

Heybeli Jeotermal Sahasında (Afyonkarahisar, Türkiye) Potansiyel Kabuklaşma Problemlerinin Jeokimyasal İrdelenmesi

Can BAŞARAN^{1*}, Ali GÖKGÖZ²

1 Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

2 Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli.

*e-posta: cbasaran@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 30.03.2017 ; Kabul Tarihi: 15.08.2017

Özet

Bir mineralin sudaki çözünürlüğü; sıcaklık, basınç, pH ve redoks potansiyeli gibi birçok etkene bağlıdır. Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelere bağlı olarak mineraller suda çözünürler veya çökelirler. Mineralin suda doymun hale gelmesi ve ardından çökmesi sonucunda oluşan kabuklaşma, jeotermal sahalardaki kuyularda, yeraltı ve yerüstü donanımlarında daralmalara, aşınmalara ve tıkanmalara ve dolayısıyla ekonomik kayıplara neden olur. Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinin önemli jeotermal sahalardan biri olan Heybeli jeotermal sahasında bulunan 8 adet termal su kuyusunun kabuklaşma potansiyeli araştırılmıştır. Heybeli sahası jeotermal suları Na-Ca-HCO₃-SO₄ ve Na-Ca-HCO₃ tipinde olup; sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri sırasıyla 28,9-54,7°C, 1380-3580 µS/cm ve 6,32-7,37 arasında değişmektedir. Suların kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak mineral doymunlukları belirlenmiş, farklı sıcaklık koşullarında oluşabilecek kabuklaşma potansiyeli ve türleri saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Heybeli jeotermal sahasında bulunan termal kuyularda kalsit, aragonit, dolomit, kuvars gibi minerallerin çökme eğilimli ve kabuklaşma potansiyeline sahip olabileceği öngörülmüştür. Kuyu başından alınan kabuk örneklerinin XRD analizinde tespit edilen başlıca kalsit ve az oranda kuvars minerali hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla uyum sağlamıştır. Bölgedeki kuyulardan sürdürülebilir yararlanma için kabuklaşma giderici kimyasal yöntemler (inhibitör) kullanılmalıdır.

Anahtar kelimeler

Kabuklaşma,
Doymunluk İndeksi,
Jeotermal, Heybeli,
Afyonkarahisar

Geochemical Assessment of the Potential Scaling Problems in Heybeli Geothermal Field (Afyonkarahisar, Turkey)

Abstract

The solubility of a mineral is related with its temperature, pressure, pH and redox potential. Depending on these parameters minerals dissolve or precipitate in the water. The scaling, which occurs after mineral becomes saturated and precipitate in the water, causes shrinkage, abrasions and blockages in the wells, underground and overhead equipment and then economic losses occur. In this study, the potential scaling problems of 8 thermal water wells on the Heybeli geothermal field, is one of the important geothermal fields of Afyonkarahisar, have been investigated. The Heybeli thermal waters are of the Na-Ca-HCO₃ and Na-Ca-HCO₃-SO₄ type and the temperature, electrical conductivity (EC) and pH of thermal water are within the range of 28.9°C to 54.7°C, 1380 to 3580 µmho/cm, and 6.32 to 7.37, respectively. Thermal water is of the. Mineral saturation diagrams were created by using the chemical analysis results of the waters and tried to determine the crustal potentials and types that might occur in different conditions. As a result, it was determined that the minerals such as; calcite-aragonite-dolomite tend to precipitate and have a crustal potential in the thermal wells of the Heybeli geothermal field. In order to use the wells in the region effectively and economically, scavenging chemical methods (inhibitors) should be used.

Keywords

Scaling, Saturation
Index, Geothermal,
Heybeli,
Afyonkarahisar

1. Giriş

Türkiye, bölgesel aktif tektonik yapı içindeki konumunun bir sonucu olarak jeotermal enerji açısından oldukça zengin bir ülkedir. Sıcaklığı >40°C olan jeotermal sahaların yaklaşık % 80'i Ege Bölgesi'nde (Denizli, Aydın, Manisa, İzmir, Afyonkarahisar, Kütahya), % 8.5'i Orta Anadolu'da,

% 7.5'i Marmara Bölgesi'nde ve % 4.5'i Doğu Anadolu'da yer almaktadır (www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal; Şimşek, 2015). 120-242°C arasında değişen sıcaklığa sahip olan Denizli, Aydın, İzmir, Manisa ve Kütahya illeri jeotermal alanlarının yanı sıra Afyonkarahisar ili de Batı Anadolu'da yer alan en önemli jeotermal alanlardan birisidir.

Jeotermal akışkanlar değişen miktarda çözünmüş gaz ve katı maddeler içerirler. Rezervuardaki sıcaklık, basınç ve/veya pH gibi koşullarının değişmesi halinde o anki termodinamik koşullara bağlı olarak mineraller çözünme veya çökeltme eğilimi gösterirler. Bazı minerallerin jeotermal akışkan içinde doymuş hale gelip çökmesi sonucu oluşan kabuklaşma jeotermal sahalar için önemli risk oluşturur. Kabuklaşma, jeotermal kaynaklardan yararlanma sırasında yer altı ve yer üstü donanımlarında daralmalara ve/veya tıkanmalara neden olarak işletim sorunlarına ve dolayısıyla ekonomik kayıplara neden olur (Gendenjamts, 2005; Tarcan ve ark. 2009).

Afyonkarahisar ilinde, özellikle Akşehir-Simav fay sistemi ve Afyon-Akşehir graben faylarıyla ilişkili olan 4 adet jeotermal bölge bulunmaktadır. Bu sahalar içinde en önemlisi, üretilen akışkan sıcaklığı 50-125°C arasında olan Ömer-Gecek sahasıdır. Diğer sahalarda jeotermal su sıcaklıkları; Gazlıgöl sahasında 43-86°C, Sandıklı sahasında 65-85°C ve Heybeli sahasında 30-55°C (Başaran *et al.* 2015; Başaran and Gökğöz 2016) arasındadır. Bu çalışma Heybeli jeotermal alanında yapılan hidrojeokimyasal çalışmaları kapsamaktadır. Bu amaçla, 8 termal sondaj

kuyusu örneğinin kimyasal analizleri ile kuyulardan alınan kabuklaşma örneklerinin jeokimyasal ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Suların kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, jeotermal akışkandan çökeltme eğiliminde olan mineraller belirlenmiş ve bunlar kabuklaşma örneklerinde belirlenen mineraller ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Heybeli jeotermal sahasında üretilen jeotermal suların kabuklaşma potansiyelinin belirlenmesi için 8 termal su örneğinin kimyasal analizi yapılmıştır. Suların sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve pH'ları Hach-Lange HQ40D portatif ölçüm cihazı kullanılarak arazide ölçülmüştür. Anyon analizleri için 250 ml HDPE numune kabı kullanılmış ve örnekler kap içine hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulmuş ve analize kadar <4°C sıcaklıkta korunmuştur. Katyon analizleri için örnekler 100 ml'lik HDPE şişelere filtre edilerek alınmış (0,45 μm), daha sonra ultra saf HNO₃ ilavesi ile örnek pH'ları <2'ye düşürülmüştür. Örneklerin anyon ve katyon analizleri Pamukkale Üniversitesi, Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarı'nda ICP-OES ve iyon kromatografi cihazları kullanılarak yapılmıştır. Kuyu başından alınan kabuklaşma örneklerinin X-ışınları analizi (XRD) Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM), kimyasal analizi ise Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir. Su analizleri sonucunda elde edilen veriler PhreeqCi 3.1.2 (Parkhurst and Appelo 1999) ve AquaChem-Version 3.7 (Calmbach, 1997) programları yardımıyla değerlendirilmiştir. Minerallerin değişik sıcaklıklardaki çökeltme eğilimini görmek için, jeotermal suların hem çıkış sıcaklığında hem de 25-50-75-100-125°C sıcaklıklarda kalsit, aragonit, kuvars, kalsedon, dolomit, barit, anhidrit, stronsiyanit ve jips minerallerine göre doygunlukları incelenmiştir.

3. Jeoloji

Çalışma sahası; Göncüoğlu ve ark. (1996) tarafından önerilen modele göre Afyon Zonu içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Afyon Zonu düşük dereceli metamorfik bir kuşaktır ve yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş çökellerden oluşur (Tolluoğlu ve ark. 1997).

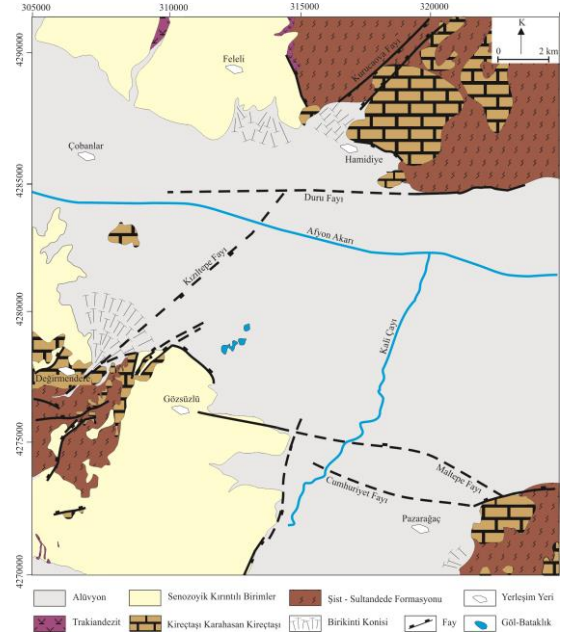


Şekil 1. Batı Anadolu'nun paleotektonik haritası (Göncüoğlu ve ark. 1996).

Temel üzerinde Üst Permian-Alt Triyas yaşlı konglomeralar ve Triyas-Jura yaşlı karbonatlar bulunmaktadır. Neojen yaşlı genç volkanik ve piroklastik seriler ise tüm birimleri örtmektedir (Tolluoğlu ve ark. 1997). Heybeli jeotermal sahasındaki temel kayalar, Sultandede Yeşilşist formasyonu ve kireçtaşlarından oluşan Karahasan kalkerleridir. Sultandede yeşilşist formasyonu genel olarak düşük dereceli, hafif metamorfizma geçirmiş kloritşist-fillit-kalkşist, muskovitşist ve kuvarsit mercerklerinden oluşmaktadır (Erişen, 1972). Üst Karbonifer-Üst Permian yaşlı Karahasan kalkerleri, koyu gri renkli, orta-kalın düzgün tabakalanmalıdır. Senozoyik yaşlı birimler çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve marn türündeki kırıntılı kayalardan oluşur ve temel kayalar üzerine uyumsuzlukla gelir. Miyosen yaşlı Konarı trakiandezitleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyon bölgedeki en genç birimlerdir (Şekil 2).

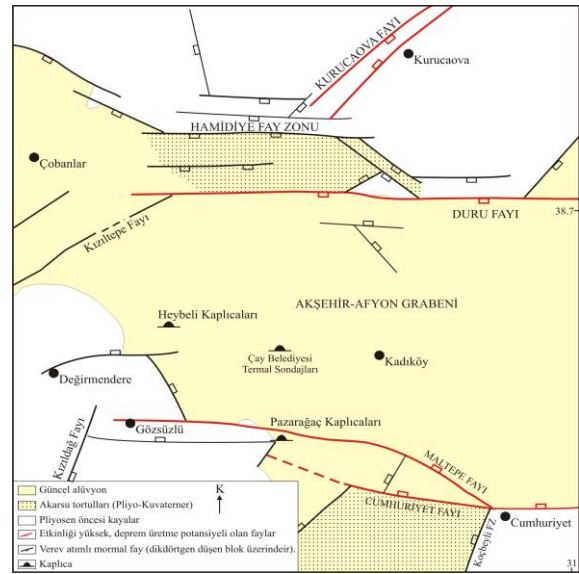
Heybeli jeotermal sahasının bulunduğu bölgede 3-30 km genişlikte, 500 km uzunlukta, KB-GD yönelimli, verem atımlı normal bir fay sistemi olan

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) bulunmaktadır (Koçyiğit ve Deveci 2005; 2007).



Şekil 2. İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Erişen, 1972'den değiştirilmiştir).

inceleme alanını da içine alan Afyon-Akşehir graben sistemi ASFS'nin genel gidişine paralel olan ana graben sistemidir (Koçyiğit ve ark. 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003). İnceleme alanında, Afyon-Akşehir graben sisteminin kenar faylarını oluşturan kuzeyde Kurucaova ile Duru fay zonları, güneyde Cumhuriyet ile Maltepe fayları ve bunları kesen ikincil faylar yer almaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanının neotektonik haritası (Koçyiğit ve Deveci 2007).

3. Heybeli Jeotermal Sistemi

İnceleme alanında mevcut jeotermal sondajlar üç lokasyonda açılmıştır. Heybeli sahasında derinlikleri 252-410 m, pompa debileri 30-40 l/s ve sıcaklıkları 51,4-54,7°C arasında değişen 4 adet sondaj vardır (1-2-3-4 nolu sular). Termal su, kaplıca tesisinde ve sera ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu sahanın 3 km kadar doğusunda Çay Belediyesi'ne ait derinlikleri (m) 120 ve 650, sıcaklıkları (°C) 29,3 - 37,6 arasında değişen iki kuyu vardır (5 ve 6 nolu sular). Düşük sıcaklıkta olan kuyu artezyen olarak akmakta iken diğer kuyuda pompa ile üretim yapılmakta olup her iki kuyunun debisi 15 l/s'dir. Çay Belediyesine ait bu iki termal su kuyusundan yararlanılmamaktadır. Pazarağaç alanında mevcut 10-15 l/s artezyen debili iki kuyudan 28,9°C ve 37,9°C sıcaklığında termal su alınmakta olup, daha sıcak olan su kaplıca tesisinde kullanılmaktadır (7 ve 8 nolu sular).

Heybeli jeotermal sahasında, yaklaşık D-B gidişli Maltepe, Cumhuriyet ve Duru graben kenar fayları ile KD-GB doğrultulu Kurucaova Fayı deprem üretme riski olan aktif faylardır (Koçyiğit ve Devenci 2007). Aktif olan bu fayların hareketi sonucunda, 2002 yılında, büyüklükleri 6,2 ve 6,5 şiddetinde olan iki deprem meydana gelmiştir. Depremler, 30 cm'ye varan düşey yer değiştirme ve 20 km uzunluğa sahip yüzey kırığı oluşturmuştur (Demirtaş ve ark. 2002). Heybeli sahası ve yakın çevresinde genç bir volkanik etkinliğin olmaması nedeniyle muhtemel ısı kaynağının genç tektonik aktiviteye bağlı yüksek jeotermal gradyan olduğunu düşünülmektedir. Rezervuar kayaç, çok kırıklı ve çatlaklı yapısıyla ikincil geçirgenliği yüksek olan rekristalize kireçtaşlarıdır (Karahasan kalkerleri). Sahada açılan sondajlarda 120-150 m derinliklerde rezervuara girilmiştir. Neojen birimlerinin killi-siltli geçirimsiz litolojileri örtü kaya niteliğindedir. Heybeli jeotermal sahasının beslenme alanında genellikle yılın büyük bölümünde kar örtüsü vardır. İnceleme alanı sularının, $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında Dünya Meteorik Su Çizgisi ile Doğu Akdeniz Meteorik Su Çizgisi arasında kaldığı

gözlenmektedir (Başaran and Gökğöz 2016). Buna göre inceleme alanında yer alan termal sular meteorik kökene sahiptir. Geçirimli birimlere düşen yağmur suları ile yaz döneminde eriyen kar suları yeraltına süzülerek sistemi beslemektedir. Yeraltına süzülerek derinlere inen ve genç tektonik aktiviteye bağlı olarak görece yüksek jeotermal gradyan ile ısıtılan meteorik sular rezervuar faylar boyunca yüzeye yükselmektedir.

4. Hidrojeokimya

Termal suların kimyasal kompozisyonu; redoks potansiyeli, dokanak alanı, akifer türleri, ortak-yabancı iyon etkisi, sıcaklık, ve suyun yeraltındaki dolaşım zamanı ile kontrol edilir. Analizi yapılan termal su örneklerinin in-situ ölçüm ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

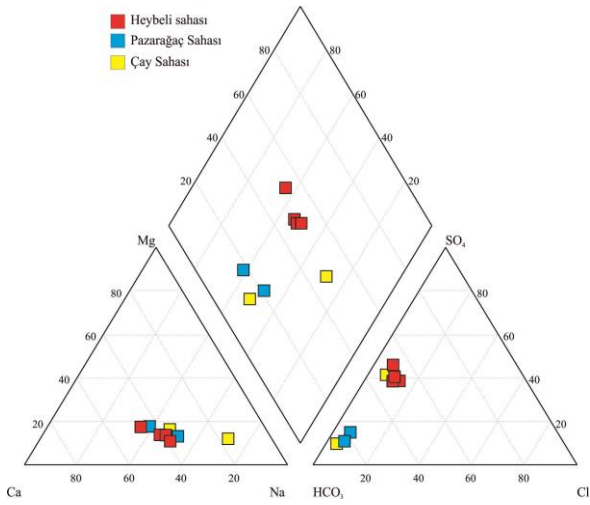
Termal suların elektriksel iletkenlikleri ($\mu\text{S}/\text{cm}$) Heybeli sahasında 2770-3580, Çay Belediyesi kuyularında 1380-2350 ve Pazarağaç sahasında 1447-2119 arasında değişmektedir. Tüm termal suların pH değerleri 6,32-7,37 arasındadır. Piper (1944) diyagramında termal suların karışık katyon alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4). İyon (mek/L) dizilimleri genellikle $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ şeklindedir. Termal su örneklerin tamamına yakınında sodyum egemen katyon iken, egemen anyon olarak bikarbonat gözlenmektedir.

Yarı logaritmik Schoeller (1955) diyagramında, 3 farklı alanda yer alan (Heybeli, Çay, Pazarağaç) termal suların kendi içlerinde birbirine yakın ve genellikle paralel doğrular sunmaktadır (Şekil 5). İnceleme alanı termal suları aynı rezervuardan gelmektedir.

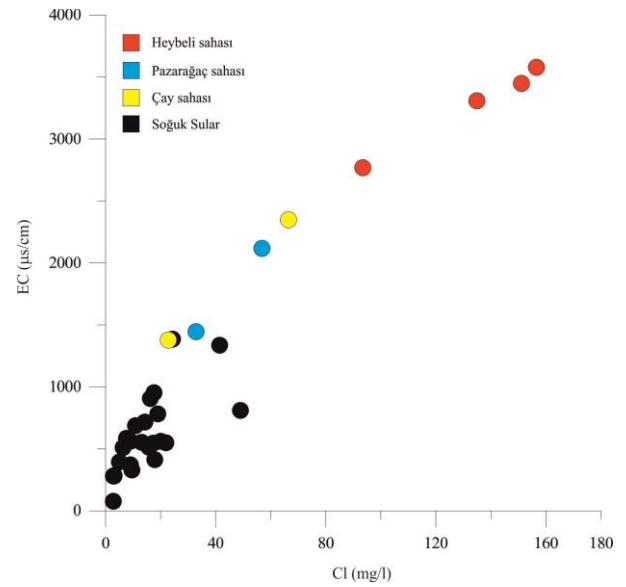
Ancak, Çay ve Pazarağaç termal suları Heybeli termal sularına göre daha düşük iyon derişimine sahiptir. Termal ve soğuk suların EC-Cl grafiğinde, Çay ve Pazarağaç termal sularının Heybeli termal suları ile soğuk yeraltı suları arasında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6). Bu da Çay ve Pazarağaç termal sularında (Heybeli sahasındaki 4 nolu su da dahil olmak üzere) soğuk yeraltı suyu karışımının bir göstergesidir.

Tablo 1. Termal su örneklerinin in-situ ölçüm ve kimyasal analiz sonuçları (mg/l) (Başaran and Gökğöz 2016).

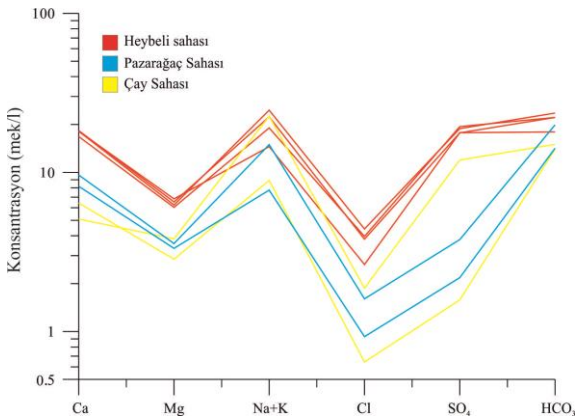
Örnek	T (°C)	EC (µs/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂
1	54,7	3580	6,93	363,9	75,9	533,0	56,4	156,5	905,7	1439,6	55,4
2	54,0	3310	6,56	367,0	79,3	484,9	50,5	134,9	851,7	1354,2	52,5
3	52,9	2770	6,75	363,9	82,9	313,8	34,9	93,5	854,0	1098,0	45,2
4	51,4	3450	6,93	369,9	78,7	524,2	54,9	151,1	896,6	1439,6	54,0
5	37,6	2350	6,91	102,2	46,5	503,8	24,3	66,5	575,0	915,0	28,8
6	29,3	1380	6,56	128,8	34,6	191,7	22,5	22,8	75,9	854,0	66,0
7	37,9	2119	6,32	192,9	43,4	319,1	41,8	56,8	181,5	1213,9	47,7
8	28,9	1447	6,52	164,0	40,5	164,9	21,8	32,9	104,9	866,2	31,3



Şekil 4. Termal su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu.



Şekil 6. İnceleme alanı sularının EC-Cl grafiği. Soğuk sulara ilişkin veriler Başaran ve Gökğöz, 2016'dan alınmıştır.



Şekil 5. Termal su örneklerinin yarılogaritmik Schoeller (1955) diyagramındaki konumu.

İnceleme alanındaki termal sular Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'nin sınıflamasına göre (Başkan ve Canik 1983) Na-Ca-HCO₃-SO₄ ve Na-Ca-HCO₃ tipindedir.

5. Heybeli Termal Sularında Kabuklaşma Problemi

Sular, içinde bulunan çözülmüş maddelerin türüne ve miktarına bağlı olarak ya mineral kabuklarının oluşmasına ya da bunların çözünmesine neden olur.

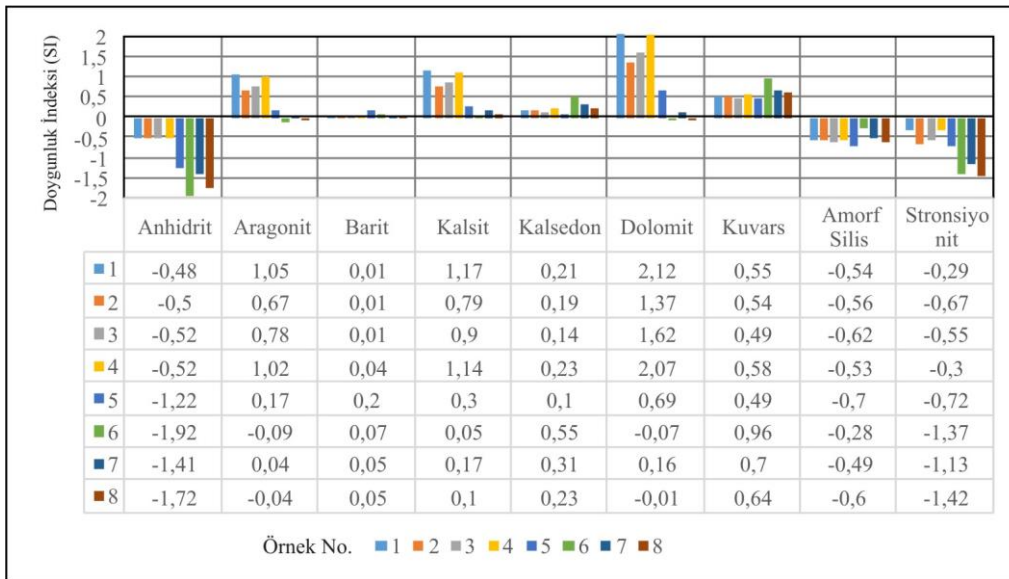
Kabuklaşma oluşumu; suyun belli bir mineral ile ulaştığı doygunluk derecesine, sıcaklık ve basınç değişim hızına ve suyun pH derecesine bağlıdır. (Arnorsson, 1995; 2000; Tarcan, 2001; Tarcan ve ark. 2015). Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelerdeki değişime bağlı olarak suda çözülmüş maddeler çökerek değişik şekillerde

kabuk oluşturabilirler. Kabuklaştırıcı özellikteki sular bulunduğu ortamlarda kabuk şeklinde bir katman oluşturarak sondaj ve iletim borularında daralma ve hacim azalmasına neden olur. Bu da üretim kaybı nedeniyle ekonomik problemlere yol açar. Genelde termal suların üretim ve kullanımlarında, kimyasal bileşimlerine göre, silikat karbonat ve sülfat kabuklaşmaları ile karşılaşılır. Dünyadaki pek çok jeotermal sistemde en yaygın kabuklaşma mineralleri kalsit ve amorf silistir (Arnorsson, 1989; Armannsson, 1989; Kristmannsdottir, 1989).

Karbonat kabuklaşmalarını etkileyen faktörlerin başında pH, CO₂ kısmi basıncı (PCO₂) ve toplam tuz derişimi gelir. Kuyu içinde basınç altındaki suda çözülmüş halde bulunan CO₂, karbonik asit oluşturarak (H₂CO₃) akışkana asidik yapı kazandırmaktadır. CO₂ sıvı fazdan gaz fazına geçmeye başlayınca suyun pH'ı yükselmeye başlar ve önce HCO₃, sonra CO₃ iyonları çoğalmaya başlar. Ortamdaki CO₃ iyonları çözültide bulunan Ca, Mg, Sr gibi iyonlar ile birleşerek karbonat kabuklaşmasına neden olmaktadır (Tarcan ve ark. 2015).

İnceleme alanındaki termal sular; işletilmesi aşamasında kabuklaşma potansiyeline sahip olan

ve en yaygın kabuklaşma mineralleri olan karbonatlar (CaCO₃-kalsit ve aragonit, CaMg(CO₃)₂-dolomit, SrCO₃-stronsiyanit), sülfatlar (CaSO₄-anhidrit, BaSO₄-barit) ve silis (amorf SiO₂, kuvars ve kalsedon) bakımından değerlendirilmiştir. Suların çıkış sıcaklığı, pH'sı ve kimyasal kompozisyonu baz alınarak PhreeqCi 3.1.2 (Parkhurst and Appelo 1999) programıyla yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede yer alan termal suların tamamına yakınında aragonit, barit, kalsit, kalsedon, dolomit ve kuvars minerallerinin doygunluk üstü değerler verdiği görülmüştür (Şekil 7). Anhidrit, amorf silis ve stronsiyanit mineralleri ise termal su içerisinde çözünme eğiliminde olan minerallerdir. Kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerinin önemli bir kabuklaşma oluşturması beklenmemektedir. Heybeli termal suları için kabuklaşma potansiyeline sahip mineraller aragonit, dolomit ve kalsit gibi karbonat mineralleridir. Hesaplama yolu ile ulaşılan bu sonucun gerçek durumu ne derece yansıttığını görmek için Heybeli sahasındaki üç ayrı jeotermal kuyu ağzından (1-3-8 nolu kuyular) alınan kabuklaşma örneklerinin XRD analizleri ile bir örneğin (3 nolu kuyu) kimyasal analizi yapılmıştır (Şekil 8, 9).



Şekil 7. Bazı minerallerin çıkış sıcaklığı ve pH'ındaki çözünürlük durumları.



Şekil 8. 1 nolu kuyu başından gözlenen kabuklaşma.



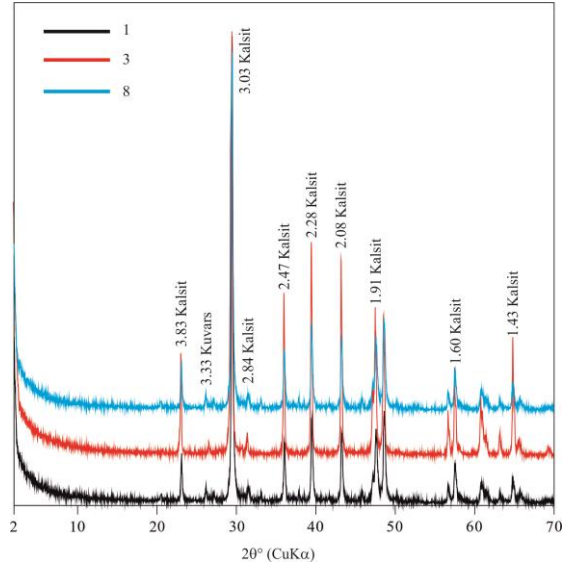
Şekil 9. 8 nolu kuyu başından gözlenen kabuklaşma.

Bu incelemeler sonucunda kimyasal hesaplamalar ile paralel olarak kabuk örneğinin ağırlıkça %50 CaO'dan oluştuğu ve üç ayrı kabuk örneğinin de esas itibariyle kalsit ve az oranda kuvars minerali içerdiği belirlenmiştir (Tablo 2, Şekil 10).

Seçilen bazı hidrotermal minerallerin doygunluk durumları inceleme alanı termal sularının değişik sıcaklıkları (25-50-75-100-125°C) için ayrıca hesaplanmıştır (Şekil 11). Buna göre kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonat minerallerinin tüm sıcaklıklarda çökme eğilimli ve kabuklaşma sorunu yaşatmasının mümkün olabileceği belirlenmiştir.

Tablo 2.3 nolu kuyudan alınan kabuk örneğinin kimyasal analiz sonuçları.

Oksitler (%)		Elementler (ppm)			
SiO ₂	1,85	As	554,2	Pb	24,0
TiO ₂	0,02	Ba	42,0	Pr	26,8
Al ₂ O ₃	0,38	Ce	<2,0	Rb	7,3
Fe ₂ O ₃	0,34	Cl	34,5	Se	1,9
MnO	0,01	Co	<3,0	Sn	11,7
MgO	1,66	Cs	<4,0	Sr	2009
CaO	50,50	Cu	2,1	Ta	<1,0
Na ₂ O	0,33	Ga	0,1	Th	<1,0
K ₂ O	0,10	Ge	1,3	U	4,0
P ₂ O ₅	0,07	Hf	<1,0	V	10,2
Cr ₂ O ₃	0,00	La	<2,0	W	<1,0



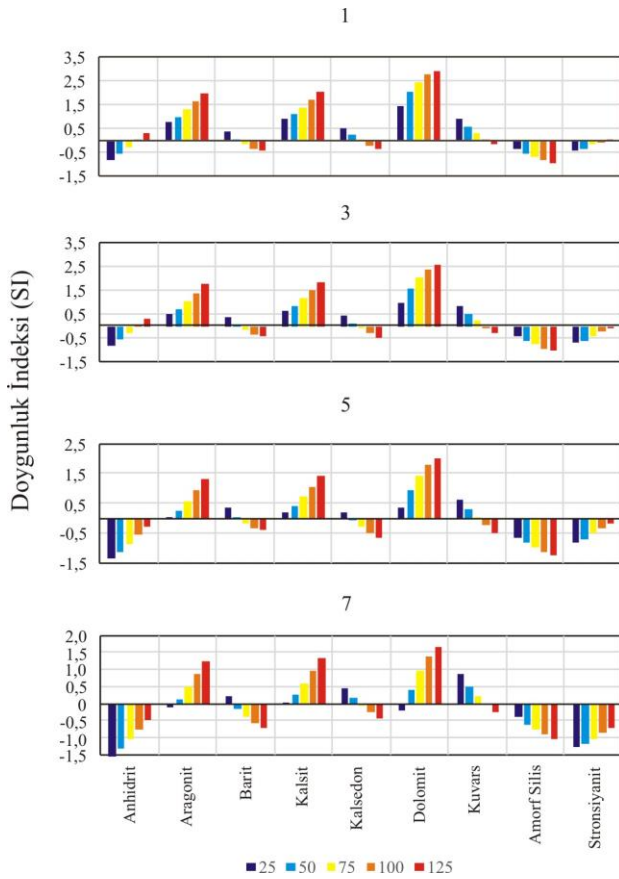
Şekil 10. 1-3-8 nolu kuyu başlarından alınan kabuklaşma örneklerinin XRD grafiği (Başaran and Gökgöz 2016).

Bu minerallerin doygunlukları yükselen sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Kuvars ve kalsedon gibi silis mineralleri ise artan sıcaklıkla birlikte doymu halden çözünür hale geçmektedir. 75-100°C arası bir sıcaklığın üzerinde bu silis minerallerinde çökme eğilimi beklenmemektedir. Anhidrit, barit, amorf silis ve stronsiyanit ise tüm sıcaklıklarda doygunluk altındaki değerlerdedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, Heybeli jeotermal sahasındaki jeotermal kuyularda oluşabilecek kabuklaşma türleri incelenmiştir. Yapılan doygunluk indeksi hesaplamaları sonucunda termal suların gerek çıkış sıcaklığında, gerek 25-125°C sıcaklık aralığında çökme eğiliminde olan minerallerin esas itibariyle kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonatlı mineraller olduğunu belirlenmiştir.

Anhidrit, barit, amorf silis ve stronsiyonit, tüm örneklerde ve seçilen tüm sıcaklıklarda çözünme eğilimindedir ve kabuklaşma potansiyeli yoktur. Kuvars ve kalsedon mineralleri, örneklerin çıkış sıcaklığında doygunluk üstü değerler sunmakta iken çözünürlükleri sıcaklık arttıkça (75-100°C) yükselmektedir. Silika çökmesi için sudaki silis içeriğinin amorf silis olarak doygun hale gelmesi gerekmektedir. Kuvars ve kalsedon minerallerinin çökelmeleri için gerekli olan kinetik enerjilerinin düşük olması nedeniyle önemli bir kabuklaşma



Şekil 11. İnceleme alanında seçilen minerallerin farklı sıcaklıklardaki çözünürlük durumları.

Teşekkür

Bu çalışma TUBİTAK tarafından 113Y031 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Armannsson, H., 1989. Predicting calcite deposition in Kraflaboreholes. *Geothermics*, **18**, 25-32.

beklenmemektedir. 1-3-8 numaralı kuyu başlarından alınan kabuk örneklerinin üzerinde yapılan kimyasal analizlerdeki % 50 CaO içeriği ve XRD analizi sonucu tespit edilen kalsit minerali kimyasal hesaplamalardaki karbonat doygunluğu ile uyumludur. Karbonat mineralleri (özellikle kalsit) 25-125°C sıcaklık aralığında kabuklaşma potansiyeli sunmaktadır. Bu nedenle kuyularda karbonat kabuklaşmasının önlenmesi için inhibitör kullanılması gereklidir.

Arnorsson, S., 1989. Deposition of calcium carbonate minerals from geothermal waters-theoretical considerations. *Geothermics*, **18**, 33-39.

Arnorsson, S., 1995. Scaling problems and treatment of separated water before injection. In: WGC-95, Book of Course on Injection Technology, Italy.

Başaran, C. and Gökgöz, A., 2016. "Hydrochemical and isotopic properties of Heybeli geothermal area (Afyon, Turkey)", *Arabian Journal of Geoscience*, 9-11:586.

Başaran, C., Yıldız, A., Ulutürk, Y. and Bağcı, M., 2015. Hydrogeochemical Properties of Geothermal Fluids in Afyon-Akşehir Graben (Akarcay Basin) and the Sustainability of Ömer-Gecek Area, World Geothermal Congress, electronic.

Başkan, E. ve Canik, B., 1983. Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası Ege Bölgesi. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayınları, no. 189, Ankara.

Calmbach, L., 1997. Aquachem Computer Code-Version 3.7.42. Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3: Waterloo Hydrogeologic.

Erişen, B., 1972. Afyon-Heybeli (KızılKilise) jeotermal araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Raporu, No:5490, Ankara.

Gendenjamts, O.E., 2005. Interpretation of Chemical Composition of Geothermal Fluids From Arskogsströnd, Dalvik and Hrisey, Iceland and Khangai, Mongolia, Geothermal Training Program, The United Nations University, Reports Number 10, Reykjavik, Iceland.

Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A. ve Işık, A., 1996. "Orta Sakarya'da

- Nallıhan-Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeolojik Özellikleri”, MTA Rap. No. 10094, (Yayınlanmamış).
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-34, Ankara.
- Koçyigit, A. ve Deveci, Ş., 2005. Akşehir-Simav Fay Sistemi: Güneybatı Türkiye’de Neotektonik Rejimin Başlama Yaşı ve Depremsellik, Deprem Sempozyumu, 26, Kocaeli.
- Koçyigit, A. ve Deveci, Ş., 2007. Çukurören-Çobanlar (Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (Aktif fayların) belirlenmesi, TÜBİTAK Proje No: 106Y209, Ankara.
- Koçyigit, A. ve Özacar, A., 2003. Extensional Neotectonic Regime Through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field And Seismic Data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.
- Koçyigit A., Ünay, E. ve Saraç, G., 2000. Episodic Graben Formation and Extensional Neotectonic Regime in West Central Anatolia And The Isparta Angle: A Key Study in The Akşehir-Afyon Graben, Turkey Geological Society, 173, 405-421.
- Kristmannsdottir, H., 1989. Types of scaling occurring by geothermal utilization in Iceland, Geothermics 18, 183-190.
- Parkhurst, D.L., and Appelo, C.A.J., 1999. User’s guide to PHREEQC (version 2)-a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, U.S. geological survey water-resources investigations report 99-4259.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical interpretation of Water Analysis, Transactions, American Geophysical Union, 25, 914-23.
- Schoeller, H., 1955. Geochemie Des Eaux Souterraines, Revue De L’institute Francois Du Petrole, 10, 230-44.
- Şimşek, Ş., 2015. Dünya’da Ve Türkiye’de Jeotermal Gelişmeler. III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 1-17, Ankara.
- Tarcan, G., 2001. Aquifer chemistry and mineral saturation in selected high temperature geothermal areas. United Nations University Geothermal Training Programme, Orkustofnun, Reykjavik, Iceland. Book of Reports, 267-290.
- Tarcan, G. and Gemici, Ü., 2003. Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, İzmir, Turkey. J Volcanol Geotherm Res., 126, 225-242.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., Çolak, M., Özen, T. ve Karamanderesi, İ., 2009. Büyük Menderes Grabeni’ndeki Jeotermal Alanlarda Kabuklaşma Problemleri Üzerine Hidrojeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelemeler, Tübitak Projesi, No: 109Y315.
- Tarcan, G., Özen, T., Gemici, Ü., Çolak, M. ve Karamanderesi, İ., 2015. Kızıldere (Denizli) Jeotermal Alanındaki Kabuklaşma Probleminin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, MÜHJEO’2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 505-512.
- Tolluoğlu, Ü.A., Erkan, Y. ve Yavaş, F., 1997. Afyon meta sedimenter grubunun Mesozoyik öncesi metamorfik evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 40-2, 1-17.

İnternet kaynakları

<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>
(27.03.2017)