

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**EMİR JEOTERMAL SAHASININ (KULA-MANİSA)**  
**HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZGÜN DEMİREL**

**DENİZLİ, NİSAN - 2020**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**EMİR JEOTERMAL SAHASININ (KULA-MANİSA)**  
**HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZGÜN DEMİREL**

**DENİZLİ, NİSAN - 2020**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018FEBE049 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**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.**

**ÖZGÜN DEMİREL**



## ÖZET

**EMİR JEOTERMAL SAHASININ (KULA-MANİSA)  
HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÖZGÜN DEMİREL  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ)**

**DENİZLİ, NİSAN - 2020**

Emir Jeotermal Sahası, Manisa ilinin Kula ilçesinin 13 km kuzeydoğusunda yer alır. İnceleme alanının temelini serpantin, çört ve çamurtaşlarıyla kireçtaşı bloklarından meydana gelen Üst Kretase yaşlı Vezirler melanjı oluşturur. Melanj üzerine uyumsuz olarak çakıtaşı ve kumtaşından oluşan Kurtköyü Formasyonu ile çakıtaşı-kumtaşı-silttaşı-kiltaşı-killi ve kumlu kireçtaşı-marn-tüfit ar dalanmasından oluşan Yeniköy Formasyonu gelir. Her iki formasyon da Alt Miyosen yaşlıdır. Bu formasyonlar üzerinde çakıtaşı- kumtaşı-kiltaşı-marn ve kireçtaşı ar dalanmasından oluşan Orta Miyosen yaşlı Ahmetler Formasyonu (Balçıkdere üyesi) bulunur. Üst Miyosen yaşlı Asartepe Formasyonu çakıtaşı-kumtaşı ar dalanması ile temsil edilir. Kula volkanitleri, traverten ve alüvyondan oluşan Kuvaterner yaşlı birimler altlayan birimleri uyumsuz olarak örter.

Emir jeotermal sahasında rezervuar kayaçlar Vezirler Melanjına ait kırıklı, çatlaklı ve dolayısıyla ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlikleri yüksek olan kristalize kireçtaşı, mermer ve ofiyolit birimleridir. Neojen yaşlı birimlerin geçirimsiz litolojileri örtü kayayı oluşturur.

Emir Jeotermal Sahasında üç jeotermal sondaj, sekiz termal kaynak bulunmaktadır. Termal kaynaklar genellikle KD-GB doğrultulu faylardan yüzelemektedir. Suların sıcaklıkları 21,1 ile 63,3°C, elektriksel iletkenlikleri 3840 ile 5210 µS/cm ve pH değerleri 6,56 ile 7,69 arasında değişir.

Termal sular hidrokimyasal olarak Na-HCO<sub>3</sub> tipinde olu meteorik kökenlidir ve derin dolaşım yaparlar.

Termal sulardaki karbonun kaynağı karbonat kayaların yüksek sıcaklık ve basınç altındaki metamorfizması ve denizel kireçtaşlarıdır. Termal suların tümü kalsit, aragonit, dolomit, barit, kalsedon ve kuvars çökeltme eğilimindedir.

İnceleme alanı termal sularına uygulanan çeşitli jeotermometre teknikleri 90-140°C aralığında rezervuar sıcaklıkları vermiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Manisa, Kula, Hidrojeokimya, Hidrokimya, İzotop

## ABSTRACT

### HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC INVESTIGATION OF THE EMİR GEOTHERMAL FIELD (KULA-MANİSA)

MSC THESIS

ÖZGÜN DEMİREL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİ GÖKGÖZ)

DENİZLİ, APRIL 2020

Emir Geothermal Field is located at 13 kms northeast of Kula district of Manisa province. Late Cretaceous aged Vezirler Melanges, which is composed of serpentinites, cherts, mudstone and limestone blocks, forms the foundation of examination site. Pebble and sandstone formed Kurtköyü Formation and pebble-sandstone-siltstone-shale-clayish and sandy limestone- marn-tuffite alternated Yeniköy Formation are incompatibly goes through the melanges. Both formations are Early Miocene aged. Pebble-sandstone-shale-marn and limestone alternated, Mid Miocene aged Ahmetler Formation (Balçıkdere member) resides on top of these formations. Late Miocene aged Asartepe Formation is represented with pebble-sandstone alternation. Kula volcanides, travertine and alluvion formed Quaternary old units cover incompatibly subsuming units.

In the Emir Geothermal Field, reservoir rocks are fractured and jointed, thereby high secondary porosity and permeability crystallized limestone, marble and ophiolite units which belong to Vezirler Melanges. Neogene aged units' unpermeable lithology forms the cover rock.

There are three geothermal drills and eight thermal springs in Emir Geothermal Field. Thermal springs are usually surfaced from faults directioned NE-SW. Water temperatures varies between 21,1-63,3 °C, electrical conductivity varies between 3840 - 5210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and pH varies between 6,56 -7,69.

Thermal waters are hydrochemically Na-HCO<sub>3</sub> typed, have meteoric origin and do deep circulation.

The source of Carbon in the thermal waters are carbonate rocks' metamorphism under high temperature and pressure and marine limestones. All the thermal waters tend to sedimentate calcite, aragonite, dolomite, barite, calcedone and quartz.

Various geothermometer methods which are applied to the examination field thermal waters are gauged between 90-140°C reservoir temperatures.

**KEYWORDS:** Manisa, Kula, Hydrogeochemistry, Hydrochemistry, Isotope

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	2
1.3 Literatür Özeti .....	2
1.4 Yöntem .....	4
<b>2. JEOLOJİ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Stratigrafi.....	6
2.1.1 Temel Kayaçlar.....	6
2.1.1.1 Eşme Formasyonu .....	6
2.1.1.2 Musadağı Mermerleri.....	6
2.1.1.3 Kızılcasöğüt Formasyonu.....	7
2.1.2 Allohton Kayaçlar.....	7
2.1.2.1 Vezirler Melanjı .....	7
2.1.3 Neojen Örtü Birimleri.....	9
2.1.3.1 Hacibekir Grubu.....	9
2.1.3.1.1 Kürtköyü Formasyonu (Thk).....	10
2.1.3.1.2 Yeniköy Formasyonu (Thy).....	10
2.1.3.2 İnay Grubu .....	11
2.1.3.2.1 Ahmetler Formasyonu - Balçıklıdere Üyesi (Tiab).....	11
2.1.3.3 Asartepe Formasyonu.....	12
2.1.4 Kuvaterner Yaşlı Birimler .....	13
2.1.4.1 Kula Volkanitleri (Qkv).....	13
2.1.4.1.1 Burgaz Volkanitleri (Qkv1).....	13
2.1.4.1.2 Elekçitepe Volkanitleri (Qkv2).....	14
2.1.4.1.3 Divlittepe Volkanitleri (Qkv3).....	14
2.1.4.2 Traverten (Qtr) .....	15
2.1.4.3 Alüvyonlar (Qal) .....	17
2.2 Yapısal Jeoloji .....	17
<b>3. HİDROJEOLOJİ .....</b>	<b>19</b>
3.1 İklim ve Özellikleri .....	19
3.1.1 Yağış ve Sıcaklık .....	19
3.1.2 Buharlaşma-Terleme.....	20
3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	23
3.2.1 Geçirimli Birimler.....	23
3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler .....	24
3.2.3 Geçirimsiz Birimler .....	24
3.3 Su Noktaları.....	25
3.3.1 Akarsular.....	25

3.3.2	Sondajlar .....	25
3.3.3	Termal Kaynaklar .....	28
3.3.4	Maden Suyu ve Soğuk Su Kaynakları .....	30
3.4	Emir Jeotermal Sistemi .....	30
<b>4.</b>	<b>HİDROKİMYA .....</b>	<b>32</b>
4.1	Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri .....	32
4.2	İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri .....	33
4.2.1	İnceleme alanı sularının sınıflaması .....	39
4.2.1.1	Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre sınıflama.....	39
4.2.1.2	Schoeller sınıflaması .....	39
4.2.1.3	Yarı logaritmik diyagram .....	39
4.2.1.4	Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması .....	41
4.2.1.5	Piper sınıflaması.....	41
4.2.2	Suların Fizikokimyasal Özellikleri Kompozisyonları Üzerine Genel Değerlendirme .....	44
4.3	İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları.....	48
4.3.1	Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları.....	48
4.3.2	Trityum .....	50
4.3.3	Suların $\delta^{13}\text{C}$ Kompozisyonu .....	51
4.4	Suların Mineral Doygunlukları.....	52
<b>5.</b>	<b>JEOTERMOMETRİ.....</b>	<b>55</b>
5.1	Kimyasal Jeotermometreler.....	55
5.1.1	Silis Jeotermometreleri .....	55
5.1.2	Katyon Jeotermometreleri.....	58
5.2	Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi .....	59
5.3	Karışım Modelleri .....	62
5.3.1	Entalpi-Silis Karışım Modeli .....	62
5.3.2	Entalpi-Klorür Karışım Modeli .....	63
5.4	Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi.....	64
<b>6.</b>	<b>SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>65</b>
6.1	Suların İçilebilme Özellikleri .....	65
6.2	Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri.....	67
6.2.1	Wilcox Diyagramı.....	67
6.2.2	Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) .....	68
6.2.3	ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....	69
6.2.4	Klorür Tehlikesi .....	70
6.2.5	Bor Tehlikesi.....	71
6.2.6	Sulama Suyu Sınıflamalarının Sentezi .....	71
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>83</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: İnceleme alanının yerbulduru haritası .....	1
Şekil 2.1: İnceleme alanının jeoloji haritası ve su noktalarının lokasyonu. ....	8
Şekil 2.2: Vezirler Melanjına ait kireçtaşı blokları.....	9
Şekil 2.3: Emir Kaplıcalarından 150 m güneyde ayrışmış ultramafitlerden bir görünüm .....	9
Şekil 2.4: Yeniköy Formasyonu .....	11
Şekil 2.5: Ahmetler Formasyonu.....	12
Şekil 2.6: Elekçitepe Volkanitleri.....	14
Şekil 2.7: Divlittepe Volkanitleri.....	15
Şekil 2.8: Traverten .....	16
Şekil 3.1: Kula ilçe merkezi için 2013-2018 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması. ....	20
Şekil 3.2: Kula ilçe merkezi için yağış-Etp grafiği.....	23
Şekil 3.3: E-1 jeotermal sondaj kuyusu .....	26
Şekil 3.4: E-2 jeotermal sondaj kuyusu .....	26
Şekil 3.5: E-1 ve E-2 kuyularının litoloji logları. ....	27
Şekil 3.6: Patlak sondaj .....	27
Şekil 3.7: K-2 Kaynağı. ....	28
Şekil 3.8: K-3 kaynağı .....	29
Şekil 3.9: Köprüaltı termal kaynağı.....	29
Şekil 3.10: K-7 Kaynağı. ....	30
Şekil 4.1: Yarı logaritmik diyagram. ....	40
Şekil 4.2: Piper diyagramı. ....	42
Şekil 4.3: İnceleme alanı sularındaki Li, B, Ba ve SiO <sub>2</sub> miktarlarının sıcaklıkla değişimi. ....	44
Şekil 4.4: İnceleme alanı sularındaki Ca ve Mg miktarlarının pH'la değişimi	45
Şekil 4.5: İnceleme alanı sularının E.İ.- iyon ve element miktarı grafikleri. ...	46
Şekil 4.6: İnceleme alanı sularındaki iyon ve element derişimi diyagramları..	47
Şekil 4.7: Suların <sup>18</sup> O-D diyagramı .....	50
Şekil 4.8: Suların trityum-klorür diyagramı. ....	51
Şekil 4.9: Çeşitli ortamların δ <sup>13</sup> C değerleri. Kırmızı çizgiler sıcak, maviler soğuk suları gösterir .....	52
Şekil 4.10: EK-1 traverten örneğinin XRD grafiği.....	54
Şekil 4.11: EK-7 traverten örneğinin XRD grafiği.....	54
Şekil 5.1: Giggenbach diyagramı .....	59
Şekil 5.2: İnceleme alanı termal suları için sıcaklık-mineral denge diyagramları. ....	61
Şekil 5.3: İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı.....	62
Şekil 5.4: İnceleme alanı sularının entalpi-klorür diyagramı. ....	63
Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı. ....	68
Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.....	70

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Kula ilçe merkezinin 2013-2018 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu.....	22
<b>Tablo 4.1:</b> İnceleme alanında örneklenen suların koordinatları.....	32
<b>Tablo 4.2:</b> İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l). ....	34
<b>Tablo 4.3:</b> İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (µg/l). ....	35
<b>Tablo 4.4:</b> İnceleme alanı sularının sınıflaması. ....	43
<b>Tablo 4.5:</b> Suların izotop analiz sonuçları.....	49
<b>Tablo 4.6:</b> İnceleme alanı sularının bazı minerallere göre doygunluk durumları. ....	53
<b>Tablo 5.1:</b> Rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan jeotermometre bağıntıları. ....	56
<b>Tablo 5.2:</b> Jeotermometre bağıntılarından hesaplanan rezervuar sıcaklıkları..	57
<b>Tablo 5.3:</b> Jeotermometre hesaplanan sıcaklıkların minimum, maksimum ve ortalama değerler.....	57
<b>Tablo 6.1:</b> İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilme özellikleri.....	66
<b>Tablo 6.2:</b> İnceleme alanı sularının sulama suyu sınıfları.....	69
<b>Tablo 6.3:</b> Bor değerlerine göre sulama sularının sınıflaması. ....	71
<b>Tablo 6.4:</b> Sulama suyu sınıflarının sentezi. ....	72

## SEMBOL LİSTESİ

<b>km</b>	:	Kilometre
<b>km<sup>2</sup></b>	:	Kilometre kare
<b>m</b>	:	Metre
<b>ml</b>	:	Mililitre
<b>cm</b>	:	Santimetre
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	:	metreküp/saniye
<b>l/s</b>	:	litre/saniye
<b>°C</b>	:	Santigrat Derece
<b>mm</b>	:	Milimetre
<b>µm</b>	:	Mikrometre
<b>µS/cm</b>	:	Mikrosiemens/santimetre
<b>µmho/cm</b>	:	Mikromho/santimetre
<b>µg/l</b>	:	Mikrogram/litre
<b>mg/l</b>	:	Miligram/litre
<b>mek/l</b>	:	Miliekivalan/litre
<b>mol/l</b>	:	mol/litre
<b>mW/m<sup>2</sup></b>	:	miliwatt/metrekare
<b>kJ/kg</b>	:	kilojul/kilogram
<b>D</b>	:	Döteryum
<b>%</b>	:	Yüzde
<b>‰</b>	:	Binde
<b>TU</b>	:	Trityum unit
<b>VSMOW</b>	:	Vienna Standard Mean Ocean Water
<b>SMOW</b>	:	Global Meteorik Su Doğrusu
<b>KMSD</b>	:	Küresel Meteorik Su Doğrusu
<b>İMSD</b>	:	İzmir Meteorik Su Doğrusu
<b>E.I.</b>	:	Elektriksel İletkenlik
<b>HDPE</b>	:	Yüksek yoğunluklu polietilen
<b>ÇİK</b>	:	Suda Çözünmüş İnorganik Karbon

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarım esnasında, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL'a katkılarından dolayı saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarına katkıda bulunan ve bu konuda destek olan sayın hocam Prof. Dr. Ahmet YILDIZ'a, laboratuvar çalışmalarım esnasında destek ve yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları süresince sağladığı imkanlar ve misafirperverliği ile bizlerden desteğini esirgemeyen Kula Belediye Başkanı Hüseyin TOSUN ve bilgi birikimini bizlerle paylaşan Kula Belediyesi Jeoloji Mühendisi Nuran SEVİMLİ AKKOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Aldığım kararlarda her zaman bana destek olan, hayatımın her alanında olduğu gibi öğrenimimim boyunca da yükümü paylaşıp yardımcı olan sevgili eşim Sema DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



Gediz Çayı ve kolu olan Geren Çayı inceleme alanından geçmektedir. Her iki arazi döneminde de Geren Çayı'nın debisinin çok düşük olduğu (yer yer su birikintisi halinde) gözlenmiştir. Sahadaki yerleşim yerleri Şehitlioğlu ve Çakırca köyleridir. Yılın her dönemi için ulaşımda sorun yoktur.

Kula ilçesinde dericilik, halıcılık, ayakkabıcılık ve leblebi üretimi yaygındır. Bakırcılık, semercilik, keçecilik gibi bazı zanaat türleri yaşatılmaya çalışılmaktadır. İlçenin kuzeyi lav akıntısı ile örtülü olduğundan tarıma elverişli değildir. Güney kesimde ise günümüzde genellikle haşhaş ve tahıl üretimi yapılmaktadır.

## **1.2 Çalışmanın Amacı**

Tezin amacı Emir Jeotermal Sahası sıcak ve mineralli sularının kimyasal kompozisyonunu, kökenini, yeraltındaki sirkülasyon süresini belirlemek, suların kimyasal kompozisyonunu şekillendiren etkenleri tartışmak, suların çeşitli minerallere göre doygunluk durumlarını saptamak, rezervuar sıcaklığına yaklaşım sağlamak ve sahanın kavramsal hidrokimyasal modelini ortaya koymaktır.

## **1.3 Literatür Özeti**

Çalışma alanı ve yakın çevresinde birçok araştırmacı bölgenin jeolojisi, tektonik yapısı, volkanizması ve hidrojeolojisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bunlardan bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Çalışma alanı ve civarında aşağıda sıralanan kaya birimleri gözlenmektedir (Ercan ve diğ. 1983, Bunbury 1996, Seyitoğlu 1997, Purvis ve Robertson 2005, Ersoy ve diğ 2007, 2011 ve 2012): Menderes Masifinin Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaları (mikaşist, şist ve gözlü gnays) temeli oluşturmaktadır. Temel üzerine bindirmeyle Geç Paleosen–Erken Eosen yaşlı ofiyolitik melanj birimi gelmektedir. Bu birimler üzerinde uyumsuz dokanakla genellikle çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, kireçtaşı ve marndan oluşan Neojen yaşlı akarsu-göl çökelleri bulunmaktadır. Kuvaterner bazalt, alüvyon ve travertenlerle temsil edilmektedir.

Borsi ve diğ. (1972), Kula bölgesindeki en yaşlı bazaltik volkanizmanın yaşını K-Ar yöntemiyle 1,1 milyon yıl olarak saptamışlar ve lavların nefelin havaiyit olarak adlanabileceğini belirtmişlerdir. Ercan (1979), Kula volkanitlerinin “alkali olivin bazalt” türde olduklarını, bu volkanitlerin sodik olanlarının alkali bazalt, hawaiiit (havaiyit), mujeirit ve potasik olanların da trakibazalt olarak adlanmaları gerektiğini ifade etmiştir. Ercan (1993), Batı Anadolu'da Kuvaterner volkanizmasının sadece Kula ilçe merkezi dolaylarında alkali bazaltik lavlarla temsil edildiğini ve bu lavların radyometrik yöntemlerle belirlenen yaşlarının 1,7 milyon yıl ile 25.000 yıl arasında olduğunu belirtmiştir. Ercan (1996), Kula volkanitlerinin manto kökenli olduğunu ve volkanitlerin üç evrede meydana geldiğini belirtmiş, yaşlandırma çalışmaları sonunda ilk evre lavlarının 1,7–1,1 milyon, ikinci evre lavlarının 600.000 ±100.000 yıl ve üçüncü evre lavlarının da 200.000-100.000 yıl arasında yaşa sahip olduklarını belirlemiştir.

Güleç (1988), Batı Anadolu'daki jeotermal akışkanların He-izotop bileşimlerinin mantosal helyum ve kabuksal helyum bileşenleri arasındaki bir karışımı ortaya koyduğunu, mantosal helyumun dağılımının yüzey volkaniklerinin dağılımına uygunluk göstermediğini, ama daha çok ana fay yapılarının dağılımı ile kontrol edildiğini ifade etmiştir.

Tokçaeer (2000), Kula jeotermal sahasının orta entalpili bir saha olduğunu, termal akışkanların yükselmeleri ve yüzeylemeleri sırasında, gaz fazının ayrışması, kaynama, karışım, iyon değişimi ve CaCO<sub>3</sub> çökmesi gibi olaylar yaşandığını ve olası rezervuar sıcaklığının 130-140°C civarında olduğunu belirtmiştir.

Koca ve diğ. (2019), Emir Kaplıcası ve çevresinde KD-GB yönlü fayları kesen KB-GD doğrultulu normal fay zonları boyunca alterasyonların gözleendiğini, sahadaki sıcak akışkanın meteorik kökenli olduğunu, aynı haznedenden geldiğini ve Na-HCO<sub>3</sub> iyonlarınınca zengin olduğu ifade etmişler, kation jeotermometrelerine göre 80-142°C arasında bir rezervuar sıcaklığı öngörmüşlerdir.

## 1.4 Yöntem

Emir jeotermal sahasındaki suların kimyasal özelliklerini belirlemek için jeotermal sondajlardan 3, jeotermal kaynaklardan 8, soğuk su kaynaklarından 3, maden suyundan 1 ve yağmur suyundan 1 adet olmak üzere toplam 16 su noktasından Ekim 2018 döneminde yerinde ölçüm ve örnekleme yapılmıştır. Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve pH değerleri HACH-LANGE HQ40D model multimetre ile ölçülmüş, ölçümlerden önce, her parametre için cihaz standart çözeltilerle kalibre edilmiştir.

Majör iyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$ ) analizleri için örnekler 250 ml'lik çift tıpalı HDPE şişelere filtre edilerek ( $0.45 \mu\text{m}$ ) alınmış ve laboratuvara ulaştırılincaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır ( $<+4^\circ\text{C}$ ). Element analizleri için örnekler 100 ml'lik HDPE şişelere filtre edilerek alınmış ve daha sonra ultra saf  $\text{HNO}_3$  ilavesiyle örnek pH'ları 2 veya altına indirilmiştir.  $\text{SiO}_2$  analizi için örnekler 100 ml'lik HDPE şişelere ultra saf su ile seyreltilerek alınmıştır.

Örnekler  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  analizi için 50 ml, trityum analizi için ise 500 ml'lik çift tıpalı HDPE şişelere, hava kabarcığı bırakmadan alınmıştır. Suda çözülmüş inorganik karbonun (ÇİK)  $^{13}\text{C}$  analizleri için örnekler 100 ml'lik çift tıpalı kahverengi cam şişelere filtre edilerek alınmış, analizi yapacak laboratuvarın isteği üzerine suya  $\text{HgCl}_2$  ilave edilmemiş, ancak, laboratuvara ulaştırılincaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır ( $<+4^\circ\text{C}$ ). Suda çözülmüş sülfatın  $^{34}\text{S}$  analizi için örnekler filtre edilerek alınmış ve seyreltik ultra saf  $\text{HCl}$  ilavesiyle örnek pH'ı 4-5'e getirilmiştir. Ardından, örnek hacmi ve sülfat derişimine göre değişen miktarlarda (100-150 mg)  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  suya ilave edilerek 3-6 saat beklemeyele  $\text{BaSO}_4$  çöktürülmüştür.

Suların majör iyon analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarı'na, element analizleri AcmeLab (Kanada)'a yaptırılmıştır.  $\text{SiO}_2$  analizleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeokimya Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.  $^{18}\text{O}$  ve D izotop analizleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (TAKK)'nda,  $^{13}\text{C}$  (ÇİK) ve suda çözülmüş sülfattan  $^{34}\text{S}$  analizleri Waterloo Üniversitesi, Environmental Isotope Laboratory'a (USA) yaptırılmıştır.



XRD analizi için iki adet kabuk-traverten örneği alınmıştır. Örnekler kurutma işleminden sonra kırma ve öğütme işlemleriyle 250 mm tane boyutuna öğütölmüştür. Analizler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde, Shimadzu marka XRD-6000 model (Ni filtreli, CuKa radyasyonlu) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numuneler 2°/dak.'da taranarak 2°-70° (2 $\theta$ ) goniometre kırınım açısı aralığında 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir.

Hidrokimyasal değerlendirmelerde Aquachem (Calmbach 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

## **2. JEOLOJİ**

### **2.1 Stratigrafi**

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki kaya birimleri temel kayalar, allokon kayalar, Neojen örtü birimleri ve Kuvaterner yaşı birimler olarak ayrılanmıştır.

#### **2.1.1 Temel Kayalar**

Bölgedeki temel kayalar Şekil 2.1'deki jeoloji haritasında görülmemesine karşın inceleme alanı yakın çevresinde geniş yayılım sunmaktadır. Bu kayalar Menderes Masifinin Paleozoyik yaşı Eşme Formasyonu ve Permo-Karbonifer yaşı Musadağı mermerlerinden ve bunların üzerinde uyumsuz olarak bulunan Jura yaşı Kızılcasöğüt Formasyonundan oluşmaktadır.

##### **2.1.1.1 Eşme Formasyonu**

Formasyon para kökenli gözlü gnaylarla başlar; yer yer diyasporit, hematit ve magnetit cevherleşmeleri, yer yer de turmalinli ve arsenopiritli kuvars damarları içerirler ve üste doğru ince taneli biyotit gnaylara geçerler (Ercan ve diğ. 1983). Bunların üzerinde de Menderes Masifinin örtü şistleri olarak nitelendirilen mikaşist, kuvars-muskovit şist, kuvarsit şist, granatlı şist, klorit şist gibi ince taneli şistler yer almakta ve üst kısımlara doğru da ince mermer bantları ve düzeyleri görülmektedir (Ercan ve diğ. 1983). Yaşı Permiyen öncesidir (Ercan ve diğ. 1983).

##### **2.1.1.2 Musadağı Mermerleri**

Musadağı mermerleri açık gri, beyaz renkli iri kristalli, kalın katmanlı dolomitik mermerlerden oluşmaktadır; yer yer mercerler şeklinde diyasporit ve zımparataşı cevherleşmeleri içeren birimin yaşı Permo-Triyas olarak kabul

edilmektedir (Ercan ve diğ. 1983). Birim bol kırıklı, çatlaklı ve karstik bir yapıya sahiptir.

### **2.1.1.3 Kızılcaşöğüt Formasyonu**

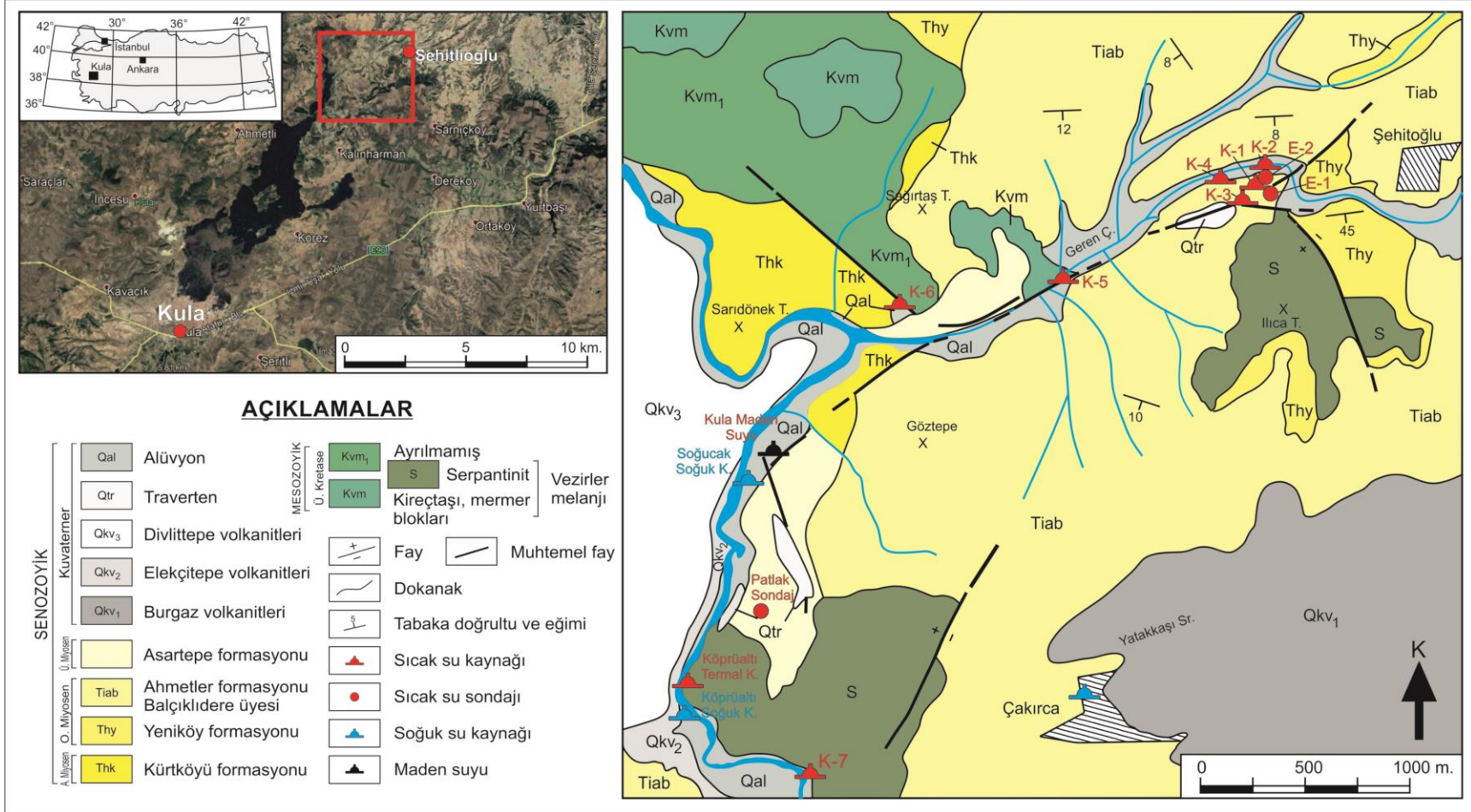
Formasyon gri, mavimsi renkli ve yer yer çört bantları içeren Jura yaşlı dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Ercan ve diğ. 1983).

## **2.1.2 Allohton Kayaçlar**

### **2.1.2.1 Vezirler Melanjı**

Vezirler Melanjı, Menderes Masifi üzerine tektonik dokanakla yerleşmiştir. Yerleşme yaşı Üst Kretase olup hareket olasılıkla güneyden kuzeye doğrudur (Ercan ve diğ. 1983). Melanj, çeşitli boyutlarda ultramafik, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, çamurtaşı, bazik volkanit ve mermerden oluşmaktadır (Ercan ve diğ. 1983). Birim, çalışma alanının kuzeybatı ve güneybatı kesimleriyle Emir Kaplıcalarının güneyinde geniş yayılım gösterir (Şekil 2.2). Melanj içindeki kireçtaşları gri, koyu gri renkli ve iyi dayanımlı olup inceleme alanında intraklastik bir yapıya sahiptir ve yer yer çözünme boşlukları içerirler (Şekil 2.3).

Melanj içindeki ultramafik kayalar genellikle serpantinleşmiş peridotitlerden oluşmaktadır. Bu serpantinleşmiş ultramafik kayalar genellikle yeşil, koyu yeşil renkli ve yer yer kırıklı ve çatlaklıdır. Bazı mevkilerde yer yer silisleşen ve karbonatlaşan, ultramafitler üzerinde 1-10 metre kalınlıklarda silisli ve karbonatlı bir kabuk (listvenit) oluşmuştur (Ercan ve diğ. 1983). Listvenitler en iyi Hoca Seyfettin Köprüsü civarında gözlenir.



Şekil 2.1: İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA, 2005) ve su noktalarının lokasyonu.



**Şekil 2.2:** Vezirler Melanjına ait kireçtaşı blokları. (K-6 Kaynağının 170 m kuzeydoğusu. Koordinat: 35 S 650359D, 4278891K).



**Şekil 2.3:** Emir Kaplıcalarından 150 m güneyde ayrılmış ultramafitlerden bir görünüm (Koordinat: 35 S 641977D, 4279130K).

### **2.1.3 Neojen Örtü Birimleri**

#### **2.1.3.1 Hacibekir Grubu**

Hacibekir grubu inceleme alanında Kürtköyü ve Yeniköy Formasyonları ile temsil edilmektedir.

### **2.1.3.1.1 Kürtköyü Formasyonu (Thk)**

Formasyon alt kesimlerde, değişik boyuttaki (0,1 – 50 cm) salt utramafit kayaç bileşenlerinden oluşan yeşil renkli çakıltaşı ve kumtaşları ile başlamakta ve üst kısımlara doğru tüm ofiyolitli melanaj birimleri ve Menderes Masifi metamorfitlelerine ilişkin bileşenler içeren çakıltaşı ve kumtaşları ile devam etmektedir (Ercan ve diğ. 1983). İnceleme alanında Sarıdönek Tepe ve civarı ile Geren Çayı'nın Gediz Çayı ile birleştiği kesim civarındaki yol yarmalarında gözlenmektedir. Yer yer çapraz katmanlanma ve laminalanma özellikleri gösteren birimde katman eğimleri 15°'yi geçmez; bütünüyle karasal alüvyon yelpazesi ortamında oluşmuş olan Kurtköyü Formasyonu 180 metreden fazla kalınlığa sahiptir (Ercan ve diğ. 1983). Vezirler Melanjı üzerinde uyumsuz olarak yer alan formasyon Alt Miyosen yaşlıdır (Ercan ve diğ. 1983).

### **2.1.3.1.2 Yeniköy Formasyonu (Thy)**

Yeniköy Formasyonu, akarsu ortamında çökelmiş olan koyu sarı, turuncu, gri renkli çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, killi-kumlu kireçtaşı, marn ve tüfit ardalanmasından oluşmaktadır. Katman kalınlıkları değişken olup yersel olarak kömür oluşukları ve jips mercekleri içeren formasyonda uranyum açısından zengin yuvalanmalar da görülmektedir (Ercan ve diğ. 1978, 1983). İnceleme alanında başlıca Emir Kaplıca tesisleri civarında gözlenir (Şekil 2.4). Kaplıcanın güneyinde Vezirler Melanjı ile olan dokanağı faylıdır. Kürtköyü Formasyonunun üzerinde uyumlu olarak yer alan Yeniköy Formasyonunun yaşı Ercan ve diğ. (1978, 1983) tarafından Orta-Üst Miyosen olarak verilmiştir. Ancak sonraki çalışmalarda izotopik yaş verileri ve palinolojik bulgulara göre İnay Grubu'nun yaşının Orta Miyosen olduğu belirlenmiştir (Seyitoğlu 1997, Seyitoğlu ve diğ. 1997, Seyitoğlu ve Benda 1998).



**Şekil 2.4:** Yeniköy Formasyonu (Şehitlioğlu Köyünün yaklaşık 300 m batısında Geren Çayı kıyısı. Koordinat: 35 S 652431D, 4279270K. Bakış yönü: KB).

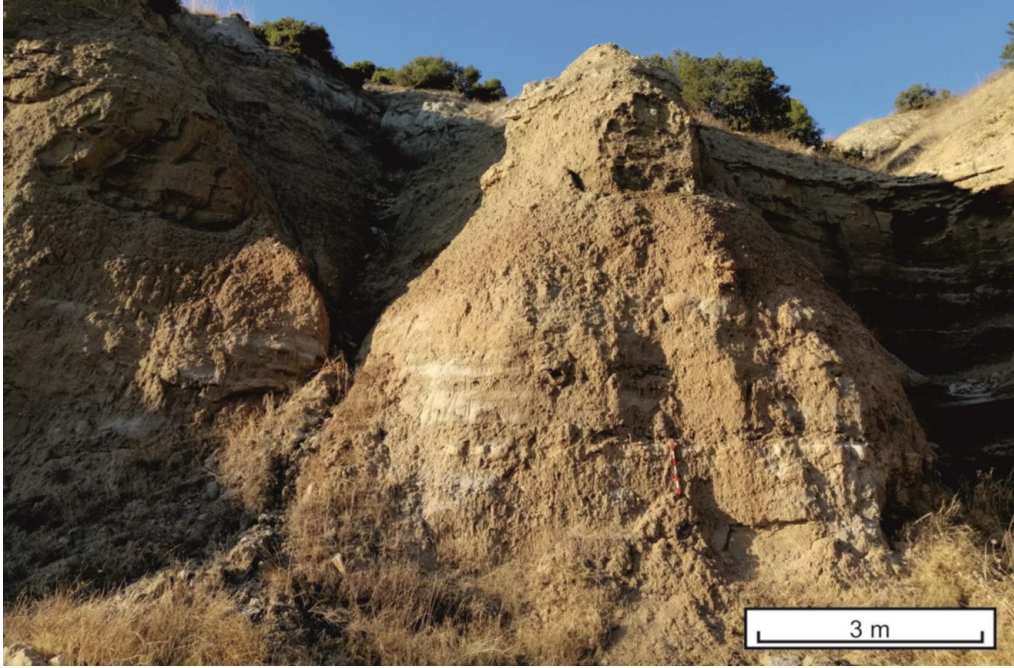
### **2.1.3.2 İnay Grubu**

İnay grubu inceleme alanında Ahmetler Formasyonunun Balçıklıdere üyesi ile temsil edilmektedir.

#### **2.1.3.2.1 Ahmetler Formasyonu - Balçıklıdere Üyesi (Tiab)**

Ahmetler Formasyonu alttan üste Merdivenlikuyu, Balçıklıdere ve Gedikler üyelerinden oluşmakta olup inceleme alanında yalnızca Balçıklıdere üyesi gözlenmektedir. Balçıklıdere üyesi genellikle gri, beyaz, açık sarı, açık mavi, açık yeşil renklerde, yatay veya yataya yakın katmanlı çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, marn, tüfit ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Ercan ve diğ. 1978, 1983). Akarsu ortamında çökelmiş olan üyenin kalınlığı en fazla 200 m'dir (Ercan ve diğ. 1978, 1983). İnceleme alanında geniş yayılım sunar. Emir Kaplıcası kuzeyinde, Geren Çayı kuzey yamacında Balçıklıdere üyesi kahverengi, kırmızı, gri ve yeşilimsi gri renklerdeki çamurtaşları ile çakıltaşı mercekleri ve kumtaşı ara seviyelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.5). Çakıltaşının bileşenleri egemen olarak kuvarsit ve çeşitli şistler olup çakıl boyutu 13 cm'ye kadar çıkmaktadır. Çakıllar kötü boylanmış, orta-iyi derecede yuvarlaklaşmıştır. Çamurtaşlarının içinde birkaç mm boyutlu çakıl bileşenleri oldukça köşelidir. Kumtaşları bol mikalıdır. İstif içerisinde yer yer açık

renkli pond karbonatları (mevsimsel geçer havuzcuklar) bulunmaktadır. Yanal devamlılığı birkaç metreyle sınırlıdır. İstifte kumtaşları orta, diğer litolojiler az peklemiştir. İstifin bu kısmı alüvyal düzlüğü temsil etmektedir. İnceleme alanı civarında gözlenen peribacaları Ahmetler Formasyonunda gelişmektedir. Peribacalarının şapkalarını kumtaşı ve kıltaşı birimlerine göre erozyona daha dirençli olan çakıltaşı katmanları oluşturmaktadır (şen 2002). Altlayan birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alan Balçıklıdere üyesinin yaşı Alt Pliyosen olarak verilmesine (Ercan ve diğ. 1978, 1983) karşın, birim içerisine tortullaşmayla yaşıt olarak yerleşmiş lamproitik volkanitlerden elde edilen yaş (Ar/Ar) 14,2 milyon yıldır (Innocenti ve diğ. 2005). Bu nedenle Balçıklıdere üyesinin yaşı Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.



**şekil 2.5:** Ahmetler Formasyonu (Emir Kaplıcalarının 200 m kuzeybatısı. Koordinat: 35 S 651824D, 4279412K. Bakış yönü: K).

### 2.1.3.3 Asartepeler Formasyonu

Genelde kıvıl ve turuncu renkte, gevşek kireç-kil-tüfit çimentolu, çok kökenli, yuvarlak çakıllı çakıltaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Ercan ve diğ. 1978). Orta-kalın katmanlı ve katman eğimleri genellikle yataya yakın olan formasyonun kalınlığı en çok 200 m'dir (Ercan ve diğ. 1978). Formasyon akarsu ortamında çökelmiştir ve yaşı Kuvarterner olarak kabul edilmiştir (Ercan ve diğ.



1978, 1983). Şen ve diğ. (1994) İnay Grubu içinde gösterilen Kemiklitepe fosil lokasyonunun (Uşak-Güre Havzası) memeli fosil içeriği ve manyetostratigrafisine göre ~7 milyon yıl yaşında olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, sonraki çalışmalar Kemiklitepe fosil lokasyonunun İnay Grubu'na değil, Asartepe Formasyonuna dahil olduğunu göstermiştir (Seyitoğlu ve diğ. 2009). Selendi havzasının doğusunda bulunan ve Asartepe Formasyonunun eşdeğeri olarak kabul edilen Kocakuz Formasyonu  $8.5 \pm 0.2$  ve  $8.37 \pm 0.07$  milyon yıl yaşlı Kabaklar Bazaltı (trakibazalt) (Ercan ve diğ. 1996, Innocenti ve diğ. 2005) ile örtülmüştür (Ersoy ve Helvacı 2007). Bu verilere göre Asartepe Formasyonunun yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilebilir.

## **2.1.4 Kuvaterner Yaşlı Birimler**

### **2.1.4.1 Kula Volkanitleri (Qkv)**

Kula volkanik alanında ~35 km boyunca uzanan 64 cüruf konisi, 16 küçük koni, 8 sıçratma konisi, 6 tümülüs ve 5 maar olmak üzere toplam 99 monojenetik çıkış merkezi bulunmaktadır (Şen ve diğ. 2014). Ercan (1993), Batı Anadolu'da Kuvaterner volkanizmasının sadece Kula ilçe merkezi dolaylarında alkali bazaltik lavlarla temsil edildiğini ve volkanitlerin manto kökenli olduğunu belirtmiştir. Kula volkanizması üç evrede gerçekleşmiş ve bu evrelerdeki volkanitler yaşlıdan gence Burgaz, Elekçitepe ve Divlittepe Volkanitleri olarak adlandırılmıştır.

#### **2.1.4.1.1 Burgaz Volkanitleri (Qkv1)**

Kula Volkanitlerinin ilk evresini oluşturan Burgaz Volkanitleri, inceleme alanında Çakırca Köyü'nün doğu ve güneydoğusunda (Şekil 2.1), yaklaşık 600 metre kotta, koyu gri-siyah renkte plato bazaltları olarak gözlenmektedir. Lavlarda bazen altıgen soğuma yüzeyleri ve iyi gelişmiş sütun yapıları gözlenmektedir. Akıntıların kalınlığı 10 ile 30 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlık 15 metredir (Şen ve diğ. 2014). Burgaz Volkanitlerinin K/Ar ve Ar/Ar yöntemleri ile belirlenen radyometrik yaşı  $1,94 \pm 0,16$  ile  $0,99 \pm 0,11$  milyon yıl arasında değişmektedir (Borsi ve diğ. 1972, Bunbury 2001, Westaway ve diğ. 2004 ve 2006).

#### 2.1.4.1.2 Elekçitepe Volkanitleri (Qkv2)

Kula volkanizmasının ikinci evresini oluşturan ürünler koyu mavi-gri renkli lav ve piroklastiklerden oluşmuştur. Bazaltik akıntının kalınlığı 3-15 metre arasında değişmekte olup ortalama kalınlığı 8 m'dir (Şen ve diğ. 2014). İnceleme alanının güneydoğusunda Gediz Çayı'nın doğu kesimindeki yamaçlarda dar bir şerit halinde gözlenmektedir. Gediz Çayı kenarlarında lavların yer yer su ile karşılaştığını gösteren küçük ölçekli yastık lavlar vardır (Şen ve diğ. 2014). Hoca Seyfettin Köprüsü yakınında yastık lavlar izlenmektedir (Şekil 2.6). Bu ikinci evre bazaltlarının K/Ar radyometrik yaşları 299 bin  $\pm$  20 yıl ve 50 bin  $\pm$  9 yıl arasında değişmektedir (Bunbury 2001, Westaway ve diğ. 2004 ve 2006).

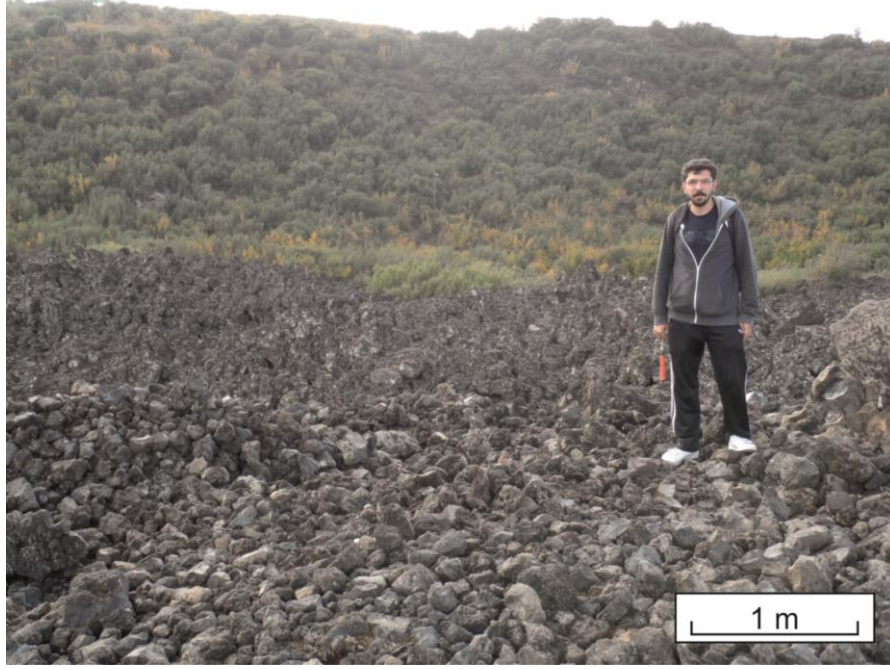


Şekil 2.6: Elekçitepe Volkanitleri (Hoca Seyfettin Köprüsünün yaklaşık 250 m güneyi. Koordinat: 35 S 649289D, 4276620K)

#### 2.1.4.1.3 Divlিতেpe Volkanitleri (Qkv3)

Volkanizmanın üçüncü evresini oluşturan Divlিতেpe Volkanitleri siyah renkli, taze görümlü bazalt akıntılarında oluşur. Kalınlığı 3 ile 10 m arasında, ortalama kalınlığı ise 8 metredir (Şen ve diğ. 2014). İnceleme alanının batı kesiminde Karataş Mevkii ve Değirmenler Mahallesi civarında gözlenir (Şekil 2.7). Son derece akıcı

olan lavlar çok uzun mesafeleri kat etmişler, lav şelaleleri oluşturarak vadileri aşmışlar ve aktıkları vadilerin bütün girintilerine sokulmuşlardır (Ercan 1978). Divlittepe Volkanitlerinin K/Ar ve termolüminesans yöntemleri ile belirlenen yaşı  $26 \pm 5$  bin yıl ile  $4 \text{ bin} \pm 2$  yıl arasındadır (Göksu 1978, Westaway ve diğ. 2004, 2006).

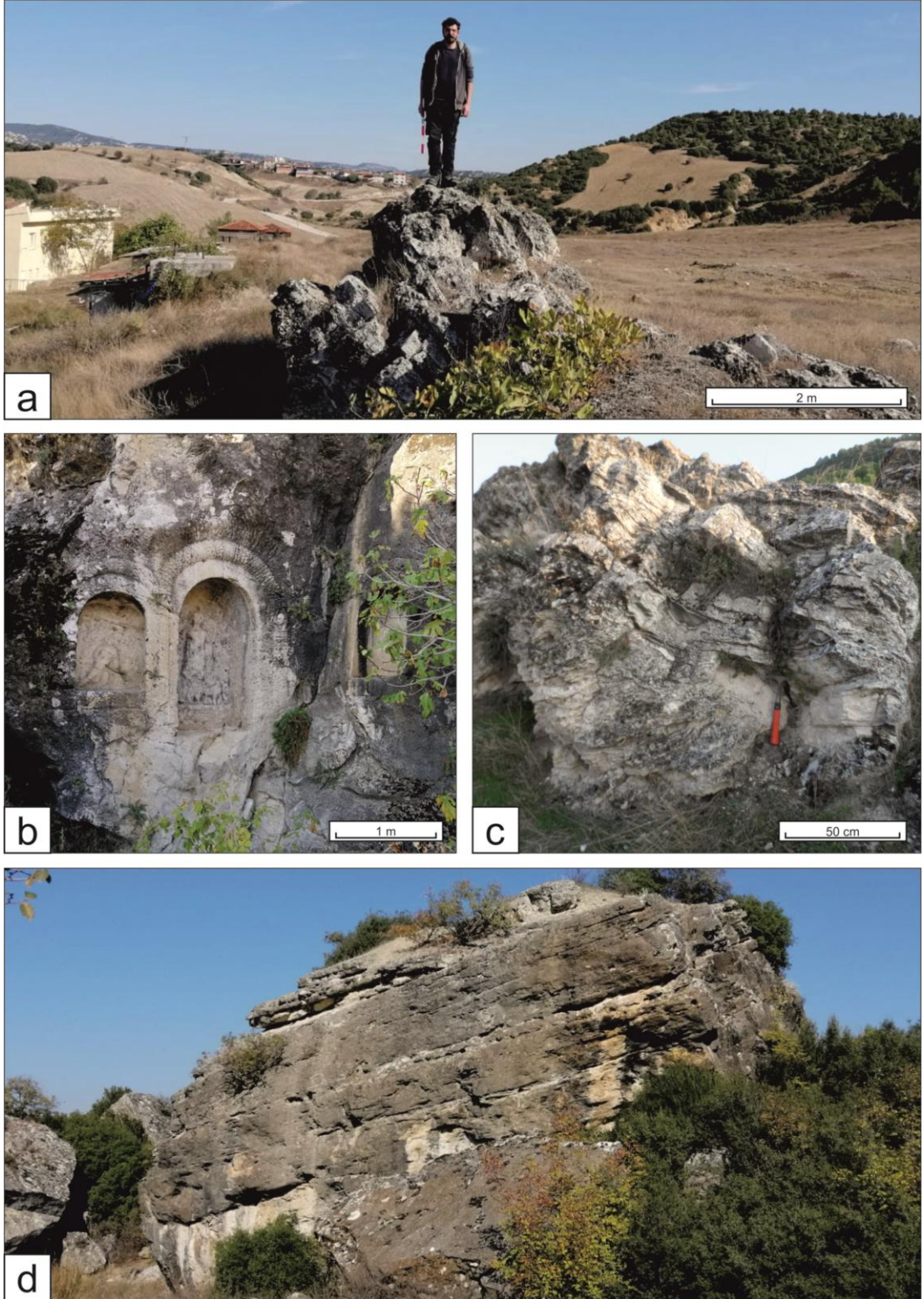


Şekil 2.7: Divlittepe Volkanitleri (Koordinat: 35 S 649046D, 4276677K. Bakış yönü: G)

#### 2.1.4.2 Traverten (Qtr)

Ayrışma renkleri gri-koyu gri, taze yüzeyleri açık kahve-kahve-sarımsı kahve ve kirli beyaz renklerde olan travertenler fay ve açılma çatlaklarına bağlı olarak yüzeyleyen sıcak sulardan çökelmiştir. İnceleme alanında Emir Kaplıcası ve Köprü Tepe'nin kuzeyinde gözlenirler. Emir Kaplıcasında KD-GB doğrultulu fay boyunca uzanan traverten sırtında halen aktif olan termal kaynak vardır. Yine kaplıca yakınındaki travertenlerde antik döneme ait mezarlar ve travertenlerin üzerleri oyularak yapılan figürler halen anıtsal bir değer olarak korunmaktadır (Şekil 2.8).

Kula-Selendi karayolu batısında kalan Acısu Antik Taş Ocağından çıkartılan traverten blokları 3 km kuzeydoğudaki Emir Hamamları'nın bulunduğu alandaki Roma dönemine ait Anadolu'da sayılı termal hamam yapılarının bulunduğu Thermai Thesos antik kentine taşınarak buradaki yapılarda kullanılmıştır (Polat 2019). Bu travertenler Köprü Tepe'nin kuzeyindeki travertenlerdir.



**Şekil 2.8:** Traverten. a) Emir Kaplıcaları güneyinde bulunan traverten sırtı (Ölçek: 180 cm. Koordinat: 35 S 651949D, 4279230K. Bakış yönü: D), b)Emir Kaplıcalarının yaklaşık 100 m güneybatısında bulunan Thermai Thesos antik kentine ait travertenler üzerine oyulan figürler, c) Emir Kaplıcalarının yaklaşık 100 m güneybatısında bulunan traverten blok, d) Gediz Çayı kenarında bulunan traverten blok.

### 2.1.4.3 Alüvyonlar (Qal)

Gediz Çayı ve yan kolu olan Geren Çayı boyunca jeolojik yapı, kil, genellikle çakıl, kum ve silt boyutlu malzemeden oluşur.

## 2.2 Yapısal Jeoloji

Anadolu ve Arap levhalarının Neotektonik dönemde çarpışması, Anadolu Levhası'nın Doğu ve Kuzey Anadolu transform fayları boyunca batıya kaçmasına neden olmuştur. Bu kaçma Helen makaslama zonu ile engellendiğinden Batı Anadolu'da D-B bir sıkışma rejimi ve bunun sonucunda K-G yönde genişleme ortaya çıkmıştır. Eş zamanlı olarak Levant okyanus kabuğunun Anadolu Levhası altına dalması, Menderes Masifi altında bir ergime zonunun gelişmesine, asidik sokulumların oluşmasına ve masifin yükselmesine yol açmıştır (Şengör ve Yılmaz 1981). Tokçaeer ve diğ. (2005), Kula bazaltlarının Batı Anadolu'da üst mantonun hızlı yükselmesine tek örnek olduğunu GB'ya hareket eden Ege mikrolakasının Afrika üzerine bindirme hızının, Anadolu plakasının Afrika üzerine bindirme hızından daha fazla olması sebebiyle açılmış olan bir çeşit yatay pencerenin varlığına bağlanabileceğine değinmişlerdir. Batı Anadolu'daki K-G yönlü gerilmeler sonucu oluşan genişleme miktarı yılda 3-6 cm'dir (Yılmaz ve diğ. 2000). Tüm bu olaylara bağlı olarak Batı Anadolu'da D-B doğrultulu, yüksek ve düşük açılı normal faylarla sınırlanan Ege graben sistemi ve buna bağlı yüksek entalpili jeotermal sahalar ortaya çıkmıştır (Arpat ve Bingöl 1969, Hetzel ve diğ. 1995, Emre 1996<sup>a</sup>, Emre ve Sözbilir 1997, Koçyiğit ve diğ. 1999, Yılmaz ve diğ. 2000, Seyitoğlu ve diğ. 2002, Bozkurt 2004).

Grabenlerin kenar fay zonları 100-150 km devamlı olmakla birlikte, bu zon, uzunlukları çoğunlukla 8-10 km'yi aşmayan kısa faylardan segmentlerinden oluşmuş bir fay demeti görünmektedir. Bu faylar boyunca üzerinde, devamlı sismik faaliyet kaydedilmektedir (Yılmaz ve diğ. 2000). Sismik çalışmalar, Ege bölgesindeki K-G gerilmenin, büyük faylardaki hareketlerle ( $M > 6$ ) karşılandığını işaret etmektedir (Eyidoğan ve Jackson 1985, Jackson ve McKenzie 1988). Batı Anadolu bölgesindeki aktif gerilme, yılda 3-4 cm hızla gelişimini sürdürmektedir. Litosferin incilmesi,

bölgenin jeotermal enerji potansiyelini çoğaltırken, sismik aktivite birçok yıkıcı depremin de nedeni olmaktadır (Yılmaz ve diğ. 2000).

Menderes Masifi'ne günümüzdeki şeklini kazandıran grabenlerden biri olan Gediz Grabeni, neotektonik dönemde, ayrılma (detachment) faylarına bağlı olarak oluşmuştur. Gediz Grabeni'nin açınımı, yöredeki en genç ayrılma fayı olan Karadut Fayı'nın oluşumu ile başlamıştır.(Emre 1996<sup>b</sup>)

İnceleme alanındaki faylar KKD-GGB, KB-GD ve KKB-GGD yönlü normal faylardır. Gömülü fay sistemlerinin genel gidiş yönleri KD-GB ile KB-GD'dur (MTA 2005). Sıcak su çıkışları genellikle KD-GB doğrultulu faylar tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 2.1).

### **3. HİDROJEOLOJİ**

Bu bölümde, inceleme alanının iklim özellikleri incelenmiş, gerçek buharlaşma-terleme, su noksanı ve su fazlası değerleri hesaplanmış, kayaçların hidrojeolojik özellikleri belirtilmiş ve örneklenen su noktaları konusunda bilgi verilmiştir.

#### **3.1 İklim ve Özellikleri**

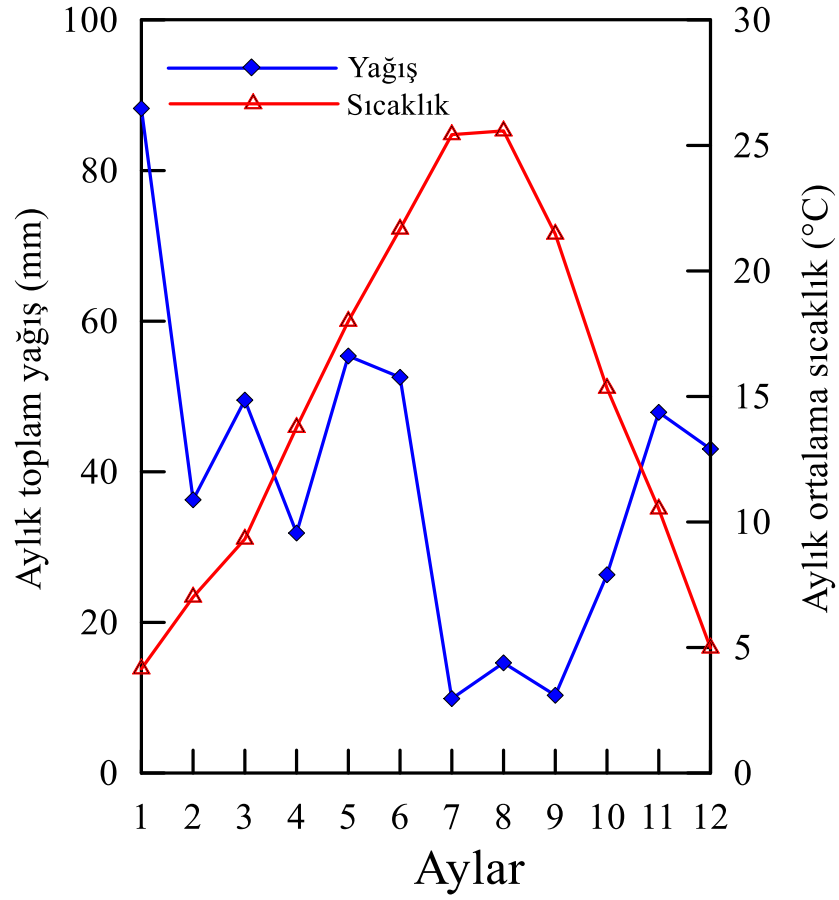
Çalışma alanının hidrolojik özelliklerini ortaya koyabilmek için çalışma alanına en yakın olan Kula ilçe merkezinin yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu veriler ışığında yağış/sıcaklık, yağış/buharlaşma-terleme grafikleri çizilmiş ve havzanın su bilançosu hazırlanmıştır.

##### **3.1.1 Yağış ve Sıcaklık**

Kula ilçe merkezi için yağış ve sıcaklık ölçümleri 1986-1989 yılları arasında manuel olarak yapılmıştır. Daha sonra 2013 yılından itibaren düzenli ölçümler otomatik meteoroloji gözlem istasyonundan (istasyon no. 18042) (OMGİ, Rakım:720 m, Enlem: 38,5272; Boylam: 28,6368) alınmaya başlanmıştır. Bu nedenle bu bölümdeki değerlendirmelerde Kula ilçe merkezi için 2013-2018 yılları arasındaki aylık toplam yağış ve sıcaklık ortalamaları kullanılmıştır.

Coğrafi konumu nedeniyle çalışma alanının iklimi, Akdeniz iklimi ile (genelde yazın sıcak ve kurak kışın ılık ve yağışlı) İç Anadolu iklimi (yazın sıcak ve kurak kışın yağışlı ve soğuk) arasında bir geçiş oluşturmaktadır. Kula'da en fazla yağış Ocak ve Mayıs aylarında (sırasıyla 88,25 ve 55,38 mm), en az yağış Temmuz ayında (9,88 mm) gözlenmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek sıcaklık (sırasıyla 25,43 ve 25,58 °C), Ocak ayında ise en düşük sıcaklık (4,15 °C)

kaydedilmiştir (Tablo 3.1). 2013-2018 dönemi için toplam yağış ve ortalama sıcaklıkların aylara göre dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Kula ilçe merkezi için 2013-2018 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması.

### 3.1.2 Buharlaşma-Terleme

İnceleme alanına ait su bütçesi Thornthwaite (1948) yöntemiyle hesaplanmıştır. Thornthwaite'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi (Etp) veren formülü:

$$Etp = 16 \times \left( \frac{10 \times t}{I} \right)^a \quad (3.1)$$

şeklindedir. Formülde

Etp, aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm); t, aylık sıcaklık ortalaması (°C), I, sıcaklık indisi ( $\sum i$ )'dir.



$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} ; a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$$

şeklinde verilmiştir.

Bu yöntemle, 2013-2018 yılları arasındaki dönem için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 811,63 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 383,10 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.1). Mart ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşittir. Yağış fazlası 82,84 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçerken bir kısmı da yeraltına süzülür. Mart ayı sonundan Haziran ayı ortalarına kadar teorik olarak 100 mm kabul edilen zemin rezervi kullanılır. Haziran ayı ortasından Ekim ayı sonuna dek su noksanı (tarım su açığı) vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 729,49 mm ve yağış 200,96 mm'dir. Buna göre su noksanı:

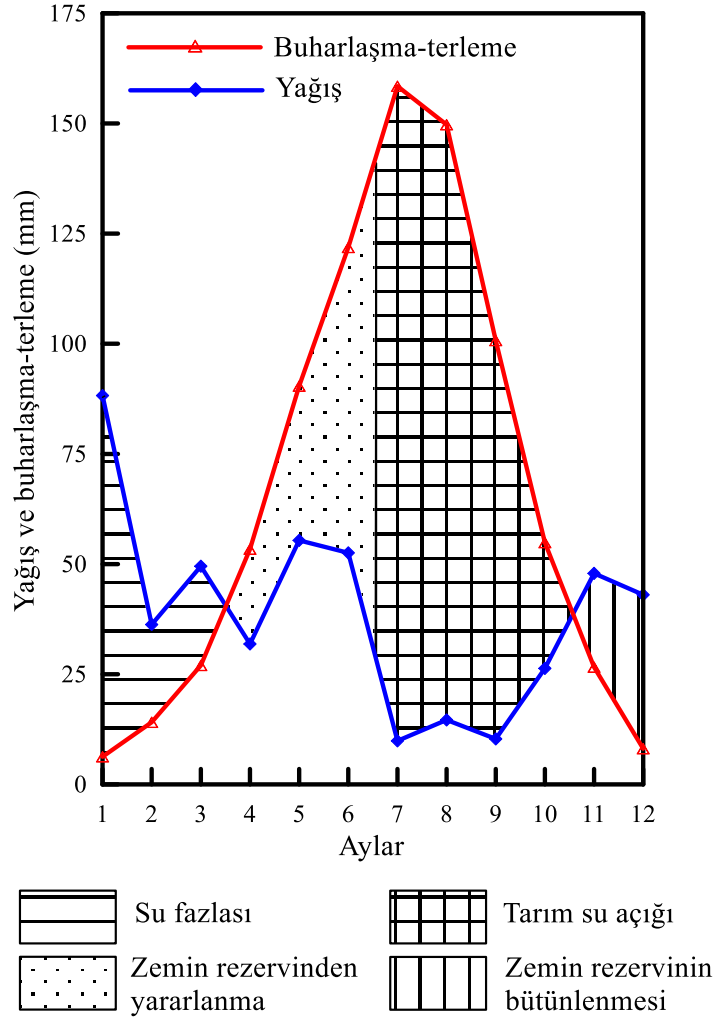
$$729,49 - (200,96 + 100) = 428,53 \text{ mm}$$

olur. Kasım ayından itibaren yağış Etp'den fazladır. Ocak ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar. Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın % 82,2'sine karşılık gelen 383,10 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülen yağış fazlası yıllık yağış fazlasını oluşturur. Su fazlası toplam yağışın % 17,8'idir. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır (Tablo 3.1, Şekil 3.2).

Bu değerler 6 yıllık bir dönem için (2013-2018) hesaplanan değerlerdir. Uzun dönem kesintisiz meteorolojik verilerle daha sağlıklı değerlendirmeler yapılabilir.

**Tablo 3.1:** Kula ilçe merkezinin 2013-2018 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu (Thornthwaite 1948'e göre).

Meteorolojik Elemanlar	AYLAR												YILLIK
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık Ort. Sıcaklık(°C)	4,15	7,01	9,32	13,77	18,00	21,67	25,43	25,58	21,47	15,33	10,52	4,98	14,77
Aylık Endeks(i)	0,75	1,67	2,57	4,64	6,95	9,21	11,73	11,84	9,08	5,45	3,08	0,99	67,97
Etp(mm)	7,39	16,79	26,23	48,32	73,50	98,28	126,26	127,43	96,87	57,17	31,70	9,83	719,78
Düzeltilme Katsayısı	0,85	0,84	1,03	1,105	1,23	1,24	1,255	1,175	1,04	0,96	0,84	0,825	
DüzeltilmişEtp (mm)	6,28	14,11	27,01	53,40	90,41	121,87	158,46	149,73	100,74	54,88	26,63	8,11	811,63
Yağış (P,mm)	88,25	36,28	49,52	31,87	55,38	52,55	9,88	14,63	10,32	26,33	47,90	43,03	465,94
Zemin Rezerv Değişimi(mm)	+43,81			-21,53	-35,03	-43,44					+21,27	+34,92	
Zemin Rezervi(mm)	100	100	100	78,47	43,44	0	0	0	0	0	21,27	56,19	
Etr(mm)	6,28	14,11	27,01	53,40	90,41	95,99	9,88	14,63	10,32	26,33	26,63	8,11	383,1
Tarım Su Açığı(mm)	0	0	0	0	0	25,88	148,58	135,1	90,42	28,55	0	0	428,53
Su Fazlası(mm)	38,16	22,17	22,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82,84



Şekil 3.2: Kula ilçe merkezi için yağış-Etp grafiği

## 3.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

### 3.2.1 Geçirimli Birimler

İnceleme alanında Vezirler Melanjı, Kürtköyü Formasyonu, traverten ve alüvyon birimleri geçirimlidir.

Vezirler Melanjı, çeşitli boyutlarda ultramafik, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, çamurtaşı, bazik volkanit ve mermerden oluşmaktadır. Tektonizma nedeniyle melanj içindeki tüm birimler (ilksel gözeneklilikleri düşük olan peridotit, serpantin ve radyolarit gibi birimler de dahil) yüksek ikincil gözeneklilik ve geçirimlilik kazanmışlardır.

Kürtküyü Formasyonu çakıltası-kumtaşı araldanmasından oluşur. Gözenekli ve geçirimli olan formasyon yerel akifer oluşturabilir.

Travertenler ve alüvyonlar gözenekli ve geçirimli özelliğe sahip olmakla birlikte yayılım ve kalınlıklarının az olması nedeniyle yeraltı suyu taşımazlar. Ancak alüvyonlar kalın iri malzemelerin (çakıl, kum) egemen olduğu kesimlerde yeraltı suyu içerebilir.

### **3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler**

Yeniköy Formasyonu çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası, killi-kumlu kireçtaşı, marn ve tüfit araldanmasından oluşmaktadır. Formasyonun çakıltası ve kumtaşı seviyeleri geçirimlidir. Az sayıdaki düşük debili kaynak suları bu birimlerden gelir. Ancak formasyondaki geçirimsiz litolojiler yeraltı suyu hareketini kısıtlar. Bu nedenle formasyon, yarı geçirimli olarak kabul edilmiştir.

Gevşek kireç-kil-tüfit çimentolu çakıltası ve kumtaşı araldanmasından oluşan Asartepe Formasyonunun çakıltası ve kumtaşı seviyeleri geçirimlidir. Ancak, inceleme alanındaki yayılım ve kalınlığının az olması nedeniyle akifer özelliği taşımaz.

Burgaz volkanitlerinin soğuma çatlaklarının yoğun olduğu kesimlerinde ikincil geçirimlilik yüksektir. İnceleme alanında bu birimden boşalan düşük debili kaynaklar mevcuttur (örn. Çakırca çeşmesi).

### **3.2.3 Geçirimsiz Birimler**

Ahmetler Formasyonu çakıltası, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, marn, tüfit ve kireçtaşı araldanmasından oluşur. İstif içerisinde geçirimsiz litolojilerin seviyelerin egemen olması nedeniyle formasyon geçirimsiz olarak değerlendirilmiştir.

Elekçitepe ve Divlittepe Volkanitlerinde bağlantısız boşluklar egemendir ve geçirimsiz birimleri oluştururlar.

### 3.3 Su Noktaları

#### 3.3.1 Akarsular

Çalışma alanı içindeki en önemli akarsu Gediz Çayı'dır. Gediz Çayı, Kütahya İl sınırları içerisinde Muratdağı ve Şaphane Dağı'ndan doğar ve Foça ile Çamaltı Tuzlası arasından İzmir Körfezi'ne dökülür. Havza alanı 17.500 km<sup>2</sup>, ana kol uzunluğu 401 km ve yıllık ortalama debisi 60,48 m<sup>3</sup>/sn'dir ([http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/AnaSayfa/gediz\\_havzasi\\_hakkinda.aspx?sflang=tr](http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/AnaSayfa/gediz_havzasi_hakkinda.aspx?sflang=tr), erişim tarihi: 30.05.2020). Çay, çalışma alanının doğusunda, sahayı yaklaşık K-G doğrultuda kat eder. Çalışma alanının orta kesiminde Geren Çayı, Gediz Çayına katılır. Geren Çayı yaklaşık 2,5 km uzunluğa sahiptir ve kurak dönemde genellikle yalnızca jeotermal kaynak ve sondaj sularından boşalan termal su içerir.

#### 3.3.2 Sondajlar

Çalışma alanı içerisinde Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından Enerji Aramaları Projesi kapsamında açılmış iki adet (E-1 ve E-2) jeotermal sondaj kuyusu mevcuttur (Şekil 2.1, 3.3 ve 3.4). Bunlardan 1998 yılında açılan ve derinliği 33 m. olan E-1 kuyusundan boşalan akışkanın sıcaklığı 65°C ve artezyen debisi 40 l/s olarak ölçülmüştür; 1999 yılında açılan E-2 kuyusunun ise derinliği 162,5 metre, akışkanın sıcaklığı 63°C ve artezyen debisi 100 l/s'dir (MTA 2005). Her iki sondaj da Emir kaplıca tesisi içindedir.

E-1 kuyusunda 0-2 m arasında toprak örtü, 2-7 m arasında açık gri renkli kıltaşı, 7-33 m arasında Ahmetler Formasyonu (7-14 m arası açık kahve renkli killi kumtaşı, çakıltaşı, 14-31 m arası gri-açık kahve renkli kumtaşı-çakıltaşı), 31-33 m arasında ise kırmızımsı kahve renkli, çatlaklı, bol piritli, silisifiye listvenit kesilmiştir (Kahraman ve Pekatan 2008), (Şekil 3.5). E-2 kuyusunda ise 0-2 m arasında toprak örtü kesilmiş, 2-20,5 m arasında sirkülasyonsuz ilerlenmiş, 20,5-69 m arasında Ahmetler formasyonu ve 69 metreden kuyu tabanına kadar üst kesimlerde listvenit ve alt kesimlerde de serpantin kesilmiştir (MTA 2005), (Şekil 3.5).

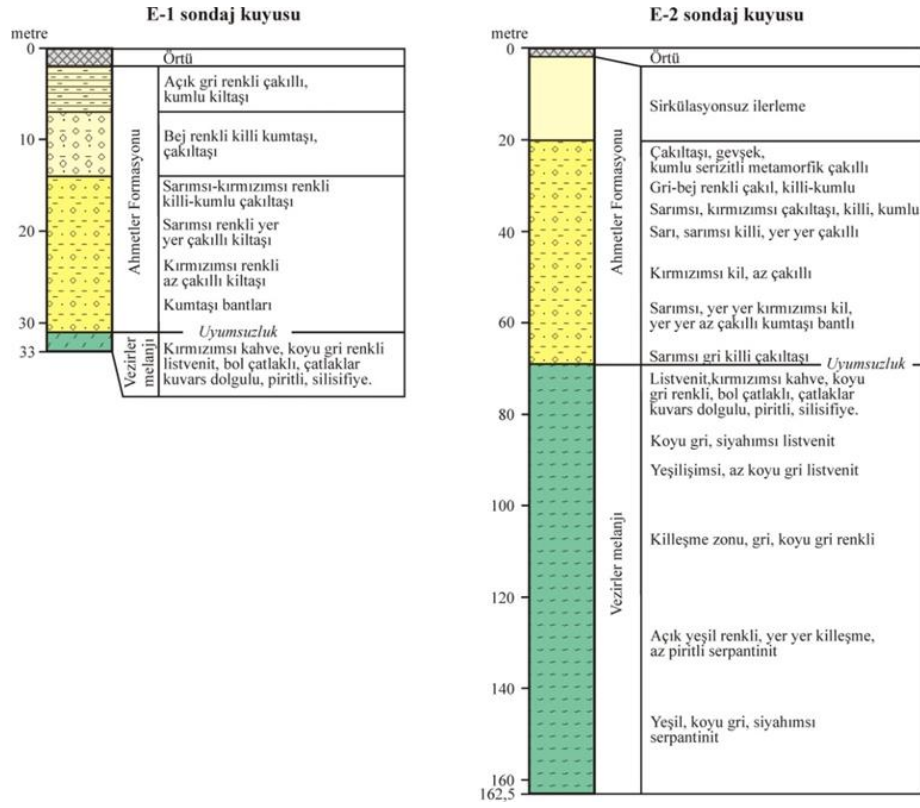
Çalışma alanı içerisinde hasar görmüş durumda ve kontrolsüz artezyen çıkışı olan bir adet termal sondaj kuyusu (patlak sondaj) bulunmaktadır (Şekil 2.1 ve 3.6). Sondajların koordinatları Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 3.3: E-1 jeotermal sondaj kuyusu (Koordinat: 35 S 652045D, 4279262K, Bakış yönü: D).



Şekil 3.4: E-2 jeotermal sondaj kuyusu (Koordinat: 35 S 652019D, 4279323K, Bakış yönü: B).



**Şekil 3.5:** E-1 ve E-2 kuyularının litoloji logları (E-1 logu MTA 2005, E-2 logu Kahraman ve Pekatan 2008'den alınmıştır).



**Şekil 3.6:** Patlak sondaj (Çakırca Köyü yol ayrımı. Koordinat: 35 S 649616D, 4277243K).

### 3.3.3 Termal Kaynaklar

İnceleme alanında MTA tarafından yapılan çalışmada sıcaklıkları 30-60°C, toplam debileri 12,25 l/s olan 8 adet termal kaynak kayda geçirilmiştir (MTA 2005). Bu çalışmada K-1'den K-7'ye kadar kodlanan ve bir de Köprüaltı termal kaynak olarak adlandırılan 8 termal kaynak belirlenmiş (Şekil 2.1 ve Şekil 3.7-3.10), Gediz Çayı'nın altında kalan bir termal kaynak ise örneklenememiştir. Kasım-2019'daki arazi çalışmasında K-3 kaynağının kuruduğu görülmüştür. Genellikle, termal kaynaklar KD-GB doğrultulu normal faylar boyunca gözlenmektedir. Termal kaynakların çoğunun kullanımı yoktur. Doğal olarak ya da kanalla Geren ve Gediz çaylarına boşalırlar. Yalnızca K-1 kaynağı Emir Kaplıcasında kullanılmaktadır. Termal kaynakların koordinatları Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 3.7: K-2 Kaynağı (Koordinat: 35 S 651994D, 4279385K).





**Şekil 3.8:** K-3 kaynağı (Koordinat: 35 S 651949D, 4279230K).



**Şekil 3.9:** Köprüaltı termal kaynağı (Koordinat: 35 S 649259D, 4276928K).



**Şekil 3.10:** K-7 Kaynağı (Koordinat: 35 S 649824D, 4276445K).

### **3.3.4 Maden Suyu ve Soğuk Su Kaynakları**

Kula maden suyu inceleme alanında Değirmenler Mahallesi'ndeki maden sodası tesislerinde şişelenmektedir. Maden suyu dışında üç adet soğuk su kaynağından örnek alınmıştır. Bunlar Köprüaltı ve Soğucak soğuk su kaynakları ile Çakırca Köyü içindeki Çakırca çeşmesidir. Bu su noktalarının koordinatları Tablo 4.1'de verilmiştir.

### **3.4 Emir Jeotermal Sistemi**

Emir sahası jeotermal sistemi devirli bir hidrotermal sistemdir. Beslenme alanından derinlere süzülen meteorik sular ısınmakta, termal rezervuarda depolanmakta, başlıca su-kaya etkileşimi ve derinden gelen gazların etkilediği bir kimyasal kompozisyon kazanmaktadır. Jeotermal akışkan fay ve kırık zonlarını izleyerek yüzeylemekte ve termal kaynakları oluşturmakta ya da sondajlarla elde edilmektedir.

Emir Jeotermal Sahasında rezervuar kayalar Vezirler Melanjına ait kırıklı, çatlaklı ve dolayısıyla ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlikleri yüksek olan kristalize kireçtaşı, mermer ve ofiyolit birimleridir. E-2 kuyusunda filtreler yaklaşık 70 metreden sonra kuyu tabanına kadar Vezirler Melanjı içine yerleştirilmiştir. E-1 kuyusunda da jeotermal akışkan melanjdan alınmaktadır. Ancak Vezirler Melanjı altında bulunan Kızılcasöğüt Formasyonunun dolomitik kireçtaşları ve Menderes Masifine ait birimler de daha derin rezervuarları oluşturabilirler.

Emir Jeotermal Sahasında Neojen yaşlı birimlerin silttaşı, kiltası, marn gibi litolojileri geçirimsiz-az geçirimsizdir ve jeotermal sistemin örtü kayalarını oluştururlar.

Batı Anadolu'daki grabenlerde  $150 \text{ mW/m}^2$ 'ye kadar ısı akısı değerleri tahmin edilmiştir (İlkışık 1995). Bilim ve diğ. (2016), Kula volkanik bölgesinde Curie noktası derinliğinin yaklaşık 7 km (en sığ 6,21 km) ve Curie noktası derinliğinden hesaplanan jeotermal gradyanın  $90^\circ\text{C/km}$  civarında (maksimum  $93,40^\circ\text{C/km}$ ) olduğunu ifade etmişler ve aynı bölge için 2,5 ve 2,7  $\text{W/mK}$ 'lik termal kondüktivite değerlerine göre 220-240  $\text{mW/m}^2$  civarında ısı akısı değerleri hesaplamışlardır. Vieira ve Valiya (2018) dünyanın ortalama ısı akısı değerini 58–63  $\text{mW/m}^2$  olarak vermişlerdir. Buna göre, inceleme alanındaki ısı akısı değeri dünya ortalamasının yaklaşık 4 katıdır. Türkiye'nin en genç volkanizma faaliyetinin gerçekleştiği Kula volkanik alanında yüksek ısı akısı değeri olağandır. Jeotermal sistemin ısı kaynağı dünya ortalamasından yaklaşık 3 kat daha yüksek olan (Bilim ve diğ. 2016) jeotermal gradyandır.

## 4. HİDROKİMYA

İnceleme alanında kimyasal analiz için üç jeotermal sondaj, sekiz jeotermal kaynak, bir maden suyu ve üç soğuk su kaynağı ve bir yağmur suyundan olmak üzere toplam 16 adet örnek alınmıştır. Örnekleme noktalarının koordinatları Tablo 4.1'de, lokasyonları Şekil 2.1'de ve bazılarının görünümleri Şekil 3.3-3.10'da verilmiştir.

**Tablo 4.1:** İnceleme alanında örneklenen suların koordinatları.

No	Adı	X	Y	Doğu	Kuzey	Z
		Coğrafi Koordinat Sistemi (DMS)		UTM (WGS-84)		(m)
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	028°44'50"D	38°38'56"K	35 S 652045	4279262	400
ÖD 2	E-2 sondaj kuyusu	028°44'49"D	38°38'58"K	35 S 652019	4279323	391
ÖD 3	K-1 termal kaynağı	028°44'47"D	38°38'57"K	35 S 651972	4279292	399
ÖD 4	K-2 termal kaynağı	028°44'48"D	38°39'00"K	35 S 651994	4279385	381
ÖD 5	K-3 termal kaynağı	028°44'46"D	38°38'55"K	35 S 651949	4279230	404
ÖD 6	K-4 termal kaynağı	028°44'41"D	38°38'58"K	35 S 651826	4279320	389
ÖD 7	K-5 termal kaynağı	028°44'09"D	38°38'43"K	35 S 651061	4278843	375
ÖD 8	K-6 termal kaynağı	028°43'37"D	38°38'40"K	35 S 650289	4278736	367
ÖD 9	K-7 termal kaynağı	028°43'16"D	38°37'26"K	35 S 649824	4276445	373
ÖD 10	Kula maden suyu	028°43'12"D	38°38'17"K	35 S 649698	4278015	363
ÖD 11	Patlak sondaj	028°43'08"D	38°37'52"K	35 S 649616	4277243	384
ÖD 12	Köprüaltı termal kaynak	028°42'53"D	38°37'42"K	35 S 649259	4276928	373
ÖD 13	Köprüaltı soğuk kaynak	028°42'53"D	38°37'37"K	35 S 649262	4276774	376
ÖD 14	Soğucak soğuk kaynak	028°43'06"D	38°38'13"K	35 S 649555	4277889	355
ÖD 15	Çakırca çeşmesi	028°44'11"D	38°37'38"K	35 S 651147	4276840	528
ÖD 16	Yağmur suyu	028°44'50"D	38°38'56"K	35 S 652045	4279262	400

### 4.1 Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri

Çalışma alanında, hidrojeolojik sistemin beslenme alanını temsil eden soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları 11,8 ile 18,4°C ve termal suların sıcaklıkları 21,1°C ile 63,3°C arasında değişmektedir (Tablo 4.2).

Suların elektriksel iletkenliği (kondüktivite) elektriği geçirme özelliğidir ve  $\mu\text{mho/cm}$  (veya  $\mu\text{S/cm}$ ) ile tanımlanır. Kondüktivite ile ölçülen elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar ve değişik sular arasında karşılaştırma yapmak için genellikle 25°C'ye indirgenerek verilir. Sularda çözünmüş toplam katı madde miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki (pozitif korelasyon) vardır. İnceleme

alanında E.I. değerleri soğuk sular için 710-1550 $\mu$ S/cm arasında iken termal sularda 3840 $\mu$ S/cm ile 5210 $\mu$ S/cm arasında değişmektedir (Tablo 4.2).

pH, sudaki hidrojen iyonunun derişimidir. Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. İnceleme alanının soğuk sularının pH değerleri 6,71 ile 7,79, sıcak suların ise 6,56 ile 7,69 arasındadır.

## **4.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri**

Yeraltı sularınının beslenmesinin temeli yağış sularına bağlıdır. Yağış sularının bir kısmı yer altına süzülerek akiferi besler. Bu süzülme esnasında ve akifer içerisinde, geçtiği kayaçları kısmen çözerek yeni bir kimyasal kompozisyon kazanır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu sularının kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır.

İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l).

No	Adı	T (°C)	E.I. (µS/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	F	Li	Br	İyon dengesi
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	63,3	4920	7,11	90,2	90,9	974,8	90,0	156,7	110,3	3233	0,14	1,77	1,323	0,420	-2,51
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	56,6	4770	6,95	94,7	97,7	957,2	89,5	163,2	111,3	3233	0,25	1,65	1,246	0,405	-2,68
ÖD3	K-1 termal kaynağı	52,0	4060	6,87	61,5	73,4	806,6	81,6	175,6	103,1	2562	4,33	1,20	1,019	0,340	-2,92
ÖD4	K-2 termal kaynağı	41,1	4050	7,69	35,6	67,6	819,4	77,8	173,8	106,3	2501	8,50	1,20	1,037	0,344	-3,41
ÖD5	K-3 termal kaynağı	55,0	4840	7,01	59,6	86,2	991,7	84,0	159,9	117,2	3172	0,00	1,63	1,227	0,390	-3,05
ÖD6	K-4 termal kaynağı	35,5	3840	6,84	89,8	83,5	717,8	76,1	193,2	102,9	2501	11,27	1,33	0,852	0,276	-4,48
ÖD7	K-5 termal kaynağı	31,4	4370	6,75	109,3	99,5	899,1	68,8	117,6	154,7	3172	0,28	2,03	0,952	0,288	-3,52
ÖD8	K-6 termal kaynağı	21,1	4150	6,56	116,8	121,4	814,1	66,6	115,6	154,1	2806	7,65	1,65	0,925	0,292	0,37
ÖD9	K-7 termal kaynağı	38,2	4660	6,78	108,9	123,6	819,0	81,2	171,2	102,3	3111	2,11	1,23	1,202	0,435	-4,10
ÖD10	Kula maden suyu	15,5	3510	6,91	106,5	138,5	480,4	52,6	160,7	30,0	2013	8,19	0,00	0,606	0,236	0,97
ÖD11	Patlak sondaj	39,1	5210	6,73	126,3	123,2	1025,4	89,9	205,6	81,2	3477	0,00	1,38	1,325	0,500	-0,79
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	36,1	4960	6,72	100,5	116,5	1022,6	86,4	209,9	105,0	3294	1,21	1,51	1,266	0,485	-0,58
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	11,8	1130	7,79	103,4	40,9	89,0	42,5	203,3	45,0	427	32,38	0,18	0,010	0,069	-2,60
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	12,8	1550	6,71	124,1	52,7	145,2	49,7	256,3	52,2	680	33,7	0,00	0,015	0,084	-4,96
ÖD15	Çakırca çeşmesi	18,4	710	7,72	49,8	29,7	51,7	18,3	20,5	11,2	323	92,69	0,18	0,008	0,065	0,23
ÖD16	Yağmur suyu	-	39	8,11	10,0	0,41	0,41	0,42	0,1	0,76	30,5	0,96	0,01	0,000	0,000	2,43

**Tablo 4.3:** İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (µg/l).

No	Adı	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	<0.05	5	<0.5	<0.05	7740	270	2,8	<0.05	<0.05	<0.01	<0.02	<0.5	133,2	2,0	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	<0.05	15	<0.5	<0.05	7840	367	2,55	<0.05	<0.05	<0.01	<0.02	<0.5	127,6	9,0	<0.01	<0.01	<0.01	855
ÖD3	K-1 termal kaynağı	<0.05	20	2,4	<0.05	5728	320	0,8	<0.05	<0.05	<0.01	0,12	<0.5	107,3	7,6	<0.01	<0.01	<0.01	64
ÖD4	K-2 termal kaynağı	<0.05	20	2,4	<0.05	5784	241	<0.05	<0.05	<0.05	0,20	<0.02	<0.5	103,2	6,8	<0.01	<0.01	<0.01	172
ÖD5	K-3 termal kaynağı	<0.05	15	<0.5	<0.05	7350	212	1,55	<0.05	<0.05	<0.01	<0.02	<0.5	120,3	1,5	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD6	K-4 termal kaynağı	<0.05	8	2,0	<0.05	4880	285	0,2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.02	<0.5	96,3	4,8	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD7	K-5 termal kaynağı	<0.05	8	<0.5	<0.05	5440	136	1,6	<0.05	0,80	0,60	0,32	<0.5	112,4	4,8	<0.01	<0.01	<0.01	164
ÖD8	K-6 termal kaynağı	<0.05	52	2,4	<0.05	5512	149	0,72	<0.05	0,32	0,08	7,20	<0.5	89,6	11,2	<0.01	<0.01	<0.01	80
ÖD9	K-7 termal kaynağı	<0.05	25	<0.5	<0.05	8965	225	0,65	<0.05	0,25	0,10	1,80	<0.5	112,5	6,0	<0.01	<0.01	<0.01	70
ÖD10	Kula maden suyu	<0.05	2	<0.5	<0.05	705	95	<0.05	<0.05	0,27	0,05	<0.02	1,8	9,8	3,6	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD11	Patlak sondaj	<0.05	10	<0.5	<0.05	9570	304	1,55	<0.05	1,25	0,35	<0.02	<0.5	127,3	6,0	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	<0.05	20	3,0	<0.05	9215	172	1,15	<0.05	1,10	<0.01	0,75	<0.5	119,3	3,0	<0.01	<0.01	<0.01	105
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	0,05	5	4,8	<0.05	97	68	<0.05	<0.05	0,11	0,12	0,21	11,5	0,5	1,9	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	<0.05	2	1,8	<0.05	85	60	<0.05	<0.05	0,08	0,02	0,12	5,7	1,3	1,6	<0.01	<0.01	<0.01	<10
ÖD15	Çakırca çeşmesi	<0.05	3	6,7	<0.05	48	107	<0.05	<0.05	<0.05	0,22	<0.02	1,3	<0.01	0,4	<0.01	<0.01	<0.01	<10

**Tablo 4.3:** (devam).

No	Adı	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	P	Pb
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	<0,05	<0,01	33,4	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	57,6	1,5	<0,01	<0,01	<0,2	105	<0,2
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	<0,05	<0,01	31,7	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	69,2	1,0	<0,01	<0,01	2,5	155	1,0
ÖD3	K-1 termal kaynağı	<0,05	<0,01	25,2	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	11,9	1,2	<0,01	<0,01	2,4	628	1,6
ÖD4	K-2 termal kaynağı	<0,05	<0,01	25,6	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	7,8	1,6	<0,01	<0,01	2,8	544	2,8
ÖD5	K-3 termal kaynağı	<0,05	<0,01	29,5	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	12,4	1,0	<0,01	<0,01	<0,2	150	2,0
ÖD6	K-4 termal kaynağı	<0,05	<0,01	28,0	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	10,0	0,8	<0,01	<0,01	3,6	164	1,6
ÖD7	K-5 termal kaynağı	<0,05	<0,01	26,1	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,32	<0,01	254,2	0,4	<0,01	0,04	16,0	136	10,4
ÖD8	K-6 termal kaynağı	<0,05	<0,01	19,8	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	322,7	1,2	<0,01	<0,01	150,4	176	7,2
ÖD9	K-7 termal kaynağı	<0,05	<0,01	28,8	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	33,8	0,5	<0,01	<0,01	71,0	190	5,5
ÖD10	Kula maden suyu	<0,05	<0,01	1,5	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	40,9	0,6	<0,01	<0,01	<0,2	41	2,4
ÖD11	Patlak sondaj	<0,05	<0,01	30,9	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,20	<0,01	70,4	<0,1	<0,01	<0,01	2,0	200	10,0
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	<0,05	<0,01	29,4	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	45,9	0,5	<0,01	<0,01	7,5	195	18,5
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	<0,05	<0,01	0,3	<0,02	0,1	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	1,6	5,3	0,01	<0,01	1,1	113	2,3
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	<0,05	<0,01	0,3	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,1	1,8	<0,01	0,03	7,6	58	1,0
ÖD15	Çakırca çeşmesi	<0,05	<0,01	0,2	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	0,1	4,2	<0,01	<0,01	<0,2	39	0,4



**Tablo 4.3:** (devam).

No	Adı	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	SiO <sub>2</sub>	Sm	Sn	Sr
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	0,20	<0,01	<0,01	463	<0,01	0,01	<0,05	45	<0,05	<1	<0,5	124993	<0,02	<0,05	3242
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	0,65	<0,01	<0,01	439	<0,01	<0,01	<0,05	45	0,55	<1	<0,5	114268	<0,02	0,40	2954
ÖD3	K-1 termal kaynağı	0,36	<0,01	<0,01	376	<0,01	<0,01	<0,05	44	<0,05	<1	<0,5	100903	<0,02	0,28	1963
ÖD4	K-2 termal kaynağı	0,40	<0,01	<0,01	381	<0,01	<0,01	<0,05	44	0,24	<1	<0,5	103020	<0,02	0,36	1965
ÖD5	K-3 termal kaynağı	0,30	<0,01	<0,01	438	<0,01	<0,01	<0,05	50	<0,05	<1	<0,5	116293	<0,02	0,25	2274
ÖD6	K-4 termal kaynağı	0,05	<0,01	<0,01	358	<0,01	0,08	<0,05	48	<0,05	<1	<0,5	103054	<0,02	<0,05	4198
ÖD7	K-5 termal kaynağı	0,56	<0,01	<0,01	368	<0,01	0,01	<0,05	52	<0,05	<1	<0,5	80923	<0,02	0,32	2474
ÖD8	K-6 termal kaynağı	0,48	<0,01	<0,01	358	<0,01	0,04	<0,05	56	<0,05	<1	<0,5	62717	<0,02	0,56	2470
ÖD9	K-7 termal kaynağı	0,45	<0,01	<0,01	411	<0,01	<0,01	<0,05	50	<0,05	<1	<0,5	88736	<0,02	0,45	2874
ÖD10	Kula maden suyu	0,01	<0,01	<0,01	39	<0,01	<0,01	<0,05	5	<0,05	<1	<0,5	13376	<0,02	0,10	415
ÖD11	Patlak sondaj	0,20	<0,01	<0,01	447	<0,01	0,01	<0,05	35	<0,05	<1	<0,5	91564	<0,02	0,50	2939
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	0,55	<0,01	<0,01	427	<0,01	0,05	<0,05	40	0,55	<1	<0,5	84225	<0,02	1,05	2820
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	0,02	<0,01	<0,01	19	<0,01	<0,01	<0,05	16	<0,05	<1	0,8	25131	<0,02	0,10	428
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	0,04	<0,01	<0,01	9	<0,01	<0,01	<0,05	11	<0,05	<1	<0,5	14432	<0,02	0,09	299
ÖD15	Çakırca çeşmesi	<0,01	<0,01	<0,01	17	<0,01	0,01	<0,05	6	0,08	<1	<0,5	39463	<0,02	<0,05	749

**Tablo 4.3:** (devam).

No	Adı	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	<0,02	<0,01	0,25	<0,05	<10	<0,01	<0,01	<0,02	<0,2	0,30	<0,01	<0,01	3,5	<0,02
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	<0,02	<0,2	0,30	<0,01	<0,01	7,0	<0,02
ÖD3	K-1 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,40	1,2	0,28	<0,01	<0,01	12,8	<0,02
ÖD4	K-2 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	0,56	<10	<0,01	<0,01	0,32	1,2	0,24	<0,01	<0,01	6,8	<0,02
ÖD5	K-3 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	0,30	<10	<0,01	<0,01	<0,02	<0,2	0,30	<0,01	<0,01	2,5	<0,02
ÖD6	K-4 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	0,36	<10	<0,01	<0,01	0,56	1,2	0,12	<0,01	<0,01	6,0	<0,02
ÖD7	K-5 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	0,24	<10	<0,01	<0,01	0,12	<0,2	0,20	0,24	<0,01	6,0	0,08
ÖD8	K-6 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	0,32	<10	<0,01	<0,01	1,28	1,2	<0,02	0,02	<0,01	46,0	0,06
ÖD9	K-7 termal kaynağı	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,20	2,0	<0,02	<0,01	<0,01	7,0	<0,02
ÖD10	Kula maden suyu	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,55	0,5	<0,02	<0,01	<0,01	1,7	0,03
ÖD11	Patlak sondaj	<0,02	<0,01	<0,05	0,45	<10	<0,01	<0,01	<0,02	1,5	0,30	<0,01	<0,01	8,0	0,10
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	<0,02	<0,01	<0,05	0,70	<10	<0,01	<0,01	<0,02	1,5	0,35	<0,01	<0,01	4,5	<0,02
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	<0,02	<0,01	<0,05	0,10	<10	<0,01	<0,01	1,68	6,1	0,1	<0,01	<0,01	1,0	0,03
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,93	2,1	<0,02	0,12	<0,01	2,2	<0,02
ÖD15	Çakırca çeşmesi	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	2,11	23,4	0,08	0,01	<0,01	<0,5	<0,02

## 4.2.1 İnceleme alanı sularının sınıflaması

### 4.2.1.1 Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre sınıflama

Bu sınıflamada toplam iyon miktarları 1000 mg/l'den düşük sular “tatlı sular”, 1000-10.000 mg/l arasındaki sular “hafif tuzlu sular” sınıfına girer. Buna göre, toplam iyon miktarları 3778 ile 5132 mg/l arasında olan Emir jeotermal sularının tümü ve Soğucak soğuk kaynak suyu “hafif tuzlu sular” sınıfındadır. Diğer soğuk sular “tatlı sular” sınıfına girer.

### 4.2.1.2 Schoeller sınıflaması

Schoeller, suları klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre termal ve soğuk suların tümü “olağan klorürlü” ( $rCl < 15$  mek/l) ve “olağan sülfatlı” ( $SO_4 < 6$  mek/l) sular sınıfındadır. Termal suların tümü ve Soğucak soğuk su kaynağı “hiperkarbonatlı sular” ( $HCO_3 + CO_3 > 7$  mek/l), diğer soğuk sular “olağan karbonatlı” ( $2$  mek/l  $< HCO_3 + CO_3 < 7$  mek/l) sular sınıfına girmektedir (Tablo 4.4).

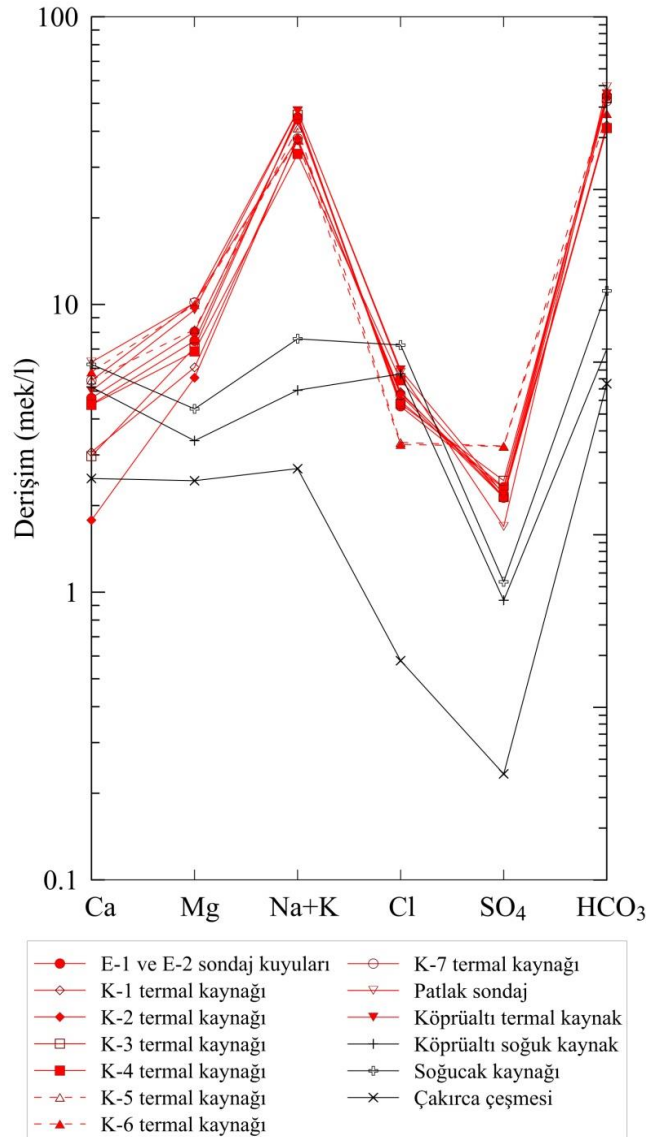
### 4.2.1.3 Yarı logaritmik diyagram

Yarı logaritmik diyagramda aynı rezervuardan gelen veya yeraltında benzer jeokimyasal süreçten geçmiş sular birbiriyle çakışan veya birbirine yakın ve az-çok paralel doğrular oluştururlar.

İnceleme alanı sıcak sularında katyon dizilimi  $Na > Mg > Ca > K$ , anyon dizilimi ise  $HCO_3 > Cl > SO_4$  şeklindedir. Yarı logaritmik diyagramda termal suların birbiriyle çakışan veya birbirine yakın ve paralel doğrular şeklinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.1). Bu durum inceleme alanı termal sularının aynı rezervuardan geldiğini veya benzer jeokimyasal süreçlerden geçtiğini göstermektedir. Bazı suların paralellikten sapmaları veya doğruların arasının açılması (özellikle kalsiyum), termal

suların yeraltından yüzeye yükselirken karbonat çözünme-çökeltme reaksiyonlarını ve/veya soğuk yeraltı suları ile karışımını yansıtmaktadır.

Soğuk su kaynaklarından Çakırca çeşmesi en düşük iyon derişimine sahip olan kaynaktır. Katyonların derişimleri birbirine çok yakındır. Egemen anyon  $\text{HCO}_3$ 'dür. Bu kaynak suyunun kimyası bazaltlardan gelen sulara benzemekle birlikte kalsiyum değerinden karbonatlı litolojilerle de etkileşimde bulunduğu anlaşılmaktadır. Diğer iki soğuk su kaynağı daha yüksek derişime sahip olup birbirine yakın ve paralel doğrularla temsil edilmektedir. Çakırca çeşmesinden farklı olarak klorür değerleri çok yüksektir. Bunun nedeni olasılıkla bu suların termal sularla karışmasıdır.



Şekil 4.1: Yarı logaritmik diyagram.

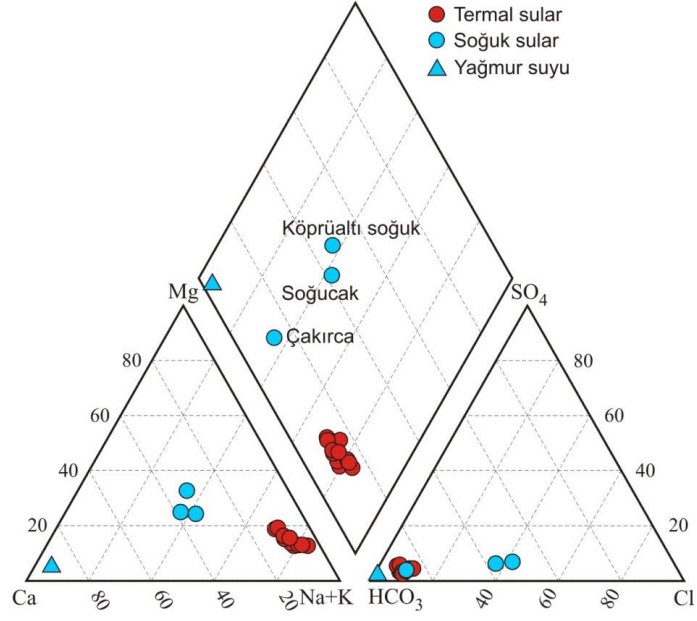
#### **4.2.1.4 Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması**

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, kaya su etkileşimlerini araştırmak ve kokeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların türünün belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiş olup, bu çalışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması kullanılmıştır. Buna göre suda çözünmüş başlıca anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l olarak hesaplanmış % 20' den fazla çözünmüş bulunan iyonlar, önce katyonlar sonra anyonlar yazılarak su türünü belirlemektedir (IAH 1979).

İnceleme alanı sularının IAH sınıflaması Tablo 4.4'de verilmiştir. Buna göre inceleme alanındaki termal suların tümü Na-HCO<sub>3</sub>, Köprüaltı soğuk kaynak Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl, Soğucak soğuk su kaynağı Na-Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl ve Çakırca çeşmesi Na-Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipindedirler.

#### **4.2.1.5 Piper sınıflaması**

Piper, üçgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflanmaya göre her bir üçgende, anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür. İnceleme alanındaki suların içerdii iyonlar % mek/l cinsinden Piper diyagramına yerleştirilmiştir (şekil 4.2).



Şekil 4.2: Piper diyagramı.

Buna göre, inceleme alanı termal sularında

- alkali elementler (Na+K) alkali toprak elementlerden (Ca+Mg) fazladır,
- zayıf asit kökleri ( $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ ), güçlü asit köklerinden ( $\text{Cl}+\text{SO}_4$ ) fazladır ve
- karbonat alkalileri %50'den fazladır.

İnceleme alanı soğuk sularında ise

- alkali toprak elementler (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) fazladır,
- zayıf asit kökleri ( $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ ), güçlü asit köklerinden ( $\text{Cl}+\text{SO}_4$ ) fazladır ve
- karbonat sertliği %50'den fazladır.

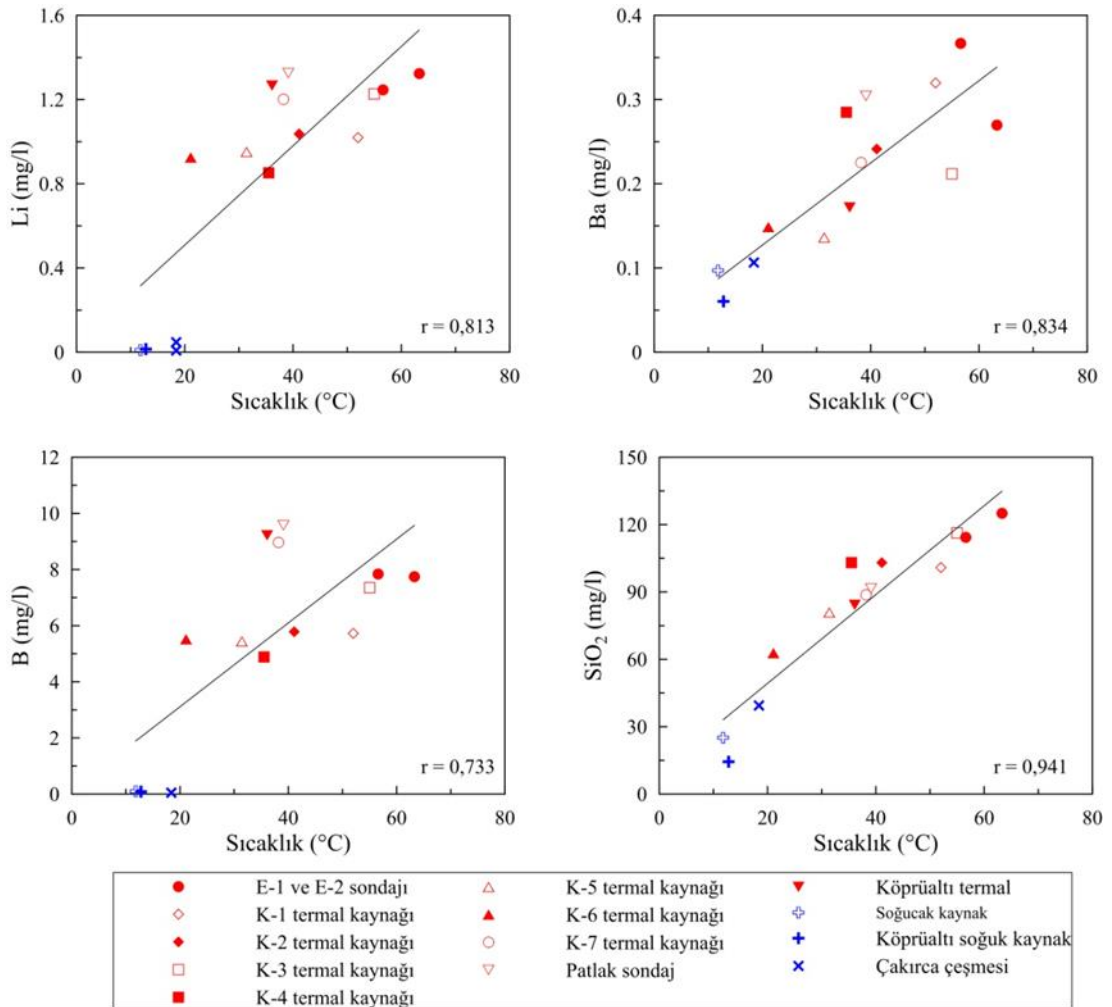
**Tablo 4.4:** İnceleme alanı sularının sınıflaması.

No	Adı	TDS'ye göre	Schoeller Sınıflaması	IAH sınıflaması
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD3	K-1 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD4	K-2 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD5	K-3 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD6	K-4 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD7	K-5 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD8	K-6 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD9	K-7 termal kaynağı	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD10	Kula maden suyu	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
ÖD11	Patlak sondaj	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-HCO <sub>3</sub>
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	Hafif tuzlu sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
ÖD15	Çakırca çeşmesi	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
ÖD16	Yağmur suyu	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>

## 4.2.2 Suların Fizikokimyasal Özellikleri Kompozisyonları Üzerine Genel Değerlendirme

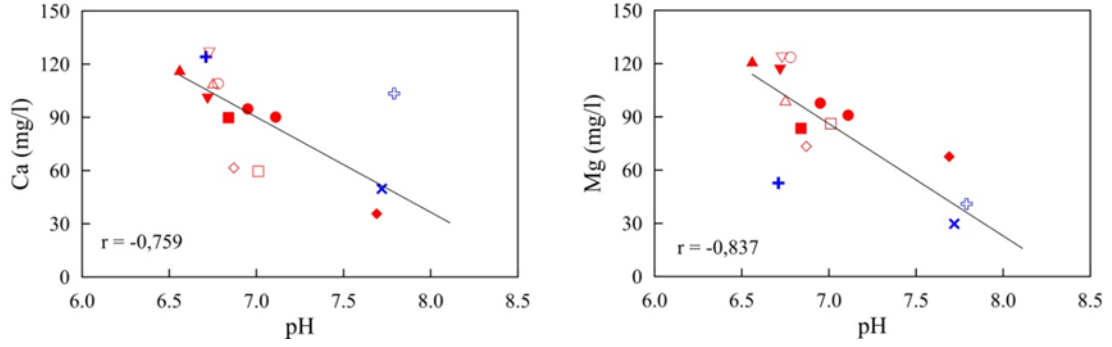
İnceleme alanı sularında iyon ve elementlerin çoğunun derişimi sıcaklıkla artmaktadır. En yüksek korelasyon ise  $\text{SiO}_2$ , B, Li ve Ba'da görülmektedir (Şekil 4.3). Bor miktarı, termal sularda sıcaklıkla artar. Aynı durum, rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında jeotermometre olarak kullanılan Li ve  $\text{SiO}_2$  için de geçerlidir.

Sulardaki Ca ve Mg derişimleri pH değerinin yükselmesiyle azalmaktadır (Şekil 4.4). Bu durum, suyun pH değerinin yükselmesiyle karbonat (traverten) çökelmeye başlaması ve böylece sudaki Ca ve Mg miktarlarının azalması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.3: İnceleme alanı sularındaki Li, B, Ba ve  $\text{SiO}_2$  miktarlarının sıcaklıkla değişimi.

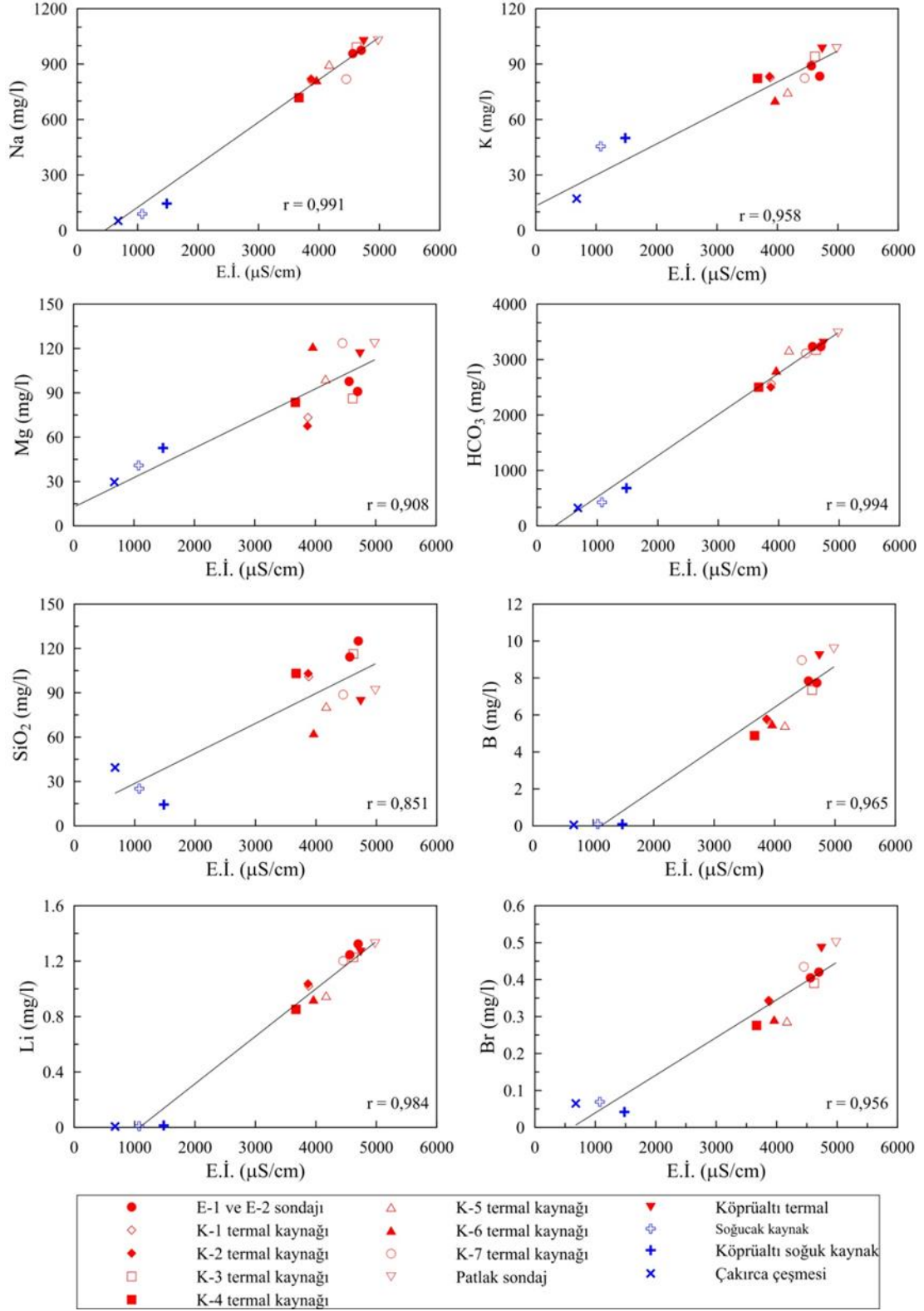




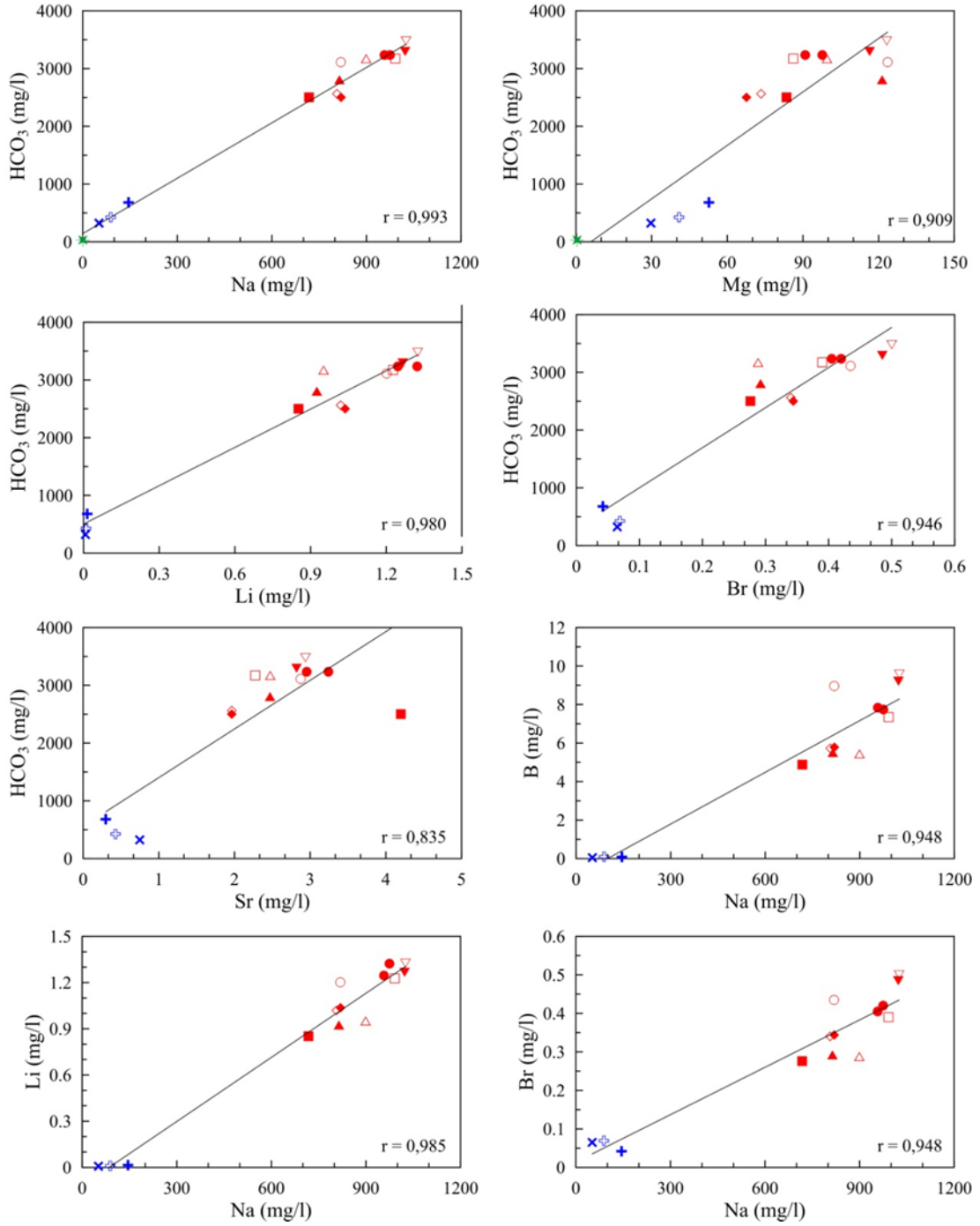
**Şekil 4.4:** İnceleme alanı sularındaki Ca ve Mg miktarlarının pH'la değişimi (simgeler Şekil 4.3'le aynıdır).

Suların E.I. değerleri ile toplam iyon miktarları arasında doğrusal bir pozitif ilişki vardır. İnceleme alanı sularındaki iyon ve element derişimleri ile E.I. değerleri arasında kuvvetli bir pozitif korelasyon vardır. Özellikle Na,  $\text{HCO}_3$  ve Li'da korelasyon katsayısı 0,98'in üzerindedir (Şekil 4.5). Suların bazı element ve iyonlarının kendi aralarında da kuvvetli bir ilişki vardır (Şekil 4.6).

Manisa ilinde Ni, Co, Au, Cu, Pb, Zn, Hg, Mn ve U cevherleşmeleri mevcuttur. Bunlardan çalışma alanına en yakın olanı (yaklaşık 40 km KD'sunda) Selendi-Rahmanlar Cu-Pb-Zn cevherleşmesidir; son derece tipik bir hidrotermal orijine sahip olan bu cevher yatağı Prekambriyen zamanına ait ve Menderes masif serilerini oluşturan en eski gnays ve mikaşistlerinin içerisinde yer almaktadır (Nuhoğlu ve diğ. 2008). Kula ilçesinde de %40 Mn içerikli 180 ton rezerve sahip manganez zuhurları belirlenmiştir. Hidrotermal eriyikler Fe, Co, Ni, Mn, Ag, Au, Pb, Zn, Cu gibi elementleri taşıyabilmekte ve uygun ortamlarda çökeltirek cevher yataklarının oluşmasını sağlamaktadır. İnceleme alanındaki K-5 ve K-6 termal kaynak sularının, diğerlerinden farklı olarak, Mn, Zn, Ni, Co, Cu ve Pb miktarlarında bağıl bir zenginleşme vardır (Tablo 4.3). Bu da termal suların yukarıda anılan elementlerce zengin hidrotermal zonlarla etkileşime girdiğini göstermektedir.



Şekil 4.5: İnceleme alanı sularının E.İ.- iyon ve element miktarı grafikleri.



Şekil 4.6: İnceleme alanı sularındaki iyon ve element derişimi diyagramları (simgeler Şekil 4.3'le aynıdır).

### 4.3 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları

#### 4.3.1 Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları

İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu stabildir. Diğer bütün suların izotop değerleri,  $\delta$  değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçülmektedir (Fritz ve Fontes 1980). Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki vardır.

$$\delta\text{D}=\text{A}*\delta^{18}\text{O}+\text{B} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'de A (eğim) ve B (döteryum fazlası) değeri, hidrolojik çevrim boyunca buharlaşma, yağış, nem, coğrafi konum ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su doğrusu vardır.  $^{18}\text{O}$  ve  $\text{D}^2\text{H}$  izotoplarının bu özellikleri, yeraltı sularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) olarak bilinen doğrunun denklemi;

$$\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10 \text{‰ (SMOW)} \quad (4.2)$$

dir (Craig 1961). Bu doğru buharlaşma etkisinde olmayan sular için geçerlidir. Çeşitli etkiler nedeni ile A ve B değerleri genel denklemi ifade eden 8 ve 10 değerlerinden sapmalar gösterirler. Döteryum fazlalığı genel olarak okyanus ve deniz kenarındaki atmosferik neme yani klimatolojik faktörlere bağlıdır (Çifter ve Sayın 2002).

Bu çalışmada inceleme alanı sularının duraylı izotop değerlerini yorumlamak için KMSD ve İzmir meteorik su doğrusu (İMSD) kullanılmıştır. Dilaver ve diğ. (2018) tarafından verilen Akdeniz meteorik su doğrusunun denklemi şöyledir:

$$\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O} + 11,993 \text{‰ (SMOW)} \quad (4.3)$$

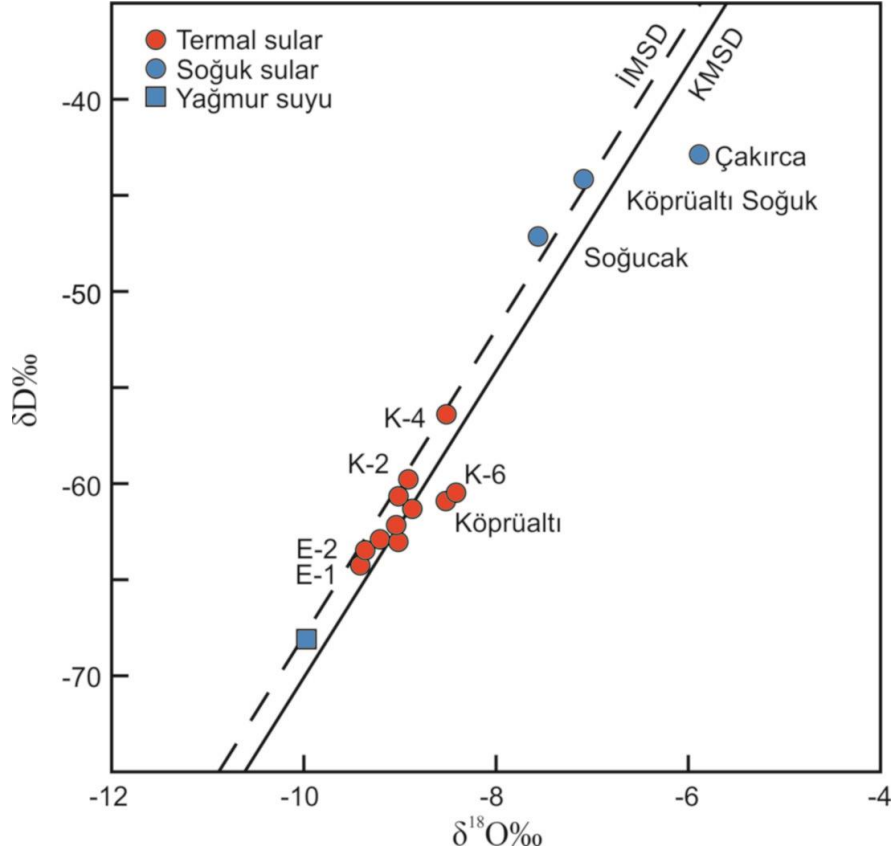
İnceleme alanı termal sularının  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰ -8,41 ile -9,40 arasında  $\delta\text{D}$  değerleri de ‰ -56,38 ile -64,16 arasında değişmektedir. Soğuk sularda bu değerler

daha pozitif olup  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰ -5,89 ile -7,56 arasında  $\delta\text{D}$  değerleri de ‰ -42,83 ile -47,10 arasındadır. Lokal yağmur suyunun  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri sırasıyla ‰ -9,98 ve ‰ -66,51'dir (Tablo 4.5).

**Tablo 4.5:** Suların izotop analiz sonuçları.

	Suyun Adı	$\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW)	$\delta\text{D}$	T (TU)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{34}\text{S}$ (SO <sub>4</sub> ) (VCDT)	$\delta^{18}\text{O}$ (SO <sub>4</sub> ) (VSMOW)
ÖD-1	E-1 sondajı	-9,40±0,35	-64,16±0,78	0,62±0,41	1,70		
ÖD-2	E-2 sondajı	-9,20±0,32	-62,87±0,75	-	2,38	39,89	10,84
ÖD-3	K-1 kaynağı	-9,01±0,32	-60,58±0,79	0,68±0,38	2,27	34,58	8,97
ÖD-4	K-2 kaynağı	-8,91±0,13	-59,69±1,38	2,38±0,46	1,32	34,65	8,80
ÖD-5	K-3 kaynağı	-9,35±0,16	-63,43±1,40	0,90±0,44	2,35		
ÖD-6	K-4 kaynağı	-8,51±0,13	-56,38±1,38	-	3,40		
ÖD-7	K-5 kaynağı	-9,02±0,13	-62,98±1,38	0,93±0,44	3,79		
ÖD-8	K-6 kaynağı	-8,41±0,14	-60,43±1,38	1,80±0,45	4,46		
ÖD-9	K-7 kaynağı	-8,87±0,13	-61,28±1,40	0,35±0,38	2,84		
ÖD-11	Patlak sondaj	-9,04±0,13	-62,17±1,38	0,00±0,35	3,12		
ÖD-12	Köprüaltı termal kaynak	-8,51±0,14	-60,88±1,38	0,33±0,42	2,67		
ÖD-13	Köprüaltı soğuk kaynak	-7,09±0,14	-44,10±1,39	5,97±0,53	-10,02		
ÖD-14	Soğucak soğuk kaynak	-7,56±0,13	-47,10±1,38	5,34±0,53	-2,33		
ÖD-15	Çakırca çeşmesi	-5,89±0,09	-42,83±0,73	1,63±0,53	-11,61		
ÖD-16	Yağmur suyu	-9,98±0,09	-66,51±0,73	8,79±0,52	-		

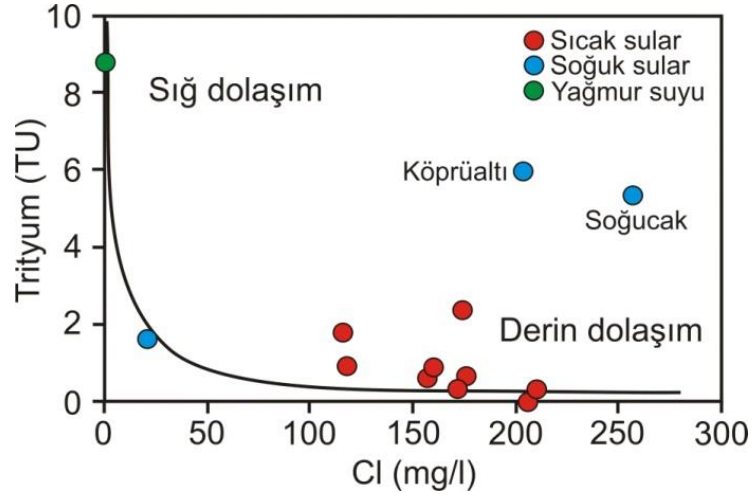
$^{18}\text{O}$ -D diyagramında (Şekil 4.7) suların hemen hemen tamamının İMSD ile KMSD arasında bulunduğu ve dolayısıyla kökenlerinin meteorik olduğu görülmektedir.  $^{18}\text{O}$  zenginleşmesi gösteren Köprüaltı termal kaynak, K-6 kaynağı ve Çakırca çeşmesinin yüzeysel buharlaşma etkisi altında olduğu ve ayrıca termal suların soğuk sulara göre daha yüksek kotlardan beslendiği söylenebilir.



Şekil 4.7: Suların  $^{18}\text{O}$ -D diyagramı

### 4.3.2 Tritiyum

Suyun radyoaktif izotopu olan trityum ( $^3\text{H}$ ) suların yeraltındaki sirkülasyon zamanlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Yarılanma ömrü  $12.32 \pm 0.02$  yıldır (Lucas ve Unterweger, 2000). İnceleme alanı termal sularının trityum değerleri 0,00 ile 2,38 TU, soğuk suların trityum değerleri ise 1,63 ile 5,97 TU arasında değişmektedir. Yağmur suyunda bu değer 8,79 TU'dur (Tablo 4.5). Suların trityum-klorür diyagramından (Şekil 4.8) soğuk suların güncel yağışların etkisinde olduğu ve sığ dolaşım yaptığı, termal suların ise derin dolaşım yaptıkları görülmektedir.

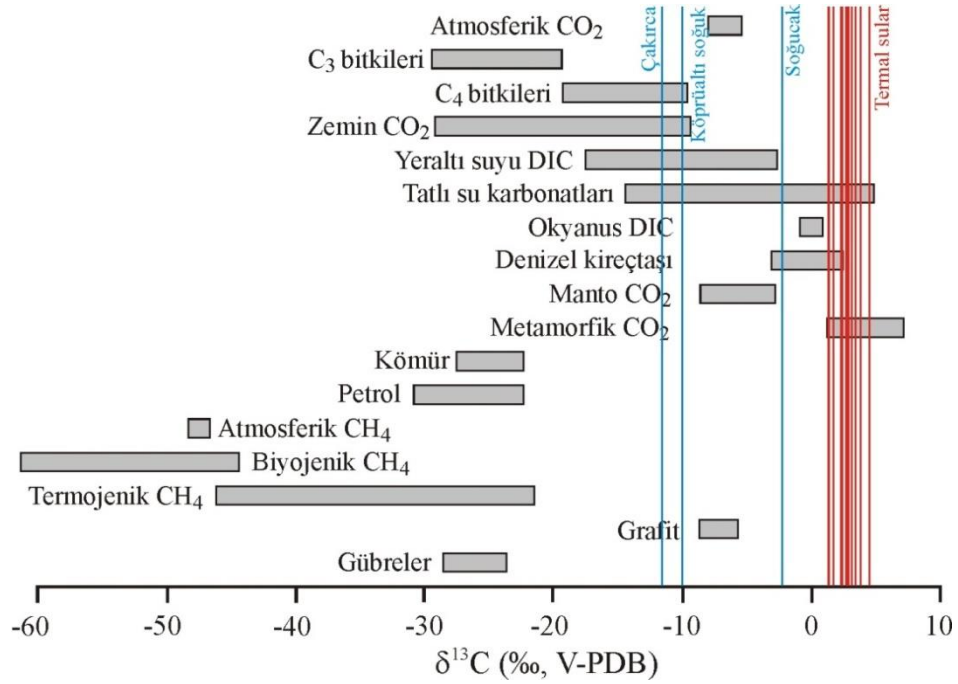


Şekil 4.8: Suların trityum-klorür diyagramı.

### 4.3.3 Suların $\delta^{13}\text{C}$ Kompozisyonu

Sulardaki karbonun başlıca kaynakları zemindeki organik maddelerin bozunumu, karbonat kayaların bozunumu ve nadiren de atmosferik  $\text{CO}_2$  ile magmadır. Bu kaynaklar farklı izotop kompozisyonlarına sahiptir. Örneğin denizel kireçtaşları için  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ‰-3 ile +3 arasında iken atmosferik  $\text{CO}_2$  için bu değer daha negatiftir (‰-6 ile -7 arasında) (Clark ve Fritz 1997). Organik kökenli karbonun  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ise ‰-50 civarındadır.

İnceleme alanı termal sularının  $\delta^{13}\text{C}$  (ÇİK-Suda çözülmüş inorganik karbon) değerleri ‰ 1,32 ile 4,46, soğuk suların ise ‰-2,33 ile -11,61 arasında değişmektedir (Tablo 4.5). Çeşitli ortamların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (aralıkları) Şekil 4.9’da verilmiştir. Bu diyagramda inceleme alanı termal sularının bir kısmı denizel kireçtaşı alanına, tamamı ise metamorfik  $\text{CO}_2$  alanına düşmektedir. Buradan termal sulardaki karbonun karbonat kayaların yüksek sıcaklık ve basınç altındaki metamorfizması ve denizel kireçtaşlarından türediği söylenebilir.



**Şekil 4.9:** Çeşitli ortamların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri. Kırmızı çizgiler sıcak, maviler soğuk suları gösterir (Clark ve Fritz, 1997'den modifiye edilmiştir).

#### 4.4 Suların Mineral Doğunlukları

Suların mineral doğunluklarının bilinmesi, suların sondaj yoluyla çıkarılması ve iletimi veya kaynak sularının işletme ve iletimi sırasında ortaya çıkabilecek kabuklaşma sorunları hakkında bilgi vermesi nedeniyle önemlidir. Sondaj ve iletim borularında meydana gelecek kabuklaşma probleminin giderilmesi işletme giderlerine ek bir maliyet getirir. Bu nedenle, sularda kabuk oluşturabilecek minerallerin denge durumlarının incelenmesi ve çökeltme eğiliminde olan minerallerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu bölümde inceleme alanı suları için kalsit, aragonit, dolomit, barit, jips, sölestin, kalsedon ve kuvars minerallerinin örnekleme sıcaklığındaki doğunlukları PhreeqCi programı (Parkhurst ve Appelo 1999) ile hesaplanmış ve değerler Tablo 4.6'de verilmiştir. Bu tablolardaki negatif değerler doğunluk altı değerinde olup minerali çözücü özellikte, pozitif değerler ise doğunluk üstü yani o minerali çökeltmeye eğilimli olarak değerlendirilmektedir. Buna göre, termal suların tümü ve Köprüaltı soğuk kaynak suyu kalsit, aragonit, dolomit, barit, kalsedon ve kuvars çökeltme, jips ve sölestin çözündürme eğilimindedir. Soğucak soğuk kaynak suyu

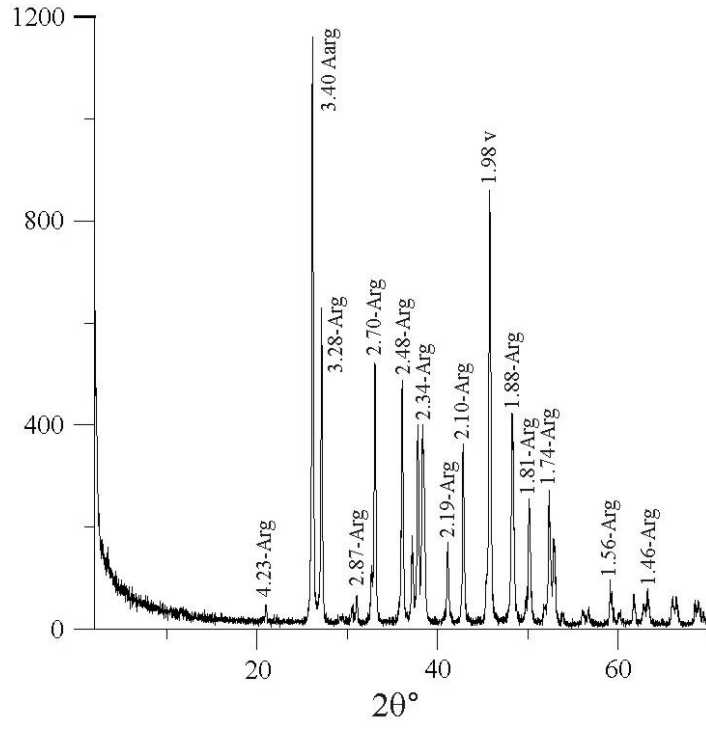


dolomit, kalsedon ve kuvars çökeltme, diğer mineralleri ise çözündürme eğilimi gösterir. Çakırca çeşme suyu barit, jips ve sölestin çözündürme ve diğer mineralleri çökeltme eğilimindedir.

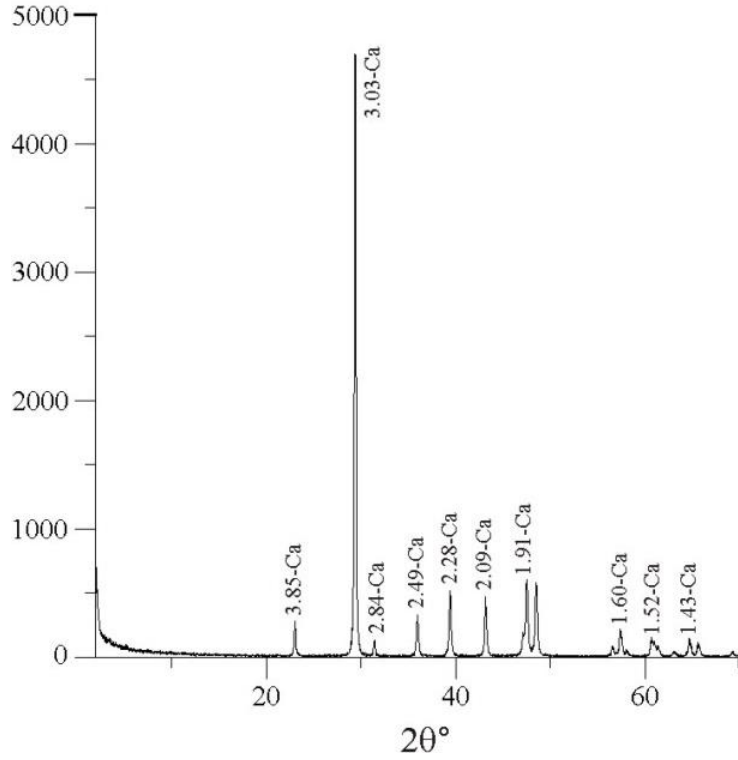
**Tablo 4.6:** İnceleme alanı sularının bazı minerallere göre doygunluk durumları.

Adı	Kalsit	Aragonit	Dolomit	Barit	Jips	Sölestin	Kalsedon	Kuvars
E-1 sondaj kuyusu	1,27	1,12	4,11	-0,02	-2,05	-2,41	0,50	0,74
E-2 sondaj kuyusu	1,06	0,91	3,68	0,19	-2,02	-2,47	0,55	0,79
K-1 termal kaynağı	0,69	0,55	2,98	0,23	-2,15	-2,63	0,56	0,80
K-2 termal kaynağı	1,08	0,94	3,95	0,26	-2,39	-2,65	0,71	0,97
K-3 termal kaynağı	0,89	0,75	3,49	0,01	-2,18	-2,55	0,58	0,82
K-4 termal kaynağı	0,60	0,45	2,63	0,38	-1,99	-2,36	0,81	1,07
K-5 termal kaynağı	0,60	0,45	2,59	0,25	-1,79	-2,48	0,77	1,04
K-6 termal kaynağı	0,25	0,10	1,91	0,46	-1,74	-2,51	0,96	1,24
K-7 termal kaynağı	0,71	0,57	2,96	0,17	-1,99	-2,59	0,70	0,96
Patlak sondaj	0,76	0,62	3,00	0,15	-2,06	-2,71	0,70	0,96
Köprüaltı termal kaynak	0,60	0,45	2,73	0,08	-2,03	-2,61	0,71	0,97
Köprüaltı soğuk kaynak	0,68	0,54	2,30	0,04	-1,98	-3,53	0,65	0,93
Soğucak soğuk kaynak	-0,13	-0,28	0,70	-0,03	-1,90	-3,68	0,39	0,67
Çakırca çeşmesi	0,33	0,18	1,81	-0,41	-2,81	-3,78	0,70	0,98

İnceleme alanında termal sulardan çökelen travertenlerin mineral içeriğini belirlemek için iki örnekten XRD analizi yapılmıştır. Örneklerden biri Emir Kaplıcası'ndaki traverten sırtından (EK-1 nolu örnek), diğeri patlak sondaj civarındaki travertenlerden (EK-7 nolu örnek) alınmıştır. XRD analizi sonucunda EK-1 örneğinde sadece aragonit, EK-7 örneğinde ise sadece kalsit minerali belirlenmiştir (Şekil 4.10 ve 4.11). Bu sonuçlar ve termodinamik hesaplamalarla elde edilen kabuklaşma eğilimindeki mineral türleri arasında uyum vardır. Örnek sayısının artırılması ile travertenlerdeki mineral çeşitliliği açısından daha sağlıklı sonuçlara ulaşılabilir.



Şekil 4.10: EK-1 traverten örneğinin XRD grafiği (Arg: Aragonit).



Şekil 4.11: EK-7 traverten örneğinin XRD grafiği (Ca: Kalsit).

## 5. JEOTERMOMETRİ

Jeotermal akışkanın rezervuar sıcaklığına yaklaşım sağlamak için jeotermometrelerden yararlanır. Jeotermal su kaynaklarının sıcaklıkları genellikle rezervuar içindeki sıcaklıklarından daha düşüktür. Sıcak suların yüzeye erişirken dokanakta olduğu kayaçlarla olan ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışım, jeotermal sistemde örtü kayanın bulunmayışı veya çok ince oluşu gibi nedenler suların sıcaklığının azalmasında başlıca etkenlerdir. Suların yeraltında katettikleri mesafe ne kadar kısa ve debileri ne kadar yüksekse sıcaklıkları o oranda rezervuar sıcaklığına yakındır. Rezervuar sıcaklığı ile gerçek bilgiler ancak rezervuara inen sondajlardan elde edilebilir. Ancak sondaj öncesi çeşitli jeotermometre teknikleri yardımıyla rezervuar sıcaklığına yaklaşım sağlanması jeotermal akışkanın kullanım alanlarının (elektrik üretimi, konut ve sera ısıtması, kaplıca gibi) kestirilebilmesi için önemli ve ekonomik bir yöntemdir.

Termal suların rezervuar sıcaklığının tahmini için birçok yöntem önerilmiştir (su, gaz, izotop). Bu bölümde çalışma alanı sıcak sularının rezervuar sıcaklığına kimyasal ( $\text{SiO}_2$  ve katyon), sıcaklık-mineral denge, karışım ve izotop jeotermometre teknikleri ile yaklaşımda bulunulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bazı jeotermometre bağıntıları Tablo 5.1'de ve bu bağıntılarla elde edilen rezervuar sıcaklıkları da Tablo 5.2 ve 5.3'de verilmiştir..

### 5.1 Kimyasal Jeotermometreler

#### 5.1.1 Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometre bağıntıları, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sudaki çeşitli silis fazlarının deneysel olarak belirlenmiş çözünürlüklerini temel alarak geliştirilmiştir. Kuvars jeotermometresi  $180^\circ\text{C}$  üzerinde rezervuar sıcaklıkları için daha iyi sonuçlar verir (Giggenbach 1991).

**Tablo 5.1:** Rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan jeotermometre bağıntıları.

No	Jeotermometre	Bağıntı	Referans	
1	SiO <sub>2</sub> (Kalseduan)	$t^{\circ}C = \left( \frac{1032}{4,69 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)	
2	SiO <sub>2</sub> (Kalseduan-iletim ile soğuma)	$t^{\circ}C = \left( \frac{1112}{4,91 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)	
3	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	$t^{\circ}C = \left( \frac{1309}{5,19 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)	
4	SiO <sub>2</sub> (Kuvars-adyabatik buhar kaybı)	$t^{\circ}C = \left( \frac{1498}{5,7 - \log SiO_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)	
5	Na/K	$t^{\circ}C = \left( \frac{1319}{1,699 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$	Fournier (1977)	
6		$t^{\circ}C = \left( \frac{855,6}{0,857 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$		
7		$t^{\circ}C = \left( \frac{833}{0,78 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$		Tonani, (1980)
8		$t^{\circ}C = \left( \frac{1178}{1,47 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$		Nieva ve Nieva (1987)
9		$t^{\circ}C = \left( \frac{1390}{1,75 + \log(Na/K)} \right) - 273,15$		Giggenbach ve diğ. (1988)
10	Li (mol/l)	$t^{\circ}C = \left( \frac{2258}{1,44 - \log(Li)} \right) - 273,15$	Fouillac ve Michard (1981)	
11	Li/Mg	$t^{\circ}C = \left( \frac{2200}{5,47 - \log(Li/\sqrt{Mg})} \right) - 273,15$	KharakaandMariner (1989)	
12	Na/Li (mol/l)	$t^{\circ}C = \left( \frac{1000}{0,38 + \log(Na/Li)} \right) - 273,15$	Fouillac ve Michard (1981)	
13	K/Mg	$t^{\circ}C = \left( \frac{4410}{13,95 - \log(K^2/Mg)} \right) - 273,15$	Giggenbach ve diğ. (1993)	
14	Na-K-Ca (mol/l)*	$t^{\circ}C = \left( \frac{1647}{\log(Na/K) + \beta \cdot \log(\sqrt{Ca}/Na) + 2,24} \right) - 273,15$	Fournier ve Truesdell (1973, 1974)	
15	$\delta^{18}O(SO_4-H_2O)$	$1000 \ln \alpha_{SO_4-H_2O} = 3,25(10^6/T^2) - 5,6$	Lloyd (1968)	

\*log (Ca<sup>1/2</sup>/ Na) değeri (mol/l) (-) ise  $\beta=1/3$ , (+) ise  $\beta=4/3$  alınır.  $\beta=4/3$  ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı  $>100^{\circ}C$  ise  $\beta=1/3$  alınarak tekrar hesaplanır.

Magnezyum düzeltmesi:

Magnezyum düzeltme katsayısı (R) = ((Mg) / (Mg+Ca+K))\*100 (mek/l)

Rezervuar sıcaklığı  $70^{\circ}C$ 'den fazla ve  $5 < R < 50$  (veya  $50$ 'den büyük) ise Mg düzeltme sıcaklığı  
 $t^{\circ}C_{Mg} = 10,66 - 4,7415 * R + 325,87 * (\log R) - (1,032 \cdot 10^5 * (\log R)^2 / T) - (1,968 \cdot 10^7 * (\log R)^2 / T^2) + (1,605 \cdot 10^7 * (\log R)^3 / T^3)$

Rezervuar sıcaklığı  $70^{\circ}C$ 'den fazla ve  $0,5 < R < 5$  ise Mg düzeltme sıcaklığı  
 $t^{\circ}C_{Mg} = -1,03 + 59,971 * (\log R) + 145,05 * (\log R)^2 - (36711 * (\log R)^2 / T) - 1,67 \cdot 10^7 * (\log R) / T^2$

bağıntılarıyla hesaplanır ve Na-K-Cajeotermometre bağıntısıyla hesaplanan sıcaklıktan çıkarılır. Rezervuar sıcaklığı  $70^{\circ}C$ 'den az veya  $t^{\circ}C_{Mg}$  değeri (-) ise düzeltme yapılmaz.

**Tablo 5.2:** Jeotermometre bağıntılarından hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C), (Tö: ölçülen sıcaklık).

Adı	Tö	SiO <sub>2</sub>				Na/K					Li	Mg/Li	Na-Li	K/Mg	Na-K-Ca	<sup>18</sup> O(SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E-1	63,3	125	122	150	143	209	179	201	197	226	164	75	94	94	195	-
E-2	56,6	119	117	145	138	210	181	202	198	227	162	68	91	93	195	83
K-1	52,0	111	109	138	132	216	189	211	205	233	155	66	89	95	200	98
K-2	41,1	112	111	139	133	212	182	189	199	228	156	68	89	94	202	100
K-3	55,0	120	118	146	139	203	171	177	190	219	162	69	88	93	194	-
K-4	35,5	112	111	139	133	220	194	202	209	237	149	60	86	91	197	-
K-5	31,4	98	97	126	122	195	161	166	182	212	153	61	80	86	181	-
K-6	21,1	84	84	113	111	200	167	173	188	217	152	58	83	83	182	-
K-7	38,2	103	102	131	126	215	187	194	203	232	161	64	98	88	194	-
Patlak	39,1	105	104	132	128	205	174	180	193	222	165	67	91	90	189	
Köprüaltı	36,1	100	99	128	124	203	170	176	190	219	163	66	88	90	189	

**Tablo 5.3:** Jeotermometre hesaplanan sıcaklıkların minimum, maksimum ve ortalama değerleri (°C).

	Kalsedon	Kuvars	Na/K	Li	Mg/Li	Na/Li	K/Mg	Na-K-Ca	Mineral denge	Silis-entalpi	Klorür-entalpi	<sup>18</sup> O(SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O)
Minimum	84	111	161	149	58	80	83	181	90	168	125	83
Maksimum	125	150	237	165	75	98	95	202	138	176	149	100
Ortalama	107	130	199	158	66	89	91	193	116	-	-	94

Daha düşük sıcaklıklarda, silis çözünlüğü çoğunlukla kalsedon ve hatta çok daha düşük sıcaklıklarda kristobalit veya amorf silis ile kontrol edilir. 225°C'den daha yüksek sıcaklıklarda rezervuardan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi olacağından sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki rezervuarlardan gelen sulardaki SiO<sub>2</sub> değerinden hesaplanan rezervuar sıcaklıkları gerçeği yansıtmaz.

İnceleme alanı termal suları için kuvars jeotermometreleri 111-150°C kalsedon jeotermometreleri 84-125°C ve arasında rezervuar sıcaklıkları vermiştir.

### 5.1.2 Katyon Jeotermometreleri

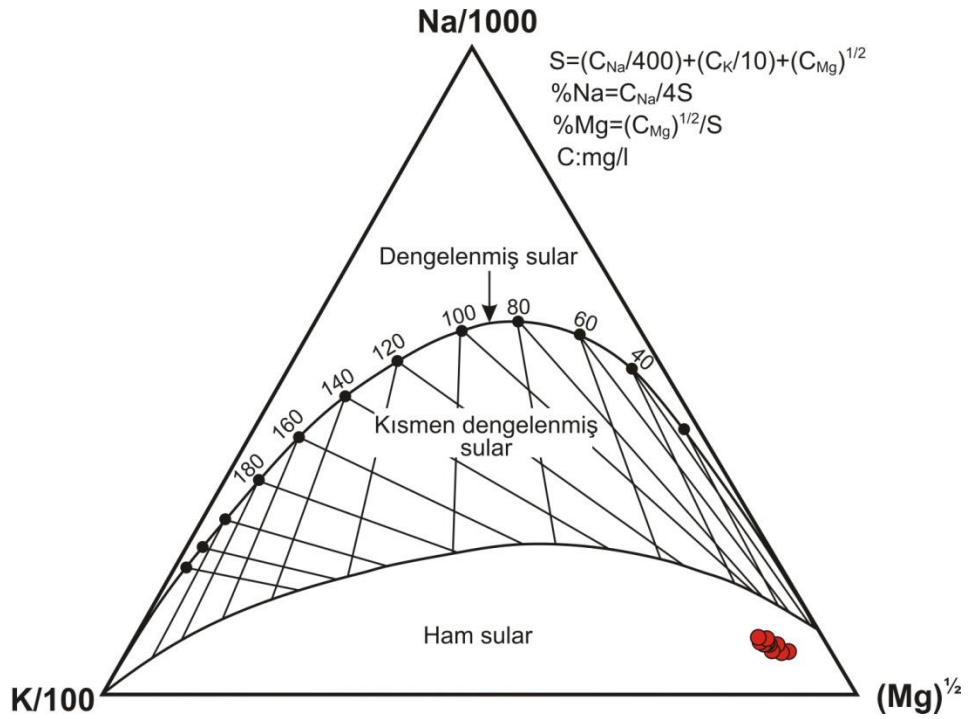
Kasyon jeotermometreleri bir mineralin çözünlüğünden çok iyon oranlarına dayanır. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Na/K jeotermometresine göre 161-237°C, Li jeotermometresine göre 149-165°C, Mg/Li jeotermometresine göre 58-75°C, Na/Li jeotermometresine göre 80-98°C, K-Mg jeotermometresine göre 83-95°C ve Na-K-Ca jeotermometresine göre 181-202°C arasında değerler vermiştir.

Na-K, Na-Li, Mg-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca, Na-K-Ca gibi jeotermometreler suda fazla miktarda Ca<sup>++</sup> iyonu bulunuyorsa, rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler vermektedir. Na-K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali olması, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, log( $\sqrt{Ca/Na}$ ) değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki bir rezervuardan gelen sulara daha iyi sonuçlar vermektedir. 120°C'de ve traverten oluşan sulara Na-K jeotermometre bağıntıları geçerliliklerini yitirirler. Bu jeotermometreler katyon oranlarına dayandığı için meteorik suların karışımından meydana gelen seyreltme veya buhar kaybı sonucu çözeltideki derişim değışmelerinden çok fazla etkilenmezler (Şahinci 1991).

Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem su-kayaç denge durumu hem de rezervuar sıcaklıkları belirlenebilir (Şekil 5.1). 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 bölümden oluşan diyagramdan ayrıca katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği de sınanabilmektedir. Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir.

İnceleme alanı termal suları Na-K-Mg diyagramında “ham sular” alanına düşmektedir. Yani bu sular rezervuar kaya ile kimyasal dengeye erişmemiştir. Ayrıca sıcak sular traverten çökeltmektedir. Bu nedenle Na-K gibi katyon jeotermometreleri ile elde edilen 161-237°C civarındaki rezervuar sıcaklıklarının gerçeği yansıttığı söylenemez.



Şekil 5.1: Giggenbach diyagramı (Giggenbach 1988).

## 5.2 Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

Reed ve Spycher (1984) jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesi için önerdikleri yöntemde sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişmesini baz almışlardır. Hidrotermal alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişmesinde basıncın etkisi (0-200 bar arası) çok sınırlıdır (Arnorsson ve diğ.

1982). Bundan dolayı bu yöntemde basınç etkisi ihmal edilir ve her jeotermal su için sıcaklık ile birçok mineralin denge durumları arasındaki ilişki incelenir.

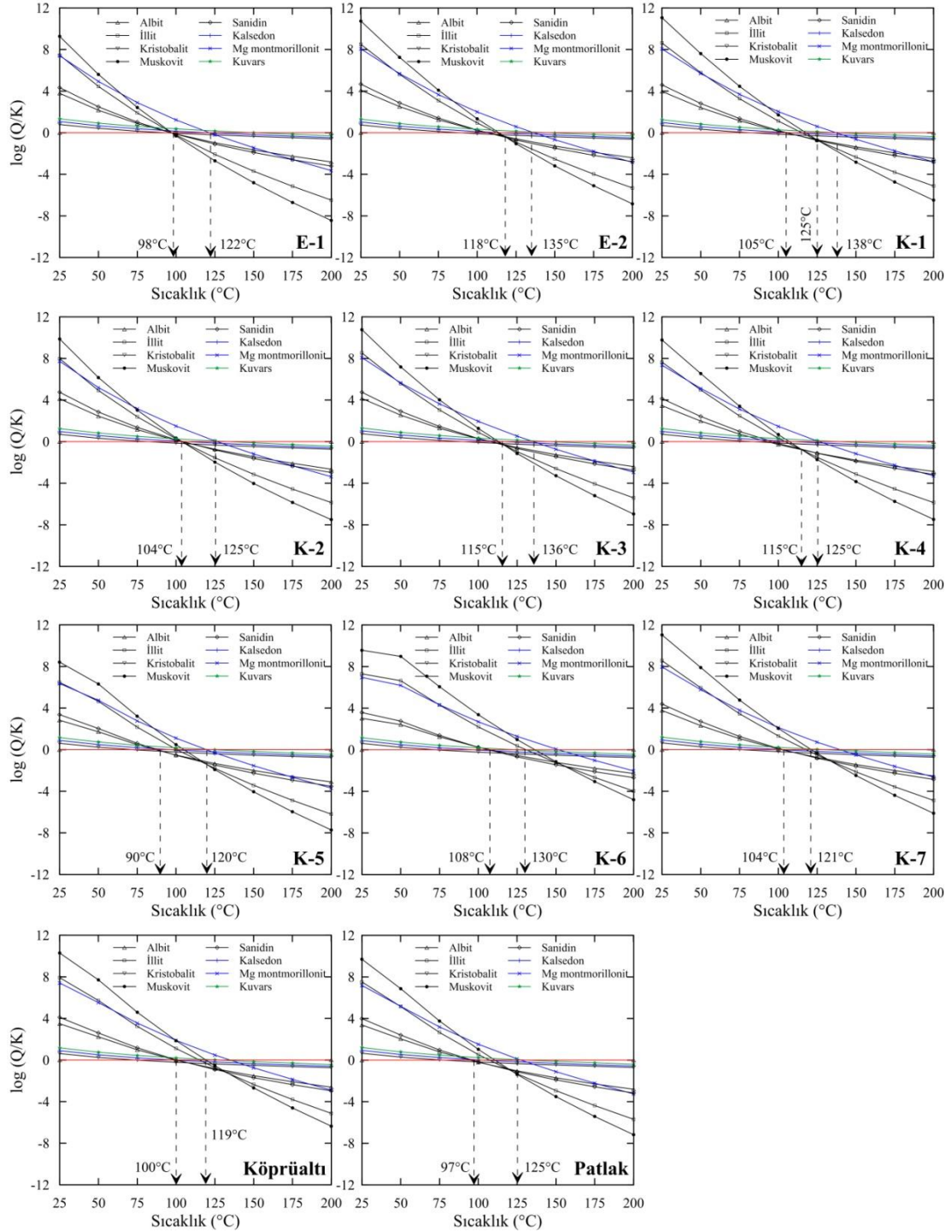
Bu yöntemde suyun kimyasal analizinden hareketle çeşitli minerallerin seçilen sıcaklık değerlerinde ayrı ayrı doymuluk indeksleri ( $SI = \log Q/K$ ) hesaplanır ve sıcaklık-doymuluk indeksi diyagramları çizilir. Diyagramda, bir grup mineral doğrusu denge doğrusunu ( $SI=0$  doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi rezervuar sıcaklığını vermektedir.

İnceleme alanı suları için bu diyagramların çizilmesinde albit, illit, kristobalit, muskovit, sanidin, kalsedon, Mg-montmorillonit ve kuvars mineralleri seçilmiştir. PhreeqC programı (Parkhurst ve Appelo 1999) kullanılarak, seçilen minerallerin 25-200°C'ler arasındaki (25°C'lik sıcaklık aralıklarıyla) doymulukları hesaplanmış ve sıcaklık-mineral denge diyagramları çizilmiştir (Şekil 5.2).

E-1 sondajından boşalan termal suda albit, illit, kristobalit, muskovit ve sanidin mineralleri  $SI=0$  çizgisinde 98°C'de, kalsedon ve Mg montmorillonit mineralleri de yine  $SI=0$  çizgisi üzerinde 122°C'de kesişmiştir. E-2 sondaj suyu için albit, illit, kristobalit, muskovit ve sanidin mineralleri  $SI=0$  çizgisinin hemen altında 118°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri  $SI=0$  çizgisinde 135°C'de kesişmiştir. K-1 termal kaynak suyunda albit, sanidin ve kalsedon mineralleri 105°C'de, albit, illit, muskovit ve sanidin mineralleri 125°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri de 138°C'de kesişmiştir. K-2 termal kaynak suyunda albit, illit, muskovit ve sanidin mineralleri 104°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri 125°C'de kesişmiştir. K-3 termal kaynak suyunda albit, illit, kalsedon, muskovit ve sanidin mineralleri 115°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri 136°C'de kesişmiştir. K-4 termal kaynak suyunda albit, illit, muskovit ve sanidin mineralleri  $SI=0$  çizgisinin hemen altında 115°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri ise 125°C'de kesişmiştir. K-5 termal kaynak suyunda albit, kalsedon ve sanidin mineralleri 90°C'de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri ise 120°C'de kesişmiştir. K-6 termal kaynak suyunda albit, kalsedon ve sanidin mineralleri 108°C'de, kuvars ve illit mineralleri ise 130°C'de kesişmiştir. K-7 termal kaynak suyunda albit, kalsedon ve sanidin mineralleri 104°C'de, kuvars ve muskovit mineralleri ise 121°C'de kesişmiştir. Köprüaltı termal kaynak suyunda albit,



kalsedon ve sanidin mineralleri 100°C’de, kuvars ve muskovit mineralleri ise 119°C’de kesişmiştir. Patlak sondaj suyunda ise albit, kalsedon ve sanidin mineralleri 97°C’de, kuvars ve Mg montmorillonit mineralleri ise 125°C’de kesişmiştir. Bu yöntemle elde edilen sıcaklık aralığı 90-138°C olmakla birlikte 104-125°C aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.

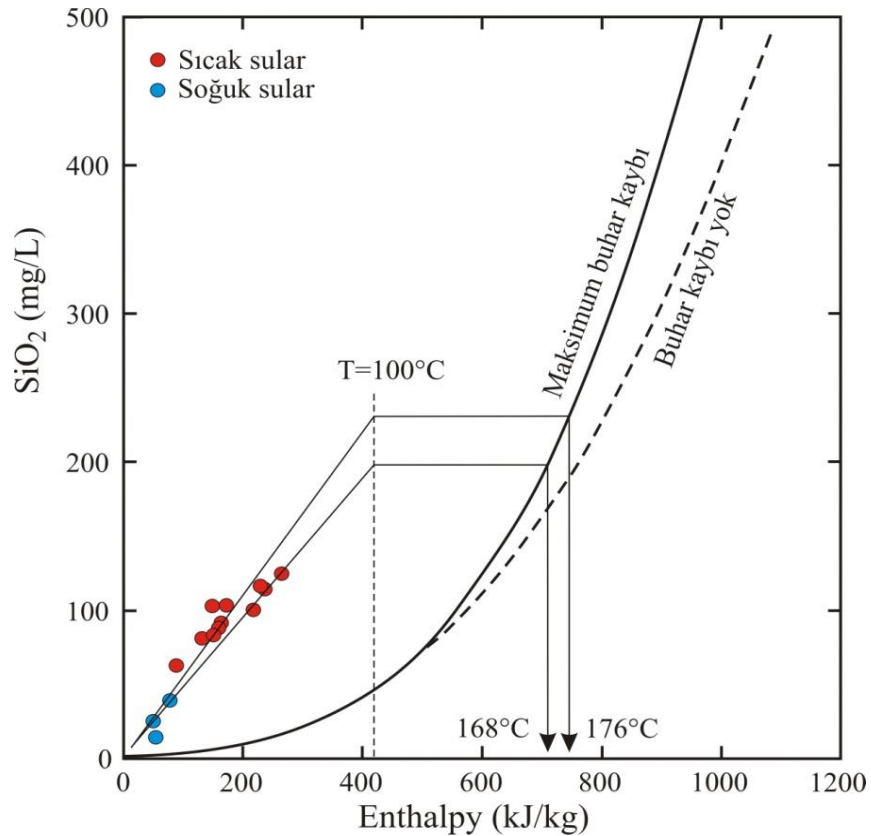


Şekil 5.2: İnceleme alanı termal suları için sıcaklık-mineral denge diyagramları.

### 5.3 Karışım Modelleri

#### 5.3.1 Entalpi-Silis Karışım Modeli

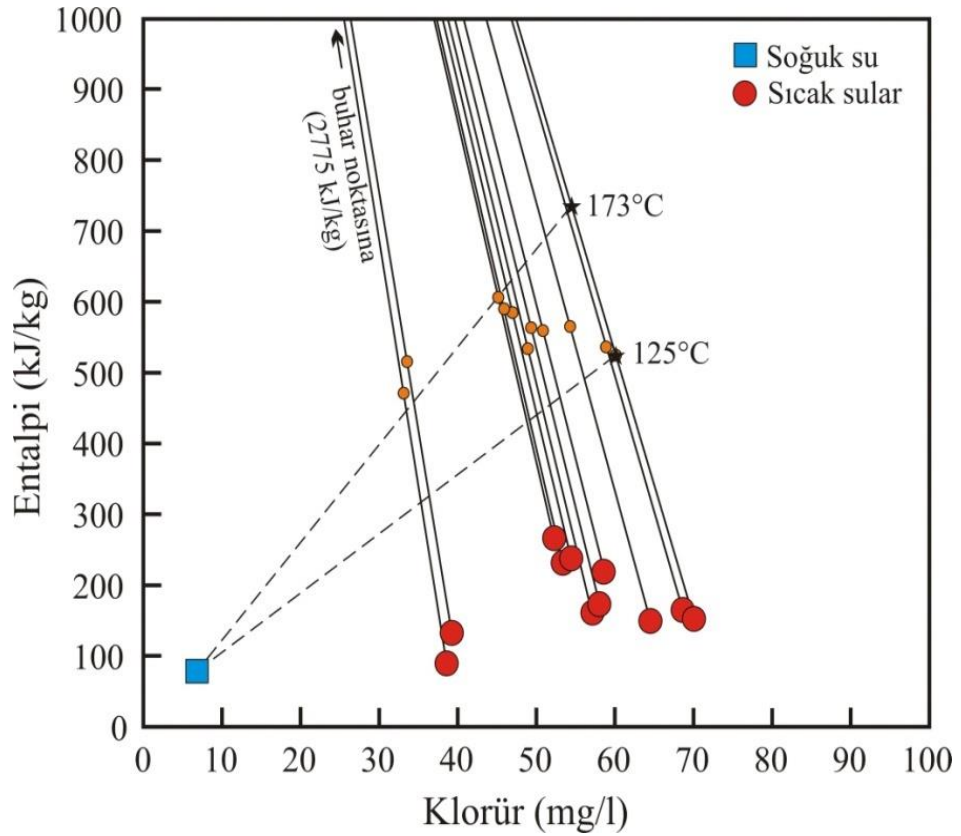
Entalpi–silis karışım modelinde inceleme alanı soğuk ve sıcak suları entalpi ve SiO<sub>2</sub> değerlerine göre diyagrama yerleştirilmiştir (Şekil 5.3). Soğuk sularla sıcak suları birleştiren doğru uzatıldığı zaman kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmediğinden bu sıcak suların karışımdan önce buhar kaybına uğradıkları kabul edilmektedir. Bu nedenle suyun yüzeyde buharlaştığı entalpi değerinden (419 kJ/kg) yatay eksende bir dikme çıkılmış ve dikmenin soğuk sularla sıcak suları birleştiren doğruları kestiği noktalardan yatay eksene bir paralel çizilmiştir. Bu paralelin maksimum buhar kaybı eğrisini kestiği noktadan yatay eksene dikme inilmiş ve inceleme alanı sıcak suları için 168-176°C aralığında rezervuar sıcaklığı elde edilmiştir.



Şekil 5.3: İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı.

### 5.3.2 Entalpi-Klorür Karışım Modeli

Entalpi-klorür diyagramında düşey eksen entalpi, yatay eksen ise klorür değerleri yer almaktadır. Ayrıca, İnceleme alanı suları diyagrama işaretlenmiş ve sıcak su noktaları buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 2775 kJ/kg noktası ile birleştirilmiştir (bu nokta diyagramda görünmemektedir). Bu doğru üzerine her bir sıcak su örneğinin kuvars buhar kaybı jeotermometresi ile hesaplanan hazne sıcaklıkları işaretlenmiş ve bu noktalar soğuk su noktası ile birleştirilerek karışım çizgisi elde edilmiştir. Bu çizgi uzatılarak en yüksek klorür değerine sahip olan Köprüaltı termal kaynak doğrusu ile kesiştirilmiştir. Bu doğru üzerinde elde edilen rezervuar sıcaklığı aralığı 125-149°C olmuştur (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: İnceleme alanı sularının entalpi-klorür diyagramı.

#### 5.4 Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi

Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O arasındaki oksijen izotop değişimini baz alan sülfat-su oksijen izotop jeotermometresi 100-350°C sıcaklık aralığındaki birçok su egemen jeotermal sistemde başarıyla uygulanmıştır (Mizutani ve Rafter 1969, Mizutani 1972, Cortecci 1974, Cortecci ve Dowgiallo 1975, McKenzie ve Truesdell 1977, Fouillac ve diğ. 1990).

İnceleme alanı termal sularının rezervuar sıcaklığı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır (T: Kelvin) (Lloyd 1968):

$$1000 \ln \alpha_{SO_4-H_2O} = 3.25 \left( \frac{10^6}{T^2} \right) - 5.6$$

Oksijen izotop jeotermometresi ile rezervuar sıcaklıkları E-2 sondaj suyu için 83°C, K-1 termal kaynağı için 98°C ve K-2 termal kaynağı için 100°C olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.2).

Jeotermometre sonuçlarından Emir jeotermal sahası için 90-140°C arasında bir rezervuar sıcaklığı elde edilebileceği öngörülmektedir.

## 6. SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ

### 6.1 Suların İçilebilme Özellikleri

İnsan hayatı için elzem olan su, ancak içme suyu standartlarına uygunsuzsa içilebilir. Çeşitli kurum ve örgütler (Türk Standartları Enstitüsü TSE 266 (2005); 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı resmi gazetede yayımlanan Sağlık Bakanlığı'nın "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik İTASHY (2005); US Environmental Protection Agency (EPA) ve World Health Organization (WHO) gibi birbiriyle genelde benzer olan içme suyu standartlarını belirlemişlerdir.

Bu bölümde inceleme alanı sularının içilebilirliği İTASHY (2005) ve TSE 266 (2005) standartlarına göre incelenmiştir. Bu iki standart genel olarak benzer kabul edilebilir. Bu standartlarda verilen limit değerler ve inceleme alanı sularının analiz edilen değerler kapsamında içilebilme özellikleri Tablo 6.1'de sunulmuştur. Buna göre inceleme alanı termal sularının tamamının elektriksel iletkenlik limitine uymadığı görülmektedir, Soğuk su kaynaklarında ise Soğucak kaynağının sodyum, Çakırca çeşmesinin de nitrat miktarının yüksek olduğunu görülmektedir. Bu nedenle TSE266 ve İTASHY standartlarına göre verilen sınır değerlere göre içilebilir özellikte olan tek su Köprüaltı soğuk su kaynağıdır.

**Tablo 6.1:** İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilirlik özellikleri (PAH: Polisiklikaromatik hidrokarbonlar; TOC: Toplam Organik Karbon; ADY: Anormal değişim yok; TKE: Tüketicilerce kabul edilebilir; -: Analizi yapılmayan parametre).

Kimyasal Parametreler	İTASHY (2005)	TSE 266 (2005)	İçmeye uygunluk
Akrilamid	0.1 µg/l	-	-
Antimon	5.0 µg/l	5.0 µg/l	Tümü
Arsenik	10 µg/l	10 µg/l	Tümü
Benzen	1.0 µg/L	1.0 µg/l	-
Benzo (a) piren	0,010 µg/l		-
Bor	1 mg/l	1 mg/l	Köprüaltı soğuk kaynak, Soğucak kaynağı, Çakırca çeşmesi
Bromat	10 µg/l	10 µg/l	-
Kadmiyum	5,0 µg/l	5,0 µg/l	Tümü
Krom	50 µg/l	50 µg/l	Tümü
Bakır	2 mg/l	2 mg/l	Tümü
Siyanür	50 µg/l	50 µg/l	-
1,2-dikloretan	3,0 µg/l		-
Epikloridin	0,10 µg/l		-
Florür	1,5 mg/l	1,5 mg/l	E-1 ve E-2 sondajları, K-3 ve Köprüaltı termal kaynakları hariç tümü
Kurşun	10 µg/l	10 µg/l	K-5 ve Köprüaltı termal kaynağı hariç tümü
Cıva	1,0 µg/l	1,0 µg/l	Tümü
Nikel	20 µg/l	20 µg/l	K-6 termal kaynağı hariç tümü
Nitrat	50 mg/l	50 mg/l	Çakırca çeşmesi hariç tümü
Nitrit	0,50 mg/l	0,50 mg/l	Tümü
Pestisitler	0,10 µg/l	0,10 µg/l	-
Toplam pestisitler	0,50 µg/l	0,50 µg/l	-
PAH	0,10 µg/l	0,10 µg/l	-
Selenyum	10 µg/l	10 µg/l	Tümü
Tetrakloretan ve trikloretan	10 µg/l		-
Trihalometanlar-toplam	100 µg/l		-
Vinil Klorür	0,50 µg/l		-
<b>Gösterge Parametreleri</b>			
Alüminyum	200 µg/l	200 µg/l	Tümü
Amonyum	0,50 mg/l	0,50 mg/l	Tümü
Klorür	250 mg/l	250 mg/l	Soğucak kaynağı hariç tümü
C. perfringens	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	-
Renk	TKE	20 mg/l (Pt-Co)	Tümü
İletkenlik (20 °C'de)	2500 µS/cm	2500 µS/cm	Sadece soğuk su kaynakları
PH	≥6,5 ve 9,5≥	≥6,5 ve 9,5≥	Tümü
Demir	200 µg/l	200 µg/l	E-2 sondajı hariç tümü
Mangan	50 µg/l	50 µg/l	E-1 ve E-2 sondajları, K-5 ve K-6 termal kaynakları ve patlak sondaj hariç tümü
Koku	TKE	TKE	-
Oksitlenebilirlik	5,0 mg/L O <sub>2</sub>		-
Sülfat	250 mg/l	250 mg/l	Tümü
Sodyum	200 mg/l	200 mg/l	Sadece soğuk su kaynakları
Tat	TKE	TKE	-
Koliform bakteri	0 Sayı/100 ml	0 Sayı/100 ml	-
TOC	ADY	ADY	-
Bulanıklık	TKE	5 NTU	-
<b>Radyoaktivite</b>			
Trityum	100 Bq/l	100 Bq/l	-
Toplam gösterge dozu	0,10 mSv/yıl	0,10 mSv/yıl	-
Alfa yayınlayıcılar	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l	-
Beta yayınlayıcılar	1 Bq/l	1 Bq/l	-

## 6.2 Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri

Günümüzde sulama suyu sıkıntısı çeken birçok ülke, yüzey ve yeraltı sularından en verimli şekilde yararlanmaya çalışmaktadır. Ancak, tarımda yüksek verim almak için su faktörü tek başına yeterli değildir. Bunun yanında toprağın akaçlanması ve sulama suyunun kimyasal özellikleri de önem taşımaktadır.

Sulamada kullanılan sulara iyon konsantrasyonunun yüksekliği verimi düşüren bir faktördür. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalandırmasını azaltır; böylece bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Sulara bor ve klorür gibi iyonların varlığı da bitki gelişmesi üzerine olumsuz etki yapar.

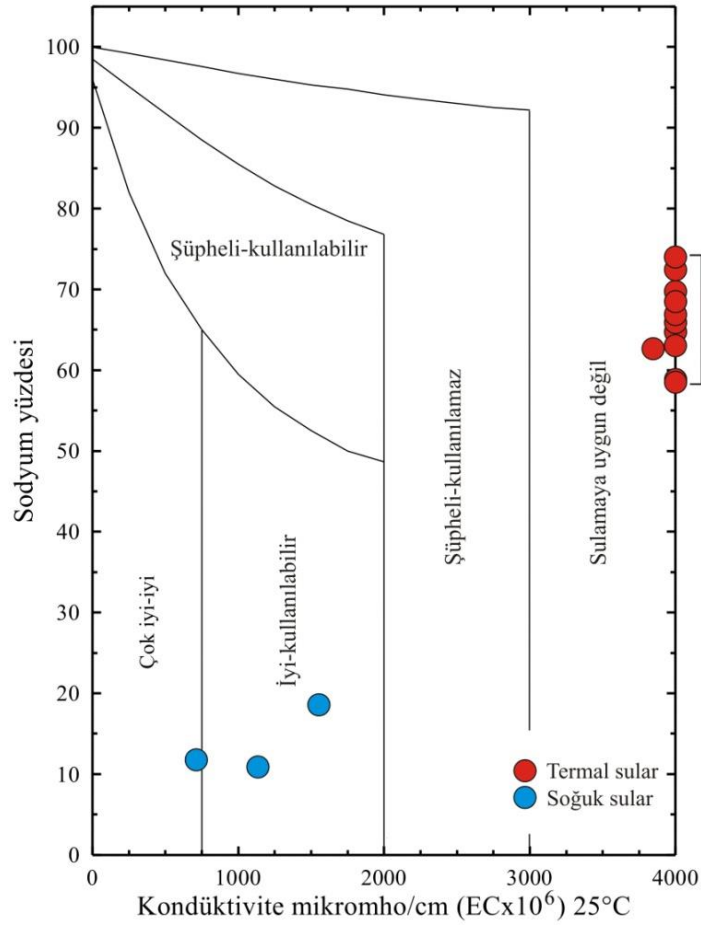
Bu bölümde, sulama sularını sınıflamak için önerilen değişik diyagram ve sınır değerler kullanılarak inceleme alanı sularının sulama suyu olarak kullanılabilirlikleri ve sınıfları belirlenmiştir.

### 6.2.1 Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramında sular sodyum yüzdeleri ve E.I. değerlerine göre sınıflanır. % Na değeri eşitlik (6.1)'den hesaplanır (değerler mek/l alınır):

$$\%Na = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} \times 100 \quad (6.1)$$

Bu sınıflamaya göre Çakırca çeşmesi sulama suyu olarak “çok iyi-iyi”, Köprüaltı ve Soğucak soğuk su kaynakları “iyi-kullanılabilir”, diğer sular ise “sulamaya uygun değil” sınıfında yer alırlar (Şekil 6.1, Tablo 6.1).



Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı.

## 6.2.2 Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulama sularındaki yüksek sodyum derişimi toprağın geçirgenliğini azaltır. Sodyum, toprağın üst seviyelerinde soğurulur. Bu da toprak yüzeyinde sert bir kabuğun (kaymak) oluşmasına neden olur. Sodyumlu sularla sulanan her tür bitki, ya az gelişir ya da yetişmez. SAR aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (değerler mek/l'dir):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (6.2)$$

Suların sadece SAR değerleri dikkate alındığında soğuk sular suların tümü “çok iyi özellikte sulama suları” (SAR %10’dan az), E-1 ve E-2 jeotermal sondaj suları, K-1, K-5, K-6, K-7 ve Köprüaltı termal kaynakları ile patlak sondaj suları “iyi özellikte sulama suları”, diğer termal sular ise “orta özellikte sulama suları” sınıfına girerler (Tablo 6.2).

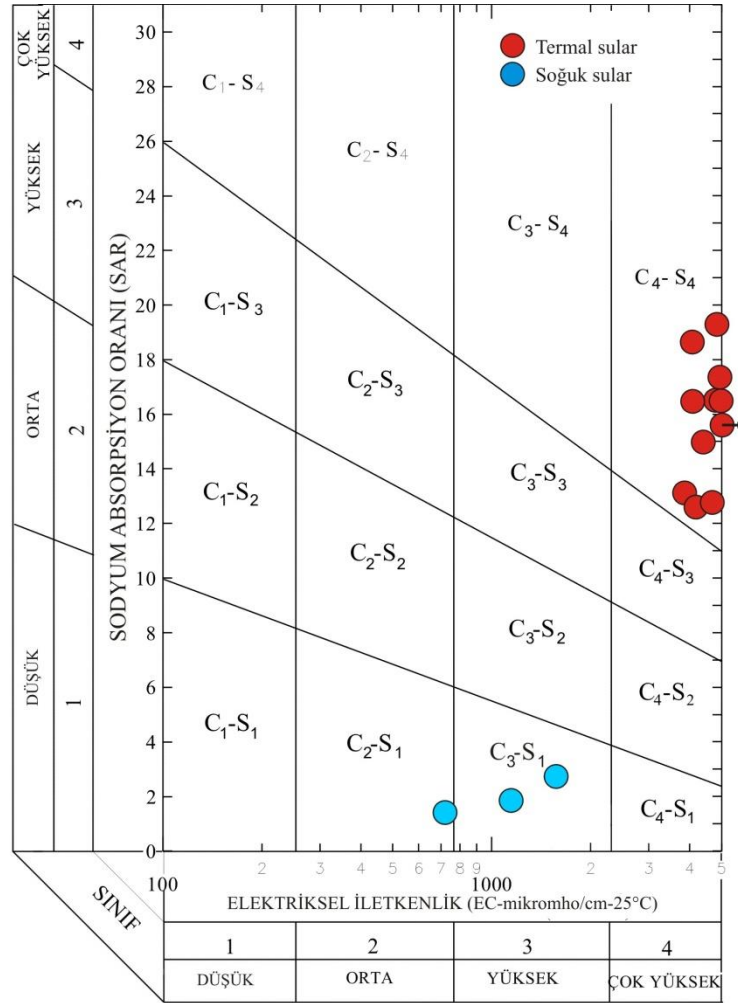


### 6.2.3 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında sular E.I. ve SAR değerlerine göre 16 sınıfa ayrılmıştır. Bu diyagramda Çakırca çeşmesi C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, Köprüaltı ve Soğucak soğuk su kaynakları C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> ve patlak sondaj hariç termal suların tümü C<sub>4</sub>-S<sub>4</sub> sınıfında yer alırlar. Patlak sondaj yüksek E.I. değeri (5210 µS/cm) nedeniyle diyagramın dışında kalır.(Şekil 6.2, Tablo 6.2). Çakırca çeşmesi (C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>) orta tuzlu ve az sodyumlu su sınıfındadır. Bu sularla orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir. Köprüaltı ve Soğucak soğuk su kaynakları (C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>) tuzlu ve az sodyumlu sulardır. Sodyumun düşük olması nedeniyle hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir olmasına karşın tuzlu olmalarından dolayı akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamazlar. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekir. Bu özellikteki sularla tuza dayanıklı bitkiler sulanabilir. Termal suların tümü (C<sub>4</sub>-S<sub>4</sub>) çok tuzlu ve çok yüksek sodyumlu sular sınıfındadır. Bu suların sulamada kullanılması uygun değildir.

**Tablo 6.2:** İnceleme alanı sularının sulama suyu sınıfları.

No	Adı	E.I.	Wilcox		ABD Tuzluluk Laboratuvarı	
			%Na	Sınıfı	SAR	Sınıfı
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	4920	74,8	Sulamaya uygun değil	17,3	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	4770	73,5	Sulamaya uygun değil	16,5	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD3	K-1 termal kaynağı	4060	75,8	Sulamaya uygun değil	16,5	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD4	K-2 termal kaynağı	4050	79,3	Sulamaya uygun değil	18,6	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD5	K-3 termal kaynağı	4840	77,9	Sulamaya uygun değil	19,2	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD6	K-4 termal kaynağı	3840	70,1	Sulamaya uygun değil	13,1	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD7	K-5 termal kaynağı	4370	71,8	Sulamaya uygun değil	15,0	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD8	K-6 termal kaynağı	4150	66,9	Sulamaya uygun değil	12,6	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD9	K-7 termal kaynağı	4660	66,8	Sulamaya uygun değil	12,8	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD10	Kula maden suyu	3510	53,7	Sulamaya uygun değil	7,2	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD11	Patlak sondaj	5210	70,4	Sulamaya uygun değil	15,6	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	4960	72,6	Sulamaya uygun değil	16,5	C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	1130	28,7	İyi-kullanılabilir	1,9	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	1550	34,9	İyi-kullanılabilir	2,8	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
ÖD15	Çakırca çeşmesi	710	29,4	Çok iyi-iyi	1,4	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>



Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.

#### 6.2.4 Klorür Tehlikesi

Sulama sularında fazla miktarda bulunan klorür (özellikle 5 mek/l'den fazla) bitkiler tarafından soğurularak yaprak yanmasına neden olur. İnceleme alanı sularında K-4 ve Köprüaltı termal kaynakları, patlak sondaj ve Köprüaltı soğuk su kaynağında Cl değerleri 5 mek/l'den fazladır. K-5 ve K-6 termal kaynaklarında 3,3 mek/l civarında olan klorür değerleri diğer termal sularda 5 mek/l civarındadır. Bu nedenle genel olarak Çakırca çeşmesi ve Soğucak kaynağı dışındaki suların sulamada kullanılması bitkilerde yaprak yanmasına neden olabilir. Bu sularla ancak portakal, limon ve mandalina ve sert çekirdekli meyveler sulanabilir.

### 6.2.5 Bor Tehlikesi

Sulama sularında fazla miktardaki bor bitkiler için zehirleyici etki yapar. Bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları farklıdır. Başta narenciye olmak üzere meyveler bora karşı çok duyarlıdır. Bor miktarlarına göre sulama sularının sınıflaması Tablo 6.3’de verilmiştir.

İnceleme alanı termal sularının bor değerleri 4,88 ile 9,57 mg/l arasındadır. Bu nedenle bora dayanıklı bitkiler için bile (maksimum bor değeri 3,75 mg/l) sulamada kullanılamazlar (Tablo 6.3). Soğuk suların bor değeri 0,097 mg/l’nin altındadır ve bor tehlikesi olmadan her türlü sulamada kullanılabilirler.

**Tablo 6.3:** Bor değerlerine göre sulama sularının sınıflaması.

Suyun Sınıfı	Suda bulunan bor (mg/l)		
	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<0.33	<0.67	<1.00
İyi	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
Kullanılabilir	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
Şüpheli	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
Kullanılmaz	>1.25	>2.50	>3.75

### 6.2.6 Sulama Suyu Sınıflamalarının Sentezi

Sulama sularının E.I., %Na, Cl ve SO<sub>4</sub> değerlerine göre sulamaya uygunluğu için aşağıdaki sınıflama verilmiştir (Şahinci 1991):

<u>Suyun sınıfı</u>	<u>%Na</u>	<u>rCl</u>	<u>rSO<sub>4</sub></u>	<u>E.I.</u>
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
İyi	20-40	4-7	4-7	250-750
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000
Kullanılmaz	>80	>20	>20	>3000

Bu sınıflamaya göre Çakırca çeşmesi “İyi”, Köprüaltı ve Soğucak soğuk su kaynakları “Kullanılabilir”, termal sular ise “Kullanılmaz” sınıfında yer alırlar (Tablo 6.4).

**Tablo 6.4:** Sulama suyu sınıflarının sentezi.

No	Adı	E.I.	%Na	rCl	rSO <sub>4</sub>	Sulama suyu sınıfı
ÖD1	E-1 sondaj kuyusu	4920	74,8	4,42	2,30	Kullanılamaz
ÖD2	E-2 sondaj kuyusu	4770	73,5	4,60	2,32	Kullanılamaz
ÖD3	K-1 termal kaynağı	4060	75,8	4,95	2,15	Kullanılamaz
ÖD4	K-2 termal kaynağı	4050	79,3	4,90	2,21	Kullanılamaz
ÖD5	K-3 termal kaynağı	4840	77,9	4,51	2,44	Kullanılamaz
ÖD6	K-4 termal kaynağı	3840	70,1	5,45	2,14	Kullanılamaz
ÖD7	K-5 termal kaynağı	4370	71,8	3,32	3,22	Kullanılamaz
ÖD8	K-6 termal kaynağı	4150	66,9	3,26	3,21	Kullanılamaz
ÖD9	K-7 termal kaynağı	4660	66,8	4,83	2,13	Kullanılamaz
ÖD10	Kula maden suyu	3510	53,7	4,53	0,62	Kullanılamaz
ÖD11	Patlak sondaj	5210	70,4	5,80	1,69	Kullanılamaz
ÖD12	Köprüaltı termal kaynak	4960	72,6	5,92	2,19	Kullanılamaz
ÖD13	Köprüaltı soğuk kaynak	1130	28,7	5,73	0,94	Kullanılabilir
ÖD14	Soğucak soğuk kaynak	1550	34,9	7,23	1,09	Kullanılabilir
ÖD15	Çakırca çeşmesi	710	29,4	0,58	0,23	İyi

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanının temelini serpantin, çört ve çamurtaşlarıyla kireçtaşı bloklarından meydana gelen Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjı oluşturur. Melanj üzerine uyumsuz olarak çakıltaşı ve kumtaşıdan oluşan Kurtköyü Formasyonu ile çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı- kıltaşı-killi ve kumlu kireçtaşı-marn-tüfit ardaanmasından oluşan Yeniköy Formasyonu gelir. Her iki formasyon da Alt Miyosen yaşlıdır. Bu formasyonlar üzerinde çakıltaşı-kumtaşı-kıltaşı-marn ve kireçtaşı ardaanmasından oluşan Orta Miyosen yaşlı Ahmetler Formasyonu (Balçıkdere üyesi) bulunur. Üst Miyosen yaşlı Asartepe Formasyonu çakıltaşı-kumtaşı ardaanması ile temsil edilir. Kula volkanitleri, traverten ve alüvyondan oluşan Kuvaterner yaşlı birimler altlayan birimleri uyumsuz olarak örter.

Emir jeotermal sahasında rezervuar kayaçlar Vezirler Melanjına ait kırıklı, çatlaklı ve dolayısıyla ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlikleri yüksek olan kristalize kireçtaşı, mermer ve ofiyolit birimleridir. Neojen yaşlı birimlerin geçirimsiz litolojileri örtü kayayı oluşturur. Termal kaynaklar genellikle KD-GB doğrultulu faylardan yüzeylenmektedir.

Suların sıcaklıkları 21,1 ile 63,3°C, elektriksel iletkenlikleri 3840 ile 5210 µS/cm ve pH değerleri 6,56 ile 7,69 arasında değişir.

Termal sular hidrokimyasal olarak Na-HCO<sub>3</sub> tipinde olu meteorik kökenlidir ve derin dolaşım yaparlar.

K-5 ve K-6 termal kaynak sularının, diğerlerinden farklı olarak, Mn, Zn, Ni, Co, Cu ve Pb miktarlarında bağıl zenginleşme termal suların bu elementlerce zengin hidrotermal zonlarla etkileşime girdiğini göstermektedir.

Termal sulardaki karbonun kaynağı karbonat kayaların yüksek sıcaklık ve basınç altındaki metamorfizması ve denizel kireçtaşlarıdır.

Termal suların tümü kalsit, aragonit, dolomit, barit, kalsedon ve kuvars çökeltme, jips ve sölestin çözüldürme eğilimindedir.

İnceleme alanı termal sularına uygulanan çeşitli jeotermometre teknikleri 90-140°C aralığında rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Bu sıcaklıklar jeotermal sondaj kuyularından (E-1 ve E-2) elde edilen akışkan sıcaklığından oldukça fazladır. Bu da Vezirler melanjı altında yer alan Menderes masifi metamorfizmi içinde sıcaklığı daha yüksek olan bir rezervuar olabileceğini gösterir. Bu nedenle Emir jeotermal sahasında ayrıntılı çalışmalar sonucu belirlenecek noktalarda derin sondajlar yapılmalıdır. Böylece daha yüksek sıcaklıklardaki jeotermal akışkan elde edilebilir ve jeotermal enerjiden yararlanma alanları genişletilebilir (elektrik üretimi, konut ve sera ısıtması gibi).

## 8. KAYNAKLAR

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., “The chemistry of geothermal waters in Iceland, III. Chemical geothermometry in geothermal investigations”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(3), 567–577, (1983).

Arpat, E. ve Bingöl, E., “Ege Bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler”, *MTA Dergisi*, 73, 1-9, (1969).

Bilim, F., Akay, T., Aydemir, A. and Koşaroğlu, S., “Curie point depth, heat-flow and radiogenic heat production deduced from the spectral analysis of the aeromagnetic data for geothermal investigation on the Menderes Massif and the Aegean Region, western Turkey”, *Geothermics*, 60, 44–57, (2016).

Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F. and Mazzuoli, R., “Geochronology and Petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island)”, *Bulletin Volcanologique*, 36, 473-496, (1972).

Bozkurt, E., “Granitoid rocks of the southern Menderes massif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone”, *International Journal of Earth Sciences*, 93,52–71, (2004).

Bunbury, J. M. R., “The Kula Volcanic Field, western Turkey: the development of a Holocene alkali basalt province and the adjacent normal-faulting graben”, *Geological Magazine*, 133 (3), 275-283, (1996).

Bunbury, J.M., Hall, L., Anderson, G.J., and Stannard, A., “The determination of fault movement history from the interaction of local drainage with volcanic episodes”, *Geological Magazine*, 138, 185-192, (2001).

Calmbach, L., “AquaChem computer code-version 3.7.42”, *Waterloo Hydrogeologic*, Waterloo, Ontario, Canada, (1997).

Clark, I.D. and Fritz, P., “Environmental Isotopes in Hydrogeology”, *Lewis Publishers*, New York, 328, (1997).

Cortecchi, G., “Oxygen isotopic ratios of sulfate ions-water pairs as a possible geothermometer”, *Geothermics*, 3, 60–64, (1974).

Cortecci, G, and Dowgiallo, J., “Oxygen and sulfur isotopic composition of the sulfate ions from mineral and thermal groundwaters of Poland”, *J Hydrol*, 24, 271–282, (1975).

Craig, H., “Isotopic variations in meteoric waters”, *Science*, 133, 1702-B, (1961).

Çifter, C. ve Sayın, M., “İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması”, *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Semp.*, 1-15, (2002).

Dilaver, A.T., Aydın, B., Özyurt, N.N. ve Bayarı, C.S., “Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri (2012-2016)”, DSİ-TAKK ve MGM-AD, Ankara, 44, (2018).

Emre T., “Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektoniği”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185, (1996<sup>a</sup>).

Emre T., “Gediz Grabeni'nin tektonik evrimi”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39(2), 1-18, (1996<sup>b</sup>).

Emre, T., and Sözbilir, H., “Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and ccommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens (Western Turkey)”, *International Earth Sciences Colloquium on The Aegean Region Proceedings*, 1, 73-94, (1997).

Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, A., “Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi”, *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 21, 97-106, (1978).

Ercan, T., “Batı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 9, 23-46, (1979).

Ercan, T., Türkecan, A., Dinçel, A. ve Günay, E., “Kula – Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 17, 3-28, (1983).

Ercan, T., “Interpretation of geochemical, radiometric and isotopic data on Kula volcanics (Manisa, Western Anatolia)”, *Türkiye Jeol. Bült*, 36(1), 113-130, (1993).

Ercan,T., Satır, M., Sevin, D. ve Türkecan, A., “Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterner Yaşlı Volkanik Kayaçlarda Yeni Yapılan Radyometrik Yaş Ölçümlerinin Yorumu”, *MTA Dergisi*, 119, 103-112, (1996).



Ersoy, Y. and Helvacı, C., “Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi basin, western Anatolia, Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 117-139, (2007).

Ersoy, E. Y., Helvacı, C. and Palmer, M. R., “Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE–SW-trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associations of supradetachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 41, 159-183, (2011).

Ersoy, E. Y., Helvacı, C., and Palmer, M. R., “Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW-trending basins in western Anatolia, Turkey”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163, 379–401, (2012).

Eyidoğan, H. and Jackson, J. A., “A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust”, *Geophy. J. R. Astr. Soc.*, 81, 569-607, (1985).

Fouillac, C. and Michard, G., “Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs”, *Geothermics*, 10, 55–70, (1981).

Fouillac, C., Fouillac A. and Criaud, A., “Sulphur and oxygen isotopes of dissolved sulphur species information waters from the Dogger aquifer, Paris Basin, France”, *Appl. Geochem.*, 5, 415-427, (1990).

Fournier, R.O., Truesdell, A.H., “An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275, (1973).

Fournier, R.O., “Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems”, *In:Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, Turkey, 199-210, (1977).

Fournier, R.O., and Potter, R.W., “A magnesium correction for the Na-K-Ca geothermometer”, *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 43, 1543–1550, (II. 1979.).

Fritz, P. and Fontes, J.C., “Introduction Handbook of Enviromental Isotope Geochemistry”, *Elsevier*, New York, 1, 1-19, (1980).

“Gediz Havzası”, (30.05.2020), [http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/AnaSayfa/gediz\\_havzasi\\_hakkinda.aspx?sflang=tr](http://gediz.ormansu.gov.tr/gediz/AnaSayfa/gediz_havzasi_hakkinda.aspx?sflang=tr)

Giggenbach, W.F., “Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749–2765, (1988).

Giggenbach, W.F., “Chemical techniques in geothermal exploration”, *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, UNITAR, United States of America, 119-144, (1991).

Göksu, Y., “The TL age determination of fossil human footprints”, *Archaeo-Physica*, 10, 445-462, (1978).

Güleç, N., “Batı Türkiye’deki helyum-3 dağılımı”, *MTA Derg.*, 108, 98-105, (1988).

Hetzl, R., Ring, U., Akal, C. and Troesch, M., “Miocene NNE Directed Extensional Unroofing An The Menderes Massif, Southwestern Turkey”, *Journal of The Geological Society*, London 152, 639-654. (1995).

IAH, “Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000.”, *International Association of Hydrogeologists*, United Kingdom, (1979).

Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y. and Tonarini, S., “Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution”, *Marine Geology*, 221, 397–421, (2005).

İlkışık, O.M., “Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs”, *Tectonophysics*, 244, 175-184, (1995).

İTASHY, “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 17.02.2005”, *25730 Sayılı Resmi Gazete*, Ankara, (2005).

Jackson, J.A. and McKenzie, D., “Rates of active deformation in the Aegean Sea and surrounding areas”, *Basin Res.*, 1, 121-128, (1988).

Kahraman, S., Pekatan, R., “Emirhamamı-Kula (Manisa) Jeotermal Alanı E-1 ve E-2 Sondajlarının Kuyu Bitirme Raporu”, *MTA Rapor No:11066*, Ankara, (2008).

Kharaka, Y. K., Mariner, R. H., 1989, “Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins.”( Eds: N. D. Näser and T. H. McCulloh.), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, 99-117.

Koca, B., Sözbilir, H., Baba, A., Kiray, H.N. ve Karaş, M., “Kula Volkanik Alanının Jeotermal Potansiyeline Jeolojik, Jeofizik ve Hidrojeokimyasal Çalışmalar Açısından Bir Yaklaşım”, Uluslararası Katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 169-170. (2019).

Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. and Bozkurt, E., “Evidence From The Gediz Graben For Episodic Two-Stage Extension An Western Turkey”, *Journal of The Geological Society*, London 156, 605-616, (1999).

“Kula Volkanik Jeopark”, (30.05.2020), <http://www.kula.bel.tr/kula-volkanik-jeopark.aspx>

“Kula Volkanik Jeoparkı”, (30.05.2020), [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kula\\_Volkanik\\_Jeopark](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kula_Volkanik_Jeopark)

Lloyd, R.M., “Oxygen isotope behavior in the sulphate water system”, *J Geophys Res*, 73, 6099–6110, (1968).

Lucas, L.L. and Unterweger, M.P. “Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium”, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105(4), 541–549, (2000).

Mckenzie, W.F. and Truesdell, A.H., “Geothermal reservoir temperatures estimated from the oxygen isotope composition of dissolved sulfate and water from hot springs and shallow drill holes”, *Geothermics*, 5, 51-61, (1977).

Mizutani, Y. and Rafter, T.A., “Oxygen isotopic composition of sulphates. Part 3, Oxygen isotopic fractionation in the bisulphate ion-water system”, *N. Z. J. Sci.*, 12, 54-59, (1969).

Mizutani, Y., “Isotopic composition and underground temperature of the Otake geothermal water, Kyushu, Japan”, *Geochem. J.*, 6, 67-73. (1972).

MTA, “Turkish geothermal resource inventory”, *General Directorate of Mineral Research and Exploration of Turkey*, Ankara, (2005).

Nieva, D. and Nieva, R., “Developments in geothermal energy in Mexico, part 12: A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources”, *Heat Recovery Systems and CHP*, 7 (3), 243-258, (1987).

Nuhoğlu, İ., Aydın, A., Çınar, M. ve Demirbilek, M., “Rahmanlar Köyü (Selendi-Manisa) Cu-Pb-Zn Cevherleşmesi ve Flotasyon ile Zenginleştirilmesi”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17, 79-90, (2008).

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., “User's guide to PHREEQC (Version 2)—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations”, U.S. *Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 99–4259, 312, (1999).

Polat, S., “Jeoarkeosit Olarak Acısu Antik Taş Ocağı (Kula-Manisa)”, *Osmanlı Hakimiyet Sahası Çalışmaları*, (2019).

Purvis, M., and Robertson, A., “Miocene sedimentary evolution of the NE-SW trending Selendi and Gördes basins, western Turkey: implications for extensional processes”, *Sedimentary Geology*, 174, 31-62, (2005).

Reed, M., Spycher, N., “Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution”, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1479-1492, (1984).

Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G. and Scott, B. C., “The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, 127-147, (1997).

Seyitoğlu, G., “Late Cenozoic tectono-sedimentary development of Selendi and Uşak-Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east west and north- trending basins in Western Turkey”, *Geological Magazine*, 134, 163-175, (1997).

Seyitoğlu, G. and Benda, L., “Neogene palynological and isotopic age data from Selendi and Uşak-Güre basins, Western Turkey: a contribution to the upper limit of Eskihisar sporomorph association”, *Newsletters on Stratigraphy*, 36, 105-115, (1998).

Seyitoğlu, G., Tekeli, O., Çemen, İ., Şen, Ş. and Işık, V., “The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, Western Turkey”, *Geological Magazine*, 139, 15–26, (2002).

Seyitoğlu, G., Alçiçek, M.C., Işık, V., Alçiçek, H., Mayda, S., Varol, B., Yılmaz, İ. ve Esat, K., “The stratigraphical position of Kemiklitepe fossil locality (Eşme, Uşak) revised: Implications for the Late Cenozoic sedimentary basin development and extensional tectonics in western Turkey”, *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 251(1), 1–15, (2009).

Şahinci, A., “Doğal Suların Jeokimyası”, Reform Matbaası, İzmir, 548 s., (1991).

Şen, Ş., De Bonis, L., Dalfes, N., Geraads, D. and Koufos, G., “Les gisements de mammifères du Miocène supérieur de Kemiklitepe, Turquie”, 1. Stratigraphie et magnétostratigraphie. – In: Şen, Ş. (Ed.): Les gisements de mammifères du Miocène supérieur de Kemiklitepe, Turquie.), *Bulletin du Muséum National d’Histoire Naturelle Paris*, 16 (1): 5-17, (1994).

Şen, E., “Kula Bölgesi (Batı Anadolu, Türkiye) volkanizmasının volkanolojik-petrolojik gelişiminin incelenmesi”, (Doktora Tezi), *Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, Türkiye, 269 sayfa, (2002).

Şen, E., Aydar, E., Bayhan, H. ve Gourgaud, A., “Alkali Bazalt ve Piroklastik Çökellerin Volkanolojik Özellikleri, Kula Volkanları, Batı Anadolu”, *Yerbilimleri*, 35 (3), 219-252, (2014).

Şengör A.M.C. and Yılmaz, Y., “Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach”, *Tectonophysics*, 75, 181-241, (1981).

Thorntwaite, C., “An approach toward a rational classification of climate”, *Geog. Rev.*, 38, 55-94, (1948).

Tokçaer, M., “Geochemistry of Kula Geothermal Area”, (MSc Thesis), *Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University*, [unpublished], (2000).

Tokçaer, M., Agostini, S., and Savaşçın, M.Y., “Geotectonic setting and origin of the youngest Kula volcanics (Western Anatolia), with a new emplacement model”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 145-166, (2005).

Tonani, F., “Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration”, *Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, Strasbourg, 428–443, (1980).

TS-266, “Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 10, (2005).

Vieira, F. and Valiya, H., “Global Heat Flow: New Estimates Using Digital Maps and GIS Techniques”, *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics*, 1(1), 6-13, (2018).

Westaway, R., Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., “Rowbotham, G., and Maddy, D., Pliocene and Quaternary regional uplift in

Western Turkey: the Gediz river terrace staircase and the volcanism at Kula”, *Tectonophysics*, 391, 121-169, (2004).

Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Beck, A., Bridgland, D., Demir, T., Scaillet, S., and Rowbotham, G., “Late Cenozoic uplift of western Turkey: Improved dating of the Kula Quaternary volcanic field and numerical modelling of the Gediz river terrace staircase”, *Global and Planetary Change*, 51, 131-171, (2006).

Yılmaz Y., Genç S.C., Gürer O.F., Bozcu M., Yılmaz K., Karacık Z., Altunkaynak S., ve Elmas, A., When did the western Anatolian grabens begin to develop?”,(Eds: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A.), *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society Special Publication*, Geological Society, London, 173, 353–384, (2000).

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgün Demirel

Doğum Yeri ve Tarihi : Akçaabat, 17.03.1988

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : odemirel11@posta.pau.edu.tr

İletişim Adresi : İciliþınar Mh. 1225/8 Sk. Ulus Apt. No:20 D:5  
Pamukkale-DENİZLİ