



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.gov.tr/makufebed>  
DOI: 10.29048/makufebed.338361

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9(1): 1-13 (2018)  
*The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 9(1): 1-13 (2018)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

## **Kayaağıl (Uşak) Termal Sularının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi**

Ayşen DAVRAZ\*, Hayriye YURT

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta

*Geliş Tarihi (Received): 15.09.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 18.12.2017*

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author\*): aysendavraz@sdu.edu.tr*

☎ +90 246 2111326 📠 +90 246 2370859

### **ÖZ**

Bu çalışmada Uşak ilinde bulunan Kayaağıl ve Karaağaç köyleri çevresinin hidrojeolojisi ve bölgede yer alan sıcak - soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. İnceleme alanının temelinde yer alan Paleozoyik yaşlı Eşme formasyonunu oluşturan şistler ve şistler içerisindeki mermer bantları hidrotermal sistemin ana hazne kayacını, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı birimlerin geçirimsiz seviyeleri örtü kayacı, faylanma ile gelişen kırık hatları ise akışkanları yüzeye taşıyan akım yollarını oluşturmaktadır. Bölgede derinlere süzülen yeraltısuları, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmaktadır. İnceleme alanında termal suların Na-HCO<sub>3</sub>, soğuk suların Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, karışım sularının ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Termal sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Kayaağıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygundur. Termal suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147°C arasındadır. Ayrıca, yeraltısularının Al, As, B, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni ve Pb gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Termal ve karışım sularında As artışı suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Soğuk sulardaki As artışının kaynak sularının etkileşim halinde bulunduğu volkanik kayalar ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sularda tespit edilen yüksek Al ve Mn değerleri antropojenik kökenli faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Termal su, hidrojeoloji, hidrojeokimya, Kayaağıl, Uşak

## **Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigation of Kayaağıl (Uşak) Thermal Waters**

### **ABSTRACT**

In this study, hydrogeology of Kayaağıl and Karaağaç villages in Uşak province and hydrogeochemical properties of thermal and cold waters were investigated. The Paleozoic aged Eşme formation which are formed from schists and marble bands is the main reservoir rocks of the hydrothermal system, the impermeable levels of the Tertiary and Quaternary units constitute the cover rocks and the fracture lines developed by the faulting are the flow paths carrying the fluids to the surface. Groundwater infiltrating to deep in the region heat due to the geothermal gradient. In the study area, it was determined that the thermal waters are Na-HCO<sub>3</sub>, the cold waters Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and the mixed waters are Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> waters. The increase of Na in the thermal waters depends on the water temperature and the rock-water interaction process. Kayaağıl thermal water is saturated with albite, analsim, aragonite, calcite,

barite, calcite, cristobalite, dolomite, fluorite, gypsum, quartz and sanidine minerals. The reservoir temperatures of the thermal waters are calculated as 102-147<sup>0</sup>C according to the silica geothermometers. In addition, trace metal contents of groundwater such as Al, As, B, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni and Pb were also researched. The increase of As in the thermal and mixture waters is directly proportional to the water temperature. The increase of As in the cold waters originated from water-rock interaction. The high Al and Mn values of water are due to the anthropogenic activities.

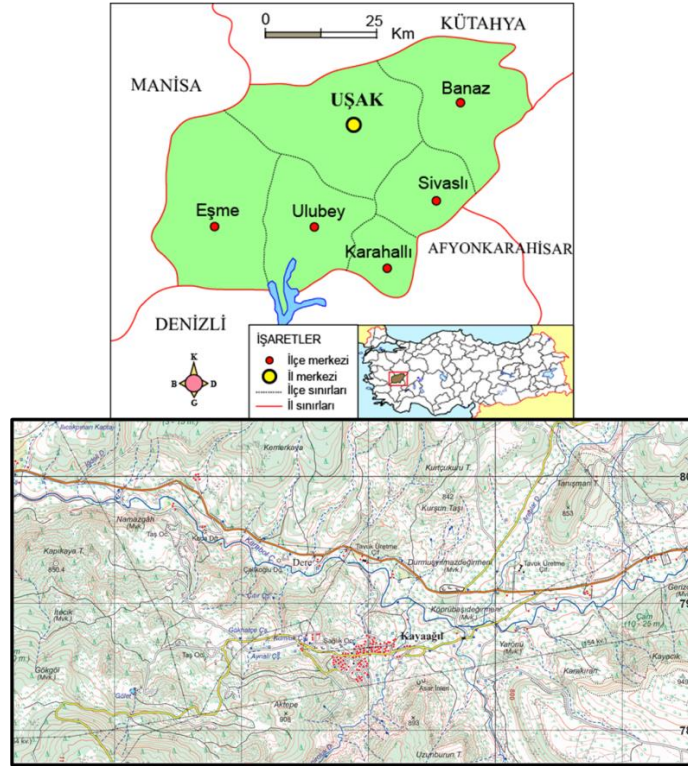
**Keywords:** Thermal water, hydrogeology, hydrogeochemistry, Kayaagül, Uşak

## GİRİŞ

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bunları yeterli düzeyde değerlendirememektedir. Jeotermal kaynakların optimum düzeyde kullanım teknolojilerinin araştırılabilmesi için uygun araştırma yöntem ve ekibiyle ayrıntılı incelemelerin yapılması zorunludur. Günümüzde jeotermal kaynaklar, bulunduğu bölgenin sosyoekonomik kalkınmasında önemli itici güçlerden birisidir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye'nin farklı bölgelerinde jeotermal potansiyelin yüksek olduğu yerlerin sayısı oldukça fazladır. Yapılacak ayrıntılı çalışmalarla hem yeni sahaların bulunması hem de mevcut sahalarından en iyi nasıl yararlanılabileceğinin ortaya konması gerekmektedir.

Ülkemizin önemli jeotermal enerji merkezlerinden olan Uşak ilinde altı ayrı jeotermal alan bulunmaktadır. İlde bulunan Emirfakı, Örencik, Aksaz, Hasköy, Hamambo-

ğazı ve Kızılcaören jeotermal sahalarındaki akışkan sıcaklıkları 71<sup>0</sup>C (Hamamboğazı) ile 23<sup>0</sup>C (Kızılcaören) arasında değişmektedir (Gökgöz ve ark., 2011). Uşak ilinde 2010 yılında yapılan araştırmalar ile yeni bir jeotermal alan daha belirlenmiştir. İlin yaklaşık 10 km güneybatısında Kayaagül ve Karaağaç köyleri arasında bulunan bu bölge inceleme alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Çalışmada Kayaagül jeotermal alanının jeolojik, hidrojeolojik incelemesi, termal suların oluşumu ve bölgedeki sıcak- soğuk yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin tespiti ile hidrotermal sistemin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, inceleme alanında ayrıntılı jeoloji ve hidrojeoloji çalışmaları ile bölgede jeotermal sistem tanımlanarak oluşum modeli geliştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile desteklenen araştırmada su örnekleri alınmış suların sınıflaması, içilebilme ve kullanılabilirlik özellikleri, mineral doygunlukları, hazne sıcaklıklarının tahminine yönelik hesaplamalar yapılmıştır.



**Şekil 1.** İnceleme alanının yer bulduru haritası

## MATERYAL VE YÖNTEM

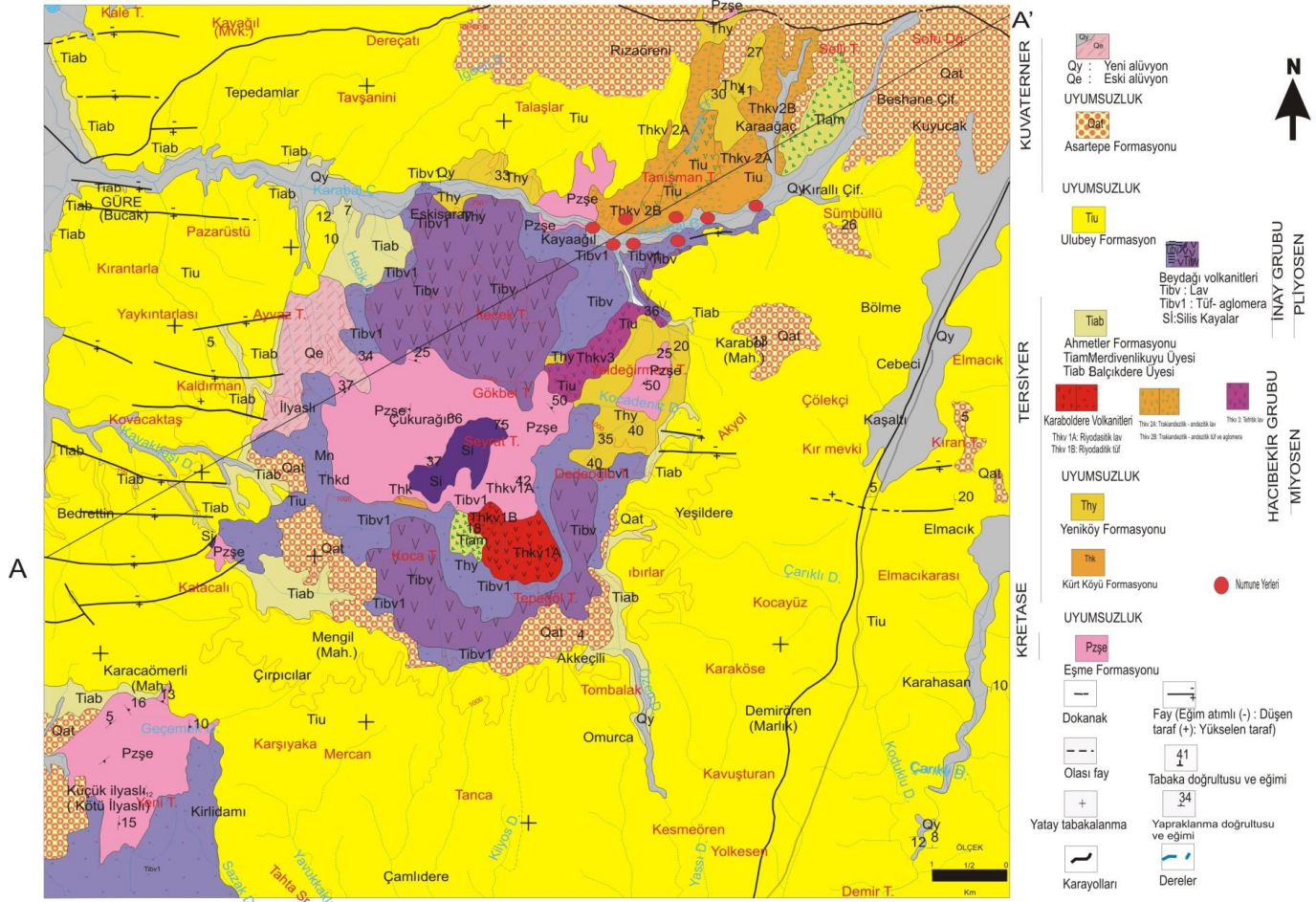
Kayaağıl jeotermal alanının hidrojeolojik özelliklerinin tespiti için gerçekleştirilen bu çalışmada jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimya amaçlı çalışma yöntemleri uygulanmıştır. İnceleme alanı 1/25000 ölçekli K22-c1, c2, d2, d3 paftalarında yer almaktadır. İnceleme alanının jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmış ve CoreID-RAW-X9 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında 1/50000 ölçekte çizilmiştir. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurulabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak haritalanmış ve akifer birimler tanımlanmıştır. Kayaağıl termal su sisteminin ısı kaynağı, hazne kaya ve örtü kayacı tanımlanarak hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. İnceleme alanında yeraltısularının kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çift kapaklı polietilen şişelere asitli (HNO<sub>3</sub>) ve asitsiz olarak 8 adet su örneği alınmıştır. Su örneği alınan lokasyonların koordinatlarının tespiti için Magellan Triton 500 marka GPS kullanılmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında Hanna marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), toplam çözünmüş katı madde (TDS), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>), nitrat ve nitrit analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri Bureau Veritas (Kanada) laboratuvarında ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) analiz tekniği kullanılarak APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı grafik ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Jeoloji

Uşak ili çevresinde Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı karasal çökeller ve volkanik ürünler geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil 29)(MTA, 1980). İnceleme alanında temel, Menderes Masifi metamorfiteilerinin Paleozoyik yaşlı örtü şistleri ve mermer mercerklerinden oluşan Eşme formasyonudur. Ercan ve ark. (1978), bölgede yüzeylenen Neojen yaşlı birimleri Hacıbekir ve İnay olmak üzere başlıca iki gruba ayırmıştır. Temel birimler

üzerine uyumsuzlukla Miyosen yaşlı Hacıbekir grubuna ait Karaboldere volkanitleri, Yeniköy ve Kürtköyü formasyonları gelmektedir. Neojen birim alüvyon yelpazesi çökelleri olan Kürtköyü formasyonu (Alt Miyosen) ile başlar. Kürtköyü formasyonu serpantin, radyolarit, şist, kuvars, mermer ve dolomit çakıllıdır. Üste gelen Yeniköy formasyonu (Orta-Üst Miyosen) 800 m kalınlığı aşkın akarsu ortamı çökelleridir. Yeniköy formasyonu koyu sarı turuncu, konglomera, kumtaşı, kiltası, tüfit ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Miyosen, çeşitli lavlardan oluşan Karaboldere volkanitleri ile sona erer. Karaboldere volkanitleri, inceleme alanında Karaağaç köyü ve çevresi ile Kayaağıl köyü kuzeydoğusunda trakiandezitik- andezitik lav, tuf ve aglomeralar; Karabol mevkii batısı Yeldeğirmeni tepe civarında tefritik lav düzeyleri ve Çukurağıl köyü güneydoğusunda ise riyolitik lav ve tuf seviyeleri şeklinde yüzeylenmektedir. Hacıbekir grubu üzerinde Pliyosen yaşlı İnay gruba ait Ahmetler formasyonu, Beydağ volkanitleri ve Ulubey formasyonu bulunmaktadır. İnceleme alanında Ahmetler formasyonunun Merdivenlikuyu ve Balçıklidere üyeleri görülmektedir. Merdivenlikuyu üyesi; eski masif kenarlarında aşırı sellenme ve çekim kaymaları yoluyla oluşan yamaç molozlarıdır. En çok 50-60 m kalınlıkta olup Pliyosen çökellerinin tabanında yer alırlar. Balçıklidere üyesi konglomera, kumtaşı, tüfit, kiltası, marn ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Konglomera ve kumtaşlarında yer yer mercer ve düzeyler şeklinde ikincil uranyum cevherleşmeleri vardır. Sahada tipik, peribacaları biçiminde aşınma şekilleri sunmaktadır (Ercan ve ark., 1978). Kayaağıl köyü güneyindeki İtecek tepe ve civarında gözlenen Beydağ volkanitleri andezitik lav, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Bu seviyeler jeoloji haritasında ayrı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, volkanit birim içerisinde Çukurağıl köyü doğusunda Sevrat tepe civarında gözlenen silisifik kayaçların (Si) düzeyleri de ayırtlanmıştır. Beydağları volkanitleri Kayaağıl köyü güney ve batısında geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Tuf ve aglomeralar içinde yer yer hidrotermal manganez zuhurları bulunmaktadır (Ercan ve ark., 1978). İnay grubuna ait Ulubey formasyonu inceleme alanında geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Formasyon, kalın ve genellikle yatay tabakalı, pembe, gri-beyaz, yer yer silisleşmiş, yaklaşık 250 m kalınlıkta olan görsel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Ulubey formasyonu Ahmetler formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunur (Şekil 2) (Ercan ve ark., 1978; Gökgöz ve ark., 2011).



Şekil 2. İnceleme alanının jeolojisi haritası (MTA, 1980'den alınmıştır)

İnceleme alanında Kuvaterner birimler Asartepo formasyonu ve alüvyondan oluşmaktadır. Asartepo formasyonu konglomera ve kumtaşı araldanması şeklinde olup yer yer de ince marnlı, kireçli düzeyler içeren akarsu çökelleridir. Alüvyon ise Karabol çayı yatağı boyunca gözlenmekte ve tutturulmamış kil, kum, çakıl, silt birimlerinden oluşmaktadır (Ercan ve ark., 1978).

### Hidrojeoloji

İnceleme alanında geçirimli litolojik birimler Eşme formasyonu, Karaboldere volkanitlerinin andezit seviyeleri, Ulubey formasyonu ve alüvyondur. İnceleme alanında sıcak su akiferi olan birimler Paleozoyik yaşlı Eşme formasyonunun kırıklı çatlaklı ve mermer bantlı şistleri içeren seviyeleri ile Miyosen yaşlı Karaboldere volkanitlerine ait andezitlerin kırıklı çatlaklı seviyeleridir. Eşme formasyonuna ait şistler genelde geçirimsiz olmalarına karşın, rijit litolojilerden oluşan ve yoğun kırıklı, yüzeye yakın ayrılmış kesimler yeraltısuyu içerebilir. Şistler tektonizmanın da etkisiyle kırıklı çatlaklı bir yapı kazanmış ve ikincil gözeneklilik gelişmiştir (Gökgöz ve ark., 2011). Ayrıca, inceleme alanının kuzeyinde şist-

lerden boşalan soğuk su kaynakları ile inceleme alanında andezitlerin kırıklı-çatlaklı seviyeleri ile tüf-şist dokanağında çok sayıda mevsimsel ve sürekli soğuk su kaynağı boşalimleri da gözlenmektedir.

Ulubey formasyonuna ait gösel kireçtaşları ise erime boşluklu bir yapı göstermekle birlikte stratigrafik olarak üstte yer alması nedeniyle soğuksu akiferi olarak düşünülmektedir. Ulubey formasyonu Uşak ilinin hemen hemen güney yarısı için en önemli soğuk su akiferlerinden birisidir. İnceleme alanı ve çevresinde bu formasyondan kaynak boşalimleri ve kuyular vasıtasıyla yeraltısuyu elde edilmektedir. İnceleme alanının güneydoğusunda Aksaz civarındaki yerleşim yerleri içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının büyük bölümünü çok sayıda sondajlar yada kaynaklar yoluyla Ulubey formasyonundan karşılamaktadır (Gökgöz ve ark., 2011). Gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemeden ve bunların farklı kombinasyonlarından oluşan alüvyon birimi özellikle çakıl ve kumlu seviyelerinde yeraltısuyu bulundurmaktadır. İnceleme alanında Karabol deresi yatağında bulunan alüvyonlar içerisinde sulama amaçlı açılmış sığ kuyular mevcuttur.

İnceleme alanında su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikleri taşıyan Asartepe, Ahmetler ve Yeniköy formasyonları az geçirimli birimler olarak ayırtlanmıştır. Bu formasyonlardaki kumtaşı ve konglomera düzeyleri yayılımları ve kalınlıkları oranında yersel olarak yeraltısuyu içerebilmektedir. Formasyonlar içerisinde bulunan diğer litolojilerin geçirimsiz özellikte olması akifer olabilme kapasitelerini kısıtlamaktadır. Ayrıca, andezit, tuf ve aglomeralardan oluşan Beydağları volkanitleri de az geçirimli olarak değerlendirilmiştir. Andezit ve tuf seviyeleri kırıklı çatlaklı yapıya sahip oldukları durumlarda yeraltısuyu bulundurabilmektedirler. Ancak, inceleme alanı ve çevresinde bu formasyonlardan yeraltısuyu alınmamaktadır. Kürtköyü formasyonu içerisinde bulunan litolojiler akifer özelliği taşımamaları nedeniyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında yeraltısularının beslenme yönü kuzeydoğu ve güneyden olup, yüzeye düşen yağışın bir kısmı yeraltına süzülerek yeraltısularını beslemekte, yüzeye geçen akış ise sürekli ve mevsimsel dereler ile

Karabol çayına boşalmaktadır. Karabol çayı D-B yönlü akış göstermektedir ve Gediz havzasını beslemektedir.

**Sondaj kuyuları;** İnceleme alanında Karabol deresi alüvyonunda sulama amaçlı açılmış sığ kuyular mevcuttur. Kayaağıl köyü kuzeyinde termal tesis yolu üzerinde bulunan çiftliklerde (Özdemirler ve Ahmetler çiftlikleri) sulama ve kullanma amaçlı açılan kuyularda sıcak sulara rastlanmıştır. Kayaağıl termal tesisleri civarında 4 adet jeotermal sondaj kuyusu bulunmaktadır. IUJ-1 (Alparslan), IUJ-2 (Alperen) ve IUJ-4 nolu kuyular üretim kuyusu olarak değerlendirilmekte olup, 750 m derinliğindeki IUJ-3 kuyusu reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Üretim kuyularından sadece IUJ-2 nolu kuyu kullanılmakta olup, diğer kuyular yedek olarak bekletilmektedir. IUJ-4 kuyusunda üretim için gerekli olan altyapı henüz oluşturulmamıştır. Gerek duyulması halinde ileriki tarihlerde hazır duruma getirilmesi planlanmaktadır. IUJ-5 nolu kuyuda da herhangi bir üretim faaliyeti yoktur. Sondaj kuyularının derinlikleri 220-800 m arasında, debileri 60-220 l/s arasında ve suların sıcaklıkları 47.5-72°C arasındadır (Tablo 1) (Akgöz, 2011).

**Tablo 1.** Jeotermal kuyuların özellikleri (Akgöz, 2011)

Kuyu no	Amaç	Koordinat	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Açılış yılı	Statik seviye (m)
IUJ-1	Üretim	699305/ 4279515	270	47.5	220	2010	15
IUJ-2	Üretim	699315/ 4279186	468	50	60	2010	6.10
IUJ-3	Reenjeksiyon	699585/ 4279255	750	50	90	2012	
IUJ-4	Üretim	699265/ 4279170	220	51	180	2013	
IUJ-5	Araştırma	703181/ 4279924	800	72	---	2015	

## Hidrojeokimya

İnceleme alanında yeraltısuyunun kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla sıcak su sondajları ve kaynaklardan alınan su örneklerinin kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Kimyasal analizlerde katyonlar (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>), anyonlar (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>), hidrojen iyonu aktivitesi (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözülmüş katı madde (TDS), sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sertlik gibi kimyasal özellikler tespit edilmiştir. Su örneklerinin yerinde ölçüm ve iyon özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. U1 örneği Kayaağıl termal tesislerinde kullanılan sondaj kuyusundan alınmıştır. Uşak Belediyesi tarafından yapılan işletme projesi raporunda IUJ-2 kuyusunu temsil etmektedir. U2 ve U9 örnekleri bölgede bulunan soğuk su kaynaklarına aittir. Diğer su örnekleri ise, Kayaağıl termal tesis yolu üzerinde şahıslar tarafından açılmış sığ derinliğe sahip sondaj kuyularından alınmıştır. Bu kuyular karışım sularını temsil etmektedir. Sıcak suların toplam iyon içeriği 8.22-57.56 mek/l, soğuk suların ise

6.29-7.94 mek/l değerleri arasındadır. İnceleme alanında sıcak suların sıcaklık değeri 44.8-50 °C, soğuk suların 19.4-23°C ve karışım sularının ise 27.5-36.5 °C arasında değişmektedir (Tablo 2). İnceleme alanında sertlik değeri sıcak sularda 69.2-78.95 Fr<sup>o</sup>, karışım sularında 36.1-62.7 Fr<sup>o</sup> ve soğuk sularda ise 32.15-35.85 Fr<sup>o</sup> arasındadır. Yeraltısularının pH değeri 6.36-7.06 arasında değiştiği için *Asit karakterli* olarak tanımlanmıştır. Sıcak suların EC değeri 4180-5250 µS/cm, soğuk suların 650-770 µS/cm ve karışım sularının ise 840-1530 µS/cm arasında değişmektedir (Tablo 2). Eylül-2016 tarihinde alınan su örneklerinin major iyon analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Sıcak sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Karışım sularında ise Na içeriği yüksek sıcak suların etkisi rol oynamaktadır. Sıcak sularda Ca artışı suların sıcaklığı ile ilişkilidir. Kayaağıl sıcak suyu içerisinde ise 200 mg/l civarında kalsiyumun varlığı bu jeotermal alanının çok yüksek sıcaklıklı bir sistem olmadığını göstermektedir.

**Tablo 2.** Su örneklerinin yerinde ölçüm ve iyon özellikleri

Örnek No		EC $\mu\text{S/cm}$	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	pH	TDS mg/l	%Na	SAR	Sertlik $\text{Fr}^{\circ}$
U1	Sıcak su	5250	44.8	6.83	2620	68.75	14.72	76.75
U2**	Soğuk su	770	23.4	7.04	390	8.04	0.33	35.85
U4	Karışım suyu	1530	30.1	6.41	770	7.6	0.08	62.7
U5	Karışım suyu	1250	33.4	6.63	630	8.06	0.43	58.2
U6	Karışım suyu	960	36.5	6.76	490	7.22	0.31	44.35
U7	Karışım suyu	1060	27.6	6.90	530	6.36	0.30	48.5
U8	Karışım suyu	840	27.5	6.36	420	6.34	0.26	36.1
U9**	Soğuk su	650	19.4	7.06	320	3.58	0.13	32.15
IJJ-1*	Sıcak su	4255	48	6.46	2127	67.18	12.96	69.2
IJJ-2*	Sıcak su	4180	50	6.76	2090	64	11.97	78.95

\*Analizler 2011 yılında Uşak Belediyesi tarafından yaptırılmıştır (Akgöz, 2011).

\*\* Kaynak suyu

**Tablo 3.** Su örneklerinin anyon-katyon analiz sonuçları

Kuyu No	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	F mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Toplam anyon mek/l	Toplam katyon mek/l	% hata
U1	940.7	126.54	217.91	54.44	95.01	660.65	2501.0	2.28	0.00	57.56	59.73	1.85
U2**	14.54	1.16	91.82	31.54	17.58	7.26	427.0	0.13	17.74	7.94	7.84	-0.61
U4	24.15	8.74	167.13	51.2	7.56	420.15	302.8	0.27	0.00	13.91	13.81	-0.36
U5	23.98	8.23	158.27	45.46	7.77	414.63	298.9	0.25	0.03	13.77	12.89	-3.27
U6	15.11	4.94	118.37	36.01	8.48	186.83	305.0	0.24	0.00	9.14	9.66	2.77
U7	15.73	11.75	122.83	43.38	11.28	255.68	292.8	0.17	0.00	10.45	10.68	1.11
U8	11.40	6.22	111.92	19.97	5.03	281.68	134.20	0.34	0.00	8.22	7.89	-2.07
U9**	5.58	0.74	98.77	18.25	4.53	5.06	353.80	0.23	14.88	6.29	6.69	3.13
IJJ1*	783.38	109.89	202.57	45.48	61.39	374.68	2316.77	5.59	--	47.5	50.74	3.29
IJJ2*	773.10	120.41	226.82	54.41	85.27	503.91	2157.01	3.88	--	48.25	52.51	4.22

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. İnceleme alanında suların iz element içerikleri Tablo 4'de sunulmuştur. Sıcak suların iz element içerikleri genel olarak yüksektir. İnceleme alanında sıcak suların As içeriği <3000  $\mu\text{g/l}$ , soğuk sularda 8.5-52.2  $\mu\text{g/l}$  ve karışım sularında 28.5-183.8  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir (Tablo 4). Sıcak ve karışım sularında As artışı suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Soğuk sulardaki As artışının kaynak sularının etkileşim halinde bulunduğu volkanik kayalar ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. İçme suyu standartlarında arsenik için sınır değer 2006 yılına kadar 50  $\mu\text{g/l}$  olarak kabul edilmekte idi. 2006 yılında yapılan yeni düzenlemelerde Türkiye'de ve uluslararası standartlarda sınır değer 10  $\mu\text{g/l}$ 'ye düşürülmüştür. İnceleme alanında U2 nolu kaynak suyu örneği hariç tüm su örneklerinin As için verilen içme suyu sınır değerini aştığı görülmektedir. İnceleme alanında sıcak suların

Fe içeriği <10000  $\mu\text{g/l}$ , soğuk sularda <10  $\mu\text{g/l}$  ve karışım sularında 579-20849  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Sulardaki Fe artışı sıcak su karışımı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. İnceleme alanında sıcak suların Mn içeriği 166  $\mu\text{g/l}$ , soğuk sularda 0.17-0.31  $\mu\text{g/l}$  ve karışım sularında 100.62-408.56  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Sıcak su kuyusundan alınan örnekte Mn içeriğinin düşük olması ve karışım sularının alındığı kuyuların çiftlikler içerisinde bulunması, bu sulardaki Mn artışının antropojenik (tarım ve hayvancılık) kökenli olduğunu düşündürmektedir. İnceleme alanında sıcak suların Al içeriği <600  $\mu\text{g/l}$ , soğuk sularda 2-3  $\mu\text{g/l}$  ve karışım sularında 2-37996  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Alüminyumun ekstrem değerinin tespit edildiği U8 örneği termal tesislerin hemen yakınında bulunan bir çiftlikten alınmıştır. Bu çiftlikte meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır. Al artışının karışım suyu olması yanısıra antropojenik kökenli olarak tarımsal faaliyetlerden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4. Suların iz element içerikleri

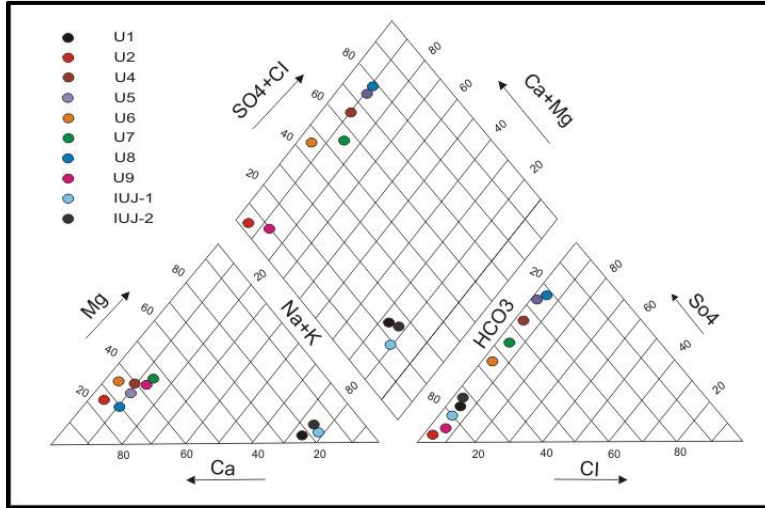
	U1	U2**	U4	U5	U6	U7	U8	U9**	TSE-266 (2005)	WHO (2011)
Al	<600	2	13	2	6	554	37996	3	200	900
As	<3000	8.5	28.5	54.6	37.4	116.5	183.8	52.2	10	10
B	6217	19	82	75	41	103	43	13	1000	2400
Br		90	37	44	52	65	30	34	---	---
Cd	<700	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	5	3
Cr	<300	17.9	1.2	2.5	3	4.5	2.5	3.7	50	50
Cu	<80	0.3	3.5	2.6	1.4	2.6	2.2	0.8	2000	2000
Fe	<10000	<10	4432	579	1130	3698	20849	<10	200	---
Li	1157	4.2	36.2	21.5	11.8	23.5	9.4	9.6	---	---
Mn	166	0.17	318.42	139.80	145.9	100.62	408.56	0.31	50	---
Ni	<300	4.2	122.5	0.3	<0.2	12.0	13.8	1.6	20	70
P	<4000	<10	79	55	15	133	1031	20	---	---
Pb	<4000	0.1	0.7	0.2	<0.1	2	0.8	0.3	10	10
S	200	4	199	116	56	71	83	2	---	---
Sr	4632	330.37	1099.71	786.74	565.04	1162.25	568.04	450.06	---	---
U	<3000	1.07	1.07	0.33	0.30	0.25	1.35	1.94	---	30
Zn	<300	<0.5	46.5	7.8	1.9	47.8	196.1	5.5	---	---

\*\*Kaynak suyu, Birimler µg/l'dir.

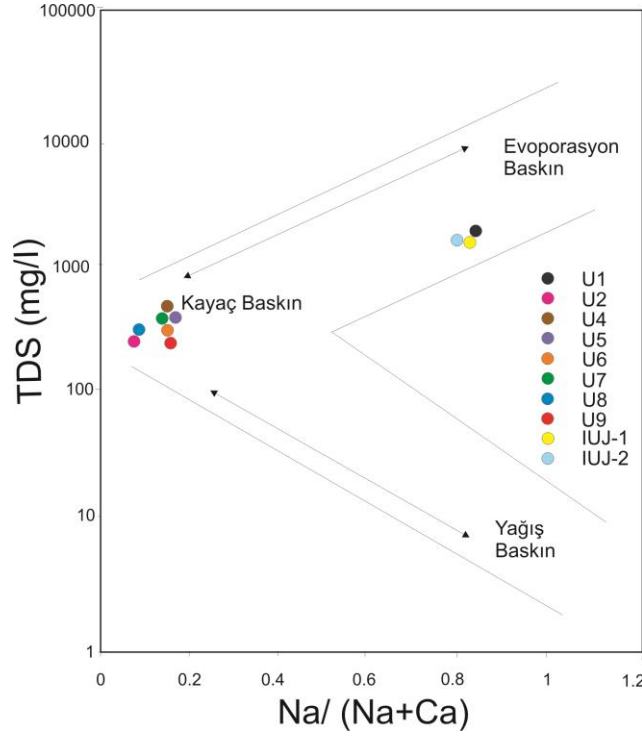
### Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Piper (1944) diyagramı suların genel anyon-katyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kayaağıl jeotermal alanı sıcak su örnekleri (U1, IUJ-1, IUJ-2), alkali elementler (Na+K) alkali toprak elementlerden (Ca+Mg) büyük, güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) küçük ve karbonat alkaliler % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Sıcak sular Na-HCO<sub>3</sub> hidrojeokimyasal fasiyesindedir (Şekil 3). Soğuk sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular, karışım suları ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> sınıfındadır.

Gibbs (1973) diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak, suyun yapısındaki bileşimi ve kökenini tanımlayan bir sınıflama ortaya koymaktadır. Gibbs diyagramına göre suların geneli 'Kayaç Baskın' bölgede yer almaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir. Kayaağıl sıcak su kuyularına ait örnekler (U1, IUJ-1, IUJ-2) ise 'Evaporasyon Baskın' bölgede yer almaktadır. Sıcak suya ait bu örneğin mağmatizma kökenli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple su yoğun buharlaşma etkisi altında kalmış ve çözülmüş toplam iyon miktarı da oldukça yükselmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Piper diyagramı



Şekil 4. Gibbs diyagramı

#### Suların mineral doygunluk indeksi

Yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabileceği sağlanmaktadır. Bu amaçla yeraltısuyunda çeşitli minerallerin doygunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI ( $\log IAP/K$ )=0 ise su ilgili mineral ile dengededir.

SI ( $\log IAP/K$ )>0 ise su ilgili minerale aşırı doygun (mineral çöktürücü özelliktedir).

SI ( $\log IAP/K$ )<0 ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

İnceleme alanında yeraltısularına ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 (Kharaka ve ark., 1988) bilgisayar programı yardımıyla mineral doygunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Suların boşalım sıcaklıkları ve arazide ölçülen pH değerine göre belirlenen mineral doygunluk indeksi değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

tir. Kayağıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygun ve sanidin minerallerine doygun olmasından dolayı karstik akifer ve ofiyolitik birimlerle etkileşimlerine işaret etmektedir. Karışım suları olarak nitelendirdiğimiz ve sığ derinlikteki kuyulardan alınan sıcak su örneklerinden U4, U7, U8 örneği adularya, albit, analsim, andezit, barit, kalsedon, kristobalit, kuvars, sanidin ve jipsit minerallerine doygun olup bu mineralleri çöktürücü özelliktedir. Sığ derinlikte açılmış bu kuyulardan alınan örneklerdeki farklılıklar sığ derinlikteki yeraltısuyunun etkileşimde olduğu kayaç türlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında soğuk su örnekleri (U2, U9) ise kalsit, dolomit ve jipsit minerallerine doygundur. Bu durum soğuk suların kireçtaşı birimleri ile etkileşimlerine işaret etmektedir. Kaynakların çıkış bölgesinin jeolojik özellikleri dikkate alındığında soğuk suların jipsit mineraline doygun olması Al elementinin volkanik kayaçlarla etkileşimden kaynaklandığını göstermektedir.



**Tablo 5.** Suların mineral doygunluk indeksi değerleri

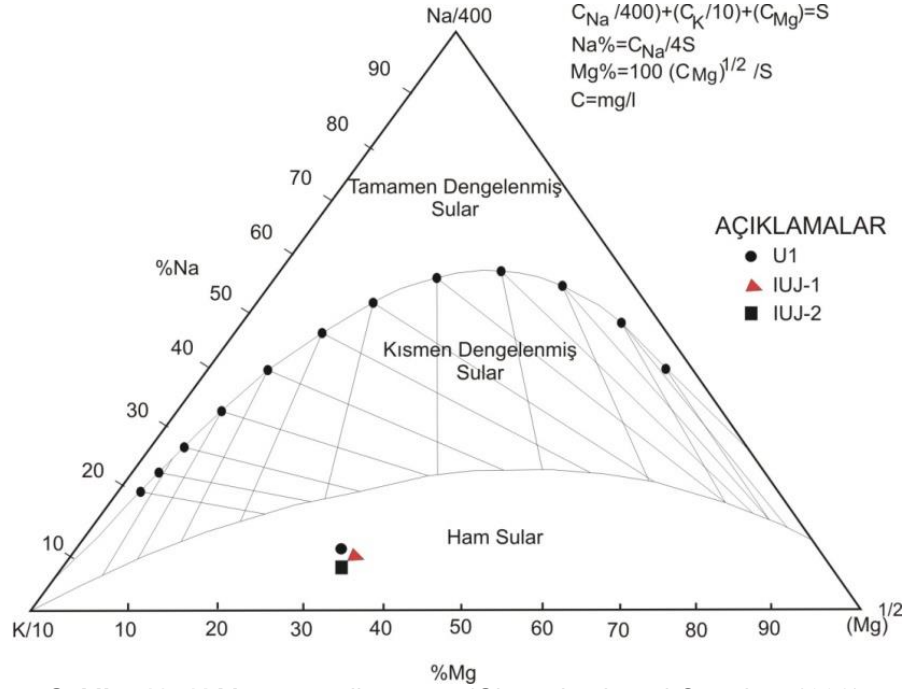
	U1	U2	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Adularya	-1.87	-1.520	<b>1.009</b>	-0.288	-0.545	<b>2.950</b>	<b>2.162</b>	-2.040
Albit	<b>2.09</b>	-1.440	<b>0.437</b>	-0.807	-1.034	<b>2.077</b>	<b>3.014</b>	-0.637
Analsim	<b>1.93</b>	-1.096	<b>0.334</b>	-0.739	-0.774	<b>2.019</b>	<b>2.700</b>	-0.601
Andezit	-0.870	-3.605	-1.770	-3.67	-2.902	<b>0.780</b>	<b>1.776</b>	-2.685
Anhidrit	-0.994	-3.020	-1.061	-1.69	-1.410	-1.380	-1.334	-3.101
Aragonit	<b>0.830</b>	-0.079	-0.549	-0.348	-0.221	-0.230	-1.132	-0.104
Kalsit	<b>0.953</b>	<b>0.062</b>	-0.413	-0.216	-0.091	<b>0.092</b>	-0.995	<b>0.041</b>
Barit	<b>0.025</b>	-1.007	-0.013	<b>0.065</b>	<b>0.281</b>	<b>0.234</b>	<b>0.428</b>	-0.180
Kalsedon	<b>0.77</b>	-0.159	<b>0.265</b>	<b>0.106</b>	-0.081	<b>0.055</b>	<b>0.489</b>	<b>0.170</b>
Kristobalit	<b>0.27</b>	-0.358	<b>0.100</b>	-0.045	-0.221	<b>0.701</b>	<b>0.312</b>	-0.054
Dolomit	<b>2.852</b>	<b>1.025</b>	-0.060	<b>0.414</b>	<b>0.729</b>	-2.141	-1.407	<b>0.632</b>
Florit	<b>0.156</b>	-2.380	-1.861	-1.801	-1.917	<b>4.198</b>	-2.828	-1.713
Jipsit	<b>1.25</b>	<b>1.967</b>	<b>2.397</b>	<b>1.387</b>	<b>1.540</b>	-1.112	<b>5.46</b>	<b>2.338</b>
Jips	-0.865	-2.717	-0.813	-0.849	-1.215	-8.376	-1.065	-2.764
Halit	-5.801	-8.034	-8.156	-8.381	-8.526	<b>0.441</b>	-8.859	-9.173
Kuvars	<b>0.98</b>	-1.430	<b>0.483</b>	<b>0.333</b>	<b>0.152</b>	<b>3.015</b>	<b>0.698</b>	<b>0.345</b>
Sanidin	<b>1.10</b>	-1.007	<b>1.061</b>	-0.251	-0.521	<b>0.234</b>	<b>2.228</b>	-1.918

### Jeotermometre uygulamaları

Jeotermometre, jeotermal alanlardan çıkan akışkanların içerdikleri iyon oranları, iyon değişimleri, izotop vb. özelliklerinden yararlanılarak akifer içerisindeki akışkan sıcaklığını tahmin etme yöntemidir. Jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklığının tahmini için çeşitli kimyasal jeotermometreler geliştirilmiştir. Bu jeotermometreler rezervuarda bulunan mineral ile çözünme dengesine bağlı belirli sıcaklıkların tahminine dayalıdır. Kuvars çözünürlüğüne bağlı olarak geliştirilen silis jeotermometreleri, rezervuar sıcaklığının saptanmasında kullanılmaktadır. Katyon jeotermometreleri ise iyon değişimine dayalıdır. Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için bulunan ve Giggenbach and Corrales (1992) tarafından geliştirilen Na-K-Mg diyagramı ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği kontrol edilmektedir. Diyagramda sular içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine göre sınıflandırılmakta ve "Su kayaç ilişkisi bakımından dengedeki sular", "Kısmen dengelenmiş sular" ve "Ham sular" olmak üzere üç bölge bulunmaktadır. Giggenbach (1988), geliştirdiği Na-K-Mg üçgen diyagramında;

su kayaç ilişkisinin dengede olmadığı ham (olgun olmayan) sular bölgesine düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini söylemiştir. İnceleme alanında Kayaağıl jeotermal alanında bulunan sıcak su örnekleri bu diyagramda "ham (olgun olmayan) sular" bölgesine düşmektedir (Şekil 5).

Silis jeotermometresi hesaplamalarında bu çalışmada analizi yapılan U1 örneği (Kayaağıl tesisi altında termal kuyu) ve Uşak Belediyesi tarafından açılan IUJ-1 (Alparslan) ve IUJ-2 (Alperen) termal kuyularında 2010 yılında yaptırılan SiO<sub>2</sub> analiz sonuçları kullanılmıştır. Hesaplamalarda SiO<sub>2</sub> değeri U1 için 114.82 mg/l, IUJ-1 için 94.97 mg/l ve IUJ-2 örneği için 120 mg/l alınmıştır. Hesaplamalarda amorf silis ve kristobalit silis jeotermometreleri yüzeydeki sıcaklığından daha düşük veya yüzey sıcaklığına yakın değerler vermişlerdir. Diğer silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147°C arasındadır (Tablo 6). Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklığı 217 - 270°C aralığında oldukça yüksek değerlerdedir. İnceleme alanında suların Na-K-Mg üçgen diyagramında "ham sular" bölgesinde olması sebebiyle Na/K jeotermometre sonuçları güvenilir olmayacaktır.



Şekil 5. Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach and Corrales, 1992)

Tablo 6. Jeotermometre sonuçları

Jeotermometre	Hesaplanan Sıcaklıklar		
	U1	IUJ1	IUJ2
SiO <sub>2</sub> (Amorf silis) <sup>a</sup>	24	13.51	26.32
SiO <sub>2</sub> (α-kristobalit) <sup>a</sup>	94.49	82.72	97.08
SiO <sub>2</sub> (β-kristobalit) <sup>a</sup>	45.62	34.33	48.11
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon) <sup>a</sup>	119.24	106.26	122.10
SiO <sub>2</sub> (Kuars) <sup>a</sup>	145.06	133.37	147.61
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı) <sup>a</sup>	111.19	129.49	141.45
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon) <sup>b</sup>	117.02	105.08	119.64
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı) <sup>b</sup>	115.77	105.29	118.06
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı) <sup>b</sup>	115.06	102.21	117.88
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı) <sup>b</sup>	136.70	124.11	139.46
SiO <sub>2</sub> <sup>b</sup>	138.38	128.45	140.54
Na/K <sup>c</sup>	244.32	250.12	263.05
Na/K <sup>c</sup>	240.27	244.30	253.18
Na/K <sup>c</sup>	221.75	228.14	242.44
Na/K <sup>d</sup>	222.50	228.31	241.27
Na/K <sup>e</sup>	244.06	248.49	258.29
Na/K <sup>f</sup>	230.26	217.36	244.19
Na/K <sup>g</sup>	257.38	261.46	270.45
K/Mg <sup>h</sup>	110.92	109.33	109.32

<sup>a</sup>Fournier,1977; <sup>b</sup>Annorsson ve ark., 1983a; <sup>c</sup>Annorsson ve ark., 1983b; <sup>d</sup>Truesdell,1976; <sup>e</sup>Fournier, 1979; <sup>f</sup>Nieva ve Nieva, 1987; <sup>g</sup>Giggenbach ve ark.,1983; SiO<sub>2</sub> derişimleri mg/l olarak alınmıştır.

### Kavramsal Hidrotermal Model

Kayaağıl (Uşak) hidrotermal sisteminin ısı kaynağı muhtemelen volkanik etkinliktir. Uşak civarında volkanizma Kuvaterner'den Miyosen'e kadar devam etmiştir.

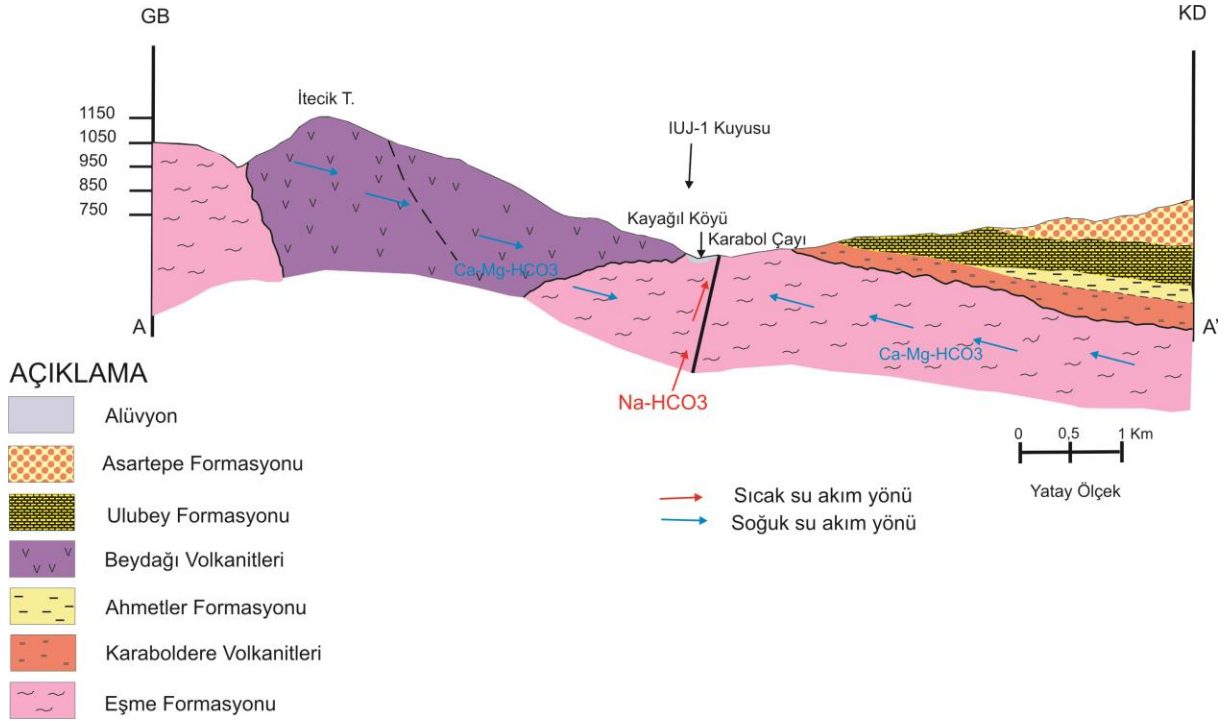
Kuvaterner Kula volkanitleri Kayaağıl köyü kuzeyinde gözlenmektedir. En genç volkanizma olarak bilinen Kula bazaltları Kütahya ve Uşak civarını etkilemektedir (İça, 1979). Ayrıca, Batı Anadolu genişleme alanı bir dizi graben ve yaygın Neojen yaşlı volkanikler (Kuva-

terner volkanizması yalnızca Kula çevresindeki bir alanla sınırlıdır), kabuksal incelleme (Mc Kenzie, 1978; Makris, 1985) ve dünya ortalamasının üstündeki yüksek ısı akışı değerleri ile karakterizedir (Tezcan, 1979; Mutlu ve Güleç, 1998) Bu nedenle genç jeotermal faaliyetler Uşak jeotermal sisteminin kaynağı olabilir (Davraz, 2008).

Davraz (2008) tarafından Uşak ilindeki termal suların hidrojeolojik -hidrojeokimyasal incelemelerinin yapıldığı çalışmada Uşak il merkezi ve çevresinde ana çizgisellik (faylar, kıvrım eksenleri, çatlak sistemleri vb.) doğrultusunun D-B ve KD-GB yönünde olduğu belirlenmiştir. İl merkezi çevresinde bulunan Hamamboğazı, Emirfakı termal suları ile Danadamları minerali su kaynakları KD-GB doğrultulu, Aksaz termal su çıkışları KB-GD doğrultulu, Hasköy kaynakları ise D-B doğrultulu fay sistemlerinden boşaldığı tespit edilmiştir (Davraz,

2008). Bu harita üzerinde Kayaağıl köyü ve çevresinde D-B ve KD-GB yönlü çok sayıda tali fayın olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu faylar vasıtasıyla meteorik kökenli sular yeraltına süzülme ve jeotermal gradyan ile ısınarak tekrar yeryüzüne ulaşmaktadır. Uşak civarında Neojen birimler düşük geçirimsizliğe sahip olmaları nedeniyle iyi bir örtü kayacı özelliği taşımaktadırlar.

Kayaağıl jeotermal alanı için oluşturulan kavramsal model Şekil 7'de verilmiştir. İnceleme alanında yapılan hidrojeokimyasal sonuçlar incelendiğinde Kayaağıl jeotermal alanında yer alan su  $\text{NaHCO}_3$  tipindedir. Su içerisinde Na miktarının yüksek olması şistlerin içerdiği sodyumlu plajyoklasların çözünmesi ile ilişkilendirilebilir.  $\text{HCO}_3$  iyonu ise yağmur sularının  $\text{CO}_2$  etkisi ile karbonatlı kayaçları çözmesiyle suda  $\text{CO}_3$  ve  $\text{HCO}_3$ 'ün zenginleşmesi sonucu meydana gelmektedir.



Şekil 7. Kayaağıl jeotermal alanı kavramsal modeli

## SONUÇLAR

İnceleme alanında temel, Menderes Masifi metamorfizmasının Paleozoyik yaşlı örtü şistleri olan Eşme formasyonu ile temsil edilmektedir. Neojen yaşlı birimler Hacıbekir ve İnay grubu olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Temel birimler üzerine uyumsuzlukla Miyosen yaşlı Hacıbekir grubuna ait Karaboldere volkanitleri, Yeniköy ve Kürtköyü formasyonları gelmektedir. Bölgede, Miyosen çeşitli lavlardan oluşan Karaboldere volkanitleri ile sona ermektedir. Hacıbekir grubu üzerinde Pliyosen

yaşlı İnay gruba ait Ulubey formasyonu, Ahmetler formasyonu ve Beydağları volkanitleri yüzeylenmektedir. Kuaterner birimler ise Asartepe formasyonu ve alüvyondan oluşmaktadır.

Eşme formasyonu, Karaboldere volkanitlerinin andezit seviyeleri, Ulubey formasyonu ve alüvyon geçirimli litolojik birimler olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında sıcak su akiferi olan birimler Paleozoyik yaşlı Eşme formasyonunun kırıklı çatlaklı ve mermer bantlı şistleri içeren seviyeleri ile Miyosen yaşlı Karaboldere volkanit-

lerine ait andezitlerin kırıklı çatlaklı seviyeleridir. Bölgede benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Asartepe, Ahmetler ve Yeniköy formasyonları az geçirimli birimler olarak ayırtılmıştır. Serpantin, radyolarit, şist, kuvars, dolomit ve mermer çakıllı alüvyon yelpazesi olan Kürtköyü formasyonu geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında termal suların sıcaklık değeri 44.8-50°C, soğuk suların 19.4-23°C ve karışım sularının ise 27.5-36.5°C arasındadır. Termal suların toplam iyon içeriği 8.22-57.56 mek/l, soğuk suların ise 6.29-7.94 mek/l değerleri arasındadır. Kayağıl termal sularında başlıca katyon sodyumdur. Termal sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Termal sularda HCO<sub>3</sub> en yüksek gözlenen anyon olup bunu SO<sub>4</sub> ve Cl takip etmektedir. Soğuk suları temsil eden örneklerde egemen katyonlar Ca ve Mg, egemen anyon ise HCO<sub>3</sub>'dür. Karışım sularında ise Ca baskın katyon olup örneklerin genelinde SO<sub>4</sub> baskın anyondur. Piper diyagramına göre sıcak sular Na-HCO<sub>3</sub>, soğuk sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, karışım suları ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> hidrojeokimyasal fasiyestedir. Gibbs diyagramına göre soğuk ve karışım suları 'Kayaç Baskın' bölgede, sıcak sular ise 'Evaporasyon Baskın' bölgede yer almaktadır. Kayağıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygundur. Sıcak su kaynağının kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun olması karstik akifer ve ofiyolitik birimlerle etkileşimlerine işaret etmektedir. İnceleme alanında silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147 °C arasındadır.

Kayağıl (Uşak) hidrotermal sisteminin ısı kaynağı muhtemelen volkanik etkinliktir. İnceleme alanında Eşme formasyonunu oluşturan ve tektonizmanın etkisiyle kırıklı çatlaklı yapı kazanan şistler ve içerisindeki mermer bantları hazne kaya özelliğindedir. Bu kayalarlardaki kırıklar ve faylar derinlerde ısıtılan suyun dolaşımını kolaylaştırmaktadır. Derinlere süzülen yüzey ve yeraltı suları, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmakta ve kırık, çatlak ve fay yüzeylerini kullanarak tekrar yüzeye ulaşmaktadır. Bölgede Neojen birimler düşük geçirimliliğe sahip olmaları nedeniyle iyi bir örtü kayacı özelliği taşımaktadırlar.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, 4604-YL1-16 nolu proje ile araştırmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Akgöz, R. (2011). Uşak-Merkez-Kayağıl Köyü-Kurşuntaşı Mevkii, 2011/64-02 Numaralı Arama Ruhsatı İşletme Projesi, Uşak Belediyesi (yayınlanmamış)
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., and Svavarsson, H. (1983a). The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland II. Mineral Equilibria and Independent Variables Controlling Water Compositions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 547–566.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H. (1983b). The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 1513–1532.
- Davraz, A. (2008). Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigations of Thermal Waters in the Uşak Area (Turkey). *Environ Geol*, 54:615–628.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E. (1978). Geology of the Neogene Basins in Uşak Region. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 21: 97-106 (in Turkish)
- Fournier, R.O. (1977). A Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems. In: *Proceedings of the Sym. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Fournier, R.O. (1979). A Revised Equation for the Na-K Geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.*, 3: 221-224.
- Gibbs, R.J. (1973). Mechanisms to Trace Metal Transport in Rivers. *Science*, 180:71-173.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H. (1983). Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, India. *Geothermics*, 5: 51-62.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal Solute Equilibria: Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., Corrales, R.S. (1992). The Isotopic and Chemical Composition of Waters and Steam Discharges from Volcanic-Magmatic-Hydrothermal Systems of the Guanacoste Geothermal Province, Costa Rica. *Applied Geochemistry*, 7: 309-332.
- Gökgöz, A., Özkul, M., Kaya, A., Hançer, M., Baykara, O., Örü, Z., Akın, T., Minissale, A. Vaselli, O. (2011). Farklı Rezervuarlara Sahip Uşak İli Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrojeokimyasal Modellenmesi, 108Y016 nolu TÜBİTAK Projesi raporu
- İça, M. (1979). Geology and Hydrogeology Investigations of Uşak-Eşme-Örencik spa. *J Geol Eng Ankara*, 37–46.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Affarwall, P.K., Perkins, E.H., De Braall, J.D. (1988). SOLMINEQ (a computer program code for geochemical modelling of water-rock interactions). In: *US Geological Survey Water Investigations, Report 88-4227*
- Makris, J. (1985). Geophysical and Geodynamic Implications for the Evolution of the Hellenides. In: Stanley DI, Wezel FC (eds) *Geological Evolution of the Mediterranean Basin*. Springer, New York, pp 23–269.
- Mc Kenzie, D.P. (1978). Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean and the Surrounding Regions. *Geophys J R Astron Soc* 55:217–254

- MTA (1980). 1:50.000 Ölçekli Jeoloji Haritası Serisi, Uşak-K22-c (Derleyenler: Tuncay Ercan ve Ali Dinçel)
- Mutlu, H., Guleç, N. (1998). Hydrogeochemical Outline of Thermal Waters and Geothermometry Applications in Anatolia (Turkey). *J Volcanol Geotherm Res* 85:495–515.
- Nieva, D., Nieva, R. (1987). Developments in Geothermal Energy in Mexico, Part 12- Acationic Composition Geothermometer for Prospecting Geothermal Resources. *Heat Recovery Systems*, 7:243-258
- Piper, A.M. (1944). A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions - American Geophysical Union*, 25, 914-928.
- Tezcan, A.K. (1979). Geothermal Studies, Their Present Status and Contribution to Heat Flow Contouring in Turkey. In: Cermac V, Rybach L (eds) *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Springer, Berlin, pp 283–292.
- Truesdell, A.H. (1976). Summary of Section III Geochemical Techniques in Explanation. In: *Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*. San Francisco, V.1, Washington DC, US Government Printing Office
- TSE (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 Sayılı Standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.
- WHO (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4th edn. World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 9789241548151
-