



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



ÖRTÜLÜ JEOTERMAL SAHALARIN ARANMASINDA YENİ YAKLAŞIMLAR: KÜTAHYA-ŞAPHANE-KARACADERBENT GÖMÜLÜ JEOTERMAL SAHASI

Musa BURÇAK*^a, Hüseyin DÜNYA^b ve Ömer HACISALİHOĞLU^c

^a MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammade Etüt ve Arama Dairesi, Eskişehir yolu, Balgat, ANKARA

^b MTA Genel Müdürlüğü, Ege Bölge Müdürlüğü, İZMİR

^c MTA Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü, TRABZON

ÖZ

Anahtar Kelimeler:
Şaphane, Karacaderbent,
gömülü jeotermal saha,
jeofizik, kavramsal
model, kuyu geliştirme

Şaphane bölgesinde temeli, Menderes masifinin kuzey kenarına ait Paleozoik yaşlı gnays, şist ve mermerler oluşturur. Bu temel kayalar Kretase yaşlı Dağardı ofiyolitik melanjı tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Tüm bu birimler Neojen-Kuvaterner yaşlı gölsel-karasal ortamda çökelmiş sedimanter ve volkanik kayalarla diskordan olarak örtülmektedir.

Bu çalışmanın ana hedefi jeoloji, jeofizik ve jeokimya araştırma yöntemleri kullanılarak örtülü alanda gömülü bir jeotermal sistemin bulunması ve sondaj çalışması ile geliştirilmesidir. Bu kapsamda araştırmada jeoloji, jeofizik, jeokimya, sondaj, kuyu geliştirme ve test çalışmaları uygulanmıştır. Örtülü alanlarda yapılan jeotermal araştırmalara bir örnek teşkil eden çalışma ile bu tür araştırmalara yeni bir bakış açısı getirilmiş, özellikle jeofizik çalışmalar için alışlagelmiş korelaj çalışması yerine profil uygulaması denenmiş, profillerin seçiminde jeolojik yapı ve jeokimyasal veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada jeotermal sistem noktasal olmaktan çok bölgesel olarak ele alınmış, araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda Şaphane Karacaderbent yakınlarında yüzey verilerinin olmadığı tamamen örtülü bir alanda sondaj lokasyonu belirlenmiştir. Bu noktada açılan 2500 m derinlikteki KŞÜ-3 nolu sondajda 181,2 °C rezervuar sıcaklığına ulaşılmıştır. Kuyu geliştirme ve test çalışmaları tamamlanan kuyudan artezyen durumunda, 10 PSI kuyu başı basıncında, kuyu ağzında 114 °C sıcaklık, 25 l/s debide su ve buhar üretimi sağlanmıştır. Kompresörle yapılan üretim testlerinde ise 22 PSI kuyu başı basıncında, 112 °C sıcaklık, 35 l/s debide sıcak su ve buhar elde edilmiştir. Kuyudan elde edilen akışkan, sıcaklık ve testler sonucu ortaya konan üretim değerleri ile elektrik üretimine, konut ve sera ısıtmasında kullanmaya uygundur. Türbin atım sıcaklığı 75 °C olarak alındığında kuyunun elektrik enerjisi karşılığı 2,2 MWe olarak hesaplanmıştır. Kuyudan elde edilen akışkanın termal potansiyeli 21,3 MWt olup, ısıtmada kullanıldığında 1300 konut eşdeğerinde, seracılıkla kullanılması durumunda ise 85 dönüm (85000 m²) sera ısıtma potansiyeline sahiptir.

ABSTRACT:

Keywords:
Şaphane,
Karacaderbent,
buried geothermal
field, geophysics,
conceptual model, well
development.

The basement in Şaphane region is constituted by Paleozoic gneiss, schist and marbles belonging to northern margin of the Menderes Massif. These basement rocks are overlain by Cretaceous aged Dağardı ophiolitic melange. All these rocks are discordantly covered by Neogene – Quaternary sedimentary and volcanic rocks deposited under lacustrine – continental environments.

The main purpose of this study is to explore buried geothermal system on a covered area using geological, geophysical and geochemical methods and to develop this system by drilling investigations. Geological, geophysical, geochemical and drilling investigations, well development and test studies were applied in this research. This study is a typical example for geothermal researches carried out in covered areas. Thus, a new approach was aimed to be brought out in such investigations. Especially; the profiling was applied, and geological structures and geochemical data were used for the selection of profiles at geophysical investigations instead of gridding which had typically been used for many years. The geothermal system was handled in regional scale rather than local scale with this study. As a result of research assessments, a drill location was selected on a totally covered area where there was no surface data around Şaphane Karacaderbent. At drilling number KŞÜ-3, a reservoir temperature of 181,2°C were reached at a depth of 2500 m. From the well which its development and test studies had been completed at 10 psi at wellhead pressure (WHP), vapor + water production was obtained at a temperature of 114°C and a flow rate of 25 l/s in case of artesian. As for the production tests carried out by compressor at 22 PSI well head pressure (WHP), vapor + water was obtained at a temperature of 112°C and a flow rate of 35 l/s. The fluid obtained from the well is suitable for the production of electricity and for heating of houses and greenhouses due to the production values revealed at the end of temperature and tests. When turbine rejection heat is taken as 75°C, the apparent potential of electrical energy in the well is 21,3 MWt and owns a potential to heat 1300 houses or an area of 85000 m² for greenhouses.

* Başvurulacak yazar : M. BURÇAK, mburcak65@gmail.com

120-175 °C ve zayıf asidik, ikinci aşamada ise 100-120 °C sıcaklık ve bazik pH koşullarına sahip bir alterasyon etkili olduğu ortaya konmuştur (Burçak vd., 2007b).

2. Uygulanan Yöntemler

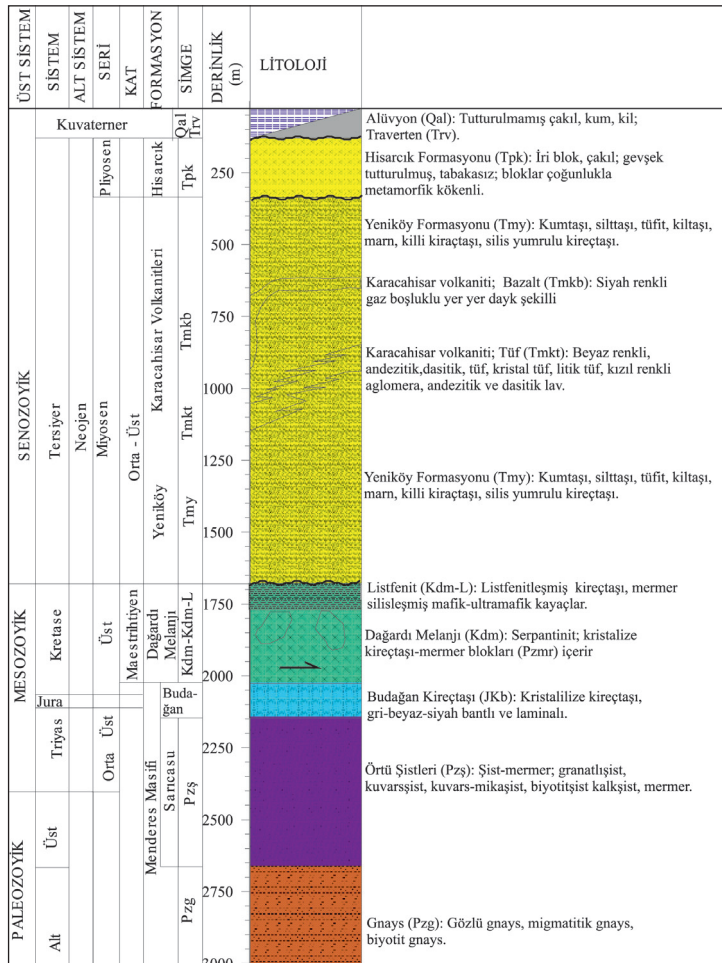
Saha ve çevresinde 2003-2006 yılları arasında yapılan etüt çalışmaları kapsamında 500 km² 'lik alanda 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası, 45 adet su kimyası ve 22 adet izotop analizleri ile üç profil üzerinde 42 noktada manyetotellürik (MT) ve 76 noktada rezistivite çalışması yapılmıştır (Burçak vd., 2007a, b). Bu çalışmalar sonucu belirlenen iki lokasyonda 1330 (KŞÜ-1 no.lu sondaj; 2006 yılında) ve 2500 m (KŞ-3 no.lu sondaj; 2009-2010 yıllarında) derinlikte iki adet de sondaj açılmıştır.

Çalışma alanında 1. Profil üzerinde KŞÜ-1 jeotermal kuyusu açılmış, Üçbaş beldesi yakınlarında 1330 m derinlikte açılan bu kuyudan 109 °C sıcaklık (kuyu taba sıcaklığı) ve 40 l/s debide akışkan elde edilmiştir. KŞÜ-1 kuyusunda 800 m örtü kalınlığı

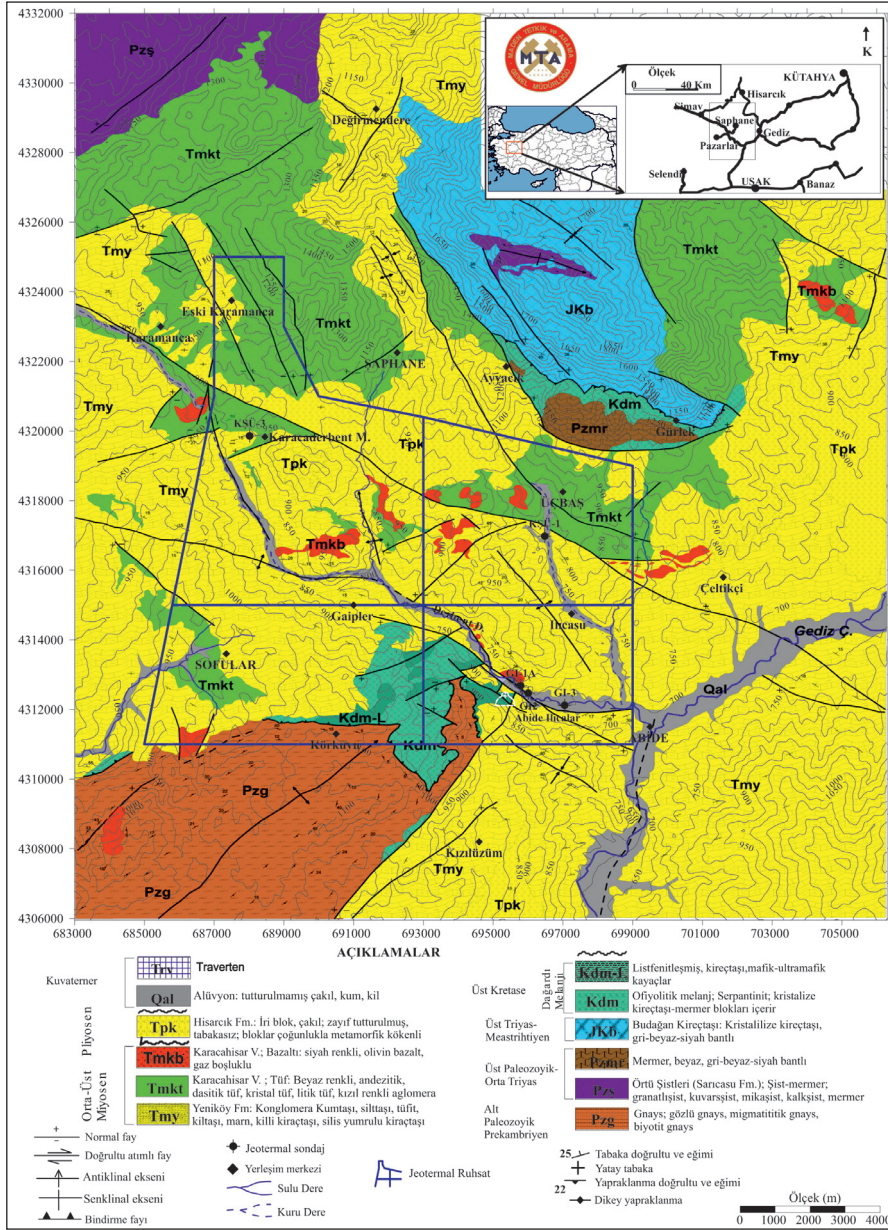
kesilmiş ve kuyuda örtü için hesaplanan ortalama jeotermal gradyan 0.78 °C/10 m olarak belirlenmiştir (Burçak vd., 2007b). İkinci (B-B') profil de modellenmiş ancak henüz bu profil üzerinde bir sondaj açılmamıştır. Bu makalede profillerin seçiminde göz önünde bulundurulmuş jeolojik, kimyasal ve fiziksel şartlar ile üçüncü profil üzerinde oluşturulan modeller ve bu çalışmaya konu olan KŞÜ-3 sondajına ait kuyu geliştirme ve test çalışmaları anlatılacaktır.

3. Jeoloji

Çalışma alanının temel kayalarını Menderes masifinin kuzey kenarına ait Prekambriyen-Paleozoik yaşlı gnays, Üst Paleozoik-Mezozoyik yaşlı şist ve karbonatlı kayalar oluşturur. Temel kayaları Üst Kretase yaşlı Dağardı ofiyolitik melanji tarafından tektonik dokanakla üzerlenir. Tüm bu kaya birimleri Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter gölsel-karasal çökeller ve bunlarla yaşıt volkanik kayalar tarafından örtülür. İstifin en üstünde ise Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelleri diskordansla bulunur (Şekil 2, 3).



Şekil 2- Çalışma alanı ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti.



Şekil 3-Çalışma alanının jeoloji haritası.

3.1. Gnays

İnceleme alanında Temeli oluşturan gnayslar yaygın olarak gözlü gnays, granit gnays, ve biyotit gnayslar ile olarak temsil edilmektedir. Çalışma alanının güneyinde Korkuyu Köyü ve civarında (Şekil 3) gözlenir. Alanda eksen KD-GB doğrultulu ve KD'ye doğru dalımlı bir antiklinal çekirdek oluşturur. Antiklinalin kanatlarında ortalama eğim 20° civarında olup, antiklinal ekseninin ortalama dalımı 5-10° KD şeklindedir. Birim arazide temeli oluşturmakta ve tabanı gözlenmemektedir.

Satır ve Freidrichsen (1986) yine Rb/Sr yöntemi ve Compton-Jeffery ve Nicolaysen birleşik diyagramı ile gnaysların ilksel sedimantasyonu için 680 milyon yıl (my) dolayında olası bir yaş saptamışlardır. Bu verilere dayanarak gnaysların ilksel oluşum yaşı Alt Paleozoyik-Prekambriyen olarak kabul edilmiştir. Birimin yaşının Hersiniyen öncesi (Alt Paleozoyik-Prekambriyen) olduğu ifade edilmiştir (Akdeniz ve Konak, 1979).

3.2. Şist ve Mermer (Sarıcasu formasyonu)

Bu birim çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan Şaphane Dağı civarında mostra verir.

Menderes Masifinin örtü şistlerinin üst seviyelerini oluşturur. Birim Akdeniz ve Konak (1979) tarafından adlandırılmıştır. Başlıca yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış kaya birimlerinden oluşan birim ana litolojisini birbiriyle yanal ve düşey yönde geçişli, değişken ölçeklerde merceksel mermer, metatüf ve metadiyabazik kayaç seviyeleri içeren muskovit kuvars albit şist, muskovit klorit kalsit kuvars şist, klorit kuvars şist, kuvars albit serizit şist, talkşist, metakonglomera, fillit ve kuvarsit mineral bileşimli kayaçlar oluşmaktadır (Akdeniz ve Konak, 1979). Çalışma alanında Şaphane Dağ'ında Asartepe kuzeyinde BKB-DGD doğrultulu bir antklinal eksen boyunca mostra veren birim bantlı mermer ve kalk şist, seviyeleri içeren değişken mineral bileşimli şistlerden (mikaşist, kuvars-mika şist, biyotit şist) oluşur (Şekil 2 ve 3). Bu seviyeden alınan bir örnek petrografik analizde muskovit klorit kuvars-albit-şist olarak tanımlanmıştır. Birimin tabanı çalışma alanında mostra vermez.

Birimin üzerinde geçişli olarak Triyas-Kretase yaşlı kristalize kireçtaşları bulunur. Akdeniz ve Konak (1979) birim içinde yaş verecek fosile rastlanmadığını belirtmişlerdir. Üstte geçişli olarak gelen Budağan kireçtaşlarından alınan en büyük yaşın Üst Triyas olması sebebiyle, stratigrafik ilişkiye göre birimin yaşı, Üst Paleozoyik-Orta Triyas olarak kabul edilmiştir.

3.3. Budağan Kireçtaşı

Birim ilk kez Kaya (1972) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun tip kesiti Budağan Dağ' da ve Eğrigöz kuzeyindedir. Birim çalışma alanında Şaphane Dağ ve Asartepe civarında yaygın mostralara verir (Şekil 3).

Arazi gözlemlerinde beyaz, koyu gri, siyahımsı gri renkli, kalın orta tabakalı, yer yer siyah, gri ve beyaz renkli bant ve laminalıdır. Özellikle siyah renkli kısımlar kırıldığında dolomitik kokuludur.

Şaphane dağında kalın tabakalı gri-siyah ve beyaz bantlı, dolomitik kokulu, kristalize kireçtaşlarından oluşur. Alınan bir örneğin petrografik incelemesinde mikrokristalin kalsitten oluşan, eser miktarda kuvars ve serizit içeren kristalize kireçtaşı bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Budağan kireçtaşları 200-250 m kalınlığa sahiptir (Şekil 2). Altta Menderes Masifinin şistler mermerleri üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır.

Birim içinden alınan paleontolojik örnekler üzerinde tanımlaması yapılan bu faunaya göre Budağan kireçtaşının Üst Triyas-Meastrihtiyen

yaş aralığında çökelmiş devamlı bir seri olduğu belirlenmiştir (Akdeniz ve Konak 1979).

3.4. Dağardı Melanjı (Kdm)

Birim ilk olarak Akdeniz ve Konak (1979) ve Günay vd. (1986) tarafından adlandırılmıştır. Gün (1975), çalışma alanı ve çevresinde, temeli oluşturan metamorfitletlerin üzerine gelen allakton ultramafik kayaçların, yerleşme yaşının Üst Kretase olduğunu ifade etmiştir. Çalışma alanında güneyde Abide kaplıcaları ve Körkuyu civarında, kuzeyde ise Şaphane dağı güneyinde bulunur (Şekil 3). Serpantinitlemiş mafik ve ultramafik kayaçlarla, kristalize kireçtaşı, mermer bloklarından oluşur.

3.5. Tersiyer-Kuvaterner Çökel ve Volkanik Kayaçlar

Sahada temel kayaçlar üzerinde diskordan olarak bulunan Tersiyer-Kuvaterner yaşlı volkanik ve sedimanter çökeller çalışma sahasında geniş alanlarda mostra verir. Bu birimler Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal-gölsel ortamda çökelmiş Yeniköy formasyonu ve bunlarla yaşıt aglomera, tüf, dasit, andezit, bazalt lavlarından oluşan Karacahisar volkanitleri, bunlar üzerinde diskordan olarak bulunan Pliyosen yaşlı Hisarcık formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ile temsil edilmektedir (Şekil 3).

Yeniköy formasyonu tabanda 15-20 m kalınlıkta metamorfik kayaç (kuvarsit, gnays, şist) çakıllarından oluşan iyi yuvarlaklaşmış, kötü boylanmalı ve sıkı silis çimentolu taban konglomerası ile başlar bunların üzerine ince taneli çakıltaşları ve kumtaşları gelir. Daha üstte çakıllı kil, kumtaşları, kiltası, silttaşı, bitki sap ve yaprak fosilli şeyl, marn, beyaz renkli killi ve yer yer silisli kireçtaşlarıyla son bulur. Bu çökel istif yanal ve düşey yönde tüf, tüfit, aglomera, dasit, andezit ve bazalt lavlarından oluşan volkanitlerle (Karacahisar volkanitleri) geçişli olarak bulunmaktadır. Bu volkano-sedimanter istifin toplam kalınlığı 2000 m'ye kadar ulaşmaktadır.

Yeniköy formasyonuna içerdiği spor ve polen bulgularına dayanılarak Orta-Üst Miyosen yaşı verilmiştir (Ercan vd., 1978).

Bunlar üzerinde Pliyosen yaşlı Hisarköy formasyonu uyumsuz olarak yer almaktadır. Karacaderbent güney ve doğusunda mostra vermektedir. Birim zayıf tutturulmuş blok, çakıl ve kumlardan oluşmaktadır. Yaklaşık 250 m kadar kalınlığa sahiptir.

İstifin en üstünde ise Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelileri yer almaktadır.

4. Su Kimyası ve İzotop Çalışmaları

Su kimyası çalışmalarında sahadan daha önce alınan (Burçak vd., 2004, 2007a) su örneklerine ait kimyasal analiz ile KŞÜ-3 kuyusundan alınan su örneğinin analiz sonucu ve izotop sonuçları (Burçak ve Dünya, 2010) değerlendirilmiştir.

4.1. Suların Sınıflandırılması

Su kimyası çalışmalarında 45 örneğin analiz sonuçları kullanılmıştır (Çizelge 1 ve çizelge 2).

Tüm su örnekleri Piper diyagramında, incelendiğinde üç grupta toplandıkları görülmektedir. Bunlardan birinci grup sular soğuk ve düşük sıcaklıklı sular ile sularla temsil edilmektedir. Bunlarda katyonlar bakımından birinci ($Ca+Mg>Na+K$), anyonlar bakımından üçüncü bölgeye ($HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$), anyon ve katyon dizilimleri ile beşinci bölgeye düşen karbonat ve bikarbonatça zengin, $Ca-Mg-HCO_3$ bileşimli sulardır (Şekil 4).

İkinci grup sular ise yine soğuk ve düşük sıcaklıklı sularla temsil edilen, katyonlar bakımından birinci, anyonlar bakımından dördüncü bölgeye, anyon ve katyon dizilişleri ile 6. bölgeye düşen $Cl+SO_4$ bakımından zenginleşme gösteren örneklerle temsil edilen sulardır.

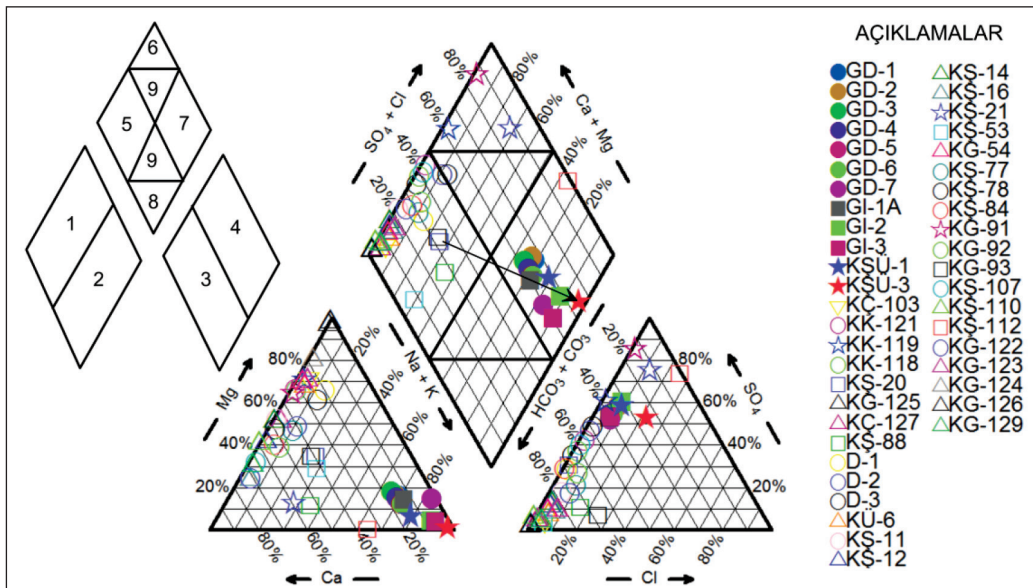
Üçüncü grup sular ise yüksek sıcaklığa sahip, Gediz-Abide Ilıca bölgesi kaynak ve sondaj suları ile Şaphane sıcak su sondajlarına (KŞ-1 ve KŞÜ-3) ait

sıcak su örnekleri ile temsil edilen sulardır. Bu grupta yer alan sular katyonlar bakımından ikinci ($Na+K > Ca+Mg$), anyonlar bakımından dördüncü bölgeye ($Cl+SO_4 > HCO_3+CO_3$), anyon ve katyon dizilimleri ile yedinci bölgeye 7. bölgeye düşen, karbonat alkaliliği, karbonat olmayan alkalilikten büyük olan, Na_2-SO_4 , $Na-Cl$ bileşimli sulardır.

Piper diyagramı tüm sular açısından incelendiğinde soğuk suların $Ca-Mg-HCO_3$ bileşiminde sıg dolaşımılı sular oldukları belirlenmiştir. $Na+K$ bakımından zenginleşme gösteren içi boş kare simgesi ile gösterilen örnekler soğuk ve düşük sıcaklığa sahip suların daha fazla $Na+K$ çözerek daha derin dolaşımı işaret edecek şekilde ayrılmakta sıcak sulara doğru yaklaşmaktadır. Burada $Na+K$ 'un kaynağı temel kayalar içindeki feldispatlar olarak düşünülmektedir. İkinci grubu oluşturan örnekler ile birinci grupta yer alan bazı örneklerde SO_4 zenginleşmesi görülmektedir. Birinci grupta yer alan Derbent deresinden alınan örneklerde Derbent deresi akış yönünde dereye karışan, sülfatça zengin bazı atıkların karışması ve/veya Abide sıcak sularının ile açıklanabilir (Şekil 4).

İkinci grup sulardaki sülfat zenginleşmesi ise derinlerde yer aldığı düşünülen jeotermal sistem tarafından belki de alümit yataklarının oluşumun sağlayan buhar ve gazlardan kaynaklanmış olabileceği düşünülen jipsli oluşuklar ile açıklanabilir.

Yüksek sıcaklıklı sular ise $Na+K$ ile SO_4+Cl bakımından zenginleşerek bakımından zenginleşerek 7. Bölgeye düşmektedir. Bu durum soğuk ve düşük



Şekil 4- Su örneklerine ait Piper diyagramı (ok işaretli suların derin köküne doğru evrimleşmesini işaret etmektedir).

Çizelge 1- Su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (Burçak vd., 2007a, 2007b; Burçak ve Dünya 2010).

Örnek No	Koordinatlar		Sıcaklık °C	EC µS/cm	pH	Na+K Meq/l	Ca Meq/l	Mg Meq/l	Na+K %	Ca %	Mg %	Cl Meq/l	SO ₄ Meq/l	HCO ₃ Meq/l	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ +HCO ₃ % Meq	F (mg/l)
	Y	X																
GI-2	696008	4312470	719	3.160	7,6	35,52	2,76	1,44	89,43	6,95	3,63	3,44	24,00	13,00	8,51	59,35	32,15	5,2
GI-3	697044	4312113	719	3.410	7,3	34,23	3,00	3,57	83,90	7,35	8,75	3,33	23,49	19,01	7,27	51,25	41,48	3,4
GI-1A	695789	4312684	719	2.870	7,2	24,93	4,64	4,79	72,56	13,50	13,94	2,74	19,70	16,49	7,04	50,60	42,36	3,9
GD-6	695652	4312698	702	2.990	6,9	26,91	5,69	4,50	72,53	15,34	12,13	2,88	20,00	16,98	7,23	50,18	42,60	3,2
GD-4	694564	4312776	700	2.710	6,8	22,92	5,29	4,89	69,24	15,98	14,77	2,48	17,67	15,62	6,93	49,40	43,67	3,2
GD-7	695695	4312679	705	3.000	7	26,58	5,53	4,57	72,46	15,08	12,46	2,93	18,59	16,98	7,61	48,29	44,10	3,9
GD-5	695620	4312747	702	2.980	6,9	27,15	5,78	4,54	72,46	15,43	12,12	2,90	19,88	16,98	7,29	50,00	42,71	3,5
GD-2	695346	4312810	719	2.680	6,6	22,57	5,24	5,50	67,76	15,73	16,51	2,48	17,60	15,72	6,93	49,16	43,91	3,0
GD-1	695332	4312823	719	2.830	6,5	24,34	5,00	5,40	70,06	14,39	15,54	2,67	18,73	16,48	7,05	49,45	43,51	3,0
GD-3	695403	4312820	719	2.550	6,5	20,26	5,24	5,74	64,85	16,77	18,37	2,26	15,74	15,60	6,73	46,85	46,43	3,5
KŞÜ-1	696481	4316978	775	3.490	8,3	31,96	5,80	2,51	79,36	14,40	6,23	3,66	22,30	14,27	9,10	55,43	35,47	7,2
KŞÜ-3	688020	4319860	874	3.990	7,4	43,27	0,91	0,27	97,35	2,05	0,61	8,51	20,00	12,30	20,85	49,01	30,14	13
KŞ-20	697609	4323924	994	409	7,6	1,20	1,79	1,57	26,32	39,25	34,43	0,10	1,46	3,42	2,01	29,32	68,67	<0,1
KG-125	693877	4312258	958	1.088	8,4	8,26	0,26	16,37	33,19	1,04	65,77	0,13	0,24	17,84	0,71	1,32	97,97	<0,1
KŞ-88	689849	4309517	1014	418	7,3	1,79	2,70	0,57	35,38	53,36	11,26	0,73	0,45	3,52	15,53	9,57	74,89	<0,1
KK-121	691280	4312586	1078	1.018	7,3	0,31	4,40	9,13	2,24	31,79	65,97	0,37	6,16	9,00	2,38	39,67	57,95	0,40
KÇ-103	695113	4306564	775	888	7,5	0,64	2,73	8,30	5,48	23,39	71,12	0,68	0,45	11,88	5,23	3,46	91,31	<0,1
KÇ-127	701396	4315869	727	641	7,3	7,60	4,00	4,54	47,09	24,78	28,13	0,16	0,36	8,73	1,73	3,89	94,38	<0,1
KK-119	691550	4313619	984	1.934	7,4	1,02	7,90	21,57	3,35	25,91	70,74	0,61	19,11	12,83	1,87	58,71	39,42	0,40
KŞ-118	691293	4314199	948	1.176	7,6	0,45	5,10	10,60	2,79	31,58	65,63	0,41	6,30	10,93	2,32	35,71	61,96	0,40

Çizelge 2- Su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (Burçak vd., 2007a, 2007b; Burçak ve Dünya 2010).

Örnek No	Koordinatlar		Sıcaklık °C	EC µS/cm	pH	Na+K Meq/l	Ca Meq/l	Mg Meq/l	Na+K %	Ca Meq	Mg %	Cl Meq/l	SO ₄ Meq/l	HCO ₃ Meq/l	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ +HCO ₃ % Meq	F Mg/l
	Y	X																
KG-126	693730	4313371	899	1.102,00	8,6	8,20	0,49	16,53	32,51	1,94	65,54	0,11	0,35	18,00	0,60	1,90	97,51	<0,1
KG-129	699702	4319930	1112	410,00	19,20	7	4,90	2,18	2,75	67,31	29,95	0,27	0,27	8,00	3,16	3,16	93,68	<0,1
KG-123	694817	4310710	826	616,00	18,80	7,6	1,80	5,18	4,77	24,56	70,67	0,54	0,63	6,10	7,43	8,67	83,91	<0,1
D-2	693786	4314750	720	821,00	18,60	7,5	4,14	5,00	11,61	40,04	48,36	0,28	4,85	5,70	2,59	44,78	52,63	<0,1
KŞ-53	688029	4304863	962	457,00	18,50	7,2	2,00	1,37	29,65	41,75	28,60	0,22	0,11	4,38	4,67	2,34	92,99	<0,1
KG-54	694966	4309829	785	732,00	17,10	7,9	2,70	6,92	2,93	27,25	69,83	0,42	0,97	9,60	3,82	8,83	87,35	<0,1
D-1	691776	4315732	748	883	17	7,5	1,84	6,13	17,4	19,1	63,5	0,24	2,56	6,94	2,5	26,1	71,4	<0,1
KG-124	694295	4310540	906	666,00	16,50	7,5	1,50	6,80	2,47	17,63	79,91	0,26	0,35	8,74	2,78	3,74	93,48	<0,1
D-3	695257	4313050	710	894,00	16,50	7,4	2,39	5,78	13,73	25,24	61,03	0,26	4,95	5,32	2,47	47,01	50,52	<0,1
KŞ-16	694124	4319585	985	665,00	16,00	7,4	4,96	1,64	4,90	71,47	23,63	0,44	0,52	5,80	6,51	7,69	85,80	<0,1
KG-122	691472	4312088	1123	561	15,4	7,1	0,39	5,47	5,1	71	23,9	0,68	1,27	6,56	8	14,9	77,1	0,40
KŞ-78	686073	4311960	925	908,00	15,40	7,1	0,38	5,83	3,23	49,53	47,24	0,17	4,30	8,60	1,30	32,90	65,80	0,30
KÜ-6	694559	4312116	908	812,00	15,00	7,8	0,55	2,89	5,15	27,09	67,76	0,58	0,81	10,35	4,94	6,90	88,16	<0,1
KŞ-84	688544	4314402	983	848,00	15,00	7,2	0,62	3,94	6,30	53,66	40,04	0,10	2,89	8,17	0,90	25,90	73,21	<0,1
KŞ-11	694379	4324156	1547	323,00	15,00	7,8	0,06	1,77	1,57	46,21	52,22	0,21	0,67	3,04	5,36	17,09	77,55	<0,1
KŞ-77	687471	4310074	1008	332,00	14,50	6,8	4,28	1,82	2,00	52,84	24,69	0,34	0,73	3,43	7,56	16,22	76,22	<0,1
KG-93	695845	4318262	892	911,00	14,30	7,3	1,93	3,27	24,52	41,55	33,93	2,00	0,52	5,88	23,81	6,19	70,00	<0,1
KŞ-21	687642	4323794	991	89	14	5,9	0,28	0,59	0,12	28,3	12,1	0,09	0,54	0,38	8,9	53,5	37,6	<0,1
KŞ-112	690367	4322563	1167	81,00	13,80	4,8	0,45	0,24	0,00	65,22	34,78	0,16	0,44	0,19	20,25	55,70	24,05	0,40
KG-92	697687	4317494	823	563,00	13,70	7,1	0,58	3,23	2,35	9,42	38,15	0,39	1,40	4,17	6,54	23,49	69,97	<0,1
KG-91	697040	4314875	736	3.560,00	13,40	7,6	1,23	22,70	43,27	1,83	64,39	1,05	54,34	8,93	1,63	84,48	13,88	<0,1
KŞ-110	695880	4325679	1807	266,00	9,30	7,6	0,00	2,03	1,42	0,00	41,16	0,00	0,22	3,60	0,00	5,66	94,34	<0,1
KŞ-14	695004	4323505	1447	327,00	9,00	7,8	0,05	1,90	2,00	1,19	50,67	0,16	0,44	3,13	4,29	11,80	83,91	<0,1
KŞ-107	698806	4326473	1430	686,00	7,20	7,2	0,26	4,49	2,67	3,50	35,98	0,18	3,25	5,80	1,95	35,21	62,84	<0,1
KŞ-12	694766	4325469	1783	279,00	7,10	7,9	0,07	1,76	1,31	2,23	41,72	0,13	0,34	2,75	4,04	10,56	85,40	<0,1

sıcaklıklı sulara göre daha derin dolaşım, olduklarını, Na ve K'un kaynağı olabilecek temel kayaçlar (gnays, şist) ile Cl-SO₄ kaynağı olabilecek derin kökenli gaz ve buharlardan etkilenmiş olduklarına işaret etmektedir.

Bu suların grup içindeki kendi aralarında dizilişlerinin, çözdükleri Na+K miktarına bağlı olarak, Soğuk sulardan başlamak üzere, Gediz kaynakları ile KŞÜ-1 sondaj sularından, KŞÜ-3 örneğine doğru artan, derin kökeni işaret eden bir evrimleşmeyi gösterdiği söylenebilir (Şekil 4). Bu ilişkiye göre en fazla evrimleşmiş ve dolayısıyla derin kökenli, suyun KŞÜ-3 sondajından alınan su olduğu ortaya çıkmıştır.

Soğuk sular Schoeller diyagramında üç farklı grupta toplanmaktadır.

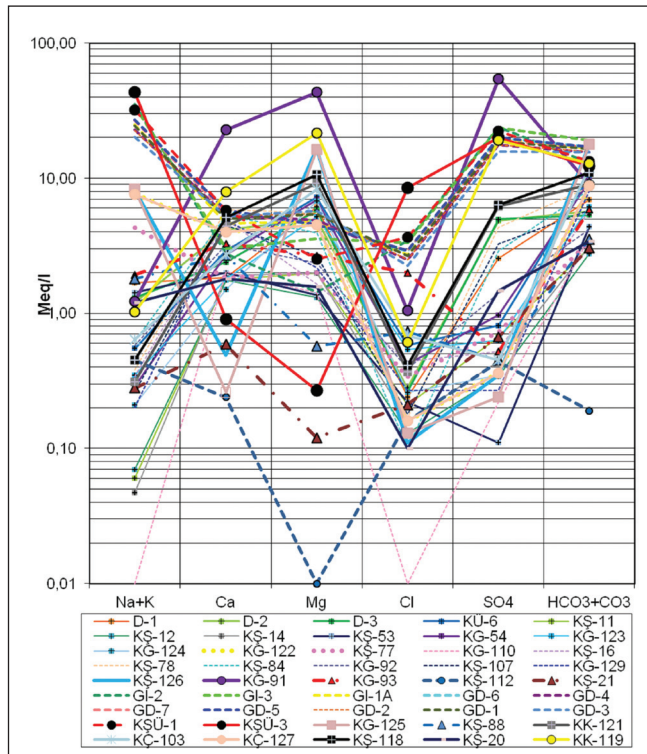
Birinci grupta yer alan soğuk sulardan D-1, D-2 ve D-3, KÜ-6, KŞ-11, KŞ-12, KŞ-14, KŞ-53, KG-54, KŞ-77, KG-123, KG-124 nolu örnekler az çok paralele gidişli iyon dizilişleri ile benzer kökenli sulardır. Bu sularda baskın katyon Mg olup, Mg>Ca>Na+K şeklinde baskın anyon HCO₃ ve anyon dizilişleri ise HCO₃>SO₄>Cl şeklinde bir dizilişe sahiptirler. Bu örneklerden sadece Derbent deresinden alınan örneklerden D-1, D-2 ve D-3 no.lu örneklerde sülfat zenginleşmesi göze çarpmaktadır (Şekil 5).

İkinci grubu oluşturan KG-110, KŞ-1, KŞ-78, KŞ-84, KG-92, KŞ-107 KG-129 no.lu örneklerde ise baskın katyon Ca ve Ca/Mg şeklinde, katyon dizilişleri Ca>Mg>(Na+K), baskın anyon HCO₃ anyon dizilişi ise HCO₃>SO₄>Cl şeklinde olup, Ca-Mg-HCO₃ ve Ca/Mg-HCO₃ tipinde, birbirine yakın-paralel iyon yoğunlaşmaları ile kendi aralarında benzer kökenli sulardır (Şekil 5).

Birinci ve ikinci grup sular iyon dizilişleri dikkate alındığında sığ derinliklerden beslenen sular olarak kabul edilebilir.

KG-122 ve KŞ-77 no.lu örnekler ise konsantrasyonları bir miktar farklı olmakla birlikte HCO₃+CO₃ hariç diğer anyon ve katyonlar bakımından paralellik göstermektedirler. Bu nedenle aynı kökenli sular oldukları kabul edilebilir. Gnaysların kırıklarından çıkan KŞ-77 ve gnays üzerinde tektonik dokanla yer alan Dağardı melanjından çıkan KG-122 no.lu örneklerdeki Na bakımından zenginleşme gnaysın bünyesindeki feldispatlardan kaynaklanabilir ve bu sular diğer sulara biraz daha derinden besleniyor olabilir.

Üçüncü bir grup oluşturan KŞ-126, KG-91, KŞ-93 ve KŞ-112 KŞ-21 no.lu örnekler diğer örneklerle ve kesiştiklerinden farklı kökene sahip



Şekil 5- Su örneklerine ait Yarı Logaritmik Schoeller diyagramı.

sulardır (Şekil 5). Ayrıca bu sular kendi aralarında da çok benzeşmemektedirler. KŞ-126 no.lu örnek $Mg > (Na+K) > Ca$ şeklinde katyon ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklinde sıralanan anyon, KG-91 no.lu örnek $Mg > Ca > (Na+K)$ şeklinde katyon ve $SO_4 > HCO_3 > Cl$ şeklinde anyon sıralaması, KŞ-93 no.lu örnek $Ca > Mg > (Na+K)$ şeklinde katyon ve $HCO_3 > Cl > SO_4$ şeklinde, KŞ-112 no.lu örnek $(Na+K) > Ca > Mg$ şeklinde katyon ve $SO_4 > HCO_3 > Cl$ şeklinde anyon sıralaması, KŞ-21 no.lu örnek ise $Ca > Na+K > Mg$ şeklinde katyon ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklinde anyon dizilişlerine sahip sulardır. Bu örnekler iyon dizilişleri ile 1. ve 2. grup soğuk sulara göre farklı, havza ortasına doğru yer alan (Şekil 5) daha derinden beslenmiş sulardır.

Bu suların bulunduğu alanlar SiO_2 ve Cl değerlerindeki artışla kendini belli eden daha derin beslenmeyi işaret etmektedir (Şekil 5). Bu örneklerden KŞ-93 nolu örnek diğer gruplardaki örnekleri kesen iyon konsantrasyon çizgilerine sahiptir. 119 ve 91 no.lu örnek en yüksek iyon konsantrasyonuna sahip soğuk su örneğidir. Bu örnek diğer tüm örneklerden farklı olarak Ca ve SO_4 bakımından zenginlik göstermektedir.

Schoeller diyagramına göre düşük sıcaklıklı sulardan 103, 118, 119, 121, 127 no.lu örneklerin kendi aralarında benzer kökenli sulardır. Biraz daha yüksek iyon konsantrasyonuna sahip olmakla birlikte ikinci gruptaki soğuk sularla paralel iyon dizilişleri dolayısıyla benzer kökenlidirler. 125 no.lu örnek bunlardan ayrılmakta 126 no.lu örnekle benzerlik göstermektedir. KŞ-21 ve KŞ-88 no.lu örnekler ise soğuk sulardan tamamen farklı kökende olup, kendi aralarında yakın kökende olan sulardır (Şekil 5).

Schoeller diyagramında KŞÜ-3 kuyusuna ait sıcak su örneğinin Cl bakımından en zengin örnek olduğu görülmektedir. Bu örneğin sıcaklığı da dikkate alındığında, bölgede derin kökenli orijinal su olduğu söylenebilir. İyon dağılımı dikkate alındığında KŞÜ-3 no.lu örneğin diğer sulardan özellikle Cl bakımından farklılık gösterdiği ve konsantrasyon çizgilerini keserek farklılaştığı, diğer tüm yüksek sıcaklıklı su örneklerinin benzer kökenli olduğu söylenebilir (Şekil 5).

Düşük sıcaklıklı sulardan KŞ-20 ve KŞ-88 ve KK-127 nolu örneklerin yüksek sıcaklıklı sulara yaklaşık paralel gidişli fakat daha düşük iyon dizilişleri ile benzer kökenli sular oldukları görülmektedir. Diğer düşük sıcaklıklı örnekler ise sıcak sulara fazla benzerlik göstermektedirler (Şekil 5).

4.2. İzotop Çalışmaları

Çalışma alanında suların kökeninin ve beslenme alanı yüksekliğinin belirlenmesi amacıyla 22 adet Oksijen-18 (^{18}O), döteryum (D) analiz sonucundan yararlanılmıştır (Burçak vd., 2004).

Sahadan alınan tüm numuneler O18-D grafiğinde Akdeniz Ege Meteorik doğrusu ile Global meteorik doğru arasında kalır. Bu nedenle tüm sular meteorik kökenlidir (Burçak vd. 2007a, 2007b). O18-Döteryum sonuçlarına göre örnekler üç grupta toplanmaktadır. 1. Grupta yer alan sular Akdeniz Ege Meteorik su doğrusuna yakın paralel dizelen sular olup, beslenme alanı yüksek, kenar zonlarına ait suları temsil etmektedir. İkinci grubu oluşturan sularda O18 ve hem de D bakımından zenginleşme görülmüştür. Bu durum bu suların beslenme sırasında veya sonrasında buharlaşmaya uğradığını işaret eder. Üçüncü grubu oluşturan Sıcak sular (Abide bölgesi) ise ^{18}O bakımından zenginleşerek meteorik doğrudan sağa doğru sapma göstermektedir. ^{18}O bakımından zenginleşme su-kayaç arasındaki reaksiyonuna bağlıdır. Su kayaçlar içinde dolaşımı sırasında kayaçtan erittiği silikatlara bağlı olarak ^{18}O bakımından zenginleşmiştir (Şekil 6).

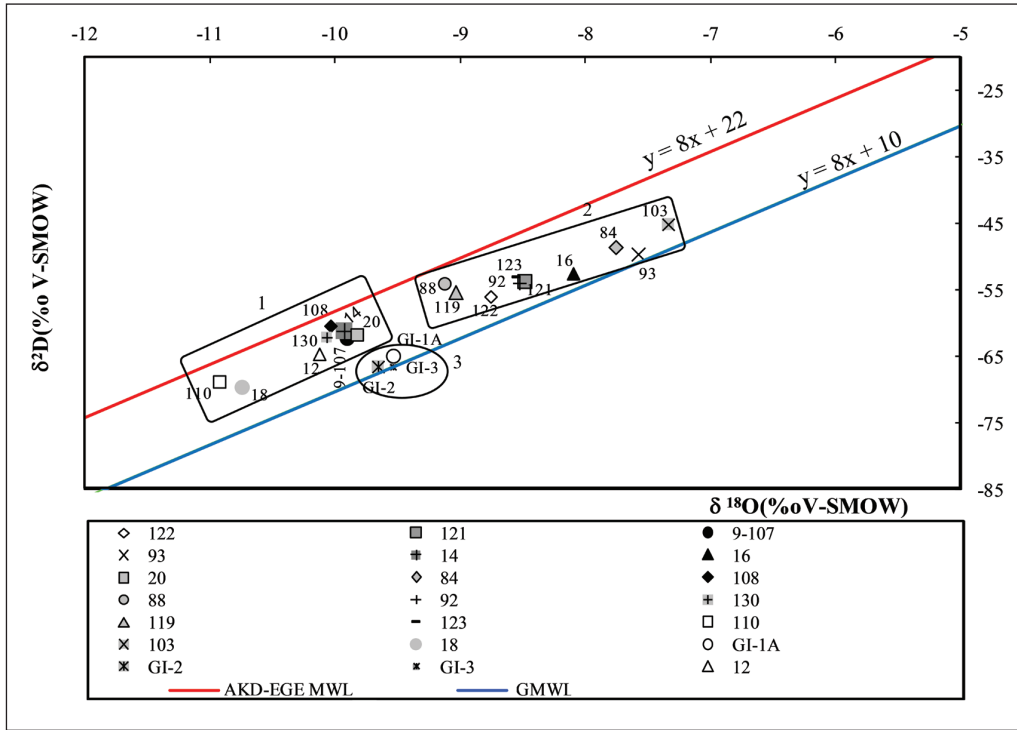
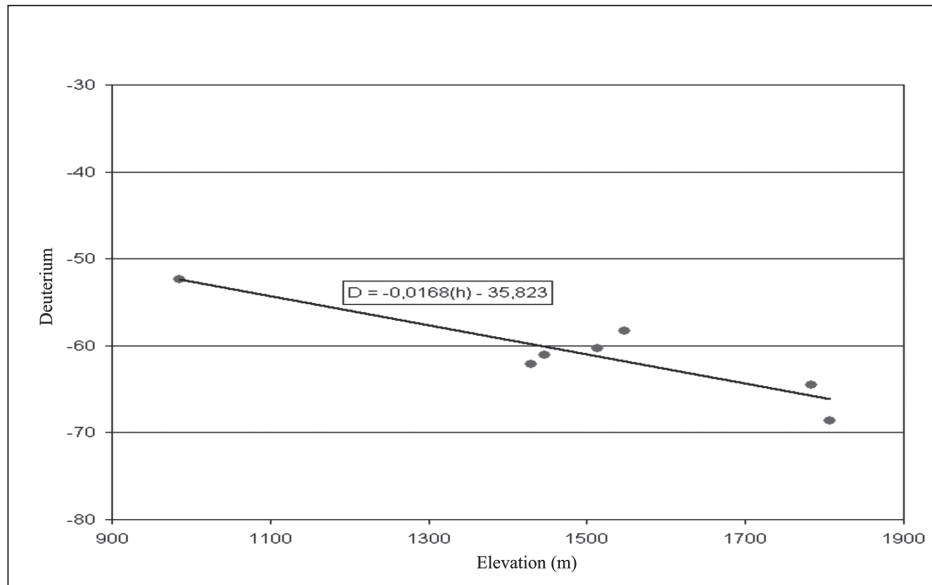
Döteryum değerleri değişik yüksekliklerden alınan su numunelerinin alındığı noktaların topoğrafik kotlarına karşılık olarak işaretlendiğinde; H: Yükseklik (m)

$$\text{“Döteryum} = - 0.00168 (H) - 35.823\text{” (1)}$$

(1) doğrusu yükseklik eğilim çizgisi olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Gediz Abide sahasından alınan sıcak suların döteryum değeri, yukarıdaki denklemde (1) yerine konulduğunda, bu suların beslenme yüksekliği 1.700 m olarak hesaplanmıştır (Burçak vd., 2007a). Bu yükseklik değeri yüzeysel beslenme alanı içinde, kuzeyde yer alan Şaphane Dağı zirvelerine karşılık gelmektedir (Burçak vd., 2007a).

5. Jeotermal Araştırma İçin Hedef Alanın Seçilmesi

Sahanın beslenme alanı sınırı, topoğrafya veriler, izotop ve su kimyası çalışmaları ile belirlenmiştir. Su örneklerinin Cl ve SiO_2 bileşimleri, Surfer-10 programında kricking metoduyla gridlenerek kontur haritaları oluşturulmuştur (Şekil 8 ve 9). Böylece Cl ve SiO_2 zenginleşmesi ve bunun işaret ettiği akım ve beslenme yönü ortaya konulmuştur. Eş Cl ve SiO_2 konsantrasyon haritalarında mevcut Abide jeotermal alanı dışında iki bölgede SiO_2 ve bir bölgede de Cl

Şekil 6- Çalışma alanından alınan sulara ait ^{18}O - δD grafiği (Burçak vd., 2007a).

Şekil 7 - Sahaya ait Döteryum-Yükseklik grafiği (Burçak vd., 2007a).

zenginleşmesinin bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 8 ve 9). Bu alanların graben ortasında örtülü alanlara karşılık geldiği görülmüştür (Şekil 8 ve 9). Şaphane Dağı zirvelerinden itibaren güneye doğru sulara Cl ve SiO_2 bakımından zenginleşme görülmüştür. Bu durumun jeolojik yapı ve topoğrafyaya göre çizilen beslenme alanı sınırları ile de uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 8 ve 9). İzotop çalışmaları da

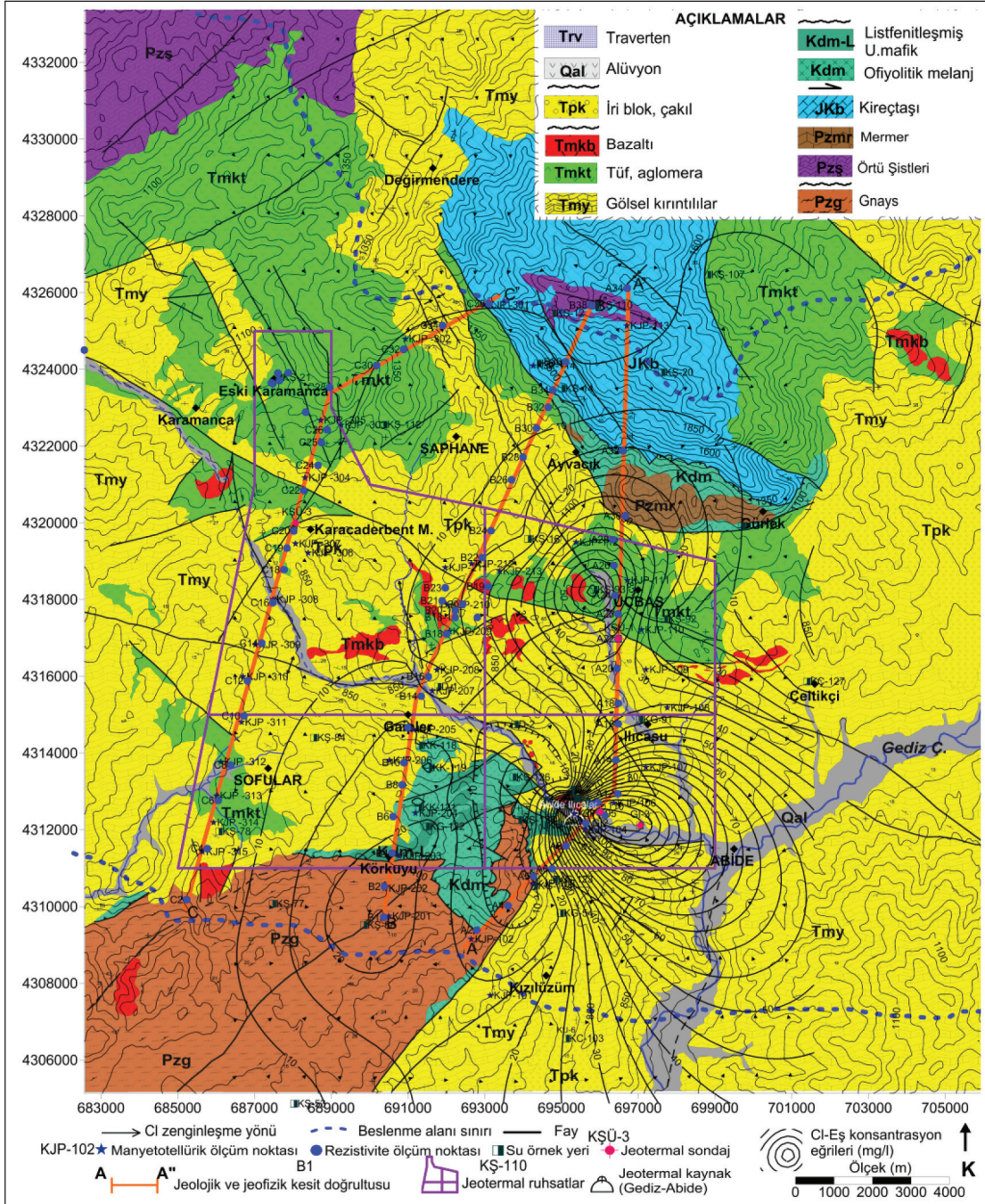
sahanın beslenme alanı sınırının kuzeyde Şaphane Dağı zirvelerine kadar ulaştığını işaret etmiştir (Burçak vd., 2007a). Jeolojik çalışmalar da Şaphane Dağı'ndan güneye ve mevcut kaynakların bulunduğu Derbent vadisinden kuzeye doğru derinleşen KB-GD doğrultulu, kalın Miyosen yaşlı çökel ve volkanik kayalar tarafından örtülü bir grabenin varlığını ortaya koymuştur (Burçak vd. 2007a). Bu kapsamda

bahsi edilen jeoloji, su kimyası, izotop, topoğrafik veriler birlikte değerlendirildiğinde alan jeotermal açıdan önemli görülmüş, gömülü bir jeotermal sistemin gelişmiş olabileceği düşünülerek, jeolojik yapıyı ve beklenen derin jeotermal sistemi ortaya koyacak jeofizik çalışmalar (MT ve rezistivite) için uygun profiller oluşturulmuştur. Sahada tüm jeofizik uygulamalar bu şekilde seçilen her biri yaklaşık

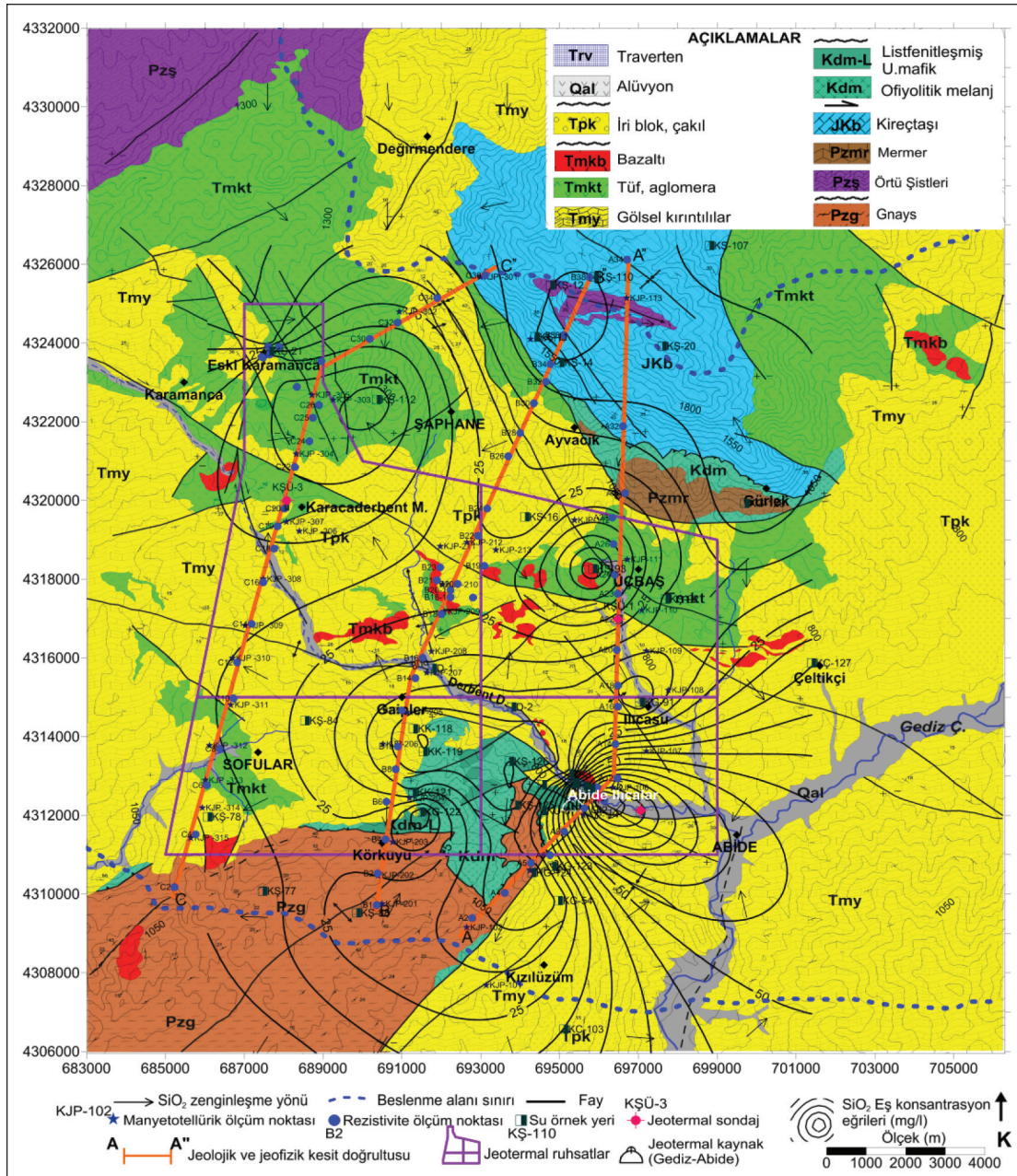
yirmişer km uzunluktaki (yaklaşık K-G doğrultulu) 3 profil üzerinde uygulanmıştır (Şekil 8 ve 9).

6. Jeofizik (Manyetotellürik ve Rezistivite) Çalışmaları

Seçilen hedef alanda oluşturulan 3 profil boyunca manyetotellürik ve rezistivite ölçüleri alınmıştır



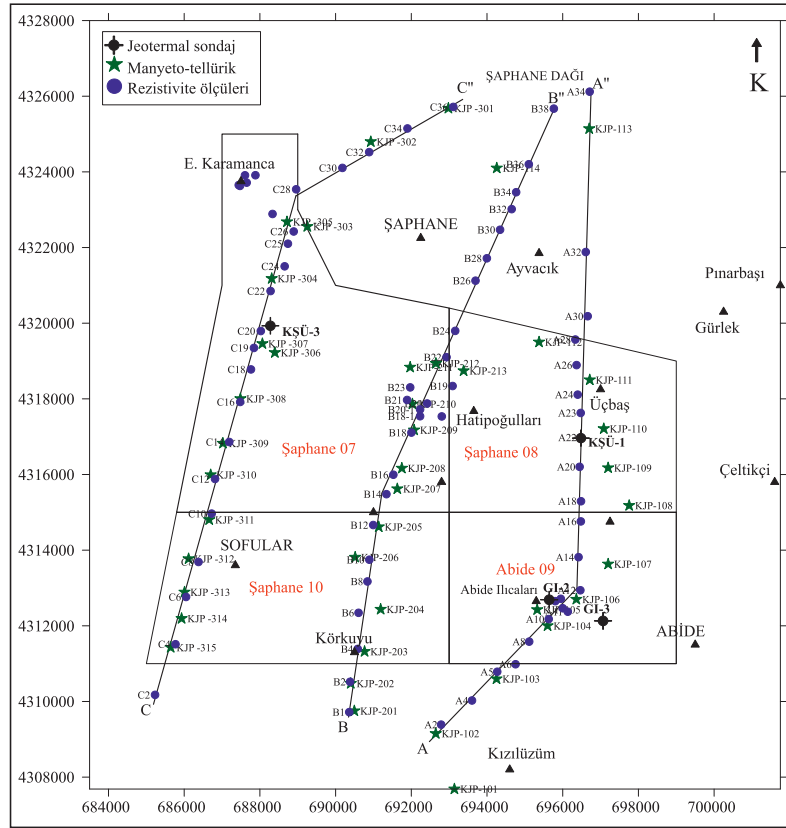
Şekil 8- Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji, ruhsat alanları, su örnekleme noktaları, CI eş konsantrasyon, beslenme alanı sınırı, oluşturulan jeofizik profilleri ve ölçü noktaları haritası.



Şekil 9- Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji, ruhsat alanları, su örnekleme noktaları, SiO₂ eş konsantrasyon, beslenme alanı sınırı, oluşturulan jeofizik profilleri ve ölçü noktaları haritası.

(Şekil 10). Bu kapsamda 42 noktada MT ve 76 noktada rezistivite çalışması yapılmıştır. Manyetotellürik ölçüler WinGLinkä programı kullanılarak iki boyutlu olarak modellenmiştir. MT çalışmaları ile belirlenen 5-8 km derinlikteki düşük rezistiviteli zonlar olası ısı kaynağı olarak yorumlanmıştır. Aynı profiller üzerinde alınan rezistivite ölçüleri de görünür rezistivite kesitleri ve elektrik yapı kesitleri oluşturularak değerlendirilmiştir. A-A' ve B-B' profillerine A-A' profili ve bu profil üzerinde açılan KŞÜ-1 nolu sondaj ile ilgili bilgiler daha önce Burçak

vd., 2007a'da yayınlanmış olduğundan, C-C' üzerinde ise henüz bir sondajlı araştırma yapılmadığından burada değinilmeyecek, sadece C-C' profili boyunca yapılan çalışmalar anlatılacaktır. C-C' profili sahanın en batısında yer alan yaklaşık 19 km uzunlukta bir profildir (Şekil 10). Profil güneyde K-20-D kuzeye doğru ise (Eski Karamanca doğusunda) K-45-D doğrultusunda uzanır. Bu kırılmanın nedeni uzanımı boyunca fay gidilerine dik olarak oluşturulmasıdır.



Şekil 10-Jeofizik ölçüleri lokasyon haritası.

6.1. Manyetotellirik Çalışmalar

C-C'' profili üzerinde 15 adet noktada ölçü alınmıştır. Profilin 2 boyutlu MT kesitinde özdirenç değişimi, hem profil boyunca, hem de düşey yödedir. Profil boyunca MT istasyonları 0,01 Hz (100 sn) frekansına kadar ters çözüm yapılarak oluşan 2 Boyutlu MT modeli 10.000 metre derinliğe kadar kesitlerde sunulmuştur.

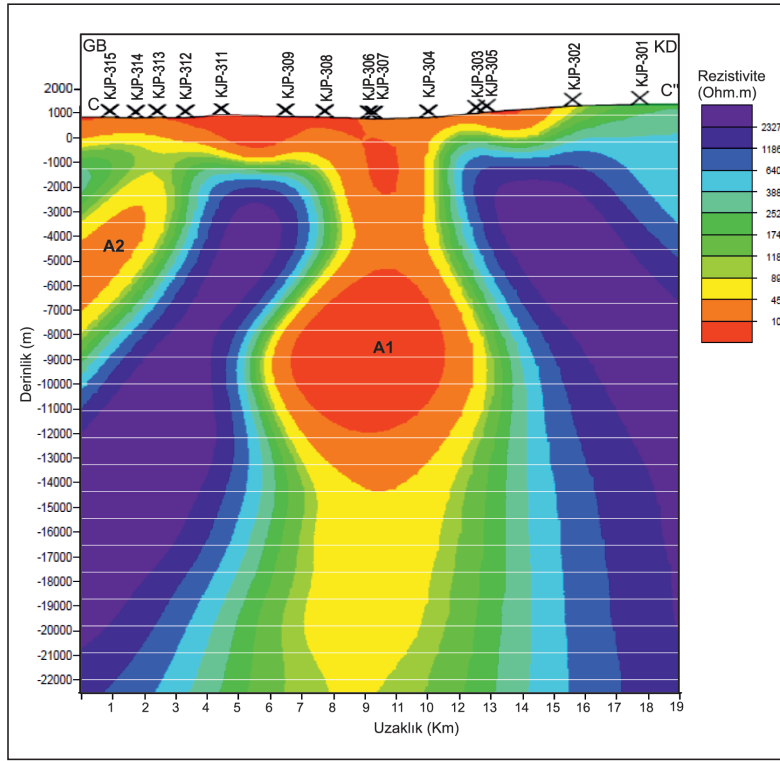
Profil kuzeyden güneye incelendiğinde; profilin kuzeyinde KJP-301 numaralı noktada ölçülen yüksek rezistiviteli (257-150.000 ohm.m) birimlerin, temel kayalara (Budağan Kireçtaşları ve şistlere) denk geldiği görülmektedir (Şekil 8 ve şekil 9). KJP-302, KJP-303, KJP-305 ve KJP 304 numaralı ölçü noktalarında bu yüksek özdirençli birimlerin sığ derinliklerde olduğu görülmektedir (Şekil 9). Grabenin kuzey sınırını oluşturan fayların 2 boyutlu MT modeli üzerinde KJP-304 numaralı ölçü noktası civarında, güney sınırını oluşturan fayların ise KJP-313 numaralı ölçü noktası civarında belirgin olduğu görülmektedir. Grabeni dolduran Miyosen yaşlı çökel ve volkanik tüfler düşük rezistivite ile belgindir (>60 ohm.m). Bu birimlerin kalınlığı konusunda kesin bilgi elde edilememekle birlikte jeolojik veriler dikkate

alındığında 1.500-2.500 m kalınlıkta olabileceği düşünülmektedir. Bu çökel ve volkanik kayalarla temsil edilen düşük rezistiviteli kesimin altında, yüksek rezistivite ile temsil edilen kesimler, Menderes masifine ait gnays, şist, mermer ve kireçtaşlarından oluşan temel kayaları ve kabuğun daha derin kesimlerinde yer aldığı düşünülen granitik kayaları temsil etmektedir. Temel kayalar ile kabuğun daha derin kısımlarında rezistivite değeri 150.000 ohm.m lere kadar yükselmektedir (Şekil 11).

C-C'' profilinde yüksek rezistiviteli kabuk içinde ve çok yüksek özdirençli yapıyı bölen, derinlerden kaynaklandığı düşünülen iki anomali görülmektedir (A1 ve A2). Düşük rezistivite ile belirgin birbirinden bağımsız olan bu iki kütle sıcaklığını henüz kaybetmemiş, kısmen ergiyik ve/veya katı halde, derinliği 5.000-6.000 metre olan mağmatik sokulumlar olarak yorumlanmıştır (Burçak vd., 2007a, b). Bu sokulumların jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturduğu düşünülmektedir.

6.2. Rezistivite Çalışmaları

C-C'' profili Sofular güneyinden başlayarak, Eski Karamanca üzerinden Şaphane dağına kadar uzanır.



Şekil 11- C-C” profili 2 boyutlu manyetotellürik modeli.

G-K doğrultusunda ve yaklaşık 19 km uzunluktadır. Profil üzerinde 20 adet ölçü lokasyonu bulunmaktadır (Şekil 10).

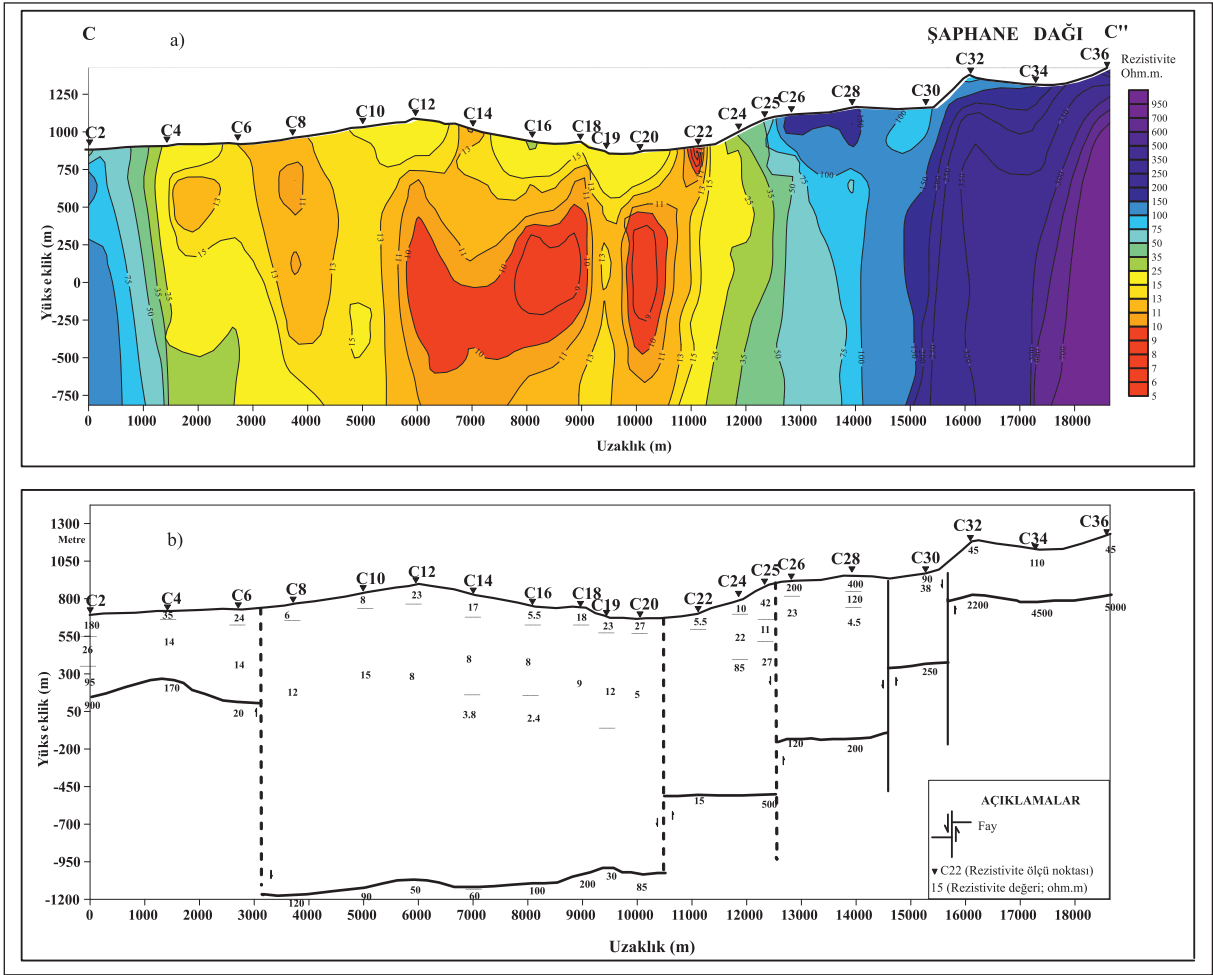
Görünür rezistivite kesiti incelendiğinde, C18-C12-C14-C16-C18 ve C19-C20-C22 noktaları arasında 400-1500 m derinliklerde düşük rezistiviteli anomali zonları belirlenmiştir. Bu zonlar örtü nitelikli (ince taneli ve geçirimsiz) birimler ile denestirilmiştir. Profilin kuzey kesimine doğru rezistivite değerleri yükselmekte ve Şaphane Dağı civarında temel kayacın yüzeylendiği alanda en yüksek değerine ulaşmaktadır (Şekil 12a).

Görünür rezistivite kesiti değerlendirilerek elektrik yapı kesit çıkarılmıştır. C-C” profilinin elektrik yapı kesitinde C6-8-10-12-14-16-18-19-20 noktaları arasında yüzeyden itibaren başlayan ince taneli birimlerin kalın olduğu, bunların temelinde ise yüksek rezistivite ile belirgin (muhtemelen) kireçtaşlarının yer aldığı düşünülmektedir. Burada temel derinliği 900-1.000 m olarak öngörülmüştür (Şekil 12b). Jeofizik rezistivite ile belirlenen elektrik temel derinliği jeolojik temel derinliği ile tam olarak uyuşmamıştır. Jeofizik rezistivite çalışmalarında eğrinin yükselmeye başladığı derinlikle ilişkilendirilen rezistif temel, her zaman temel kayalara (çoğu metamorfik) karşılık gelmeyebilir. Bu durum örtü kayaç nitelikli birimlerin

taban kısımlarına yakın derinliklerde iri taneli birimlerin (konglomera, aglomera, bloklu konglomera gibi) bulunması ile açıklanmıştır. Bu nedenle jeolojik veriler göz önünde bulundurularak temel kayaçların derinliğinin 2.000 m den fazla olduğu düşünülerek sondaj derinliği 2.500±250 m olarak öngörülmüştür.

7. Sondaj ve Test Çalışmaları

Tüm bu bilgiler ışığında belirlenen lokasyonda Kasım 2009 yılında sondaj çalışmasına başlanmış ve Temmuz 2010 tarihinde 2.500 m derinlikte tamamlanmıştır. Kuyu tamamlandıktan sonra geliştirme ve test çalışmaları uygulanmıştır. Şaphane Karacaderbent yakınlarında 2500 m derinlikte açılan KŞÜ-3 jeotermal araştırma kuyusunda yüzeyden itibaren 0-2030 m arasında Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonuna ait tuf ve tüfitlerle aralanmalı kiltası, kumtaşı, siltaşı ve konglomera, 2030-2430 m’ler arasında Üst Kretase yaşlı Dağardı melanjına ait serpantin, piroksenit türü kayaçlar kesilmiştir. 2430 m derinlikte dağardı melanjının tektonik dokanağı altında Üst Jura-Alt Kretase Budağan kireçtaşlarına girilmiş ve sondajda tam çamur kaçağı gerçekleşmiştir (Burçak ve Dünya, 2010). Kaçaklı olarak 2.500 m derinliğe kadar sondaja devam edilmiş, 2.500 m derinlikte sondaj tamamlanarak teçhiz edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 12- C-C'' profili görünür rezistivite ve yapı kesiti.

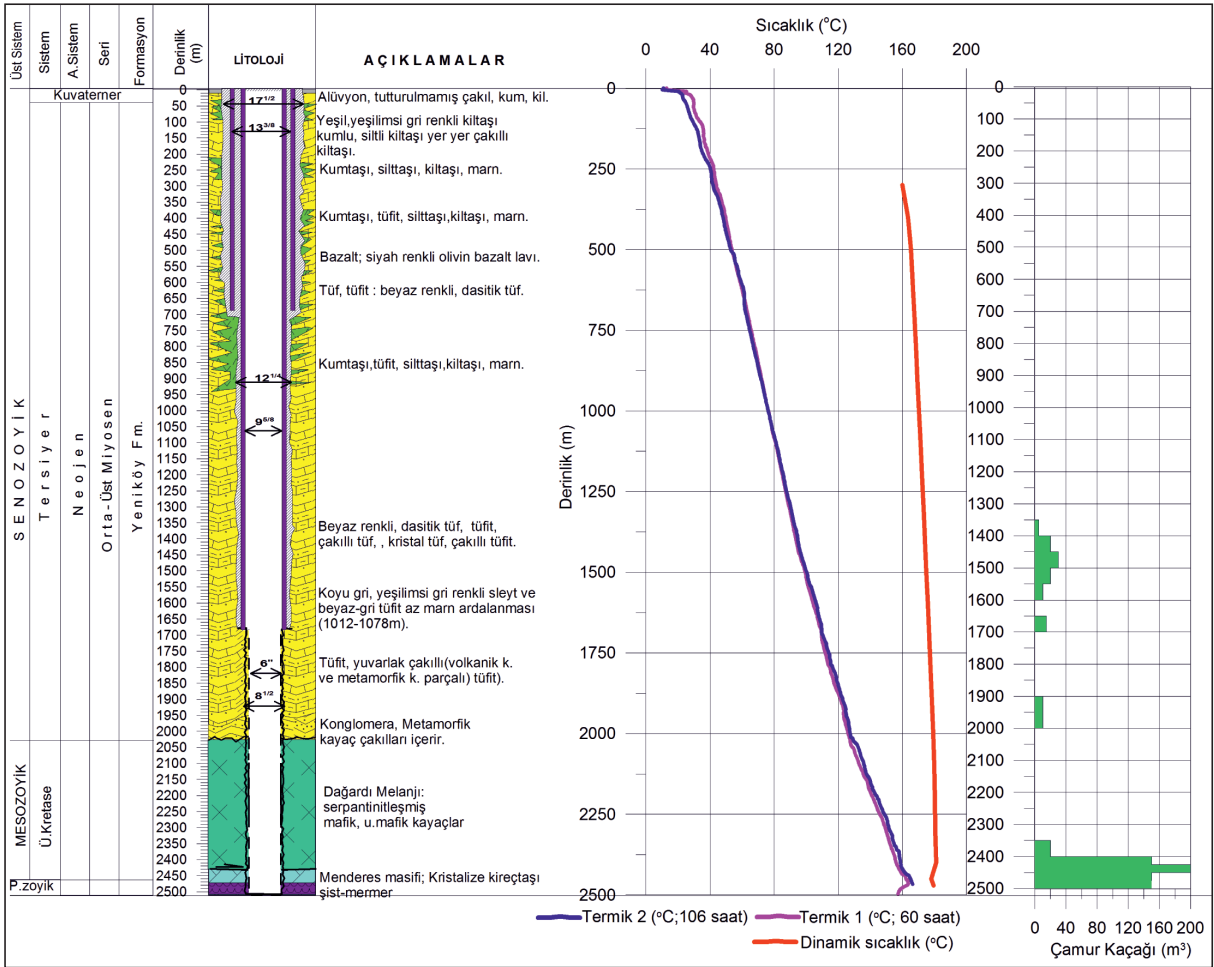
Kuyu 0-716,25 m ler arası 17 ½ inç çaplı matkapla delinerek, 13 3/8 kapalı casing üretim muhafaza borusu ile teçhiz edilmiş, 716,25-1.685 m ler arası 12 ¼ matkapla delinerek 0-1.680 m ler arası 9 5/8 inç çaplı üretim muhafaza borusu ile teçhiz edilmiştir. Kuyuda 100 saat bekleme ile alınan termik log ölçüsünde 2.500 m de 166,5 °C kuyu taban sıcaklığı ölçülmüştür.

Sondaj operasyonu sırasında, örtü niteliğindeki Yeniköy formasyonu içinde özellikle 1200-1400 m'ler arasında, zaman zaman, takımın killi seviyeler içine yapışması ve sıkışması şeklinde problemlerle karşılaşmıştır. 2.030-2.430 m'ler arasında devam eden Dağardı melanjına ait seviyelerde sondaj esnasında dökülme ve yıkılmaya bağlı takım sıkışması riskleri ile karşılaşmış, bu riskler, baritle ağırlaştırılmış çamur kullanılarak ve zaman zaman da tapa çimento yapılarak dengelenmiştir. 2.430-2.500 m'ler arasında yer alan rezervuarı oluşturan Budağan kireçtaşlarına girildikten sonra da üst seviyelerdeki melanjın yıkılmasını önlemek için 1,25-1,30 g/cm³

yoğunlukta baritle ağırlaştırılmış çamur kullanılmaya devam edilmiş, 500 m³ ten çamur, kesilen kırıntı ve üst seviyelerden dökülen melanj kırıntılarıyla birlikte rezervuara kaçmıştır. Böylece rezervuar, çamur, kesilen ve dökülen kırıntı ile aşırı derecede fiziksel kirlenmeye uğramıştır. Rezervuarda oluşan fiziksel kirlilik önlenerek kuyunun geliştirilmesi için uzun süren bir test ve geliştirme çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda asitleme, asitleme öncesi ve sonrasında test çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda statik sıcaklık, statik basınç, su kaybı (water loss), çok debili enjeksiyon, basınç yükselim (build up) ve basınç düşüm (fall off) testleri yapılmış, üretim testleri yapılarak çalışmalar tamamlanmıştır.

7.1. Asitleme Öncesi Kompresörle Üretim-Geliştirme ve Test Çalışmaları

Teçhiz edilen kuyuda yıkama çalışmalarını takiben, kompresörle üretim yaptırılmış ve kuyudan 1-2 l/s debi ve kuyu başında 35-40 °C sıcaklıkta üretim sağlanabilmektedir. 10 gün boyunca devam



Şekil 13-KŞÜ-3 jeotermal sondajı birleşik kuyu logu (litoloji, termik loglar, dinamik sıcaklık ve çamur kaçakları).

eden kompresörle üretim sonucu debi sürekli artarak 8 l/s'e, sıcaklık kuyu başında 90 °C'ye yükselmiştir.

Daha sonra test çalışmalarına geçilmiş statik sıcaklık, statik basınç, su kaybı, çok debili enjeksiyon, basınç yükselimi ve basınç düşümü testleri yapılmıştır.

7.1.1. Asitleme Öncesi Statik Sıcaklık ve Statik Basınç Testi

Statik sıcaklık testine yaklaşık 5 günlük bekleme sonrası başlanmıştır. Ölçü aleti 2.476 m de dolguya oturması üzerine 2.475 m ye çekilerek ölçü alınmıştır. 2.475 m derinlikte kuyu içi statik sıcaklığı 178,57 °C olarak ölçülmüştür. Statik basınç ölçülerine göre kuyuda statik seviyenin 180 m civarında olduğu görülmektedir (Şekil 14).

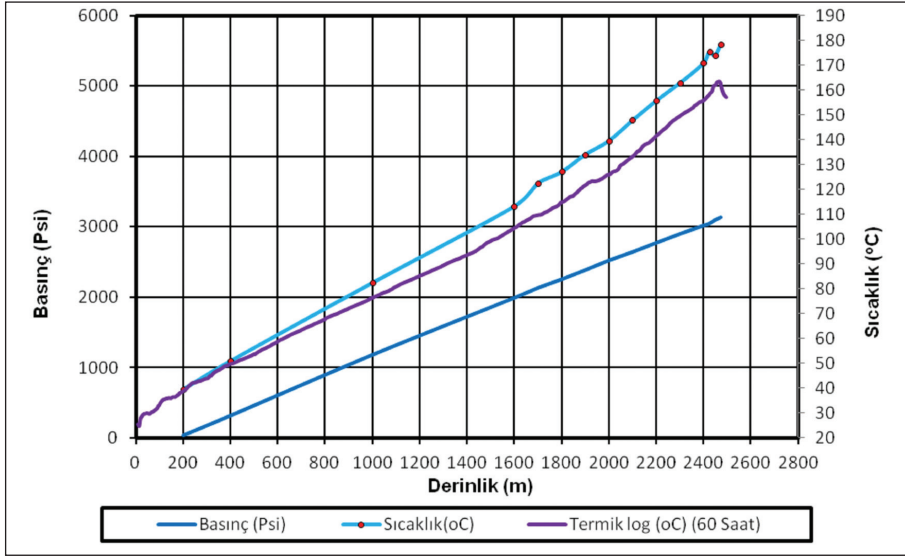
7.1.2. Asitleme Öncesi Su Kaybı Testi

Rezervuar seviyelerin belirlenmesi amacıyla yapılan su kaybı ölçüleri 8,6 l/s pompa debisinde,

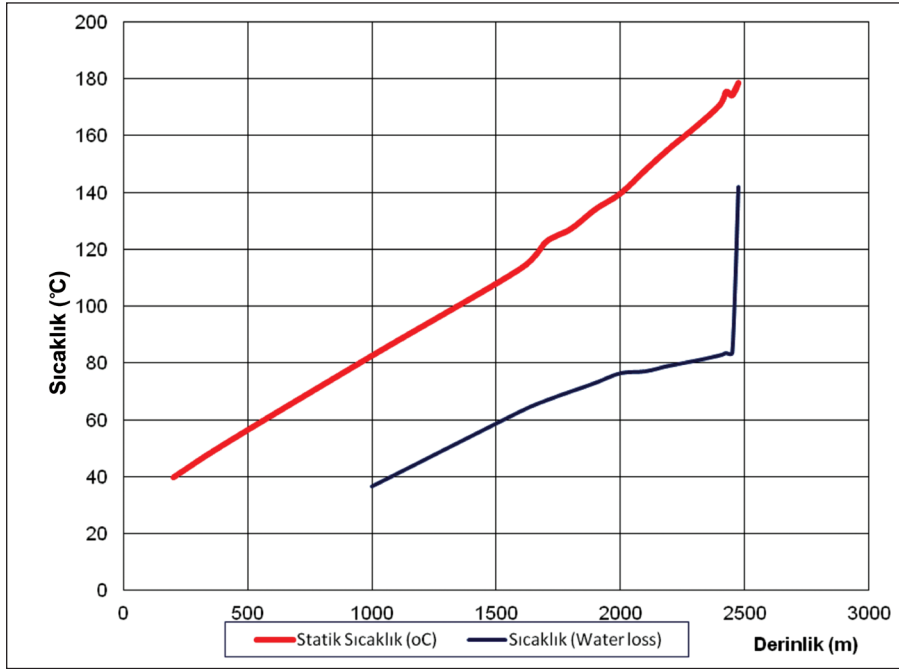
670 psi (46 bar) kuyu başı basıncında (WHP) alınmıştır. İşlem sırasında kuyuya toplam 160 ton temiz su basılmıştır. Su kaybı sonrası sıcaklık grafiği incelendiğinde 2.000 m lerdan itibaren soğumanın arttığı, en fazla soğumanın görüldüğü seviyenin ise 2.425-2.450 m ler arası olup bu seviyenin ana rezervuarı oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 15).

7.1.3. Asitleme Öncesi Çok Debili Enjeksiyon ve Basınç Düşüm Testleri

Basınç ölçü aleti 2.450 m'ye inilerek ölçüye başlanmıştır. İki farklı debide (5,06 l/s ve 10 l/s) ölçü yapılmıştır. Çok debili enjeksiyon sırasında rezervuarda 145 ve 225. dakikalarda toplam 170 psi basınç düşümü gözlenmiştir. Rezervuarda rahatlama (kırılma-yırtılma) oluşmuştur (Şekil 16). İlk çok debili enjeksiyon ölçü sonuçlarına göre enjeksiyon indeksi 0,2615 (ton/saat) bar olarak hesaplanmıştır (Şekil 17). Asitleme öncesi fall off ölçülerine göre basınç düşümü uzun sürede gerçekleşmiş olup,



Şekil 14- Asitleme öncesi statik sıcaklık ve basınç ölçüleri grafiği.



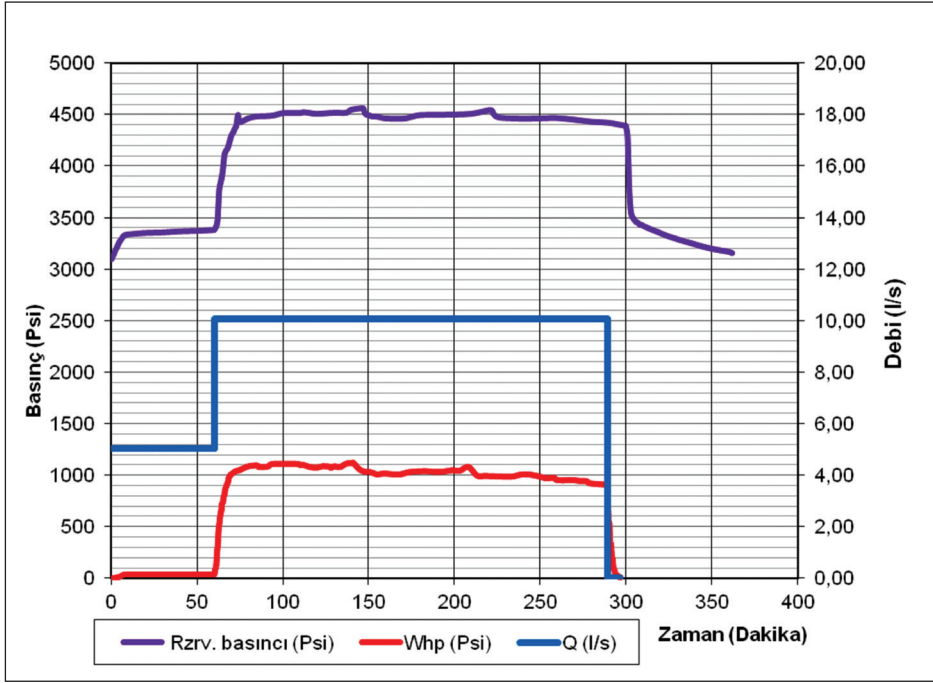
Şekil 15- Statik sıcaklık ve su kaybı testi sıcaklık ölçüleri grafiği.

rezervuarda geçirgenliğin az olduğunu, kirlenmenin olduğunu göstermektedir (Şekil 18).

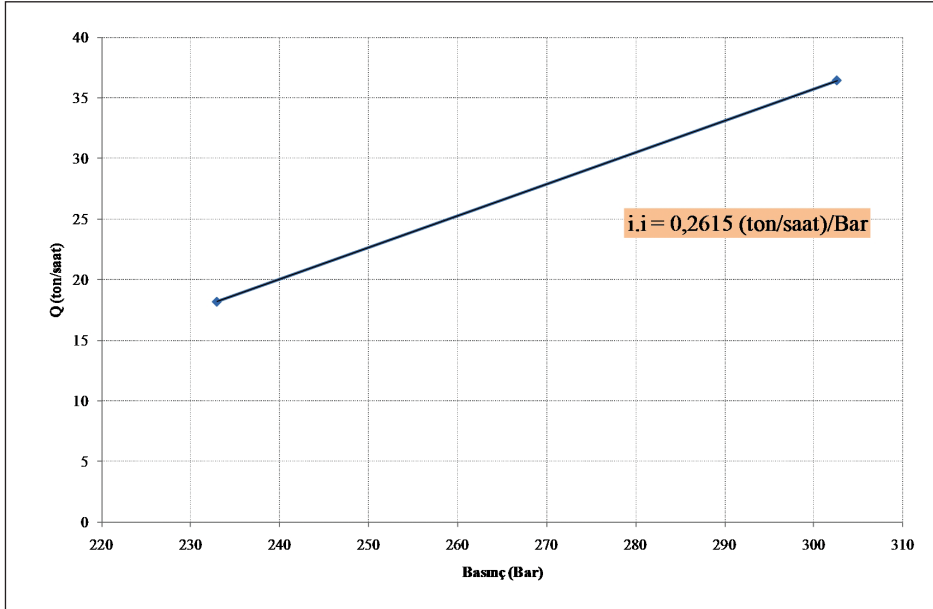
7.2. Asitleme ile Geliştirme Çalışması

Kuyunun açılması esnasında kullanılan baritle ağırlaştırılmış çamur kaçakları ve göçmeler sonucu formasyona ait kırıntılar rezervuara kaçması gibi nedenlerle rezervuarda oluşan tıkanma durumunun

ortadan kaldırılması amacıyla asitleme yapılması yapılmıştır. Rezervuarın kireçtaşı (Budağan kireçtaşları) ve rezervuara kaçan kırıntılar ise melanja ait, yer yer çatlaklar boyunca silisleşmiş, Fe-Mg silikatlardan (piroksenit, dünit vb) oluşması dolayısıyla karbonat ve silise karşı HCL ve HF asit karışımı kullanılmıştır. Bu amaçla % 30 derişimli 30 ton HCL ve % 70 derişimli 1,5 ton HF asit karışımı kullanılmıştır.



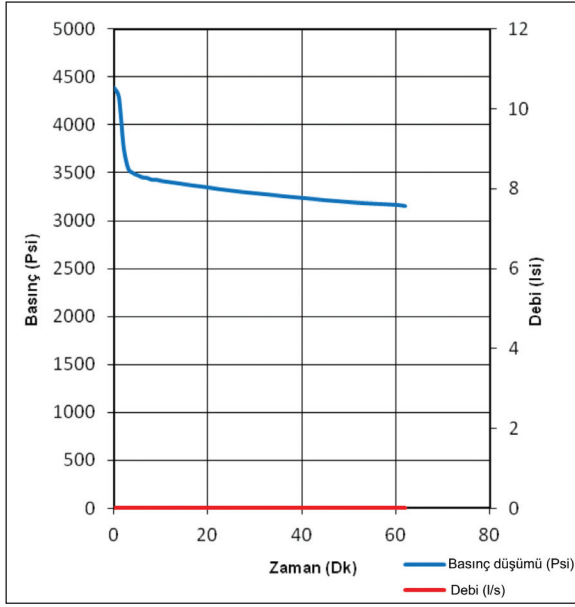
Şekil 16- Asitleme öncesi çok debili enjeksiyon ve basınç ölçüsü grafiği.



Şekil 17- Asitleme öncesi enjeksiyon indeksi grafiği.

Asitleme amacıyla 3 ½" takım (DP) dizisi 2.404 m ye set edilmiştir. Asit başlığı ve pompa bağlantıları yapıldıktan sonra saat 17:28'de asit basılmaya başlanmış ve 18:15'te tamamlanmıştır. İşlem başladıktan 20 dakika sonra WHP basıncında düşme görülmüş ve 35. dakikada tamamen sıfırlanmıştır (Şekil 19). Takım çekilerek yere alınmış ve operasyon tamamlanmıştır.

11-06-2010 tarihinde 360 m ye 3 ½" takım inilerek bu seviyeden kompresör yapılarak üretim çalışmalarına başlanmıştır, saat 19:30 da kompresör yapılmaya başladıktan yaklaşık 2 dakika sonra kuyuda su gelişi başlamıştır. Bu esnada emniyet ve çevresel tedbirler alınmıştır. Saat 21:00 de reaksiyon sonucu oluşan gaz kokuları duyulmaya başlanmıştır. Üretim sırasında sülfür kokusu ile karşılaşılmış ve kontrollü



Şekil 18- Kuyuda asitleme öncesine ait basınç düşüm grafiği.

olarak seyrelme sağlanmıştır. Akışkan rengi bulanık olarak gözlenmiştir. Akışkan saat 23:30 civarlarında berraklaşmaya başlamıştır. Üretimde süreklilik gözlenmiştir.

Kompresörü durdurmadan 12-06-2010 saat 11:30'a kadar 1,5 bar WHP basıncında üretime devam ettirilmiştir. Kuyu başında sıcaklığın 101°C ulaşması üzerine kompresör kapatılmıştır. Kuyu artezyene dönüşmüş olarak 1,1 bar WHP basıncında üretime başlamıştır. Kuyudan gelen akışkan kontrollü şekilde dışarı verilmiş ve pH, multi kondüktivimetre ile 8-9 arasında ölçülmüştür.

7.3. Asitleme Sonrası Test ve Üretim Çalışmaları

Asitleme çalışmasından sonra bazı testler yenilenmiştir. Bu kapsamda Asitleme sonrasında dinamik sıcaklık ve dinamik basınç, basınç yükselme, çok debili enjeksiyon, basınç düşüm ve üretim test çalışmaları yapılmıştır.

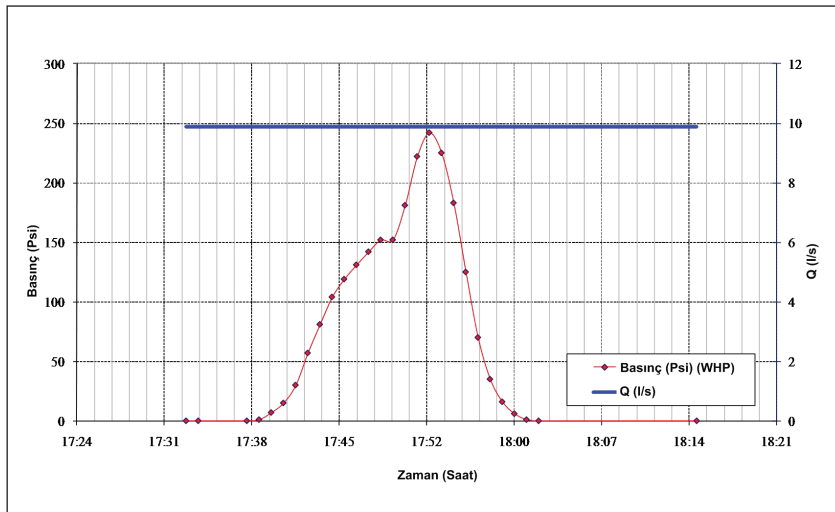
Asitleme sonucu rezervardaki tıkanıklığa yol açan kirlilik büyük ölçüde giderilmiş, kuyu artezyen halinde üretime yapmaya başlamış, kuyunun enjektivite indeksi, produktivite indeksi ve üretim değerlerinde çok önemli artışlar meydana gelmiştir.

7.3.1. Asitleme Sonrası Dinamik Sıcaklık ve Dinamik Basınç Ölçüsü

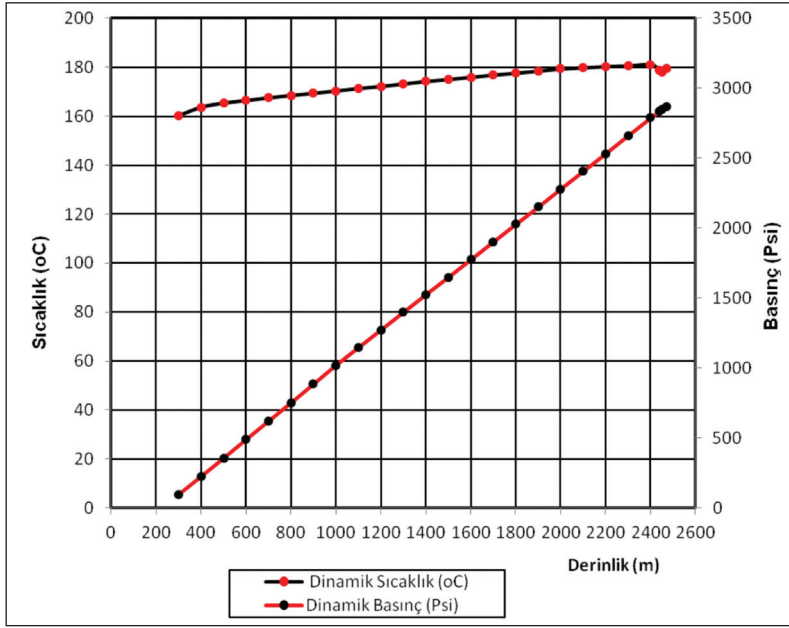
Kuyu 24 saat artezyenik üretim yaptıktan sonra kararlı hale geldiği düşünülerek dinamik ölçülere başlanmıştır. Kuyu 1 bar WHP basıncında 72 ton/saat üretim yaparken dinamik sıcaklık ölçüsü 300 m den itibaren tabana kadar alınmıştır (Şekil 20). Kuyuda 360 m takım dizisi olduğundan ölçü, 300 m DP içerisinden alınmıştır. Ölçü aleti 2.471 m de kırıntıya oturduğundan 2.470 m ye çekilerek ölçü tamamlanmıştır. Dinamik sıcaklık ölçüsünde kuyu içinde ölçülen en yüksek sıcaklık 2.400 m de 181,2 °C olarak ölçülmüştür.

7.3.2. Asitleme Sonrası Basınç Yükselme Ölçüsü

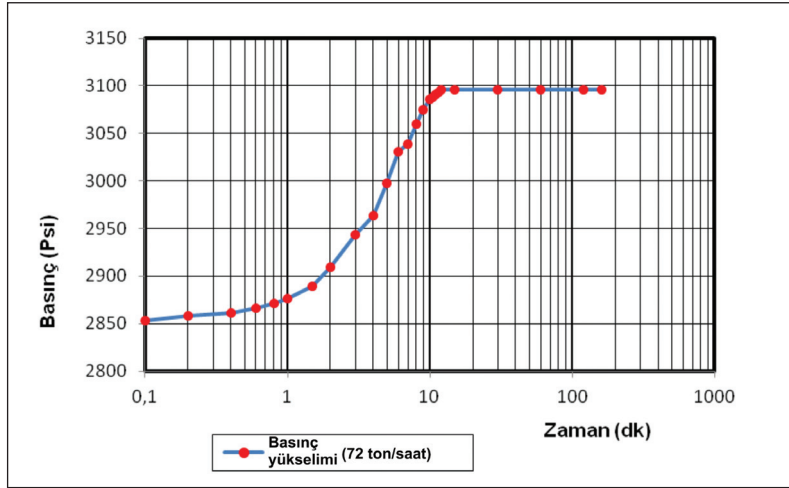
Kuyu 1 bar WHP basıncında 72 ton/saat üretim yaparken ölçü aleti 2.450 m ye set edilerek test yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre produktivite indeksi; $P_i = 4,303$ ton/saat/ bar olarak hesaplanmıştır (Şekil 21).



Şekil 19- Asit basılması sırasında kuyu başı (WHP) basıncının değişimi.



Şekil 20-Dinamik sıcaklık ve dinamik basınç ölçüleri grafiği.



Şekil 21-Asitleme sonrası basınç yükselimi ölçüsü grafiği.

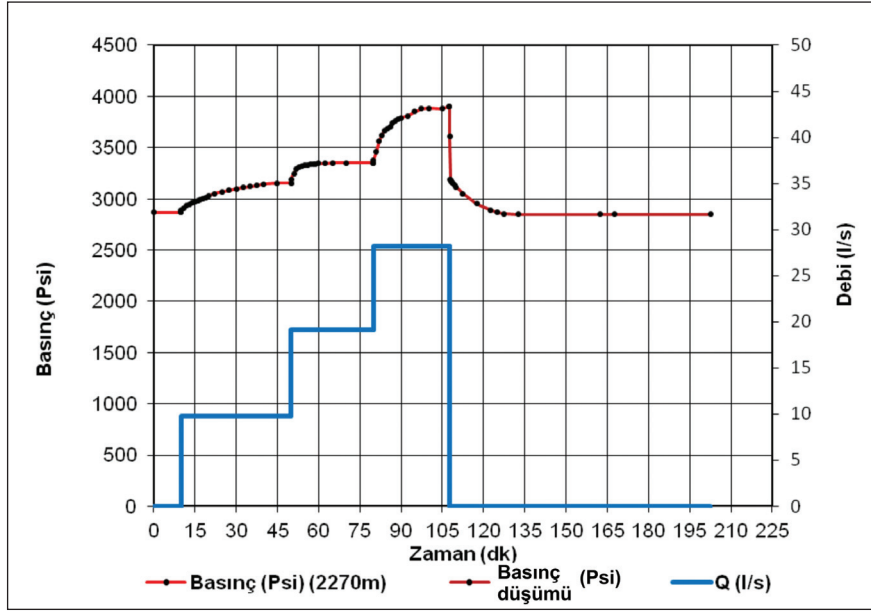
7.3.3. Asitleme Sonrası Çok Debili Enjeksiyon ve Basınç Düşüm Testi

Kuyuda yeterince üretim yaptırıldıktan sonra stabilleşmesi için kuyu kapatılmıştır. 18 saat bekledikten sonra ölçüye başlanmıştır. 9,8-19,11 ve 28,18 l/s debilerde olmak üzere üç farklı debide enjeksiyon çalışması gerçekleştirilmiş olup, basınç değişimi (2.270 m den) zamana bağlı olarak ölçülmüştür (Şekil 22). Ölçü sonuçlarına göre enjeksiyon endeksi 1,2093 (ton/saat) bar olarak hesaplanmıştır. Kuyunun enjeksiyon endeksinde asitleme sonunda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Asitleme öncesinde 0,2615 ton/saat/bar olan

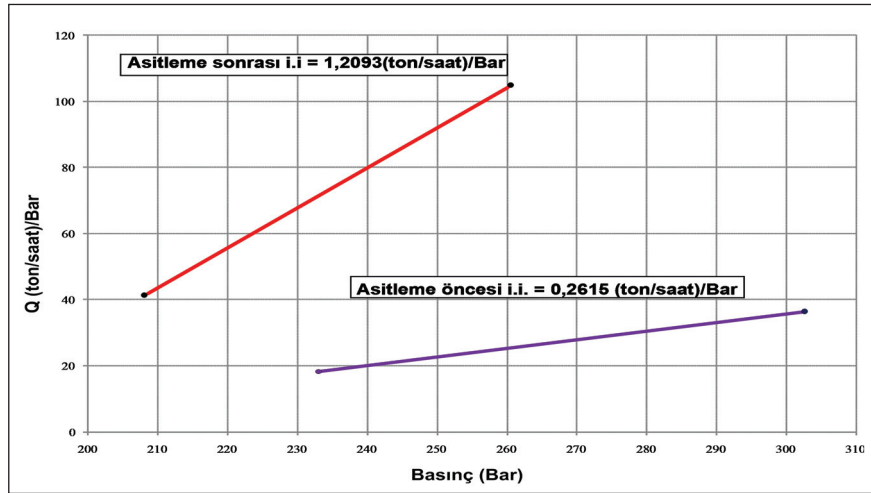
enjeksiyon endeksi, asitlemeden sonra 1,2093 ton/saat/bar'a yükselmiştir (Şekil 23).

7.3.4. Asitleme Sonrası Üretim Test Çalışmaları

Üretim testi çalışmaları kompresörle ve artezyen durumunda olmak üzere iki farklı şartta yapılmıştır. 18.06.2010 saat 23:00'da kompresörle 360 m DP içerisinde hava vermeye başlanmıştır. 2 dakikada kuyudan akışkan gelmeye başlamıştır. Kompresör ile üretim 19.06.2010 saat 11:00'a kadar devam etmiştir. Kompresör ile kuyunun toplam üretim debisi savaktan 22 Psi WHP basıncında 35 l/s ve vana seviyesinde boru içerisinde sıcaklık, 112 °C ölçülmüştür. Saat



Şekil 22-Asitleme sonrası yapılan çok debili enjeksiyon-basınç düşüm ölçüleri grafiği.



Şekil 23- KŞÜ-3 kuyusunda asitleme öncesi ve sonrasında hesaplanan enjeksiyon indeksleri.

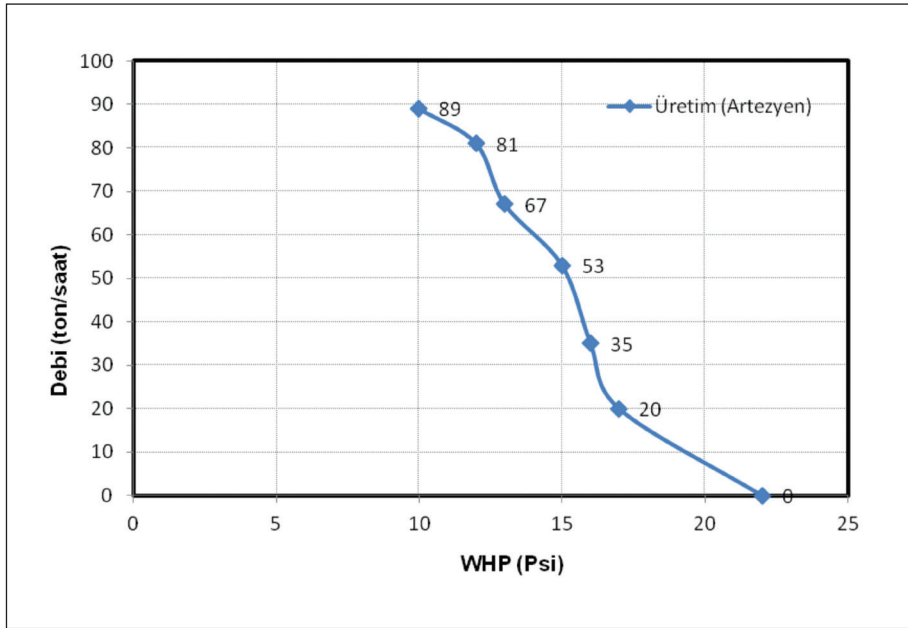
11:00'da kompresör kapatılarak artezyen üretime bırakılmıştır. Bir süre artezyen üretim devam ettikten sonra farklı WHP basınçlarında kuyunun toplam üretim değerleri ölçülmüştür (Şekil 24). 10 Psi WHP basıncında 25 l/s artezyen üretimde vana seviyesinde boru içerisinde 114 °C ve savak içerisinde 96 °C sıcaklık ölçülmüştür. Rezervuar sıcaklığı ve savak sıcaklığı kullanılarak yapılan hesapta buhar oranı %16 olarak hesaplanmıştır.

8. Kavramsal Modelin Oluşturulması

Model yaklaşık 20 km uzunluktaki en batıdaki profil (C profili) üzerinde oluşturulmuştur. Yapılan

tüm çalışmalar birlikte değerlendirilerek şaphane sahasının kavramsal jeotermal modeli oluşturulmuştur (Şekil 25). Bu model üzerinde jeotermal sistemin elemanları olan ısıtıcı kaynak, rezervuar kayaç, örtü kayası, akışkan ve sondaj yeri işaretlenmiştir. Kavramsal modelin oluşturulmasında jeoloji, su kimyası, izotop, jeofizik (manyetotellirik ve rezistivite) ve sondaj verileri kullanılmıştır.

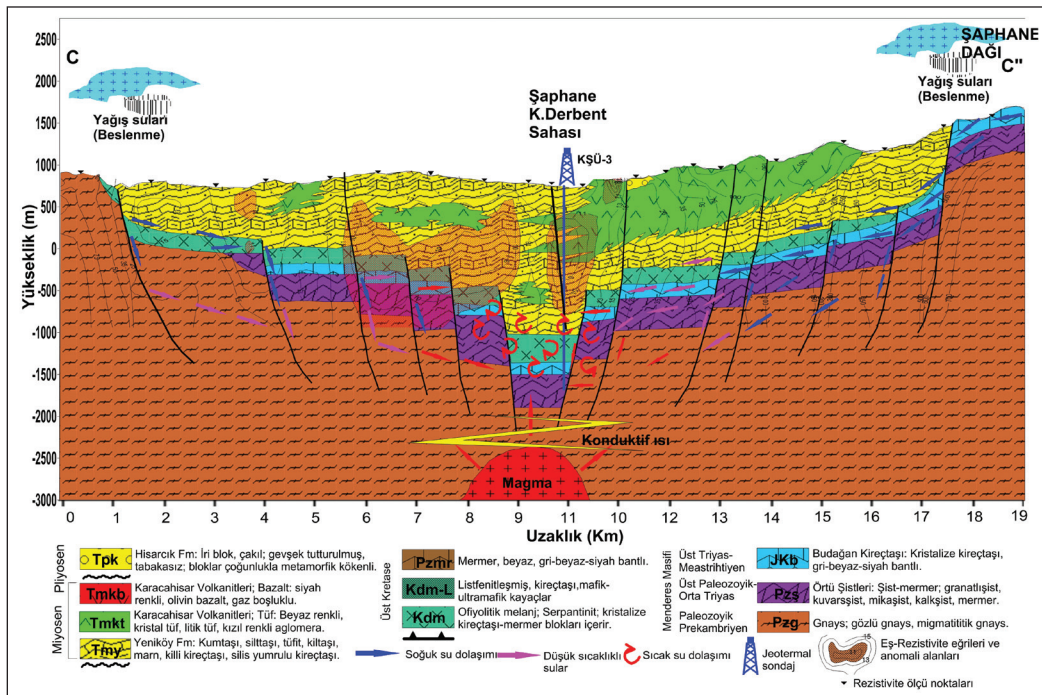
Oluşturulan ölçekli jeolojik kesit üzerinde ilk olarak yüzey jeolojisi verileri işaretlenmiş, temel derinliği ise profil üzerinde yaklaşık 500 m aralıklarla alınan rezistivite ölçülerine göre belirlenerek kesit üzerinde işaretlenmiştir. Rezistivite çalışmaları sonucu



Şekil 24- KŞÜ-3 kuyusunda üretim test grafiği.

oluşturulan aynı profile ait eş-rezistivite kesiti, jeolojik model üzerine bindirilerek, taralı alanla gösterilen düşük rezistiviteli kesim rezervuar üzerinde yer alan örtü kayacı olarak yorumlanmıştır (<11 ohm.m). Temel derinliğindeki ani değişimlerden gömülü faylar belirlenmiştir. Jeotermal sistemin su kaynağı, su kimyası çalışmaları ile ısı kaynağı ise, MT çalışmaları

ile belirlenen, kabuk içindeki 5-8 km derinliklerde yer alan düşük rezistivite ile belirgin sokulumlar dikkate alınarak model üzerine işaretlenmiştir. Bu şekilde oluşturulan model üzerinde beslenme alanı, örtü kayacın kalınlığı, rezervuar derinliği, ısı kaynağının yeri ve derinliği gibi, jeotermal sistemi ortaya koyan bilgiler gösterilmiştir.



Şekil 25- Şaphane-Karacaderbent sahasının kavramsal jeotermal modeli.

9. Sonuçlar

Bu çalışma ile örtülü alanlarda yapılacak jeotermal araştırmalar sırasında uygulanacak yöntemlere ilişkin yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Özellikle örtülü alanlarda uygulanacak jeofizik çalışmalarda profil yönteminin önemi vurgulanmış, profil seçiminde jeolojik verilerin yanında jeokimyasal verilerin kullanılması sonucu daha isabetli sonuçların alınabileceği ortaya konmuştur. Bu kapsamda, Şaphane Karacaderbent yakınlarında 2.500 m derinlikte açılan KŞÜ-3 jeotermal sondajında rezervuar sıcaklığı 181,2 °C olan elektrik üretimine uygun yeni bir gömülü jeotermal sistem bulunmuştur. Kuyuda 2.430 m örtü kalınlığı bulunmakta olup, bu örtü içinde 0-2.000 m arasında ortalama gradyan 0,557 °C/10 m, 2.000-2.400 m arasında ise 0,83 °C/10 m olarak hesaplanmıştır. Rezervuar üzerindeki son 400 m lik örtüye ait gradyan artışı oldukça dikkat çekicidir.

Yapılan üretim çalışmalarında kuyudan artezyen durumunda, 10 psi kuyu başı basıncında, (WHP) kuyu ağzında 114 °C sıcaklıkta ve 25 l/s debide su ve buhar üretimi sağlanmıştır. Kompresörle yapılan üretim testlerinde ise 22 psi kuyu başı basıncında, kuyu ağzında 112 °C sıcaklık ve 35 l/s debide sıcak su ve buhar elde edilmiştir. Elde edilen su (KŞÜ-3 kuyusuna ait), florür içeren, sodyumlu, sülfatlı, bikarbonatlı, klorürlü, mineralli termal su sınıfındadır.

KŞÜ-3 sondajı sıcaklığı itibari ile entegre kullanıma (elektrik enerjisi üretimi, sera ve konut ısıtmacılığı) uygundur. Türbin atım sıcaklığı 75 °C olarak alındığında kuyunun elektrik enerji görünür potansiyeli 2,2 MWe olarak hesaplanmıştır. Kuyunun termal potansiyeli 21,3 MWt olup, ısıtmada kullanıldığında 1.300 konut eş değeri, seracılıkta kullanılması durumunda yaklaşık 85 dönüm (85000 m²) sera ısıtma potansiyeline sahiptir. Sahada yapılan tüm araştırma sonuçları bir arada değerlendirilerek sahanın kavramsal modeli ortaya konulmuştur. Bu model üzerinde de ısı kaynağı, örtü kayaç kalınlığı ve rezervuar yayılımı gösterilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu hedefe ulaşılmış, birinci sondajda ulaşılan ısıtmacılığa uygun potansiyele ilave olarak sıcaklığı 181°C olan ve jeotermal enerji üretimine (elektrik enerjisi) uygun yeni gömülü saha bulunmuştur.

Sahada yeni yapılacak sondajlarda rezervuar kirlenmesini önlemek için su bazlı bentonit katkılı sondaj çamuru yerine polimer çamur kullanılması, ağırlaştırıcı olarak da asitle geliştirme çalışmalarına karşı reaktif olmayan barit yerine rezervuardan

uzaklaştırılabilecek kalsit kullanılması yerinde olacaktır.

Geliş Tarihi: 05.12.2012

Kabul Tarihi: 12.07.2013

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2013

Değinilen Belgeler

- Akdeniz, N., Konak, N. 1979. Menderes Masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve meta bazik, meta-ultramafik kayaların konumu. *TJK Bülteni*, 22, 175-183.
- Burçak, M., Gökmenoğlu, O., Aytekin A., Duman, O., Yeltekin., K Erkan, B., Özmutaf, M., Özkan, H., Erdoğan, H. İ., Şahin, H. 2004. Gediz (Kütahya) belediyesi jeotermal merkezi ısıtma sistemi için jeotermal enerji aramaları ve rezervuar değerlendirilmesine yönelik sonuç raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10160, 153s.*, Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M., Sevim, F., Hacısalihoğlu, Ö. 2007a. Jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal yöntemlerle yeni bir jeotermal sahanın keşfedilmesi, Üçbaşı-Şaphane-Kütahya. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 135, 45-64.
- Burçak, M., Hacısalihoğlu, Kılıç, A.R, 2007b. Şaphane-Üçbaşı-Karacaderbent sahaları jeotermal etüt (jeoloji-jeofizik) KŞÜ-1, KŞÜ-2 jeotermal sondajları kuyu bitirme raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11516, 112s.*, Ankara (yayımlanmamış).
- Burçak, M., Dünya 2010. Kütahya-Şaphane-Karacaderbent sahası KŞÜ-3 jeotermal sondajı kuyu bitirme ve test raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11503, 96s*, Ankara (yayımlanmamış).
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E. 1978 Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21, 97-106.
- Gün, H. 1975. Gediz ilçesi (Kütahya ili) Neojen havzası ve güneyinin jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 6276*, Ankara (yayımlanmamış).
- Günay, E., Akdeniz, N., Saroğlu, F., Cağlayan, A. 1986. Muratdağı-Gediz dolayının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8046*, Ankara (yayımlanmamış).
- 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.
- Kaya O. 1972. Tavşanlı yöresi ofiyolit sorununun ana çizgileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, XV, 1, 26-108.

Satr, M., Friedrichsen H., 1986. The origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey; A Rubidium/Strontium and Oxygen isotope study: *Geol. Rdsch.* 75/3, 703-714.

Schuling, R.D. 1958. Menderes masifine ait bir gözlü gnays üzerinde zirkon etüdü. *Maden Tetkik ve Arama*

Genel Müdürlüğü Dergisi, 51, 38-42.

Schuling, R.D. 1962. Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes migmatitik kompleksinin petrolojisi, yaşı ve yapısı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 58, 71-85.