



## ÖZDERE (İZMİR) JEOTERMAL KAYNAĞININ HİDROJEOKİMYASI VE DENİZ SUYU İLE İLİŞKİSİ

Can BAŞARAN\*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Hidrojeokimya, Deniz Suyu, Karışım, Özdere, İzmir.</i>	<p>Bu çalışmada Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yüzeyleyen termal su örneğinin hidrojeokimyasal özellikleri ile etkileşimde olduğu deniz suyu ile olan ilişkisi incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma alanı Menderes ilçesi'nin onaylı tek turizm bölgesi olan ve İzmir iline 45km mesafedeki Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yer almaktadır. Menderes metamorfikleri içerisindeki mermer merccekleri ile alüvyon bölgedeki sular için rezervuar kayaç özelliğindedir. Yeraltına süzülen soğuk sular, fay ve çatlaklar boyunca hareket ederek ısınmakta, fayların kesim noktası olarak düşünülen bir zon üzerinde yüzeylenmektedir. Bu esnada gerek su kayaç etkileşimi gerekse deniz suyu karışımına bağlı olarak güncel kompozisyonlarını kazanmaktadır. İncelenen termal kaynak ve deniz suyu örnekleri Na-Cl, soğuk su örnekleri ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimlidir. Su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan ana mekanizmalar su-kayaç etkileşimi ve buharlaşma/kristalizasyon olarak belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; termal su örneğinin %28 tatlı su ve %72 deniz suyu bileşiminden oluştuğu, rezervuar sıcaklığının 78-86°C arasında olabileceği ve bu suyun kalsit, aragonit, dolomit ile kuvars ve kalsedon gibi mineralleri çökeltici özellikte olduğu tespit edilmiştir.</p>

## HYDROGEOCHEMISTRY OF OZDERE (IZMIR) GEOTHERMAL SPRING AND ITS RELATIONSHIP WITH SEA WATER

Keywords	Abstract
<i>Hydrogeochemistry, Seawater, Mixing, Özdere, İzmir.</i>	<p>In this study, hydrogeochemical properties of the thermal water sample surfacing in the Özdere-Cumhuriyet and its relationship between the seawater was investigated. The study area is located in Özdere-Cumhuriyet neighborhood, which is the only approved tourism region of Menderes District and 45 km from İzmir province. The marble lenses in the Menderes metamorphics and, the alluvium are reservoir rock for the waters. The cold waters percolate to the reservoir along faults and cracks, heated at depth and ascend to the surface on a zone considered as the cut point of the faults. In the meantime, waters gain up-to-date compositions depending on both water-rock interaction and seawater mixture. The thermal spring and seawater samples have Na-Cl type, while the cold-water samples have Ca-HCO<sub>3</sub> type. As a result of the evaluations it was determined that the thermal water sample consisted of 28% fresh water and 72% sea water, the reservoir temperature could be between 78-86 °C, and this water was found to precipitate calcite, aragonite, dolomite and quartz and chalcedony minerals.</p>

### Alıntı / Cite

Başaran, C., (2021). Özdere (İzmir) Jeotermal Kaynağının Hidrojeokimyası ve Deniz Suyu ile İlişkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 176-186.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C. Başaran, 0000-0001-6281-6580	Başvuru Tarihi / Submission Date	27.11.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	11.01.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	11.01.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

\* İlgili yazar / Corresponding author: cbasaran@aku.edu.tr, +90-272-218-2411

## 1. Giriş (Introduction)

Enerjiye olan ihtiyaç artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların rezervlerinin tükenmeye yakın olması ve neden olduğu çevresel etkiler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talebi arttırmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak jeotermal enerji ve jeotermal kaynakların araştırılması, özelliklerinin belirlenmesi de oldukça fazla önem taşımaktadır.

Jeotermal kaynak kullanımı açısından Dünya genelinde ilk 5 içerisinde yer alan ülkemizde sıcaklığı 30°C üzerinde 347 jeotermal saha bulunurken, sıcaklık altı sınırı 20°C alındığında toplamda 600 jeotermal kaynak yer almaktadır. Bu alanlardan 44 tanesi elektrik üretimi amacıyla kullanılabilir potansiyele sahiptir. %88'lik bir paya sahip olan düşük ve orta entalpili alanlar ise konut-sera ısıtması, sağlık ve termal turizm sektörlerinde değerlendirilmektedir (Akkuş, 2020; Mertoğlu, 2020). Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlar yoğun olarak Batı Anadolu'da yer almaktadır.

Türkiye'deki ilk jeotermal sondaj kuyusunun açıldığı İzmir ili, Seferihisar, Balçova-Narlıdere, Dikili, Çeşme, Aliğa, Urla, Bayındır, Menderes ve Kemalpaşa gibi birçok jeotermal alana sahiptir. Sıcaklıkları 29-144°C arasında değişen sular kaplıca, sera ve konut ısıtımında kullanılmaktadır. Bu makalenin konusunu oluşturan ve ilk kez çalışılan Özdere-Cumhuriyet (Menderes/İzmir) jeotermal kaynağı da İzmir ilinin 45km güneyinde yer almaktadır. İncelenen jeotermal kaynağın yer aldığı Özdere aynı zamanda İzmir ili, Menderes İlçesi'nin onaylı tek turizm bölgesidir. Çalışma kapsamında bölgede yer alan ancak henüz bir kullanım alanına sahip olmayan termal kaynağın hidrojeokimyasal özellikleri, rezervuar sıcaklığı ve deniz suyu ile olan etkileşimi araştırılmıştır.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Özdere bölgesinde yer alan termal kaynak ile ilgili güncel ve detaylı araştırma bulunmamaktadır. İncelenen kaynağın içerisinde bulunduğu Batı Anadolu Bölgesinde, jeotermal kaynakların incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak Denizli, Aydın ve İzmir illeri üzerine yoğunlaşmış, İzmir ili özelinde de Seferihisar ve Dikili sahaları detaylı olarak çalışılmıştır.

Drahor vd. (1999) çalışmalarında Seferihisar bölgesindeki jeotermal rezervuar ile ilişkili kırık sistemlerinin belirlenmesini ve bu sonuçların bölgede daha önce yapılmış olan ayrıntılı jeolojik çalışmalarla olan benzerliklerini ya da farklılıklarını ortaya çıkarılmasını hedeflemişlerdir. Çalışma sonunda bölgenin genel yapısal uzanımının KD-GB yönlü, taban derinliğinin 1.5-1.7 km olduğunu ve Gravite ve doğal potansiyel haritalarında da anomalilerin KD-GB uzanımına sahip olduğu ortaya koymuşlardır.

Şimşek vd. (2000) çalışmalarında Batı Anadolu'da yer alan jeotermal sahaların hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri üzerine araştırmalar yaparak bölgenin genel olarak Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Bakırcay, Edremit, ve Simav graben sistemlerinden oluştuğunu, Şist, gnays, mermer ve kuvarsit birimlerini içeren Menderes masifinin bölgedeki temel kayac olduğunu ve Neojen-Kuvarterner yaşlı birimlerin masif üzerine uyumsuz olarak geldiğini belirtmişlerdir. Yazarlar Denizli-Kızıldere, Aydın-Germencik ve Aydın-Söke jeotermal sahalarında yer alan suların sırasıyla Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl ve Na-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduklarını belirtmişlerdir.

Gemici ve Tarcan, (2002) çalışmalarında, Germencik, Salihli, Balçova, Seferihisar, Emet gibi birçok farklı jeotermal alanın hidrojeokimyasal özellikleri ve bor içerikleri üzerine araştırmalar yaparak, bölgede yer alan suların bor içeriklerinin 1-63 mg/l arasında değiştiğini ve bor içeriklerinin karbonatlı kayaların çözünmesiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Tarcan ve Gemici, (2003) Seferihisar ilçesi içerisindeki Doğanbey Burnu, Karakoç, Doğanbey, Tuzla ve Cumalı jeotermal alanlarında yer alan termal suların kimyasal özelliklerini araştırarak; bölgede yer alan suların Na-Cl bileşimli olduğunu, sıcaklıkların 30-153°C arasında olduğunu ve bölgedeki termal sulara deniz suyu karışımının %10-80 arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Özen ve Tarcan, (2005) Dikili-Kaynarca (İzmir) jeotermal sistemlerinin özelliklerini araştırarak, Dikili ılıcalarında yer alan suların Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>; Kaynarca sıcak sularının Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipli sular olduklarını ve Dikili bölgesi için 120-150°C, Kaynarca bölgesi için ise 160-200°C jeotermal akifer sıcaklıkları hesapladıklarını bildirmişlerdir.

Bulut (2013) Menderes ile Seferihisar arasında kalan Akyar jeotermal sahasında yapılan 1215 m derinliğinde sondaj ile 141°C'lik bir kuyu içi sıcaklığa ulaşıldığını, bölgedeki suların Na-Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğunu ve 162°C'lik bir rezervuar sıcaklığına ulaşabileceğini belirtmiştir.

Özgür vd., (2017) Seferihisar ve çevresindeki jeotermal suların kimyasal ve izotopik özelliklerini araştırarak Tuzla, Cumalı, Doğanbey ve Karakoç sahalarının KD-GB gidişli faylarla ilişkili olduğunu, suların Na-Cl ve Na-Cl-HCO<sub>3</sub> bileşimli olarak adlandırıldığını ve suların rezervuar sıcaklığının 150-240°C arasında olabileceğini belirtmişlerdir.

Mungan vd. (2018) Batı Anadolu'daki bazı jeotermal su numunelerinin radon konsantrasyonlarının ve bu konsantrasyonların sağlık üzerindeki etkilerini incelemiş olup; Seferihisar bölgesindeki Cumalı, Karakoç, Doğanbey kaynak sularında 0.44-52.88 Bq/l arasında bir radon konsantrasyonu olduğunu ve 1 Bq/l sınır değeri aşan suların termal olarak kullanımında soluma yoluyla insan üzerinde sağlık açısından risk oluşturmaması için gerekli çalışmaların yapılmasını önermişlerdir.

Kaya, (2019) yüksek lisans tez çalışması kapsamında Ilıkpınar jeotermal alanı (İzmir-Menderes) ve civarında bulunan su örneklerinin genel fasiyesini anyonlar için HCO<sub>3</sub> ve katyonlar için Ca/Na olarak belirlemiştir.

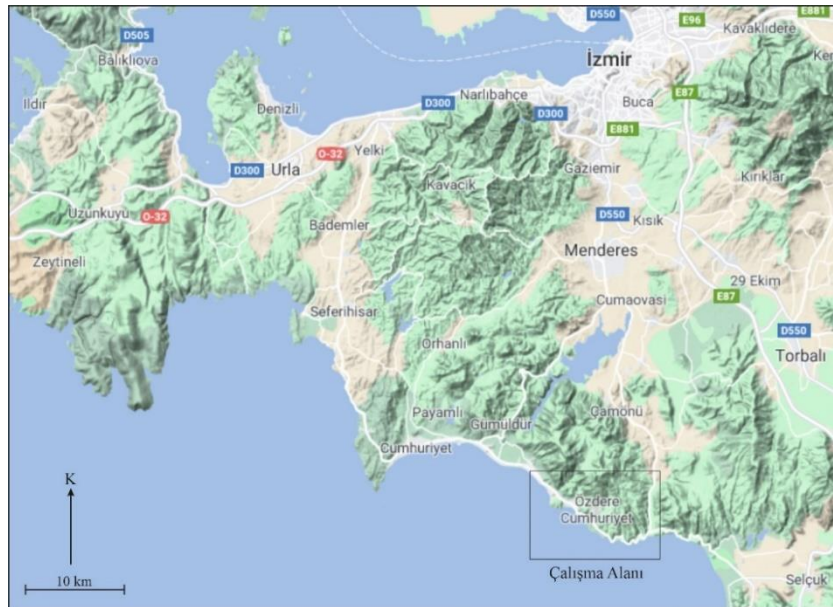
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Çalışma Alanının Yeri (Study Area)

Çalışma alanı İzmir ilinin yaklaşık 65 km güneyinde Özdere-Cumhuriyet mahallesinde ve 1:25.000 ölçekli L18d4 ve L18d3 paftalarında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı ayrıca Küçük Menderes Havzası-Tahtalı Çay/Seferihisar alt havzası içerisinde yer almaktadır. Küçük Menderes havzası sularını Küçük Menderes Nehri ve diğer akarsularla Ege Denizi'ne boşaltmaktadır. Küçük Menderes Havzasındaki en önemli akarsu Küçük Menderes Nehri'dir. Tahtalı-Seferihisar Havzasının yüzölçümü 1249 km<sup>2</sup> olup, yıllık ortalama yağış 710 mm olarak verilmiştir (Anonim, 2019).

#### 3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

İnceleme alanının jeolojik özellikleri önceki çalışmalar ve arazi çalışmalarından yararlanılarak incelenmiştir. Belirlenen jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Haziran-2019 tarihinde bölgede yer alan 1 adet termal kaynak suyu, 1 adet deniz suyu, 1 adet soğuk sondaj suyu ve 1 adet soğuk kaynak suyu olmak üzere 4 adet su örnekleme yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area).

Su örneklerinin sıcaklık (T°C), elektriksel iletkenlik (EC µs/cm), redoks potansiyeli (Eh mV) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri örnek alımı sırasında HQ40D (Hach-Lange) multiparametre su ölçüm cihazı ile arazide ölçülmüştür. Anyon ve katyon analizleri için 500 ml HDPE numune kabına örnekleme yapılarak, alınan örnekler analize kadar <4°C sıcaklıkta saklanmıştır. Suların anyon ve katyon analizleri (HCO<sub>3</sub>, Cl, F, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Na, K, Ca, Mg) Hacettepe Üniversitesi laboratuvarında "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird and Bridgewater, 2017)" standartlarına uygun olarak DIONEX LC25 ve ICS-1000 iyon kromatografi cihazları kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; hidrojeokimya grafikleri ile değerlendirilmiş, jeotermometre hesaplamalarında kullanılmış ve çeşitli yaklaşımlarla deniz suyu karışım oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

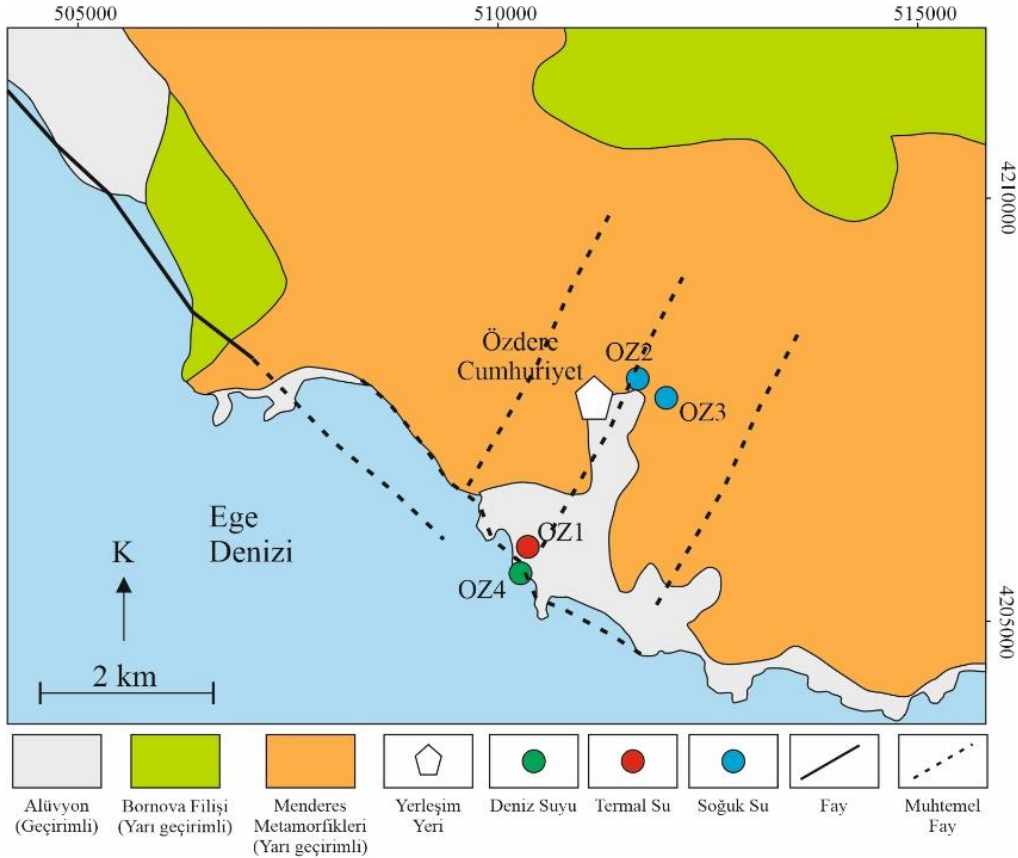
### 4.1. Jeoloji (Geology)

İnceleme alanı genel olarak; Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova filiş ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarından oluşmaktadır (Şekil 2). Bu birimler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

*Menderes Masifi Metamorfikleri*; Ege bölgesi ve çevresinde yaygın olarak gözlenen birim çalışma alanı içerisinde şist ve mermer birimleri ile temsil edilir. Metamorfiklerin temeli kuvars şist, klorit- albit-biotit ve muskovit şistlerden oluşmakta iken şistozite ile paralel kuvarsit damarları oldukça yaygındır. Şistlerin üzerine ise kalınlıkları farklılıklar gösteren mermer birimi yer almaktadır (Eşder ve Şimşek, 1975).

*Bornova Filiş Zonu*; Bu zona ait kayaçlar, kumtaşı, silttaşı ve şeyl birimleri hakim olmak üzere fillit, sleyt, rekristalize kireçtaşı, split-diyabaz, radyolarit ve serpantin gibi ofiyolitler ile riyolit ve granodiyorit gibi magmatik kayaçlardan oluşmaktadır (Genç vd., 2001; Akar, 2012). Filişin içerisindeki kireçtaşı kütleleri Kampaniyen-Daniyen'de filişin oluşumu sırasında havza içine taşınarak kireçtaşı blokları olarak yerini almıştır (Erdoğan, 1990).

*Alüvyon*; Genellikle kum, silt ve çakıl içeren çimentosuz özellikte olan bu tortullar kıyılarda ve nehir sistemleri boyunca yer almaktadır.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji/hidrojeoloji haritası (Int Kaynağı-1)(Geological map of study area)

### 4.2. Hidrojeoloji (Hydrogeology)

Menderes Masifi metamorfikleri çalışma alanında geniş bir alanda yayılım sunmakta ve jeotermal sistemin temel kayasını oluşturmaktadır. Bu birim, maruz kaldığı yoğun metamorfizma nedeniyle genel olarak geçirimsiz bir yapı sunar. Eşder ve Şimşek, (1975)'e göre metamorfik birim içerisinde yer alan mermerler ise kırıklı/çatlaklı yapıları nedeniyle geçirimli özelliktedir. Temeli oluşturan bu birim genel olarak geçirimsiz/yarı geçirimli özelliktedir (Akar, 2012; Şimşek ve Filiz, 2005).

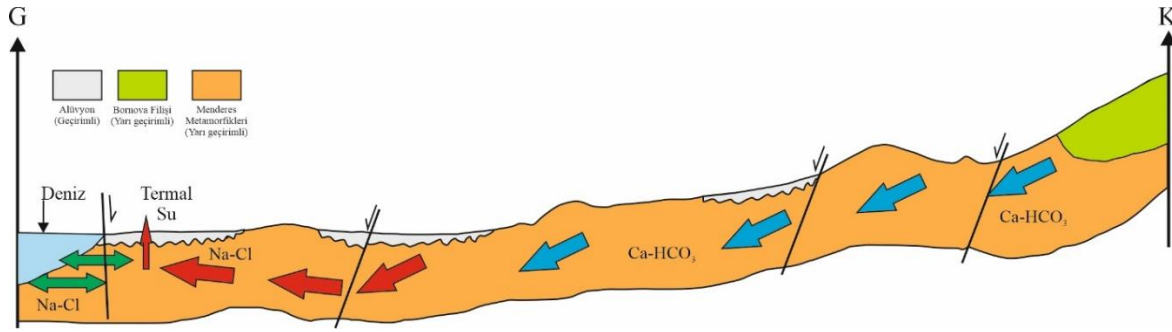
Kumtaşı, silt ve şeyl ardalması başta olmak üzere; rekristalize kireçtaşları ve metamorfizmaya uğramış çeşitli bloklar ile ofiyolitik melanj malzemeleri şeklinde yayılım sunan Bornova Filiş zonu kayaçları içerisindeki kireçtaşı

bloklarının kalınlıklarının 20km'ye eriştiği belirtilmiştir (Erdoğan, 1990; Akar, 2012). Bu birimin içerdiği kireçtaşı blokları ve yer yer diyabazlar geçirimli özellik sunarken, kumtaşı, silt ve şeyl birimleri geçirimsiz özelliktedir. Bornova filişleri inceleme alanı içerisinde yarı geçirimli olarak sınıflandırılmıştır.

Kum ve çakıl boyutlu pekleşmemiş malzemeden oluşan alüvyon birimi ise bölgede serbest akifer niteliğinde olup, geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2).

### 4.3. Jeotermal Sistem (Geothermal System)

İncelemeye konu olan termal kaynak; aktif olduğu bilinen "Gümüldür Fayı" ile bu fayı KD-GB yönünde kesen muhtemel tali fayların üzerinde yer almaktadır (Emre vd., 2011). İnceleme alanının temelinde yer alan metamorfik birimlerin içerisindeki mermer blokları, kalk şist birimleri bölgedeki termal kayaç için rezervuar kayaç özelliğindedir. Dağlık kesimdeki yükseltilerden beslenen sular, KD-GB yönünde yer altında akmakta, jeotermal gradyan ve faylanmalar etkisiyle ısınmakta ve son olarak fayların da kesim noktası olarak düşünülen deniz kenarından yüzelemektedir (Şekil 3). Deniz ile kara sınırı arasında etkili olan Gümüldür fayı, hem termal suyun çıkışına olanak sağlamakta, hemde deniz suyu girişimine neden olmaktadır. Gerek örtü kalınlığının az olması, gerekse deniz suyu girişimi termal kaynağın soğumasına ve olduğundan daha soğuk bir şekilde yüzeye çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. Jeotermal sistem modeli (ölçeksiz) (Geothermal system model, unscaled)

### 4.4 Hidrojeokimya (Hydrogeochemistry)

İzmir ili, Menderes İlçesi, Özdere-Cumhuriyet Mahallesinde yer alan termal su kaynağı yaklaşık 10 metre derinlikteki bir temel kazısı esnasında açığa çıkmış olup, saha içerisinde kaynak şeklinde akmaktadır (Şekil 4). Termal su örneği (OZ1) ile birlikte, bu suyun yakın etkileşimde olduğu deniz suyundan (OZ4) ve beslenme alanı olarak düşünülen yükseltilerde bulunan bir adet soğuk kaynak (OZ2) ve soğuk sondaj suyundan (OZ3) örnek alınarak, Hacettepe Üniversitesi-Su Kimyası Laboratuvarına analiz için gönderilmiştir.



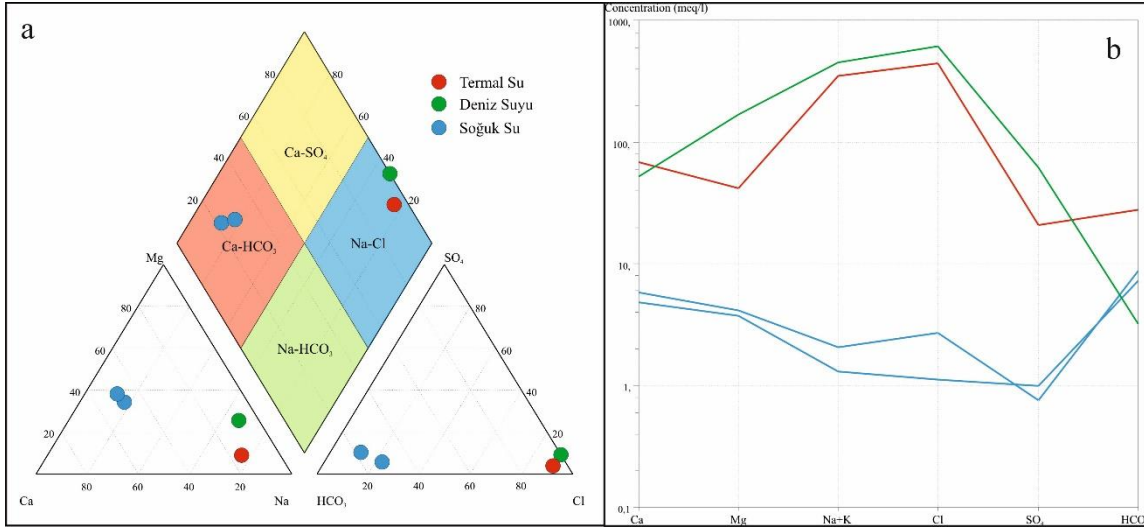
Şekil 4. Termal kaynağın arazi görüntüsü (Field view of thermal spring)



İncelenen su örneklerinin EC (elektriksel iletkenlik) değerleri 802-54559  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , pH değerleri 6,37-7,88 arasında değişmektedir. İncelenen termal su örneği 44,6°C'lik bir sıcaklığa sahipken, deniz suyu ve soğuk su örneklerinin sıcaklıkları 17-18°C olarak ölçülmüştür. Su örneklerinin adlandırılmasında Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflaması kullanılmış olup bu sınıflamaya göre Termal su örneğinin Na-Cl, deniz suyu örneğinin Na-Mg-Cl ve soğuk su sondajı/kaynağı örneklerinin Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu belirlenmiştir.

Piper diyagramı incelendiğinde ise termal kaynak ve deniz suyu örneklerinin Na-Cl, soğuk su örneklerinin ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu görülmektedir (Şekil 5a). Soğuk su örnekleri ve deniz suyu örneğinde Mg alanına doğru bir yönelme gözlenmektedir. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan ofiyolitik birimler ile deniz suyunun olası sprej etkisi soğuk sulardaki magnezyum içeriğinin kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Schoeller diyagramında da deniz suyu ve termal su örneklerinin özellikle Na+K ve Cl iyonlarınca, soğuk su örneklerinden net bir şekilde ayrıldığı gözlenmektedir. (Şekil 5b). Soğuk su örnekleri ise kendi aralarında benzer kimyasal kompozisyon sunmaktadır. Genel olarak kıyı suları ile dağlık alanda bulunan suların birbiriyle farklı kökende oldukları söylenebilir.



Şekil 5. Su örneklerinin Piper (a) ve Schoeller (b) diyagramındaki konumu (Piper (a) and Schoeller (b) diagram of water samples)

Suyun güncel bileşimine erişmesini sağlayan süreçlerin belirlenmesi için iyonik oranların kullanıldığı Gibbs Diyagramından faydalanılmıştır. Gibbs Diyagramında, dağlık alanda yer alan soğuk su örnekleri “Kayaç Baskın” bölgesine düşmektedir (Şekil 6). Kıyı kesimde yer alan deniz suyu ve termal su örnekleri ise “Buharlaşma-Kristalizasyon” bölgesine düşmektedir. Bu sular, deniz suyu girişimden ötürü tuzlanmakta ve/veya yoğun buharlaşmaya maruz kalarak çözünmüş madde derişimleri artmakta ve sularındaki çözünmüş toplam iyon miktarı da yüksek değerlere ulaşmaktadır. Genel olarak; soğuk su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan mekanizma su-kayaç etkileşimi iken; termal ve deniz suyu örneklerinin mekanizması buharlaşma/kristalizasyon süreçleri ile denetlenmektedir (Somay ve Filiz, 2006).

İncelenen termal su örneği denize oldukça yakın bir konumda yer almaktadır. Bu nedenle termal su-deniz suyu karışımı kaçınılmaz hale gelmektedir. İncelenen örnekte deniz suyu karışım miktarının hesaplanmasında;

$$K = \frac{CID - CIK}{CID - CIS} \quad (1)$$

formülü kullanılmıştır (Kurttaş, 2002). Bu formüle;

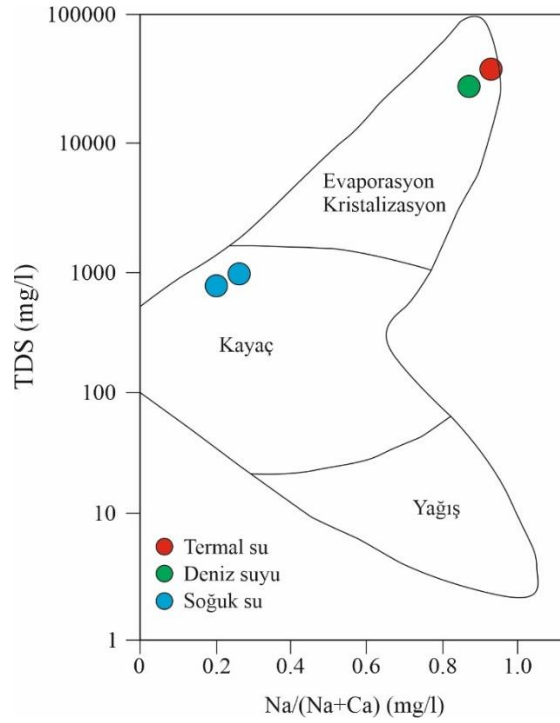
K=Tatlı su oranı,

CID=Deniz suyunun klorür miktarı (21893 mg/l),

CIK=Termal suyun klorür miktarı (15701 mg/l),

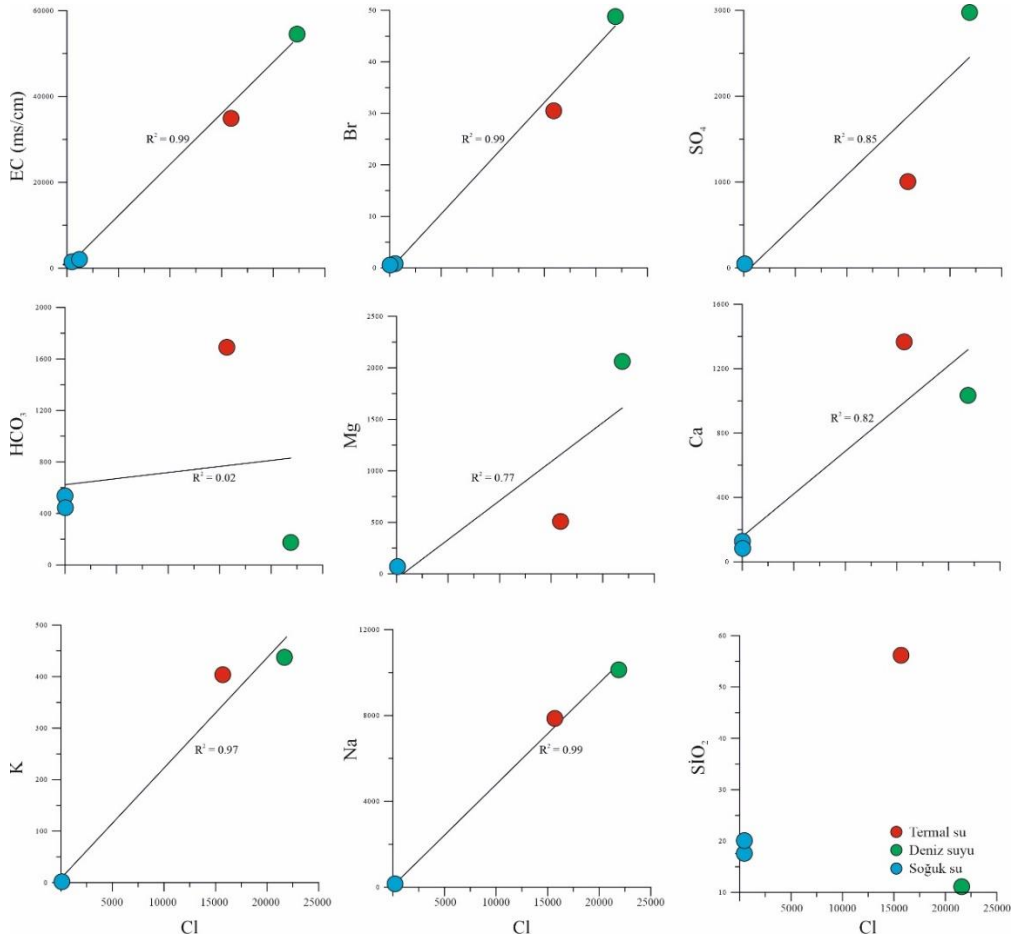
CIS=Soğuk suyun klorür miktarını (96,4 mg/l) belirtmektedir.

Bu formülden hareketle, termal suyun %28 tatlı su ve %72 deniz suyu içerdiği belirlenmiştir. Bu yüksek deniz suyu karışımına bağlı olarak, sıcaklık düşmekte ve element içeriklerinde seyrelmeler ve zenginleşmeler gözlenmektedir. Genel olarak deniz suyu, incelenen termal suyun silisce seyrelmesine ve deniz suyunda bol olarak bulunan Cl, SO<sub>4</sub> ve Mg iyonlarınca zenginleşmesine neden olmaktadır.



Şekil 6. Su örneklerinin Gibbs diyagramı (Gibbs diagram of water samples)

Karışımın varlığının bir başka göstergesi, Cl ile diğer iyonlar ve bileşikler arasındaki doğrusal ilişkidir (Gökgöz ve Akdağoğlu, 2016). Şekil 7 incelendiğinde Cl ile EC, Br, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, Mg ve K iyonları arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğu ve termal su örneğinin deniz suyu ile soğuk sular arasında ve deniz suyuna daha yakın olarak yer aldığı görülmektedir. Örneklerin HCO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> içerikleri ile klorür arasında ise oldukça zayıf bir korelasyon mevcuttur.



Şekil 7. Su örneklerinin Cl-iyon grafikleri (Relations of various ions and EC versus Cl for the waters)

#### 4.4.1 Jeotermometre (Geothermometry)

Bölgede kaynak şeklinde akan termal suyun, yer altındaki muhtemel hazne kaya sıcaklığının tespit edilmesi, bu suyun kullanım çeşitliliği açısından oldukça önemlidir. Tahmin edilecek sıcaklık ayrıca; jeofizik-jeolojik çalışmaları takip eden sondaj süreci hakkında ön bilgi de verecektir.

İncelenen termal suyun jeotermometre hesaplamalarında silis jeotermometrelerinin yanı sıra, Na/K-Na/Li ve K/Mg jeotermometre bağıntıları kullanılmıştır (Tablo 1). Katyon jeotermometreleri 170°C'ye ulaşan ve kabul edilemez sıcaklıklar vermekte iken, kuvars jeotermometreleri (102-107°C) ve K/Mg jeotermometresi (112°C) de nispeten yüksek sonuçlar vermektedir. Diğer yandan kalsedon jeotermometreleri (78-79°), Mg/Li jeotermometresi (86°) ve Na/Li jeotermometresi (86°C) ise kabul edilebilir ve uygun sonuçlar vermiştir. Bölgede bulunan termal kaynağın rezervuar sıcaklığı 78-86°C olarak değerlendirilebilir.

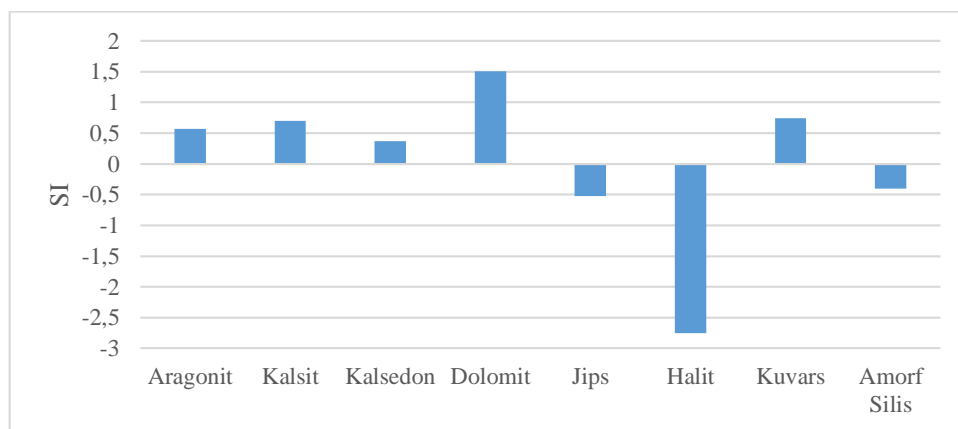
**Tablo 1.** Termal su örneğinin jeotermometre hesaplamaları (Geothermometry calculations of thermal water sample)

Jeotermometre	Referans	Değer
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Verma, 2000	102
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Fournier 1977	107
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	Fournier 1977	78
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	Arnorsson vd., 1983	79
SiO <sub>2</sub> (Kuars)	Arnorsson vd , 1983	96
Na/K	Arnorsson vd., 1983	146
Na/K	Fournier & Truesdell 1973	116
Na/K	Verma and Santoyo, 1997	170
Na/K	Fournier 1979	165
Na/K	Nieva ve Nieva, 1987	153
K/Mg	Giggenbach 1988	112
Mg/Li	Kharaka ve Mariner, 1989	86
Na/Li Cl>0,3 mol or 10650 ppm	Fouillac and Michard, 1982	86

#### 4.4.2 Mineral Doygunluk Diyagramı (Mineral Saturations)

Termal suların mineral içerikleri jeotermal kaynakların üretim ve reenjeksiyon aşamalarında meydana gelen üretim kaybı ve enjeksiyon kapasitesindeki azalma gibi sorunların en önemli nedenlerinden birisidir. Çökeltme eğilimine sahip minerallerin önceden tespit edilmesi olası ekonomik kayıpların da önüne geçmeyi sağlayacaktır. Güneybatı Türkiye'nin kıyı termal suları genellikle benzer karbonat mineralleri (kalsit, aragonit ve dolomit) ve silika minerallerini (ör. kalsedon, kuvars) çökeltme eğilimindedir (Gökgöz ve Tarcan, 2006; Tarcan vd., 2009; Aşar vd., 2012). OZ1 kodlu termal su örneğinin kabuklaşma potansiyelinin belirlenmesi için örneğin çıkış sıcaklığı ve pH'ında ki koşullar PhreeQC 3.6.2 (Parkhurst and Appelo, 2013) programı ile değerlendirilmiştir.

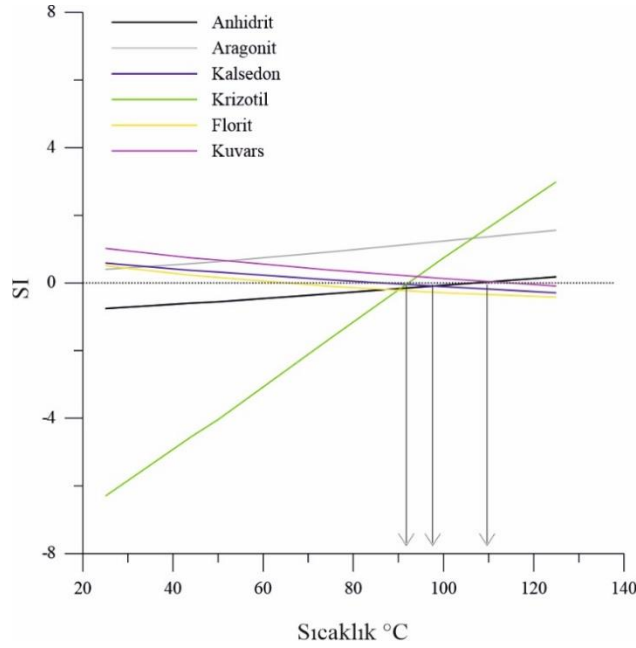
Termal su örneği kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat mineralleri ile kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerini çökeltme eğiliminde olup üretim aşamasında kabuklaşma önleyici kimyasalların kullanılması gerekmektedir (Şekil 8). Tuzlu suların evaporasyonu ile oluşan Halit minerali ile jips ve amorf silis ise çözünme eğilimindedir.



**Şekil 8.** Termal su örneğinin mineral doymuluk değerleri (Mineral saturation state of the thermal water)



Mineral doygunluğu aynı zamanda jeotermal alanlardaki rezervuar kaya sıcaklığının tahmin edilmesi için önerilmiş iyi bir jeotermometre olarak kullanılabilir (Reed and Spycher, 1984). Doymuluk indeksleri denge doğrusunu ( $SI=0$ ) belirli bir sıcaklık noktası civarında kesiyor ise bu kesim noktası rezervuar sıcaklığı olarak değerlendirilir. Sudan buhar ayrılması ve farklı sıcaklıktaki suların karışımı gibi süreçler denge doğrusu üstündeki kesişmeye, farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımı ise denge doğrusu altındaki kesişmeye neden olmaktadır (Tole et. al., 1993). Termal su örneğinin farklı sıcaklıklardaki mineral denge durumunun belirlenmesi için farklı sıcaklıklardaki (25-50-75-100-125°C) doymuluk indisleri hesaplanmıştır (Şekil 9). Şekil 9'a göre, örneğin sıcaklık-doymuluk diyagramında seçili mineraller için 90-110°C rezervuar sıcaklığına sahip olabileceği görülmektedir.



Şekil 9. Termal su örneğinin mineral denge diyagramı (Mineral equilibrium diagram for the thermal water)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Hidrojeokimyasal özellikleri itibarıyla ilk kez çalışılan Özdere-Cumhuriyet (Menderes/İzmir) jeotermal kaynağı İzmir ilinin 45km güneyinde yer almaktadır. İnceleme alanı genel olarak; Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova filisi ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarından oluşmaktadır. Bu birimlerin litolojik özellikleri ve önceki çalışmalar dikkate alınarak, Menderes metamorfikleri ile Bornova filis zonu kayaları "yarı geçirimli", alüvyon birimi ise "geçirimli" olarak sınıflandırılmıştır.

Genel olarak; dağlık kesimdeki yükseltilere düşen meteorik sular, faylar-kırık ve çatlaklar boyunca yer altında hareket etmekte, jeotermal gradyan ve faylanma etkisiyle ısınmakta, son olarak Gümüldür Fayı ile bu fayı tali olarak kesen ikincil muhtemel fayların kesişimleri boyunca deniz kenarında yüzeylenmektedir.

Piper diyagramını incelendiğinde termal kaynak ve deniz suyu örneklerinin Na-Cl, soğuk su örneklerinin ise Ca-HCO<sub>3</sub> bileşimli olduğu görülmektedir. Su örneklerindeki görece yüksek Mg içeriği bölgedeki ofiyolitik kayalar ile olan etkileşimi ve/veya deniz suyunun sprey etkisini işaret etmektedir. Schoeller diyagramında da kıyı suları (termal ve deniz suyu) ile dağlık alanda bulunan suların (soğuk sular) birbiriyle farklı kökenden oldukları görülmektedir. Gibbs grafiğine göre soğuk su örneklerinin kimyasal kompozisyonunu oluşturan mekanizma su-kayaç etkileşimi iken; termal ve deniz suyu örneklerinin mekanizması buharlaşma/kristalizasyon süreçleri ile denetlenmektedir.

Termal su ile deniz suyunun karışım oranının hesaplanması için kullanılan ve klorür elementine dayalı olan formüle göre, termal su örneğinin %28 tatlı su ve %72 deniz suyu içerdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde klorür iyonu ve diğer iyonların karşılaştırıldığı ikili diyagramlarda da termal su örneğinin deniz suyu ile soğuk su örnekleri arasında yer aldığı ve deniz suyuna daha yakın konumlandığı belirlenmiştir.

Termal suyun hazne kaya sıcaklığının belirlenmesinde özellikle kalsedon, Mg/Li, Na/Li jeotermometreleri dikkate alındığında, hazne kaya sıcaklığının 78-86°C aralığında olduğu tespit edilmiştir. Mineral denge diyagramı ise 90-110°C gibi geniş bir aralığa işaret etmektedir. İncelenen termal su örneği kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat mineralleri ile kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerinin çökeltme eğiliminde olup üretim aşamasında kabuklaşma önleyici kimyasallar kullanılması gerekmektedir.

Çalışma alanı içerisinde Afyon Kocatepe Üniversitesi-Jeotermal ve Maden Kaynakları Uyg. ve Arş. Merkezi tarafından gerçekleştirilen ve jeotermal potansiyelin jeolojik ve jeofizik yöntemlerle araştırılmasına yönelik olan proje sonucunda elde edilecek veriler ışığında bölgede farklı noktalarda ve derinliklerde, daha yüksek sıcaklıkta su bulunma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm jeolojik ve jeofizik veriler sonucunda bölgenin jeotermal sistem modelinin de güncellenmesi ve detaylandırılması mümkün olacaktır.

Özdere-Cumhuriyet mahallesinde yer alan termal su kaynağının hem bilime hem ekonomiye katkısı düşünüldüğünde; bu çalışma bir ön araştırma özelliğinde olup, inceleme alanında örnek sayısı artırılarak ve izotop analizleri de eklenerek daha detaylı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

### **Teşekkür (Acknowledgement)**

Bu çalışmanın gerek arazi çalışması gerekse örneklerin analizi konusunda desteklerini eksik etmeyen Jeoloji Mühendisi Sn. Tuğrul Vedat Akyürek'e, Bien Yapı Ürünleri San. Turz. ve Tic A.Ş.'ne, Prof. Dr. Ahmet Yıldız'a, Dr. Öğr. Üyesi Metin Bağcı'ya, Öğr. Grv. Dr. Özcan Özyıldırım'a ve Öğr. Grv. F. Ekrem Çonkar'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma 19.JUAM.01 numaralı projenin bir bölümünü oluşturmaktadır ve Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### **Kaynaklar (References)**

- Akar, A. T., 2012. Seferihisar Ve Balçova Jeotermal Alanlarında ve Çevre Akiferlerinde Akışkan Akiminin Modellenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 192 sf. İzmir.
- Akkuş, İ., 2020. TÜBA-Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, "Türkiye'de Jeotermal Enerji Gerçeği: Potansiyel ve Sorunlara Genel Bir Bakış", Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- Anonim, 2019. Küçük Menderes Havzası Nehir Havza Yönetim Planı Hazırlanması Projesi, Nehir Havza Yönetim Planı Nihai Raporu. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and independent Variables Controlling Water Compositions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 547-566.
- Avşar, Ö., Kurtulus, B., Kaçaroğlu, F., Kusçu, G., Gürsu, S., 2012. Muğla'nın Jeotermal Kaynakları ve Doğal Mineralli Sularının Envanteri Projesi Sonuç Raporu. Güney Ege Kalkınma Ajansı-GEKA Projesi (in Turkish).
- Baird, R., Bridgewater, L., 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Bulut, M., 2013. Ege Bölgesinde Yeni Bir Orta -Yüksek Entalpili Jeotermal Alan (Akyar) Menderes-Seferihisar-İzmir, Batı Anadolu, Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 147, 153-167.
- Drahor, M. G., Sarı, C., Şalk, M., 1999. Seferihisar Jeotermal Alanında Doğal Gerilim (Sp) ve Gravite Çalışmaları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (3).
- Emre, Ö., Özalp, S., Duman, T. Y., 2011, 1 : 250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, İzmir (NJ35-7) Paftası, Seri No :6, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara - Türkiye .
- Erdoğan, B. 1990. Tectonic relations between İzmir-Ankara Zone and Karaburun Belt, *Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey Bulletin*, 110, 1-15.
- Eşder, T., Şimşek, Ş., 1975. Geology of izmir-Seferihisar Geothermal Area, Western Anatolia of Turkey; Determination of Reservoirs by Means of Gradient Drilling. Second United Nations Semposium on The Development And Use Of Geothermal Resources, San Francisco, California, Usa, 349-3612.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium Ratio in Water Applied to The Geothermometry of Geothermal Waters, *Geothermics*, 10, 55-70.
- Fournier, R.O., 1977. A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems, *Proceedings of the symposium on geothermal energy, Cento Scientific Programme*, 133-143.
- Fournier, R.O., 1979. A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geoth. Resour.Counc.Transactions* 3, 221-224.
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochem. Cosmochim. Acta* 37, 1255-1275.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 87-98.
- Genç, Ş.C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y., 2001. The Çubukludağ Graben, South of İzmir: Tectonic Significance in the Neogene Geological Evolution of the Western Anatolia, *Geodinamica Acta* 14, 45-55.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.

- Gökgöz, A., Akdağoğlu, H., 2016. Hydrogeology and hydrogeochemistry of a coastal low-temperature geothermal field: a case study from the Datça Peninsula (SW Turkey). *Environ Earth Sci* 75, 1143
- Gökgöz, A., Tarcan, G., 2006. Mineral equilibria and geothermometry of the Dalaman–Köyceğiz thermal springs, southern Turkey. *Appl Geochem* 21:253–268.
- IAH., 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH (International Association of Hydrogeologists), United Kingdom.
- Kaya, M.N., 2019. İzmir-İlkipınar Sıcak Ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı, 69 sf., Ankara.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: Nâser, N.D., McCulloh, T.H. (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins. Methods and Case Histories*, New York, pp. 99–117.
- Kurttaş, T., 2002. Karışım Sularında Kökensele Katkıların Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.
- Mertoğlu, O., 2020. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal uygulamalar ve Teknolojiler”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- Mungan, G. G., Filiz, F. G., Baba, A., (2018). Jeotermal Akışkanda Radon ve Etkileri: Batı Anadolu Örneği, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 839-842, 23-27 Nisan 2018, Ankara.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Development in Geothermal Energy Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer For Prospection of Geothermal Resources, Heat Recovery Systems And CHP, 7, 243-258.
- Özen, T., Tarcan, G., 2005. Dikili-Kaynarca (İzmir) Jeotermal Sistemlerinin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal Değerlendirilmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (2), 87-100.
- Özgür, N., Pala, E. A., Değirmenci, S., 2017. Hydrogeological, Hydrogeochemical and Isotope Geochemical Features of the Geothermal Waters in Seferihisar and Environs, Western Anatolia, Turkey, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, 95, 022039.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>.
- Reed, M., Spycher, N., 1984. Calculation of pH and Mineral Equilibria in Hydrothermal Waters With Application to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.
- Somay, M. A., Filiz, Ş., 2006. Küçük Menderes Nehri kıyı sulak alanının hidrojeokimyasal değerlendirilmesi. *Geosound*, V: 48–49, 113–127, Adana (In Turkish).
- Şimşek, Ş., Doğdu, M. Ş., Akan, B., Yıldırım, N., 2000. Chemical and Isotopic Survey Of Geothermal Reservoirs In Western Anatolia, Turkey. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Japan.
- Şimşek, C., Filiz, Ş., 2005. Torbalı Ovası ve Çevresindeki Akiferlerin Hidrojeolojisi ve Kirlenebilirliği. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (2), 21-37.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., 2003. Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, İzmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126 (3-4), 225-242.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., Aksoy, N., 2009. Hydrogeochemical factors effecting the scaling problem in Balçova geothermal field, İzmir, Turkey. *Environ Geol* 58:1375–1386
- Tole, M.P., Armannson, H., Zhong-He P., Arnorsson, S., 1993. Fluid/mineral equilibrium calculations for geothermal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics* 22:17–37
- Verma, M.P., 2000. Limitations in applying silica geothermometers for geothermal reservoir evaluation *Proceedings*. In: *Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, vols. 24–26 Stanford University, Stanford, California.
- Verma, M.P., Santoyo, E., 1997. New improved equations for Na/K, Na/Li and SiO<sub>2</sub> geothermometers by outlier detection and rejection. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 79, 9–23.
- Int kaynağı-1 <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>