

SINDIRGI – HİSARALAN (BALIKESİR) JEOTERMAL SAHASININ JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Niyazi AKSOY
Zülfü DEMİRKIRAN
Celalettin ŞİMŞEK

ÖZET

Çalışma alanı Balıkesir İli, Sındırgı ilçesi sınırları içerisinde yer alır. Sındırgı jeotermal sistemi KB-GD uzanan Simav grabeni içerisinde yer alan Mezozoik yaşlı Ofiyolitik birimleri kesen düşey faylara bağlı olarak oluşmuştur. Mezozoik birimler alanda, kireçtaşı, radiolarite ve serpantinlerden oluşmaktadır. Birim üzerine uyumsuzlukla Neojen yaşlı kumtaşı, silttaşı ve killi kireçtaşlarının oluşturduğu seriler gelmektedir. Çalışma alanındaki tüm birimleri Üst Pliyosen yaşlı volkanik kayalar uyumsuzlukla örtmektedir. Sındırgı jeotermal sisteminin ana haznesini kireçtaşları oluşturmaktadır. Sıcak suların büyük çoğunluğu fay sistemi boyunca kaynaklar şeklinde yüzeye çıkmaktadır. Sındırgı jeotermal sisteminin örneklenen suların izotop ve kimyasal yöntemlerle değerlendirildiğinde, çalışma alanındaki sıcak suların kısa dolaşimli meteorik kökenli olduğu, kaynakların sıcaklıkları 58.2-96.6°C, elektriksel iletkenlikleri 597-1506 µS/cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Jeotermal akışkan Na-HCO₃ su tipindedir. Ayrıca, önemli oranda As, Al ve Li içermektedir. Alanda yüzeye yaygın bir şekilde çıkan jeotermal sular tarvertenleri oluşturmaktadır. Örneği Türkiye’de başka bir alanda gözlenmemiş olan ve baca şeklinde yükselen güncel traverten oluşumları, mutlaka korunması gereken doğal bir mirastır. Sahada kuyu delinmesi yasaklanmalı. Sadece doğal boşalimleri kullanacak, traverten oluşumuna engel olmayacak projeler geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Sındırgı-Hisaralan, jeotermal.

ABSTRACT

The study area is located within the borders of Balıkesir City, Sındırgı District. Sındırgı geothermal system was formed as a result of the vertical faults that cut the Mesozoic-aged Ophiolitic units found at Simav graben along KB-GD. Mesozoic units consist of limestone, radiolarite and serpentines. Over the unit, there are blocks formed discordantly by sandstones, siltstones and clay limestone of Neogene period. All units in the area of study are discordantly covered by Upper Pliocene aged volcanic rocks. The main aquifer system of Sındırgı geothermal system is composed of limestone of pressured-aquifer. A great deal of the hot water resources run to the surface of the earth along the fault system. Upon the evaluation of the water samples from Sındırgı geothermal system with isotopic and chemical methods, it is found out that the hot water in the area of study is short-circulatory and meteoric-rooted and that the temperatures of the resources differ between 58.2 and 96.6 °C and their electrical conductivity was found out to be within the range of 597-1506 µS/cm. the geothermal liquid is in the form of Na-HCO₃. In addition, it contains significant amounts of As, Al and Li. Geothermal waters that spring close to the surface in the area form travertine. The current travertine formations which are prototypes in Turkey and that heighten like a chimney are natural heritages that must be protected. Digging well in the area should be forbidden. Projects that only have natural discharges and that shall not prevent the formation of travertine should be developed.

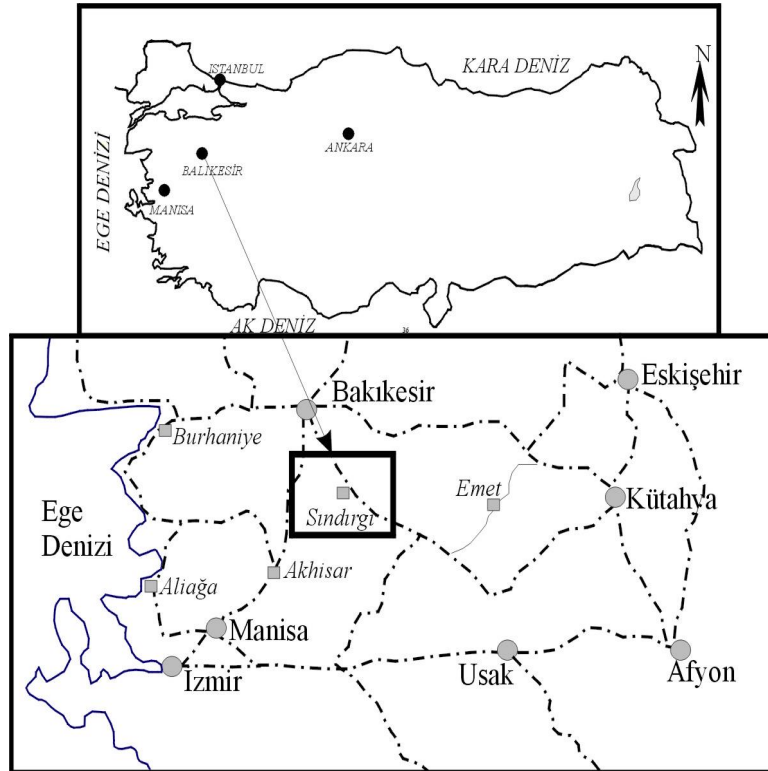
Key Words: Sındırgı-Hisaralan, geothermal.

1. GİRİŞ

Çalışma alanı, Balıkesir-Sındırgı ilçesinin 25 km doğusunda yer alır (Şekil 1). İnceleme alanında sıcak sular, derin kuyular ve fişkıran kaynaklar biçiminde yüzeye çıkmaktadır. Özellikle, fişkıran kaynakların oluşturduğu baca şeklindeki Kuvaterner yaşlı travertenler önemli doğal oluşumlardır.

Çalışma alanı içerisinde 1987 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından 987 m derinliğinde bir kuyu delinmiştir. Kuyunun 30 L/s debide üretim yaptığı ve maksimum sıcaklığın 106°C olduğu ölçülmüştür. Kuyunun düşük sıcaklığa sahip olması nedeniyle elektrik üretimine uygun olmaması, sahaya olan ilginin azalmasına neden olmuştur. Kaynağın en yakın yerleşim birimine yaklaşık 30 km uzaklıkta olması, ısıtma projelerinin de fizibilitesini olumsuz etkilemektedir. Çevrenin dağlık ve Çaygören Barajının koruma alanının içinde olması, bu alanda seracılık yapılmasına da imkân vermemektedir. Jeotermal sistemin ve oluşturduğu ender görülen travertenlerin araştırılması ve korunması önem taşımaktadır. Bu bağlamda yürütülen bu çalışmada Hisaralan jeotermal alanının hidrojeolojik ve traverten oluşum mekanizmasının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sındırgı-Hisaralan jeotermal sahasında, ortalama 150 L/s debide 96°C ye ulaşan sıcaklıkta jeotermal akışkan yüzeye boşalmaktadır. Geçmişte bu sularla çalışan un değirmenleri kurulmuştur. Halen yörede çok küçük kapasiteli kaplıcalar ve birkaç dönüm sera jeotermal enerjiyi kullanmaktadır. Sındırgı'nın jeotermal enerji ile ısıtılması için yapılan projeler Sındırgı-Hisaralan arasındaki boru hattının 18 km olması nedeniyle ekonomik olamamaktadır. Ancak, yüksek debili doğal çıkış ve bu suların üretim maliyeti olmaması işletme için olumlu fırsatlar yaratmaktadır. Jeotermal alan ve çevresi, Çaygören baraj havzasının koruma alanı olduğu için bu alan içerisinde yapılaşma çok sınırlıdır. Çevre oldukça dağlıktır. Bu koşullar altında, bölgede jeotermal kaynağın termal tedavi ve turizm tesislerinde kullanımı en uygun çözüm olarak değerlendirilmelidir.



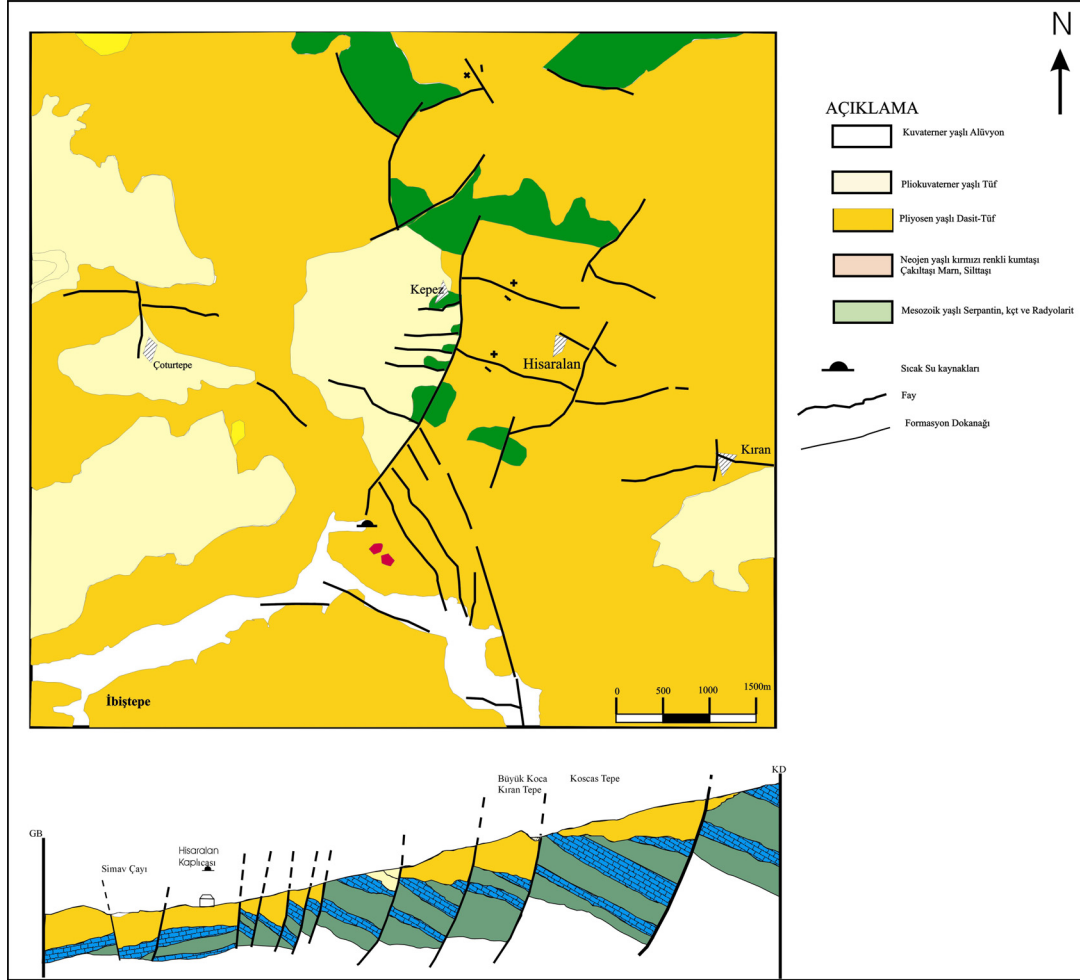
Şekil 1. Çalışma Alanının Yer Buldu Haritası.

2. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

2.1. Jeolojik ve Tektonik Yapı

Üst Kretase yaşlı serpantin, radyolarite ve rekristalize kireçtaşlarının oluşturduğu karmaşık birimler, alanda temel kayalarını oluşturur [1]. Oldukça geniş alanlarda mostra veren birimler içerisindeki serpantin seviyeleri kalın, radyolarit seviyeleri ince katmanlıdır. Geçirdiği deformasyona bağlı olarak kıvrımlanmış ve ilksel tabakalanma izlerini kaybetmişlerdir. Radyolarit, kırmızı renklerde olup, farklı seviyelerde karmaşık içerisinde yer almaktadır. Karmaşık içerisinde bulunan rekristalize kireçtaşları ise 50-100 m arasında kalınlığa sahiptir. Temeli oluşturan ve yukarıda bahsedilen karmaşığın kalınlığı yaklaşık 400 m olarak belirlenmiştir [1]. Temel kayası üzerine açısız uyumsuzlukla gelen diğer önemli bir kaya türü ise Neojen yaşlı sedimanter (çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve marnlı) ve mafik volkanik (dasit ve tüfler) serilerdir. Sedimanter kayaları oluşturan çakıltaşları ile başlayan seri üst seviyelerde kumtaşları, silttaşları ve en üst seviyede marnlar ile devam etmektedir [1]. Ancak çalışma alanında mostra vermemektedir. Neojen seriler içerisinde yer alan mafik volkanikleri ise genel olarak dasit ve tüflerden oluşmaktadır (Şekil 2). Tüm birimleri kesen volkanik kayalar, çalışma alanında yaygın olarak gözlenir. Sıcak su çıkışlarına bağlı olarak oluşan traverten ve çevredeki ayrılmış kayalardan oluşan alüvyonlar ise kuvaterner yaşlı birimleri oluşturur. Alüvyonlar Simav Çayı yatağı boyunca, travertenler ise jeotermal saha içerisinde yaygın olarak gözlenmektedir. Silisli bir yapı sunan travertenlerin kalınlıkları 50 m'den incedir. Çalışma alanında yer alan tüm kayalar yoğun bir hidrotermal alterasyon geçirmişlerdir.

Çalışma alanı yoğun bir tektonizmaya maruz kalmıştır. Özellikle Simav Grabeni olarak tanımlanan ve KB-GD uzanan, Sındırgı sahasını da içine alan graben istemi Ege Bölgesinin en önemli sistemidir. Ege bölgesinde yer alan birçok jeotermal sistem bu tektonizmaya bağlı olarak oluşmuştur. Çalışma alanında oluşan fay sistemleri KB-GD ve D-B yönlü düşey atımlı fay sistemleridir [2]. Bu fay sistemleri Ege Bölgesinde yer alan fay sistemlerine paralellik sunmaktadır. Ancak, bu fayları kesen KD-GB yönlü faylar graben sistemlerin yanıl yer değiştirmelerine neden olmuştur [3]. Ayrıca bu faylar sıcak suların yüzeye çıkış doğrultularını oluşturmuşlardır. Diğer en önemli tektonik faaliyet ise alanda yer alan volkanizmadır. Bölgedeki volkanizmanın yaşı Miyosen olarak belirtilmektedir [4]. Jeotermal sistemin ısı kaynağının, Batı Anadolu'daki diğer yaygın örneklerinde olduğu gibi mağmatizma olduğu düşünülmektedir. Derinlere inen sular graben tektonizmasının fayları boyunca yüzeye taşınmaktadır.

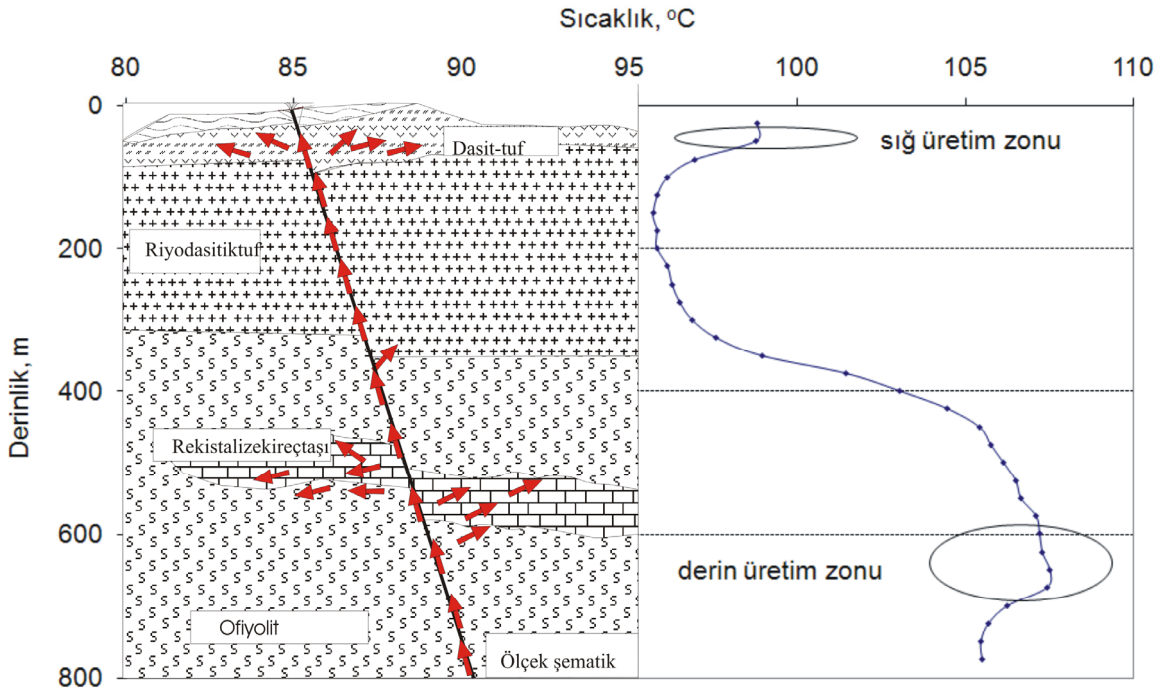


Şekil 2. Çalışma Alanının Genel Jeoloji Haritası [1].

2.2. Hidrojeolojik Yapı

Jeotermal sahada, iki farklı rezervuar kaya bulunmaktadır. Bunlardan birincisi Pliosen yaşlı lav akıntılı, tuf ve dasitlerden oluşan, yüzeye yakın kayalardır. Diğeri, çalışma alanında Ofiyolit seri içerisinde yer alan rekristalize kireçtaşlarıdır. Alanda yaygın olarak gözlenen ofiyolitik özellikteki kayalar oldukça kalın bir örtü birimini oluşturur.

Sındırğı Hisaralan jeotermal sahsındaki tek kuyu olan HS-2, TPAO tarafından elektrik üretilmesi amacıyla delinmiştir [5]. Kuyu derinliği 987 m olup, 106°C sıcaklıkta 30 L/sn debide üretim yapabilecek özelliktedir. Kuyuda, İller Bankası tarafından yapılan testler bu çalışmada kullanılmıştır. Statik sıcaklık testlerinde iki farklı üretim zonu belirlenmiştir (Şekil 3). Bunlardan birincisi, sıg üretim zonu olarak adlandırılmıştır. Bu zon 0-50 m aralığında yer almaktadır, sıcaklık 98°C ye kadar yükselmektedir. Daha sonra sıcaklık 200 m ye kadar azalmakta daha sonra yeniden artmaktadır. Derin üretim zonu olarak adlandırılan ikinci zon 550-675 m arasında yer almaktadır. Derin üretim zonunda ölçülen maksimum sıcaklık 107°C' dir. Daha derinden yükselen jeotermal akışkan biri yüzeye yakın diğeri 500-700 m arasında yer alan birimler içerisine boşalmaktadır. Akışkanlar fay ve kırıklar boyunca hareket etmektedir. Yüzeye yakın zonun üzerine kapatacak geçirimsiz bir birim olmaması veya bu örtünün aşınmış olması sahada yüzlerce doğal çıkışın varlığına neden olmaktadır.



Şekil 3. Hisaralan Sahası Akışkan Yükselim Modeli ve HS-2 Kuyusu Statik Sıcaklık Ölçüsü.

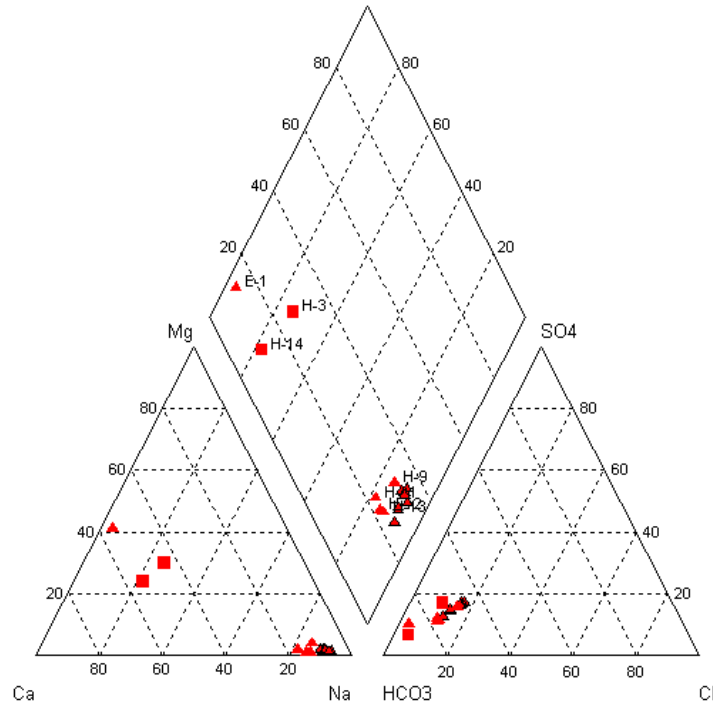
2.2. Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk sulardan yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Termal suların sıcaklıkları 32.1–96.6°C arasında değişmektedir. pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ise 6.14–8.35 ve 597–1506 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Sıcak sular zayıf alkali ve nötr su özelliğinde olup, elektriksel iletkenliğine göre ise sıcak sular C3 sınıfında tuzlu suları oluşturur.

Suların sınıflamasında yaygın kullanılan üçgen diyagramlarına göre ise çalışma alanındaki sıcak suların Na-HCO₃ soğuk suların ise Ca-HCO₃ tipi sular olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Bu durum özellikle Batı Anadolu'daki jeotermal sahaların (denizden beslenen hariç) karakteristik bir özelliğidir.

Sıcak sulardaki baskın HCO₃ karbonat çözünürlüğünü ve hazne kayasının kireçtaşları ile bağlantılı olduğunu yansıtmaktadır. Buna karşılık, sıcak suların kayaç ortamı ile uzun süre temas etmesi neticesinde ofiyolitik kayalar içerisindeki kil, serpantin gibi kayalardan Na; Ca ve Mg iyonlarıyla yer değiştirerek hakim iyon oluşturur. Soğuk suların, daha kısa dolaşım olmaları nedeniyle sıcak sulara göre iyon yükü daha azdır. Sıcak sularda Ca, 14.96 ile 62.52, Mg ise 1.24 ile 28.97 mg/L arasında değişmektedir. Sıcak sulardaki killi, şeyilli ve tuzlu bileşimlerden kaynaklanan Na ve K ise oldukça yüksektir. Yukarıda belirtilen su kayaç ilişkisine ve kayaç litolojisine bağlı olarak konsantrasyonları atmakta ve Na 321 mg/L, K ise 23.04 mg/L seviyelerine kadar çıkmakta ve soğuk sulara göre yüksek değer vermektedir.

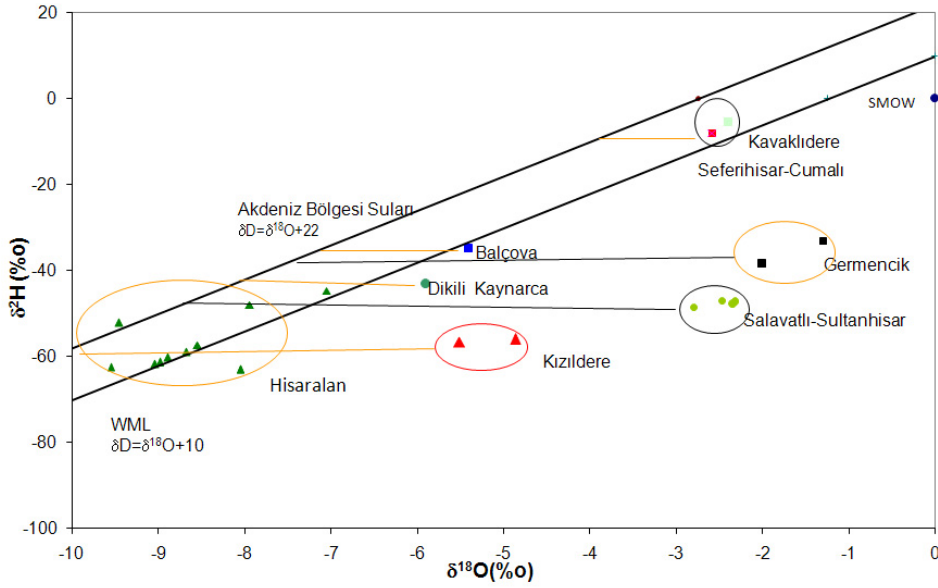
Anyonlar açısından sıcak sular soğuk sulara göre yüksek değer vermiştir. Özellikle, Cl, HCO₃ ve SO₄ değerleri ile sıcaklık arasındaki pozitif korelasyon, su içerisindeki mineral içeriğinin sıcak akifer kayasına bağlı olarak artış gösterdiğini yansıtmaktadır. Sıcak suların toplam sertliği soğuk sulara oranla daha düşüktür. Sıcak sularda Na ve Ca-Mg iyon değişimi sertliği düşürmektedir. Suların katyon analizlerinde Ca ve Mg (TSE standartları: Ca 200 mg/L, 50 mg/L) değerleri içme suyu standartlarının altında olmasına rağmen, Na ve K değerleri TSE-266 içme suyu standartlarının üzerinde belirlenmiştir [6]. Bu nedenle suların içilmesi önerilmez.



Şekil 4. Çalışma Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Piper Diyagramı Üzerindeki Yeri

Sıcak suların ağır metal ve iz element analizlerinde de önemli oranda metal saptanmıştır. Hidrotermal alterasyon bağlı olarak gelişen sülfid oksidasyonları ve Fe oksidasyonu, kayadan sıcak sulara yüksek oranda metal girdisi sağlamaktadır. Özellikle, Sındırgı jeotermal sularında Al, As, B, Fe, Li, Mn standartların üzerinde değer vermiştir. Silikatların alterasyonundan suya geçen Al, H9 ve H15 nolu kaynaklarda içme suyu standardı olan 200 µg/L değerinin üzerinde çıkmıştır. Diğer taraftan, pirit ve arsenopirit gibi sülfid alterasyonundan suya geçen ve toksisitesi olan As, sıcak sularda 22-114 µg/L arasında değişmekte ve 10 µg/L değerinin üzerinde belirlenmiştir [6]. Genel olarak sulama su kalitesini etkileyen B, ise Sındırgı jeotermal sularında 0.3 – 7 ppm arasında değişmektedir. Bor sulama suları için önerilen 1 ppm değerinin üzerindedir, ancak Batı Anadolu’ daki özellikle Gediz ve Mendere grabenlerindeki 60 ppm değeri ile karşılaştırdığında çok düşük görünmektedir. Soğuk sularda yukarıda belirtilen elementler oldukça düşüktür (Tablo 2). Hidrotermal alterasyona bağlı gelişen Fe, Mn ve silikatların alterasyonundan kaynaklanan Li ise sıcak sularda standartların üzerindedir. Özellikle Fe, Li, Al ve As ile yüksek ve pozitif korelasyon vermesi, pirit ve arsenopirit gibi sülfid çözünürlüğünün varlığına işaret etmektedir. Çalışma alanındaki sıcak suların su kayaç etkileşimine bağlı olarak mineral yoğunluğu sıcak sulara göre daha fazladır. Bu özelliğine nedeniyle içme suyu olarak kullanılamamalı ancak, banyo ve termal turizm amaçlı olarak kullanılmalarında bir sakınca bulunmamaktadır.

Derin ve sığ suların dolaşım mekanizmasını daha net ortaya konması için çalışma alanındaki soğuk ve sıcak sularda izotop analizleri yapılmıştır (Tablo 2). Sahadaki yeraltı suyu ve yüzey suları Akdeniz ve Global yağış suları çizgisi arasındadır (Şekil 5). İzotop çalışması, suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. HS-2 kuyusundan alınan H1 örneği, oksijen-18 zenginleşmesi göstermektedir. Bu beklenen sonuçtur. Derin jeotermal suyu en iyi H1 örneği temsil etmektedir. Diğerleri yüzeye yaklaşırken soğuk sularla karışmaktadır.



Şekil 5. Çalışma Alanındaki Suların Akdeniz ve Global Yağış Suları İle Karşılaştırılması.

İzotop örneklerini, Ege Bölgesindeki diğer örneklerle karşılaştırdığımızda daha az Oksijen-18 zenginleşmesi olduğu görülmektedir. Bu da Hisaralan jeotermal sahasının, diğer sahalara oranla daha düşük sıcaklıklı bir ortama ve daha kısa dolaşım süresine sahip olduğunu göstermektedir. Jeotermometre hesaplamaları ve Na-K-Mg üçgen diyagramında, Hisaralan sularının henüz olgunlaşmamış sular bölgesinde yer alıyor olması da bu görüşü desteklemektedir.

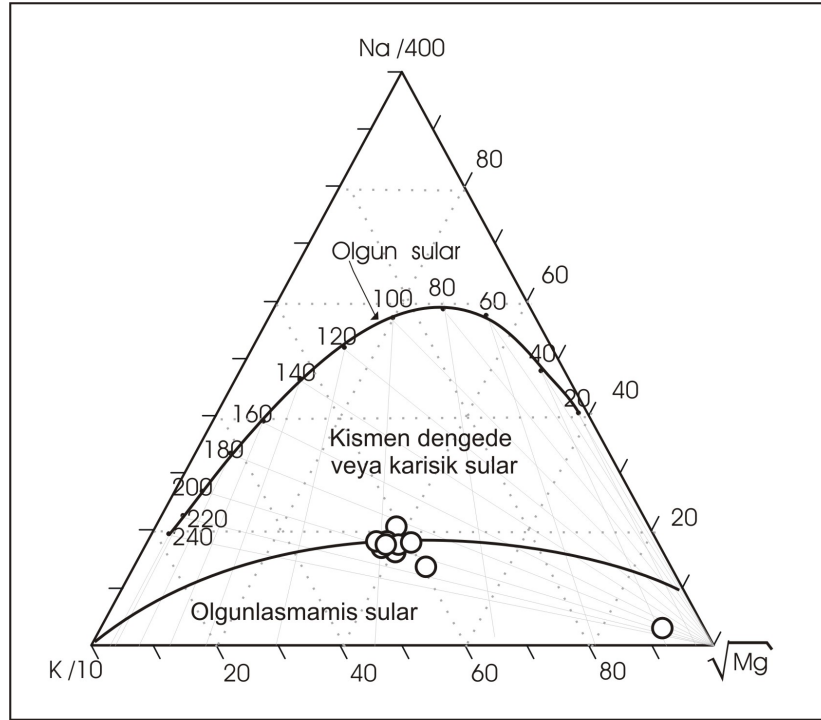
Jeotermometre çalışmalarına göre; silis jeotermometreleri hazne kaya sıcaklığının 158°C'ye kadar yükselebileceğini, Na/K jeotermometresi 193°C, Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi 137°C sıcaklık vermektedir (Tablo 2). Değerlendirmelerde ölçülen sıcaklıktan daha düşük hesaplanan değerler Tablo 2'ye dahil edilmemiştir. Jeotermometre çalışması bölgede beklenebilecek en yüksek sıcaklığın 150°C civarında olabileceğini göstermektedir. Na-K-Mg üçgen diyagramına göre jeotermal sular, olgunlaşmamış sulardır (Şekil 6). Bu durumda katyon jeotermometreleri güvenilir değildir. Sıcaklık olarak saha orta entalpili bir jeotermal alan olarak görülmektedir.

Tablo1. Jeotermometrelere Göre Olası Hazne Sıcaklığı[7,8,9,10]

Jeotermometre Türü	Hesaplanan Hazne Sıcaklığı (°C)
Kalseduan	96-129
Kuars	126-158
Kuars buhar kaybı	121-151
Na/K	147-193
Mg/Li	109-127
Na/K	110-159
Na-K-Ca Mg düzeltmeli b=1/3 için	116-137

Tablo 2. Su Kimyası Analiz Sonuçları.

Örnek No	X	Y	Debi (l/s)	T °C	pH	EC μ S/cm	TDS mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	δ O ¹⁸	δ ² H
H-1	4348004	613888	30	96.0	7.79	1252	792.0	20.36	2.66	273.31	17.82	92	616.3	114	-8.05	-63.1
H-2	4348264	613827	2	58.2	7.51	1378	692.0	21.26	2.77	275.45	19.54	93	610.0	126		
H-3	4348275	613834	20	18.0	8.35	738	346.0	70.51	28.97	45.98	6.17	31	390.0	72	-7.94	-48.0
H-4	4348168	613794	0.5	79.2	7.03	1331	802.0	21.48	2.30	266.83	19.60	87	606.0	117		
H-5	4348026	613775	0.1	85.0	6.59	1287	678.0	24.04	2.87	267.39	17.85	85	614.0	117		
H-6	4347965	613775	2	83.7	6.51	1283	858.0	21.96	2.54	285.41	18.81	89	630.0	126		
H-7	4347943	613743	8	72.0	7.45	1388	688.0	19.83	2.58	272.40	18.82	86	611.0	117	-8.98	-61.4
H-8	4347876	613765	5	96.0	7.43	1196	479.0	14.96	2.16	275.04	17.73	84	609.1	114	-8.95	-61.3
H-9	4347651	613821	1	81.3	7.00	1487	877.6	20.76	1.99	321.75	15.19	69	655.0	93		
H-10	4347674	613758	5	94.0	6.89	1275	894.0	28.06	6.27	258.16	18.53	83	630.0	114	-9.04	-61.8
H-11	4347186	613373	3	55.5	7.07	1252	616.0	19.35	2.85	269.71	17.29	85	610.0	114		
H-12	4347561	614841	2	62.0	6.14	1490	789.1	52.83	3.54	305.00	12.82	66	783.7	96	-8.67	-59.0
H-13	4347574	614808	3	62.0	6.90	1225	636.3	37.51	1.24	261.77	8.90	54	596.7	72		
H-14	4347942	614319	-	18.5	6.20	1391	815.2	36.63	1.34	289.01	11.23	64	650.1	81	-8.55	-57.3
H-15	4347927	613834	3	95.0	7.46	597	294.8	75.42	20.29	34.44	1.80	12	409.7	24		
H-16	4347887	613779	5	96.6	6.80	1487	889.7	21.82	2.51	307.20	23.04	74	632.3	102	-8.05	-63.1
H-8A	4347876	613765	4	95.2	7.12	428	80.0	62.52	28.31	4.53	1.49	6	58.0	27	-7.94	-48.0

**Şekil 6.** Örneklenen Suların Na-K-Mg Üçgen Diagramındaki Durumu [11].

3. KORUNMASI GEREKEN DOĞAL HARİKALAR

Travertenler hem oluşum dönemindeki iklim koşullarına yönelik veri barındırması açısından hem de bölgenin geçirmiş olduğu tektonik evrime yönelik ipuçları taşıması açısından önemlidir. Bunun yanında birer doğa harikası olmaları nedeniyle turizm açısından ayrı bir değeri vardır.

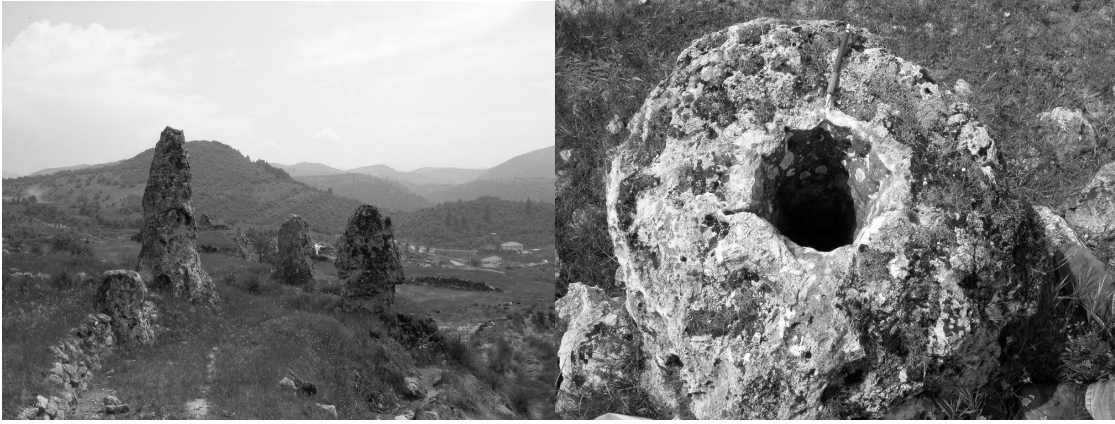
Traverten oluşumlarının da birçok faktör rol oynar. Bunların başında akışkanın kimyası gelir. Akışkan bikarbonatça zengin olmalıdır. Bikarbonatça zengin akışkan yüzey koşullarına doğru yolculuğunda sıcaklığında ve basıncında değişimler gerçekleşir. Bu değişimler CaO ve HCO_3 iyonlarının CaCO_3 formunda çökerek akışkandan ayrılmasına ya da ortamdaki CaCO_3 çözerek CaO ve HCO_3 formunda bünyesine almasına neden olur. Bikarbonatça zengin akışkanın derinlerde CO_2 kısmi basıncı yüksektir. Yüzeğe doğru yükselen akışkanın ortam basıncı azalır. Akışkanındaki CO_2 kısmi basıncı ortam basıncını yendiği noktada CaCO_3 çökelmeye başlar. Bu çökelen kalsiyum karbonatlar damar tipi travertenleri oluşturur. Yüzeğe ulaşan akışkan hala CO_2 kısmi basıncı yüksektir. Yüzeğe ortam basıncı 1 atm olduğundan hızlı bir traverten çökelişi gerçekleşir. Kaynağın bulunduğu yerdeki ortamın morfolojik nitelikleri, suyun sıcaklığı kimyasal içeriği iklim koşulları farklı tiplerdeki traverten depolanmalarına neden olur.

3.1. Traverten Yataklanma Tipleri

Travertenler morfolojik niteliklerine göre damar, teras, sırt, fay önü, kanal, tabakalı ve tümsek tipi travertenler olarak sınıflandırmışlardır [12,13,14]. Damar tipi travertenler kırık içinde kırık çeperine paralel bantlar şeklinde çökelmişlerdir. Teras tipi travertenler bir yamaçtan boşalan akışkanın çöktürmüş olduğu travertenlerdir. Oluşumunda suyun kimyasal niteliklerinin, yanı sıra HCO_3 'ca zengin akışkanın akış rejimini de önemlidir. Yamaçtan boşalan akışkan yamaç aşağı akar iken bir engele çarptığında tümsek şeklinde traverten çökeltir zamanla bu tümsek yay şeklinde gelişir. Yay gerisinde havuz oluşur, havuzda akan suyun rejimi laminer iken havuz duvarında türbülanslıdır. Türbülans akış rejiminde daha fazla CO_2 ortamdaki uzaklaşmasına bağlı olarak hızlı CaCO_3 çökelişi gerçekleşir. Sırt tipi travertenler morfolojik olarak eğimli olmayan düz bir alanda yarıktan çıkan suyun yarığın her iki tarafına traverten çökeltmesi sonucu olmuştur. Bu yarık ya da çatlak bir faysa zamanla fayın hareketi sonucu düşen blokta traverten çökelişi kalınlaşır yükselen blokta ise çökelim durur. Bu tip traverten oluşumlarına fay önü traverten oluşumları denilmiştir. Kanal tipi traverten oluşumları ise kaynaktan boşalan HCO_3 zengin akışkan zamanla aktığı güzergah boyunca kanal şeklinde traverten çökeltir. Bir kanal boyunca akan akışkanda kanal merkezinde akış rejimi laminer iken kanal duvarlarına yakın kesimlerde ise türbülanslıdır. Laminer rejimde CO_2 kaçıışı az olduğundan traverten çökelim hızı da yavaştır. Türbülanslı akımda hızlı CO_2 kaçıışı ile hızlı traverten çökelişini gerçekleştirir. Bu durum kanal duvarlarının hızlı gelişimi ile sonuçlanır. Bu nedenle bu tip oluşumların kesitler "M" şeklindedir. Kanal duvarını aşan sular çağlayarak aktıkları için hızlı CO_2 kaçışına neden olurlar. Bu hızlı CO_2 kaçıışı ise kanal duvarlarının dışında düzensiz ondüveli traverten çökelişine neden olur. Tabakalı tip traverten oluşumları, görsel alanlarda toplanan akışkanda CO_2 kaçıışı yavaş olması nedeniyle bu tip alanlarda yavaş bir CaCO_3 çökelişi gerçekleşir. Bu durum düzgün laminalı tabakalı bir traverten oluşumuna neden olur. Tabakalı traverten oluşumu için sadece görsel bir alan zorunluluğu yoktur. Eğimi az morfolojilerde yamaç boyunca akan su tabakalı tip travertenleri oluşturabilir. Bu tip yamaç boyunca akan akışkandan oluşan tabakalı travertenlerde ondüveli bir laminalanma izlenirken görsel tip oluşumlarda çok düzgün bir laminalanma izlenir. Tümsek tipi travertenlerin oluşumu için eğimli bir morfoloji ve debisi çok düşük bir kaynak gereklidir. Su sızarak akmalıdır. Su daha önce çöktürmüş olduğu traverten üzerinde sızarak akar iken minör ölçekte teras yapıları oluşturur. Tümsek tipi travertenler yamaç aşağı gelişir.

İnceleme alanında tabakalı tip travertenler kanal tipi travertenler tümsek tipi travertenlerin yanı sıra bu bölgeye özgü baca şeklinde oluşmuş farklı bir traverten tipi gözlenmiştir (Şekil 7). Bir doğa harikası görünümü olan bu baca tipi traverten, hem oluşumu açısından ilginç olduğu gibi turizm açısından da oldukça ilgi çekicidir. Yüksek basınca sahip olan akışkan yer yer kaynaktan 1-1.5 metre yüksekliğe fırlatarak akmaktadır. Yapılan incelemelerde bu tip travertenin olduğu alanlarda akışkan yatay düzleme dik olarak yüzeğe fırlatılmaktadır. Yatayla 90 dereceden farklı açılara sahip fırlatan kaynaklarda baca tipi travertenin gelişmediği gözlenmiştir. Yüksek basınçla fırlatan akışkan tekrar kaynak etrafına düşmek ve zamanla kaynak etrafında dairesel traverten çöktürmektedir. Akışkan

basıncının izin verdiği yüksekliğe kadar travertenin gelişmesi mümkündür. Bu olayın güncel örnekleri sahada mevcuttur.



Şekil 7. Baca Tipi Traverten Oluşumu.

Traverten litotipleri; Traverten depolanma alanlarında kristalin kabuk, çalı, pizolit, sal, kapanlanmış kabarcık litofasiyeleri tanımlanmıştır. İnceleme alanında bu traverten litotipleri gözlenmiş ve tanımlanmıştır.

Kristalin kabuk kaynağın çevresinde oluşur. Yatayda oldukça geniş, tipik olarak kalın çökeller olup yamaçta ve sarp yerlerde oluşurlar [15]. Kristalin kabuklar düşeyde çökelim yüzeyine kadar genellikle yoğun, parlak beyaz kaba lifli uzun kalsit kristalleriyle yapıldır. İnceleme alanında kaynaklar etrafında çökelmiş travertenler. Çalı tipi litofasiyesi Traverten depolanma alanlarında sık gözlenir [16], [17], [18], [19]. Çalı şeklinde görünüşleri ile kolaylıkla ayırt edilirler mikrit/sparkalsit çalları birkaç milimetreden santimetre boyutlarına ulaşabilir. Donuk gri ya da donuk kahve renkli düşey olarak yönelmiş düzensiz dentritik bir morfolojiye sahiptir [19]. Bu tip litofasiyes teras havuzlarında ve depresyon alanı ve düzlüklerde oldukça geniş ve kalın bir çökel oluşturur. İnceleme alanında küçük gölcüklerin etrafına gözlenirler. Pizolit litofasiyesi, bu tip oluşumlar traverten depolanma alanlarında oldukça yaygın bir şekilde gözlenir [19]. Pizolitler küçük teras havuzlarında dik yamaçlarda, depresyon alanlarında geniş havuzlara kadar birçok depolanma alanlarında görülürler [20], [21]. İnceleme alanında termal suyun aktığı güzergah boyunca çukurlarda gözlenmiştir. Traverten pizolitlerinin şekilleri küreselden düzensiz yuvarlak şekillere doğru sıralanır. Beyaz ve donuk sarı renklidirler. Bu tip oluşumda temel iki tip ayırt edilir. Tek merkezli laminalanma ve ışınsal çalı, Tek merkezli laminalanmış pizolitler çalkantılı ve türbülanlı suda oluşurlar [21]. Nadiren taşınırlar, az aşınırlar bu tip pizolitlerin inorganik olduğu ışınsal tip pizolitlerin ise organik faaliyetlerle ilgili olduğu düşünülür [21]. İnceleme alanında pizolitler çalkantılı ortamda oluşmuş tek merkezli laminalanmış pizolitlerdir. İnce yaprağımsı sal litofasiyesi çalışma alanında termal suyun biriktiği akış hızının oldukça düşük olduğu alanlarda suyun üzerinde yağimsı bir tabaka şeklinde görülürler. Suyla hava sınırında çökelmişlerdir. Zamanla çukurun tabanında düzensiz levhalar şeklinde depolanırlar. Sudan termodinamik yada mikrobiyal faaliyet sonucu ayrılan CO₂ kabarcıkları sal tipi traverten içinde yada su yüzeyinde kapanlanır zamanla bu gaz karcığını etrafı CaCO₃ zarfıyla çevrenir ve depolanma ortamında kabarcık şeklinde yığılır. Bu tip litofasiyese kapanlanmış kabarcık litofasiyesi adı verilmiştir [16], [19]. İnceleme alanında suyun akış doğrultusu boyunca yer yer gözlenmiştir. İnceleme alanında daha düşük kotlarda termal suyun yağmur yada yüzey suyuyla seyreltiği alanlarda ortamdaki bitki örtüsünün etrafı CaCO₃ la sıvanmış şeklinde gözlenmiştir. Bu tip fasiyes literatürde saz tipi litofasiyes olarak adlandırılmıştır [20].

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alanda yapılan hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmada, derin ve basınçlı akifer ortamından fay düzlemleri boyunca yüzeye çıkan sıcak sular, yüzeydeki kırık sistemleri boyunca ortalama 150 L/s debi ile serbest halde akmaktadır. Elektrik üretimi için delinen HS-2 araştırma kuyusunda yüzeyde 0-50 m arasında ve 550-675 m derinlikler arasında sıcak su üretim zonu belirlenmiştir. İzotop analiz sonuçları, sıcak suların yüzeysel beslenmeli ve soğuk sulara göre daha uzun dolaşım sürelerine sahip olduğunu ifade etmektedir. Su kimyası, sıcak suların önemli oranda mineral içerdiğini ve hazne kayasının özelliklerine bağlı olarak sıcak suların Na-HCO₃, soğuk suların ise Ca-Mg-HCO₃ tipi suları oluşturur. Jeotermal potansiyeli açısından değerlendirildiğinde saha orta entalpilidir. Ulaşılabilecek maksimum rezervuar sıcaklığı 150°C dolayındadır. Jeotermal kaynak öncelikle sera, ısıtmacılık ve termal turizm için kullanıma uygundur. Gelişen teknoloji ve artan enerji fiyatları daha düşük sıcaklıklı akışkanlardan elektrik üretimini olanaklı kılmaktadır. Ancak, alanın yerleşim yerlerine uzaklığı dikkate alındığında ısıtmacılık açısından ekonomik koşulları sağlamamaktadır.

Saha güncel ve ender görülen traverten tiplerinin ve litofasiyelerinin izlenebileceği bir doğal park ve miras konumundadır. Sahada jeotermal enerjiyi kullanmayı hedefleyen tüm projeler, sahanın bu niteliğine zarar vermemelidir. Bu nedenle sahada kuyu delinmesi kesinlikle yasaklanmalı, mevcut HS-2 kuyusu kullanılmamalıdır. Bu kuyunun kullanılması doğal çıkışların azalmasına ve kurumasına neden olabilir. Diğer yandan sahada düşük kotlarda planlanacak ve sadece doğal akışla buralara gelecek suları toplayacak bir kaptaj uygulaması yapılabilir. Kaptajla alınacak sular ısıtma ve termal turizm amaçlı kullanılabilir. Saha doğal sit alanı olarak ilan edilmiş olmasına rağmen, korunmasına yönelik çalışmalar ve izleme yapılmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ÜNAL, A. "Hisaralan Kaplıcaları Civarının Jeotermal Alan Olanakları Hakkında Rapor", MTA Raporu, no: 5974, 1972.
- [2] AKYÜZ, S.H, OKAY, A.I. "Anatomy of an Epithermal Mineralization: Mumcu (BALIKESİR-SINDIRGI), İner Western Anatolia, Turkey", Mineral res. Expl. Bull. 120, 81-95,1998.
- [3] ŞENGÖR, A.M.C., SATIR, M., AKKOK, R. "Timing of Tectonic Events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for Tectonic Evolution and Evidencefor Pan-African Basement in Turkey" Tectonics , 3, 693-707,1984.
- [4] Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S., Asutay, J. "Balıkesir Bandırma arasının jeolojisi, Tersiyer volkanizmanın petrolojisi ve bölgesel yayılımı". MTA Dergisi, 110, 113-130,1990
- [5] MTA , "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri", Envanter Serisi-201, Ankara, 2005
- [6] TSE 266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [7] FOURNIER, R. O."Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems", Geothermics, 5, p. 41-50,1977.
- [8] FOURNIER, R., O. A Revised Equation for the Na/K Geothermometer. Geothermal Resources Concl Transactions , 3, p. 221-224, 1979
- [9] KHARAKA, Y., K. ve MARINER., H. "Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimetary Basins". In: Naeser, N. D. & McCulloch, T. H. (eds.), Thermal history of sedimentary basins: methods and case histories. Springer-Verlag, New-York,1989.
- [10] TRUESDEL, A.H. "Summary of Section III. Geochemical Technics in Exploration". Proc. 2 nd. UN Syposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Fransisco, 1975, 1, 8 37-844,1976.
- [11] GIGGENBACH, W.F. "Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoinicators", Geochim. Cosmochim. Acta, 52, 2749-2765, 1988.
- [12] ALTUNEL, E. "Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri Yaşları ve Neotektonik Önemleri", Bull. Min. Res. Exp. İnts.No 118, P.47-64,1996.
- [13] DEMİRKIRAN, Z. " Kaklık Kocabaş (Denizli) Travertenlerinin Litolojik Morfolojik Özellikleri ve Sınıflaması", Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) 3-5 Mayıs, P17-31 Afyon, 2001.

- [14] DEMİRKIRAN, Z. "Traverten Tektoniği ile Urganlı Jeotermal Sisteminin Değerlendirilmesi, Batı Anadolu", 30. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 25-27 Ekim 2007.
- [15] GUO, L. And RIDING, R. "Micritic Arogonite Laminae in Hot Water Travertine Crusts, Rapolano Terme, Italy". Sedimentology, 41, 499-520, 1992b
- [16] CHAFETZ, H.S. and FOLK, R.L. "Travertines: Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents" J. Sedim. Petrol.,54, 289-316,1994
- [17] CASANOVA, J. "East African rift stromatolites. In: Sedimentation in the African Rift (Ed. By L.E. Frostick, R.W. Renault, I. Reid and Jç.J Tiercelin)", Geol. Soc. London Spec. Publ., 25, 201-210, 1986
- [18] PENTACOST, A. "The Formation of the Travertine Shrubs: Mammoth Hot Spring, Wyoming. Geol. Mag.", 127, 159-168, 1990.
- [19] GUO L. and RIDING, R. "Hot Spring Travertine Facies and Sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme Italy", Sedimentology 45, 163-180, 1998
- [20] GUO, L. "Fabrics and Facies of Quaternary Travertines, Rapolano Terme central Italy. PhD thesis, University of Wales, Cardiff, 237 pp, 1993.
- [21] CHAFETZ, H.S. and FOLK, R.L. "Pisoliths (pisoids) in Quaternary Travertines of Tivoli, Italy, In: Coated Grains (Ed. byT.M. Peryt)", pp 474-487, Springer Verlag, Berlin. 1983.

ÖZGEÇMİŞ

Niyazi AKSOY

1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1984–1994 arasında MTA Genel Müdürlüğünde jeotermal enerji sondaj, üretim ve test mühendisi olarak çalıştı. 1997–2001 yılları arasında DEÜ Uygulamalı Jeoloji ABD’de yüksek lisans ve doktorasını tamamladı. Jeotermal enerjili bölgesel ısıtma, seracılık ve elektrik üretimi projelerinde kuyu değerlendirme, test, ölçme ve saha yönetimi konularında çalışmaları bulunmaktadır.

Zülfü DEMİRKIRAN

1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 1993 yılında Yüksek Lisans, 2000 yılında doktor unvanını almıştır. DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulunda 1993–1995 yılında araştırma görevlisi, 1995–2001 yılında öğretim görevlisi, 2001 yılından beri de Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Maden yatakları ve Maden Jeolojisi konularında çalışmaktadır.

Celalettin ŞİMŞEK

1994 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1998 yılında Yüksek Lisans, 2002 yılında Doktor unvanı almıştır. DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulunda 1997–2001 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2001- 2004 yıllarında Öğretim Görevlisi, 2004 yılından beri aynı birimde Yrd Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Hidrojeoloji ve çevre jeolojisi konularında çalışmalarını sürdürmektedir.