

## Gümüşköy kaplıcası (Aydın) ve çevresinin hidrojeokimyasal incelenmesi Hydrogeochemical study of the gümüşköy spa (Aydın) and its vicinity

Tuğbanur Özen BALABAN<sup>1\*</sup>, Hilal AKIN<sup>2</sup>, Gültekin TARCAN<sup>2</sup>, Ünsal GEMİCİ<sup>2</sup>, Mümtaz ÇOLAK<sup>2</sup>, İ. Hakkı KARAMENDERESİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Merkezi Araştırma Laboratuvarları, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
tugbanur.ozen.balaban@ikc.edu.tr

<sup>2</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.  
hilalakin\_14@hotmail.com, gultekin.tarcan@deu.edu.tr, unsal.gemici@deu.edu.tr, mumtaz.colak@deu.edu.tr

<sup>3</sup>Jeolojik Etüt Müşavirlik, İzmir, Türkiye.  
h.karamanderesi@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 12.10.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 26.11.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.32716  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Gümüşköy Kaplıcası Batı Anadolu Bölgesi'nde Büyük Menderes Grabeni'nin güneybatı kısmında yer almaktadır. İnceleme alanındaki termal suların kaynak çıkış sıcaklıkları 20-36 °C, pH değerleri 6.4-7.5 ve elektriksel iletkenlikleri (EC) 2000-11230 µS/cm arasındadır. Termal sular genel olarak Na-Cl su tipindedirler. Jeotermal sistemin rezervuar kayaları Menderes Masifi'nin karstik mermerleri ve çatlaklı şist birimleridir. Neojen'in geçirimsiz birimleri jeotermal sistemin örtü kayalarını oluşturmaktadır. Sistemin ısı kaynağı ise tektonizmaya bağlı yüksek jeotermal gradyandır. Termal sular Giggensbach Diyagramı'na (1988) göre çoğunlukla ham sular sınıfındadır ve kimyasal jeotermometrelerle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 55-114 °C arasında değişmektedir. Ölçülmüş sıcaklıklardaki mineral doygunlukları, termal sularda genellikle kalsit, aragonit ve dolomit minerallerinin çökel oluşturduğunu gösterir. Suların jips, anhidrit, sölentin ve barit minerallerini ise çözündürücü özellikte oldukları görülmektedir. Termal suların üretim ve iletim hatlarında ve atık suların reenjesiyonu sırasında kalsit, aragonit ve dolomit minerallerinin kabuklaşma riski oluşturacağı belirlenmiştir. Silis mineralleri ise kinetik özelliklerinden dolayı amorf silis özelliğinde çökebilir.

**Anahtar kelimeler:** Gümüşköy, Termal sular, Doymunluk indeksi, Kabuklaşma

### Abstract

Gümüşköy Spa is located in southwest of the Büyük Menderes Graben in Western Anatolia. The thermal waters of the area have spring temperatures of 20-36 °C, pH of 6.4-7.5 and EC of 4960 to 5079 µS/cm. Water type of thermal waters is generally Na-Cl type. Reservoir rocks of geothermal systems are marble and fissured schist units of Menderes Massif. Impermeable units of Neogene are the cap rocks of geothermal systems. Heat source of system is also geothermal gradient connected with tectonism. According to Giggensbach Diagram (1988), thermal waters mostly fall into the immature fields and reservoir temperatures vary between 55-114 °C. Mineral saturation in outlet temperatures indicates that calcite, aragonite, and dolomite minerals are generally oversaturated in the thermal waters. However, it is seen that the thermal waters is undersaturated with gypsum, anhydrite, celestite, and barite. It is determined that calcite, aragonite and dolomite minerals will be created scaling risk in production and conduction line of the thermal waters and during the reinjection of waste water. Silica minerals may also precipitate amorphous silica due to kinetic properties.

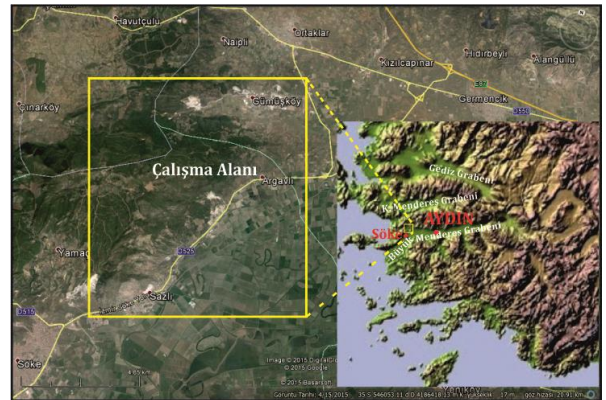
**Keywords:** Gümüşköy, Thermal waters, Saturation index, Scaling

## 1 Giriş

Gümüşköy Kaplıcası Büyük Menderes Grabeni'nin güneybatı kısmında, Aydın ilinin Söke ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Gümüşköy Kaplıcası termal sularının kaynak çıkış sıcaklığı 20-36 °C arasında değişmektedir. Kaplıca suları çok eski çağlardan beri balneolojik amaçlı kullanılmaktadır. Çalışma alanında temelde Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'nin metamorfik birimleri yer almaktadır. Bu birimleri Miyosen ve Pliyosen yaşlı sedimanter birimler açısız uyumsuzlukla üzerler. Bölgedeki en genç birim Kuvaterner yaşlı alüvyondur. Termal sular graben oluşumunu verevine kesen yaklaşık KD-GB uzanımlı Gümüş fayı boyunca yüzeye çıkmaktadırlar. Termal sular fay hatları boyunca yeraltına süzülen meteorik suların ısınarak tekrar yüzeylemesi sonucu oluşmaktadır.

Çalışma alanı tarımsal açıdan zengin bir bölge olup, pamuk, meyve, sebze, zeytin, ceviz, incir ve çeşitli hububatlar yetiştirilmektedir. Son yıllarda termal sular sera ısıtımında da kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Gümüşköy kaplıcası ve çevresindeki suların hidrojeokimyasal

özelliklerinin belirlenmesi ve su kalitesi açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1: İnceleme alanının yerbulduru haritası.

## 2 Materyal ve metot

Arazi çalışmaları sırasında 1/25000 ölçekli topografik ve jeolojik haritalar, GPS, pH-EC metre (çoklu ölçüm aleti) ve

filtrasyon seti kullanılmıştır. Suların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla, her su noktasında sıcaklık, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, pH, Eh, çözünmüş O<sub>2</sub> ve HCO<sub>3</sub> parametreleri yerinde (su noktası başında) ölçülmüştür. Su noktalarından kimyasal analiz amaçlı 2 ayrı örnek alınmıştır.

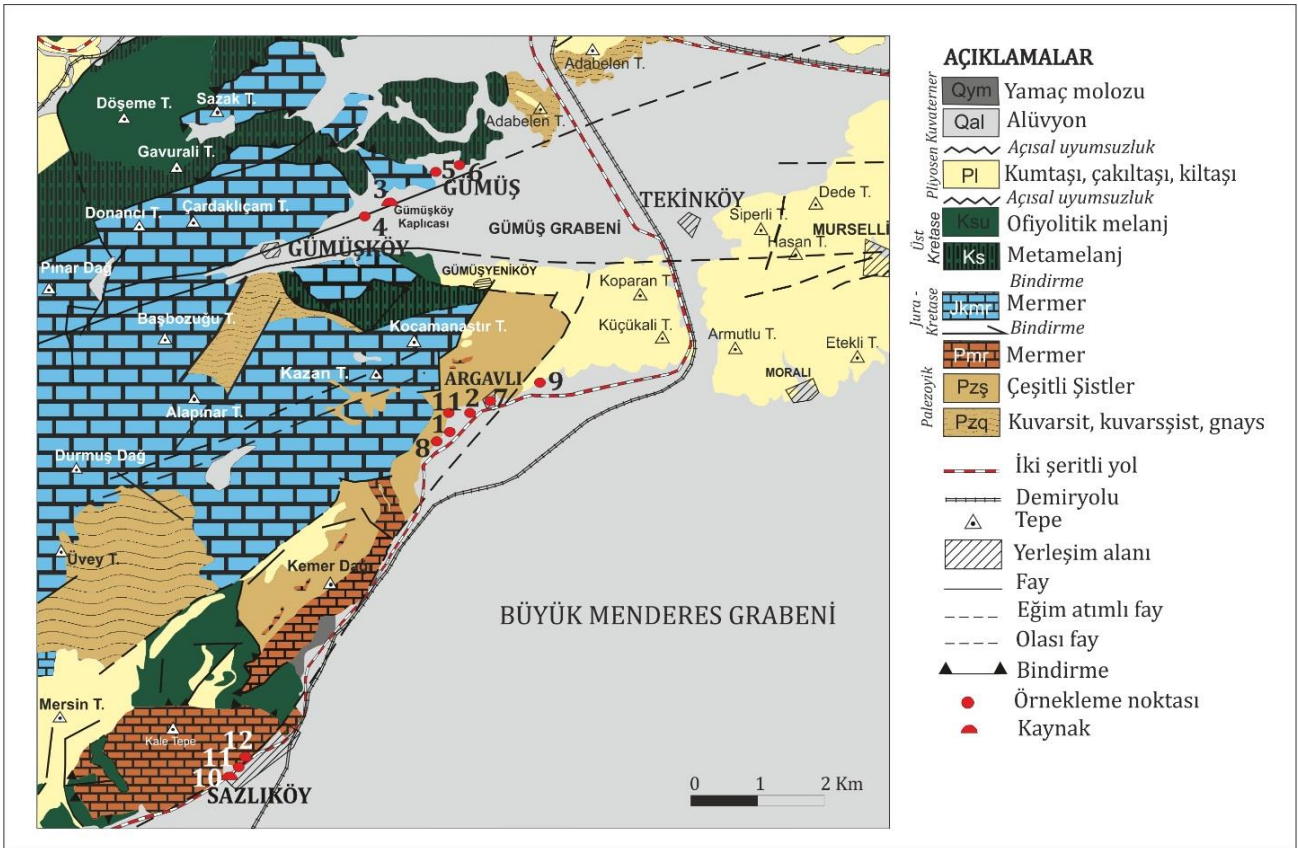
Kasyon analizleri için sular 50 ml'lik örnek şişelerine 0.2µ-0.45µ geçirgenlikteki filtre kâğıdından süzölmüş ve pH 2'ye düşüncüye dek HNO<sub>3</sub> ilavesi yapılmıştır. Anyon analizleri için sular 500 ml'lik örnek şişelerine herhangi bir asit ilavesi yapılmadan örneklenmiştir. Suların kasyon analizleri ACME Laboratuvarı (Kanada) ve DEÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda ICP-MS tekniğiyle analiz edilmiştir. Suların anyon analizlerinden alkalinite tayini arazide yerinde titrasyon yöntemi ile yapılmıştır.

### 3 Jeoloji ve hidrojeoloji

Çalışma alanının temelini Prekambriyen-Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar oluşturmaktadır (Şekil 2). Menderes Masifi'nin çekirdeği Prekambriyen yaşlı gnayslardan oluşur. İstif üste doğru Paleozoyik yaşlı mikaşistler, Permo-Karbonifer yaşlı meta kuvarsit, siyah fillit ve koyu renkli rekristalize kireçtaşları ile devam etmektedir [1]. Söke ilçe merkezinin batısında Menderes metamorfiklerine ait şistler stratigrafik ve metamorfik yapıları Menderes Masifi'nden farklı serpantin ve meta bazik katmanlı şist ve Mesozoyik mermerlerden meydana gelen bir istifte örtülmektedir [1]. Bu birimlerin üzerine Neojen yaşlı genç çökeller (çakıltaşı, kumtaşı ve kiltası ardalanması) açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Bölgedeki en genç birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpazesi ve travertendir.

Termal kaynakların çıkış noktaları dikkate alındığında bölgenin özellikle genç tektoniği önem kazanmaktadır. Batı Anadolu'da K-G yönlü sıkışma tektoniği rejimi Erken Miyosen'de (Burdigaliyen) Likya Napı ve Menderes Metamorfitlerinin bir kıta içi kırılma zonu ile Beydağları otoktonu üzerine taşınmasıyla son bulmaktadır [2]. Batı Anadolu'da Erken-Geç Miyosen'de başlayan K-G yönlü genişlemeli rejime bağlı olarak litosferin kalınlığının azalması sonucunda Geç Miyosen sonu-Pliyosen'den günümüze D-B uzanımlı çöküntü yapıları (graben sistemleri) oluşmuştur [3], [4]. D-B uzanımlı ana grabenler içerisinde ana grabenleri kesen KB-GD den KD-GB'ye kadar değişen doğrultularda göreceli olarak daha kısa ve asılı çapraz-grabenler bulunmaktadır. Paleotektonik dönem içinde gelişen Orta-Geç Miyosen dolgulu KB-GD uzanımlı bu çapraz grabenlerin, ilksel yönelimlerinin K-D olduğu, bölgede saatin tersi yönündeki rotasyon sonucunda günümüzdeki doğrultularını kazandıkları belirtilmektedir [7]. Çalışma alanı ve çevresindeki fayların doğrultusu genel olarak KD-GB yönlüdür. Grabenleşmeyle birlikte yer yer kabuk incilmesi, magma yaklaşımı ve özellikle dislokasyonlar boyunca veya kesişme bölgelerinde jeotermal sistemlerin oluşmasına elverişli kuşaklar gelişmiştir [8].

İnceleme alanında, termal suların rezervuar kayaları Menderes Masifi'nin karstik mermerleri ve çatlaklı şist birimleridir. Kırıksız, çatlaksız şistler ve fillitler jeotermal sistemlerin hem temelini, hem de örtü kayalarını oluşturmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal tortulların killi düzeyleri Argavlı ve Sazlıköy civarında ikinci bir örtü kaya oluştururlar [9],[10]. Sistemin ısı kaynağıysa graben tektoniğine bağlı olarak yükselen mağmadan kaynaklanan yüksek jeotermal gradyandır.



Şekil 2: Gümüşköy Kaplıcası ve çevresinin jeoloji haritası ([5] ve [6]'dan değiştirilerek) ve su noktalarının yeri.

Gümüşköy Kaplıcası Büyük Menderes Grabeni'nin güney ucunda, jeotermal gradyanın kısmen düşük olduğu gölgede yer almaktadır. Sıcak su kaynakları graben oluşumunu verevine kesen yaklaşık KB-GD uzanımlı Gümüş fayı boyunca yüzeye çıkmaktadır [8]. Termal kaynaklar kurumuştur ancak sığ kuyulardan 20-36 °C arasında değişen sıcaklıklarda termal su alınabilmektedir. Termal sular, kaplıca ve çevresinde balneolojik ve sera ısıtmaçılığı uygulamalarında kullanılmaktadır. Bölgede kaplıca hizmeti veren iki adet tesis bulunmaktadır. Gümüşköy Kaplıcası'nın GB'sında yer alan Sazlıköy kaynağı, Söke-Aydın karayolu üzerinde Sazlıköy yerleşim alanı içerisinde, Paleozoyik mermerlerden boşalmakta olup sıcaklığı 26 °C ve debisi yaklaşık 150 l/s'dir [8]. Kaynaktan çıkan termal su Söke Ovası'na boşalmaktadır.

#### 4 Hidrojeokimya

İnceleme alanında farklı noktalardan (kaynak ve kuyulardan) 12 adet su örnekleme yapılmıştır. Suların kimyasal analizleri örnekleme sıcaklığında AquaChem 1.2 [11], hidrojeokimya ve PHREEQC [12] türleştirme programında değerlendirilmiş ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Genel olarak suların ölçülmüş sıcaklıkları 21-36 °C, pH değerleri 6.4-7.5 ve elektriksel iletkenlikleri (EC) 2000-11230 µS/cm arasında değişmektedir (Tablo 1). Suların elektriksel iletkenlik değerleri çözülmüş madde miktarları (TDS) ile doğrudan ilişkilidir. İyon derişimi arttıkça EC değeri de artmaktadır. Genellikle derin dolaşım ve yüksek sıcaklıklı alanlarda su kayaç etkileşimi de fazla miktarda olmakta ve termal akışkan daha yüksek TDS ve EC değerleri içermektedir. Suların majör bileşenleri de Tablo 2'de verilmiştir.

İnceleme alanındaki suların majör bileşenleri Piper üçgen diyagramında [13] değerlendirilmiştir (Şekil 3). Bu diyagram iyonların topluca tek bir diyagramda görüntülenmesi, suların fasiye tipleri ile benzer ve farklı kökenli suların belirlenmesi ve karşılaştırılması açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan bir diyagramdır. İnceleme alanındaki sulardan 2 ve 9 No.lu Argavlı bölgesindeki sular 9 No.lu (iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular) alan içerisinde dirler. Bunların dışında sular genel olarak "5 No.lu" (karbonat sertliği %50'den fazla olan suların bulunduğu) ve "7 No.lu" alana (NaCl iyonunun egemen olduğu karbonat olmayan, alkalitesi %50'den fazla olan sular) düşmektedirler.

Alandaki hidrojeokimyasal süreçler yeraltı suyu genel akım yönü doğrultusunda 5 No.lu alandan 7 No.lu alana doğrudur. Başka bir deyişle, yeraltı suyu akım yönünde ve aynı zamanda dolaşım süresi ile su-kayaç etkileşimi arttıkça sularda Ca ve Mg iyonları azalmakta ve Na egemen olmaktadır. Benzer şekilde anyonlar açısından da SO<sub>4</sub> egemenliği azalmakta ve yerini Cl iyonuna bırakmaktadır.

Termal suların çeşitli jeotermometre hesaplamaları ile elde edilen rezervuar sıcaklıkları Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 55 °C ile 114 °C arasında değişmektedir. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 88-236 °C arasındadır. Bu sonuçlar rezervuar sıcaklıkları için çoğunlukla silis jeotermometrelerin daha uygun olduğunu göstermektedir. Sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleştirilmiş jeotermometresi [14] ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de daha önce belirtilen katyon jeotermometre uygulamalarının

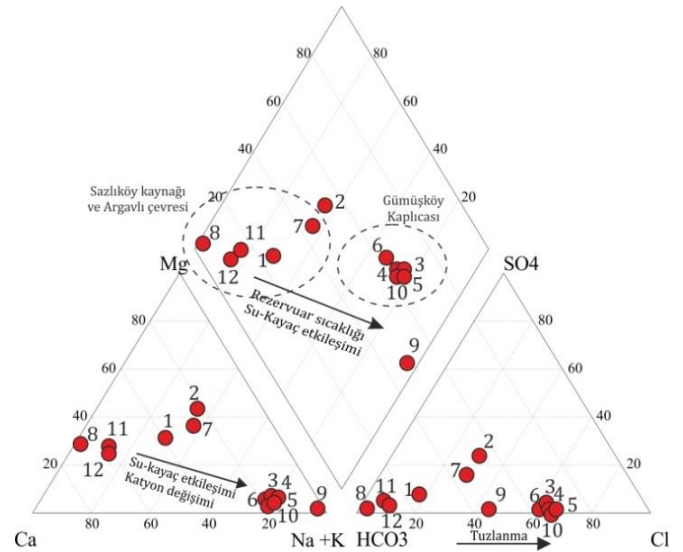
geçerliliği sınanmaktadır [15]. Na-K-Mg üçgen jeotermometre değerlendirmeleri sonucunda inceleme alanındaki termal suların 9 No.lu örnek haricinde ham sular sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 4). Termal sular bu diyagramda ayrıca 210 °C'yi gösteren doğru üzerinde yoğunlaşmıştır. Ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyile bakılması gerektiğini belirtmektedir [15].

Tablo 1: İnceleme alanındaki suların bazı fiziksel özellikleri (Örnek numaraları Şekil 2 ile aynıdır).

Örnek No	T	pH	EC	TDS	Su Tipi
1	21	6.95	2050	1094.5	Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
2	22	6.8	2700	237	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
3	36	6.63	3700	2414.3	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
4	35	6.34	3720	103.7	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
5	36	6.55	3730	2475.9	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
6	33	6.7	3760	2488.7	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
7	23	7.09	2020	1297.3	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
8	26	6.66	1686	100	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
9	20	6.97	11230	6802.4	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
10	23	6.77	1141	1028	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
11	23	7.5	3830	2213	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
12	22	6.4	1002	653.7	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

Tablo 2: İnceleme alanındaki suların majör bileşenleri (Örnek numaraları Şekil 2 ile aynıdır).

No	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	185	30.93	232	106	1318	180	114	50.8
2	299	88.9	206	167	882	346	336	30.8
3	734	57	149	32	903	1032	24	61.6
4	791	68.8	147	31.8	868	1029	30	64.6
5	749	59	133	30	887	1042	18	62.3
6	611	47	189	44	1129	1035	25	63.9
7	199	15.84	107	133	793	240	183	30
8	31.25	71.2	443	97.6	1241	13	14	14.9
9	3200	59	26.1	27	6538	3250	15	57.7
10	39	4.1	172	48.9	675	44	24	15.4
11	689	55	149	37	1172	881	21	52.3
12	38	3.33	161	42.4	699	40	15	13.1

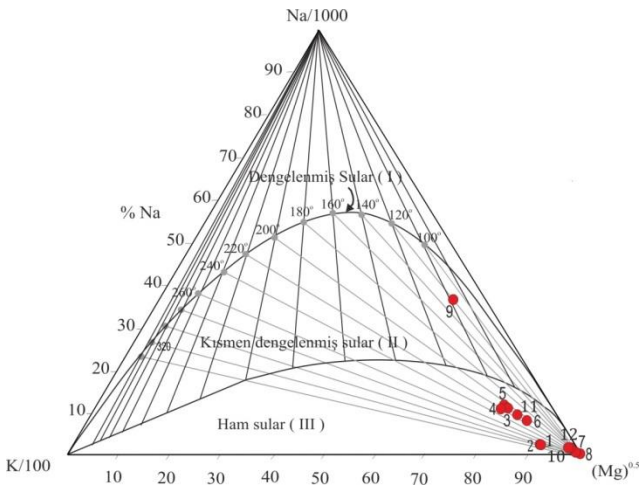


Şekil 3: İnceleme alanındaki suların Piper Diyagramı'ndaki [13] yeri.



Tablo 3: İnceleme alanındaki suların kimyasal jeotermometrelerle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (örnek numaraları Şekil 2 ile aynıdır. \*Kaynak sıcaklıklarından daha düşük sıcaklıklar hesaplanmıştır).

Jeotermometre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[16] SiO <sub>2</sub> (Quartz-buhar kaybı yok)	86	80	113	100	114	114	79	109	69	54	104	48
[16] SiO <sub>2</sub> (Quartz-maksimum buh. kay.)	89	84	112	101	113	113	83	108	74	60	104	55
[17] SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	87	81	113	101	114	114	80	109	70	54	104	48
[18] SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	72	66	100	87	101	101	65	95	55	39	90	32
[16] SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	55	49	84	70	85	85	48	79	37	21	74	16
[18] SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, kondüktif soğuma)	58	52	84	72	86	86	51	80	41	26	75	20
[18] SiO <sub>2</sub> (Adiyatik soğ. Son. 100 °C buh. kay.)	88	83	111	100	112	112	82	107	73	59	103	54
[14] Na/K	118	*	221	199	221	218	215	126	*	236	215	222
[18] Na/K	88	*	189	166	190	187	183	96	*	206	183	190
[19] Na/Li	113	*	206	170	209	206	124	94	*	220	211	194
[17] Na/K	105	*	224	198	225	221	217	114	*	243	217	225



Şekil 4: İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki [14] yeri.

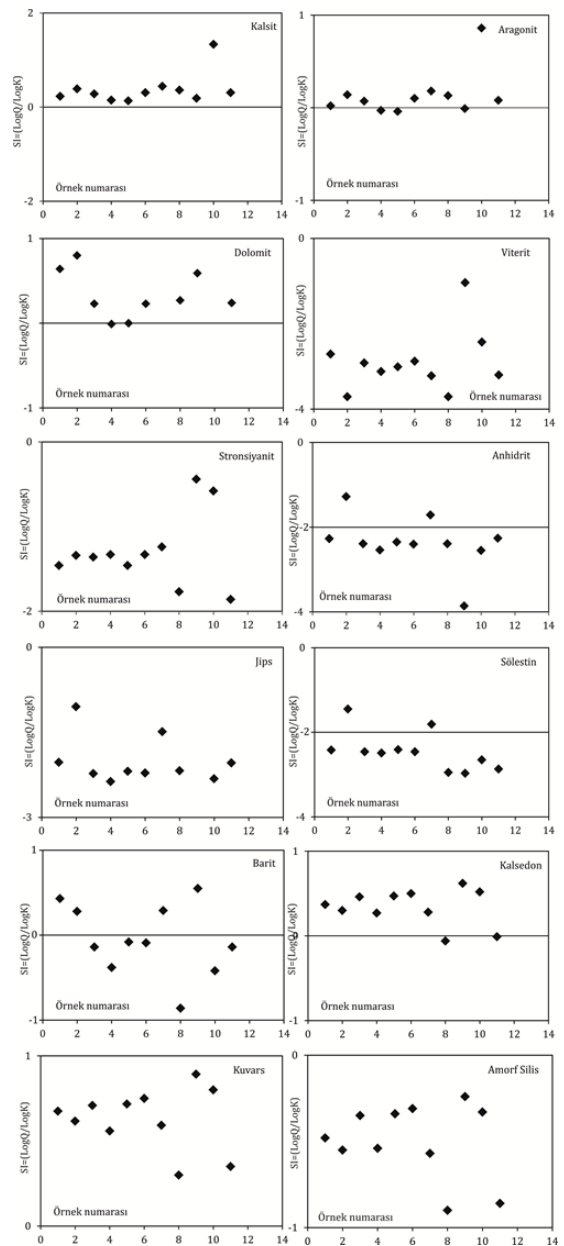
PHREEQC [12] türleştirme programında suların kimyasal analizleri değerlendirilmiş ve her bir suyun türleştirme hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamaların sonucu olarak çeşitli minerallere karşı hesaplanmış doygunluk indeksleri ile mineral denge diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 5). Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi (SI: Saturation index) sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır [20].

SI (log Q/K) = 0, su ilgili mineral ile dengededir (doygundur).

SI (log Q/K) > 0, su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir).

SI (log Q/K) < 0, su ilgili mineralle doygun değildir (minerali çözüldürücü özelliktedir).

Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması termal suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökeltilerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Şekil 5'teki diyagramlarda doygunluk indeksinin sıfır olduğu değer çizilmiş ve negatif olan örnekler doygunluk altı değerinde olup, sıfır çizgisinin altında gözükmekte ve minerali çözücü özellikte olarak değerlendirilmektedir. Mineral doygunlukları pozitif olan örnekler sıfır çizgisinin üzerinde yer almakta ve doygunluk üstü yani o minerali çöktürmeye eğilimli olarak değerlendirilmektedir. Değerlendirmeler suların arazide ölçülmüş sıcaklıkları dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Seçilmiş minerallerin doygunluk özellikleri.

Diyagramlara göre, karbonatlı minerallerden kalsit, aragonit ve dolomit mineralleri çoğu sulara pozitif ( $SI>0$ ) yani doyumluk üstü değerler vermektedir. Stronsiyanit ve viterit mineralleri ise tamamen doyumluk altı değerler vermektedirler. Sular, sülfatlı minerallerden anhidrit, jips, sölestin ve barit minerallerini çözündürücü özelliktedir. Silisyum mineralinden kalseduan ve kuvars mineralleri suyla aşırı doyumdur. Buna karşın amorf silis minerali su ile doyum değildir ( $SI<0$ ).

Termal sularda kuvars ve kalseduan çökmesine pek rastlanılmaz. Bunun nedeni, kuvarsin ve kalseduanın çözelti kinetiğiyle ilgilidir. Diğer bir deyişle kuvars ve kalseduan çökmesi için belirgin bir zaman geçmesi gerekmektedir. Termal kuyularda akışkanın hareketi ve sıcaklık değişimleri çok hızlı olduğundan silis kristalleşmez ve çöktürler (kabuklaşma) amorf silistir.

Termal suların türleştirme hesapları sadece ölçülmüş sıcaklığında değil çeşitli sıcaklık değerleri için de hesaplanmıştır. Türleştirme hesaplamalarından elde edilen mineral doyumlukları ile kabuklaşma riski olan minerallerin doyumluk indeksleri dikkate alınarak doyumluk indeksi-sıcaklık diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 6). Karbonat mineralleri için oluşturulan diyagramlarda kalsit ve aragonit minerallerinin benzer eğriler verdiği görülmektedir. Sular dolomit mineralini de çöktürücü özelliktedir. İnceleme alanındaki tüm sular seçilen sıcaklık değerlerinde bu minerallerce aşırı doyumdur ( $SI>0$ ). Bir diğer karbonat minerali olan stronsiyanit de tüm sıcaklıklarda çözünmüş haldedir ( $SI>0$ ).

Silis minerallerinden kuvars ve kalseduan minerallerinin mineral doyumluk-sıcaklık diyagramları hemen hemen benzerdir (Şekil 6). Diyagramlara bakıldığında kuvars minerali için 6 ve 12 No.lu örnekler dışındaki sularda, 80 °C'nin altındaki değişen sıcaklıklarda sular bu minerali çöktürücü özelliktedir. 6 ve 12 numaralı örneklerde ise tüm sıcaklıklarda sular kuvars mineralini çözündürücü özelliktedir. Kalseduan minerali de 125 °C'nin altındaki değişik sıcaklıklarda su ile doymamış özellik göstermektedir ( $SI<0$ ). Amorf silis minerali de tüm sıcaklıklarda sularda çözünmüş haldedir. Sülfat minerallerinden anhidrit 2, 7 ve 10 numaralı örneklerde 125 °C'nin üstündeki çeşitli sıcaklıklarda aşırı doymuş özelliktedir ( $SI>0$ ). Diğer sularda ise tüm sıcaklıklarda çözünmüş özelliktedir. 160 °C'nin üstündeki çeşitli sıcaklıklarda sölestin minerali sularda aşırı doyumdur.

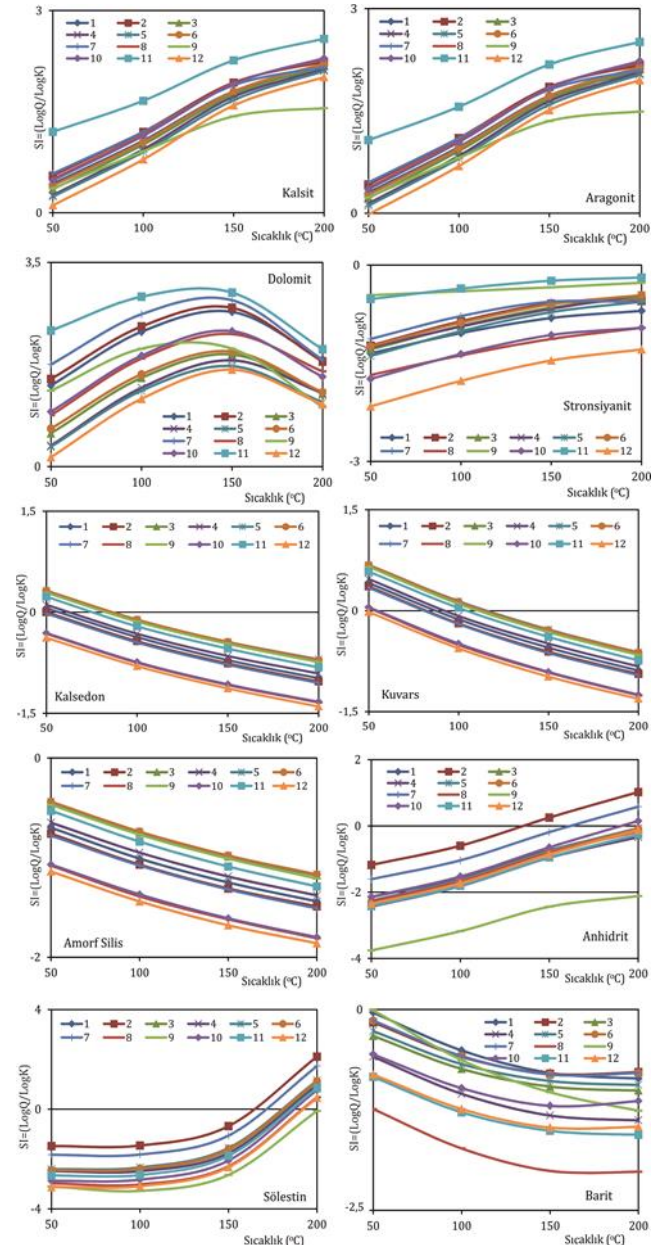
Sular barit mineraline, tüm sıcaklık değerlerinde doyum olmayıp, bu minerali çözündürücü özelliktedirler (Şekil 6). Doyumluk indeksi-sıcaklık diyagramları ile elde edilen sonuçlar göstermiştir ki termal sular karbonat minerallerine (kalsit, aragonit, dolomit) tüm sıcaklıklarda doyum olup bu mineralleri çöktürücü özelliktedirler. Sülfat ve silis mineralleri ise termal sularda genel olarak çözünmüş özelliktedir.

## 5 Sonuçlar

İnceleme alanında, termal suların rezervuar kayaları Menderes Masifi'nin karstik mermerleri ve çatlaklı şist birimleridir. Kırıksız, çatlaksız şistler ve fillitler jeotermal sistemlerin hem temelini, hem de örtü kayalarını oluşturmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal tortulların killi düzeyleri Argavlı ve Sazlıköy civarında ikinci bir örtü kaya oluştururlar. Sistemin ısı kaynağıysa graben tektoniğine bağlı olarak yükselen mağmadan kaynaklanan yüksek jeotermal gradyandır.

Suların ölçülmüş sıcaklıkları 20-36 °C, pH değerleri 6.4-7.5 ve elektriksel iletkenlikleri (EC) ise 2000-11230  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. TDS ve EC değerleri dikkate alındığında incelenen sular genel olarak derin dolaşım ve su kayaç etkileşimi fazla olan sulardır. Majör iyon bileşimleri Piper üçgen diyagramında değerlendirildiğinde termal suların genel olarak dolaşım süresi ile su-kayaç etkileşimi arttıkça Ca ve Mg iyonlarının yerine Na iyonu egemen olmaktadır. Benzer şekilde anyonlar açısından da  $\text{SO}_4$  egemenliği azalmakta ve yerini Cl iyonuna bırakmaktadır.

Termal suların ölçülmüş sıcaklıklardaki mineral doyumlukları genellikle karbonatlı minerallerden kalsit, aragonit ve dolomit mineralleri çökeltme özelliği göstermektedir. Sülfatlı minerallerden jips, anhidrit, sölestin ve barit minerallerini suların çözündürücü özellikte oldukları görülmektedir. Silisyum mineralinden kalseduan ve kuvars mineralleri suyla aşırı doyumdur. Buna karşın amorf silis minerali sularda genellikle çözündürücü özelliktedir.



Şekil 6: Minerallerin doyumluk indeksi-sıcaklık diyagramları.

Ancak, termal kuyularda akışkanın hareketi ve sıcaklık değişimleri çok hızlı olduğundan silis kristalleşemez ve çökeltiler (kabuklaşma) amorf silis özelliğindedir.

Doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları ile elde edilen sonuçlar göstermiştir ki termal sular karbonat minerallerini (kalsit, aragonit, dolomit) tüm sıcaklıklarda çökeltiler özelliğindedir. Termal sular sülfat ve silis minerallerini genel olarak çözündürme eğilimindedir. Minerallerin doygunluk özellikleri dikkate alındığında termal suların üretim ve iletim hatlarında ve atık suların reenjeksiyonu sırasında karşılaşılabilecek kabuklaşma riskinin, tüm sıcaklıklarda, kalsit, aragonit ve dolomit olduğu görülmektedir. Silis mineralleri ise kinetik özelliklerinden dolayı amorf silis özelliğinde çökelmektedir.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-ÇAYDAG-109Y315 No.lu "Büyük Menderes Grabeni'ndeki Jeotermal Alanlarda Kabuklaşma Problemleri Üzerine Hidrojeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelemeler" konulu Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar bu makaleye eleştiri ve öneriyle katkı koyan hakemlere teşekkür ederler.

## 7 Kaynaklar

- [1] Okay Aİ. "Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: A new structural model". *International Journal of Earth Sciences*, 89(4), 709-727, 2001.
- [2] Şengör AMC, Yılmaz Y. "Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach". *Tectonophysics* 75(1981), 181-241, 2001.
- [3] Dewey JF, Şengör AMC. "Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone". *The Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 84-92, 1979.
- [4] Seyitoğlu G, Scott BC. "The cause of N-S extensional tectonics in Western Turkey: Tectonic escape vs. BackArc spreading vs. orogenic collapse". *Journal of Geodynamics*, 22(1), 145-153, 1996.
- [5] Görür N, Ecevitoglu B, Demirbağ E, Ersoy Ş, Algan O, Güneysu C, Aykol A. "Rift formation in the Gökova region, Southwest Anatolia: Implications for the opening of the aegean sea". *Geological Magazine*, 132(6), 637-650, 1995.
- [6] Şimşek Ş, Karamenderesi İH, Yılmaz S, Eşder T, Erişen B, Keskin B, Öngür T, Yüksel V, Suludere Y, Kastelli M, Özbayrak H, Uğurlu A, Şimşek Z, Sarıöz K, Uysallı H, Uygur N, Coşkun B. "Aydın-Denizli Jeotermal Alanları". MTA Raporu, 3707, 1979.
- [7] Maden Teknik Arama. "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri". Ankara, Türkiye, 201, 849, 2005.
- [8] Şimşek Ş. "Büyük Menderes Grabeni Batı Kesiminde Yer Alan Jeotermal Sistemlerin Hidrodinamik Yapılarının Jeokimyasal Teknikler ve Asal Gaz İzotopları Yardımıyla İncelenmesi". Ankara, Türkiye, TÜBİTAK Projesi, No: 107Y188, 2010.
- [9] Tarcan G, Gemici Ü. "Hydrogeochemistry of the Gümüşköy and Sazlıköy Geothermal Fields, Aydın, Turkey". *Proceeding Books of Water-Rock Interaction*, 931-934, 2001.
- [10] Karakuş H, Şimşek Ş. "Tracing deep thermal water circulation systems in the E-W trending Büyük Menderes Graben, western Turkey". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 252, 38-52, 2013.
- [11] Calmbach L. "AquaChem Computer Code-Version 3.7.42". Waterloo Hydrogeologic. Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3, 1997.
- [12] Parkhurst DL, Appelo CAJ. "User's Guide to PHREEQC (version 2)-A computer Program for Speciation, Batch-reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations". US. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312, 1999.
- [13] Piper AM. "A Graphic Procedure in The Geo-chemical Interpretation of Water Analyses. American Geophysical Union Transactions". 25, 914-923. In: Srinivasa, N.R. (1998) MHPT.BAS: A computer program for modified Hill-Piper Diagram for classification of groundwater, *Computer&Geosciences*, 24, 10, 991-1008, 1944.
- [14] Giggenbach WF. "Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators". *Geochimica Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749-2765, 1988.
- [15] Fournier R.O. "The interpretation of Na-K-Mg Relations in Geothermal Waters". *Geoth. Res. Council Trans.*, 14, 1421-1425, 1990.
- [16] Fournier RO. "Chemical Geothermometers and mixing models for geo-thermal systems". *Geothermics*, 5(1-4), 41-50, 1977.
- [17] Fournier RO, Potter RW. "An Equation correlating the solubility of quartz in water from 25° to 900 °C at pressures up to 10,000 bars". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(10), 1969-1973, 1982.
- [18] Arnórsson S, Gunnlaugsson E, Svavarsson H. "The chemistry of geothermal waters in iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47(3), 567-577, 1983.
- [19] Kharaka YK, Lico MS, Law LM. "Chemical geothermometers applied to formation waters, gulf of Mexico and California basins". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 66, 538, 1982.
- [20] Tarcan G. "Jeotermal Su Kimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı" (Eds) Savaşçın, M.Y., Güleç N., Şimşek Ş., Parlaktuna M., Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No:306, 198, 2003.