

UMURLU (AYDIN) JEOTERMAL SAHASI'NIN HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK VERİLER IŞIĞI ALTINDA BÜYÜK MENDERES GRABENİ İÇİNDEKİ YERİ

Engin BÜLBÜL*

ÖZ.- Bu çalışmada, Umurlu (Aydın) jeotermal sahasında yer alan sıcak, mineralli kaynak ve kuyu sularının hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinden yararlanılarak bu suların kökeni, beslenme alanı, oluşum mekanizması, yer altı dolaşım süreçlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı, Aydın ilinin 10 km doğusunda bulunan Umurlu ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Aydın-Umurlu jeotermal sahası ve civarında, en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri bulunmaktadır. Temel üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen yaşlı çökeller, Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. En üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır. Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında doğu-batı yönlü birbirine paralel basamak faylar gelişmiştir. İnceleme alanındaki D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylar jeotermal alanda önemli yapısal unsurlardır. Alanda açılmış olan derin jeotermal kuyuların rezervuar sıcaklıkları 149-155 °C, debileri 15-50 l/s, özgül elektriksel iletkenlik değerleri ise 4300-5610 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) arasındadır. İyon içeriklerine göre sıcak ve mineralli sular Na-HCO_3 , soğuk sular ise Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 'lü sular tipine girmektedir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki jeotermal sahalardan yapılan izotop örnekleme sonucunda artan sıcaklıkla birlikte $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesinin olduğu görülmüştür. Bu sahalardaki sıcak suların, yüksek E_1 , Cl^- ve düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yer altı dolaşım meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: hidrojeokimya, izotop, Umurlu, jeotermal, Aydın

GİRİŞ

Çalışma kapsamında öncelikle Aydın civarında yapılmış olan jeolojik, hidrojeolojik çalışmalar derlenmiş, inceleme alanının jeoloji haritası yapılan saha çalışmaları ve uydu görüntülerinin analizi ile revize edilmiştir. Ayrıca Umurlu jeotermal sahasının Büyük Menderes Grabeni içerisindeki jeotermal sahalara göre konumunu daha doğru olarak ortaya koymak amacıyla bu sahanın doğu komşusu olan Salavatlı jeotermal sahası ve batı komşusu olan Germencik jeotermal sahalarındaki kuyuların bazılarında da izotop örnekleme yapılmış, örnekleme yapılamayan kuyularda da değişik araştırmacıların verilerinden faydalanılmış ve sonuçlar İzotop Hidrolojisi bölümünde toplu halde değerlendirilmiştir.

JEOLOJİ

Aydın-Umurlu jeotermal sahası ve civarında, en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri bulunmaktadır. Temel üzerinde Neojen (Miyosen-Pliyosen) yaşlı çökeller, en üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır (Şekil 1). Batı Anadolu'da paleotektonik dönem boyunca etkili olan sıkışma tektoniğine bağlı olarak kabuk kısalıp kalınlaşmış ve bunun sonucunda da kabuk tabanında kısmi ergimeler başlamıştır. Sıkışma tektoniğinin etkisiyle sürüklenimler gelişmiş, gnayslar bu sürüklenme sonucunda şist ve mermerlerin üzerine bindirmiştir. Bindirme faylarının bölgedeki yaşlı tektonik olaylar olduğu ve sürüklenimin kuzeyden güneye doğru geliştiği belirtilmiş, bu durum Germencik sahasında Bozköy Sürüklenimi olarak gösterilmiştir (Şimşek ve diğerleri 1980). İnceleme alanında açılan sondajlarda da (ASK-1, AU-1, AU-2) benzer bindirme hattı, gnaysların mermerler üzerine bindirmesi şeklinde görülmüştür. Batı Anadolu'da Orta Miyosen'den itibaren hakim olan gerilme tektoniğinin etkisiyle kuzey-güney açılmalar olmuş, Menderes Gra-

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, ANKARA

ÜST SİSTEM	SİSTEM	A.SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER	
SENOZOYİK	KUVATERNER		HOLOSEN	Aydın	200	Gal		Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi, Yamaç Molozu, Taraça Traverten	GEÇİRİMLİ	
			PLEYİSTOSEN	Umurlu	300	Pit		Kumtaşı-Çakıtaşı: Killi, gevşek tutturulmuş	GEÇİRİMLİ	
	ORTA MIYOSEN			PLİYOSEN	Arzular	450	PI		Kilitaşı-Kumtaşı Çakıtaşı	GEÇİRİMSİZ Yarı GEÇİRİMLİ
				ÜST MIYOSEN	Konaklı	400	Ü.M		Kırmızı renkli Kumtaşı-kilitaşı Çakıtaşı	GEÇİRİMSİZ GEÇİRİMLİ
				ORTA MIYOSEN	Hasköy	200	O.M		Marn-Kumtaşı	GEÇİRİMSİZ
									Kömür bantlı Taban Konglomerası	GEÇİRİMLİ
	PALEZOYİK				MENDERES MASIFI METAMORFİKLERİ	?	Pgny		Gnays-Kuvarsist	GEÇİRİMSİZ altere kısımlar Yer yer GEÇİRİMLİ
						?	Pm		Fillit-Şist ardalı malı, Kuvarsit bantlı Mermer	GEÇİRİMLİ
						?	Pmş		Düşük-orta dereceli fillit-kuvarsit ve çeşitli şistler (Kuvars, Talk, Epidot, Grafit)	GEÇİRİMSİZ
						?			Orta-Yüksek Dereceli Şistler (Sillimanit, Granat)	
?						Pgny		Yüksek Dereceli Birimler (Gözlü-Migmatit Gnays)	KIRIKLI, ÇATLAKLI ALTERE KISIMLAR GEÇİRİMLİ (Yarı geçirimli)	
									Olası III. Rezervuar ??	

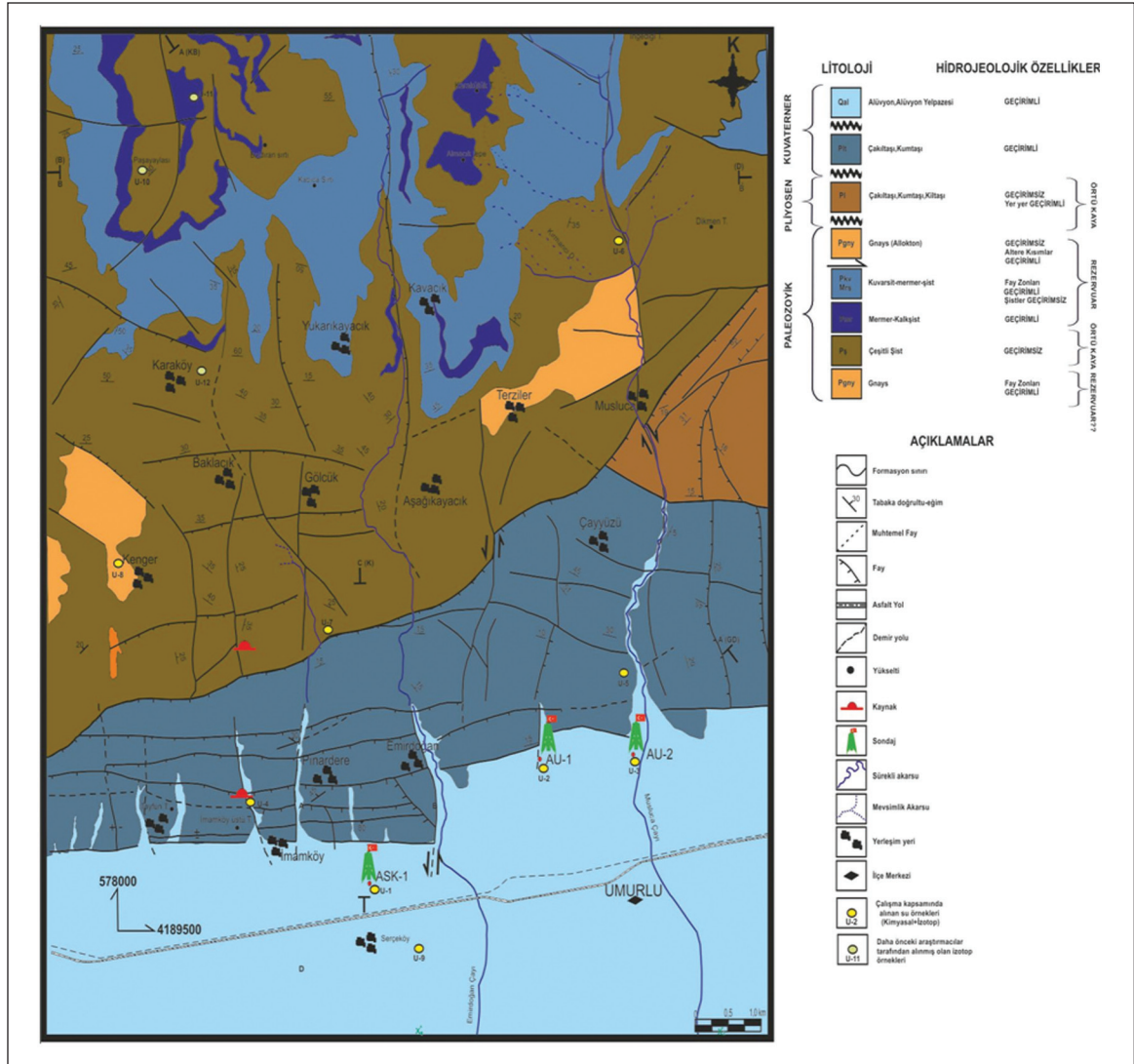
Şekil 1- Çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit (ölçeksiz)

beni'ni oluşturan doğu-batı uzanımlı tektonik hatlar gelişmiştir. Bu hatları oluşturan faylar, eğim atımlı normal fay karakterinde olup grabenin kuzey kenarında daha net izlenmektedir (Şekil 2). Büyük Menderes Grabeni'nde tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD, KD-GB doğrultulu oblik veya normal faylar Umurlu jeotermal sahasında da önemli rol oynamıştır. İn-

celeme alanında yer alan termal kaynaklar ve hidrotermal alterasyonlar bu makas zonlarında gelişmiştir.

HİDROJEOLOJİ

İnceleme alanında Neojen kayaların çakıtaşı seviyeleri I. Rezervuarı oluşturmaktadır. Temeli oluşturan sert ve kırılğan litolojiler aktif

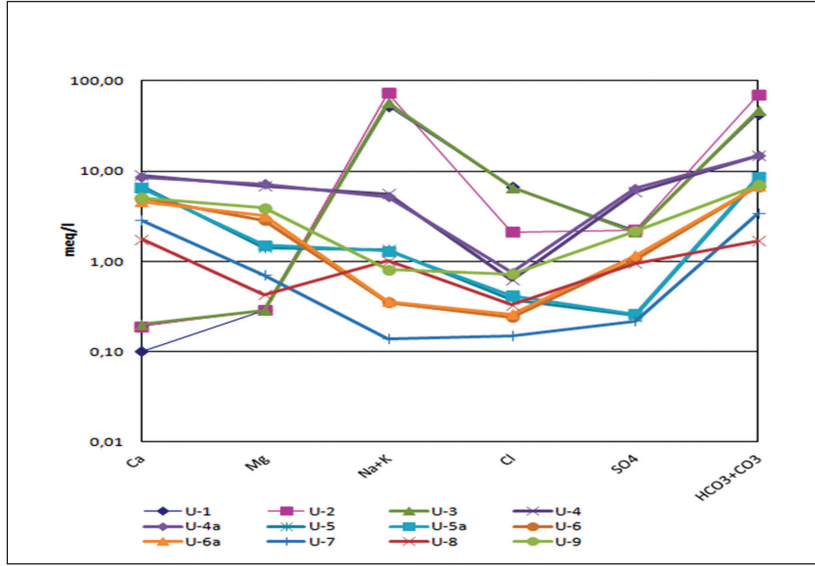


Şekil 2- Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Bilbul ve Karahan 2009)

graben tektonizması sonucunda ikincil geçirimsizlik kazanmışlardır. Başlıca mermer, kalker ve kuvarsit aralanmasından oluşan bu kayalar bölgede sıcaksuyun yerleşebileceği geçirimsiz bir akifer özelliğinde olup, sahada II. Rezervuarı oluştururlar. İnceleme alanındaki rezervuarları birbirinden ayıran iki örtü kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunlar; Neojen yaşlı kayaların kumtaşı-kiltaşı-silttaşı aralanması sunan litolojileri ile Menderes Masifi'nin şistleri ve kısmen de allokon gnayslardır.

Bölgedeki sıcaksu kaynaklarının birbirleriyle ve soğuksu kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi ama-

cıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 3). Schoeller diyagramında sıcak su kaynaklarının çizgilerinin (U-1,U-2,U-3) birbirine paralellik göstermesi bu suların benzer beslenime ve hazne kayaç tipine sahip oldukları, yüksek Na^+K^+ ve Cl^- derişimleri ile soğuksu kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrıldıkları görülmektedir. İnceleme alanındaki soğuk su kaynak ve kuyuları da birbirine benzer bir paralellik içermekle birlikte sığ dolaşıma sahip olan U-7 ve U-8 soğuk su kaynaklarının U-6 ve U-9 soğuk su kaynak ve kuyularına oranla daha az iyon derişimine sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 1).



Şekil 3- Çalışma alanında yer alan suların Scholler Diyagramı

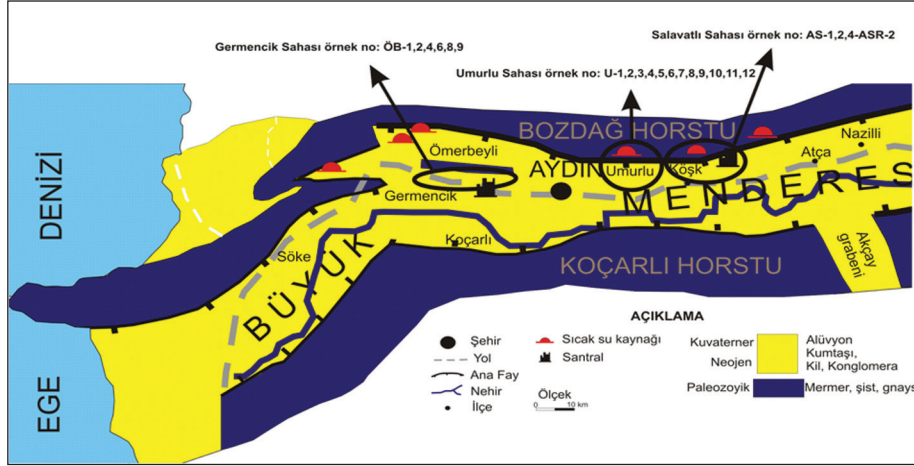
Çizelge 1- Yer altı sularının fizikokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	Örnek Adı (Kotu-m)	Örnekleme Tarihi	T (°C)	pH	Eİ (µS/cm)	Konsantrasyon (mg/l)													
						NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	B	F	SiO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄
U-1	ASK-1 Kuyusu (61 m)	Kas.07	154,5	8,2	4300	1123	136	2,02	3,58	2607	237	105	66,2	9,1	159	-	-	-	-
U-2	AU-1 Kuyusu (110 m)	May.08	153,48	8,5	5610	1602	131	3,8	1	3731	74,4	106	54,1	2,8	161	<0,05	1,1	5,9	<0,1
U-3	AU-2 Kuyusu (95 m)	Haz.08	149,58	8,2	5000	1250	99	4,1	3,5	2840	233	101	52,5	6,4	144	<0,05	2	14,7	0,3
U-4	İmamköy Kaynağı (100 m)	May.08	36,36	6,14	1790	118	16	180	83,7	903	21,9	282	<0,1	-	62	-	-	-	-
U-4a	İmamköy Kaynağı (100 m)	Kas.08	36	6,32	1818	107	20,4	170	86,5	906	26,5	308	<0,1	0,4	63,3	<0,05	0,4	0,1	<0,1
U-5	Umurlu Şıcaşu Kuyusu (125 m)	May.08	30	6,7	850	27	7	135	17,4	508	13,5	12	<0,1	-	73	-	-	-	-
U-5a	Umurlu Şıcaşu Kuyusu (125 m)	Kas.08	31	6,9	828	25	8,05	131	18,4	526	14,9	12,6	0,1	<0,1	80,5	<0,05	0,14	<0,1	<0,1
U-6	Muşluca Kaynağı (500 m)	May.08	16,07	7,04	705	6,3	3,3	100	34,8	413	8,34	51,1	<0,1	-	11	-	-	-	-
U-6a	Muşluca Kaynağı (500 m)	Kas.08	16,5	7,21	716	6,19	3,68	92	38,8	417	9,28	56,3	0,2	<0,1	16,1	<0,05	0,43	<0,1	<0,1
U-7	Palamutçuk Çeşmesi (350 m)	Kas.08	18,5	7,84	347	3,25	1	57,1	8,53	205	5,24	10,5	<0,1	<0,1	12,8	<0,05	1,3	<0,1	<0,1
U-8	Olucaköy Çeşmesi (750 m)	Kas.08	17,2	8	318	18	8,93	35	5,22	103	11,6	45,7	<0,1	-	29,3	<0,05	18,9	<0,1	<0,1
U-9	Hamdi'nin Kuyusu (40 m)	Kas.08	18,1	7,47	903	15,2	5,89	101	47,3	429	25,5	105	0,1	0,15	22,5	<0,05	8,1	<0,1	<0,1

İZOTOP HİDROLOJİSİ

Umurlu jeotermal sahasının batı komşusu olan Germencik jeotermal sahasındaki kuyulardan örnekleme yapmak mümkün olmadığından sahada açılmış olan ÖB-1,2,4,6,8 ve 9 kuyularının $\delta^{18}\text{O}$ - δD ve ^3H değerleri değişik araştırmacılardan alınarak değerlendirilmiştir-

tir. Ayrıca, Umurlu jeotermal sahasının doğu komşusu olan Salavatlı jeotermal sahasındaki ASR-2, AS-1, AS-2, AS-4 kuyularından tek dönem halinde örnekleme yapılmıştır. Şekil 4, Çizelge 2 ve Çizelge 3'te örnekleme noktalarına ait lokasyon haritası, bu kuyulara ait öz bilgiler ve duraylı izotop değerler verilmiştir.



Şekil 4- İzotop örnekleme yapılan noktalarının lokasyon haritası (Şimşek, 2003't en değiştirilerek) (ölçeksiz)

Çizelge 2- İzotop örnekleme yapılan jeotermal kuyulara ait öz bilgiler

Örnek no	GERMENCİK SAHASI						SALAVATLI SAHASI				UMURLU SAHASI		
	ÖB-1*	ÖB-2*	ÖB-4*	ÖB-6*	ÖB-8*	ÖB-9*	AS-1**	AS-2**	ASR-2**	AS-4**	ASK-1**	AU-1**	AU-2**
Açılma Tarihi	1982	1982	1984	1984	1986	1986	1987	1988	2005	2008	2007	2008	2008
Derinlik (m)	1002	975,5	284	1100	2000	1465	1510	962	1300		2054	1223	1602
Rezervuar	Miyosen konglomera	Mermer-Kuvarsit-Sist	Miyosen konglomera	Mermer-Kuvarsit-Sist	Mermer-Kuvarsit-Sist	Mermer-Kuvarsit-Sist	Mermer	Mermer	Mermer	Mermer	Mermer-Filit	Mermer-Filit	Mermer-Filit
Sıcaklık (°C)	203	232	213	224	220	224	169	171,4	160	167	154,5	153,48	149,58
Debi (l/s)	92	144	535	450	343	425	93	91	100		71	25	15
El (µS/cm)	6500	7200	5400	6200	6600	6500	4800	4600	5050	5110	4300	5610	5000
pH	7,21	6,71	7,71	8,7	7,08	8,2	7,1	7,7	8,4	8,5	8,2	8,5	8,2
Na ⁺	1440	1445	1420	1775	1410	1440	1140	1100	1251	1196	1123	1602	1250
K ⁺	60	135	135	180	122,5	140	143	90	155	166	136	131	99
Ca ⁺²	50	30	12	3,6	62,5	85	9,6	14	6,2	8,6	2,02	3,8	4,1
Mg ⁺²	1	1	1,7	0,5	1,5	10	1,08	1,1	0	1,12	3,58	1	3,5
CO ₃ ⁻²	0	0	0	298	0	336,5	0	0	279	303	0	0	0
HCO ₃ ⁻	1140,21	1419,53	1440	1202	1396,72	860,83	2694	2831	2386	2422	2607	3731	2840
Cl ⁻	1595,3	1559,8	1500	1882	1488,9	1542,1	250	233	288	289	237	74,4	233
SO ₄ ⁻²	125,9	33,3	37	64,2	96,02	43,62	138	170	165	161	105	106	101
B	31,06	31,32	55	74	29	27,83	45,8	42	50,4	50,4	66,2	54,1	52,5
SiO ₂	140	160	53	41	286	286	209	178	217	238	159	161	144
Su Tipi	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃

- Değerler mg/l olarak verilmiştir- MTA, 1988,2005-

Örneklerin, $\delta D=8 \delta^{18}O+22$ (Doğu Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; Payne ve Dinçer, 1965) ile $\delta D=8 \delta^{18}O+10$ (Dünya Meteorik Su Doğrusu) olan meteorik yağış doğruları çevresinde yer aldıkları görülmektedir. Bu durum, Umurlu ve Salavatlı sahalarında jeotermal sistemin meteorik sulardan beslendiğini göstermektedir. Meteorik doğruya ait "Döteryum fazlası" değerinin yüksek (%22) olması havzada hakim yağışların hızlı buharlaşma etkisi altındaki Doğu

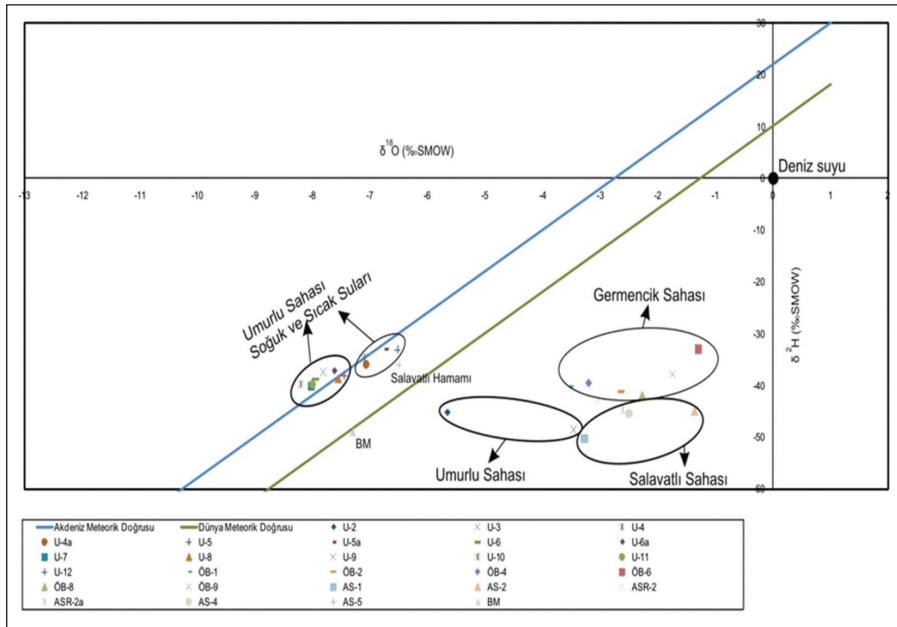
Akdeniz kaynaklı atmosferik su buharınca oluştuğunu göstermektedir. Büyük Menderes Nehri (BM) ve sıcak suların δ^2H izotop içerikleri göz önüne alındığında sıcak suların Büyük Menderes Nehri'nin etkisi altında olmadığı görülmektedir (Şekil 5).

Umurlu (149,5-154,5 °C), Germencik (203-232 °C) ve Salavatlı (160-171 °C) jeotermal sahaları birlikte değerlendirildiğinde $\delta^{18}O$ zen-

Çizelge 3- İnceleme alanındaki suların duraylı izotop içerikleri

Jeotermal Saha	Örnek No	Örnek adı	Örneklenme Tarihi	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰SMOW})$	$\delta^2\text{H}(\text{‰SMOW})$
UMURLU	U-2	AU-1	Haziran 08	-5,66	-45,24
	U-3	AU-2	Haziran 08	-3,46	-48,57
	U-4	İmamköy Kaynağı	Mayıs 08	-7,1	-34,79
	U-4a	İmamköy Kaynağı	Kasım 08	-7,07	-35,97
	U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Mayıs 08	-6,52	-33,11
	U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Kasım 08	-6,74	-33,01
	U-6	Musluca Soğuksu Kaynağı	Mayıs 08	-7,95	-38,83
	U-6a	Musluca Soğuksu Kaynağı	Kasım 08	-7,62	-37,18
	U-7	Palamutçuk Çeşmesi	Kasım 08	-8,02	-40,18
	U-8	Olucak Pınarı	Kasım 08	-7,55	-38,7
	U-9	Hamdi'nin Kuyusu	Kasım 08	-7,81	-37,49
	U-10 ^a	Paşayaylası	Mayıs 00	-8,2	-39,8
U-11 ^a	Altınoluk	Mayıs 00	-8	-40	
U-12 ^a	Karaköy	Mayıs 00	-7,45	-38,2	
GERMENCİK	ÖB-1 ^b	ÖB-1	Temmuz 98	-3,53	-40,2
	ÖB-2 ^b	ÖB-2	Temmuz 98	-2,64	-41,2
	ÖB-4 ^a	ÖB-4	Temmuz 98	-3,2	-39,6
	ÖB-6 ^c	ÖB-6	Temmuz 98	-1,3	-33
	ÖB-8 ^b	ÖB-8	Temmuz 98	-2,27	-41,9
	ÖB-9 ^b	ÖB-9	Temmuz 98	-1,74	-37,9
SALAVATLI	AS-1	AS-1	Kasım 08	-3,28	-50,29
	AS-2 ^d	AS-2	Temmuz 98	-1,36	-45
	ASR-2	ASR-2	Mayıs 08	-3,04	-42,83
	ASR-2a	ASR-2	Kasım 08	-2,61	-44,71
	AS-4	AS-4	Kasım 08	-2,5	-45,51
	AS-5 ^d	Salavatlı Hamamı	Temmuz 98	-6,5	-36
BM	Menderes Nehri	Mayıs 00	-7,3	-49	

^a Güner ve Yıldırım (2005), ^b Şimşek (2003), ^c Correia (1990), ^d Özgür (2002)'den alınmıştır.



Şekil 5- İnceleme alanı ve çevre jeotermal sahalardaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^2H grafiği

ginleşmesinin artan sıcaklıkla arttığı gözlenmektedir. Bu durum jeotermal sahalardaki derin dolaşımı ve artan sıcaklıkla birlikte su-kayaç etkileşiminin arttığını göstermektedir. Umurlu jeotermal sahasına komşu olan Germencik ve Salavatlı sahalarındaki su-kayaç etkileşiminin daha fazla olduğu görülmektedir. İnceleme alanı olan Umurlu Jeotermal sahasındaki düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerleri komşu sahalara göre daha düşük rezervuar sıcaklığını ve daha sığ suların etkinliğini göstermektedir (Şekil 5).

Sıcaklığa bağlı $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi saha bazında da kendini göstermektedir. Örnek olarak Germencik sahası ele alınırsa, sahada I.Rezervuarı oluşturan, Neojen konglomeralarından üretim yapan ÖB-1, ÖB-4 kuyularının rezervuar sıcaklığı 196 ve 203 °C'dir. II. Rezervuarı oluşturan mermer-şist aralanmasından üretim yapan ÖB-2, ÖB-6, ÖB-8 ve ÖB-9 kuyularının rezervuar sıcaklığı ise 206-232°C arasında değişmektedir. Şekil 5'deki grafikte de görüldüğü gibi Germencik sahası içerisinde II.Rezervuardan üretim yapan ÖB-2, ÖB-6, ÖB-8 ve ÖB-9 kuyularındaki $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi I.Rezervuardan üretim yapan ÖB-1 ve ÖB-4 kuyularına göre daha fazladır. Salavatlı jeotermal sahasındaki kuyuların rezervuar sıcaklığı ise 169 ile 175 °C arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi Umurlu jeotermal sahasındaki 155 °C'lik daha düşük rezervuar sıcaklığıyla Germencik ve Salavatlı sahalalarına göre $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesinin daha az olması elde edilen veriler ışığında olağan görülmektedir.

Germencik sahasına paleo-deniz suyu karışmış olması nedeniyle bu bölgedeki sular "Na-Cl" tipinde sular olarak kendini göstermektedir (Çizelge 2). Deniz suyu karışımı Germencik sahasındaki döteryum değerlerini Umurlu ve Salavatlı sahalalarına göre daha yukarı çekmiştir (Şekil 5).

Umurlu jeotermal sahasında örnekleme yapılan AU-1(U-2) ve AU-2(U-3) kuyuları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, her iki kuyunun da yaklaşık aynı rezervuar sıcaklığına sahip olmasına rağmen AU-1(U-2) kuyusundaki $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesinin AU-2 (U-3) kuyusuna göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durum ilk

bakışta AU-1(U-2) kuyusuna daha sığ seviyelerden soğuk su girişimi olduğunu düşündürmüş ancak kuyulardaki kaynama ve buharlaşma süreçlerinin izotop farklılaşmasına yol açarak kuyularda farklı $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesine neden olduğu görüşü daha ön plana çıkmıştır. Bu süreçte, akışkan kuyu içerisinde yükselirken kaynama sürecine maruz kalmakta, akabinde buhar fazı akışkandan ayrılmaktadır. AU-2 kuyusunda da kaynama süreci ve buharlaşma daha fazla olduğundan AU-1 kuyusuna göre $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi daha fazla olmakta ve bu durum kuyulardaki farklı Cl⁻ derişimleriyle de desteklenmektedir. Jeotermal sularda derin dolaşım göstergesi olan Cl⁻ un çizelge 1'deki kimyasal analiz çizelgesine bakılacak olursa AU-1(U-2) kuyusunun Cl⁻ derişiminin ASK-1(U-1) ve AU-2(U-3) kuyularındaki Cl⁻ derişimlerinin yaklaşık 1/3'ü kadar olduğu görülmektedir. Kuyular arasındaki Cl⁻ derişimindeki bu farklılık AU-2 kuyusunda buhar fazının akışkandan daha fazla ayrılması ve artık sıvıda Cl⁻ derişiminin artması şeklinde yorumlanmıştır.

Trityum

Umurlu jeotermal sahası ve komşu jeotermal sahalara ait trityum değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre;

Umurlu, Germencik ve Salavatlı jeotermal sahalardaki Eİ değerlerinin yüksek ve TU değerlerinin düşük olması, sıcak suyun derin dolaşıma sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 6). Umurlu jeotermal sahasındaki soğuk suların trityum değerlerine göre, bu sular genç sular sınıfında yer almaktadır. Sıcak suların klorür miktarı, soğuk su kaynaklarından daha fazladır. Bu durum, beslenme alanından süzülerek ısınan sıcak suların, kayaçlarla daha uzun süre temas ederek, klorür iyonunun, korunan (konservatif) özellikte olması ile yer altı suyu akım yönü boyunca klorürce daha zengin hale gelmesi ve dolayısıyla daha derin dolaşım sular olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü üzere; Germencik jeotermal sahasındaki kuyuların Cl⁻ içerikleri Umurlu ve Salavatlı sahalarındaki kuyulara göre oldukça fazladır. Bu durum Germencik sahasındaki suların daha yüksek sıcaklık içermesi, su-kayaç

Çizelge 4- İnceleme alanındaki suların trityum içerikleri

Jeotermal Saha	Örnek no	Örnek adı	T (°C)	EC (µS/cm)	Cl (mg/l)	Trityum (TU)	Hata (+,-)
UMURLU	U-2	AU-1	153,48	5610	74,4	0,03	0,23
	U-3	AU-2	149,58	5000	233	0,35	0,27
	U-4	İmamköy Sıcak Su Kaynağı	36	1790	21,9	0,66	0,26
	U-4a	İmamköy Kaynağı	36	1818	26,5	0,35	0,25
	U-5	Umurlu Sıcak Su Kuyusu	29	850	13,5	-0,2	0,27
	U-5a	Umurlu Sıcak Su Kuyusu	31	828	14,9	-0,01	0,26
	U-6	Musluca Soğuk Su Kaynağı	16	705	8,34	0,14	0,24
	U-6a	Musluca Soğuk Su Kaynağı	16,5	716	9,28	3,9	0,34
	U-7	Palamutçuk Çeşmesi	20	347	5,24	2,72	0,3
	U-8	Olucak Pınarı	17	318	11,6	3,28	0,31
U-9	Hamdi'nin Kuyusu	18,1	903	25,5	3,16	0,31	
GERMENCİK	ÖB-1 ^b	ÖB-1	203	6500	1595,3	0,69	0,33
	ÖB-2 ^b	ÖB-2	232	7200	1559,8	0,23	0,33
	ÖB-6 ^c	ÖB-6	224	6200	1882	0,6	0,33
	ÖB-8 ^b	ÖB-8	220	6600	1488	0,5	0,33
	ÖB-9 ^b	ÖB-9	224	6500	1542,1	0,64	0,33
SALAVATLI	AS-1	AS-1	169	4800	250	-0,23	0,25
	AS-2 ^d	AS-2	171,4	4600	233	0,2	0,25
	ASR-2	ASR-2	165,8	5050	288	0,45	0,24
	ASR-2a	ASR-2	165,8	5050	288	0,22	0,27
	AS-4	AS-4	167,5	5110	289	-0,28	0,25
	BM	Menderes Nehri	13	410	63	5,5	0,25

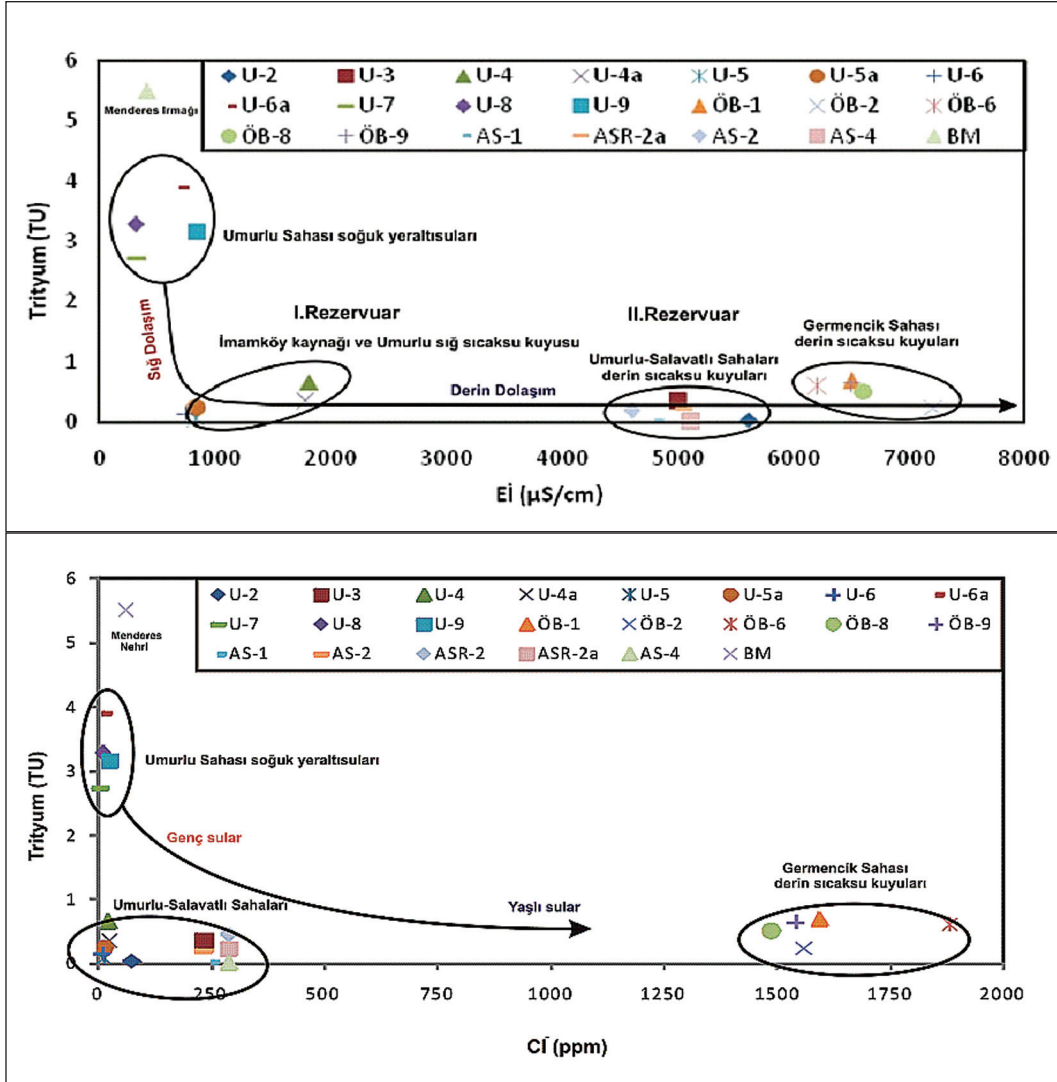
^b Şimşek (2003), ^c Correia (1990), ^d Özgür (2002)'den alınmıştır.

etkileşimlerinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, Germencik sahasının Ege Denizi'nin etkisinde olması nedeniyle rezervuara paleo-deniz suyu karışmış olduğu ifade edilmiştir (Güner ve Yıldırım 2007). Bu nedenle Germencik sahası suları Umurlu ve Salavatlı sahaları ile kıyaslanamayacak kadar yüksek Cl⁻ içeriğine sahip olmaktadır.

SONUÇLAR

İnceleme alanında ve civarında en altta Paleozoyik yaşlı metamorfiklerin bulunduğu, bunun üzerine gelen Neojen yaşlı çökellerin Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluştu-

ğu, en üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimlerin yer aldığı belirlenmiştir. İnceleme alanında D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD ve KD-GB doğrultulu oblik veya normal fayların bulunduğu ve bu fayların genellikle Menderes Grabeni'ne akan dere yatakları boyunca geliştiği belirlenmiştir. Büyük Menderes Grabeni'ndeki tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD, KD-GB doğrultulu oblik veya normal faylar Umurlu jeotermal sahasının oluşumunda da önemli rol oynamaktadır. İnceleme alanında yer alan termal kaynak ve hidrotermal alterasyonlar bu makas zonlarında gelişmiştir.



Şekil 6- Çalışma alanındaki suların $^3\text{H-Cl}$ ve $^3\text{H-Ei}$ grafikleri

Sahada bundan sonra yapılacak olan sondaj çalışmalarında bu makas zonlarının referans özellikte olduğu görülmüştür. İnceleme alanındaki Neojen yaşlı kayaçların çakıltaşı seviyeleri I. rezervuarı oluşturmaktadır. Temeli oluşturan sert ve kırılğan litolojiler aktif graben tektonizması sonucunda ikincil geçirimsizlik kazanmışlardır. Başlıca mermer, kalkışit ve kuvarsit aralanmasından oluşan bu kayaçların sahada II. rezervuarı oluşturdukları saptanmıştır. İnceleme alanındaki rezervuarları birbirinden ayıran iki örtü kayaç topluluğunun olduğu belirlenmiştir. Bunlardan Neojen yaşlı kayaçların kumtaşı-kilttaşı-silttaşı aralanması sunan litolojileri I.reservuarın, Menderes Masifi'nin

şistleri ise II. rezervuarın örtü kayaçlarıdır. Sahada açılan derin jeotermal kuyuları (ASK-1, AU-1, AU-2) iyon içeriklerine göre; Na-HCO_3 , İmamköy kaynağı ve Umurlu sığ sıcaksu kuyusu Ca-HCO_3 'lı, soğuksu kaynak ve kuyuları ise Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 tipi sular sınıfında yer almaktadır. Umurlu jeotermal sahasının, Büyük Menderes Grabeni içindeki diğer jeotermal sahalarla olan ilişkisini ortaya koymak amacıyla izotop örnekleme çalışması Salavatlı ve Germencik jeotermal sahalarında da yapılmıştır. Bu sahalarda artan sıcaklıkla birlikte $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi görülmektedir. Bu durum jeotermal sahalardaki derin dolaşımı ve artan sıcaklıkla birlikte su-kayaç etkileşiminin arttı-

ğını göstermektedir. Yine bu sahalardaki sıcak suların, yüksek Eİ, Cl⁻ ve düşük ³H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yer altı dolaşımını, meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Güner, İ.N. ve Yıldırım, N., 2005, Jeotermal akışkanlarda paleo-deniz suyunun varlığına bir örnek: Ömerbeyli-Germencik (Aydın) jeotermal sahası, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Gümüldür, İzmir. pp. 309-323.

Payne, B. ve Dinçer, T., 1965, Isotope survey of Karst Region of Southern Turkey, Proc. Of Sixth Int. Conference of Radiocarbon and tritium Dating, IAEA, Publ.

Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological an isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey. Geothermics, 32, 669-678.

Şimşek. Ş., Karamanderesi, İ.H., Yılmaz, S., Eşder, T., Erişen, B., Keskin, B., Öngür, T., Yüksel, V., Suludere, Y., Kastelli, M., Özbayrak, İ.H., Uğurlu, A., Şimşek, Z., Sarıöz, K., Uysallı, H., Uygur, N. ve Coşkun, B., 1979 Aydın-Denizli jeotermal alanları. MTA Arşiv No:370077, Ankara (yayımlanmamış).

Şimşek, S., Uygur, N., Özbayrak, İ.H., Coşkun, B., Dikmenoğlu, T. ve Aras, A., 1980, Aydın (Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanakları, Tubitak 10. Bilim kongresi, 251-264, Kuşadası.