



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(1): 1-7 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(1): 1-7 (2017)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Heybeli (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanı Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Jeotermometre Uygulamaları

Selma DEMER*, Ümit MEMİŞ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 02.12.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 12.01.2017

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: selmademer@sdu.edu.tr*

☎ +90 246 2111615 📠 +90 246 2370859

ÖZ

Heybeli jeotermal alanı Afyonkarahisar ilinde bulunan jeotermal sahalardan biridir. Çalışma alanındaki Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kristalize kireçtaşı (mermer) ve kalkıştiller ile Neojene ait çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı kaya birimleri bölgedeki termal sular için muhtemel rezervuar kayacı oluşturur. Jeotermal suların sıcaklıkları 56°C, EC değerleri 3440 ve 3490 µS/cm ve pH değerleri 6,53 ve 6,56 olarak ölçülmüştür. Heybeli jeotermal suları Na-(Ca)-HCO₃-SO₄ su tipinde olup TDS, Na, SO₄, F, Fe, As, B değerleri ulusal ve uluslararası standartları aşmaktadır. Heybeli bölgedeki jeotermal sularda yapılan rezervuar sıcaklığı hesaplamaları, alanda 75-106°C akışkan içeren bir sistemin varlığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar-Heybeli, jeotermal sular, jeotermometre, hidrojeokimya

Hydrogeochemical Features and Geothermometry Applications of Heybeli (Afyonkarahisar) Geothermal Field

ABSTRACT

Heybeli geothermal field is one of the geothermal systems in Afyonkarahisar and environ. Paleozoic quartzites, crystallized limestones (marble), and calc schists and Neogene pebbles, sandstone, limestone units are probable reservoir rocks of the geothermal waters in the study area. Temperature measurements of the geothermal waters are 56 °C, EC values are between 3440-3490 µS/cm and pH values are between 6,53-6,56. Heybeli geothermal waters can be considered as Na-(Ca)-HCO₃-SO₄ type exchange waters. And these geothermal waters TDS, Na, SO₄, F, Fe, As and B values are higher than the national and international standards. The reservoir temperature calculations of Heybeli geothermal waters indicate the existence of a system containing fluid in the 75-106 °C.

Keywords: Afyonkarahisar-Heybeli, geothermal waters, geothermometer, hydrogeochemistry

GİRİŞ

İnceleme alanı Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 35 km güneydoğusundadır. Heybeli jeotermal alanının, çağlar

boyunca yoğun bir şekilde kaplıca olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bolvadin belediyesine ait Heybeli Termal Tesisleri'nin ısıtma ve balneolojik kullanım suyu gereksinimini karşılamak amacıyla açılmış olan H-1/A, H-3

ve H-4 kuyuları bulunmaktadır. H-1/A kuyusu halen Heybeli Termal Tesisleri gereksiniminin karşılanması amacıyla, H-4 kuyusu sahadaki bir bölüm devre-mülk konutun jeotermal su gereksiniminin karşılanması için kullanılmakta, H-3 kuyusu ise kullanılmamaktadır (Girbalar, 2008). Bölgede jeotermal amaçlı jeolojik, hidrojeokimyasal çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Erişen (1972), Afyonkarahisar-Heybeli sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarını araştırmıştır. Mutlu (1996), Afyonkarahisar jeotermal alanları termal sularının jeokimyasal değerlendirmesini yapmış, Heybeli-Karaburun bölgesindeki suların NaHCO₃ karakterinde olduğunu belirlemiş, akışkan-mineral denge durumlarını incelemiş ve jeotermometre uygulamalarını yaparak rezervuar sıcaklıklarını hesaplamıştır. Gemici ve Tarcan (2004), Afyonkarahisar Heybeli termal suları ile ilgili yaptıkları çalışmada, bu termal suların ısıtma, sera, banyo, yüzme ve balneolojik amaçlara uygun olduğunu ancak bazı major (Ca, Mg, Na ve SO₄) ve ikincil iyon konsantrasyonları (özellikle As) açısından maden suyu olarak kullanımının uygun olmadığını belirtmiştir. Bu çalışmada, Heybeli jeotermal alanındaki suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve jeotermal suyun rezervuar sıcaklığının araştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmalar, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki grupta toplanabilir. Yapılan arazi çalışmalarında 2 adet jeotermal su kuyusundan ve 1 adet yeraltı suyu kuyusundan örnek alınmıştır. Örnekler 0,45 µm geçirgenliğindeki filtre ile süzülmüştür. Örnek şişelerinden biri katyon örneklerinin korunması amacıyla derişik HNO₃ ilave edilerek asitlendirilmiş, anyon analizi için alınan diğer örnek şişesine ise asit eklenmemiştir. Arazi çalışmalarında sıcaklık (T), hidrojen iyonu aktivitesi (pH), elektriksel iletkenlik (EC) gibi in-situ ölçümleri taşınabilir cihazlarla ölçülmüş, alkalinite-asidite titrimetrik yöntemle belirlenmiştir. Alınan örneklerin hidrojeokimyasal analizleri standart metotlar (APHA-AWWA-WEF, 2005) kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde ICP-OES ve iyon kromatografisi cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları için herhangi bir doğruluk ve kesinlik deneyi yapılmamış olmakla beraber analiz edilen sulara ait yük-denge oranlarının %5'den az oluşu nedeniyle (Tablo 1), sonuçlar güvenilir olarak kabul edilmiştir. Hidrojeokimyasal analiz sonuçları AquaChem v.3.7 (Calmach, 1999) ve SOLMINEQ.88 PC/SHELL (Kharaka et al., 1988) bilgisayar programları kullanılarak değerlendirilmiştir.

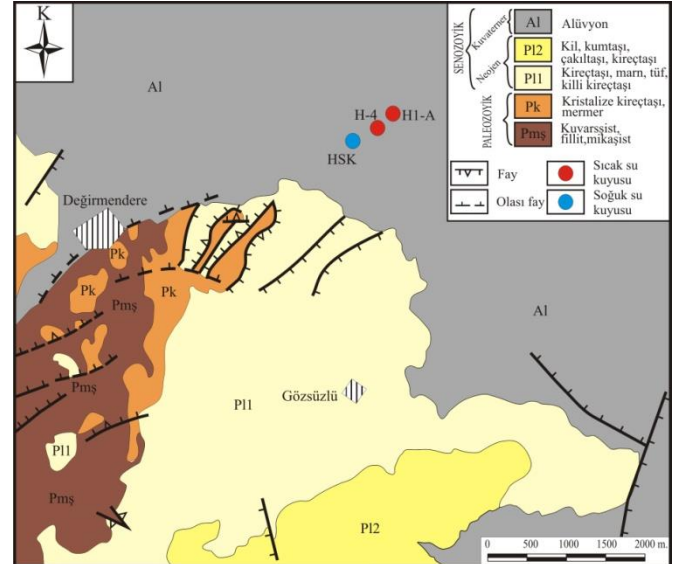
BULGULAR VE TARTIŞMA

Jeoloji

Heybeli bölgesinde temelde Paleozoyik yaşlı şistler bulunmaktadır. Bu metamorfik temelli killi şist, mikaşist, kalkışist, fillit, kuvarsit, kuvarslı şist ve kuvarsit şistler oluşturur. Şistlerin üzerine geçişli olarak mermer ve kalkışistler yer alır. Bunların üzerine açısız uyumsuzlukla Neojen çökelleri gelir. Gözenekli görsel kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, tüfit, çakıltaşı, kumtaşı, silt ile temsil edilen Neojen çökellerin maksimum kalınlığı 300 m. dir. Traverten ve alüvyon ise en genç birimlerdir. Genç volkanik etkinliğe bağlı kayalar Neojen çökelleri arasındaki tüfitler ile Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlı bazaltlardır. Alanda gözlenen genel kırık hatları KD-GB ve KB-GD yönlü eğim atımlı normal faylarla temsil edilir ve bu kırık çizgileri Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlıdır. Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kristalize kireçtaşı (mermer) ve kalkışistler ile Neojene ait çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı kaya birimleri bölgedeki termal sular için muhtemel rezervuar kayacı oluşturur (Şekil 1; Erişen, 1972; Erişen ve ark., 1984; Mutlu, 1996; Akkuş ve ark., 2005; Gemici ve Tarcan, 2004).

Hidrojeokimya

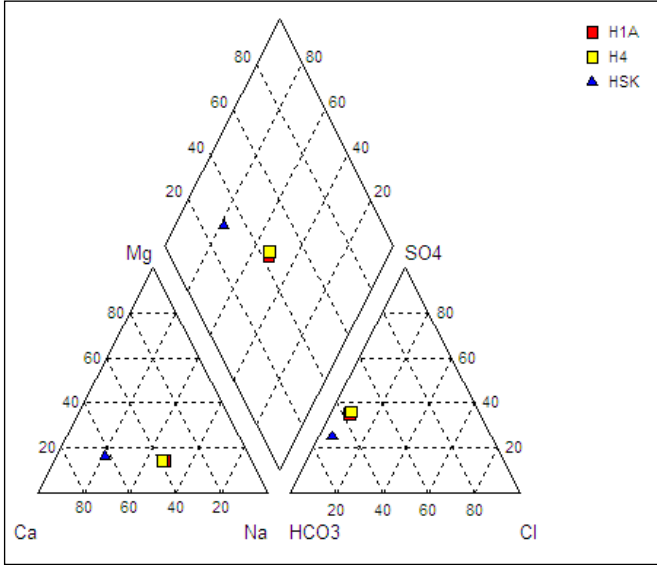
Çalışma kapsamında Heybeli jeotermal sahasından 2 adet jeotermal su, 1 adet yeraltı suyu örneği alınmıştır. Çalışma alanındaki sulara ait in-situ ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.



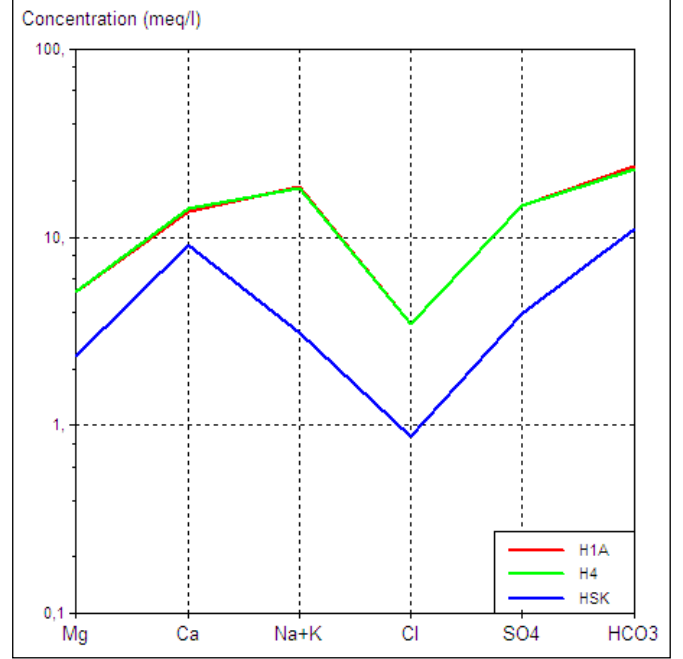
Şekil 1. Heybeli jeotermal alanının jeoloji haritası (Erişen, 1972'den basitleştirilerek)

Jeotermal su örneklerinin sıcaklıkları 56°C, EC değerleri 3440 ve 3490 µS/cm ve pH değerleri 6,53 ve 6,56 olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu örneğinin ise sıcaklığı

11,4 °C, pH değeri 6,75 ve elektriksel iletkenlik değeri ise 1330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Çalışma alanındaki suların hidrojeokimyasal fasiyesini belirlemek amacıyla kimyasal analiz sonuçları, Piper diyagramı üzerine yerleştirilmiştir. Bu diyagrama göre, jeotermal sular Na-(Ca)-HCO₃-SO₄ tipli sular fasiyesine girmektedir. Yeraltıları ise Ca-(Na)-HCO₃-(SO₄) tipli sular fasiyesindedir (Şekil 2; Demer ve Memiş, 2015). Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre ise jeotermal sularda hakim iyon dağılımı kanyonlar için Na+K>Ca>Mg, anyonlar için HCO₃>SO₄>Cl olup, soğuk yeraltısuyunda hakim iyon dağılımı kanyonlar için Ca>Na+K>Mg, anyonlar için HCO₃>SO₄>Cl şeklindedir (Şekil 3). Heybeli bölgesindeki jeotermal suların kimyasal analiz sonuçları göz önüne alındığında TDS, Na, SO₄, F, Fe, As, B değerlerinin ulusal (DMSHY, 2004; İTASHY, 2005) ve uluslararası (WHO, 2006) içme suyu standartlarını aştığı görülmektedir (Tablo 1).



Şekil 2. Çalışma alanındaki suların Piper üçgen diyagramındaki dağılımları



Şekil 3. Çalışma alanındaki suların Scholler yarı logaritmik diyagramdaki dağılımları

Rezervuar Sıcaklığının Belirlenmesi

a) Silika ve katyon jeotermometreleri

Çalışma alanındaki jeotermal suların silika jeotermometreleri ve katyon jeotermometreleri ile rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır (Tablo 2-3). Kuvars jeotermometrelerinin ölçülen kuyu başı sıcaklıkları dikkate alınarak 75-90°C civarında bir rezervuar sıcaklığı yansıttığı söylenebilir. Kalsedon jeotermometreleri ile de 58-60 °C civarında bir rezervuar sıcaklığı hesaplanmıştır. Kalsedon jeotermometreleri kuvars jeotermometrelerine göre daha düşük sıcaklıklar vermiştir. Kalsedon jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan rezervuar sıcaklıklarının, kuyu başı sıcaklığına yakın sonuçlar vermesi nedeniyle, Heybeli sahası için kuvars jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklıklarını daha iyi yansıttığı söylenebilir. K-Mg ve Na-K-Ca jeotermometreleri dışında kalan diğer katyon jeotermometreleri daha yüksek sonuçlar vermiştir (Tablo 3).

Tablo 1. Heybeli jeotermal alanından alınan suların in-situ ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Parametreler	Ornek adı			Standartlar		
	H-1/A	H4	HSK	DMSHY, 2004	ITASHY, 2005	WHO, 2006
T (°C)	56,0	56,0	11,4	-	-	-
pH	6,53	6,56	6,75	-	6,5-9,5	6,5-8,5
EC (µS/cm)	3490	3440	1330	-	-	-
TDS (mg/l)	2443	2408	931	-	-	1000
Na ⁺ (mg/l)	401,40	395,50	70,89	-	200	200
K ⁺ (mg/l)	40,96	40,57	1,81	-	-	-
Mg ⁺⁺ (mg/l)	61,99	62,68	24,29	-	-	-
Ca ⁺⁺ (mg/l)	276,50	284,10	180,80	-	-	-
SiO ₂ (mg/l)	37,78	37,50	4,98	-	-	-
Li (mg/l)	1,06	1,03	0,08	-	-	-
Pb (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
Zn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-
Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	1	2	2
Al (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	0,2	0,2
Fe (mg/l)	0,92	0,33	<0,01	-	0,2	0,3
Mn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,5	0,05	0,4
Sr (mg/l)	1,18	0,34	0,82	-	-	-
Sb (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,005	0,005	0,005
As (mg/l)	0,80	0,88	<0,01	0,01	0,01	0,01
B (mg/l)	1,31	1,24	<0,01	-	1	0,5
Ba (mg/l)	0,02	0,02	<0,01	1	-	0,7
Tl (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	<0,10	<0,10	16,61	50	50	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	<0,10	<0,10	<0,10	0,1	0,5	0,2
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,61	0,44	<0,06	-	0,5	1,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1464,0	1403,0	671,0	-	-	-
PO ₄ ²⁻ (mg/l)	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-
Cl ⁻ (mg/l)	122,42	121,67	30,70	-	250	250
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	709,98	712,98	189,45	-	250	250
F ⁻ (mg/l)	2,53	2,67	0,21	5	1,5	1,5
%YD	-4,8	-3,5	-4,9	-	-	-
Sl _c (calcite)	0,642	0,666	0,032	-	-	-
Sl _d (dolomite)	2,228	2,269	0,425	-	-	-
Sl _q (quartz)	0,504	0,501	0,113	-	-	-

Tablo 2. Çalışma alanındaki jeotermal suların silika jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

Ornek no	Sıcaklık (°C)	Kuvars adyabatik ^a	Kuvars max. buh. ^a	Kuvars 25-330°C ^b	Kuvars, adyabatik ^b	Kuvars 0-350°C ^c	Kuvars adyabatik ^c	Kalsedon ^a	Kalsedon ^d
H1-A	56,0	89,18	91,60	89,69	90,08	75,07	76,78	58,39	60,51
H-4	56,0	88,86	91,32	89,37	89,76	74,74	76,46	58,06	60,19

a: Fournier, 1977; b: Fournier and Potter, 1982; c: Amorrson, 2000; d: Amorrson ve ark., 1983

Tablo 3. Çalışma alanındaki jeotermal suların katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

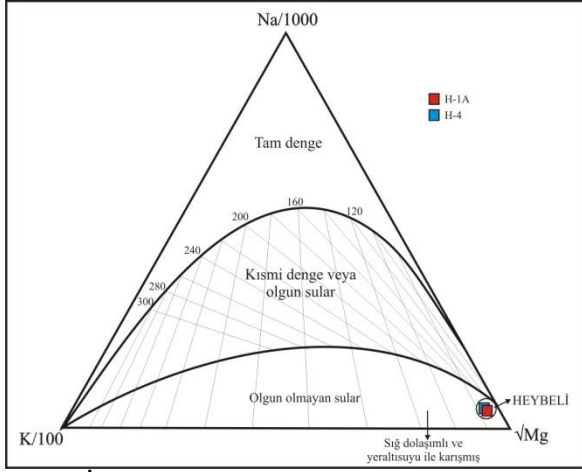
Ornek no	Sıcaklık (°C)	Na-K ^a	Na-K ^b	Na-K ^c	Na-K ^d	Na-K ^e	Na-K ^f	Na-K ^g	Na-K-Ca ^h	K-Mg ⁱ	Li-Mg ^j
H1-A	56,00	190,15	225,53	197,21	217,29	218,87	205,62	234,07	104,23	79,30	205,35
H-4	56,00	190,72	226,17	197,75	217,71	219,33	206,07	234,50	103,02	78,94	206,90

a: Truesdell, 1976; b: Tonani, 1980; c: Amorrson, 1983a; d: Amorrson, 1983b; e: Fournier, 1979; f: Nivea and Nivea, 1987; g: Giggenbach, 1988; h: Fournier and Truesdell, 1973; i: Giggenbach, 1988; j: Kharaka and Mariner, 1988

b) Birleşik (Kombine) jeotermometre uygulamaları

Na-K-Mg üçgen diyagramı jeotermal suların kökenini, dengeye ulaşıp ulaşmadıklarının kontrolünü ve uygun jeotermometrelerin seçiminde kullanılır. Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg jeotermometresi ile jeotermal suyun hem rezervuar sıcaklığı belirlenmekte hemde katyon jeotermometre uygulamasının doğruluğu kontrol edilmektedir. Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg üçgen diyagramı Na-K

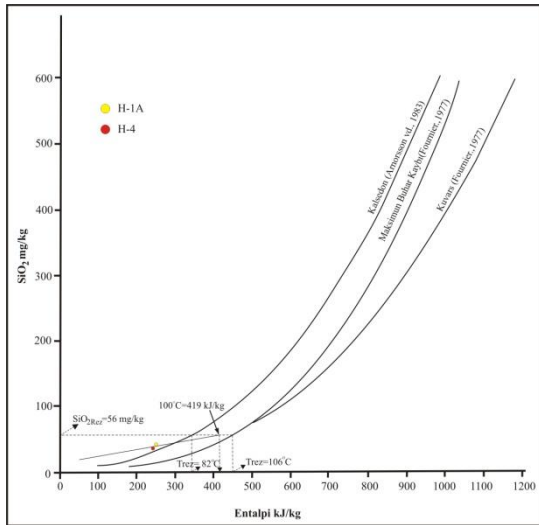
ve K-Mg jeotermometrelerinin üçgen diyagrama aktarılması ile oluşturulmuştur. Na-K-Mg üçgen diyagramına (Giggenbach, 1988) göre Heybeli bölgesindeki jeotermal sular denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir. Dolayısıyla bu suların rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde katyon jeotermometrelerinin kullanılması hatalı sonuçlar verebilir (Şekil 4).



Şekil 4. İncelenen jeotermal suların Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach, 1988)

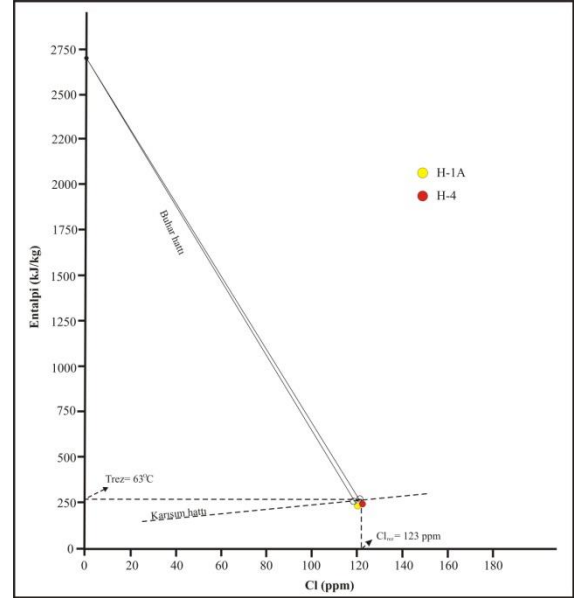
c) Karışım modelleri

Karışım modelleri yeni bir jeotermal sahanın rezervuar sıcaklığını belirlemek ya da bir jeotermal sahanın gelişim sürecinde ve sahanın geliştirilmesinde kullanılabilen modellerdir. Jeotermal sular, yüzeye çıkış sırasında diğer sularla karışabilir. Silika ve klorür miktarının jeotermal suyun kökeninde olduğu gibi korunduğu varsayılarak, Entalpi-Silika (Fournier, 1977) ve Entalpi-Klorür (Truesdell and Fournier, 1975) değişimi ile karışım oranları, maksimum hazne kaya sıcaklığı açıklanabilir. Çalışma alanındaki jeotermal suların entalpi-silika karışım modeli, kalsedon ve kuvarsa göre sırasıyla yaklaşık 82 ve 106 °C bir rezervuar sıcaklıkları önermektedirler (Şekil 5). Bu da kuvars jeotermometresi ile hesaplanan (75-90°C) rezervuar sıcaklığı ile uyumludur.

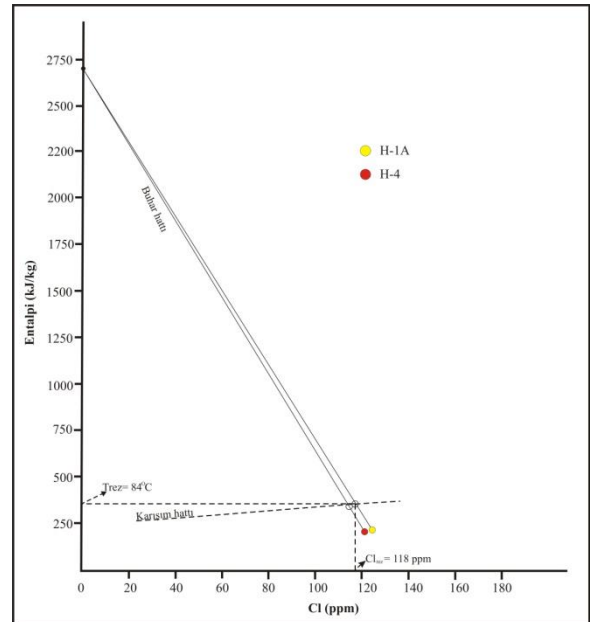


Şekil 5. Çalışma alanındaki jeotermal sulara ait Entalpi-Silika diyagramı

Entalpi-klorür diyagramının oluşturulmasında, genellikle silika jeotermometreleriyle hesaplanan sıcaklıklar kullanılır. Çalışma alanı jeotermal suları için oluşturulan iki ayrı diyagramda, kalsedon ve kuvars (adyabatik soğuma) jeotermometrelerinden yararlanılmıştır. Kalsedon jeotermometresi (Arnorsson et al., 1983a,b) kullanılarak hazırlanan diyagram 63 °C'lik bir rezervuar sıcaklığını işaret eder (Şekil 6). Kuvars (adyabatik soğuma) jeotermometresi (Fournier, 1977) kullanılarak hazırlanan diyagram ise 84 °C'lik bir rezervuar sıcaklığı göstermektedir (Şekil 7).



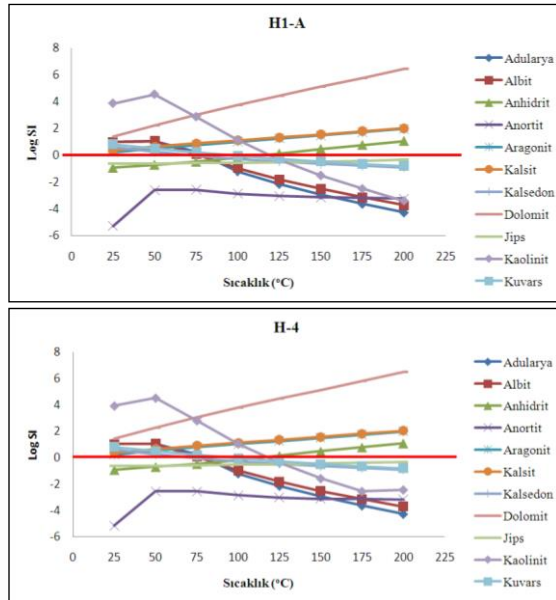
Şekil 6. Çalışma alanındaki jeotermal sulara ait Entalpi-Klorür diyagramı (Kalsedon)



Şekil 7. Çalışma alanındaki jeotermal sulara ait Entalpi-Klorür diyagramı (Kuvars)

d) Mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometreleri

Bu yöntem suyun kimyasal analizi sonucunda çeşitli mineraller ile bu minerallerin her bir sıcaklık değerinde ayrı ayrı doygunluk indekslerinin hesaplanması ve bu sıcaklık değerleri ile doygunluk indeksi değerlerinin bir bir doğrularını içeren mineral denge diyagramlarının çizilerek yorumlanması ilişkisine dayanır. Bu yorumlamada, minerallerin çözünürlük denge sabitleri sıcaklıkla yakın ilişkili olduğundan, bir grup mineral doğrusu denge doğrusunu ($SI=0$ doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu doğruların kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi akifer sıcaklığını vermektedir (Tarcan, 2002). Solmineq.88 (Kharaka et al., 1988) bilgisayar programı kullanılarak, her bir mineral için çeşitli sıcaklıklarda (1 atm basınç koşulunda) doygunluk indeksleri ($SI = \log Q/K = \log AP/Kt$) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen doygunluk indeksi değerleri, her bir mineral ve sıcaklık için en iyi doğrusal ilişki verecek şekilde doğruları çizilerek "Sıcaklık-Mineral Denge" diyagramları oluşturulmuştur. Heybeli jeotermal sularının sıcaklık-mineral denge diyagramlarına göre (Şekil 8) eğrilerin yaklaşık denge durumunda kesiştikleri yer olan 75-100 °C arasındaki sıcaklık değerlerinin bölgenin rezervuar sıcaklıkları olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 8. Heybeli jeotermal sularının sıcaklık-mineral denge diyagramları

SONUÇLAR

Afyonkarahisar-Heybeli jeotermal alanındaki jeotermal sular Na-(Ca)-HCO₃-SO₄ tipli sular olarak tanımlanmış-

tir. Yeraltı suları ise Ca-(Na)-HCO₃-(SO₄) tipinde sulardır. Jeotermal suların TDS, Na, SO₄, F, Fe, As, B değerlerinin ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarını aştığı gözlenmiştir. Na-K-Mg üçgen diyagramına göre Heybeli bölgesindeki jeotermal sular denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir. Bu nedenle katyon jeotermometrelerine şüphe ile yaklaşmak gerekir. Kalsedon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ise kuyu başı sıcaklığına yakındır. Bu nedenle kuvars jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı değerleri Heybeli bölgesindeki jeotermal suların rezervuar sıcaklığını daha iyi yansıtmaktadır. Çalışma alanındaki jeotermal suların kuvars jeotermometreleri ile 75-90°C; entalpi-silika karışım modeline göre 82-106 °C; entalpi-klorür karışım modeline göre ise 63-84 °C; sıcaklık-mineral denge diyagramlarında ise 75-100°C arasındaki sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak Heybeli jeotermal sularının rezervuar sıcaklığı 75-106°C arasındadır.

KAYNAKLAR

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. (2005). MTA Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, 849s., Ankara.
- APHA-AWWA-WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition, In: Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E. (eds), American Public Health Association, Washington, D.C.
- Arnorsson, S. (2000). Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Development and Use, Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H. (1983a). The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland-III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 567-577.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. Svavarsson, H. (1983b). The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and Independent Variables Controlling Water Compositions, Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 547-566.
- Calmbach, L. (1999). AquaChem Computer Code-Version 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modeling, Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 p.
- Demir, S. ve Memiş, Ü., 2015. Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Hidrojeokimyası ve Jeotermometre Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 2, 66-77.
- DMSHY (2004). Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik, 1 Aralık 2004, Sayı: 25657, Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- Erişen, B. (1972). Afyon-Heybeli (Kızılkilise) araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal olanakları. MTA Rapor No. 5490, 74s., (yayınlanmamış), Ankara.
- Erişen, B., Akbaşlı, A., Can, A. R. (1984). Ayfon-Çay, Karaburun sıcaksu sondajı kuyu bitirme raporu. MTA raporu, No: 8267 (yayınlanmamış)

- Fournier, R. O. (1977). Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- Fournier, R. O. (1979). A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O., Potter, R. W. (1982). An Equation Correlating the Solubility of Quartz in Water from 25° to 900 °C at Pressures up to 10.000 bars. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1969-1974.
- Fournier, R. O., Truesdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1355-1275.
- Gemici, Ü., Tarcan, G. (2004). Hydrogeological and hydrogeochemical features of the Heybeli Spa, Afyon, Turkey: Arsenic and other contaminants in the thermal waters. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 72, 1107-1114.
- Gırbalar, Ö. E. (2008). Heybeli (Kızılkilise) jeotermal sahası kuyuları sıcaklık, basınç ve test verileri üzerine bir değerlendirme. 5. Dünya Su Forumu, Termal ve Maden Suları Konferansı, Bildiriler, 24-25 Nisan 2008, 55-69 s., Afyonkarahisar.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim Cosmochim Acta*, 52, 2749-2765.
- İTASHY, 2005. Sular - İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Kharaka, Y. K., Mariner, R. H. (1988). Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimentary Basins. In Naeser, N. D. and McCollin, T. H., editors, *Thermal History of Sedimentary Basins*, Springer-Verlag, 99-117.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Aggarwal, P.K., Perkins, E.H., Debraal, J.D. (1988). SOLMINEQ.88: A computer program for geochemical modeling of water-rock interactions, U.S. Geol. Surv. Water Res. Inv. Rep. 88-4227, 420 p.
- Mutlu, H. (1996). Geochemical assesment of thermal waters from the Afyon geothermal area: Geothermometry applications and fluid-mineral equilibria., Ph. D. Thesis., Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 169p (yayımlanmamış), Ankara.
- Nivea, D., Nivea R. (1987). Developments in Geothermal Energy in Mexico. Part 12, A Cationic Geothermometer for Prospecting of Geothermal Resources. *Heat Recovery Systems and CHP*, 7, 243-258.
- Tarcan, G. (2002). Jeotermal Su Kimyası. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu Ders Notları, 230-272, İzmir.
- Tonani, F. (1980). Some Remarks on the Application of Geochemical Techniques in Geothermal Exploration. *Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, 428-443.
- Truesdell, A. H. (1976). Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration. In *Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, CA, U. S. Government Printing Office, 1, 13-39, Washington, D.C.
- Truesdell, A.H., Fournier, R.O. (1975). Calculation of Deep Temperatures in Geothermal Systems from the Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin. *Proc. Second UN Symposium on Geothermal Resources*, San Francisco, CA, 837-844.
- WHO (2006). World Health Organization (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality, Volume 2, Health Criteria and Other Supporting Information: WHO Publ., Geneva, Switzerland, 335 p.