



JEOTERMAL AKIŞKAN DEŞARJININ YÜZEYSEL SU KALİTESİNE ETKİSİ: ÖRNEK SAHA SİMAV OVASI (KÜTAHYA)

Orhan GÜNDÜZ¹, Merdiye MUTLU², Alper ELÇİ¹, Celalettin ŞİMŞEK³,
Alper BABA⁴

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, Buca, İzmir,
orhan.gunduz@deu.edu.tr

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Doktora Programı, Buca, İzmir,
merdiyemutlu@gmail.com

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, Buca, İzmir, alper.elci@deu.edu.tr

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Sondaj Bölümü, Torbalı, İzmir,
celalettin@deu.edu.tr

⁴İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Gülbahçe, İzmir,
alperbaba@iyte.edu.tr

Özet: Son yıllarda jeotermal enerji, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak gündemdedir. Ancak, yüksek çözünmüş madde miktarı ve ısı içeriği nedeniyle uygun şartlar altında önlem alınmadığı durumlarda jeotermal akışkanın yüzeysel su kalitesine önemli etkileri olacağı açıktır. Ülkemizde gelişen jeotermal enerji uygulamalarına paralel olarak, pek çok sahada atık jeotermal akışkana ilişkin sorunlar yaşanmaktadır. Bu sahalardan biri olan Simav Jeotermal Sahası'nda yürütülen bu çalışma ile atık jeotermal akışkanın kontrolsüz olarak yüzeysel sulara deşarjının neden olduğu sorunlar incelenmiştir. Bölgedeki üç adet jeotermal sahadan (Eynal, Çitgöl ve Naşa) çıkan atık jeotermal akışkanın ciddi bir ısı ve kimyasal kirlenmeye neden olduğu tespit edilmiştir. Özellikle arsenik, bor, lityum v.b. toksik elementlerce zengin olan akışkanın herhangi bir kontrol tedbiri olmadan yüzeysel su kaynaklarına deşarjı, bu kaynakların olası diğer kullanımlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Anahtar Sözcükler: Jeotermal akışkan, reenjeksiyon, yüzeysel sular, su kalitesi, arsenik.

THE INFLUENCE OF THE DISCHARGE OF GEOTHERMAL FLUID ON SURFACE WATER QUALITY: CASE STUDY SİMAV PLAIN (KÜTAHYA)

Abstract: In recent years, geothermal energy is on the agenda as a clean and renewable energy resource. However, with its high dissolved constituents and thermal content, geothermal fluid is known to have significant impacts on surface water quality when disposed in an uncontrolled manner. In parallel to developing geothermal energy applications in our country, many sites experience problems associated with waste geothermal fluid disposal. Being one of these sites, Simav Geothermal Area is studied in this paper and problems associated with the discharge of waste geothermal fluid on surface water resources are assessed. The waste geothermal fluid originating from three locations (Eynal, Çitgöl and Naşa) in the study area is found to cause significant thermal and chemical contamination. Particularly, the uncontrolled discharge of geothermal fluid that is rich in arsenic, boron, lithium and other toxic elements into surface water resources of the area influences other potential uses of these resources.

Keywords: Geothermal fluid, re-injection, surface water, water quality, arsenic.

1. GİRİŞ

Günümüzde jeotermal enerji, alternatifi olan kaynaklarla mukayese edildiğinde önemli çevresel etkileri bulunmayan, ucuz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Buna karşın içerdiği yüksek sıcaklık ve yüksek element derişimleri nedeniyle jeotermal suların termal ve kimyasal kirletici özellikleri gösterdiği de bilinen bir gerçektir. Bu nedenle jeotermal akışkanın ısısının alınmasını takiben kontrolsüz olarak yüzeysel sulara deşarj edilmeleri, su kalitesi açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu etkiler içerisinde en önemlisi, yapılan deşarj sonrasında alıcı ortam sıcaklığında oluşan ani değişimler ve bunun sucul yaşam üzerinde yarattığı tahribattır. Jeotermal suların deşarjının yarattığı ısıl yükün sistemin taşıma kapasitesini aşması sonucu sucul yaşamın tamamen ortadan kalkması veya form değişikliğine uğraması en yaygın etkiler olarak ön plana çıkmaktadır. Bunun dışında deşarj edilen akışkanın içerisindeki yüksek çözünmüş element derişimleri de pek çok biyokimyasal ve ekotoksikolojik etkilere neden olmaktadır. Özellikle jeotermal akışkan içerisinde bulunan arsenik, bor, cıva, kadmiyum, kurşun, krom gibi elementlerin insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bunlarla kirlenmiş yüzeysel su kaynaklarının farklı amaçlarla kullanımı da olumsuz etkilenmektedir (Baba, 2003; Memiş, 2010).

Jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengin bir konumda bulunan ülkemizde özellikle Ege Bölgesi'nde önemli jeotermal sahalalar bulunmaktadır. Bu sahalaların pek çoğundan yüzeysel sulara kontrolsüz deşarj durumu söz konusudur. Bu durum sadece yüzeysel su kalitesinin olumsuz etkilenmesine neden olmamakta, buna ek olarak jeotermal sistemin sürdürülebilirliği-

ni de bozmaktadır. Sistemden sürekli bir su ve buhar deşarjının olması yeraltı rezervuarındaki kütle ve ısı bütçeleri üzerinde sürekli bir kayıp olarak değerlendirilmektedir. Her iki sorunu da ortadan kaldıracabilecek bir çözüm olan, kullanılmış jeotermal akışkanın yeraltına geri basılması (reenjeksiyon) ise, kısmen yüksek maliyeti kısmen de uygulamada yaşanan sorunlar nedeniyle yaygın olarak uygulanmamaktadır. Reenjeksiyonun uygulandığı bazı sahalarda ise, sistemin tam olarak tanınmamasının getirdiği hatalı derinliğe reenjeksiyon yapılması ve uygun olmayan yer ve ekipman seçimi gibi yanlışlıklar göze çarpmaktadır (Satman, 2005). Bu durum, özellikle enerji üretimi amacıyla kullanılmaya başlayan sahalarda büyük önem taşımaktadır. Söz konusu sahalalar, konut ve sera ısıtması ve termal tedavi amaçlı kullanılan sahalardan farklı olarak daha fazla miktarlarda jeotermal akışkanı tüm yıl boyunca yüzeye çıkartmaktadır. Bu gibi sahalarda hatalı re-enjeksiyon uygulamalarının olumsuz etkileri çok daha ciddi olabilmektedir.

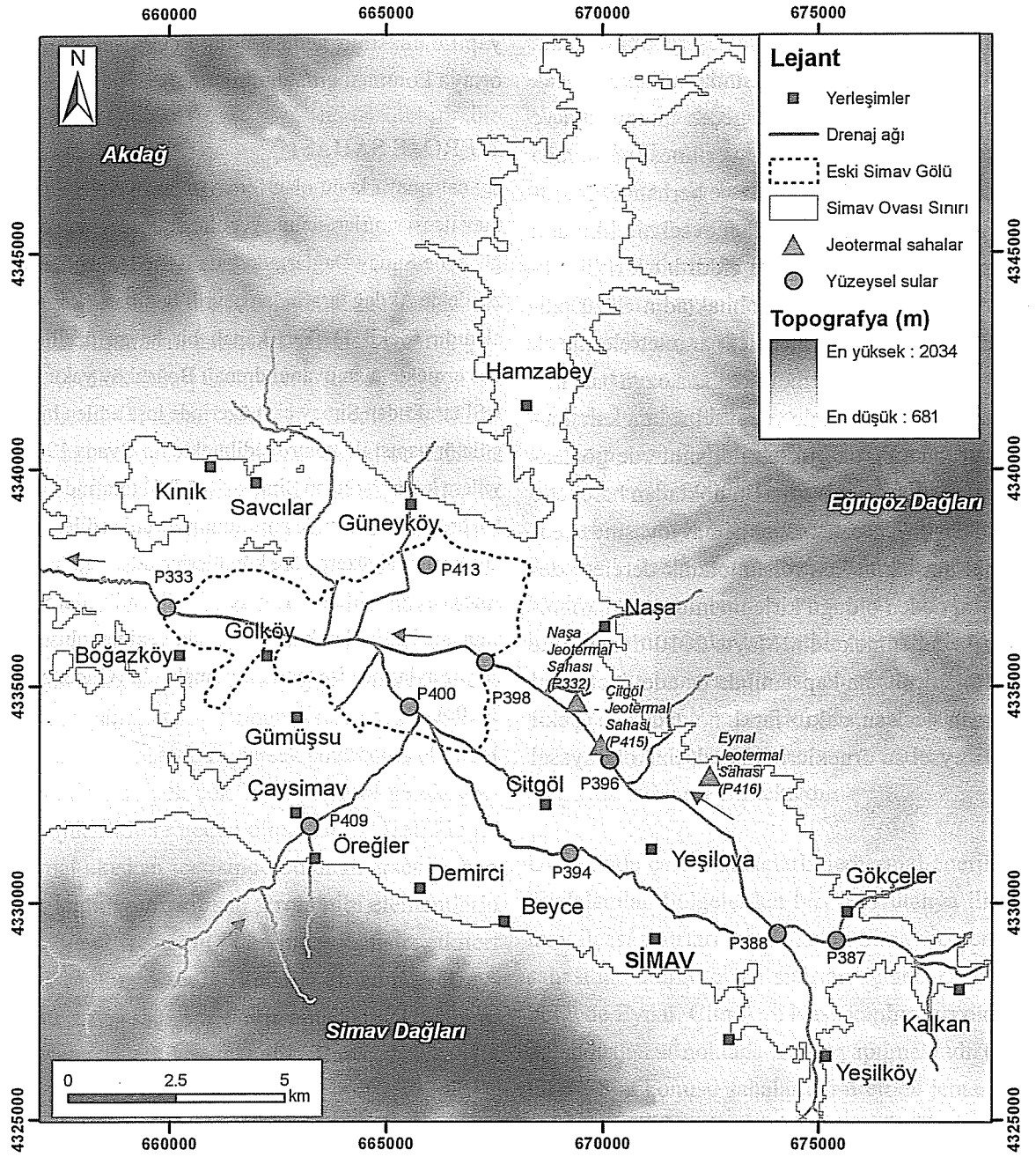
Ülkemizde çeşitli amaçlarla jeotermal enerjiden faydalanılan bölgelerden biri de Kütahya ili Simav ilçesi sınırları içinde kalan Simav jeotermal sahasıdır. Simav ovası sınırları içinde kalan bu bölgede Eynal, Çitgöl ve Naşa kaplıcaları olarak adlandırılan üç noktada üretim yapılmaktadır (Şekil 1). Söz konusu sahalardan üretilen jeotermal akışkan hâlihazırda termal turizm, konut ve sera ısıtması amaçlı olarak kullanılmaktadır. Simav ilçe merkezinde 6500 eşdeğer konut ısıtma kapasitesine ulaşılmış olup bu haliyle ülkemizdeki en önemli konut ısıtma uygulamalarından biri olarak dikkati çekmektedir (Mollahüseynoğulları vd, 2005). Ancak bu yüksek kapasiteye karşın gerek konut ısıtma amaçlı olarak kullanılan gerekse sera ısıtma ve termal tedavi amaçlı kullanılan

sular her üç sahada da re-enjekte edilmek yerine doğrudan bölgedeki derelere deşarj edilmektedir. Özellikle Simav ilçe ısıtmasında kullanılan sıcak suyun ilçe sınırları içinden geçen Simav çayı ve kollarına kontrolsüz olarak verilmesi ve burada aynı sisteme yine kontrolsüz ve herhangi bir arıtıma tabii tutulmadan verilen evsel nitelikli atık sular ile karışması bölgede ciddi bir kirlilik yükünün oluşmasına neden olmaktadır. Sözü edilen deşarjlar standart kirletici parametrelerine ek olarak özellikle jeotermal akışkana özgü bazı kirletici parametrelerin de yüzeysel sulara karışmasına ve bu sulara yüksek derişimlerde gözlenmesine neden olmaktadır. Bu noktadan hareketle gerçekleştirilen çalışmada, Simav ovasında jeotermal akışkanın kontrolsüz olarak derelere deşarjının neden olduğu kirlenmenin ortaya konulması hedeflenmektedir. Mayıs 2010 döneminde yürütülen çalışma kapsamında üç adet jeotermal sahadan sıcak su, dokuz farklı noktadan da (Şekil 1) yüzeysel su örnekleri alınarak fizikokimyasal

açından incelenerek reenjeksiyon uygulamasının yapılmamasının neden olduğu çevresel etkilerin ortaya konması amaçlanmıştır.

2. PROJE SAHASI

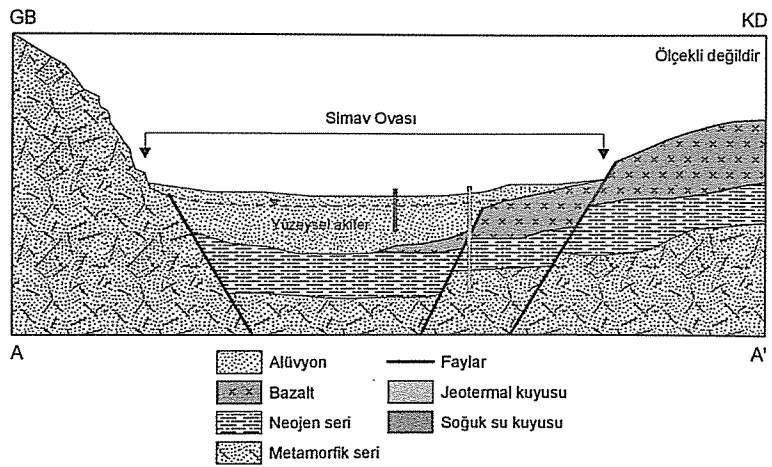
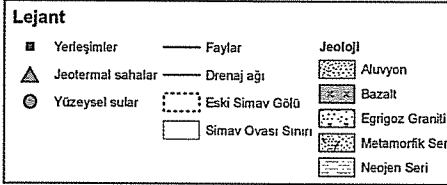
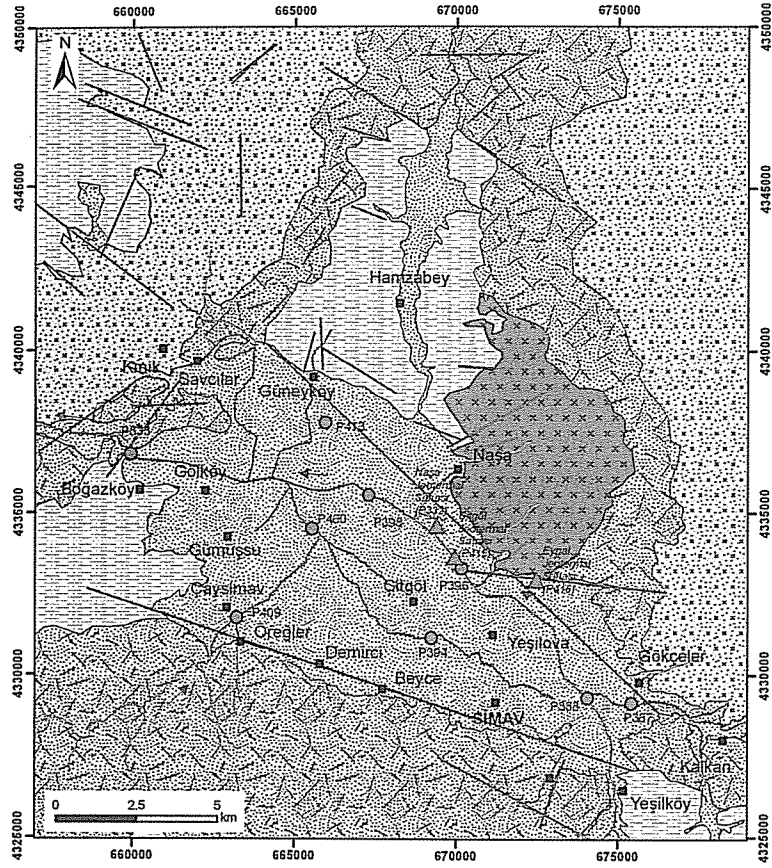
Bu çalışmaya konu olan Simav ovası Kütahya ili Simav ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Simav ovası güneyde Simav Dağları, doğuda Eğrigöz Dağı ve kuzeyde de Akdağ tarafından çevrili bulunan bir graben alanıdır (Şekil 1). Yarı kapalı bir havza özellikleri göstermekte olan ovanın drenajı Boğazköy yakınında DSİ tarafından Simav çayı üzerinde inşa edilen bir regülatör yapısı ile kontrol edilmektedir. Ovada 1960'lı yıllara kadar bulunan Simav Gölü DSİ tarafından açılan drenaj kanalları ile kurutulmuş ve elde edilen arazi tarım yapmak üzere yöre köylülerine tahsis edilmiştir. Ancak sözü edilen göl, bölgenin dinamik hidrolojik yapısına bağlı olarak kış aylarında yeniden oluşmakta, yaz aylarında ise tekrar kurumaktadır (Gündüz vd., 2010c).



Şekil 1: Proje sahasının genel görünümü

Proje sahasında beş ana jeolojik birim gözlenmektedir (Şekil 2). Bunlar; (i) Paleozoik-yaşlı Menderes metamorfikleri, (ii) Paleosen-yaşlı Eğrigöz graniti, (iii) Neojen yaşlı Kızılbük oluşumu, (iv) Alt Kuvaterner- yaşlı bazalt ve (v) Kuvaterner-yaşlı alüvyondur (Gündüz vd., 2010b). Tektonik ve jeolojik açıdan oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan Simav ovasında çeşitli amaçlarla kullanılan yeraltı suyu, serbest akifer niteliğindeki alüvyon birimden sağlanmaktadır. Bunun dışında bölgedeki jeotermal suların elde edildiği basınçlı bir derin akifer daha mevcuttur (Şekil 2). Jeotermal akışkanın elde edildiği akifere fay hatları boyunca açılan derin kuyulardan 160°C'a ulaşan sıcaklıkta akışkan elde edilmektedir. Özellikle Eynal sahasında 1985-1995 yılları arasında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılan araştırmalar sonucu açılmış 950 m'yi aşan derin kuyular bulunmaktadır (Gemici ve Tarcan, 2002). Özellikle Eynal sahasından çı-

kartılan sıcak sular bir isale hattı ile Simav ilçe girişindeki eşanjör tesisine alınmakta ve ilçenin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan sular Simav ilçesinin hemen kuzeyinden kontrolsüz olarak yüzeysel drenaj ağına verilmektedir. Buna karşılık Çitgöl ve Naşa sahaları ise nispeten daha küçük sahalar olup, çıkartılan sular temel olarak kendi adını verdikleri kaplıca tesislerinde termal tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kullanılan sular yine kontrolsüz olarak Simav ovası ana drenaj kanalına boşaltılmaktadır. Bunlara ek olarak, bölgedeki sıcak su kaynaklarından faydalanmak için kurulmuş olan 7 adet yün yıkama tesisi de açtıkları sondajlarından elde ettikleri sıcak suyu yün yıkamada kullandıktan sonra herhangi bir arıtmaya tabii tutmadan drenaj kanallarına vermektedir. Gerek jeotermal sahalardan gerekse yün yıkama fabrikalarından atılan jeotermal akışkan bölgedeki yüzeysel su kaynaklarını kirletmektedir.



Şekil 2: Simav Ovası'nın jeolojisi ve hidrojeolojisi (Gündüz vd., 2010b)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Söz konusu kirlenmenin boyutlarını anlayabilmek için çalışma sahasında bir su kalitesi gözlem çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan arazi çalışmalarında üçü jeotermal kaynaklardan, dokuzu da dere sularından olmak üzere toplam 12 adet noktadan Mayıs 2010 döneminde su kalitesi örnekleme yapılmıştır (Şekil 1). Örnekleme noktaları ova geneline yayılmış ve bu sayede jeotermal etkinin oluşması öncesi ve sonrasında yüzeysel su ağındaki kalite değişimlerinin ortaya konması hedeflenmiştir. Çalışma esnasında sıcaklık, pH, indirgenme-yükseltgenme potansiyeli (Eh), elektriksel iletkenlik (EI) ve çözülmüş oksijen gibi parametreler örnekleme sırasında yerinde ölçülmüştür. Fiziksel parametrelerin ölçümünü takiben her örnekleme noktasından 250 mL, 50 mL ve 50 mL hacminde üç adet örnek 0,45 µm'lik şırınga filtrelerinden geçirilerek polipropilen şişelere alınmıştır. Bunlardan 250 mL hacmindeki örnekler herhangi bir koruma ve şartlandırma uygulanmadan 4°C'da saklanmış ve daha sonra temel anyon ve katyon analizleri ve alkalinite deneyleri yapılmıştır. Temel anyon ve katyon analizleri iyon kromatografisi ile, alkalinite analizleri ise klasik titrimet-

rik yöntemlerle yapılmıştır. 50 mL hacmindeki örneklerden biri toplam organik karbon (TOK) analizi için alınmış, bakteriyel bozulmanın engellenmesi için pH<2 olacak şekilde sülfürik asit ilavesi yapılmıştır. TOK deneyleri yüksek sıcaklıkta yakma yöntemi ile yapılmıştır. Diğer 50 mL hacimli örnek ise toplam ağır metal ve eser element analizi için alınmış ve nitrik asit ilavesi ile pH değeri 2'nin altına indirilmiştir. Toplam metal ve eser element analizleri endükleşmiş eşlenik plazma – kütle spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Tüm noktalardan yapılan örnekleme sonuçlarının istatistikî özeti Çizelge 1'de verilmektedir. Burada jeotermal akışkan örneği sadece üç adet olduğundan ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmamış, yalnızca minimum ve maksimum değerleri verilmiştir. Çizelgede, elde edilen sonuçlara ek olarak, ulusal (ITASHY, 2005) ve uluslararası (EPA, 2006; WHO, 2008) içme ve kullanma suyu standartları da verilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) platformuna (ArcGIS v. 9.3) aktarılmış ve çeşitli parametrelerin sonuçlarının mekansal analizi için haritalar oluşturulmuştur.

Tablo 1: Bazı su kalitesi parametrelerinin yüzeysel sulara ve jeotermal akışkanda ölçülen değerlerinin istatistiksel özeti

Parametre	Birim	Minimum		Maksimum		Ortalama	Std Sapma	ITASHY	EPA	WHO
		Yüzeysel Sular	Jeotermal Akışkan	Yüzeysel Sular	Jeotermal Akışkan					
Sıcaklık	°C	15,60	90,00	25,00	160,00	21,02	2,98	25	-	-
pH	-	7,66	7,35	8,68	8,92	8,17	0,40	6,5-9,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Eh	mV	-1,00	-75,00	135,00	217,00	72,67	43,22	-	-	-
E.İ.	µS/cm	356,00	1633,00	3310,00	2490,00	1006,67	890,87	2500		
Ç.O.	mg/L	0,60	3,50	11,79	4,65	5,66	4,30	-	-	-
TOK	mg/L	3,68	3,35	113,00	4,62	24,30	34,30	-	-	-
HCO ₃ ⁻	mg/L	207,40	585,60	907,44	744,20	428,33	198,64	-	-	-
Li ⁺	mg/L	0,09	0,97	0,28	2,09	0,15	0,07	-	-	-
Na ⁺	mg/L	3,95	296,99	156,32	531,63	52,29	50,18	200	-	200
NH ₄ ⁺	mg/L	0,35	0,09	10,80	0,09	3,18	3,67	0,5	-	-
K ⁺	mg/L	2,08	31,04	36,14	60,56	15,75	12,20	-	-	-
Mg ⁺²	mg/L	16,74	10,61	42,29	10,61	28,82	7,67	50	-	-
Ca ⁺²	mg/L	54,10	38,17	112,57	65,22	76,48	18,82	200	-	-
F ⁻	mg/L	0,22	5,05	1,95	19,31	0,77	0,58	1,5	4	1,5
Cl ⁻	mg/L	3,26	46,39	101,52	76,77	24,80	30,65	250	250	250
SO ₄ ⁻²	mg/L	36,53	347,16	2527,30	525,12	357,84	815,34	250	250	250
NO ₂ ⁻	mg/L	0,15	0,38	0,36	0,78	0,23	0,11	0,5	3,3	3
Br	mg/L	0,03	0,14	0,08	0,35	0,05	0,02	-	-	-
NO ₃ ⁻	mg/L	0,28	0,23	3,31	2,87	1,74	1,61	50	44,3	50

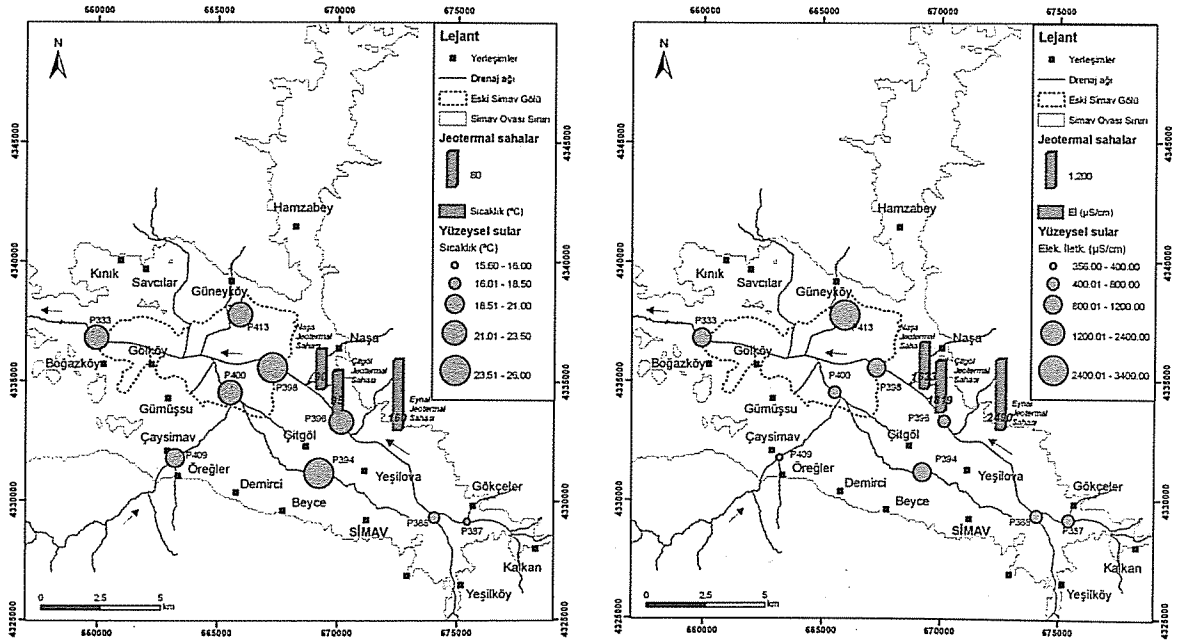
PO ₄ ⁻²	mg/L	0,10	0,10	8,38	13,33	1,98	3,04	-	-	-
Al	µg/L	18,00	4,00	2896,00	188,00	508,89	923,35	200	200	200
As	µg/L	4,60	311,60	402,80	542,90	76,56	124,66	10	10	10
B	µg/L	6,00	2667,00	758,00	3784,00	294,44	269,66	1000	-	500
Ba	µg/L	36,78	66,40	149,82	101,92	100,22	39,16	-	2000	700
Co	µg/L	0,09	0,02	10,63	0,08	1,79	3,37	-	-	-
Cs	µg/L	0,05	164,36	50,33	270,86	11,76	16,05	-	-	-
Cu	µg/L	1,00	1,40	21,40	3,10	4,66	6,50	2000	1300	2000
Fe	µg/L	51,00	20,00	7315,00	410,00	1398,63	2414,38	200	300	300
Mn	µg/L	16,34	34,93	3027,32	547,16	564,44	962,52	50	50	400
Pb	µg/L	0,20	0,30	19,20	0,40	3,29	6,08	10	15	10
Sb	µg/L	0,25	23,49	6,55	41,87	1,73	1,89	5	6	20
Se	µg/L	0,50	0,50	5,40	1,00	2,95	3,46	10	50	10
Sr	µg/L	111,88	418,23	3022,15	896,32	643,33	900,03	-	-	-
Zn	µg/L	1,50	5,50	39,20	36,10	12,98	13,91	5000	5000	5000

* Jeotermal akışkan için sadece 3 adet noktada ölçüm olduğu için ortalama ve standart sapma hesaplanmamıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yüksek sıcaklık ve basınç altında pek çok elementin çözünerek suya geçmesi jeotermal sular için bilinen bir durumdur. Yüksek sıcaklık ve iletkenlik değerleri tüm jeotermal sular için ortak özellik olmakla birlikte arsenik, bor ve lityum gibi elementler özellikle Batı Anadolu plakasındaki jeotermal sistemlere özgü yüksek değerler içeren parametrelerdir. (Baba ve Armannsson, 2006; Gündüz vd., 2010a). Bu çalışma kapsamında yapılan üç adet jeotermal akışkan örneklemede de benzer sonuçlar elde edilmiş ve Eİ, As, B, F ve Li gibi parametrelerin oldukça yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Bu parametrelere ait sonuçların mekânsal dağılımı Şekil 3, 4, 5 ve 6'da gösterilmektedir. Buna göre söz konusu parametrelerin en yüksek değerleri sıra-

ıyla 2490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 542,9 $\mu\text{g}/\text{L}$, 3784 $\mu\text{g}/\text{L}$, 19,3 mg/L ve 2,09 mg/L olarak ölçülmüştür. Eynal, Çitgöl ve Naşa sahalarından oluşan (ısıl değeri azalmış) atık jeotermal akışkanın kontrolsüz olarak yüzeysel sulara deşarj edilmeleri özellikle bu parametreler açısından su kalitesinde önemli bozulmalara neden olmaktadır. Bu üç sahadaki sonuçlar bir arada incelendiğinde en yüksek değerlerin Eynal sahasında olduğu görülmektedir. Eynal'dan elde edilen sonuçları Naşa ve Çitgöl sonuçlarından ayıran en önemli farkın Eynal örneğinin alındığı kuyunun diğer noktalara göre çok daha derin olması (ve buna bağlı olarak daha kalın ve farklı jeolojik formasyonları kesmesi) ve su sıcaklığının da diğer noktalardan daha fazla olmasıdır.



Şekil 3: Yüzeysel ve jeotermal sularda sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri

Yüksek element içeriğine sahip bu suların kontrolsüz olarak yüzeysel su ağına boşaltılması, yüzeysel sularda da bu parametrelerin geri plan değerlerinin çok daha üzerinde ölçülmelerine neden olmaktadır. Özellikle jeotermal akışkanın deşarj edildiği noktaların yakınındaki örnekleme noktalarında sözü edilen parametre değerlerinde çok yüksek değerlere rastlanmaktadır. Jeotermal su deşarjının bu etkisini net olarak gözleyebilmek için dokuz adet yüzeysel su örnekleme noktası ova genelinde homojen bir dağılım verecek ve geri plan durumunu da net olarak ortaya koyacak şekilde seçilmiştir. Buna göre P387, P388 ve P409 nolu noktalar Simav Çayı ve kollarının ovaya girmeden önceki durumunu temsil edecek şekilde jeotermal deşarjlarının akış yukarısında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu noktalar dışındaki tüm diğer noktalar (P413 hariç) Simav Çayı ve kollarının jeotermal akışkan deşarjı yapılan noktalarının akış aşağısında konumlandırılmıştır. P413 nolu nokta ise mevsimsel olarak kış aylarında oluşan ve yazın kuruyan Simav Gölü'nü temsil eden bir noktayı ifade etmektedir. Bu noktaya doğrudan bir jeotermal etkisi söz konusu olmasa da, nokta yüzey-yeraltı suyu etkileşimin gözlenebilmesi için önemli görülmüş ve çalışmaya dâhil edilmiştir.

Yüzeysel sulardaki kalite parametrelerine ait sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir. Buna göre sıcaklık değerleri 15,6–25,0°C arasında değişmekte olup ortalama 21,0°C'dir. Bu değerlerin mekânsal dağılımı Şekil 3'de gösterilmektedir. Buradan da görülebileceği üzere en yüksek sıcaklık değerleri P394 ve P398 nolu noktalarda ölçülmüştür. Bunlardan P394 nolu nokta, Simav şehrinin ısıtması için kullanılan jeotermal akışkanın deşarj edildiği noktanın hemen mansabında yer almaktadır. P398 nolu nokta ise kaplıca-

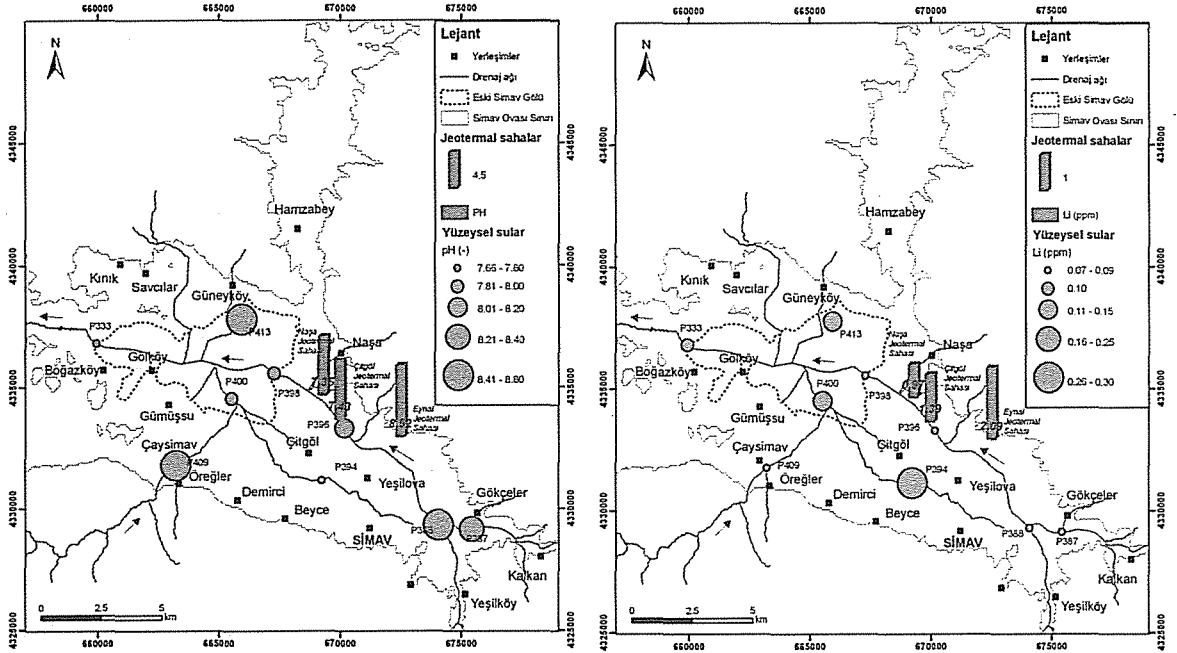
lardan ve yün yıkama fabrikalarından yapılan deşarjların mansabında bir nokta olarak dikkati çekmektedir. Genel anlamda Yeşilköy ve Kalkan köyü tarafından yaklaşık 15–16°C mertebesinde bir sıcaklık değeri ile ovaya giren yüzeysel sular, ova genelinde yapılan jeotermal akışkan ve evsel atık deşarjları ile ısınmakta ve 25–26°C değerlerine ulaşmaktadır (Şekil 3). Bu durum, jeotermal akışkanın en önemli göstergelerinden biri olan ısı kirlenmeye örnek teşkil etmektedir.

Yüzeysel sularda ölçülen elektriksel iletkenlik değeri suda çözülmüş toplam madde miktarını temsil etmesi açısından önemli bir parametredir. Tipik olarak jeotermal sularda yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle yüksek elektriksel iletkenlik değerleri gözlemlendiğinden, yüzeysel sularda da yüksek değerlerin ölçülmüş olması jeotermal ve/veya evsel-endüstriyel atık deşarjına işaret etmektedir. Çalışma kapsamında yapılan ölçümlerde Eİ değerleri 356-3310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında olup ortalama 1007 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri tespit edilmiştir. Özellikle geri plan durumunu temsil eden P387, P388 ve P409 nolu noktaların Eİ değerleri incelediğinde tümünün 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinin altında kaldığı görülmektedir. Bu da Simav Çayı ve kollarının ovaya girmeden önce oldukça iyi bir genel su kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ovada yapılan deşarjlar sonucu yer yer 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin üzerine çıkan değerler gözlenmiştir. Ölçülen en yüksek değer ise eski Simav Gölü'nü temsil eden mevsimsel su kütlelerinde belirlenmiştir.

Yüzeysel sular tipik olarak bazik nitelikte sulardır. Ancak yapılan asidik nitelikteki antropojenik deşarjlar sonrası bu suların pH değerlerinde azalmalar gözlenebilir. Benzer bir durum Simav Çayı ve kollarında da gözlenmektedir. Geri plan pH değerleri 8–9 olan bu sular ovadan yapılan

deşarjlar sonrasında 7,5–8 aralığına kadar gerilemektedir. Özellikle P384, P400 ve P333 nolu noktalarda pH değerlerinin geri plan değerlerine

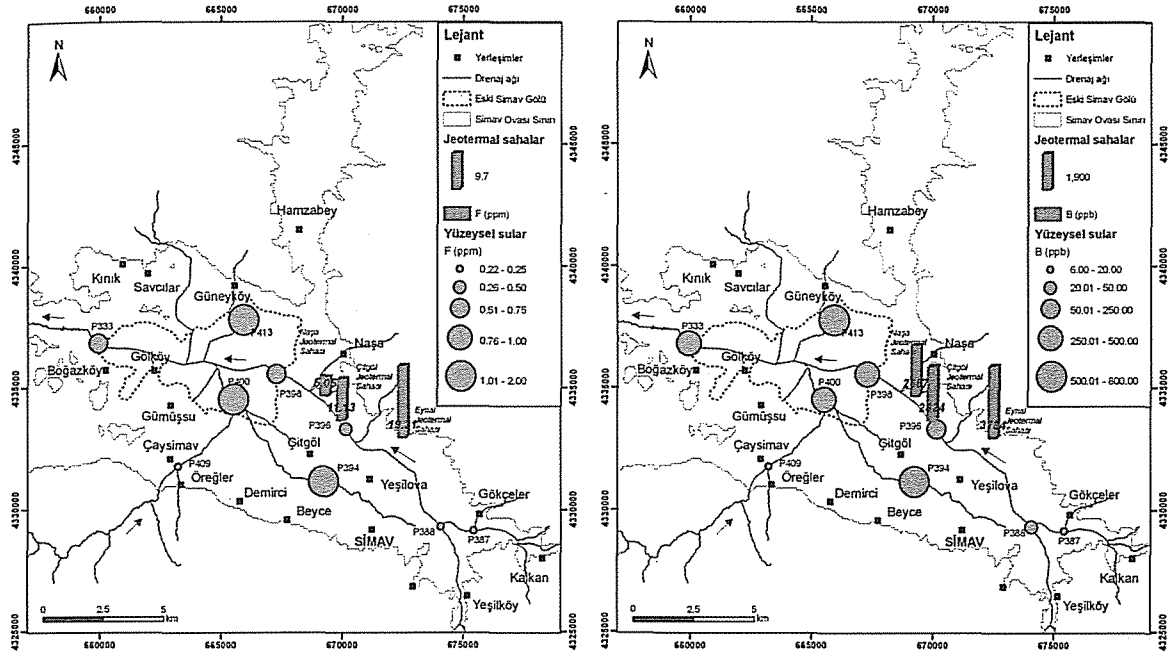
nazaran oldukça düştüğü net olarak görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Yüzeysel ve jeotermal sularda pH ve lityum değerleri

Benzer bir durum lityum değerlerinde de görülebilir (Şekil 4). Batı Anadolu jeotermal suların karakteristik bir özelliği olan lityum, Simav jeotermal sularında da kendisini göstermekte ve buna bağlı olarak ovadaki yüzeysel sularda da yüksek derişimlerde ölçülmektedir. Buna göre geri plan değerleri 0,1 mg/L'nin altında iken özellikle Simav ilçe ısıtmasından yapılan jeotermaldeşarj sonucu P384 nolu noktada en yüksek değerine (0,28 mg/L) ulaşmaktadır. Budeşarj, yapıldığı derenin debisi ile karşılaştırıldığında göreceli olarak yüksek bir hacimde olduğundan, hacimsel olarak daha düşük debilerindeşarj edildiği noktalara nazaran daha ciddi bir yükselme yaratmaktadır. Lityumda gözlenen durumun çok benzeri florür değerlerinde de mevcuttur. Buna göre geri plan değerleri 0,25 mg/L'nin altındayken, jeotermal ve evseldeşarjlar sonucu 1–2 mg/L seviyelerine ulaşmaktadır (Şekil 5).

Yüzeysel sulardaki bor, tarımsal sulamada neden olduğu zararlardan dolayı oldukça önemli bir parametredir. Batı Anadolu jeotermal sularının karakteristik bir özelliği olan yüksek bor değerleri, bu suların atıldığı yüzeysel sularda ciddi sorun yaratmaktadır. Simav Çayı kollarında geri plan bor derişimi 20 µg/L seviyesi civarındayken, ovardan gerçekleşendeşarjlar sonrasında 800 µg/L mertebesine ulaşmaktadır. Bölgedeki jeotermal suların bor içeriğinin 2600–3800 µg/L gibi yüksek değerlerde bulunması, bu sularındeşarjı sonrasında yüzeysel sularda da ciddi bir artışa neden olmaktadır. Buna bağlı olarak ovanın çıkış noktası olarak tanımlanabilecek P333 nolu noktada dahi 342 µg/L bor değeri ölçülmüş olması geri plan seviyesinin çok üzerinde bir değere ve atıkdeşarjına işaret etmektedir. Bölgede jeotermal sulara ek olarak soğuk yeraltı suyunda da yer yer yüksek bor seviyelerinin ölçülmüş olması, bölgenin yerel jeolojisinin yüksek bor içeriği ile açıklanabilmektedir.

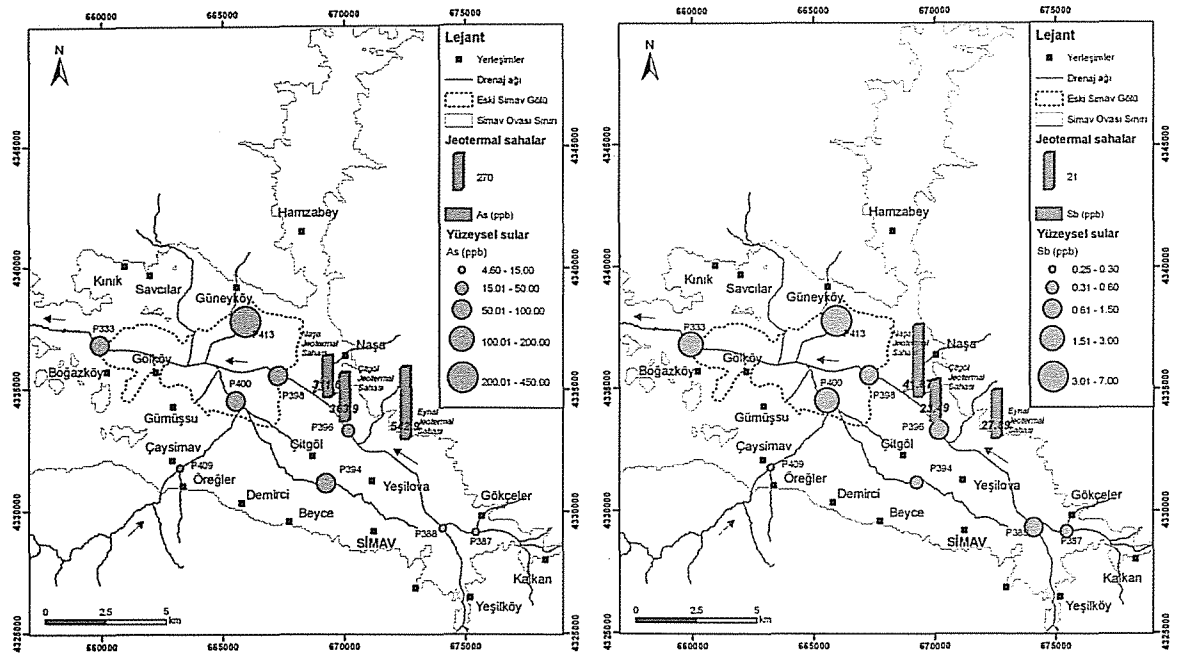


Şekil 5: Yüzeysel ve jeotermal sularda florür ve bor değerleri

Simav Çayı ve kollarında yapılan örneklemede 4,6-402,8 $\mu\text{g/L}$ aralığında ve ortalama 76,6 $\mu\text{g/L}$ mertebesinde arsenik tespit edilmiştir. Simav ovası yeraltı su kaynaklarında arsenik derişimleri genel olarak yüksektir (Gündüz vd, 2010b). Buna karşılık yüzeysel sular ise, özellikle geri plan değerleri dikkate alındığında, 10 $\mu\text{g/L}$ değerinin altında arsenik değerine sahiptirler. P387, P388 ve P409 nolu noktalarda arsenik değerleri sırasıyla 10,3, 4,6 ve 5,9 $\mu\text{g/L}$ olarak ölçülürken, daha sonra P333 nolu noktada 66,8 $\mu\text{g/L}$ değerine ulaşmaktadır. Arsenik değerlerindeki bu artışın temel nedeni yüksek arsenik içerikli yeraltı sularından kaynaklanan sızmalar ve atık jeotermal akışkan deşarjıdır. Özellikle yeraltı sularındaki yüksek arsenik değerleri P413 nolu noktada net olarak görülmektedir. Büyük oranda yeraltı suyundan sızma sonucu her yıl kış aylarında yeniden oluşan Simav Gölü'nden alınan

örnekte 400 $\mu\text{g/L}$ seviyesinin üzerinde arsenik tespit edilmiştir. Bu noktanın deşarj noktaları ile bir bağlantısının olmaması nedeniyle içeriğindeki yüksek arsenik oranının temel olarak su-kayaç etkileşiminden kaynaklandığı öngörülmektedir (Şekil 6).

Arseniğe benzer bir durum antimuan değerlerinde de gözlenmektedir. Jeotermal sulardaki ortalama 31 $\mu\text{g/L}$ seviyesindeki nispeten yüksek değerler yüzey sularına yansımaktadır. Bölgede eskiden işletilmiş olan bir antimuan madeninin varlığı da göz önüne alındığında, bölgenin bu elementçe zengin olduğu görülmektedir. Yüzeysel sularda jeotermal deşarjın etkisi diğer parametreler kadar net görülemezle birlikte Simav Çayı akışı boyunca antimuan seviyelerinde genel bir artışın olduğu gözlenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6: Yüzeysel ve jeotermal sularda arsenik ve antimon değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan da anlaşılabilirliği üzere yüksek sıcaklıkları ve element derişimleri nedeniyle jeotermal akışkanın kontrolsüz olarak yüzeysel sulara verilmesi ciddi bir su kirlenmesi problemi yaratmaktadır. Simav ovasında özellikle arsenik ve bor gibi insan ve çevre sağlığına toksik etkileri olduğu kanıtlanmış elementlerin yüzey suyunda yüksek seviyelere ulaşması jeotermal akışkan deşarjı ile ilgilidir. Simav ovası ve benzeri sahalarda enerji üretimi, konut ve sera ısıtılması gibi uygulamalar sonucunda ortaya çıkan atık jeotermal akışkan için en uygun bertaraf yöntemi yeraltına re-enjeksiyondur. Ancak bunun yapılamadığı durumlarda deşarj standartlarına uyulmak kaydıyla arıtılarak yüzeysel sulara deşarjı söz konusu olabilir. Malesef ülkemizdeki jeotermal sahaların çoğunda re-enjeksiyon ve arıtım alternatifleri uygulan-

mamakta ve söz konusu sular doğrudan yüzeysel sulara bırakılmaktadır. Bunun sonucu olarak ısıl ve kirletici yükler açısından çoğu zaman sistemin taşıma kapasitesinin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında yüksek ısıl ve kimyasal kirlenme potansiyeli bulunan jeotermal akışkanın yüzeysel sulara gelişini güzel deşarj edilmesinin; sadece sistemin sürdürülebilirliğine değil aynı zamanda yüzeysel ve buna bağlı yeraltı suyu kalitesi üzerinde de olumsuz etkilere neden olduğunun dikkate alınması gerekmektedir. Böylelikle, genel olarak "çevre dostu" bir enerji kaynağı olarak görünen jeotermal suların bu unvanını tehdit eden durumlar yaratılmasından kaçınılması sağlanabilecektir. Bu sayede ülke ekonomisine katkısı olan jeotermal sahaların çevresel etkilerinin azaltılması ve daha sürdürülebilir kullanımlarının sağlanması mümkün olabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 109Y029 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Baba, A. (2003). "Geothermal environmental impact assessment with special reference to the Tuzla Geothermal Area, Çanakkale, Turkey." *Geothermal Training Programme Book*, Iceland, 75-114.

Baba, A. ve Armannsson, H. (2006). "Environmental impact of the utilization of geothermal areas." *Energy Sources Part B*, Cilt: 1, 267-278.

EPA (2006). *2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*. U.S. Environmental Protection Agency EPA 822-R-06-013. Office of Water U.S. Environmental Protection Agency.

Gemici Ü. ve Tarcan G. (2002). "Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Cilt: 116, 215-233.

Gündüz, O., Baba, A. ve Elpit H. (2010a). "Arsenic in groundwater in western Anatolia, Turkey: A review." *Proceedings of XXXVIII IAH Congress*, Eds. A. Zuber, J. Kania, E. Kmiecik.

Gündüz O., Şimşek C. ve Hasözbeğ A. (2010b) "Arsenic pollution in the groundwater of Simav Plain, Turkey: Its impact on water quality and human health", *Water Air Soil Pollution*, Cilt: 205, 43-62.

Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C., Baba, A., Bakar, C., Gürleyük, H ve Mutlu, M. (2010c). Proje 2. Gelişme Raporu. 109Y029 nolu TÜBİTAK Projesi, İzmir.

ITASHY (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*. 17/02/2005 sayılı ve 25730 nolu Resmi Gazete, Ankara.

Memiş Ü. (2010). "Jeotermal enerjinin çevresel etkileri", *SDUGEO E-dergi* 1, 3.

Mollahüseyinoğulları, Ö., Onat, A., Onar, İ.F. ve Okuyan, C. (2005). *Jeotermal Enerji Seminer kitabı*, Ed. N. Aksoy, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: E/2005/393-2, 383-394.

Satman, A. (2005). "Tekrar basma (reenjeksiyon)." *Jeotermal Enerji Seminer kitabı*, Ed. N. Aksoy, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: E/2005/393-2, 121-144.

WHO (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality* (3rd ed.). World Health Organization, Geneva: WHO Press.