



Akhüyük (Konya) Jeotermal Alanındaki Hidrotermal Akışkan Dolaşımı ve Traverten Oluşum Mekanizması, Orta Anadolu, Türkiye

Hydrothermal Fluid Circulation and Travertine Precipitation of Akhüyük (Konya) Geothermal Field, Central Anatolia, Turkey

Mehmet Furkan Şener*¹ 

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

Geliş/Received : 13.04.2018 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 15.06.2018 • Kabul/Accepted : 22.06.2018 • Baskı/Printed : 28.06.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Çalışma alanı olan Akhüyük Jeotermal alanı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinin güneybatı kısmında yer almaktadır. Alanda bulunan Akhüyük travertenleri Tuzgözü Fay Zonuna paralel bir çatlak hattı boyunca yüzeye ulaşan termal suların çökmesi sonucu oluşmuş sırt tipi bir traverten yapısıdır. Çalışma alanına ait kayaç numunelerinin tüm kaya XRD incelemelerinde tüm numunelerin kalsit mineralinden oluştuğu görülmektedir. Aynı numunelerin XRF analiz sonuçlarına göre alınan tüm numuneler yaklaşık %90 oranında Ca elementinden oluştuğu ayrıca bu Ca elementine Mg, S, Sr ve K gibi elementlerin eşlik ettiği gözlenmektedir. İnceleme alanında farklı kaynaklardan alınan su örneklerinin yüzey çıkış sıcaklıkları 17-35 °C arasında değişirken, pH değerleri 6.6-6.9 ve elektriksel iletkenlikleri (EC) 5600- 47700 µS/cm arasında değişmektedir. Çalışma alanından derlenen su örneklerinin Scholler diyagramına göre sular aynı kaynaktan beslenmektedir. Örneklerin iyon dağılımları suların katyonlarına göre Na+K>Ca+Mg, anyonlarına göre ise Cl+SO₄>HCO₃+CO₃ bölgelerinde yer alan Na-Cl tipinde sular olduğunu ve Giggenbach diyagramına göre çoğunlukla olgun olmayan sular sınıfında olduğunu göstermektedir. Su örneklemeleri sırasında ölçülmüş sıcaklıklardaki mineral doygunlukları, termal sularda genellikle kalsit, aragonit ve dolomit minerallerinin çökel oluşturduğunu gösterir. Elde edilen bu veriler ışığında oluşturulan üç boyutlu kavramsal modeline göre alanın temelini Paleozoyik yaşlı Niğde Grubu oluştururken, ısıtıcı kayayı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinde de olduğu gibi Üçkapılı Granadioriti ve jeogradyan, rezervuar kayayı Gekbez Formasyonuna ait kireçtaşları ve örtü kayayıda Pleyistosen-Holosen yaşlı güncel çökeller ile Akhüyük travertenleri oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akhüyük, hidrojekimya, kavramsal model, Orta Anadolu, traverten

Abstract: The Akhüyük geothermal field, which is the study area, is located in the southwest part of the Central Anatolian Volcanic Complex. Akhüyük travertine in the study area is a fissure-ridge type travertine formed as a result of sedimentation of thermal waters reaching the surface along a fault line parallel to the Tuzgözü Fault Zone. All rock samples of study area are composed of calcite mineral in whole rock XRD examination. According to the XRF analysis results of the same samples, all samples are composed of about 90% of Ca element and this Ca element is accompanied by Mg, S, Sr and K elements. Surface temperatures of water samples taken from different sources in the study area vary between 17-35 °C, pH values are 6.6-6.9 and electrical conductivities (EC) are between 5600-47700 µS/cm. According to the Scholler diagram of the water samples collected from the study area, the waters are fed from the same source. The ion distributions of the water samples are Na+K>Ca+Mg and Cl+SO₄>HCO₃+CO₃ according to the cations and anions, respectively and consist of Na-Cl type water. Mineral saturations in measured temperatures during water sampling indicate that calcite, aragonite and dolomite minerals are generally formed by precipitation in the thermal waters. According to the generated three-dimensional conceptual model of the field, the bedrock of the area is the Paleozoic Niğde Group, the heating system is composed by the Üçkapılı Granodiorite and

geogradyan as it is in the Central Anatolian Volcanic Complex. Reservoir rock is the limestones belonging to Gökbeş Formation and the cover rocks are the Akhüyük travertines with the Pleistocene-Holocene sediments.

Keywords: Akhüyük, Central Anatolia, conceptual model, hydrogeochemistry, travertine

GİRİŞ

Fosil yakıtlardan kaynaklı emisyonların neden olduğu çevre sorunları ve emisyonların çevresel etkilerinin gün geçtikçe ortaya çıkmasına bağlı artan çevre bilinci nedeniyle, temiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına eğilim artmaktadır. Jeotermal kaynak kapasitesi açısından Türkiye dünyada yedinci, Avrupa’da üçüncü sırada yer alır (Jennejohn vd. 2012). Jeotermal kaynaklarımızın %90’ı düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için uygun olup, %10’u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. Türkiye’nin jeotermal kaynaklarının geliştirilmesi ile gelecekte özellikle elektrik üretimi ve sera ısıtması için kullanımlarının artması beklenmektedir (Melikoglu, 2017; Haklıdır 2015; Aksoy, 2014; Serpen vd., 2009). Kaynak alanlarının araştırılmasında genel olarak jeolojik ve jeofiziksel metotlar kullanılmaktadır (Craig, 1953; Ellis ve Mahon, 1977; Keller, 1981; Fournier, 1991; Giggenbach, 1991; Pellerin vd., 1996; Aydemir ve Ates, 2008; Serpen vd., 2009; Özkan vd., 2011; Mauri vd., 2012; Maucourant vd., 2014).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan jeotermal arama çalışmalarında Orta Anadolu’da bulunan sistemlerin jeotermal enerji elde etmek için uygun olduğu ancak bölgenin iklim koşullarından dolayı sistemin rezervuarını besleyecek yeterli akışkanın olmadığı ortaya koyulmuştur (Minissale vd., 2013; De Filippis vd., 2013; Şener vd., 2017). Jeokimya ve hidrojeokimyanın kombinasyonu, termal sistem ve akışkan geçmişlerinin mükemmel bir göstergesidir ve keşfedilmemiş, gizlenmiş jeotermal sistemlerin evrimi ve dağılımı

hakkında önemli bilgiler verir. Bu nedenle jeotermal sistemlerin gelişimi, bağlı olduğu jeolojik, tektonik ve fiziki koşulları yorumlamada jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları kullanılarak oluşturulan kavramsal modeller kullanılmaktadır.

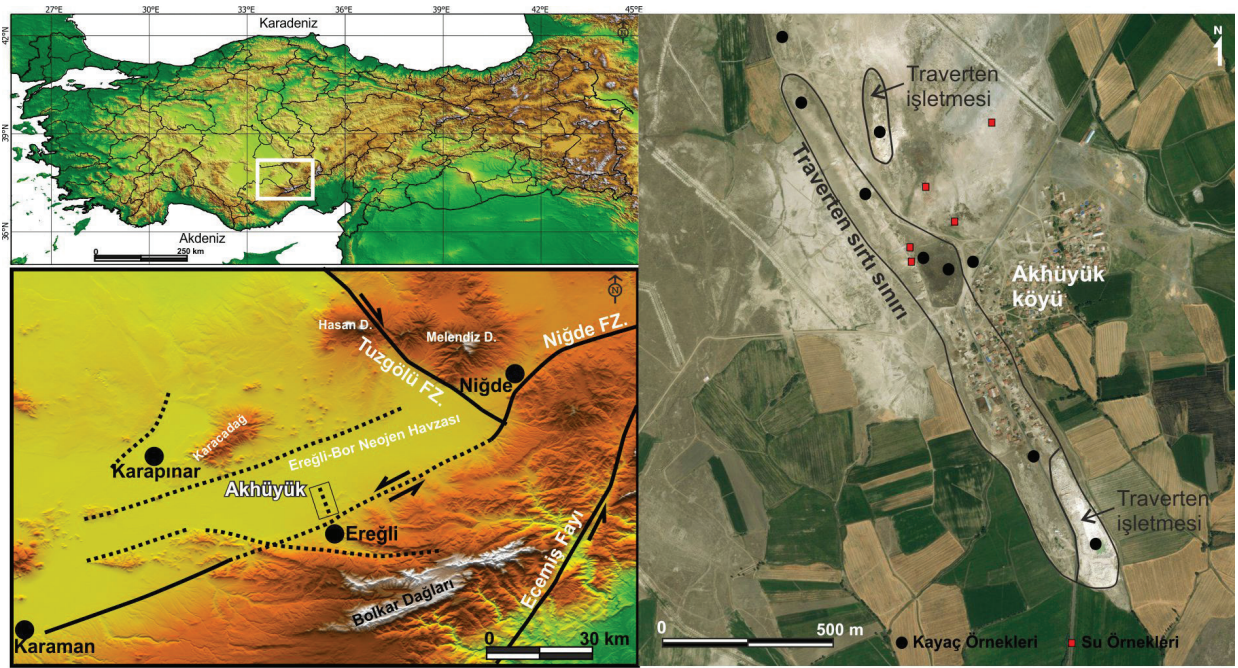
Bu çalışma kapsamında Orta Anadolu’da bulunan Konya ili Ereğli ilçesine bağlı Akhüyük köyünde traverten oluşumunu sağlayan CaCO_3 içerikli akışkanlar ve travertenler incelenerek alandaki jeotermal sistemin kimyasal, fiziksel ve potansiyel özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Orta Anadolu’da bulunan jeotermal alanların kimyasal ve fiziksel özellikleri, volkanik, tektonik ve hidrojeokimyasal özellikleri birçok araştırmacı tarafından çalışılmış olmakla birlikte (Roberts vd., 1979; Kazancı vd., 1995; İlkısık vd., 1997; Tekin vd., 2000; Ates vd., 2005; Buyuksarac vd., 2005; Diker vd., 2006; Polat 2011; Pasvanoglu ve Gültekin, 2012; Mesci, 2012; Kıyak vd., 2015; Bozdağ, 2016; Yurteri ve Simsek, 2017; Balkan vd., 2017; Şener vd., 2017), çalışma alanında bulunan jeotermal sisteme ait su kayaç ilişkisi ilk defa bu çalışmada ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile alandaki akışkanların hidrojeokimyasal özellikleri ve beslenme alanları belirlenmiş ve kayaçların kimyası ile yorumlanarak alanın kavramsal modeli oluşturulmuştur.

ÇALIŞMA ALANI VE BÖLGESEL JEOLJİ

Çalışma alanı $34,0575^\circ$ - $34,0675^\circ$ doğu boylamları ile $37,5975^\circ$ - $37,6025^\circ$ kuzey enlemleri arasında, Ereğli ilçesinin (Konya) kuzey kesiminde yer almaktadır. Çalışma alanını kontrol eden ana tektonik yapılar Tuzgölü Fay Zonu (TGFZ) ve Niğde fay zonudur (NFZ). Tuzgölü Fay Zonu (TGFZ) $K30^\circ B$ yönlü, yaklaşık 220 km uzunluğa

ve 15-25 km genişliğe sahip, sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır (Toprak ve Göncüoğlu 1993; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Çemen vd., 1999). Konya-Karaman havzasının güneydoğu sınırını kontrol eden bir diğer önemli tektonik yapı Niğde Fay Zonu (NFZ)'dir. NFZ, Niğde ili kuzeydoğusundan başlayan ve Karaman ili güneydoğusuna kadar uzanan yaklaşık 170 km uzunluğa ve 7-8 km genişliğe sahip sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur (Koçyiğit, 2003; Şekil 1).

oluşturmaktadır (Atabey ve Ayhan, 1986). Bölgede temel birimlerin üzerinde Paleosen-Eosen yaşlı Ulukışla-Çamardı Grubu yer almaktadır (Atabey ve Ayhan, 1986). Orta Miyosen' de gelişen orojenik hareketler, Orta-Üst Miyosen gölünde çökelen birimler ile evaporitik ve molas türde çökeller bu birimler üzerine gelmekte ve içinde jipsli yeraltı sularının meydana getirdiği jips damarları bulunmaktadır (Oktay, 1982). Bu formasyonun üzerine göl sularının derinleşmesi



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

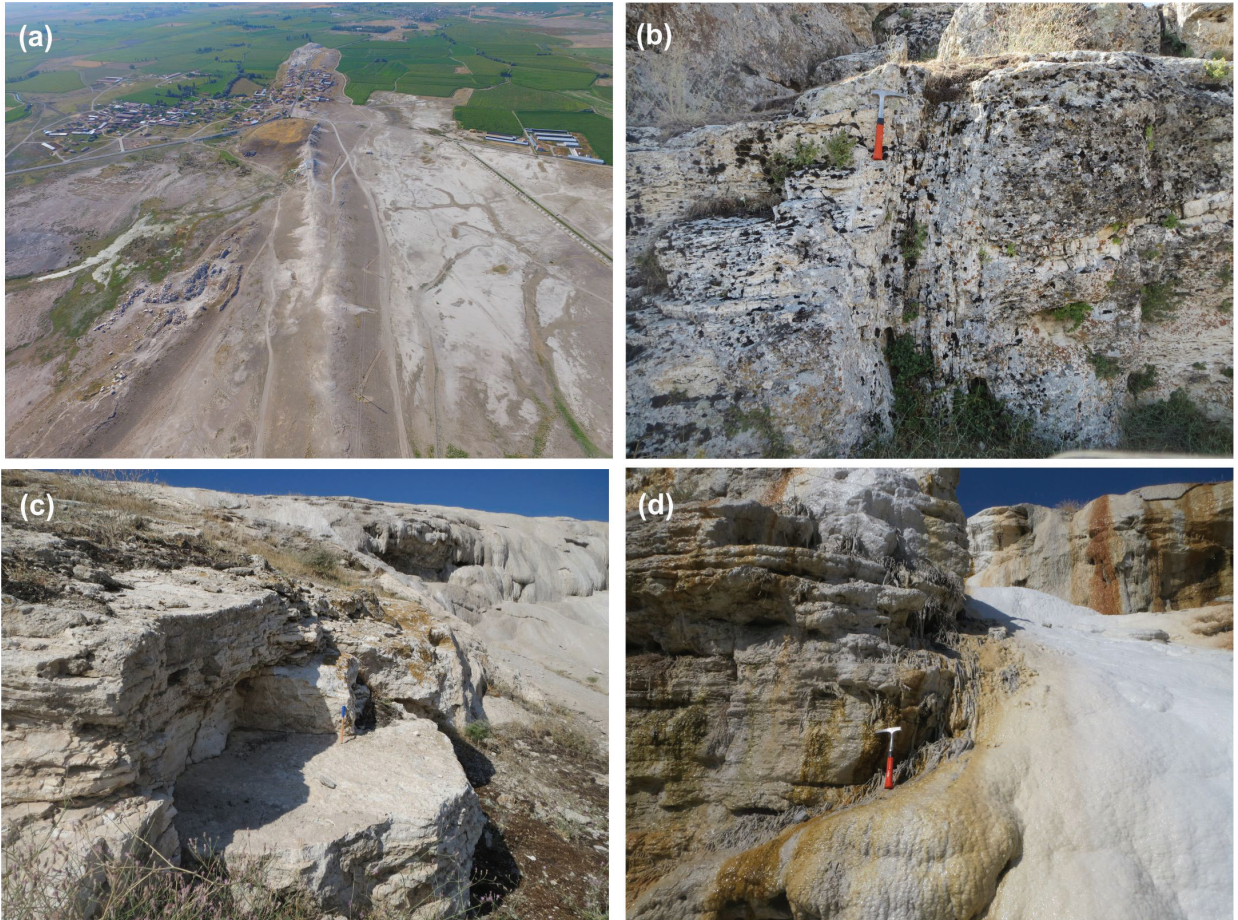
Figure 1. Location map of the study area.

Akhüyük ilçesinin içinde bulunduğu Ereğli-Bor Neojen Havzası kuzeyden Orta Anadolu Volkanik Kompleksine ait Yalçınlar (1954) tarafında Neojen-Kuvaterner arası dönemde oluştuğu tespit edilen Karacadağ (1960 m) ve güneyden Bolkar Dağları (Orta Toros Dağları) ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1). Ereğli-Bor Neojen Havzasının en yaşlı birimlerini, Alt Paleozoyik-Mezozoyik (?) yaşlı gnays, mermer, kuvarsit ve amfibolitlerle temsil edilen Niğde Masifi' nin metamorfik kayaları (Niğde Grubu)

ile ince kırıntılılar ve kireçtaşı-marn ardalanması gelmektedir. Kireçtaşları beyaz, kirli beyaz renkte sert, ince ve düzgün katmanlıdır. Kireçtaşları üzerine gelen marnlar ise yeşilimsi gri renkli, midye kabuğu kırılımındadır (Oktay, 1982). Bu formasyon üzerine uyumsuzlukla Üst Miyosen-Pliyosen' den başlayarak Kuvaterner' e kadar devam eden bir dizi volkanik birimler gelmiş ve havzayı tuzluluk bakımından etkilemiştir (Dönmez vd., 2003). Üst Miyosen-Pliyosen' de büyük tektonik hatlar üzerinde gelişen

Melendizdağ ve Hasandağ volkanizması ovadaki yükseltileri meydana getirmektedir. Bu volkanik istifin altında Melendiz volkaniklerine ait ojit-andezit ve piroksen-andezit türdeki lavlar, üzerinde andezit-bazalt türdeki Hasan Dağ volkanizması ve son olarak da ovadaki alkalin türdeki volkanizma takip etmektedir (Dönmez vd., 2003). İstifin en üst bölümü ise iri kireçtaşı çakılı konglomera ile temsil edilmektedir. Kumtaşları yer yer konglomera

seviyeleri içinde mercekler şeklindedir. Bu çalışmanın ana konusu olan ve Akhüyük köyünde gözlemlenen travertenler stratigrafik kesite göre alandaki alüvyonların altında temsil edilmektedir (Temiz ve Savaş, 2018). Traverten kütlesi Üst Pleistosen birimleri üzerinde stratigrafik olarak konumlandıkları ve traverten oluşumu halen devam ettiği için yaşı Üst Pleistosen-Holosen olarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. (a) Çalışma alanının dron ile çekilmiş genel görünümü, (b) çalışmada bulunan ve traverten çökelişini sağlayan çatlak yapıları, (c) çalışmada oluşan eski ve yeni traverten yapıları, (d) çalışmada bulunan ve halen aktivitesi devam eden traverten oluşumları.

Figure 2. (a) General view of the study area with drone (unmanned aerial vehicle), (b) Cracked structures in the study area that provide travertine sedimentation, (c) The old and new travertine structures, (d) Continuing travertine structures in the study area.

YÖNTEM

Eylül 2017 tarihinde yapılan arazi çalışmalarında alandan farklı lokasyonlara ait 9 adet traverten ve 5 adet su numunesi (2 adet doğal çıkış 2 adet sondaj ve 1 adet su kuyusu) alınmış ve 1/25000 ölçekli M32d4 paftasına işlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının hidrolojik kavramsal modelini oluşturmak için inceleme sırasında drone (insansız hava aracı) ile görüntüler alınmıştır. Su örneklemeleri sırasında EC (elektriksel iletkenlik), pH (hidrojen potansiyeli) ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Alınan kayaç numunelerinin mineral içeriğinin tespiti için tüm kaya X-Işını Difraktometresi (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analizi 40 kV ve 30 mA'de 30 s hızında ve 2° - 60°'de 0.05° aralıklarında, Bragg-Brentano geometrisi ve CuK α radyasyonu ile Panalytical Empyrean X-ışını kırınım cihazı kullanılarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ölçülmüştür. Aynı kayaç numunelerinin kimyasal içeriğini öğrenmek için X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) analizi yapılmıştır. XRF analizleri ise 1-4 kV gücünde ve Rh, Cr, Mo ve Au geometrilerinde Panalytical Zetium cihazı kullanılarak Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında ölçülmüştür. Çalışma alanından derlenen su numunelerinin major anyon katyon analizleri Konya DSİ bölge müdürlüğü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizleri değerlendirilerek Akhüyük jeotermal alanının hidrojeolojik kavramsal modeli ortaya konulmaya çalışılmıştır.

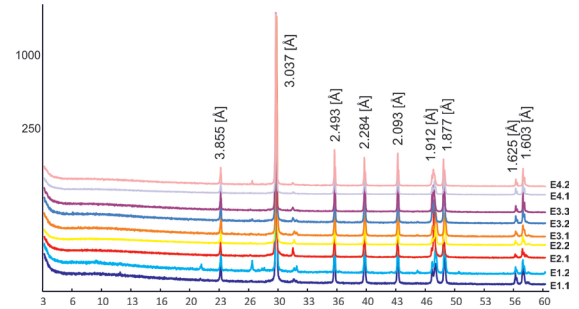
BULGULAR

Jeokimyasal Değerlendirmeler

X-Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi:

XRD analizi kayaçları oluşturan mineral içeriklerinin belirlenmesinde kullanılan faydalı bir tekniktir. Çalışma alanından derlenen 9 adet kaya örneğine ait tüm kayaç XRD analiz sonucuna göre tüm numuneler kalsit mineralinden oluşmakta ve

genel olarak tüm örnekler 3.035; 2.495; 2.284; 2.094; 1.912 ve 1.875 Å değerlik göstermektedir (Şekil 3). Kalsit CaCO $_3$ kimyasal formülüne sahip, Mohs sertlik sıkalasına göre sertliği 3 ve yer yuvarının yaklaşık %4 ünü oluşturur.



Şekil 3. Çalışma alanına ait traverten örneklerinin tüm kaya XRD grafiği

Figure 3. Whole rock XRD graph of rock samples of the study area.

X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi:

Çalışma alanından alınan traverten örneklerinin XRF içeriklerine göre numuneler XRD sonuçlarına paralel olarak % 84-90 oranında Ca elementinden oluşmakta ve bu Ca elementine Si ve Mg elementleri eser oranda eşlik etmektedir (Tablo 1). Genel olarak travertenlerde; SiO $_2$ ve Al $_2$ O $_3$ sertliği, Fe $_2$ O $_3$ ve Na $_2$ O ise travertenin rengini etkilemektedir. Traverten içeriğindeki MgO oranı ise, travertenlerin oluşum sürecini bazik - ultrabazik kayaçlarla ilişkisinin açıklanmasında yardımcı olabilmektedir (Ayaz, 2002). Çalışma alanda eski traverten tabakalarından alınan ve sahada en yaşlı traverten olduğu düşünülen E1-2 numunesi haricindeki diğer tüm numunelerin Fe $_2$ O $_3$ değerleri düşüktür. Bu durum travertenleri oluşturan akışkanların rezervuardan yüzeye gelirken volkanik kayalarla etkileşime girmesi ile açıklanabilir. Çalışma alanındaki traverten örneklerinden sırt yapısında bulunan örneklerde Ca miktarının daha fazla olduğu görülmekte bu da travertenin oluşturan akışkanın CaCO $_3$ içerikli kayaçlardan süzülerek yüzeye geldiğini göstermektedir.

Çizelge 1. XRF analizlerine göre inceleme alanına ait kayaç örneklerinin ana oksit içerikleri.**Table 1.** Main oxide contents of the rock samples of the study area according to XRF analyses.

Numune No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
E1-1	2,458	0,173	0,036	0,304	0,012	90,093	2,800	0,232	0,447	0,044
E1-2	7,284	1,351	0,176	1,623	0,023	79,972	2,083	1,430	1,339	0,038
E2-1	0,446	0,086	-	0,090	-	93,314	0,398	0,152	0,522	0,016
E2-2	2,152	0,298	-	0,245	-	93,473	1,682	0,062	0,186	0,037
E3-1	2,092	0,204	-	0,190	-	91,783	1,065	0,195	1,000	0,036
E3-2	3,380	0,683	0,078	0,592	-	86,344	2,142	0,277	0,773	0,025
E3-3	0,536	0,114	-	0,065	-	92,358	0,473	0,160	0,687	0,014
E4-1	2,159	0,481	0,054	0,273	-	91,802	0,509	0,208	0,375	0,057
E4-2	1,985	0,530	0,081	0,744	-	88,141	0,518	0,221	0,583	0,048

Hidrojeokimyasal İncelemeler

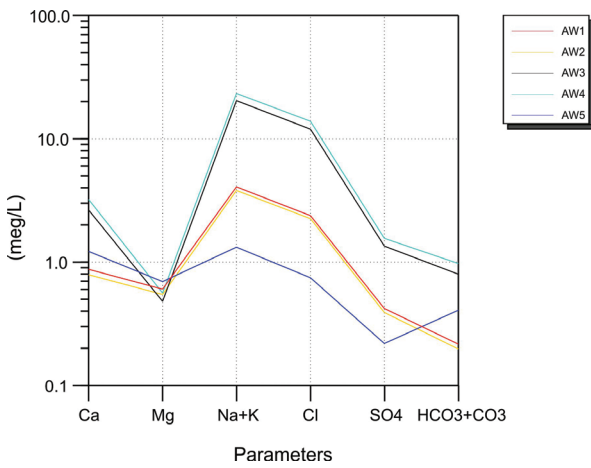
Suda bulunan katyon ve anyonlar yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, yeraltı sularının kirlenmesi ve iyileştirilmesi gibi problemlerin çözülmesi gibi araştırmalarda kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturur. Çalışma kapsamında alınan 5 adet su örneğine ait majör anyon (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ ve NH⁺) ve katyon (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, CO₃²⁻ ve ⁴HCO₃⁻) analiz sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir. Akhüyük traverten

alanında yapılan arazi çalışmasında su çıkış noktalarında yapılan sıcaklık ölçümlerine göre suların sıcaklıkları 17-31,8°C arasında ve pH değerleri 6,64-6,83 aralığında değişmekte olup, bu sular hafif asidik sular sınıfında yer almaktadırlar. Yine yapılan ölçümlerde elektrik iletkenliği 5600-47700 µS/cm, toplam mineral içeriği 601-2608 mg/l arasındadır. Çalışma alanındaki sular genel olarak Na-Cl su tipinde olup, çözünmüş madde miktarına göre sodyum clorür sular sınıfında değerlendirilmektedir. Kanyak çevresinde traverten oluşumları oldukça yaygın olup kaynak çıkışı bol CO₂ gazlı ve kükürt kokuludur.

Çizelge 2. Sıcak ve mineralli su kaynağının fiziko-kimyasal analiz sonuçları.**Table 2.** Physico-chemical analysis results of hot and mineral water source.

Numune adı	pH	Sıcaklık (°C)	EC, µS/cm	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	CO ₃ , mg/L	HCO ₃ , mg/L
AW-1	6,8	17,5	10820	1959	210	80	319	9	2728	882	8,36	130	0	733
AW-2	6,9	18,2	11230	2014	216	79	317	11	2829	899	11,9	130	0	735
AW-3	6,7	31,7	47300	10769	1041	70	1062	149	15072	3110	16,9	-	0	2976
AW-4	6,6	31,8	47700	10825	1041	71	1135	148	15339	3158	16,1	-	0	3181
AW-5	6,8	17	5600	699	77	101	489	-	940	504	-	54	0	1515

Yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre Akhüyük jeotermal sularından AW1, AW2, AW3, AW4 numuneleri $Na+K > Ca > Mg$, $Cl > SO_4 > HCO_3$; ve AW5 numunesi $Na+K > Ca > Mg$, $HCO_3 > Cl > SO_4$ biçiminde iyon düzenine sahiptir. Ayrıca çalışma alanındaki sular benzer iyon konsantrasyonları sergiledikleri için aynı akiferden geldiği düşünülmektedir (Şekil 4). Su analiz sonuçlarına göre yüksek Na değerleri plajyoklasların ayrışması veya Akhüyük jeotermal alanın Alt Pleyistosen döneminde Tuzgölü havzası sınırlarında olması ile açıklanabilir. Kuyu suyu olan AW5 numunesi hariç diğer suların yüksek Cl iyon konsantrasyonu değeri ise ya akifere tuzlu su karışımı ile veya jeotermal suların derin dolaşımı ile açıklanabilir (Şekil 4).

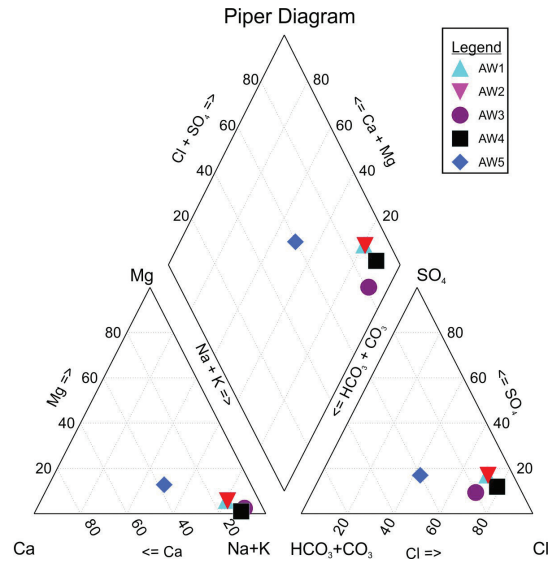


Şekil 4. Çalışma alanına ait su örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramında gösterimi (Schoeller, 1977).

Figure 4. Demonstration of the water samples of the study area in the semi-logarithmic Schoeller diagram (Schoeller, 1977).

Piper Üçgen diyagramı anyon ve katyonların (% meq/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında

ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Akhüyük jeotermal alanındaki sıcak sular Na-Cl tipinde sulardır (Şekil 5). Kuyu suyu olan AW5 ise diyagramda Na-Ca-Cl-HCO₃ su tipinde olup, baskın iyonlar Na ve Cl'dir. Bölgedeki suların toplam iyon derişimine bakıldığında AW3 ve AW4 daha uzun dolaşımli sular olduğu görülmektedir. Ayrıca ölçülen EC değerleri de bu sonucu desteklemektedir.

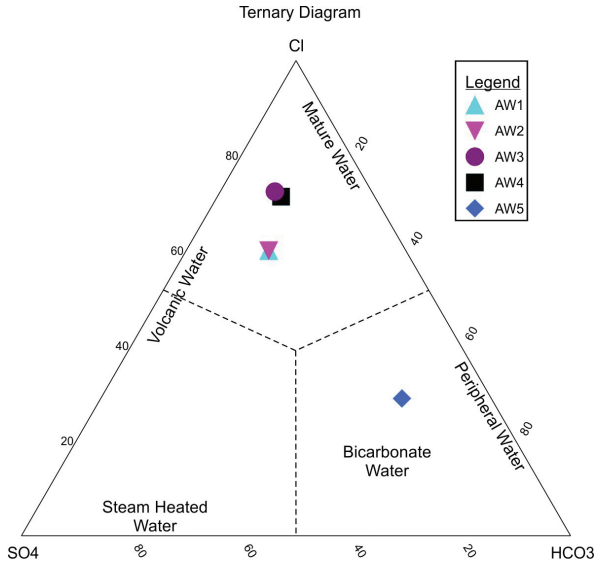


Şekil 5. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramında gösterimi (Piper, 1944).

Figure 5. Piper diagram of the water samples taken from the study area (Piper, 1944).

Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramında (Giggenbach, 1988) Akhüyük su örneklerinden kuyu suyu olan AW5 numunesi bikarbonat sular bölgesinde yer alırken geri kalan numuneler klorid sular bölgesinde yer alır. Akhüyük jeotermal alanındaki suların akifer kayası kireçtaşı ve marn aralanmalıdır ve sular kalsiyumca zengin bu seviyelerden süzülerek yüzeye ulaşmaktadır. Ayrıca Na-Cl tip termomineral sular yüksek sıcaklıklarda ve derin akiferlerde kayaçlardan çözünen mineraller ve iyon değişim reaksiyonlarının sonucunda oluşabilmektedir

(Gemici ve Tarcan, 2002). Jeotermal sularda bulunan Na, sodyum taşıyan silikatların çözünmesinden veya termomineral akiferlerdeki minerallerin buharlaşması sonucu olabileceği düşünülmektedir (Tarcan vd., 2005).

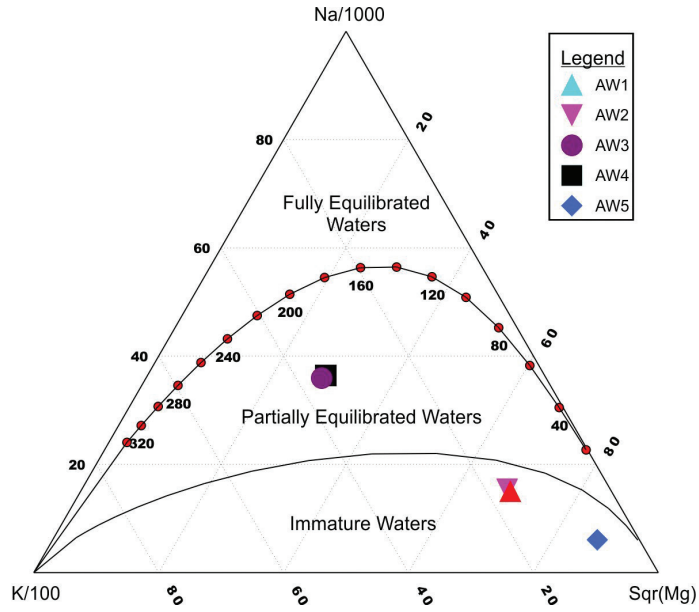


Şekil 6. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Ternary diyagramında gösterimi.

Figure 6. Ternary diagram of the water samples taken from the study area.

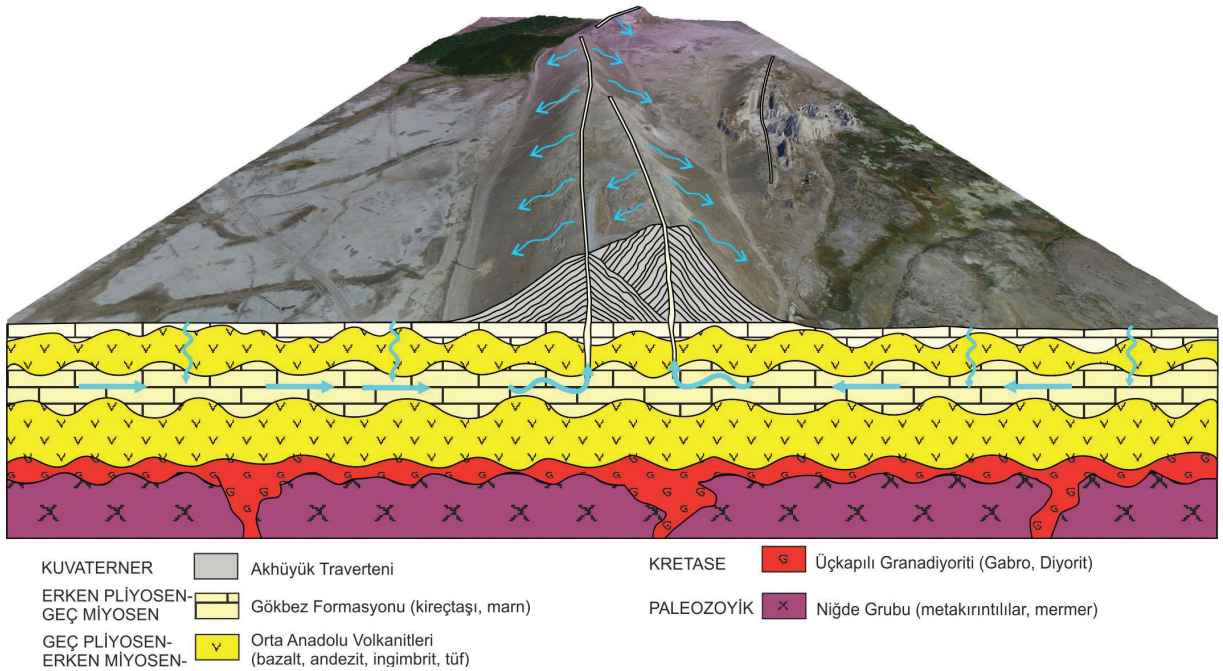
Na-K-Mg üçgen diyagramı jeotermal suların kökenini, dengeye ulaşmış olup olmadıklarının kontrolünü ve uygun jeotermometrelerin seçiminde kullanılmaktadır (Giggenbach, 1988). Na-K-Mg üçgen diyagramına göre Akhüyük jeotermal sahasındaki sulardan doğal çıkış olan AW1, AW2 ve AW5 olgun olmayan sular sınıfındayken AW3 ve AW4 numuneleri kısmi dengede sular alanına denk gelmektedir. Bu sular sığ dolaşımli yeraltısuyu ile karışmış sular olarak tanımlanmaktadır (Şekil 7).

Jeotermal sistemlerde traverten yapıları aktif fayların belirlenmesinde önemli araçlardan biridir (Giggenbach, 1988; Atabey, 2003). Jeotermal alanlarda ısının kaynağı volkanizma, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya tektonik etkinliğe bağlı olarak değişir. Tüm bu faaliyetler jeotermal alanın bulunduğu bölgede ısı akısının yüksek olmasına neden olur. Güncel volkanik etkinliğin var olmaması nedeniyle Orta Anadolu ve Doğu Anadolu gibi genç volkanik alanlarda jeotermal sistemin ısı kaynağını genel olarak soğumasını henüz tamamlayamamış magma ve tektonizma olduğu kabul edilmektedir (Mutlu ve Güleç, 1998). Akhüyük jeotermal alanındaki ısı kaynağının Orta Anadolu bölgesinde sıklıkla yüzlek veren Kretase yaşlı granit, granodiyorit sokulumu, tektonizma ve jeotermal gradyan olduğu düşünülmektedir (Şekil 8). Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesitinde alandaki travertenlerin altında Kapadokya volkanitlerine ait birimler ile Gökbez Kireçtaşları bulunmaktadır. Kapadokya volkanizmasına ait bu birimler hidrojeolojik olarak çok az su içerebilir olmasına rağmen tektonizmanın etkisiyle ikincil porzite ve permeabilite kazandığı için yer yer rezervuar özelliği gösterebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında bulunan kırık ve çatlaklı zonlardan süzülen sular volkanitlerin altında bulunan kireçtaşı birimleri içerisinde birikerek rezervuarı oluşturur. Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük termal iletkenliğe ve düşük geçirimsizliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir. Çalışma sahasında bulunan tektonizmadan az etkilenen volkanitler ile güncel alüvyal çökeller sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır. Ayrıca alanda bulunan travertenler beslenme alanına düşen yağış sularının derinlere süzülmesi ve fay düzlemi boyunca tekrar yüzeye yükselerek çökmesi sonucunda oluşmuş tektonik kontrollü sırt tipi bir traverten özelliğindedir (Şekil 8).



Şekil 7. Çalışma alanına ait su örneklerinin Giggenbach diyagramında gösterimi (Giggenbach, 1988).

Figure 7. Demonstration of water samples from the study area in the Giggenbach diagram (Giggenbach, 1988).



Şekil 8. Akhüyük jeotermal alanının hidrojekimyasal kavramsal modeli ve traverten oluşum mekanizması.

Figure 8. Hydrogeochemical conceptual model of Akhüyük geothermal field and mechanism of travertine formation.

SONUÇLAR

Konya ili Ereğli ilçesinde yer alan Akhüyük traverten alanında bulunan jeotermal sular ve bu akışkanların kayaç ilişkisinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada, çalışma alanının jeolojisi, travertenlerin jeokimyası ve termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanından derlenen kayaç örneklerinden yapılan XRD analiz sonuçlarına göre alandaki tüm kayaçlar kalsit mineralinden oluşmaktadır. Aynı örneklerle ait XRF analizlerine göre de tüm numunelerde %90 oranında Ca elementi bulunmakta ve bu Ca elementine Mg, S, Sr ve K gibi elementler eser oranında eşlik etmektedir. Çalışma sahasından derlenen örneklerin hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına göre, sondaj ve doğal çıkış olan örnekler Na-Cl su tipinde olup kuyu suyu olan AW5 numunesi ise Na-Ca-Cl-HCO₃ su tipindedir ve baskın iyonlar Na ve Cl'dir. Akhüyük jeotermal sularında yüksek Na değerleri plajyoklasların ayrışması veya Akhüyük jeotermal alanın Alt Pleyistosen döneminde Tuzgölü havzası sınırlarında olması ile açıklanabilir. Ayrıca suların yüksek Cl değerleride yine ya akifere tuzlu su karışımı ile veya jeotermal suların derin dolaşımı ile açıklanabilir. Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramında Akhüyük su örneklerinden kuyu suyu olan AW5 numunesi bikarbonat sular bölgesinde yer alırken geri kalan numuneler klorid sular bölgesinde yer alır. Na-K-Mg üçgen diyagramına göre Akhüyük traverten alanına ait jeotermal sulardan AW3 ve AW4 örnekleri kısmi dengede sular sınıfında yer alırken AW1, AW2 ve AW5 numuneleri olgun olmayan sular sınıfında yer almaktadır. Tüm bu veriler dikkate alınarak jeotermal sistemin hidrojeokimyasal kavramsal modeli ve bu akışkanlara bağlı gelişen travertenlerin oluşum mekanizması oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele göre çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı Niğde Grubu oluşturken, ısıtıcı kayayı Orta Anadolu Volkanik Kompleksinde de olduğu gibi Üçkapılı

Granadiyoriti ve tektonizmaya bağlı jeogradyan, rezervuar kayayı Gökbeş Formasyonuna ait kireçtaşları ve örtü kayayıda Pleyistosen-Holosen yaşlı güncel çökeller ile Akhütük travertenleri oluşturur. Ayrıca yapılan incelemelere göre çalışma alanı tektonik kontrollü olup güneyinden Niğde Fay Zonu ile sınırlandırılmakta ve alandaki travertenler Tuzgölü fayına paralel bir çatlak hattından sızan Ca bakımında zengin sulardan çökelen malzemenin birikmesiyle meydana gelmektedir. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmalardan elde edilen veriler, bu alanda jeotermal sahaların yanı sıra, jeotermal sistemin devamlılığının takip edilmesi sonucunda benzer hatta daha sıcak jeotermal sahaların da ortaya çıkma potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

KATKI BELİRTME

Yazar bu çalışmanın değerlendirme sürecindeki katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Zeynel ÖZTÜRK, Mahmut İSPİR ve Ferhat BAHADIR'a teşekkür eder.

EXTENDED SUMMARY

Akhüyük travertine region is located at southeast of Konya, Central Turkey. It extends NW-SE direction with an approximate width of 400 m and length of 2.5 km. The study area is formed parallel to the Tuzgölü Fault Zone and is limited by the Niğde Fault Zone from south. The basic units of the study area are the metamorphic rocks of the Niğde Massif (Niğde Group) represented by Lower Paleozoic gneiss, marble, quartzite, and amphibolite. On the basement units are the Paleocene-Eocene Ulukisla-Çamardı Group which is formed by clastic and limestone-marl alternation. A series of volcanic units, starting from Upper Miocene-Pliocene to the Quaternary, are came unconformably over this formation and affected the basin in terms of salinity. The uppermost part of this stratigraphic sequence is

represented by coarse limestone, travertine and conglomerates. The age of the travertine mass was determined as Upper Pleistocene-Holocene due to they are located stratigraphically over the Upper Pleistocene units and the formation of travertine is still continuing. In this study, it is aimed to investigate the travertine and fluids interaction (travertine formation mechanism), to determine the origin of the travertines in the field and to reveal the hydrogeochemical characteristics of fluids. In the scope of this study, 9 rocks and 5 water samples were taken from Akhüyük travertine area. Whole rock XRD and XRF analyzes were made from the rock samples and major anion and cation analyzes were performed from the water samples. The XRD analysis shows that CaCO_3 containing minerals especially calcite mineral occur as the dominant mineral along fault zones providing pathways for fluid rising. According to the XRF analyzes of the same samples, 90% of the Ca element is present in all the samples and this Ca element is accompanied by trace amount of elements such as Mg, S, Sr and K. According to ion chemistry, the Akhüyük geothermal system is fed from meteoric water. The geothermal waters are classified as Na-Cl water type with the dominant cations in increasing order of $\text{Na}+\text{K}>\text{Ca}>\text{Mg}$ while the anions are $\text{Cl}>\text{SO}_4>\text{HCO}_3$. The high Cl values can be explained by deeply circulated waters or by the salt water mixture, whilst the high Na values can be explained by the decomposition of plagioclases or by the fact that the Akhüyük geothermal field is in the Tuzgölü basin boundary during the Lower Pleistocene. According to the semi logarithmic Schoeller diagram, the thermal waters are come from same or similar aquifer since the waters exhibit parallel ion concentrations. Piper diagram shows that the hot waters in the region are Na-Cl type water and cold water is Na-Ca-Cl- HCO_3 type water. According to the Na-K-Mg triangular diagram, AW1, AW2 and AW5 samples are immature waters while AW3 and AW4 samples are partially equilibrated waters.

According to the created geothermal conceptual model, the heating rock of the system is Üçkapılı granodiorite as such in the Central Anatolian Volcanic Complex and geogradyan connected with tectonism, the reservoir rock is limestones belonging to the Gökbez Formation and the cover rock is composed of Pleistocene-Holocene sediments and Akhüyük travertines.

ORCID

Mehmet Furkan Şener  <https://orcid.org/0000-0002-7362-2738>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aksoy, N. 2014. Power generation from geothermal resources in Turkey. *Renewable Energy*, 68, 595-601
- Atabey, E. 2003. Tufa ve Travertenler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:75, Ankara.
- Atabey, E. ve Ayhan, A. 1986. Nigde, Ulukisla, Çamardi, Çiftehane yöresinin jeolojisi. MTA. Derleme Rapor No. 8064. 60s
- Ates, A., Bilim, F. and Buyuksarac, A. 2005. Curie point depth investigation of central Anatolia, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 162, 2, 357-371.
- Ayaz, M.E. 2002. Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar ve tabiat varlığı olarak önemleri. *C. Ü. Yerbilimleri*, 19, 123-134.
- Aydemir, A. and Ates, A. 2008. Determination of hydrocarbon prospective areas in the Tuzgolu (Saltlake) Basin, Central Anatolia, by using geophysical data. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 62:36-44. Doi: 10.1016/j.petrol.2008.07.005
- Balkan, E., Erkan, K. and Salk, M. 2017. Thermal conductivity of major rock types in western and central Anatolia regions, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 14, 4, 909-919.
- Bozdog, A. 2016. Hydrogeochemical and isotopic characteristics of Kayak (Seydisehir-Konya) geothermal field, Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, 121, 72-83.
- Buyuksarac, A, Jordanova, D, Ates, A. and Karloukovski, V. 2005. Interpretation of the

- gravity and magnetic anomalies of the Cappadocia region, Central Turkey. *Pure Applied Geophysics* 162:2197–2213
- Craig, H. 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 3:53–92. doi: 10.1016/0016-7037(53)90001-5
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C. and Dirik, K. 1999. Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 107 (6), 693-706.
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Soligo, M. and Tuccimei, P. 2013. Plateau versus fissure ridge travertines from quaternary geothermal springs of Italy and Turkey: interactions and feedbacks between fluid discharge, paleoclimate, and tectonics. *Earth Science Reviews*, 123:35–52. doi:10.1016/j.earscirev.2013.04.004
- Diker, S., Celik, M. and Kadioglu, Y.K. 2006. Finger prints of the formation of geothermal springs on the granitoids: Beypazari-Ankara, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 3, 365-375.
- Dirik K. and Göncüoğlu, M.C. 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807–817. doi:10.1080/00206819709465363.
- Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, E.A. 2003. Kayseri Niğde ve Nevşehir yöresi Tersiyer volkanikleri raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10575. Ankara (yayımlanmamış).
- Ellis, A.J. and Mahon, W.A.J. 1977. Chemistry and geothermal systems. Academic Press, New York, 392s.
- Fournier, R.O. 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. In: D'amore F (ed) UNITAR/UNDP, Rome, pp 37–69
- Gemici, Ü. and Tarcan, G. 2002. Hydrogeochemistry of Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. *Journal Volcanology and Geothermal Research*, 116, 215–233
- Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal solute equilibria: derivation of Na-K-mg-Ca geoindicators. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 52, 2749–2765. Doi:10.1016/0016-7037(88)90143-3
- Giggenbach, W.F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In: D'Amore F (ed) Applications of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP, Rome, pp 119–142
- Haklıdır, F.S.T. 2015. Geothermal Energy Sources and Geothermal Power Plant Technologies in Turkey, Energy Systems and Management, 115-124.
- Ilkiskik, O.M., Gurer, A., Tokgoz, T. and Kaya, C. 1997. Geoelectromagnetic and geothermic investigations in the Ihlara Valley geothermal field, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78, (3-4), 297-308.
- Jennejohn, D., Hines, B., Gawell, K. and Blodgett, L. 2012. Geothermal: international market overview report. Geothermal Energy Association, Washington, DC
- Kazancı, N., Gevrek, A.I. and Varol, B. 1995. Facies Changes and High Calorific Peat Formation in A Quaternary Maar Lake, Central Anatolia, Turkey-The Possible Role of Geothermal Processes In A Closed Lacustrine Basin. *Sedimentary Geology*, 94, (3-4), 255-266.
- Keller, W.D. 1981. The sedimentology of flint clay. *Journal of Sedimentary Research*, 51, 233–244. Doi:10.1306/212F7C57-2B24-11D7-8648000102C1865D
- Kıyak, A., Karavul, C., Gulen, L., Peksen, E. and Kilic, A.R. 2015. Assessment of geothermal energy potential by geophysical methods: Nevşehir Region, Central Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 295, 55-64.
- Koçyiğit, A. 2003. Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri, Haymana-Tuzgölü-Ulukişla Basenleri Uygulamalı çalışma, Aksaray, TPJD, Özel sayı: 5, 1-26.
- Maucourant, S., Giammanco, S., Greco, F., Dorizon, S. and Del Negro, C. 2014. Geophysical and geochemical methods applied to investigate fissure-related hydrothermal systems on the summit area of Mt. Etna volcano (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 280, 111–125. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.05.014
- Mauri, G., Williams-Jones, G., Saracco, G. and Zurek, J.M. 2012. A geochemical and geophysical investigation of the hydrothermal complex of Masaya volcano, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 227–228, 15–31. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.02.003

- Melikoglu, M., 2017. Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 485-492.
- Mesci, B.L. 2012. Active tectonics of the Ortakoy fissure-ridge-type travertines: implications for the Quaternary stress state of the neotectonic structures of the Central Anatolia, Turkey, *Geodinamica Acta*, 25, 1-2, 12-25.
- Minissale, A., Vaselli, O., Mattash, M., Montegrossi, G., Tassi, F., Ad-Dukhain, A., Kalberkamp, U., Al-Sabri, A. and Al-Kohlani, T. 2013. Geothermal prospecting by geochemical methods in the Quaternary volcanic province of Dhamar (central Yemen). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249, 95-108. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.09.013
- Mutlu, H. and Güleç, N. 1998. Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 85, 495-515.
- Oktay, F. 1982. Ulukışla ve çevresinin stratigrafisi ve jeolojik evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 25, 15-24.
- Özkan, R., Şener, M., Helvacı, C. ve Şener, M.F. 2011. Aliğa (İzmir) jeotermal alanındaki hidrotermal alterasyonlar ve termal sularla ilişkisi. *Yerbilimleri Dergisi*, 32, 141-168.
- Pasvanoglu, S. and Gultekin, F. 2012. Hydrogeochemical study of the Terme and Karakurt thermal and mineralized waters from Kirsehir Area, central Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 66, (1), 169-182.
- Pellerin, L., Johnston, J. and Hohmann, G. 1996. A numerical evaluation of electromagnetic methods in geothermal exploration. *Geophysics*, 61, 121-130. Doi:10.1190/1.1443931
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, pp. 914-923.
- Polat, S. 2011. Türkiye'de traverten oluşumu, yayılış alanı ve korunması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 389-428,
- Roberts, N., Erol, O., De Meester, T. and Uerpman, H.P. 1979. Radiocarbon chronology of Late Pleistocene Konya Lake, Turkey. *Nature*, 281, 662-664.
- Schoeller, H. 1977. Geochemistry of groundwaters. In *Groundwater Studies and International Research and Practice*, UNESCO, Paris 1977.
- Serpen, U., Aksoy, N., Ongur, T. and Korkmaz, E.D. 2009. Geothermal energy in Turkey: 2008 update. *Geothermics*, 38, 2, 227-237
- Şener, M.F., Şener, M. and Uysal, I.T. 2017. The evolution of the Cappadocia Geothermal Province, Anatolia (Turkey): geochemical and geochronological evidence. *Hydrogeology Journal*, 25, (8), 2323-2345
- Tarcan, G., Gemici, Ü. and Aksoy, N. 2005. Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 523-534, Doi:10.1007/s00254-004-1174-1.
- Temiz, U and Savaş, F. 2018. U/Th Dating of the Akhüyük Fissure Ridge Travertines in Ereğli, Konya (Central Anatolia, Turkey): Their Relationship to Active Tectonics, *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3106-5>.
- Toprak, V. and Göncüoğlu, M.C. 1993. Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian volcanic province, Turkey. *Geological Journal*, 28:357-369. doi:10.1002/gj.3350280314.
- Yalçınlar, I. 1954. Les gisements de Mammifères et d'autres vertèbres fossiles de la Turquie. *Cong. Geol. inter. Alger, sec. XIII, 3e part ., fasc. XV*, pp. 139-147.
- Yurteri, C. and Şimsek, Ş. 2017. Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcili-Büyükoba (Kirsehir) geothermal area, Turkey. *Geothermics*, 65, 99-112.

