



Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) Jeotermal Alanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi

Hydrogeochemical Study of the Caferbey and Sart-Çamur Geothermal Fields, Salihli

Tuğbanur ÖZEN, Gültekin TARCAN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,

Tınaztepe Yerleşkesi, 35160, Buca-İzmir

(tugbanur.ozen@ogr.deu.edu.tr)

ÖZ

Sart-Çamur Kaplıcası ve Caferbey jeotermal alanları Gediz Grabeni'nin güneyinde, Salihli ilçesinin batısında yer almaktadır. Bu çalışmada, kimyasal ve izotopik veriler kullanılarak sözü geçen jeotermal alanların hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanının içerisindeki Menderes Masifi'ne ait karbonatlı kayalar karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirirliliği yüksek olup, termal ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. İnceleme alanının güneydoğusundaki Menderes Masifi metamorfiklerine ait gnays ve kuvars-mikaşistler de jeotermal sistemlerin akiferi olma özelliği gösterirler. Bölgede geniş bir yayılım sunan alüvyon, soğuk suların akiferi olması açısından önemlidir. Sart-Çamur jeotermal alanındaki termal sular, 52 °C kaynak çıkış sıcaklığına ve yaklaşık 5 l/s debiye sahiptir. Caferbey jeotermal alanında açılan 1189 m derinlikteki kuyu 155 °C akifer sıcaklığına ve 2 l/s debiye sahip akışkan içermektedir. Sıcak akışkanın taşınımı fay ve kırık hatları ile sağlanmaktadır.

İnceleme alanında yapılan çevresel izotop analizi sonuçları, Sart-Çamur Kaplıcası ve Caferbey jeotermal alanındaki termal suların meteorik kökenli ve su-kayaç etkileşimine sahip olduklarını göstermektedir. Su kimyası sonuçları da su-kayaç etkileşiminin varlığını desteklemektedir. Suların Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'ne (IAH) göre sınıflanmasında Sart-Çamur Kaplıcası ve Caferbey termal suları sırasıyla Na-Ca-HCO₃ ve Na-HCO₃ su tipini göstermektedirler. Bölgedeki soğuk sular ise termal sulardan farklı fasiyes özelliklerine sahip olup, Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻ ve SO₄⁻² iyonlarının egemen olduğu sulardır. Termal suların yüksek bor ve arsenik derişimleri, bölgedeki sulama ve içme suyu

kaynaklarında kirletici faktörlerden biridir. Bu nedenle termal suların kullanımı sonrası re-enjeksiyonu hem rezervuarın beslenimi hem de çevreye olan olumsuz etkilerin giderilmesi açısından önemlidir.

Termal suların çeşitli kimyasal jeotermometrelere göre hesaplanan akifer sıcaklıkları 80 °C ile 290 °C arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki tüm termal sular, karbonat minerallerini (kalsit ve aragonit) çökeltici özelliindedir. Bu nedenle, jeotermal suların kullanımı sırasında kuyularda ve iletim hatlarında kabuklaşma problemleriyle karşılaşılacağı tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sart-Çamur, Caferbey, Salihli, jeotermal, hidrojeokimya, izotop jeokimyası.

ABSTRACT

The study area is located on the southern rim of the Gediz Graben and to the west of Salihli town. In the study reported here, the hydrochemical characteristics of these geothermal fields were determined by chemical and isotopic data.

The Menderes Massif rocks, which are formed by highly fractured karstic marbles, granodiorite, gneiss and quartz-schist units, are aquifers of the geothermal systems in the study area. The Neogene terrestrial sediments, which are made up of alluvial deposits, act as cap rocks for the geothermal systems. Alluvium is the most important unit for cold ground water production. The thermal springs in the Sart-Çamur Spa have an outlet temperature of 52 °C and a 5 l/s discharge. Thermal fluid with a temperature of 155 °C and a 2 l/s discharge was recorded at the drilling well, a well 1189 m deep, in the Caferbey geothermal field. The circulation of thermal fluid in the subsurface is along the fault and fracture zones.

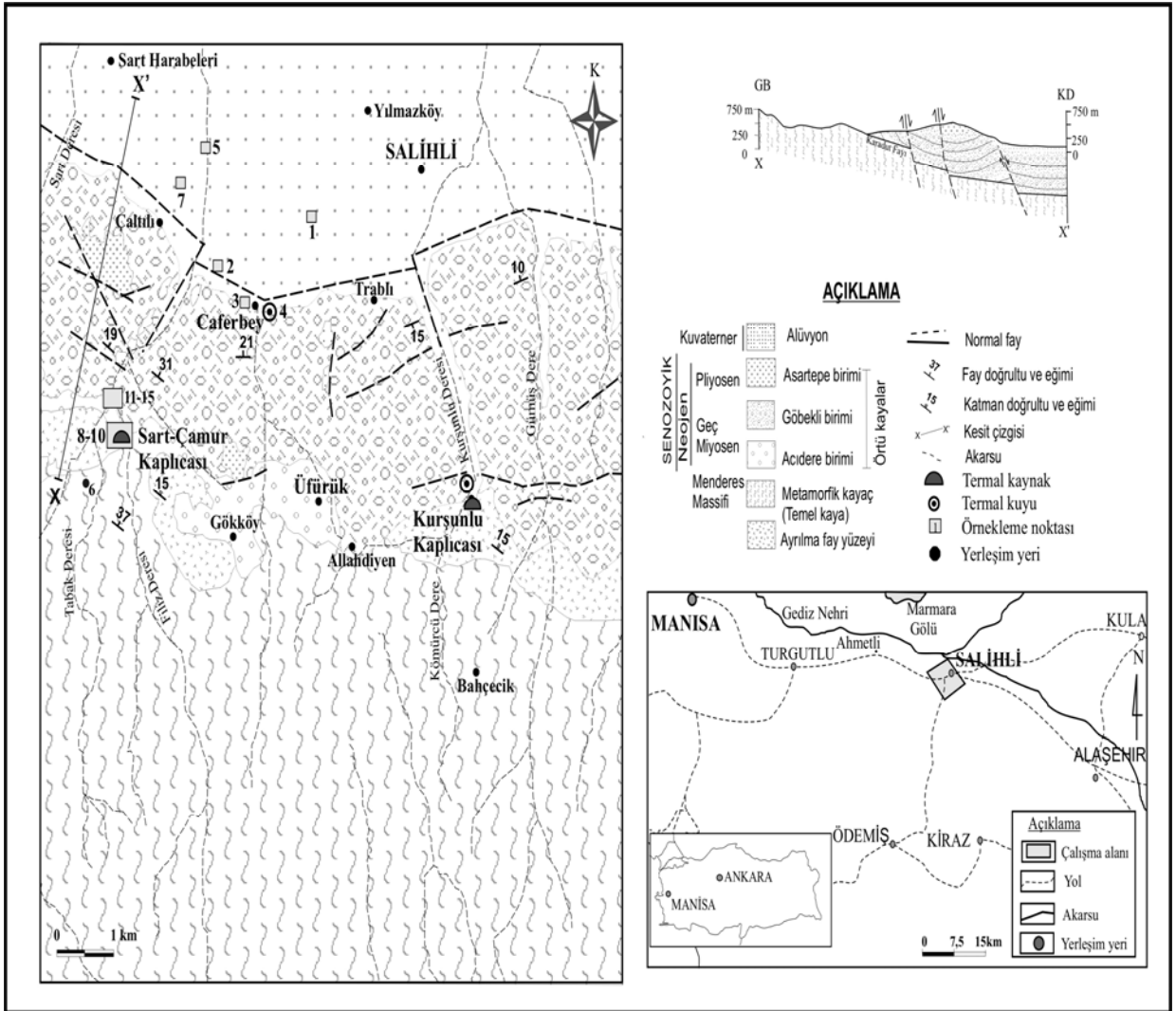
Results of environmental isotope and chemical analyses show that the thermal waters in the study area are of meteoric origin and generally have water-rock interactions. According to AIH chemical classifications, these thermal waters reflect the water types Na-Ca-HCO₃ and Na-HCO₃ in the Sart-Camur and Caferbey geothermal fields, respectively. Cold waters are mainly dominated by HCO₃⁻ and SO₄⁻ ions, with Na⁺², Ca⁺² and Mg⁺² cations. High boron and arsenic contents are among the contaminants when it comes to irrigation and drinking water sources in area. Because of these, reinjection of the thermal waters into the geothermal aquifer after use them is important, not only to recharge the reservoir but also to prevent harmful effects on the environment. According to various geothermometers, reservoir temperatures are calculated as varying between 8 °C and 290 °C. The thermal waters in the study area are oversaturated with respect to carbonate minerals (calcite and aragonite). These are most likely to cause scaling problems during extraction and use.

Key words: Sart-Çamur, Caferbey, Salihli, geothermal, hydrogeochemistry, isotope geochemistry.

GİRİŞ

Çalışma alanı, 28 10' doğu, 38 10' kuzey konumunda yer almaktadır. Sart-Çamur Kaplıcası ve Caferbey jeotermal alanları Manisa iline bağlı Salihli ilçesi sınırları içerisinde, Manisa il merkezine 70 km uzaklıkta, yaklaşık 3000 yıl geçmişi olan Sart Harabeleri'nin güneydoğusunda yer almaktadırlar (Şekil 1). Çalışma alanının kuzeyini Salihli Ovası oluşturmaktadır. Ovardan güneye doğru gidildikçe

topografya birden yükselmekte, derin vadiler ve sırtlar görülmektedir. Güneydeki dik topografyanın düzlüğe açıldığı alanlarda yaygın alüvyon yelpazeleri ve taşkın alan tortulları gelişmiştir. Çalışma alanının iklimi, yaz mevsimi sıcak ve kurak, kış mevsimi ise ılık ve yağışlı Akdeniz İklimi özelliğinde olup, 1996-2003 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış 500 mm ve ortalama sıcaklık 17°C'dir.



Bölgedeki çalışmalar jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, jeofizik ve sondaj çalışmaları olarak uzun yıllardan beri devam etmektedir. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak jeolojik, tektonik ve stratigrafik çalışmalardır ve bu çalışmaların bir kısmı bir genleşme bölgesi olan Batı Anadolu'nun güncel morfolojisinin oluşumunda D-B, KB-GD, KD-GB uzanımlı normal fayların etkili olduğunu göstermektedir (Mc Kenzie 1978; Şengör 1982; Dora ve diğ. 1995; Emre 1996; Seyitoğlu ve Scott 1996; Sözbilir 2001 ve Bozkurt 2002). Jeotermal amaçlı jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, jeofizik ve sondaj çalışmaları ise Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) tarafından 1965 yılında başlamıştır. Sözü edilen çalışmalar günümüze kadar MTA ve diğer araştırmacılar (Özçiçek 1969; Gülay 1970; Karaman 1972; Yılmaz 1988; Filiz ve diğ. 1993; Özgür ve diğ., 1998; Burck 1998; Tarcan ve diğ. 2000) tarafından sürdürülmüştür. Bu çalışmada önceki çalışmalar dikkate alınarak Ekim, 2004-Eylül, 2008 yılları arasında elde edilen jeokimyasal ve izotopik veriler ışığında, bölgedeki termal ve soğuk suların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan özellikleri değerlendirilmiştir. Suların kimyasal özellikleri yapılan eser element analiz sonuçları dikkate alınarak ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu tartışılmıştır. Ayrıca termal suların hazne kaya sıcaklıkları, akifer kimyası ve mineral doygunlukları kullanım alanları ve kullanım sırasında oluşabilecek sorunlar açısından irdelenmiştir.

MATERYAL VE METOD

Çalışmalar, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki grupta toplanabilir. Arazi çalışmaları kapsamında 1/25.000'lik topografik (L20a1) ve 1/50.000'lik jeolojik haritalar, GPS, pH metre ve filtrasyon seti kullanılmıştır. Çalışma alanı içerisindeki yüzey suları, yeraltı suları ve termal sular, kurak (Haziran – Ekim) ve yağışlı (Kasım-Mayıs) mevsimde örneklenmiştir. Suların pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık ölçümleri arazide yapılmıştır. Suların toplam alkalinite değerleri arazide yerinde titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Kimyasal analizler için su örneklemeleri 50 ml'lik ve 500 ml'lik polietilen şişelere su filtrasyon seti yardımıyla 0.2 µ geçirgenlikteki filtre kağıdından süzülerek yapılmıştır. Katyon analizlerinin yapılacağı örnek şişelerine (50 ml) pH'ı 2'ye indirmek için 0.2 ml derişik HNO₃ ilave edilmiştir. Suların ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) ayrıntılı kimyasal analizleri yaptırılmıştır. 2004 ve 2005 yıllarında örneklenen suların kimyasal analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Suların δ¹⁸O ve döteryum (δ²H) analizleri için 50 ml'lik, trityum (³H) analizleri için ise 500 ml'lik örnek şişeleri kullanılmıştır. δ¹⁸O ve döteryum (δ²H) analizleri, TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde, trityum (³H) analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojoloji Mühendisliği Bölümü, Kütle Analiz Laboratuvarında yaptırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) hidrojeokimyasal ve PhreeQC (Parkhurst ve Appelo 1999) kimyasal türleştirme programlarında değerlendirilmiştir.

JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Batı Anadolu'nun K-G yönlü genişleme tektoniğinin bir sonucu olarak bölgenin jeolojisinde egemen yapı unsurları olan D-B doğrultulu düşük ve yüksek açılı normal faylarla sınırlanan grabenler gelişmiştir (Arpat ve Bingöl 1969, Seyitoğlu ve Scott 1996; Cohen ve diğ. 1995; Dora ve diğ. 1995; Hetzel ve diğ. 1995; Emre 1996; Emre ve Sözbilir 1997; Koçyiğit ve diğ. 1999; Yılmaz ve diğ. 2000). Değişik yönlü genişlemelerle oluşan bu grabenler sismik olarak aktiftir ve genişleme kuvvetleri, düşük eğimli makaslama zonları şeklinde ayrılma faylarını oluşturur (Arpat ve Bingöl 1969; Mc Kenzie 1978; Emre ve Sözbilir 1997; Yılmaz ve diğ. 2000). Genişlemeli tektoniğin nedeni ve başlangıç yaşı konusundaki görüşler farklıdır. Önceki görüşlerin aksine, Gediz Grabeni'nin oluşumu, bölgedeki en genç ayrılma fayı olan Erken Miyosen sonu veya Orta Miyosen yaşlı Karadut Fayı'nın ilk hareketi ile oluşmaya başlayan çökelim alanının tümünü kapsamaktadır (Hetzel ve diğ. 1995; Seyitoğlu ve Scott 1996; Emre 1996; Sözbilir 2001).

Gediz Grabeni'nin güney kısmında yer alan inceleme alanındaki kayalar temel ve örtü kayalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir (Şekil 1). Temeli gnays, mikaşist, fillit, kuvars şist ve mermerlerden yapılmış Menderes Masifi metamorfikleri oluşturur. Menderes Masifi metamorfiklerinin yaşı Prekambriyen olarak önerilmektedir (Dora ve diğ. 1995). Metamorfikler birçok farklı kaya türlerinden oluşur. Bunlardan en baskın olanları mikaşistlerdir. Bunların yanında ince taneli gnays, granat-mika şist, muskovit-kuvars şist, metakuvarsit ve mermerler bölgede yüzeyleyen diğer kaya türleridir. Mermerler, şistler içinde değişik boyutta mercekler oluşturur. Genellikle

bol çatlaklı olan kayanın dış yüzeyleri kahverengimsi gri, taze yüzeyleri kirli beyazdır. Metakuvarsitler şistler arasında, genellikle ara katkı ve mercek, zaman zaman şistleri kesen damarlar şeklindedir. Damar ve merceklerin kalınlıkları 1-50 cm, boyları 2-20 m arasındadır (Emre, 1996).

Örtü kayalar ise kalınlığı 2000 m'yi bulan Neojen yaşlı kırıntılı tortullardır. Neojen tortul birimler bölgede farklı fasiyeslerden oluşmakta, Acıdere, Göbekli ve Asartepe formasyonları olarak adlandırılmaktadır (Emre, 1996). Acıdere formasyonu genellikle örgülü akarsu ortamında oluşmuş kırıntılı tortullar (çakıldaş, çakıllı kum ve kıltaşı-çamurtaşı) şeklindedir. Göbekli formasyonu çakıldaş, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşur. Asartepe formasyonu kumtaşı ardalı çakıldaşlarından oluşmaktadır. Bu birimler Menderes Masifi metamorfiklerini düşük açılı bir normal fay ile örter. Bu normal fay "ayrılma fayı" olarak tanımlanmıştır (Emre 1996). Pekişmemiş kırıntılı tortullardan oluşmuş Kuvaterner alüvyon bölgedeki en genç birimdir.

İnceleme alanının içerisindeki Menderes Masifi'ne ait mermerler karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, termal ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. İnceleme alanının güneyinde, Menderes Masifi metamorfiklerinin gnays ve kuvars-mikaşistleri de kırıklı-çatlaklı özelliklerinden dolayı yer yer jeotermal akifer özelliği taşır. Örtülü akarsu ortamında oluşmuş kötü çimentolanmış kil düzeyleri içeren Neojen tortul kayalar ise hidrojeolojik açıdan geçirimsiz veya az geçirimli olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Bölgede geniş bir yayılım sunan alüvyon soğuk sular için akifer özelliğinde olması açısından

önemlidir. Sıcak akışkanın taşınımı yeraltındaki fay ve kırık hatları ile sağlanmaktadır (Tarcan ve diğ. 2000).

İnceleme alanındaki termal sular geçmişten bugüne banyo ve balneolojik amaçlar için kullanılmaktadır. Sart-Çamur jeotermal alanındaki termal sular, 52 °C kaynak çıkış sıcaklığı ve yaklaşık 5 l/s debiye sahiptir (Tarcan ve diğ. 2005). Caferbey jeotermal alanında ilk kuyu 1990'da açılmıştır ve 1198 m'de maksimum sıcaklık 155°C olarak ölçülmüştür. Yaklaşık 2 l/s olarak elde edilen düşük debi nedeniyle açılan kuyudan üretim yapmak ekonomik olarak mümkün olmamıştır (Karamandereci 1997). Günümüzde bu alanın değerlendirilmesine yönelik yeni çalışmalar başlamıştır. Salihli Ovası içerisinde sera ısıtımında kullanılan termal kuyular bulunmaktadır. Bu kuyuların derinliği 600-950 m arasında değişmektedir. Kuyulardan elde edilen sıcaklıklar 60–80 °C, debiler ise yaklaşık 50 l/s'dir. Kuyuların gerek sıcaklık ve gerekse de debileri dikkate alındığında inceleme alanının kuzeyi jeotermal alanların bu bölgede gelişimi bakımından oldukça umut vericidir (Özen ve Tarcan 2008). Alandaki termal sular yağış sularının bölgenin güneyindeki yükseltilerden yeraltına süzülüp tektonik hatlar boyunca tekrar yüzeylemesiyle oluşan devirli sistem özelliğindeki sulardır.

İZOTOP JEOKİMYASI

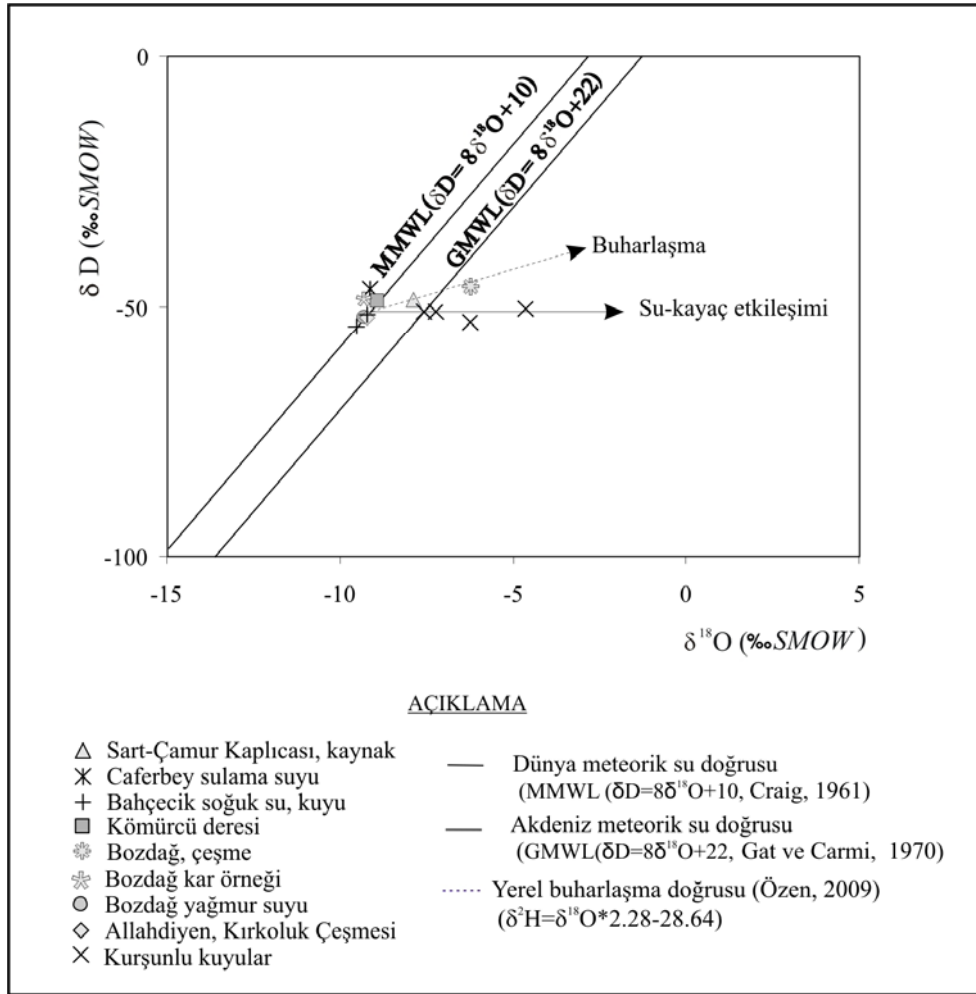
Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar

için önemli katkılar sağlamaktadır. Duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri, δ değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçülmektedir. Trityum atomları doğada 1.10^{-15} oranında bulunur. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması "1 Trityum Birimi (TU)" olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltı sularının bağlı yaşının (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002).

İnceleme alanı içerisindeki önemli görülen bazı su noktalarında yapılan izotop ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H) analiz sonuçlarına göre sulardaki $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri sırasıyla -7.88 ‰ ile -10.23 ‰ ve 44.30 ‰ ile -52.28 ‰ arasında değişmektedir. Bu alandaki jeotermal suların kökeni ve yaş ilişkisinin belirlenmesi amacıyla izotop sonuçları Şekil 2 ve 3'te görülen diyagramlarda değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde inceleme alanının yakın bölgesindeki Kurşunlu Kaplıcası jeotermal alanında açılmış bulunan kuyuların bir kısmına ait izotopik sonuçlar inceleme alanına ait izotopik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Caferbey jeotermal alanındaki derin kuyuya (Caferbey-1) ait izotop verileri bulunmamaktadır. Ancak bu kuyu yakınında bulunan ve termal sularla karışım olduğu düşünülen sulama suyu elde etmek amacıyla açılmış kuyulardan alınan örneklerin

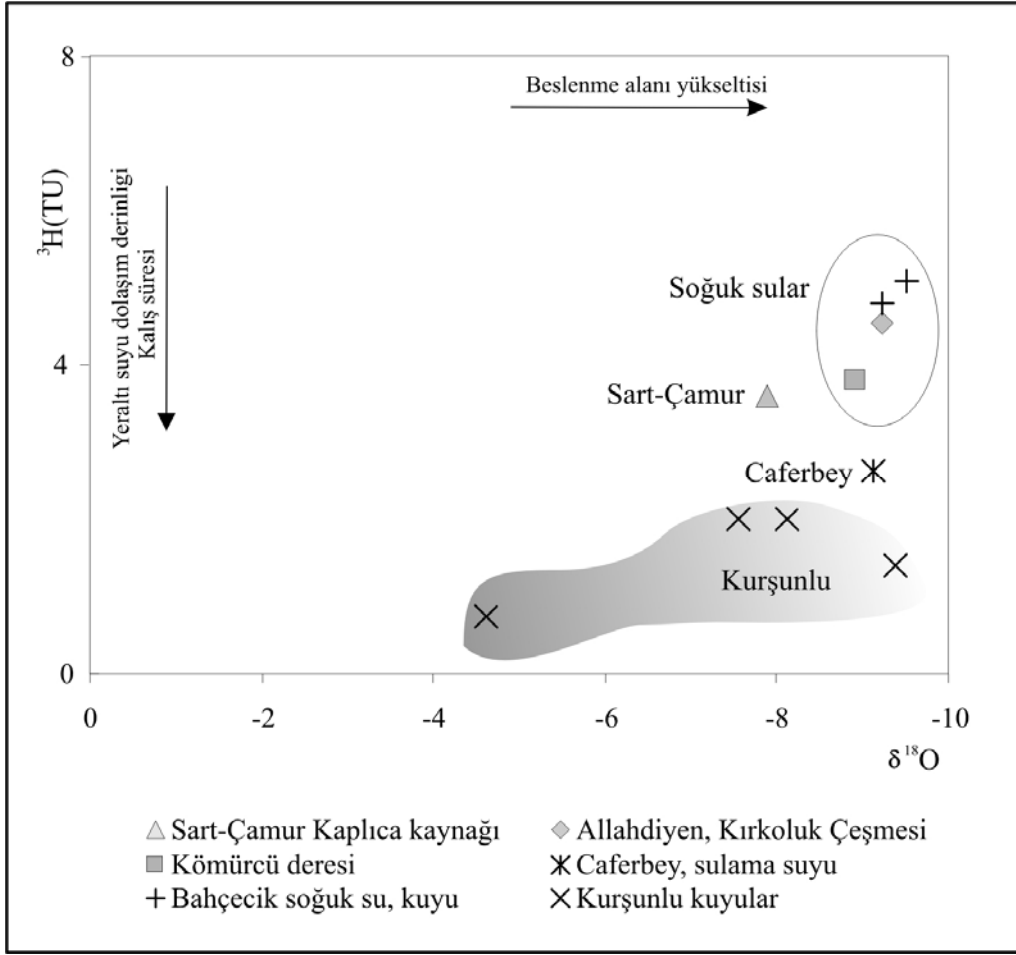
izotop analiz sonuçları ile bu alandaki termal suların kökeni belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 2’de, $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotop sonuçlarına göre termal suların, Craig (1961) tarafından önerilen $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ izotop değişim diyagramındaki Küresel Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu’na (Gat ve Carmi, 1970) göre konumlarına bakıldığında çalışma alanındaki termal suların genel olarak meteorik su özelliğinde oldukları görülmektedir. Diyagramda

Salihli Kurşunlu jeotermal alanındaki suların su - kayaç etkileşimine bağlı olarak meteorik su eğrilerinin sağında ve yaklaşık doğrusal bir hat üzerinde gittikçe eğrilerden uzaklaşan konumda yer aldıkları açıkça görülmektedir. Bölgedeki yağış ve yeraltı sularının bir kısmı buharlaşma etkisi altındadır. Sart-Çamur Kaplıcası kaynağına ait termal suyun da inceleme alanındaki sular dikkate alınarak elde edilen buharlaşma doğrusu üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ – δD diyagramındaki görünümü.

Figure 2. Plot of $\delta^{18}\text{O}$ - δ for waters in the study area.



Şekil 3. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H diyagramındaki görünümü.

Figure 3. Plot of $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H for waters in the study area.

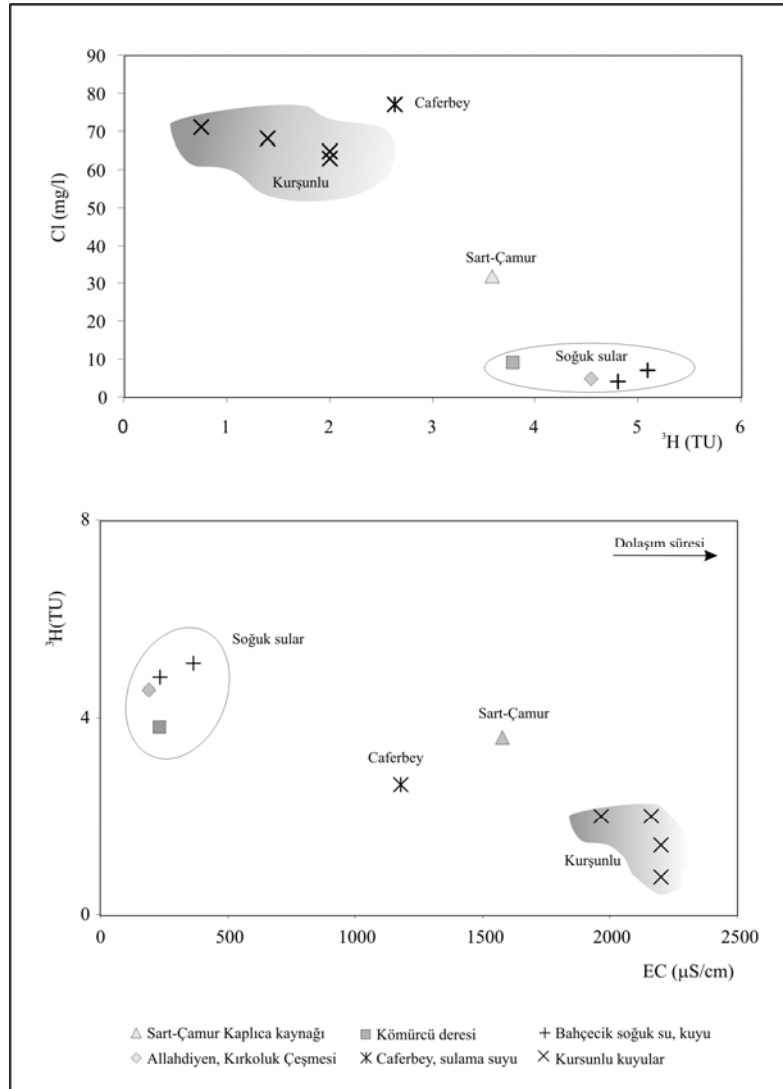
Suların ^3H (TU) izotop değerleri ise 0.84 ile 4.80 arasında değişmektedir. Clark ve Fritz (1997), kıtasal bölgelerde trityum izotopu içeriği 0,8-4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir. İnceleme alanındaki suların ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi termal suların dolaşım sürelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3). Bu diyagrama göre genel olarak Kurşunlu jeotermal alanlarındaki termal sular ile Caferbey termal suları bir birliktelik sağlamakta olup dolaşım süreleri uzundur. Sart-Çamur termal suları ise

dolaşım süreleri uzun ancak güncel yağış sularının etkisinde olan sulardır. Termal suların genel olarak aynı yükseltilerden beslendikleri tahmin edilmektedir (Şekil 3). Suların EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri ile trityum (^3H) içeriklerinin karşılaştırıldığı EC- ^3H ve Cl- ^3H diyagramlarında (Şekil 4) görüldüğü gibi Caferbey termal sularının Kurşunlu termal suları gibi yüksek EC ve Cl değerlerine karşılık düşük trityum içeriğine sahip olmasından dolayı dolaşım sürelerinin uzun olduğu tahmin edilmektedir. Sart-Çamur termal

suları ise güncel yağışların karışımı olan sular olarak düşünülmektedir.

Suların izotop sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde bölgedeki termal suların meteorik kökenli ve yeraltında kalış sürelerinin uzun olduğu belirlenmiştir. Filiz ve diğ. 1993, Gediz ve Büyük Menderes grabenlerindeki jeotermal sular üzerinde yaptıkları çalışmada,

Salihli bölgesi sularının yüksek HCO_3^- , düşük Cl^- içeriklerine ve izotop verilerine dayanarak bu bölgedeki suların benzer şekilde meteorik kökenli olduklarını söylemektedirler. Ayrıca suların Cl^- içerikleri de Sart-Çamur Kaplıcası termal sularına güncel suların karışımının olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. İnceleme alanındaki suların Tritiyum-Cl ve Tritiyum-EC diyagramları.

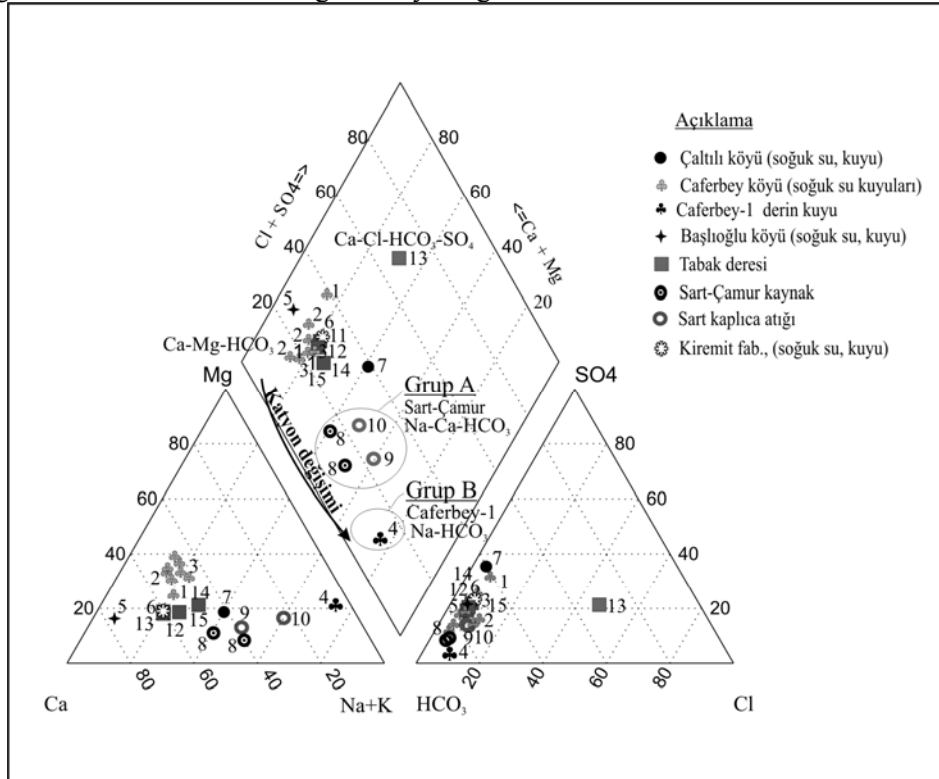
Figure 4. Tritium – Cl and Tritium – EC diagrams for waters in the study area.

HİDROJEOKİMYA

Bu çalışmada inceleme alanında belirlenen 15 su noktasından alınan toplam 24 adet su örneğinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları AquaChem 5.1 (Calmbach 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) türleştirme programlarında değerlendirilerek her bir su noktasının akifer kimyası, mineral doygunlukları, hazne kaya sıcaklıkları, kullanım alanlarının belirlenmesi ve çevresel etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki suların Piper (Üçgen) Diyagramı’nda gösterimi Şekil 5’de verilmiştir. Suların diyagrama göre konumlarına bakıldığında termal suların iki gruba ayrıldığı

görülmektedir. A grubu olarak adlandırılan Sart-Çamur termal sularının Piper Üçgen Diyagramı’ndaki konumuna bakıldığında termal sular genellikle iyonların hiçbirini % 50’yi geçmeyen, karışık suların bulunduğu alanda gözlenirler. B grubu olarak gösterilen Na-HCO₃ tipindeki sular Caferbey jeotermal alanında açılmış Caferbey-1 derin sondajına ait (155 °C) örnekleme yi yansıtır. Seçilen soğuk su örnekleri ise pek fazla baskın iyon içermeyen karışık su tipindedirler (Şekil 5). Diyagramda soğuk sulardan termal sulara doğru sıcaklık artışı, su-kayaç ve su-mineral etkileşimi gibi süreçlerin bir sonucu olarak gelişen Ca⁺² ve/veya Mg⁺²’daki azalma ile Na⁺ ve HCO₃⁻ zenginleşmesi görülmektedir.



Şekil 5. İnceleme alanındaki suların Piper üçgen diyagramındaki dağılımı (örnek numaraları Çizelge 1 ile aynıdır).

Figure 5. Piper trilinear diagrams of the waters from the study area (sample numbers as in Table 1).

Çizelge 1. İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 1 ile aynıdır).

Table 1. Chemical characteristics of waters from the study area sample numbers as in Figure 1).

Örnek No	Örneklenme Yeri	Örneklenme Tarihi	T °C	EC uS/cm	pH	K mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	B mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l	SiO ₂ mg/l	Su Tipi
1	Caferbey köyü	20.04.2005	20.3	1023	7.1	8.1	60.7	115.2	46.7	0.3	29.1	147.3	512.4	20.4	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄
1	Caferbey köyü	16.11.2006	19.7	928	7.0	4.6	36.0	119.2	45.0	0.5	30.0	164.8	412.5	28.4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
1	Caferbey köyü	02.08.2007	20.6	785	7.3	3.9	42.9	100.9	27.5	1.0	16.0	62.9	329.5	11.0	Ca-Mg-Na-HCO ₃
2	Caferbey köyü	30.11.2006	27.4	1220	6.7	5.4	53.0	132.5	62.5	0.5	51.0	86.9	602.5	34.3	Ca-Mg-HCO ₃
2	Caferbey köyü	02.08.2007	27.5	1180	7.1	9.2	47.9	165.3	67.1	0.5	53.0	92.9	549.1	17.3	Ca-Mg-HCO ₃
2	Caferbey köyü	15.03.2007	31.1	1381	6.7	5.9	66.5	196.9	98.3	1.0	33.0	107.8	1031.2	23.7	Ca-Mg-HCO ₃
3	Caferbey köyü	16.11.2006	22.5	835	6.4	6.8	41.5	98.8	41.0	1.3	20.0	92.9	534.5	16.1	Ca-Mg-HCO ₃
3	Caferbey köyü	02.08.2007	22.4	1054	6.9	3.7	52.1	138.9	48.5	1.3	19.0	71.9	549.1	14.6	Ca-Mg-HCO ₃
4*	Caferbey-I kuyusu	20.09.1990	90.0	2700	7.8	70.0	680.0	42.0	100.0	67.0	115.0	34.0	1983.0	213.9	Na-HCO ₃
5	Baslıoğlu köyü	05.10.2004	13.4	316	7.5	0.3	5.0	52.8	6.6	-	9.4	32.1	168.2	7.5	Ca-HCO ₃
6	Kiremit fab.	23.02.2007	14.7	736	7.6	4.4	36.9	102.1	18.0	1.7	18.0	83.9	329.5	22.3	Ca-Na-Mg-HCO ₃
7	Çalılı köyü	05.10.2004	22.8	420	8.5	5.1	48.1	46.0	10.9	0.3	16.0	81.9	192.8	13.3	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
8	Sart-Çamur kay.	05.10.2004	46.2	1563	6.1	41.6	225.8	170.0	20.7	-	35.7	73.7	1012.6	82.4	Na-Ca-HCO ₃
8	Sart-Çamur kay.	16.11.2006	40.7	1575	6.6	21.1	164.0	183.8	24.6	14.0	32.0	65.9	793.2	50.5	Ca-Na-HCO ₃
9	Sart kaplıca ağı	30.11.2006	13.9	903	8.2	17.4	129.8	49.2	20.0	10.7	32.0	68.9	463.7	39.3	Na-Ca-HCO ₃
10	Sart-Çamur ağı	15.03.2007	38.0	1282	7.8	20.2	152.2	115.7	22.9	13.3	33.0	62.8	419.8	46.4	Na-Ca-HCO ₃
11	Tabak deresi	16.11.2006	14.2	515	6.5	4.8	27.9	77.4	14.3	1.2	13.0	56.9	241.6	13.4	Ca-HCO ₃
12	Tabak deresi	30.11.2006	12.1	559	7.9	5.3	35.3	71.4	14.1	1.7	13.0	50.8	256.3	12.5	Ca-Na-HCO ₃
12	Tabak deresi	30.11.2006	12.0	541	7.8	4.4	28.9	77.8	13.7	1.3	12.0	50.9	238.0	11.7	Ca-Na-Mg-HCO ₃
13	Tabak deresi	15.03.2007	10.7	457	8.1	4.9	36.0	52.9	13.8	1.5	199.0	119.6	231.9	10.1	Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄
14	Tabak deresi	05.10.2004	16.0	466	7.9	4.2	58.2	62.8	10.9	0.3	16.9	75.7	236.7	11.1	Ca-Na-HCO ₃
15	Tabak deresi	05.10.2004	16.0	478	8.4	4.9	61.4	62.4	10.0	0.3	15.0	76.1	248.9	16.9	Ca-Na-HCO ₃

* Karamaderesi, 1997'den alınmıştır.

Suda başlıca çözülmüş maddeler (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , SiO_2) ve ikincil çözülmüş maddeler (K^+ , B^{+3} , As^+) arasındaki ilişkiler hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu açıdan Şekil 6'da inceleme alanındaki sıcaklığı 25 °C'den fazla olan suların kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen iyonlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 6'da, K^+ , Na^{+2} , Cl^- , HCO_3^- ve SiO_2 ile iyonların birbiriyle olan ilişkilerin incelendiği dağılım grafiklerine bakıldığında Na- SiO_2 ($R^2=0.80$), Na- HCO_3 ($R^2=0.80$), K- HCO_3 ($R^2 = 0.70$) arasındaki iyi derecedeki pozitif korelasyonlar bölgedeki termal suların akifer özelliğindeki kayaçlardaki (mermer, dolomitik mermer ve kuvars-mikaşist) karbonat ve silikatlara bağlı çözünlülük tepkimelerinin etkisinde olduklarını göstermektedir. Çalışma alanında örnekleme yapılan termal suların B ile Na^+ , K^+ , Li^+ , Cl^- , HCO_3^- ve SiO_2 arasındaki ilişkiyi veren diyagramlara bakıldığında da diğer iyonlara bağlı olarak B içeriği artış göstermektedir (Şekil 7). Bilindiği gibi Menderes metamorfikleri içindeki pegmatitik turmalinler, mika ve feldispatlar bor taşıyan minerallerdir. B ve As^+ ile Li^+ , Na^+ , K^+ ve SiO_2 arasındaki kuvvetli doğrusal ilişki ($R^2=0.80-1.0$) bu alandaki termal suların uzun süre su-kayaç etkileşiminde kaldıklarının bir kanıtıdır (Şekil 7).

Bölgedeki Suların Kullanıma Uygunluk Açısından Değerlendirilmesi

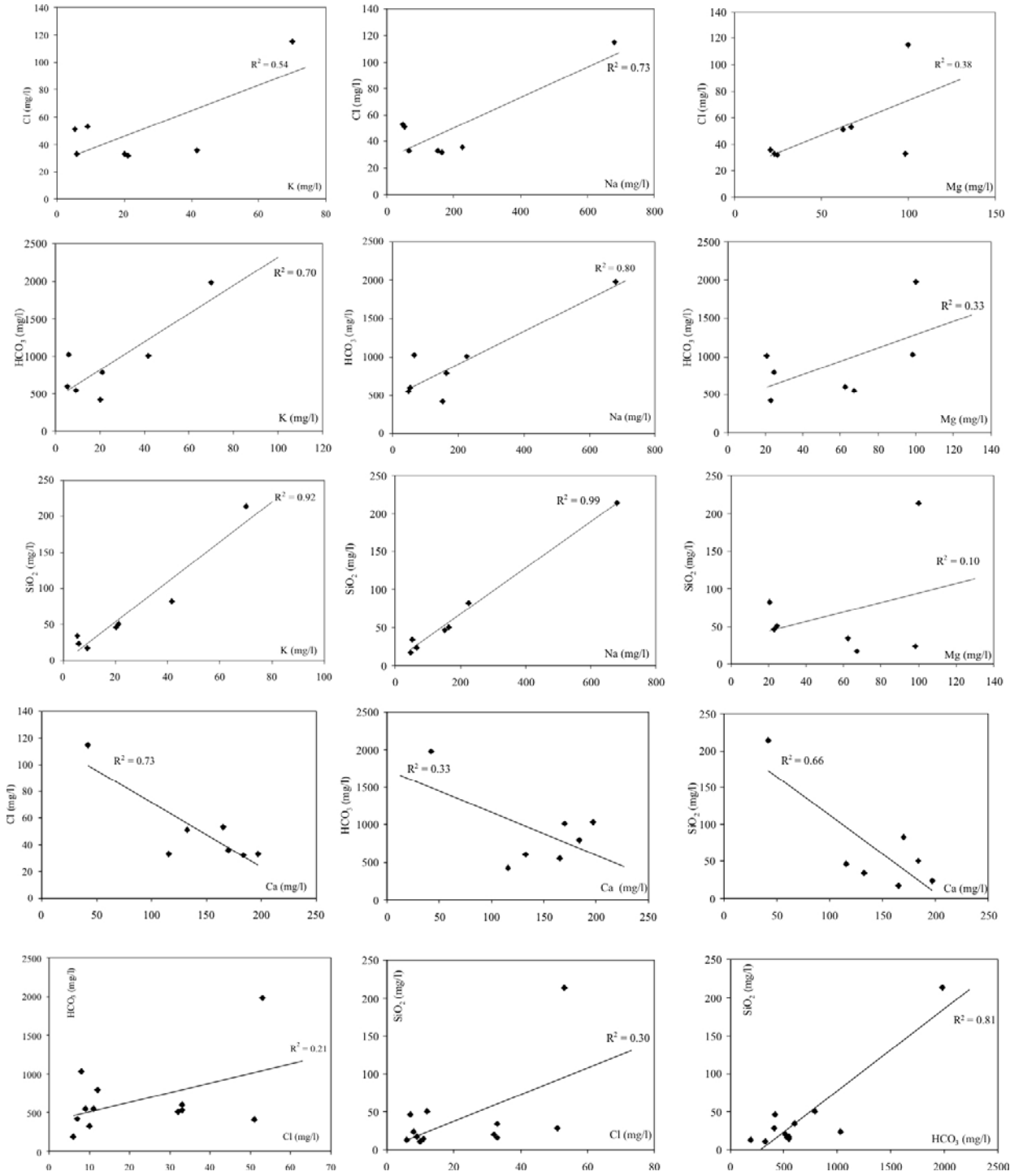
Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları kullanım açısından değerlendirilmesi için çeşitli ulusal ve uluslararası su kalitesi standartları (TS-266, 1997 ve 2005; USEPA, 1994; WHO, 2004; Sağlık Bakanlığı, 2003; Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001) ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 2). Suların içerdiği Ca^{+2} miktarı 42-170 mg/l, Mg^{+2} miktarı 6-100

mg/L, K^+ miktarı 4-70 mg/l, Na^{+2} miktarı 5-225 mg/l, Cl^- miktarı 9-199 mg/l ve SO_4^{-2} miktarı 119 mg/l ve EC değerleri 1000–2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olup, genel olarak termal suların dışında standartlarda belirtilen sınır değerler içerisindeyler. Kimyasal analizler, sulara istenmeyen maddeler açısından değerlendirildiğinde As^+ değeri 10–20 $\mu\text{g}/\text{l}$ ve B^{+3} değeri 1-67 mg/l arasında olup termal sulara bu değerler Çizelge 2'de verilen tüm standartlardaki kabul edilir değerlerin üzerindedir. Bundan dolayı termal sular tedavi amaçlı içme kütürü olarak kullanıma uygun değildir. Örnekleme yapılan yerler dikkate alındığında özellikle termal sulara ve kaplıca atık sularının yüzey sularına karıştığı (Tabak Deresi) bölgelerde de bu maddeler ulusal ve uluslararası standartların üzerindedir. Bu durum, zirai bitkiler üzerinde de olumsuz etkilere neden olabilmektedir.

Tüm bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, termal suların içme kütürü olarak kullanımı sakıncalıdır. İçme ve sulama amaçlı kullanılacak sulara olabilecek olumsuz etkilerinin giderilmesi açısından kullanım sonrası termal suların re-enjeksiyonu yapılmalıdır.

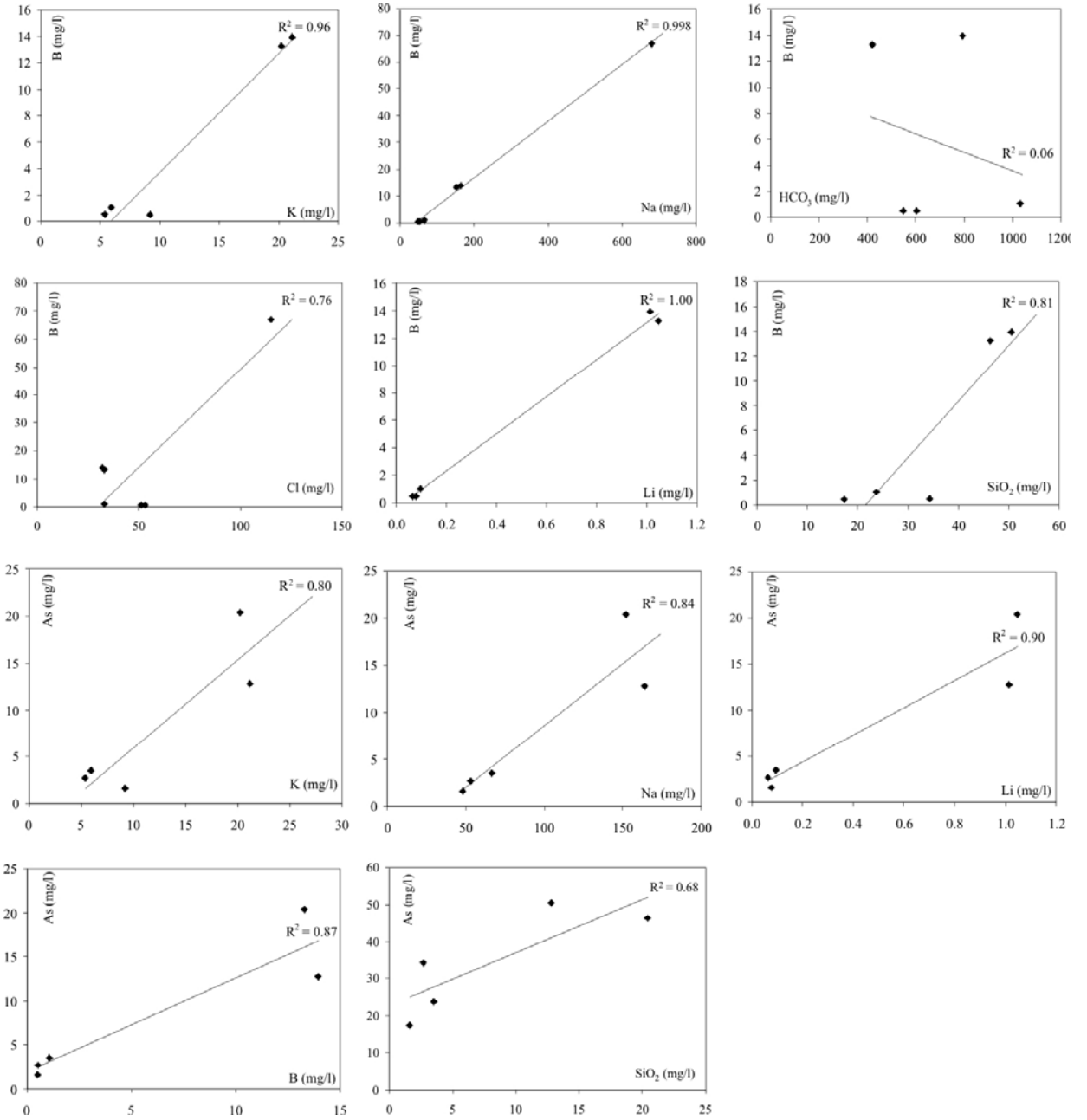
Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi termal suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal kaynakların araştırılmasında jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi kimyasal jeotermometreler ile akışkanın yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır ve su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir.



Şekil 6. İnceleme alanındaki termal suların iyonlar arası ilişkileri (Değerler mg/L).

Figure 6. Relations of some major ions for thermal waters from the study area (values in mg/l).



Şekil 7. İnceleme alanındaki termal sularındaki iyonların B^{+3} ve As^{+} içeriğine bağlı değişim diyagramları.

Figure 7. Changing diagrams of the major ions of thermal waters in the study area depend on B^{+3} and As^{+} contents.

Çizelge 2. İnceleme alanındaki sulara bulunan bazı iyonların içme suyu standartları ile karşılaştırılması (örnek numaraları Şekil 1 ile aynıdır).

Table 2. Comparisons of some ions in waters from the study area with drinking waters standards (sample numbers as in Table1).

Örnek No	Örnekleme Yeri	Ag ug/l	Al ug/l	As ug/l	B mg/l	Cd ug/l	Cr ug/l	Cu ug/l	Fe mg/l	Hg ug/l	Ni ug/l	Pb ug/l
1	Caferbey köyü	0.09	16	3.3	0.47	0.20	1.70	7.40	0.04	<0.1	0.70	0.60
1	Caferbey köyü	0.07	25	2.1	1.04	<0.05	<0.5	2.50	<0.01	<0.1	<0.2	<0.1
2	Caferbey köyü	0.88	22	2.7	0.50	0.27	1.40	9.50	0.05	<0.1	4.30	1.00
2	Caferbey köyü	0.21	40	3.5	1.05	0.10	<0.5	7.40	0.04	<0.1	0.20	0.60
3	Caferbey köyü	0.42	21	2.1	1.29	0.18	2.20	4.80	0.10	<0.1	1.50	1.20
2	Caferbey köyü	<0.05	23	1.6	0.49	<0.05	0.70	7.30	<0.01	<0.1	<0.2	0.60
3	Caferbey köyü	0.10	20	1.4	1.25	0.08	<0.5	3.90	0.05	<0.1	<0.2	<0.1
6	Kiremit fab.	0.06	10	1.7	1.73	0.08	1.90	1.50	<0.01	<0.1	<0.2	0.30
8	Sart-Çamur kap.	11.45	15	12.8	13.95	<0.05	1.70	1.20	<10	<0.1	<0.2	1.10
8	Sart-Çamur kap.	0.07	25	20.0	10.59	<0.05	0.50	1.40	<0.01	<0.1	<0.2	0.50
9	Sart kaplıca atığı	0.12	39	23.0	10.68	<0.05	0.70	4.10	0.04	<0.1	0.60	0.50
10	Sart-Çamur atığı	<0.05	95	20.4	13.28	0.18	1.90	9.70	0.03	<0.1	<0.2	4.50
11	Sirinkoy yolu	0.81	31	2.5	1.19	<0.05	0.50	4.60	0.05	<0.1	0.50	1.20
11	Sirinkoy yolu	2.85	20	4.9	5.96	<0.05	0.50	1.00	0.05	<0.1	<0.2	0.40
12	Tabak deresi	0.06	48	4.9	1.67	<0.05	1.30	2.90	<0.01	<0.1	0.80	0.50
12	Tabak deresi	<0.05	35	3.5	1.29	0.06	0.70	3.10	0.12	<0.1	2.50	0.50
13	Tabak deresi	<0.05	31	9.6	1.52	<0.05	3.10	2.40	0.05	<0.1	0.70	0.40
TS 2005		-	200	10	1	5	50	2000	0.20	1	20	50
TSE-266, 1997		10	200	50	0.3	5	-	3000	0.20	1	50	50
USEPA, 1994		10	200	10	0.3	5	50	1300	0.30	0	-	15
WHO, 2004		-	200	10	0.3	3	50	2000	0.20	1	20	10
Sağlık Bak., 2003		-	200	10	1	5	50	1500	0.05	10	20	10
Kaplıcalar Yön., 2001		-	-	-	-	3	40	-	-	1	50	10

Çizelge 3. Akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan kimyasal jeotermometre hesaplamaları.

Table 3. Calculations of chemical geothermometers using estimated aquifer temperatures.

Jeotermometreler	Bağıntılar	Kaynaklar
SiO ₂ (Kuars)	$t=1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
SiO ₂ (Kalsedon, cond..soğ.)	$t=1112/ (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1264/ (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1021/ (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1164/ (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1498/ (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
SiO ₂ (Kalsedon) (mol)	$t=1101/(0.11-\log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
Na/K	$t=856/(0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell (1976)
Na/K	$t=1217/(1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier (1979)
Na/K	$t=933/(0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
Na/K	$t=1319/(1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
Na/K	$t=1178/(1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	(Nieva ve Nieva 1987)
Na/K	$t=1390/(1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach ve diğer. (1983)

İnceleme alanındaki jeotermal alanlardaki termal ve mineralli suların jeotermometre uygulama sonuçları Çizelge 3'te belirtilmiştir. Fournier (1979), termal suyun yeryüzüne doğru düşük bir hızla yükselmesi ve yüzeye ulaşmadan önce sığ derinliklerde bir bölümünün hareket yönünü değiştirmesi veya yatay yönde akış kazanmasının termal suyun ısını kondüktif olarak kaybetmesine ve yan kayaçlar tarafından soğutulması ile sonuçlanacağını belirtmiştir. Kondüktif soğuma sonucu, suyun bileşimi büyük oranda aynı kalacaktır. Bu tür soğuma çeşitli derinliklerde meydana gelebilmektedir. Termal sular derinlerde veya yeryüzüne yükselmesi sırasında ani basınç değişimi nedeniyle kaynama veya soğuk yeraltı sularının karşılaşması sonucu da

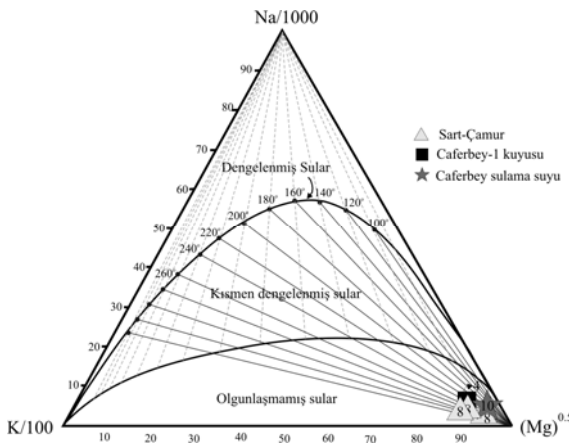
soğuyabilmektedirler. Soğuk yeraltı suları ile karışan termal su seyrelmenin etkisiyle orijin bileşimini kaybeder ve sıcaklığı azalır (Fournier 1979; Truesdell 1991). Truesdell (1991), kondüktif soğuma etkisinin sığ rezervuarlardan yükselen veya sığ derinliklerde yatay akış gösteren sular için daha fazla olduğuna dikkat çekmiştir. Termal suların yeryüzüne yükselmesi göreceli olarak hızlı olduğunda su kimyası ve izotop değişimleri çok daha yavaş olacak ve bu nedenle yavaş gelişen tepkimelere (Na-K ve Na-K-Ca gibi) yeniden denge durumunu yansıtmayacak ancak K ve Mg gibi sadece hızlı tepkimelere dayalı olanlar göreceli bir değişim göstereceklerdir. Çalışma alanındaki termal ve/veya termal özellik gösteren suların çeşitli kimyasal jeotermometrelere göre hesaplanan

akifer sıcaklıkları 50 °C ile 290 °C arasında değişmektedir. Truesdell (1991)'in vurguladığı gibi Caferbey ve Sart-Çamur jeotermal alanlarında düşük ve yüksek sıcaklıklı termal suların katyon jeotermometre değerleri (Na/K) birbirine çok yakın ve hatta eşit olabilmektedir. Çalışma alanındaki termal sular için sözü edilen soğuma şekilleri ve soğuk sular ile aralarındaki iyon değişimleri dikkate alındığında termal suların yüzeye çıkmadan önce soğuk su ile karışıma uğrayarak seyreltiği tahmin edilmektedir.

Termal suların akifer (hazne kaya) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için kullanılan bir diğer yöntem ise Giggenbach (1988), tarafından geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleştirilmiş jeotermometresidir. Bu üçgen diyagram ile hem termal suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de daha önce belirtilen katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır. Fournier (1990), bu diyagram üzerinde bazı yenilemeler yaparak, en güvenilir sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre

uygulanması ile alınabileceğini öne sürmüştür. Diyagram kısaca, su kayaç ilişkisinin dengede olduğu, su kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu sular olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri "Olgunlaşma İndeksi"nin (MI=Maturity Index), MI = 2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların bileşimiyle oluşmuştur. İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumları bu jeotermal alanlar içerisindeki termal suların çoğunlukla ham sular sınıfında yer aldığını göstermektedir (Şekil 8). Giggenbach, (1988), ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir.

Jeotermometre sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde silis jeotermometrelerinin katyon jeotermometrelerine göre daha güvenilir sonuçlar verdiği ve Sart-Çamur Kaplıcası termal sularının 70-100 °C, Caferbey termal sularının ise 150-185 °C arasında değişen akifer sıcaklıklarına sahip olabilecekleri düşünülmektedir (Özen ve Tarcan 2008).



Şekil 8. İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki yeri (Giggenbach 1988; Örnek numaraları Çizelge 1 ile aynıdır)

Figure 8. Distribution of the thermal waters from study area in Na-K-Mg trilinear diagram (Giggenbach 1988; sample numbers as in Table 1).

Suların Mineral Doymuluk Özellikleri

Doymuluk indeksi (SI), $\log(Q/K)$ veya $\log(AP/K)$ şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur Her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doymuluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Parkhurst, 1995).

SI ($\log Q/K$) = 0 ise su ilgili mineral ile dengededir.

SI ($\log Q/K$) >0 ise su ilgili mineralle aşırı doygundur.

SI ($\log Q/K$) <0 ise su ilgili mineralle doymun değildir.

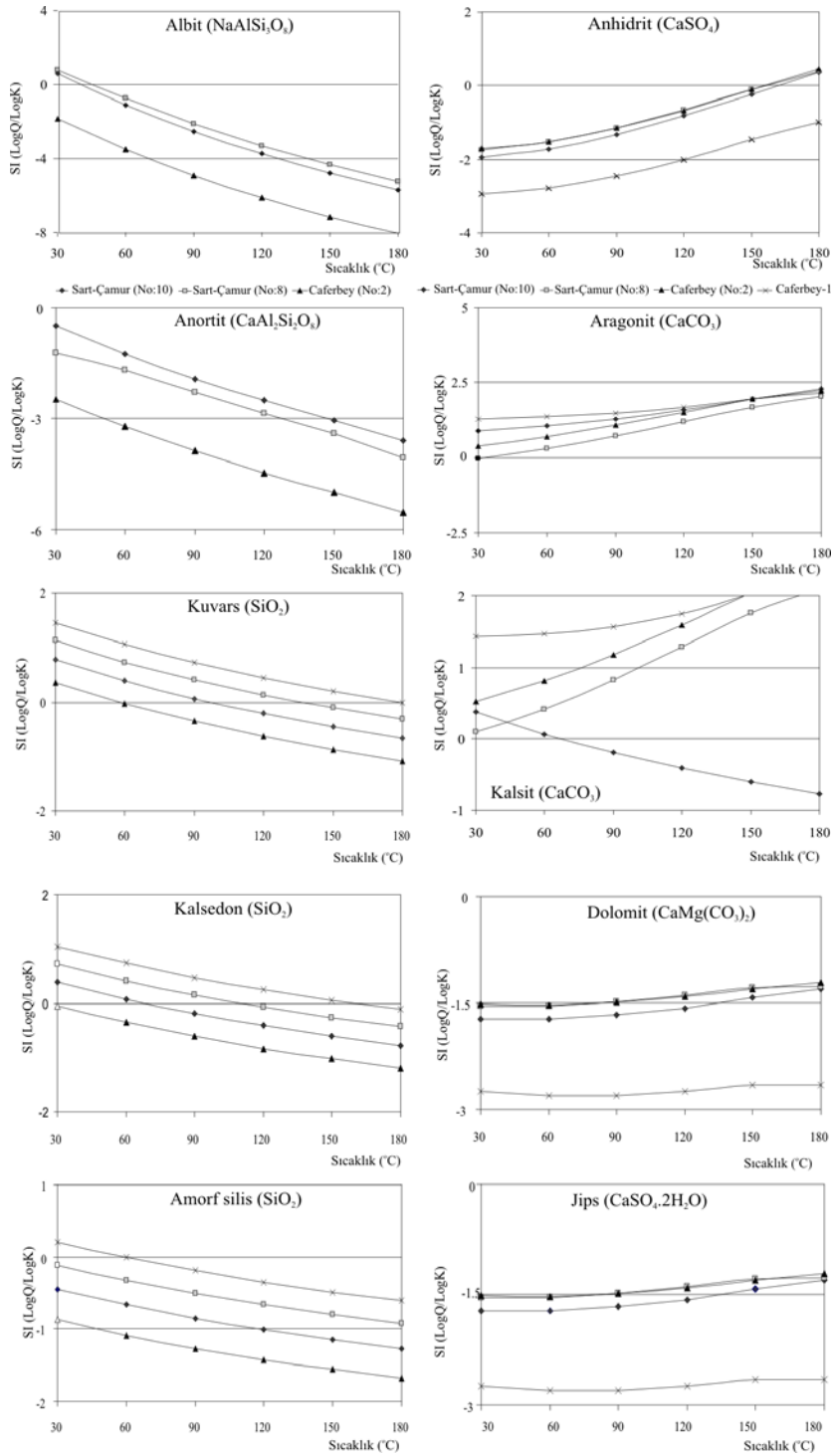
Bu anlatılan mineral doymuluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökeltilerin önceden tahmin edilmesi, üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir.

Çalışma alanındaki termal sulara çökel oluşturabilecek bazı minerallerin doymuluk indeksi değerleri PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) kimyasal türleştirme programında farklı sıcaklıklarda hesaplanarak sıcaklık-doymuluk indeksi diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 8).

Diyagramda görüldüğü gibi, termal sular albit ve anortit minerallerini, Sart-Çamur jeotermal alanında 40 °C'den sonraki sıcaklık değerlerinde çözüldürücü özelliktedirler. Caferbey jeotermal alanında ise sular, 70 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda albiti, 40 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde anortiti çözmektedir. Termal sular genel olarak 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda anhidrit mineralince doymamış (SI<0) özellik göstermektedirler. Kuvars ve kalsedon mineraline ait sıcaklık-doymuluk indeksi diyagramları yaklaşık aynı olup yüksek sıcaklıklı termal sulara genel olarak 60 °C'nin altında doymun (SI>0) özellik gösterirler. Genel olarak amorf silis ve jips mineralleri doymunluk altı değerlere sahiptir. Sart-Çamur ve Caferbey jeotermal alanlarındaki termal sular kalsit ve aragonit mineralince aşırı doygundur. Bu nedenle, jeotermal suların kullanımı sırasında

kuyularda ve iletim hatlarında karbonat minerallerinin neden olduğu kabuklaşma problemleriyle karşılaşmaktadır. Kuvars ve kalsedon minerallerinin 60 °C'den daha düşük sıcaklıklarda doymun olmaları dikkate alındığında termal sular yüzey donanımları ve re-enjeksiyon kuyuları ile kuyu-formasyon arasında silis kabuklaşmasına neden olabilirler. Santraller, diğer jeotermal tesislere göre daha yüksek sıcaklıklı kaynaklar üzerine kurulduğundan, silika kabuklaşması özellikle elektrik santrallerinin sorunu olmaktadır.

Reed ve Spycher (1984), jeotermal alanlardaki akifer sıcaklığının tahmin edilmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem özetle suyun kimyasal analizi sonucunda çeşitli mineraller ile bu minerallerin her bir sıcaklık değerinde ayrı ayrı doymunluk indekslerinin hesaplanması ve bu sıcaklık değerleri ile doymunluk 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. SI denge doğrusunun aşağısında (negatif kısımda) olabilecek kesişmeler ise farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Sart-Çamur Kaplıcası kaynak (örnek no:8) ve Caferbey-1 derin kuyusuna (örnek no:4) ait termal suların kimyasal analizleri Watch-3(Arnorsson ve diğ. 1982 ve Bjarnason 1994) programında kalsedon jeotermometresi seçilerek ve 100 °C'de kaynadığı varsayılarak değişik sıcaklıklarda doymunluk indeksi hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mineral denge-sıcaklık diyagramları çizilmiştir (Şekil 9). Sart-Çamur jeotermal alanı sıcak sularının sıcaklık-mineral denge grafiklerinde eğrilerin yaklaşık denge durumunda kesiştikleri yer olan 90-120 °C ve Caferbey jeotermal alanındaki sıcak sulara ait diyagramdaki yaklaşık 180 °C sıcaklık değeri bu alanların akifer sıcaklıkları olarak yorumlanabilir.



Şekil 9. İnceleme alanındaki termal suların mineral denge diyagramları

Figure 9. Mineral equilibrium diagrams of thermal waters in the study area.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gediz Grabeni'nin güney kısmında yer alan inceleme alanındaki kayalar temel ve örtü kayalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Temeli gnays, mikaşist, fillit, kuvars şist ve mermerlerden yapılmış Menderes Masifi metamorfikleri oluşturur. Örtü kayalar ise kalınlığı 2000 m'yi bulan Neojen yaşlı kırıntılı tortullardır. Neojen tortul birimler bölgede farklı fasiyelerden oluşmakta, Acıdere, Göbekli ve Asartepe formasyonları olarak adlandırılmaktadır. Acıdere formasyonu genellikle örgülü akarsu ortamında oluşmuş kırıntılı tortullar (çakıltaşı, çakıllı kum ve kilaşı-çamurtaşı) şeklindedir. Göbekli formasyonu çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşından oluşur. Asartepe formasyonu kumtaşı ardalanmalı çakıltaşlarından oluşmaktadır. Bu birimler Menderes Masifi metamorfiklerini düşük açılı bir normal fay ile örter. Kuvaterner alüvyon bölgedeki en genç birimdir.

İnceleme alanının içerisindeki Menderes Masifi'ne ait mermerler karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, termal ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bazı yerlerde Menderes metamorfiklerinin gnays ve kuvars-mikaşistleri de kırıklı çatlaklı olmalarından dolayı yer yer jeotermal sistemlerin akiferidir. Örtülü akarsu ortamında oluşmuş kötü çimentolanmış kil düzeyleri içeren Neojen tortul kayalar ise hidrojeolojik açıdan geçirimsiz veya az geçirimli olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Bölgede geniş bir yayılım sunan alüvyon soğuk sular için akifer özelliğinde olması açısından önemlidir. Sıcak akışkanın taşınımı yeraltındaki fay ve kırık hatları ile sağlanmaktadır. Alandaki termal sular

yağış sularının yeraltına süzülüp tektonik hatlar boyunca tekrar yüzeylemesiyle oluşan devirli sistem özelliğindeki sulardır.

Caferbey ve Sart-Çamur Kaplıcası jeotermal alanlarındaki termal sular sırasıyla Na-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃ tipindedirler. Yüzey ve soğuk yeraltı suları ise genel olarak Na, Ca, Mg ve HCO₃ iyonlarının egemen olduğu sulardır. Suların izotop kimyası sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde çalışma alanındaki termal suların meteorik kökenli oldukları görülür. Bölgedeki suların yeraltında kalış süreleri uzundur. Sart-Çamur Kaplıcası termal suları diğer sulara göre yüksek Trityum ve düşük Cl içeriğine sahip olup güncel suların karıştığı sulardır. Suların kimyasal analiz sonuçları iyonlar arasındaki ilişkiye göre değerlendirildiğinde termal suların uzun süreli su-kayaç etkileşiminde olduklarını göstermektedir. İzotop sonuçları da bu verileri desteklemektedir. Jeotermometre sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde bölgede açılan kuyuların akifer sıcaklıkları da dikkate alındığında (Caferbey-1, 155 °C) Sart-Çamur Kaplıcası termal sularının 70-100 °C, Caferbey termal sularının ise 150-185 °C arasında değişen akifer sıcaklıklarına sahiptir.

Özellikle termal sularda ve kaplıca atık sularının yüzey sularına karıştığı bölgelerde suda tehlike oluşturabilecek maddeler, ulusal ve uluslararası standartların üzerindedir. Bu durum tarımsal bitkiler üzerinde de olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Ayrıca, termal suların içme kürü olarak kullanımı sakıncalıdır. İçme ve sulama amaçlı kullanılacak sulara olabilecek olumsuz etkilerin giderilmesi açısından termal suların kullanım sonrası re-enjeksiyonu yapılmalıdır. Termal sular genel olarak silis minerallerini (anhidrit, jips, kalsedon, kuvars)

çözündürücü, karbonat minerallerini (kalsit ve aragonit) ise çökeltici özelliktedir. Bu nedenle, jeotermal suların kullanımı sırasında kuyularda ve iletim hatlarında karbonat minerallerinin neden olduğu kabuklaşma problemleriyle karşılaşmaktadır. Caferbey jeotermal alanının sıcaklık bakımından elektrik üretimine uygun bir saha olduğu göz önüne alındığında silika kabuklaşmasının da yüzey ve kuyu donanımlarında karşılaşılan bir problem olacağı tahmin edilmektedir.

EXTENDED SUMMARY

The study area is located on the southern rim of the Gediz Graben and to the west of Salihli town. In the study reported here, the hydrochemical characteristics of these geothermal fields were determined by chemical and isotopic data.

The geological map and model produced by Emre (1996) were used to comment on the geothermal systems of the area. As is shown in Figure 1, the basement of the study area consists of the Menderes Massif rocks, that are made up of metamorphics (gneiss, mica schists, phyllites, quartz schists and marbles). The proposed ages of the Menderes Massif metamorphic rocks are Pre-Cambrian to Paleocene (Dora et al. 1995). The Neogene terrestrial sediments that are also present are mainly made up of alluvial fan deposits (pebbles, pebbly sandstones, claystone-mudstones, interbedded conglomerate, clay-stones, siltstones, conglomerates comprising sandstone intercalations and limestone). The topography of this unit shows a hard base-relief construction. The Neogene sediments are about 2000 m thick. The Neogene terrestrial sediments overlie the Menderes Massif rocks with a low-angle normal fault. This normal fault was identified as the 'detachment fault' (Emre 1996). Quaternary

alluvium, which is made up of unconsolidated granular sediments, is the youngest unit of the area.

The highly fractured karstic marbles, gneiss and quartz-schist units of the Menderes Massif rocks are the aquifers of the geothermal systems. The Neogene terrestrial sediments, which are made up of alluvial deposits, act as cap rocks for the geothermal systems. Alluvium is the most important unit for cold ground water production. Circulation of thermal fluids in the subsurface is along the fault and fracture zones. The outlet temperatures and discharge quantities of the Sart-Çamur Spa thermal waters are 52 °C and 5 l/s, respectively. A deep geothermal well was drilled to a depth of 1189 m in the Caferbey geothermal field. The down hole temperature and discharge rates of this well were recorded as 155 °C and 2 l/s, respectively.

$\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values in the study area were found to change between -7.88 ‰ and -10.23 ‰, 44.30 ‰ and -52.28 ‰, respectively. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ stable isotope contents are presented in Figure 2. In this diagram, some of the samples have been plotted along the meteoric water lines (GMWL and MMWL). The thermal waters in the study area were compared with the Salihli Kurşunlu thermal waters. The thermal waters in the study area are of meteoric origin. Although thermal waters in the Salihli Kurşunlu geothermal fields are also meteoric in origin, they showed deviations from the meteoric water lines. This $\delta^{18}\text{O}$ shift is caused by water-rock interaction. The Sart Çamur thermal waters are located on the evaporation line in the ^{18}O -D diagram. $\delta^3\text{H}$ values in the study area vary between 0.84 and 4.80 (TU). In the ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ diagram, the thermal waters of the Kurşunlu and Caferbey samples show similar isotopic content

and they have a long residence time. The Sart-Çamur thermal waters reflect the mixed water type varying between deep circulation and current cold waters. High EC and Cl but low tritium values suggest that the thermal waters of Kurşunlu and Caferbey have a deep circulation.

The results of the chemical analyses of the waters sampled for this study and of some analyses from previous investigations, and also the water types according to the IAH (1979), are shown in Table 1. According to AIH chemical classifications, waters in the study area reflect the water types Na-Ca-HCO₃ and Na-HCO₃ in the Sart-Camur and Caferbey geothermal fields, respectively. Cold waters are mainly dominated by the HCO₃⁻ and SO₄⁻² anions and Na⁺, Ca⁺² and Mg⁺² cations.

In order to classify the water types, major ion composition was plotted on a Piper diagram (Fig 4). The sampled waters can be subdivided into two main groups. The first group, Caferbey (group A), includes Na-HCO₃ type water belonging to the Caferbey-1 deep well (155 °C). The second group, Sart-Çamur Spa (group B), includes Na-Ca-HCO₃ water type and can be classified as the hardness of the carbonate is more than 50%. The decrease in Ca⁺² and/or Mg⁺² and the increase in Na⁺ in the thermal waters can be explained by ion exchange. The exchange sites must have been the clays of the Neogene sediments and/or of the Menderes Massif schists.

The relationships between the constituents in water samples from the geothermal areas are presented in Figures 5 and 6. The positive linear relationships between major ions (Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻², SiO₂) and secondary ions (K⁺, B⁺³, As⁺) are also observed. These are most likely explained as

results of the waters chemically interacting with reservoir rocks such as marbles, mica schist and quartz schist.

The compliance of the thermal waters in the study area with national and international water quality standards (TS-266, 1997 and 2005; USEPA 1994; WHO 2004; Sağlık Bakanlığı, 2003; Kaplıcalar Yönetmeliği 2001) was checked. According to these, the boron (B) contents of the thermal and cold waters vary from 1 to 67 mg/l. These amounts are higher than irrigation water standards. The Arsenic (As⁺) contents of these waters lie between 10 and 20 µg/l and slightly exceed the drinking water standards. High boron and arsenic contents are one of the contaminants in irrigation and drinking waters in the area. Because of these, thermal waters should be re-injected into the thermal aquifer after utilization. This is important not only to recharge the reservoir but also to prevent harmful effects on the environment.

The estimation of the reservoir temperature of the thermal waters is an important geochemical application. Table 3 shows the results of some empirical geothermometer applications. The reservoir temperatures of the geothermometers vary between 50 and 290 °C. Comparing these results with the measured reservoir temperature (between 80 and 155 °C), the most reliable results come from some silica geothermometers.

A ternary plot of Na/1000-K/100-Mg^{0.5} was proposed by Giggenbach (1988) as a method to describe reservoir temperature and to recognize immature waters, which have attained equilibrium with relevant hydrothermal minerals from immature waters. Fournier (1990) proposed a slight revision to the diagram. For some of the

thermal waters that indicated a mixing with cold groundwater or an origin in low temperature environments, cation geothermometers give unreasonable results. All of the thermal waters fall into the immature fields. It can be suggested that these waters are not in equilibrium with the reservoir rocks, and they are probably dominated by mixing with cold ground water. Thus, the application of cation geothermometers should be considered as of doubtful help and data from such sources should be correlated with the results obtained by silica geothermometry results. The results of all the geothermometers suggest that the reservoir temperatures of the Sart-Çamur and Caferbeyli geothermal fields vary between 70-100 °C and 150-185 °C, respectively.

The saturation indices for each of the following hydrothermal minerals have been plotted as a function of temperature in Figure 8: calcite, aragonite, anhydrite, gypsum, amorphous silica, quartz, chalcedony and dolomite. Oversaturation is indicated when the solubility product (Q) values are higher than the solubility constant (K) values ($Q > K$) at a particular temperature, and undersaturation when $Q < K$. The chemical equilibrium modeling of the waters from the Salihli geothermal areas was carried out using the PhreeqC computer code (Parkhurst and Appelo 1999). In summary, the saturation states of carbonated minerals (calcite and aragonite) are most likely to cause precipitation from the thermal waters.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, yazarlardan Tuğbanur ÖZEN'in doktora tez çalışmasının bir bölümünü içermekte olup, KB. FEN. 016 No'lu "Salihli (Manisa) Jeotermal Alanlarının Hidrojeolojik İncelenmesi"

konulu Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, bu çalışma sırasında kendilerine yardımcı olan Araş. Gör. Ali Bülbül'e ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden K. Serkan Erol, Hale Pağnıklı, Buğra Günay ve Soner Tezel'e, ayrıca bu makalenin yazım aşamasında eleştirileriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Mehmet Çelik'e ve adı açıklanmayan hakeme teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Arnórsson, S., 1989. The use of gas chemistry to evaluate boiling processes and initial steam fractions in geothermal reservoirs with examples from Suswa field, Kenya. *Geothermics*, 19/6, 497-514.
- Arnórsson, S., Sigurdsson, S., and Svavarsson, H., 1982. The chemistry of geothermal waters in Iceland I. Calculation of aqueous speciation from 0°C to 370°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1513-1532.
- Arnórsson S., Gunnlaugsson E., and Svavarsson H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Arnórsson, S., Andrésdóttir, A., Gunnarsson, I., and Stefánsson, A., 1998. New calibration for the quartz and Na/K geothermometers - valid in the range 0-350°C. *Proceedings of the Geoscience Society of Iceland Annual Meeting*, April 1998, 42-43. (In Icelandic).

- Arpat, E. and Bingöl, E., 1969. Ege Bölgesi Graben Sisteminin Gelişimi Üzerine Düşünceler: MTA Dergisi., Ankara, 73, 1-9
- Bozkurt, E., 2002. Discussion on the extensional folding in the Alaşehir (Gediz) Graben, western Turkey. Journal of the Geological Society, London 159, 105–09.
- Bjarnason, J.O., 1994. The specciation program Watch-3, Orkustofnun, Reykjavik, 7.
- Burck, M., 1998. Zur Geologie und Hydrogeologie der Thermalfelder bei Salihli WAnatolien/Türkei. *Diplomkartierung, Diplomarbeit im Studiengang Geologie-Palaontologie*. Freie Universität. Berlin.
- Calmbach, L., 1997. AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, waterloo hydrogeologic. Waterloo, Ontario, Canada.
- Cohen, H.A., Dart, C.J., Akay, Z., H.S. and Barka, A., 1995. Syn-Rift sedimentation and structural development of the Gediz and Büyük Menderes Graben, Western Turkey. Journal of the Geological Society, London 152, 629-638.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1702-B.
- Çifter, C. ve Sayın, M. 2002. İzotopların hidrojeolojide kullanılması. Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, 22-25 Ekim, Adana, 1-15.
- Dora, Ö., Candan, O., Durr, S., and Oberhanslı, R., 1995. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. Proc. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, İzmir, Turkey, V.1, 53-72.
- Emre, T., 1996. Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektonigi. Turkish Journal of Earth Science, 5, 171-185.
- Emre, T., and Sözbilir, H., 1997. Field Evidence for Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accommodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens (Western Turkey). Int. Earth Sci. Colloquium on the Aegean Region, Proceed., 1, 73-94.
- Filiz, S., Gökgöz, A., and Tarcan, G., 1993. Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes Grabens. Congress of the World Hydro thermal Organisation, 13-18 May 1992, İstanbul-Pamukkale, Turkey, 129-153
- Fouillac, C., and Michard, G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, 10, 55-70.
- 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. Geotherm. Res Council Trans., 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geothermal Research Council Trans., 14, 1421-1425
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H., 1973. Geochemical indicators of subsurface temperature-Part 2, Estimation of temperature and fraction of hot water

- mixed with cold water. J.Res.U.S.Geol.Survey.2, 263-270.
- Fournier, R.O., and Potter, R.W., 1982. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 1543-1550.
- Gatt, J.R., and Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res.* 75, 3032-3048.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 52., 2749-2765.
- Gülay, A., 1970. Manisa-Salihli, Caferbeyli-Köseli, Kurşunlu-Allahdiyen-Çamur Kaplıcaları yöreleri rezistivite raporu. MTA Raporu 4853. Yayınlanmamış.
- Hetzl, R., Passchier, C. W., Ring, U., and Dora, O. O., 1995. Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes Massif (southwestern Turkey). *Geology* 23, 455-58.
- IAH, 1979. Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001. T. C. Sağlık Bakanlığı, Resmi gazete sayısı: 24472.
- Kaya, O., 1982. Tersiyer Sırt yitmesi, Doğu Ege Bölgelerinin yapısı ve magmatikliği için olasılı bir mekanizma; In 'Batı Anadolu'nun genç Tektoniği ve volkanizması Sempozyumu'. Ankara, Türkiye Jeoloji Kurultayı, 39-58.
- Karamanderesi İ. H., 1972. Detail geology and geothermal energy feasibility of the Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) and surrounding area, MTA, Ankara.
- Karamanderesi, İ. H., 1997. Salihli-Caferbey (Manisa) jeotermal sahası potansiyeli ve geleceği. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 7. Enerji Kongresi. Teknik oturum tebliğleri-I, 68-181.
- Khraka, Y.K., Lico, M.S., and Law, L. M., 1982. Chemical thermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66,558.
- Khraka, Y.K. and Mariner, R.H., 1989. chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In. Naser, N. D. ve Mc Culloh, T. H. (eds.), thermal history of sedimentary basins; methods and case histories, 99-117. Sprin. Ver.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., and Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in Western Turkey. *Journal of The Geological Society, London* 156, 605-616.
- Mc Kenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean sea and surrounding regions (tectonics of Aegean region). *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, 55, 217-225.
- Nieva, D., and Nieva, R. 1987. Developments in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP*, 7, 243-258.

- Özçiçek, B., 1969. Manisa-Turgutlu-Salihli jeotermik enerji araştırmaları. Kendirlik ve Allahdiyen yöreleri rezistivite etüdleri. MTA raporu 4029. Yayınlanmamış.
- Özen, T., 2009. Salihli jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 239.
- Özen, T. ve Tarcan, G., 2008. Salihli (Manisa) jeotermal alanlarının hidrojeokimyasal incelenmesi. III. Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. Bildiri kitabı, 215-229.
- Özgür, N., Vogel, M., Pekdeğeri, A., Halback, P., and Sakala, W., 1998. Geochemical, hydrochemical, and isotopic geochemical signatures of thermal fields in Kızıldere in the continental rift zone of the Büyük Menderes, Western Anatolia, Turkey. 3rd International Turkish Geology Symp., Ankara, abstr. 31,144.
- Parkhurst, D.L., 1995. User's guide to PHREEQC-a computer program for speciation, reaction path, adjective-transport, and inverse geochemical calculations. In US Geological Survey Report.
- 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, USGS, Reston, Virginia, 1-312
- Reed, M., Spycher, N., 1984. Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution Geochim-Cosmochim. Acta 48, 1479-1492
- Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2003. İçilebilir nitelikteki suların istihsalı, ambalajlanması, satışı ve denetlenmesi hakkında yönetmelik, Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı Su Güvenliğı ve Sağlığı Şube Müdürlüğü, Ankara.
- Seyitoğlu, G. and Scott, B.C., 1996. The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications, Geological Journal, 31, 1-11
- Sözbilir, H., 2001. Geometry of macroscopic structures with their relations to the extensional tectonics: field evidence from the Gediz detachment, Western Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 10, 51-67.
- Şengör, A. M. C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. In: Erol, O. ve Özgür, V. (eds), Batı Anadolu'nun Genç, Tektoniğı ve Volkanizması Paneli, Türkiye, 59-72.
- Tarcan, G., Filiz, S. and Gemici, Ü., 2000. Geology and geochemistry of the Salihli geothermal fields, Turkey. In: Books of Proceedings, R-922. WGC-2000 World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, 1829-1834.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., and Aksoy, N., 2005. Hydrogeological and geochemical assessment of the Gediz Graben

- geothermal areas, Western Anatolia, Turkey, *Environ. Geol.*, 47, 523-534.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. In: *Proc. Adv. Eur. Geoth.Res.*, second symposium, Strasbourg, 428-443.
- Truesdell A.H., 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration. In: *Proceedings of the 2nd United Nations Symposium on the Development and use of Geothermal Resources*. 1975, San Francisco, Govern. Printing Office, Washington D.C.
- Truesdell A.H., 1991. Effects of physical processes on geothermal fluids. In: *Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development* (coordinator F. D'Amore), 71-92.
- TS-266, 1997. Sular-İçme ve kullanma suları (Turkish drinking water standarts). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-266, 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (Water intended for human consumption). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- USEPA, 1994. National Primary Drinking Water Regulations for Health Advisories, 202-260-7571, Washington DC, U.S. Environmental Protection Agency.
- WHO, 2004. World health organization guidelines for drinking water quality, vol. 1., Geneva.
- Yılmaz Y., Genç S.C., Gürer O.F., Bozcu M., Yılmaz K., Karacık Z., Altunkaynak S., and Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: *Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics ve magmatism in Turkey ve the surrounding area*, Geological Society Special Publication 173, Geological Society, London, 353-384.
- Yılmaz S., 1988. Kurşunlu-Sart termal su kaynaklarının (Salihli) hidrojeoloji ve jeokimyasal özellikleri. *Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 5, 242-266.

Makale Geliş Tarihi : 10 Mart 2009

Kabul Tarihi : 20 Temmuz 2009

Received : *March 10, 2009*

Accepted : *July 20, 2009*

