



Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri

Hydrochemical Changes in Geothermal Systems with Simav(Kütahya) Earthquakes

Özkan ATEŞ¹, Salih Zeki TUTKUN²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 17100, Çanakkale
(e-posta: ozkan.ates@hotmail.com)

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 17100, Çanakkale

ÖZ

Kütahya ve Simav Fayları arasında kalan bölgede birçok jeotermal alan - Eynal, Çitgöl ve Naşa (Simav), Ilıcasu-Abide (Gediz), Muratdağı, Yoncalı, Emet, Yeniceköy, Dereli, Göbel, Ilıca (Harlek), Sefaköy ve Hamamköy (Hisarcık), Şaphane- bulunmaktadır. Türkiye Diri Fay Haritalarında da aktif fay olarak gösterilen Simav Fayı'nın hemen kuzeyinde kalan çalışma alanı, Simav (Kütahya) civarında yer almaktadır. Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde yer almaktadır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Aletsel dönemde, Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında bu bölge ve yakın civarında M=3.0 ten büyük yaklaşık 735 adet deprem olmuştur. Ayrıca, Gediz'de 1970 yılında 1 adet M=6.0 dan büyük ve Simav'da 2009, 2011 ve 2012 yıllarında da büyüklüğü 5.0 ve 5.0 ten büyük depremler meydana gelmiştir. Kütahya ili Simav ilçesinde bulunan Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarındaki sıcak su kaynaklarından 2010 ile 2013 yılları arasında yaklaşık üç yıl süren bir izleme çalışması yapılmıştır. Çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi, jeotermal suların hidrojeokimyasal özellikleri ile bölgedeki yoğun deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. İzleme döneminde meydana gelen özellikle M=5.0 ve daha büyük depremlerle birlikte jeotermal kaynakların fiziko-kimyasal özelliklerinde sıcaklık artışı, Cl⁻ iyonu değerinde artış ve SO₄⁻² iyonu değerinde azalış gibi değişimler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif Fay, Deprem, Jeotermal Enerji, Kütahya, Simav

ABSTRACT

Many geothermal fields in Kütahya including Eynal, Çitgöl ve Naşa (Simav), Ilıcasu-Abide (Gediz), Muratdağı, Yoncalı, Emet, Yeniceköy, Dereli, Göbel, Ilıca (Harlek), Sefaköy ve Hamamköy (Hisarcık) and Şaphane are located between Kütahya and Simav active faults in Western Turkey. Studied area in Simav (Kütahya) is situated in the north of Simav Fault and indicated as an active fault zone in the active fault maps of Turkey. This area is fairly active region in terms of earthquakes occurred in the instrumental period and has many geothermal systems. Most of these geothermal fields are located on active fault zones. Approximately 735 earthquakes ($M > 3.0$) occurred between May 2010 to May 2013, including 1 earthquake with the magnitude of greater than 6.0 at Gediz in 1970 and 4 earthquakes with the magnitude of greater than 5.0 at Simav in 2009, 2011 and 2012. Data from a monitoring study during three years (2010-2013) from thermal springs in Eynal, Çitgöl ve Naşa geothermal fields which located at Simav (Kütahya) were used in this study. This study tried to find out relationship between geothermal springs and active faults, and relationship between hydrochemical features of geothermal waters and high seismic activity. The results of this study indicated that some physic-chemical parameters of geothermal waters change especially increasing temperature, increasing Cl^- ion value and decreasing SO_4^{2-} ion value with earthquakes with has 5.0 and greater magnitude value.

Key Words: Active Fault, Earthquake, Geothermal Energy, Kütahya, Simav

GİRİŞ

Yeraltısuyu bileşimlerindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı ile maksimum değerine ulaştığı, sonra zamanla normale döndükleri bilinmektedir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Deprem öncesi, depremle birlikte ve deprem sonrası yeni kaynak oluşumları veya mevcut kaynakların kaybolması da olağandır. Sıcak ve mineralli su kaynaklarındaki değişimlerin bir depremin önceden belirlenebilmesi amacıyla sağlıklı olarak kullanılabilmesi için, bu kaynak bölgelerinin ayrıntılı jeolojik özelliklerinin bilinmesi gereklidir. 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde de bazı jeotermal kaynak ve kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler izlenmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Bu çalışmada, Kütahya ili Simav ilçesi güneyi boyunca uzanan Simav Fayı üzerinde yer alan üç farklı jeotermal alanda bulunan sıcak su sondaj kuyuları belirlenmiştir. Bu kuyuların

başında yerinde ölçümler (pH, iletkenlik-EC ve sıcaklık- T $^{\circ}C$) ve alınan sıcak su örneklerinden hidrojeokimyasal analizler (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} ve HCO_3^{-}) yapılarak termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Örneklemeye ve yerinde ölçümler düzenli olarak belirli periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, bir depremin önceden tahmin edilmesine de katkı sağlamak amacıyla, sismik açıdan da oldukça aktif olan Simav civarında yer alan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve bölgenin aktif tektonik yapısı ile olan ilişkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

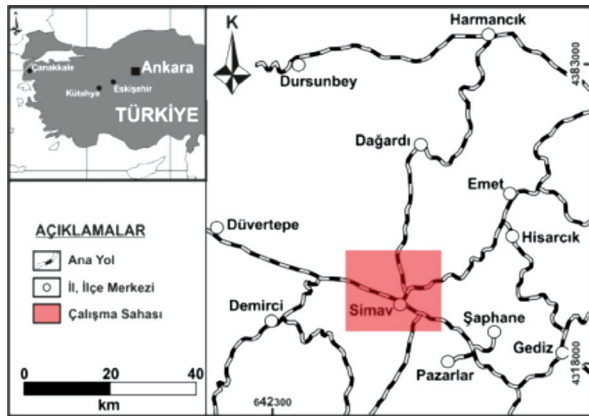
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Kütahya ili, Simav ilçesi kuzeyinde yer alan jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bununla beraber, jeotermal alanların ve yakın civarının jeoloji ve aktif fay haritaları revize edilmiştir. Ayrıca arazide belirlenen üç adet jeotermal

alandaki sıcak su kaynak ve sondajlarında 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kuyuların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık ($T^{\circ}C$) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların HCO_3^- analizleri laboratuvarda titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analizlerinden major anyon, katyon analizleri ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve iyon kromatografisi (SO_4^- ve Cl^-) cihazlarında yapılmıştır.

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLojİSİ, AKTİF TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ

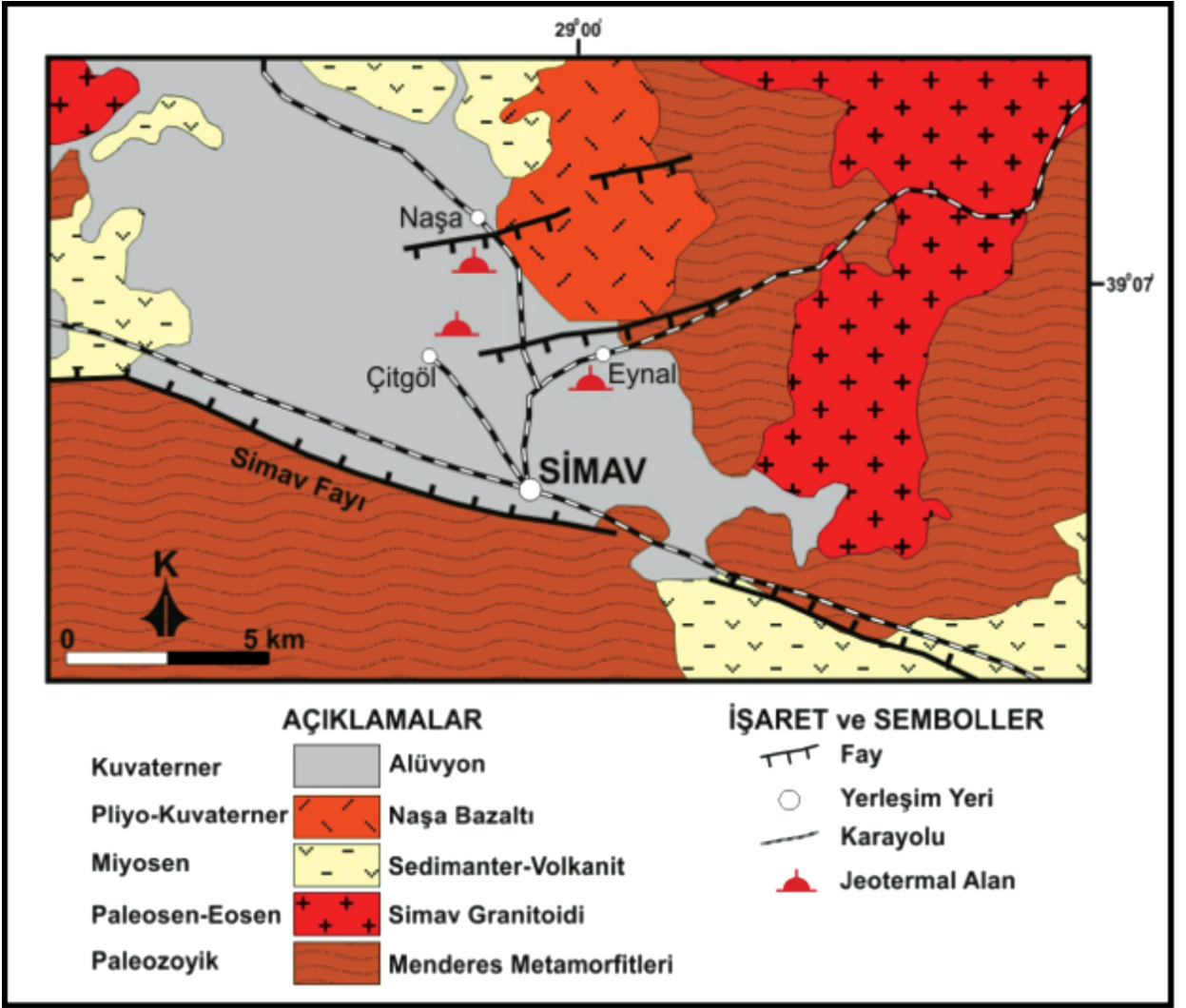
Çalışma alanı Orta-Batı Anadolu'da Kütahya ili, Simav ilçesi ve yakın çevresi ile sınırlanan bir alandır (Şekil 1).



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

Çalışma alanı ve yakın civarı jeolojik olarak Menderes Masifi'nin en kuzey ucunu temsil eder. Bu kesim günümüzde Simav Fayı ile sınırlıdır. Masifin kuzeyindeki alanlarda, Oligo-Miyosen yaşlı plütonik kayalar yer almaktadır. Bu birimleri üzerleyen Miyosen yaşlı volkanik, kırıntılı ve karbonatlı kayalar geniş yayılımlar sunarken, Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılı ve karbonatlarla örtülmekte ve çok genç volkanik kayalar tarafından da kesilmektedir (Konak, 2002).

Çalışma alanının temelinde; gnays, migmatit ve şist türü metamorfik kayalardan oluşan Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri vardır (Akdeniz ve Konak, 1979). Bu metamorfik kayaları keser durumda granodiyorit-monzogranitten oluşan Paleosen-Eosen yaşlı Simav granitoidleri yer alır (Akdeniz ve Konak, 1979; Yücel ve diğ., 1983). Bu kayaların üzerinde uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve tuf gibi sedimanter ve volkanik kayalardan oluşan bir istif yer alır (Gün ve diğ., 1979; Akdeniz ve Konak, 1979). Pliyo-Kuvaterner yaşlı Naşa bazaltı ise bölgedeki en genç volkanik etkinliktir (Ercan ve diğ., 1982; Yücel ve diğ., 1983). Tüm bu kaya birimlerini de Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak örter (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (Konak, 2002'den değiştirilerek)

Figure 2. Geological map of study area and surroundings (modified from Konak, 2002)

Çalışma alanında gözlenen fayların çoğunluğu eğim atımlı normal fay karakterindedir. Bu fayların genel doğrultuları KB-GD, BKB-DGD ve D-B'dir (Yücel ve diğ., 1983). Bu faylardan en önemlisi ve aktif olanı çalışma sahası güneyi boyunca uzanan, BKB-DGD doğrultulu, kuzeye eğimli Simav Fayı'dır (Şekil 3). Simav Fayı, Simav grabenini güneyden sınırlayan yaklaşık 60

km uzunluğunda bir faydır. Fayın başlangıçta sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olarak çalıştığı bilirse de özellikle Kuvaterner'de, Batı Anadolu'da etkin olan genel KKD-GGB doğrultulu genişleme tektoniği içerisinde bir rejim değişikliğine maruz kalmıştır ve günümüzde normal bir fay olarak çalışmaktadır (Özden ve diğ., 2012).



Şekil 3. Simav fayı (bakış yönü kuzeyden güneye)
Figure 3. Simav fault (view from north to south)

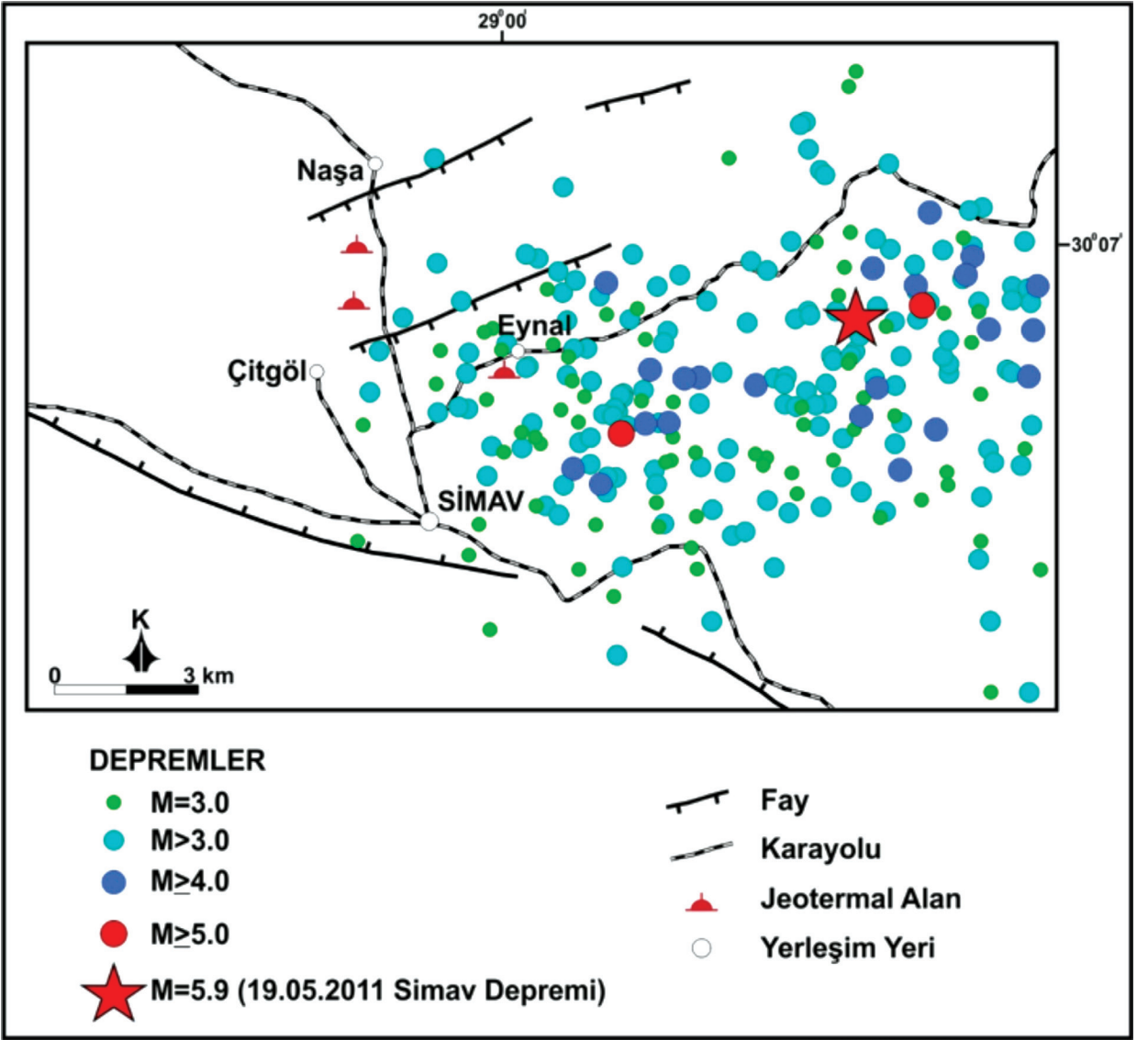
Çalışma alanı ve yakın çevresinde depremsellik açısından oldukça yoğun bir aktivite söz konusudur. Bölgede aletsel dönemde meydana gelmiş en büyük deprem 28 Mart 1970 yılında meydana gelmiş M=7.2 büyüklüğündeki Gediz depremidir. Bu çalışmanın başladığı tarih olan Mayıs 2010'dan Mayıs 2013 tarihine kadar $M \geq 3$ büyüklüğünde yaklaşık 735 adet deprem

meydana gelmiştir (Şekil 4). Bu depremlerin en büyüğü ve hasar yapıcı olan deprem 19 Mayıs 2011 tarihinde saat 20:15 te meydana gelen Simav merkezli M=5.9 büyüklüğündeki depremdir (Şekil 5). Ayrıca 27 Haziran 2011 tarihinde M=5.0 büyüklüğünde ve 3 Mayıs 2012 tarihinde M=5.4 büyüklüğünde iki adet orta büyüklükte deprem meydana gelmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen $M \geq 5,0$ depremler (Mayıs 2010-Nisan 2013) (www.deprem.gov.tr)

Table 1. $M \geq 5.0$ earthquakes occurred in study area and surroundings (May 2010-April 2013) (www.deprem.gov.tr)

Sayı	Tarih (UTC)	Saat	Enlem	Boylam	Yer	M	Derinlik (km)
1	03.05.2012	15:20	39.1245	29.110	KÜTAHYA - SİMAV	5.4	10.59
2	27.06.2011	21:13	39.1108	29.026	KÜTAHYA - SİMAV	5.0	18.27
3	19.05.2011	20:15	39.1328	29.082	KÜTAHYA - SİMAV	5.9	24.46



Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın çevresinin depremselliği (Mayıs 2010-Mayıs 2013) ($M \geq 3$ ten büyük depremler) (www.deprem.gov.tr)

Figure 4. Seismicity of study area and surroundings (May 2010-April 2013) ($M \geq 3$ earthquakes) (www.deprem.gov.tr)



Şekil 5. Simav depremi sonrası meydana gelen yapısal hasarlar (a, b, c) ve yüzey çatlakları (d)
Figure 5. Structural damages after Simav earthquake (a, b, c) and surface rupture (d)

ÇALIŞMA ALANINDAKİ JEOTERMAL ALANLARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında Simav ilçesindeki Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su sondaj kuyularından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 2). Tüm jeotermal alanlarda doğal sıcak su çıkış kaynağı bulunmadığından en yüksek yüzey çıkış

sıcaklığına sahip sondaj kuyuları örnekleme yeri olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalar 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde, 28 Mayıs 2010, 13 Mayıs 2011, 21 Mayıs 2011, 14 Temmuz 2011, 26 Kasım 2011, 23 Nisan 2012, 25 Temmuz 2012, 25 Ağustos 2012, 03 Kasım 2012 ve 30 Mart 2013 tarihlerinde yapılmıştır. Alınan su örneklerinden laboratuvarında yapılan analizler sonucu sadece majör anyon ve katyon analiz değerleri belirlenerek hidrojeokimyasal değerlendirmeler için sayısal diyagramlara aktarılmıştır.

Çizelge 2. Çalışma alanında incelenen jeotermal alanlara ait lokasyon bilgileri

Table 2. Location of geothermal areas in study area

Lokasyon	İlçe	Şehir	Boylam (E)	Enlem (N)	Kot (m)
Çitgöl	Simav	Kütahya	35 S 0669955	4333650	797
Naşa	Simav	Kütahya	35 S 0669446	4334708	793
Eynal	Simav	Kütahya	35 S 0672468	4332920	829

Eynal Jeotermal Alanı

Eynal jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 4 km kuzeyinde yer almaktadır. Eynal jeotermal alanında MTA'nın 2004 yılında açmış olduğu yaklaşık 208 m

derinliğindeki E-9 sondaj kuyusunda yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 6). Bu sondaj kuyusundan 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak termal suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3).



Şekil 6. Eynal Jeotermal Alanı (E-9 Kuyusu)

Figure 6. Eynal Geothermal Field (E-9 Drilling)

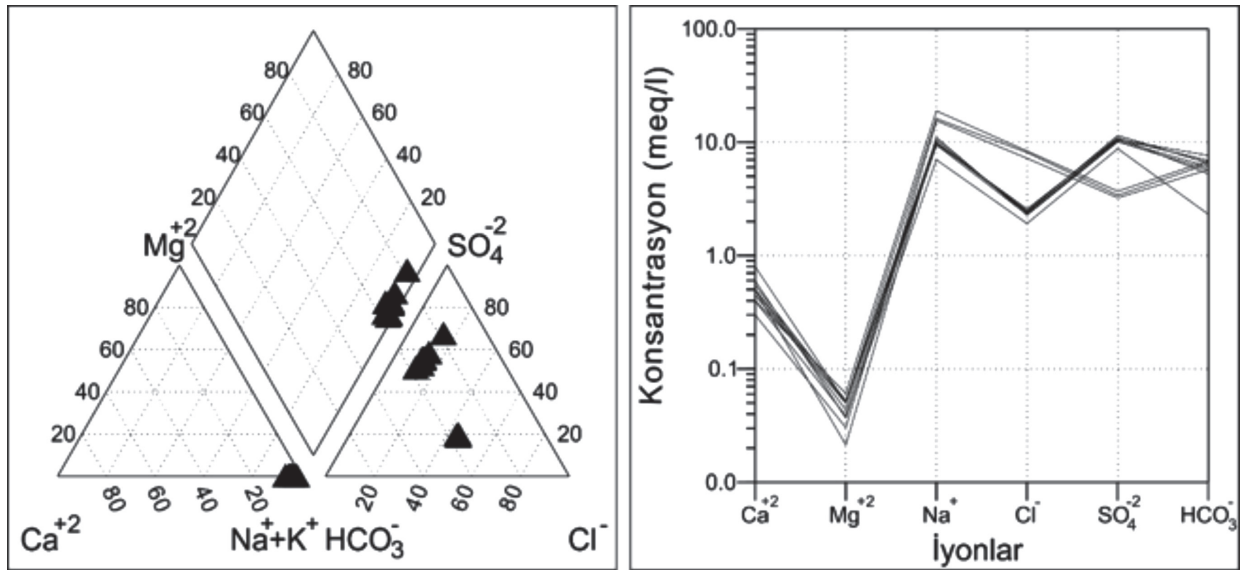
Çizelge 3. Eynal Jeotermal Alanındaki sıcak suyun majör iyon derişimleri

Table 3. Major ion concentration of thermal water in Eynal Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
28.05.2010	86,40	8,25	2230	161,52	38,33	8,62	0,47	68,10	421,60	141,00
13.05.2011	82,10	8,83	2080	356,18	48,98	6,38	0,37	256,70	155,90	350,14
21.05.2011	83,50	8,47	2140	370,32	51,68	11,04	0,62	288,60	163,11	395,28
14.07.2011	90,40	8,11	2160	434,95	66,15	8,78	0,74	296,60	177,98	418,77
26.11.2011	87,00	8,63	2181	229,89	77,69	12,79	0,45	88,51	525,70	321,47
23.04.2012	92,00	8,70	2176	253,32	65,66	10,72	0,26	81,22	485,88	348,01
25.07.2012	83,00	8,59	2532	242,87	76,94	10,99	0,64	84,73	507,85	466,35
25.08.2012	80,80	8,65	2478	222,23	94,35	16,10	0,61	91,10	513,40	421,23
03.11.2012	79,00	8,36	2492	218,01	64,37	10,06	0,53	82,17	496,71	371,19
30.03.2013	87,4	8,57	2126	228,70	142,25	9,75	0,61	86,84	548,57	401,45

Major anyon/kayton analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su

tipleri incelendiğinde, Eynal jeotermal alanındaki E-9 kuyusundaki su tipi Na⁺-SO₄⁻²-HCO₃⁻ tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Eynal kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 7. Piper and Schoeller diagrams of Eynal thermal water

Naşa Jeotermal Alanı

Naşa jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 6 km kuzeybatısında yer almaktadır. Naşa jeotermal alanında MTA'nın 1986 yılında açmış olduğu yaklaşık 200 m

derinliğindeki N-1 nolu sondaj kuyusundan yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 8). Bu sondaj kuyusundan 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak termal suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4).



Şekil 8. Naşa Jeotermal Alanı (N-1 Kuyusu)
Figure 8. Naşa Geothermal Field (N-1 Drilling)

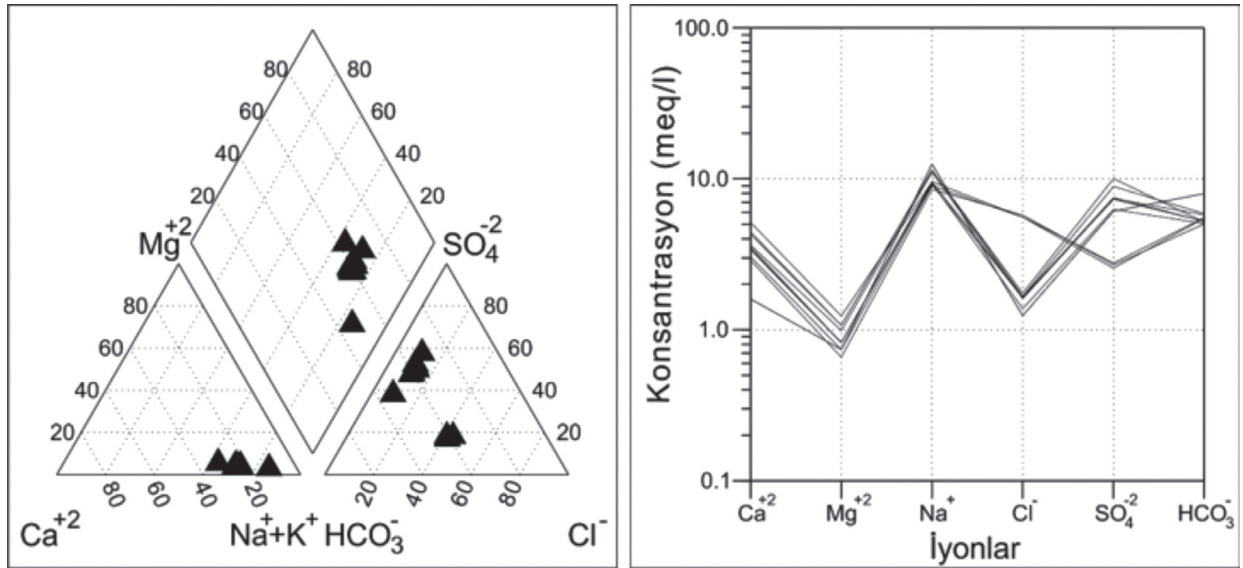
Çizelge 4. Naşa Jeotermal Alanındaki sıcak suların majör iyon derişimleri

Table 4. Major ion concentration of thermal water in Naşa Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
28.05.2010	52,00	7,22	1553	288,56	19,60	32,29	9,25	44,50	293,15	488,00
13.05.2011	62,20	7,54	1546	207,79	28,80	61,88	9,81	198,10	123,48	335,50
21.05.2011	62,20	7,44	1573	220,25	29,38	68,17	10,40	198,00	133,27	338,55
14.07.2011	64,80	6,72	1514	196,59	25,23	58,25	8,33	204,40	129,63	307,44
26.11.2011	63,00	6,48	1309	215,61	37,87	71,65	10,24	49,59	301,70	308,97
23.04.2012	60,00	7,18	1762	219,34	47,27	103,30	15,48	59,89	427,27	359,29
25.07.2012	58,90	6,93	1626	255,12	43,81	73,35	12,81	57,11	355,55	353,80
25.08.2012	60,60	7,35	1627	263,28	51,70	86,95	13,21	59,21	352,07	320,19
03.11.2012	57,40	7,21	1630	211,02	37,49	69,85	10,46	58,48	361,09	319,64
30.03.2013	56,00	7,36	1811	262,85	95,70	89,50	13,14	62,60	482,07	315,43

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su

tipleri incelendiği, Naşa jeotermal alanındaki N-1 kuyusundaki su tipi Ca⁺²-SO₄⁻²-HCO₃⁻ tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Naşa kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

Figure 9. Piper and Schoeller diagrams of Eynal thermal water

Çitgöl (Simav) Jeotermal Alanı

Çitgöl jeotermal alanı, Simav (Kütahya) ilçe merkezinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında yer almaktadır. Naşa jeotermal alanında MTA'nın 1985 yılında açmış olduğu yaklaşık 100 m

derinliğindeki Ç-1 nolu sondaj kuyusundan yerinde ölçüm ve su örnekleme yapılmıştır (Şekil 10). Bu sondaj kuyusundan 3 yıl içerisinde 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışması yapılarak suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Tablo 5).



Şekil 10. Çitgöl Jeotermal Alanı (Ç-1 Kuyusu)

Figure 10. Çitgöl Geothermal Field (Ç-1 Drilling)

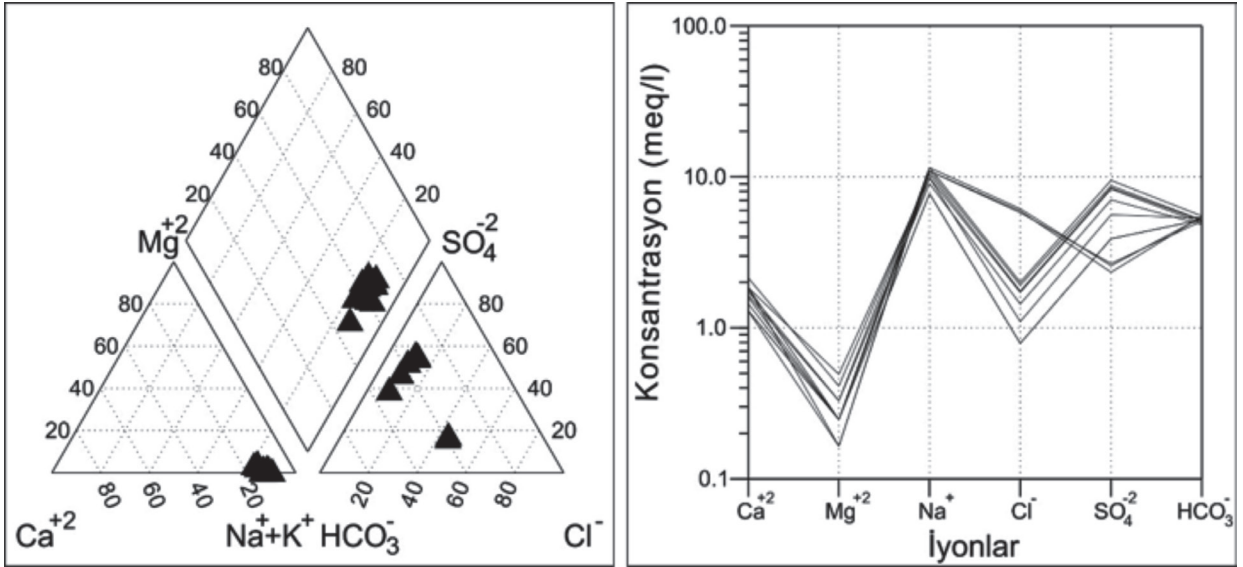
Çizelge 5. Çitgöl Jeotermal Alanındaki sıcak suların majör iyon derişimleri

Table 5. Major ion concentration of thermal water in Çitgöl Geothermal Field

Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
28.05.2010	79,30	6,84	1736	178,69	24,13	26,32	3,37	28,55	187,65	318,00
13.05.2011	69,20	7,61	1632	252,05	29,30	29,19	3,30	211,60	112,19	334,89
21.05.2011	60,00	7,59	1655	252,30	29,72	35,51	4,33	206,40	128,75	312,32
14.07.2011	79,90	7,45	1740	265,80	33,09	26,49	2,79	218,40	124,71	330,01
26.11.2011	64,00	7,44	1860	241,90	53,55	43,08	5,11	62,30	406,24	313,24
23.04.2012	61,00	7,45	1526	227,50	31,83	37,48	6,60	39,61	269,19	326,66
25.07.2012	78,70	7,51	1935	266,81	60,61	37,05	3,61	71,10	455,98	336,72
25.08.2012	78,40	7,76	1961	253,45	59,62	37,41	2,78	68,74	419,76	315,26
03.11.2012	60,90	7,35	1744	208,24	35,22	33,66	4,49	51,85	338,58	295,55
30.03.2013	65,20	7,48	1729	227,50	72,70	32,16	3,76	61,27	400,24	302,74

Major anyon/kasyon analiz sonuçları su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki termal su tipleri incelendiğinde, Çitgöl jeotermal alanındaki Ç-1 kuyusundaki su tipi $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$ tipi olarak belirlenmiştir (Şekil 11).

gelmiştir. Bunların en belirgin olanları her üç kaynaktan da Cl^- ve SO_4^{2-} iyon değerlerindeki değişimlerdir (Şekil 12) (Ateş ve diğ., 2011; Ateş ve diğ., 2012). Bu değişimleri genel olarak 5.0 ve daha büyük depremlerde gözlenmiştir. Örnekleme dönemlerinin en önemlileri 19 Mayıs 2011 de meydana gelen $M=5.9$ büyüklüğündeki depremden



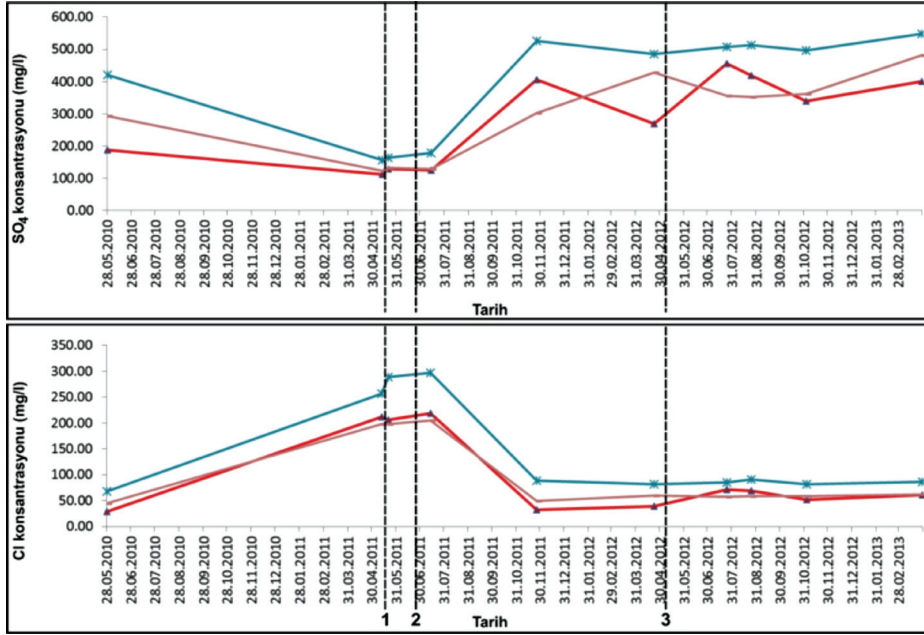
Şekil 11. Çitgöl kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 11. Piper and Schoeller diagrams of Çitgöl thermal water

Derin jeotermal sularda sülfat (SO_4^{2-}) miktarı azdır. Yüzeğe yakın yerlerde hidrojen sülfürün yükseltgenmesi ile artış gösterir ($\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$). Klorür (Cl^-), jeotermal sistemlerin aranması ve yorumlanmasında çok kullanılan bir iyonudur. Bir kez çözüldükten sonra başka minerallerin bünyesine kolay girmemesi nedeniyle doğrudan jeotermal suyu karakterize eder (Nicholson, 1993). Yüksek derişim doğrudan, derinden ve yüksek debili bir beslenmeyi gösterir. Düşük klorür derişimi yüzey sularının giriş doğrultularını belirtir (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

Çalışma alanındaki üç farklı sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri bölgede meydana gelen depremler ile ilişkilendirildiğinde belirgin fiziksel ve kimyasal değişimler meydana

bir hafta önce ve 2 gün sonrası olanlarıdır. 13 Mayıs 2011 tarihindeki örnekleme dönemi sonrası alınan örneklerdeki SO_4^{2-} değerindeki belirgin azalış ve Cl^- değerindeki belirgin artış trendi bölgedeki depremsellikle ilişkilidir. Benzer artış ve azalış davranışları 27 Haziran 2011 tarihinde meydana gelen $M=5.0$ büyüklüğündeki ve 3 Mayıs 2012 tarihinde meydana gelen $M=5.4$ büyüklüğündeki depremler öncesi ve sonrası da elde edilmiştir. Bu tarihten sonra bölgede deprem aktivitesi oldukça azalmış, genel olarak bölgede $M < 3$ büyüklüğünde depremler meydana gelmektedir. Temmuz 2012 ve bu tarihten sonraki örnekleme dönemlerinde alınan su örneklerinin analiz sonuçları da azalan deprem aktivitesine uygun olarak durağan bir gidiş göstermektedir (Şekil 12).



Şekil 12. SO₄⁻² ve Cl⁻ iyon değerlerindeki depremselliğe bağlı değişimler 1. 19 Mayıs 2011 depremi (M=5.9) 2. 27 Haziran 2011 depremi (M=5.0) 3. 03 Mayıs 2012 depremi (M=5.4)

Figure 12. SO₄⁻² ve Cl⁻ ion concentration changes connected with seismicity 1. 19 May 2011 earthquake (M=5.9) 2. 27 June 2011 earthquake (M=5.0) 3. 03 May 2012 earthquake (M=5.4)

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Kütahya ili, Simav ilçesi kuzeyinde kalan Eynal, Çitgöl ve Naşa jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su sondajlarında Mayıs 2010-Mayıs 2013 tarihleri arasında 10 örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme dönemleri; 28 Mayıs 2010, 13 Mayıs 2011, 21 Mayıs 2011, 14 Temmuz 2011, 26 Kasım 2011, 23 Nisan 2012, 25 Temmuz 2012, 25 Ağustos 2012, 03 Kasım 2012 ve 30 Mart 2013 tarihlerine karşılık gelmektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde, çalışmanın başladığı tarih olan Mayıs 2010 tarihinden, Mayıs 2013 tarihine kadar $M \geq 3$ büyüklüğünde yaklaşık 735 adet deprem meydana gelmiştir. 19 Mayıs 2011 tarihinde saat 20:15 te Simav merkezli M=5.9 büyüklüğündeki deprem de dahil 3 adet M=5.0 ve M>5.0 büyüklüğünde 3 adet deprem meydana gelmiştir.

Çalışma alanında meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre üç jeotermal alandaki sıcak sularda da fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana geldiği görülmüştür.

Sıcak suların fiziksel özellikleri kapsamında; en belirgin değişimler sıcaklık değerlerinde gözlenmiştir. Çitgöl jeotermal alanında depremden bir hafta önce suların sıcaklık değeri 10 C° azalmıştır ve depremden 2 gün sonra bu değer 9 C° daha azalmıştır. Naşa jeotermal alanında ise suların sıcaklık değeri 10 C° artmıştır.

Sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; hemen hemen tüm alanlardaki suların Cl⁻ iyon değerleri büyük depremler öncesi yaklaşık beş kat artmıştır. Sıcak sularda Cl⁻ iyon değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir. Depremin etkisi ile derin kökenli bir beslenmeye ilişkin olduğu düşünülmüştür.

Ayrıca sıcak sulardaki SO_4^{-2} iyon değerlerinde de büyük depremler öncesi bir azalma meydana gelmiştir. SO_4^{-2} iyon değeri deprem öncesinde azalma trendine girmiştir. Çünkü sülfür (S^{-3}), SO_4^{-2} iyonuna yükseltgenmeyip, gaz olarak yüzeyle ulaşmıştır. Deprem sonrasında ise HS ve/veya jeotermal akış fazında gözlenen H_2S gazının normal düzeyine dönmeye başlamasıyla yeniden suda SO_4^{-2} olarak çözülmeye başladığı düşünülmektedir.

Sıcak sulardaki bu değişimler sadece 19 Mayıs 2011 tarihinde olan $M=5.9$ büyüklüğündeki depremin etkisiyle gözlenmemiştir. 27 Haziran 2011 tarihinde $M=5.0$ ve 3 Mayıs 2012 tarihinde $M=5.4$ büyüklüklerinde depremleri hemen öncesi ve sonrası da benzer değişimler gözlenmiştir.

Elde edilen bu veriler ışığında, jeotermal sistemleri de içeren sismik açıdan aktif bir bölgede, sıcak sular sürekli izlenebilirse, olası bir depremin öncesinde jeotermal sistemdeki sıcak sulardaki fiziko-kimyasal değişimler sayesinde bir depremin önceden tahmin edileceği ortaya çıkmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (ÇOMÜ-BAP) 2010/166 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arazi çalışmaları ile verilerin yorumlanması sırasında desteklerinden dolayı Prof. Dr. Süha ÖZDEN'e teşekkürü bir borç biliriz.

EXTENDED SUMMARY

It is known that changes in groundwater concentrations start with first shake and reach maximum level with energy discharge than become normal levels by time after earthquakes. Occurring of new springs or disappears of existing springs

can be seen before, during or after earthquakes. We should know detail geological features of geothermal fields to use changings in hot or mineral water concentrations as earthquake estimation before. In this scope, a monitoring study is done from thermal water springs which located along the Simav Fault to follow up these springs in the frame of physical and geochemical features and relationship with seismicity. Study area is located around Simav (Kütahya) (Middle West Anatolia) northern of Simav Fault and indicated as an active fault zone in the active fault map of Turkey is fairly active region in terms of earthquakes occurred in the instrumental period. This area also has many thermal areas which located on active faults. These are Naşa, Çitgöl and Eynal geothermal fields located north of Simav.

The study area and its vicinity geologically represent the northern part of Menderes Massif. At the present time this area is restricted by Simav Fault. On the basement of the study area consist of Paleozoic aged Menderes Massif which has gneiss, migmatite and schist type metamorphic rocks. In the north of these metamorphic rocks, Oligo-Miocene plutonic rocks are located. These geological units overlying by Miocene volcanic, clastic and carbonate rocks which have wide-spread. Plio-Quaternary aged Naşa basalt is the youngest volcanic activity of the area. All these rocks are covered by Quaternary aged alluvium.

Most of faults are normal fault which observed in the study area and general strike of these faults is NW-SE, WNW-ESE and E-W. The most important and active of these faults is Simav Fault which continues along the south of study area. It has WNW-ESE strike, N dip and about 60 km length. It is known that fault's initial movement is right-lateral strike slip but in Quaternary due to the general NNE-SSW extensional regime in western Anatolia, a regime change has been exposed

and present Simav fault has been working as a normal fault.

Due to high seismic activity of Simav and surrounding area, many big earthquakes occurred in the instrumental period. Around the study are about 1000 earthquakes occurred which has $M > 3$ magnitude between May 2010 and May 2013. Most important and destructive earthquake of these was 19 May 2011 $M=5.9$ earthquake. Also on June 27, 2011 and May 3, 2012 at $M=5.0$ and $M=5.4$ magnitude earthquakes occurred.

In this study, three thermal springs determined in Naşa, Çitgöl and Eynal geothermal areas. Sampling and in-situ measurements were done from these thermal waters in 10 different periods from May 2010 to May 2013. Due to geochemical analysis of thermal waters Naşa spring is $Ca^{+2}-SO_4^{-2}-HCO_3^-$ type, Çitgöl spring is $Na^+-SO_4^{-2}-HCO_3^-$ type and Eynal spring is $Na^+-SO_4^{-2}-HCO_3^-$ type of water.

Also physical and/or chemical changes in thermal water springs are compared between earthquakes. According to this monitoring study many physical (temperature increase and decrease) and chemical (increasing and decreasing of Cl and SO_4^{-2} concentrations) changing happened in these three thermal springs. These changing are observed at especially after and before earthquakes which have $M=5.0$ and bigger. According to these data, in seismically active areas including geothermal systems, hot water can be continuously monitored; a possible earthquake can be predicted by changes in water hydrochemistry.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akdeniz N. ve Konak N., 1979b. Simav-Emet-Tavşanlı -Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, MTA Gen. Müd., Rapor No: 6547, Ankara.
- Ateş, Ö., Özden, S. ve Tutkun, S.Z., 2011. Aktif fayların jeotermal alanlarla ilişkisine bir Örnek: 19 Mayıs 2011 Simav

depremi ile jeotermal kaynaklardan elde edilen verilerin anlamı, ATAG 15. Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, Adana, S:58.

- Ateş, Ö., Özden, S. ve Tutkun, S.Z., 2012. Jeotermal kaynaklarda depremlere bağlı gözlenen değişikliklere bir örnek: 19 Mayıs 2011 Simav depremi ve etkileri, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, sf 14-15.
- Ercan, T., Günay, E. ve Savaşçın, M.Y., 1982. Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması, MTA Dergisi, 97-98, 86-101.
- Eroğlu, A ve Aksoy, N., 2003. Jeotermal suların kimyasal analizi, VI. Ulusal Tesizat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı, 149-183.
- Gün, H., Akdeniz, N. ve Günay, E., 1979, Gediz ve Emet güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları, Jeoloji Mühendisliği Derg., 8, 3-13.
- Konak, N., 2002. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İzmir Paftası, M.T.A., Ankara.
- Nicholson, K.N., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, xv + 263 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag. Price DM 138.00, Ös 1076.40, SFr 138.00 (hard covers). ISBN 3 540 56017 3.
- Özden, S., Tutkun, S.Z., Bekler, T., Karaca, Ö., Komut, T., Kalafat, D., Ateş, Ö., Demirci, A.,
- Gündoğdu, E. ve Çınar Yıldız, S., 2012. Simav Fayı ile Kütahya Fayı (Emet-Orta Batı Anadolu) arasında kalan bölgenin Neotektonik ve Sismotektonik özellikleri, TÜBİTAK 109Y103 nolu proje final raporu, 235 s.
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000, Termal Kaynaklar: Depremin habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 deprem bölgelerindeki termal kaynaklarda gözlenen değişimler ve önemi, Cumhuriyet, Bilim Teknik, 01 Temmuz 2000.
- Yücel, B., Coşkun, B., Demirci, S. ve Yıldırım, N., 1983, Simav yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Der. Rap. No: 8219, 21s.
www.deprem.gov.tr

Makale Geliş Tarihi : 29.04.2014
Kabul Tarihi : 07.07.2014

Received : 29.04.2014
Accepted : 07.07.2014