	Cumalı ılıca	0.55
4	Gölcük Kullanma Suyu Sondajı	1.01
8	Ayvaz İçme İçme Suyu Sondajı	0.00
9	Gemiş Kaynağı	2.62
11	Akpınar Kaynağı	3.51
14	Hayriye Kaynağı	4.80
17	Çaltı İçme Suyu	7.43
	Ekim ayı yağmur suyu	5.49
	Şubat ayı yağmur suyu	7.26

Suların genellikle yaşları 50 yıldan gençtir. Ekim ve Şubat aylarında alınan yağmur sularının trityum değerleri bu kadar kısa sürede bile yaklaşık 2 T.U'luk farklılık göstermektedir. Bu da daha önce bahsedilen atmosferdeki trityum dağılımının kompleks ve belirsiz olduğunun bir göstergesidir. Dolayısıyla ölçülen T.U değeri yüksek çıkan suyun ilk trityum miktarı, ölçülen T.U değeri düşük olan suyun ilk trityum miktarından az olabilir. Sonuçta görece olarak genç gözükse de su daha yaşlı olabilir. Bütün bu belirsizliklerden dolayı trityumla göreceli yaşlandırma yapılırken Cl ve elektriksel iletkenlikle olan korelasyonuna bakılmaktadır. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da görüldüğü gibi rölatif yeraltında kalma ve kayaçlarla reaksiyona girme süresi arttıkça genel olarak suların tuzlulukları da artmaktadır. Bu da belirsizliklere rağmen rölatif karşılaştırmanın doğru olabileceğini göstermektedir.



Şekil 3.18: Suların trityum değerleri ile elektriksel iletkenliği arasındaki ilişki. Suların yeraltında kalma süreleri, dolayısıyla çözülmüş iyon miktarları arttıkça elektriksel iletkenlikleri de genel olarak artmaktadır.



Şekil 3.19: Suların trityum değerleri ile çözdüğü klor değerleri arasındaki ilişki. Yaşlı sularda çözülmüş klor miktarı genel olarak artma eğilimindedir.

#### 4. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Kimyasal ve izotop jeotermometreler, jeotermal kaynak araştırmalarında ve geliştirilmesinde en önemli araçlardan birisidir. Ayrıca jeotermal bir sahanın işletilmesi aşamasında rezervuarın üretime tepkisinin gözlenmesi açısından da oldukça önemlidir. Araştırma evresinde, sıcak su ve fumerollerden alınan örneklerin analiz edilmesiyle bölgede yapılacak olan sondajlarda karşılaşılması muhtemel sıcaklıklar, jeotermometre hesaplamalarıyla bulunmaya çalışılır. Sondaj alışmaları ve üretim testleri gibi daha sonraki aşamalarda jeotermometre, kuyu içindeki üretim zonunun yorumlanmasında da kullanılabilir.

Arnórsson (2000)'a göre jeotermometreler üç grup altında toplanmaktadır:

- 1.Su ya da çözelti jeotermometreleri
- 2.Buhar ya da gaz jeotermometreleri
- 3.İzotop jeotermometreleri

Su ve buhar jeotermometreleri kimyasal jeotermometre olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal akışkan rezervuardan yüzeye doğru yükselirken, termal enerjisi daha düşük olan kayaçların çatlak ve boşluklarından geçerek kondüktif soğuyabilir. Ayrıca termal akışkanın yüzeye çıkarken soğuması, basınç düşmesine bağlı olarak gerçekleşen kaynama ve bunun sonucunda gelişen adiyabatik soğumadan olabildiği gibi yüzeydeki sığ ve soğuk sularla karışmasından da kaynaklanabilmektedir. Kondüktif soğuma, eğer yavaş gelişir ve bu esnada sıcaklık düşümüne bağlı bir takım reaksiyonlar gerçekleşerek bazı bileşenlerin doyunluğa ulaşıp çökelmesine neden olmazsa, tek başına termal akışkanın kimyasal ve izotop bileşimini etkilememektedir. Adiyabatik soğuma ise akışkanın kaynamasıyla oluşmakta ve bu esnada termal akışkanda özünmüş H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, He vs. gibi uçucu ve yoğuşmayan gazlar sıvı fazdan ayrılarak akışkanın kimyasal bileşimini değiştirmektedir. Ayrıca kaynama, çözelti içindeki bileşenlerin görel olarak derişmesine ve buna bağlı olarak doyunluğa ulaşan bazı bileşenlerin çökelmesiyle suyun kimyasının değişmesine neden olmaktadır. Kondüktif ve adiyabatik soğuma öncesi rezervuar sıcaklığını

belirleme çalışmaları jeotermometre kullanımının temel uygulamasını oluşturmaktadır. Jeotermometre uygulamalarında, rezervuardan yükselen suların kimyasal bileşenlerinin değişmediği varsayılır. Bu durum kondüktif soğuma için genelde geçerlidir. Adiyabatik soğumada ise maksimum buhar kaybı olacak şekilde (sıcaklığın adiyabatik olarak 100°C'ye kadar düşmesi) düzenlenmiş jeotermometrelerle bir yaklaşım yapılmaya çalışılır. Kondüktif ısı kaybı miktarı, yükselen jeotermal akışkanın aldığı yol miktarıyla doğru, debisiyle ters orantılıdır. Yeraltı veya akifer sıcaklığının tahmininde jeotermometreler kullanılırken şu varsayımlar kabul edilir; Sıcaklığa bağlı kimyasal ve izotopsal dengeler rezervuarda sağlanmıştır, ayrıca akışkan yükselirken kimyasal ve izotopsal reaksiyonlar akışkanın kimyasal bileşimini önemli miktarda değiştirmemektedir.

Dengede olma varsayımı her zaman gerekmez ve her bölge için bu durum ne bir fizikokimyasal yasa ne de jeokimyasal bir gerçektir (Arnórsson, 2000). Dünyadaki birçok jeotermal alandan elde edilen verilerle, bazı minerallerin akışkanla genelde dengede olduğu anlaşılmış ve bu durumdan faydalanmak için özel mineral-çözelti denge sabitleri ve sıcaklığa bağlı formülleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda, kuvars polimorfları ile alkali feldispatların çözeltilerle arasındaki sıcaklığa bağlı denge durumları araştırılmış ve formüsel yaklaşımlar yapılmaya çalışılmıştır. Kuvars jeotermometreleri özellikle sıcaklıkları 150-180°C aşan jeotermal rezervuarlar için doğru sonuçlar vermektedir (Arnórsson, 2000).

Birçok kimyasal ve izotop jeotermometre uygulamalarında çoğu zaman benzer sonuçlar çıksa da bir o kadar da farklı sonuçlar çıkabilmektedir. Farklı jeotermometre sonuçlarının uyumlu çıkması, denge varsayımının doğru olduğunu ve sonuçların gerçek değerleri yansıtacağını göstermektedir. Genel olarak jeotermometre sonuçları birbirinden farklı ise bu bize, termal akışkanın yükselme bölgesinde soğuk sularla karışma veya kaynama gibi birçok farklı prosese girdiğini gösterir (Arnórsson, 2000). Bu yüzden sonuçların farklı çıkması, değerlendirmede belirsizliği arttırıcı bir unsur olarak görülmemelidir. Farklı jeotermometrelerin geçerli olduğu farklı sıcaklık aralıkları vardır ve soğuma ve kaynama gibi durumlarda verdikleri tepki ve tekrar dengeye gelme oranları farklıdır. Dolayısıyla jeotermometre uygulamaları, sadece sonuçların fonksiyonlara girilip sıcaklık değerlerini elde etmekten öte, jeotermal alanın diğer jeolojik parametreleri (beslenme bölgesi, tektonizma, karışım modelleri, litoloji vs.) de göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

#### 4.1 Su Jeotermometreleri

En önemlileri; silika (kuvars ve kalsedon), Na/K, Na-K-Mg ve Na-K-Ca jeotermometreleridir. Denge koşulları sağlandığı takdirde teorik olarak, herhangi bir kation oranı ve çözünmüş yüksüz türlerin konsantrasyonu jeotermometre olarak kullanılabilir. Su jeotermometrelerinin kalibrasyonu teorik ve ampirik yada jeokimyasal olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır (Arnórsson, 2000). Teorik kalibrasyon, laboratuvarında bazı özel türlerin mineral-çözelti reaksiyonlarının denge katsayılarının incelenmesiyle elde edilen verilere dayalıdır. Kuvars jeotermometreleri bu şekilde geliştirilmiştir. Jeokimyasal veya ampirik kalibrasyonlar, kuyulardan elde edilen akışkandaki kimyasal bileşenlerin, ölçülen rezervuar sıcaklıklarıyla korelasyonu sonucunda elde edilen bağıntılardır. Na/K, Na-K-Ca ve diğer birçok kation jeotermometresi bu şekilde kalibre edilmiştir. Bir jeotermometre için sıcaklık denklemi, spesifik mineral-çözelti reaksiyonunun denge sabitinin sıcaklık fonksiyonudur. Kuvars için bu reaksiyon:



Bu reaksiyon için denge sabiti şu şekildedir:

$$K_{\text{kvs}} = \frac{[\text{H}_4\text{SiO}_4^0]}{[\text{kuvars}][\text{H}_2\text{O}]^2} \quad (4.2)$$

Denklemdaki köşeli parantezler, çözünmüş türlerin ve fazların aktivitelerini göstermektedir. Kuvars genelde yapısında önemli miktarda olacak kadar yabancı bileşen içermemekte ve su eğer yeterince seyrelmiş veya çözünmüş bileşen fazla içermiyorsa (saf özelliklere yakınsa) aktiviteleri 1'e yakın olmaktadır. Böylece (4.2) numaralı denklem sadeleşerek (4.3) teki halini alır.

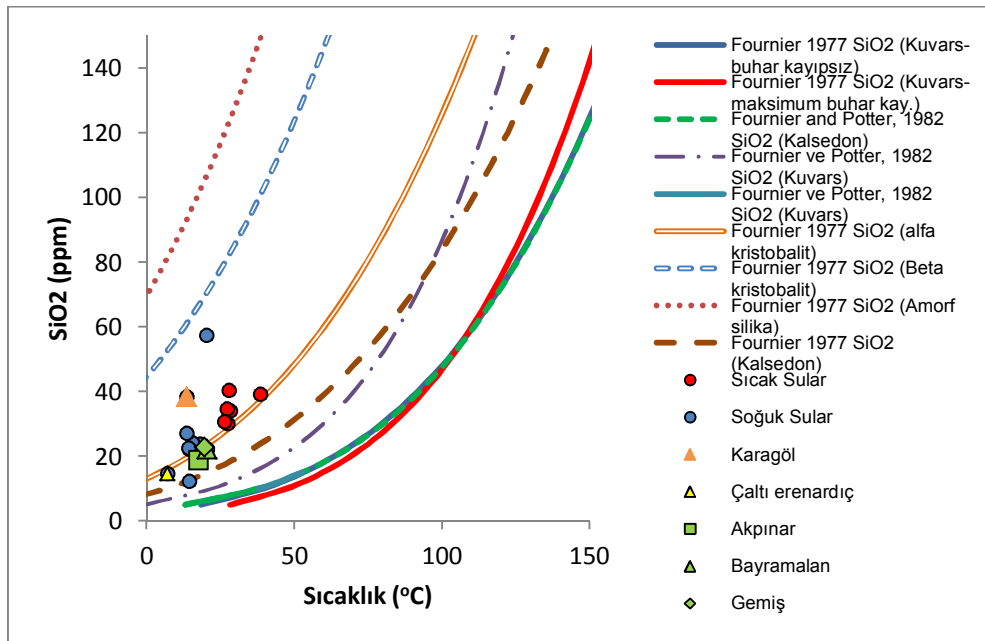
$$K_{\text{kvs}} \approx [\text{H}_4\text{SiO}_4^0] \quad (4.3)$$

$K_{\text{kvs}}$ 'nin farklı sıcaklıklardaki değerleri van't Hoff denklemiyle bulunabilir (3.12). Suda çözülmüş silikayla 0°C'yi aşan sıcaklıklarda kalsedon ve 150°C'yi aşan sıcaklıklarda ise kuvars saatler veya günler içerisinde dengeye gelmektedir. Bu süre sıcaklık kadar mineral ve çözelti arasındaki spesifik yüzeyle de alakalıdır (Arnórsson, 2000). Kuvarsın 50°C'nin altında dengeye gelmesi oldukça yavaştır (Arnórsson, 2000). Jeotermal sistemdeki akışkanın yükselim bölgesinde meydana gelebilen soğuma esnasında Li/Mg ve K/Mg kation jeotermometreleri, silika ve

Na/K jeotermometrelerinden daha çabuk dengeye ulaşmaktadır (Arnórsson, 2000). Termal akışkanın yükselirken soğuması sırasında minerallerin tekrar dengeye gelmesine suyun tuzluluğu da etki etmektedir. Tuzluluk arttıkça silika minerallerinin tekrar dengeye gelme hızı artarken, katyon jeotermometreleri için bu durumun tam tersi geçerlidir (Arnórsson, 2000).

#### 4.1.1 Silika jeotermometreleri

Doğada birçok silika polimorfu mevcuttur. Bunlar kuvars, kalsedon, amorf silika, moganit, tridimit, kristobalit, koesit ve stikovit'dir (Arnórsson, 2000). Kalsedon çok iyi gelişmiş küçük kuvars kristalleri içerir ve bu kristallerin yüzey enerjisi sayesinde kuvarstan daha çok suda çözünme özelliğine sahiptir (Arnórsson, 2000). Kuvars ve kalsedonun sudaki çözünürlüğü için birçok bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntılardan oluşturulan çeşitli kuvars minerallerinin sıcaklıkla çözünürlük ilişkileri ve örneklerin silika miktarlarıyla sıcaklık ilişkileri Şekil 4.1'de verilmiştir. Soğuk suların birçoğu ve sıcak suların bazıları alfa kristobalit eğrisinin üzerinde çıkmaktadır. Bu da sulardaki silikanın radyoaktif çörtlere çözünerek gelebileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.1: Fournier, 1977 ve Fournier ve Potter, 1982'nin geliştirdiği farklı sıcaklıklardaki kuvars türlerinin çözünürlükleri.

Suda çözülmüş silikanın hangi silika polimorfundan olduğu, ana kayadaki birincil minerallerin çözünme özelliklerine ve büyük oranda pH'la kontrol edilen suyun reaktivitesine bağlıdır. 50°C'nin altındaki sıcaklıklarda, CO<sub>2</sub> içeriği yüksek, düşük

pH'lı sulara silika mineralleri o kadar hızlı çözünürler ki amorf silika dışında ne kuvars ne de kalsedon'un çökme hızı, kinetik sebeplerden dolayı, bu hıza yetişir. Dolayısıyla bu tarz sular amorf silikayla denge halindedirler (Arnórsson, 2000).

Bazalt gibi volkanik kayalardaki mineraller görece olarak daha hızlı çözünürler. Düşük sıcaklıklarda kuvarsın çökme miktarı çözünme miktarından az olduğu için akışkan kalsedonla dengeye ulaşırken, 180°C'yi aşan sıcaklıklarda kuvarsla denge halinde olur (Arnórsson, 2000). Volkanik kayalardan daha az reaktif mineral içeren olgun sedimanter kayalarda dolaşan akışkanda 100°C'nin altında da kuvarsla denge görülebilir. Bunun sebebi aynı çökme oranına rağmen volkanik kayalardaki kadar çözünme oranının yüksek olmamasıdır (Arnórsson, 2000). Günümüzde volkanik kayaçların olduğu arazilerde 180°C'nin altındaki sıcaklıklar için kalsedon jeotermometresinin kullanılması önerilmektedir (Arnórsson, 2000).

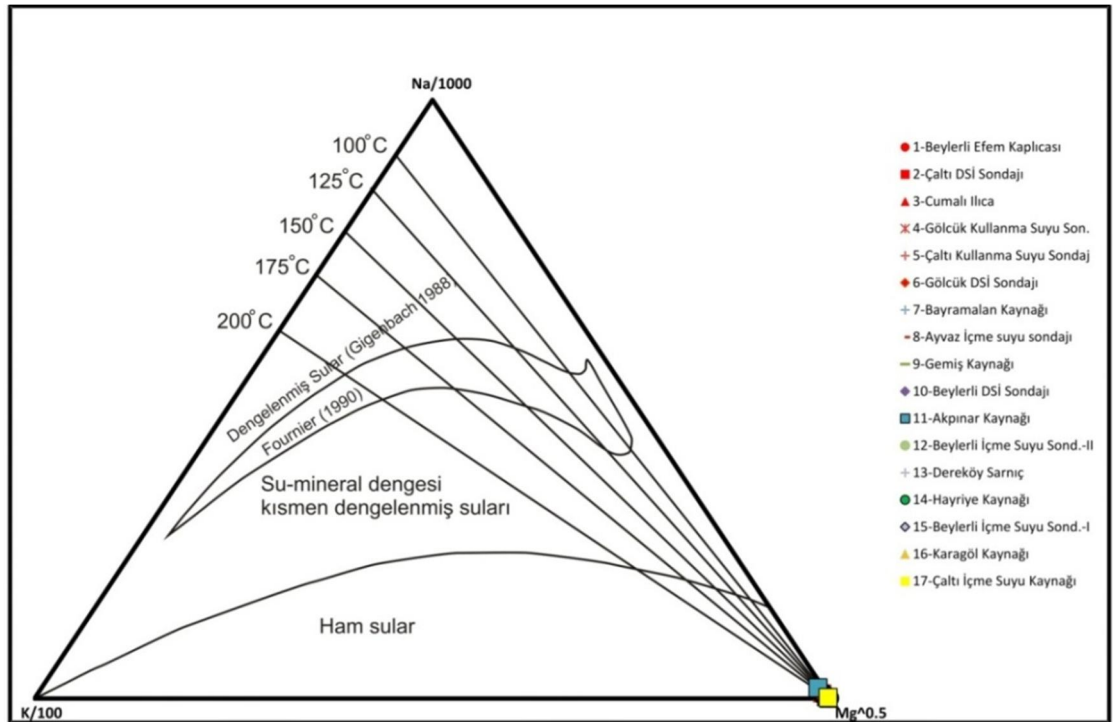
Amorf silika, çözüldükten kolayca ve çabucak çökelebilmekte ve bu yüzden nadiren de olsa bazı jeotermal kaynak suları amorf silikayla oldukça doymakta, bunun sonucunda da kaynak çıkışlarında sinter denilen çökelmiş silika yapıları oluşturmaktadır (Arnórsson, 2000).

Yaygın olarak rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesinde bütün silika jeotermometreleri kullanılmakta ve Rezervuar sıcaklığının, elde edilen en uç iki sıcaklık arasında olabileceği varsayılmaktadır. Bu çalışma kapsamında sahada gözlemlenen altı adet ılık ve sıcak su lokasyonundan alınan suların silika miktarlarıyla hesaplanan silika jeotermometre sonuçları Tablo 4.1'de kullanılan denklemler Tablo 4.2'de verilmiştir.

#### **4.1.2 İyon değişimine bağlı katyon jeotermometreleri**

Suda çözülmüş bazı iyonların oranları ve bunların katı fazlarla olan etkileşimleri sıcaklığın bir fonksiyonudur. Bazı araştırmacılar Na, K, Ca, Mg ve Li gibi bazı iyonların oranlarının sıcaklıkla ilişkili olduklarını, ayrıca, hidrokimyasal evrimde ipucu niteliği taşıdıklarını belirtmişlerdir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineralden yararlanılarak bazı ampirik jeotermometre bağıntıları geliştirilmiştir. Ancak katyon değişimine bağlı olarak geliştirilen bu denklemlerin uygulamalarında bazı sıkıntılar yaşanmaktadır. Örneğin Na-K jeotermometreleri bu iyonların kaynağının alkali feldispatlar olduğu varsayımıyla geliştirilmiştir ancak, termal akışkandaki Na ve K'un kaynağı denizel kökenli evaporitik tuzlar da olabilmektedir.

Ayrıca jeotermal akışkan yüzeye yükselirken soğuk suyla karışabilmekte ve karışım bölgesinde bazı katyonlar doygunluğa erişip ikincil mineral olarak çökeltme eğilimi gösterebilmektedir. Bu durumlarda çözeltildeki katyon miktarları ve oranları değişmekte, uygulanan jeotermometre sonuçları da gerçekten uzaklaşmaktadır. Jeotermometrelerin uygulanabilirliğinin belirlenmesi amacıyla bazı araştırmacılar sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak değerlendirilebilecek grafikler geliştirmişlerdir. Bu diyagramlarla katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliği ve rezervuar sıcaklıkları yorumlanabilmektedir. Beylerli jeotermal sahası örneklerine katyon jeotermometre uygulanabilirliğini değerlendirmek için Giggenbach (1988)'in geliştirdiği ve daha sonra Fournier (1990)'ın modifiye ettiği Na-K-Mg üçgen diyagramı ve birleşik jeotermometresi kullanılmıştır. Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölüme ayrılmaktadır (Şekil 4.2). Örneklenen suların Na, K ve Mg sonuçları değerlendirilerek grafiğe aktarılmış ve bütün suların ham sular bölgesine düştüğü görülmüştür. Dolayısıyla inceleme alanı sıcak sularına katyon jeotermometreleri uygulanmamıştır.



Şekil 4.2: Su örneklerinin Giggenbach diyagramı üzerinde gösterimi.

Tablo 4.1: Silika jeotermometre sonuçları.

No	Referanslar	Kullanılan jeotermometreler	Jeotermometre Sonuçları (°C)					Cumali İliçe
			Beylerli Efem Kaplıcası	Çaltı DSİ Sulama Suyu	Çaltı Kullanma Suyu	Gölcük Kullanma Suyu	Gölcük DSİ Sulama Suyu	
1	Fournier 1977	SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kayıpsız)	91	85	86	80	80	92
2	Fournier 1977	SiO <sub>2</sub> (Kuvars-maksimum buhar kayıplı)	93	88	88	83	84	94
3	Fournier ve Potter, 1982	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	69	64	65	60	61	71
4	Fournier ve Potter, 1982	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	91	85	86	80	81	93
5	Arnorsson ve diğ., 1988	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	77	71	71	65	66	78
6	Arnorsson ve diğ., 1989	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	79	73	73	67	68	80
7	Fournier 1977	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	60	54	55	48	49	62
8	Arnorsson ve diğ., 1983	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, kondüktif soğuma)	62	56	57	51	52	64
9	Fournier 1977	SiO <sub>2</sub> (alpha kristobalit)	41	35	36	30	31	42
10	Arnorsson ve diğ., 1983	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, 100°C'de adiyabatik buhar kayıplı)	67	62	62	57	58	68
11	Arnorsson ve diğ., 1983	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon-buhar kayıplı)	57	50	51	45	46	58
12	Arnorsson ve diğ., 1983	SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kayıplı)	79	73	73	67	68	80
13	Arnorsson ve diğ., 1983	SiO <sub>2</sub> (Kuvars,100°C'de adiyabatik buhar kayıplı)	92	86	87	82	82	93

Tablo 4.2: Rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan silika jeotermometre formülleri ve referansları. S ppm olarak SiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını, T ise °C cinsinden sıcaklığı belirtmektedir.

No	Silika Jeotermometre Denklemleri	Referanslar
1	$T = \frac{1309}{5.19 - \log(S)} - 273.15$	Fournier 1977
2	$T = \frac{1522}{5.75 - \log(S)} - 273.15$	Fournier 1977
3	$T = -53.5 + 0.11236xS - 0.5559x10^{-4}xS^2 + 0.1772x10^{-7}xS^3 + 88.39x\log S$	Fournier ve Potter, 1982
4	$T = -42.2 + 0.28831xS - 0.6686x10^{-4}xS^2 + 3.1665x10^{-7}xS^3 + 77.034x\log S$	Fournier ve Potter, 1982
5	$T = -55.3 + 0.3659xS - 5.3954x10^{-4}xS^2 + 5.5132x10^{-7}xS^3 + 74.36x\log S$	Arnórsson ve diğ., 1983
6	$T = -66.9 + 0.1378xS - 4.9727x10^{-5}xS^2 + 1.0468x10^{-8}xS^3 + 87.841x\log S$	Arnórsson ve diğ., 1983
7	$T = \frac{1032}{4.69 - \log(S)} - 273.15$	Fournier 1977
8	$T = \frac{1112}{4.91 - \log(S)} - 273.15$	Arnórsson ve diğ., 1983
9	$T = \frac{1000}{4.78 - \log(S)} - 273.15$	Fournier 1977
10	$T = \frac{1264}{5.31 - \log(S)} - 273.15$	Arnórsson ve diğ., 1983
11	$T = \frac{1021}{4.69 - \log(S)} - 273.15$	Arnórsson ve diğ., 1983
12	$T = \frac{1164}{4.9 - \log(S)} - 273.15$	Arnórsson ve diğ., 1983
13	$T = \frac{1498}{5.7 - \log(S)} - 273.15$	Arnórsson ve diğ., 1983

## 4.2 Çoklu Mineral Denge Yaklaşımı

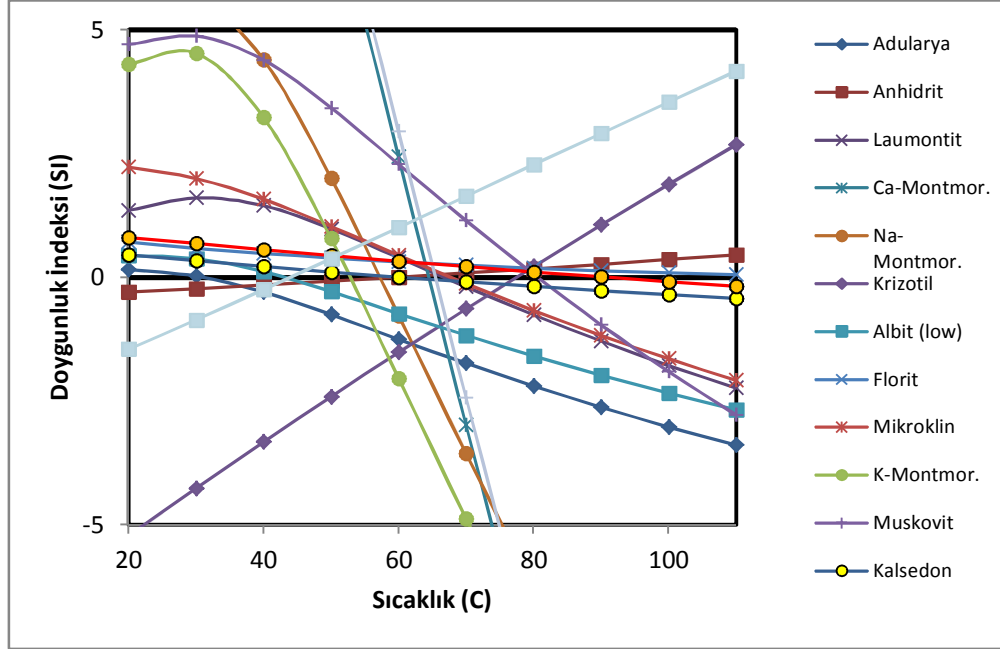
Jeotermal sistemdeki rezervuar sıcaklığını tahmin etmedeki bir diğer metot ise termal sularda çözülmüş minerallerin sıcaklığa bağlı çözünürlükleriyle ilgili analitik verileri kullanarak hangi sıcaklıkta mineral-su dengesinin sağlandığını bulmaktır. Reed ve Spycher (1984) bu yaklaşımı önermiştir. Analitik verilerin kullanılacağı mineraller genelde jeotermal sahalarda karşılaşılan hidrotermal alterasyon mineralleridir; ancak pratikte jeotermal araştırma yapılan bölgedeki kayaçların yapısında bulunması muhtemel mineraller seçilmektedir. Bu yaklaşımda genelde dikkate alınması gereken mineraller; kuvars veya kalsedon, alkali feldispatlar (albit ve mikroklin), kalsit, bazı durumlarda anhidrit, florit ve/veya zeolitler, smektit, klorit, wairakite, prehnit, epidot ve mikadır. Yüksek entalpili sahalarda pirit, pirotin ve manyetit mineralleri de değerlendirmeye alınmalıdır. Eğer birden fazla mineral aynı veya yakın sıcaklıkta dengeye gelirse, bu denge sıcaklıkların ortalaması bize rezervuar sıcaklığını verebilir. Rezervuar sıcaklığını bu yöntemle belirleyebilmek için bahsedilen minerallerin doygunluk indeksleri, laboratuvar veri tabanları kullanılarak bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplanabilir. Denge sabitlerinin farklı sıcaklıklardaki değerleri van't Hoff denklemiyle (3.10) veya laboratuvar elde edilmiş farklı sıcaklıklara ait denge sabitlerinden türetilmiş analitik denklemlerle bulunabilir (4.4) (Apello ve Postma, 2005).

$$\log K = A_1 + A_2 \times T + \frac{A_3}{T} + A_4 \times \log T + \frac{A_5}{T^2} \quad (4.4)$$

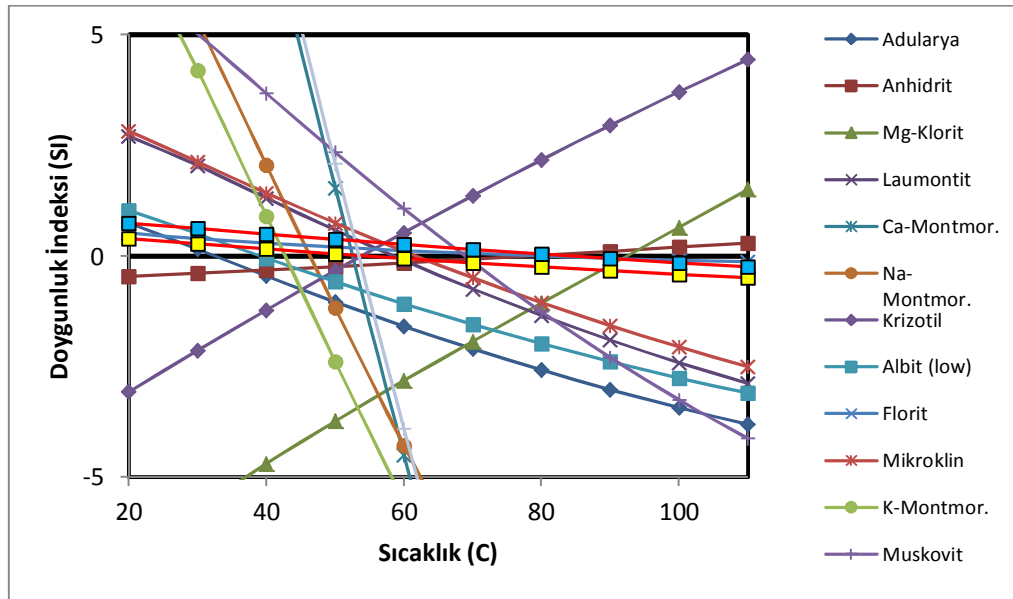
Bu denklemde T, Kelvin cinsinden sıcaklığı  $A_i$ 'ler kat sayıları göstermektedir. Bir reaksiyona ait farklı sıcaklıklardaki denge katsayıları laboratuvar ortamında belirlenmişse, bu reaksiyon için katsayılar belli olacağından sıcaklık kelvin cinsinden denklemde yerine koyularak denge sabiti bulunabilir. Bu denklemle, bilinen denge sabitlerinden yola çıkılarak istenilen sıcaklıktaki bilinmeyen denge sabiti ekstrapolasyonla bulunmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, İzlanda su kimyası grubu tarafından geliştirilen WATCH 2.1 (Bjarnason, 1994) programı kullanılarak bazı minerallerin 20-110°C arasındaki doygunluk indeksleri hesaplanarak rezervuar sıcaklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Beylerli efem kaplıcası suyunda kalsedon ve anhidrit 60°C'de, albit ve talk 45°C, muskovit, krizotil ve kuvars 80°C'ye yakın sıcaklıklarda kesişmektedir (şekil 4.3).

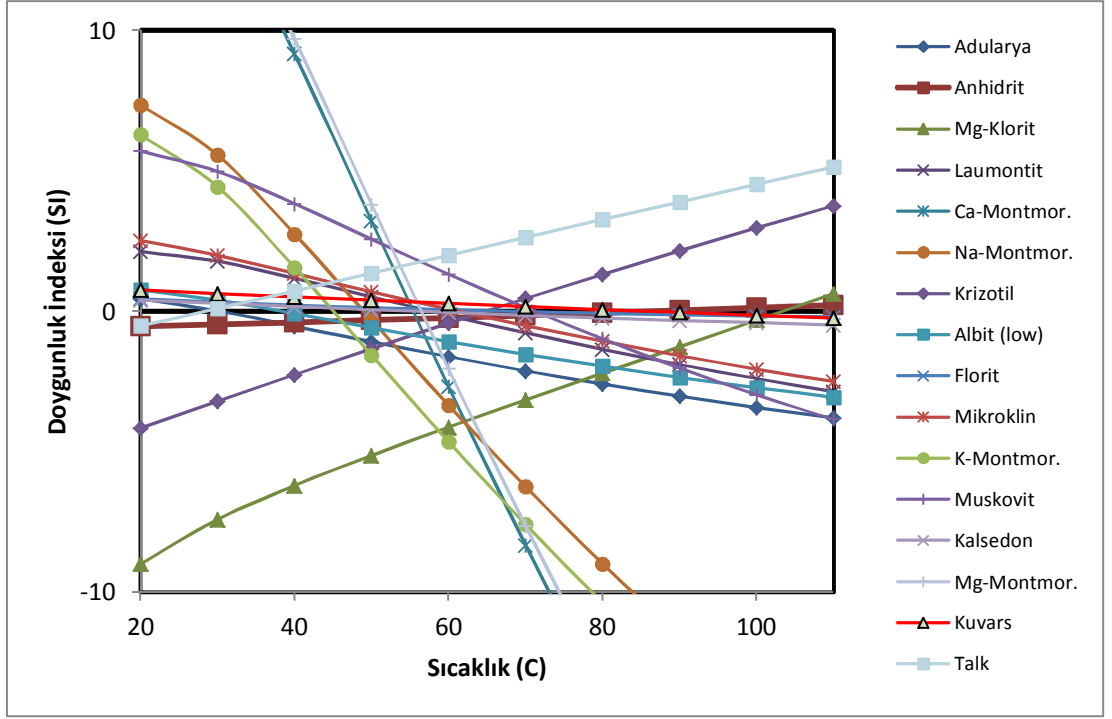
Çaltı DSİ sulama suyunda anhidrit, kuvars ve florit 80°C’de (Şekil 4.4) Çaltı kullanma suyunda 65°C ve 80°C civarlarında kesişmeler görülmektedir (Şekil 4.5). Cumalı ılıca’da kuvars ve anhidrit 90°C’de kesmekte ve genel olarak 65°C’de doygunluk indekslerinin sıfıra yakın olduğu yerde kesişimler gözlemlenmektedir (Şekil 4.6). Gölcük sularında ise kesişmeler genel olarak 60°C civarlarında görülmektedir (Şekil 4.7 ve 4.8).



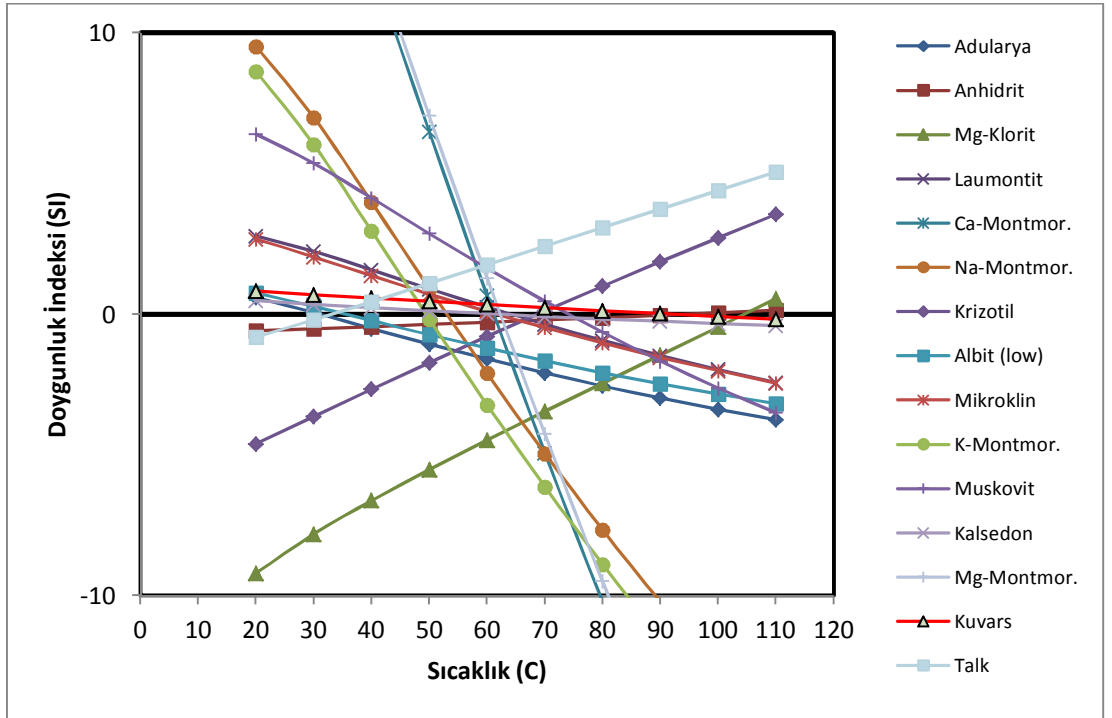
Şekil 4.3: Beylerli Efem kaplıca suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.



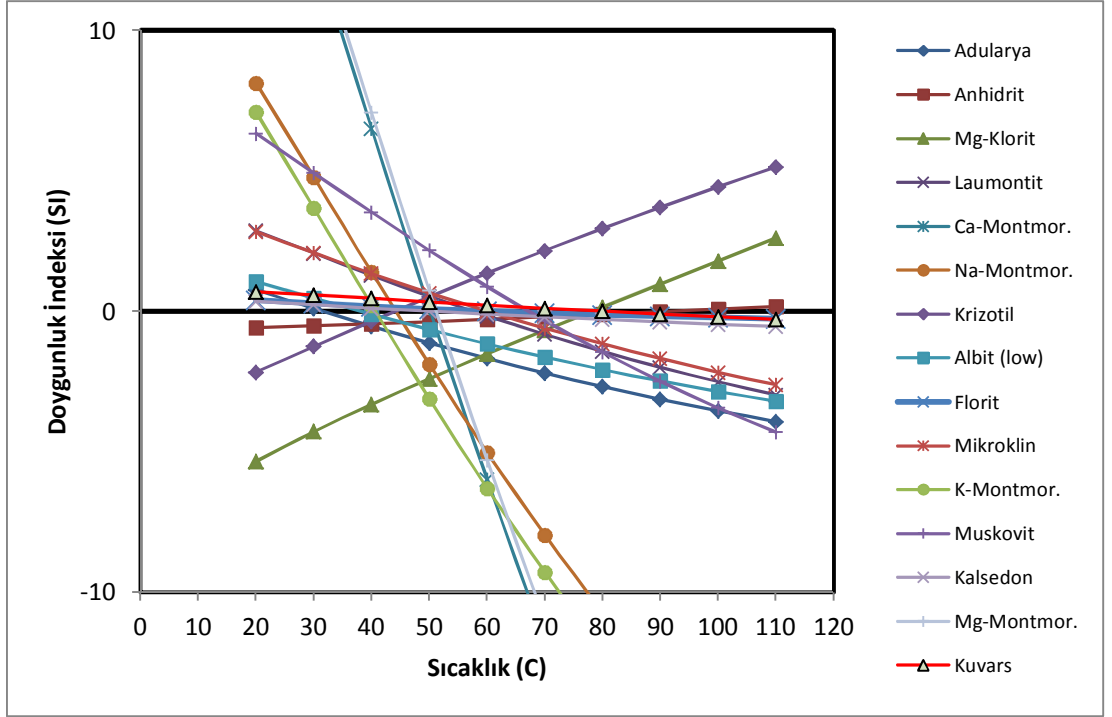
Şekil 4.4: Çaltı DSİ sulama suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.



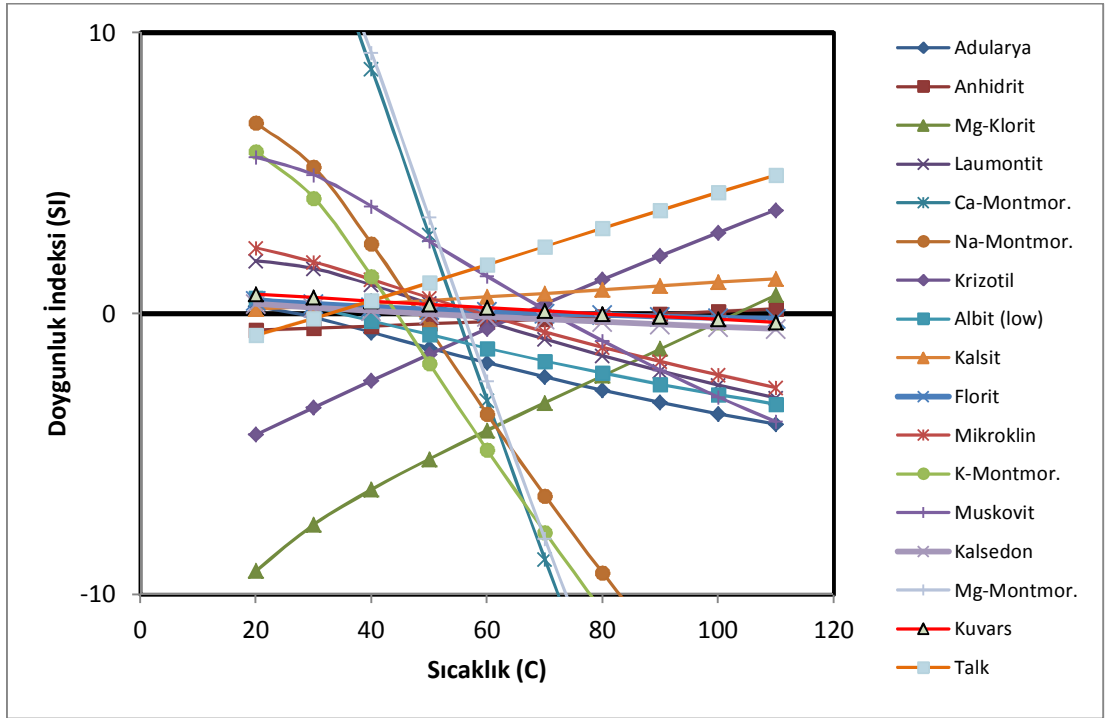
Şekil 4.5: Çaltı kullanma suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doğunluk indeksleri.



Şekil 4.6: Cumalı ılıca suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doğunluk indeksleri.



Şekil 4.7: Gölcük DSİ sulama suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.



Şekil 4.8: Gölcük kullanma suyunda çözülmüş minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.

### 4.3 Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi

Suyun ve çözülmüş kükürt bileşenlerinin duraylı izotopları, hem suyun kökeninin belirlenmesinde hem de izotop jeotermometresiyle rezervuar sıcaklığının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmakta ve bu yönüyle jeotermal araştırmalarda kullanılmaktadır.

Lloyd (1968), Mizutani ve Rafter (1969) SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O çiftini temel alarak aşağıda verilen ve en gerçekçi izotop jeotermometrelerinden olan (Giggenbach ve diğ., 1983) iki izotop jeotermometre bağıntısını geliştirmişlerdir. Sülfat-su izotop alışverişinden yararlanarak elde edilen jeotermometre şu şekildedir:

0-500°C arasındaki sıcaklıklarda:

$$1000\ln\alpha = 3.251 \times 10^6/(T^2) \quad (4.5)$$

110-200°C arasındaki sıcaklıklarda:

$$1000\ln\alpha = 2.88 \times 10^6/(T^2) \quad (4.6)$$

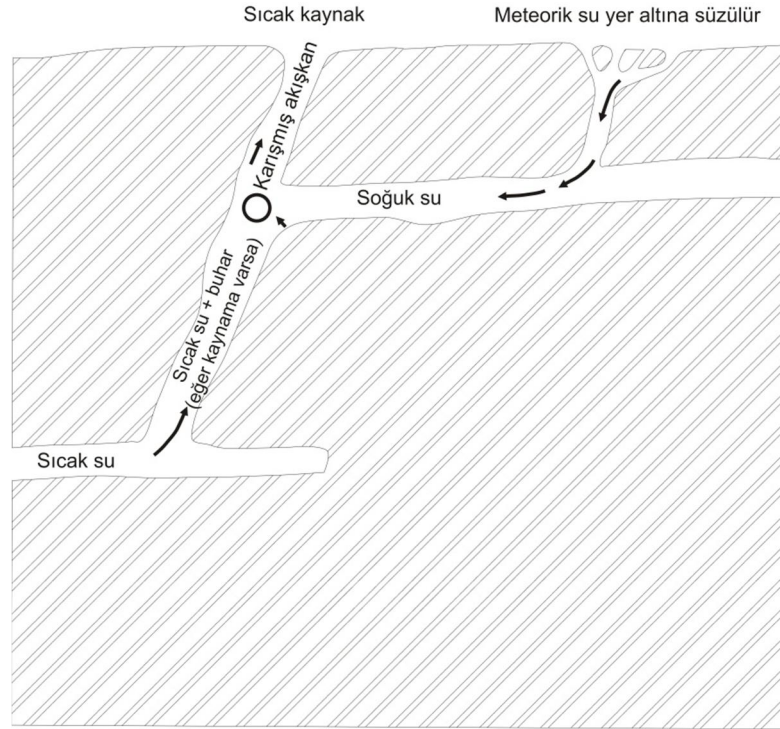
Bağıntılarda  $\alpha$ , sülfat ve suyun  $\delta^{18}\text{O}$  oranlarını göstermekte, T ise kelvin cinsinden sıcaklığı belirtmektedir. Beylerli ve civarından alınan jeotermal suların bazılarında yapılan  $\delta^{34}\text{S} - \delta^{18}\text{O} (\text{SO}_4)(\text{‰VSMOW})$  ve  $\delta^{18}\text{O} (\text{H}_2\text{O})(\text{‰VSMOW})$  analizlerinden elde edilen değerler (4.5) nolu denklemde yerlerine konarak rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir (Tablo 4.3). Bu jeotermometre ile hesaplanan sıcaklıklar saha bazında fazla dağılım göstermemektedir. Bu yöntemle elde edilen rezervuar sıcaklıkları Beylerli efem kaplıcası için 90°C, Cumalı ılıca için 81°C, Çaltı DSİ kuyusu için 96°C, Gölcük kullanma suyu sondajı için 89°C, Ayvaz sulama suyu için 83°C dir.

Tablo 4.3: İnceleme alanındaki bazı suların  $\delta^{34}\text{S} - \delta^{18}\text{O} (\text{SO}_4) - \delta^{18}\text{O} (\text{H}_2\text{O})$  sonuçları ve hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

No	Lokasyon	$\delta^{34}\text{S}$ (SO <sub>4</sub> )	$\delta^{18}\text{O}$ (SO <sub>4</sub> )	$\delta^{18}\text{O}$ (H <sub>2</sub> O)	Rezervuar Sıcaklığı °C
1	Beylerli Efem Kaplıcası	16.73	11.13	-7.93	90
3	Cumalı ılıca	13.98	11.53	-8.82	81
4	Gölcük Kullanma Suyu Sondajı	20.41	13.21	-8.21	89
8	Ayvaz İçme İçme Suyu Sondajı	16.78	10.56	-7.96	83
2	Çaltı DSİ Sulama Suyu Sondajı	16.94	10.59	-8.01	96
11	Akpınar Kaynak	18.05	11.88	-8.94	
9	Gemiş Pınarı	16.65	10.31	-8.33	

#### 4.4 Karışım Modelleri

Sıcak sular yüzeye yükselirken genellikle soğuk yeraltı suyu ile karışırlar. Bu durum jeotermometre uygulamalarını zorlaştırmakta ve çıkan sonuçları yanıltmaktadır. Yüzeyle örneklenen ılık veya sıcak suların yükselirken soğuk sularla hangi oranlarda karıştığı ve karışmadan önceki rezervuarın sıcaklığının ne olduğuyyla ilgili bazı modeller öne sürülmüştür. Fournier ve Truesdell (1974) karışım modelini Şekil 4.9'da gösterildiği gibi açıklanmıştır. Sıcak sular yükselirken belli bir noktadan itibaren soğuk sularla karışmaya başlar ve yüzeye karışım sonucu kazandığı sıcaklık ve kimyasal bileşimde ulaşır.



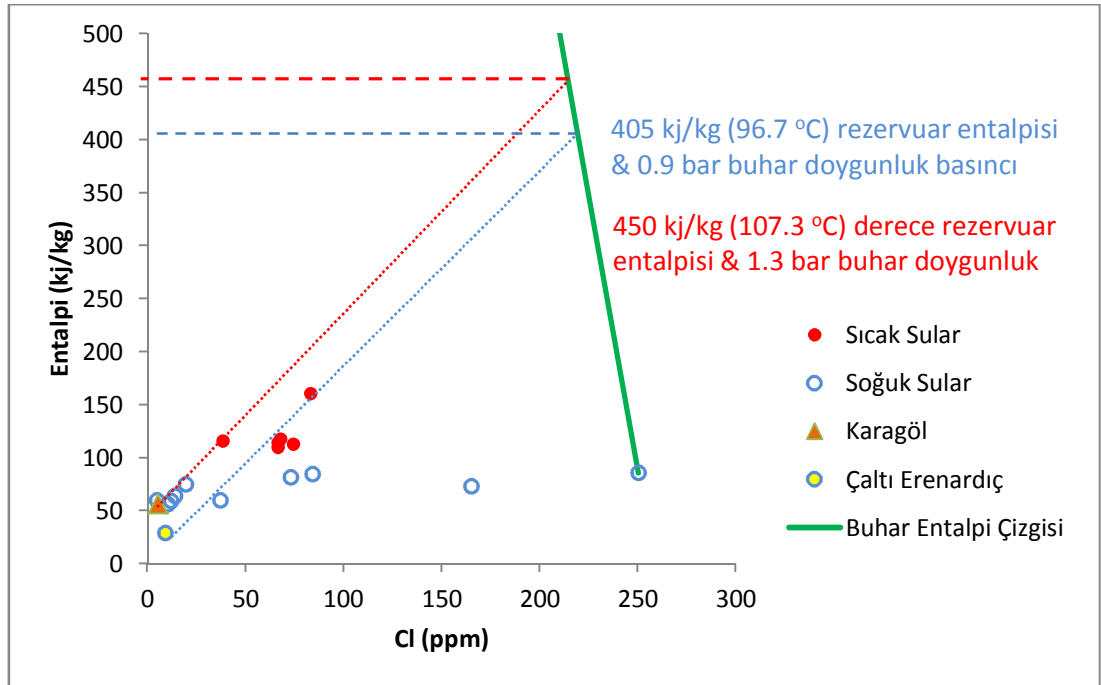
Şekil 4.9: Karışım modeli (Fournier ve Truesdell, 1974).

Karışım modellerini uygularken bazı basit varsayımlar yapılır. Karışım esnasında ve sonrasında ısının ve kütlenin korunduğu varsayılır. Karışım modelinin uygulanacağı numuneler gerçekten bir karışıma uğramış olmalıdır, aksi takdirde bulunan rezervuar sıcaklıkları çok yüksek olur. Bor-klorür gibi iki konservatif bileşen arasındaki doğrusal ilişki, karışım olarak ve/veya benzer hidrojeokimyasal evrim geçirdikleri şeklinde yorumlanmaktadır. Silika ve klorür arasında doğrusal ilişkinin olması, karışım sonrasında akışkanın silika çözme veya çöktürme özelliğinde olmadığını

dolayısıyla silikanın korunduğunu ve sadece karışımdan etkilenerek seyreltiğini belirtmektedir. (Arnórsson, 2000). Silikanın bu şekilde konservatif olduğu sularda, silika-entalpi ve silika-karbonat karışım modelleri; ayrıca kuvars jeotermometresi ve klorür miktarları kullanılarak hazırlanan klorür-entalpi karışım modeli uygulanabilir. Beylerli jeotermal sahasındaki sıcak suların karstik Yandağ kireçtaşlarındaki sığ dolaşimli soğuk sularla karışarak yüzeye çıktığı varsayılmış ve klorür-entalpi ile silika-entalpi karışım modelleri uygulanmıştır.

#### 4.4.1 Klorür-entalpi karışım modeli

Klorür-Entalpi diyagramı için entalpiler sahada kaynayan su olmadığından dolayı ölçülen sıcaklıklardan hesaplanmış ve iki adet soğuk suyun karışımında yer aldığı varsayılmıştır. Bunlardan cumalı keson kuyusu için karagöl soğuk su kaynağı, diğer sıcak ve ılık sular için Çaltı Erenardıç kaynağı karışımında bulunan soğuk sular olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi klorür-entalpi karışım modeline göre karışım öncesi sıcaklıklar; Cumalı ılıca kaynağı için 107.3 °C, diğer sıcak sular için 96.7 °C bulunmuştur.



Şekil 4.10: Beylerli jeotermal sahası sularına uygulanan klor-entalpi karışım modeli.

#### 4.4.2 Silika-entalpi karışım modeli

Bu yöntemde bölgedeki ılık veya sıcak sular ve karışımında rol oynadığı düşünülen soğuk sulardan örnekler alınıp silika değerleri belirlenmektedir. Bu suların

örnekleme sıcaklıklarından elde edilen entalpi değerleriyle silika değerleri (4.7) ve (4.8) nolu denklemlerde yerine koyularak soğuk su karışım oranları ve rezervuar sıcaklıkları belirlenmeye çalışılır.

$$H_{\text{soğuk}}X + H_{\text{rez}}(1 - X) = H_{\text{kaynak}} \quad (4.7)$$

$$Si_{\text{soğuk}}X + Si_{\text{rez}}(1 - X) = Si_{\text{kaynak}} \quad (4.8)$$

Denklemlerde  $H_{\text{soğuk}}$  ve  $Si_{\text{soğuk}}$ , soğuk suyun entalpi ve silis içeriğini,  $H_{\text{rez}}$  ve  $Si_{\text{rez}}$  rezervuardaki akışkanın entalpi ve silis içeriğini,  $H_{\text{kaynak}}$  ve  $Si_{\text{kaynak}}$ , kaynağın ölçülen sıcaklığından elde edilen entalpi ve silis içeriğini belirtmektedir. Soğuk su karışım oranını bulmak için gerekli olan en önemli ve bilinmeyen parametre rezervuardaki akışkanın sıcaklık ve entalpi değerleridir. Soğuk su karışım oranı ve rezervuar sıcaklığını bulmak için Fournier ve Truesdell (1974) grafiksel bir yöntem önermiştir. Bu yöntemeye göre rezervuardaki akışkanın sıcaklığı belli değerlerde olduğu varsayılır ve her sıcaklık değeri için entalpi değerleri ve jeotermometre denklemleri kullanılarak akışkanın silika içerikleri hesaplanır. Sonra her varsayılan sıcaklıktaki hesaplanmış entalpi ve silika değerleri denklem (4.9) ve (4.10)'da yerine koyularak karışım oranları hesaplanır.

$$X_H = \frac{(\text{Rezervuardaki akışkanın entalpisi} - \text{Sıcak kaynağın entalpisi})}{(\text{Rezervuardaki akışkanın entalpisi} - \text{soğuk kaynağın entalpisi})} \quad (4.9)$$

$$X_{Si} = \frac{(\text{Rezervuardaki akışkanın silikası} - \text{Sıcak kaynağın silikası})}{(\text{Rezervuardaki akışkanın silikası} - \text{soğuk kaynağın silikası})} \quad (4.10)$$

Denklemlerde  $X_H$ , entalpi değerlerinden hesaplanan soğuk su karışım oranını,  $X_{Si}$ , silika değerlerinden hesaplanan soğuk su karışım oranını göstermektedir. Daha sonra x ekseninde karışım oranları y ekseninde de sıcaklıklar olacak şekilde entalpi ve silika değerleri kullanılarak hesaplanmış karışım oranlarıyla bir grafikte iki ayrı seride gösterilir. Bu iki serinin kesiştiği yer, rezervuar sıcaklığını ve bu akışkanın yükselirken tanımlanmış olan soğuk suyla karışım oranını vermektedir.

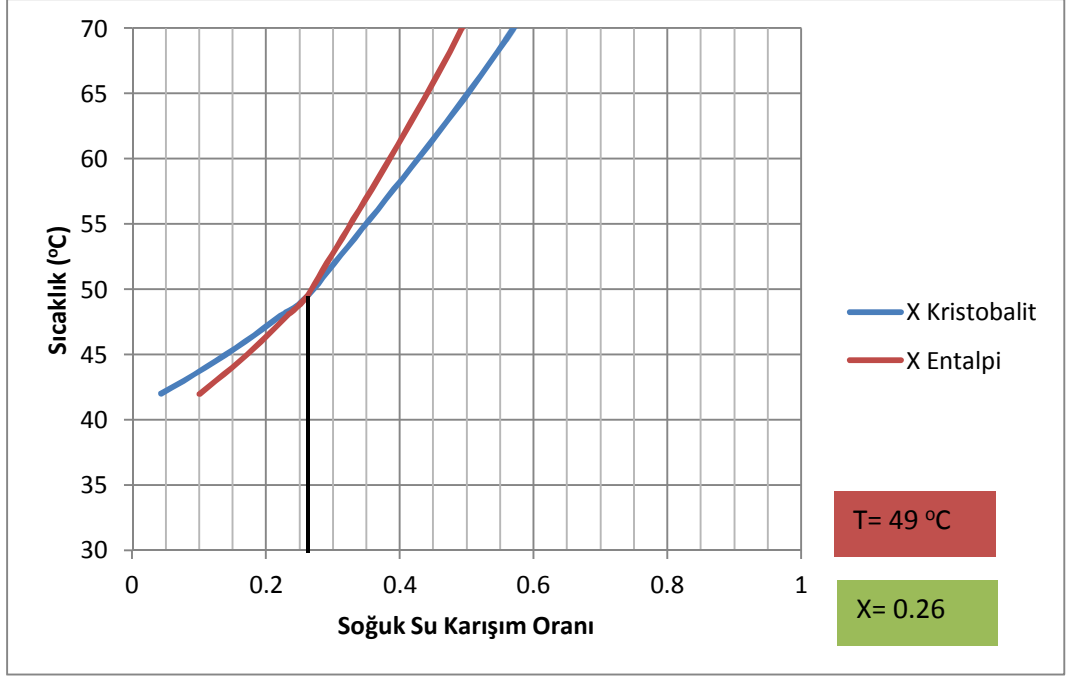
Bu yöntem çalışma alanındaki sıcak ve ılık sular olan Beylerli Efem kaplıcası, Cumalı ılıca, Çaltı DSİ ve Gölcük DSİ numunelerine uygulanmıştır. Karışımında yer aldığı varsayılan soğuk su olarak iki farklı soğuk su tanımlanmıştır. Bunlardan biri Beylerli DSİ kuyusundan elde edilen suyun özelliğindeki soğuk yer altı suyu, diğeri ise Çaltı Erenardıç mevkisinden alınan soğuk sudur.

Bu yöntemi uygularken karşılaşılan bir diğer zorluk ise hangi silis jeotermometresinin kullanılacağıdır. Bu çalışmada, suda en fazla bulunan SiO<sub>2</sub> olan kuvars (Arnorrson ve dig., 1983) ve kalsedon (Fournier, 1977) jeotermometreleri ile kireçtaşıdaki çörtlere gelebilecek olan alfa kristobalit (Fornier, 1977) jeotermometreleri kullanılmıştır.

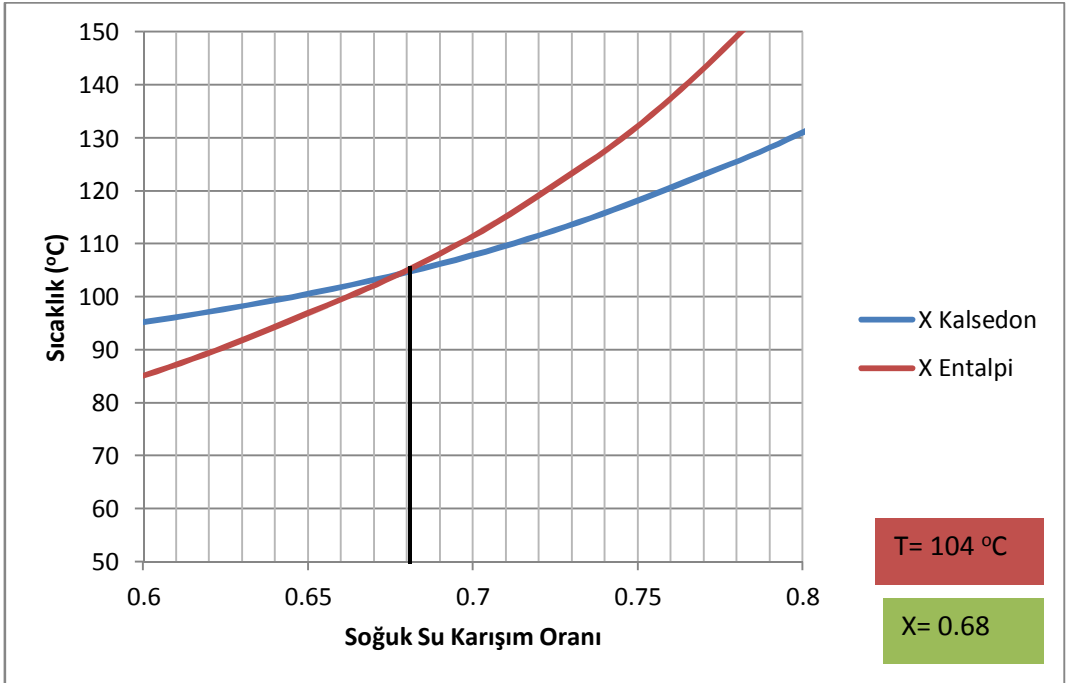
Soğuk suyun Çaltı erenardıç olduğu varsayılarak Beylerli Efem kaplıcası için uygulanan karışım modelinin işlem basamakları ayrıntı olarak tablo 4.4’de ve grafikleri şekil 4.11, 4.12, 4.13’de verilmiştir. Hepsinden elde edilen sonuçlar tablo 4.5’te, diğer lokasyonlar için uygulanan yöntemin ayrıntıları ve grafiksel sonuçları ek A.1’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Beylerli Efem kaplıcasının, farklı rezervuar sıcaklıkları varsayımlarıyla hesaplanan rezervuar silika miktarları ve soğuk su karışım oranları.

Rezervuar Sıcaklığı °C	Entalpi (kj/kg)	Alpha Kristobalit (mg/l)	Kalsedon (mg/l)	Kuvars (mg/l)	X kristobalit	X Kalsedon	X Kuvars	X Entalpi
40	167.533	38.60	24.80	8.25				
42	175.893	40.45	26.02	8.85	0.04			0.10
44	184.254	42.36	27.29	9.48	0.11			0.15
46	192.616	44.33	28.60	10.15	0.17			0.19
48	200.974	46.36	29.96	10.85	0.22			0.23
50	209.342	48.47	31.36	11.60	0.27			0.27
75	314.03	80.85	53.18	24.96	0.63	0.36		0.54
100	419.166	125.93	84.01	48.48	0.78	0.65	0.27	0.66
125	525.074	185.52	125.32	86.62	0.86	0.78	0.66	0.73
150	632.179	261.08	178.30	144.51	0.90	0.85	0.81	0.78
175	741.021	353.67	243.89	227.70	0.93	0.89	0.88	0.81
200	852.271	463.99	322.76	341.97	0.95	0.92	0.92	0.84
225	966.796	592.34	415.27	493.03	0.96	0.94	0.95	0.86
250	1085.77	738.76	521.60	686.40	0.97	0.95	0.96	0.88
275	1210.9	902.99	641.66	927.20	0.97	0.96	0.97	0.89
300	1345.05	1084.57	775.22	1220.04	0.98	0.97	0.98	0.90



Şekil 4.11: Alfa Kristobalit ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları (%26) ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı (49°).



Şekil 4.12: Kalsedon ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları (%68) ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı (104°).

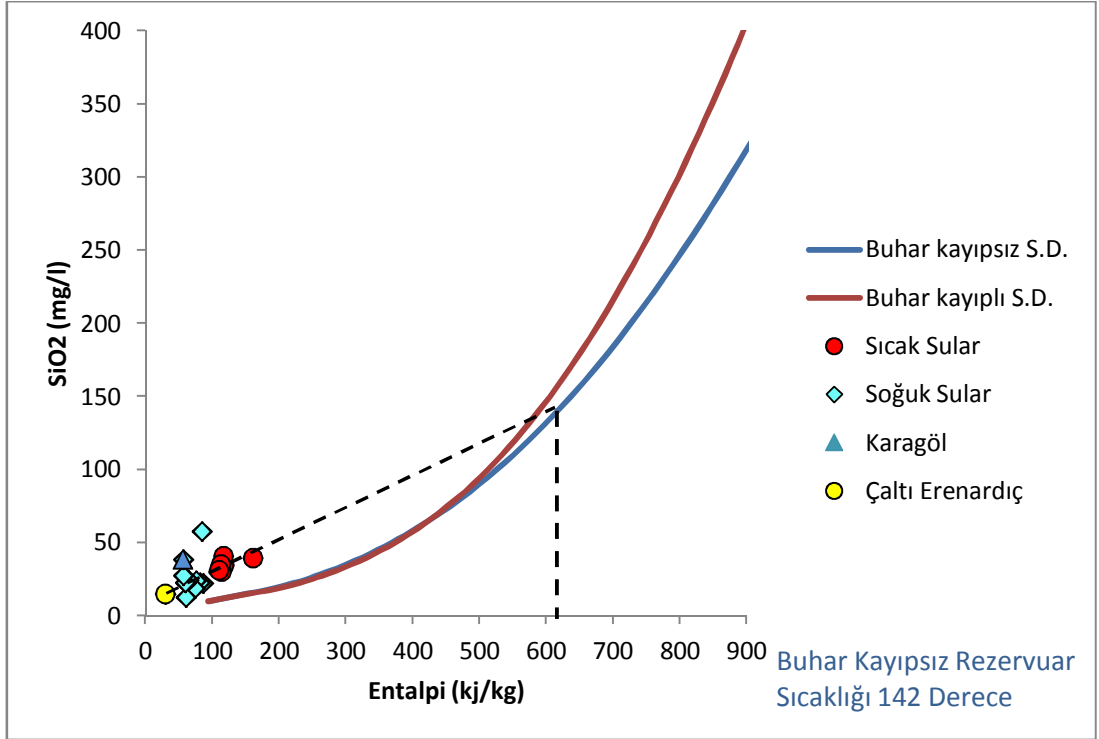


Şekil 4.13: Kuvars ve entalpi değerleriyle hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları (%76.5) ve karışım öncesi rezervuar sıcaklığı (140°).

Tablo 4.5: Sıcak ve ılık sularda bulunan soğuk su karışım oranları ve rezervuar sıcaklıkları. Çaltı içme suyu (erenardıç) tipi 1 sayısıyla, Alüvyon ve çameli formasyonun akiferlerindeki suyun (Beylerli DSİ sondajı, Beylerli içme suyu I-II) varsayıldığı model tipi ise 2 sayısıyla gösterilmektedir.

Lokasyon	Beylerli Efem Kaplıcası		Çaltı DSİ		Gölcük DSİ		Cumalı
	1	2	1	2	1	2	
Varsayılan soğuk su	1	2	1	2	1	2	1
% Soğuk Su (Kristobalit)	26	26.5	62.8	74.8	61	64	85
% Soğuk Su (Kalsedon)	68	72.5	82	87.7	81.5	87	92.8
% Soğuk Su (Kuvars)	76.5	81	85.5	90.5	86	91	93
Rezervuar Sıcaklığı °C (Kristobalit)	49	46.8	68	67	58	45	120
Rezervuar Sıcaklığı °C (Kalsedon)	104	98	124	116	110	96	180
Rezervuar Sıcaklığı °C (Kuvars)	140	132.5	150	150	140	130	180

Silika-entalpi karışım modeli yorumlamalarında kullanılan bir diğer grafik, şekil 4.14’de verilmiştir. Sahadan alınan numunelerin silika ve örnekleme entalpi değerlerine göre çizilen grafiğe, buhar kayıplı ve buhar kayıpsız olmak üzere iki adet kuvars çözünürlük eğrisi çizilir. Beslenme bölgesindeki ve karışımda olduğu düşünülen sular ile sıcak sular bir doğruyla birleştirilir ve buhar kayıpsız silika çözünürlük eğrisine kadar uzatılır. Bu eğriyi kestiği nokta rezervuar silika miktarını ve entalpisini verir. Soğuk sularla sıcak suların ekstrapolasyonu buhar kayıpsız silika çözünürlük eğrisini kesmiyorsa sıcak akışkanın yükselirken basınç düşümüne bağlı olarak adiyabatik soğumuş olabileceği dikkate alınır. Bu durumda rezervuar sıcaklığını bulmak için soğuk sularla sıcak suların ekstrapolasyonu ile 419 kJ/kg (100°C) noktasından geçen düşey asimtotun kesiştiği noktadan buhar kayıplı silika çözünürlük eğrisine yatay bir çizgi çizilir ve bu noktanın entalpi değeri rezervuar sıcaklığını verir. Şekil 14’de görüldüğü üzere bu yöntemle ekstrapolasyon doğrusu buhar kayıpsız silika çözünürlüğünü kesmiş ve rezervuar sıcaklığı 142°C bulunmuştur.



Şekil 4.14: Silika-entalpi karışım modeli. Çaltı Erenardıç ve sıcak suların ekstrapolasyonu sonucu buhar kayıpsız silika çözünürlük eğrisini kestiği noktada rezervuar sıcaklığı 142°C olarak bulunmuştur.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Beylerli jeotermal sahasındaki sıcak ve mineralli suların sıcaklıkları 20.2-38.5°C, elektriksel iletkenlikleri 1407-1886  $\mu\text{mho/cm}$ , pH değerleri 6.90-7.67 arasında değişmektedir. Bu değerler soğuk sondaj ve kaynak suları için sırasıyla 7.0-19.5°C, elektriksel iletkenlikleri 435-1400  $\mu\text{mho/cm}$ , pH değerleri 7.34-8.88 arasındadır.
2. Sıcaklıkları 25°C'nin üzerinde olan Beylerli Efem Kaplıcası, Cumalı ılıcası, Gölcük kullanma ve Çaltı DSİ suları Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipindedir.
3. Beylerli jeotermal sahasında, rezervuar kaya, maruz kaldığı tektonizma nedeniyle ikincil geçirgenliği yüksek olan Mesozoyik yaşlı Yandağ kireçtaşları ve olasılıkla peridotitlerdir. Sistemin örtü kayası Neojen yaşlı formasyonların geçirimsiz litolojileridir.
4. Sıcak ve mineralli sular, inceleme alanının güney ve doğu kesimindeki yükseltilerin oluşturduğu beslenme alanına düşen yağış sularının derinlere süzülmesi ve burada genç tektonik etkinlik sonucu olağandan fazla olan jeotermal gradyanla ısınması sonucu oluşmuşlardır.
5. Suların çevresel izotoplarından  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri (-7.46)-(-9.54) ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri (-52.39)-(-64.58) arasında değişmektedir. Bu değerler inceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir.
6. Tritiyum analiz sonuçlarına göre Cumalı kaynağı (0.55 TU), Ayvaz sondaj suyu (0 TU), Gölcük kullanma (1.01 TU), Çaltı DSİ sondajı suyu (1.08 TU) 50 yıldan yaşlı sulardır. Beylerli Efem kaplıcası suyu (1.77 TU) bu sulardan bağıl olarak biraz daha gençtir. Diğer suların yeraltında kalış zamanları bağıl olarak daha azdır ve genç sulardır.
7. İnceleme alanı suları, hazne kaya ile kimyasal reaksiyonunu tamamlamamış ham sulardır.
8. İnceleme alanı sıcak sularına uygulanan jeotermometrelerde, silis jeotermometreleri 41-94°C, mineral denge diyagramları 45-90°C, oksijen izotop

jeotermometresi 80-95°C, karışım modelleri (klorür-entalpi ve silika-entalpi) 50-140°C aralığında rezervuar sıcaklıkları vermiştir.

9. Mineral doyunluk hesaplamalarına göre, inceleme alanı sıcak suları kalsit, kuvars, kalsedon, epidot, pirotit, Na-, K-, Ca-, Mg-montmorillonit, manyetit, pirit, muskovit, mikroklin minerallerine göre doygundur ve bu mineraller çökelme eğilimindedir.
10. Jeotermometre hesaplamaları, inceleme alanının jeotermal potansiyelinin geliştirilmesi durumunda bile jeotermal akışkan buharıyla (Single Flash) elektrik üretiminin mümkün olmadığı sonucunu vermiştir. Bu durumda açılacak sondajlarla elde edilecek jeotermal suyun kaplıca, sera ısıtması, ısı pompaları, uygulamalarında kullanılması önerilir. Eğer bölgede açılacak sondajlarda 80 °C üzerinde hesaplanan rezervuar sıcaklıklarına rastlanır ve yeterli debi sağlanırsa, kaynama noktası düşük organik gazların kullanıldığı ikincil çevrim (Binary Cycle) teknolojiyle elektrik üretimi yapılabilir, buharlaştırma ve kristallendirmeye tuz eldesi yönteminde kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akgün, F., Sözbilir, H.,** 2000. A palynostratigraphic approach to the SW Anatolian molasse basin: Kale-Tavas molasse and Denizli molasse. *Geodinamica Acta*, 71-93.
- Appelo, C.A.J., Postma D.,** 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRS press, USA.
- Arnórsson, S.,** 1997. Interpretation of chemical and isotopic data on fluids discharged from wells in the Momotombo geothermal field, Nicaragua. *IAEA Report, Project no. NIC/8/008-04*. Science Institute, Univ. of Iceland.
- Arnórsson, S., Sigurdsson, S., Svavarsson, H.,** 1982. The chemistry of geothermal waters in Iceland I. Calculation of aqueous speciation from 0 °C to 370 °C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1513-1532.
- Arnórsson, S.,** 2000. *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Barka, A.,** 1992. The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, V. 6, Suppl., pp. 164-195.
- Baskan M. E., Canik, B.,** 1983. IAH Map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region: *MTA, Ankara, rapor No. 189*, pp.80.
- Bering, D.,** 1968. Acıgöl bölgesinin linyit etüdü. *MTA Rapor No: 5971*, Ankara (yayımlanmamış).
- Bilgin, Z.R., Karaman, T., Öztürk, Z., Şen, M.A., Demirci, A.R.,** 1990. Yeşilova-Acıgöl civarının jeolojisi. *MTA Rapor No: 9429*, Ankara (yayımlanmamış).
- Bjarnason, J.O.** 1994. The Speciation Program WATCH, version 2.1. Orkustofnun, Reykjavik, pp.7.
- Bozkurt, E.,** 2000. Timing of the extension on the Büyük Menderes graben, western Turkey and its tectonic implications. *Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area*, 173, Special publications, *Geological Society*, London , 385-403.
- Bozkurt, E.,** 2003. Origin of NE- Trending Basins in Western Turkey, *Geodinamica Acta*, 61-81.
- Bozkurt, E.,** 2005. Introduction: Evolution of Continental Extensional Tectonics of Western Turkey. *Geodinamica Acta*, 18/3-4, 153-165.
- Bölükbaşı, A.S.,** 1987. Elmalı (Antalya)-Acıgöl-Burdur Gölü (Burdur)-Korkuteli (Antalya) arasında kalan Elmalı napları jeolojisi. *TPAO Rapor No: 2415, 247*, Ankara (yayımlanmamış).

- Burçak, M.**, 1998. Denizli-Çardak-Beylerli Ilıcapınar kaplıcası jeotermal etüd raporu. *MTA Der. Rapor No: 10138*, Ankara (yayımlanmamış).
- Craig, H.**, 1961, Isotopic variations in meteoric water. *Science*, v. 133, p. 1702-1703.
- Domenico, P.A., Schwartz, F.W.**, 1990. *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley, Singapore.
- Ercan, T., Günay, E., Baş, H.**, 1983. Denizli Volkanitlerinin Petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu. *TJK Bülteni*, 26, 153-160, Ankara.
- Erzenoğlu, Z.**, 1987. Denizli-Çardak-Beylerli Kaplıcasının (Ilıca Pınarı) hidrojeoloji etüdü. *MTA rapor No. 8141*.
- Fetter, C.W.**, 2001. *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall, USA.
- Fontes, J.C.**, 1980. Environmental isotopes in groundwater hydrology. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol.1, chapter 3, New York, Elsevier, p. 75-140.
- Fouillac, C., Michard, G.**, 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, v. 10, p.55-70.
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H.**, 1973. An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O.**, 1977a. A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. *In: Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy*, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.
- Fournier, R.O.**, 1977b. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *In: Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy*, Cento Scientific Programme, Ankara, 199-210.
- Fournier, R.O.**, 1979a. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.*, 3, 221-224.
- Fournier, R.O.**, 1979b. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot spring systems. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5, 1-16.
- Fournier, R.O., Potter, R.W.**, 1979. Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 1543-1550.
- Fournier, R.O., Potter, R.W.**, 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Research Council Bull.* v.11, p.3-9.
- Fournier, R.O.**, 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. *Geoth. Res. Council Trans.*, 14, 1421-1425.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A.**, 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, USA.
- Fritz, P., Fontes, J.C.**, 1980. *Introduction Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1, New York, Elsevier, p. 1-19.

- Gat, J.R.**, 1980. The isotopes of hydrogen and oxygen in precipitation. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1, Chapter 1, New York, Elsevier, p. 21-47.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H.**, 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.
- Giggenbach, W., Gonfiantini, R., Panichi, C.**, 1983. Geothermal systems, *in: Guidebook on Nuclear techniques in hydrology*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Giggenbach, W. F.**, 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Göktaş, F., Çakmaköğlü, A., Tari, E., Sütçü, Y.F., Sarıkaya, H.**, 1989. Çivril-Çardak arasındaki jeolojisi. *MTA Rapor No: 8701*, Ankara (yayımlanmamış).
- Güleç, N., Mutlu, H.**, 2002. Jeotermal alanlarda izotop jeokimyası. *Jeotermal Enerji ve Arastırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu ders notları*, İzmir, 74-101.
- Gürer, Ö.F., Yılmaz, Y.**, 2002. Geology of the Ören and Surrounding Areas, SW Anatolia, *Turkish Journal of Earth Science* 11, 1-13.
- Helvacı, C., Alçiçek, M.C., Gündoğan, İ., Gemici, Ü.**, 2012. Tectonosedimentary Development and Palaeoenvironmental Changes in the Acıgöl Shallow-Perennial Playa-Lake Basin, SW Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, (in print).
- Holzer, H.**, 1953. 88/3, 88/4, 89/3 ve 105/1 ile 89/1 (kısmen) paftalarının jeolojisi hakkında rapor. *MTA Rapor No: 2365*, Ankara (yayımlanmamış).
- I.A.E.A.**, 1981. Deuterium and Oxygen-18 in water cycle. *Stable Isotope Hydrology*, International Atomic Energy Agency Technical Reports, No: 210, Vienno, pp. 339.
- Kazancı, N., Özkul, M., Alçiçek, M.C., Karadenizli, L.**, 2006. Acıgöl grabenindeki Geç Kuvaterner yaşlı "havza kenarı" tortullarının fasiyes özellikleri ve göl seviyesi değişimi açısından yorumlanması. *59. Türkiye Jeoloji Kurultayı (20-24 Mart 2006)*, MTA Kültür Sitesi, Bildiri Özleri Kitabı, s. 193-194, Ankara.
- Konak, N., Akdeniz, N., Çakır, H.**, 1986. Çal-Çivril-Karahallı dolayının jeolojisi. *MTA Rapor No: 8945*, Ankara (yayımlanmamış).
- Konak, N., Hepşen, N., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Göktaş, f., Sarıkaya, H., Armağan, F., Çatal, E., Serdaroğlu, M.**, 1987. Menderes Masifinin G-GD'sundaki Mesozoyik istiflerinin karşılaştırmalı stratigrafileri ve konumları. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Bildiri özetleri, 5, Ankara.
- Lebküchner, R.**, 1970. Acıgöl-Afyon-Dinar'ın kuzeyinde Neojen havzasının detaylı araştırmalarının neticesi hakkında rapor. *MTA Rapor No: 6186*, Ankara (yayımlanmamış).
- Lloyd, R.M.**, 1968. Oxygen isotope behavior in the sulfate-water system, *J. Geophys. Res.*, 73, 6099-6110.

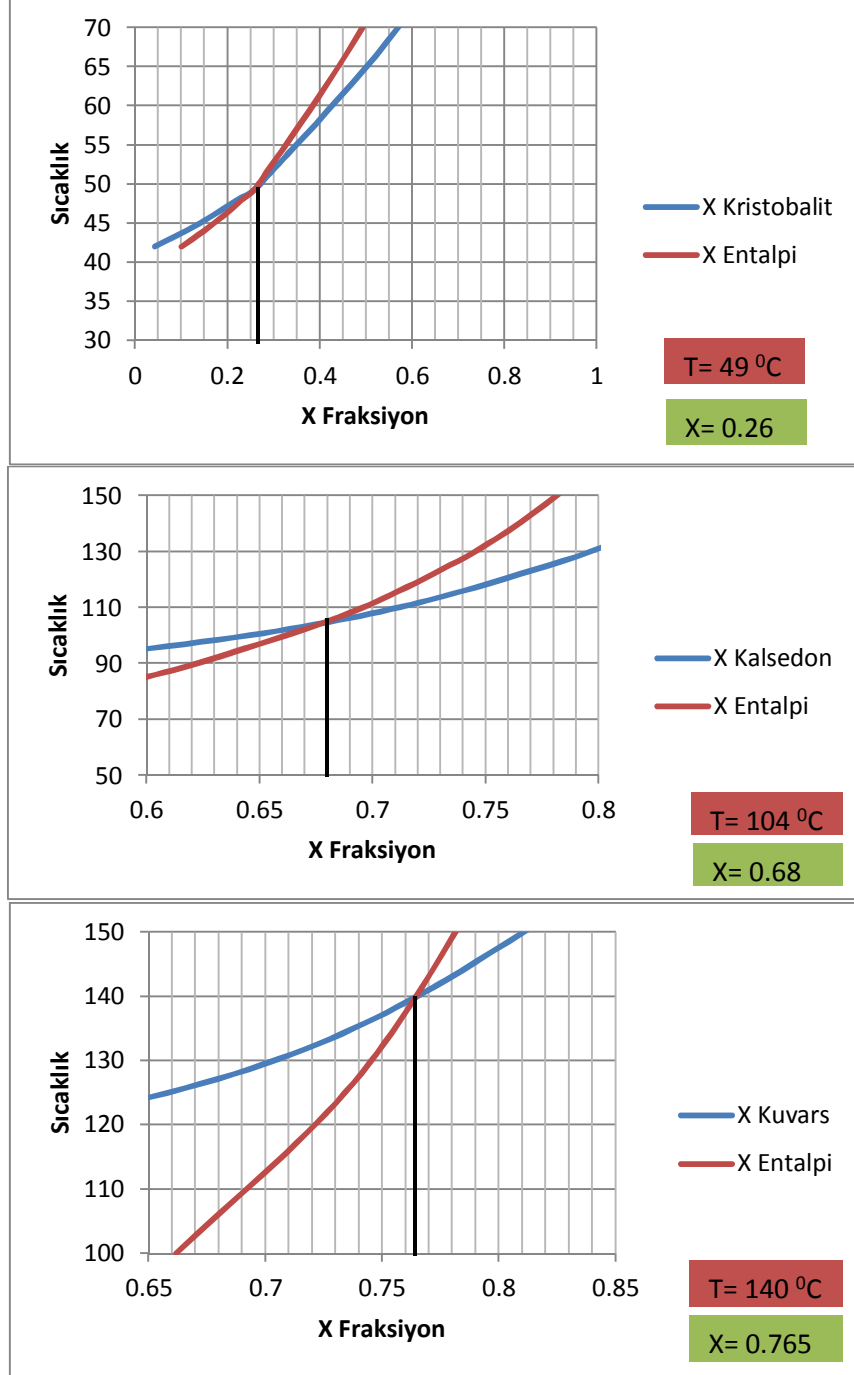
- Mizutani, Y., Rafter, T.A.,** 1969. Oxygen isotope composition of sulfates, 3. Oxygen isotopic fractionation in the bisulfate ion-water system. *N. Z. J. Sci.*, 12, 54–59.
- MTA,** 2005, *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Mutlu, H., Kadir, S. ve Akbulut, A.,** 1999. Mineralogy and Water Chemistry of the Lake Acıgöl, Denizli, Turkey. *Carbonates and Evaporites*, 14, 2, 191-199.
- Nebert, K.,** 1956. Denizli-Acıgöl merkezinin jeolojisi, 1/100000 ölçekli Denizli 105/1, 105/2 ve Isparta 106/1 paftalarının sahası içinde yapılan jeolojik harita çalışmaları hakkında rapor. *MTA Rapor No: 2509*, Ankara (yayımlanmamış).
- Öztürk, A.,** 1981. Homa-Akdağ (Denizli) yöresinin stratigrafisi. *TJK Bülteni*, 24, 1, 75-84.
- Öztürk, S.,** 1998. Denizli Çardak Beylerli Ilıca Pınarı Jeofizik SP Rezistivite Etüd Raporu. *MTA Rapor No: 10093*, Ankara (yayımlanmamış).
- Papanikolaou, D.J.,** 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides: A Review and a kinematic interpretation. (Dixon, J.E., Robertson, A.H.F., -eds.), The Geological evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 551– 562.
- Piper, A.M.,** 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Transactions, *American Geophysical Union*, 25, 914-23.
- Plummer, L.N., Busenberh, E.,** 1982. The solubilities of calcite, aragonite and vaterite in Co<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O solutions between 0°C and 90°C, and an evaluation of the aqueous model of the system CaCO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 46, 1011-40.
- Reed, M., Spycher, N.,** 1984. Calculation of ph and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, *Geochim. Chosmochim. Acta* , 48, 1479-1492.
- Sarp, H.,** 1976. Etude Geologique et petrographique du Cortege Ophiolitique de la Region Situee au Nord-Ouest de Yeşilova 8 Burdur-Turquie). *These*, Univ. Geneve, 377 p.
- Savin, S.M.,** 1980. Oxygen and hydrogen isotope effects in low-temperature mineral-water interactions. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1, Chapter 8, Amsterdam, Elsevier, p. 283-327.
- Schoeller, H.,** 1955. Geochemie des eaux souterraines. *Revue de L'institute Francois du Petrole*, 10, 230-44.
- Seyitoğlu, G.,** 1997. Late Cenozoic Tectono–Sedimentary development of the Selendi and Uşak–Güre Basins: A Contribution to the Discussion on the Development of E–W and North trending Basins in Western Turkey, *Geol. Mag.* 134 (1997) 163–175.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.,** 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in Western Turkey, *Geo. Mag.* 128, 155-166.

- Seyitoğlu, G., Scott, B.**, 1996. The Age of the Alaşehir Graben (West Turkey) and its tectonic implications, *Geol.Jour.* 31, 1-11.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C.**, 1994. Late Cenozoic Basin development in West Turkey: Gördes Basin: Tectonic and Sedimentation, *Geol.Mag.* 131, 631-637.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C., Rundle, C.C.**, 1992. Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 149, 533-538.
- Şenel, M.**, 1997. 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloj Haritaları, No: 16, *Denizli-J9 Paftası*, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, M.A., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S. ve Bilgi, C.**, 1989. Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve Dolayının Jeolojisi. *MTA Rapor No: 9429*, 345 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Şengör, A.M.C.**, 1982. Ege'nin tektonik evrimini yöneten etkenler. *Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli*, 59-72.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F.**, 1985. Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Society of Economic Paleontologist and Minerologist*, Special Publication, v. 291, 645-648.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R.**, 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics* 3, 693-707.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y.**, 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Thronthwaite, C.W.**, 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geograph. Rev.*, v. 38, p. 55-94.
- Toker, E.**, 2009. Acıgöl-Çardak (Denizli) Grabeninin Tektono-Sedimanter Gelişiminin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Truesdell, A.H., Hulston, J.R.**, 1980. Isotopic evidence on environments of geothermal systems. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1, Chapter 5, New York, Elsevier, p. 179-226.
- Wallick, E.I., Krouse, H.R., Shakur, A.**, 1984. Environmental isotopes: Principles and applications in ground water geochemical studies in Alberta, Canada. *First Canadian/American Conference on Hydrogeology*, National Water Well Assoc., p. 249-266.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Taner, K., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H., Özgönül, E.**, 1986. Batı Toroslarm jeoloji raporu. *MTA Rapor No: 7898*, Ankara (yayımlanmamış).

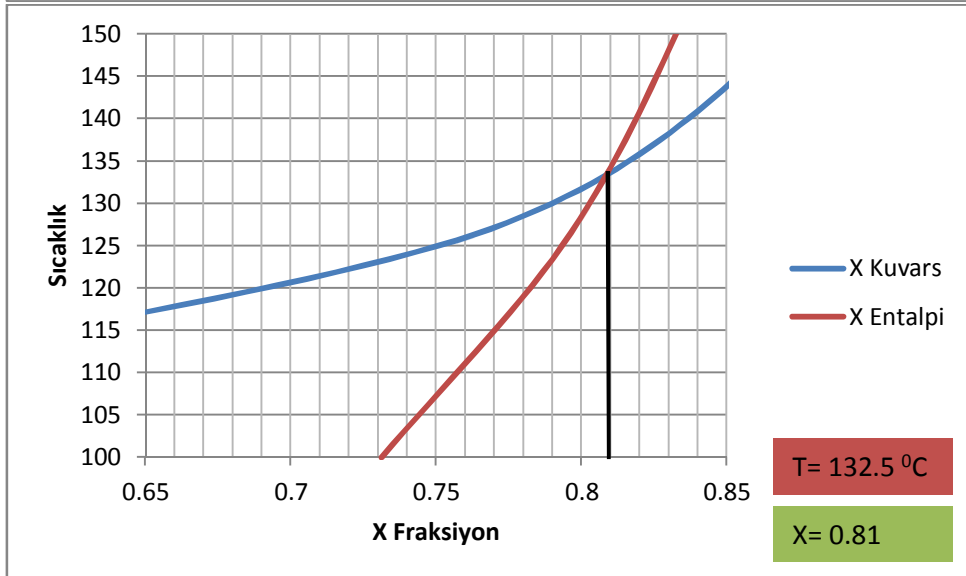
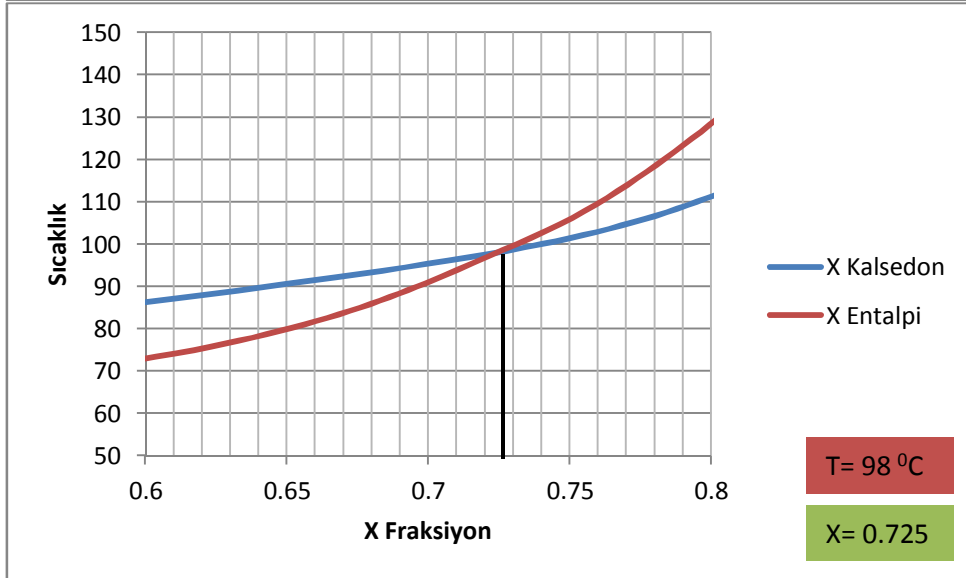
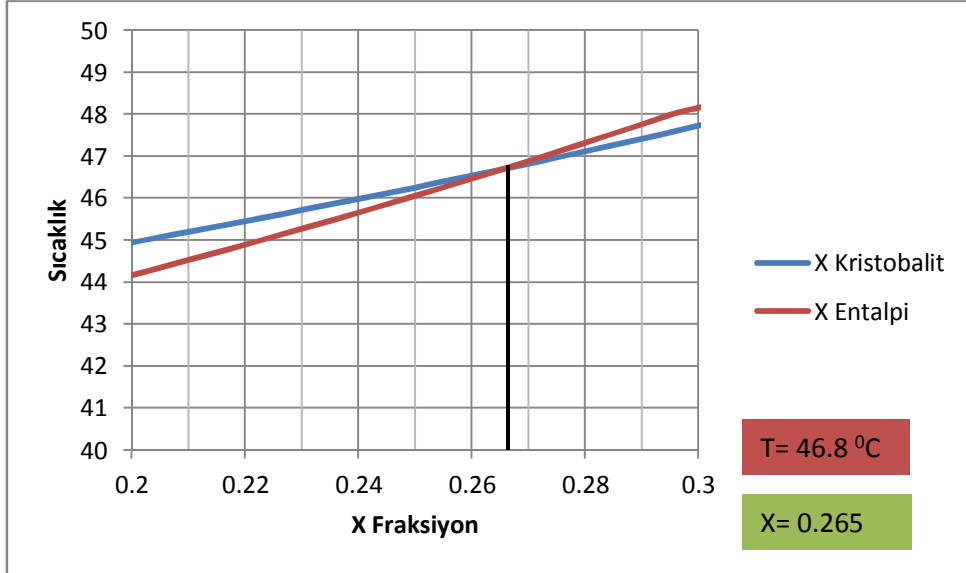
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A.,** 2000. When Did The Western Anatolian Grabens Begin to Develop? Tectonics and Magmatism in Turkey and Their Surrounding Area. *Geological Society in London*, 173, 353-384.
- Yılmaz, Y., Polat, A.,** 1998. Geology and evolution of the Thrace volcanism, Turkey. *Acta Vulcanology* 10, 293-303.
- Zanchi, A., Kissel, C., Tapırdamaz, C.,** 1990. Deformazione Continentale Neogenico-Quaternaria in Anatolia Occidentale: Nuovi Dati Strutturali. *Mem.Soc.Geol.It.*, 45, 481-488.

## EKLER

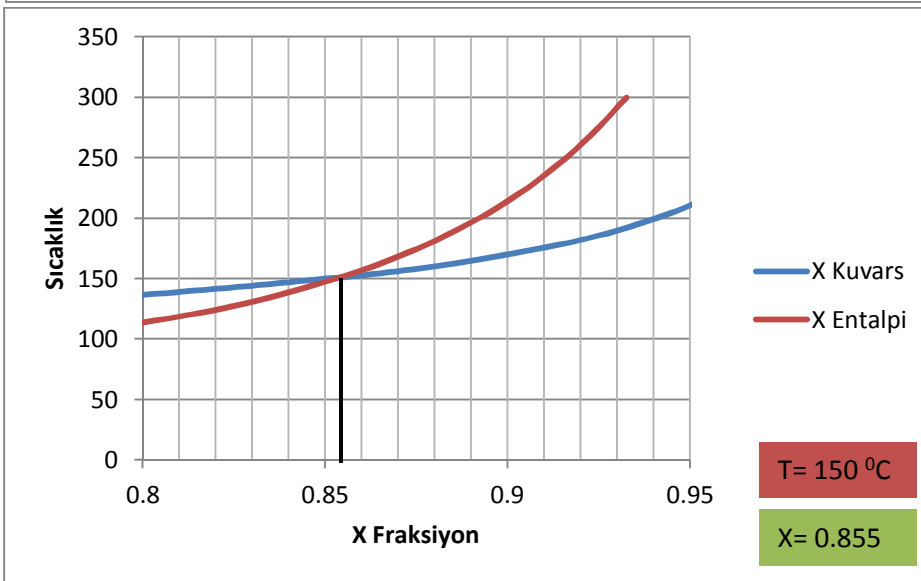
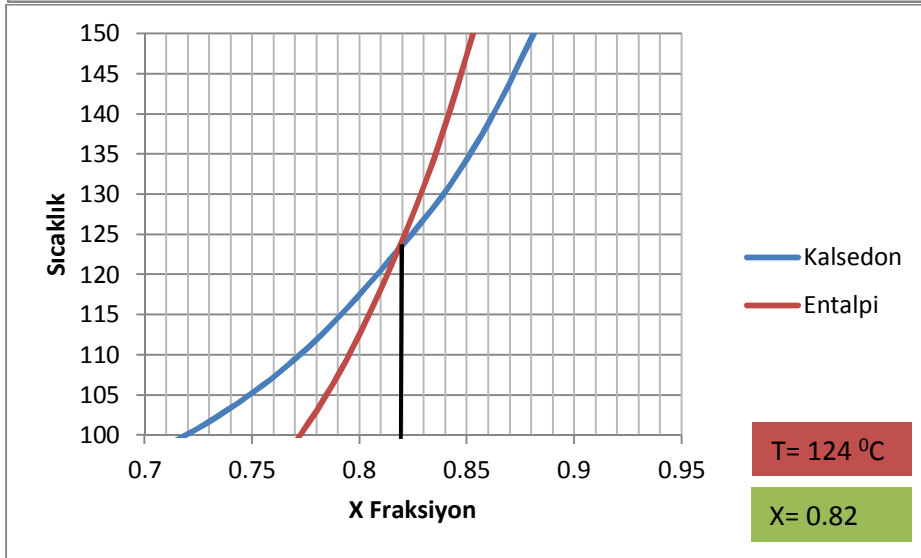
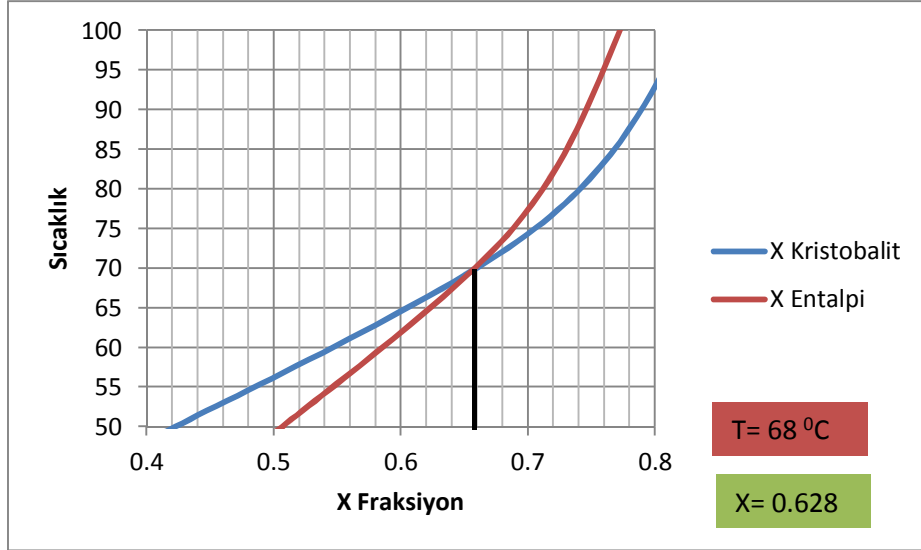
### EK A.1 Karışım modelleri grafikeri



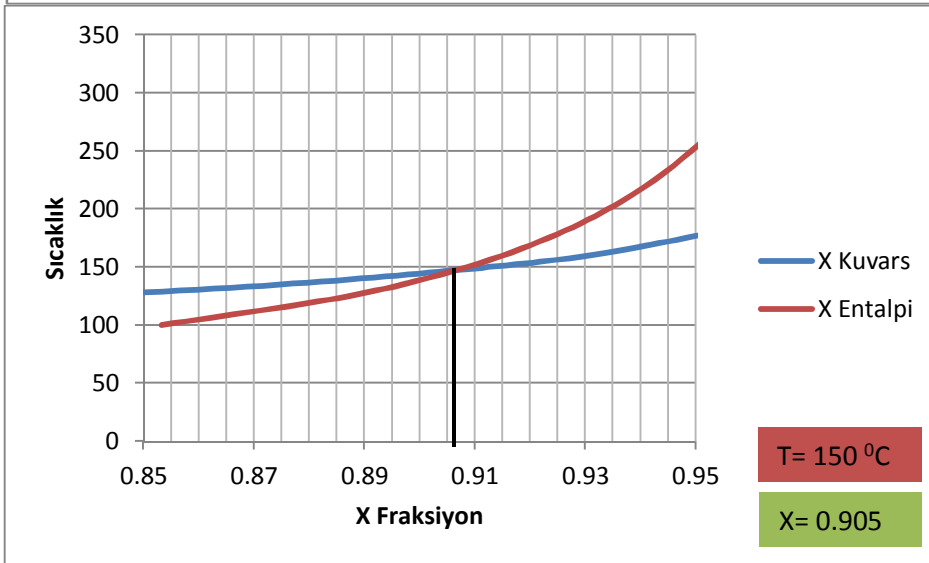
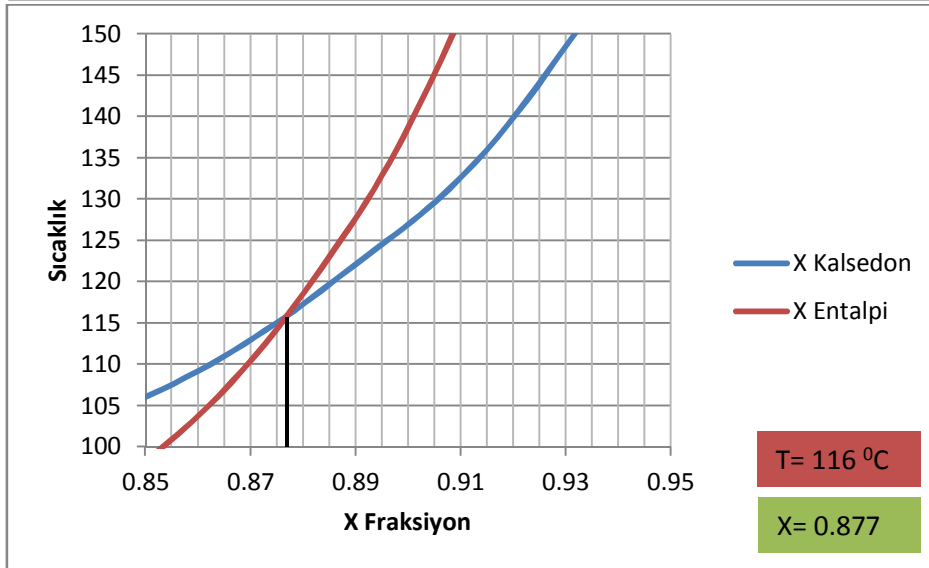
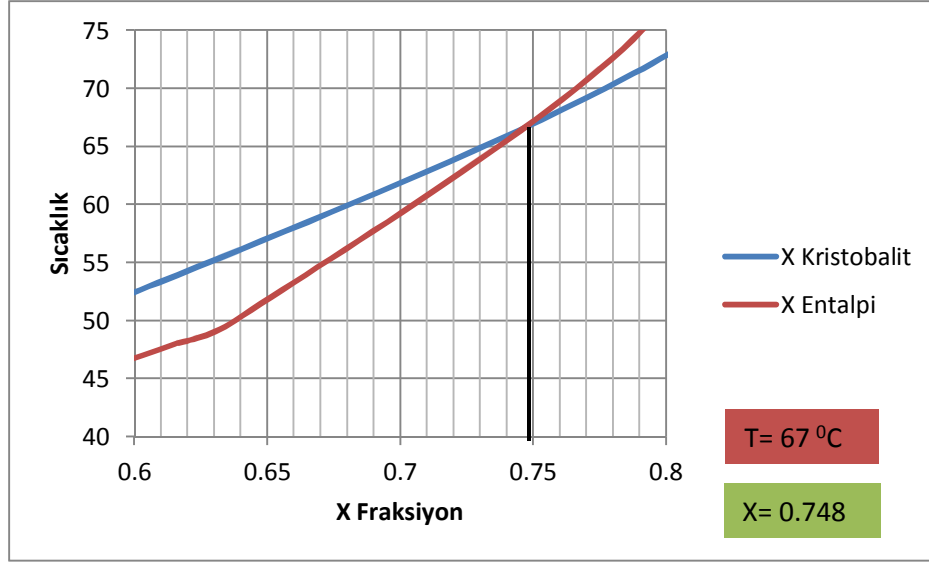
Şekil A.1: Çaltı içme suyunun karışımda bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



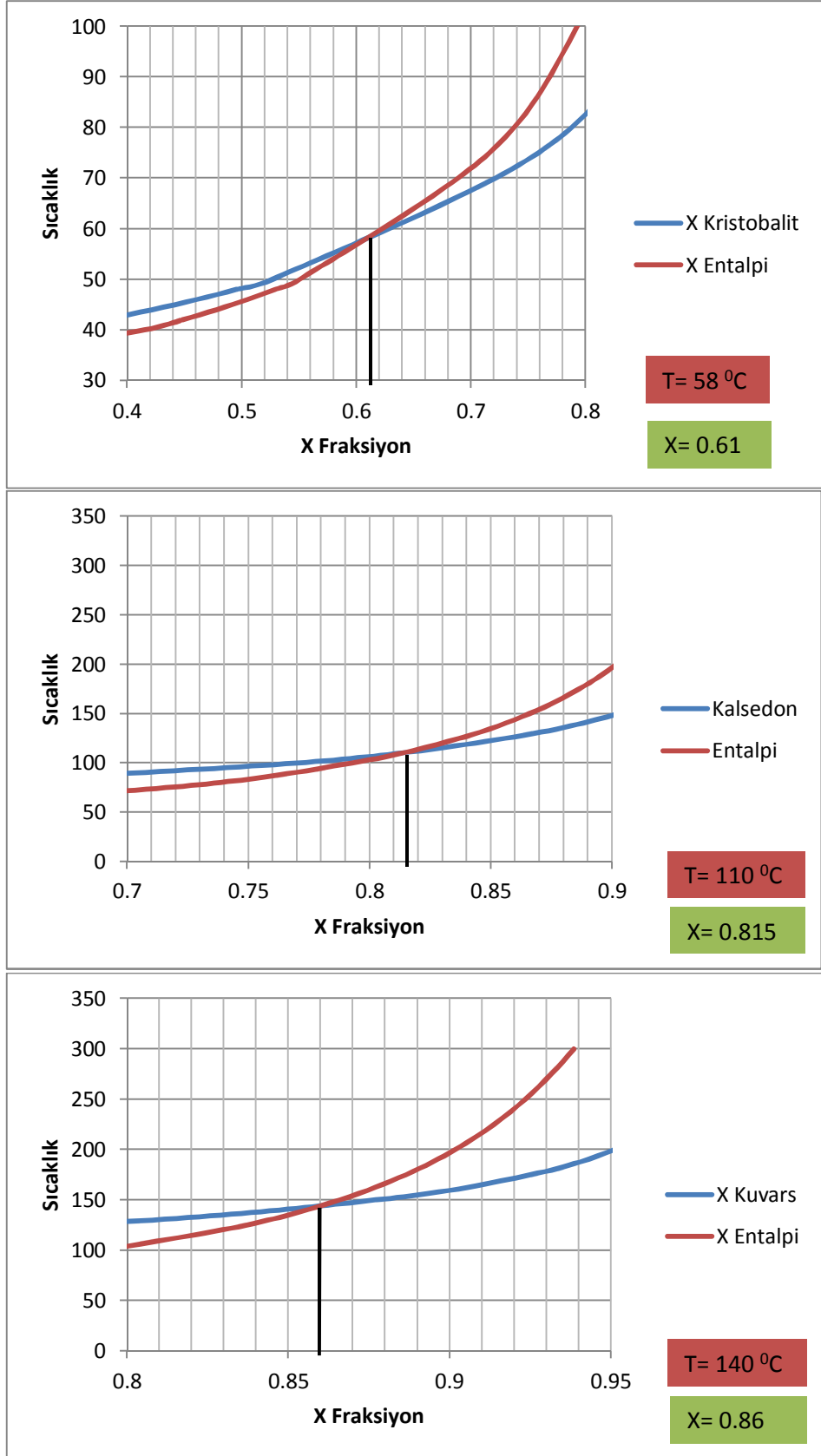
Şekil A.2: Beylerli DSİ suyunun karışımında bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Beylerli Efem kaplıcası soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



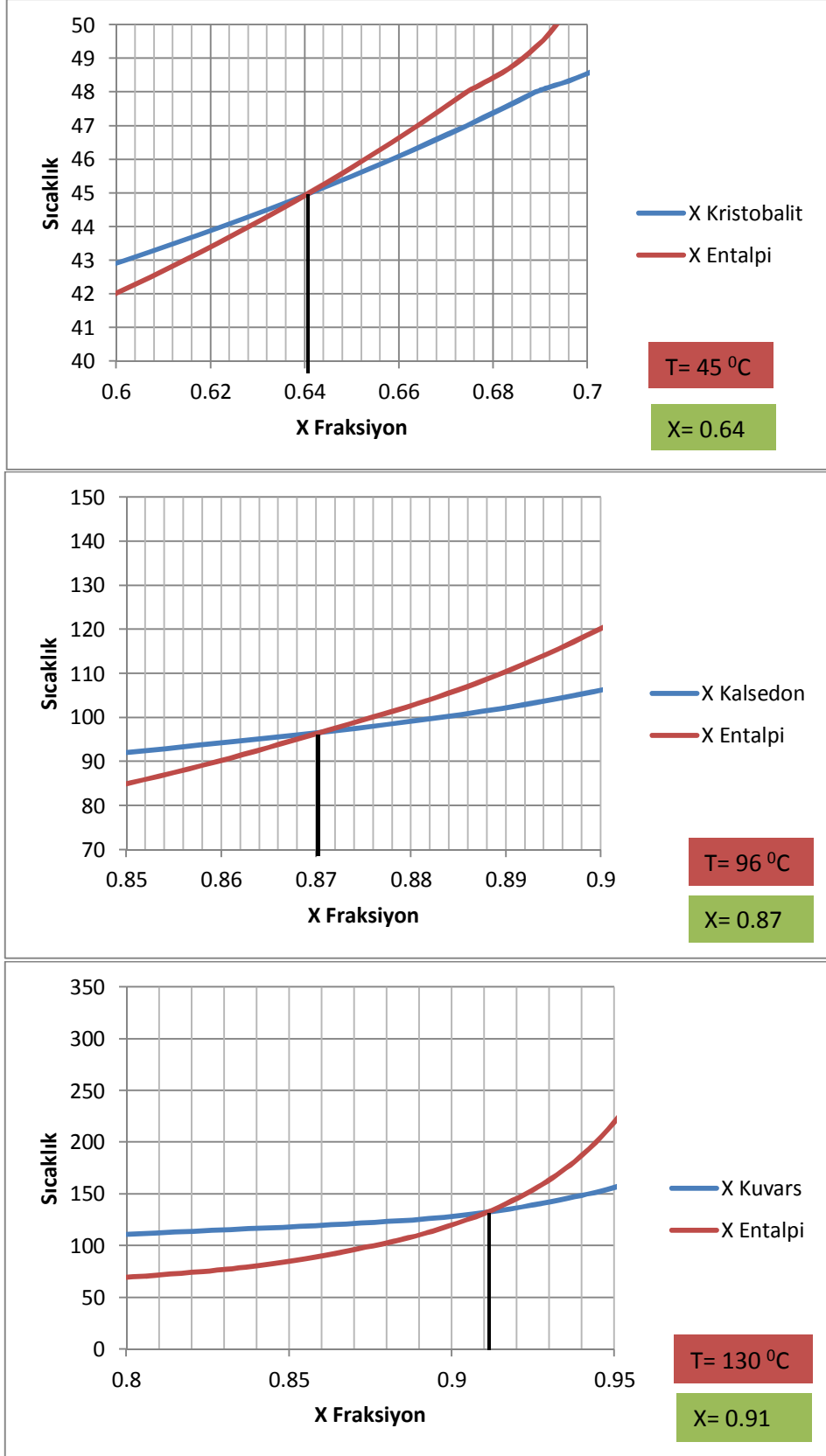
Şekil A.3: Çaltı içme suyunun karışımda bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Çaltı DSİ kuyusu soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



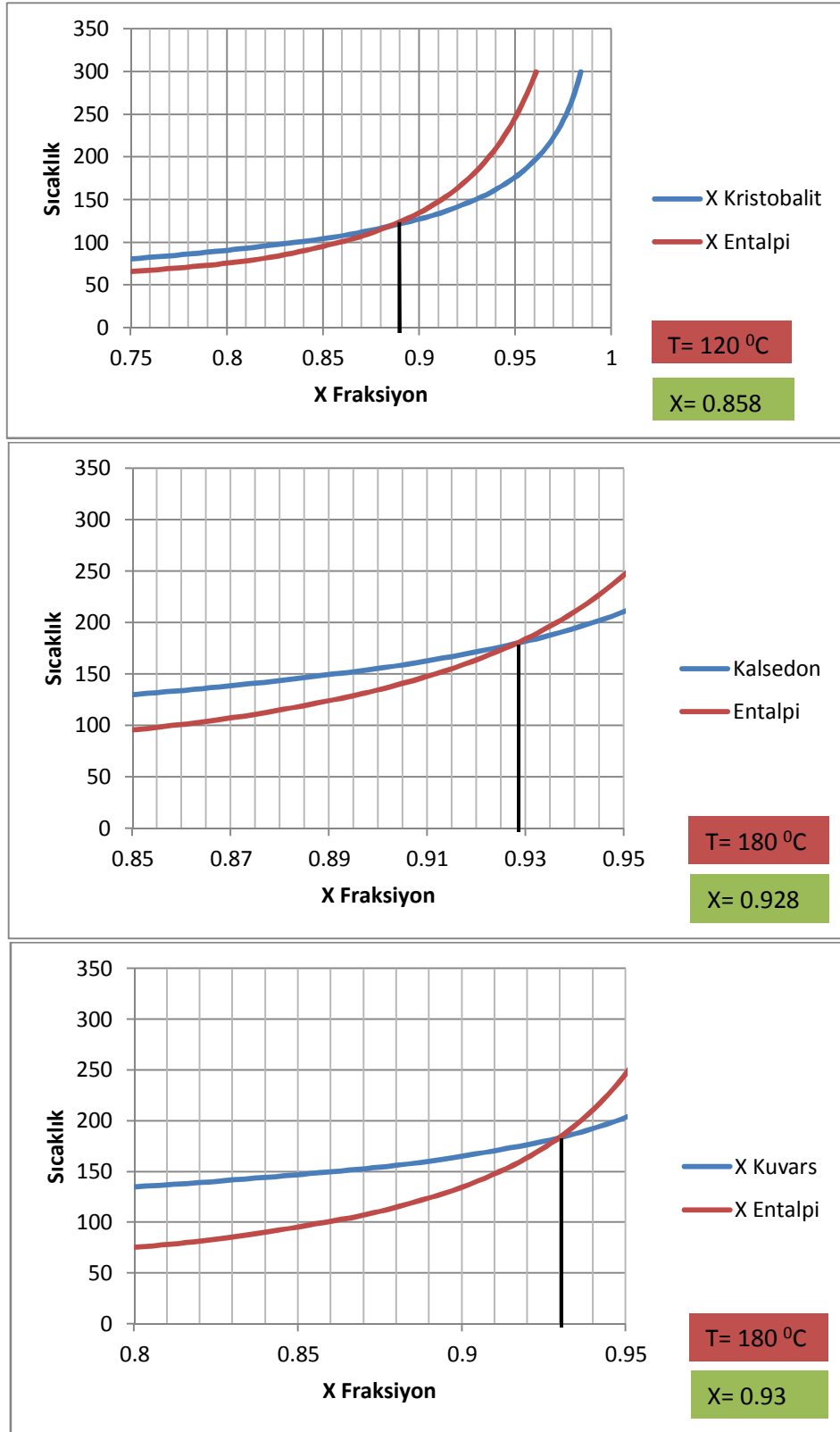
Şekil A.4: Beylerli DSİ suyunun karışımında bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Çaltı DSİ kuyusu soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



Şekil A.5: Çaltı içme suyunun karışımda bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Gölçük DSİ kuyusu soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



Şekil A.6: Beylerli DSİ suyunun karışımında bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Gölcük DSİ kuyusu soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).



Şekil A.7: Beylerli DSİ suyunun karışımında bulunan soğuk su olduğu varsayılarak ve farklı silika jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan Cumalı ılıca keson kuyusu soğuk su karışım oranları (x) ve rezervuar sıcaklıkları (T).

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Taylan AKIN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İzmir 23.03.1986

**Adres:** Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
20017 Kınıklı Denizli

**Lisans Üniversite:** Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2004-2008)

### Yayın Listesi :

- Tut Hakkıdır, F. S., **Akın, T.**, Güney, A., Uzun, A., 2012, Kızıldere Jeotermal Sahası Derin Rezervuarda Tamamlanan Yeni Kuyuların Jeokimyasal Değerlendirmesi. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan, Ankara.
- Tut Hakkıdır, F.S., **Akın, T.** Güney, A., Alpogut Bükülmez, A., 2011, Geochemistry of Fluids in New Wells of Kızıldere Geothermal Field in Turkey. 36th Workshop Geothermal Reservoir Engineering, 31th Jan- 2nd February, Standford University, 869-877.
- Güney, A., Tut Hakkıdır, F.S., **Akın T.**, Alpogut Bükülmez, A., 2011, Kızıldere Short Term Flow Test, Impact of Deep Wells. 36th Workshop Geothermal Reservoir Engineering, 31th Jan- 2nd February, Standford University, 80-86.
- Gökgöz, A., Kaya, A., Hançer, M., Özkul, M., Örü, Z., Baykara, M.O., **Akın, T.**, 2009, Uşak İlinde Yeni Bir Jeotermal Saha: Karaağaç Jeotermal Sahası Üzerine İlk Bulgular. Türkiyenin Jeotermal Potansiyeli ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, 22-23 Ekim, İ.Ü., İstanbul.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B., **Akın, T.**, 2009, Killerde Fiziksel ve Konsolidasyon Parametreleri ile Şişme Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. 14. Ulusal Kil Sempozyumu, 1-3 Ekim, K.T.Ü., Trabzon, 361-371s.