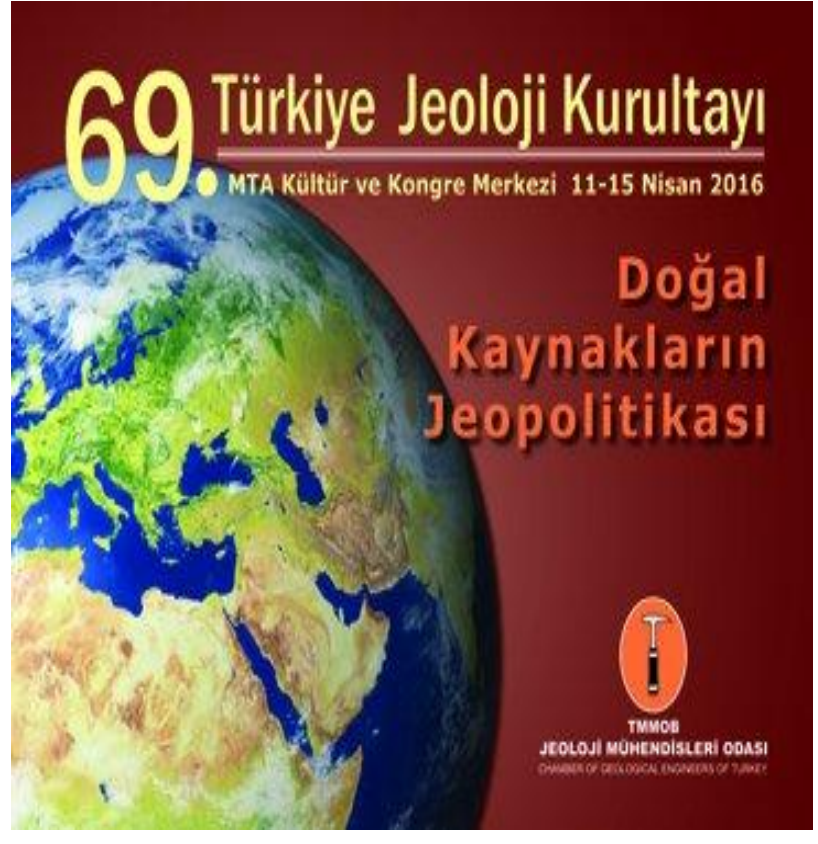




Tekkehamam (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri

Elif Ece Yılmaz^a, Nevzat Özgür^b

^a Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

^b Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

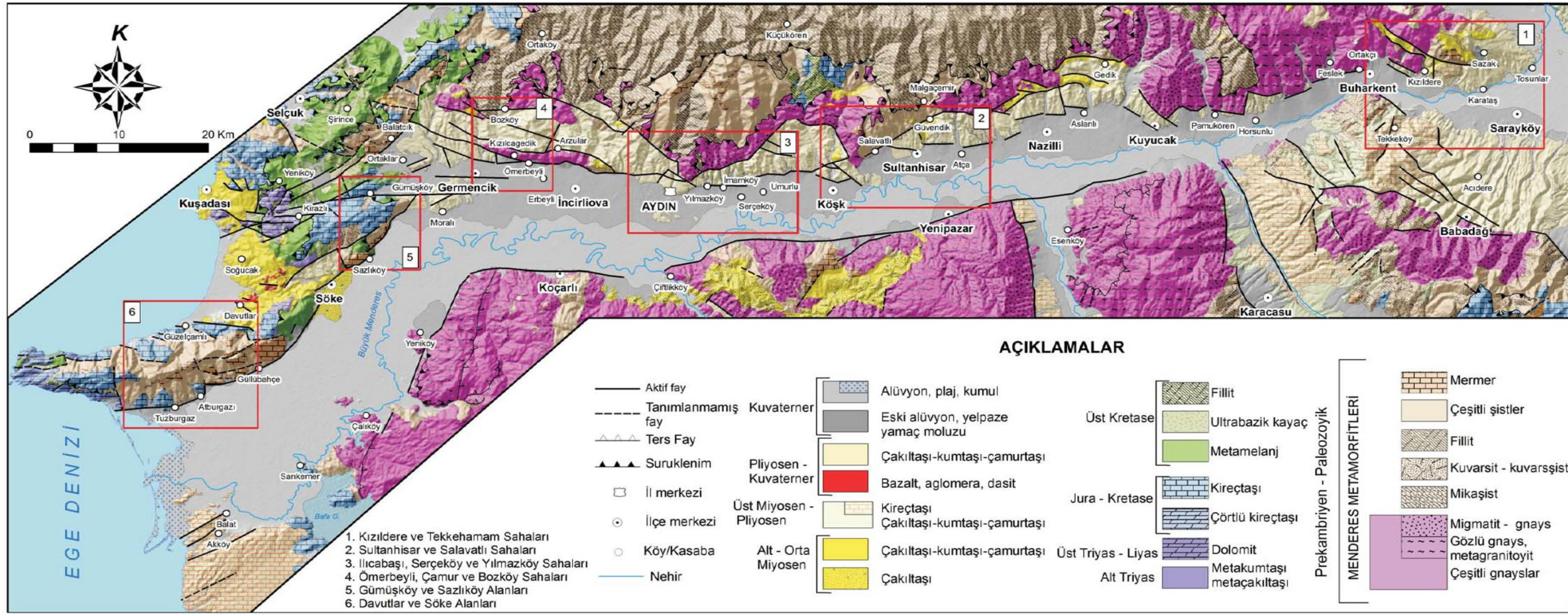


ÖZ

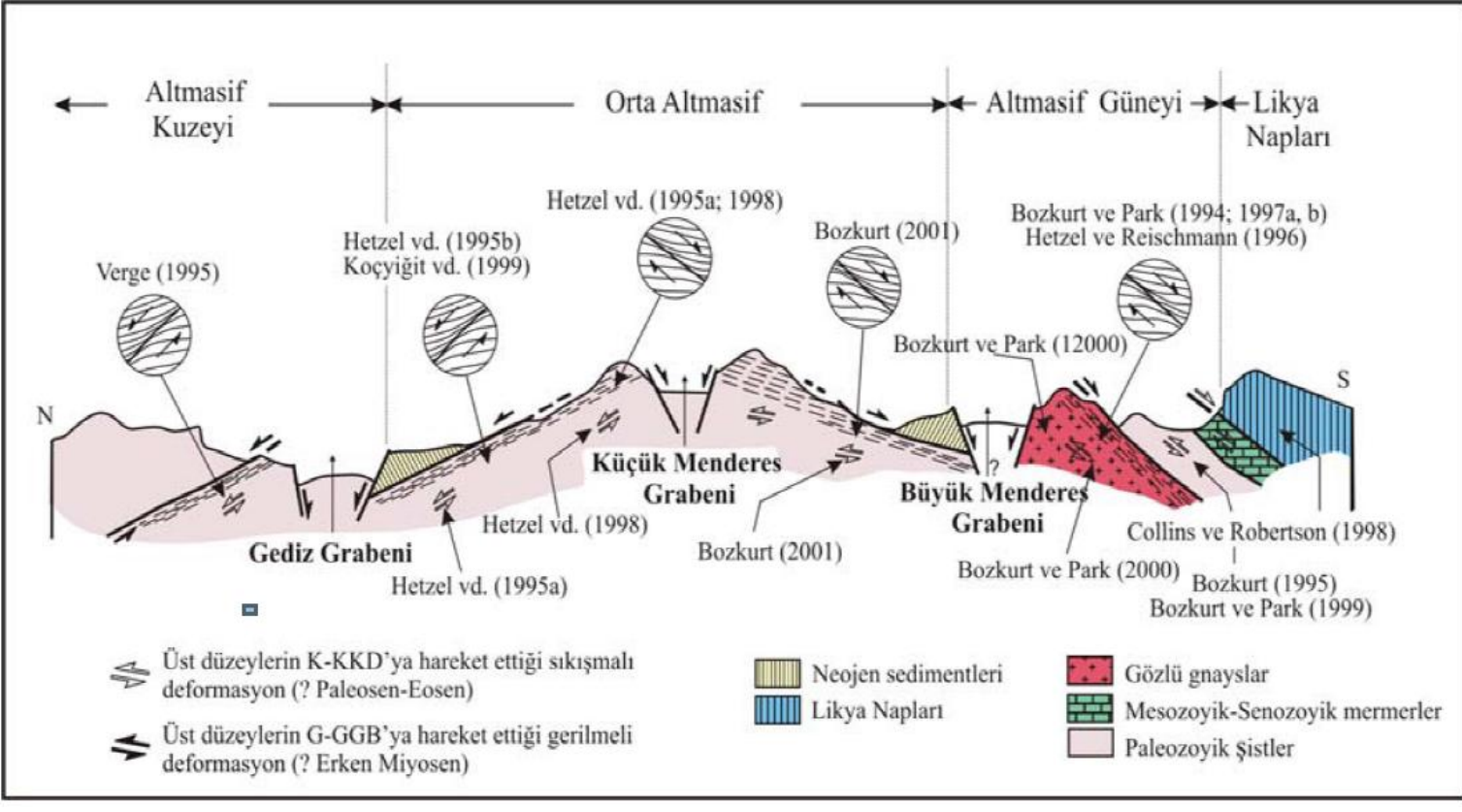
Çalışma alanı Büyük Menderes ve Gediz çöküntülerinin kesişim bölgesinin batısında ve Büyük Menderes rift zonunun güney kenarında yeralmaktadır. Çalışma alanında, Paleozoik yaşı Menderes Masifi Metamorfikleri (İğdecik Formasyonu), Neojen yaşı Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu ve Tosunlar Formasyonu bulunur. Bunlar Kuvaterner yaşı tortullar tarafından örtülür. Çalışma alanında Sazak Formasyonu ve Menderes Masifi Metamorfikleri (İğdecik Formasyonu) jeotermal sular için rezervuar kayaç özelliği gösterir. Menderes Masifine ait şistler, Kolonkaya, Kızılburun ve Tosunlar Formasyonları geçirimsiz taban kayacı ve örtü kayacı rolü üstlenmektedir. Çalışma alanında jeotermal sular Na-SO₄-HCO₃ tipi sulardır. Tekkehamam ve yakın çevresi jeotermal suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ile HCO₃>SO₄>Cl baskın anyonlardır. İnceleme alanındaki jeotermal sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına göre magma kaynağı tarafından ısıtılan sular sınıfına girmektedir. Sülfat içeriğinin yüksek olduğu gözlenmektedir. Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği ve diğer bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Tüm jeokimyasal termometre sonuçları jeotermal sular için 160-250°C rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Termal suların δ²H değerleri -61,9 ile -51,8 arasında değişirken, δ¹⁸O değerleri ise -9,23 ile -5,84 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki termal suların trityum içerikleri 0,7 ile 3,3 TU arasındadır. Bu durumda araştırılan sıcak sularla soğuk su karışım oranının oldukça az olduğu ortaya çıkmaktadır.

1. GİRİŞ

Batı Anadolu Bölgesinde yaklaşık olarak K-G yönlü genişleme tektoniğine bağlı D-B ve/veya BKB-DGD doğrultulu Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz havzaları gelişmiştir (Şekil 1 ve 2). Denizli ve çevresi Büyük Menderes ve Gediz çöküntülerinin kesişim bölgesinin hemen doğusunda yer almaktadır. Babadağ horstunun kuzey kanadında, Büyük Menderes grabeninin güney kenarında yer alan inceleme alanında 5 km'lik bir zon içerisinde, 500 m ile 3 km arasında değişen egemen olarak K50-60B gidişli bir fay demeti bulunmaktadır. Tekkehamam jeotermal alanı, Batı Anadolu Bölgesinin Denizli ilinin Büyük Menderes Graben sistemi içinde ülkemizin en önemli alanlarından biridir. Araştırma alanı, Büyük Menderes Grabeninin KB kısmında olup Sarayköy ilçesinden 18 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1). Tekkehamam bölgesi 37° 46' 27" K enlemle 29° 05' 15" D boylamları üzerindedir. Bu çalışmanın amacı, (1) Tekkehamam ve yakın çevresi jeotermal alanlarının jeoloji haritasının güncellenmesi, (2) minerolojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, (3) jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve (4) jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu modellemektir.



Şekil 1. Tekkehamam ve yakın çevresi dahil Büyük Menderes kıtasal rift zonunda jeotermal alanlar ve jeolojisi (Karakuş, 2010).



Şekil 2. Menderes masifinde gerilme tektoniği sonucu oluşan Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes kıtasal rift zonları (Bozkurt, 2001).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Arazi çalışmaları kapsamında çalışma alanı ve yakın çevresinden sıcak su kaynaklarından ve sıcak su üretim kuyularından su örnekleri alınmış ve bunlara ait in-situ ölçümleri (koordinatlar, su sıcaklığı, pH, Eh, çözülmüş oksijen miktarı, elektriksel iletkenlik, pH değerine bağlı olarak HCO₃⁻ ve CO₃²⁻ miktarını belirlemek için alkalilik değerleri ve Rn değerleri) gerçekleştirilmiştir (Yılmaz 2015). Burada alınan katyon örneği pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde derişik HNO₃ ile korumaya alınmıştır. Bu sıcak su örneklerinde anyon ve katyon analizleri ülkemizde akredite olmuş Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından duraylı izotoplar (δ¹⁸O ve δ²H) ve trityum (³H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmış ve akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illionis, ABD) İzotop Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2 Hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop jeokimyası

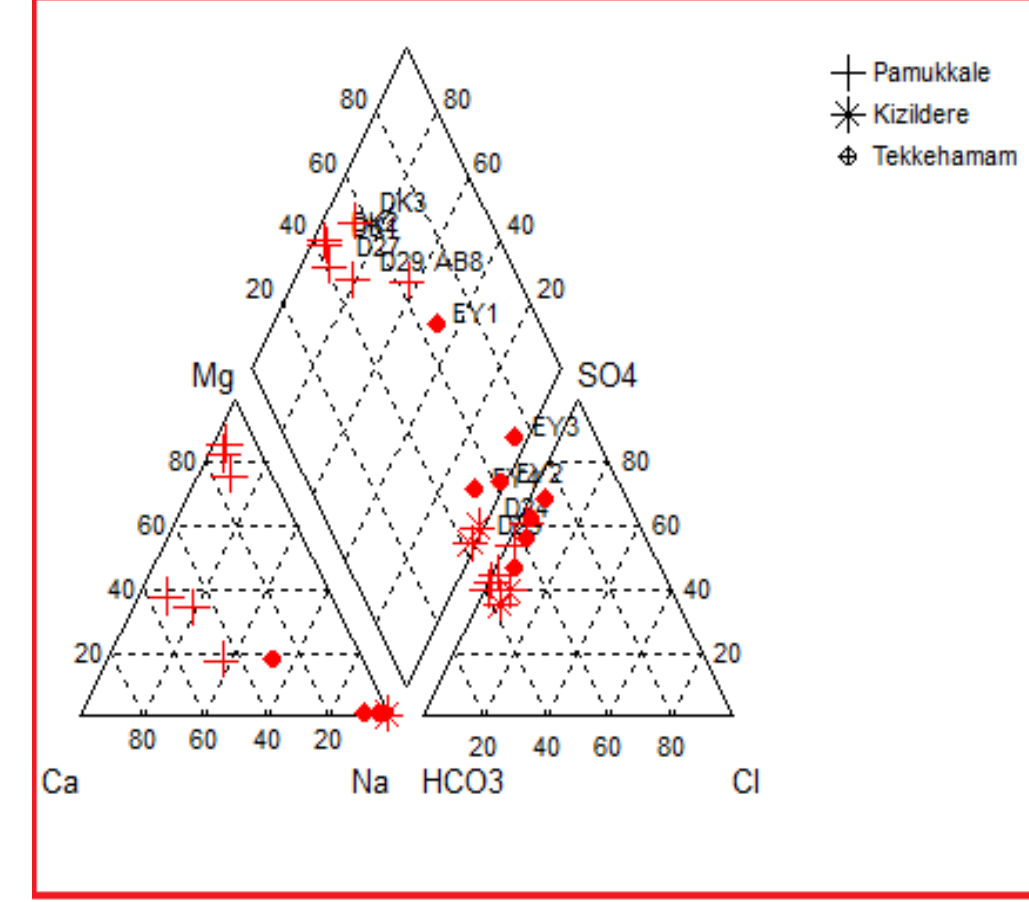
3.2.1 Hidrojeoloji

Çalışma alanında sondajlarda yoğun genç tektonik etkiler sonunda gelişen eklem takımları çatlakları ve faylar nedeniyle ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazanan kayalardan kireçtaşı, mermer ve kuvarsit rastlanmıştır (Yılmaz, 2015).: **I. Rezervuar kayacı:** Pliyosen birimleri içinde Sazak formasyonu birinci rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Ancak Sazak formasyonunun yanall fasies değişiklikleri rezervuar niteliği devamlılığını kısıtlamaktadır. Birimdeki kireçtaşlarının kalınlıkları değişmekte, yanall veya düşey olarak marn ve kumtaşına geçebilmektedir.. Birinci rezervuar kayada en fazla KD-1 kuyusunda 198°C elde edilmiştir. Bu hazne için ortalama sıcaklık 170°C dolayındadır. Kalınlığı 100-250 m arasında değişmektedir. **II. Rezervuar kayacı:** Menderes metamorfilerinden İğdecik formasyonunun mermer-kuvarsit-şist ardalanması ikinci rezervuar kayacı oluşturmaktadır. Birinci rezervuar kayaca oranla daha fazla ikincil geçirimsizlik ve gözeneklilik görülmektedir. Ayrıca çok geniş bir alan için devamlılıkları vardır. Daha derin olduğundan daha yüksek sıcaklık verirler. KD-16'da 212°C yaklaşan kuyudibi sıcaklığı alınmıştır. KD-6, KD-7, KD-9, KD-13, KD-14, KD-15, KD-16, KD-111 kuyuları ikinci rezervuar kayaya ulaşmıştır. Kalınlık 100-300 m arasında değişmektedir.

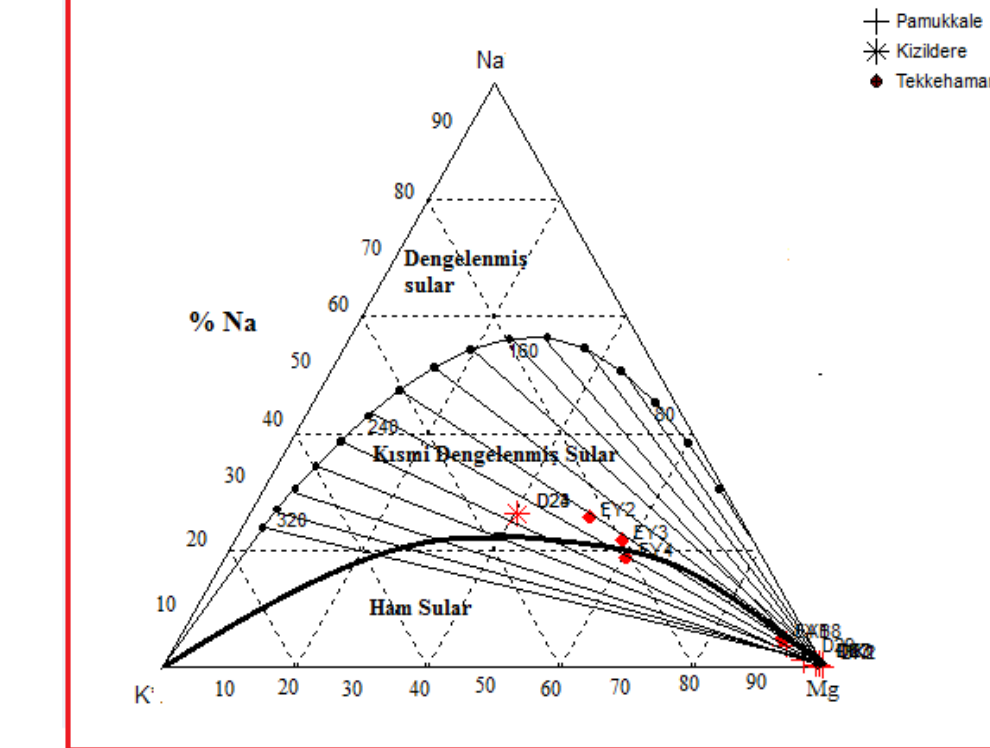
III. Rezervuar kayacı: Kızıldere jeotermal alanında ilk rezervuar kaya bulunduktan sonra bazı bölümlerin rezervuar kaya özelliğini kaybettiği görüldüğüne ikincil rezervuar kaya araştırılmış ve bulunmuştur. Birincide ortalama 170°C olan sıcaklık, ikincide 212°C ulaşmaktadır. Jeoloji verilerine göre ikinci rezervuar kayayı oluşturan mermer-kuvarsit-şist ardalanmasının altında kalın ve geçirimsiz mikaşistler yer almaktadır. Genel istife göre, mikaşistler altında gneys ve kuvarsit gözlenmektedir. Jeokimyasal termometreler ise (Na-K-Ca ve SiO₂) Kızıldere sahasında 250-260°C rezervuar sıcaklığı beklenmektedir. Bahsedilen verilere göre üçüncü rezervuar kaya olasıdır. Bunun denemesinde kuyudibi büyük yarar vardır. Özellikle kuyu verimlerinin, buhar sıcaklığının ve oranının artmasının sağlanması ve kabuklaşma, atık su sorununa çözüm getirebilmesi açısından çok önemlidir (Şimşek 1985).

3.2.2 Hidrojeokimya

Tekkehamam ve yakın çevresi jeotermal suları Piper diyagramında Na-SO₄-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir (Şekil 5; Yılmaz, 2015). Yöre jeotermal sularında katyon sıralaması Na+K>Ca>Mg ve anyon sıralaması Cl>SO₄>HCO₃ şeklindedir. Burada jeotermal sularla bulunan yüksek SO₄ değerleri Kolonkaya ve Tosunlar formasyonlarında yer alan jips mercekleri ve 3000 m derinliğe kadar olan çeşitli seviyelerde bulunan sülfür cevherleşmesi ile ilişkilidir (Özgür, 1998). Jeokimyasal katyon termometreleri Tekkehamam ve yakın çevresi jeotermal suları için 160-250 ° C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Na-K-Mg^{1/2} üçgen diyagramı solute termometre uygulamaları ile rezervuar sıcaklığı uygun jeotermal sular arasında açık ayırım yapmak için bir yöntem olarak Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir. Tekkehamam jeotermal alanından gelen su örneklerinden EY-1 (Babacık Pınarı) "Ham Sular" sınıfına düşmektedir. EY-2 (Çavuşoğlu Hamamı) "Kısmi Dengelenmiş Sular" , EY-3 (İnaltı Termal) "Kısmi Dengelenmiş Sular", EY-4 (Umut Termal) "Kısmi Dengelenmiş Sular" alanlarına düşmektedir (Şekil 6).



Şekil 5. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi



Şekil 6. Tekkehamam jeotermal sularının Na-K-Mg diyagramında gösterilmesi ve su-kayaç denge sıcaklıkları

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

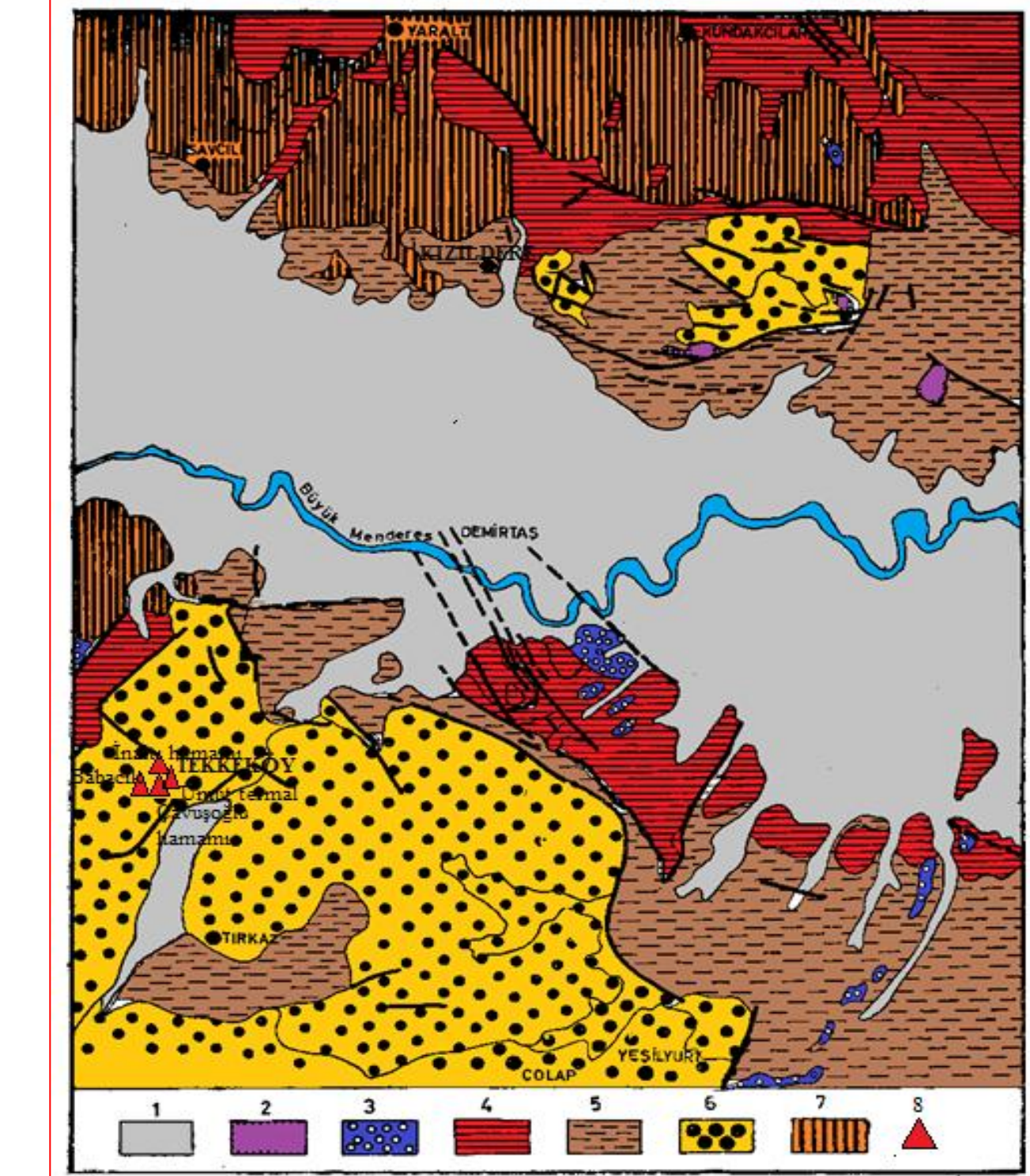
Tekkehamam ve yakın çevresi yaklaşık olarak 18 km² olan bir alandan oluşmaktadır ve jeolojik olarak alanda Paleozoik yaşı metamorfik kayaçlar Pliyosen yaşı sedimentar kayaçlar bulunmaktadır. Kayaçlar içinde jeotermal rezervuarlarının oluşumu için az geçirimli örtü kayaçlarının yanı sıra birincil ve ikincil permeabilite oldukça önemli rol oynamaktadır. Çalışma alanında birincil permeabilite ile Sazak Formasyonu kireçtaşları ve ikincil permeabilite ile mermer, kuvarsit ve kuvarsistlerden oluşan ardalanmalı İğdecik Formasyonu kendisini göstermektedir. Böylece jeotermal su rezervuarlarının oluşumunu aşağıdaki şekil açıklamaktadır (Şekil 8).

5. TEŞEKKÜR

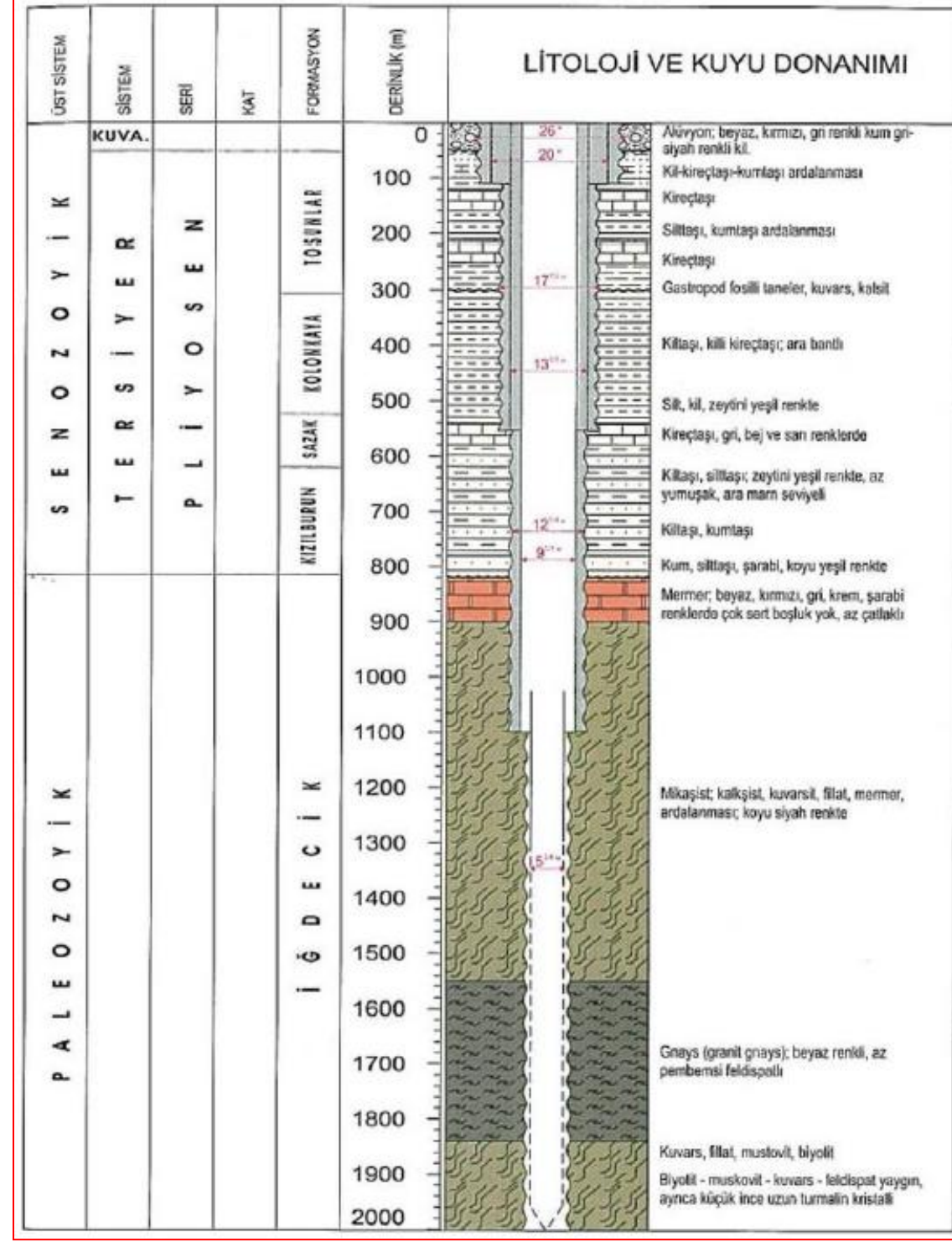
Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4138-YL1-14 numaralı "Tekkehamam (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri" adlı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Alpman, N., 1963, Batı Anadolu tabii sıcak suları içmeceleri ve maden sularının teknik envanteri. MTA Rap. NO:3629, Ankara.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G., 1994, Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 151, S. 213-216.
- Bozkurt, E., 1995, Deformation during main Menderes metamorphism (MMM) and its tectonic significance: evidence from southern Menderes Massif, western Turkey. Terra 7, S. 176.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G., 1997a, Evolution of mid-Tertiary extensional shear zone in the southern Menderes Massif, western Turkey. Soc. Geo. Fr. Bull. 168, S. 3-14.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G., 1997b, Microstructures of deformed grains in the augen gneisses of southern Menderes Massif and their tectonic significance. Geol. Rundsch. 86, S. 103-119.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G., 1999, The structure of the Paleozoic schists in the southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes metamorphism and its relation to the Lycian Nappes. Geodinamica acta (Paris) 12, S. 25-42.
- Bozkurt, E., 2001, Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. Internati. J. Earth Sci. 89, S. 728-744.
- Collins, A. S. ve Robertson, A. H. F., 1998, Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 155, S. 759-772.
- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geothermometers. Geochim. Cosmochim. Acta 52, S. 2749-2765.
- Hezel, R., Passchier, C. W., Ring, U. ve Dora, O. O., 1995a, Bivergent extension in orogenic belts: the Menderes Massif (southwestern Turkey). Geology 23, S. 455-458.
- Hezel, R. ve Reischmann, T., 1996, Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after after Alpine ductile extensional deformation. Geol. Mag. 133, S. 565-572.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C. ve Troesch, M., 1995b, Miocene NNE directional extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 152, S. 639-654.
- Hetzl, R., Romer, R. H., Candan, O. ve Passchier, C. W., 1998, Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, SW Turkey: Pan-African basement and Alpine deformation. Geol. Rundsch. 87, S. 394-406.
- Karakuş, H., 2010, Büyük Menderes grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 213 S.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. ve Bozkurt, E., 1999, Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 156, S. 605-616.
- Kutlu, D. S., 2015, Pamukkale (Denizli) ve yakın çevresinin jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 77 S.
- Özgür, N., 1998, Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Türkei: Freie Universitaet Berlin, Habilitationsschrift, 171 S.
- Şimşek, Ş., 1985, Geothermal Model of Denizli, Sarayköy- Buldan Area Geothermics 14, S. 393-417.
- Yusallı, H., 1967, Tekkehamam-Kızıldere (Denizli-Sarayköy) sıcak su sahalarının jeolojik etüdü ve Jeotermik Enerji İmkânları. MTA Rap.
- Verge, N. J., 1995, Oligo-Miocene extensional exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia. Terra 7, S. 117.
- Yaman, D., Menderes Massif kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sularındaki yüksek bor değerlerinin kökeni: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166 S.
- Yılmaz, E. E., 2015, Tekkehamam (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 77 S.



Şekil 3. , Kızıldere-Tekkeköy jeolojik haritası. 1-Alüvyon; 2-Traverten; 3-Pliyo-Kuvaterner; 4-Pliyosen; 5-Üst Miyosen; 6-Miyosen; 7-Metamorfik Seri; 8-Örnek noktaları (Uysallı, 1967'den alınıp düzenlenmiştir) .



Şekil 4. Çalışma Aaannına ait stratigrafik sutun kesit (Alpman, 1963)