

JEOLOJİK, JEOFİZİKSEL VE JEOKİMYASAL YÖNTEMLERLE YENİ BİR JEOTERMAL SAHANIN KEŞFEDİLMESİ, ÜÇBAŞ - ŞAPHANE - KÜTAHYA

Musa BURÇAK*, Fatma SEVİM** ve Ömer HACISALİHOĞLU***

ÖZ.- Çalışma alanında temeli, Menderes masifinin kuzey kenarına ait Paleozoik yaşlı gnays, migmatitik gnayslardan oluşan çekirdek kayaları ile bunları çevreleyen şist, mermer ve kristalize kireçtaşından oluşan örtü kayaçları oluşturur. Menderes masifi kayaçlarının oluşturduğu bu temel kayaçlar Kretase yaşlı Dağardı ofiyolitik melanji tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Tüm bu kayaç birimleri Neojen-Kuvaterner yaşlı görsel-karasal ortamda çökelmiş sedimanter ve volkanik kayaçlarla diskordan olarak örtülmektedir. Çalışma alanında 2003-2006 yılları arasında uzaktan algılama, ayrıntılı jeoloji, hidrotermal alterasyon, hava fotoğrafi, hidrojeoloji (su kimyası, izotop hidrolojisi çalışmaları), jeofizik çalışmalar (manyetotellürik, özdirenç), sondaj çalışması ile kuyu içi log ölçümleri yapılmıştır. Gediz-Abide sahası, 70-76 °C kaynak sıcaklığı ile Batı Anadolu'da yer alan orta entalpili jeotermal sahalardan biridir. Bu çalışmanın ana hedefi Gediz-Abide sahasında elde edilen verilerin diğer kesimlerde elde edilen verilerle karşılaştırılarak benzerlikleri belirlemek yolu ile gömülü bir sistemin varlığının araştırılmasıdır. Yapılan jeoloji, hidrojeokimya, izotop çalışmaları ile Abide sahasının 5 km kadar kuzeyinde Şaphane-Üçbaş çevresi hedef saha olarak seçilmiştir. Sahada sıcak su kaynağı, fümerol vb gibi yüzeysel jeotermal göstergeler bulunmamaktadır. Jeofizik (manyetotellürik ve özdirenç) çalışmaları ile Gediz-Abide sahasında ve hedef sahada benzer özellikte iki adet anomali belirlenmiştir. Bu anomaliler kalın örtü altında düşük özdirenç ile belirgin olup, jeoloji, su kimyası ve tektonik haritaları, örtüşmüştür. Yapılan çalışmalarda bu anomalilerin batıda alınan iki profile de belirgin olarak devam ettiği belirlenmiştir. Hedef olarak seçilen Şaphane-Üçbaş sahasında 1330 m derinlikte bir adet arama sondajı (KŞÜ-1) yapılmıştır. Kuyudan, kompresörle 40 l/s debi ve 90 °C sıcaklıkta akışkan üretimi sağlanmıştır. Kuyuda 56 saat beklemeli kuyu içi sıcaklığı 105,5 °C, statik sıcaklık 109 °C'dir. Elde edilen termal su Na-SO₄-HCO₃ sınıfında olup, Gediz Abide sondaj suları ile benzer kimyasal bileşime sahiptir. Sıcaklığı itibari ile konut ısıtıcılığı (1150 konut eşdeğeri ısıtma), seracılık ve termal turizmde kullanmaya uygundur.

Anahtar sözcükler.- Şaphane-Üçbaş jeotermal sahası, su kimyası, izotop, manyetotellürik, özdirenç, jeotermal sondaj.

GİRİŞ

Çalışma alanı Kütahya ilinde Gediz Abide Ilıcaları ile Şaphane dağı arasında kalan bölgeyi kapsar (Şekil 1). Çalışma alanında birçok araştırmacı, Menderes masifinin yapısal durumu ve özellikleri hakkında araştırmalar yapmışlardır. Schuiling (1958-1962), gnaysların migmatit tipte olduklarını ve alkali bakımından zengin eriyikler tarafından etkilenmiş sedimanter kayaçlardan türediğini işaret etmiştir. Yazar, gnaysların dom yapısında olduğunu ve metamorfizma derecesinin merkezden kenara doğru azalan şistler tarafından çevrelendiğini ve şistlerin de metamorfik boksit zuhurları içeren mermerler tarafından örtüldüğünü belirtmiştir.

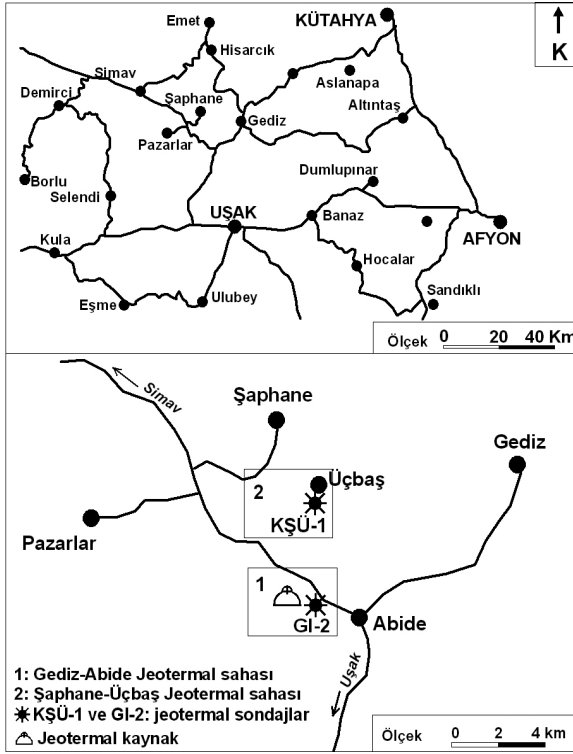
Akdeniz ve Konak (1979)'ın, çalışma alanı yakınında ayrıntılı jeoloji çalışmaları vardır. Yazarlar bölgedeki metamorfik kayaların Menderes masifinin kuzey kenarına ait olduklarını ve Kretase yaşlı Dağardı melanji tarafından tektonik dokanakla örtüldüklerini belirtmişlerdir. Izdar (1971)'a göre masifin iki farklı metamorfizma derecesi bulunmaktadır. Birincisi Variskan Orojenezi ile tamamlanmıştır. İkincisi ise Alpin Orojenezi ile başlamıştır. Masif domsal yapılı olup, muhtemelen Prekambriyen yaşlı gnayslardan oluşan çekirdek kayaları ve Paleozoyik - Alt Mesozoyik yaşlı şistlerden oluşmaktadır.

Çekirdek kayaları gözlü gnays, ince taneli gnays ve biyotit gnays ile temsil edilmektedir. Ör-

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammaddeleri Etüt ve Arama Dairesi, 06520, Ankara burcak@mta.gov.tr

** Maden Tetkik ve Arama Ege Bölge Müdürlüğü, Bornova-İzmir

*** Maden Tetkik ve Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü -Trabzon



Şekil 1 - Çalışma alanının yer bulduru haritası

tü şistleri, gnaysı, izleri Alpin orojenez ile kazanılan yeni şistozite nedeniyle silinmiş olan bir diskordansla örtmektedir (İzdar, 1971).

Erdoğan ve Güngör (1992), ender olarak mafik metavolkanit kesimler içeren örtü şistlerinin Menderes Masifinin kuzey kanadında Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayalara geçişli olduklarını işaret etmişlerdir. Ercan ve diğerleri (1978), Uşak-Gediz arasındaki Miyosen yaşlı çökelleri tanımlayarak Yeniköy formasyonu olarak adlandırmışlardır. Çalışma alanı çevresinde petrolojik ve jeokronolojik çalışmalar Bingöl (1977), Bingöl ve diğerleri (1982); Günay ve diğerleri (1986), Ercan ve diğerleri (1984, 1996) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Jeotermal konusunda jeoloji ve jeofizik araştırmalar yapan bir çok araştırmacı bulunmaktadır. Jeotermal amaçlı jeoloji çalışmaları Ünlü (1971), Özbayrak (1984) ve Açıkgöz (1996) tarafından

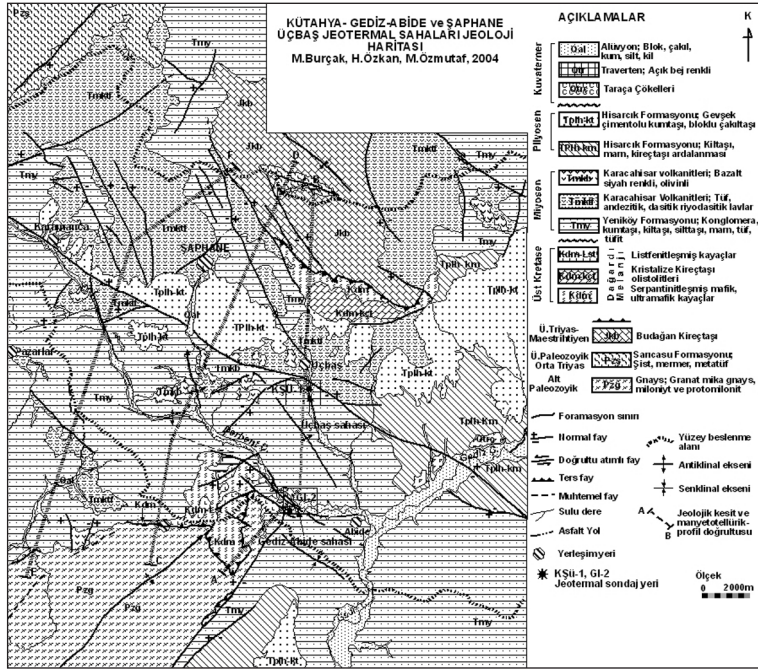
yapılmıştır. Saha ve çevresinde jeofizik araştırmalar, Karlı (1997); Önder ve Duman (1998) tarafından yapılmıştır. Gediz jeotermal sahasında üç adet jeotermal kuyu açılmış olup, kuyu jeolojisi raporları Hamut ve Yücel (1996) tarafından yazılmıştır. Detay jeoloji, su kimyası, hidrotermal alterasyon, hidrolojik izotop, jeofizik (manyetotellürik ve rezistivite) ve sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Burçak ve diğerleri 2004; 2005a, 2006). Bölgede Miyosen Kuvaterner aralığında etkin olmuş genç volkanizma, KB-GD graben yapısına bağlı olarak faylar boyunca gelişen derin meteorik su dolaşımı sahanın önemli jeotermal potansiyelinin olabileceğine işaret etmektedir. Bu çalışmanın esas amacı yapılan jeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmalar sonucu Gediz-Abide sahasının jeotermal özelliklerini ortaya koymak ve bilinen bu alanın dışında olası örtülü alanda gömülü bir jeotermal sistemin araştırılmasıdır.

JEOLOJİ

Çalışma alanının temel kayalarını Menderes masifinin kuzey kenarına ait Paleozoik yaşlı gnays, Paleozoik-Mesozoyik yaşlı şist ve karbonatlı kayalar oluşturur. Temel kayaları Üst Kretase yaşlı Dağardı ofiyolitik melanj tarafından tektonik dokanakla üzerlenir. Tüm bu kaya birimleri Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter gölsel-karasal çökeller ve bunlarla yaşıt volkanik kayalarla örtülmektedir (Şekil 2).

Yaygın olarak gözlü gnays, granitik gnays, ve migmatitlerle temsil edilen çekirdek kayaları çalışma alanının güneyinde geniş alanlarda mostrapar (Şekil 3). Birim Sarıcasu formasyonu olarak adlandırılan şistlerce çevrelenerek örtülmektedir (Akdeniz ve Konak 1979). Üst Paleozoik-Alt Mesozoyik yaşlı Sarıcasu formasyonu başlıca granatlı mika-şist, kuvars-şist, metavolkanik kayalar, kuvars-mika-şist, mermer ara tabakalı kalkışist ve mermerlerden oluşur. Birim Üst-Triyas-Kretase yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşan Budağan Formasyonu tarafından geçişli olarak örtülmektedir (Şekil 3). Bu birimleri tektonik

Üst Sistem	Sistem	Alt Sistem	Seri	Formasyon	Simge	Derinlik(m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner		Qal		50				Qal: Alüvyon; tutturulmamış blok, çakıl, kum, kil
		QTrv		100				QTrv: Traverten
		QTrç		150				QTrç: Taraça çökelleri
Tersiyer		Pliyosen		Tplh-kt	200			Tplh-kt: Gevşek çimentolu kumtaşı, bloklü çakıltaşı
				Tplh-km	350			Tplh-km: Kilitaşı, marn, kireçtaşı ardalanması
Neojen		Miyosen		Tmkb	450			Tmkb: Karacahisar volkanitleri; bazalt
				Tmy	550			Tmy: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilitaşı, marn, kireçtaşı, yer yer tuf ve bazaltik lav ara seviyeleri içerir
Miyosen		Yeniköy Fm.		Tmktf	600			Tmktf: Karacahisar volkanitleri; tuf, andezitik, dasitik, riyodasitik, lavlar
					700			
Kretase		Üst		Kdm	1200			Kdm: Listfenit; Silisleşmiş, Fe-Oksitli, kloririleşmiş Kireçtaşı
				Lst	1300			
Triyas		Maestrithiyen		Kdm	1350			Kdm: Serpantinleşmiş mafik ve ultramafik kayalar; yer yer kireçtaşı olistolitleri içerir
				Lst	1400			
Menderes Masifi Sarıcasu		Budağan JKb		JKb	1500			JKb: Budağan kireçtaşı; orta kalın tb; beyaz-koyu gri renkli; siyah-gri-beyaz bantlı kçt, kristalize kçt
				Pzş	1600			
Paleozoik		Sarıcasu		Pzş	1750			Pzş: Mikaşist, kuvars-mikaşist, kalkşist; Gri, beyaz bantlı, laminalı mermer ve ara seviyeleri içerir
				Pzg	1850			
Paleozoik		Sarıcasu		Pzg	2100			Pzg: Gözlü gnays, mika gnays, milonitik gnays
					2150			
Paleozoik		Sarıcasu			2200			
					2250			
Paleozoik		Sarıcasu			2300			



Şekil 3 - Çalışma alanının jeoloji haritası (Burçak ve diğerleri, 2004).

olarak üzerleyen Dağardı melanjli serpantinleşmiş mafik ve ultramafik kayalar ile kireçtaşı blok ve olistolitlerinden oluşur. Özellikle kireçtaşı bloklarının bulunduğu üst kesimde silisleşme, karbonatlaşma, kloritleşme ve çatlaklarda Cu-karbonat (azurit, malakit) zuhurları ile belirgin kırmızı rengi ile kolayca ayırt edilen listfenitik zonlar gelişmiştir. Sahada Neojen ise Miyosen ve Pliyosen yaşlı volkanik katkılar içeren çökel kayalardan oluşan Yeniköy Formasyonu ve Hisarcık formasyonu ile temsil edilir. Ercan ve diğerleri (1978) tarafından adlandırılan miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu, konglomera, kumtaşı, silttaşı, siltli kıltaşı, kireçtaşından oluşmaktadır. Birim ara seviyeler halinde beyaz renkli tuf ve tüfit mercekleri ile özellikle üst kesimde bazalt lavları bulunur. Bu volkanitler Bingöl (1977) tarafından Karacahisar volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Ercan ve diğerleri (1978)'in Dikendere Volkanitleri ve Akdeniz ve Konak (1979)'in Akdağ Volkanitleri ile eş değerdir. Pliyosen ise kıltaşı, marn, kireçtaşları ve gevşek tutturulmuş kumtaşı, bloklu çakıltaşı ile temsil edilir. Birim ilk defa Akdeniz

ve Konak (1979) tarafından Hisarcık formasyonu olarak adlandırılmıştır. Miyosen ve Pliyosen arasında belirgin bir uyumsuzluk görülmemektedir.

SU KİMYASI

Gömülü jeotermal sahada ve çevresinde jeotermal bir kaynak ya da fümerol bulunmamaktadır. Tek yüzey verisi 5 km güneyde yer alan Gediz Abide jeotermal kaynaklarıdır. Gediz-Abide sahasında sıcaklığı 57-75°C arasında değişen 9 adet sıcak kaynak bulunur. Bu kaynaklar, Şaphane dağı ile Derbent çayı arasında yer alan grabenin güney kanadını oluşturan yaklaşık D-B (DGD-BKB) doğrultulu faydan yüzeye çıkar. Oysa yeni keşfedilen gömülü saha Gediz-Abide sahasının 5 km kuzeyinde bu grabenin ortasında bulunur (Şekil 3).

Su kimyası çalışmaları 42 numune üzerinde yapılmıştır. Suların bazı fiziksel özellikleri ile kimyasal analiz sonuçları aşağıdadır (Çizelge 1)

Çizelge 1- Çalışma alanından alınan su numunelerinin hidrojekimyasal analiz sonuçları

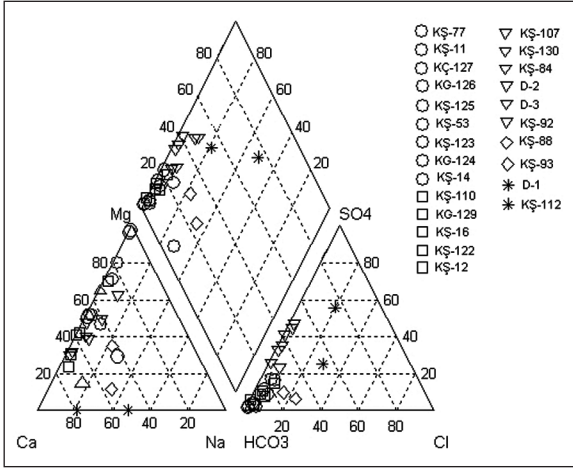
Numune No	Alındığı yer	Alındığı Tarih	T (°C)	EC	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	B
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
GD-1	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	65,5	2830,0	6,5	488,0	122,0	102,0	66,5	95,0	900,0	1006,0	45,0	8,5
GD-2	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	69,1	2680,0	6,5	452,0	114,0	105,0	66,9	88,0	845,0	959,0	45,0	7,8
GD-3	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	57,1	2550,0	6,6	413,0	99,0	105,0	69,8	80,0	756,0	952,0	58,0	7,2
GD-4	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	75,3	2710,0	6,8	458,0	118,0	106,0	59,5	88,0	849,0	953,0	60,0	7,9
GD-5	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	71,5	2980,0	6,9	542,0	140,0	116,0	55,3	103,0	955,0	1036,0	66,0	9,1
GD-6	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	76,1	2990,0	6,9	536,0	141,0	114,0	54,7	102,0	961,0	1036,0	62,0	9,3
GD-7	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	74,0	3000,0	7,0	533,0	133,0	111,0	55,6	104,0	893,0	1036,0	64,0	9,3
GI-1A	Abide Kaplıcalar	08.06.2003	77,8	2870,0	7,2	498,0	128,0	93,0	58,3	97,0	947,0	1006,0	60,0	8,5
GI-2	Abide Kaplıcalar	01.06.2003	93,1	3160,0	7,6	648,0	170,0	55,4	17,5	122,0	1157,0	799,0	94,0	10,5
GI-3	Abide Kaplıcalar	02.05.2003	78,0	3410,0	7,3	690,0	165,0	60,2	43,4	118,0	1128,0	1160,0	82,0	10,2
KŞÜ-1	Üçbaş sondaj	15.09.2007	90,0	3490,0	8,3	672,0	108,0	116,0	30,0	130,0	1070,0	813,0	80,0	8,5
KÇ-103	Kurtçam	14.06.2003	21,2	888,0	7,5	14,8		54,8	101,0	24,3	21,4	725,0	<10	
KK-121	Körkuyuyolu	13.06.2003	21,3	1018,0	7,3	6,4	1,6	88,3	111,0	13,2	296,0	551,0	14,8	
KK-119	Körkuyuyolu	13.06.2003	20,5	1934,0	7,4	18,0	9,7	158,4	262,2	21,7	918,7	783,0	<10	
KK-118	Körkuyuyolu	13.06.2003	20,5	1176,0	7,6	7,6	4,5	102,0	128,7	14,6	302,7	667,0	<10	
KŞ-18	Karamanca	13.06.2003	18,0	2320,0	8,6	715,5	10,0	3,8		16,2	183,0	1685,0	12,6	2,5
KŞ-20	Şaphane	13.06.2003	27,6	409,0	7,6	23,0	7,7	35,8	19,1	3,6	70,5	209,0	10,1	
D1	Derbent Deresi	12.06.2003	17,0	883,0	7,4	26,0	9,9	36,9	74,6	8,5	123,0	423,0	19,2	
KG-124	Üzümlü	12.06.2003	16,5	666,0	7,5	4,2	1,0	30,1	82,8	9,3	16,9	533,0	10,7	
KU-6	Kızılüzümyol	12.06.2003	15,0	812,0	7,8	11,2	2,5	57,9	88,0	20,5	39,0	632,0	25,3	
KŞ-93	Üçbaş Köyü	14.06.2003	14,3	911,0	7,3	39,4	8,8	65,5	32,5	70,6	25,0	359,0	55,2	
KŞ-112	İrahat Pınarı	12.06.2003	13,8	81,0	4,8	5,3	8,5	4,9		5,7	21,6	12,0	47,9	
D2	Derbent Deresi	12.06.2003	18,6	821,0	7,5	22,0	9,8	83,0	60,7	9,9	233,0	348,0	<10	
D3	Derbent Deresi	12.06.2003	16,5	894,0	7,5	24,0	9,9	48,0	70,3	9,2	238,0	325,0	13,1	
KŞ-125	Ilıca	12.06.2003	22,4	1088,0	8,4	1,9		5,3	199,0	4,6	11,7	1020,0	14,3	
KG-126	Gediz	12.06.2003	19,7	1102,0	8,6	1,9		9,9	201,0	4,2	17,1	985,0	<10	
KÇ-127	Çeltikçi	12.06.2003	20,6	641,0	7,3	6,4	2,9	80,0	55,3	5,9	17,7	533,0	<10	
KG-129	Gürlek	12.06.2003	19,2	410,0	7,0	4,6		98,2	26,5	9,9	13,0	487,5	34,7	
KŞ-107	Şaphane	12.06.2003	7,2	686,0	7,1	5,0	1,9	110,0	32,4	6,4	156,0	354,0	12,3	
KŞ-110	Şifalısu	07.06.2003	9,3	266,0	7,6			40,7	17,2		10,4	220,0	<10	
KŞ-92	Üçbaş	08.06.2003	13,7	563,0	7,1	11,0	3,7	64,7	28,6	13,9	67,1	255,0	18,8	
KŞ-16	İrmees	13.06.2003	16,0	665,0	7,4	7,8		99,4	19,9	15,6	25,2	354,0	19,9	
KŞ-1	Değirmendere	13.06.2003	14,0	45,0	6,2	2,2	1,6	7,2		6,1	7,2	17,0	31,4	
KŞ-53	Topalahmet	13.06.2003	18,5	457	7,2	30	4,8	40,4	16,7	7,8	5,2	267	40,5	
KŞ-11	Beşoluk-11	13.06.2003	15	323	7,8	1,5		35,4	24,3	7,38	32,3	186	<10	
KŞ-122	Körkuyuyolu	13.06.2003	15,4	561	7,1	9		110	22,3	23,9	61,2	400	25	
KŞ-14	Şaphane	13.06.2003	9	327	7,8	1,1		38,1	24,5	5,55	21	191	<10	
KŞ-12	Kocapınar	13.06.2003	7,1	279	7,9	1	1,34	35,4	16	4,66	16,7	168	<10	
KŞ-84	Sofular	13.06.2003	18,8	848	7,2	12,8	2,98	106	47,9	3,55	139	499	<10	
KŞ-88	Sofular	13.06.2003	22	418	7,3	38	5,6	54,1	6,9	25,9	21,6	215	22	
KŞ-130	Şaphane	13.06.2003	26	679	7,1	5	1,89	120	32,6	1,42	190	342	<10	
KŞ-123	Üzümlü	14.06.2003	18,8	616	7,6	6,8	2	36,2	63	19,1	30,4	371	26	

Suların Sınıflandırılması

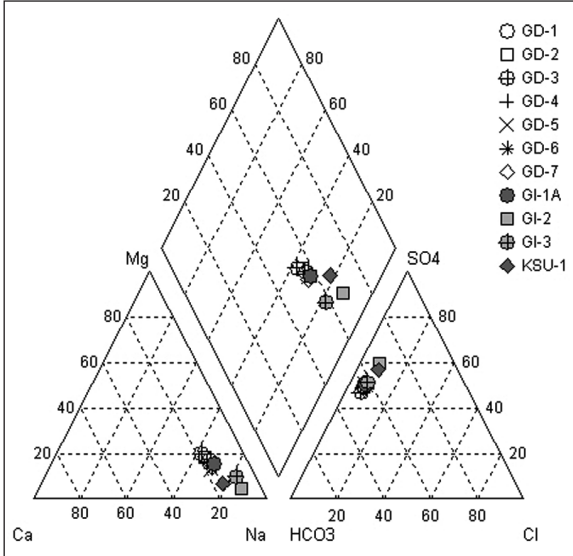
Alandan alınan tüm soğuk su numuneleri Piper üçgen diyagramında katyonlar bakımından $Ca+Mg > Na+K$ ve anyonlar bakımından $HCO_3+CO_3 > SO_4+Cl$ bölgesine düşer (Şekil 4). Sıcak sular ise katyonlar bakımından $Na+K > Ca+Mg$ ve anyonlarına göre ise $SO_4 + Cl \geq HCO_3 + CO_3$ bölgesine düşer (Şekil 5). IAH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasına göre soğuk sular mineralce fakir $Ca - Mg - HCO_3$ hidrojekimyasal fasiyesinde, sıcak

sular ise Bor içeren $Na-SO_4 - HCO_3$ mineralli sular hidrojekimyasal fasiyesindedir.

Schoeller diyagramına göre soğuk sular $Mg-Ca-HCO_3$ ve $Ca-Mg-HCO_3$ tipte olup, birbirine yakın iyon yoğunlaşmaları ile benzer kökenli sularlardır (Şekil 6). Sıcak sular ise Schoeller'e göre $Na+K-SO_4-HCO_3$ tipli ve benzer kökenlidir (Şekil 7). KŞÜ-1 nolu numune (KŞÜ-1 sondajına ait su örneği) en yüksek Cl içeriği ve en düşük HCO_3 içeriğindedir. Diğer iyonlar bakımından Abide suları ile benzer özelliklerdedir. KŞÜ-1 ve GI-2 nolu



Şekil 4- Çalışma alanından alınan soğuk sulara ait Piper diyagramı



Şekil 5 -Çalışma alanından alınan sıcak sulara ait Piper diyagramı

numunelerin göreceli olarak düşük Mg ve yüksek Cl içerikleri ile minimum soğuk su karışımının olduğu orjinaline en yakın ve rezervuarı temsil eden sular oldukları düşünülmektedir (Şekil 7).

Jeotermometre hesaplamaları

Sahaya ait tüm sıcak sular Giggenbach'in (1988) N-K-Mg üçgen diyagramına göre olgun ol-

mayan yani su-kayaç dengesi kurulmamış sularıdır (Şekil 8). Bu nedenle bu tip sulara katyon jeotermometreleri yanlış sonuç vereceğinden, rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için silis jeotermometreleri uygulanmıştır. Sahadan alınan sulara Fournier'in (1977) Kalsedon ve kuvars jeotermometreleri uygulanmıştır. Kalsedon jeotermometresine göre 97- 107 °C, kuvarsa göre ise 97-134 °C rezervuar sıcaklığı hesaplanmıştır.

KŞÜ-1 sondajında ölçülen kuyu içi sıcaklığı maksimum 109 °C'dir. Bu sonuca göre kalsedona göre hesaplanan 97-107 °C rezervuar sıcaklığı kestirimi tam olarak tutmuştur. Buna göre sulara silisin kalsedon ile denge durumunda olduğu ortaya çıkmıştır.

Su kimyası (Eş Konsantrasyon) haritaları

Cl eş konsantrasyon (Şekil 9) ve SiO₂ eş konsantrasyon (Şekil 10) haritaları beslenme alanının Kuzeyde Şaphane dağına kadar uzanan yaklaşık 750 km² alanı kapsadığını göstermiştir. Eş Cl ve eş SiO₂ yöney haritalarında görüldüğü üzere yoğunlaşma artışı tektonik hatlarla oldukça uyumludur. Bu durum yoğunlaşma artışının kırıklara bağlı olarak derine süzülme ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Eş Cl ve eş SiO₂ haritalarının her ikisinde de iki bölgede pozitif aykırılık görülmektedir. Birinci anomali güneyde Gediz Abide sahasına rastlayan yerdedir. İkincisi ise kuzeyde Üçbaş yakınlarındadır. Kuzeyde Üçbaş yakınlarında rastlanan anomali araştırmaların bu alanda yoğunlaştırılmasında cesaret verici olmuştur.

İZOTOP ÇALIŞMALARI

Çalışma alanında sıcak suların beslenme alanı yüksekliğinin ve suların dolaşım hızlarının belirlenmesi amacıyla 22 adet Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum (δD) ve Trityum (^3H) izotop analizi yapılmıştır (Çizelge 2). $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Laboratuvarlarında, ^3H analizleri ise DSİ Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol

Çizelge 2- Çalışma alanından alınan örneklerle ait izotop analiz sonuçları

NUMUNE NO	LOKASYON ADI	ALINDIĞI TARİH	Trityum	$\delta^{18}\text{O}$	δD	KOT
11	Kütahya-Şaphane-Beşoluk Kay,	13,06,2003	6,5	-9,91	-58,26	1547
122	Kütahya-Şaphane-Gaipler	13,06,2003	4,85	-8,76	-55,88	1123
121	Kütahya-Şaphane-Gaipler	13,06,2003	6,9	-8,49	-53,56	1078
KŞ-107	Kütahya-Şaphane	12,06,2003	5,3	-9,91	-62,1	1430
93	Kütahya-Şaphane-Üçbaş Köyü	14,06,2003	8,2	-7,58	-49,5	892
14	Kütahya-Şaphane-Yenisu	13,06,2003	3,1	-9,93	-61,06	1447
12	Kütahya-Şaphane-Asartepe	13,06,2003	5,35	-10,13	-64,5	1783
16	Kütahya-Şaphane-İrmees Ç,	13,06,2003	5,3	-8,1	-52,4	985
20	Kütahya-Şaphane-E,Karamanca	13,06,2003	0	-9,83	-61,58	994
84	Kütahya-Pazarlar-Sofular	13,06,2003	6,35	-7,76	-48,45	983
108	Kütahya-Şaphane-Kirazlıpınar	13,06,2003	4,5	-10,04	-60,28	1514
88	Kütahya-Pazarlar-Sofular kuyu	13,06,2003	2,8	-9,13	-53,9	1014
92	Kütahya-Şaphane-Üçbaş köyü1	13,06,2003	3,9	-8,53	-53,84	823
130	Kütahya-Gediz-Kocası Kayn,	13,06,2003	2,6	-10,07	-62,01	880
119	Kütahya-Şaphane-Gaipler	13,06,2003	0	-9,04	-55,22	984
123	Kütahya-Gediz-ÜzümlüKuyusu	14,06,2003	3,55	-8,56	-52,86	826
110	Kütahya-Şaphane-Şaphane Dağı	07,06,2003	11,65	-10,93	-68,65	1807
103	Kütahya-Gediz-Üzümlü	14,06,2003	2,7	-7,34	-45,03	805
18	Kütahya-Şaphane-Gaipler KŞ-1	13,06,2003	9,75	-10,75	-69,46	892
GI-1A	Kütahya-Gediz-Abide Kaplıcaları	08,06,2003	2,15	-9,54	-64,78	770
GI-2	Kütahya-Gediz-Abide Kaplıcaları	01,06,2003	4,1	-9,66	-66,41	770
GI-3	Kütahya-Gediz-Abide Kaplıcaları	02,05,2003	1,1	-9,54	-66,45	770

Dairesi Başkanlığı, İzotop Laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

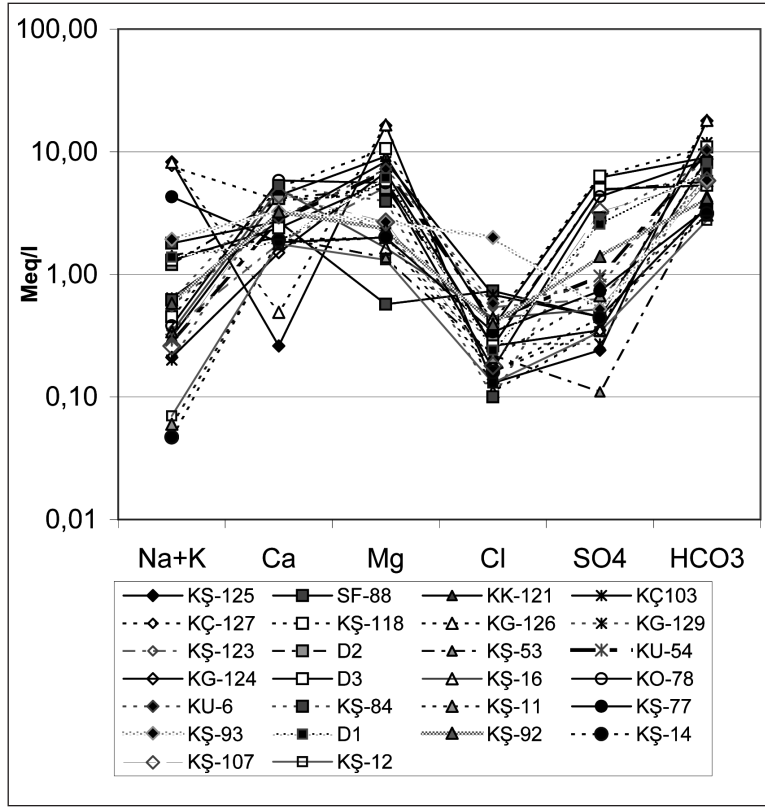
Sahadan alınan tüm numuneler $\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiğinde Akdeniz Ege Meteorik doğrusu ile Global meteorik doğrusu arasında kalır. Bu nedenle tüm sular meteorik kökenlidir.

Döteryum değerleri değişik yüksekliklerden alınan su numunelerinin alındığı noktaların topoğrafik kotlarına karşılık olarak işaretlendiğinde; H: Yükseklik (m) (1) doğrusu yükseklik eğilim çizgisi olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Gediz Abide sahasından alınan sıcak suların döteryum değeri, yukarıdaki denklemde (1) yerine konulduğunda, bu suların beslenme yüksekliği 1700 m olarak hesaplanmıştır (Burçak ve diğerleri, 2003). Bu yükseklik değeri yüzeysel beslenme alanı içinde, kuzeyde yer alan Şaphane Dağı zirvelerine karşılık gelmektedir.

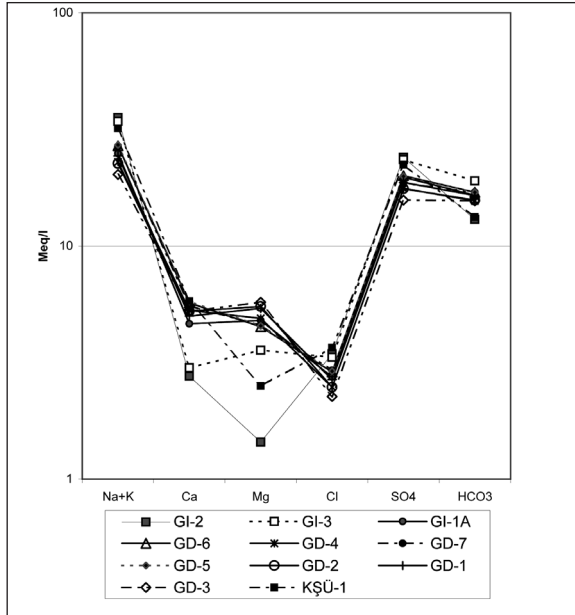
$\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiğine göre birinci grup sular, beslenme alanındaki soğuk sulardır. Bu sular

AKD-EGE MWL' na (Akdeniz-Ege-Meteorik su doğrusu) yakındır. Bu nedenle Ege ve Akdeniz'den gelen yağışlardan beslenmiş sular olarak değerlendirilir. İkinci grup sular da hem $\delta^{18}\text{O}$ ve hem de D bakımından zenginleşme görülür. Bu bu suların beslenme sırasında veya sonrasında buharlaşmaya uğradığını işaret eder. Sıcak sular ise $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleşerek meteorik doğrudan sağa doğru sapma gösteren Üçüncü grup ile temsil edilir. Sıcak sular da $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleşme su-kayaç arasındaki reaksiyonuna bağlıdır. Su kayaçlar içinde dolaşımı sırasında kayaçtan erittiği silikatlara bağlı olarak ^{18}O bakımından zenginleşmiştir (Şekil 12).

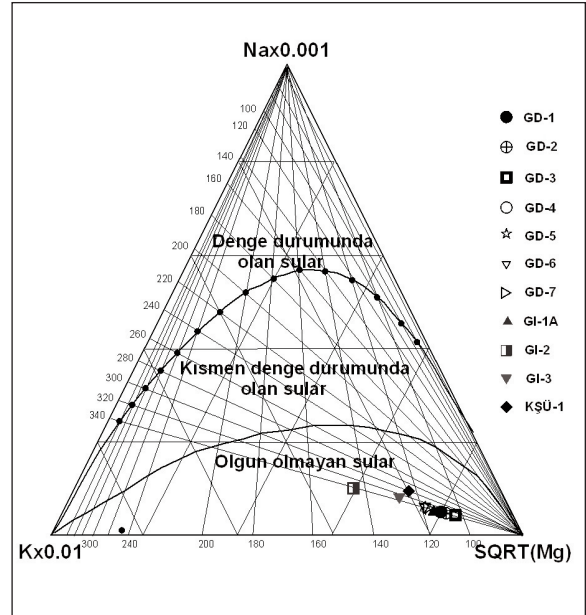
Trityum analizlerine göre sular başlıca üç grupta toplanır. Birinci grupta yer alan sular 0 (sıfır) trityum değeri ile nükleer denemeler öncesi yağışlardan (1952 öncesi) beslenmiş sulardır. İkinci grup sular ise trityum içeriği 4 TU'dan büyük olan 5-10 yıllık dolaşım süreli güncel (modern) sulardır. Üçüncü grup ise sıcak suların da



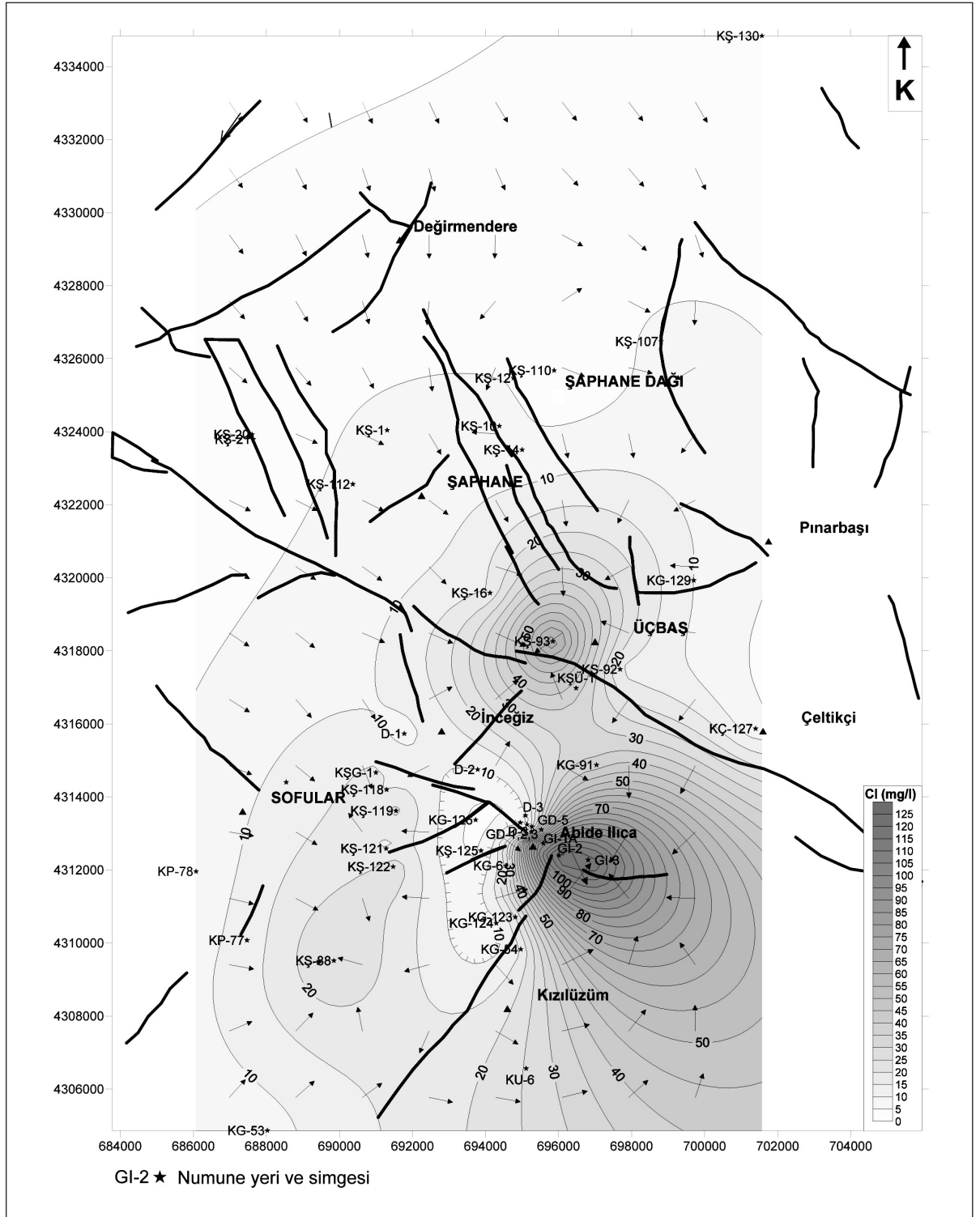
Şekil 6- Çalışma alanından alınan soğuk sulara ait Schoeller diyagramı



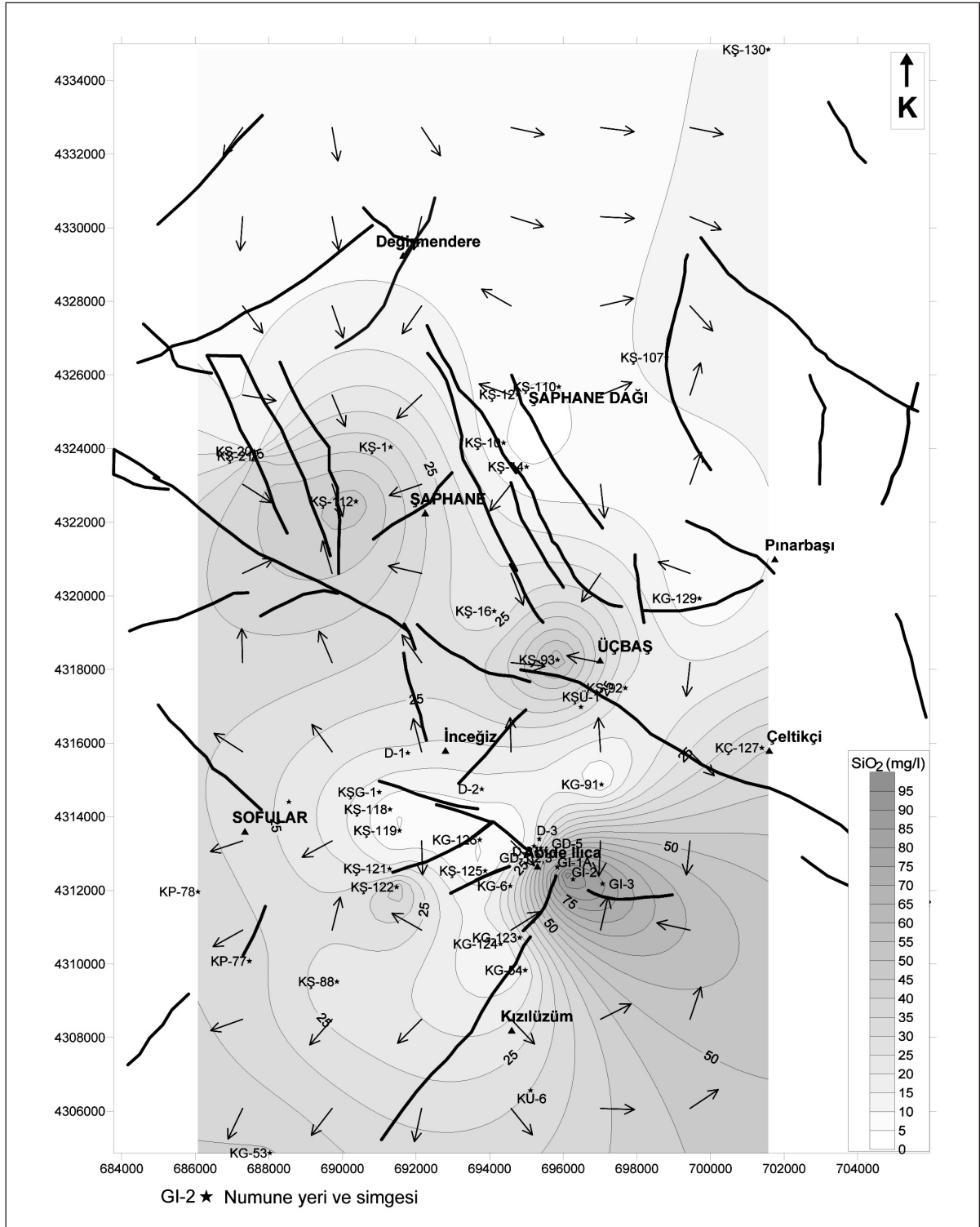
Şekil 7 - Çalışma alanından alınan sıcak sulara ait Schoeller diyagramı

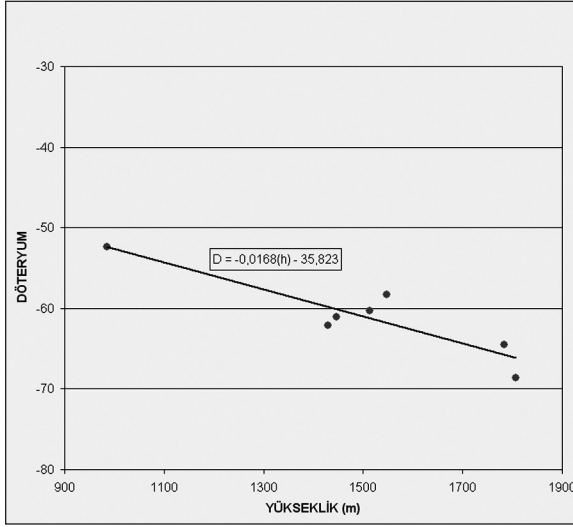


Şekil 8 - Çalışma alanından alınan sıcak sulara ait Giggenbach (1988) Na-K-Mg üçgen diyagramı



Şekil 9 - Çalışma alanının Eş Cl konsantrasyonu ve tektonik haritası.

Şekil 10 - Çalışma alanının SiO_2 eş konsantrasyonu ve tektonik haritası.



Şekil 11 - Sahaya ait Döteryum-Yükseklik grafiği

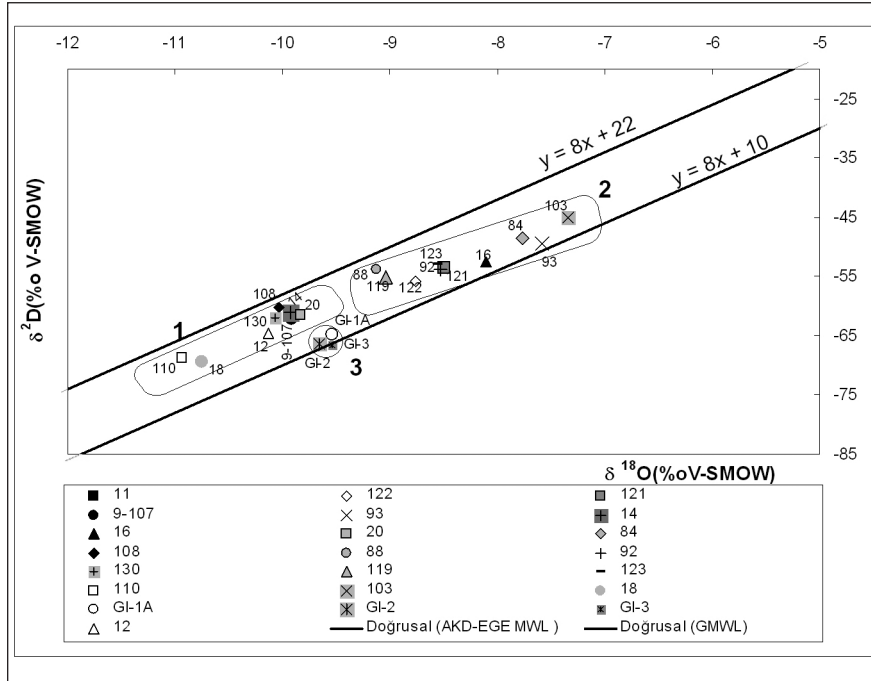
içinde yer aldığı 2-4 TU değerli sulardır. Bu suların genç yağışlardan ve eski yağışlardan beslenmiş yarı-güncel sular oldukları söylenebilir

(Şekil 13). Suların yer altında dolaşım derinliği elektriksel iletkenlik artışı (EC) ile doğru orantılı olarak arttığından dolaşım derinliğinin sağa doğru arttığı sonucuna varılmaktadır. Bu durumda en derin dolaşım sularının en yüksek EC değerine sahip sıcak sular (GI-1A, GI-2, GI-3) oldukları tespit edilmiştir (Şekil 13).

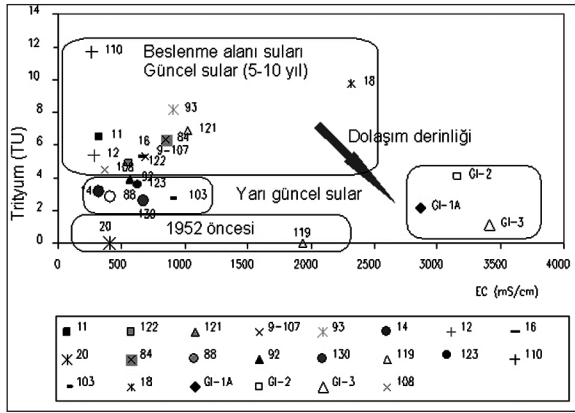
JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Manyetotellürik Çalışmalar

Manyetotellürik çalışmalar üç adet profil boyunca 45 noktada uygulanmıştır (Şekil 14). Gömülü jeotermal saha ile ilgili olarak AB profili bu makalede değerlendirilecektir. Bu profil boyunca 12 noktada MT ölçüm yapılmıştır. Profil, güneyde temeli oluşturan gnayslar üzerinde başlar, Gediz-Abide kaplıcaları üzerinden kuzeyde temeli oluşturan şist ve mermerlerin yüzeylediği Şaphane Dağı'nın zirvesine kadar uzanmaktadır.



Şekil 12 - Çalışma alanından alınan sulara ait 18O-Döteryum grafiği

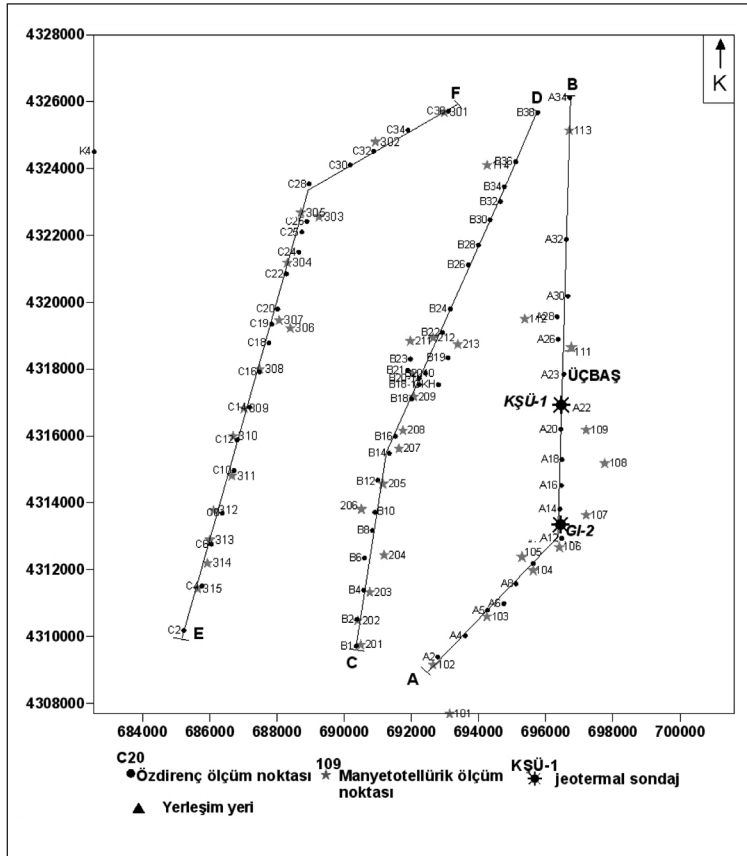


Şekil 13 - Çalışma alanından alınan sulara ait trityum Elektriksel iletkenlik (EC) grafiği

CD ve EF profilleri ise AB profilinin batısında yer alır (Şekil 14). Manyetotellürik (MT) metotta

yerin doğal elektromanyetik alanı enerji kaynağı olarak kullanılarak yerin elektriksel öz direnci ölçülmektedir. Kayaçların elektrik iletkenliği gözeneklilik, sıcaklık, içerdiği suyun tuzluluğu ile artar. Kuru kayaçlarda elektriksel iletkenlik sıcaklıkla doğru orantılı olarak yavaş-yavaş artmaktadır. Ergimiş kayaçlarda ve mağmada ise iletkenlik hızla artmaktadır. MT ölçümleri araştırılan jeolojik formasyonların özellikleri hakkında çok önemli ipuçları verir. Kayaç birimleri arasındaki iletkenlik değişiminden dolayı, MT verilerinin yorumlanması ile derinlik, büyük stratigrafik birimlerin sınırları gibi jeolojik yapılar açığa çıkarılabilir.

Doğal elektromanyetik alan çok geniş bir spektruma sahiptir. Düşük frekanslar (0,00001-10 Hz) güneşten yayılan ve yerin manyetik alanı ile karışan iyonosferik ve manyetosferik akımlar-



Şekil 14 - Jeofizik lokasyon haritası

dan oluşur. Üst manto ve kabuk kalınlığı araştırmaları ile jeotermal ısı kaynağı araştırmaları gibi yerin onlarca-yüzlerce km derinliklerdeki yapısının araştırılmasında kullanılır. Yüksek frekanslar (10-1000 Hz) ise sıg araştırmalarda kullanılır (Cagniard 1953; Vozoff 1972; Hersir ve Björnsson 1991).

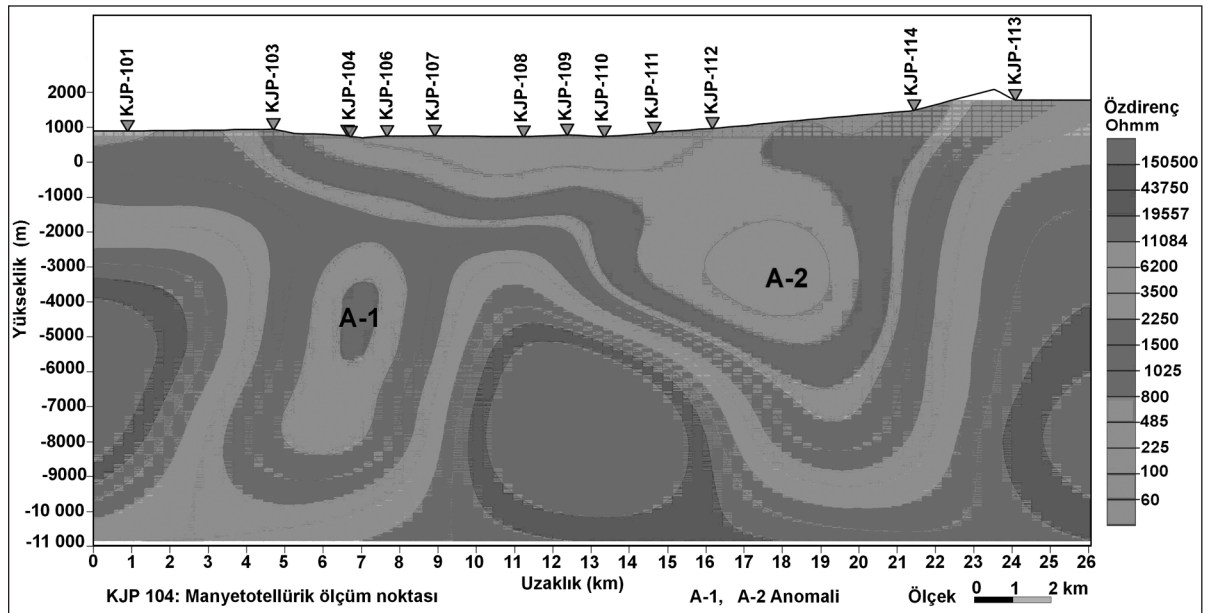
Bazı yüksek frekanslar (≥ 1 Hz) ekvatora yakın geniş enlemlerde, iyonosfer ve yer arasında yayılan fırtına etkinlikleri nedeniyle oluşur. Doğal elektromanyetik alan yerin manyetik alanındaki değişim şeklinde gözlenebilir. Elektromanyetik alanın zamana bağlı olarak yer içinde değişimi "manyetik mikro nabız" (magnetic micro pultion) olarak adlandırılır. Mikro nabızların kaynağının güneşten yayılan yüklü parçacıkların yerin manyetik alanı ile etkileşimi sonucu olduğu bilinmektedir (Cagniard, 1953).

MT yöntem derin, büyük jeolojik yapıların araştırılmasında (kabuk kalınlığı, üst manto), jeotermal sistemlerde ısı kaynağı araştırmalarında, petrol araştırmalarında kullanılmaktadır (Beblo

ve diğerleri 1983; Vozof, 1972; Jupp ve Vozof 1977; Hersir ve Björnsson 1991; Burçak ve diğerleri, 2005 a,b).

Sahada yapılan manyetotellürik çalışma sonucu yapılan iki Boyutlu MT modellemeye göre AB Profilinde iki yerde düşük öz dirençli ve derin kökenli anomali belirlenmiştir (A1 ve A2 anomalileri). Bunlardan birincisi (A1) güneyde Gediz-Abide sahasının derinliklerine rastlar. Diğeri ise bunun 5 km kadar kuzeyinde "umutlu alan" olarak tanımlanan alana rastlar (Şekil 15).

Yüzeyden itibaren başlayan ve havza ortasında 1000 m'yi bulan düşük öz direnç ile belirgin anomali Miyosen yaşlı gösel çökeltilere yorumlanmıştır. Bunun altında yer alan daha yüksek öz dirençli kesim ise temel kayalarına yorumlanmıştır. Bu kesit jeolojik olarak ortaya konan tektonik yapı ile belirlenen graben yapısını çok iyi yansıtmıştır. Yüksek öz dirençli temel içinde düşük öz dirençli iki kütleli varlığı belirgin olarak görülmektedir. Bunlardan birincisi (A-1) güneyde Abide kaplıcalarının bulunduğu yere ikincisi (A-2) ise



Şekil 15 - AB Profiline ait 2 boyutlu manyetotellürik model (Burçak ve diğerleri, 2005 a, 2006)

kuzeyde grabenin orta kısmında yer alan umutlu alan olarak ifade edilen kesime rastlar. Yüksek öz dirençli kabuk içinde ortalama 5-6 km derinlikte yer alan bu düşük öz dirençli kütle jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturan sıcaklığı nedeniyle iletkenliği artmış, sıcak katı veya kısmen erimiş mağma kütlelerine yorumlanmıştır (Şekil 15).

Bu anomalilerin devamlılığı diğer iki profilde de izlenmiştir. Bu anomaliler tektonik yapı ve jeokimyasal anomaliler ile uyumludur (Şekil 16).

ÖZDİRENÇ ÇALIŞMALARI

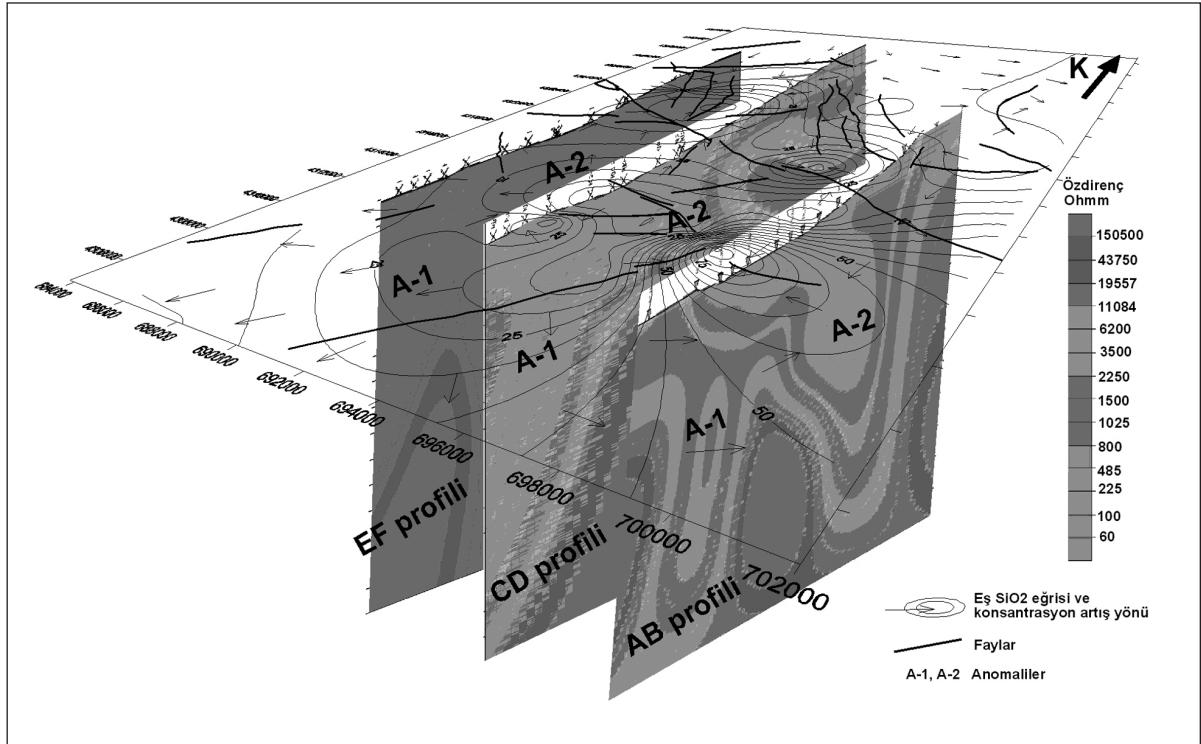
Özdirenç ölçümleri MT çalışmaların yapıldığı aynı üç profil üzerinde 75 noktada yapılmıştır. AB profili üzerinde 18 noktada ölçüm yapılmıştır (Şekil 14). Özdirenç çalışmalarına göre MT çalışmalarına benzer şekilde AB profili üzerinde iki önemli anomali belirlenmiştir. Bunlardan birincisi

(A-1) Abide jeotermal sahasına rastlar. İkincisi (A-2) ise gömülü sahayı işaret etmekte olup, birinci anomalinin 5 km kadar kuzeyinde yer almaktadır. Temele giriş derinliğinin güneyde 300-400 m, kuzeyde ise 1100-1300 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Kuzeydeki anomali (A-2) üzerinde yapılan KŞÜ-1 sondajı ile bu verileri doğrulanmış, sondajda rezervuarı oluşturan temel kayalara 1100 m derinlikte girilmiştir (Şekil 17).

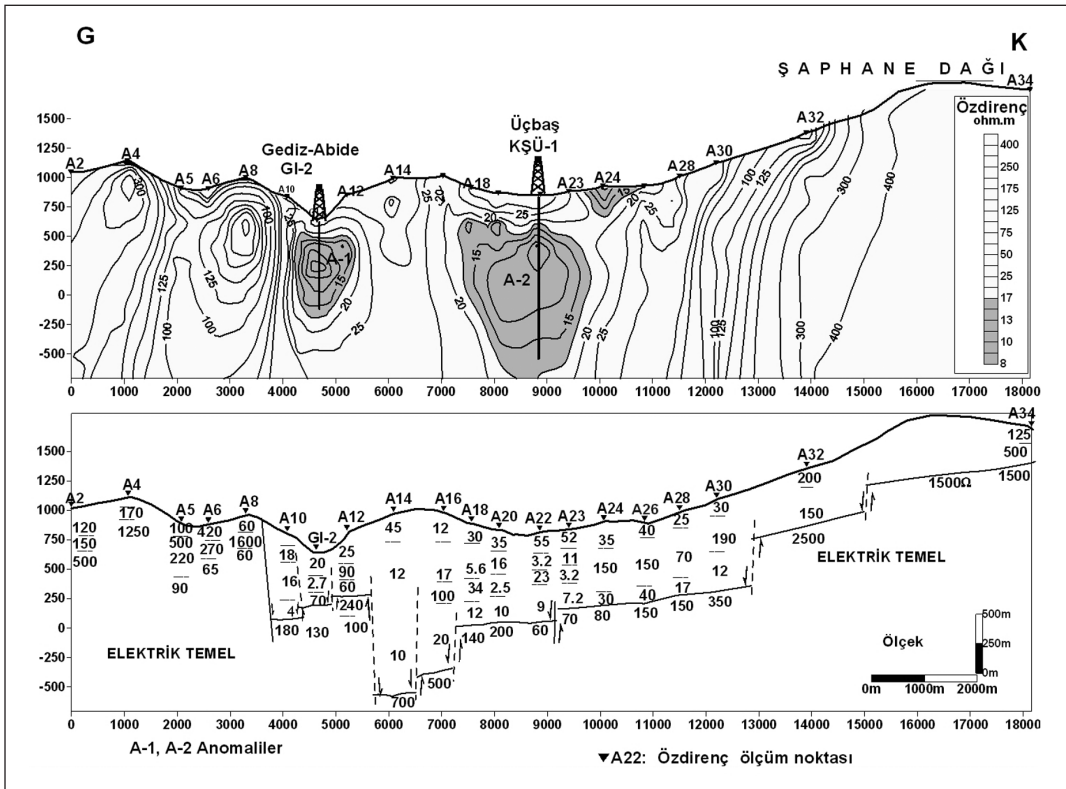
AB profilinde Görünür öz direnç ve elektrik yapı kesitleri ile belirlenen iki anomalinin (A-1 ve A-2) diğer iki profilde (CD ve EF) de devam ettiği ortaya konulmuştur (Şekil 18).

SONDAJ ÇALIŞMASI

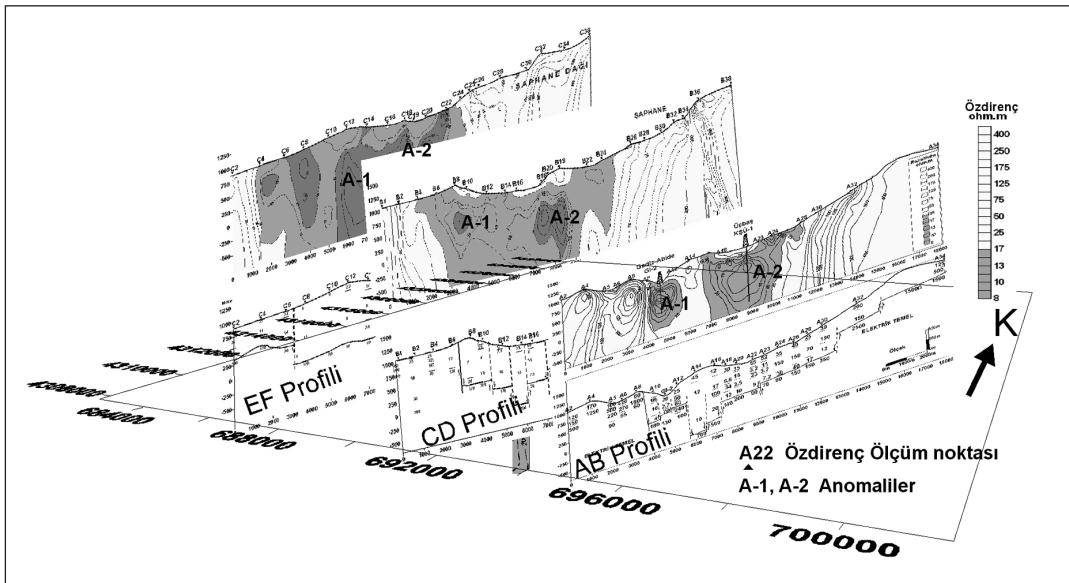
Tüm çalışmaların değerlendirilmesi sonucu umutlu olarak görülen Üçbaş sahasında 1330 m derinlikte bir adet arama sondajı yapılmıştır. Son-



Şekil 16 - Manyetotellürik profiller ve bu profillere ait anomaliler (A1 ve A2) ile tektonik harita ve jeokimyasal (SiO₂) anomalilerin perspektif görünüşü (Burçak ve diğerleri, 2005 a; 2006)



Şekil 17 - AB Profiline ait görünür özdirenç ve elektrik yapı kesiti (Burçak ve diğerleri, 2005 a; 2006)



Şekil 18 - Profillere ait görünür özdirenç, elektrik yapı kesitleri ve anomalilerin perspektif görünümü (Burçak ve diğerleri, 2005 a; 2006)

dajda 0-800 m arasında Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonuna ait kumtaşı, konglomera, kiltaşından oluşan karasal ve gölssel çökeller; 800-870 m arasında Dağardı melanjına ait silisleşmiş, kloritleşmiş, karbonatlaşmış seviyelerden oluşan listfenitleşmiş kayalar; 870-1070 m arasında serpantin, 1070-1150 m beyaz, açık gri renkli, Jura-Kretase yaşlı Budağan kireçtaşları kesilmiştir. Budağan kireçtaşı silisleşmiş, kloritleşmiş, limonitleşmiş olup, çatlaklarda pirit içermektedir. 1150-1291 m'ler arasında kuvarsist, kuvarsmikaşist, mikaşist, kalkışist ve mermer ardalanması, 1291-1330 m'ler arasında da beyaz, koyu gri renkli, siyah gri-beyaz bantlı mermer kesilmiştir. Kuyuda 1291 metrede tam kaçak olmuştur. 1291-1330 m arasında zaman-zaman kısmi çamur sirkülasyonu sağlanmıştır. Toplam 150 m³ çamur kaçağı olmuştur. Kuyuda rezervuar özellikli seviye 800-870 m arasında yer alan listfenitik zon, 1070-1330 metreler arasında yer alan temele ait kireçtaşı, şist ve mermerlerdir (Şekil 19). En önemli rezervuar seviye tam kaçağın olduğu 1290-1330 m arasında yer alan mermerlerdir. Ortalama jeotermal gradyan 100-800 m'ler arasında 0.78 °C/10 m olarak hesaplanmıştır. KŞÜ-1 jeotermal araştırma sondajında 56 saat bekleme ile alınan termik ölçüye göre kuyu taban sıcaklığı 105 °C, kuyu içi statik sıcaklığı 109 °C olarak ölçülmüştür. Kuyudan kompresör ile 90 °C sıcaklık ve 40 l/s debide akışkan üretimi elde edilmiştir. Bu kuyunun 9.21 MWt ısı potansiyeli bulunmaktadır.

ÇALIŞMA ALANININ JEOTERMAL MODELİ

Jeoloji, jeofizik ve jeokimyasal veriler birbirleri ile uyumlu oldukları araştırmanın her aşamasında elde edilen verinin bir sonra elde edilen veri ile deneştirilerek bulgular birbiri ile ilişkilendirilmiştir.

Bu şekilde tüm veriler birlikte değerlendirilerek sahanın jeotermal modeli oluşturulmuştur. Isı kaynağı (MT çalışmaları ile) örtü kayaç kalınlığı rezervuara giriş derinliği (Jeoloji, MT, öz direnç, sondaj), meteorik suların derinlere süzülmesini sağlayan tektonik yapı (jeoloji, jeokimyasal çalış-

malar), su kaynağının kökeni (izotop ve su kimyası) beslenme alanı (su kimyası, izotop) ve rezervuarın yayılımı (jeoloji, jeofizik) model üzerinde gösterilmiştir (Şekil 20). Modele göre rezervuara giriş derinliği 500-1100 m arasında değişir. Bu çalışma ile rezervuar kayacı sahanın güneyinde gnaysın kırık zonlarının, Şaphane - Üçbaş (gömülü saha) sahasında ise mermer ve şistlerin oluşturduğu belirlenmiştir.

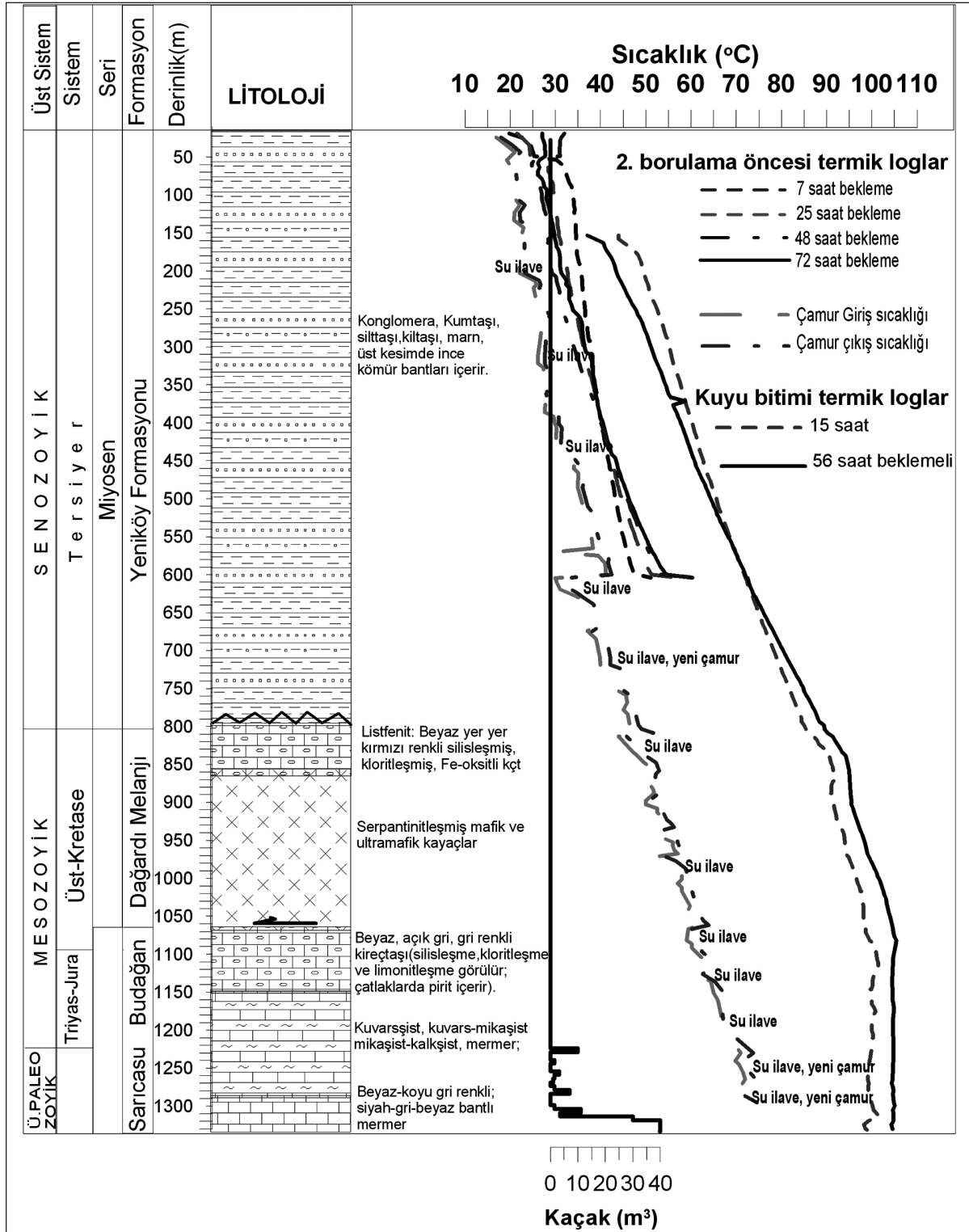
SONUÇLAR

Bu çalışmanın esas hedefi çalışma alanının kuzeyinde örtülü alanda gömülü bir jeotermal sistemin var olup olmadığının araştırılmasıdır. Yapılan araştırmalar sonucu bu hedefe ulaşılmış, rezervuar sıcaklığı 100 °C'yi aşan yeni gömülü bir jeotermal saha bulunmuştur.

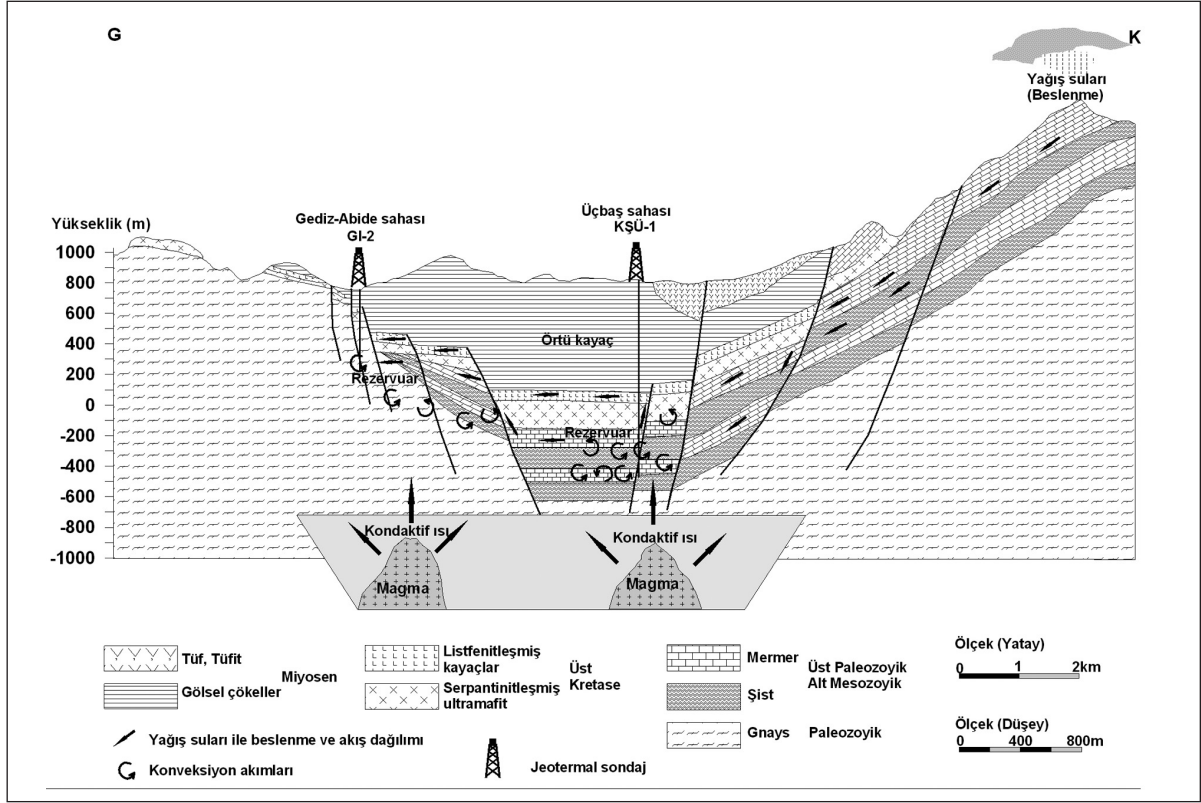
Bu çalışma yüzey verisi olmayan bir alanda jeolojik verilerle hedef bir alan seçilmiş, jeoloji, jeofizik ve jeokimyasal veriler birlikte değerlendirilerek araştırmaya değer görülen Üçbaş-Şaphane sahasında 1330 m derinlikte bir arama sondajı yapılmıştır. KŞÜ-1 jeotermal arama sondajında kuyu içi statik sıcaklığı 109 °C olarak ölçülmüştür. Kuyudan kompresör ile 90 °C sıcaklık ve 40 l/s debide akışkan üretimi elde edilmiştir. Buna göre kuyu 9.21 MWt ısı potansiyelindedir. Elde edilen termal su Na-SO₄-HCO₃ sınıfında olup, Gediz Abide sondaj suları ile benzer kimyasal bileşimdedir. Sıcaklığı itibari ile konut ısıtmacılığı (1150 konut eşdeğeri ısıtma), seracılık ve termal turizmde kullanmaya uygundur.

ÖNERİLER

KŞÜ-1 jeotermal kuyusunda kuyu potansiyelinin tam olarak belirlenmesi için üretim testlerinin yapılması gerekmektedir. Kabuklaşma gibi olası işletme problemlerinin belirlenmesi için inhibitör test çalışmalarının yapılması önerilir. Sahada yapılacak yeni üretim kuyuları ile üretimin artırılması mümkün görülmektedir. Yapılacak yeni üretim sondajlarından sonra rezervuar test çalışmalarının ve reenjeksiyon olanaklarının araştırılması önerilir.



Şekil 19 - KŞÜ-1 jeotermal sondajına ait kuyu logu



Şekil 20 - Kütahya- Gediz-Abide ve Şaphane-Üçbaş sahaları jeotermal modeli.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma MTA Genel Müdürlüğü'nün Batı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı araştırmaları projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu makalenin geliştirilmesinde eleştirileri ile katkı koyan Prof. Dr. Şakir Şimşek'e ve Doç. Dr. Mehmet Çelik'e teşekkür ederiz.

Yayına verildiği tarih 27 Şubat 2007

DEĞİNİLEN BELGELER

Açıkgöz, S., 1996. Kütahya- Gediz civarının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10453 Ankara (yayımlanmamış).

Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979. Menderes Masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve meta bazik,

meta-ultramafik kayaların konumu. Türkiye Jeoloji kurumu Bülteni, 22, 175-183.

Beblo, M., Bjornsson, Axel, Arnason, Stein, B., ve Wolfgram, P., 1983. Electrical conductivity beneath Iceland-constraints imposed by magnetotelluric result on temperature partial melt, crust and mantle structure. J. Geophys., 53, 16-23.

Bingöl, E., 1977. Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 86, 14-34.

_____, Delaloye, M. ve Ataman, 1982. Granitik Intrusions in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. Eclogia geol. Helv. 75/2. 437-446.

Burçak, M., Gökmenoğlu, O., Aytekin A., Duman, O., Yeltekin., K Erkan, B., Özmutaf, M., Özkan, H.,

- Erdoğan, H. İ., ve Şahin, H., 2004. Gediz (Kütahya) belediyesi Jeotermal merkezi ısıtma sistemi için jeotermal enerji aramaları ve rezervuar değerlendirmesine yönelik sonuç raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü proje verileri. (Proje no: 2003-B-16) Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M., Yıldırım, N., ve Kılıç, A.R., 2005 (a). Gediz (Kütahya) sahasının jeotermal özellikleri ve ısı kaynağı araştırmaları, 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri kitabı, 1-2.
- _____, Kaya, C., Kılıç, A.R. ve Akdoğan, N., 2005 (b). Exploration of the Heat Source and Geothermal Possibilities of the Aksaray Region, Central Anatolia, Turkey. Proceedings CD of the World Geothermal Congress 2005 (WGC 2005) (Editors Horne, R. and Okandan, E.), Antalya Turkey, paper no: 2633. (ISB-975-98332-0-4) (yayımlanmamış).
- _____, Kılıç, A.R., Hacısalihoğlu, O., Beker, K. ve Özkan, H., 2006. MTA Genel Müdürlüğü Batı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı araştırmaları proje verileri. (Proje no: 2006-13-33-06) (yayımlanmamış).
- Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting, Geophysics, 18, 605-635.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, E., 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi; Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni. 21, 97-106.
- _____, Günay, E. ve Savaşçın, Y., 1984. Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 97/98, 86-101.
- _____, Satır, M., Sevin, D. ve Türkecan, A., 1996. Batı Anadolu Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 119, 103-112.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T., 1992. Menderes Masifinin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi, Türkiye Petrol jeologları Derneği Bülteni, 4/1, 9-34.
- Fournier, R.O., 1977, Chemical Geothermometers and mixing models for Geothermal systems. Geothermics, 5, 41-50.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solid equilibria. Derivation of Na-Na-Mg-Ca indicators: Geochimica et Cosmochimica Acta 52, 2749-2765.
- Günay, E., Akdeniz, N., Saroğlu, F. ve Çağlayan, A., 1986. Muratdağı-Gediz dolayının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8046. Ankara (yayımlanmamış)
- Hamut., M.N. ve Yücel, B., 1996. Kütahya-Gediz Ilıca GI-1, GI-1/A, GI-2 Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10451 (yayımlanmamış).
- Hersir, G.P., ve Björnsson, A., 1991. Geophysical Exploration for Geothermal Resources Principles and Application, National Energy Authority, Geothermal Division Grensasvegur, 9, 108p Reykjavik Iceland.
- İzdar, K. E., 1971. Introduction to geology and metamorphism of Menderes Massif of western Turkey, Campel A.S., ed., Geology and history of Turkey, Petroleum Expl. Soc. of Lib., Tripoli, 495-500.
- Jupp, D.L., ve Vozof, K., 1977. The two dimensional magnetotelluric inversions, Geophysics J. Roy. Astr. Soc., 333-352.
- Karlı, R., 1997. Kütahya-Gediz çevresinin jeotermal enerji aramaları jeofizik SP ve rezistivite etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10013 (yayımlanmamış).
- Önder, I. ve Duman, Ö., 1998. Kütahya-Gediz çevresi, jeotermal enerji aramaları, jeofizik rezistivite etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10051 Ankara (yayımlanmamış).
- Özbayrak, İ. H., 1984. Kütahya-Simav Abide Alanının Jeolojisi ve jeotermal olanakları. Maden Tetkik

ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8747
Ankara (yayımlanmamış).

Schuling, R. D., 1958. Menderes masifine ait bir gözlü
gnays üzerinde zirkon etüdü. Maden Tetkik ve
Arama Dergisi, 51, 38-42.

_____, 1962. Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes
migmatitik kompleksinin petrolojisi, yaşı ve
yapısı hakkında, Maden Tetkik ve Arama Der-
gisi, 58, 71-85.

Ünlü, M. R., 1971. Gediz-Simav- Sındırgı- Bigadiç
civarının jeotermal enerji olanakları, Maden
Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:
4829 Ankara (yayımlanmamış).

Vozoff, K., 1972. The magnetotelluric method in the
exploration of sedimentary basins. Geo-
physics, 37, 98-141.
