



Ladik-Hamamayağı (Samsun) sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeokimyası ve kökensel yorumu

Hydrogeochemistry and origin of the Ladik- Hamamayağı (Samsun) thermal spring and cold water springs

Fatma GÜLTEKİN, Esra HATİPOĞLU, Arzu FIRAT ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, TRABZON

Geliş (received) : 26 Şubat (February) 2009

Kabul (accepted) : 07 Mayıs (May) 2010

ÖZ

Samsun'un güneyinde yer alan Hamamayağı sıcak su kaynağı ve çevresinde Permian'den Pliyosen'e kadar değişen zaman aralığında çökelmiş ve genellikle volkanik arakatlı tortul kayalardan oluşan birimler yüzeylenmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda yer alan Hamamayağı sıcak su kaynağının sıcaklığı 36°C, pH değeri 6.9-7.1, elektriksel iletkenlik değeri 591-598 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve toplam çözülmüş madde miktarı 485.6-508.5 mg/l arasında değişmektedir. Bu çalışmada, Hamamayağı sıcak su kaynağının farklı uygulamalarda kullanılabilmesi için hazne sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hamamayağı sıcak su kaynağı, soğuk yeraltısuyu temsilen Kocapınar kaynağı ve Hamamayağı Deresi jeokimyasal ve izotopik açıdan incelenmiştir. İnceleme alanındaki sıcak su meteorik kökenlidir. İncelenen sulardaki çözülmüş inorganik karbon üzerinde analiz edilen $d_{13}\text{CVPDB}$ değeri Hamamayağı sıcak su kaynağında ‰ -1.78 ile -1.62, Kocapınar Çeşmesinde -12.18 ile -8.25 ve Hamamayağı Deresi'nde -10.10 ile -8.31 arasındadır. Hamamayağı sıcak suyunda karbon, denizel ve tatlı su karbonatlarının çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Sulardaki sülfat için analiz edilen $d_{34}\text{SCDT}$ bileşimi Hamamayağı sıcak su kaynağında -4.1, Kocapınar Çeşmesinde 3.8 ve Hamamayağı Deresi'nde 1.31 ile 2.7 arasındadır. Hamamayağı sıcak su kaynağının kükürt izotop kompozisyonları, $d_{34}\text{SCDT}$ bileşimine göre indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayalardan gelmektedir. Jeotermal sistemler açısından düşük sıcaklıklı jeotermal sistem sınıfına giren Hamamayağı kaplıca alanında rezervuar sıcaklığının silis jeotermometresi ile 61.63-82.5°C arasında olabileceği hesaplanmıştır. Hamamayağı jeotermal alanında rezervuar kayaç derinliklerinin sığ olması ve aktif fay zonunda bulunması, alana yüksek oranda yeraltısuyu getirmiş, dolayısıyla jeotermal suların sıcaklığı, akışkanın toplam çözülmüş madde miktarı, bor, lityum ve SiO_2 gibi yüksek sıcaklıkta çözünen elemanların konsantrasyonları düşük ve su-kayaç etkileşimi azdır.

Anahtar Kelimeler: Duraylı izotop, Hamamayağı, hidrojeokimya, Ladik, Samsun, sıcak su.

ABSTRACT

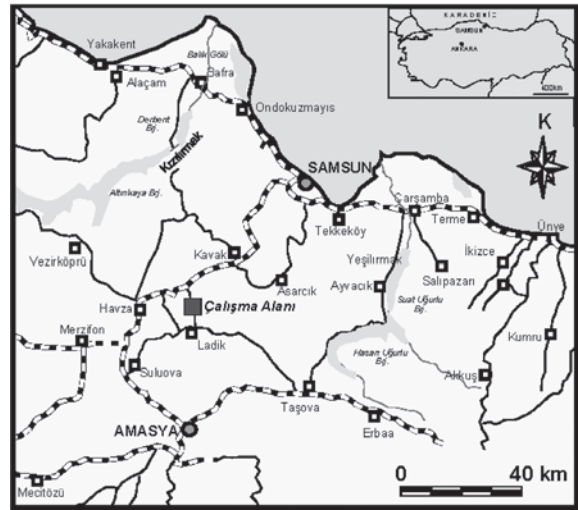
The Hamamayağı Thermal Spring is located to the south of Samsun, within the North Anatolian Fault Zone. The units exposed in the Hamamayağı Thermal Spring and vicinity are composed of sedimentary rocks intercalated with volcanics ranging from Permian to Pliocene in age. The temperature, pH value, electrical conductivity and total dissolved solids of the spring water are 36°C, 6.9-7.7, 591-598 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 485.6-508.5 mg/l, respectively. The aim of this study is to determine of the temperature of the geothermal reservoir that might be used for different purposes. In this study, the Hamamayağı thermal spring, Hamamayağı stream and Kocapınar fountain representing cold groundwater are investigated in terms of their geochemical and isotopic properties. Based on the $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and ^3H isotope data, the Hamamayağı thermal spring is of meteoric origin. The $\delta^{13}\text{C}$ values for dissolved inorganic carbonate in the thermal waters, in the Kocapınar fountain and in the Hamamayağı Stream range from -1.78 to

-1.62‰, -12.18 to -8.25‰ and -10.10 to -8.31‰ respectively. The carbon in the Hamamayağı thermal spring originates from the dissolution of marine and fresh water carbonates. The $\delta^{34}\text{S}$ content of the sulfate in the thermal waters ranges between -4.2 and -4.1‰. $\delta^{34}\text{S}$ values are related to diagenetic environments which are characterized by reduced sulfur compounds. The reservoir temperature of the Hamamayağı thermal field that is characterized by a low enthalpy geothermal system lies roughly between 61.63- 82.5°C as calculated using a silica geothermometer. In the Hamamayağı geothermal field located in the North Anatolian Fault Zone, shallow reservoir rocks and an active fault system provide large amounts of groundwater circulation. Therefore, the temperature of geothermal waters, water-rock interaction and related total dissolved solids contents, especially those of boron, lithium and silica which are dissolved at high temperatures, are all low.

Key Words: Environmental isotope, Hamamayağı, hydrogeochemistry, Ladik, Samsun, thermal spring.

GİRİŞ

Hamamayağı sıcak su kaynağı Samsun'un Ladik ilçesi Hamamayağı Köyü'nde yer alır. Bu çalışma, 1/25.000 ölçekli Çorum G35-b1 paftası içerisinde Hamamayağı ve Kocapınar köylerinin de yer aldığı yaklaşık 46 km² lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fay Zonunda (KAFZ) yer alan Hamamayağı sıcak su kaynağı kaplıca amaçlı kullanılmaktadır. Kaplıca alanı ve yakın çevresini içeren çalışmalar çoğunlukla genel jeoloji amaçlı (Alp, 1972; Öztürk, 1979; Yoldaş vd., 1985; Akdağ, 1992) olmakla beraber, petrol (Gedik ve Korkmaz, 1984), hidrojeoloji (Yenal vd., 1976; Akkuş vd., 1992, Akkuş vd., 2005) ve çevre jeolojisi (Gülbrahimioğlu vd., 2000) konularını içerenler de mevcuttur. Hamamayağı kaplıca kaynağı ile ilgili çalışmalar genellikle MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış çalışmalardır. İnceleme alanında jeotermal ve jeofizik incelemeler sonucunda derinlikleri 178-298.7 m arasında değişen sondajlar yapılmıştır (Keskin, 1987; Özten ve Yurtseven, 1996). Bu sondajların derin olan ikisinde 38°C, daha sığ olanında 28°C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir (Akkuş vd., 2005). Bu kuyulardan ve sıcak su kaynağından alınan suların pH değerleri 7.5-7.7, elektriksel iletkenlik (Ei) değerleri 406-580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, buharlaşma kalınlığı 284-334 mg/l (Çizelge 1), toplam bor (B) 0.3 mg/l, toplam arsenik (As) 0.01-0.1mg/l, Lityum iyonu (Li^+) <0.1 mg/l, silis (SiO_2) 19.2-32 mg/l, florür (F^-) 0.2-0.55 mg/l, iyodür (I^-) 0.1-0.5 mg/l aralığındadır (Çizelge 2). Uzun yıllardan bu yana balneolojik amaçlı olarak kullanılan sıcak sular halen aynı amaçla kullanılmaktadır. Yüze çıkış sıcaklığı yaklaşık 36°C, debisi 18 l/sn (Akkuş vd., 2005) olan Hamamayağı sıcak su kaynağı Ladik



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the study area.

Belediyesi tarafından işletilen modern bir kaplıca tesisinde kullanıma sunulmuştur.

Bu çalışmada, Hamamayağı (Ladik- Samsun) sıcak su kaynağının ve çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri ve sıcak kaynak suyunun hazne sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kaplıca suyunun oluşumu, fiziksel ve kimyasal özellikleri ve doğal izotop bileşimleri belirlenerek, kaplıca suyunun hazne sıcaklığı kimyasal jeotermometrelerle hesaplanmış ve jeotermal açıdan önemine değinilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Saha çalışmalarında yörede, Hamamayağı sıcak su kaynağından ve kaynağın çevresinde yer alan bir akarsu ve yeraltısuyu temsil eden soğuk bir kaynak olmak üzere toplam 4 adet su

Çizelge 1. Hamamayağı jeotermal alanındaki sıcak, soğuk ve yüzey sularının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (iyon derişimleri mek/l'dir).
Table 1. Results of the physical and chemical analyses of the Hamamayağı thermal and cold waters (ion concentrations are in meq/l).

Örnek No.	Örnek tipi	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Su tipi	HCO ₃ /SO ₄	Na/K	Na/Ca
HK	Sıcak su kaynağı	Ksm-06	36.7	7.1	598	485.6	2.63	2.50	1.05	0.08	5.48	0.51	0.19	CaMgHCO3	10.65	13.62	0.40
		Nsn-07	34.7	7.05	601	508.5	3.08	2.49	1.03	0.07	6.09	0.30	0.13	CaMgHCO3	20.45	13.92	0.34
		Agst-07	35.4	6.9	591	507.2	2.91	2.37	1.17	0.07	5.98	0.43	0.16	CaMgHCO3	14.00	16.29	0.40
HK-88*	Sıcak su kaynağı	1988	36	7.6	570	298**	3.00	2.25	1.04	0.07	5.61	0.92	0.34	CaMgHCO3	6.12	15.65	0.35
HH-1*	Sondaj kuyusu	1988	36	7.5	580	334**	3.00	2.42	1.04	0.07	5.80	0.77	0.34	CaMgHCO3	7.53	15.65	0.35
SLH-1*	Sondaj kuyusu	1995	38	7.7	406	284**	2.40	0.26	1.30	0.08	4.79	0.42	0.39	CaNaHCO3	11.49	16.96	0.54
KPÇ	Soğuk su	Ksm-06	16	7.3	598	466.5	5.30	0.32	0.17	0.02	5.69	0.07	0.06	CaHCO3	85.28	10.17	0.03
		Nsn-07	12.1	7.13	544	481.7	5.45	0.40	0.20	0.01	5.89	0.05	0.03	CaHCO3	117	15.60	0.04
		Agst-07	13.8	7.13	527	384.8	3.02	0.38	0.16	0.02	3.45	0.07	0.04	CaHCO3	48.74	10.20	0.05
HD		Ksm-06	10	8.06	294	260.7	2.65	0.29	0.23	0.09	2.94	0.25	0.10	CaHCO3	11.78	2.68	0.09
HDY		Nsn-07	10.1	8.4	449	381.4	4.02	0.51	0.29	0.03	4.57	0.13	0.05	CaHCO3	34.15	8.61	0.07
HDA	Akarsu	Nsn-07	12	8.2	456	393.8	4.08	0.63	0.33	0.04	4.67	0.16	0.07	CaHCO3	28.73	8.32	0.08
HDY		Agst-07	27.4	8.42	349	272.7	2.84	0.54	0.29	0.06	3.09	0.17	0.11	CaHCO3	18.60	5.16	0.10
HDA		Agst-07	28.4	7.99	423	378.5	3.04	0.97	0.50	0.09	4.43	0.23	0.16	CaMgHCO3	19.52	5.57	0.16

HDY: Hamamayağı Deresi kaplıca kaynağından yukarı, HDA: Hamamayağı Deresi kaplıca kaynağından aşağısı,

* Akkuş vd. (2005)' den alınmıştır.

** Buharlaştırma kalıntısı

Ksm: Kasım; Nsn: Nisan; Agst: Ağustos

Çizelge 2. Hamamayağı kaplıca kaynağı, sıcak su sondajları ve soğuk suların iz element içerikleri (konsantrasyonlar mg/l'dir).

Table 2. Trace element contents of the thermal spring of Hamamayağı, drilling well water and cold waters (concentrations are in mg/l).

	HK	HK-88	HH-1	SLH-1	KPÇ	HD
Al	0.0400	-	-	-	0.010	0.011
As (toplam)	0.0171	0.02*	0.01*	0.1*	7.00	2.20
B (toplam)	0.3430	0.30*	0.30*	0.1*	0.013	0.022
Br	0.0270	-	-	-	0.020	0.015
Cs	0.0050	-	-	-	<0.01	0.08
F	0.3360	0.55*	0.51*	0.2*	0.15	0.09
I	-	0.50*	0.50*	0.1*	-	-
Li	0.0261	<0.10*	<0.1*	0.1*	0.0026	0.0152
Rb	0.0060	-	-	-	0.0026	0.0038
SiO ₂	20.75	32.00*	32.00*	19.00*	10.48	36.00

* Akkuş vd. (2005)'den alınmıştır.

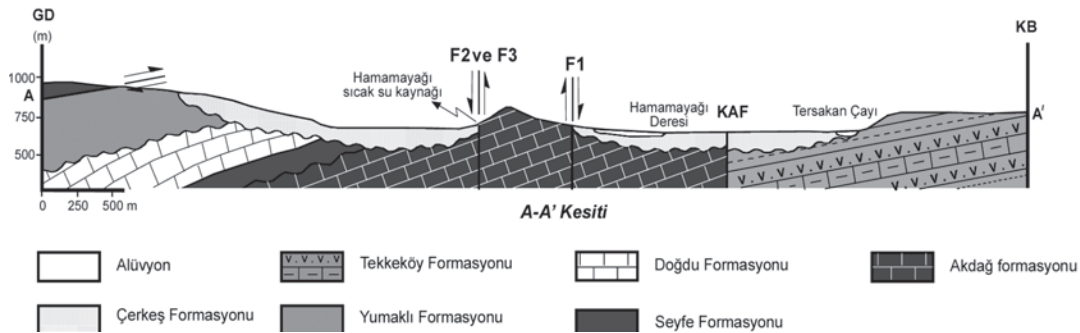
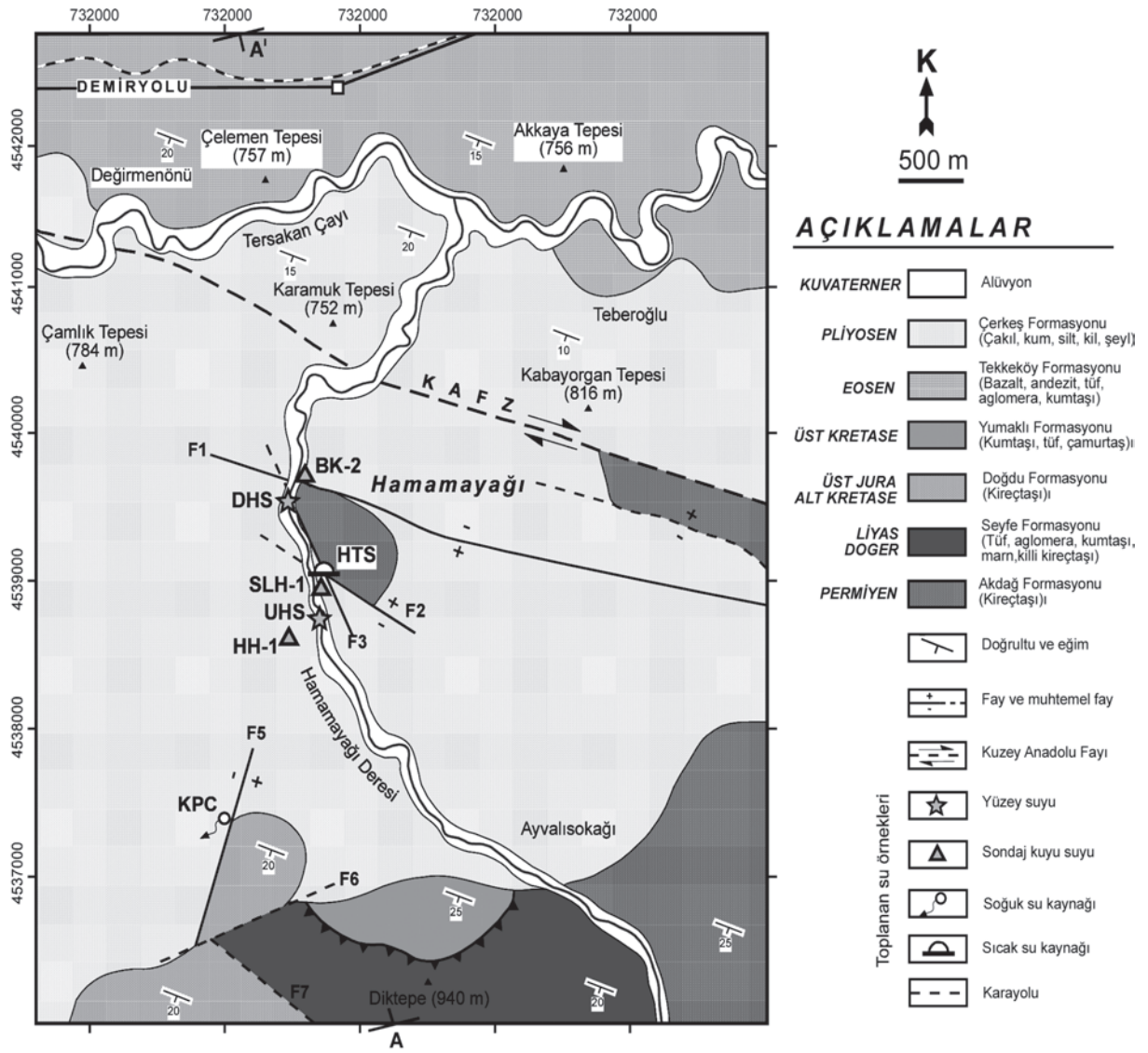
HD: Hamamayağı Deresi'nden kaplıca kaynağına göre akış yukarisından alınmıştır.

noktasından yağışlı, kurak ve ara dönemlerde ana anyon-kasyon, oksijen-18, döteryum, trityum, karbon-13 ve kükürt-34 izotop analizleri için örnekleme yapılmıştır. Yüzeysel su olarak Hamamayağı Deresi boyunca, derenin kaynağına yaklaşık 150-200 m uzaklıkta olacak şekilde derenin akışaşağı ve akışyukarı kesimlerinden örnekler alınmıştır. Yeraltısuunu temsil üzere Kocapınar Kaynağı'ndan (çeşme) örnekleme yapılmıştır (Şekil 2). Örnekleme işlemine 2006 Kasım ayında başlanmış ve 2007 Ekim ayında tamamlanmıştır. Ana anyon-kasyon analizleri için örneklemede 1 lt'lik polietilen şişeler, oksijen-18, döteryum ve trityum analizleri için 1 lt'lik plastik, karbon-13 için 1 lt'lik polietilen, kükürt-34 için 2 lt'lik koyu renkli cam şişeler kullanılmıştır. Ayrıca örnekleme yapılan noktalarda sıcaklık (T), pH, Eİ ve toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) yerinde çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür. Alınan örneklerin koordinatlarının belirlenmesinde el GPS'i kullanılmıştır. Su örneklerinin kimyasal analizleri; ana anyon (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻), ana kasyon (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) içerikleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Laboratuvarı'nda iyon kromatografi yöntemiyle yaptırılmıştır. Suların oksijen-18 (¹⁸O), döteryum (²H) izotop analizleri kütle spektrometresi, trityum (³H) analizleri ise sıvı sin-tilasyon sayma tekniği ile DSİ Teknik Araştırma

ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda, karbon-13 (¹³C) ve kükürt-34 (³⁴S) izotopları Hatch İzotop Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır. Analiz hassasiyetleri, ¹⁸O için ± 0.15, (²H) için ± 2, karbon-13 (¹³C) için ± 0.2 ve Kükürt-34 (³⁴S) için 0.2'dir.

JEOLOJİ

İnceleme alanının jeoloji haritası, Alp (1972), Öztürk (1979) ve Yoldaş vd. (1985)'nin çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Çalışma alanındaki en yaşlı birim, blok görünümlü, gri-kurşuni, bol kalsit damarlı, sert, kırılğan, pizolitik kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan Permiyen yaşlı Akdağ formasyonudur (Öztürk, 1979). Liyas yaşlı volkanik kayalarla ara katmanlı olan kırıntılı kayalardan oluşan Seyfe formasyonu Permiyen yaşlı kireçtaşları üzerine taban konglomerası ile açılı uyumsuzlukla gelir. Tabanda gri kumlu kireçtaşları düzeyi ile başlayıp üste doğru açık gri kireçtaşlarından oluşan Geç Jura- Erken Kre-tase yaşlı Doğdu formasyonu, Seyfe formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelir (Öztürk, 1979). Üst Kretase yaşlı Yumaklı formasyonu genellikle konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl, çamurtaşı ve tüften oluşur. Eosen yaşlı Tek-keköy formasyonu (Yoldaş vd., 1985) alt kesimlerde kırıntılı çökellerle, üst kesimlerde ise volkanitlerle temsil edilmektedir. KAFZ boyunca



Şekil 2. Hamamayağı (Ladik-Samsun) ve çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesiti (Alp, 1972, Öztürk, 1979 ve Yoldaş vd., 1985'ten değiştirilerek).

Figure 2. Geological map and cross-section of the Hamamayağı thermal spring (Ladik-Samsun) and its vicinity (modified after Alp, 1972, Öztürk, 1979, Yoldaş et al., 1985).

oluşan havzalarda ve karasal ortam koşullarında çökelen Pliyosen yaşlı Çerkeş formasyonu tabanda mavimsi-gri marn, kumlu kireçtaşları, konglomera, şeyl ve volkanik tüf arakatıkları ile başlar ve üste doğru çakıl ve kumlu seviyelerle devam eder (Öztürk, 1979). Daha üst seviyelere doğru formasyon siltli, killi ve karbonatlı bir nitelik kazanır. Alandaki en genç oluşuklar, Tersakan Vadisi ve Hamamayağı Deresi boyunca birikmiş güncel alüvyonal malzemelerdir (Şekil 2).

Çalışma alanı ve çevresinde çeşitli araştırmacılar tarafından (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu vd., 1987) paleotektonik ve neotektonik olmak üzere iki yapısal dönemin izlendiği; paleotektonik dönemde kuzey-güney yönlü sıkışmanın artması sonucu çalışma alanının Eosen sonlarından itibaren kara haline dönüştüğü; neotektonik dönemde, Orta Miyosende Afrika-Arap Kıtası'nın Avrasya Kıtası ile çarpışması sonucu Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform (dönüşüm) faylarının oluştuğu kabul edilmektedir. Pliyosen'de, KAFZ'nun oluşması sonucu meydana gelen çukurluklarda ve karasal ortam koşullarında Çerkeş formasyonu çökelmiş, fayın kontrolünde alüvyon konileri, heyelanlar, göller, sıcak ve soğuk su kaynakları oluşmuş, yan dereler ötelenmiş, özellikle Çerkeş formasyonunda faya paralel sırtlar ve vadiler meydana gelmiştir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu vd., 1987).

Bölgenin en önemli tektonik elemanı olan doğrultu atımlı sağ yönlü KAFZ, Hamamayağı Deresi ve Tersakan Çayı'nı keserek sıcak su kaynağının yaklaşık 1.5 km kuzeyinden, doğudan batıya doğru uzanmaktadır (bkz. Şekil 2). İnceleme alanında çoğunlukla B-D doğrultusunda oluşan ve KAFZ'nu oluşturan yaşlı kırıklar, K-G yönünde etkileyen sıkıştırıcı gerilmeler sonucu oluşmuşlardır. Bu gerilimler sonucu bindirme fayları, eğim atımlı normal faylar meydana gelmiştir. D-B doğrultulu faylara dik ve onları çeşitli açılarla kesen diğer faylar da aynı gerilmelere bağlı olarak gelişmiş sağ ve sol atımlı ikincil faylardır (Öztürk, 1979). KAFZ'nun güneyinde zona paralel F1-F2 fayları, sıcak suyun yüzeye çıkmasını sağlayan F2 fayı ile kesişen, yaklaşık KB-GD doğrultulu F3 fayı bulunmaktadır (bkz. Şekil 2). Çalışma alanının güneyinde Diktepe dolaylarında Liyas yaşlı birimleri Üst kretase yaşlı birimler üzerine iteleyen F4

bindirme fayı bulunmaktadır. Ayrıca alanda Kocapınar Kaynağı'nın yüzeye çıkmasına neden olan Geç Jura-Erken Kretase yaşlı birimlerle Pliyosen yaşlı birimlerin dokanağını KD-GB doğrultulu F5 düşey fayı oluşturmaktadır (bkz. Şekil 2).

HİDROJEOLOJİ

İnceleme alanındaki ana akarsular Tersakan Çayı ve onun bir kolu olan Hamamayağı Deresi'dir. Sıcak su kaynağı, Hamamayağı Deresi yatağında dereye yaklaşık 25-30 m uzaklıkta yüzeye çıkmaktadır. Ladik ilçesinin güneyinden doğan Hamamayağı Deresi, Karageçmiş Köyü'nde Tersakan Çayı'na dökülür. Ladik Gölü'nden doğan Tersakan Çayı ise Hamamayağı Köyü'nün kuzeyinden çalışma alanını doğu-batı yönünde kat edecek şekilde akmaktadır.

Sürekli akışa sahip olan en önemli soğuk su kaynağı, çalışma alanının güneyinde yer alan ve bir çeşme ile kullanılmakta olan Kocapınar Köyü'ndeki kaynaktır. Kocapınar Kaynağı (KPÇ) kumlu kireçtaşlarından oluşan Doğdu formasyonu ile killi siltli merccekler içeren çakıl kum ar dalanmasından oluşan Çerkeş formasyonunun faylı dokanağından yüzeye ulaşır. Kaynak, Doğdu formasyonunu oluşturan kireçtaşı akiferini temsil etmektedir. Bu formasyon ile jeotermal suların hazne kayasını oluşturan kireçtaşlarından oluşan Akdağ formasyonunun hidrolik ilişkisi yoktur. Mevsimsel değişikliklerden etkilenmeyen kaynağın debisi yaklaşık 3 l/s, sıcaklığı ise mevsim sıcaklıklarına bağlı olarak 12-16°C arasında değişmektedir.

İnceleme alanında sıcak su kaynağı şeklinde yüzeye çıkan Hamamayağı kaplıcasının (HK) içerisinde bulunduğu jeotermal sistem KAFZ'nda bulunmaktadır. KAFZ, Ladik-Hamamayağı köyü arasında yaklaşık 1.5 km genişliğindedir. Ana fayın güneyinde kısmen faya paralel F2 fayı ve ana faya büyük açı ile geçen F3 fayı kesilmektedir (bkz. Şekil 2). Hamamayağı sıcak su kaynağı bu iki kırığın kesim noktasından yüzeye çıkmaktadır. İnceleme alanında yüzeylenen ve Hamamayağı kaplıca kaynağının rezervuar kayacını oluşturan ve genellikle kireçtaşlarından oluşan Akdağ formasyonu çatlaklı olması nedeniyle ikincil gözeneklilik kazanmıştır. Genellikle kırıntılı kayaçlardan oluşan ve volkanik kayaçlarla ara katmanlı olan Seyfe formasyonunda kırıntılı kayaçlar ve Doğdu formasyonunu

oluşturan kumlu kireçtaşları ve gri kireçtaşları az geçirimlidir. Yumaklı formasyonuna ait konglomera, kumtaşı ve kumlu kireçtaşları ile Tekkeköy formasyonunun kırıntılı çökelleri geçirimlidir. Karasal ortam koşullarında çökelen Çerkeş formasyonunun üst seviyeleri siltli ve killi olduğu için geçirimsizlikleri oldukça düşüktür. Kaplıca yakın çevresinde Çerkeş formasyonunun altında Akdağ formasyonunun olduğu MTA tarafından yapılan sondajlardan belirlenmiştir (Özten ve Yurtseven, 1996). Dolayısıyla Akdağ formasyonu jeotermal sistemin rezervuar kayacını, Çerkeş formasyonu da örtü kayacını oluşturmaktadır. Jeotermal sistem kuzeyde Üst Kretase yaşlı volkanik kayaçların oluşturduğu Pontid volkanik kuşağı ile Amasya Havzası arasında bulunur. KAF'ın güneyindeki yaşlı birimler fay nedeni ile ötelenerek kuzeydeki genç volkanik birimlerle dokanak oluşturmuştur. Halen aktif olan KAF ve etrafındaki daha küçük ölçekli faylar jeotermal sistemin beslenmesinde etkili olmuştur.

SU KİMYASI

Çalışma alanındaki Hamamayağı kaplıca suyunun (HK), Kocapınar kaynağının (KPÇ) ve Hamamayağı Deresi'nin (HD) hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kaplıca, çeşme ve dereden alınan su örneklerinin analiz sonuçları önceki çalışmalardan alınan ve derin kuyu sularına (HH-1 ve SLH-1) ait analiz sonuçlarıyla birlikte Çizelge 1'de verilmiştir. HK'nın sıcaklığı 36°C, pH değeri 6.9-7.1; Eİ değeri 591-598 µS/cm; TDS değeri ise 485.6-508.5 mg/l arasında değişir. Soğuk kaynak suyu KPÇ'nin sıcaklığı 12.1-16°C, pH değeri 7.13-7.3; Eİ değeri 527-598 µS/cm; TDS miktarı 284.8-481.7 mg/l; yüzey suyu HD'nin sıcaklığı 10-28.4°C, pH değeri 7.99-8.42; Eİ değeri 294-456 µS/cm; TDS miktarı 260.7-393.8 mg/l arasında değişmektedir. Derinliği 299 m olan HH-1 kuyu suyunun sıcaklığı 36°C, pH değeri 7.5; Eİ değeri 580 µS/cm; TDS değeri ise 334 mg/l ve derinliği 255 m olan SLH-1 kuyu suyunun sıcaklığı 38°C, pH değeri 7.7; Eİ değeri 406 µS/cm; TDS değeri ise 284 mg/l'dir (Akkuş vd., 1985). HD'nin sıcaklık ve TDS değerleri, dereye kaplıca suyunun karışmasıyla artış göstermektedir. İncelenen sular kimyasal açıdan (IAH, 1979)'a göre değerlendirilmiş ve su sınıfları Çizelge 1'de verilmiştir. HK suyu CaMgHCO₃,

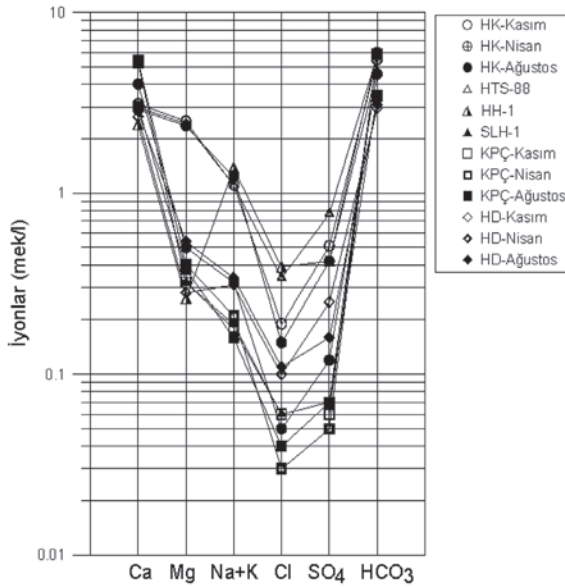
Akkuş vd., (2005)'den alınan analiz sonuçlarına göre sondaj sularından HH-1 CaMgHCO₃, SLH-1 ise CaNaHCO₃ su tipindedir. Soğuk kaynak suyu KPÇ, CaHCO₃; HD CaHCO₃ tipinde, ancak dereye kaplıca suyunun karışımından sonra alınan örnek CaMgHCO₃ tipindedir. Suları birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla Schoeller Diyagramı kullanılmıştır (Şekil 3). Soğuk ve sıcak sular genel olarak birbirine paralellik gösterir, ancak sıcak sular daha yüksek iyon konsantrasyonuna sahiptir (bkz. Şekil 3).

Hidrokimyasal çalışmalar Hamamayağı sıcak su kaynağının hazne sıcaklığını ve derinliğini belirlemede kullanılmıştır. Bu kapsamda akışkanın derinliği, akışkanın hazne sıcaklığı ve su kayaç etkileşimi hakkında bilgi edinmek için Cl⁻, SO₄²⁻ ve HCO₃⁻ gibi anyonlar, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ gibi katyonlar, F⁻, I⁻, Br⁻, B³⁺, Al³⁺, SiO₂ ve Li⁺, Rb⁺, Cs⁺ elementleri gibi nadir alkaliler analiz edilmiştir (bkz. Çizelge 2).

HK'nın Cl⁻ değeri 0.13-0.34 mek/l; SO₄²⁻ değeri 0.54-0.92 mek/l; HCO₃⁻ değeri ise 6.48-6.09 mek/l arasında değişmektedir (Çizelge 1). Klorürün insan kaynaklı kirlilik veya evaporit içeren birimlerden gelmediği durumlarda, jeotermal kaynaklarda yüksek klorür konsantrasyonları, doğrudan derin bir rezervuar kayaçtan beslenmeyi işaret eder ve bu durumda, soğuma veya soğuk su ile karışım en düşük düzeydedir (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağında SO₄²⁻ değeri derin kökenli jeotermal akışkanlarınkine yakın bir değer olmasına rağmen, Cl⁻ konsantrasyonu düşüktür. Hazne kaya üzerinde düşük geçirimli çakıl, kum, silt, kil ve şeylden oluşan Çerkeş formasyonunun bulunması yüzey sularının sıcak su akiferine karışmasına neden olmaktadır. Sıcak su kaynağında HCO₃⁻ hakim anyonu oluşturmakta ve anyon sıralaması HCO₃⁻ >SO₄²⁻ >Cl⁻ şeklindedir. Bu durumda kaynak, derin bir rezervuardan değil de yanal akışın yüksek olduğu daha sığ zondan beslenmektedir. Hamamayağı sıcak su kaynağında TDS değerinin de düşük olması (TDS<600 mg/l) su-kayaç ilişkisinin çok etkili olmadığını veya sıcak suyun TDS değeri düşük sularca (yüzey suları) seyreltilmiş olduğunu göstermektedir.

HK'nın Na⁺ konsantrasyonu 1.03-1.17 mek/l, K⁺ konsantrasyonu 0.07-0.08 mek/l, Na⁺/K⁺ oranı ise 13.62- 16.29 arasında değişmektedir (bkz. Çizelge 1). Na⁺/K⁺ oranının yüksek olması yanal

akışın yüzeye yakın reaksiyonların varlığının ve jeotermal sulara ileten soğumanın göstergesidir (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağının Ca^{2+} konsantrasyonu 2.63-3.0 mek/l, Mg^{2+} konsantrasyonu ise 2.25-2.5 mek/l arasındadır. Yüksek sıcaklıklı akışkanlara göre Ca^{2+} ve Mg^{2+} değerleri daha yüksek olup HK'nın Na^+/Ca^{2+} oranı oldukça düşüktür. Bu durum muhtemelen hazne kayacın kireçtaşı olması veya karışan suların Ca iyonunca zengin olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlarında Mg^{2+} seviyesi genellikle çok düşüktür (0,01- 0,1 mg/l). Çünkü Mg^{2+} ikincil, alterasyon minerali olarak illit, montmorillonit ve özellikle kloritin yapısına kolayca katılır (Hounslow, 1995). Yüksek konsantrasyondaki Mg^{2+} yüzeye yakın yerel kayalardan Mg^{2+} yıkanmasını (leaching) veya görece Mg^{2+} 'ce zengin yeraltı sularıyla ilişkiyi işaret eder (Nicholson, 1993).



Şekil 3. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Schoeller diyagramı.

Figure 3. Schoeller diagram of the water samples from the study area.

F^- , Al , Li^+ , Rb^+ ve Cs^+ gibi iz elementler sıcak su kaynağında genelde düşük değerlerdedir (bkz. Çizelge 2). 0.336-0.55 mg/l arasındaki F^- konsantrasyonu jeotermal akışkanlar için oldukça düşük bir değerdir. F^- konsantrasyonunun düşük olması, kaynağın diğer katyonlara göre daha fazla Ca^{2+} içermesi ve kaynak çevresinde daha çok sedimanter kayaların yer almasının bir sonucudur.

Yüksek F^- konsantrasyonları, sedimanter kayalara göre, riylit, pomza ve obsidiyen gibi volkanik kayaların su-kayaç etkileşimini göstermektedir (Mahon, 1964). Sıcak su kaynağının 0.04 mg/l değerindeki Al konsantrasyonu, kaplıca suyunun nötr pH değerine sahip olmasının bir sonucudur. Jeotermal rezervuarlarda Al konsantrasyonu genellikle 2 mg/l'den düşüktür. Asidik sular ise, su-kayaç ilişkisi nedeniyle yüksek (yaklaşık 100 mg/l) Al içerir (Nicholson, 1993). HK'nın Li^+ konsantrasyonu 0.003-0.021 mg/l gibi düşük değerlerdedir (bkz. Çizelge 2). Soğuk kaynak suyundaki Li^+ konsantrasyonu da yaklaşık aynı değerdedir. Rb^+ , Cs^+ değerleri de oldukça düşüktür. Jeotermal sulara sıcaklık artışı ile Li^+ oranının da arttığı (Kharaka ve Mariner, 1987) bilindiğine göre, Li^+ değerinin düşük olması sıcaklığın $36^\circ C$ gibi düşük, hazne kayacın kireçtaşı ve yüzeysel suların karışımının bir sonucudur.

Kuvars gibi kristal haldeki silisyumun çözünürlüğü normal yeraltı suları sıcaklığında oldukça düşük, jeotermal sulara ise yüksektir (Truesdell, 1984). Hamamayağı sıcak su kaynağının SiO_2 konsantrasyonu 20.75 mg/l, soğuk kaynak suyundaki SiO_2 konsantrasyonu ise 10.48 mg/l'dir. Bu değerler, normal yeraltı sularındaki SiO_2 konsantrasyonuna yakındır. Dolayısıyla bir karışım söz konusudur.

Jeotermal sistemlerde B^{3+} ve Cl^- genellikle suların kökenini ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1976 ve 1991; Arnorsson, 1985; Arnorsson ve Andréddóttir, 1995). Jeotermal sulara çözünürlüğü yüksek olan ve özellikle $>100^\circ C$ üstündeki jeotermal sulara, ikincil iyon olarak yer alan Cl^- ve B^{3+} (Ellis ve Mahon, 1964, 1967) sıcak su kaynağında düşük değerlerdedir. Hamamayağı sıcak su kaynağının B^{3+} konsantrasyonu 0.343 mg/l düzeyinde olup jeotermal sulara göre oldukça düşük değerdedir. Sıcak kaynak suyunun Cl^-/B^{3+} oranının (20.41) da yüzey sularına yakın bir bileşim sunması yüzey suyu karışımını doğrulamaktadır.

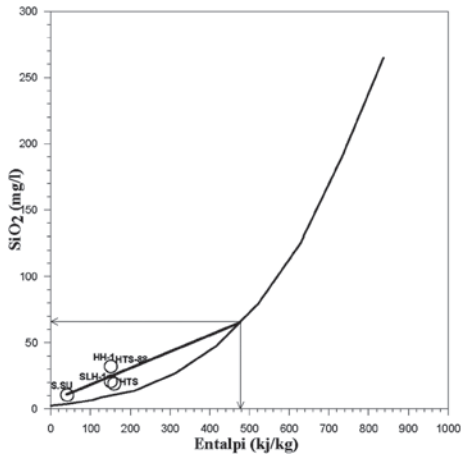
SİLİKA (SiO_2)- ENTALPİ KARIŞIM MODELİ

Hamamayağı kaplıcasının gerek iyon içeriğinin gerekse sıcaklığının düşük olması bu suların soğuk sularla karışmış olması ihtimalini yükseltmektedir. Karışım modeli, Hamamayağı kaplıca

kaynağından alınan örneklerin yanı sıra, Akkuş vd. (2005) tarafından verilen sondaj kuyu sularının analiz sonuçlarına da uygulanmıştır. Sıcak sulardaki klorür iyonu konsantrasyonu oldukça düşük olduğu için SiO_2 - Entalpi karışım modeli kullanılarak karışım oranları hesaplanmıştır (Şekil 4). Hamamayağı kaplıca alanından alınan kaynak ve sondaj suları diyagramda birbirine yakın ve karışım çizgisi üzerine düşmektedir. Genel olarak kaynak sularına ve sondaj sularına soğuk su karışım oranı %74 olarak hesaplanmıştır. SiO_2 - Entalpi diyagramından orijinal suyun entalpi değeri 475 kJ/kg ve buna karşılık rezervuar sıcaklığı 113°C, orijinal sudaki SiO_2 içeriği ise 65 mg/l olarak belirlenmiştir.

JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Jeotermometre uygulamalarında, Hamamayağı kaplıca kaynağı ve Akkuş vd. (2005) tarafından verilen sondaj kuyu sularının analiz sonuçları kullanılmıştır. Hazne kaya sıcaklıklarının belirlenmesinde katyon jeotermometrelerini kullanmak için kimyasal analiz sonuçları Giggenbach (1988) Na-K-Mg diyagramında değerlendirilmiş (Şekil 5), kaynakların olgun olmayan sular bölgesinde yer aldığı görülmüştür. Bu durumda, katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığı tahmininde yanıltıcı sonuçlar verebileceği (Giggenbach, 1988) dikkate alınarak, silis jeotermometresinin uygun olduğu düşünülmüştür. Na/K



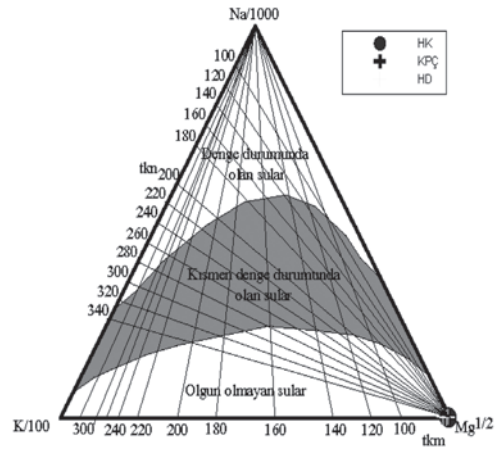
Şekil 4 Hamamayağı Kaplıca alanı için SiO_2 - Entalpi karışım modeli.

Figure 4. SiO_2 - Entalpy mixing model for the Hamamayağı thermal spring area.

jeotermometresi ise bir fikir vermesi açısından kullanılmıştır (Çizelge 3). Sıcak sulara uygulanan amorf silis (Fournier, 1977), kalsedon (Fournier ve Potter, 1982) ve kalsedon (iletken soğuma) (Arnorsson vd., 1983) jeotermometreleri negatif değerler ve kaynağın yüzey sıcaklığına yakın değerler vermiştir. Kuvars (Fournier, 1977) ve kuvars (buhar kaybı) (Fournier, 1977 ve Arnorsson vd., 1983) jeotermometreleri 61.63 ile 83.5°C arasında değişen sıcaklık değerleri vermiştir. Na/K jeotermometrelerinde ise, 183 ile 249°C gibi oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Kuvars (Fournier, 1977) jeotermometresi sonucu hesaplanan 61.63 ile 82.5°C arasında değişen sıcaklıkların SiO_2 - Entalpi diyagramından elde edilen sonuca (113°C) yakın olması HK'nın hazne kaya sıcaklığında silis jeotermometrelerinin daha güvenilir olduğu ve gerçeği yansıttığını düşündürmektedir.

ÇEVRESEL İZOTOPLAR

Çalışma alanındaki HK, KPÇ ve HD alınan su örneklerinin ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C ve ^{34}S izotop bileşimleri Çizelge 4'de verilmiştir. Doğal izotop (^{18}O , ^2H ve ^3H) içeriklerine göre inceleme alanındaki suların kökenleri, beslenme yükselteleri, besleyen yağış türleri ve göreceli olarak yeraltında kalış süreleri belirlenmiştir. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisine göre (Şekil 6), inceleme alanındaki tüm sular dünya meteorik su doğrusuna (Craig, 1961) yakın konumdadır ve dolayısıyla sular meteorik kökenlidir. Döteryum



Şekil 5. Hamamayağı sıcak sularının Giggenbach Na-K-Mg diyagramı (Giggenbach, 1988).

Figure 5. Giggenbach's (1988) Na-K-Mg diagram for the Hamamayağı thermal waters.

Çizelge 3. Hamamayağı kaplıca suyunda silis ve Na/K jeotermometreleri uygulamaları (°C).

Table 3. Silica and Na/K geothermometer applications for Hamamayağı thermal water (°C).

Jeotermometreler	HK	HTS-88	HH-1	SLH-1
T(°C) (kaynak sıcaklığı)	36.00	36.00	36.00	38.00
1SiO ₂ (Amorf silis)	-44.71	-30.94	-30.94	-47.53
2SiO ₂ (Kalsedon)	32.89	50.97	50.97	29.40
3SiO ₂ (Kuars)	65.09	82.55	82.55	61.63
4SiO ₂ (Kalsedon, iletken soğuma)	36.59	52.94	52.94	33.18
5SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	70.41	85.11	85.11	67.34
6SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	68.85	83.50	83.50	65.76
7Na/K	233.08	218.42	218.42	209.51
8Na/K	209.45	193.51	193.51	183.90
9Na/K	249.33	232.86	232.86	222.91

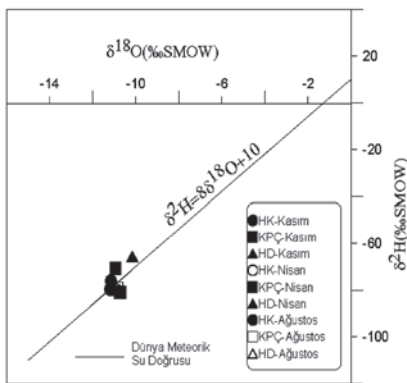
^{1,3,5} Fournier (1977); ² Fournier ve Potter (1982); ^{4,6,7} Arnorsson vd. (1983);
⁸ Fournier ve Truesdell (1973); ⁹ Tonani (1980).

Çizelge 4. İnceleme alanındaki suların doğal izotop analizleri sonuçları.

Table 4. Results of the isotopic analyses of the water samples.

Örnek No.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰SMOW)	^2H (‰SMOW)	d_p	^3H (TU)	^3H Hata	$\delta^{34}\text{S}$ (‰CDT)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰VPDP)
HK*	-11.15	-76.04	13.60	1.00	±0.70	Ölçülmedi	Ölçülmedi
HK**	-10.88	-80.10	6.94	0.40	±0.70	-4.1	-1.78
HK***	-11.18	-79.66	9.78	0.20	±1.00	-4.2	-1.62
KPÇ*	-10.94	-70.60	16.92	8.85	±1.10	Ölçülmedi	Ölçülmedi
KPÇ**	-10.72	-80.97	4.79	9.00	±1.05	++	-12.18
KPÇ***	-10.86	-79.13	7.75	8.05	±1.90	3.8	-8.25
HD*	-10.16	-65.59	15.69	6.15	±0.95	Ölçülmedi	Ölçülmedi
HD**	-10.71	-78.28	7.4	8.10	±1.00	1.31	-10.10
HD***	-10.44	-75.12	8.4	6.90	±1.70	2.7	-8.31

* Kasım 2006 tarihli örnekler; ** Nisan 2007 tarihli örnekler; *** Ağustos 2007 tarihli örnekler
 HD: Hamamayağı Deresi'nden kaplıca kaynağına göre akış yukarisından alınmıştır.
 ++ Yeterli buharlaştırma yapılmadığı için ölçüm alınamamıştır.



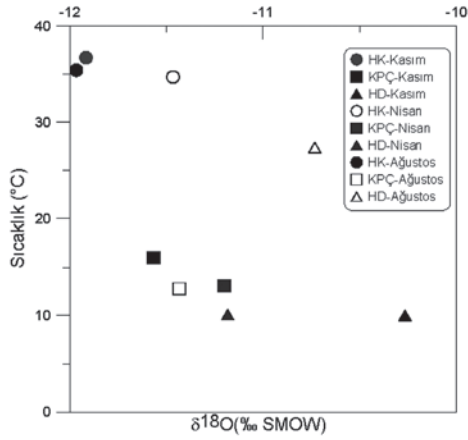
Şekil 6. İncelenen suların oksijen 18- döteryum ilişkisi.

Figure 6. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ relation for the thermal and cold waters.

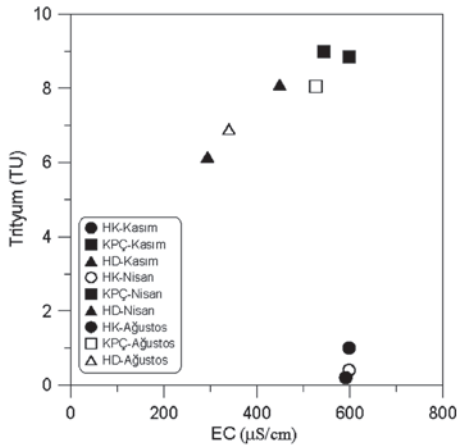
fazlası (Dansgard,1964) (d_p) değerleri gerek sıcak suda, gerekse soğuk sularda Kasım ayında en yüksek, Ağustos ayında en düşük değerdedir (bkz. Çizelge 3). Döteryum fazlası değerinin yüksek olması, inceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların, kış aylarında daha çok buharlaşma etkisi altındaki yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Bu etki yüzey sularının karışımından dolayı sıcak su kaynağında da görülmektedir. $\delta^{18}\text{O}$ -sıcaklık (°C) ilişkisine göre (Şekil 7) sıcak suyun, soğuk suya göre daha yüksek kotlardan ve daha geniş bir havzadan beslendiğini gösterir. Dere suyunun oksijen-18 değerlerindeki değişim yağış şekliyle ilişkili olarak değerlendirilebilir.

Çünkü kış aylarında derenin beslenme kotlarında kar yağışı gözlenmektedir.

HK'nın düşük trityum yüksek Eİ değerine sahip olması bu kaynak suyunun nispeten derin dolaşımli olduğunu göstermektedir. KPÇ'nin, yüksek trityum ve düşük Eİ değerlerine sahip olması (Şekil 8) yeraltında kalış süresinin kısa olduğunu göstermektedir. Yeraltısularının geçiş süresinin ortaya konmasında ^3H izotopu en önemli parametredir. Düşük trityum değerleri derin dolaşımli suları, yüksek trityum değerleri siğ suları temsil etmektedir. İnceleme alanındaki suların sıcaklık-trityum ilişkisi Şekil 9'da görülmektedir. Hamamayağı kaplıcasına ait suların trityum

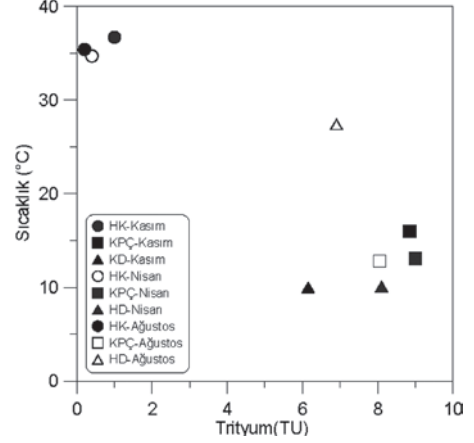


Şekil 7. İncelenen suların sıcaklık-oksijen-18 ilişkisi.
Figure 7. $\delta^{18}\text{O}$ - $T(^{\circ}\text{C})$ relation for the thermal and cold waters.



Şekil 8. İncelenen suların trityum-elektriksel iletkenlik ilişkisi.
Figure 8. Tritium- EC relation for the thermal and cold waters.

değerlerinin düşük (sıfıra yakın) olması yeraltında kalış süresinin nispeten uzun olduğunu göstermektedir.

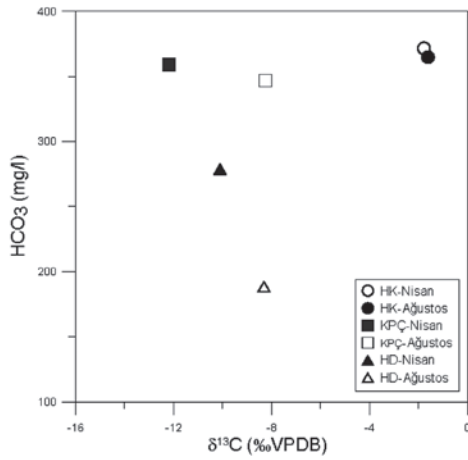


Şekil 9. İncelenen suların trityum-sıcaklık ilişkisi.
Figure 9. Tritium- $T(^{\circ}\text{C})$ relation for the thermal and cold waters.

İnceleme alanındaki sulara karbonun ve SO_4 'ün kaynağını belirlemek için $^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ve $^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimleri belirlenmiştir (bkz. Çizelge 4). HK suyunda $\delta^{13}\text{C}$ bileşimi -1.78 ile -1,62, KPÇ suyunda -12.18 ile -8.25 ve HD suyunda -10.10 ile -8.31 arasındadır. Sıcak su kaynağında ve soğuk sulara HCO_3^- - $\delta^{13}\text{C}$ ilişkisi (Şekil 10) incelendiğinde, HCO_3^- konsantrasyonu birbirine yakın olan sıcak ve soğuk kaynak sularının $\delta^{13}\text{C}$ değerleri farklılık gösterir. Soğuk kaynak suyu ve yüzey suyunda ise $\delta^{13}\text{C}$ değerleri birbirine yakındır. Bu durum, inceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların içerdiği karbonun farklı kökenlerden geldiğini göstermektedir. Bu değerlere göre Hamamayağı kaplıcasındaki karbon, inceleme alanında yüzeylenen tatlı su karbonatlarından kaynaklanmaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Ayrıca inceleme alanında sıcak su kaynağına yakın konumda yüzeylenen genç volkanik kayalar bulunduğu için karbon içeriğinin bir kısmı manto kökenli CO_2 gazından kaynaklanmış olabilir. Kocapınar çeşmesinde ve Hamamayağı Deresi'ndeki karbon toprak-taki veya yeraltındaki gözeneklerde birikmiş olan CO_2 tarafından kontrol edilmektedir.

HK suyunda $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimi -4.2 ile -4.1, KPÇ suyunda 3.8 ve HD suyunda 1.31- 2.7 arasındadır. Bu değerler, sıcak su ile soğuk sulardaki

kükürtün farklı kaynaklardan geldiğini düşündürmektedir. Negatif kükürt-34 değerleri tipik olarak indirgenmiş sülfür bileşiklerinin bulunduğu diyajenetik bir çevreden gelir (Krouse, 1980). En yaygın reaksiyon ürünü pirittir ve pirit şeyllerden ve denizel sedimanlarda denizsuyu sülfatının bakterilerce indirgenmesiyle şekillenen organik madde içeriği zengin sedimanter kayalardan gelebilir (Clark ve Fritz, 1997). HK suyundaki kükürt izotop içerikleri, $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimine göre indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayalardan gelmiş olabilir. KPÇ su kaynağında ve HD suyundaki kükürtün kaynağını kireçtaşları ve şeyller oluşturmaktadır.



Şekil 10. İncelenen suların bikarbonat- karbon-13 ilişkisi.

Figure 10. $\text{HCO}_3^- - \delta^{13}\text{C}$ relation for the thermal and cold waters.

JEOTERMAL SİSTEMİN KAVRAMSAL MODELİ

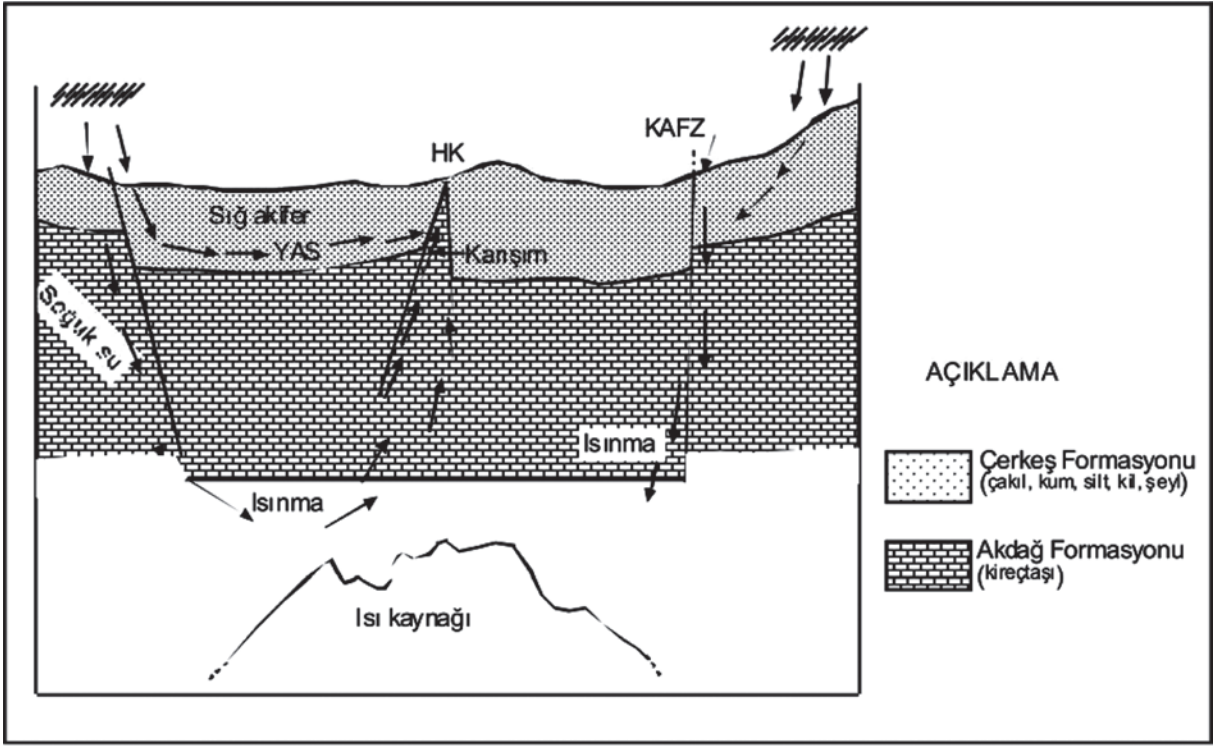
Hamamayağı sıcak su kaynağının kökeni ve bağlı olduğu jeotermal sistemin tanımlanmasına yönelik olarak gerçekleştirilen hidrojeoloji, hidrokimya ve çevresel izotop çalışmaları, bölgesel jeolojik yapı ile birlikte, alandaki jeotermal sistemin kavramsal modelinin ortaya konması doğrultusunda değerlendirilmiştir. Yapılan jeotermometre hesaplamaları, sistemin bir düşük-orta sıcaklık potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. KAFZ içinde yeralan sistemde ısı kaynağının faylarla kontrol edilen derin dolaşıma bağlı jeotermal gradyan kökenli olmalıdır. Bununla birlikte, bölgede genç volkaniklerin varlığı, jeotermal gradyanın bu bölgede yüksek olmasına

neden olmaktadır. Suların izotop içerikleri, jeotermal rezervuarın yerel yağışlardan beslendiğini, dolayısıyla beslenme alanının yakın çevrede yeraldığını göstermektedir. Gerek hidrokimyasal özellikler, gerekse izotop içerikleri, jeotermal rezervuardan faylarla yükselen sıcak suların yüzeye çıkmadan önce, sığ derinliklerde üstte bulunan soğuk su akiferinden gelen yeraltıları ile belirli oranlarda karışıklarını ortaya koymaktadır. Sistemdeki ısı taşınımının, Darcy yasasına uyan yeraltısuyu dolaşımı ile yoğunluk farkından kaynaklanan akımın bir karışımı olan konvektif taşınım yoluyla olduğu anlaşılmaktadır. Jeotermal sisteme ait kavramsal hidrojeolojik model Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre, sığ akifere ulaşmadan önce, jeotermal rezervuardan yükselen sıcak suları taşıyan ana kırık hatlarına ulaşacak derin kuyularla 70-80 C sıcaklığa sahip termal sulara ulaşmak olanaklı görülmektedir.

SONUÇLAR

Hamamayağı sıcak su kaynağının sıcaklığı 36°C, pH'ı 6.9-7.1, elektriksel iletkenlik değerleri 591-598 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve toplam çözülmüş madde miktarı 485.6-508.5 mg/l'dir. Soğuk kaynak suyu Kocapınar çeşmesinin sıcaklığı 12.1-16°C, pH'ı 7.13-7.3, elektriksel iletkenlik değerleri 527-598 $\mu\text{S}/\text{cm}$, toplam çözülmüş madde miktarı 284.8-481.7mg/l'dir. Sıcak su kaynağı CaMg- HCO_3 , Kocapınar çeşmesi Ca HCO_3 su tipindedir. Kaynağın rezervuar sıcaklığının silis jeotermometresine göre 61.63 ile 82.5°C arasında olabileceği hesaplanmıştır. Ancak Hamamayağı kaynağında, suların fay boyunca yükselmesi sırasında, etraftaki kayalarla temasından ve soğuk yüzey sularının karışmasından dolayı ısı kaybı olmaktadır. Sıcak sulara karışan sığ soğuk suların oranı %74 olarak belirlenmiştir.

Sıcak ve soğuk su kaynakları meteorik kökenlidir. Sıcak suyun yeraltında kalış süresi soğuk su kaynağına oranla daha uzundur. $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ bileşimine göre inceleme alanında bulunan sulardaki karbonun farklı kökenlere sahip olduğu belirlenmiştir. Sıcak su kaynağındaki karbon, inceleme alanında yüzeylenen tatlı su karbonatlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca inceleme alanında sıcak su kaynağına yakın konumda yüzeylenen genç volkanik kayaların varlığı karbon içeriğinin bir kısmının manto kökenli CO_2 gazından kaynaklanmış olabileceğini de düşündürmektedir. Kocapınar



Şekil 11. Hamamayağı kaplıca alanı için kavramsal hidrotermal model.

Figure 11. Conceptual hydrothermal model for the Hamamayağı thermal spring area.

çeşmesinde ve Hamamayağı Deresi'ndeki karbon, atmosferik CO₂ tarafından kontrol edilmektedir. Sulardaki $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimi sıcak su ile soğuk sulardaki kükürtün farklı kaynaklardan geldiğini düşündürmektedir. Sıcak suyun kükürt izotop içerikleri, $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimine göre indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayalardan gelmektedir. Soğuk su kaynağında ve Hamamayağı Deresi'ndeki kükürtün kaynağını Akdağ formasyonuna ait kireçtaşları ve Çerkeş formasyonuna ait şeyller oluşturmaktadır.

Bilindiği gibi, jeotermal alanların hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal ve bor değerleri oldukça farklılıklar sunar. Bu fark, genellikle litolojik değişimlerden, ısı iletiminden ve sistemin beslenme-boşalma ilişkilerinden kaynaklanmaktadır. Sığ rezervuar kayaç derinlikleri ve aktif fay sistemi jeotermal alanlara yüksek oranda soğuk yeraltısuyu getirmesine neden olur. Bu durum, jeotermal suların sıcaklığının düşerek su-kayaç etkileşiminin azalmasına ve akışkanın toplam çözülmüş madde miktarının düşük ve bor, lityum ve SiO₂ gibi yüksek sıcaklıkta çözünen elemanların düşük olmasına neden olmaktadır. Aktif fay

sisteminde bulunan Hamamayağı jeotermal alanının rezervuar kayaç derinliklerinin sığ olması, alana yüksek oranda yeraltısuyu getirmişti. Bu nedenle jeotermal suların sıcaklığı düşük, su-kayaç etkileşimi az ve akışkanın toplam çözülmüş madde miktarı, bor, lityum ve SiO₂ gibi yüksek sıcaklıkta çözünen elemanları düşüktür.

Gerçekleştirilen hidrojeoloji, hidrokimya ve izotop çalışmaları, Samsun-Ladik Hamamayağı kaynağının düşük-orta sıcaklık jeotermal sisteminin bir doğal boşalımı olduğunu, jeotermal sistemin KAFZ'na bağlı derin dolaşimli jeotermal gradyan kökenli olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre, bölgedeki jeotermal sistemin geliştirilebilmesi, jeotermal sistemden sıcak su taşıyan ana kırık hatlarını kesecek derin sondaj kuyuları ile olanaklıdır. Kuyuların, sığ akiferden karışımı engelleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, geliştirme ve işletme öncesinde, jeotermal rezervuarın geometrisinin ve hidrodinamik davranışlarının ortaya konabilmesi için, derin jeofizik çalışmaları, yüzeyde ve olabildiğince derinlere doğru, öncelikle fay hat-

larında hidrotermal alterasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi, jeotermal gradyan kuyularının açılması ve açılacak araştırma kuyularında basınç-sıcaklık ve geçirgenlik amaçlı kuyu testlerinin yapılması büyük yararlar sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 2006.122.005.4 proje numarası ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar makaledeki öneri ve düzeltmelerinden dolayı Prof. Dr. Mehmet Ekmekçi'ye teşekkür ederler

KAYNAKLAR

- Akdağ, K., 1992. Kavak (Samsun) yöresi Kretase filişlerinin sedimantolojik incelemesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (yayımlanmamış).
- Akkuş, İ., M., Atiker, M. ve Yıldırım, N., 1992. Havza Hamamayağı (Ladik) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9899 (yayımlanmamış).
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z., 2005. Türkiye jeotermal kaynakları envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.
- Alp, D., 1972. Amasya yöresinin jeolojisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Monografileri, İstanbul.
- Arnorsson, S., 1985. The use of mixing models and chemical geothermometers for estimating underground temperatures in geothermal systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23, 299-335.
- Arnorsson, S., and Andresdottir, A., 1995. Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 20 (59), 4125-4146.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson E., and Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Clark, I., and Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, New York.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Dansgard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436-468.
- Ellis, A. J., and Mahon, W.A.J., 1964. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions, Part I. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 28, 1323-1357.
- Ellis, A. J., and Mahon W.A.J., 1967. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions, Part II. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 31, 519-538.
- Fournier, R. O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 37 (5), 1255-1275.
- Fournier R.O., and Potter, R.W., 1982. A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Research Council Bulletin*, 11, 3-9.
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984. Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 19, 53-79.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria: Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Gülibrahimoğlu, İ., Yılmaz, B.S., Tosun, C. Y., Konak, O., Saraloğlu, A., Keskin, İ., Osmançelebioğlu, R., Karakaya, F., Köse, Z., Yaprak, S. ve Teoman, Ş., 2000. Samsun ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüt Dairesi, Rapor No. 10481, Ankara.
- Hounslow, A. W., 1995. *Water Quality Data, Analysis and Interpretation*. Lewis Publishers, Florida.

- IAH, 1979. Map of mineral and thermal water of Europe Scale: 1:500,000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- Keskin, B., 1987. Samsun- Kocapınar (Hilyas) hidrojeoloji sondajı bitirme raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 8211 (yayımlanmamış).
- Kharaka, Y. K., and Mariner, R. H., 1987. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. D. Naeser and T.H. McCulloh (eds.), Thermal History of Sedimentary Basins. New York, pp. 75-102.
- Krouse, H. R., 1980. Sulphur isotopes in our environment. P. Fritz and J.-Ch. Fontes (eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry I, The Terrestrial Environment, Elsevier, Amsterdam, pp. 435-472.
- Mahon, W. J. A., 1964. Fluorine in the natural thermal waters of New Zealand. New Zealand Journal of Sciences, 7, 3-28.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, Berlin.
- Özten, A. ve Yurtseven, D., 1996. Samsun- Havaza Bekdiğin sıcak su sondajı (BK-2) kuyu bitirme raporu. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9925 (yayımlanmamış).
- Öztürk, A., 1979. Ladik-Destek dolayının stratigrafisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 23 (1), 31-38.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8714 (yayımlanmamış).
- Şengör, A. M. C., 1980. Türkiyenin neotektoniğinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurultayı Konferansı, Seri 2, 40.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Yerbilimleri Dizisi 1.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geothermal techniques in geothermal exploration Proceedings of the 2nd Symposium on Advances in European Geothermal Research, A.S. Strub, and P. Ungemach (eds.), 428-443, Strasbourg.
- Truesdell A. H., 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration, Proceedings of the 2nd United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, US Government Printing Office, Washington, pp. 53-89.
- Truesdell A. H., 1984, Introduction to chemical calculations. Fluid Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems, R. W. Henley et al. (eds.). Revised Economic Geology, 1, pp. 1-8.
- Truesdell A. H., 1991, Effects of physical processes on geothermal fluids. Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, F. D'Amore (ed.), 71-92.
- Yoldaş, R., Keskin, B., Granit, S., Korkmaz, S., Dirik, S., Kalkan, İ., Ağrıdağ S. ve Besbelli, B., 1985, Samsun ve dolayının (Kızılırmak- Yeşilirmak arasındaki bölgenin) jeolojisi ve petrol olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi, Rapor No: 8130 (yayımlanmamış).
- Yenal, O., Usman, N. ve Kanan, E., 1976. Türkiye maden suları. İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Radyoloji ve Hidro-Klimatoloji Kürsüsü Kağıt Basım İşleri A.Ş., İstanbul.

