



## Çan Jeotermal Alanı'nın Hidrojeokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi *Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigation of the Çan Geothermal Field*

**Ozan DENİZ<sup>1</sup>, Alper BABA<sup>2</sup> ve Gültekin TARCAN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,  
Çanakkale/Türkiye

<sup>2</sup>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Urla-İzmir/Türkiye

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, 35160,  
Buca-İzmir/Türkiye

(e-posta: ozandeniz@comu.edu.tr)

### ÖZ

Çan Jeotermal Alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında bulunan Biga Yarımadası'nın orta bölümünde yer alır. Çan çevresinde gözlenen baskın kaya tipi volkanitlerden oluşur. Bu kayalarda ayrışma zonları ve kil mineralleri oldukça yaygındır. Bunun yanında bölgede gözlenen diğer jeolojik birimler tortul kayalar, düşük dereceli metamorfizmler ve alüvyondan oluşur. Jeolojik birimler bölgedeki tektonik aktivite nedeniyle yaygın olarak kırık zonları içerir. Termal sular yüzeye bu kırık zonları yoluyla ulaşır.

Çalışma alanında gözlenen litolojiler arasında alüvyon en verimli akiferdir. Bu birimdeki sondajların verimleri 5-30 L/s arasındadır. Bu birimin transmissibilitesi ve geçirimsizlik katsayısı sırasıyla 50-421 m<sup>2</sup>/gün ve 1.01-16.8 m/gün arasındadır. Yeraltı suyu derinliği 0.1-8.3 m arasında değişmektedir.

IAH (1979)'da verilen su sınıflandırma yöntemine göre termal sular Na-Ca-SO<sub>4</sub> tipinde, soğuk sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipinde ve kar örnekleri karışık tipte sulardır. Sıcak suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri ortalamaları sırasıyla 44.4°C, 2941 µS/cm ve 6.9'dur. Jeotermal sistemin rezervuar akışkan sıcaklığını tahmin etmek için jeotermometre eşitlikleri kullanılmış ve 46-203°C arasında değişen sıcaklıklar elde edilmiştir. δD, δT ve δ<sup>18</sup>O izotop analizleri Çan bölgesindeki termal suların meteorik kökenli ve en az 45-50 yıllık olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal, yeraltı suyu jeokimyası, Çan

**ABSTRACT**

*The Çan Geothermal Field is located on a central part of the Biga Peninsula in northwest Turkey. Volcanics are the dominant rock type in this region. Alteration zones and clay minerals are very common in these rocks. Sedimentary rocks, low-grade metamorphics and alluvium are other geological units observed around Çan. These units include common fracture zones because of the tectonic activity in the region. Thermal waters have reached the surface via these fracture zones.*

*Alluvium is the most productive aquifer in all geological units. Wells drilled in this unit yield between 5-30 L/s. The transmissibility and permeability coefficients of this unit are of 50-421 m<sup>2</sup>/day and of 1.01-16.8 m/day, respectively. In this aquifer, groundwater depth changes between 0.1 and 8.3m. According to the IAH (1979) water classification, these thermal waters are of the Na-Ca-SO<sub>4</sub> type, the cold waters are of the Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> type and the snow samples are of a mixed water type. Geothermal waters have a meteoric origin. The mean temperature, electrical conductivity and pH of the thermal waters have values of 44.4 °C, 2941 µS/cm and 6.9, respectively.*

*Geothermometer equations were used for prediction of reservoir fluid temperatures of the geothermal system and temperature values were obtained between 46 and 203 °C. δD, δT and δ<sup>18</sup>O isotope analysis shows that thermal waters in the Çan region have a meteoric origin and are a minimum of 45-50 years old.*

**Key words:** *Geothermal, groundwater geochemistry, Çan*

**GİRİŞ**

Biga Yarımadası jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengin bir bölgedir. Çan Sıcak Su Kaynağı'nın bulunduğu Çan İlçesi Çanakkale'ye 75 km mesafede olup Biga Yarımadası'nın orta kesiminde bulunur. Çan, Kocaçay Deresi kenarında kurulmuş, tarihi milattan öncesine dayanan eski bir yerleşim yeridir. İlçe merkezinde uzun yıllar kaynak olarak çıkış yapmış ancak 1953 Yenice depremi sonrasında debisi düştüğü için zamanla sondajlar yapılarak kullanılmaya devam eden sıcak su kaynağı, genelde romatizmal rahatsızlıkları ve cilt hastalıkları olanların tedavi amacıyla tercih ettikleri bir sıcak su kaynağıdır.

**KAPSAM VE YÖNTEM**

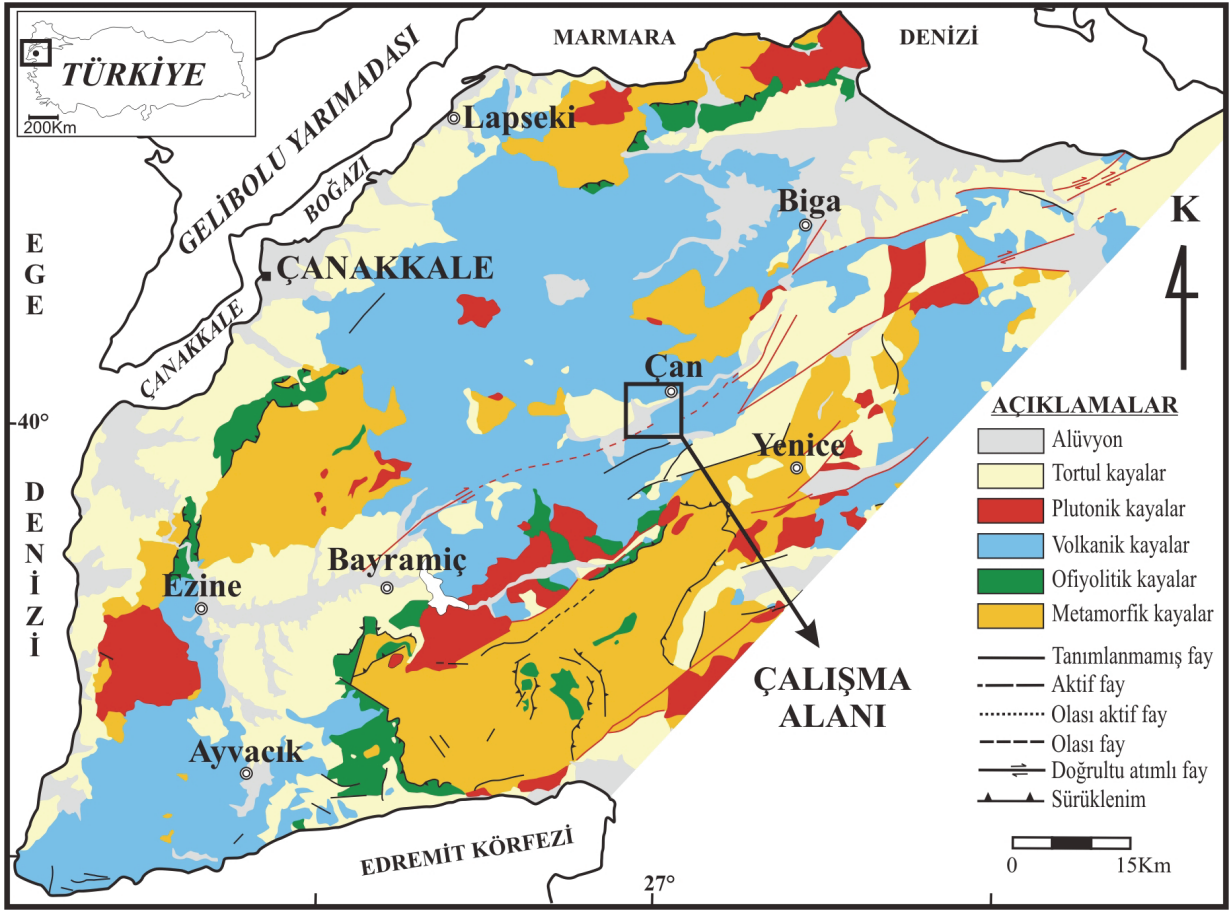
Bu çalışmada Çan Sıcak Su Kaynağı ve çevresindeki soğuk su kaynaklarının incelenmesi için 2006-2008 yılları arasında arazi ve laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. Arazi çalışmalarında Çan ilçe merkezinde bulunan ve tek bir sondajdan beslenen Çan Kaplıcası'ndan 6 dönem periyodik sıcak su örnekleme yapılmıştır. Aynı zamanda, sıcak su kaynağı çevresindeki soğuk su kaynakları ve içme ya da kullanma suyu temini amacıyla açılmış sondajlardan da su örnekleme yapılmıştır. Arazi çalışmalarında su örnekleme yapılırken, EC (elektriksel iletkenlik), pH, ORP (oksidasyon-redüksiyon potansiyeli), T (sıcaklık), S (tuzluluk) ve HCO<sub>3</sub> parametreleri arazide kaynak, çeşme ve sondaj başında

ölçülmüştür.  $\text{HCO}_3$  derişimi titrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. 0,1 M'lık  $\text{HNO}_3$  çözeltisi kullanılarak su örneğinin pH'ı 4,3'e düşene kadar harcanan çözelti miktarına göre  $\text{HCO}_3$  miktarı belirlenmiştir. EC ve S ölçümü WTW TetraCon@325-3 probu ile, pH ve T ölçümü WTW SenTix41 probu ile ve ORP ölçümü WTW CellOx@325 probu ile WTW340i marka çok parametrelili ölçüm cihazı ölçülmüştür. Arazi çalışmalarında kullanılan "probe"lar buffer solüsyonları ile günlük kalibrasyonları yapılarak ölçümler alınmıştır.  $\text{SO}_4$  ölçümleri taşınabilir Lamotte marka kolorimetre ile yapılmıştır. Su örnekleri  $0.45\mu$  gözeneklilikte filtre ile süzülerek polietilen şişelere alınmıştır. Su örneklerinin kimyasal analizleri ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Laboratuvarında ( $\text{SO}_4$ ), izotop içerikleri DSİ Ankara TAKK İzotop Laboratuvarında ( $^2\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$ ) ve Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Kütle Analiz Laboratuvarında ( $^3\text{H}$ ) yaptırılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Aquachem3.7 (Calmbach 1997), Watch2004 (Bjarnason 1994) ve Grapher (Golden 2005) programları kullanılarak değerlendirilmiştir.

## JEOLOJİ VE TEKTONİK

Genelde KD-GB yönlü tektonik unsurları barındıran bir yapıya sahip Biga Yarımadası'nda, magmatik ve metamorfik kayalar geniş alanlar kaplar (Şekil 1). Biga Yarımadası'nın temelini Geç Karbonifer-Erken Triyas yaşlı Kazdağ Metamorfitleri oluşturur (Yaltrak ve Okay 2004). Bu kayaların üzerinde, tektonik olarak yerleşmiş, arkozik kumtaşları, grovaklar, bazaltik kayalar, tüfler, aglo-

meralar ve kireçtaşlarından oluşan Geç Permiyen-Erken-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ve metamorfizma geçirmiş epiklastik-piroklastik kökenli litolojilerden ve bunları kesen metagranodiyoritlerden oluşan Triyas yaşlı Kalabak Birimi'ne ait kayalar bulunur. Jurasik'te çökelen tortulların üzerine Geç Kretase'de ofiyolitik kayalardan oluşan bir melanaj gelmiştir. Bölgede Tersiyer, Orta Eosen neritik kireçtaşları ve bunların üzerine uyumlu gelen volkanik ara katkılı Geç Eosen türbiditleriyle başlar. Oligosen sonunda Biga Yarımadası'nda önemli bir yükselme ve aşınma evresi olmuş ve yarımada'nın güneyindeki Orta Eosen-Oligosen istifi tümüyle aşınmıştır. Bölgede Erken-Orta Miyosen'de volkanik kayalarla eşyaşlı bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşan tortullar meydana gelmiştir. Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiş, ayrıca andezit, dasit, riyolit ve asidik tüfler geniş alanlara yayılmıştır. Biga Yarımadası'nda volkanizmaya bağlı olarak Geç Oligosen-Erken Miyosen aralığında oluşmuş, genellikle granodiyoritik bileşimli sığ sokulumların varlığı bilinmektedir (Duru ve diğ. 2007, Siyako ve diğ. 1989). Tersiyer'de gerilme tektoniğiyle şekillenen havzalarda genellikle karasal tortullar yoğun bir volkanizma eşliğinde oluşmuştur. Geç Miyosen volkanizması sonlanırken, fluvial klastikler Biga Yarımadası'nın kuzeyinde çökelmiştir. Pliyo-Kuvaterner'de Biga Yarımadası'nda çakıltaşı, kumtaşı ve şeyl bileşimli fluvial çökeller ile gösel karbonatlar oluşmuş ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma meydana gelmiştir (Siyako ve diğ. 1989).



**Şekil 1.** Biga Yarımadası'nda gözlenen ana kaya grupları (MTA 2002'den sadeleştirilmiştir) ve çalışma alanının yeri.

**Figure 1.** Main rock types in the Biga Peninsula (simplified from MTA 2002) and location of the study area.

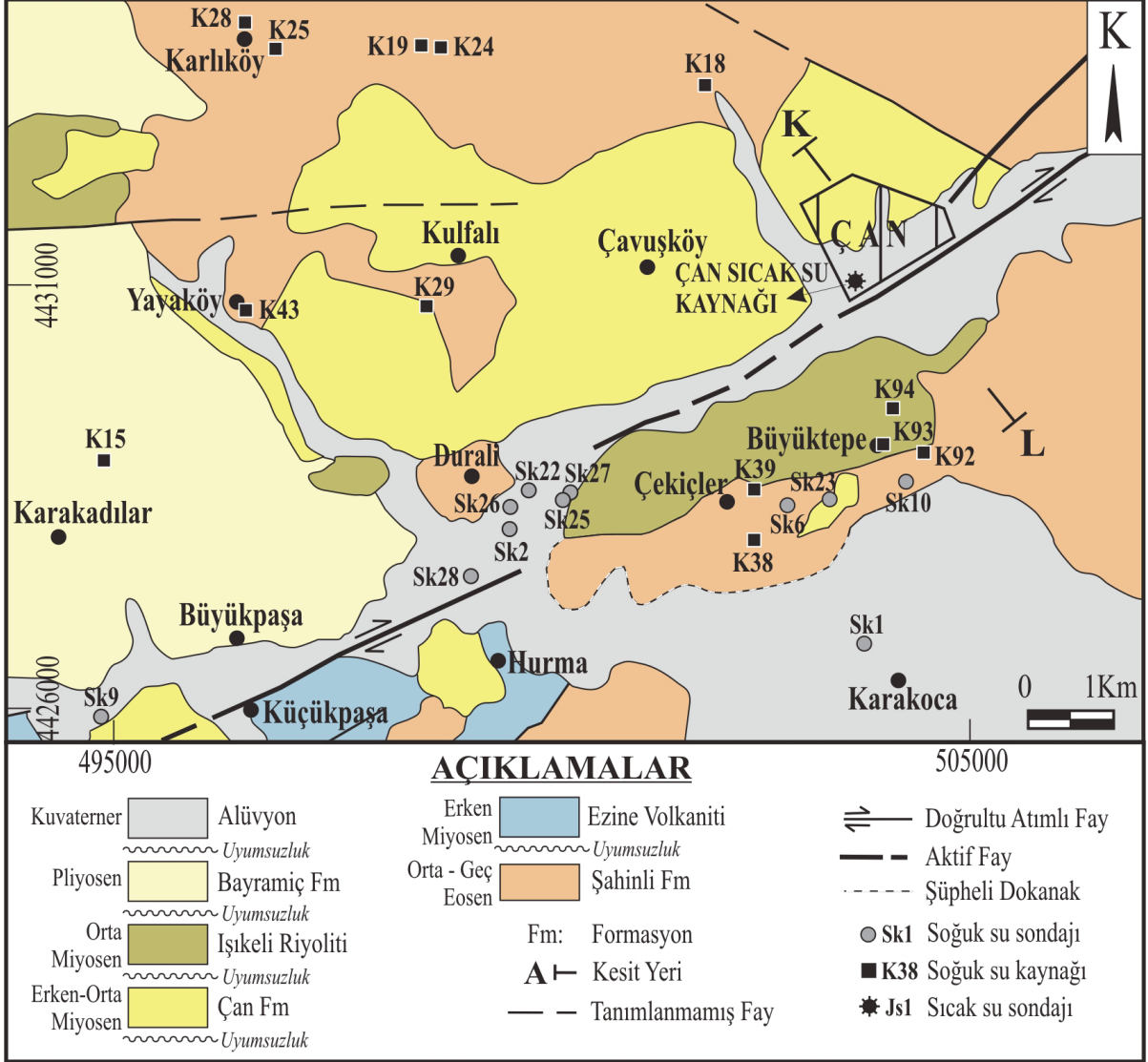
Çan çevresinde gözlenen jeolojik birimler alttan üste doğru Orta-Geç Eosen yaşlı bazalt, bazaltik-andezitik lav, piroklastikler ve volkanoklastiklerden oluşan, yer yer ayrılmış kesimler içeren Şahinli Formasyonu ile başlar. Bu formasyonun üzerinde Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı, bazı kesimleri ayrılmış andezit, bazaltik-andezitik lav ve piroklastiklerden oluşan Hallaçlar Volkaniti bulunur. Bunları üzerleyen Erken Miyosen yaşlı Ezine Volkaniti, gri, yeşil ve siyahımsı renkli, K-feldispath andezit, trakiandezitik lav ve piroklastiklerden oluşur. Bu volkanik istifin üzerindeki bitümlü

şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömür seviyeleri içeren Erken-Orta Miyosen yaşlı karasal istif Siyako ve diğ. (1989) Çan Formasyonu adını vermişlerdir. Çan Formasyonu üzerinde bulunan Orta Miyosen yaşlı Işıklı Riyoliti, beyazımsı-gri renkli, riyolitik tuf, ignimbirit, perlit türü piroklastikler ve lavlardan oluşur (Dönmez ve diğ. 2005). Biga Yarımadası'nda Pliyo-Kuvaterner döneminde çökelmiş çakıltaşı, kumtaşı ve şeylden oluşan fluvial çökeltiler ve gösel karbonatlar Siyako ve diğ. (1989) tarafından Bayramiç Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon, kızıl-kahverengi



çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşları ile temsil edilen alüvyon yelpazesi, örgülü ve menderesli akarsu çökellerinden oluşur. Tüm jeolojik bi-

rimleri uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı alüvyon örter (Şekil 2).

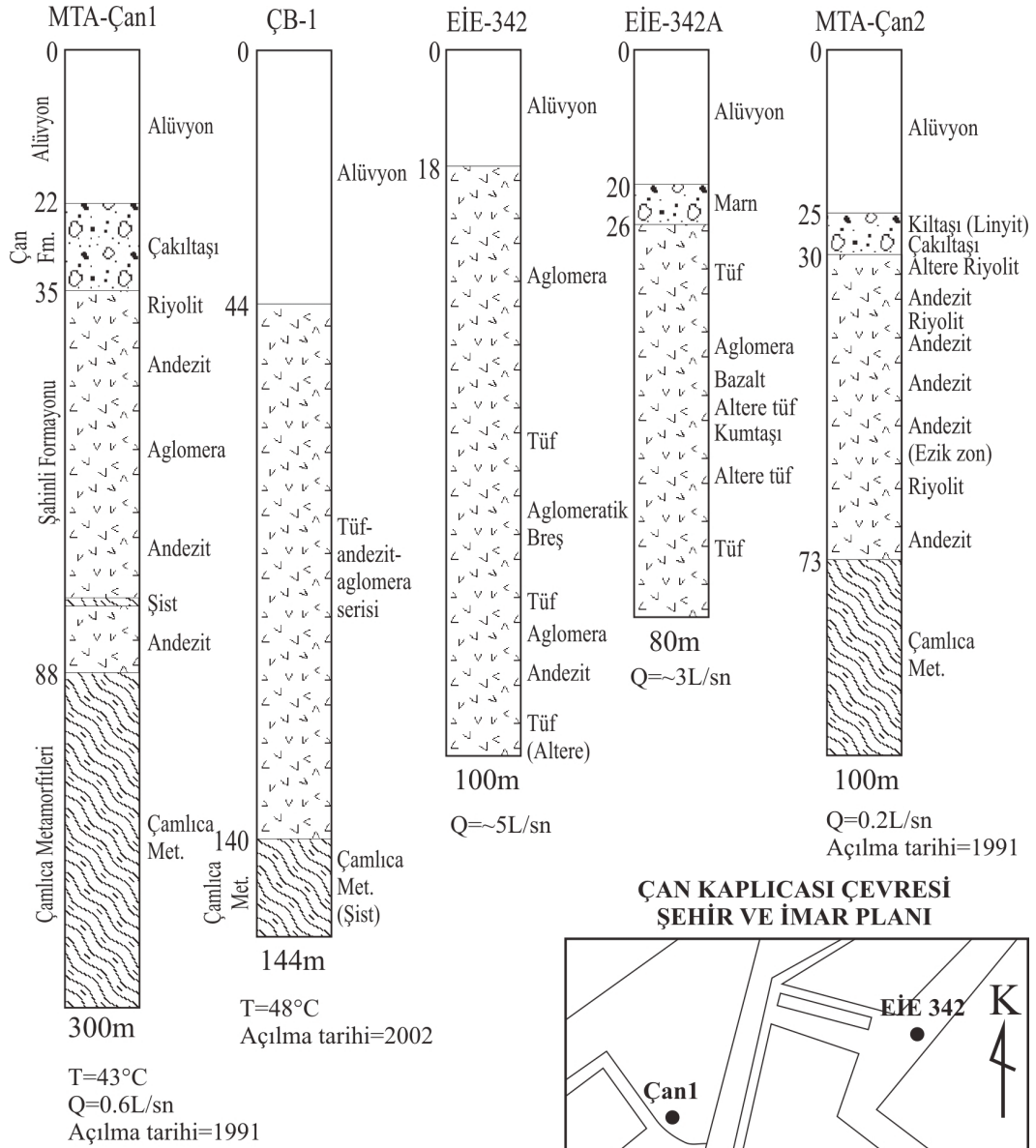


**Şekil 2.** Çalışma Alanı'nın jeolojisi (Duru ve diğ. 2007; Dönmez ve diğ. 2008'den değiştirilerek hazırlanmıştır) ve su örneklerinin lokasyonları.

**Figure 2.** Geology of the study area (modified from Duru et al. 2007; Dönmez et al. 2008) and locations of the water samples.

Şekil 3'te verilen Çan1 ve Çan2 sondajlarında geçilen Kretase veya daha yaşlı Çamlıca Metamorfileri, Çan'ın KD'sunda çalışma alanı dışında bir bölgede gözlenir ve

başlıca yeşil-kahverenkli, ince taneli, foliasyonlu fillat ve şistlerden oluşur (Duru ve diğ. 2007). Şekil 3'te verilen sondajlardan yararlanılarak çizilen Çan Jeotermal Alanı'ndaki bi-



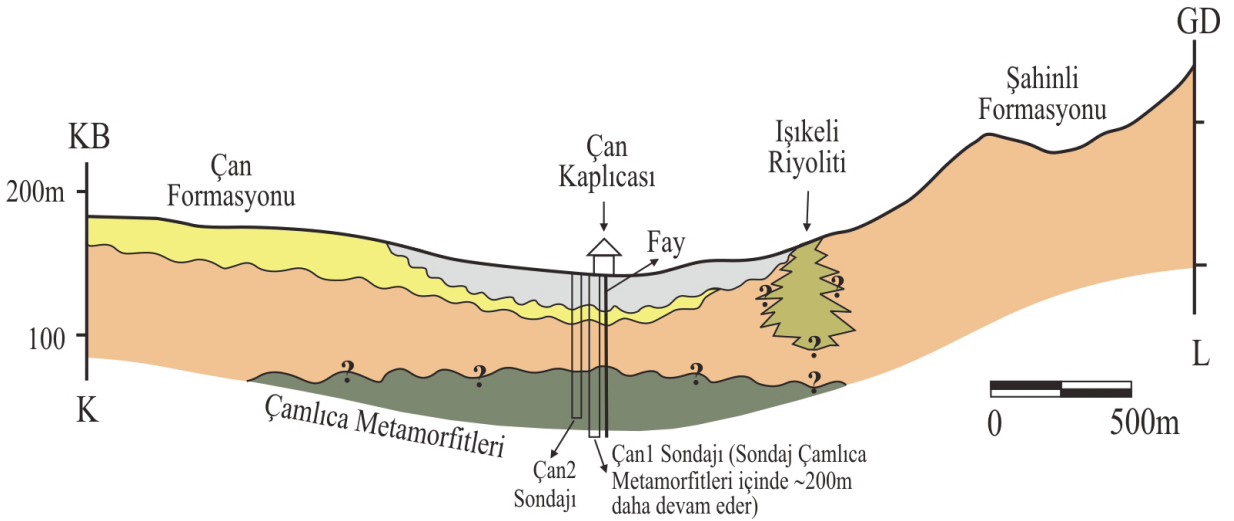
ÇB-1 logu Önder (2002)'den, diğer loglar ve sondaj lokasyonları değiştirilerek Erzeneoğlu ve Şaroğlu (1993)'ndan, T, Q ve açılma tarihleri Öktü ve Dilemre (1997)'den alınmıştır. EİE-342A nolu sondajın lokasyonu belirlenememiştir. Logların 100m'den derin kısımları için ölçek küçültülmüştür. Fm: formasyonu.

**Şekil 3.** Çan Sıcak Su Kaynağı çevresindeki sıcak su sondajları.

**Figure 3.** Hot water wells around the Çan geothermal field.

rimlerin jeolojik durumunu gösteren K-L kesiti Şekil 4'de verilmiştir. Kesit hattında alüvyon ve Çan Formasyonu'nun kalınlığı oldukça incedir. Daha altta bulunan Şahinli Formasyonu'na ait litolojiler riyolit, altere riyolit, andezit ve aglomeradan oluşur. Bu kayaların altında 88 m'den sonra Çamlıca Metamorfitleri'ne ait kayalar yer alır. Sondaj verilerine göre volkaniklerdeki ayrışma zonları ve litolojiler çok kısa mesafelerde değişmekte olup, farklı

seviyelerde ezik zonlar bulunmaktadır. Bölgedeki kayalar tektonik aktivitenin yoğunluğu nedeniyle çok sayıda süreksizlik zonları içerir. Çan Sıcak Su Kaynağı'nın Kocaçay'daki sağ yönlü doğrultu atımlı faya bağlı bir açılma çatlağından çıktığı ve kaynak alanı çevresinde başka açılma çatlaklarının da olduğu belirtilmiştir (Erzeneoğlu ve Şaroğlu, 1993).



Şekil 4. Çan Jeotermal Alanı'nın Jeolojik Kesiti (Kesit yeri için Şekil 2'ye bakınız).

Figure 4. Geological cross section of the Çan geothermal field (see Figure 2 for location of the cross section).

## HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanında gözlenen jeolojik birimler arasında alüvyon, verimi en yüksek akiferdir. Alüvyon blok, çakıl, kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Bu malzemelerin taneler arası gözeneklilik ve geçirimsizliği yüksektir. Çan İlçesi ve bölgedeki fabrikaların su ihtiyaçları bu birimde açılmış ve verimleri 5-30 L/s arasında değişen sondajlardan karşılanmaktadır. Sondajların bir bölümünün kuyu raporlarında yer alan pompaj testlerine ait veriler kullanılarak Theis yöntemi ile akiferin

transmissibilitesi (T) ve geçirgenlik katsayısı (K) hesaplanmıştır. Buna göre akiferin transmissibilitesi 50-421 m<sup>2</sup>/gün, geçirgenliği 1.0-16.8 m/gün arasındadır. Şahinli Formasyonu'nun dasitik tüflerinden beslenen Sk1'de T değeri, alüvyonda açılmış sondajların T değerlerine göre oldukça düşüktür. En yüksek T değeri kumlu çakıldan oluşan alüvyon tabakasında açılmış olan Sk22 sondajına aittir. Bu sondajda T değeri 421 m<sup>2</sup>/gün hesaplanmıştır. Bu değer alüvyonun bölgedeki T değerinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Alüvyondaki soğuk

su kaynaklarının ortalama debileri 0.10 L/s civarındadır. Ayrıca alüvyonda kullanma suyu temini için açılmış birçok keson kuyu bulunmaktadır.

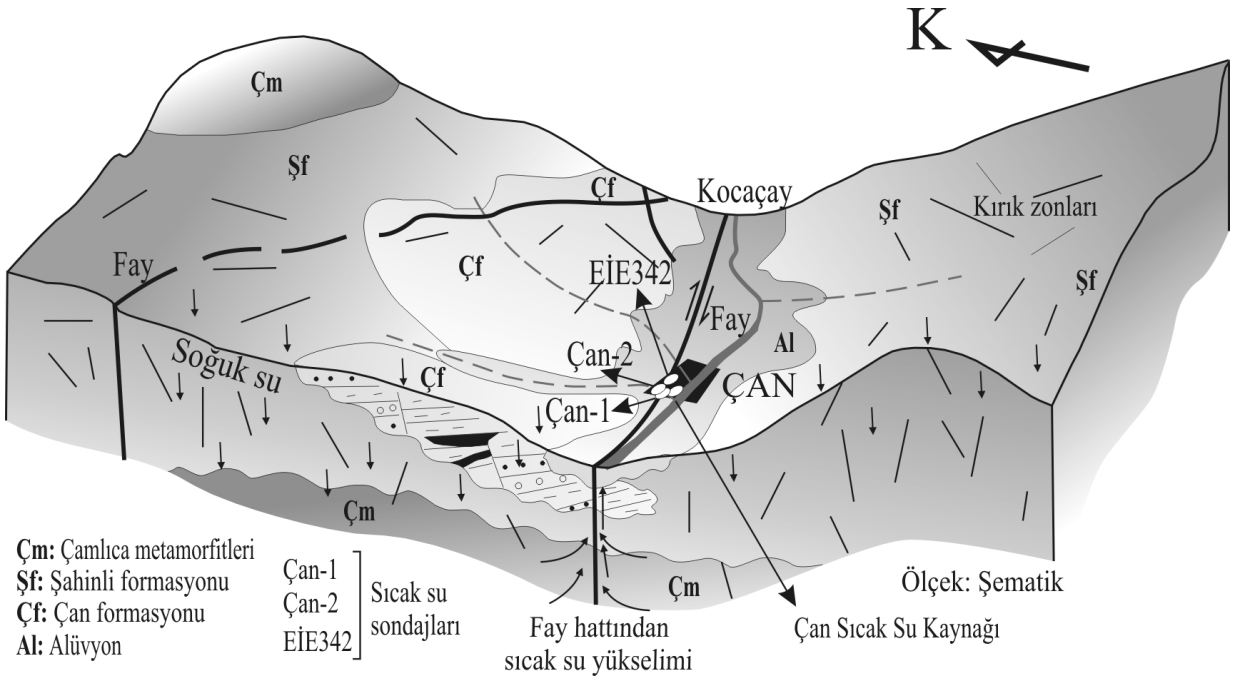
Şahinli Formasyonu'na ait andezit, tuf, aglomera ve bazaltlar değişik oranlarda ayrıışmış ve tektonizmadan etkilenerek ikincil gözeneklilik kazanmışlardır. Bu kayalar, boşlukları yer yer kalsit-kuvars ve diğer ikincil minerallerle doldurulmuş halde bulunabilirler. Bölgedeki silisleşmiş volkanitler çatlaklı akifer özelliği taşır. Bu birimdeki çatlakların eğimleri 70-90° arasında değişir. Şahinli Formasyonu'ndaki soğuk su kaynaklarının verimi 0.01-1.00 L/s arasındadır. Formasyonda açılmış sondajların verimleri 1.00 L/s gibi düşük değerlerdedir. Bu formasyondaki tuf ve aglomeralardan fazla su alınamamaktadır. Çalışma alanındaki volkanik birimler içinde en verimli kaynakların bulunduğu kayalar Hallaçlar Volkaniti'ne aittir. Bu volkaniklerdeki tüflerin ve lavlarının çoğu alterasyona uğramış, büyük bir bölümü de silisleşmiştir. Tüflerin bazı kesimlerindeki boşluklar hidrotermal kuvars damarları ile doldurulmuştur. Bu litolojiden çıkan kaynakların debileri arazi gözlemlerine göre 0.00-2.00 L/s arasındadır. Bu özellikleri nedeniyle volkanik birimlerin tamamına yakını, az su içeren çatlak akiferleridir. Çamlıca Metamorfileri fillat ve şistlerden oluştuğundan akifer özelliği düşüktür. Bu metamorfiter ve üstündeki Şahinli Formasyonu için Çan Sıcak Su Kaynağı'nın hazne kayaları olduğu

düşünölmekle beraber, bu iki litolojiden beslenen Çan1 (Q=0.6 L/s) ve Çan2 (Q=0.2 L/s) sondajlarının debileri oldukça azdır.

Çan Formasyonu içinde bulunan kömürlü seviyelerin olduğu istif tabanda konglomera ile başlar ve öste doğru kum, kil ve siltten oluşan litolojiler gözlenir. İstifin gözenekliliği yüksek olmasına karşın transmissibilitesi düşüktür. Bu nedenle yeraltı suyu bakımından verimsizdir. Formasyon içinde istifin kabalaştığı konglomeratik düzeyler ve yer yer gözlenen faylar yeraltı suyu içerebilir. Çan Formasyonu'ndaki soğuk su kaynaklarının verimi arazi gözlemlerine göre 0.00-0.04 L/s arasındadır. Bu formasyondaki sondajların debileri 1.00-3.00 L/s arasında değişmektedir.

Bayramiç Formasyonu'nda, altta çakıltaşı ile başlayıp öste doğru incelen kesimlerindeki çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleri yeraltı suyu içerir. Bu formasyondan çıkan su kaynaklarının verimi arazi gözlemlerine göre 0.01-0.45 L/s'dir.

Çan Sıcak Su Kaynağı çevresinde gözlenen kayalardan Çan Formasyonu'na ait tortulların özellikle ince taneli ve killi düzeyleri sistemin örtü kayacı olarak kabul edilebilir. Şahinli Formasyonu'nun aglomera, tuf ve andezitleri ile Çamlıca Metamorfileri'ndeki şistlerin tektonizma ve ayrıışma ile ikincil gözeneklilik kazanmış düzeyleri jeotermal sistemin muhtemel hazne kayalarıdır.



Şekil 5. Çan Jeotermal Alanı'nın şematik kavramsal modeli.

Figure 5. Schematic conceptual model of the Çan Geothermal Field.

Çan Havzası'nda yapılan yeraltı su seviyesi ölçümlerine göre, havzada yeraltı suyu derinliği 0.1-8.3 m arasındadır. Kış ve yaz arasındaki derinlik farkı 0.1-3.8 m arasındadır. Yeraltı suyu derinliği değişken olmakla birlikte genel olarak topoğrafya ile uyumlu bir gidiş sergilemektedir. Yaz aylarında havzadaki su tüketim miktarı arttığından havzanın alüvyon kesiminde bulunan sondajlar daha yoğun çalışmakta, bu da su seviyesinde düşmelere sebep olmaktadır.

## HİDROJEOKİMYA

Çalışma alanından alınan su örneklerinin ve bazı önceki çalışmaların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanan yöntemlerle değerlendirilmiştir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği Sınıflaması'na göre bölgedeki sıcak sular Na-Ca-SO<sub>4</sub> tipinde, soğuk su kaynakları ile sondajlar genelde Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipinde ve kar örnekleri karışık su tipindedir. Aynı tabloda Türk Standartlar Enstitüsü tarafından hazırlanmış TS266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS266 2005) yönetmeliğinde izin verilen maksimum değerleri aşan sular koyu renkle belirtilmiştir. Bu yönetmeliğe göre çalışma alanındaki sıcak sularda Na, K, SO<sub>4</sub>, B, Mn, Fe ve As değerleri, soğuk su örneklerinden K39 ve K93'de As derişimi, K92'de Fe ve Al derişimi, Sk1 ve Ka1'de Ni derişimi ve Sk6'da Fe ve Mn derişimleri izin verilen maksimum değerlerden yüksek olduğundan içilmesi sağlık açısından sakıncalıdır.

Çalışma alanında periyodik örnek alınan su noktalarının analiz sonuçları incelendiğinde soğuk suların suda çözülmüş toplam katı madde miktarının kurak dönemde yağışlı döneme göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Çizelge 1). Bunun sebebi, yeraltı sularının kurak dönemde beslenmesinin azalması ve debilerinin düşmesine bağlı olarak yeraltında kalış sürelerinin artması olabilir. Sıcak suların periyodik kimyasal analizleri incelendiğinde suda çözülmüş toplam katı madde miktarının genellikle sıcaklıkla paralel gittiği ve bu suların yüzeye doğru hareketi sırasında üst kesimlerde soğuk yeraltı suları ile karışarak derişimlerinde ve sıcaklıklarında düşüşlerin olduğu düşünülmektedir. Çan Jeotermal Alanı'ndaki su döngüsünü ve ana kaya gruplarını gösteren şematik kavramsal model, bu alanda yapılan jeolojik çalışmalardan ve Şekil 3'deki sondaj loglarından yararlanarak hazırlanmıştır (Şekil 5). Çan Havzası'na düşen yağış suları ve Kocaçay'daki yüzey suları geçirimsizliği yüksek alüvyon akiferden ve tektonizma nedeniyle ikincil gözeneklilik kazanmış kayaçların boşluklarından derinlere doğru süzülme ve ısıdıktan sonra Kocaçay dere yatağındaki doğrultu atımlı fay hattı boyunca yüzeye çıkmaktadır.

Çalışma alanından alınan su örnekleri Piper Diyagramı'na (Piper 1944) yerleştirildiğinde soğuk ve sıcak suların farklı kesimlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Kar örnekleri havzaya giren meteorik su olarak bir uç bileşen şeklinde düşünüldüğünde su-kayaç etkileşiminden önceki derişimi yansıttığı varsayılabilir. Buna göre sıcak suların % bileşenlerinin bulunduğu alan Na-K-SO<sub>4</sub>

bakımından zenginleşmeyi ve soğuk suların % bileşenlerinin bulunduğu alan Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> bakımından zenginleşmeyi göstermektedir. Sk1 sondajı ve K43 kaynağına ait soğuk su, kar örnekleri gibi karışık sular sınıfındadır (Şekil 6).

Doğal suları sınıflandırmada değişik araştırmacılar tarafından ortaya atılmış ve halen kullanılan birçok diyagram bulunmaktadır. Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı (Giggenbach 1988) da bu tür diyagramlardan biridir. Basit bir diyagram olan Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı suları bir ölçüde kökensel bazda sınıflandırmaya yarar (Nicholson 1993). Bu üçgen diyagram, örnekler arasındaki göreceli ilişkiyi hızlı bir şekilde görmeyi sağlayan bir ön değerlendirme verir. Çalışma alanındaki Çan Sıcak Su Kaynağı'ndan alınan su örnekleri bu diyagrama aktarıldığında SO<sub>4</sub> köşesine yakın bir kesimde, bölgeden alınmış soğuk su örnekleri ise HCO<sub>3</sub> köşesine yakın bir alanda yer alır (Şekil 7). Derin jeotermal sularda SO<sub>4</sub> derişimi genellikle düşüktür fakat H<sub>2</sub>S'in oksitlenmesi ile bu miktar artar ve çok düşük pH'a sahip sular oluşur. Bu tip sularda çözülmüş CO<sub>3</sub>'ün genellikle CO<sub>2</sub> gazı olarak çözüldükten uzaklaşmış olmasından dolayı HCO<sub>3</sub> ya yoktur yada düşük derişimlerde gözlenir (Nicholson 1993). Çalışma alanındaki sıcak suların pH değerleri 6.65-7.08 arasındadır ve 241-341 mg/L arasında değişen HCO<sub>3</sub> derişimlerine sahiptir. Bu sebeplerle SO<sub>4</sub>'ün kaynağının H<sub>2</sub>S'in "oksitlenmesi" yada Şekil 7'deki üçgen diyagramda görülen "buharla ısınmış sular" şeklinde olmadığı, köken belirleme için S izotopu analizleri yapılması gerektiği düşünülmektedir.



Çizelge 1. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (1/3)  
Table 1. Chemical analysis results of water samples (1/3)

| Örnek no                | TS266 Üst Limiti | Örnekleme tarihi | Js01      | Js01      | Js01      | Js01      | Js01      | Js01       | Js01       | K15        | K15*       | K18*       | K18*       | K19        | K24        | K25        | K28*          |  |
|-------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|--|
|                         |                  |                  | Oca.06    | Ağu.06    | Mar.07    | Tem.07    | Şub.08    | Haz.08     | Tem.07     | Şub.08     | Ağu.07     | Nis.07     | Ağu.07     | Şub.08     | Şub.08     | Şub.08     | Nis.07        |  |
| pH                      |                  | 6.90             | 6.90      | 6.65      | 6.90      | 6.95      | 7.08      | 7.56       | 6.92       | 7.29       | 7.29       | 7.23       | 6.97       | 7.17       | 7.25       | 7.50       |               |  |
| T (°C)                  |                  | 41.0             | 50.0      | 46.1      | 48.0      | 41.1      | 40.2      | 21.1       | 9.1        | 16.2       | 16.2       | 22.5       | 12.7       | 11.8       | 10.1       | 13.1       |               |  |
| Eh (mV)                 |                  |                  |           |           |           | -135.0    | 155.8     | 91.4       | 151.5      | -20.8      | 770        | 2100       | 596        | 755        | 562        | 573        |               |  |
| EC (µS/cm)              |                  | 3180             | 3490      | 3002      | 3003      | 2590      | 2380      | 791        | 650        | 770        | 770        | 740        | 2655       | 4308       | 2306       | 3185       |               |  |
| Na (mg/L)               | 200 mg/l         | 574.58           | 558.03    | 575.94    | 517.81    | 342.00    | 345.85    | 71.86      | 46.08      | 76.28      | 74.40      | 180        | 2.29       | 1.51       | 4.27       | 0.81       |               |  |
| K (mg/L)                |                  | 27.84            | 20.86     | 27.01     | 21.54     | 16.67     | 17.30     | 3.21       | 1.34       | 1.48       | 1.80       | 91.87      | 65.61      | 80.52      | 69.26      | 67.78      |               |  |
| Ca (mg/L)               |                  | 231.55           | 219.89    | 238.30    | 199.68    | 183.00    | 212.72    | 76.02      | 70.22      | 83.93      | 91.87      | 19.10      | 22.14      | 26.39      | 17.85      | 19.52      |               |  |
| Mg (mg/L)               |                  | 21.31            | 23.02     | 23.30     | 19.60     | 22.74     | 23.80     | 16.46      | 14.37      | 17.71      | 19.10      | 24         | 33         | 57         | 22         | 7          |               |  |
| Cl (mg/L)               | 250 mg/l         | 221              | 186       | 203       | 168       | 161       | 130       | 44         | 35         | 11         | 24         | 65         | 23         | 36         | 21         | 12         |               |  |
| SO <sub>4</sub> (mg/L)  | 250 mg/l         | 1278             | 1265      | 1274      | 1127      | 930       | 979       | 39         | 32         | 69         | 32         | 380        | 291        | 335        | 301        | 342        |               |  |
| HCO <sub>3</sub> (mg/L) |                  | 276              | 275       | 341       | 279       | 201       | 295       | 339        | 311        | 439        | 439        | 42.2       | 49.1       | 55.2       | 38.4       | 23.3       |               |  |
| SiO <sub>2</sub> (mg/L) |                  | 34.8             | 36.1      | 38.2      | 30.9      | 44.5      | 28.3      | 18.7       | 21.4       | 42.2       | 42.2       | 0.048      | 0.044      | 0.145      | 0.050      | 0.054      |               |  |
| B (mg/L)                | 1 mg/l           | 5.837            | 3.742     | 4.050     | 4.222     | 3.084     | 2.584     | 0.207      | 0.114      | 0.035      | 0.010      | 0.011      | 0.007      | 0.011      | 0.001      | 0.001      |               |  |
| Li (mg/L)               |                  | 1.291            | 1.014     | 1.146     | 0.983     | 0.940     | 0.687     | 0.037      | 0.027      | 0.010      | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.001      | 0.002      | 0.000      |               |  |
| Mn (mg/L)               | 50 µg/l          | 0.434            | 0.360     | 0.499     | 0.378     | 0.388     | 0.379     | 0.001      | 0.001      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      |               |  |
| Fe (mg/L)               | 200 µg/l         | 5.300            | 1.860     | 2.090     | 0.483     | 0.672     | 5.158     | <0.010     | 0.015      | <0.010     | <0.010     | 0.080      | 0.030      | <0.010     | <0.010     | <0.010     |               |  |
| Ni (mg/L)               | 20 µg/l          | <0.002           | <0.002    | <0.002    | <0.002    | 0.001     | 0.776     | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.000      |               |  |
| Al (mg/L)               | 200 µg/l         | 0.023            | 0.021     | <0.010    | <0.001    | 0.036     | 0.800     | 0.007      | 0.021      | 0.002      | 0.002      | <0.001     | 0.024      | 0.015      | 0.060      | 0.004      |               |  |
| As (mg/L)               | 10 µg/l          | 0.100            | 0.017     | 0.101     | 0.028     | 0.025     | 0.087     | 0.001      | 0.001      | 0.000      | 0.000      | 0.000      | 0.005      | 0.007      | 0.000      | 0.001      |               |  |
| Σanyon (meq/L)          |                  | 39.5             | 38.0      | 39.9      | 34.9      | 26.6      | 28.4      | 8.4        | 6.7        | 9.0        | 9.5        | 6.3        | 6.3        | 8.1        | 6.1        | 6.4        |               |  |
| Σanyon (meq/L)          |                  | 37.4             | 36.1      | 37.8      | 32.8      | 27.2      | 28.9      | 7.6        | 6.8        | 9.0        | 8.3        | 6.2        | 7.8        | 7.8        | 6.0        | 6.1        |               |  |
| e (%)                   |                  | 2.8              | 2.6       | 2.7       | 3.1       | -1.2      | -0.8      | 4.8        | 0.0        | 0.4        | 0.4        | 6.8        | 1.2        | 1.7        | 0.6        | 2.9        |               |  |
| TDS (mg/L)              |                  | 2406.6           | 2320.1    | 2392.6    | 2094.7    | 1709.4    | 1755.3    | 400.6      | 342.2      | 429        | 470.6      | 367.6      | 464.3      | 331.6      | 305.9      |            |               |  |
| Su Tipi (iyon>%20)      |                  | Na-Ca-SO4        | Na-Ca-SO4 | Na-Ca-SO4 | Na-Ca-SO4 | Na-Ca-SO4 | Na-Ca-SO4 | Ca-Na-HCO3 | Ca-Na-HCO3 | Ca-Na-HCO3 | Ca-Na-HCO3 | Ca-Na-HCO3 | Ca-Mg-HCO3 | Ca-Mg-HCO3 | Ca-Mg-HCO3 | Ca-Mg-HCO3 | Ca-Mg-Na-HCO3 |  |

\*: Baba ve diğ. (2008)'den alınmıştır, \*\*1: 17-06/28 (2001) nolu DSİ kuyu kütüğünden alınmıştır, \*\*2: 17-06/30 (2001) nolu DSİ kuyu kütüğünden alınmıştır, \*\*3: 17-06/32 (2001) nolu DSİ kuyu kütüğünden alınmıştır, \*\*4: 17-06/33 (2001) nolu DSİ kuyu kütüğünden alınmıştır, \*\*5: 17-06/41 (2004) nolu DSİ kuyu kütüğünden alınmıştır. Kuyu renk ile verilmiş sayılar TS266 (2005)'ya göre izin verilen en yüksek değeri aştığını belirtir.

Çizelge 1. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (2/3)  
 Table 1. Chemical analysis results of water samples (2/3)

| Örnek no                | K28*                      | K29*                   | K29*                   | K38                    | K39*                                    | K39*                       | K43*  | K92                 | K93                           | K94                           | Sk01                          | Sk01                       | Sk01                       |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|----------------------------|---|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Örnekleme tarihi        | Ağu.07                    | Nis.07                 | Ağu.07                 | Şub.08                 | Nis.07                                  | Ağu.07                     | Ağu.07                                      | Şub.08              | Şub.08                        | Şub.08                        | Tem.07                        | Şub.08                     | Şub.08                     |
| pH                      | 7.63                      | 7.62                   | 7.60                   | 6.63                   | 6.01                                    | 6.37                       | 7.03  | 6.85                | 6.31                          | 5.66                          | 7.51                          | 7.52                       | 7.52                       |
| T (°C)                  | 24.9                      | 13.2                   | 19.0                   | 11.7                   | 15.4                                    | 28.0                       | 22.5  | 6.9                 | 13.7                          | 11.0                          | 17.5                          | 19.1                       | 19.1                       |
| Eh (mV)                 |                           | -39.7                  |                        | 135.0                  | 52.6                                    |                            |   | 98.0                | 129.0                         | 164.0                         | 125.0                         | 77.4                       | 77.4                       |
| EC (µS/cm)              | 571                       | 584                    | 562                    | 135                    | 253                                     | 227                        | 1899  | 360                 | 1668                          | 492                           | 635                           | 700                        | 700                        |
| Na (mg/L)               | 31.50                     | 21.57                  | 21.30                  | 33.24                  | 21.58                                   | 19.40                      | 74.00                                       | 13.61               | 77.02                         | 31.63                         | 47.64                         | 90.94                      | 90.94                      |
| K (mg/L)                | 1.00                      | 0.62                   | 0.80                   | 12.39                  | 8.40                                    | 8.80                       | 7.40  | 1.01                | 98.04                         | 9.21                          | 0.85                          | 0.94                       | 0.94                       |
| Ca (mg/L)               | 69.77                     | 88.35                  | 84.98                  | 133.02                 | 22.48                                   | 15.99                      | 224.38                                      | 51.55               | 123.72                        | 35.68                         | 58.86                         | 36.49                      | 36.49                      |
| Mg (mg/L)               | 19.73                     | 15.84                  | 15.23                  | 39.11                  | 3.36                                    | 3.24                       | 88.18                                       | 7.53                | 40.46                         | 10.73                         | 22.27                         | 14.55                      | 14.55                      |
| Cl (mg/L)               | 25                        | 5                      | 16                     | 47                     | 9                                       | 25                         | 215   | 12                  | 150                           | 45                            | 47                            | 66                         | 66                         |
| SO <sub>4</sub> (mg/L)  | 15                        | 61                     | 28                     | 28                     | 24                                      | 11                         | 372   | 19                  | 98                            | 42                            | 15                            | 42                         | 42                         |
| HCO <sub>3</sub> (mg/L) | 273                       | 297                    | 280                    | 590                    | 95                                      | 70                         | 576   | 185                 | 472                           | 123                           | 279                           | 252                        | 252                        |
| SiO <sub>2</sub> (mg/L) | 33.9                      | 17.6                   | 20.8                   | 56.4                   | 50.0                                    | 54.4                       | 31.5  | 47.4                | 62.7                          | 55.9                          | 30.8                          | 45.1                       | 45.1                       |
| B (mg/L)                | 0.072                     | 0.028                  | 0.032                  | 0.048                  | 0.051                                   | 0.047                      | 0.274                                       | 0.056               | 0.402                         | 0.202                         | 0.026                         | 0.045                      | 0.045                      |
| Li (mg/L)               | 0.001                     | 0.031                  | 0.034                  | 0.020                  | 0.010                                   | 0.009                      | 0.133                                       | 0.013               | 0.007                         | 0.010                         | 0.003                         | 0.011                      | 0.011                      |
| Mn (mg/L)               | 0.001                     | 0.000                  | 0.000                  | 0.002                  | 0.014                                   | 0.005                      | 0.000                                       | 0.011               | 0.016                         | 0.002                         | 0.006                         | 0.009                      | 0.009                      |
| Fe (mg/L)               | <0.010                    | <0.010                 | <0.010                 | <0.010                 | 0.010                                   | <0.010                     | <0.010                                      | <b>0.238</b>        | 0.053                         | 0.010                         | 0.059                         | 0.136                      | 0.136                      |
| Ni (mg/L)               | 0.000                     | 0.000                  | 0.000                  | 0.000                  | 0.000                                   | 0.000                      | 0.000                                       | 0.000               | 0.002                         | 0.002                         | 0.000                         | 0.000                      | 0.000                      |
| Al (mg/L)               | 0.001                     | 0.002                  | 0.004                  | 0.011                  | 0.009                                   | 0.005                      | 0.001                                       | <b>0.313</b>        | 0.015                         | 0.019                         | 0.055                         | 0.127                      | 0.127                      |
| As (mg/L)               | 0.001                     | 0.003                  | 0.005                  | 0.003                  | <b>0.012</b>                            | <b>0.012</b>               | 0.004                                       | 0.003               | <b>0.017</b>                  | 0.001                         | 0.001                         | 0.001                      | 0.001                      |
| Σanyon (meq/L)          | 6.5                       | 6.7                    | 6.5                    | 11.6                   | 2.6                                     | 2.1                        | 22.0  | 3.8                 | 15.4                          | 4.3                           | 6.9                           | 7.0                        | 7.0                        |
| Σanyon (meq/L)          | 5.5                       | 6.3                    | 5.6                    | 11.6                   | 2.3                                     | 2.1                        | 23.3  | 3.8                 | 14.0                          | 4.2                           | 6.2                           | 6.9                        | 6.9                        |
| e (%)                   | 8.6                       | 3.2                    | 6.9                    | 0.3                    | 5.4                                     | 1.4                        | -2.9  | 0.8                 | 4.7                           | 1.4                           | 5.0                           | 1.0                        | 1.0                        |
| TDS (mg/L)              | 470.1                     | 343.9                  | 467.9                  | 628.7                  | 165.7                                   | 163.3                      | 1592.4                                      | 237.1               | 878.9                         | 284.8                         | 356.9                         | 361.3                      | 361.3                      |
| Su Tipi (iyon>%20)      | Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> | Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> | Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> | Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> | Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> | Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl | Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl | Ca-HCO <sub>3</sub> | Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl | Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl | Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl | Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl | Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl |



Çizelge 1. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (3/3)

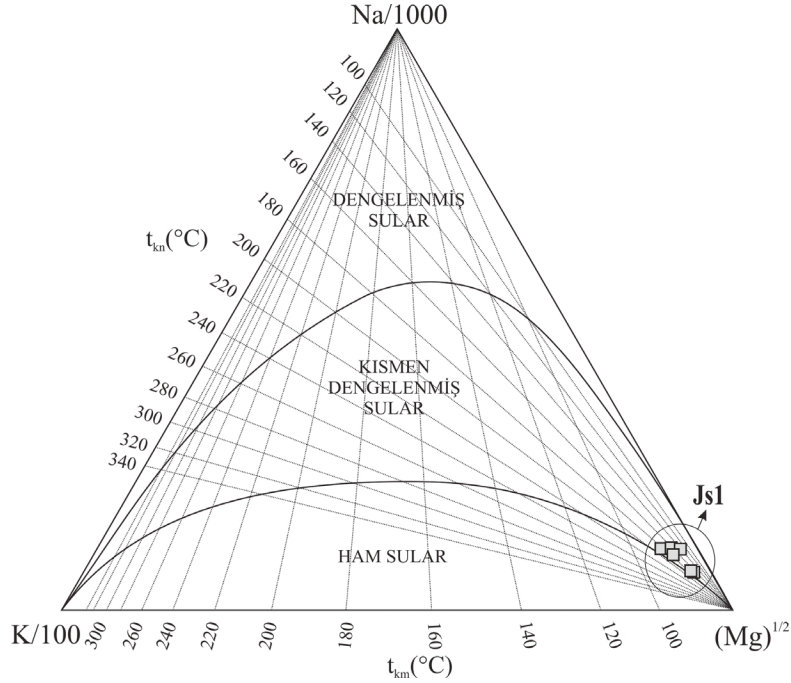
Table 1. Chemical analysis results of water samples (3/3)

| Örnek no                | SK01              | SK02*             | SK02*             | SK06              | SK09            | SK10    | SK22**3        | SK23**5                  | SK25**2        | SK26**4        | SK27**1        | Ka01               | Ka02               |  |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|---------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--|
| Örneklenme tarihi       | Haz.08            | Nis.07            | Ağu.07            | Haz.08            | Şub.08          | Şub.08  | Mar.01         | Haz.04                   | Tem.01         | May.01         | Şub.01         | Şub.08             | Şub.08             |  |
| pH                      | 7.44              | 7.21              | 7.26              | 7.26              | 7.26            | 6.74    | 6.75           | 7.58                     | 7.26           | 7.48           | 7.79           | 7.40               | 6.30               |  |
| T (°C)                  | 22.4              | 17.4              | 18.9              | 22.2              | 22.2            | 15.5    | 15.9           | 13.8                     | 7.48           | 13.8           | 14.3           | 7.9                | 9.9                |  |
| EH (mV)                 | 234.0             | -16.6             |                   | 22.2              | 179.0           | 123.0   |                |                          |                |                |                | 258.5              | 271.5              |  |
| EC (µS/cm)              | 618               | 767               | 655               | 1140              | 574             | 956     | 618            | 1614                     | 733            | 612            | 864            | 26                 | 25                 |  |
| Na (mg/L)               | 48.12             | 38.34             | 35.10             | 82.03             | 21.02           | 41.09   | 19.08          | 109.89                   | 33.80          | 17.47          | 30.00          | 1.89               | 2.08               |  |
| K (mg/L)                | 0.71              | 2.93              | 2.90              | 4.18              | 1.96            | 1.99    | 1.17           | 8.99                     | 3.80           | 1.17           | 2.20           | 0.95               | 0.26               |  |
| Ca (mg/L)               | 62.33             | 92.97             | 84.81             | 114.25            | 72.78           | 128.49  | 86.57          | 120.04                   | 102.20         | 70.14          | 108.60         | 2.58               | 1.79               |  |
| Mg (mg/L)               | 21.04             | 24.37             | 20.89             | 53.56             | 14.32           | 20.55   | 22.00          | 63.08                    | 25.30          | 29.78          | 32.10          | 0.51               | 0.41               |  |
| Cl (mg/L)               | 49                | 10                | 28                | 61                | 17              | 51      | 23             | 216                      | 22             | 24             | 35             | 3                  | 3                  |  |
| SO <sub>4</sub> (mg/L)  | 18                | 137               | 96                | 86                | 69              | 78      | 46             | 13                       | 38             | 26             | 80             | 4                  | 2                  |  |
| HCO <sub>3</sub> (mg/L) | 338               | 350               | 253               | 555               | 214             | 385     | 328            | 628                      | 284            | 331            | 308            | 6                  | 6                  |  |
| SiO <sub>2</sub> (mg/L) | 30.7              | 24.2              | 27.0              | 40.1              | 31.2            | 55.5    | <1.000         |                          |                |                | <1.000         | 1.3                | 0.5                |  |
| B (mg/L)                | 0.032             | 0.105             | 0.075             | 0.157             | 0.067           | 0.078   | 0.14           |                          |                |                |                | 0.005              | 0.013              |  |
| Li (mg/L)               | 0.004             | 0.004             | 0.004             | 0.098             | 0.014           | 0.008   |                |                          |                |                |                | 0.001              | 0.000              |  |
| Mn (mg/L)               | 0.003             | 0.008             | 0.006             | <b>0.058</b>      | 0.001           | 0.002   |                |                          | 0.000          |                | 0.000          | 0.017              | 0.006              |  |
| Fe (mg/L)               | <0.010            | 0.086             | <0.010            | <b>0.503</b>      | 0.058           | 0.024   |                |                          | 0.000          |                | 0.000          | 0.187              | 0.016              |  |
| Ni (mg/L)               | <b>0.026</b>      | 0.000             | 0.000             | 0.000             | 0.000           | 0.003   |                |                          | 0.000          |                | 0.000          | <b>0.024</b>       | 0.000              |  |
| Al (mg/L)               | 0.017             | 0.006             | 0.001             | 0.047             | 0.023           | 0.016   |                |                          | 0.000          |                | 0.000          | 0.075              | 0.031              |  |
| As (mg/L)               | 0.001             | 0.002             | 0.002             | 0.010             | 0.001           | 0.002   |                |                          | 0.000          |                | 0.000          | 0.001              | 0.003              |  |
| Σkatyon (meq/L)         | 7.0               | 8.4               | 7.6               | 13.9              | 5.8             | 10.0    | 7.0            | 16.2                     | 8.7            | 6.7            | 9.4            | 0.3                | 0.2                |  |
| Σanyon (meq/L)          | 7.3               | 8.9               | 6.9               | 12.6              | 5.4             | 9.4     | 7.0            | 16.7                     | 6.1            | 6.6            | 7.7            | 0.3                | 0.2                |  |
| e (%)                   | -2.4              | -2.7              | 4.4               | 4.7               | 3.2             | 3.0     | 0.0            | -1.5                     | 18.1           | 0.7            | 10.0           | 3.4                | -0.8               |  |
| TDS (mg/L)              | 367.2             | 444.5             | 413.9             | 696.7             | 329.3           | 762.9   | 353.3          | 1209.5                   | 441.9          | 331.3          | 552.3          | 17.2               | 12.6               |  |
| Su Tipi (iyon>%20)      | Ca-Na-<br>Mg-HCO3 | Ca-Mg-<br>Na-HCO3 | Ca-Mg-<br>Na-HCO3 | Ca-Mg-<br>Na-HCO3 | Ca-Mg-<br>HCO3- | Ca-HCO3 | Ca-Mg-<br>HCO3 | Ca-Mg-<br>Na-HCO3-<br>Cl | Ca-Mg-<br>HCO3 | Ca-Mg-<br>HCO3 | Ca-Mg-<br>HCO3 | Ca-Na-<br>HCO3-Cl- | Na-Ca-<br>HCO3-Cl- |  |



Na, K ve Mg'un hidrotermal sulardaki göreceli bolluklarına dayanarak Giggenbach (1988) suları "ham sular", "kısmen dengelenmiş sular" ve "dengelenmiş sular" olarak üç gruba ayırmıştır. Dengelenmiş sular terimi, söz konusu tüm bileşenleri bakımından dengede olan suları belirtir. Na-K-Mg diyagramının

avantajı dengelenmiş suların, dengelenmemiş suların ayırtılabilmesidir (D'Amore ve Arnórsson, 2000). Bu amaçla çalışma alanından alınan sıcak su örneklerinin verileri Na-K-Mg üçgen diyagramına yerleştirildiğinde bu sular kısmen dengelenmiş sular sınıfında yer alır (Şekil 8).



Şekil 8. Na-K-Mg üçgen diyagramında sıcak su örneklerinin konumu.

Figure 8. Plot of hot water samples in Na-K-Mg trilinear diagram.

### Suların Mineral Doymulukları (SI)

Minerallerin suda doymuluklarının bir ölçüsü olan mineral doymuluk indekslerinin hesaplanması ile üretim ve iletim aşamasında oluşabilecek olası çökeller önceden tahmin edilebilir ve böylece üretim ve malzeme kaybı olmadan alınabilecek önlemler belirlenebilir (Tarcan, 2002). Çan Sıcak Su Kaynağı'ndan alınan sıcak su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak adularya, anhidrit, kalsit, mikroklin, amorf silis, kalsedon ve

kuvars mineralleri için yüzey sıcaklığındaki ve 50-100-150-200°C'lerdeki doymuluk indeksi değerleri Watch2004 (Bjarnason 1994) kimyasal türleştirme programında hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre, sıcak sulara tüm örnekleme dönemlerinde, yüzey koşullarında doymuluk üstü değerlerde bulunan mineraller, mikroklin, kalsedon ve kuvarstır. Anhidrit ve amorf silis yüzey koşullarında tüm örneklerde doymuluk altı değerlerdedir. Hazne şartlarına yaklaştıkça ısınma ile birlikte çö-

zünürlüğü artan mineraller kalsit ve anhidrit, ısınma ile birlikte çökelme eğilimine giren mineraller ise mikroklin, albit, kuvars, kalsedon ve adularyadır. Tüm sıcaklık derece-

lerinde kalsit, suda doygunluk üstü değerlerdedir. Amorf silis, yüzeyde olduğu gibi hazne koşullarında da daima doygunluk altı değerlerde izlenmektedir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Bazı minerallerin doygunluk indeksi (SI) değerleri.

**Table 2.** Saturation Index (SI) values of some minerals.

| Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        | Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|
| Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    | Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    |
| Ocak 2006                                |        |        |        |        | Ağustos 2006                             |        |        |        |        |
| Adularya                                 | 0.328  | -1.997 | -3.587 | -4.552 | Adularya                                 | -0.111 | -2.439 | -4.029 | -4.994 |
| Anhidrit                                 | -0.054 | 0.394  | 0.874  | 1.360  | Anhidrit                                 | -0.126 | 0.319  | 0.793  | 1.273  |
| Kalsit                                   | 0.167  | 0.797  | 1.476  | 2.132  | Kalsit                                   | 0.337  | 0.969  | 1.653  | 2.321  |
| Mikroklin                                | 2.110  | -0.621 | -2.520 | -3.715 | Mikroklin                                | 1.671  | -1.063 | -2.962 | -4.157 |
| Amorf silis                              | -0.715 | -1.022 | -1.262 | -1.452 | Amorf silis                              | -0.812 | -1.119 | -1.36  | -1.551 |
| Kalsedon                                 | 0.061  | -0.399 | -0.756 | -1.039 | Kalsedon                                 | -0.036 | -0.496 | -0.854 | -1.138 |
| Kuvars                                   | 0.396  | -0.139 | -0.564 | -0.897 | Kuvars                                   | 0.299  | -0.236 | -0.662 | -0.996 |
| Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        | Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        |
| Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    | Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    |
| Mart 2007                                |        |        |        |        | Temmuz 2007                              |        |        |        |        |
| Adularya                                 | -0.153 | -2.301 | -3.847 | -4.778 | Adularya                                 | -0.331 | -2.657 | -4.245 | -5.205 |
| Anhidrit                                 | -0.214 | 0.245  | 0.741  | 1.249  | Anhidrit                                 | -0.15  | 0.304  | 0.790  | 1.282  |
| Kalsit                                   | -0.013 | 0.638  | 1.348  | 2.052  | Kalsit                                   | 0.118  | 0.757  | 1.443  | 2.097  |
| Mikroklin                                | 1.629  | -0.925 | -2.780 | -3.941 | Mikroklin                                | 1.451  | -1.281 | -3.178 | -4.368 |
| Amorf silis                              | -0.679 | -0.984 | -1.221 | -1.408 | Amorf silis                              | -0.768 | -1.075 | -1.315 | -1.505 |
| Kalsedon                                 | 0.097  | -0.361 | -0.715 | -0.995 | Kalsedon                                 | 0.008  | -0.452 | -0.809 | -1.092 |
| Kuvars                                   | 0.432  | -0.101 | -0.523 | -0.853 | Kuvars                                   | 0.343  | -0.192 | -0.617 | -0.950 |
| Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        | Farklı sıcaklıklardaki (°C) SI değerleri |        |        |        |        |
| Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    | Dönem                                    | 50     | 100    | 150    | 200    |
| Şubat 2008                               |        |        |        |        | Haziran 2008                             |        |        |        |        |
| Adularya                                 | 0.656  | -1.676 | -3.261 | -4.213 | Adularya                                 | 1.464  | -0.904 | -2.497 | -3.454 |
| Anhidrit                                 | -0.197 | 0.265  | 0.759  | 1.259  | Anhidrit                                 | -0.138 | 0.315  | 0.798  | 1.289  |
| Kalsit                                   | 0.049  | 0.690  | 1.368  | 2.003  | Kalsit                                   | 0.404  | 0.989  | 1.649  | 2.281  |
| Mikroklin                                | 2.438  | -0.300 | -2.194 | -3.376 | Mikroklin                                | 3.246  | 0.472  | -1.430 | -2.617 |
| Amorf silis                              | -0.611 | -0.918 | -1.158 | -1.346 | Amorf silis                              | -0.808 | -1.116 | -1.357 | -1.547 |
| Kalsedon                                 | 0.165  | -0.295 | -0.652 | -0.933 | Kalsedon                                 | -0.032 | -0.493 | -0.851 | -1.134 |
| Kuvars                                   | 0.500  | -0.035 | -0.460 | -0.791 | Kuvars                                   | 0.303  | -0.233 | -0.659 | -0.992 |

## Jeotermometri

Kimyasal ve izotop jeotermometreleri, jeotermal kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi için belki de en önemli jeokimyasal araçtır. Bu

jeotermometreler üretim sırasındaki gözlemlerde haznenin üretime verdiği tepkiyi görmek için çok önemli bir unsurdur. Jeotermometri, araştırma sürecinde rezervuar sıcaklıklarını tahmin etmek için kullanılır (D'Amore ve

Arnórsson, 2000). Çan Sıcak Su Kaynağı'nın geldiği hazne kaya koşullarındaki akışkanın sıcaklığını tahmin etmek için çeşitli çözünürlük jeotermometreleri kullanılmıştır (Çizelge 3). Çan Sıcak Su Kaynağı için silis jeotermometresi 46-98°C arasında, Na/K jeotermometresi 102-183°C arasında ve Na/Li jeotermometresi 110-203°C arasında değerler vermiştir. Çözünürlük jeotermometreleri birlikte değerlendirildiğinde, sonuçlarda tam bir uyum olmadığı görül-

mekte ve geniş bir sıcaklık aralığı (46-203°C) elde edilmektedir. Bu durum, su-kayaç etkileşim süresi, soğuma, kaynama ve yükselim sırasında akışkanın hızı gibi koşulların jeotermometre sonuçlarını etkilediği izlenimini yaratmaktadır. Buna karşın silis ve Na-K-Ca jeotermometreleri 46-99°C arasında değişen, birbirleri ile örtüşen hazne akışkan sıcaklık değerleri vermektedir (Çizelge 4).

**Çizelge 3.** Bu çalışmada kullanılan çözünürlük jeotermometreleri.

**Table 3.** Solubility geothermometers used in this study.

| Jeotermometre türü  | Kaynak                     | Çizelge 4'deki sıra numarası |
|---|----------------------------|------------------------------|
| <b>Silis jeotermometresi</b>  |                            |                              |
| $t^{\circ}\text{C} = [1309/(5.19 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (SiO <sub>2</sub> , buhar kaybı yok)               | Fournier (1977)            | 1                            |
| $t^{\circ}\text{C} = [1522/(5.75 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (SiO <sub>2</sub> , 100°C'de maksimum buhar kaybı) | Fournier (1977)            | 2                            |
| $t^{\circ}\text{C} = [1032/(4.69 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Kalsedon)   | Fournier (1977)            | 3                            |
| $t^{\circ}\text{C} = [1000/(4.78 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ ( $\alpha$ -Kristobalit)                           | Fournier (1977)            | 4                            |
| $t^{\circ}\text{C} = [781/(4.51 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Opal)  | Fournier (1991)            | 5                            |
| $t^{\circ}\text{C} = [731/(4.52 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Amorf silis)                                       | Fournier (1977)            | 6                            |
| ( $t < 250^{\circ}\text{C}$ ve SiO <sub>2</sub> derişimi mg/Kg'dır)   |                            |                              |
| <b>Na/K Jeotermometresi</b>   |                            |                              |
| $t^{\circ}\text{C} = 856/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 0.857] - 273$  | Truesdell (1976)           | 7                            |
| $t^{\circ}\text{C} = 833/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 0.780] - 273$  | Tonani (1980)              | 8                            |
| $t^{\circ}\text{C} = 933/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 0.993] - 273$  | Arnórsson ve diğ. (1983)   | 9                            |
| $t^{\circ}\text{C} = 1319/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.699] - 273$   | Arnórsson ve diğ. (1983)   | 10                           |
| $t^{\circ}\text{C} = 1217/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.483] - 273$   | Fournier (1979)            | 11                           |
| $t^{\circ}\text{C} = 1178/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.470] - 273$   | Nieva ve Nieva (1987)      | 12                           |
| $t^{\circ}\text{C} = 1390/[\log(\text{Na}/\text{K}) + 1.750] - 273$   | Giggenbach ve diğ. (1983)  | 13                           |
| ( $t < \sim 120^{\circ}\text{C}$ ve Na, K derişimi mg/Kg'dır)   |                            |                              |
| <b>Na/Li Jeotermometresi</b>  |                            |                              |
| $t^{\circ}\text{C} = 1000/[\log(\text{Na}/\text{Li}) + 0.389] - 273$ Cl < 0.3 mol/Kg                            | Fouillac ve Michard (1981) | 14                           |
| $t^{\circ}\text{C} = 1195/[\log(\text{Na}/\text{Li}) + 0.130] - 273$ Cl > 0.3 mol/Kg                            | Fouillac ve Michard (1981) | 15                           |
| $t^{\circ}\text{C} = 1590/[\log(\text{Na}/\text{Li}) + 0.779] - 273$  | Kharaka ve diğ. (1982)     | 16                           |
| (İlk iki eşitlikte Na/Li derişimleri mol/Kg, son eşitlikte ise mg/Kg'dır)                                       |                            |                              |

**Çizelge 4.** Jeotermometre sonuçları.**Table 4.** Geothermometer results.

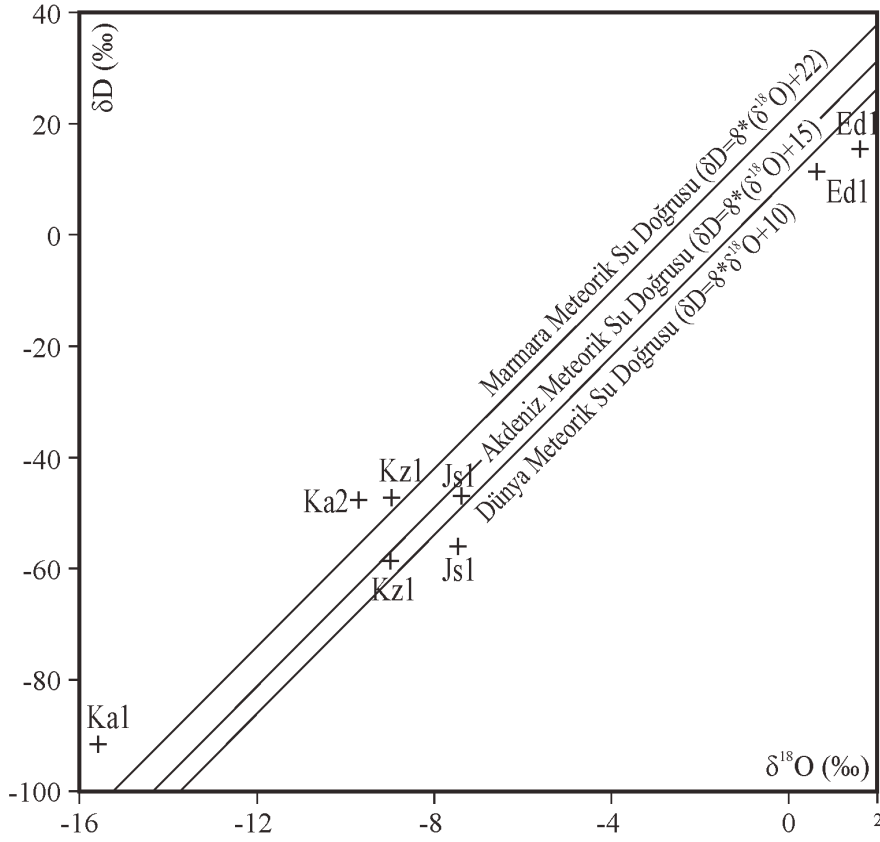
| Örnek No | T (°C) | Jeotermometre eşitliği (formüller sıra no'suna göre Çizelge 3'de verilmiştir) |    |    |    |   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
|----------|--------|---|----|----|----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
|          |        | 1   | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15 | 16  |
| Js01     | 41     | 86  | 89 | 55 | *  | * | * | 121 | 125 | 131 | *** | 162 | 150 | 181 | 124 | ** | 191 |
| Js01     | 50     | 87  | 90 | 56 | *  | * | * | 102 | 104 | 112 | *** | 145 | 134 | 164 | 110 | ** | 179 |
| Js01     | 46     | 90  | 92 | 59 | *  | * | * | 119 | 122 | 129 | *** | 160 | 148 | 178 | 116 | ** | 184 |
| Js01     | 48     | 81  | 84 | 49 | *  | * | * | 109 | 112 | 120 | *** | 152 | 140 | 171 | 113 | ** | 181 |
| Js01     | 41     | 97  | 98 | 66 | 46 | * | * | 122 | 125 | 132 | *** | 162 | 150 | 181 | 139 | ** | 203 |
| Js01     | 40     | 77  | 81 | 46 | *  | * | * | 124 | 127 | 134 | *** | 164 | 152 | 183 | 116 | ** | 184 |

\*: Jeotermometre değeri, ölçülen yüzey sıcaklığı kadar ya da daha düşük çıktığından kullanılmamıştır, \*\*: Cl<0.3 mol/Kg olduğundan bu formül geçerli değildir, \*\*\*:jeotermometre değeri, formülün geçerli olduğu sıcaklık aralığında değildir.

**İzotop Analizleri**

Jeotermal akışkanların H ve O izotop bileşimleri sadece akışkanın kökenine bir yaklaşım sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda akışkanın yeraltı dolaşımı sırasında maruz kaldığı fiziko-kimyasal süreçleri açıklamada da kullanılmaktadır.  $\delta D-\delta^{18}O$  diyagramında meteorik su çizgisinin sol kısmında kalan örneklerde yoğunlaşma (buhar fazının sıvı fazda kondense olması), çizginin sağ kısmında ise buharlaşma (ani basınç düşmelerine bağlı olarak) ve kayaç-akışkan etkileşimi süreçlerinin, izotop bileşimi üzerindeki etkileri görülür (Güleç ve Mutlu 2002). Birçok bölge için bölgesel yağışlardan yola çıkılarak hazırlanmış yerel meteorik su doğruları mevcuttur. Bu çalışmada  $\delta D=8(\delta^{18}O)+10$  denklemi ile tanımlanan (Craig 1961) Dünya Meteorik Su Doğrusu'nun yanında, Çan Havzası'nı etkileyen yağışlar için hazırlanmış  $\delta D=8*\delta^{18}O+22$  formülü ile verilen Marmara Meteorik Su Doğrusu (Eisenlohr 1995) ve  $\delta D=8*(\delta^{18}O)+15$  şeklinde ifade edilen Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (Gat ve Garmi 1970)'da  $\delta D-\delta^{18}O$  diyagramında çizilmiştir.

Şekil 9'da çalışma alanındaki sular için hazırlanan  $\delta D-\delta^{18}O$  diyagramında suların konumları görülmektedir. Kz1 nolu soğuk su örneği, çalışma alanı dışında, havzanın en güney kesiminde beslenme alanındaki bir kaynaktan alınmıştır. Ka1 ve Ka2 nolu örnekler Şubat 2008'de Çan Havzası'nda oluşan kar yağışının ardından alınmıştır.  $\delta D-\delta^{18}O$  diyagramında, soğuk su kaynağına ait örnek ile sıcak su örneklerinin yukarıda verilen meteorik su doğruları üzerinde ve bunların arasında yer almaları sıcak suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. Taylor (1974) ve Sheppard (1981)'e göre magmatik suların  $\delta^{18}O$  içerikleri ‰ +5.5 ile +13 arasında, metamorfik suların  $\delta^{18}O$  içerikleri ‰ +3 ile +25 arasındadır (Güleç ve Mutlu 2002). Çalışma alanındaki sulara  $\delta^{18}O$  değerlerinin -7 ile -16 arasında olması, bu suların kökeninin magmatik ya da metamorfik olmadığını belirtmektedir. Sıcak suların  $\delta^{18}O$  değerlerinin soğuk sulara göre daha yüksek olması suların yer altı dolaşımını sırasında yan kayaçlar ile etkileşimde bulunmalarıyla ilişkilidir (Güleç ve Mutlu 2002).



Şekil 9. Su örneklerinin  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  diyagramındaki yeri.

Figure 9. Plot of water samples in  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  diagram.

Meteorik suların  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  içerikleri örneklerin alındığı bölgenin enlemi ve deniz seviyesinden olan yüksekliği ile doğru orantılı olarak değişir (Güleç ve Mutlu 2002). Bu durum çalışma alanındaki sularda da gözlenmektedir. Ka1 ve Ka2 nolu örneklerinin alındığı noktalar karşılaştırıldığında Ka1 520 m kotunda, Ka2 190 m kotundadır. Ayrıca bu örneklerden Ka1'in bulunduğu enlem değeri Ka2'ye göre daha büyüktür. Bu sebeplerle Ka1 nolu örneğin  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  içeriği Ka2 nolu örneğe göre daha düşüktür.

Okyanuslardaki buharlaşma süreci (hafif izotopların buhar fazına geçmesi) ve

bunu takiben bulutlarda meydana gelen yoğunlaşma (kondense olma) süreci sonucunda, meteorik yağışlar ile oluşan yüzey suları, deniz suyuna oranla daha düşük  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  değerlerine sahiptir (Güleç ve Mutlu 2002). Çanakkale'deki deniz suyunun izotopik bileşimini temsil etmesi ve farklı kökenli sularla karşılaştırma yapılabilmesi için, Ege Denizi'nden iki dönem deniz suyu örnekleri (Ed1) alınmıştır. Çalışma alanındaki meteorik kökenli sıcak ve soğuk suların geçirdiği buharlaşma-yoğunlaşma süreçleri nedeniyle  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  değerleri, deniz suyuna göre daha düşüktür (Şekil 9, Çizelge 5).

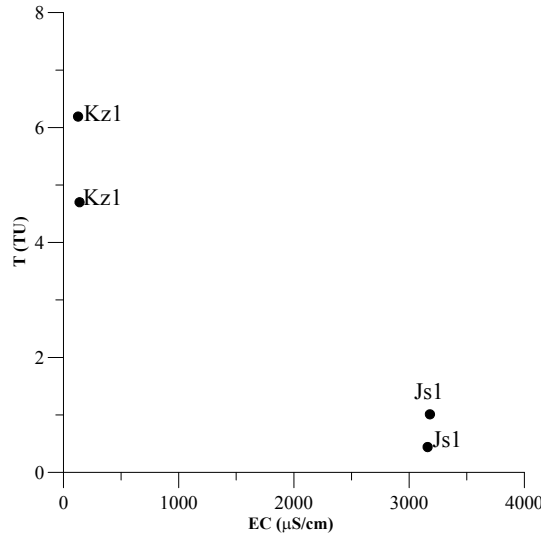
**Çizelge 5.** Bazı su örneklerinin izotop analizi sonuçları.**Table 5.** Isotope analysis results of some water samples.

| Örnek No | Açıklama    | Tarih  | Türü       | $\delta D$ (‰) | T (TU) | $\delta^{18}O$ (‰) | EC ( $\mu S/cm$ ) | Cl (mg/L) | T (°C) |
|----------|-------------|--------|------------|----------------|--------|--------------------|-------------------|-----------|--------|
| Js1      | Çan         | Eyl.05 | Sıcaksu    | -56.11         | 0.44   | -7.49              | 3160              | 201       | 45.5   |
| Js1      |             | Oca.06 | Sıcaksu    | -47.85         | 1.01   | -7.55              | 3180              | 221       | 41.0   |
| Kz1*     | Kızılelma   | Eyl.05 | Soğuksu    | -47.54         | 6.19   | -8.99              | 127               | 6         | 14.0   |
| Kz1*     |             | Oca.06 | Soğuksu    | -57.51         | 4.70   | -8.96              | 140               | 7         | 6.9    |
| Ka1      | Alanköy     | Şub.08 | Kar        | -91.49         |        | -15.58             | 26                | 3         | 7.9    |
| Ka2      | Bardakçılar | Şub.08 | Kar        | -47.94         |        | -9.73              | 25                | 3         | 9.9    |
| Ed1*     | Kestanbol   | Eyl.05 | Deniz suyu | 11.43          | 2.02   | 0.64               | 56600             | 26326     |        |
| Ed1*     |             | Ağu.07 | Deniz suyu | 15.56          | 1.33   | 1.59               | 55400             | 24648     |        |

\*:Baba ve diğ. (2008)'den alınmıştır.

Tritiyumun yarılanma ömrü 12.43 yıldır ve hidrojeolojide yaş tayini için kullanılmaktadır. Tritiyum, doğal oluşumunun yanında, termo-nükleer testler sonucunda da oluşmaktadır. Özellikle 1952'den sonra başlayan nükleer testleri takiben artan T oranı, 1963'te bu testlerin durdurulmasından sonra giderek azalmaya başlamıştır. 1952 yılı öncesinde yağış suyundaki T miktarı yaygın olarak 5 TU kadardır. 1952 yılı öncesine ait yeraltı sularında tritiyum miktarı "0" (pratikte <0.5

TU) iken, 1952 sonrasında önemli miktarlara erişmiştir (pratikte >10TU). Bu suların karışımı ile tritiyum miktarı 0.5-10 TU olan sular gözlenmektedir (Mazor 2004). Çan Havzası için 1963 yılı öncesinde yeraltı sularındaki tritiyum miktarı net bilinmemesine karşın yukarıda verilen değerler dikkate alınarak 10 TU olduğu kabul edildiğinde, bunun günümüze kadar gelen miktarı aşağıda eşitlik (1)'de verilen bozunma denkleminde göre şöyle hesaplanır (Kendall ve Caldwell 2006):

**Şekil 10.** Su örneklerinin T (tritium)-EC diyagramındaki yerleri.**Figure 10.** Plot of water samples in T (tritium)-EC diagram.



$$A_1 = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$A_1$ : Güncel trityum miktarı (TU),  $A_0$ : Başlangıçtaki trityum miktarı,  $\lambda$ : Trityumun yarılanma süresi ( $0.056 \text{ yıl}^{-1}$ ),  $t$ : Başlangıçtan herhangi bir  $t$  anına kadar geçen süre (yıl).

Yukarıdaki formüle göre  $t=2010-1963 \Rightarrow 47$  yıl için  $A_1 = 0.72$  TU olarak hesaplanır. Buna göre  $0.72$  TU'dan fazla trityum içeren sular, nükleer testlerden sonra oluşmuş meteorik suların yeraltı sularına karıştığını işaret eder. Çan Sıcak Su Kaynağı'na ait suların trityum değerleri iki dönemin birinde  $0.72$  TU'dan daha düşüktür. Bu sebeple, kaynağa ait sıcak suların kökeni meteorik olup normalde nükleer testlerden etkilenmemiş ve 45-50 yıldan daha yaşlı sulardır ancak bu suların yüzeye yükselimleri sırasında, soğuk sularla karışmaları nedeniyle trityum değerlerinde artış olmaktadır. İki dönem arasında suların sıcaklıklarındaki fark bu görüşü desteklemektedir. Kz1 nolu soğuk su kaynağına ait trityum değerlerine göre bu su kütlesi, nükleer testlerden sonra yeraltı sularına karışmış meteorik kökenli sudur. Çizelge 5'te görüldüğü gibi jeotermal suların, yeraltında kalış süreleri ve sıcaklıkları soğuk sulara göre yüksektir. Bu nedenle yüksek oranda su-kayaç etkileşimine maruz kaldıklarından EC değerleri yüksek ve yeraltında kalış sürelerinin uzunluğu nedeniyle trityum değerleri düşüktür (Şekil 10).

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çan Sıcak Su Kaynağı ve çevresinde gözlenen jeolojik birimler alttan üste; Orta-Geç Eosen yaşlı Şahinli Formasyonu, Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Hallaçlar Volkaniti, Erken Miyosen yaşlı Ezine Volkaniti, Erken-Orta Miyosen yaşlı Çan Formasyonu, Orta Miyosen

yaşlı Işıklı Riyoliti, Pliyosen yaşlı Bayramiç Formasyonu ve tüm birimleri örten Kuvaterner yaşlı Alüvyon'dur. Sondaj loglarında Sahinli Formasyonu'nun altında Kretase veya öncesi yaşa sahip Çamlıca Metamorfileri bulunur. Çan Sıcak Su Kaynağı için, Çan Formasyonu'na ait ince taneli tortullar örtü kayacıdır. Şahinli Formasyonu'nun aglomera, tuf ve andezitleri ile Çamlıca Metamorfileri'nin tektonizma ve ayrışma ile ikincil gözeneklilik kazanmış düzeyleri jeotermal sistemin muhtemel hazne kayalarıdır.

Çalışma alanındaki jeolojik birimler arasında alüvyon diğer birimlere göre oldukça verimli bir akiferdir. Verimleri 5-30 L/s arasında değişen sondajların kuyu testlerinden Theis yöntemi ile akiferin transmissibilitesinin  $50-421 \text{ m}^2/\text{gün}$  arasında ve geçirgenliğinin  $1.0-16.8 \text{ m/gün}$  arasında olduğu hesaplanmıştır. Diğer jeolojik birimler ikincil gözenekliliğe bağlı olarak oluşmuş çatlak akiferi özelliği taşır.

Çan Havzası'nda yeraltı suyu derinliği  $0.1-8.3 \text{ m}$  arasında değişmektedir. Kış ve yaz arasındaki derinlik farkı  $0.1-3.8 \text{ m}$  arasındadır. Yeraltı suyu derinliği genel olarak topoğrafya ile uyumludur. Yaz aylarında havzanın alüvyon kesiminde bulunan sondajlar daha yoğun çalışmakta ve su seviyesini düşürmektedir.

Bölgedeki sıcak sular  $\text{Na-Ca-SO}_4$  tipindedir ve kısmen dengelenmiş ( $\text{Na-K-Mg}$  üçgen diyagramına göre) buharla ısınmış sular ( $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$  üçgen diyagramına göre) olarak tanımlanmıştır. Soğuk su kaynakları ve sondajlar genelde  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  su tipinde ve kar örnekleri karışık su tipindedir. Çalışma alanındaki sıcak sularda Na, K,  $\text{SO}_4$ , B, Mn, Fe ve As derişimleri ile soğuk sularda bazı

örneklerde As, Fe, Al, Ni ve Mn derişimleri TS266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'ne göre izin verilen maksimum değerleri aşmaktadır. Bu suların içme amacıyla tüketilmesi sağlık problemi yaratabilir.

Sıcak suların mineral doygunluk indeksi hesaplamalarına göre yüzey koşullarında albit, mikroklin, kalsedon ve kuvars doygunluk üstü değerlerde, anhidrit ve amorf silis doygunluk altı değerlerdedir. Sıcaklık artışı ile çözünürlüğü artan mineraller kalsit ve anhidrit, sıcaklık artışı ile çökme eğilimine giren mineraller mikroklin, albit, kuvars, kalsedon ve adularyadır. Hazne şartlarında kalsit, suda doygunluk üstü değerlerdedir. Amorf silis, yüzeyde olduğu gibi hazne koşullarında da doygunluk altı değerlerdedir. Sıcak sulara uygulanan çözünürlük jeotermometreleri eşitliklerinden hazne akışkan sıcaklığı için geniş bir aralık (46-203°C) elde edilmiştir.

Sıcak sular meteorik kökenli olup, 45-50 yıldan daha yaşlı sulardır, ancak bu sular yüzeye çıkışları sırasında soğuk sularla karıştığından trityum değerleri artmaktadır. İncelenen kaynaktaki sıcak sular yeraltında kalış sürelerinin uzunluğu ve sıcaklıkları sebebiyle su-kayaç etkileşimi fazla olan sular olduğundan, EC değerleri artmış, trityum değerleri düşmüştür.

## KATKI BELİRTME

Ozan Deniz'in doktora tezinin bir bölümünü içeren bu çalışmanın su örneklemeleri ve arazi çalışmaları CAYDAG-104Y082 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar bu katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

## EXTENDED SUMMARY

*This study includes a part of Ozan Deniz's PhD thesis. The aim is to determine the hydrogeochemical and hydrogeological characteristics of the thermal and cold groundwater in the Çan district and its surroundings. Detailed field and laboratory studies were carried out for this purpose. Electrical conductivity, oxidation-reduction potential, pH, salinity and bicarbonate concentration of the water were measured in-situ in the years 2006-2008. 6 hot water samples were taken from the Çan Hot Spring at different times. Cold groundwaters were sampled around the hot spring, and the chemical components of these waters were measured in the ACME Canada Laboratory and the Çanakkale Onsekiz Mart University Hydrogeology, Geological Engineering Department's laboratory. Isotopic components were analyzed in the DSİ Ankara TAKK Isotope Laboratory ( $^2\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$ ) and in Hacettepe University Hydrogeology Department's Mass Analysis Laboratory of ( $^3\text{H}$ ). Chemical analysis results were evaluated using Aquachem3.7 (Calmbach 1997), Watch2004 (Bjarnason 1994) and Grapher (Golden 2005) softwares.*

*Çan is located on a central part of the Biga Peninsula in northwest Turkey. The peninsula is bounded by the Marmara Sea to the north, the Dardanelles to the northwest and the Aegean Sea to the southwest. This area is affected by a branch of the North Anatolian Fault Zone and many geothermal areas are found in the peninsula. The Çan Geothermal Field is one of them and it has been used for bathing and therapeutic purposes for many years. There are several geothermal wells near the spa building but only one is currently used for thermal water production.*

The basement rocks of the Biga Peninsula are composed of Late Carboniferous - Early Triassic aged metamorphic rocks named the Kazdağ Metamorphics. The Late Permian-Early-Middle Triassic aged Karakaya Complex and Triassic aged Kalabak Unit were settled on these metamorphic, which has a tectonic boundary. Volcanic and sedimentary rock series cover these rocks in the peninsula. Several rock types are seen around the Çan Hot spring. Çamlıca metamorphics are the basement rocks in the study area. These rocks have been overlain by several volcanic and sedimentary formations. From bottom to top these formations are: the Middle-Late Eocene Şahinli Formation, the Late Oligocene-Early Miocene Hallaçlar Volcanics, the Early Miocene Ezine volcanics, the Early-Middle Miocene Çan Formation, the Middle Miocene Işıkeli Rhyolite, the Pliocene-Quaternary Bayramiç Formation and the Quaternary alluvium. Alteration zones and clay minerals are very common in volcanic rocks in the area. Geological formations include common fracture zones due to the tectonic activity in the region. Hot waters ascend to the surface via an extensional fracture related to a dextral strike-slip fault system in the Çan Hot Spring.

Alluvium is the most productive aquifer in all geological units. Wells drilled in this unit yield between 5-30 L/s. The transmissibility (T) and permeability (K) coefficients of the alluvium were calculated using some aquifer pumping test reports of the wells. Calculations were done using the Thies method. According to the calculations, the transmissibility and permeability coefficients are of 50-421 m<sup>2</sup>/day and 1.0-16.8 m/day, respectively. Clayey and fine grained layers of the Çan Formation are accepted as cover rocks of the geothermal

system in the Çan region. The probably reservoir rocks of this system are the agglomerate, tuff and andesite levels of the Şahinli Formation and schists which demonstrate a second porosity via tectonism and the weathering processes of Çamlıca Metamorphics.

Groundwater levels in the wells were measured in both dry and rainy seasons in the Çan Basin. According to these measurements, the groundwater depth changes between 0.1 and 8.3 m, and the depth difference between winter and summer is 0.1-3.8 m.

Thermal and cold groundwater samples were taken from many water points in the Çan district and its surroundings. Results of some previous studies' chemical analyses were used. The values of the mean temperature (T), electrical conductivity (EC) and pH of the thermal waters were 44.4 °C, 2941 µS/cm and 6.9, respectively. Cold groundwaters including wells and springs have different physical properties from those of the thermal waters. The mean T, EC and pH of these waters were 15.9 °C, 730 µS/cm and 7.1. The water requirements of the city center and factories are supplied from drilling wells.

According to the water classification method of the IAH (1979), the thermal waters in our study area are of the Na-Ca-SO<sub>4</sub> type, the cold waters are of the Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> type and the snow samples are of the mixed water type. Geothermometer equations were used to predict the reservoir fluid temperatures of the geothermal system and the temperature values obtained lay between 46 and 203 °C.

Isotope analyses ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ , T) results were plotted in  $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$  diagram. The location of the thermal waters was found to be around the Global Meteoric Water Line

$(\delta D=8*(\delta^{18}O)+10)$  and *Marmara Meteoric Water Line* ( $\delta D=8*(\delta^{18}O)+15$ ) in the diagram. This result shows that geothermal waters have a meteoric origin. A conceptual model was prepared for the *Çan Geothermal System*. In this model, meteoric waters enter the groundwater system via percolation to the ground, the tritium contents of these waters being about 5 TU. After these waters are heated by conductive heating at depth, for a minimum 45-50 years, they ascend to the surface as thermal water with a lower tritium content (<0.72 TU).

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46, 1513-1532.
- Baba, A., Gündüz, O., Save, D., Gürdal, G., Bozcu, M., Sulun, S. ve Özcan, H., 2008. Çan Kömür Havzası'ndaki madencilik faaliyetlerinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi. TÜBİTAK proje no: 106Y041, (yayınlanmamış).
- Bjarnason, J.O., 1994. The speciation program WATCH, upgrade version 2.3 (January 2004) Orkustofnun, Reykjavik. 7pp.
- Calmbach, L., 1997. AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, Waterloo Hydrogeologic. Canada.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., 2000. Geothermometry. S. Arnórsson, (Ed.), *Isotopic And Chemical Techniques In Geothermal Exploration, Development And Use* içinde (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 s.
- Dönmez, M., Akçay, E. A., Genç, Ş. C. ve Acar, Ş., 2005. Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *MTA Dergisi*, 131, 49-61.
- Dönmez, M., Akçay, A. E., Duru, M., Ilgar, A., ve Pehlivan, Ş., 2008. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları-Ayvalık-H17 paftası. MTA Yayın No: 98, 27 s.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Ilgar, A., Dönmez, M. ve Akçay, A. E., 2007. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları-Ayvalık-İ17 paftası. MTA Yayın No: 98, 36 s.
- Eisenlohr, T., 1995. Die Thermalwässer der Armutlu-Halbinsel (NW Türkei) und deren Beziehung zu Geologie und aktiver Tektonik. Dissertation, ETH Zurich No: 11340, 165 s.
- Erzeneoğlu, Z. ve Şaroğlu, F., 1993. Çan (Çanakkale) Kaplıcası sıcak su sondajı yer belirleme çalışması. MTA Rapor No: 42897, (yayınlanmamış).
- Fouillac, C. ve Michard, G., 1981. Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs, *Geothermics*, 10, 55-70.
- Fournier, R. O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- Fournier, R. O., 1979. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot-spring systems, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5, 1-16.
- Fournier, R. O., 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. F. D'Amore (Ed.). *Applications of Geochemistry In Geothermal Reservoir Development* içinde (37-69). UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources, Rome, 408 s.
- Gat, J. R. ve Garmi, L., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *Journal of Geophysical Research*, 75, 3039-3048.
- Giggenbach, W. F., Confiatini, R., Jangi, B. L. ve Truesdell, A. H., 1983. Isotopic and chemical composition of Partabi Valley geothermal discharges, northwest Himalaya, India, *Geothermics*, 12, 199-222.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 2749-2765.
- Golden Software, 2005. Grapher Trial Version 5.00. Golden Software Inc., Colorado-USA.
- Güleç, N. ve Mutlu, H., 2002. Jeotermal alanlarda izotop jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları içinde (74-103), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 301 s.
- IAH (International Association of Hydrogeologists), 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000, United Kingdom.
- Kendall, C. ve Caldwell, E. A., 2006. Fundamentals of isotope geochemistry. C. Kendall ve J. J. McDonnell, (Eds.), *Isotope Tracers In Catchment Hydrology* (4. Baskı) içinde (51-84), Elsevier, The Netherlands, 839 s.
- Kharaka, Y. K., Lico, M. S. ve Law, L. M., 1982. Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California basins, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 66, 588.
- Mazor, E., 2004. *Chemical And Isotopic Groundwater Hydrology* (3.Baskı). Marcel Dekker Inc., New York, 453 s.
- MTA, 2002. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No1 ve No7. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, 263 s.

- Nieva, D. ve Nieva, R., 1987. Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP, 7, 243-258.
- Öktü, G. ve Dilemre, A., 1997. Türkiye termal ve mineralli sular envanteri-Çanakkale. MTA Rapor No: 10393, 62 s.
- Önder, İ., 2002. Çan Jeotermal Alanı sıcak su aramaları jeofizik rezistivite (DES) ve SP-türev etütleri raporu, 10 s. (yayınlanmamış).
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions - American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Siyako, M., Bürkan, K. A. ve Okay, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaları'nın Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1, 183-199.
- Sheppard, S. M. F., 1981. Stable isotope geochemistry of fluids. D. T. Rickard ve F.E. Wickman (Eds.), Chemistry and geochemistry of solutions at high temperatures and pressures. Physics and Chemistry of the Earth, 13/14, 419-445.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal su kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları içinde (230-271), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 301 s.
- Taylor, H. P., Jr., 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. Economic Geology, 69, 843-883.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, 428-443.
- Truesdell, A. H., 1976. Summary of Section III. Geochemical techniques in exploration. 2nd UN Symposium on the development and use of geothermal resources, San Francisco, 1975, 1, liii-lxxix.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yaltrak C. ve Okay, A.İ., 2004. Edremit Körfezi kuzeyinde Paleotetis birimlerinin jeolojisi. İTÜ Dergisi, 3 (1), 67-79.
- 17-06/28, 2001. TEAŞ sondajı DSİ kuyu kütüğü. Çanakkale.
- 17-06/30, 2001. TEAŞ sondajı DSİ kuyu kütüğü. Çanakkale.
- 17-06/32, 2001. TEAŞ sondajı DSİ kuyu kütüğü. Çanakkale.
- 17-06/33, 2001. TEAŞ sondajı DSİ kuyu kütüğü. Çanakkale.
- 17-06/41, 2004. Çan-Büyüktepe sulama suyu sondajı DSİ kuyu kütüğü. Çanakkale.

---

Makale Geliş Tarihi : 7 Haziran 2010  
Kabul Tarihi : 8 Mart 2011

*Received* : June 7<sup>th</sup>, 2010  
*Accepted* : March 8<sup>th</sup>, 2011