

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

**YUKARI ÇÜRÜKSU HAVZASI'NDAKİ (DENİZLİ) DÜŞÜK**  
**SICAKLIKLI TERMAL SULARIN HİDROJEOKİMYASAL**  
**İNCELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MEHMET ALİ AKMAN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

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



**YUKARI ÇÜRÜKSU HAVZASI'NDAKİ (DENİZLİ) DÜŞÜK  
SICAKLIKLI TERMAL SULARIN HİDROJEOKİMYASAL  
İNCELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MEHMET ALİ AKMAN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

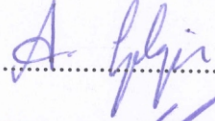
## KABUL VE ONAY SAYFASI

MEHMET ALİ AKMAN tarafından hazırlanan “Yukarı Çürüksu Havzası’ndaki (Denizli) Düşük Sıcaklıklı Termal Suların Hidrojeokimyasal İncelemesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 07.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

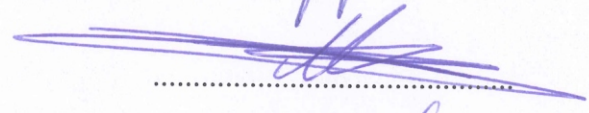
Jüri Üyeleri

İmza

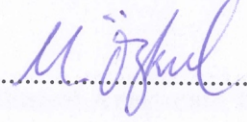
Danışman  
Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ



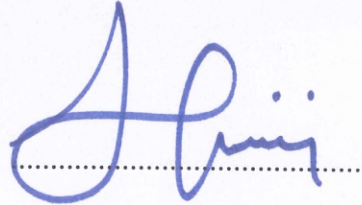
Üye  
Prof. Dr. Halim MUTLU



Üye  
Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
04/09/2019 tarih ve 35/08.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından 2015 FBE 049 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.**

  
**MEHMET ALİ AKMAN**

## ÖZET

### YUKARI ÇÜRÜKSU HAVZASI'NDAKİ (DENİZLİ) DÜŞÜK SICAKLIKLI TERMAL SULARIN HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET ALİ AKMAN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Yukarı Çürüksu Havzası Denizli il merkezinin yaklaşık 10 km doğusunda, Çürüksu grabeni içinde yer alır. Çalışma alanının temelini yaşı olasılıkla Üst Paleozoyik olan Honaz şeyli oluşturur. Temel kayalar üzerine tektonik dokanakla Menderes Masifi'nin Alt Tersiyer-Mesozoyik yaşlı rekristalize kireçtaşları gelir. Masif üzerinde Likya naplarına ait Alt Triyas-Kretase yaşlı jips içeren dolomit, kireçtaşı ve ofiyolit birimleri yer alır. Likya napları Mesozoyik-Alt Tersiyer yaşlı şeyl ve kireçtaşları tarafından üzerlenir. Neojen çökelleri altlayan birimleri uyumsuzlukla örter. Kuvaterner, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve termal sulardan çökelmiş travertenler ile temsil edilir. İnceleme alanındaki D-B ve KB-GD doğrultulu faylar sıcak su çıkışlarını kontrol eder.

İnceleme alanında çok sayıda karstik kaynak ve sondaj vardır. Bu sondaj ve kaynakların 29 adedi örneklenerek kimyasal ve izotopik analizi yapılmıştır. Örneklenen suların sıcaklıkları 17,1 ile 24,6 derece santigrat, elektriksel iletkenlikleri 750 ile 2080 mikromho/cm ve pH değerleri 6.62-7.72 arasında değişmektedir. Sıcaklığı 20 derece santigrattan fazla olan sular genellikle kalsiyum-magnezyum-sülfat-bikarbonat tipindedir. Delta oksijen-18 değerleri binde -52,29 ile -58,06 ve döteryum değerleri binde -7,69 ile -9,27 arasında olup meteorik kökenlidirler. Düşük trityum değerleri termal suların yeraltındaki sirkülasyon sürelerinin 50 yıldan fazla olduğuna işaret etmektedir. Termal suların delta 34S ve delta 13C (DIC) değerleri, sulardaki kükürdün kaynağının olasılıkla Mesozoyik yaşlı dolomitler içindeki jipsler, karbonun kaynağının ise metamorfik karbondioksit ve/veya denizel kireçtaşı olduğunu göstermektedir.

PhreeqC bilgisayar programı ile yapılan hesaplamalarda, örnekleme sıcaklığı ve pH'ında, Yukarı Çürüksu Havzası termal sularının kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerince doymun oldukları belirlenmiştir. İnceleme alanı sıcak sularına uygulanan oksijen izotop ile Silisyumdioksit ve lityum jeotermometre sonuçları değerlendirildiğinde 60-80 derece santigrat arasında bir rezervuar sıcaklığı öngörülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Çürüksu, Denizli, termal su, hidrokimya, izotop

## ABSTRACT

### HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TERMAL WATERS OF YUKARI ÇÜRÜKSU BASIN (DENİZLİ)

MSC THESIS

MEHMET ALİ AKMAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

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

DENİZLİ, AUGUST 2019

Yukarı Çürüksu Basin is located in Çürüksu graben, approximately 10 km east of Denizli city center. In the study area, Upper Palaeozoic aged Honaz shale forms the basement. The Lower Tertiary-Mesozoic aged recrystallized limestones of the Mendere Massif tectonically overlies the basement rocks. Lower Triassic-Cretaceous gypsum-bearing dolomite, limestone and ophiolite units of Lycian nappes take place on the Massif. Lycian nappes are overlain by Mesozoic-Lower Tertiary aged shales and limestones. All these rocks are unconformably overlain by Neogene sediments. Quaternary is represented by, alluvium, alluvial fan, slope debris and travertines formed by thermal springs. The thermal water discharges are controlled by E-W and NW-SE trending faults.

There are a large number of karstic springs and wells in the study area. A total of 29 samples taken from these springs and wells were analyzed chemically and isotopically. The temperatures of sampled waters are 17.1 to 24.6 celsius degree, electrical conductivities are 750 to 2080 mikromho/cm and pH values are 6.62 to 7.72. Waters with a temperature of more than 20 celsius degree are usually of the calcium-magnesium-sulfate-bicarbonate type. The delta O-18 values are between thousandths -52,29 and -58,06 and the deuterium values are between thousandths -7,69 and -9,27, indicates meteoric origin. Low tritium values show that residence time of thermal waters are over 50 years. The delta 34S and delta 13C (DIC) ratios of the thermal waters indicate that the sulfate source is probably gypsum in the Mesozoic dolomites and the carbon source is metamorphic carbon dioxide and/or marine limestone.

In the calculations made by the PhreeqC computer program at sampling temperature and pH, it was determined that the thermal waters are saturated with respect to calcite, aragonite, dolomite and quartz minerals. Oxygen isotope with silisum dioxide and lithium geothermometers applied to the thermal waters gave reservoir temperatures between 60 and 80 celsius degree.

**KEYWORDS:** Çürüksu, Denizli, thermal water, 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 .....	2
1.2 Çalışmanın Amacı .....	3
1.3 Önceki Çalışmalar .....	3
1.4 Materyal ve Metod .....	7
<b>2. JEOLJİ.....</b>	<b>9</b>
2.1 Stratigrafi.....	9
2.1.1 Temel Kayaçları.....	11
2.1.1.1 Honaz şeyli.....	11
2.1.1.2 Göbecik Tepe Birimi.....	11
2.1.1.3 Menderes Masifi.....	12
2.1.1.4 Likya Napları .....	13
2.1.2 Örtü Birimleri .....	14
2.1.2.1 Eosen-Pliyosen Yaşlı Birimler.....	14
2.1.2.2 Kuvaterner Yaşlı Birimler.....	15
2.2 Yapısal Jeoloji .....	16
2.2.1 Naplar.....	16
2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar .....	17
2.2.3 Kıvrımlar.....	18
<b>3. HİDROJEOLJİ .....</b>	<b>19</b>
3.1 Hidrojeoloji Birimleri.....	19
3.1.1 Geçirimli Birimler.....	19
3.1.2 Yarı Geçirimli Birimler .....	21
3.1.3 Geçirimsiz Birimler .....	21
3.2 Su Noktaları.....	22
3.2.1 Akarsular.....	22
3.2.2 Kaynaklar.....	22
3.2.3 Sondajlar .....	25
<b>4. HİDROKİMYA .....</b>	<b>28</b>
4.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri.....	29
4.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri .....	29
4.2.1 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması .....	30
4.2.1.1 Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması .....	30
4.2.1.2 Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Sınıflama .....	32
4.2.1.3 Schoeller Sınıflaması .....	32
4.2.1.4 Piper Sınıflaması .....	32
4.3 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları.....	34
4.3.1 Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) İzotopları .....	34



4.3.1	Tritiyum .....	35
4.3.2	Suların $\delta^{13}\text{C}$ Kompozisyonu .....	38
4.3.3	Çözünmüş Sülfatın $^{34}\text{S}$ ve $^{18}\text{O}$ İzotopları .....	38
4.4	Suların Mineral Doygunlukları.....	39
<b>5.</b>	<b>JEOTERMOMETRE .....</b>	<b>44</b>
5.1	Kimyasal Jeotermometreler.....	44
5.1.1	Silis Jeotermometreleri .....	44
5.1.2	Katyon Jeotermometreleri.....	45
5.2	Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi .....	45
5.3	Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi .....	47
<b>6.</b>	<b>SULARIN İÇME VE SULAMADA KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ</b>	<b>49</b>
6.1	Suların İçilebilme Özellikleri .....	49
6.2	Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri.....	49
6.2.1	Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) .....	50
<b>7.</b>	<b>TARTIŞMA .....</b>	<b>55</b>
7.1	Suların Kimyasal Kompozisyonu.....	55
7.2	Suların İzotop Kompozisyonu .....	57
7.2.1	$\delta^{13}\text{C}$ .....	57
7.2.2	$^{34}\text{S}$ ve $\delta^{87}\text{Sr}$ .....	58
7.3	Rezervuar Sıcaklığının Tahmini.....	61
7.4	Yukarı Çürüksü Jeotermal Alanı .....	62
<b>8.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>10.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

<b>Şekil 1.1:</b> Çalışma alanının yer bulduru haritası. a) Batı Türkiye'nin genel jeoloji haritası, b) Büyük Menderes grabenindeki önemli jeotermal sahaların lokasyonları. ....	3
<b>Şekil 2.1:</b> Çalışma alanının Çürüksu Havzası'ndaki konumu .....	9
<b>Şekil 2.2:</b> Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu. ....	10
<b>Şekil 3.1:</b> İnceleme alanındaki kaynak ve sondajların dağılımı. ....	23
<b>Şekil 3.2:</b> Örneklenen kaynak ve sondajlardan görünüşler a) Ağapınar, b) Çamurlu, c) Kelkaya, d) İçgöl, e) Kazanpınar, f) Höyük kaynakları..	24
<b>Şekil 3.3:</b> Kimyasal analiz için örneklenen kuyulardan bazılarının jeoloji logları....	27
<b>Şekil 4.1:</b> Piper diyagramı. ....	33
<b>Şekil 4.2:</b> $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı.....	37
<b>Şekil 4.3:</b> Suların Cl-trityum diyagramı. ....	38
<b>Şekil 4.4:</b> Suların $\delta^{34}S(SO_4) - \delta^{18}O(SO_4)$ diyagramındaki dağılımı .....	39
<b>Şekil 5.1:</b> İnceleme alanı termal suları için sıcaklık-mineral denge diyagramları. ...	48
<b>Şekil 6.1:</b> Wilcox diyagramında inceleme alanı sularının dağılımı .....	52
<b>Şekil 6.2:</b> ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında inceleme alanı sularının dağılımı.....	53
<b>Şekil 7.1:</b> Suların sıcaklık, pH, EC değerleri ve çeşitli iyon ve elementlerin konsantrasyonları arasındaki ilişkiler.....	56
<b>Şekil 7.2:</b> Çeşitli ortamların $\delta^{13}C$ değerleri. Kırmızı çizgiler sıcak, maviler soğuk suları gösterir.....	58
<b>Şekil 7.3:</b> Jeolojik zamanlar boyunca denizel sülfatın $^{34}S$ ve $^{18}O$ değerleri .....	60
<b>Şekil 7.4:</b> Çeşitli jeolojik ortamların $\delta^{34}S$ değerleri. ....	60
<b>Şekil 7.5:</b> Giggenbach diyagramı .....	62
<b>Şekil 7.6:</b> Denizli ilindeki bazı jeotermal sahaların kimyasal kompozisyonları ve sıcaklıkları. ....	63
<b>Şekil 7.7:</b> Denizli ilindeki bazı jeotermal suların sıcaklık - $\delta^{18}O$ grafiği. ....	64
<b>Şekil 7.8:</b> Yukarı Çürüksu Havzası'nın şematik kavramsal hidrojeolojik modeli ...	64

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> İnceleme alanındaki başlıca kaynakların debi değerleri (l/s).....	23
<b>Tablo 3.2:</b> Örneklenen sondaj sularının bazılarının derinlik ve açıldıkları yıla ait statik-dinamik seviyeleri ve debi değerleri. ....	26
<b>Tablo 4.1:</b> İnceleme alanı sularının koordinatları, sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri. ....	28
<b>Tablo 4.2:</b> İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları. ....	31
<b>Tablo 4.3:</b> Suların Piper sınıflamasına göre özellikleri. ....	33
<b>Tablo 4.4:</b> Suların izotop kompozisyonları. ....	36
<b>Tablo 4.5:</b> Sıcak suların bazı minerallere göre doygunluk durumları. ....	41
<b>Tablo 4.6:</b> Soğuk suların bazı minerallere göre doygunluk durumları. ....	42
<b>Tablo 5.1:</b> Rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan jeotermometre bağıntıları. ....	46
<b>Tablo 5.2:</b> Jeotermometre bağıntılarından hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C)...	46
<b>Tablo 6.1:</b> İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilme özellikleri.....	50
<b>Tablo 6.2:</b> Suların Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarına göre sulama suyu sınıfları.....	54
<b>Tablo 7.1:</b> İnceleme alanı suların bazı iyon oranları (molar). ....	57

## SEMBOL LİSTESİ

<b>km</b>	:	Kilometre
<b>km<sup>2</sup></b>	:	Kilometre kare
<b>m</b>	:	Metre
<b>ml</b>	:	Mililitre
<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>D</b>	:	Döteryum
<b>%</b>	:	Yüzde
<b>‰</b>	:	Binde
<b>TU</b>	:	Tritiyum unit
<b>VSMOW</b>	:	Vienna Standard Mean Ocean Water
<b>SMOW</b>	:	Global Meteorik Su Çizgisi

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Denizli il merkezi doğusunda bulunan Yukarı Çürüksu Havzası'ndaki sıcak-soğuk kaynak ve sondaj sularının kimyasal özelliklerini, sınıflarını, kökenlerini, aralarındaki ilişkileri, çeşitli hidrotermal minerallere göre doygunluk durumlarını, içme ve sulamada kullanılabilirlik özelliklerini belirlemek ve sıcak suların rezervuar sıcaklığına bir yaklaşım sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda, çalışma alanında örneklenen sıcak ve soğuk sulardan yerinde ölçüm, örnekleme ve laboratuvar analizleri yapılmış, sonuçlar bilgisayar yazılımları yardımıyla değerlendirilmiştir. Yukarı Çürüksu Havzası sıcak ve soğuk sularının karbon ve kükürt izotop kompozisyonları ilk kez ortaya konduğu bu tez kapsamında yapılan saha ve laboratuvar çalışmalarında kullanılan tüm maddi kaynak, Pamukkale Üniversitesi 2015 FBE 049 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi tarafından sağlanmıştır.

Elde edilen bilgiler rezervuar sıcaklığı hakkında bilgi verecek, jeotermal enerjinin hangi alanda değerlendirilebileceği ve yapılacak yatırımlar için bölgenin potansiyeli hakkında fikir sunacaktır.

Tez süresince yapılan saha, laboratuvar ve tüm diğer çalışmalarda beni yönlendiren, tüm sorularımı cevaplayan ve tez projesini koordine eden Doç. Dr. Ali Gökgöz hocama teşekkürlerimi sunuyorum.

# 1. GİRİŞ

Jeotermal enerji, yenilenebilir, ucuz, çevre dostu, diğer enerji türlerine kolaylıkla dönüşebilme ve entegre bir sistem içinde kullanılabilme özellikleri nedeniyle diğer enerji kaynaklarına göre üstünlüğe sahiptir. Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli itibariyle dünyada ilk sıralarda yer almasına karşın, bu enerjiden yakın geçmişe kadar yeterince yararlanamamıştır. Ancak, son yıllarda jeotermal enerji ile ilgilenen ve yatırım yapan firmaların artmasıyla bir atılım gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda, ülkemizdeki jeotermal santrallerin sayısı artmış, elektrik üretimi dışında da jeotermal akışkanlardan daha verimli olarak yararlanılmaya başlanmıştır.

Jeotermal enerji araştırmalarında, girişimcilerin öncelikli amacı jeotermal akışkandan elektrik üretmek ve daha sonra bu akışkanı entegre bir sistem içinde değerlendirmektir. Bu nedenle jeotermal arama ruhsatı alırken, yüksek entalpide akışkan içerme olasılığı olan sahaları kapatmakta ve bu sahalardaki fizibilite çalışmaları sonunda elektrik üretimi için yeterli sıcaklık ve debide akışkan bulunmadığı sonucuna ulaşırsa, sahayı doğrudan veya dolaylı (satış) olarak terk etmektedirler. Buna karşın, düşük entalpiye sahip jeotermal sahalarda da hem yörenin sosyo-ekonomik gelişime büyük oranda katkıda bulunabilir hem de ülke ekonomisine bir katma değer sağlayabilir. Yukarı Çürüksu Havzası da buna bir örnek teşkil eder. Yukarı Çürüksu Havzası'nda sıcaklıkları 24-25°C'ye erişen kaynak ve sondaj suları mevcuttur. Bu durum, havzada bir jeotermal potansiyel olduğunu ve derinlerden kırıklar aracılığıyla yükselen jeotermal akışkanın olası olarak soğuk yeraltı suları ile karıştığını gösterir. Jeotermometreler yardımıyla yeterli rezervuar sıcaklığına ulaşılabilceği sonucuna varılırsa, termal suların sera ısıtmasında ve kaplıca olarak kullanılması imkanı doğacaktır. Havzada bir kaplıca kür merkezinin olması, hem turizmde çeşitlilik yaratacak hem de ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Bu bölümde, çalışma alanının yeri ve genel özellikleri, çalışmanın amacı, önceki çalışmalar ve çalışmada izlenen yöntemlerle ilgili bilgiler verilmiştir.

## 1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

Büyük Menderes grabeninde birçok yüksek entalpili jeotermal saha bulunur. Bu sahalardan en yüksek jeotermal akışkan sıcaklığına sahip olanı Kızıldere sahasıdır (242°C). Yukarı Çürüksu Havzası, Büyük Menderes grabeninin doğu ucunda yer alır (Şekil 1.1). Çalışma alanı Denizli il merkezinin yaklaşık 15 km doğusunda bulunan ve Honaz İlçe merkezi ile Yukarı Çürüksu Ovası'nın içinde bulunduğu 500 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsar. Saha, 1/25000 ölçekli DENİZLİ M22-a3, b1, b2, b3, b4, c1 ve d2 paftalarında yer alır.

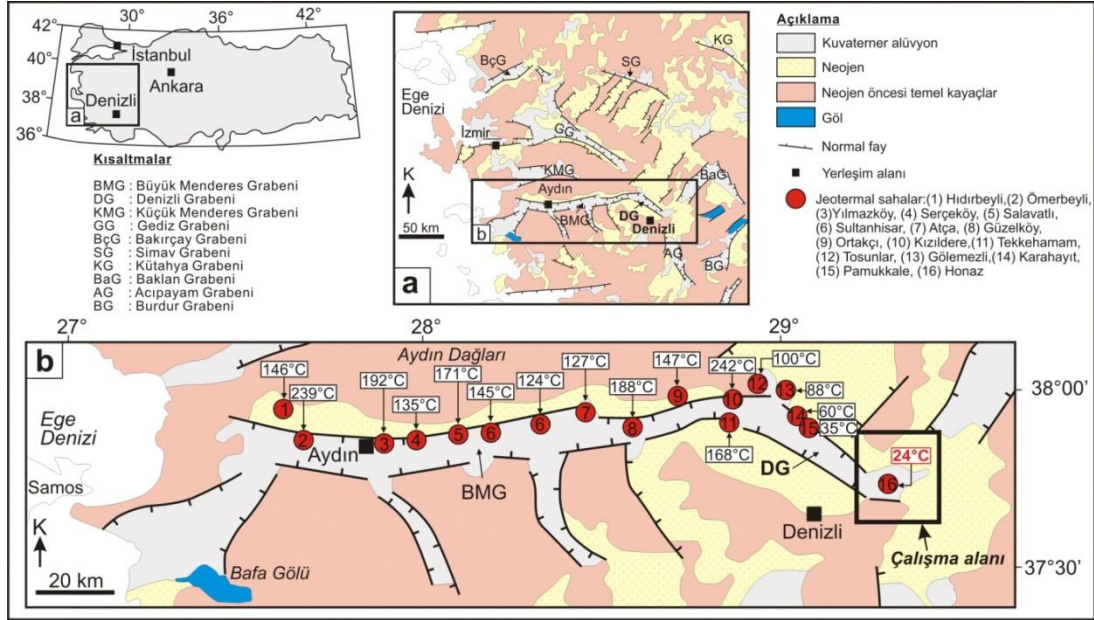
İnceleme alanı ve civarı, graben tektoniğine bağlı olarak gelişen bir topoğrafya sunmaktadır. Çürüksu havzası batı-doğu uzanımlı, grabenleşmeye bağlı bir çöküntü ovasıdır. Yaklaşık doğu-batı uzanımlı bu tektonik ovanın doğu ve batı kesimleri arasındaki kot farkı 320 metredir. Topoğrafya basamak faylarla ovanın kuzey ve güneyine doğru yükselmektedir. İnceleme alanında bulunan Honaz Dağı (2528 m) Ege Bölgesi'nin en yüksek dağıdır. Bölgedeki diğer önemli yükseltiler Küçükçökelez Tepe (1734 m), Malıdağı (1276 m) ve Kelkaya (1024 m)'dir.

Bölgede en önemli akarsu yaz-kış su taşıyan Çürüksu Çayı'dır. Çürüksu Çayı, Büyük Menderes Nehri'nin bir yan koludur. Yukarı kesimlerde Honaz ve Aksu Çayı olarak iki kola ayrılır. Bu çaylar Çömleksaz'dan Kocabaş'a kadar uzanan traverten teraslarını katetmekte ve zaman zaman 25-50 m yükseklikte, kanyon şeklinde vadi yamaçlarını meydana getirmektedir. Çürüksu Çayı'nın beslenme alanı içinde çaya verev veya dik doğrultuda olan Gökpınar, Ellez ve Sağdere dereleri devamlı su taşıyan derelerdir.

Çalışma alanı ve yakın çevresi Ege, Akdeniz ve İç Anadolu iklim kuşaklarının etkisi altındadır. Yazları sıcak, kurak ve yarı nemli, kışları ılık ve yağışlıdır. Yağışlar genel olarak yağmur, nadiren kar şeklindedir. Honaz Dağı genellikle kış ve ilkbahar aylarında karla kaplıdır.

Çalışma alanının engebeli ve yüksek kesimlerinde ormanlık alanlar yaygındır (özellikle çam). Tarımsal ürünlerden arpa, buğday; sulanabilen ovalık kesimlerde ise pamuk, tütün, meyve (başlıca üzüm, kiraz, vişne, ayva) ve sebze yetiştiriciliği önemli yer tutar.

Çalışma alanındaki yerleşim alanları Honaz İlçesi ile Kaklık, Kocabaş, Pınarkent, Karateke, Emirazizli, Ovacık, Karapınar, Kocadere, Dereçiftlik, Kızılyer, Aşağıdağdere, Yukarıdağdere, Aşağıkaraçay, Aydınlar, Akbaş ve Gürlek beldeleridir. Yerleşim alanları arasında yaz-kış ulaşım sorunu yoktur.



**Şekil 1.1:** Çalışma alanının yer bulduru haritası. a) Batı Türkiye'nin genel jeoloji haritası (Bozkurt 2000), b) Büyük Menderes grabenindeki önemli jeotermal sahalari lokasyonları (Karakuş ve Şimşek 2013, Şimşek, 2005).

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Yukarı Çürüksu Havzası yeraltısularının hidrojeokimyasal incelemesini yapmak, kayaç-su arasındaki etkileşimi ve suların birbirleriyle ilişkisini (soğuk yeraltı suyu ve jeotermal akışkan) ortaya koymak, sahanın jeotermal enerji yönünden geliştirilebilirlik durumunu araştırmak, sıcak suların rezervuar sıcaklığına bir yaklaşım sağlamak ve suların kullanım alanlarını belirlemektir.

## 1.3 Önceki Çalışmalar

Önceki araştırmacılar, inceleme alanının jeolojisi, hidrojeolojisi, paleontolojisi, tektoniği ve volkanizması üzerine odaklanan çalışmalar yapmışlardır.



Jeotermal olanakların belirlenmesine ilişkin olarak sadece Yukarı Çürüksu Havzası'na yönelmiş özgün bir çalışma yoktur. Bu açıdan havza jeotermal prospeksiyon açısından bakir bir saha sayılabilir. Bölgede daha önce yapılan değişik amaçlı araştırmalardan bazılarına aşağıda değinilmiştir.

### ***Jeolojik Çalışmalar***

Erişen (1971), Denizli Paleoseni'ni konu alan çalışmasında, Paleosen'in aralarında uyumsuzluk bulunan "Alt Pliyosen" ve "Üst Pliyosen" serilerinden oluştuğunu ve inceleme alanında yalnızca Alt Pliyosen çökellerinin var olduğunu, Üst Pliyosen izlenimi veren serilerin ise Alt Pliyosen yaşlı olduklarını belirtmiştir.

Taner (1974<sup>a,b</sup>, 1975), Denizli bölgesi Neojen'inde yaptığı peletonolojik ve stratigrafik incelemede, Paleozoik yaşlı metamorfitletine üzerine uyumsuz olarak gelen çökellerin Meosiyen yaşında olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı, Pliyosen'de, küçük kapalı bir havza şeklinde gelişen Denizli havzası göl ortamının az derin ve sakin olduğunu, tatlı su içerdiğini, ancak daha sonraları biraz tuzlandığını ileri sürmüştür. Taner (2001), daha sonra bu birimlerin yaşını revize ederek Alt Miyosen-Pliyokuvaterner aralığına çekmiştir.

Ercan ve diğ. (1983), Denizli'deki volkanik kayalar üzerine yaptıkları çalışmada, Üst Pliyosen yaşlı ve tümü şoşonitik nitelikte olan bazalt, latit ve trakit türündeki Denizli volkanitlerinin kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiklerine değinmişlerdir.

Özpınar (1987), Denizli-Acıpayam batısındaki tortul kayaçları ayırmış ve ofiyolitik serinin bugünkü yerini tektonik olarak Lütésiyen'de veya Lütésiyen-Oligosen evresinde aldığına işaret etmiştir.

Okay (1989), Honaz Dağı yöresinde çalışmış ve bölgede alttan üste Göbecik Tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes masifi, Sandak birimi, ve Honaz ofiyolitinden oluşan beş ana tektonik birimin yer aldığını, bunlardan Göbecik Tepe biriminin "nispi otokton" birimi oluşturduğunu, Menderes masifi istifinin allokton konumda olup Honaz şeyli ve Göbecik tepe birimi üzerine itildiğini, Honaz Dağı'nın ise

doğuya doğru devrik büyük bir antiklinal yapısı oluşturduğunu ifade etmiştir. Yazar, bölgede üç ana deformasyon fazı ayırt etmiştir.

Çakır (1999), Gediz ve Büyük Menderes grabenlerindeki aktif normal fayların yekpare bir düzlem olmayıp, doğrultuları boyunca 13 km uzunluklara varan çeşitli geometrik segmentlere ayrıldıklarını ortaya çıkarmıştır. İçersinden travertenlerin oluşmasına yol açan karbonatça zengin termal suların çıktığı açılma çatlakları bu fay segmentlerinin uç kısımlarında ve onların aralarındaki gerilmeli sıçrama zonlarında bulunmaktadır. Grabenlerin kuzey sınırlarını teşkil eden ana faylar muhtemelen karbonatça zengin yeraltı sularının yeryüzüne çıkmasında derin kanal görevi görmektedir. Ancak yeryüzüne yaklaştıkça suların genellikle, tavan bloku deformasyonu veya fay ucu deformasyonu olarak gelişen açılma ve diğer açılma çatlak sistemleri boyunca yüzeye ulaştıklarından bahsetmektedir.

Bozkuş ve diğ. (2001), D-B uzanımlı ve kuzeye 40-60° eğimli aktif Honaz fayının Denizli Neojen-Kuvaterner havzasını güneyden sınırlayan faylardan biri olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Honaz fayı boyunca gözlenen fay düzlemi özellikleri, fay dikliği, alüvyon ve alüvyon yelpazesi çökelleri, alüvyon konileri, traverten çökelleri ve su kaynaklarını Honaz fayının diri bir fay olduğunun göstergesi olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca, episantrları Honaz ilçe merkezi yakınlarında olan ve büyüklükleri 5,7'ye erişen depremlerin de Honaz fayının aktivitesini desteklediğini belirtmişlerdir.

Koçyiğit (2005), Honaz ve Küçükmalıdağ fay zonlarının hala aktif ve 6 veya daha yüksek büyüklükte bir deprem potansiyeline sahip olduğuna işaret etmiştir.

Gündoğan ve diğ. (2008), inceleme alanında Sandak birimi içindeki jipslerin  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $\delta^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin Alt Triyas'ı işaret ettiğini ve jips içeren yatakların Likya naplarının bindirmesi sırasında dinamik olarak rekristalize olduğunu belirtmişlerdir.

Pekuz (2007), Oligosen döneminin GD-Ege bölgesinde büyük çaplı ofiyolit nap yerleşimlerinin devam ettiği ve bindirme tektoniğine bağlı bölgesel yükselmelerin egemen olarak geliştiği bir zaman aralığını simgelediğini, genel olarak Denizli ve çevresini de içine alan GD-Ege Bölgesinde yükselen dağ kuşaklarının

(Honaz Dağı) çoğunlukla kuzeyinde ve doğu bölümlerinde Oligosen döneminde ortaya çıkan havzalarda molas tipinde oldukça kalın ve kaba kırıntılı tortulların depolandığını belirtmiştir.

Özkaymak (2015), Honaz Dağı'nı kuzeyden sınırlayan Honaz Fayı'nın 2 km genişlik ve 15 km uzunlukta, kuzeye yay şekilli eğim atımlı listrik normal fay olduğunu ve Erken Kuvaterner'den beri devam eden K-G doğrultulu genişleme rejimi ile oluştuğunu ifade etmiştir.

### ***Hidrojeolojik Çalışmalar***

Ekingen (1970), Denizli-Pamukkale-Denizler-Dereköy-Honaz yörelerinde yaptığı gravite çalışmalarında Kurudere, Dereköy çevrelerinin jeotermal açıdan umut verici olduğu sonucuna varmıştır.

Kastelli (1971), Tavas, Babadağ ve Honaz civarında 400 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yaptığı jeolojik incelemeler sonucunda sahanın jeotermik yönden değerlendirilebilecek olumlu bir alan olmadığını belirtmiştir.

Özdamar (1991), Honaz ve Kızılyer yörelerindeki sondaj kuyularının veriminin 1-80 l/s arasında değiştiğinden söz etmiştir.

Gökgöz (1994), Honaz yöresi yeraltı sularının Yukarı Çürüksu Ovası'nın diğer kesimlerinden farklı bir kimyasal yapıya sahip olduğunu, ovadaki yeraltı sularında gözlenen aşırı sülfat miktarının Triyas ve Neojen birimleri içindeki jipsli düzeylerin ve yeraltı sularınca yıkanmasından kaynaklandığını belirtmiştir.

Özler (1999 ve 2000), Çürüksu sistemi içindeki suların meteorik kökenli olduğunu, hidrotermal sistemin güneyde Honaz, kuzeyde ise Çökelez dağlarından beslendiğini; Çürüksu ve Gökpınar havzalarındaki kaynakların büyük bir depolama kapasitesine sahip olduğunu ve bu nedenle debilerinin mevsimsel değişimlerden etkilenmediğini belirtmiştir.

#### 1.4 Materyal ve Metod

Arazide gerçekleştirilen ön incelemeler sonunda örnekleme planı yapılmış ve bu plan doğrultusunda kaynak ve sondaj sularından toplam 29 adet numune alınmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak/soğuk kaynak ve sondaj sularının sıcaklıkları, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri HACH-LANGE HQ40D model multimetre ile ölçülmüştür. Ölçümlerden önce, her parametre için cihaz standart çözeltilerle kalibre edilmiştir. Suların serbest CO<sub>2</sub> miktarı NaOH; CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> miktarları da H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> titrasyonu ile (mikrotitrator, HACH-LANGE kimyasalları ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> şırıngalarının kullanımıyla) belirlenmiştir.

Majör iyon (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) analizleri için örnekler 250 ml.lik çift tıpalı HDPE şişelere filtre edilerek (0.45 µm) alınmış ve laboratuara ulaştırılıncaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır (<+4°C). Element analizleri için örnekler 100 ml.lik HDPE şişelere filtre edilerek ve daha sonra ultra saf HNO<sub>3</sub> ilavesiyle örnek pH'ı 2 veya altına indirilerek alınmıştır. Örnekler, örnekleme işlemi tamamlandıktan sonra birkaç gün içinde laboratuara ulaştırılmıştır. SiO<sub>2</sub> analizi için örnekler 100 ml. lik HDPE şişelere ultra saf su ile seyreltilerek alınmıştır.

Örnekler <sup>18</sup>O ve <sup>2</sup>H analizi için 50 ml şişelere, hava kabarcığı bırakmadan alınmıştır. <sup>13</sup>C ve <sup>14</sup>C (DIC) analizleri için örnekler 100 (<sup>13</sup>C) ve 1000 (<sup>14</sup>C) ml.lik çift tıpalı kahverengi cam şişelere filtre edilerek alınmış, analizi yapacak laboratuvarın isteği üzerine suya HgCl<sub>2</sub> ilave edilmemiş, ancak, laboratuara ulaştırılıncaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır (<+4°C). Suda çözülmüş sülfatın <sup>34</sup>S ve <sup>18</sup>O analizi için örnekler, örneğin sülfat içeriğine göre değişen hacimlerde (100 ml-2000 ml) filtre edilerek alınmış ve seyreltik ultra saf HCl ilavesiyle örnek pH'ı 4-5'e getirilmiştir. Ardından, örnek hacmi ve sülfat derişimine göre değişen miktarlarda (100-150 mg) BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O suya ilave edilerek 3-6 saat beklemeyle BaSO<sub>4</sub> çöktürülmüştür.

Örnekleme tamamlanırken yeni şişeler kullanılmış, örnekleme öncesi, örneklenecek suyla, filtreleme gerektiren örnekleme yerlerinde filtrelenmiş suyla 3 kez çalkalanmıştır.

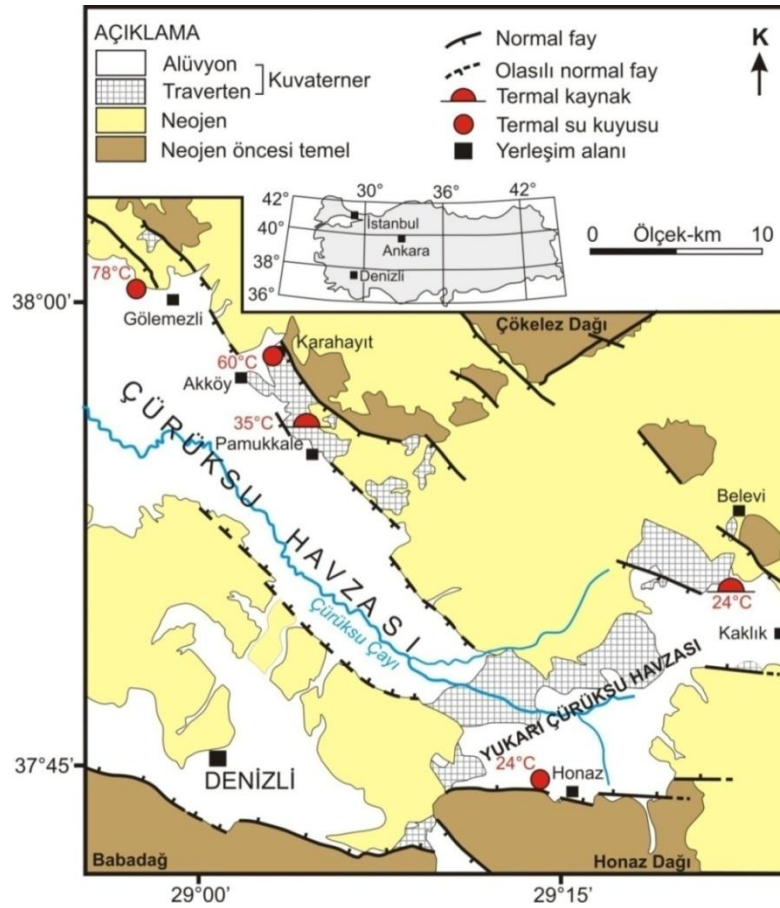
Suların majör iyon analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarı'na, element analizleri AcmeLab (Kanada)'a yaptırılmıştır. SiO<sub>2</sub> analizleri Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeokimya Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. <sup>18</sup>O ve D izotop analizleri Utah Üniversitesi SIRFER Lab.'a (ABD) ve <sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C, suda çözülmüş sülfattan <sup>34</sup>S ve <sup>18</sup>O analizleri Waterloo Üniversitesi, Environmental Isotope Laboratory'a (Kanada) yaptırılmıştır.

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

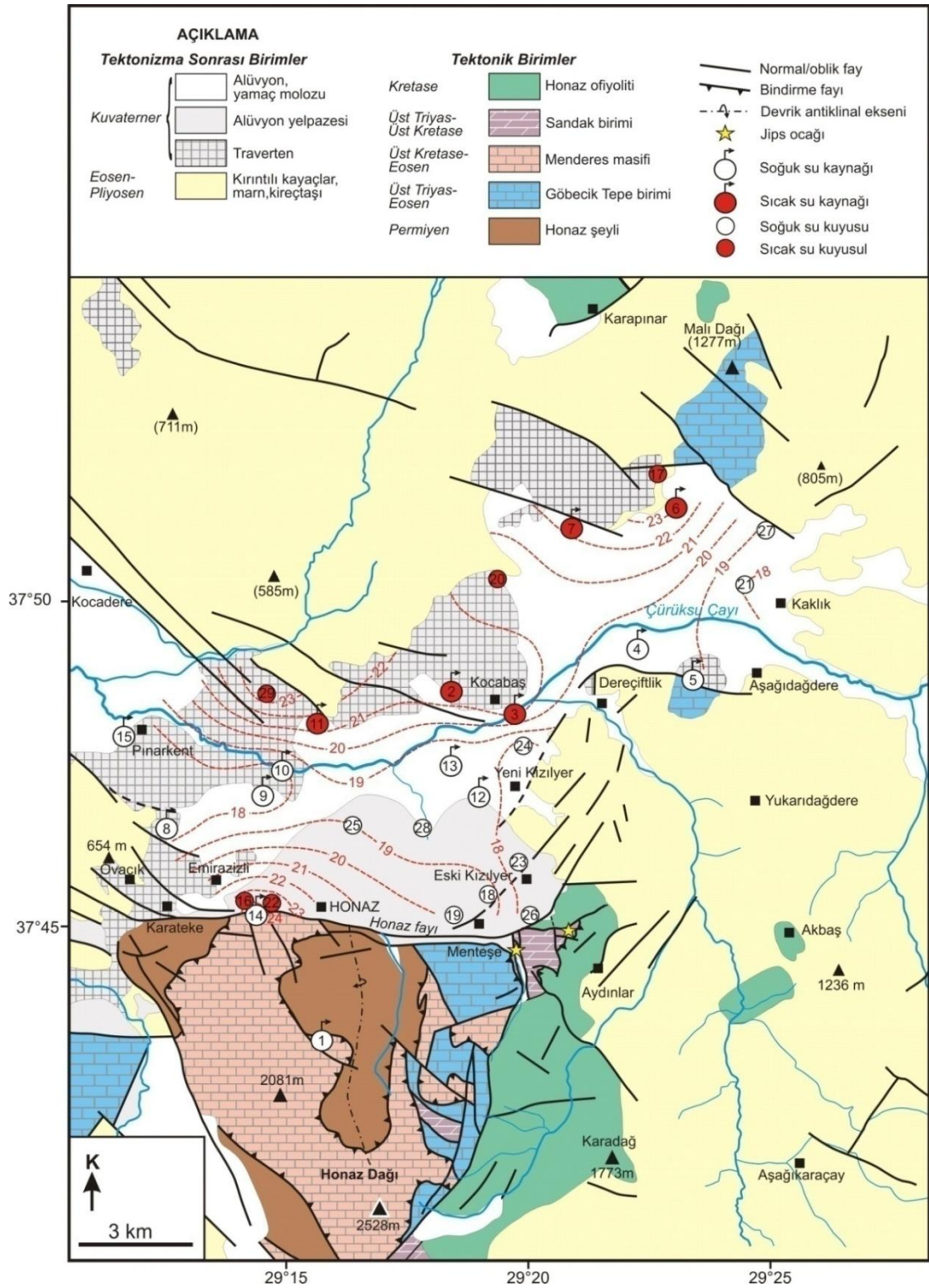
## 2. JEOLJİ

### 2.1 Stratigrafi

Denizli Havzası olarak da anılan Çürüksu Havzası (Çürüksu Grabeni)'nin genel jeolojisi, jeotermal suların lokasyonu ve Yukarı Çürüksu Havzası'nın konumu Şekil 2.1'de verilmiştir. İnceleme alanındaki kaya birimleri temel kayalar ve örtü birimleri olarak ayrılanmıştır. Temel kayalar Honaz şeyli, Göbecik Tepe birimi, Menderes Masifi metamorfileri ve Likya naplarından (Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti) oluşur. Örtü birimleri temel kayalar üzerine uyumsuzlukla gelen Eosen-Pliyosen yaşlı birimlerdir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1: Çalışma alanının Çürüksu Havzası'ndaki konumu (Sun 1990, Özkul ve diğ. 2002'den değiştirilerek).



**Şekil 2.2:** Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu (Okay 1989, Sun 1990, Bozkuş ve diğ. 2001, Konak ve Şenel 2002, Özkul ve diğ. 2002, Emre ve diğ. 2011'den modifiye edilmiştir). Kaynak ve sondaj simgelerinden kırmızı dolgulu olanlar sıcaklığı 20°C ve üzerinde olan suları temsil etmektedir. Kırmızı kesik çizgiler eş yeraltı suyu sıcaklığı eğrileridir (°C).

## **2.1.1 Temel Kayaçları**

### **2.1.1.1 Honaz şeyli**

Honaz dağının çekirdeğini oluşturan Honaz şeyli bol kırıklı ve kıvrımlı, hafif metamorfizma geçirmiş, koyu mavimsi yeşil renkte şeyl ve silttaşından oluşur (Okay 1989). Yer yer kırmızı silttaşı, kuvars, feldispat çakıllı kumtaşı ve kuvars bileşenli çakıltaşı katmanları yeşil şeyllerle ardalanmalı olarak bulunur; istif, seyrek olarak, koyu renkli andezitik dayklar da içerir. Birim, Honaz ilçe merkezinin güneyinde, Karateke Köyü'nün GB'sında ve Honaz Dağı'nın batı ve kuzey kesimlerinde geniş alanlarda gözlenir. Tektonik bir dokanakla Menderes masifinin Yılanlı ve Zeybekölen Tepe formasyonlarının altında yer alan Honaz şeylinde herhangi bir yaş bulgusu yoktur (Okay 1989). Yaşı Permiyen olarak kabul edilir (Konak ve Şenel 2002).

### **2.1.1.2 Göbecik Tepe Birimi**

Birim, Okay (1989) tarafından dört formasyona ayrılmıştır. Bunlar alttan üste:

#### ***Bozkaya Tepe Kireçtaşı***

Krem renkte, orta-kalın tabakalı, yer yer çört mercekli, bol mikrofosilli mikritik kireçtaşlarından oluşur. Honaz kasabasının güneyinde gözlenir. Alt dokanağı Menderes masifi ile tektoniktir.

#### ***Kırkpınar Kireçtaşı***

Kiremit kırmızısı renkte, ince-orta tabakalı bol mikrofosilli mikritlerden oluşur. Honaz dağı zirvesinin doğusunda gözlenen formasyon Bozkaya Tepe kireçtaşı üzerinde yer alır.



### ***Kozaklı Tepe Formasyonu***

Orta-kalın tabakalı, siyah, mikritik radyolaryalı kireçtaşı; sarımsı, ince tabakalı, kumlu kireçtaşı; karbonatlı şeyl; kırmızı, yeşil şeyl; yer yer bol nummulitli kırıntılı kireçtaşı; bordo, ince tabakalı kireçtaşından oluşur. Honaz dağının zirvesinin kuzeyinde mostra veren formasyon Kırkpınar kireçtaşı üzerinde uyumlu olarak yer alır.

### ***Alçıboğazı Formasyonu***

Kuvars, çört, serpantin, volkanit ve karbonat taneli yeşil kumtaşı, kaba kumtaşı, çakıltası ve kirli şeylden oluşur. Honaz ilçe merkezinin GD'sunda gözlenen formasyon Kozaklı Tepe formasyonu üzerinde bulunur.

Göbecik Tepe biriminin yaşı Üst Triyas-Eosen'dir (Okay 1989).

#### **2.1.1.3 Menderes Masifi**

Menderes Masifi metamorfikleri, inceleme alanında başlıca Yılanlı formasyonunun gri mermerleri ile temsil edilir (Meşhur ve Akpınar 1984, Konak ve diğ. 1987). Honaz Dağı yamaçlarında geniş yayılım sunan Yılanlı formasyonu gri, açık gri, kalın tabakalı- masif, yer yer laminalı, ince taneli, yer yer gastrapod kavkılı rekristalize kireçtaşlarından oluşur (Okay 1989). Yaklaşık 1500 metre görünür kalınlığa sahip formasyonunun yaşı Üst Kretase'ye kadar uzanır (Okay 1989).

Yılanlı Formasyonunun üzerine, 1000 metreyi aşan görünür kalınlıkta, genellikle ince-orta katmanlı rekristalize gri pelajik kireçtaşı, pembe kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve şeylden oluşan Zeybekölen Tepe Formasyonu gelir (Okay 1989). Yaşı, olasılıkla Paleosen-Alt Eosen'dir (Okay 1989). Bu kayalar Likya naplarına ait Sandak biriminin Gereme formasyonu tarafından nap dokanağı ile üzerlenir.

#### 2.1.1.4 Likya Napları

Likya napları inceleme alanında Sandak Birimi ve Honaz Ofiyoliti'nden oluşur.

##### *Sandak birimi*

Sandak birimi Karaova formasyonu, Gereme formasyonu ve Çatalca Tepe kireçtaşı olmak üzere üç formasyona ayrılır. Karaova formasyonu inceleme alanında gözlenmez.

Gereme formasyonu masif-kalın tabakalı, genellikle gri, koyu gri, siyah dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur. Yüzeysel ayrışma sonucu oluşan gözenekli cüruf tipi inceleme alanındaki dolomitler için karakteristiktir (Okay 1989). Formasyon, bindirme fayları nedeniyle breşik (brecciated) ve dilimlenmiş (sliced) bir yapı sunar; Kızıyer Köyü güneyinde siyah dolomit ve dolomitik kireçtaşları kalın jips katmanları ile ardalanmalıdır (Gündoğan ve diğ. 2008). Günümüzde bu jips yatakları işletilmektedir. Yaygın dolomitizasyon nedeniyle karbonat kayaçlarda fosil bulunamamıştır (Gündoğan ve diğ. 2008). Ancak, Milas, Bodrum çevresinde dolomitleşmemiş kesimlerde tespit edilen fosillere göre Gereme formasyonuna Üst Triyas-Liyas yaşı verilmiştir (Bernoulli ve diğ. 1974). Bu yaş Okay (1989) tarafından çalışma alanı için de kabul edilmiştir.

Çatalca Tepe kireçtaşı gri, koyu gri, masif-kalın tabakalı, çört yumrulu kireçtaşlarından oluşur; genellikle mikrit, dismikrit, biyomikrit özelliğindedir ve hafif rekristalizasyon geçirmiştir (Okay 1989). Yaşı Dogger-Üst Kretase olarak kabul edilmiştir (Okay 1989). Birim Çökelez kireçtaşı olarak da anılır. Çalışma alanında Aşağıdağdere Köyü'nün batısında ve Malı Dağı'nda gözlenir. Ayrıca bu lokasyonlarda Sandak biriminin en üst seviyesinde fliş bulunur. Erakman ve diğ. (1986) de Sandak birimi istifinin en üstünde Kretase yaşlı fliş biriminin yer aldığına değinmişlerdir.

## *Honaz ofiyoliti*

Honaz Dağı'nın doğusunda geniş yayılım gösteren birim bölgedeki nap istifinin en üst tektonik birimini oluşturur. Honaz ofiyoliti çoğunlukla koyu yeşil, cilâlı, bloklı, kısmen serpantinleşmiş, yer yer silisleşmiş harzburjitler, kırmızı çakıltaşları, çok az oranda ufak gabro ve kromit kütleleri ve andezitik dayklardan yapıldır (Okay 1989). Yaşı Kretase olarak kabul edilmiştir (Gündoğan ve diğ. 2008).

### **2.1.2 Örtü Birimleri**

İnceleme alanında tektonizma sonrası birimler Eosen-Pliyosen yaşlı kırıntılı kayalar, marn, kireçtaşı ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenlerle temsil edilir.

#### **2.1.2.1 Eosen-Pliyosen Yaşlı Birimler**

İnceleme alanında Eosen yaşlı birimler tabanda çakıltaşı ve biyoklastik kireçtaşı ile başlayıp, üste doğru kumtaşı-şeyl aralanması şeklinde devam eder ve egemen olarak türbidit istiften oluşur (Poisson 1977, Göktaş 1990, Sun 1990). Oligosen yaşlı istif ise alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiş kızıl-kahverengi, yeşil renkli kaba çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı düzensiz aralanması şeklinde karasal detritiklerden oluşur (Hakyemez 1989, Göktaş 1990).

Neojen yaşlı birimler çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı düzensiz aralanması ve kiltası, silttaşı, killi kireçtaşı ve göltsel kireçtaşı çökellerinden yapıldır. Kireçtaşlarının yanal devamlılığı sınırlıdır. Neojen birimleri yersel olarak linyit düzeyleri ve jips oluşumları (Sazak formasyonu) içerirler. Yaşları Miyosen-Pliyosen'dir. (Taner 1974a ve b, Taner 2001, Şimşek 1984).

### **2.1.2.2 Kuvaterner Yaşlı Birimler**

#### ***Alüvyon***

Çalışma alanında özellikle Çürüksu Çayı yatağı boyunca geniş yayılım gösteren alüvyon orta-kötü boylanmalı çakıl, kum, silt ve kilden yapılıdır. Bölgede açılmış Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü sondaj verilerine göre 150 m'ye erişen kalınlığa sahiptir.

#### ***Alüvyon yelpazesi***

Honaz fayı boyunca özellikle Çayboğazı, Gökdere ve Kaleboğazı vadilerinin bu fayı kestiği alanlarda yaygın olarak gözlenir. Yelpaze çökelleri kötü-çok kötü boylanmalı blok, çakıl, kum, silt ve çamurlardan oluşur. Oldukça büyük boyutlu olan sıralı yelpazeler genellikle birleşmişlerdir. Yelpaze eğimleri apekte 10-15°, uç kısımlarda ise 2-5°'dir (Bozkuş ve diğ. 2001)

#### ***Yamaç molozu***

Özellikle Honaz fayı ve diğer yüksek açılı fayların önünde gözlenir. Kötü boylanmalı olup bloktan kile kadar değişik boyutta malzeme içerirler.

#### ***Traverten***

İnceleme alanında geniş alanlarda gözlenir. Değişik morfolojik tipler sunan (yamaç, fay önü, fissür sırtı gibi) travertenlerin kalınlığı oldukça fazladır. DSİ sondaj verilerine göre bazı kesimlerde traverten kalınlığı 100 m'yi aşar. Travertenler, özellikle fay zonlarından ve fay önlerindeki açılma çatlaklarından boşalan genellikle karstik, yüksek debili ve kalsiyum bikarbonatça doymun kaynaklardan çökelmiştir.

## 2.2 Yapısal Jeoloji

Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunan Ege Bölgesi ve çevresi en fazla sismik aktivitenin gözleendiği bölgelerden biridir ve D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultulu horst-graben yapıları içerir (Jackson 1994, Taymaz ve diğ. 1991, Bozkurt 2001, Kaymakçı 2006, Koçyiğit 2005, Koçyiğit ve Deveci 2007, Şengör ve diğ. 1985, Sözbilir 2002). Bu yapılardan biri de 62 km uzunluk ve 7-28 km genişlikteki Denizli horst-graben sistemidir. (Koçyiğit 2005). Çalışma alanı Çürüksu grabeni olarak da adlandırılan bu sistemin doğu kesiminde bulunur.

### 2.2.1 Naplar

İnceleme alanında özellikle Honaz Dağı ve civarında naplar ve bindirme fayları egemendir. Bölgedeki naplar ve tektonik birimler arasındaki ilişkiler Okay (1989) tarafından incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir:

Bölgede gözlenen ilk önemli yapısal hareketler tektonik birliklerin naplar halinde üst üste yerleşmeleridir. Bu nap silsilesinin en altında Honaz şeyli yer alır. Honaz şeylinin üzerinde Menderes Masifinin Zeybekölen Tepe Formasyonu, daha üstte ise Sandak birimi Çatalca Tepe Kireçtaşları nap dokanağı bulunur. Sandak biriminin üzerinde ise nap silsilesinin en üst birimi olan Honaz ofiyoliti vardır.

Çalışma alanında Honaz ofiyolitinin Sandak birimi üzerine ne zaman yerleştiği konusunda ayrıntılı paleontolojik veri olmamasına karşın Toros'lardaki ofiyolitler göz önüne alınarak Geç Kretase kabul edilebilir. Aynı şekilde Sandak biriminin Menderes Masifi üzerine yerleşmesinin çalışma alanı dışındaki verilere dayanılarak Orta Eosen'de olduğu söylenebilir. Menderes Masifinin Honaz Şeyli üzerine itilmesi bindirmeler ve devrik izoklinal kıvrımlardan öncedir; Eosen–Oligosen yaşta olan bindirmeler ve devrik izoklinal kıvrımlar Menderes Masifi ile Honaz Şeyli arasındaki tektonik dokanağı keser (Okay 1989).

“Napların yerleşmesinden sonra bölgeyi etkileyen KB-GD yönlü sıkışma neticesinde KKD-GGB gidişli, batıya dalımlı bindirmeler ve aynı yönde, doğuya devrik makro ölçekte kapalı İzoklinal kıvrımlar oluşmuştur. Bindirmelerle devrik

izoklinal kıvrımlar eşzamanda gelişmiş ve genellikle devrik kıvrımlar alt kesimlerinden koparak kendi devrik alt kanatları üzerinde ilerlemiştir” (Okay 1989).

### 2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar

Denizli graben-horst sisteminde, eğim atımlı normal faylar basamaklı bir yapı kazanmışlardır. Fayların eğimi genellikle 50° ile 80° arasındadır. Fay hatlarının uç kısımlarında ve onların gerilmeli sıçrama zonlarında açılma çatlakları bulunmaktadır. Grabenlerin kuzey sınırını teşkil eden faylar muhtemelen karbonatça zengin yeraltı sularının yeryüzüne çıkmasında derin kanal görevi görmektedir (Çakır 1999).

Bölgedeki normal faylara ilişkin belirgin özellikler şöyledir (Koçyiğit 1984):

- a) Fay düzlemi ve ona yakın yerlerde sıcak sular ve kaplıcaların çizgisel olarak sıralanması,
- b) Genç ve yaşlı birimlerin yan yana gelmesi,
- c) Fay dikliği eteğinde fay düzlemini kat eden konsekant dere yataklarında oldukça kalın birikinti konileri oluşması,
- d) Eski alüvyonların asılı olarak kalması.

İnceleme alanında KB-GD yönündeki sıkışmadan sonra, bölge gerilmeye maruz kalmış ve bunun sonucunda, olasılıkla Akitanien'den sonra, BKB-DGD ve KD-GB doğrultulu büyük normal faylar oluşmuştur (Okay 1989). Çalışma alanındaki başlıca normal faylar Honaz, Sınırçam ve Karateke fayları olup Honaz fayı boyunca güneybatı blokun düştüğü minimum atım 1000 metredir (Okay 1989). Sınırçam fayı Honaz dağının doğu yamacı boyunca 11 km izlenir ve Honaz Ofiyolitinin batı sınırını oluşturur (Okay 1989).

Honaz Fay Zonu güncel grabeni güneyden sınırlayan 15 km uzunluğunda bir normal faydır (Aydan ve diğ. 2005, Bozkuş ve diğ. 2001, Gündoğan ve diğ. 2008, Okay 1989, Özkul ve diğ. 2013, Koçyiğit 2005, Kaymakçı 2006). Fayın doğrultusu doğu kesimde KD-GB, batı kesimde ise KB-GD olup fay zonunun genişliği 500 m ile 2 km arasında değişmektedir (Özkaymak 2015).

### 2.2.3 Kıvrımlar

İnceleme alanında Honaz Dağı boyunca gözlenen büyük ölçekli bir antiklinal mevcuttur (Şekil 2.2). Çekirdeğinde Honaz şeyli, kanatlarında ise Menderes masifinin Mesozoyik örtü birimleri bulunan Honaz antiklinali eksen uzunluğu yaklaşık 10 km olan K-G gidişli, doğuya devrik bir kapalı antiklinaldir; antiklinal devrik kanadı boyunca yırtılmış ve Göbecik tepe birimi üzerine itilmiştir (Okay 1989).

## **3. HİDROJEOLOJİ**

### **3.1 Hidrojeoloji Birimleri**

#### **3.1.1 Geçirimli Birimler**

Çalışma alanındaki geçirimli birimler Göbecik Tepe birimi, Menderes masifinin Yılanlı formasyonu, Sandak birimi, traverten, alüvyon ve alüvyon yelpazesidir.

#### ***Göbecik Tepe Birimi***

Göbecik Tepe birimine ait kireçtaşları çok çatlaklı ve kırıklı olup ikincil gözeneklilik ve geçirgenliğe sahiptir. Bu nedenle akifer özelliğindedir. Birimde düşük debili kaynaklar mevcuttur.

#### ***Yılanlı Formasyonu***

Maruz kaldığı yoğun tektonik aktivite nedeniyle çatlaklı-kırıklı bir yapı kazanan ve dolayısıyla ikincil gözenekliği ve geçirgenliği yüksek olan Yılanlı Formasyonunun kristalize kireçtaşları, çatlak ve katman yüzeyleri boyunca ilerlemiş karstik boşluklara sahiptir. Bu özelliklere ek olarak kalın, beslenme alanının geniş ve beslenmenin yağmur suyu dışında kar erimesinden de (Honaz Dağı) sağlanması formasyona verimli bir karstik akifer özelliği kazandırmaktadır. Formasyon içindeki faylar, çatlaklar ve çözünme boşlukları yeraltı suyunun beslenmesinde ve dolaşımında önemli rol oynar (Özler 1996). Formasyondaki yeraltı suları Honaz fayı ve ovadaki gömülü faylar yoluyla Pınarbaşı, Kazanpınar ve Böceli gibi kaynaklardan boşalırlar.



### ***Sandak Birimi***

Sandak biriminin dolomit, dolomitik kireçtaşı ve özellikle Çatalcatepe kireçtaşları oldukça kırıklı, çatlaklı ve karstiktir ve bu özellikleri nedeniyle iyi bir akifer oluştururlar. Malı Dağı güneyindeki ve Aşağıdağdere Köyü batısındaki (Kelkaya kaynağı) yüksek debili kaynaklar bu birimden boşalır.

### ***Traverten***

Travertenlerde, yoğun tektonizma etkisiyle oluşan kırık, eklem, çatlak ve faylar boyunca çözünme boşlukları gelişmiştir. Bu boşluklar yer yer kille doludur. Birim, karstik bir akifer özelliğindedir. DSİ sondaj verilerine göre, inceleme alanı güneyindeki alüvyonların altında çakıltaşı ara düzeyli birçok traverten katmanının yer aldığı görülmektedir. Bu verilerden, çakıltaşı ara düzeyleri ile birbirinden ayrılmış başlıca iki traverten düzeyinin toplam 90 m. kalınlığa eriştiği, ancak ovanın kuzeyine doğru alüvyonların altında travertenlerin incelenerek kaybolduğu anlaşılmaktadır (Önhon ve diğ. 1988). Çalışma alanının kuzeyinde yüzeyleyen çakıllı travertenlerde çatlakların yanı sıra çözünme boşluklarının da gözlenmesi, birimin iyi bir akifer özelliğinde olduğunu göstermektedir (Önhon ve diğ. 1988).

### ***Alüvyon ve Alüvyon Yelpazesi***

Çalışma alanında, yağış suları dışında Mesozoyik kireçtaşlarından boşalan sularla da beslenen alüvyon en önemli gözenekli akiferdir. Kalınlığı 150 m'ye ulaşan birimin çakıllı ve kumlu düzeylerinden bol miktarda su alınabilir. Alüvyon yelpazeleri taşıdığı suyu, Çürüksu Çayı'nın güneyindeki alüvyon ve travertenlere iletirler. Alüvyon yelpazelerini meydana getiren malzeme alt düzeylerde yer yer killi seviyeler olduğundan akifere yarı basınçlı bir özellik kazandırmaktadır. Alüvyon yelpazeleri iyi bir akifer özelliğindedir ve özellikle iri çakılların egemen olduğu memba tarafından açılan kuyularla bol miktarda su alınmaktadır (Önhon ve diğ. 1988).

### **3.1.2 Yarı Geçirimli Birimler**

Çalışma alanında Menderes masifinin Zeybekölen formasyonu ve bir bütün olarak Senozoyik yaşlı birimler yarı geçirimli birimleri oluşturmaktadır.

#### ***Zeybekölen Formasyonu***

Kalınlığı oldukça yüksek olmasına karşın formasyondaki karbonatlı şeyl ve şeyl düzeyleri birimin geçirgenliğini sınırlamaktadır. Şeyllerin üzerine düşen yağış suları yüzeysel akışa geçmektedir. Formasyonun çatlaklı kireçtaşları ise geçirimlidir.

#### ***Senozoyik Yaşlı Çökeller***

İnceleme alanında Senozoyik yaşlı birimler çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn, kireçtaşı ve bunların ardalanmasından meydana gelmektedir. Senozoyik istif içindeki killi, siltli seviyeler, çakıltaşları içindeki ince taneli aramadne ve çimento, kireçtaşlarının yanall devamlılığının sınırlı olması gibi etkenler nedeniyle bu çökeller yarı geçirimli olarak kabul edilmiştir. Bu çökellerin geçirimli kesimlerinde açılan sondajlardan yeraltı suyu alınabilmektedir.

### **3.1.3 Geçirimsiz Birimler**

#### ***Honaz Şeyli ve Honaz Ofiyoliti***

Honaz Dağı'nın çekirdeğini oluşturan şeyller geçirimsizdir. Üzerindeki Yılanlı formasyonunun altında geçirimsiz bir taban oluştururlar. Geçirimsiz olmalarına karşın Yılanlı formasyonundaki yeraltı sularının havzaya yönelmesini ve karstik kaynakları beslemesini sağladıklarından önem taşırlar.

Honaz ofiyoliti, baskın olarak aşırı ayrışmış ve serpantinleşmiş peridotitlerden yapıldır ve geçirimsizdir. Yersel olarak yüzeyden az bir derinliğe kadar yeraltı suyu taşıyabilen birimde düşük debili ve sürekli olmayan kaynaklar mevcuttur.

## **3.2 Su Noktaları**

### **3.2.1 Akarsular**

İnceleme alanının en önemli akarsuyu Çürüksu Çayı'dır. Çürüksu Ovası'nı batıdan Büyük Menderes'in bir kolu olarak Sarayköy civarından terk eden ve ovaya ismini veren Çürüksu Çayı, Böceli'den sonra Honaz Çayı ismini alır. Honaz Çayı'na Böceli'ye kadar Akhan civarında katılan dereler İğdeli ve Gökpınar dereleridir. Honaz Çayı Böceli'den sonra Aksu Çayı ve Kaklık civarından sonra Emir Çayı ismini alır. Sulamada kullanılır.

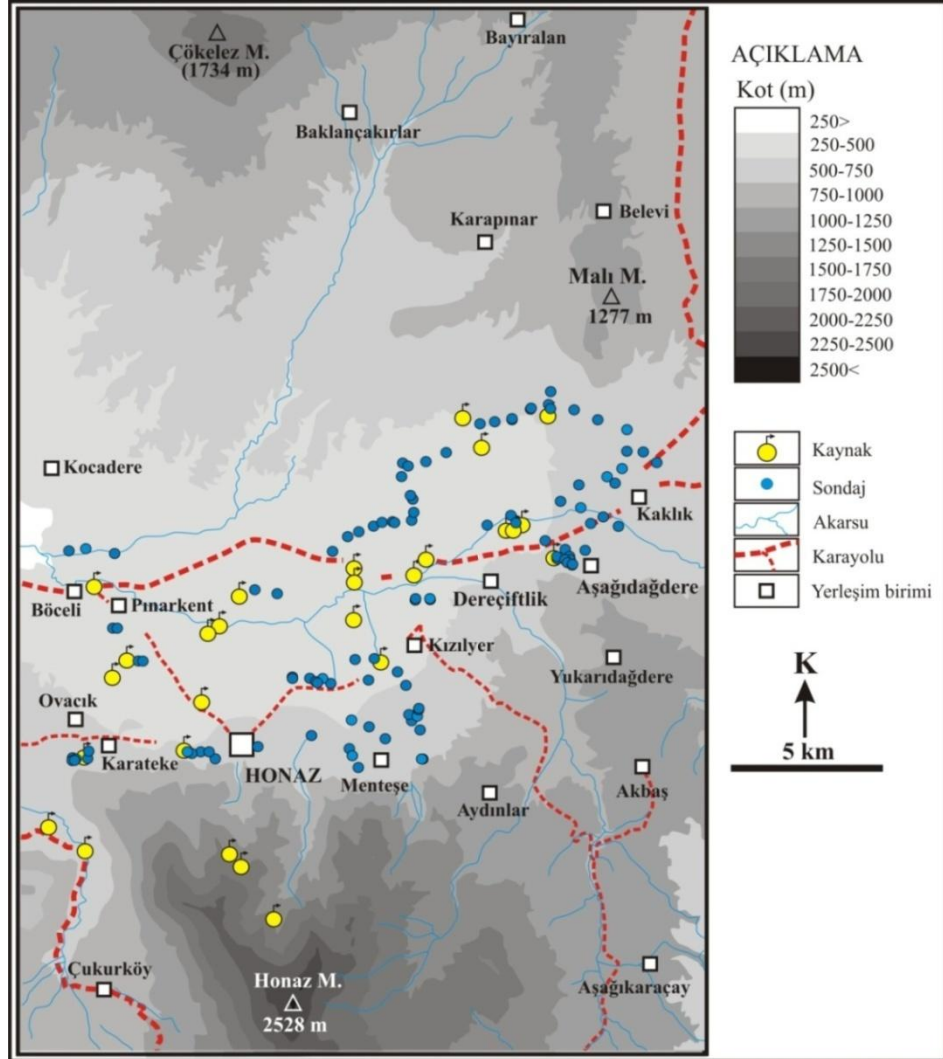
### **3.2.2 Kaynaklar**

Havzanın horst-graben sistemi içerisinde karstik akiferler bulunması Yukarı Çürüksu Ovası'nda çok sayıda ve yüksek debili kaynağı sonuçlamıştır (Şekil 3.1). Karstik kireçtaşlarından boşalan kaynaklar genellikle Honaz fayı boyunca ve ovada olası gömülü faylar boyunca sıralanmışlardır. En önemli kaynaklar Pınarbaşı, Halkabaşı, Kokarsu I-II, Kaynarca I-II, Kazanpınar ve Söğüt pınarlarıdır. Havzadaki kaynaklardan 23 tanesinin 1988-2001 yıllarına ait yıllık ortalama maksimum, minimum ve ortalama debileri Tablo 3.1'de verilmiştir (Veriler DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır). Günümüzde, bu kaynaklardan bazıları, kaynak yakınında çok sayıda sondaj açılması ve yeraltı su seviyesinin düşmesi nedeniyle kurumuştur. Kaynaklardan Kazanpınar kaynağının bir kısım suyu ile Böceli kaynağının tamamı içme suyu, diğer kaynaklar sulama suyu olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kimyasal analiz için örneklenen kaynak ve sondajlardan bazılarının görünümleri Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** İnceleme alanındaki başlıca kaynakların debi değerleri (l/s). (\* işaretli kaynaklar kurumuştur).

Kaynak Adı	Maks.	Min.	Ort.	Kaynak Adı	Maks.	Min.	Ort.
Pınarbaşı	1437	880	1164	Kelkaya	536	0	117
Halkabaşı	1490	842	1124	Ağa	243	0	97
Kokarsu	1712	77	874	Kaynarca-II	140	40	84
Kaynarca-I	680	317	466	Höyük	117	49	80
Çıban	683	0	326	Kızlar	290	2	75
Haydarbaba İç Göl	464	103	265	Kocapınar*	253	0	65
Haydarbaba Dış Göl	560	0	255	Domuzdüşen*	143	0	59
Kazanpınar	520	33	243	Mehmetçik	93	10	41
Söğüt	497	0	235	Çamurlu	153	10	31
Böceli	265	109	198	Kurşunlu	37	10	20
Çayırılık	409	0	170	İncearık*	63	0	8
Yörükdamları	232	70	119				



**Şekil 3.1:** İnceleme alanındaki kaynak ve sondajların dağılımı.



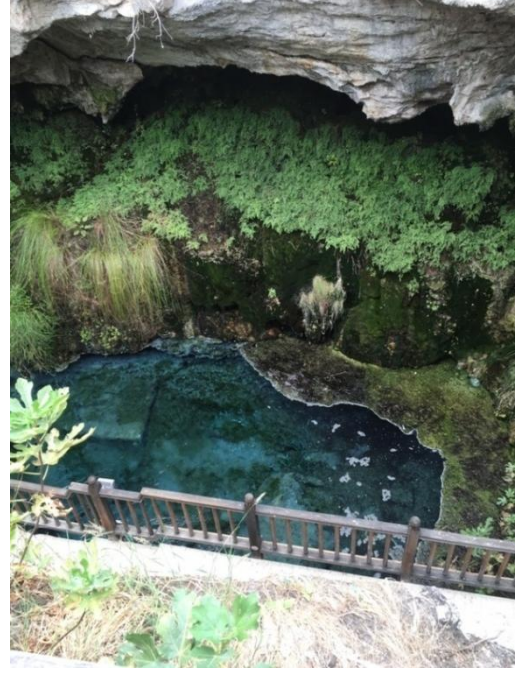
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 3.2:** Örneklenen kaynak ve sondajlardan görünüm a) Ağapınar, b) Çamurlu, c) Kelkaya, d) İçgöl, e) Kazanpınar, f) Höyük kaynakları.



(g)



(h)



(i)



(i)

Şekil 3.2: (devam) g) Halkabaşı, h) Pınarbaşı, i) Böceli kaptaj, i) 44153 nolu sondaj.

### 3.2.3 Sondajlar

Çalışma alanında, 1975 yılından itibaren DSİ tarafından Çürüksu ovasında sulama suyu temini amacıyla açılan sondaj kuyuları (Şekil 3.1), aynı zamanda, yeraltı suyu seviyesi, yeraltı jeolojisi, karstik akiferlerin yayılımı, derinliği, kalınlığı ve hidrolik özellikleri hakkında değerli bilgiler de vermiştir. Bu kuyuların derinlikleri 60 ile 246 m arasında değişmektedir. Yörede, DSİ kuyuları dışında daha önce İller

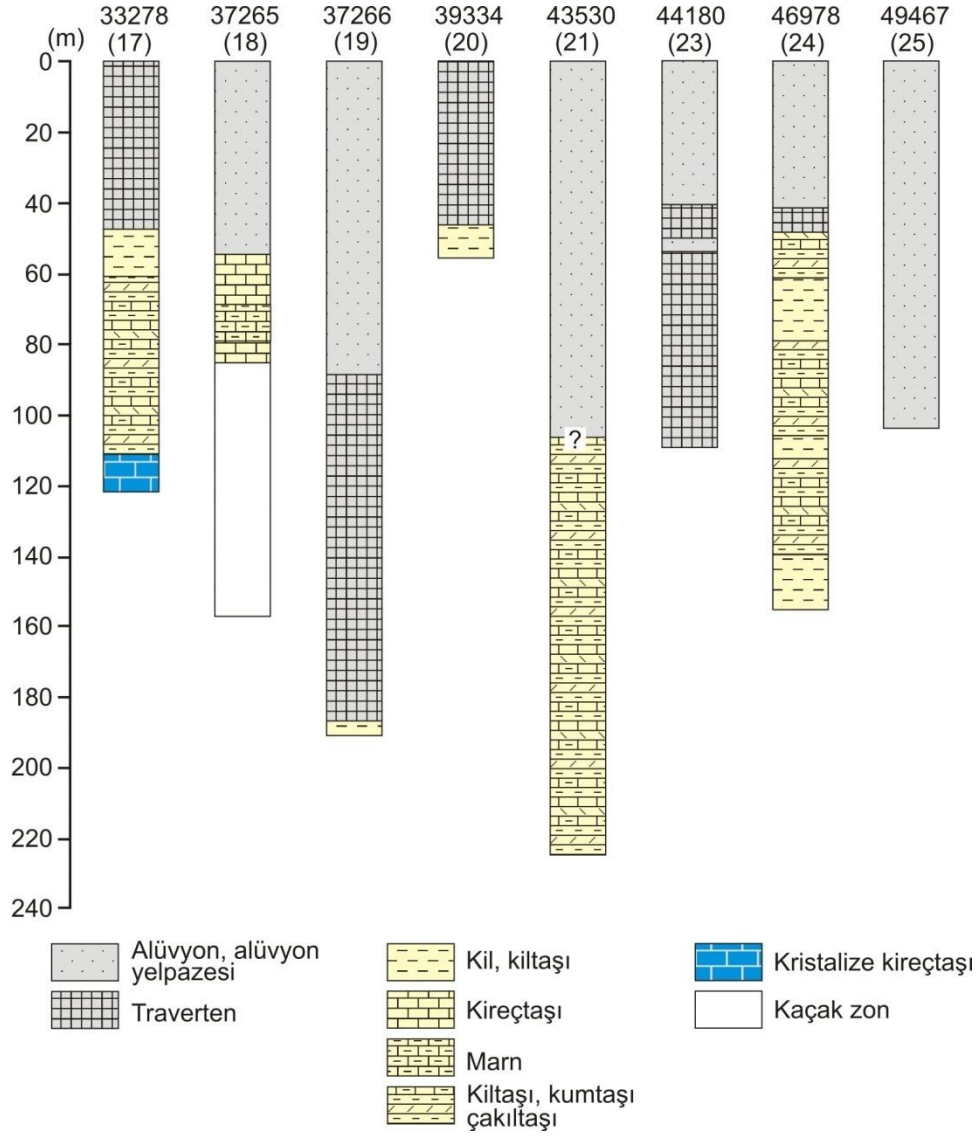
Bankası, Köy Hizmetleri ve Denizli İl Özel İdaresi tarafından açılmış ve daha sonra Denizli Büyükşehir Belediyesi'ne devredilmiş kuyular ile şahıslarca açılmış kuyular da vardır.

Karstik kireçtaşları, travertenler, alüvyon ve alüvyon yelpazelerini kesen kuyulardan yüksek verim alınmıştır. Sondaj sularının hemen hemen tamamı sulama suyu olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kimyasal analiz için örneklenen DSİ sondajlarından bazılarında ait bilgiler Tablo 3.2'de ve jeoloji logları Şekil 3.3'de verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Örneklenen sondaj sularının bazılarının derinlik ve açıldıkları yıla ait statik-dinamik seviyeleri ve debi değerleri.

No	Kuyu DSİ No	Açılma yılı	Derinlik (m)	Statik seviye (m)	Dinamik seviye (m)	Verim (l/s)
16	20019	1975	214	+6,00	-	55 (A)
17	33278	1985	122	+1,00	-	334 (A)
18	37265	1988	158	12,80	22,20	61 (P)
19	37266	1988	185	11,25	16,38	81 (P)
20	39334	1990	60	15,34	17,20	80 (P)
21	43530	1992	225	28,75	44,25	38 (P)
22	44153	1993	150	+0,50	-	60 (A)
23	44180	1992	111	21,08	32,15	71 (P)
24	46978	1995	157	20,31	55,97	18 (P)
25	49467	1995	104	+0,30	10,14	81 (P)



**Şekil 3.3:** Kimyasal analiz için örneklenen kuyulardan bazılarının jeoloji logları.



## 4. HİDROKİMYA

İnceleme alanında, 15 adet soğuk/sıcak kaynak ve 14 adet soğuk/sıcak sondaj olmak üzere toplam 29 adet su noktasında yerinde ölçüm (sıcaklık, elektriksel iletkenlik-EC ve pH) yapılmış, ayrıca kimyasal ve izotop analizleri için numune alınmıştır. Suların lokasyonu Şekil 2.2’de, bu su noktalarına ait koordinatlar ve ölçüm sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1:** İnceleme alanı sularının koordinatları, sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri.

No	Adı	Koordinat			T (°C)	EC (µS/cm)	pH
		X	Y	Z			
1	Kayapınar	35699875	4177575	1505	7,4	234	8,51
2	Ağapınar	35703529	4187179	416	21,5	1964	6,78
3	Çayırılık	35705397	4186967	436	22,3	1892	6,93
4	Çamurlu	35708669	4188341	436	18,9	1715	6,90
5	Kelkaya	35710094	4187587	565	19,5	1890	7,01
6	Dışgöl	35709924	4192678	511	23,4	1642	6,74
7	Kokarsu	35707041	4192163	483	22,4	1997	6,62
8	Kazanpınar	35695512	4183534	401	17,1	791	6,98
9	Dedepınar	35698237	4184435	377	17,1	891	7,15
10	Höyük	35698700	4185189	358	17,7	1102	7,10
11	Halkabaşı	35699783	4186548	354	21,9	2072	6,73
12	Dandanaz	35704338	4184369	445	18,8	1494	7,31
13	Karakuş	35703482	4185435	409	17,9	1486	7,45
14	Pınarbaşı	35697961	4181104	490	19,6	620	7,35
15	Böceli	35694284	4186243	310	17,1	844	6,98
16	20019	35697931	4181137	487	20,1	750	7,11
17	33278	35709382	4192658	513	23,8	1953	6,77
18	37265	35704584	4181576	583	19,9	1437	7,05
19	37266	35703581	4181023	525	19,9	1340	7,72
20	39334	35704816	4190563	471	19,8	2080	6,85
21	43530	35711785	4190381	531	18,0	918	7,62
22	44153	35698022	4181113	470	24,6	1012	6,66
23	44180	35705425	4182435	553	17,4	1414	7,32
24	53209	35705598	4185750	444	17,4	962	7,51
25	49467	35700693	4183561	431	19,0	1282	7,08
26	52873	35705754	4181008	624	17,6	1437	7,21
27	55136	35712427	4192004	553	19,0	1231	7,32
28	63029	35702749	4183443	447	17,9	1359	7,13
29	DOS	35698374	4187379	368	24,2	1705	6,92

#### 4.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri

İnceleme alanında, hidrojeolojik sistemin beslenme alanını temsil eden yüksek kotlarında (Honaz Dağı), 1355 m yükseklikte bulunan Kayapınar kaynağının sıcaklığı 7,4°C'dir (Tablo 4.1). Yukarı Çürüksu Havzası'ndaki kaynak ve sondaj sularının sıcaklıkları 17,1°C ile 24,6°C arasında değişmektedir. Sıcaklığı 20°C'nin üzerinde olan sular termal su olarak kabul edildiğinden Tablo 4.1'deki 2, 3, 6, 7, 11, 16, 17, 22 ve 29 nolu sular termal su sınıfına girmektedir.

Suların elektriksel iletkenliği (Kondüktivite=EC) elektriği geçirme özelliğidir ve mho/cm (veya S/cm) birimi ile verilir. Kondüktivimetre 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 EC değerleri Kayapınar kaynağında 234 µS/cm iken diğer sularda 620 µS/cm ile 2080 µS/cm arasında değişmektedir.

pH, sudaki hidrojen iyonunun derişimidir. Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. İnceleme alanı sularının pH değerleri 6,62 ile 8,51 arasında olup hafif asidik ile hafif bazik arasında bir karakteri yansıtırlar. Termal suların (16 nolu sondaj kuyusu hariç) pH'ları 7'den düşüktür.

#### 4.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri

Olağan yeraltı sularının kökeni yağış sularıdır. Yağış sularının bir kısmı yer altına süzülerek akifere ulaşır. Ancak bu süzülme sırasında ve akiferde, geçtiği kayaçları kısmen çözüdürerek 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 etkinliği gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu suların hidrojeokimyasal evrimini anlamada yardımcı olacağı gibi aynı zamanda kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır.

İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Çok düşük iyon derişimine sahip Kayapınar kaynağı hariç olmak üzere Yukarı Çürüksu Ovası sularının Na değerleri 5,8 ile 40,3 mg/l, K değerleri 0,85 ile 5,29 mg/l ve Cl değerleri 4,1 ile 29,8 mg/l arasında değişmektedir. Sıcaklığı 20°C’nin üzerinde olan sularda genellikle Na (20 ve 21 nolu sular hariç), K (20 nolu su hariç) ve Cl (20, 21 ve 27 nolu sular hariç) derişimleri daha yüksektir. Aynı durum B ve Li değerleri için de söylenebilir. NO<sub>3</sub> değerleri ise tersine olarak sıcak sularda daha düşüktür.

Diğer iyonlar için sıcak sularda nispeten daha yüksek değerler olsa da belirgin bir sıcaklık-derişim ilişkisi yoktur (Tablo 4.2).

## **4.2.1 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması**

### **4.2.1.1 Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması**

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, kaya su etkileşimlerini araştırmak ve kökeni 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 4.2’de verilmiştir. Buna göre Kayapınar kaynağı Ca-HCO<sub>3</sub>; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 18, 19, 20, 25 ve 28 nolu sular Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>; 8, 15, 16 ve 22 nolu sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>; 12, 13, 23 ve 26 nolu sular Ca-Mg-SO<sub>4</sub>; 24 nolu su Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>; 21 nolu su Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>; 27 ve 29 nolu sular ise Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> sınıfındadır.

Bu sınıflama dışında mek/l olarak derişiminin %50’den fazla olduğu iyonları baz alan sınıflamada 1,8, 14, 15, 16 ve 22 nolu sular Ca-HCO<sub>3</sub>, 21 ve 24 nolu sular Mg-HCO<sub>3</sub>, 29 nolu su Mg-SO<sub>4</sub>, 9 ve 27 nolu sular sırasıyla Ca-karışık ve Mg-karışık sular ve diğer suların tümü (18 adet) Ca-SO<sub>4</sub> tipindedir.

**Tablo 4.2:** İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları.

No	Adı	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	F	Br	B	Ba	Li	Sr	SiO <sub>2</sub>	As	Hata	Su Tipi	
		mg/l											µg/l					%	%50	IAH
1	Kayapınar	1,0	0,55	36,8	4	2,1	6,1	118	1,05	0,05	0,042	10	15,2	3,5	233	7596	<0,5	2,33	Ca-	Ca-HCO <sub>3</sub>
2	Ağapınar	31,7	3,85	380	120	20,0	914	500	3,01	1,59	0,074	494	42,8	86,8	7780	26974	1,6	4,13	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
3	Çayrılık	39,7	4,36	322	124	29,8	784	511	2,28	1,44	0,074	458	31,9	84,8	6892	30887	1,2	4,63	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
4	Çamurlu	17,6	3,18	258	145	10,1	698	517	2,83	1,35	0,060	610	49,9	106,0	5950	62790	<0,5	4,8	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
5	Kelkaya	20,4	3,56	349	91	10,9	623	656	0,31	1,50	0,058	704	35,2	130,4	6018	22367	3,4	3,56	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
6	Dışgöl	35,1	4,02	279	73	21,5	535	511	0,00	1,34	0,064	376	35,6	76,0	5382	23661	1,4	3,24	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
7	Kokarsu	29,8	3,48	380	103	20,5	844	569	0,00	1,75	0,074	478	35,3	94,0	7634	24261	1,4	2,17	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
8	Kazanpınar	12,4	1,82	102	53	9,7	145	360	15,78	0,35	0,029	106	90,3	9,2	1409	22596	17,0	2,9	Ca-	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
9	Dedepınar	17,9	2,86	141	56	16,2	261	331	15,70	0,45	0,025	71	63,0	10,4	2126	19123	6,6	3,54	Ca-	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
10	Höyük	13,4	2,54	193	75	5,9	462	320	9,26	0,52	0,024	94	38,6	13,8	3164	21244	4,0	3,97	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
11	Halkabaşı	38,3	4,08	379	131	28,8	968	465	9,36	1,79	0,080	542	38,4	102,2	7742	28551	1,0	4,36	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
12	Dandanaz	6,5	1,36	283	106	4,8	867	227	6,72	1,43	0,022	44	23,2	8,2	9720	36171	<0,5	2,37	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
13	Karakuş	7,4	1,09	245	124	6,6	815	261	13,99	1,29	0,030	46	26,6	8,6	9486	46551	<0,5	2,39	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
14	Pınarbaşı	7,0	0,99	89	38	4,3	110	290	2,45	0,35	0,016	42	42,5	7,9	1087	12133	19,2	4,49	Ca-	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
15	Böceli	15,8	2,23	122	52	7,9	171	378	20,56	0,32	0,033	65	48,5	11,7	1649	24064	11,6	3,81	Ca-	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
16	20019	9,4	1,23	120	40	4,4	125	378	2,00	0,40	0,010	65	39,1	12,2	1210	13309	24,0	4,16	Ca-	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
17	33278	33,6	4,21	368	112	21,3	793	575	0,00	1,66	0,058	444	28,5	89,8	6800	24609	1,8	4,42	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
18	37265	8,0	1,58	291	90	4,2	747	290	0,80	1,03	0,018	120	28,8	24,0	5206	18771	7,4	4,24	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
19	37266	8,1	1,24	255	74	4,1	637	273	0,00	0,89	0,018	120	25,2	25,4	4706	16894	7,8	3,58	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
20	39334	35,5	4,38	396	134	21,4	1071	442	6,17	1,63	0,074	548	23,3	109,2	8376	33437	1,2	3,38	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
21	43530	40,3	1,67	50	95	21,9	147	425	20,89	0,15	0,127	195	46,5	10,3	554	42152	1,5	4,69	Mg-	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
22	44153	17,8	2,42	158	55	5,3	178	523	0,00	0,61	0,023	180	40,5	33,3	1678	15484	76,3	3,18	Ca-	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
23	44180	6,7	1,64	276	101	4,6	814	203	2,44	1,69	0,016	38	20,3	7,4	9226	41734	<0,5	4,29	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
24	46978	19,9	2,10	71	108	11,6	114	565	16,42	0,33	0,054	148	60,5	24,4	1359	50906	1,5	4,2	Mg-	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
25	49467	16,9	1,56	212	74	6,0	511	320	6,30	0,80	0,020	96	38,2	20,0	4290	22547	<0,5	3,84	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
26	52873	5,8	0,85	296	92	4,3	839	232	1,25	1,55	0,018	32	24,5	6,8	9132	19046	<0,5	2,45	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
27	55136	20,7	2,11	78	158	21,8	368	459	30,39	0,29	0,100	222	42,6	26,4	2025	64800	<0,5	4,48	Mg-	Mg-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
28	63029	9,1	1,47	251	83	5,3	658	285	3,72	1,00	0,020	160	24,6	20,4	5122	23100	2,4	3	Ca-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
29	DOS	37,1	5,29	190,7	158,3	19,3	716	445	0,03	0,69	0,060	490	75,4	107,8	6673	89006	9,2	3,17	Mg-SO <sub>4</sub>	Mg-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>

#### 4.2.1.2 Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Sınıflama

Bu sınıflamaya göre toplam iyon miktarları 1000 mg/l'den az olan sular "tatlı sular", 1000-10.000 mg/l arasında olanlar "hafif tuzlu su" sınıfına girer. Buna göre 1, 8, 9, 14, 15, 16, 21 ve 24 nolu sular "tatlı sular", diğerleri "hafif tuzlu sular" sınıfındadır.

#### 4.2.1.3 Schoeller Sınıflaması

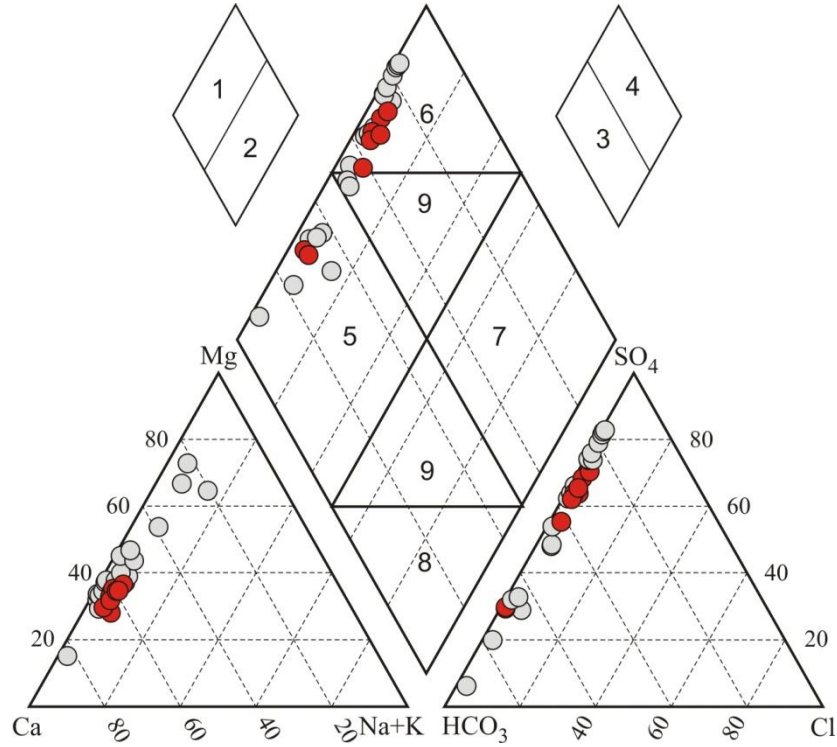
Schoeller, suları bikarbonat, sülfat ve klorür miktarlarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanı sularının tümü olağan klorürlü ( $rCl < 15$  mek/l); 1, 8, 9, 14, 15, 16, 21, 22 ve 24 nolu sular olağan sülfatlı ( $SO_4 < 6$  mek/l), diğer sular oligosülfatlı ( $6 < rSO_4 < 24$  mek/l); Kayapınar kaynağı "hipokarbonatlı su" ( $HCO_3 + CO_3 < 2$  mek/l), 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 25, 26 ve 28 nolu sular "hiperkarbonatlı" ( $HCO_3 + CO_3 > 7$  mek/l) ve diğer sular "olağan karbonatlı" ( $2$  mek/l  $< HCO_3 + CO_3 < 7$  mek/l) sular sınıfına girmektedir.

#### 4.2.1.4 Piper Sınıflaması

Piper, üçgen ve eşkenar dörtgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflanmaya göre suların %mek/l değerleri katyon ve anyon üçgenlerine yerleştirilir ve daha sonra bu üçgenlerde düştükleri noktalar eşkenar dörtgene taşınarak suların kimyasal kompozisyonları ve aralarındaki ilişkiler (suların hidrokimyasal evrimi, karışım gibi) yorumlanır. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı Şekil 4.1'de, bu sınıflamaya göre özellikleri de Tablo 4.3'de verilmiştir.

Piper diyagramında katyon üçgeninde suların Na+K değerlerinin nispeten yakın olmasına karşın Ca ve Mg değerleri oldukça değişkendir. Sıcaklığı 20 °C'nin üzerinde olan sularda baskın katyon kalsiyumdur ve bu sular üçgenin Ca köşesinde kümelenmiştir. Benzer şekilde anyon üçgeninde suların Cl değerleri birbirine yakın iken  $HCO_3$  ve  $SO_4$  değerleri oldukça değişkendir. Sıcaklığı 20 °C'nin üzerinde olan

sulardan 44153 nolu kuyu suyu  $\text{HCO}_3$  köşesinde yer alırken diğerleri  $\text{SO}_4$  köşesine daha yakındır.



Şekil 4.1: Piper diyagramı.

Tablo 4.3: Suların Piper sınıflamasına göre özellikleri.

Alan	Su No	Açıklama
1	Tüm sular	Alkali toprak elementler (Ca+Mg), alkali elementlerden (Na+K) fazladır.
3 ve 5	1, 8, 14, 15, 16, 21, 22, 24	Zayıf asit kökleri ( $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ ), güçlü asit köklerinden ( $\text{Cl}+\text{SO}_4$ ) fazladır. Karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır. $\text{CaCO}_3$ ve $\text{MgCO}_3$ 'lü sular.
4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 26, 27, 28, 29	Güçlü asit kökleri ( $\text{Cl}+\text{SO}_4$ )zayıf asit köklerinden ( $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ ), fazladır.
6	2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 26, 28, 29	Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sulardır ( $\text{CaSO}_4$ , $\text{MgSO}_4$ , $\text{CaCl}_2$ ve $\text{MgCl}_2$ 'lü sular bu sınıfa girer),
9	9, 27	İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular.

### 4.3 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları

Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır.

İnceleme alanı sularının  $\delta^2\text{H}$  (döteryum),  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$  (trityum),  $\delta^{13}\text{C}$  (DIC),  $^{14}\text{C}$  ve  $\delta^{18}\text{O}-\delta^{34}\text{S}$  (çözünmüş sülfattan) izotop değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

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

Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. 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.

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

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

Yağışların çevresel izotop değerlerinin belirlenebilmesi için Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Organizasyonunun (WMO) işbirliğiyle 1960 yılından itibaren dünyadaki yaklaşık 153 yağış istasyonlarından

toplanan yağış numunelerinin izotop içerikleri belirlenmiştir (Çifter ve Sayın 2002). Global Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak bilinen bu doğrunun denklemi;

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

şeklinindedir (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. Örneğin Akdeniz'deki yağışlar için döteryum fazlalığı batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Bu bölgedeki yağışlar yüksek hıza sahip buharlaşma etkisi altındaki Akdeniz kaynaklı atmosferik su buharından oluşmaktadır. Döteryum fazlalığı genel olarak okyanus ve deniz kenarındaki atmosferik neme yani klimatolojik faktörlere bağlıdır (Çifter ve Sayın 2002).

Bu çalışmada global meteorik su doğrusu ve Akdeniz meteorik su doğrusu kullanılmıştır. Gatt ve Carmi (1970) tarafından verilen Akdeniz meteorik su doğrusunun denklemi şöyledir:

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 22 \text{ ‰ (SMOW)} \quad (4.3)$$

İnceleme alanı sularının  $\delta^{18}O$  değerleri ‰-52,29 ile -61,41 ve  $\delta^2H$  değerleri ‰-7,69 ile -9,98 arasındadır (Tablo 4.4).  $\delta^{18}O$ - $\delta^2H$  diyagramında (Şekil 4.2) suların tümü "Dünya Meteorik Su Çizgisi" ile "Akdeniz Meteorik Su Çizgisi" arasında kalmaktadır. Buradan suların tümünün meteorik kökenli olduğu anlaşılmaktadır.

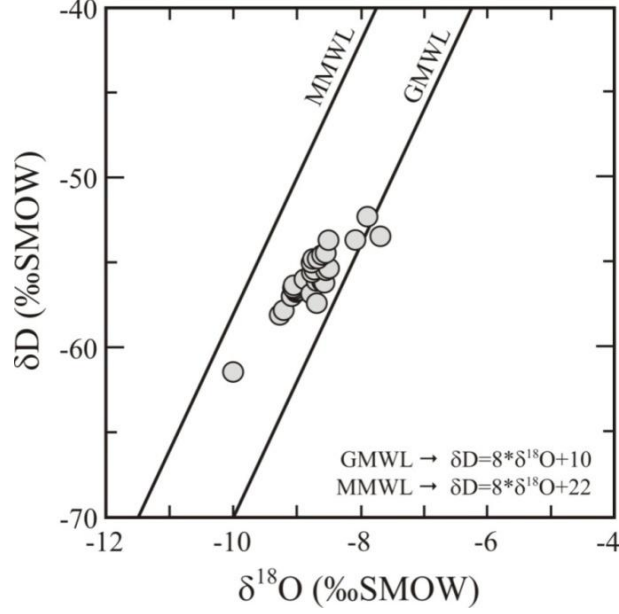
### 4.3.1 Tritiyum

Suyun radyoaktif izotopu olan trityum ( $^3H$ ) suların yeraltındaki sirkülasyon zamanlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Atmosferdeki  $10^{18}$  hidrojen atomundan sadece bir tanesi trityumdur. Atmosferdeki trityum değeri 1953 yılı öncesi yaklaşık 25 TU (tritium unit-trityum birimi) iken bu tarihte başlayan nükleer denemeler nedeniyle giderek artmış ve 1964 yılında 2200 TU ile maksimum değerine ulaşmıştır (Faure 1986). Bu tarihten sonra azalmaya başlamıştır.



**Tablo 4.4:** Suların izotop kompozisyonları.

No	Adı	$\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$	$\delta\text{D}(\text{H}_2\text{O})$	T	$\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$	$\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$	$\delta^{13}\text{C}$
		(VSMOW)	(VSMOW)	(TU)	(VSMOW)	(VCDT)	(PDB)
1	Kayapınar	-9,98	-61,41	6,08			-1,63
2	Ağapınar	-8,60	-56,09	-		14,26	0,45
3	Çayırılık	-8,57	-56,16	-			
4	Çamurlu	-8,73	-55,39	1,06			
5	Kelkaya	-8,77	-55,62	0,73		14,29	2,88
6	Dışgöl	-8,69	-57,37	0,67	12,22	13,36	1,41
7	Kokarsu	-8,69	-56,08	0,12	12,23	12,83	0,65
8	Kazanpınar	-8,60	-54,51	2,33		11,82	-5,22
9	Dedepınar	-8,88	-55,95				
10	Höyük	-8,98	-56,64	4,85		13,25	-4,84
11	Halkabaşı	-8,54	-55,44	0,34	11,73	14,37	0,33
12	Dandanaz	-8,66	-54,73	-			
13	Karakuş	-8,55	-54,42	2,39			
14	Pınarbaşı	-9,06	-56,47	1,86		13,21	-1,26
15	Böceli	-8,50	-53,67	3,50		11,71	-7,44
16	20019	-9,05	-56,31	2,17*			-0,32
17	33278	-8,78	-56,80				
18	37265	-9,20	-57,79	2,97			
19	37266	-9,27	-58,06	3,73		14,91	-0,12
20	39334	-8,50	-55,32	-		14,43	-0,15
21	43530	-7,69	-53,43	0,28		-6,16	-9,52
22	44153	-9,04	-56,57	1,26	12,02	13,55	1,99
23	44180	-8,75	-54,96	-			
24	46978	-7,88	-52,29	-		8,07	-9,00
25	49467	-9,01	-56,72	4,40		14,00	-3,30
26	52873	-8,74	-54,77	2,14			
27	55136	-8,08	-53,66	-		14,62	-5,49
28	63029	-9,08	-56,96	-			



**Şekil 4.2:**  $\delta D - \delta^{18}O$  diyagramı.

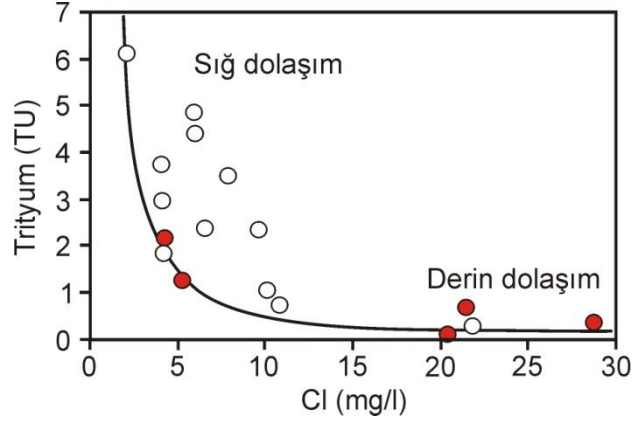
Çürüksu sularının trityum değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir. İnceleme alanı sularında 1964 öncesi trityum değerlerine ilişkin bir kayıt yoktur. Bununla birlikte ilksel tritium değeri (yağışla akifere giren) 1963 yılında nükleer denemeler başlamadan önceki ortalama değer olan 10 TU olarak kabul edilirse güncel trityum değerleri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (Kendall and Caldwell 1998):

$$A_1 = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.4)$$

Denklemden  $A_0$ : ilksel tritium derişimi (10 TU),  $A_1$ : güncel tritium derişimi,  $\lambda$ : trityumun yarılanma ömrü ( $0.056 \text{ years}^{-1}$ ) ve  $t$ : zaman aralığıdır.

Bu denklemle 1963-2016 aralığı için ilksel tritium değeri 0,51 TU olarak hesaplanmıştır. Buna göre tritium değerleri 0,51 TU’dan düşük olan Kokarsu ve Halkabaşı kaynak ve 43530 nolu sondaj sularının yeraltındaki sirkülasyon süreleri 53 yıldan fazladır. Diğer sular daha genç sulardır. Yüksek kotta bulunan düşük EC değerine sahip Kayapınar kaynağının trityum değeri (6,08 TU) girdi olarak kabul edilirse TU değeri 0,51’den yüksek olan suların görelî yaşlarının minimum 4 ile 40 yıl arasında olduğu söylenebilir. Daha gerçekçi sonuçlar için uzun dönem yağışlardaki trityum değerlerinin izlenmesi gerekmektedir.

Suların Cl-trityum diyagramında sıcaklığı 20 °C'nin üzerinde olan suların genellikle derin, diğer suların genellikle sığ dolaşım yaptıkları görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Suların Cl-trityum diyagramı.

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

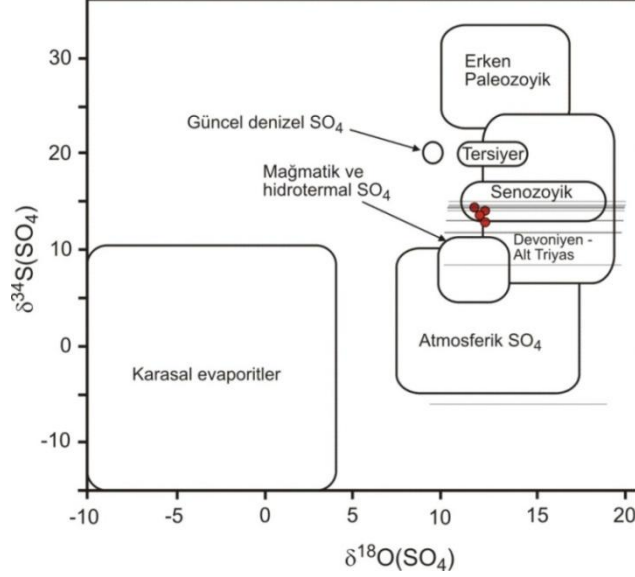
Sulardaki karbonun başlıca kaynakları zemindeki organik maddelerin bozunumu, karbonat kayaların bozunumu ve nadiren de atmosferik  $\text{CO}_2$  ile magmadır. Bu kaynaklar farklı izotop kompozisyonlarına sahiptir. Örneğin denizel kireçtaşları için  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ‰-3 ile +3 arasında iken 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 alanında, sıcaklığı 20 °C'nin üzerinde olan suların  $\delta^{13}\text{C}$  (DIC-Suda çözülmüş inorganik karbon) değerleri ‰-0,32 ile +1,99 diğer suların ise ‰-9,52 ile -0,12 (Kelkaya hariç,  $\delta^{13}\text{C}$  : +2,88) arasında değişmektedir (Tablo 4.4).

#### 4.3.3 Çözülmüş Sülfatın $^{34}\text{S}$ ve $^{18}\text{O}$ İzotopları

İnceleme alanı sularının çözülmüş sülfatındaki  $\delta^{34}\text{S}$  ( $\text{SO}_4$ ) ve  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\text{SO}_4$ ) analizleri sudaki kükürt ve oksijenin kaynağını incelemek için yapılmıştır. Suların  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$  değerleri ‰+8,07 ile 14,62 ve  $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$  değerleri de ‰+11,73 ile 12,23 arasındadır (21 nolu örnek hariç).  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$  -  $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$  diyagramında inceleme

alanı suları Devoniyen-Alt Triyas alanında yer almaktadır (Şekil 4.4).  $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$  analizi yapılmayan suların da  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$  değerleri bu alanda yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.4'deki düz çizgiler).



Şekil 4.4: Suların  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$ -  $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$  diyagramındaki dağılımı (Clark ve Fritz 1997).

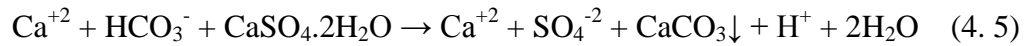
#### 4.4 Suların Mineral Doygunlukları

Suların mineral doygunluklarının 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 çeşitli minerallerin örnekleme sıcaklığındaki doygunlukları PhreeqCi programı (Parkhurst ve Appelo 1999) ile hesaplanmış ve değerler Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Bu tablolardaki negatif değerler doygunluk altı değerinde olup minerali çözücü özellikte, pozitif değerler ise doygunluk üstü yani o minerali çökeltmeye eğilimli olarak değerlendirilmektedir.

Buna göre, sıcak sular aragonit, barit, kalsit, kalsedon, dolomit, gibsit, illit, K-feldispat, kaolinit, montmorillonit, kuvars, stronsiyanit, tridimit ve vitherit minerallerince doygundur. Kayapınar kaynağı dışında genellikle soğuk sular da aynı minerallerce doygundur. Sıcak ve soğuk sular, Tablo 4.5 ve 4.6'da yer alan diğer minerallere göre ya tümüyle doygun değildir ya da suların bazıları bazı minerallerce doygundur. Bu sonuçlara göre sıcak ve soğuk suların işletim ve iletimi sırasında başlıca kalsit, aragonit, dolomit, kalsedon ve kuvars kabuklaşması beklenebilir. Bu teorik sonuçlar arazi gözlemleriyle de uyuşmaktadır. Örneklenen suların hemen hemen tamamı gerek yüzeye çıktığında, gerek doğal ya da kanal içindeki akışları sırasında başlıca CaCO<sub>3</sub> çökeltmektedir. Bunların görsel örnekleri Kaklık mağarasında güncel traverten terasları, Kelkaya kaynağından traverten çökeli mi ve Pınarbaşı kaynağı suyu kullanılarak oluşturulan şelalede meydana gelen güncel tufa oluşumlarıdır. Kuvaterner yaşlı yaygın ve kalın traverten çökelleri geçmişte de suların benzer kimyasal kompozisyona sahip olduklarının bir göstergesidir. Sahadaki traverten örneklerinin XRD analizinde kalsit, aragonit ve kuvarsa rastlanması (Özkul ve diğ. 2013) yapılan doygunluk hesaplamaları ile örtüşmektedir.

İnceleme alanında Menderes masifinin karbonat kayalarından gelen Ca-HCO<sub>3</sub> tipindeki sular ile Sandak biriminden gelen Ca-SO<sub>4</sub> tipindeki sular yeraltı akım yollarında karışırlar ve suda görel i olarak Ca<sup>+2</sup> iyonu artar. Buna paralel olarak sudaki kalsit doygunluğu yükselir. Sonuç olarak ortak iyon etkisiyle aşağıdaki tepkimeye göre kalsit (traverten) çökeli mi gerçekleşir.



Kalsit çökeli miyle sudaki SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> derişimi artar ve Ca<sup>+2</sup> / SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> oranı azalır.

**Tablo 4.5:** Sıcak suların bazı minerallere göre doygunluk durumları.

Mineral	Ağapınar	Çayırılık	Dışgöl	Kokarsu	Halkabaşı	20019	33278	44153	DOS
Albit	0,15	0,51	-0,11	-0,64	0,30	-0,91	0,17	-0,66	2,17
Alünit	-2,12	-2,79	-2,53	-3,07	-1,74	-4,94	-1,68	-2,17	-1,66
Anhidrit	-0,62	-0,72	-0,86	-0,63	-0,60	-1,67	-0,66	-1,43	-0,94
Aragonit	0,14	0,26	0,07	0,06	0,06	0,03	0,23	-0,13	0,02
Barit	0,74	0,55	0,49	0,62	0,70	0,14	0,48	0,16	0,89
Kalsit	0,29	0,41	0,22	0,21	0,21	0,17	0,37	0,01	0,16
Sölestin	-1,27	-1,36	-1,54	-1,30	-1,26	-2,59	-1,37	-2,36	-1,38
Kalsedon	0,48	0,52	0,38	0,41	0,49	0,20	0,39	0,18	0,94
Koesit	-0,07	-0,02	-0,16	-0,13	-0,05	-0,35	-0,15	-0,36	0,40
$\alpha$ -Kristobalit	0,19	0,24	0,10	0,13	0,21	-0,09	0,11	-0,10	0,66
$\beta$ -Kristobalit	-0,26	-0,21	-0,35	-0,32	-0,24	-0,55	-0,34	-0,55	0,22
Dolomit	1,42	1,75	1,21	1,19	1,29	1,24	1,58	0,95	1,60
Florit	-0,70	-0,84	-0,91	-0,61	-0,61	-2,14	-0,68	-1,75	-1,70
Gibsit	1,17	1,12	1,12	0,73	1,23	1,15	1,36	1,52	1,51
Jips	-0,40	-0,52	-0,66	-0,42	-0,39	-1,44	-0,46	-1,25	-0,75
Huntit	-2,86	-2,09	-3,29	-3,35	-3,06	-3,21	-2,48	-3,64	-2,00
İllit	4,35	4,63	3,91	2,94	4,52	3,30	4,57	3,92	7,11
K-Feldispat	2,09	2,40	1,78	1,28	2,18	1,10	2,09	1,29	4,14
Kaolinit	4,52	4,52	4,25	3,53	4,67	3,91	4,75	4,65	6,14
Manyezit	-0,52	-0,30	-0,64	-0,66	-0,56	-0,59	-0,42	-0,69	-0,19
Ca-Montmor	4,71	4,98	4,21	3,58	4,85	3,68	4,75	3,98	7,37
Na-Montmor	4,16	4,48	3,69	3,03	4,33	3,04	4,21	3,39	6,88
Prehnit	-2,95	-2,33	-3,42	-4,53	-2,94	-3,36	-2,58	-3,76	-0,52
Kuvars	0,75	0,79	0,66	0,69	0,77	0,47	0,66	0,45	1,21
SiO <sub>2</sub> (a)	-0,56	-0,51	-0,64	-0,62	-0,54	-0,85	-0,63	-0,84	-0,08
Sillimanit	-1,84	-1,86	-1,95	-2,74	-1,69	-2,22	-1,45	-1,31	-0,59
Stronsiyanit	0,44	0,57	0,34	0,34	0,35	0,06	0,46	-0,12	0,52
Talk	-2,20	-0,90	-2,99	-3,46	-2,28	-2,44	-2,29	-4,19	1,39
Tridimit	0,56	0,61	0,47	0,50	0,58	0,28	0,48	0,26	1,03
Vitherit	0,82	0,86	0,74	0,63	0,68	1,15	0,68	0,78	1,17
Vollastonit	-6,09	-5,75	-6,22	-6,41	-6,15	-6,14	-6,05	-6,69	-5,43

**Tablo 4.6:** Soğuk suların bazı minerallere göre doygunluk durumları.

Mineral	Kaya	Çam.	Kelkaya	Kazan	Dede	Höyük	Dand	Kara.	Pınarb.	Böceli
Albit	-16,52	1,55	0,62	0,37	0,54	0,30	0,98	1,95	-0,76	0,47
Alünit	-58,49	-1,60	-1,21	-2,64	-2,29	-2,34	-2,44	-1,73	-5,38	-2,66
Anhidrit	-3,35	-0,88	-0,79	-1,72	-1,38	-1,07	-0,73	-0,83	-1,81	-1,59
Aragonit	0,34	0,11	0,46	-0,25	-0,01	0,02	0,19	0,32	0,04	-0,16
Barit	-1,10	0,77	0,57	0,60	0,66	0,62	0,57	0,61	0,17	0,39
Kalsit	0,48	0,25	0,60	-0,10	0,13	0,16	0,34	0,46	0,18	-0,02
Sölestin	-4,37	-1,46	-1,49	-2,49	-2,12	-1,79	-1,15	-1,19	-2,65	-2,37
Kalsedon	0,23	0,90	0,44	0,49	0,42	0,45	0,66	0,79	0,17	0,52
Koesit	-0,34	0,35	-0,11	-0,06	-0,14	-0,10	0,11	0,24	-0,38	-0,04
$\alpha$ -Kristobalit	-0,08	0,61	0,15	0,20	0,13	0,16	0,37	0,50	-0,12	0,23
$\beta$ -Kristobalit	-0,57	0,15	-0,31	-0,27	-0,34	-0,30	-0,09	0,03	-0,58	-0,24
Dolomit	1,30	1,59	1,97	0,86	1,21	1,26	1,57	1,96	1,36	0,94
Florit	-4,17	-0,96	-0,73	-2,32	-2,00	-1,81	-0,85	-1,00	-2,36	-2,34
Gibsit	-14,64	1,51	1,77	1,64	1,71	1,53	1,68	2,09	1,28	1,56
Jips	-2,99	-0,64	-0,55	-1,46	-1,12	-0,82	-0,49	-0,57	-1,58	-1,33
Huntit	-3,97	-2,33	-1,89	-3,86	-3,29	-3,20	-2,56	-1,68	-2,87	-3,79
İllit	-32,17	6,64	5,75	5,36	5,57	5,22	6,40	7,88	3,70	5,33
K-Feldispat	-13,66	3,71	2,76	2,48	2,69	2,50	3,21	4,04	1,29	2,57
Kaolinit	-27,70	6,02	5,63	5,46	5,46	5,18	5,89	6,96	4,12	5,36
Manyezit	-0,92	-0,32	-0,29	-0,71	-0,60	-0,58	-0,43	-0,17	-0,48	-0,71
Ca-Montmor	-21,99	7,00	5,68	5,47	5,48	5,33	6,70	8,02	3,99	5,46
Na-Montmor	-22,83	6,41	5,09	4,89	4,93	4,72	5,96	7,31	3,32	4,90
Prehinit	-31,69	-1,13	-1,21	-2,55	-1,72	-1,91	0,20	1,74	-2,51	-2,49
Kuvars	0,51	1,17	0,71	0,77	0,69	0,73	0,93	1,06	0,44	0,79
SiO <sub>2</sub> (a)	-0,92	-0,16	-0,62	-0,58	-0,65	-0,62	-0,40	-0,28	-0,88	-0,55
Sillimanit	-34,30	-0,85	-0,76	-1,06	-0,99	-1,29	-0,74	0,17	-2,00	-1,18
Stronsiyanit	0,32	0,49	0,71	-0,05	0,22	0,27	0,73	0,92	0,16	0,03
Talk	1,21	0,13	-1,55	-2,21	-1,52	-1,36	1,16	2,59	-1,22	-2,16
Tridimit	0,32	0,98	0,52	0,58	0,50	0,54	0,75	0,87	0,25	0,60
Vitherit	1,87	1,07	1,13	1,39	1,34	1,02	0,80	1,07	1,34	1,12
Vollastonit	-4,58	-5,74	-5,81	-6,38	-6,01	-5,94	-5,13	-4,84	-5,84	-6,29

**Tablo 4.6:** (devam).

Mineral	37265	37266	39334	43530	44180	46978	49467	52873	55136	63029
Albit	-0,03	1,08	1,77	1,76	0,91	1,65	0,65	-0,24	2,02	0,31
Alünit	-1,61	-2,09	1,42	-6,29	-3,35	-5,96	-1,77	-3,15	-3,69	-2,26
Anhidrit	-0,75	-0,84	-0,57	-2,06	-0,77	-2,06	-0,99	-0,73	-1,59	-0,86
Aragonit	0,08	0,68	0,13	0,14	0,13	0,29	0,05	0,11	0,02	0,08
Barit	0,59	0,50	0,56	0,26	0,52	0,24	0,62	0,61	0,49	0,53
Kalsit	0,23	0,82	0,28	0,29	0,28	0,44	0,19	0,25	0,17	0,22
Sölestin	-1,46	-1,53	-1,21	-2,92	-1,19	-2,67	-1,63	-1,19	-2,10	-1,49
Kalsedon	0,35	0,30	0,60	0,74	0,75	0,83	0,45	0,40	0,91	0,48
Koesit	-0,20	-0,24	0,06	0,19	0,20	0,28	-0,10	-0,15	0,36	-0,07
$\alpha$ -Kristo.	0,06	0,02	0,32	0,45	0,46	0,54	0,16	0,11	0,62	0,19
$\beta$ -Kristo.	-0,39	-0,44	-0,14	-0,01	-0,01	0,08	-0,30	-0,35	0,16	-0,27
Dolomit	1,28	2,45	1,42	2,22	1,44	2,42	1,27	1,32	1,99	1,30
Florit	-1,12	-1,27	-0,72	-3,41	-0,70	-2,59	-1,41	-0,75	-2,74	-1,17
Gibsit	1,73	2,30	2,33	1,11	1,35	1,15	1,78	1,40	1,44	1,59
Jips	-0,52	-0,61	-0,34	-1,81	-0,51	-1,80	-0,75	-0,47	-1,34	-0,61
Huntit	-3,19	-0,88	-2,88	-0,55	-2,88	-0,27	-3,18	-3,18	-0,95	-3,19
İllit	5,21	7,02	7,54	5,78	5,97	6,15	5,65	4,57	6,93	5,36
K-Feldispat	2,16	3,16	3,75	3,30	3,23	3,62	2,52	1,85	3,94	2,45
Kaolinit	5,38	6,43	7,09	4,91	5,40	5,18	5,66	4,81	5,92	5,36
Manyezit	-0,60	-0,03	-0,52	0,26	-0,51	0,31	-0,58	-0,60	0,17	-0,60
Ca-Mont.	5,32	6,72	7,19	6,28	6,47	6,65	5,75	5,05	7,32	5,61
Na-Mont.	4,60	6,01	6,67	5,91	5,74	6,16	5,16	4,30	6,83	4,93
Prehnit	-1,48	2,13	-0,15	-0,84	-0,32	-0,68	-1,29	-1,63	-0,46	-1,38
Kuvars	0,63	0,58	0,88	1,02	1,03	1,11	0,73	0,68	1,18	0,76
SiO <sub>2</sub> (a)	-0,70	-0,75	-0,45	-0,32	-0,32	-0,23	-0,61	-0,66	-0,15	-0,58
Sillimanit	-0,91	0,19	0,55	-1,83	-1,37	-1,67	-0,75	-1,61	-0,96	-1,13
Stronsiyanit	0,33	0,95	0,46	0,24	0,67	0,64	0,37	0,61	0,47	0,41
Talk	-1,62	2,01	-1,46	3,51	1,32	3,29	-1,32	-0,83	3,02	-1,00
Tridimit	0,44	0,39	0,69	0,83	0,84	0,92	0,54	0,49	0,99	0,57
Vitherit	0,74	1,33	0,58	1,78	0,72	1,90	0,98	0,75	1,41	0,78
Vollastonit	-5,86	-4,61	-5,93	-5,12	-5,11	-5,14	-5,86	-5,64	-5,35	-5,75



## 5. JEOTERMOMETRE

Jeotermometrelerin genel amacı yeraltındaki jeotermal akışkanın sıcaklığının tahmin edilmesidir. Suların yeraltında katettikleri yol, ne denli kısa ve debisi ne denli yüksekse, sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Derinlerde rezervuarda bulunan sıcak sular yüzeye erişinceye kadar değişik ölçüde soğuyarak ve/veya soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeylerler. Bu nedenle derinlerde bulunan jeotermal akışkanın sıcaklığı yüzeydeki boşalım sıcaklığına göre daha yüksektir. Jeotermal akışkanın kullanım alanlarının (elektrik üretimi, konut ve sera ısıtması, kaplıca gibi) saptanabilmesi için, yapılacak derin sondajlardan önce, çeşitli jeotermometre yöntemleri ile rezervuardaki sıcaklıklarının tahmin edilmesi büyük önem taşır.

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), izotop ve mineral-denge jeotermometre teknikleri ile yaklaşımda bulunulmaya çalışılmıştır. Bu yöntemde geliştirilen jeotermometre bağıntıları sıcaklık-çözünürlük ilişkisini temel alır.

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

### 5.1 Kimyasal Jeotermometreler

#### 5.1.1 Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sudaki çeşitli silis fazlarının deneysel olarak belirlenmiş çözünürlüğüne dayanmaktadır. Kuvars jeotermometresi  $180^\circ\text{C}$ 'den daha yüksek rezervuar sıcaklıkları için daha iyi sonuçlar verir (Giggenbach, 1991). Bununla birlikte, daha düşük sıcaklıklarda, silis çözünürlüğü çoğunlukla kalsedon ve hatta çok daha düşük sıcaklıklarda kristobalit veya amorf silis ile kontrol edilir.  $225^\circ\text{C}$ 'den daha yüksek sıcaklıklarda akiferden

yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi olacağından sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulardaki SiO<sub>2</sub> değerinden hesaplanan rezervuar sıcaklıkları gerçeği yansıtmaz.

İnceleme alanı sıcak suları için kalsedon jeotermometreleri 29 nolu su (DOS) hariç 26-52°C ve kuvars jeotermometreleri (DOS hariç) 49-83°C arasında rezervuar sıcaklıkları vermiştir (Tablo 5.2). DOS sondaj suyunda SiO<sub>2</sub> miktarı yüksektir. Bu su için kalsedon ve kuvars jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıklar sırasıyla 102-103°C ve 126-131°C arasındadır.

### **5.1.2 Katyon Jeotermometreleri**

Kasyon jeotermometreleri, silis jeotermometrelerinin aksine, herhangi bir mineralin çözünürlüğünden çok iyon oranlarına dayanır. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Na/K jeotermometresine göre 195-262°C ve Li jeotermometresine göre 41-88°C arasında değerler vermiştir. Na-K-Ca jeotermometresi tüm sıcak sular için ölçülen su sıcaklıklarından daha düşük değerler verdiği için Tablo 5.2'de belirtilmemiştir.

## **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 doygunluk indeksleri ( $SI = \log Q/K$ ) hesaplanır ve sıcaklık-doygunluk 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.

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

No	Jeotermometre	Bağıntı	Referans
1	SiO <sub>2</sub> (Kalseduan)	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1032}{4,69 - \log\text{SiO}_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)
2	SiO <sub>2</sub> (Kalseduan-iletim ile soğuma)	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1112}{4,91 - \log\text{SiO}_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)
3	SiO <sub>2</sub> (Kuars)	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1309}{5,19 - \log\text{SiO}_2} \right) - 273,15$	Fournier (1977)
4	SiO <sub>2</sub> (Kuars-adyabatik buhar kaybı)	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1498}{5,7 - \log\text{SiO}_2} \right) - 273,15$	Arnorsson ve diğ. (1983)
5	Na/K	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1319}{1,699 - \log(\text{Na}/\text{K})} \right) - 273,15$	
6		$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{855,6}{0,857 - \log(\text{Na}/\text{K})} \right) - 273,15$	Fournier (1977)
7		$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{833}{0,78 - \log(\text{Na}/\text{K})} \right) - 273,15$	Tonani, (1980)
8		$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1178}{1,47 - \log(\text{Na}/\text{K})} \right) - 273,15$	Nieva ve Nieva (1987)
9		$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{1390}{1,75 - \log(\text{Na}/\text{K})} \right) - 273,15$	Giggenbach ve diğ.. (1988)
10	Li (mol/l)	$t^{\circ}\text{C} = \left( \frac{2258}{1,44 - \log(\text{Li})} \right) - 273,15$	Fouillac ve Michard (1981)
11	$\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O})$	$1000\ln\alpha_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}} = 3,25(10^6/\text{T}^2) - 5,6$	Lloyd (1968)

**Tablo 5.2:** Jeotermometre bağıntılarından hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C).

Adı	SiO <sub>2</sub>				Na/K					Li	<sup>18</sup> O(SO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ağapınar	44	46	75	78	231	210	218	221	248	83	
Çayırılık	49	52	81	83	223	198	206	212	240	82	
Dışgöl	38	41	70	73	226	203	211	215	243	80	77
Kokarsu	39	42	71	74	228	205	213	217	245	85	77
Halkabaşı	46	49	77	80	221	195	202	209	237	87	81
20019	-	-	49	54	238	219	228	227	255	41	
33278	40	43	71	75	234	213	222	223	251	84	
44153	-	26	54	59	241	223	233	231	258	61	76
DOS	103	102	131	126	245	229	239	236	262	88	

İnceleme alanı suları için bu diyagramların çizilmesinde Na-montmorillonit, gipsit, barit, anhidrit, kalsedon ve manyezit mineralleri seçilmiştir. PhreeqC programı (Parkhurst ve Appelo, 1999) kullanılarak, seçilen minerallerin 20-100°C'ler arasındaki (20°C'lik sıcaklık aralıklarıyla) doygunlukları hesaplanmış ve sıcaklık-mineral denge diyagramları çizilmiştir (Şekil 5.1). Ağapınar termal kaynağında kalsedon ve manyezit mineralleri tam SI=0 çizgisinde 51°C'de kesişmiştir. Na-montmorillonit, gipsit ve anhidrit mineralleri ise SI=0 çizgisine çok yakın bir noktada 77°C'de birbirini kesmiştir. Çayırılık termal kaynağında gipsit ve barit mineralleri 60°C'de, Na-montmorillonit, kalsedon ve anhidrit de 75°C'de kesişmiştir. İçgöl kaynağında barit ve manyezit 60°C'de, Na-montmorillonit ve gipsit 71°C'de birbirini kesmiştir. Kokarsu kaynağında kesişme sıcaklıkları kalsedon ve manyezit için 54°C'de, gipsit, barit ve anhidrit için 80°C'dir. Benzer şekilde Halkabaşı 54-84°C, 20019 nolu sondaj suyu 52°C, 33278 nolu sondaj suyu 48-78°C, 44153 nolu sondaj suyu 62°C ve DOS sondaj suyu 57-82°C rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Bu yöntemle elde edilen sıcaklık aralığı 48-84°C olmuştur.

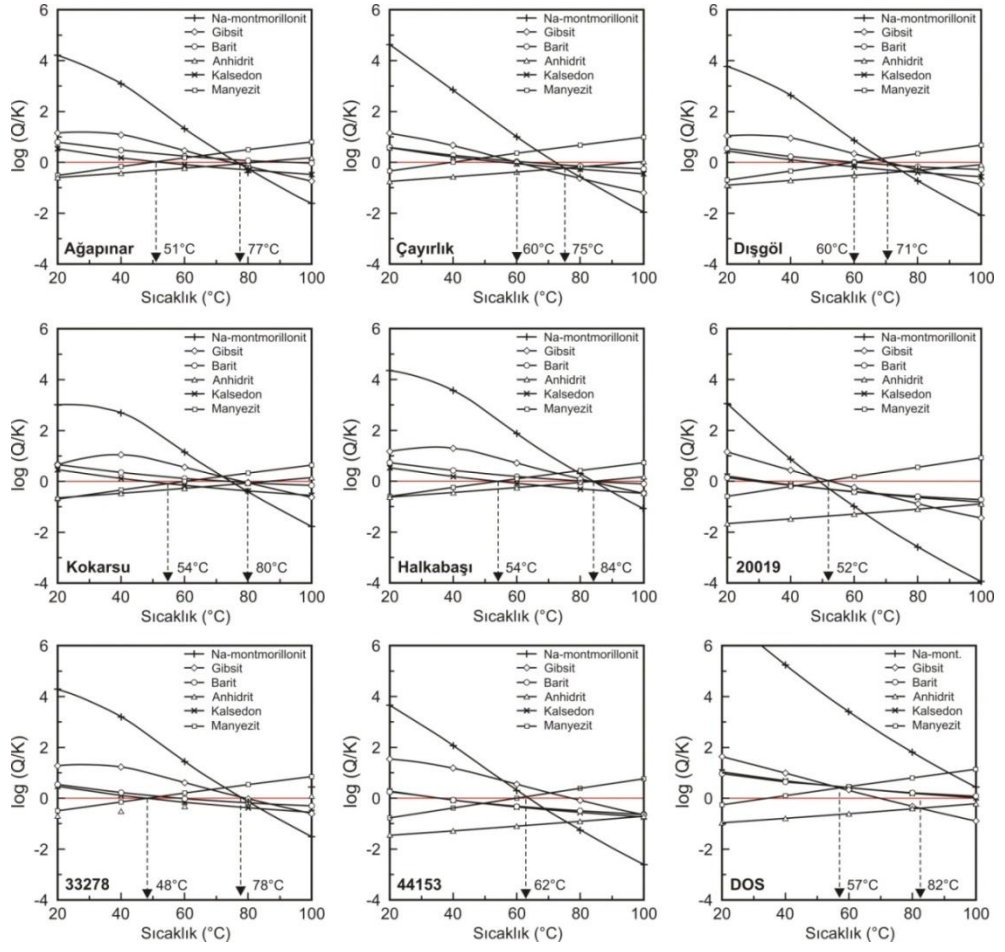
### 5.3 Sülfat-Su Oksijen İzotop Jeotermometresi

Sülfat-su oksijen izotop jeotermometresi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O arasındaki oksijen izotop değişimini baz alır. Bu jeotermometre 100-350°C sıcaklık aralığındaki birçok su egemen jeotermal sistemde başarıyla uygulanmıştır (Mizutani ve Rafter 1969; Mizutani 1972; Cortecci 1974; Cortecci and Dowgiallo 1975; Mckenzie ve Truesdell 1977; Fouillac ve diğ. 1990).

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

$$1000 \ln \alpha_{SO_4-H_2O} = 3.25 \left( \frac{10^6}{T^2} \right) - 5.6 \quad (5.1)$$

Oksijen izotop jeotermometresi İçgöl, Kokarsu, Halkabaşı termal kaynakları ile 44153 nolu sondaj suyuna uygulanmış ve 76 ile 81°C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 5.2).



**Şekil 5.1:** İnceleme alanı termal suları için sıcaklık-mineral denge diyagramları.

## **6. SULARIN İÇME VE SULAMADA KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ**

### **6.1 Suların İçilebilme Özellikleri**

İnsan hayatı için elzem olan su, ancak içme suyu standartlarına uygunsa 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. Ancak bu standartların uygulanabilirliği her zaman mümkün değildir. Çünkü, bir ülke için kötü kaliteli olan içme suyu, su kaynakları yetersiz bir başka ülke için vazgeçilmez olabilir.

Bu bölümde inceleme alanı sularının içilebilirliği TSE 266 (2005) ve İTASHY (2005) standartlarına göre incelenmiştir. Bu iki standart genel olarak aynı kabul edilebilir. Bu standartlarda verilen limit değerler ve inceleme alanı sularının analiz edilen değerler kapsamında içilebilme özellikleri Tablo 6.1'de sunulmuştur. Tabloda sadece analizi yapılan iyonlara yer verilmiştir. Buna göre bu çalışmada örneklenen sulardan sadece 1, 21, 24 ve 26 nolu sular içilebilir özelliktedir. Diğer suların tamamı içilemez özellikte sulardır. Ancak, analiz edilmeyen element, bakteri, tarımsal kalıntı ve radyoaktivite yönüyle olabilecek bir anomalinin içilebilir suları da içilmez kılması olasıdır. İçilebilirlik değerlendirmesi sadece analizi yapılan iyonlar, elementler, EC ve pH değerlerine göre yapılmıştır.

### **6.2 Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri**

Günümüzde birçok ülke sulama suyu sıkıntısı çekmekte, yüzey ve yeraltı sularını optimum şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Ancak, tarımda yüksek verim

almak için su faktörü tek başına yeterli değildir. Bunun yanında sulama suyunun kimyasal özellikleri ve toprağın akaçlaması da önemlidir.

**Tablo 6.1:** İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilirlik özellikleri (TKE: Tüketicilerce kabul edilebilir).

<b>Kimyasal Parametreler</b>	İTASHY (2005)	TSE 266 (2005)	İçilemez su no
Florür	1,5 mg/L	1,5 mg/L	7, 11, 17, 20, 23
Nitrat	50 mg/L	50 mg/L	Uygun
Nitrit	0,50 mg/L	0,50 mg/L	Uygun
<b>Gösterge Parametreleri</b>			
Amonyum	0,50 mg/L	0,50 mg/L	Uygun
Klorür	250 mg/L	250 mg/L	Uygun
Renk	TKE	20 mg/L (Pt-Co)	-
İletkenlik	2500 µS/cm (20 °C)	2500 µS/cm (20 °C)	Uygun
PH	≥6,5 ve 9,5≥	≥6,5 ve 9,5≥	Uygun
Koku	TKE	TKE	-
Sülfat	250 mg/L	250 mg/L	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 27, 28, 29
Sodyum	200 mg/L	200 mg/L	Uygun
Tat	TKE	TKE	-
Bulanıklık	TKE	5 NTU	-
<b>Kimyasal Parametreler</b>			
Arsenik			8, 14, 15, 16, 22
Bor	1 mg/l	1 mg/l	Uygun

Sulamada kullanılan sularda iyon derişiminin yüksekliği verimi düşürür. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalandırmasını azaltır; böylece bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Sularda bor ve klorür gibi iyonların varlığı da bitki gelişmesi üzerine olumsuz etki yapar.

Sulama sularını sınıflamak için değişik diyagram ve sınır değerler önerilmiştir. Bunlardan yararlanılarak çalışma alanındaki suların sulamaya uygunluğu incelenmiştir.

### 6.2.1 Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulama sularındaki fazla sodyum toprağın geçirgenliğini azaltır. Toprağın üst seviyelerinde soğurulan sodyum toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur. Sodyumlu sularla sulanan bitkiler, türüne bakılmaksızın ya az gelişirler ya da yetişmezler.

Sodyum adsorpsiyon oranı şu formülle hesaplanmıştır (r: mek/l):

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}} \quad (6.1)$$

SAR'a göre sulama suları şöyle sınıflanır:

<u>SAR</u>	<u>Sulama suyu sınıfı</u>
10>	Çok iyi özellikte sulama suları
10-18	İyi özellikte sulama suları
18-26	Orta özellikte sulama suları
26<	Fena özellikte sulama suları

Bu sınıflamaya göre, bu çalışmada örneklenen suların SAR değerleri 10'un altındadır ve sular çok iyi özellikte sulama suları sınıfına girerler (Tablo 6.2).

### ***Wilcox Diyagramı***

Wilcox diyagramı, suların sodyum yüzdesi ve elektriksel iletkenlik değerlerini baz alarak oluşturulmuştur. Bu diyagramda sular beş sınıfa ayrılır.

- Çok iyi – iyi sular
- İyi – kullanılabilir
- Şüpheli – kullanılabilir
- Şüpheli – kullanılamaz
- Sulamaya uygun değil

Suların % Na değerleri (r: mek/l),

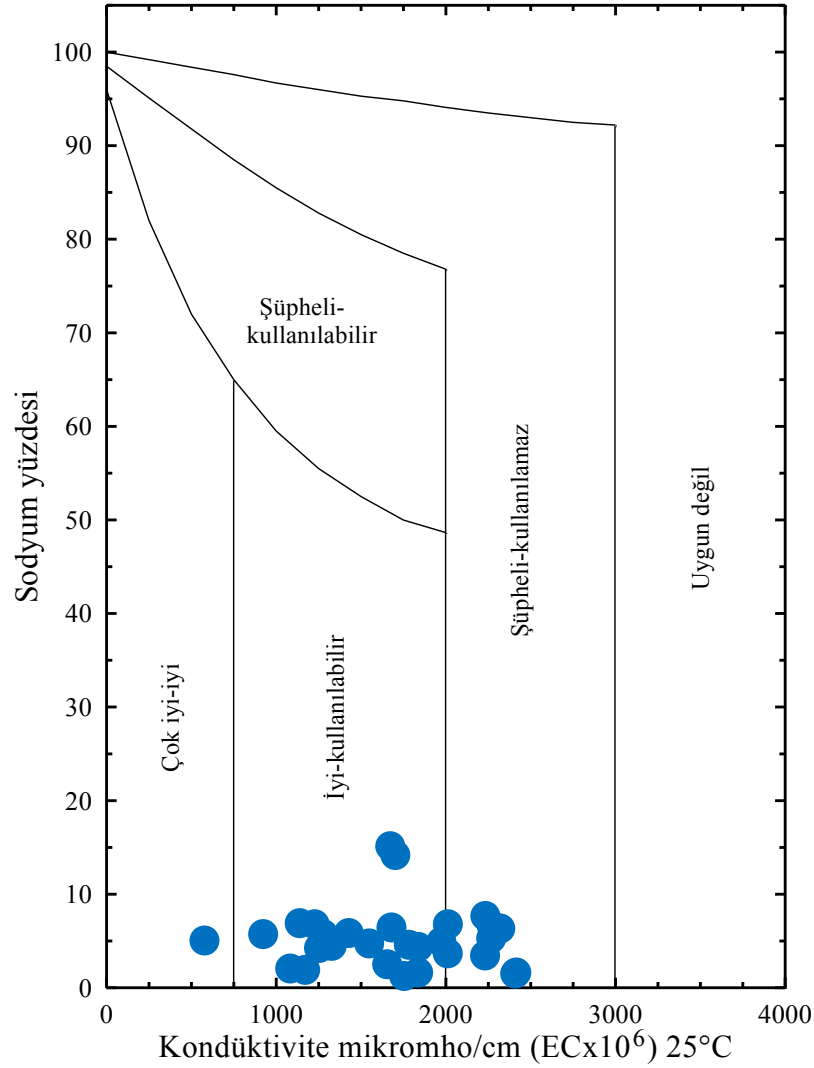
$$\% Na = (rNa+rK)*100 / (rCa + rMg + rNa + rK) \quad (6.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

İnceleme alanının suları Wilcox diyagramına yerleştirildiğinde Kayapınar ve Pınarbaşı kaynak suları ile 20019 nolu sondaj suyu “Çok iyi-iyi”, 39334 nolu kuyu



suyu “şüpheli-kullanılmaz), diğer sular ise “İyi-kullanılabilir” sulama suyu sınıfına girmektedir (Şekil 6.1, Tablo 6.2).

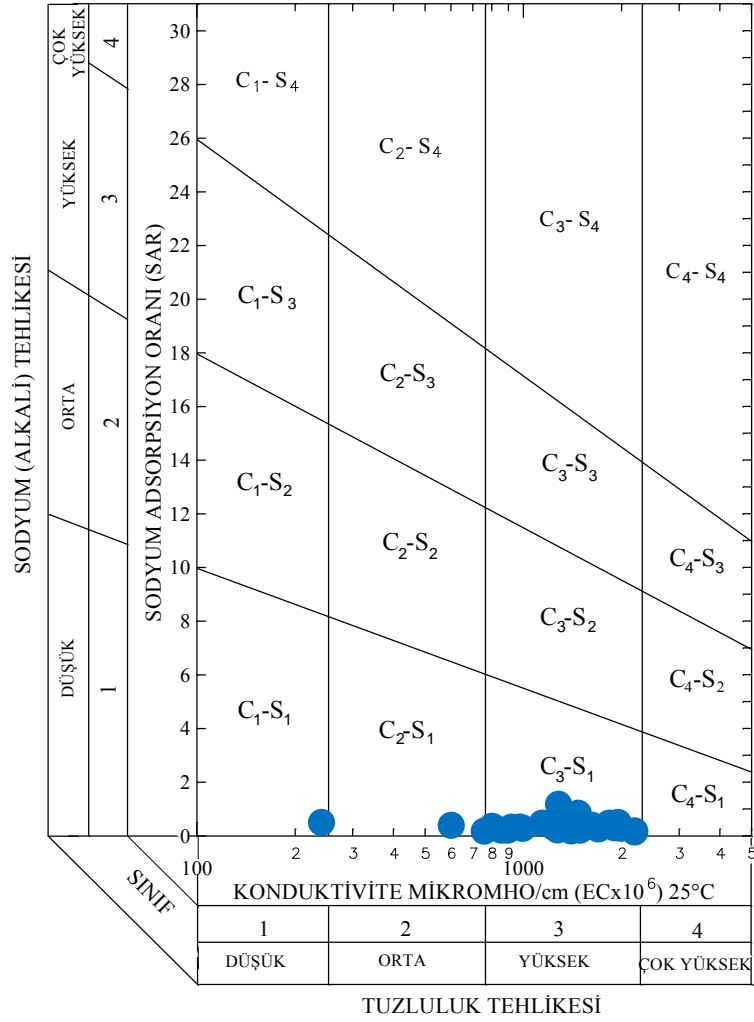


Şekil 6.1: Wilcox diyagramında inceleme alanı sularının dağılımı.

### ***ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı***

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarında sular SAR ve EC değerlerine göre 16 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 6.2). Bu diyagramda çalışma alanındaki sulardan Kayapınar kaynağı suyu C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub> sınıfındadır. Yani, her toprakta, sodyum tehlikesi yaratmadan tüm bitkilerin sulanmasına uygundur. Pınarbaşı kaynağı ve 20019 nolu sondaj kuyusu suları C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfındadır. Bu suyla orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir. Diğer sular C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfındadır. Bu sular akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada

kullanılmaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.



**Şekil 6.2:** ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında inceleme alanı sularının dağılımı.

C<sub>1</sub>: Az tuzlu sular. Her toprakta tüm bitkilerin sulanmasına uygundur.

C<sub>2</sub>: Orta tuzlu sular. Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

C<sub>3</sub>: Tuzlu sular. Akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılmaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.

S<sub>1</sub>: Az sodyumlu sular. Hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.

**Tablo 6.2:** Suların Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarına göre sulama suyu sınıfları.

No	EC	%Na	Sulama suyu sınıfı	SAR	Sulama suyu sınıfı
1	234	4,87	Çok iyi-iyi	0,363	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>
2	1964	6,54	İyi-kullanılabilir	0,477	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
3	1892	3,28	İyi-kullanılabilir	0,217	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
4	1715	3,77	İyi-kullanılabilir	0,251	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
5	1890	7,56	İyi-kullanılabilir	0,484	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
6	1642	4,81	İyi-kullanılabilir	0,350	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
7	1997	5,86	İyi-kullanılabilir	0,249	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
8	791	6,84	İyi-kullanılabilir	0,324	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
9	891	3,94	İyi-kullanılabilir	0,208	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
10	1102	5,63	İyi-kullanılabilir	0,433	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
11	2072	1,38	İyi-kullanılabilir	0,084	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
12	1494	1,54	İyi-kullanılabilir	0,096	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
13	1486	4,18	İyi-kullanılabilir	0,157	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
14	620	5,40	Çok iyi-iyi	0,395	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
15	844	1,75	İyi-kullanılabilir	0,105	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
16	750	2,00	Çok iyi-iyi	0,115	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
17	1953	5,11	İyi-kullanılabilir	0,394	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
18	1437	14,86	İyi-kullanılabilir	0,773	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
19	1340	6,31	İyi-kullanılabilir	0,311	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
20	2080	1,50	Şüpheli-kullanılamaz	0,088	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
21	918	6,90	İyi-kullanılabilir	0,347	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
22	1012	4,44	İyi-kullanılabilir	0,255	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
23	1414	1,21	İyi-kullanılabilir	0,075	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
24	962	5,36	İyi-kullanılabilir	0,310	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
25	1282	2,19	İyi-kullanılabilir	0,127	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
26	1437	4,51	İyi-kullanılabilir	0,189	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
27	1231	4,83	İyi-kullanılabilir	0,297	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
28	1359	15,0	İyi-kullanılabilir	1,079	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
29	1705	6,87	İyi-kullanılabilir	0,302	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>

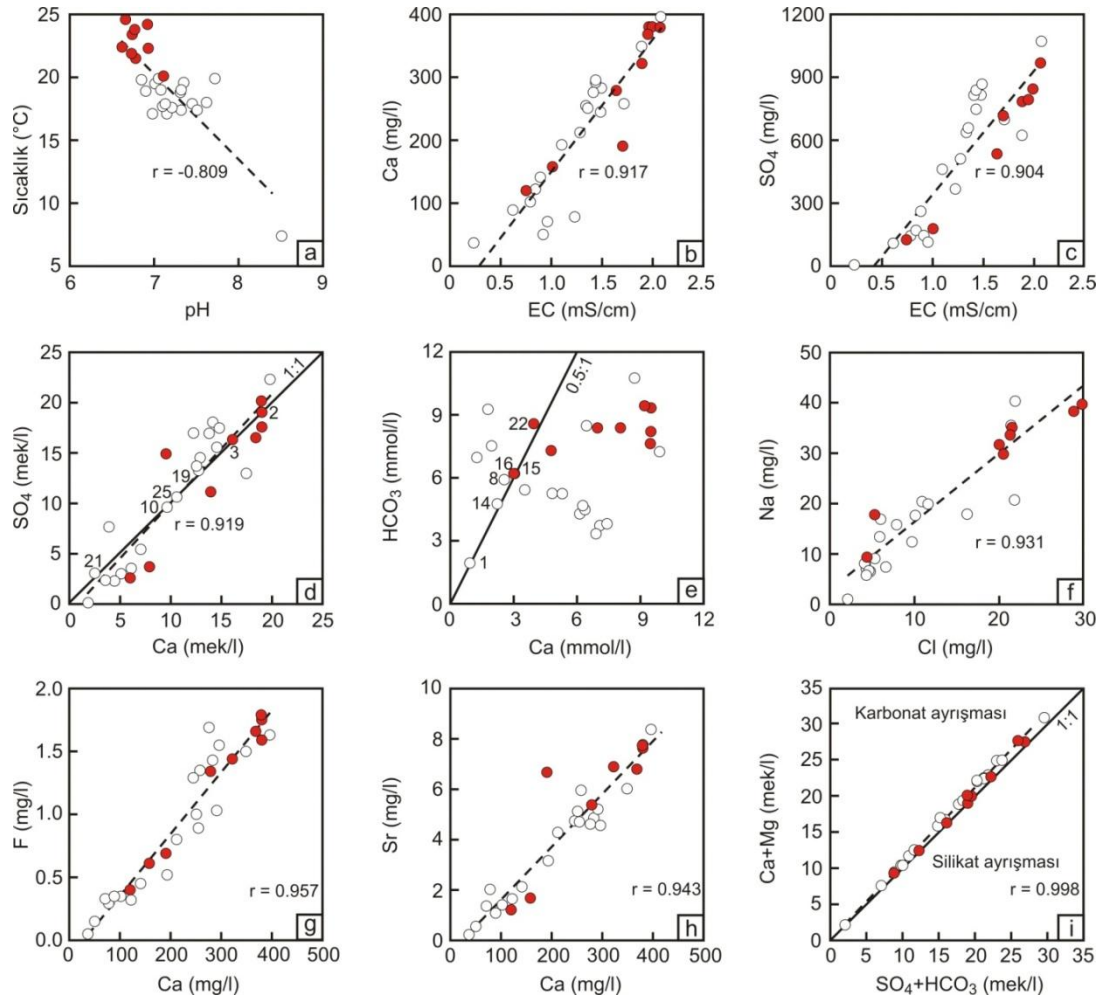
## 7. TARTIŞMA

### 7.1 Suların Kimyasal Kompozisyonu

İnceleme alanı sularının sıcaklık, pH, EC değerleri ve çeşitli iyon ve elementlerin konsantrasyonları arasındaki ilişkiler Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Suların pH değerleri sıcaklıkla güçlü bir şekilde ters orantılıdır (Şekil 7.1a). Elektriksel iletkenlik-Ca ve EC-SO<sub>4</sub> arasındaki güçlü pozitif korelasyon (Şekil 7.1b ve c), muhtemelen kalsiyum ve sülfatın ortak bir kaynaktan alındığını gösterir. Sulardaki iyon oranları suyun geldiği kayaç hakkında bilgi verebilir. Ca/HCO<sub>3</sub> molar oranı 0,5 ise suyun kireçtaşından, Ca+Mg/HCO<sub>3</sub> oranı 1 ise suyun dolomitten, Ca/SO<sub>4</sub> oranı 1 ise suyun jipslerden geldiği yorumu yapılabilir (Tablo 7.1). Şekil 7.1d’deki Ca-SO<sub>4</sub> grafiğinde 6 numune Ca/SO<sub>4</sub> molar oranı 1:1 çizgisi üzerindedir. Suların çoğunluğu da 1:1 çizgisine yakındır. İncelenen 29 suyun 18’inde katyon ve anyonların %50’den fazlasını sırasıyla Ca ve SO<sub>4</sub> iyonlarının oluşturması da suların çoğunun jipslerden veya jips içeren formasyonlardan geçtiğini gösterir.

Karbonat mineralinin çözünme ve çökeltme süreçleri, Ca ve HCO<sub>3</sub> konsantrasyonlarının değişiminde önemli bir kontrol sağlar. İnceleme alanı sularında Ca/HCO<sub>3</sub> molar oranının 0,5’e çok yakın olduğu sular CaCO<sub>3</sub> tipindeki Kayapınar, Pınarbaşı ve Böceli kaynakları ile 20019 ve 44153 DSİ nolu kuyu sularıdır (Tablo 7.1, Şekil 7.1e). Bu kaynak ve sondajların suyu Yılanlı formasyonundan geldiği için bu durum olağandır. Ca+Mg/HCO<sub>3</sub> oranı 1’e yakın olan sular Kelkaya ve Dedepınar kaynaklarıdır.

Na ve Cl iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon, nispeten derin bir dolaşıma veya bu iyonların artan sıcaklıkta yükselen derişimlerine işaret edebilir (Şekil 7.1f). Suların Ca içeriği, sıcaklıktan bağımsız olarak, hem F hem de Sr ile yüksek korelasyon gösterir (Şekil 7.1g ve h). Ca ve Sr arasındaki pozitif korelasyon büyük olasılıkla kalsiyumun stronsiyum tarafından değiştirilmesinden kaynaklanmaktadır.



**Şekil 7.1:** Suların sıcaklık, pH, EC değerleri ve çeşitli iyon ve elementlerin konsantrasyonları arasındaki ilişkiler.

Ca+Mg - SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub> diyagramında suların pozisyonları litoloji kontrollü bir eğilim tanımlar (Şekil 7.1i). Artan Ca konsantrasyonları karbonat ayrışmasına neden olurken, artan HCO<sub>3</sub> içeriği silis minerallerinin çözünmesi bikarbonat derişimini artırdığı için silikat ayrışmasının göstergesidir.

**Tablo 7.1:** İnceleme alanı suların bazı iyon oranları (molar).

Su No	Ca/HCO <sub>3</sub>	Ca/SO <sub>4</sub>	Ca+Mg/HCO <sub>3</sub>	Su No	Ca/HCO <sub>3</sub>	Ca/SO <sub>4</sub>	Ca+Mg/HCO <sub>3</sub>
1	0,476	14,479	0,562	16	0,484	2,304	0,753
2	1,159	0,998	1,769	17	0,976	1,114	1,471
3	0,961	0,986	1,578	18	1,530	0,935	2,319
4	0,761	0,887	1,474	19	1,424	0,961	2,113
5	0,811	1,344	1,164	20	1,366	0,887	2,137
6	0,833	1,252	1,196	21	0,179	0,816	0,748
7	1,018	1,081	1,479	22	0,461	2,130	0,728
8	0,432	1,688	0,806	23	2,073	0,814	3,338
9	0,649	1,297	1,080	24	0,192	1,495	0,677
10	0,920	1,003	1,515	25	1,010	0,996	1,598
11	1,243	0,941	1,959	26	1,946	0,847	2,954
12	1,901	0,783	3,088	27	0,259	0,509	1,134
13	1,432	0,721	2,639	28	1,343	0,916	2,083
14	0,468	1,942	0,801	29	0,654	0,639	1,558
15	0,492	1,712	0,842				

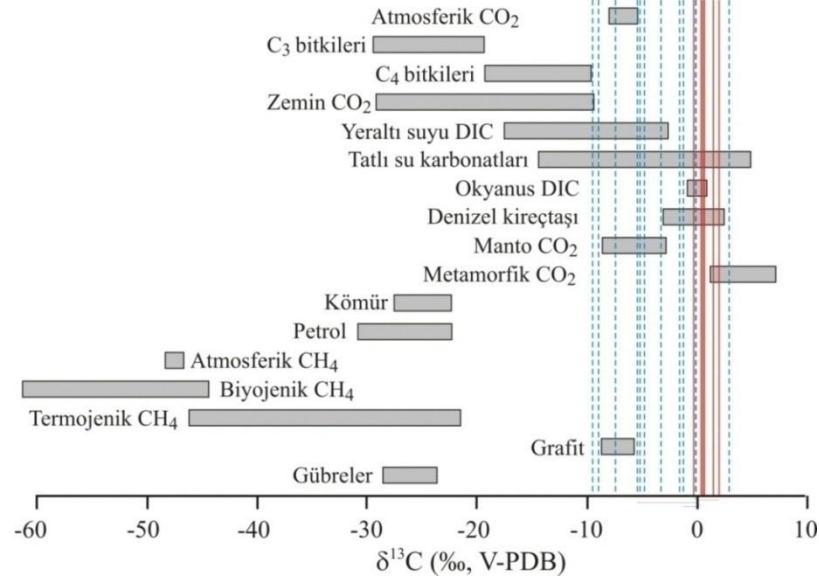
## 7.2 Suların İzotop Kompozisyonu

### 7.2.1 $\delta^{13}\text{C}$

Çeşitli ortamların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (aralıkları) Şekil 7.2’de verilmiştir. İnceleme alanı termal suları ve bir kısım soğuk suların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri ‰ -3 ile +3 aralığına düşen denizel kireçtaşları ile benzerdir ve bu sulardaki karbonun kaynağı denizel kireçtaşlarıdır. Ancak 44153 nolu su ve Kelkaya kaynağı metamorfik CO<sub>2</sub> alanına da düşmektedir; bu da olasılıkla ve az miktarda da olsa karbonat kayaların yüksek sıcaklık ve basınç altındaki metamorfizmasından türeyen bir karbon kaynağına da işaret edebilir.

Ballık travertenlerindeki stronsiyum ve duraylı oksijen-karbon izotop izleri derin kökenli ve ağır karbon içeren paleoakışkanlar ile sıg kökenli ve hafif karbon içeren paleoakışkanların karışımına işaret etmektedir ( $\delta^{13}\text{C}$ = ‰-3,8 ile +2,6 arasında), (Claes ve diğ. 2015). Böylece Ece ve Faber travertenleri, su sıcaklığından bağımsız olarak, derin kökenli önemli bir su bileşeninin çökeltme işlemine dahil olduğu endojenik travertenler olarak kabul edilebilir (Crossey ve diğ. 2006).

İncelenen sulardaki negatif karbon izotop değerleri biyojenik zemin karbondioksidi gibi organik bir kaynağa (‰ -12) ya da atmosferik karbondioksit (‰ -6 ve ‰ -7 arası) bağlanabilir.



**Şekil 7.2:** Çeşitli ortamların δ<sup>13</sup>C değerleri. Kırmızı çizgiler sıcak, maviler soğuk suları gösterir (Clark ve Fritz, 1997'den modifiye edilmiştir).

### 7.2.2 <sup>34</sup>S ve δ<sup>87</sup>Sr

Kükürdün çeşitli oksidasyon durumları (-2 ila +6) nedeniyle, jeolojik birimlerdeki δ<sup>34</sup>S oranları geniş bir aralıkta, ‰ -50 ila ‰ +50 arasında değişmektedir (Krouse ve Mayer 2000; Izbicki ve diğ. 2005). Sulardaki sülfatın sülfat minerallerinin çözünmesi (örneğin alçıtaşı), sülfat minerallerinin oksidasyonu (örneğin pirit), H<sub>2</sub>S gazının oksidasyonu ve biyolojik aktivite gibi birden fazla kaynağı vardır. Diğer bir sülfat kaynağı olan güncel deniz suyu ‰ +20 ile homojen bir δ<sup>34</sup>S değerine sahiptir (Krouse 1976). Denizel sedimentlerin δ<sup>34</sup>S (SO<sub>4</sub>) değeri çökme zamanlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir: bu değerler Paleozoyik ve Mesozoyik için ‰ +10 ile ‰ +30 arasında ve Tersiyer çökelleri için ‰ +20'dir. Magmatik kükürt, ‰ +5 ve -5 arasında dar bir δ<sup>34</sup>S değeri ile temsil edilir (Clark ve Fritz 1997). Öte yandan, kükürdün indirgenmesi negatif δ<sup>34</sup>S değerleri üretir.

Suların δ<sup>34</sup>S(SO<sub>4</sub>)-δ<sup>18</sup>O(SO<sub>4</sub>) diyagramı termal sulardaki sülfatın Devoniyen-Alt Triyas yaşlı bir kaynaktan geldiğine işaret etmektedir (Şekil 4.4). Gündoğan ve

diğ. (2008) Honaz'ın doğusunda Sandak birimi içindeki jips yataklarından aldıkları örneklerde  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  izotop oranlarını belirlemişler ve jipsler için Geç Triyas yaşını elde etmişlerdir. İnceleme alanı sularındaki  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri Gündoğan ve diğ. (2008)'nin jipslerde buldukları  $\delta^{34}\text{S}$  değerlerine (15,01-18,1) yakındır (Tablo 4.4). Jeolojik zamanlar boyunca denizel sülfatın  $^{34}\text{S}$  ve  $^{18}\text{O}$  değerlerindeki değişim Şekil 7.3'de verilmiştir. Sandak birimi içindeki jipslerin  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri (Gündoğan ve diğ. 2008) ile inceleme alanı sularının  $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$  ve  $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$  değerleri bu diyagram üzerine düşürüldüğünde hem suların, hem de jipslerin bu izotop değerlerince Triyas denizel sülfat eğrisiyle çakıştığı görülmektedir. Buradan, izotop analizi yapılan suların çoğunluğundaki sülfatın kökeninin Honaz jipsleri olduğu anlaşılmaktadır.

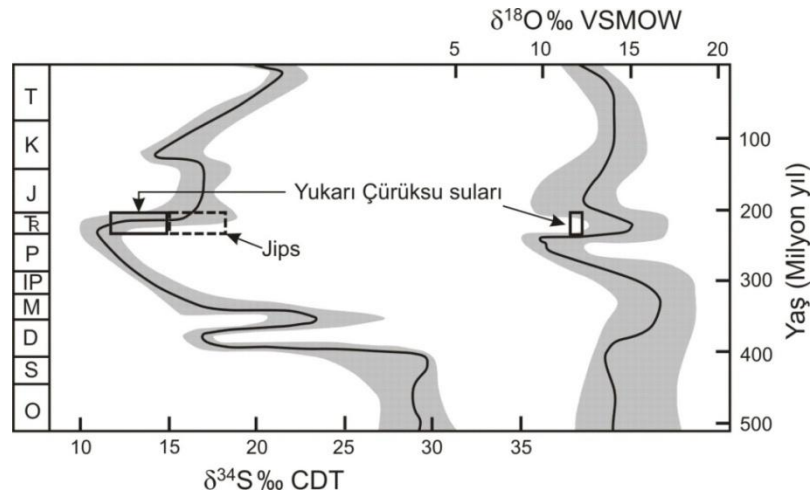
Sandak birimi içindeki jipslerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranları 0.707761-0.707772 arasındadır (Gündoğan ve diğ. 2008). İnceleme alanındaki 6 nolu İçgöl termal kaynağının (Kaklık mağarası) yaklaşık 3 km KB'sında yer alan Ballık travertenlerinde yapılan çalışmada (Ece ve Faber ocakları) travertenlerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranları 070785 ile 070792 arasında bulunmuştur (Claes ve diğ. 2015). Çakmak ocağı travertenlerinde de benzer değerler elde edilmiştir (El Desouky ve diğ. 2015).

Travertenlerin Sr izotopik bileşimi, çözünmüş ana karbonat kaynaklarının imzasını yansıtmaktadır (Minissale ve diğ. 2002). El Desouky ve diğ. (2015), travertenlerin ve olası kaynak kayaların Sr izotop oran değerleri arasındaki karşılaştırmaya dayanarak ana karbonat kayanın olasılıkla Likya naplarının Triyas kireçtaşları olduğunu ileri sürmüştür.

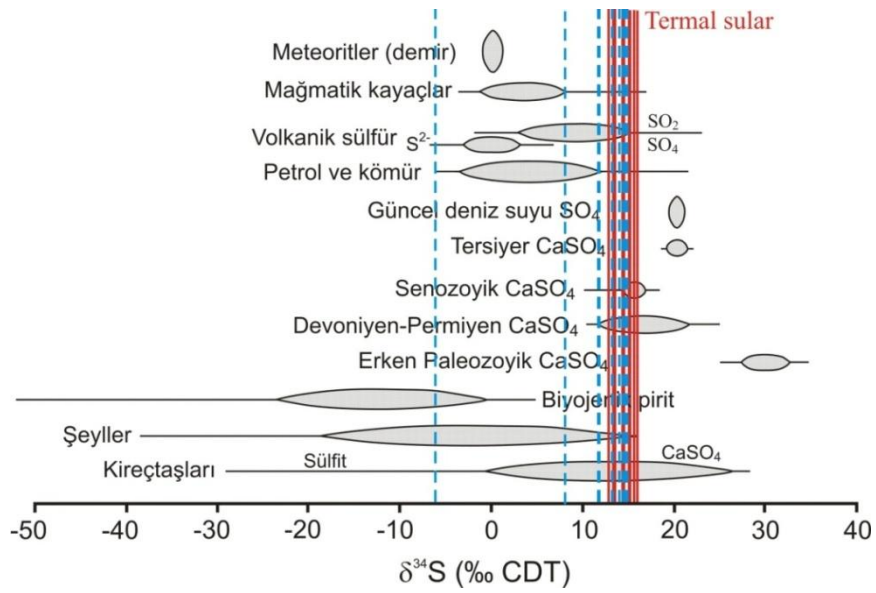
Jips ve anhidrit minerallerine sadece büyük evaporit yataklarında rastlanmaz. Bu mineraller kireçtaşı ve dolomitlerin katman yüzeylerinde minör sülfat nodülleri ve laminaları şeklinde de bulunabilir (Clark ve Fritz, 1997). Saf suda jips çözündüğünde sudaki molar  $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$  oranı 1'e eşit olur. Bu oran sudaki sülfatın kökenini belirlemede yardımcı olur (örn. deniz suyunda bu oran 0,36'dır). İnceleme alanında  $\text{Ca}/\text{SO}_4$  oranı (mol/l) 1 civarında olan  $\text{Ca}-\text{SO}_4$  tipindeki suların sayısı oldukça fazladır (Ağapınar, Çayırılık, Çamurlu, Höyük, Kokarsu, Halkabaşı kaynakları ve 33278, 37265, 37266, 39334, 49467 nolu kuyu suları). Jipslerden gelen suların molar  $\text{Ca}/\text{SO}_4$  oranı da 1'dir. Havzanın hem güney-güneydoğusu, hem de kuzey kesiminde de yüksek Ca ve  $\text{SO}_4$  miktarına sahip sular vardır. Şekil 7.4, sularındaki sülfatın kaynağı olarak kireçtaşlarına ve kısmen de volkanik sülfürün



oksitlenmesine işaret etmektedir. Suların  $\text{Ca}/\text{SO}_4$  oranları, traverten ve Likya naplarının (Sandak birimi) karbonatlı kayaçlarındaki  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranları göz önünde alındığında sulardaki Ca ve özellikle  $\text{SO}_4$ 'ın başlıca kökeninin Sandak birimindeki jips içeren dolomit ve kireçtaşlarının yıkanması (su-kaya etkileşimi) olduğu söylenebilir. Bunun dışında derinlerden gelen  $\text{H}_2\text{S}$  gazının oksitlenmesi (sulardaki çürük yumurta kokusu  $\text{H}_2\text{S}$  gazının varlığını gösterir) ve Neojen birimleri içindeki jipslerin çözünmesi sulardaki sülfatın diğer kaynaklarıdır.



**Şekil 7.3:** Jeolojik zamanlar boyunca denizel sülfatın  $^{34}\text{S}$  ve  $^{18}\text{O}$  değerleri (Clark ve Fritz, 1997'den modifiye edilmiştir).



**Şekil 7.4:** Çeşitli jeolojik ortamların  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri. Kırmızı çizgiler sıcak, maviler soğuk suları gösterir (Clark ve Fritz, 1997'den modifiye edilmiştir).

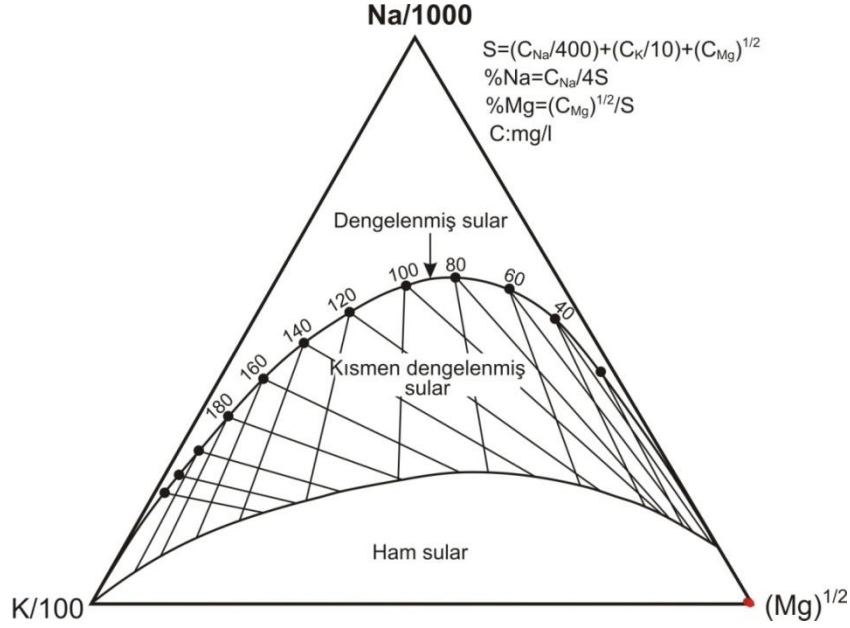
### 7.3 Rezervuar Sıcaklığının Tahmini

Çürüksu termal suları için kalsedon jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklıklar 38-52°C aralığında gruplanmıştır ve gerçekçi bir rezervuar sıcaklığı için alt sınır olarak kabul edilebilir. Ancak, Neojen birimleri içinde yaygın olarak kil ve killi litolojilerin bulunması, çakıltaşlarındaki ultrabazik bileşenler ve suların karışımı sulardaki silis miktarını etkileyebilir. Bu nedenle silis jeotermometreleri ile hesaplanan değerlere ihtiyatla yaklaşmak gerekir.

Rezervuar sıcaklığının tahmini için geliştirilen ampirik jeotermometre bağıntıları (Na-K, Na-Li, Mg-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca, Na-K-Ca jeotermometreleri gibi) suda fazla miktarda  $Ca^{++}$  iyonu bulunuyorsa, rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. 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 (Şahinci, 1991).

Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem rezervuar sıcaklıkları hem de su-kayaç denge durumu belirlenebilir (Şekil 7.5). 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. Bu nedenle Na-K gibi katyon jeotermometreleri ile elde edilen 200-250°C civarındaki rezervuar sıcaklıkları gerçeği yansıtmaz.



**Şekil 7.5:** Giggenbach diyagramı (Giggenbach, 1988).

Sonuç olarak  $^{18}O(SO_4-H_2O)$  jeotermometresinden elde edilen 76-81°C, Li jeotermometresi ile hesaplanan 80-88°C sıcaklıklar (Ca-HCO<sub>3</sub> tipindeki sular hariç), kalsedon, kuvars jeotermometreleri ve mineral denge diyagramlarından elde edilen 50-80°C sıcaklıklar genellikle birbiriyle uyumludur. Bu durumda Çürüksu termal suları için 60-80°C aralığında bir rezervuar sıcaklığı uygun görünmektedir.

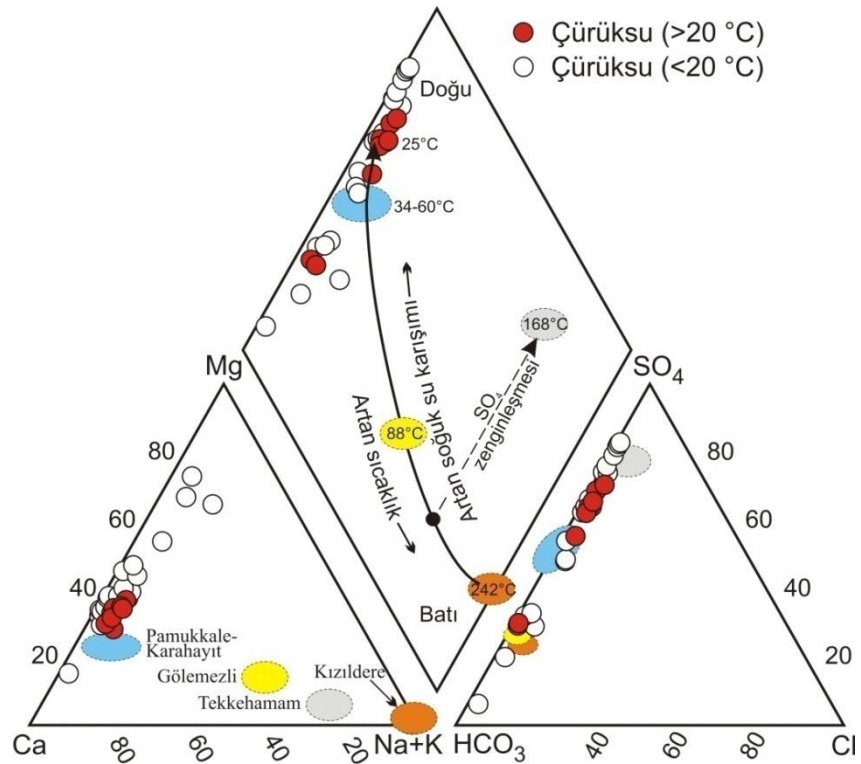
#### 7.4 Yukarı Çürüksu Jeotermal Alanı

Denizli ili jeotermal havzalarından bazılarının sıcaklık ve kimyasal kompozisyonları Piper diyagramına yerleştirildiğinde batıdan doğuya Kızıldere sahası ile Yukarı Çürüksu Havzası'nın iki uç noktayı oluşturduğu ve batıdan doğuya doğru düşen sıcaklık ve artan soğuk su karışımını belgelediği görülmektedir (Şekil 7.6). Bu sıralama Şekil 7.7'de de gözlenmektedir. Jeotermal sular, doğudan batıya artan sıcaklıkla daha pozitif  $\delta^{18}O$  içeriklerine sahiptirler.

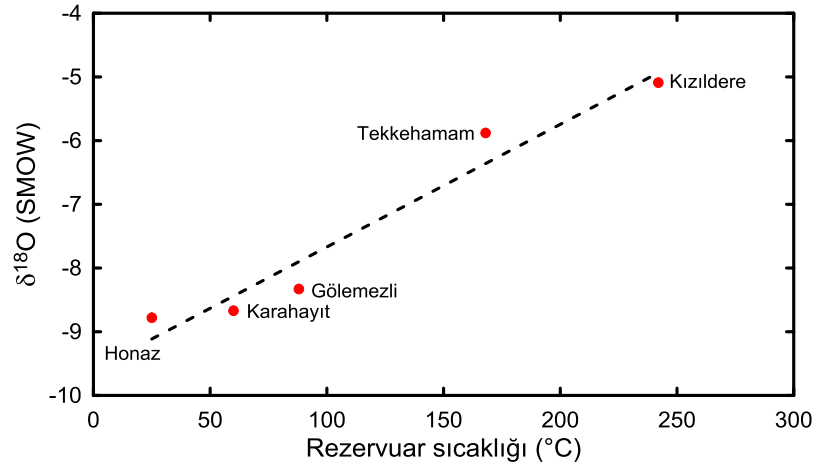
Honaz Fay Zonu ve civarındaki yüksek sismik aktivite, geniş yayılım sunan alüvyon yelpazeleri, fay önündeki sıcak su travertenleri, soğuk yeraltı sularında gözlenen jeotermal su katkısı, sulardaki H<sub>2</sub>S gazı varlığı gibi belirtiler Honaz fayı ve yöredeki diğer fayların halen aktif olduğunu göstermektedir. Yukarı Çürüksu havzası

sularının eş sıcaklık haritası Şekil 2.2’de verilmiştir. Su sıcaklıkları graben kenarlarında yüksektir ve graben ortasına doğru giderek azalmaktadır. En yüksek ve en düşük su sıcaklıkları arasındaki fark 7,5 °C’dir.

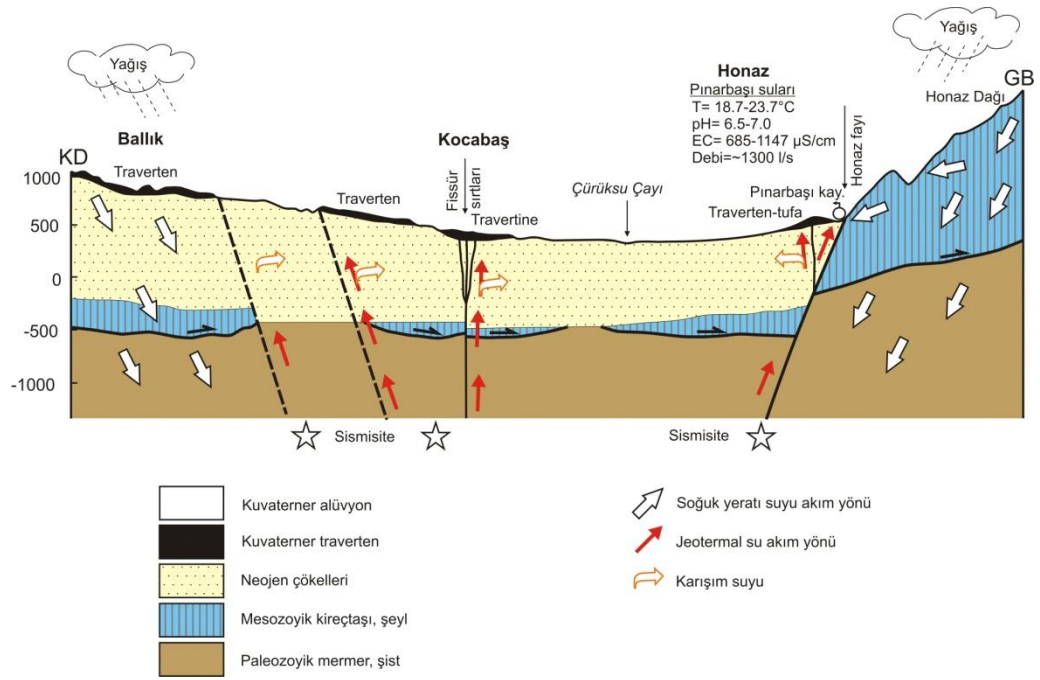
İnceleme alanında travertenler yüzeyde ve alüvyon altında (DSİ sondaj verilerine göre) oldukça geniş alanda gözlenir. Bölüm 7.2.2’de çeşitli araştırmacılar tarafından havzadaki travertenlerin sıcak su travertenleri olduğu belirtilmiştir. Travertenleri çökelten suların paleosıcaklığının 22-39°C arasında olduğu saptanmıştır (Özkul ve diğ. 2013). Ece ve Faber traverten ocaklarında ise bu sıcaklığın maksimum 46 °C’ye kadar yükseldiği belirlenmiştir (Claes ve diğ. 2015). Bu veriler Yukarı Çürüksu Havzası’nda geçmişte de yüksek debili ve karbonatça doymun jeotermal suların varlığına işaret etmektedir. Sonuç olarak havzada, derinlerde olasılıkla düşük sıcaklıklı bir jeotermal kaynaktan jeotermal akışkanın faylar yoluyla yüzeye doğru yükselerek soğuk yeraltı sularına karıştığı söylenebilir. Buna ilişkin kavramsal model Şekil 7.8’de verilmiştir.



**Şekil 7.6:** Denizli ilindeki bazı jeotermal sahaların kimyasal kompozisyonları ve sıcaklıkları (Kimyasal kompozisyonlar Kızıldere için MTA (2005), Yaman ve Özgür (2005); Pamukkale için Özkul ve diğ. (2013); Gölemezli için Alçiçek ve diğ. (2016) ve Tekkehamam için Avşar ve Altuntaş (2017)’den alınmıştır).



Şekil 7.7: Denizli ilindeki bazı jeotermal suların sıcaklık - δ<sup>18</sup>O grafiği.



Şekil 7.8: Yukarı Çürüksu Havzası'nın şematik kavramsal hidrojeolojik modeli (Özkul ve diğ. 2013).

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanının temelini Permiyen yaşlı Honaz şeyli, Menderes Masifi'nin Mesozoyik-Alt Tersiyer yaşlı rekristalize kireçtaşları, Alt Triyas-Kretase yaşlı jips içeren dolomit, kireçtaşı ve ofiyolit birimleri oluşturur. Senozoyik yaşlı birimler çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşından oluşur. Kuvaterner, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenler ile temsil edilir. İnceleme alanındaki D-B ve KB-GD doğrultulu faylar sıcak su çıkışlarını kontrol eder.

İnceleme alanı sıcak sularının rezervuar kayacı olasılıkla Menderes masifinin karbonatlı kayaçlarıdır. Senozoyik yaşlı kayaçların geçirimsiz birimleri örtü kayayı oluşturur. Sistemin beslenme alanına düşen yağış suları derinlere süzülerek jeotermal gradyanla ısınmakta ve faylar aracılığıyla yüzeyleyerek sıcak su kaynaklarını oluşturmaktadır. Sıcak sular yüzeye yükselirken değişik oranlarda soğuk yeraltısuları ile karışmaktadır.

İnceleme alanındaki suların sıcaklıkları 17,1 ile 24,6 °C, elektriksel iletkenlikleri 750 ile 2080  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve pH değerleri 6.62-7.72 arasında değişmektedir. Sıcaklığı 20°C'den fazla olan sular genellikle Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipindedir.

Suların  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰-52,29 ile -58,06 ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri ‰-7,69 ile -9,27 arasında olup meteorik kökenlidirler. Düşük trityum değerleri termal suların yeraltındaki sirkülasyon sürelerinin 50 yıldan fazla olduğuna işaret etmektedir. Termal suların  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  (DIC) değerleri, sulardaki kükürdün kaynağının Triyas yaşlı dolomitler içindeki jipsler, karbonun kaynağının ise denizel kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Ancak olası olarak derinlerden gelen mağmatik ve/veya metamorfik CO<sub>2</sub> ile H<sub>2</sub>S gazının katkısı da olabilir.

PhreeqC bilgisayar programı ile yapılan hesaplamalarda, örnekleme sıcaklığı ve pH'ında, Yukarı Çürüksu Havzası termal sularının kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerince doymun oldukları belirlenmiştir.

İnceleme alanı sıcak sularına uygulanan SiO<sub>2</sub>, Li ve <sup>18</sup>O(SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O) jeotermometre sonuçları değerlendirildiğinde 60-80°C arasında bir rezervuar sıcaklığı öngörülmektedir.

Bu çalışmada örneklenen sulardan TSE266 içme suyu standardına göre sadece 1, 21, 24 ve 26 nolu sular içilebilir özelliktedir. Diğer sular standartlarda verilen limit değerlerin üzerindeki sülfat, arsenik ve florür değerleri nedeniyle içilmez niteliktedir.

İnceleme alanı suları sulama suyu olarak genellikle C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfındadır. Bu sular akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir. Wilcox sınıflamasına göre suların çoğunluğu “iyi-kullanılabilir” sınıfta iken EC değeri 2000 µS/cm’den fazla olan sular “şüpheli-kullanılamaz” sular sınıfındadır.

İnceleme alanının jeotermal enerji açısından düşük sıcaklıklı olsa da bir potansiyeli vardır. Jeoloji, hidrojeoloji ve hidrokimya çalışmalarının jeofizik verilerle desteklenerek belirlenecek nokta veya noktalarda derin sondajlar açılarak kaplıca için yeterli sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilmesi yerel ekonomiye katkı sağlayacaktır.

## 9. KAYNAKLAR

Alçiçek, H., Bülbül, A. and Alçiçek, M.C., “Hydrogeochemistry of the thermal waters from the Yenice Geothermal Field (Denizli Basin, southwestern Turkey)”, *J Volcanol Geoth Res*, 309, 118–138, (2016).

Arnórsson, S., Sigurdsson, S. and Svavarsson, H., “The chemistry of geothermal waters in Iceland I. Calculation of aqueous speciation from 0 °C to 370 °C”, *Geochim. Cosmoch. Acta*, 46, 1513-1532, (1982).

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).

Avşar, Ö. and Altuntaş, G., “Hydrogeochemical evaluation of Umut geothermal field (SW Turkey)”, *Environ Earth Sci* 76, 582, (2017).

Aydan, Ö., Kumsar, H. and Tano, H., “Multiparameter changes in the earth’s crust and their relation to earthquakes in Denizli region of Turkey”, In Proceedings of the World Geothermal Congress Antalya, Türkiye, pp: 1–10, (2005).

Bernoulli, D., Graciansky, P.C. and Monod, O., “The extension of the Lycian Nappes (SW Turkey) into the Southeastern Aegean Islands”, *Eclogae Geol. Helv.*, 67, 39-90, (1974).

Bozkurt, E., “Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications”. In: Bozkurt E, Winchester JA, Piper JDA (eds) Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society of London, Special Publication no. 173, pp 385-403, (2000).

Bozkurt, E., “Neotectonics of Turkey – A synthesis”, *Geodinamica Acta*, 14, 3–30, (2001).

Bozkuş, C., Kumsar, H., Özkul, M. and Hançer, M., “Seismicity of active Honaz fault under an extensional regime”, International Earth Science Colloquium of the Aegean Region (IESCA), İzmir, Turkey, 7–12, (2001).

Calmbach, L., AquaChem Computer Code-Version 3.7.42. Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ont., Canada N2L 3L3., (1997).



Claes, H., Soete, J., Van Noten, K., El Desouky, H., Erthal, M.M., Vanhaecke, F., Özkul, M. and Swennen, R., “Sedimentology, three-dimensional geobody reconstruction and carbon dioxide origin of Pleistocene travertine deposits in the Ballık area (south-west Turkey)”, *Sedimentology*, 62, 1408–1445, (2015).

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

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

Cortecchi, 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).

Crossey, L.J., Fischer, T.P., Patchett, J.P., Karlstrom, K.E., Hilton, D.R., Newell, D.L., Huntoon, P., Reynolds, A.C. and de Leeuw, G.A.M., “Dissected hydrologic system at the Grand Canyon: interaction between deeply derived fluids and plateau aquifer waters in modern springs and travertine”, *Geology*, 34, 25–28, (2006).

Çakır, Z., “Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition; examples from western Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8(1), 67-80, (1999).

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

Ekingen, A., *Denizli-Dereköy gravite etüdü*. MTA Genel Md., Rapor No. 4190, Ankara, (1970).

El Desouky, H., Soete, J., Claes, H., Özkul, M., Vanhaecke, F. and Swennen, R., “Novel applications of fluid inclusions and isotope geochemistry in unraveling the genesis of fossil travertine systems”, *Sedimentology*, 62, 27-56, (2015).

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S. and Elmacı, H., 1:250.000 scale active fault map series of Turkey, Denizli (NJ 35-12) Quadrangle. Serial number:

12, General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey, (2011).

Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M.A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M., “Fethiye-Köyceğiz-Tefenni-Elmalı- Kalkan arasında kalan alanın jeolojisi”, (eds: Güven, A., Dinçer, A., Derman, A.S.), Türkiye Altıncı Petrol Kong., Jeoloji Bildirileri, Ankara, 23-32, (1986).

Ercan, T., Günay, E. ve Baş, H., “Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 153-160, (1983).

Erişen, B., Denizli – Dereköy Sahasının Jeolojik Etüdü ve Jeotermal Enerji İmkanları, M.T.A. Rapor No:4665, Ankara, (1971).

Faure, G., Principles of Isotope Geology, J. Wiley & Sons, (1986).

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

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

Gatt, J.R. and Carmi, I., “Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea”, *J. Geophys. Res.*, 75, 3032-3048, (1970).

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

Giggenbach, W.F., “Chemical techniques in geothermal exploration”, In:D'amore, F. (co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR, United States of America, 119-144, (1991).

Gökgöz, A., “Pamukkale Karahayıt-Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi”, (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, (1994).

Göktaş, F., Denizli M22-b1 , M22-b2 ve M22-b3 paftalarının Jeolojisi. M.T.A. Raporu, No: 9114, İzmir, (1990).

Gündoğan, İ., Helvacı, C. and Sözbilir, H., “Gypsiferous carbonates at Honaz Dağı (Denizli): First documentation of Triassic gypsum in western Turkey and its tectonic significance”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 32, 49–65. (2008).

Hakyemez, Y.H., “Geology and stratigraphy of the Cenozoic sedimentary rocks in the Kale-Kurbalık area, Denizli-southwestern Turkey”, *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin*, 109, 1-14, (1989).

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

İTASHY, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 17.02.2005, 25730 sayılı resmi gazete, Ankara, (2005).

Izbicki, J.A., Christensen, A.H., Newhouse, M.W. and Aiken, G.R., “Inorganic, isotopic, and organic composition of high-chloride water from wells in a coastal southern California aquifer”, *Appl. Geochem.*, 20, 1496-1517, (2005).

Jackson, J.A., “Active tectonics of the Aegean region” *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22, 239–271, (1994).

Karakuş, H. and Şimşek, Ş., “Tracing deep thermal water circulation systems in the E–W trending Büyük Menderes Graben, western Turkey”, *J Volcanol Geoth Res.*, 252, 38-52, (2013).

Kastelli, M., Denizli Vilayeti güneyinin jeolojik incelemesi ve jeotermal alan olanakları. M.T.A. Rapor No.5199, Ankara, (1971).

Kaymakçı, N., “Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 207–222, (2006).

Kendall, C. and Caldwell, E.A., “Fundamentals of isotope geochemistry”, (eds: C. Kendall and J.J. McDonnell), Isotope tracers in catchment hydrology. (4. press) (51-84). Elsevier, The Netherlands, p.839, (1998).

Koçyiğit, A., “Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1-16, (1984).

Koçyiğit, A., “Denizli Graben-Horst System and the eastern limit of the west Anatolian continental extension: Basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey”, *Geodinamica Acta*, 18, 167–208, (2005).

Koçyiğit, A. and Deveci, Ş., “A N–S-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement age of the extensional neotectonic period in the Isparta Angle, SW Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 391–416, (2007).

Konak, N., Akdeniz, N. and Öztürk, E.M., “Geology of the south of Menderes Massif”, Guide Book for the Field Excursion along Western Anatolia, Turkey, 42-53, (1987).

Konak, N. and Şenel, M., Geological map of Turkey. Denizli sheet 1:500 000. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (2002).

Krouse, H.R., “Sulphur isotope variations in thermal and mineral waters”, (eds: Cadek, J., Paces, T.), Proceedings International Symposium on Water-Rock Interaction, 343-347, (1976).

Krouse, H.R. and Mayer, B., “Sulphur and oxygen isotopes in sulphate”, (eds: Cook, P., Herczeg, A.L.), Environmental tracers in subsurface hydrology, Kluwer Academic Publishers, Boston, 95-231, (2000).

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

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).

Meşhur, M. ve Akpınar, M., Yatağan-Milas-Bodrum ve Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas civarlarının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Arama Grubu Rap., 1963, (1984).

Minissale, A., Kerrick, D.M., Magro, G., Murrell, M.T., Paladini, M., Rihs, S., Sturchio, N.C., Tassi, F. and Vasseli, O., “Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome(Italy): Structural, hydrologic and paleoclimatologic implications”, *Earth Planet Sci. Lett.*, 203, 709-728, (2002).

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).

Okay A.İ., “Denizli’nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya naplarının jeolojisi”, *MTA Dergisi*, 109, 45-58, (1989).

Önhon, E., Ertan, I., Güler, S., Nazik, M. and Kaplan, A., Research on the origin of the karst waters in Yukarı Çürüksu plain using isotope techniques. DSİ Raporu, Ankara, (1988).

Özdamar, A.R., Denizli-Honaz-Kızılyer sulama kooperatifi ilave saha hidrojeolojik etüd raporu. DSİ Raporu, DSİ 21. Bölge Md., Aydın, (1991).

Özkaymak, Ç., “Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications”, *Geodinamica Acta*, 27, 2-3, 109-128, (2015).

Özkul, M., Varol, B. and Alçiçek, M.C., “Depositional environments and petrography of the Denizli travertines”, *MTA Dergisi*, 125, 13–29, (2002).

Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Fórizs, I., Németh, T., Chang, Y.W. and Alçiçek, M.C., “Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data”, *Sedimentary Geology*, 294, 179-204, (2013).

Özler, H.M., “Büyük Menderes Havzası Yukarı Çürüksu kesiminin hidrojeoloji incelemesi”, (Doktora Tezi), İstanbul Üniv., (1996).

Özler, H.M., “Water Balance and Water Quality in the Çürüksu Basin in Western Turkey”, *Hydrogeology Journal*, 7(4), 405-418, (1999).

Özler, H.M., “Hydrogeology and geochemistry in the Çürüksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey”, *Environmental Geology*, 39(10), 1169-1180, (2000).

Özpinar, Y., “Denizli-Acıpayam Batısının Jeolojik, Petrografik ve Kimyasal İncelemesi”, (Doktora Tezi), K.T.Ü., (1987).

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 pp., (1999).

Pekuz, Ü., “Denizli (Honaz) Doğusunda Yeralan Oligosen Yaşlı Molas Tipi Kırıntılı Tortulların Tektono-Sedimanter Özellikleri”, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 22, 1-2, 185-194, (2007).

Poisson, A., “Resherches geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie)”, (Doktora Tezi), Paris-Sud Üniversitesi (Centre D'Orsay), (1977).

Reed, M.H. and Spycher, N.F., “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).

Sözbilir, H., “Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey”, *Geodinamica Acta*, 15, 277-288, (2002).

Sun, S., Denizli-Uşak arasının jeolojisi ve linyit olanakları. MTA Raporu, Rapor No:9985, Ankara, 92 s., (1990).

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

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., “Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study”, (eds: K.T. Biddle, N., Christie-Blick), Strike-slip faulting and basin formation Society of Economic Paleontologists Mineralogists Special Publications, 37, 227-264, (1985).

Şimşek, Ş., “Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları”, *İ.Ü. Yer Bil. Fak. Yayın Organı*, 3, 145-162, (1984).

Şimşek, Ş., “Research on isotope techniques for exploitation of geothermal reservoirs in Western Turkey”, In:Use of isotope techniques to trace the origin of acidic fluids in geothermal systems, IAEA TECDOC Publication, Vienna, 155-169, (2005).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 82, 89-127, (1974<sup>a</sup>).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 83, 145-178, (1974<sup>b</sup>).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 85, 45-67, (1975).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojen’ine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme”, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara,54-79, (2001).

Taymaz, T., Jackson, J. A. and McKenzie, D., “Active tectonics of the north and central Aegean Sea”, *Geophysical Journal International*, 106, 433–490. (1991).

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 s, (2005).

## 10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Ali AKMAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli, 06.01.1987

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : mehmetaliakman@yandex.com

İletişim Adresi : Çamlaraltı Mahallesi, 6090 Sokak No:26/11  
Pamukkale-DENİZLİ