

PAPER DETAILS

TITLE: Akarçay Havzasi`nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. Yeraltisuyu kirliligi

AUTHORS: Müfit S DOGDU,C Serdar BAYARI

PAGES: 35-49

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/145513>



Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. yeraltısuyu kirliliği

*Pollution of geothermal origin in the Akarçay Basin (Afyon, Turkey):
2. groundwater pollution*

Müfit Ş. DOĞDU, C. Serdar BAYARI

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA

ÖZ

Jeotermal kökenli yeraltısuları pek çok element açısından sağlığa ve çevreye zararlı derişime sahiptirler. Bu suların termal su akiferinden sızma, ya da termal su üretim kuyularından oluşan yeraltı kaçakları nedeniyle soğuk su akiferine karışması sulama ve içme kullanma suyu kalitesi açısından kirlenmeye neden olmaktadır. Bu çalışmada, Afyon-Akarçay Havzası'nda Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarını kapsayan bölgedeki soğuk yeraltısuları jeotermal kökenli kirlenme açısından incelenmiştir. Hidrokimyasal değerlendirmeler, termal suların Na-Cl, soğuk sularının ise Ca-HCO₃ karakterli olduğunu göstermektedir. Termal su karışımının göstergesi olarak kullanılan Na+K, Cl, Li, B, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin alansal dağılımı soğuk yeraltısuyundaki kirlenmenin jeotermal alanlara yakınlık ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Az sayıdaki tatlı yeraltısuyu üretim kuyusunda sulama, içme ve kullanma suyu kriterleri açısından jeotermal su katkısına bağlı kirlenmenin oluştuğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Afyon-Akarçay, jeotermal, termal su, soğuk su, su kalitesi.

ABSTRACT

Geothermal groundwaters usually possess high concentrations of many elements that are potentially hazardous in terms of environmental pollution and public health. These waters may contaminate and eventually pollute the fresh and cool groundwaters upon seepage from thermal water aquifer or from the casing failures of production wells. In this study, pollution of cool groundwater due to geothermal contribution was investigated in the area comprising Ömer-Göcek, Gazlıgöl and Heybeli geothermal fields. Thermal and cool groundwaters are characterized by Na-Cl and Ca-HCO₃ facies, respectively. Spatial distribution of Na+K, Cl, Li, B, temperature and electrical conductivity, which were taken as the indicator of geothermal contribution, revealed that the pollution in cool groundwater was correlated with its proximity to the geothermal fields. A few cool groundwater wells possess apparent degradation in terms of irrigation, drinking and potable water quality criteria.

Key words: Afyon-Akarçay, geothermal, thermal water, cool water, water quality.

GİRİŞ

Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde bulunan Türkiye'de aktif tektonizmanın bir sonucu olarak termal su kaynakları oldukça geniş bir yayılıma sahiptirler. Erişen vd. (1996) tarafından gerçekleştirilen bir envanter çalışmasının sonuç-

larına göre Türkiye'de sıcaklığı 30°C'nin üzerinde bulunan termal su kaynakları 49 ilde, 149 jeotermal alanda yayılım göstermektedirler. Daha güncel bir çalışmada ise, mevcut jeotermal alanlarının sayısının 170'e ulaştığı belirtilmektedir (Batık vd., 2000). Bu sular; genellikle termal su tedavisinde kullanılmakta olup, son yıllarda mer-

kezi ısıtma, elektrik ve karbondioksit üretimi vb. amaçlarla da kullanılmaktadırlar. Tüm termal sular, kısmen magmatik kökenli, büyük oranda ise uzun süreli yeraltı dolaşımına sahip meteorik suların yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında mineraller ile uzun süre temas etmelerinin bir sonucu olarak yüksek element derişimlerine sahiptirler. Termal sularca içerilen elementler, çevre ve insan sağlığı açısından hemen her zaman sınır değerlerin üzerinde derişimlere sahiptirler. Yerel jeolojik yapının bir sonucu olarak doğal yollarla, ya da sıg ve derin sondajlar aracılığı ile yüzeye çıkan bu sular yer kabuğu içerisindeki yükselimleri sırasında değerli ve sınırlı bir kaynak olan tatlı yeraltısularına karışarak bunları kirletebilmektedirler. Öte yandan, Türkiye'deki tatlı yeraltısuyu kaynaklarının gerek iklimdeki kuraklaşma ve gerekse plansız ve aşırı çekim nedeniyle hızla tüketilmekte ve tarımsal, endüstriyel ve yaşamsal faaliyetlere bağlı olarak gittikçe artan hızda kirletilmekte olduğu da gözlenmektedir. Bu durumda, Türkiye'deki termal su kaynaklarının geniş yayılımı da dikkate alındığında, bunların tatlı yeraltısuyu üzerindeki kirlenici etkilerinin özenle araştırılmasının öncelikli bir sorun olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmaya konu olan Akarçay (Afyon) Havzası'ndaki Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarındaki sular çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bölgede doğal yollarla yüzeye ulaşan termal suların yanı sıra, özellikle Afyon şehrinin ısıtılması ve kaplıcalara su temini amacıyla yoğun olarak yapay termal su üretimi de yapılmaktadır. Aynı zamanda sulama amacıyla yeraltısuyu kullanımının da yaygın olduğu bu alanda termal yeraltısuyu kökenli kirleticilerin tatlı yeraltısuyu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu makalede, ayrıntısı Doğdu (2001) tarafından belirtilen etkiler kısa ve öz olarak sunulmuştur. Termal suların havzayı drene eden ana akarsu olan Akarçay Nehri üzerindeki etkileri ise, diğer bir çalışmada (Doğdu ve Bayarı, 2002) ele alınmıştır.

İNCELEME ALANININ KONUMU, JEOLÖJİK VE HİDROJEOLÖJİK YAPISI

İnceleme Alanının Konumu

İnceleme alanı; 30°-32° doğu boylamları ile 38°-39° kuzey enlemleri arasında, 7300 km²lik dre-

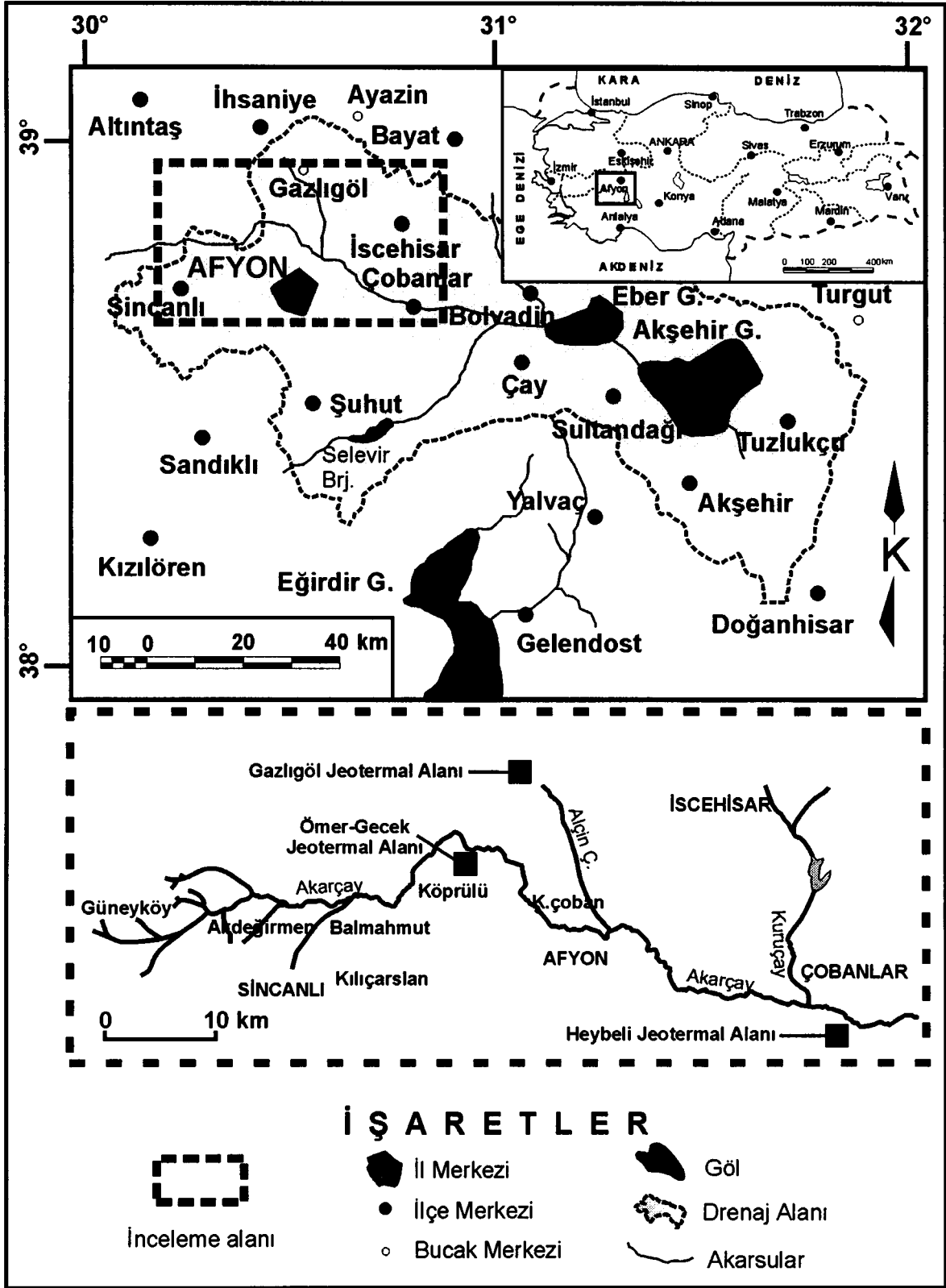
naj alanına sahip Akarçay Havzası'nın batısında yer alan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanları ve dolayını kapsamaktadır. Akarçay kapalı havzasını doğuda yer alan Eber ve akışaşağısındaki Akşehir Gölü'ne drene eden Akarçay Nehri kabaca batıdan doğuya uzanarak çalışma alanından geçmektedir (Şekil 1).

Jeoloji

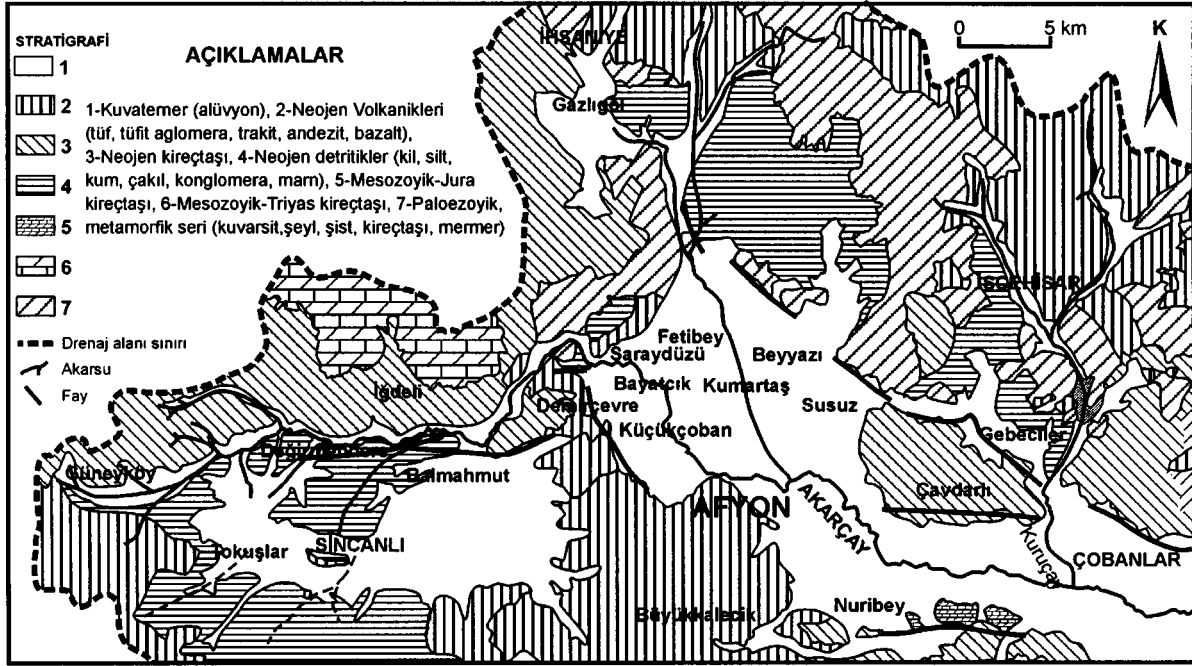
Havzanın jeolojisi DSİ ve MTA Genel Müdürlüğü'nce yapılan incelemeler ile ayrıntılı biçimde çalışılmış (Demirkol vd., 1977; DSİ, 1977; Metin vd., 1987, 1988; Umut vd., 1987; Öztürk vd., 1987); bölgesel jeolojik yapıya ilişkin ayrıntılı ve güncel bir derleme ise Tezcan (1998) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan formasyon adları Metin vd. (1987;1988)'den alınmıştır.

Akarçay Havzası'ndaki jeolojik birimleri genel olarak 4 grup altında toplanabilir. İlk grup, inceleme alanının dışında, havzanın güney-güneydoğusunda geniş alanlar kaplayan Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler (kuvarsit, şeyl, şist, kristalize kireçtaşı, mermer, (Şekil 2; 7 no.lu birim)) ile Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarını (Şekil 2; 6 no.lu birim) içeren Toros kuşağından (Sultandağ kesimi) oluşmaktadır. İkinci grup ise inceleme alanının kuzey ve kuzeybatısında, havzanın kuzeybatı, kuzey ve kuzeydoğusunda yayılım gösteren İç Toros kuşağı (Afyon kesimi) olup, Paleozoyik (mermer, metakonglomera, kireçtaşı, kuvarsit - Şekil 2; 7 no.lu birim), Mesozoyik (kireçtaşı, konglomera, kumtaşı, silttaşı - Şekil 2; 5 ve 6 no.lu birimler) ve Senozoyik yaşlı (killi kireçtaşı, konglomera-kumtaşı-silttaşı ve marn - Şekil 2; 3, 4 ve 5 no.lu birimler) birimlerinden oluşmaktadır. Üçüncü grubu oluşturan volkanik kayalar (Şekil 2; 2 no.lu birim), Afyon'un güney ve güneybatı ve kuzeydoğusundaki alanlarda gözlenen tüf, aglomera, andezit, trakit, trakiandezit ve bazaltları içermektedir. Dördüncü grup olarak, kum, çakıl ve kil gibi kırıntılı malzemeden oluşan Kuvaterner'e ait birimler (Şekil 2; 1 no.lu birim) ise, havzanın orta bölümlerinde batıdan doğuya geniş alanlar kaplamaktadır.

Gerek bölgesel jeolojik araştırmalar ve gerekse derin termal su sondajlarından elde edilen verilere göre bu çalışmaya konu olan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarını kapsayan bölgede jeolojik istif tabanda Paleozoyik



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



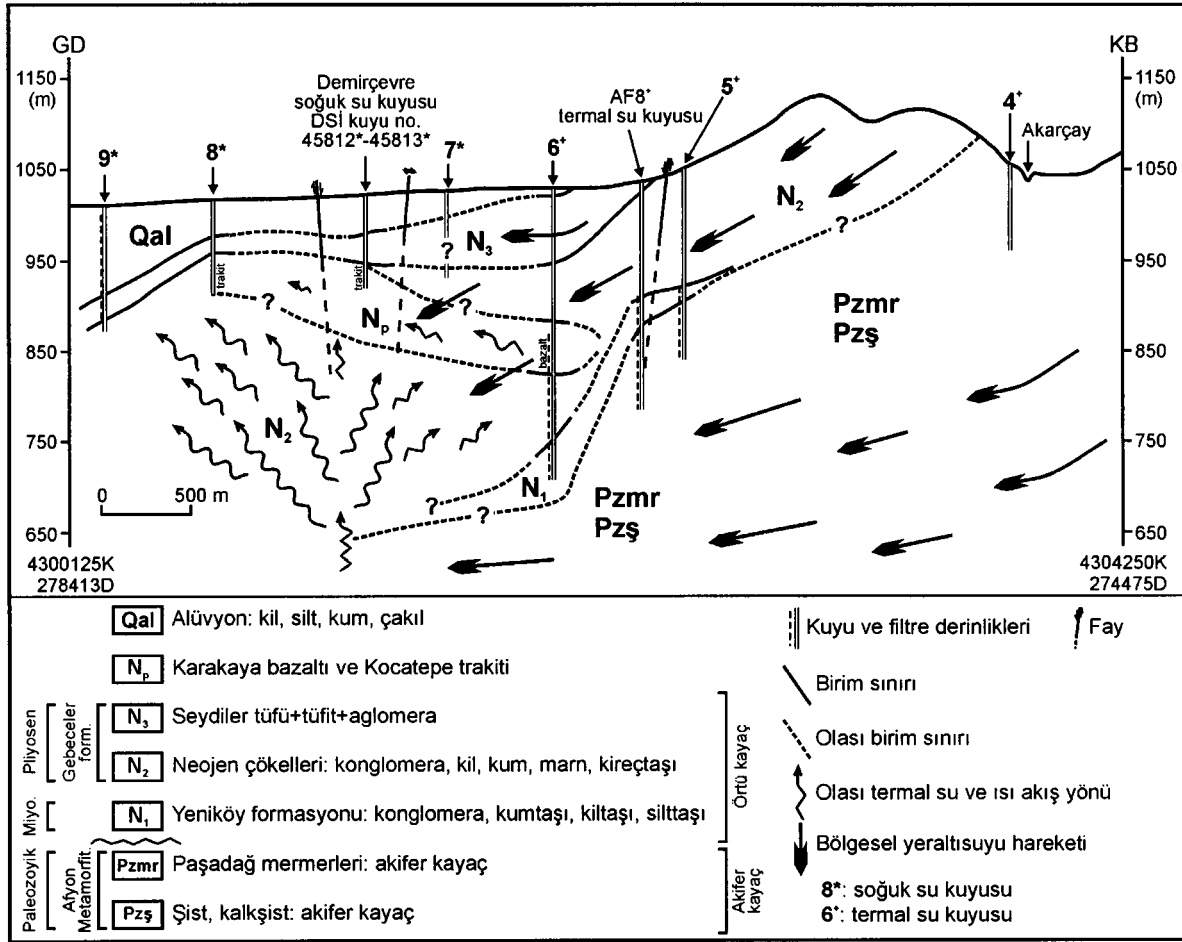
Şekil 2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Tezcan, 1999'dan basitleştirilmiştir).
Figure 2. Geological map of the study area (simplified from Tezcan, 1999).

yaşlı Paşadağ Mermerleri ve bunlarla yer yer geçişli olan, çoğunlukla altta bulunan metamorfik şistler ile başlamaktadır. Kalınlığı 50-300 m arasında değişen ve erime boşlukları da içeren mermerler üzerinde Miyosen-Pliyosen yaşlı kil, silt, kum, killikum, kumtaşı, killi kireçtaşı ve konglomeraları içeren çökeller uyumsuz olarak yer almaktadır (Mutlu, 1996). Gecek hamamı kuzeybatısında yüzeylenen ve mermerlerin hemen üzerinde yer alan 35-40 m kalınlıktaki kırmızı konglomera sondajlarda termal su akiferine geçişi gösteren kılavuz seviyeyi oluşturmaktadır (Öktü vd., 1997). Konglomeralar üzerinde ortalama kalınlığı 50 m olan killi kireçtaşı-kumtaşı birimi yer almaktadır. Bu birimlerin üzerinde ise, Ömer-Gecek jeotermal alanının kuzeydoğusunda yüzeylenen ve Neojen çökellerinin en üst seviyesini oluşturan zayıf tutturulmuş konglomera ve breş birimleri bulunmaktadır. Çalışma alanında geç Miyosen-Pliyosen aralığındaki volkanik aktivitenin ürünü olan tuf, aglomera, andezit, trakit, trakiandezit ve bazalt birimleri de yer almakta olup, Karakaya Bazaltı ve Kocatepe Trakiti alttaki tüm birimleri kesmektedirler (Mutlu, 1996). Kuvaterner yaşlı kil, kum, çakıl gibi çökeltilerden oluşan alüvyon ise, akarsu yatakları çevresinde ve havzanın doğusunda geniş alanlar

kaplamaktadır. Halen oluşumu devam etmekte olan traverten çökelleri ise Ömer-Gecek alanının batısında yüzeylenmektedir.

Hidrojeoloji

Çalışma alanında açılan hemen her sondajda kesilen Paşadağ Mermerleri (Pzmr) ve şistler (Pzş) jeotermal sisteminin ana akifer kayacını oluşturmaktadır (Şekil 3). Ayrıca, temel kayaların yüzeye yakın olduğu kuzeybatı bölgesindeki alüvyon örtünün konglomera ve kumtaşı seviyeleri de nispeten düşük sıcaklıklı suları içerebilmektedir (Tamgaç vd., 2000). Jeotermal akiferin örtü kayacını Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu içerisinde bulunan kilaşı-silttaşı seviyeleri, daha üstte yer alan Pliyosen yaşlı kil ve marn birimlerini de içeren Gebeceler formasyonu ile alüvyon içerisindeki killi-siltli seviyeler oluşturmaktadır. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş yeraltı suyu dolaşım modeline göre (bknz. Şekil 3) termal su kuyuları Paleozoyik yaşlı mermer ve şistlerden beslenmekte, bu birimin üzerinde yer alan Neojen yaşlı seriler ise, örtü kayacını oluşturmaktadır. Öte yandan, örtü kayacının Paleozoyik yaşlı birimlere yaklaştığı derinliklere inen kuyulardan da (örn.: 6 no.lu 320 m derinlikteki



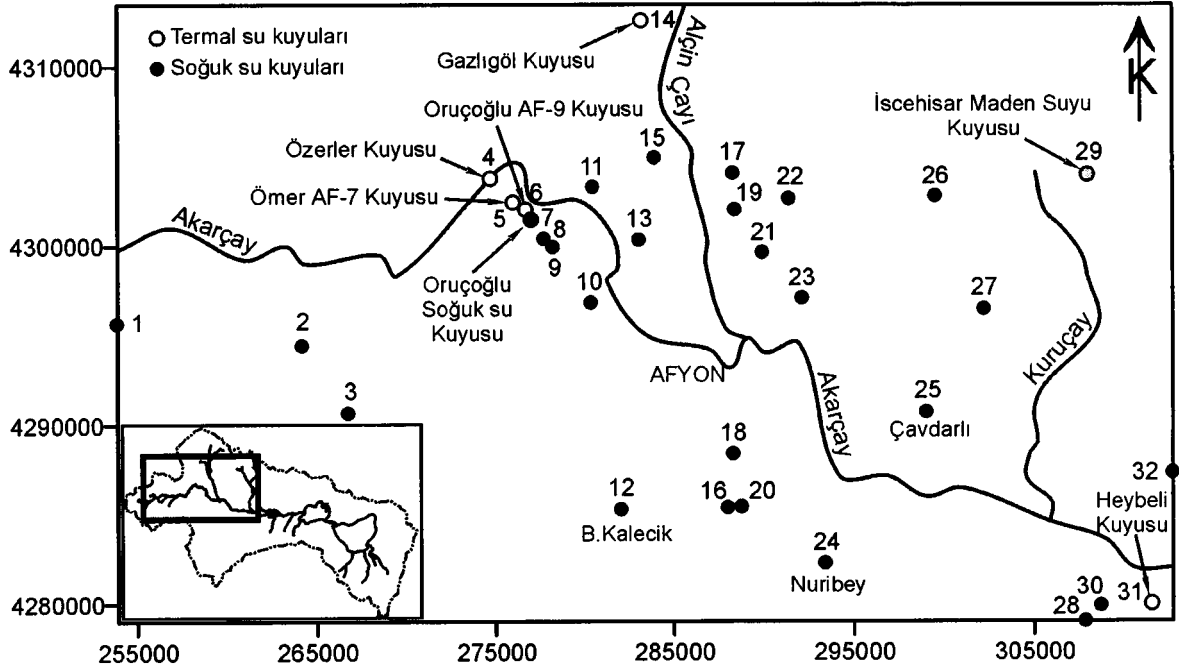
Şekil 3. Ömer-Gecek jeotermal alanı yakın civarına ait genelleştirilmiş yeraltısuyu dolaşım modeli.

Figure 3. The generalized groundwater circulation model of Ömer-Gecek geothermal area and its vicinity.

AF9 kuyusu, bkz. Şekil 3) termal su üretimi yapılabilir. Oadaki soğuk su kuyuları ise, alüvyonun yanı sıra, Neojen yaşlı serinin kumlu, çakıllı bölümlerinden su almaktadırlar. Gerek soğuk su, gerekse termal su akiferlerinin beslenimi ovayı çevreleyen yükseltilerde yer alan jeolojik birimlerin su iletme yetisi yüksek bölümlerince sağlanmaktadır. Alüvyon akiferin üst seviyelerinin hidrolik iletkenliği düşük olan malzemeden oluşması nedeniyle yüzeyden beslenim pratik olarak mümkün görülmemektedir (Tezcan, 2001). Diğer yandan, ileriki bölümlerde açıklandığı gibi, termal su kuyuları civarında yer alan soğuk su kuyularının bir bölümüne termal su katkısının olduğu fiziksel ve kimyasal parametre değerlerinden anlaşılmaktadır. Bu konuyla ilgili ayrıntılı değerlendirmeler Doğdu (2001) tarafından verilmiştir.

VERİLER VE YÖNTEM

İnceleme kapsamında termal yeraltısularının tatlı yeraltısuları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla Afyon-K24 ve Afyon-K25 1/100000 ölçekli topoğrafik paftaları içinde, $255^{000}, 310^{000}$ (UTM) doğu boylamları ile $4280^{000}, 4315^{000}$ kuzey enlemleri arasında yer alan, MTA, DSİ ve özel sektör tarafından açılmış bulunan 32 adet termal ve soğuk su kuyusundan alınan örneklerden elde edilen veriler değerlendirilmiştir (Şekil 4). Soğuk yeraltısularından yağışlı dönemde çekim yapılmaması nedeniyle inceleme kurak dönem (Temmuz 1999) verileri ile sınırlı tutulmuştur. Bununla birlikte, yeraltısuyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yıl içinde önemli değişim gösterme eğiliminden dolayı kurak döneme ait kimyasal değerlendirmelerin genel durumu güvenilir sınırlar içinde temsil ettiği düşünülmektedir.



Şekil 4. Yeraltısuyu örnekleme noktaları.
Figure 4. Groundwater sampling points.

Çalışma kapsamında sıcaklık, elektriksel iletkenlik (Eİ), pH ve çözülmüş oksijen (ÇO) ölçümleri kuyu başında yapılmış ve kimyasal analiz amaçlı örnekler polietilen şişelere alınmıştır. Ölçüm, örnekleme, örnek koruma ve analiz aşamalarında APHA vd. (1989) tarafından verilen standart yöntemler kullanılmıştır. Tüm örneklerde analiz kalitesi açısından anyon-kasyon dengesinin $\pm 5\%$ 'ten iyi olduğu belirlenmiştir. Örneklerle ait majör iyon, iz element (Fe, Li, B, Br, As), N türevi (NO_2 , NO_3 , NH_3) derişimleri ile yerinde ölçüm sonuçları (sıcaklık, Eİ ve ÇO) ve hesaplanan yüzde Na (%Na) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAO) değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

HİDROKİMYASAL FASİYESLER

Alandaki termal yeraltısuları yüksek Na, Cl ve Eİ değerleri ile tipik olup, bu parametrelerin en küçük ve en büyük değerleri sırasıyla 20.62-65.25 meq-Na/l, 5.00-53.00 meq-Cl/l ve 3596-7186 mikroS/cm olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1). Bu durumun tersine, termal su karışımından etkilenmeyen soğuk yeraltısuları ise, düşük Na, Cl ve EC, yüksek Ca, $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ değerleri ile karakteristiktir. Bu sularda söz konusu parametreler açısından en küçük ve en büyük değerler

ise sırasıyla 0.22-6.45 meq-Na/l, 0.15-1.45 meq-Cl/l, 1.02-7.19 meq-Ca/l, 1.31-9.44 meq- $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ /l ve 202-1357 mikroS/cm olarak belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1). Termal su karışımından etkilenen soğuk yeraltısularında ise bu parametrelerin 2.28-26.5 meq-Na/l, 1.75-22.00 meq-Cl/l, 604-3634 mikroS/cm şeklinde ara değerler aldıkları görülmektedir.

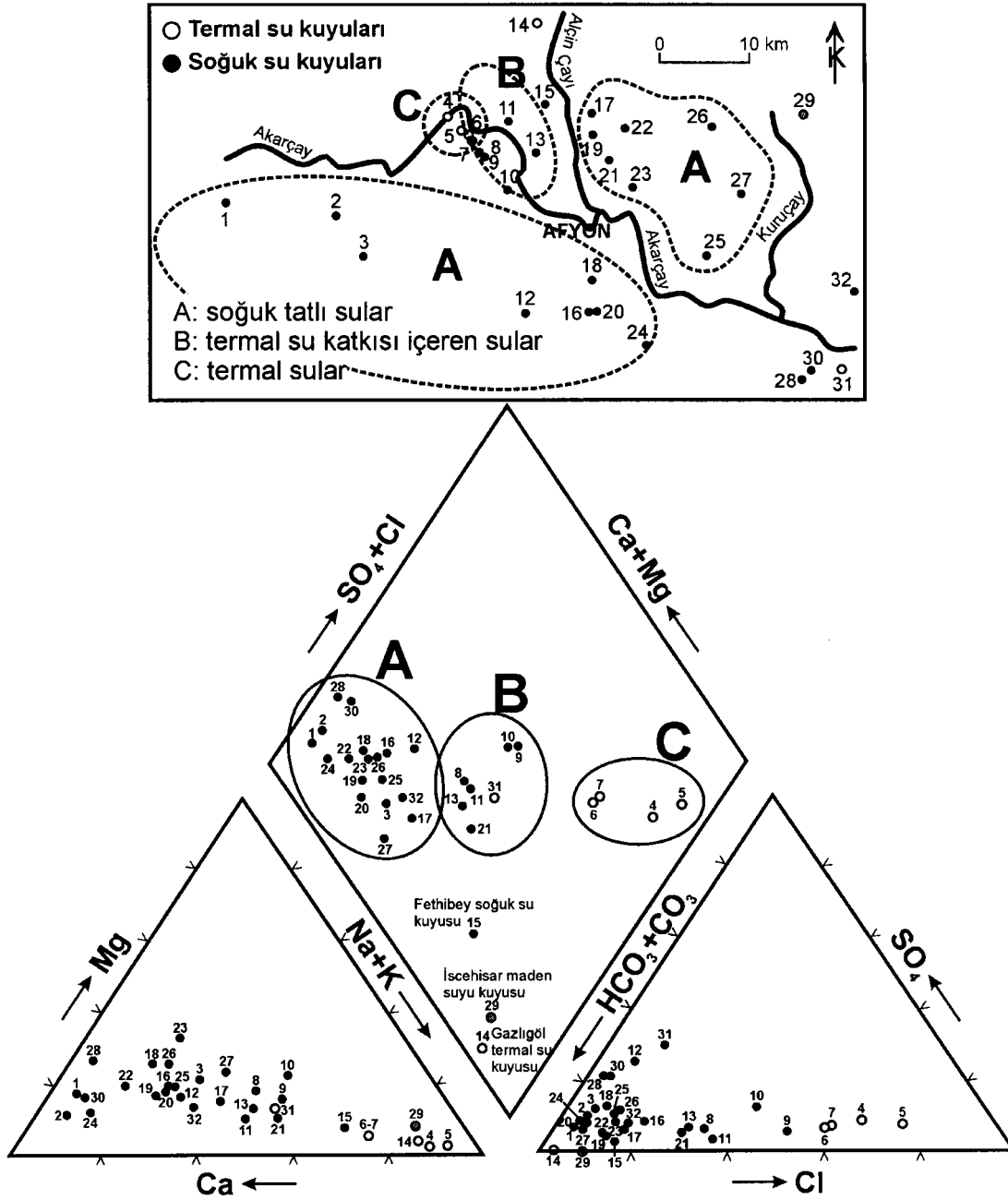
Su örneklerinin majör iyon derişimlerine bağlı olarak Piper diyagramı üzerinde bulundukları konumlardan termal yeraltısularının Na-Cl (Şekil 5, C bölgesi), soğuk yeraltısularının ise Ca- CO_3 (Şekil 5, A bölgesi) fasiyes tipinde oldukları anlaşılmaktadır. Termal su karışımından etkilenen diğer soğuk yeraltısuları ise, etkilenme derecelerine bağlı olarak, bu iki fasiyes arasında farklı konumlar da yer aldıkları görülmektedir (Şekil 5, B bölgesi). Na-Cl fasiyesi ile karakteristik olan termal yeraltısuları, derin termal su sondajlarının ve kaynaklarının yoğun olarak bulunduğu Ömer-Gecek bölgesinde yer almaktadırlar. Öte yandan, Ca- CO_3 fasiyesi ile tipik olan soğuk yeraltısuları Akarçay'ın güneyi ile kuzeyde Alçın Çayı ve Kuruçay akarsuları arasında kalan bölümde yayılım göstermektedirler. Alçın Çayı'nın batısında, Ömer-Gecek bölgesine doğru uza-

Çizelge 1. Termal ve soğuk su kuyularına ait fiziksel ve kimyasal parametreler.
Table 1. Physical and chemical parameters of the thermal and cool water wells.

Örnek Numarası ve Örnekleme Yeri	Koordinat	El	ÇÖ	Değişim (meq/l)				Değişim (mg/l)										(µg/l)	Kuyu Derinliği (m)	Filtre Derinliği ve Litoloji							
				Enlem	Boylam	°C	µS/cm	pH	Na	K	Mg	Ca	SO ₄	SAR*	%Na ⁺	NO ₃ ⁺	NO ₃ ⁻	Fe	Li	B	Br	Mn	Al	I	As		
1 Tokuşlar (DSI kuyu no:50544) ^P	253935 4295617	11.9	568	7.30	6.07	0.22	0.14	4.32	0.99	5.14	0.35	0.36	0.1	3.8	0.868	0.164	0.048	0.000	0.303	0.290	0.000	0.000	0.000	0.008	0.006	140	50-135, çakıl
2 Kuşçubük (DSI kuyu no:11254) ^P	264211 4294366	10.6	692	7.24	8.56	0.35	0.10	5.64	0.82	5.84	0.45	0.73	0.2	5.0	1.256	0.034	0.000	0.000	0.383	0.367	0.000	0.000	0.000	0.008	0.006	175	kum-çakıl
3 Ahnemişpaşa (DSI kuyu no:22312) ^P	266767 4290591	14.2	365	7.24	3.49	0.97	0.20	1.90	0.82	2.99	0.25	0.47	0.8	25.0	0.315	0.019	0.105	0.020	0.177	0.267	0.008	0.000	0.010	0.014	0.014	150	çakıl-tuf
4 Özerler termal su kuyusu ^P	274750 4303710	85.0	5668	6.56	1.48	51.33	2.35	6.04	1.23	16.54	38.00	5.44	26.9	84.2	-	-	4.264	2.090	5.830	6.650	0.089	0.410	0.111	0.178	75	veri yok	
5 Ömer AF-7 termal su kuyusu ^A	276060 4302390	92.0	7186	7.61	1.85	65.25	3.10	5.09	1.32	14.95	53.00	5.86	36.5	87.3	-	-	0.126	2.450	8.838	9.320	0.018	0.000	0.015	0.176	210	152, mermer-şist-konglomera	
6 Onuçoğlu AF-9 termal su kuyusu ^P	276760 4302010	48.0	4299	6.18	1.56	31.41	1.46	9.61	2.63	16.63	26.00	3.29	12.7	69.6	-	-	3.398	1.220	2.896	5.560	0.416	0.000	0.069	0.176	320	185, bazalt-kumtaşı-konglomera	
7 Onuçoğlu kuyusu ^P	277020 4301410	25.8	3634	5.98	3.53	26.54	1.34	7.86	2.47	13.31	22.00	2.87	11.7	69.5	0.203	0.008	0.162	0.980	0.892	4.500	0.048	0.000	0.048	0.170	vy	vy	
8 Demirçevre (DSI kuyu no:45810) ^P	277797 4300347	19.2	604	6.50	5.69	2.28	0.19	2.22	1.03	3.46	1.75	0.42	1.8	39.8	2.727	0.005	0.218	0.080	-	0.483	0.018	0.000	0.014	0.058	100	30-100, çakıl-tuf-trakit	
9 Sadıkbey (DSI kuyu no:31882) ^P	278293 4299920	24.0	1704	6.45	5.15	5.00	0.32	3.64	1.65	4.58	5.20	0.55	3.1	47.1	0.394	0.419	2.361	0.150	-	1.510	0.068	0.610	0.022	0.073	134	40-90, çakıl-aglomera	
10 DSI tesis. kuyu (DSI kuyu no:34230) ^P	280400 4296800	22.3	1327	7.16	5.28	8.13	0.31	5.34	3.74	8.22	7.00	2.09	3.8	46.4	0.125	0.218	1.346	0.240	-	2.750	0.437	0.000	0.105	0.062	532	28-60, çakıl, 155-222 çakıl	
11 Saraydüzü (DSI kuyu no:34429) ^P	280520 4303270	14.8	1039	6.96	5.71	4.22	0.32	4.49	0.95	6.17	3.55	0.42	2.6	42.3	0.632	0.010	0.058	0.180	-	0.935	0.000	0.000	0.018	0.047	80	20-75, çakıl	
12 Büyükkalecik (DSI kuyu no:53026B) ^P	282086 4285243	14.9	202	7.78	3.08	0.52	0.04	1.02	0.33	1.31	0.15	0.49	0.6	27.1	0.064	0.000	0.062	0.020	-	0.178	0.008	0.000	0.029	0.014	193	25-190, çakıl-trakit	
13 Bayatçı (DSI kuyu no:42670) ^P	283105 4300299	11.8	1178	7.33	5.72	4.89	0.35	4.72	1.48	7.19	3.10	0.70	2.8	42.8	0.237	0.959	0.058	0.230	-	1.030	0.014	0.000	0.015	0.042	85	23-80, çakıl	
14 Gazioğlu termal su kuyusu (G1) ^A	283300 4312520	85.0	3872	7.20	1.94	39.72	1.98	5.61	2.06	47.65	0.95	0.08	20.3	80.4	0.147	1.869	0.323	2.850	10.24	0.918	0.089	0.000	0.029	0.011	138	kuvarsit-kalkıştı	
15 Fethibey (DSI kuyu no:30513) ^P	283946 4304825	14.1	974	7.34	5.9	6.45	0.33	2.69	0.82	8.74	1.45	0.36	4.9	62.6	0.798	0.030	0.000	0.270	0.588	0.550	0.020	0.000	0.014	0.012	80	30-75, kum-çakıl	
16 Süğün (DSI kuyu no:47854B) ^P	288055 4285364	17.5	252	7.05	6.6	0.52	0.19	1.65	0.58	2.24	0.80	0.25	0.5	17.8	0.263	0.875	0.288	0.000	-	0.204	0.019	0.000	0.006	0.025	190	50-185, çakıl-kum	
17 Çayırbağ (DSI kuyu no:33039) ^P	288348 4304051	15.2	597	6.98	6.22	2.02	0.14	2.79	0.91	4.67	0.95	0.35	1.5	34.5	1.006	0.026	0.120	0.090	-	0.379	0.011	0.000	0.014	0.007	85	40-80, çakıl	
18 Alaköy (DSI kuyu no:15947) ^P	288358 4288384	14.0	346	7.20	6.68	0.49	0.17	2.02	0.91	2.85	0.30	0.45	0.4	13.6	0.501	0.824	0.016	0.000	-	0.194	0.012	0.000	0.007	0.009	205	30-187, kum-çakıl-tuf	
19 Kumartaş (DSI kuyu no:40939) ^P	288463 4301975	15.1	537	7.30	7.02	1.17	0.08	3.19	0.91	4.39	0.85	0.27	0.8	22.0	1.083	0.097	0.584	0.020	-	0.235	0.035	0.760	0.013	0.008	86	20-80, çakıl	
20 Salar (DSI kuyu no:36442) ^P	288800 4285397	19.4	276	6.93	4.07	0.50	0.22	1.82	0.58	2.62	0.25	0.23	0.5	16.1	0.344	0.740	0.053	0.000	-	0.138	0.011	0.000	0.006	0.025	111	40-105, trakit, kum	
21 Beryazı (DSI kuyu no:13324) ^P	289997 4299563	15.9	1683	6.45	4.19	7.53	0.47	6.04	1.56	10.28	4.10	0.65	3.9	48.2	0.932	0.952	0.023	0.380	1.063	1.150	0.031	0.000	0.017	0.011	187	60-140, çakıl	
22 Beryazı (DSI kuyu no:51980) ^P	291449 4302607	14.9	518	7.79	7.02	0.69	0.04	3.17	0.99	3.74	0.50	0.28	0.5	14.1	1.056	1.428	0.965	0.020	-	0.169	0.042	1.300	0.010	0.006	110	32-95, çakıl	
23 Susuz (DSI kuyu no:49179) ^P	292171 4297021	16.5	577	7.36	9.02	1.04	0.12	2.74	1.89	4.39	0.85	0.51	0.7	17.9	0.893	0.749	1.192	0.040	-	0.268	0.060	1.750	0.030	0.015	158	40-152, çakıl	
24 Nuriyey (DSI kuyu no:38720) ^P	293431 4282246	14.8	395	7.40	7.52	0.30	0.14	3.12	0.53	3.46	0.25	0.34	0.2	7.3	1.373	0.590	0.689	0.000	1.348	0.226	0.043	0.000	0.005	0.012	190	andezit-trakiandezit-çakıl	
25 Çavdarlı (DSI kuyu no:32590B) ^P	299038 4290680	18.4	1357	6.55	3.98	2.89	0.31	7.19	2.59	9.44	1.30	1.26	1.3	22.3	1.221	0.000	0.146	0.170	-	0.499	0.036	0.000	0.005	0.025	153	35-145, çakıl	
26 Çalışlar (DSI kuyu no:35599) ^P	299574 4302729	16.1	645	7.40	4.7	1.21	0.10	3.34	1.65	4.86	0.85	0.70	0.8	19.2	1.043	1.298	0.044	0.030	-	0.530	0.022	0.000	0.009	0.009	173	32-162, kum-çakıl	
27 Gebeceler (DSI kuyu no:41068) ^P	302266 4296451	14.6	612	7.45	5.56	1.94	0.18	2.64	1.56	5.72	0.50	0.37	1.3	30.7	0.598	0.067	0.091	0.050	-	0.373	0.012	0.000	0.010	0.021	70	20-65, çakıl-konglomera-kireçtaşı	
28 Değirmendere (DSI kuyu no:49758) ^P	307887 4279014	13.8	629	7.39	6.87	0.32	0.06	4.09	1.56	4.49	0.30	1.31	0.2	5.3	0.578	1.214	0.080	0.000	0.161	0.241	0.011	0.000	0.004	0.005	145	40-105, trakit-kum	
29 İcehisar (DSI kuyu no:30082) ^A	308074 4303917	21.5	3817	6.31	1.06	34.80	1.94	4.59	3.70	43.45	2.45	0.00	17.1	77.3	0.029	2.816	1.551	2.830	6.568	0.825	0.072	0.000	0.016	0.007	35	15-34, şist	
30 Değirmendere (DSI kuyu no:15022) ^P	308789 4279852	16.5	486	7.39	7.85	0.30	0.06	3.54	0.82	3.55	0.20	1.02	0.2	6.3	0.415	0.532	0.306	0.030	0.367	0.209	0.021	0.000	0.004	0.003	192	40-130, çakıl-kireçtaşı	
31 Heybeli termal su kuyusu (H2) ^P	311610 4279950	60.0	3596	7.13	2.3	20.62	1.41	16.49	5.97	25.79	5.00	13.22	6.2	46.4	0.025	0.899	0.831	0.880	-	1.920	0.037	0.000	0.015	0.181	292	237-248, kalkıştı-mermer	
32 Kocazı (DSI kuyu no:19277) ^P	312772 4287286	16.1	546	7.42	7.63	1.62	0.08	2.82	0.82	4.11	0.75	0.45	1.2	30.4	1.491	0.021	0.029	0.020	0.018	0.362	0.000	0.000	0.007	0.011	91	48-62, kireçtaşı	

P: pompaj, A: artezyen, -: analiz yapılmamıştır, vy: veri yok, *: SAO (sodium adsorbsiyon oranı)=Na/[((Ca+Mg)/2)^{0.5}] (derişimler meq/l),

**, %Na=[Na/(Na+K+Ca+Mg)]*100 (derişimler meq/l)



Şekil 5. Termal ve soğuk kuyu sularının Piper diyagramı.
Figure 5. Piper diagram of the thermal and cool water wells.

nan alanda yer alan yeraltısularının ise, artan termal su katkısına bağlı olarak, Na-Cl ve Ca-CO₃ fasiyesleri arasında bir bileşime sahip oldukları anlaşılmaktadır. Öte yandan, çalışma alanının kuzeyinde yer alan ve yüksek karbondioksit içeriğine sahip olan Gazlıgöl ve İscehisar kuyu suları ise Na-CO₃ fasiyesinde yer almaktadırlar.

TERMAL SU ETKİSİNİN ALANSAL YAYILIMI

Soğuk yeraltısuları üzerinde termal su etkisinin alansal yayılımının belirlenmesi amacıyla sıcaklık, El, Na+K, Cl, Li ve B parametrelerine ait kontur haritalarından yararlanılmıştır. Bu parametrelerin tümü termal sularda daha yüksek değerlere sahip olup, termal ve soğuk suların karış-

ması durumunda oldukça korunumlu davranışları varsayılmıştır. Cl ve Li gibi elementleri içeren minerallerin yüksek çözünürlüğe sahip olması ve yeraltısuyu sisteminde ısı üreten, ya da soğutan reaksiyonların mevcut olmayışı bu varsayımın başlıca gerekçelerini oluşturmaktadır. Öte yandan, gaz kaybına bağlı mineral çökmesi (örn.: CaCO_3) sonucunda El'de azalma ve iyon takas reaksiyonları ile akiferde tutulma sonucunda Na+K ve B derişimlerinde artma, ya da azalmanın meydana gelmesi mümkün olmakla birlikte, termal suların sözü edilen parametreler açısından sahip oldukları yüksek değerler dikkate alındığında, söz konusu süreçlerin önemli bir etkiye sahip olması beklenmemektedir.

Söz konusu parametrelere ilişkin kontur haritalarının çiziminde izotrop Krigging yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımda akifer içindeki üç boyutlu kütle ve enerji taşınımına etki eden faktörler ihmal edildiğinden, noktasal verilerden itibaren türetilen alansal konturlar ilgili parametrenin alansal değişiminin yarı-niceliksel göstergeleri olarak değerlendirilmelidir. Öte yandan, noktasal verilerin de her bir kuyuya ait derinlik boyunca debi ağırlıklı kompozit derişimler olduğu da dikkate alınmalıdır. Tüm bu sınırlamalara karşın, kontur haritaları ilgili parametrelerin alansal değişimindeki genel eğilimin belirlenmesi açısından faydalıdır.

Aşağıdaki değerlendirmelerde her bir parametre için, bu parametrenin termal ve soğuk sulardaki değerleri ile yalnızca soğuk sulardaki değerlerini içeren iki ayrı kontur haritası kullanılmıştır. Her bir parametreye ait termal+soğuk su kontur haritası ile soğuk su kontur haritasının karşılaştırılması yoluyla termal suların soğuk sular üzerindeki etkisi alansal olarak görülebilmektedir.

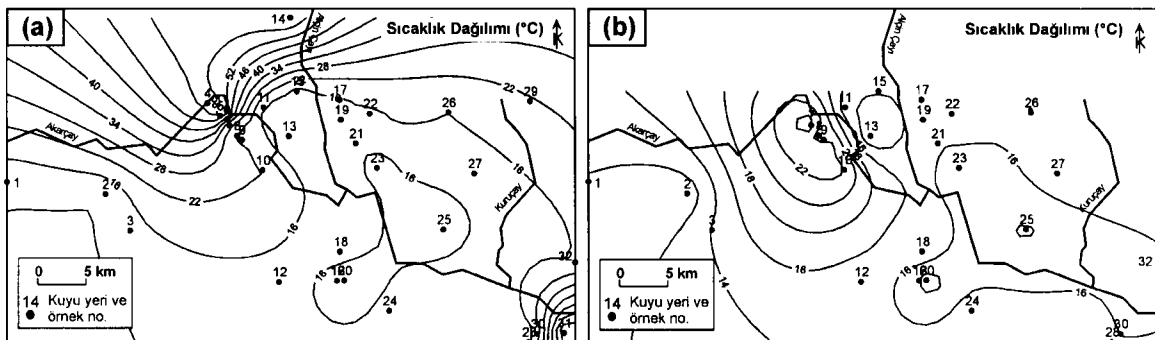
Yalnızca soğuk sular için hazırlanan kontur haritalarında sıcaklığı 25°C 'nin altında bulunan su noktaları kullanılmıştır. Bölgedeki jeotermal ısı akısının normalin üzerinde oluşu nedeniyle, soğuk sular için havzanın ortalama hava sıcaklığının (12°C) üzerinde ve 25°C 'lik bir üst sınır değeri seçilmiştir.

Sıcaklık dağılımı

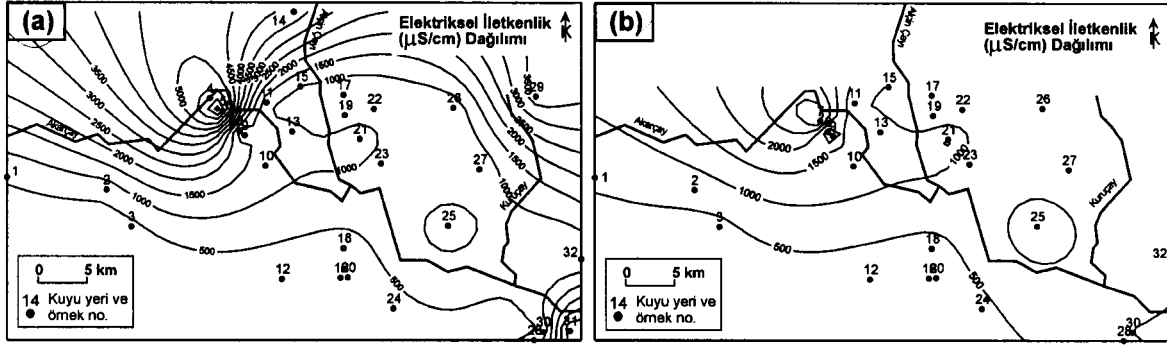
İnceleme alanında jeotermal ısı gradyanındaki yerel artışa bağlı olarak, termal su kaynak ve kuyuları çevresinde oldukça yüksek sıcaklıklar gözlenmektedir (Şekil 6a). Jeotermal gradyanındaki artışa ve termal suların soğuk su akiferine karışmasına bağlı olarak termal sulara yakın soğuk sular da nispeten yüksek sıcaklıklar gözlenmektedir (Şekil 6b). Termal sulara yakın soğuk su kuyularının (örn.: 7, 8, 9, 10 ve 25 no.lu kuyular) bulunduğu sınırlı bir alanda, bölgedeki yüksek ısı gradyanı nedeniyle diğer soğuk su kuyularına oranla yüksek sıcaklıklar ($19.3-25.8^\circ\text{C}$) ölçülmektedir. Diğer yandan, alanın batısında yer alan kuyu sularında sıcaklık $10.6-14.2^\circ\text{C}$ arasında değişmekte olup, bu kesimde termal su karışımının ve yüksek ısı gradyanının etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

Elektriksel iletkenlik dağılımı

Termal sular çevresindeki özgül (25°C 'ye uyarlanmış) El değerleri de, sıcaklık dağılımı ile benzerlik göstermektedir. İçerdikleri yüksek miktardaki çözünmüş maddeye bağlı olarak termal sular da yüksek El değerleri ölçülmüştür. Sahada ölçülen en yüksek El değeri 7186 mikros/cm ile 5 no.lu AF-7 termal su kuyusuna aittir (Şekil 7a).



Şekil 6. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için sıcaklık dağılımı.
Figure 6. Distribution of temperature for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.



Şekil 7. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için elektriksel iletkenlik dağılımı.
Figure 7. Distribution of electrical conductivity for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.

Termal su kuyularından uzakta, alanın batısında yer alan kuyu sularında E_i 365-692 mikros/cm arasında değişirken, yakındaki soğuk su kuyularındaki E_i değerleri 974-3634 mikros/cm gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 7b). Bu durum, termal sulara yakın soğuk sulardaki yüksek E_i değerlerinin bu alanda ısı akısının yanı sıra, soğuk sulara doğru olan bir kütle akısından da kaynaklandığını göstermektedir.

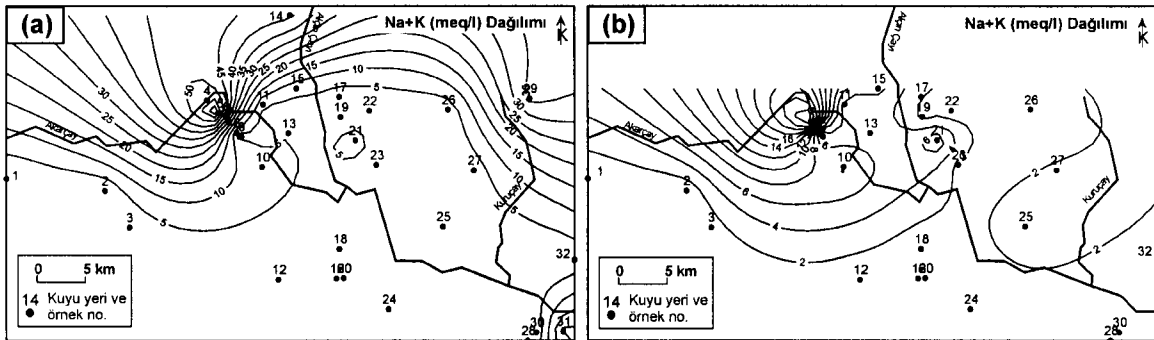
Na+K dağılımı

Batıdaki termal su kuyuları ile kuzeydoğuda bulunan İncehisar maden suyu (29) çevresinde Na+K derişimi yüksek değerler almaktadır (Şekil 8a). Na+K derişimi açısından Akarçay'ın güney bölümünde kalan kuyu sularında önemli bir termal su katkısı gözlenmezken, özellikle Akarçay'ın kuzeyi ve Alçın Çayı'nın batısında yer alan, termal su kaynak ve kuyularının yoğunlaştığı bölgedeki soğuk su kuyularında bu etki belirginleşmektedir. Bu durum, özellikle 8, 9, 11, 15, 21 no.lu soğuk su kuyularının termal su ka-

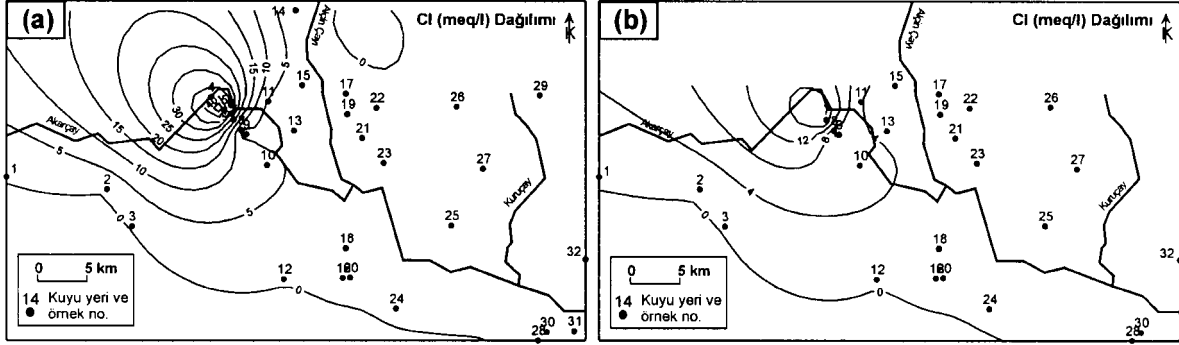
rışımından etkilendiklerine işaret etmektedir (Şekil 8b).

Cl dağılımı

Cl derişimi ile oluşturulan kontur haritası, Na+K derişimine göre oluşturulan harita ile benzerlik göstermektedir. Na+K kontur haritasında olduğu gibi, Cl kontur haritasında da Akarçay'ın güneyinde kalan alanda yüksek Cl derişimlerine rastlanmamaktadır. Buna karşın, özellikle batıda yer alan termal sular çevresinde oldukça yüksek Cl derişimleri (~ 50 meq/l) gözlenmektedir (Şekil 9a). Sadece soğuk sular için oluşturulan haritada (Şekil 9b), termal su kökenli Cl'e çok yerel olarak rastlanmaktadır. Bölgede sadece termal sulara çok yakın konumda bulunan (örn.: 6 no.lu AF-9 termal su kuyusuna 650 m uzaklıktaki) 7 no.lu Oruçoğlu soğuk su kuyusunda (22 meq/l) ve 9 no.lu Sadıkbey soğuk su kuyusunda yüksek Cl derişimleri (5.2 meq/l) gözlenmektedir. Bu durum; örtü kayalar içindeki kırık ve çatlaklar boyunca, ya da bu birimler içindeki yüksek



Şekil 8. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için Na+K dağılımı.
Figure 8. Distribution of Na+K for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.



Şekil 9. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için Cl dağılımı.
Figure 9. Distribution of Cl for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.

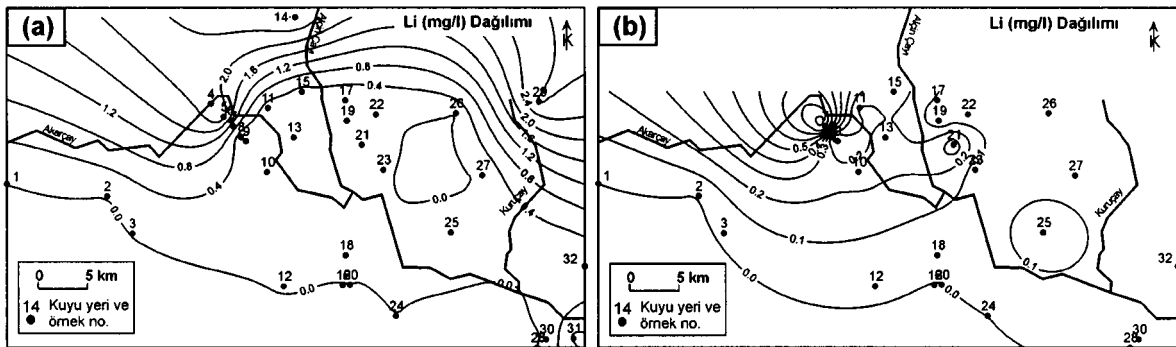
hidrolik iletkenliğe sahip seviyeler aracılığı ile termal su akiferinden soğuk su akiferine doğru bir kütle taşınımının oluştuğunu açıkça göstermektedir.

Li dağılımı

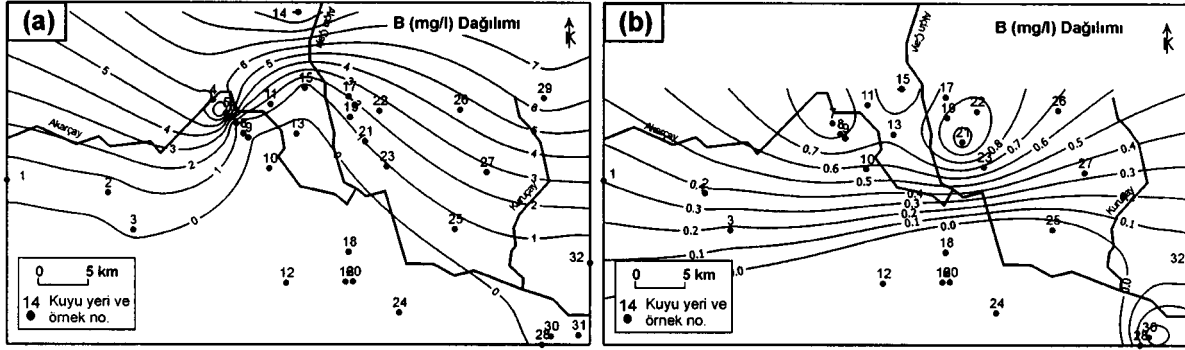
Li termal kökenli sulara özgü karakteristik hidro-kimyasal bileşenlerden birisi olup, termal suların Li içeriği genellikle 2.0-5.0 mg/l arasında değişmektedir (Hem, 1986). İnceleme alanındaki termal sulara Li içeriğinin 0.9 ile 2.9 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir. Li derişimi özellikle termal sular ve yakın çevresindeki soğuk sulara (örn.: 7 no.lu soğuk su kuyusu) yüksek değerler göstermektedir (Şekil 10a). Termal su çıkışının ve üretiminin yoğun olduğu alanların dışında kalan bölgelerdeki soğuk su kuyularında ise, termal su katkısına işaret eden belirgin Li derişim anomalilerine rastlanmamaktadır (Şekil 10b). Bu durum, diğer parametrelerin alansal değişimi ile de uyumludur.

B dağılımı

Termal sular dikkate değer düzeyde B içerebilmektedirler (Hem, 1986). Bitkiler üzerindeki zehirleyici etkisi nedeniyle 1 mg/l'nin üzerinde bor derişimine sahip olan sular sulamaya uygun değildirler. Termal ve soğuk sular kullanılarak oluşturulan kontur haritasında (Şekil 11a), termal sular çevresinde B miktarının yüksekliği dikkat çekmektedir. Diğer yandan, yalnızca soğuk su derişimleri kullanılarak oluşturulan haritadan (Şekil 11b) Beyyazı kuyusu (21) dışında, bitkiler için sınır değerini aşmadığı görülmektedir. Buna karşın, B'a hassas bazı ürünler için uzun dönemde kullanılacak sulama suyunda B derişiminin 0.750 mg/l'yi aşmaması önerilmektedir (USEPA, 1976; Fetter, 1980). Bu durumda, genel olarak 7, 23, 26 no.lu kuyuları izleyen hattın kuzeyinde yeraltı suyu B içeriğinin sınır değer açısından riskli olabileceği anlaşılmaktadır (bkz. Şekil 11b).



Şekil 10. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için Li dağılımı.
Figure 10. Distribution of Li for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.



Şekil 11. a) Termal ve soğuk ve b) sadece soğuk su kuyuları için B dağılımı.

Figure 11. Distribution of B for a) thermal and cool, and b) only cool water wells.

SULAMA VE İÇME-KULLANMA SUYU KALİTESİNİN ALANSAL DEĞİŞİMİ

İnceleme alanındaki termal ve soğuk su kuyularından elde edilen yeraltısuyunun sulama, içme ve kullanma amaçlarına uygun olup olmadıkları çeşitli standart ve ölçütlere göre değerlendirilmiştir (Çizelge 2).

Sulama suyu kalitesi

Sulama suyu kalitesi açısından sular Na, SAO, Eİ, Cl, SO₄, iz element vb. içeriklerine göre incelenmiştir. Bu değerlendirmelere göre, tüm termal sular özellikle %Na ve SAO değerleri açısından sulama amaçlı olarak kullanılması sakıncalı sular grubuna girmektedir. Benzer şekilde termal su girişiminden etkilenen Oruçoğlu soğuk su kuyusunun da (7) sulama amaçlı olarak kullanılması uygun değildir. Öte yandan, termal su girişiminden etkilenen 9, 15 ve 21 no.lu soğuk su kuyularının da %Na değerleri sulama suyu üst sınır değerlerine oldukça yakın olup, risk oluşturabilecekleri anlaşılmaktadır. B derişimleri açısından 21 ve 24 no.lu suların, Cl derişimleri açısından 9 ve 10 no.lu suların üst sınır derişim değerlerini aştıklarından sulama suyu olarak kullanılmaları uygun değildir. Genel olarak, Afyon'un kuzeybatısında bulunan termal sular çevresindeki soğuk suların bir bölümü ya bir/birkaç parametre açısından sulama suyu kriterlerine uymamakta, ya da parametrelerin izin verilebilir üst sınırlarına çok yakın değerler almaktadırlar. Soğuk suların sulama suyu kullanımında içerdikleri riskler termal su üretim ve kaynak bölgelerinden uzaklaştıkça azalmaktadır.

İçme ve kullanma suyu kalitesi

İnceleme alanındaki termal suların tümü pekçok parametre (Eİ, Na, K, SO₄ vb.) açısından içilmeye ve kullanılmaya uygun değildir. Özellikle termal su kuyularına yakın soğuk su kuyularında da (örn.: 7, 9, 10, 15, 21 ve 25 no.lu kuyular) suyun bir, ya da birkaç parametre (Na, K, NH₃-N vb.) açısından kullanıma uygun olmadığı görülmektedir. Diğer yandan, termal sulardan uzakta bulunan bazı soğuk su kuyularında da (16, 18, 20, 24, 26, 28 ve 30 no.lu kuyular), olasılıkla tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirlenme nedeniyle NH₃-N derişimleri nispeten yüksektir ve içme-kullanma suyu açısından bir risk oluşturmaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afyon-Akarçay Havzası'nda Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarında termal su katkısına bağlı olarak soğuk yeraltısularında oluşan kirlenmenin yayılım ve boyutlarının belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada özellikle, termal su kaynak ve üretim kuyularına yakın bazı soğuk su kuyularında jeotermal kökenli kirlenmenin mevcut olduğu belirlenmiştir.

Su kaynaklarının sınırlı olduğu bu bölgede mevcut yeraltısuyu kalitesinin korunması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, soğuk yeraltısuyu üretimine yönelik mevcut ve yeni kuyuların, termal su girişimini hızlandırmayacak biçimde açılmaları gerekmektedir. Söz konusu amaç doğrultusunda termal ve soğuk su akiferleri arasındaki dinamik ilişkinin sayısal modeller aracılığı ile incelenmesi ve yeni soğuk su kuyularının

Çizelge 2. Kuyu sularının içme, kullanma ve sulama suyu açısından değerlendirilmesi.
Table 2. Evaluation of the well waters with respect to drinking, domestic use and irrigation water quality.

Örnek Numarası ve Örnekleme Yeri	°C ⁽¹⁾	El ⁽¹⁾	pH ⁽¹⁾	ÇÖ ⁽²⁾	Na ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	HCO ₃ +CO ₃ ⁽¹⁾	Cl ^(1,1a)	SO ₄ ^(1,1a)	SAR ⁽³⁾	%Na ⁽⁴⁾	NO ₂ +NO ₃ -N ⁽⁵⁾	NH ₃ -N ⁽⁵⁾	Fe ⁽¹⁾	Li ^(6,1a)	B ⁽¹⁾	Br ⁽²⁾	As ⁽¹⁾	Mn ^(1,1a)	Al ⁽¹⁾	I ⁽²⁾
1 Tokuşlar (DSİ kuyu no:50544)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Küçükhöyük (DSİ kuyu no:11254)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Ahmeipaşa (DSİ kuyu no:22312)	X	X	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	-	-	+	+	X	+	+	+	X	+
4 Özerler termal su kuyusu	X	X	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	-	-	+	+	X	+	+	+	+	+
5 Ömer AF-7 termal su kuyusu	X	+	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	-	-	+	+	X	+	+	+	+	+
6 Oruçoğlu AF-9 termal su kuyusu	X	+	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	-	-	+	+	X	+	+	+	+	+
7 Oruçoğlu kuyusu	X	+	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8 Demirçevre (DSİ kuyu no:45810)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9 Sadıkbey (DSİ kuyu no:31882)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10 DSI tesisindeki kuyu (DSİ kuyu no:34230)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11 Saraydüzü (DSİ kuyu no:34429)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12 Büyükkalecik (DSİ kuyu no:53026B)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13 Bayatçık (DSİ kuyu no:42670)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14 Gazlıgöl termal su kuyusu	X	X	+	+	X	X	+	+	+	+	+	X	X	+	+	+	+	X	+	+	+	+	+
15 Fethibey (DSİ kuyu no:30513)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16 Sütlü (DSİ kuyu no:47854B)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17 Çayırbağ (DSİ kuyu no:33039)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18 Ataköy (DSİ kuyu no:15947)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19 Kumartaş (DSİ kuyu no:40939)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
20 Salar (DSİ kuyu no:36442)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
21 Beyyazı (DSİ kuyu no:13324)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
22 Beyyazı (DSİ kuyu no:51980)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23 Susuz (DSİ kuyu no:49179)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
24 Nuribey (DSİ kuyu no:38720)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
25 Çavdarlı (DSİ kuyu no:32590B)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
26 Çalışlar (DSİ kuyu no:35599)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27 Gebeceler (DSİ kuyu no:41068)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
28 Değirmendere (DSİ kuyu no:49758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
29 İncehisar (DSİ kuyu no:30082)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30 Değirmendere (DSİ kuyu no:15022)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
31 Heybeli termal su kuyusu	X	X	+	+	X	X	X	X	+	+	+	X	X	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
32 Kocaöz (DSİ kuyu no:19277)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

X: içme ve kullanma suyuna uygun değil (izin verilen sınır değerler üzerinde) ; +: içme ve kullanma suyuna uygun (izin verilen sınır değerleri arasında) ; +x: içme ve kullanma suyuna izin verilen sınır değerleri arasında ama üst sınıra çok yakın (-%5) ; -: parametrenin analizi yapılmamıştır. (1): TSE (1997)'ye göre 1.inci sınıf olarak tarif edilen "Kaynak Suları Dışında İçme ve Kullanma Suları" için belirtilen sınır değerleri baz alınmıştır; (1a): sulama suları sınıflama kriterleri (T.C. Resmi Gazete, 7 Ocak 1991); (2): sınır belirtilmemiştir ; (3): sulama suyu açısından, SAR<6 olmalıdır (Mc Neely vd., 1979) ; (4): sulama suyu açısından Wilcox değerlendirilmesi ; (5): içme suyu açısından NO₂+NO₃-N<10, NH₃-N<0.5, Cr<0.05, Pb<0.05, Cd<0.005 mg/l olmalıdır (Mc Neely vd., 1979) ; (6): sulama suyu açısından Li<2.5, B<1, Cl<150 mg/l olmalıdır (Mc Neely vd., 1979)

bu modellerin öngörülerini doğrultusunda açılması uygun olacaktır. Diğer yandan, soğuk su kuyularında belirlenen jeotermal kökenli kirlenmenin oluşum mekanizması konusunda yeterli bilgiler mevcut değildir. Söz konusu kirlenmenin termal ve soğuk su akiferleri arasındaki doğal etkileşimin yanı sıra, termal su kuyularının hatalı teçhizinden ve/veya doğru teçhiz edilmiş kuyu cidarlarının zamanla yıpranması ile oluşan kaçaklardan kaynaklanması da mümkün görülmektedir. Bu soruların yanıtlanması için ayrıntılı araştırmaların yapılması gerekmektedir. Teçhizleri yıpranmış termal su kuyularında teçhiz yenilenmeli, bunun mümkün olmadığı durumlarda kuyuların tüm kesitleri boyunca tıkanarak yalıtılmaları gereklidir.

KATKI BELİRTME

Birinci yazarın doktora tezi çalışmasının bir bölümünü içeren bu araştırma "Akarçay (Afyon) Havzasında Jeotermal Kökenli Yüzeysuyu ve Yeraltısuyu Kirliliğinin Araştırılması" başlıklı, 01.T07.604.001 no.lu "Lisansüstü Öğrenim Araştırma Projesi" kapsamında Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından maddi olarak desteklenmiştir. DSİ Genel Müdürlüğü adına Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) tarafından yürütülen "Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu Akım Modeli" adlı proje çalışması kapsamında saha çalışmalarına lojistik destek sağlanmıştır. Yazarlar, yukarıda belirtilen kurum ve kuruluşlara teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WPCF (Water Pollution Control Federation), 1989. Standard Methods for the Analysis of Water and Waste Water. APHA publication, 17th Edition, Washington DC, 2005, 1133 pp.

Batık, H., Koçak, A., Akkuş, İ., Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Dokuz, İ., and Bakır, N., 2000. Geothermal energy utilisation development in Turkey (present geothermal situation and projections). Proceedings of the World Geothermal Congress, E. Iglesias, D. Blackwell, T. Hunt, J. Lund, S. Tamanyu and K. Kimbara (eds.), Kyushu-Tohoku, Japan, 85-91 pp, (CD-ROM).

Demirkol, C., Sipahi, H., Çiçek, S., Barka, A. ve Sönmez, Ş., 1977. Sultandağının stratigrafisi ve jeolojik evrimi. MTA Derleme No: 6305, 86 s (yayımlanmamış).

Doğdu, M.Ş., 2001. Akarçay (Afyon) Havzası'nda jeotermal kökenli yüzeysuyu ve yeraltısuyu kirliliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 143 s (yayımlanmamış).

Doğdu, M.Ş. ve Bayarı, C.S., 2002. Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 1. Akarçay Nehri'nde su ve sediman kirliliği. Yerbilimleri, 25, 21-33.

DSİ, 1977. Akarçay Havzası hidrojeolojik etüt raporu. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 64 s.

Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N. ve Koçak, A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 480 s.

Fetter, C.W., 1980. Applied Hydrogeology. Charles E. Merrill Publ. Co., 488 pp.

Hem, J.D., 1986. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 264 pp.

Mc Neely, R.N., Neimanis, V.P., and Dwyer, L., 1979. Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa 88 pp.

Metin, S., Genç, Ş. ve Bulut, V., 1987. Afyon ve dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 8103, 74 s (yayımlanmamış).

Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V., Ölmez, M., Kılıç, İ., Akıncı, A., Umut, M. ve Kurt, Z., 1988. Bolvadin (Afyon) - Yunak (Konya) dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 8522, 78 s (yayımlanmamış).

Mutlu, H., 1996. Geochemical assessment of thermal waters from the Afyon Geothermal Area: geothermometry applications and fluid-mineral equilibria. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 169 pp (unpublished).

Öktü, G., Kara, İ. ve Önder, İ., 1997. Afyon ili'nde yer alan Ömer-Gecek-Uyuz Hamamı, Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl jeotermal enerji sahalarının detay etüdü. MTA Derleme No: 10097, 41 s (yayımlanmamış).

Öztürk, E.M., Dalkılıç, H., Ergin, A. ve Avşar, Ö.P., 1987. Sultandağı güneydoğusu ile Anamasdağı dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 8191, 140 s (yayımlanmamış).

T.C. Resmi Gazete, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Unsurlar Tebliği. 7.Bölüm: Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılma-

- si, 7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete, 31-39.
- Tamgaç, Ö.F., Güner, A., Sarp, S. ve Yıldırım, N., 2000. Afyon-Ömer-Gecek sahasının koruma alanları, test ve potansiyel değerlendirme raporu. MTA Derleme No: 10388, 66 s (yayınlanmamış).
- Tezcan, L., 1998. Revize hidrojeolojik etütler kapsamında Akarçay Havzası hidrojeolojisi ve yeraltısuyu akım modeli projesi birinci ara raporu. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 74 s.
- Tezcan, L., 1999. Akarçay Havzası hidrojeolojisi ve yeraltısuyu akım modeli ikinci ara raporu. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 191 s.
- Tezcan, L., 2001. Kişisel görüşme. Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- TSE (Türk Standardları Enstitüsü), 1997. TS266 Sular-İçme ve Kullanma Suları Standardı. Birinci Baskı, 25 s.
- Umut, M., Karabıyıklıoğlu, M., Saraç, G., Bulut, V., Demirci, A.R., Erkan, M., Kurt, Z., Metin, S. ve Özgönül, E., 1987. Tuzlukçu - Ilgın - Doğanhisar - Doğanbey (Konya İli) ve dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 8246, 39 s (yayınlanmamış).
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1976. Quality Criteria for Water. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 256 pp.